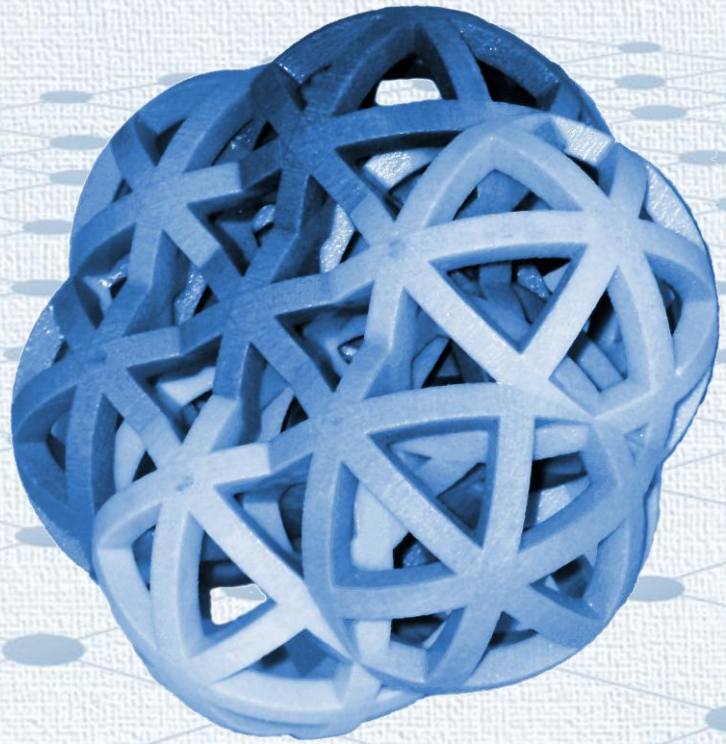
Technická Univerzita v Košiciach
Fakulta Elektrotechniky a Informatiky
Katedra počítačov a Informatiky

Branislav SOBOTA

Počítačová Grafika

Podklady k prednáškam ‘24



© 2024

ISBN 978-80-553-4691-5

Predslov

Predkladané podklady sú určené k predmetu Počítačová grafika pre študentov KPI FEI TU v Košiciach. Vstupné predpoklady sú dané najmä zvládnutím základov algoritmiky a programovacích techník, ďalej v ovládaní aspoň jedného vyššieho programovacieho jazyka (napr. jazyk C/C++/C#/Java/Javascript), všetko však systémy so schopnosťou pracovať s grafickou informáciou a samozrejme v ovládaní základov výpočtovej techniky. Pre porozumenie matematických základov sa predpokladá minimálne zvládnutie analytickej geometrie a vektorovej a maticovej algebry.

Radenie podkladov je didakticky dané od základov počítačovej grafiky (ďalej PG) po niektoré vyspelé techniky a algoritmy v nej používané. Úvod poskytuje historický vývoj výpočtovej techniky a na jej základe aj počítačovej grafiky, má len informačný charakter a neslúži ako základ pre ďalšie možné otázky. Ďalšími opisovanými oblasťami sú problematika farieb, súradnicových sústav, základných grafických elementov a transformácií používaných v PG. Ako rozširujúce sú opísané krivky a plochy používané v PG, riešenie viditeľnosti, vyplňovanie, textúrovanie a základné techniky tieňovania, osvetľovania a fotorealistického zobrazovania. Doplnkovo sú uvedené aplikačné oblasti počítačovej grafiky a virtuálna realita a jej pridružené technológie. Všetky tieto oblasti sú uvedené formou slajdov a ku každému slajdu má študent možnosť si dopisovať svoje poznámky prípadne zaujímavé odkazy a tak získať základ pre efektívnejšie štúdium danej problematiky. Je potrebné takisto uviesť, že v rámci predmetu je vytvorený len výber a mnohé problematiky majú omnoho širší záber, ako je uvedených v týchto podkladoch.

V závere tohto úvodného slova by som chcel uviesť, že táto publikácia bola vytvorená v spolupráci s Katedrou počítačov a informatiky, Fakulty elektrotechniky a informatiky, Technickej univerzity v Košiciach a najmä s Laboratóriom Inteligentných Rozhraní Komunikačných a Informačných Systémov (LIRKIS). Touto cestou by som chcel poďakovať niektorým bývalým aj terajším kolegom a študentom, ktorí boli nápomocní pri vytvorení tejto publikácie. Uvádzam v abecednom poradí: Ing. Hrozek František PhD., Ing. Hudák Marián PhD., Ing. Ivančák Peter PhD., Ing. Korečko Štefan PhD., Ing. Látka Ondrej PhD., Ing. Mattová Miriam PhD., doc. Ing. Pietriková Emília PhD., Ing. Sivý Martin PhD., doc. Ing. Steingartner William PhD., Ing. Straka Marek PhD., doc. Ing. Szabó Csaba PhD., doc. Ing. Šujanský Milan CSc., Ing. Varga Martin PhD.

autor

© ***Branislav Sobota***

Text nebol kontrolovaný gramaticky, štylisticky ani formátovo a je určený len pre štúdijné účely.

Poďakovanie

Táto publikácia resp. niektoré jej časti sú výsledkom alebo. dopadom riešenia niektorých z nasledujúcich projektov:

- *projekt KEGA č. 048TUKE-4/2022: „Technológie zdieľanej virtuálnej reality vo vzdelávacom procese“.*
- *projekt APVV č. APVV-21-0105 „Dôveryhodná interakcia človek–robot a terapeut–pacient vo virtuálnej realite”.*

Obsah

ÚVOD 7
1 PRIESTOR, SVETLO A FARBY 18
2 GRAFICKÁ INFORMÁCIA A GRAFICKÉ ENTITY 85
3 PRIESTOR A OBJEKTY 136
4 TRANSFORMÁCIE GRAFICKÝCH OBJEKTOV 161
5 PROJEKČNÉ A ZOBRAZOVACIE TRANSFORMÁCIE 204
6 KRIVKY A PLOCHY V POČÍTAČOVEJ GRAFIKE 231
7 RIEŠENIE VIDITEĽNOSTI 283
8 VYPLŇOVANIE A TEXTÚROVANIE 324
9 TIEŇOVANIE A OSVETĽOVANIE 354
10 APLIKÁCIE POČÍTAČOVEJ GRAFIKY A VIRTUÁLNA REALITA 399
11 ZÁVER 444
12 DOPLNKOVÉ REFERENCIE 445
13 NIEKTORÉ RELEVANTNÉ MATEMATICKÉ VZŤAHY 447

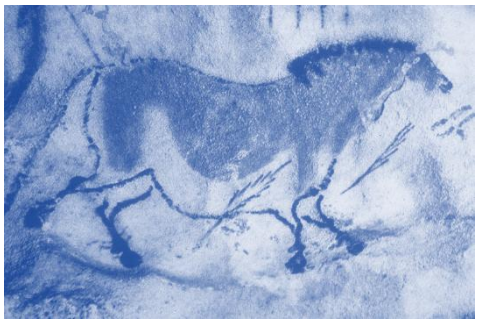
LIRKIS
Virtual Reality
&
Computer Graphics

Úvod

Vývoj výpočtovej techniky a v rámci nej aj počítačovej grafiky je jedným z najmarkantnejších fenoménov v súčasnej dobe. Tento fenomén v súčasnosti je aj veľmi vnímaný v očiach laickej verejnosti. Aj tak v súčasnosti v podstate už len ťažko je možné nájsť oblasť ľudskej činnosti, ktorú by počítačová grafika neyasiahla. Výrazne zasahuje najm] do kreatívnych odvetví a umožňuje mimoriadne pôsobivé vizuálne simulácie prírodných javov či scén a prípadne aj osôb (najmä v hernom a filmovom priemysle). Do popredia v počítačovej grafike sa dostávajú rôzne netradičné postupy, ktoré umožňujú používateľom vyrábať rôzne efektné kresby alebo modely a dosahovať zaujímavé výsledky. Medzi tieto „netradičnosti“ môžeme zaradiť aj fraktály alebo časticové systémy. Tieto sa používajú na generovanie rôznych, najmä abstraktných podkladov a tvarov, prípadne na rôzne zaujímavé rozptyľovacie technológie, ktoré môžu po aplikovaní na digitálny obraz vyvolať dojem, že obraz je napr. za sklom alebo v hmle.počítačová grafika nezasiahla. Áno,

- ak hovoríme o forme komunikácie s počítačom a o moderných používateľských rozhraniach, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o obaloch v obchodoch, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o dizajne automobilov či výrobkov spotrebnej elektroniky, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o projektovaní budov a interiérov, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o novinách, časopisoch či katalógoch, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o prezentácii predpovedi počasia, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o počítačových hrách a zábave, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o spracovaní hospodárskych či štatistických výsledkov, hovoríme o počítačovej grafike.
- ak hovoríme o filme, videu, reklame, hovoríme o počítačovej grafike.
- ...

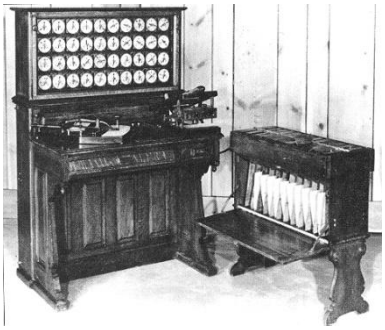
Tento výčet je naozaj rozsiahly a mohli by sme v ňom v dnešnej dobe pokračovať takmer donekonečna. Zásah počítačovej grafiky do nášho života je naozaj významný a dnes je už veľmi ťažké nájsť oblasť, v ktorej by využitie počítačovej grafiky nemalo zmysel. *Počítačová grafika* napomohla masovému rozšíreniu počítačov a odstránila zábrany, ktoré bežný človek pri styku s nimi cíti, že je zaplavený stĺpcami čísel a textu a vťahovaný do sveta, v ktorom sa nevie orientovať. Navyše objemy spracovávaných údajov a najmä kvalita grafických výstupov sa neustále zvyšuje a pomáha tak, aj k rozvoju pridružených technológií akými je najmä virtuálna realita. A to všetko vďaka neustále sa zlepšujúcej výpočtovej technike v priamej alebo nepriamej podobe vrátane rastúcej mobilnej podoby.

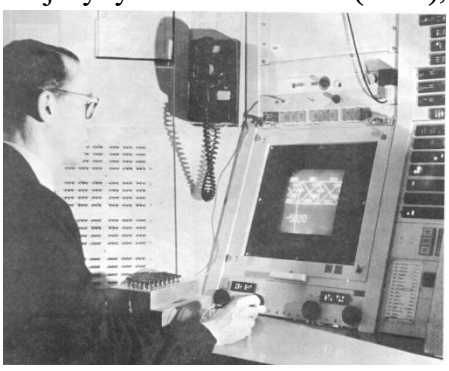


Ak zohľadníme fakt, že najviac informácií (80%) získava človek zrakom, potom počítačová grafika najviac pôsobí na človeka práve v tomto ohľade. Už pračlovek dával najavo svoje estetické vnímanie aj reálne prežitky kreslením na steny jaskýň, aby ostatní práve vizuálne vnímali ním sprostredkovanú informáciu. Uveďme si preto krátky historický prehľad, ktorého dôsledkom bol vývoj informačných technológií a na základe toho aj vývoj počítačovej grafiky.

V 4. tisícročí pred n.l. vzniká prvé ucelené obrázkové písmo v Mezopotámii. O tisíc rokov neskôr (3. tisícročie pred n.l.), geniálni obchodníci féničania zostrojili abakus (mechanické počítadlo). O niekoľko desaťročí nato, sa objavujú prvé súvislé znakové sady, do tohto obdobia datujeme vznik abecedy. V slávnom Babylone v rokoch 1800-1600 pred n.l. uzreli svetlo sveta prvé písomne

zachované matematické algoritmy (60-ková sústava). 570-500 rokov pred n.l. Pytagoras skúma vzťahy geometrických telies. O dvesto rokov neskôr (380-320 rokov pred n.l.) sa objavujú prvé filozofické úvahy Aristotela o estetike súmernosti a proporcionalite. Približne v roku 300 pred n.l. sú Euklidom vytvorené základy všeobecnej matematiky. V 8.-9. storočí píše Muhamed ibn Musa ibn Abdallah Al Chorezmi Al-Majdusi prvú učebnicu aritmetiky, v ktorej sa používa už desiatková sústava. Johannes Gutenberg v rokoch 1444-1448 objavil a zaviedol základnú technológiu prenosu informácií ľudstva - kníhtlač. Približne v tom istom období (1452-1515) sú géniom Leonardom da Vincim skúmané vzťahy a súvislosti vedy a umenia. Zhruba o 150 rokov potom, v roku 1580, je založený odbor analytickej geometrie FraÇoisom Viteom a následne René Descartes v období 1600-1650 vymedzuje algebru, ktorá je základným nástrojom nie len počítačovej grafiky. A keď už sme spomenuli počítačovú grafiku, je nutné do tohto historického prehľadu vsunúť aj informácie o vývoji výpočtovej techniky. Teda po abakuse pre ľudí v roku 1673 Gottfried Wilhelm Leibniz stavia zdokonalený kalkulačný stroj. Prelom nastáva, keď potom v roku 1725 B. Bouchon vynašiel diernu pásku, ktorou riadi tkací stroj a 1805-1808 Joseph Marie Jacquard zavádza tkáčsky stav riadený diernymi štítkami, ktorý z pohľadu počítačovej grafiky môžeme chápať ako prvú tlačiareň. XIX. storočie je celkovo poznačené rôznymi technickými objavmi. V roku 1833 Charles Babbage vypracúva projekt univerzálneho počítacieho stroja, 1844 Samuel Finlay Breese Morse zostrojuje telegraf, 1847 Sir Henry Cole publikuje úvahy o strojoch a umelcoch, 1854 George Boole utvára dvojstavovú logiku (tak potrebnú pre dnešné počítače), 1876 Graham Bell vynašiel telefón, 1888 Elerman Heller konštruuje diernoštítkový počítací stroj (dokedy sa používali dierne štítky ako pamäťové médium?), 1890 Elerman Hollerith stavia diernoštítkový kalkulátor a tabelátor (→) pri prvom sčítaní ľudu v USA. Prichádza slávne XX. storočie, ktoré je predovšetkým vo svojom počiatku poznamenané 1. svetovou vojnou. Až po nej resp. tesne pred druhou svetovou vojnou sa začínajú objavovať prvé technické grafiky. V rokoch 1935-1941 začína priekopnícka práca Konráda Zusa na návrhu elektrického počítača. Táto je korunovaná úspechom a Zuse zostrojuje programovateľný počítač Z3. Ním inšpirovaný Alan M. Turing v roku 1943 zostrojuje elektronický počítač COLLOSSUS. V rokoch 1944 a 1945 W. B. Hales vytvára prvé počítačové analógové kresby a John von Neumann utvára koncepciu matematických počítačov. Následný vývoj ide už pomerne rýchlo a preto ho uvedieme viacmenej heslovito. V rokoch 1946 až 1947 John William Mauchly a John Presper Eckert stavajú univerzálny elektronický (na báze elektrónok) počítač ENIAC. V roku 1951 Ivan Moscowich stavia kresliaci stroj. O rok neskôr Ben F. Laposky vystavuje analógovú počítačovú grafiku v Sanford Museum Cherokee v USA. V roku 1958 A. P. Rich publikuje článok o počítačovom programe pre textilný dizajn (prvá lastovička CAD?). Manchesterská Univerzita o rok pozdejšie zavádza superpočítač ATLAS aj pre pokusy s kreslením na počítači a na parížskom bienále je vystavený Tinguelyho stroj "Metamatic" na maľovanie. V týchto rokoch sa objavujú prvé vyššie programovacie jazyky ako FORTRAN (1957), ALGOL (1958) a COBOL (1959). V roku 1960 pracovníci firmy Boeing zavádzajú pojem "*počítačová grafika*". V roku 1961 Edward E. Zajac vytvára prvý film animovaný počítačom s názvom "Two-Gyro Gravity - Gradient Attitude Control System", ktorý trvá 4 minúty. Rok 1962 priniesol jednu zaujímavosť. V rámci svojej dizertačnej práce na univerzite v Massachussets vyvinul Ivan Sutherland (ďalšie významné meno) interaktívny (neobvyklé pre danú dobu) grafický program *Sketchpad* (→) ovládaný svetelným perom s výstupom na grafickú obrazovku. V roku 1963 je vyrobený prvý "ploter" - kresliaci stroj riadený číslicovým počítačom. Tento rok je rokom začiatku prác na počítačovej grafike : Georg Nees, Frieder Nake, Michael A. Noll. V Massachussets Institute of Technology sa vyvíja systém pre dizajn. Začína sa tiež spolupráca programátora Kennetha Knowltona s filmárom Stanom





Vanderbergom na tvorbe počítačového animovaného filmu. Následne potom v roku 1964 vzniká film "Man and His World" (prekl. Človek a jeho svet) animovaný počítačom. Tento rok predstvuje aj ďalší významný medzník. Douglas Engelbart zo Stanfordského výskumného inštitútu v Kalifornii vymyslel "x-y coordinate indicator for graphics systems", čo nie je nič iné ako dobre známa a dnes nepostrádateľná myš. V roku 1965 Georg Nees, Michael A. Noll a Bela Julesz usporiadúvajú prvú výstavu počítačovej digitálnej grafiky v USA (Harward Gallery, New York, Nevada). V bývalom Československu výtvarník Zdeněk Sýkora spolu s matematikom Jaroslavom Blažkom uskutočňujú prvé experimenty s počítačovou grafikou. Do roku 1967 datujeme vznik videoartu a v Japonsku sa zakladá skupina "Computer Technique Group" (CTG). Slávny rok 1968 v Československu je rokom kedy sa usporadúvajú prvé výstavy počítačového umenia s medzinárodnou účasťou u nás (Brno, Jihlava, Olomouc). Našu tvorbu zastupujú Miroslav Klivar a Lubomír Sochor. V roku 1969 je zostrojený videosyntetizátor. V Londýne sa zakladá spoločnosf "Computer Art Society". Georg Nees vydáva knihu "Generative Computer Graphic". Objavuje sa prvý stolný počítač FLEX, ktorý používa grafiku, okienka a - myš. Zdeněk Sýkora realizuje výtvarné dielo v architektúre utvorené počítačom - mozaiku na stene vetracieho tunela na Letnej v Prahe. V rámci Bienále v Benátkach v roku 1970 je expozícia experimentálnej počítačovej grafiky "Umenie a technika". V Uxtridge na Brunnel University sa koná medzinárodné sympózium o počítačovej grafike. V tomto roku môžeme aj hovoriť o nástupe domácich počítačov (8-bitové home-computer, prvé mikroprocesory sú na svete). Na scéne sa objavuje štrukturovaný programovací jazyk PASCAL. Rok 1972 je rokom, kedy bol pre počítačovú definovný nový pojem - CAD (Computer Aided Design), obsah ktorého sa stal výraznou časťou počítačovej grafiky a prispel k nemalému rozvoju interaktívnych grafických editorov. Vo vývojových dielňach firmy XEROX vzniká SMALLTALK pre stolné počítače s grafikou a myšou. Pre Slovensko je výrazným medzníkom nasledujúci rok (1973), kedy Jozef Jankovič a Imrich Bertók vytvorili prvé slovenské počítačové grafiky. Dobrý trend u firmy XEROX je definovaný počítačom ALTO, kde sa ako vstupné zariadenie používa myš a z hľadiska postupu sa využíva dnes tak samozrejmé "označ a urob". V roku 1976 sa v krajine vychádzajúceho slnka, v Japonsku koná výstava "International Computer Art Exhibition". O rok neskôr je vyvinutý dokonalejší počítač firmy XEROX, počítač STAR. V roku 1978 je v Smoleniciach konferencia "Počítačová grafika" spojená s výstavou československej počítačovej grafiky. Toto obdobie je takisto dôležité najmä z dôvodu prvých kontaktov pracovníkov firmy APPLE s grafikou. Vo svete sa objavujú prvé domáce počítače s lepšou grafikou a programovacím jazykom BASIC a firma INTEL uvádza prvý 16-bitový mikroprocesor i8086. Na jeho báze bol v roku 1981 vyvinutý a predávaný počítač, ktorý spôsobil to, že dnes je počítačová grafika naozaj pre každého. Tento počítač sa nazýval IBM PC. V tom čase však ešte pre každého nebol a v domácnostiach sa presadzujú lacné počítače lorda Sinclaira ZX-81 a o rok neskôr ZX-Spectrum (→), ktorý znamenal naozaj prevrat (aj cenou) a bol pri raste mnohých súčasných počítačových grafikov. Na scéne sa objavuje dominantný jazyk súčasnosti - jazyk C. V tomto roku (1982) sa ale aj na poli výkonnejších počítačov objavujú už priamo pracovné stanice najmä pre CAD (napr. 32-bitový HP-9000). Firma Microsoft v tomto roku začína práce na CGI - Computer Graphics Interface, základ dnešných WINDOWS. V bývalom Československu sa v tomto roku koná v Prahe prvá celoštátna výstava počítačového umenia a pre Slovensko je tento rok opäť medzníkom: Daniel Fischer a Igor Kolčanský vytvárajú prvý slovenský film animovný počítačom. Nimi inšpirovaní, o rok neskôr, Karol Doboš v spolupráci s Martinom Šperkom a Petrom Briatkom vytvorili počítačom animovanú zvučku televízneho seriálu "Odvážni muži na štartovacej dráhe". Vo svete sa objavuje počítačom generovaný celovečerný film "TRON" a medzník pre zavedenie počítačových efektov do filmárskej praxe vkladá George Lucas svojimi "Hviezdnymi vojnami". Na scéne sa objavuje prvý slovenský domáci počítač PMD-85 (→), ktorý "vychoval" mnoho ľudí u nás

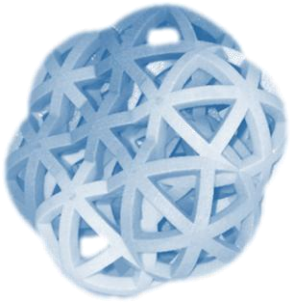
k počítačovej gramotnosti. Všeobecne je možné povedať, že počnúc 80-tymi rokmi ide vývoj v tejto oblasti mimoriadne rýchlo a aj heslovité zmienky by zabrali pomerne mnoho priestoru. Z tohto dôvodu si tu už len spomenieme niektoré firmy a pojmy (bez udania roku), ktoré prispeli k rozvoju počítačovej grafiky vôbec a spôsobili, že počítačová grafika je dnes na takom stupni. V prvom rade to bola (dnes už neexistujúca) firma Silicon Graphics, ako "vlajková loď" a firma IBM, bez ktorej by nebolo PC. Následne firma Autodesk, ktorá dokázala svojím AutoCADom, že CAD sa stal nástrojom naozaj pre všetkých. Svoje nezastupiteľné miesto najmä v CAD systémoch si taktiež vydobila firma Intergraph. Ďalej firma Commodore, ktorá svojim 8-bitovým C-64 (→) ale najmä svojími "priateľkami" (AMIGA) dlho viedla v používaní pomerne kvalitnej grafiky v domácnostiach. Nemožno nespomenúť priekopníka a dlhého vodcu grafických systémov, firmu APPLE a jej MACINTOSH s grafickým rozhraním, ktorý dlhú dobu dominoval nielen v štúdiách DTP. Ďalším adeptom bola firma ATARI, ktorá priniesla počítačové hry (a tým vlastne počítačovú grafiku) každému. Firma SUN Microsystems, ktorá ponúkla kvalitné pracovné stanice za primeranú cenu, čo prinieslo veľmi kvalitnú počítačovú grafiku opäť širšiemu okruhu používateľov. Ďalším "klasikom" bola firma ADOBE, ktorá dokázala svojím Photoshopom, že pracovať s grafikou na počítači mohol naozaj jednoducho každý. Podobne aj firmy COREL (CORELDRAW!) a Aldus (Freehand) priniesli pred používteľov ďalšie netušené možnosti grafických editorov. Firme KODAK je potrebné poďakovať za grafický formát Kodak-Photo CD, ktorý umožňoval uchovávať a prenášať veľmi kvalitné digitálne obrazy resp. fotografie. Jej konkurenta, firmu XEROX tiež nie je možné obísť, veď okrem iného práve táto firma dala svetu základy GUI t.j. grafického používateľského rozhrania. Svoje nezastupiteľné miesto najmä v oblasti animácií a nasadenia špecializovaných grafických editorov do výroby filmov a videoprodukcie patrí/patrilo firmám AVID, PIXAR a SOFTIMAGE. Takisto je potrebné tu spomenúť firmy Hewlett-Packard, Canon a Epson za prínos do rozvoja tryskových a laserových tlačiarní ako čiernobielych tak aj farebných, ktoré umožňili veľmi kvalitný výstup počítačových obrazov v hmatateľnej podobe. Nemožno zabudnúť ani na firmu Microsoft, ktorej MS-DOS "vdýchol dušu" PéCéčku a spôsobil ich masové rozšírenie, ale najmä MS-Windows, ktoré spôsobili, že grafika sa stala naozaj "domácou paňou" na tejto platforme. No a vďaka firmám Google a Apple, bola podporená dnes už v podstate tradičná forma komunikácie, využitie počítačovej grafiky na mobilných zariadeniach (Android, iPhone (→)) počnúc používateľským rozhraním a naozaj prepracovanými fotografickými možnosťami končiac. A nakoniec dôležitý smer majúci svoj základ v počítačovej grafike je virtuálna realita (VR) a jej pridružené technológie, ktoré predstavujú jednu z najprogresívnejšie sa rozvíjajúcich smerov informatiky a informačných technológií v súčasnosti. VR využívaním prostriedkov počítačovej grafiky prináša principiálnu zmenu komunikácie s výpočtovými systémami tak, aby boli pre človeka čoraz viac prirodzenejšie, jednoznačnejšie a jednoduchšie s rýchlou odozvou.

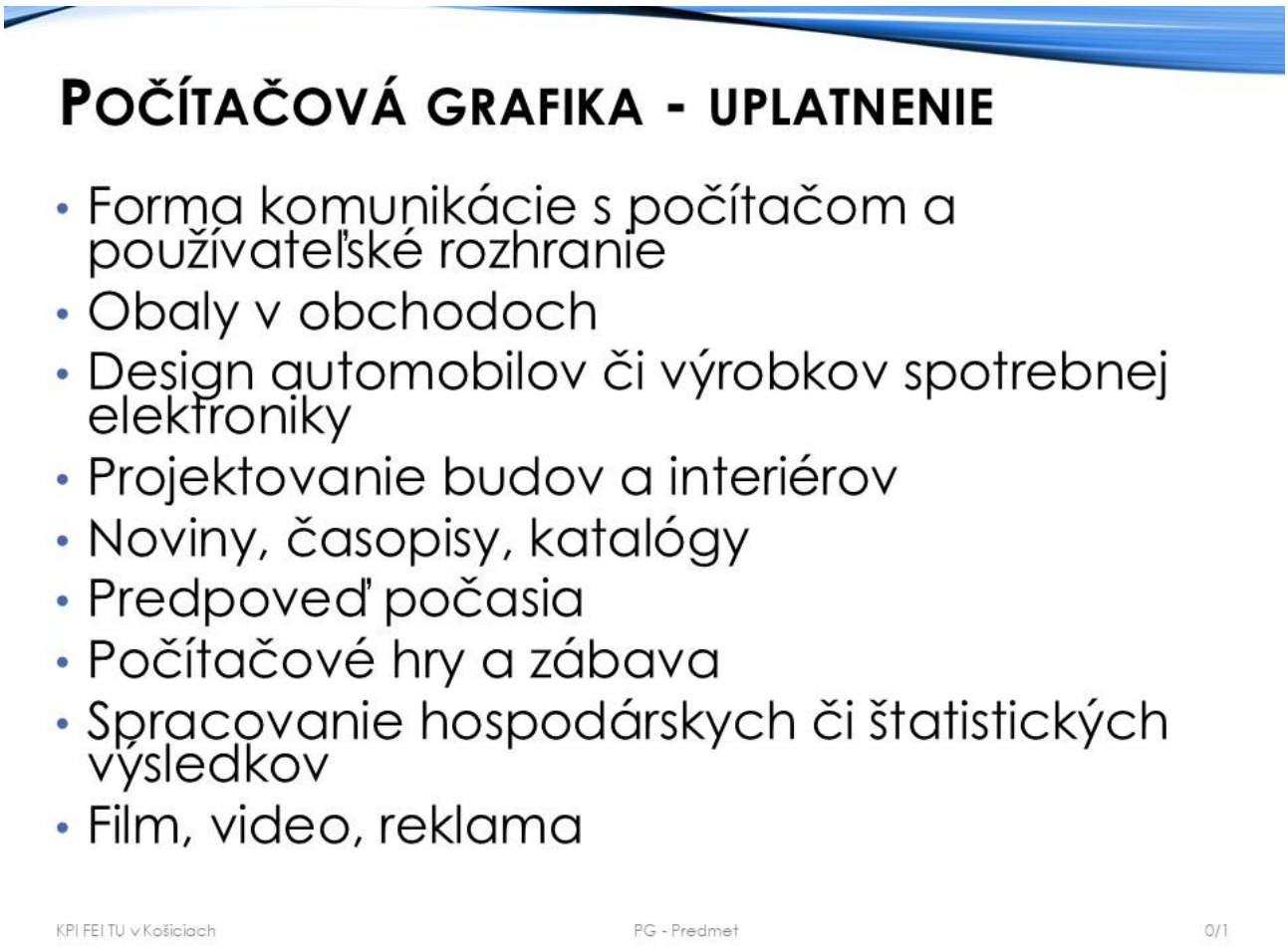
Ako vidieť moderná počítačová grafika má široký rozsah. Prehľad štandardných prístupov, postupov, algoritmov ako aj zariadení v oblasti definície grafických scén a objektov, svetla a farieb, grafických transformácií a grafických knižníc a systémov, projekcií, kriviek a plôch používaných v počítačovej grafike, riešenie viditeľnosti, vyplňovanie a textúrovanie, tieňovanie a osvetlenie, realistické a fotorealistické zobrazovanie a virtuálna realita by mali byť obsahom tohto predmetu. Predmet Počítačová grafika je teda základným predmetom o tejto peknej a zaujímavej oblasti a čitateľ by mohol nájsť odpovede na túto tému v týchto podkladoch.

KPI FEI TU Košice pracuje v oblasti počítačovej grafiky a súvisiacich technológií už mnoho rokov. Výsledkom tejto činnosti je laboratórium LIRKIS (Laboratórium inteligentných rozhraní komunikačných a informačných systémov). Toto laboratórium je jedinečné pracovisko pre výskum a vývoj nových flexibilných a inteligentných rozhraní založených na technológiách počítačovej grafiky a virtuálnej reality. Mnoho príkladov použitých v tejto publikácii (a teda v prednáškach) je pôvodným výstupom mnohých prác a projektov realizovaných v laboratóriu. Laboratórium je samozrejme prepojené aj so vzdelávacím procesom, najmä v predmete *Počítačová grafika* (PG) a *Systémy virtuálnej reality* (SVR) ale aj v predmetoch *Vývoj počítačových hier* či *Používateľské rozhrania a používateľský zážitok*. Obsah predmetu PG je daný nasledujúcimi tématickými okruhmi:

- Počítačová grafika – história, pojmy, súvislosti, aplikácie a súvisiace technológie
- Videnie, vizualizácia a vrstvy vizualizačného procesu
- Priestor, svetlo a farby
- Grafická informácia a grafické primitíva
- Priestor a objekty
- Transformácie grafických objektov
- Projekcie (premietacie transformácie)
- Krivky a plochy v počítačovej grafike
- Riešenie viditeľnosti
- Vyplňovanie a textúrovanie
- Tieňovanie, osvetľovanie a fotorealistické zobrazovanie
- Špeciálne oblasti PG

Podpora predmetu Počítačová grafika je dostupná aj v kurze *Počítačová grafika* (pg1) v rámci LMS systému Moodle na odkaze: `https://moodle.fei.tuke.sk/?lang=sk`.





Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HISTÓRIA

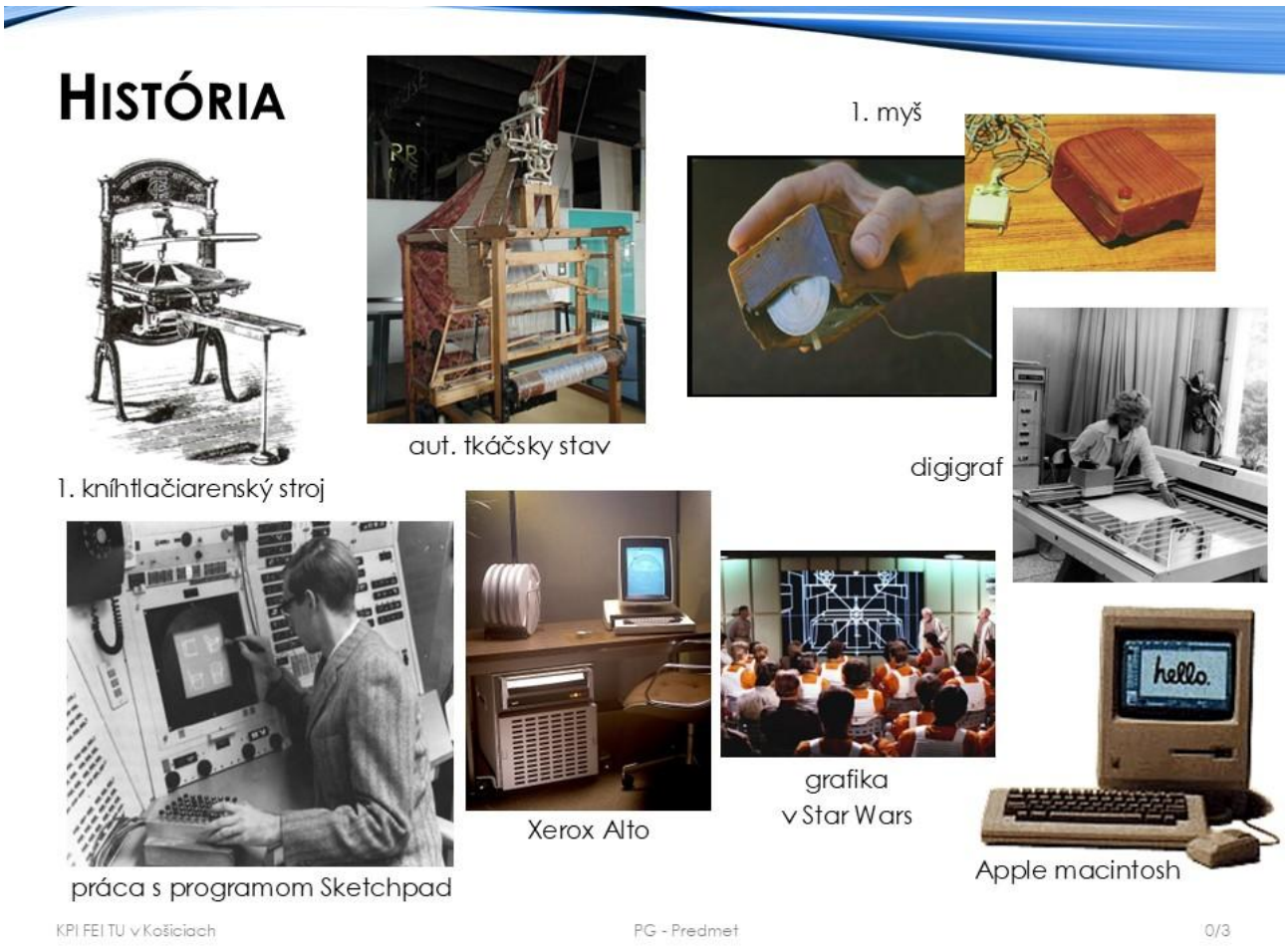
- 1444-1448 - Johannes Guttenberg – kníhtlač
- 1805-1808 - Joseph Marie Jacquard zavádza tkáčsky stav riadený diernymi štítkami
- 1943 Alan M. Turing zostrojuje elektronický počítač COLLOSSUS
- 1946 John William Mauchly a John Presper Eckert stavajú univerzálny elektronický (na báze elektróniek) počítač ENIAC
- 1951 Ivan Moscowich stavia kresliaci stroj
- 1960 pracovníci firmy Boeing zavádzajú pojem "počítačová grafika„
- 1961 Edward E. Zajac vytvára prvý film animovaný počítačom s názvom "Two-Gyro Gravity - Gradient Attitude Control System„
- 1962 Ivan Sutherland predstavuje prvý interaktívny grafický program Sketchpad ovládaný svetelným perom s výstupom na grafickú obrazovku
- 1963 je vyrobený prvý "ploter" - kresliaci stroj riadený číslicovým počítačom

KPI FEI TU v Košiciach PG - Predmet 0/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIDENIE (VISION)

je komplementárny problém, ktorý analyzuje obrazy na vytvorenie počítačových modelov sveta

VYKRESĽOVANIE (RENDERING)

je proces tvorby obrazu pomocou počítačových algoritmov alebo tiež oblasť štúdia zaoberajúceho sa syntézou obrazov z modelov sveta v počítači.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Predmet 0/4

Poznámky:

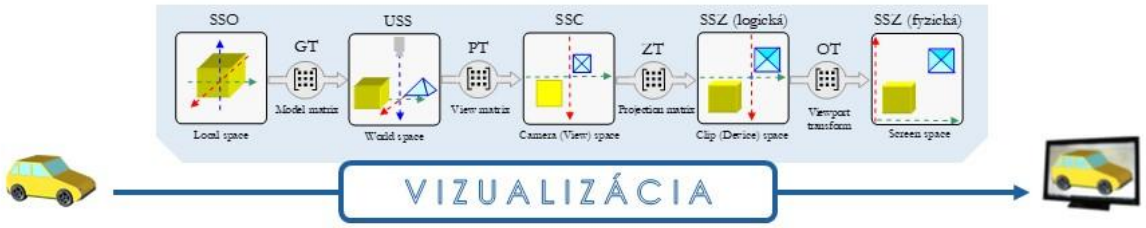
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIZUALIZÁCIA

je proces transformácie popisu modelu virtuálneho sveta do výstupného obrazu na zobrazovacom zariadení

Základnou úlohou grafických systémov je generovať grafický výstup pre pripojené zobrazovacie zariadenie



KPI FEI TU v Košiciach PG - Predmet 0/5

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami (geometrické)
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Predmet 0/6

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

1 Priestor, svetlo a farby

Človek približne 80% informácií získava zrakom. Preto svetlo a farba pri procese videnia a vizualizácii (a teda aj v počítačovej grafike) zohráva naozaj dominantnú úlohu. Tento dominantný atribút sa používa aj pri spracovaní obrazov alebo pri práci s grafickými formátmi. Svetlu a farbám preto budeme venovať úvodné slová.

Z fyzikálneho hľadiska je svetlo chápané dvojako: *časticovo* (fotóny) a ako *vlnenie*. V tomto prípade je to elektromagnetické vlnenie v oblasti 10^8 Hz. Z hľadiska farieb zodpovedá každá farba určitej frekvencii. Rozsah farieb je od červenej ($3.8x10^8$Hz, mimo viditeľného spektra pokračuje do infračervenej oblasti) po fialovú ($7.8x10^8$Hz, mimo viditeľného spektra pokračuje do ultrafialovej oblasti). V rámci viditeľného spektra je človek schopný rozlíšiť viac ako $4x10^5$ rôznych farieb a ich odtieňov. Podľa frekvencie, ktorú vysiela svetelný zdroj je možné svetlo rozdeliť na:

- *achromatické svetlo* - tomuto svetlu sa hovorí tiež biele svetlo a obsahuje všetky farby (typický zdroj je slnko). Kombinácia frekvencií odrazených od telies vytvára v podstate farbu telies. Ak prevláda frekvencia z určitej oblasti spektra, hovoríme o dominantnej frekvencii.
- *monochromatické svetlo* - je svetlo len jednej farby (napr. červenej).

Svetlo je charakterizované niekoľkými svojimi atribútmi:

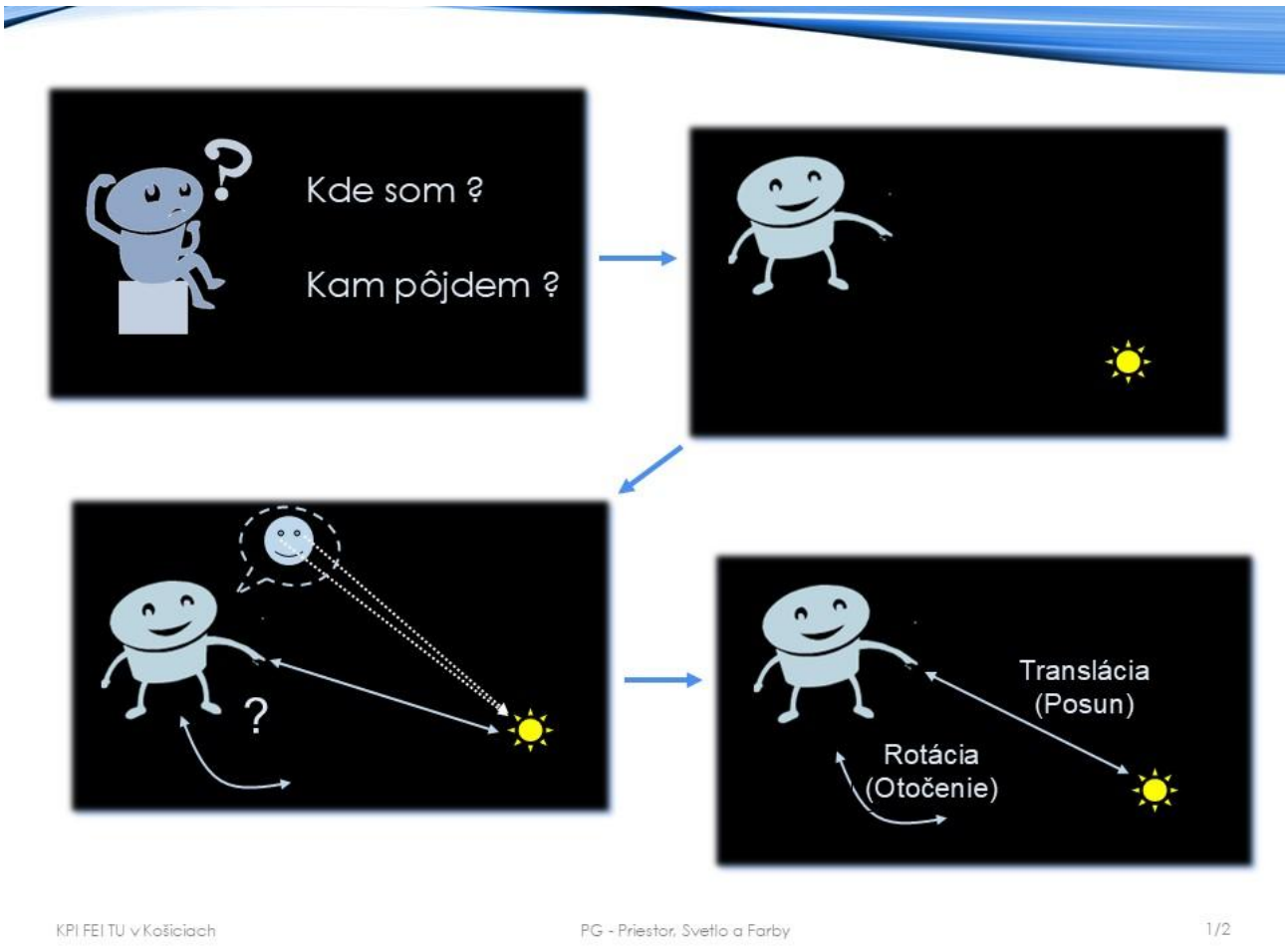
- *farba* - základný atribút svetla a závisí od už spomínaj frekvencie (resp. vlnovej dĺžky),
- *jas* - odpovedá vlastne intenzite svetla, jasnosť zdroja svetla je v priamej úmere s intenzitou,
- *sýtosť* - sýtosť farby uvádza jej čistotu, čím vyššia je sýtosť, tým užšie je spektrum frekvencií obsiahnutých vo svetle,
- *svetlosť* - je vlastne veľkosť achromatickej zložky vo svetle s určitou dominantnou frekvenciou.

Dôležitým faktorom je aj skladanie farieb. Je otázka, či existujú určité základné farby, pomocou skladania ktorých by sa vytvorili všetky ostatné. Existujú však tzv. komplementárne farby, ktorých kombináciou získame biele svetlo. Pre skladanie viacerých farieb bol vytvorený štandard vo forme chromatického diagramu. Avšak spomínaný chromatický diagram neurčuje z akých bázických farieb sa ostatné budú skladať ani ich pomer. Toto určujú farebné modely, o ktorých bude tiež pojednané v tejto kapitole.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



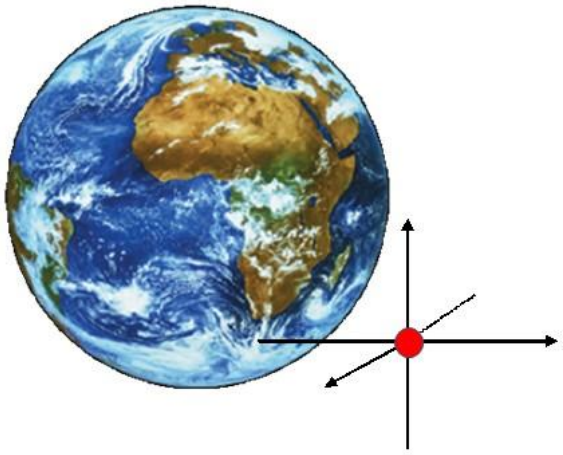
Poznámky:

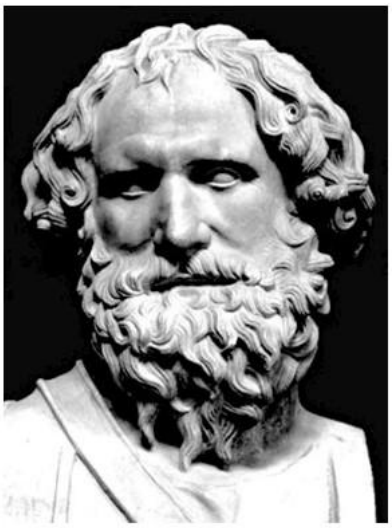
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRIESTOR A SÚSTAVY

„Dajte mi pevný bod a ja pohnem zemou.“





Archimedes
287-212 p.n.l.
Syrakúzy

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/3

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

DIMENZIA (ROZMER) PRIESTORU

Dimenzia je založená spravidla na *fyzikálnej veličine* (jednotke, primárne merateľnej) reprezentujúcu daný priestor alebo jeho zložku. Najčastejšie sa používajú základné a prípadne doplnkové alebo odvodené fyzikálne jednotky. Koncept dimenzie nie je obmedzený na fyzické priestory. Vo fyzike a matematike je rozmer matematického priestoru (alebo objektu) neformálne definovaný ako minimálny počet parametrov (koordinát, súradníc) potrebných na špecifikáciu akéhokoľvek bodu v ňom. Vysokorozmerné priestory často vyskytujúce sa v matematike a prírodných vedách môžu byť priestory parametrov alebo konfiguračné priestory, ako napríklad v Lagrangovej alebo Hamiltonovej mechanike, sú to abstraktné priestory, nezávislé od fyzického priestoru, v ktorom žijeme.

Typy dimenzií:
- Číselná
- Nečíselná

Druhy dimenzií:
- Topologická
- Hausdorffova
- Farebná
- Fraktálna
- dimenzia sebepodobnosti
- Kapacitná
- Informačná
- dimenzia Rotácií
- ...

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/4

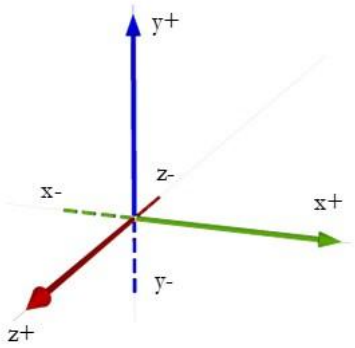
Poznámky:

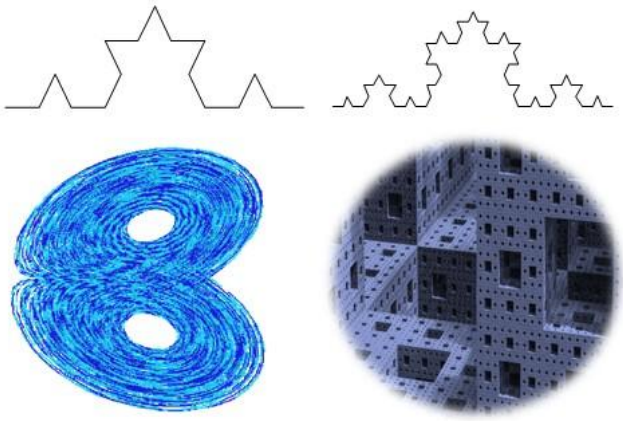
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ČÍSELNÁ DIMENZIA (ROZMER) PRIESTORU

- ***Celočíselná*** (topologická) dimenzia (0,1,2,3,4 ....), celočíselná metrika
- ***Neceločíselná*** dimenzia (2.6 a pod.)





KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/5

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ŠTRUKTÚRA DIMENZIE (ROZMERU) PRIESTORU

$$D(imenzia) = M + N + \ldots$$

veličina 1

veličina 2

veličina n

Príklad štruktúry 3 hodnotovej dimenzie:
3 = 3 + 0 (geometria + čas) – *homogénna štruktúra*
3 = 2 + 1 (geometria + čas) – *nehomogénna štruktúra*

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/6

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRIESTOR A JEHO KOORDINAČNÝ SYSTÉM
SÚRADNICOVÁ SÚSTAVA

- *Koordinačný systém* (súradnicová sústava) umožňuje parametrizovať priestor a definovať jeho počiatočný bod (stred koordinačného systému, origin) a smery rozvoja fyzikálnej veličiny v príslušnej dimenzii priestoru popisovaného koordinačným systémom (jeho osi).
- *Súradnice* (parametre, koordináty) definujú jednoznačne polohu v rámci koordinačného systému podľa charakteru a štruktúry dimenzií priestoru

Tak je položený základ systematickému popisu pohybu a orientácie v akomkoľvek priestore

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/7

Poznámky:

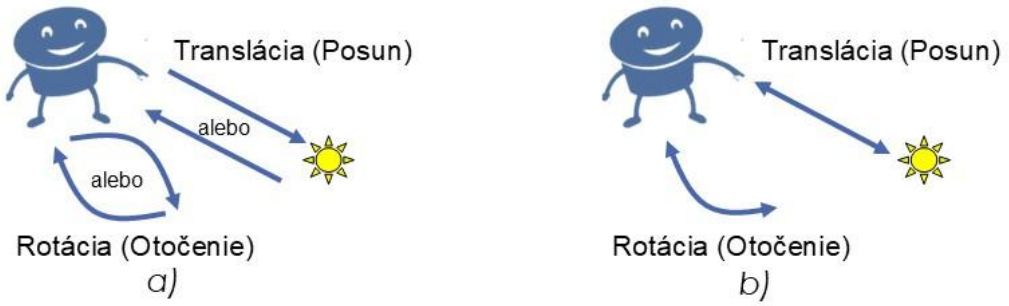
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

STUPEŇ VOĽNOSTI DIMENZIE
DEGREE OF FREEDOM – DOF

Stupeň voľnosti (Degree of Freedom – DOF) dimenzie je počet nezávislých parametrov, ktoré definujú konfiguráciu priestoru/objektu alebo stav v príslušnom koordinačnom systéme. DOF definuje počet translačných (T) a rotačných (R) (vrátane napr. času v heterogénnych štruktúrach) smerov, v ktorých sa môže objekt pohybovať:

a) *Jednosmerné* vzhľadom na dimenziu (len v jednom smere dimenzie)
b) *Obojsmerné* vzhľadom na dimenziu (v oboch smeroch dimenzie)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/8

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

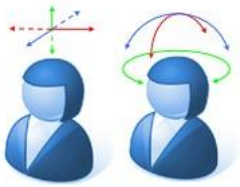
Zaujímavé URL:

STUPEŇ VOĽNOSTI V 3D PRIESTORE

Poloha *n*-rozmerného tuhého telesa je definovaná tuhou transformáciou:

$$[T] = [A, d]$$

kde *d* je *n*-rozmerná translácia a *A* je matica rotácie $n \times n$.



Stupeň voľnosti systému možno považovať za minimálny počet súradníc potrebných na špecifikáciu konfigurácie. Aplikovaním tejto definície máme:

- Pre jednu časticu v 2D priestore dve súradnice definujú jej polohu, takže má dva stupne voľnosti
- Jedna častica v 3D priestore vyžaduje tri súradnice, takže má tri stupne voľnosti
- Dve častice v priestore majú spolu šesť stupňov voľnosti.

Jedno pevné teleso (v 3D) má najviac šesť stupňov voľnosti (6 DOF) 3T3R pozostávajúce z troch posunov (3T) a troch rotácií (3R).

3DOF vs. 6DOF

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/9

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POPIS A REPREZENTÁCIA PRIESTOROV

Pri spracovaní priestorov sú zaujímavé dve hľadiská:

- popis priestoru (čím, napr. vektor RGB[35,177, 89])
- reprezentácia priestoru (ako (formát), RGB kocka, HLS kužeľ a pod.)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/10

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

DUALITA PRIESTOROV

Princíp duality priestorov hovorí, že každý výrok z hľadiska prvého priestoru zostáva pravdivý, keď je možné zameniť dva rôzne objekty v oboch priestoroch tak aby boli sémanticky rovnaké (napr. slová „bod“ a „priamka“, „ležať na“ a „prechádzať“, „spojiť sa“ a „priesečník“, atď.) a tak sa získa duálny výrok v druhom priestore.

Inými slovami, princíp duality hovorí, že vo všetkých výrokoch je možné napr. zameniť pojem „bod“ pojmom „priamka“ a pojem „priamka“ pojmom „bod“ atď. a daný výrok zostáva v platnosti. Podobná dualita platí aj pre svetelné priestory alebo farebné modely napr. na vyjadrenie farby. V praxi to znamená, že tú istú farbu je možné v rôznych farebných priestoroch opísať rôzne a použiť výhodnejší spôsob.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

NÁUKY O SVETLE A FARBÁCH

- *Optika* – náuka o svetle a jeho vlastnostiach, svetelných javoch a prístrojoch
- *Chromatika* - náuka o farbách

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SVETLO A SVETELNÝ PRIESTOR

Svetelný priestor považujeme za bázický pre možnosť vnímania okolitého sveta nakoľko až 80% informácií prijíma človek zrakom.

Dve reprezentácie svetla:

- ***vlnová*** - elektromagnetické vlnenie v oblasti 380-780 nm.
- ***časticová*** – prúd častíc - fotónov

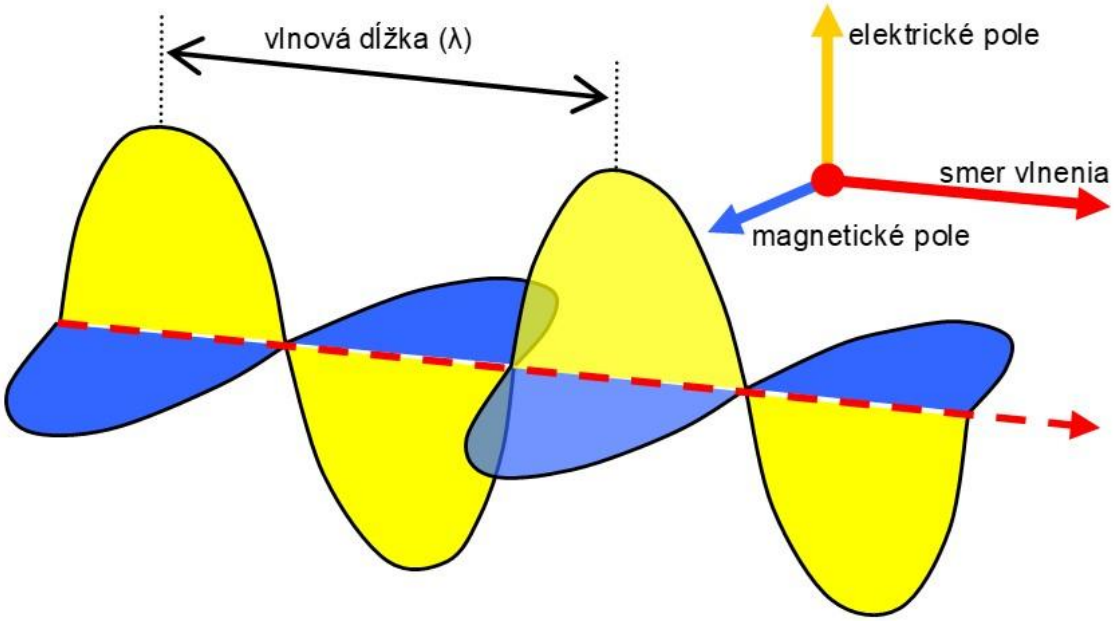
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/13

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SVETLO



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/14

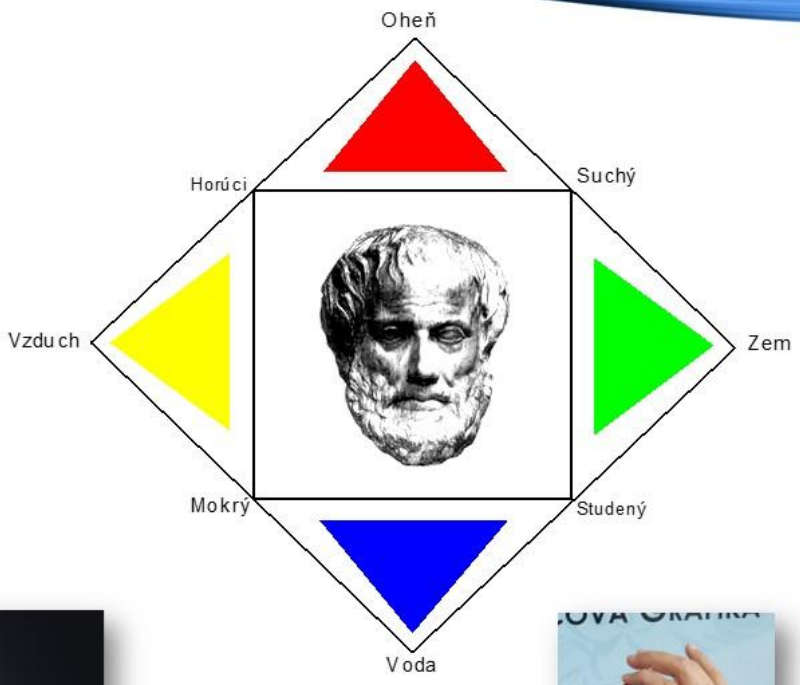
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HISTÓRIA

Aristoles, cca 300 p.n.l.



Optický hranol (prizma)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FARBY

Každá farba zodpovedá určitej vlnovej dĺžke (frekvencii) vlnenia. Rozsah farieb je:

- od ***fialovej*** (380nm), mimo viditeľného spektra pokračuje do ultrafialovej oblasti)
- po ***červenú*** (780nm), mimo viditeľného spektra pokračuje do infračervenej oblasti)

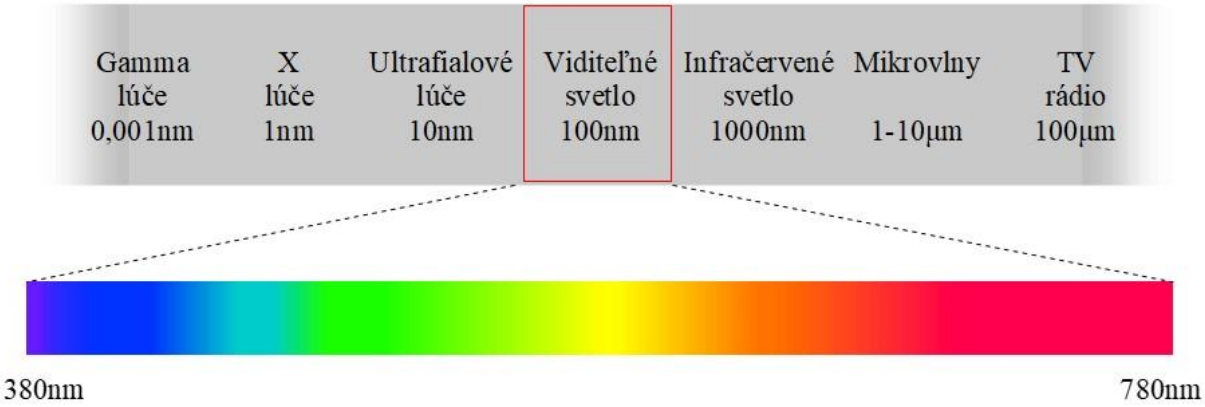
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FARBY A SVETLO



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/17

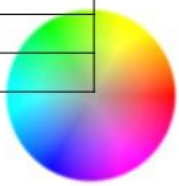
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZÁKLADNÉ FARBY A ICH VLNOVÉ DĺŽKY

Farba		Vlnová dĺžka (nm)
tmavočervená	dR	750-780
červená	R	630-750
oranžovočervená	OR	600-630
oranžová	O	590-600
žltá	Y	570-590
žltozelená	YG	550-570
zelená	G	520-550
zelenomodrá /tyrkysová	GB/C	500-520
modrozelená / azúrová	BG	480-500
modrá	B	450-480
modrofialová / indigo	BP/I	420-450
fialová, purpurová	P/M	380-420



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TYPY SVETLA

- Achromatické – viaczložkové
- Monochromatické - jednozložkové

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/19

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZÁKLADNÉ ATRIBÚTY SVETLA

- **Farba** – je základným atribútom svetla a závisí od už spomínaj ***frekvencie*** (resp. vlnovej dĺžky)
- **Jas** - odpovedá vlastne ***intenzite*** svetla. Jasnosť zdroja svetla je v priamej úmere s intezitou (amplitúdou)
- **Sýtosť** - uvádza **čistotu svetla**. Čím vyššia je sýtosť, tým užšie je spektrum frekvencií obsiahnutých vo svetle
- **Svetlosť** – je **veľkosť achromatickej zložky** vo svetle s určitou dominantnou frekvenciou.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ PRIESTOR

Oblasť farieb pokrytá možnosťami príslušného farebného modelu sa nazýva jeho ***farebný priestor*** (*color space*)

- **Gamut** je dosiahnuteľná oblasť farieb v určitom farebnom priestore. Farby, ktoré sú mimo gamutu je možné zobraziť v danom farebnom priestore iba približne.
- **Farebná hĺbka** je počet zobraziteľných farieb farebného priestoru a udáva sa v bitoch,
  - *farebné režimy* napr. *HighColor* (2^{16}), *TrueColor* (2^{24}, 2^{32})

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/21

Poznámky:

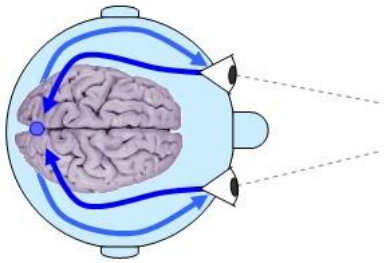
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ĽUDSKÝ VIZUÁLNY VNEM

- Hlavným ľudským orgánom prijímania obrazových informácií je ***oko***

- Hlavným ľudským orgánom spracovania obrazových informácií je ***mozog***



Týmto je determinované použitie technológií počítačovej grafiky

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/22

Poznámky:

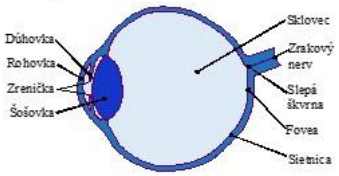
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ĽUDSKÝ VIZUÁLNY VNEM

Pri prijímaní svetla sú *stimulované (ovplyvňované)* rôzne časti oka, ale najmä *receptory* oka:

- ***Tyčinky*** - (*tyčinkovité-rods*) počet cca 75-150 mil. rovnomerne pokrývajú celú sietnicu a umožňujú vnímať všeobecné obrazové informácie ako obrysy prípadne jas.
- ***Čapíky*** – (*kužeľovité-cones*) počet cca 6-7 mil. sa nachádzajú v strede sietnice a sú citlivé na farby. Senzitívnosť týchto receptorov je delená do dvoch skupín, ktoré rozlišujú farebný rozdiel spektra:
  - červená-zelená (RG-cones)
  - modrá-žltá (BY-cones)



Poznámka: Rozlíšenie ľudského oka je technicky asi 140 MPx

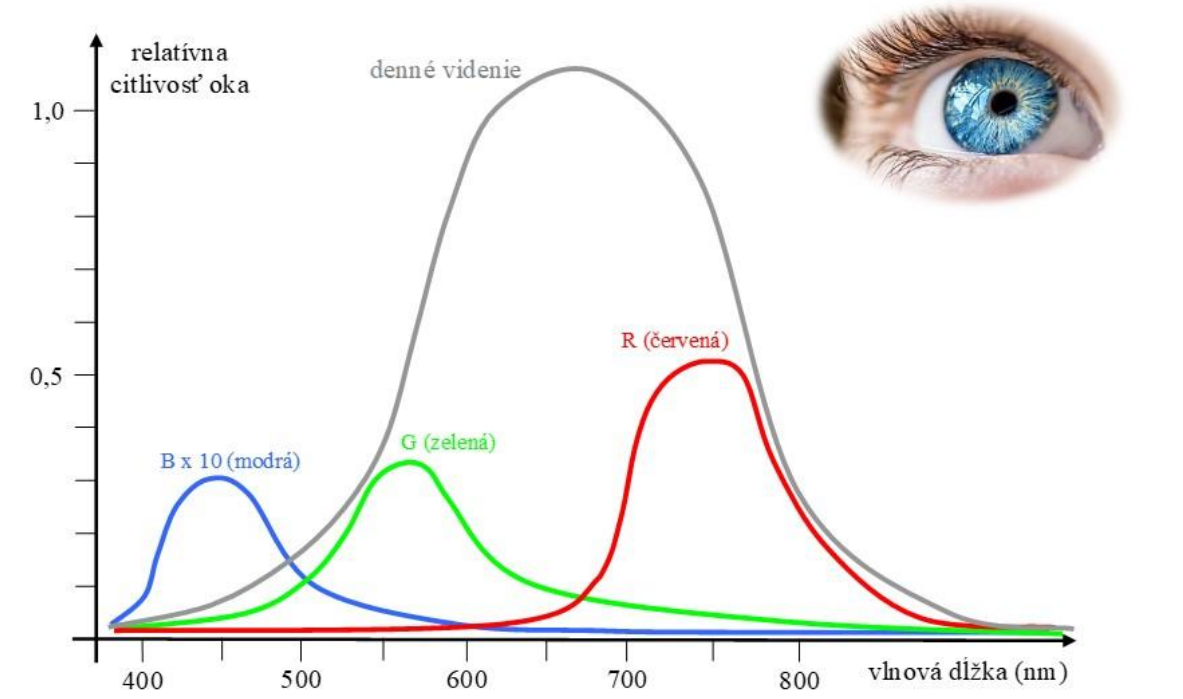
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RELATÍVNA CITLIVOSŤ ĽUDSKÉHO OKA NA FARBY (TRISTIMULUS BÁZA, SLNKO AKO REFERENČNÝ ZDROJ)



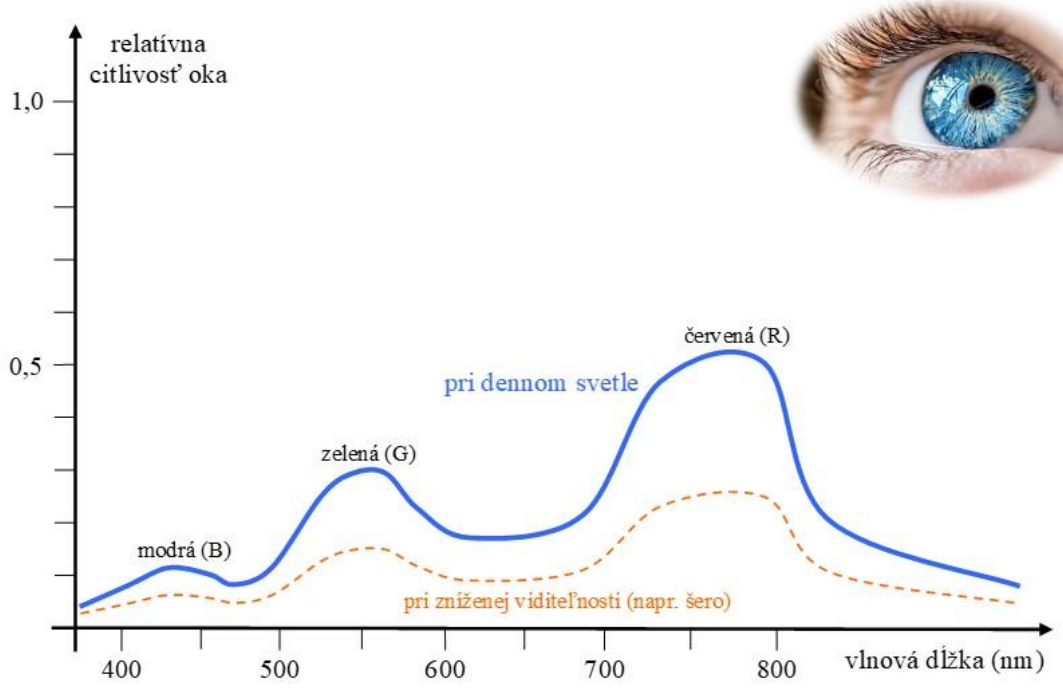
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/24

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RELATÍVNA CITLIVOSŤ ĽUDSKÉHO OKA NA PRECHODY MEDZI FARBAMI (SLNKO AKO REFERENČNÝ ZDROJ)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/25

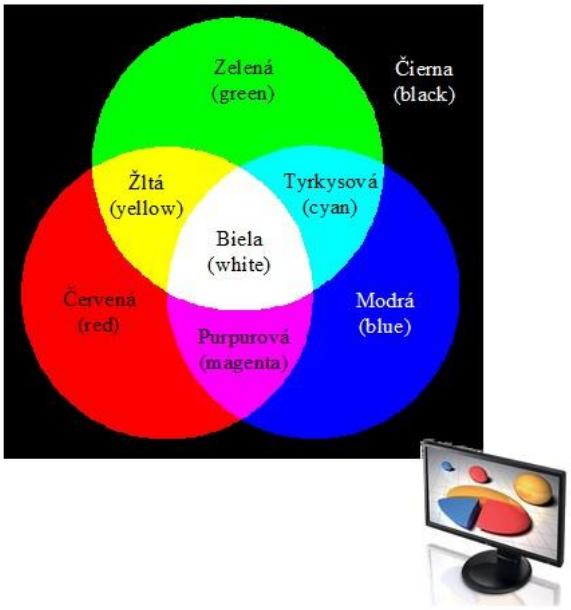
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

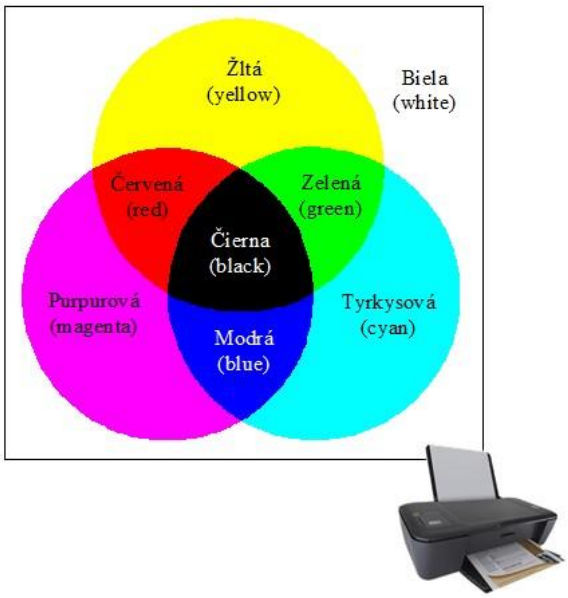
Zaujímavé URL:

MIEŠANIE FARIEB

- Aditívne miešanie



- Subtraktívne miešanie

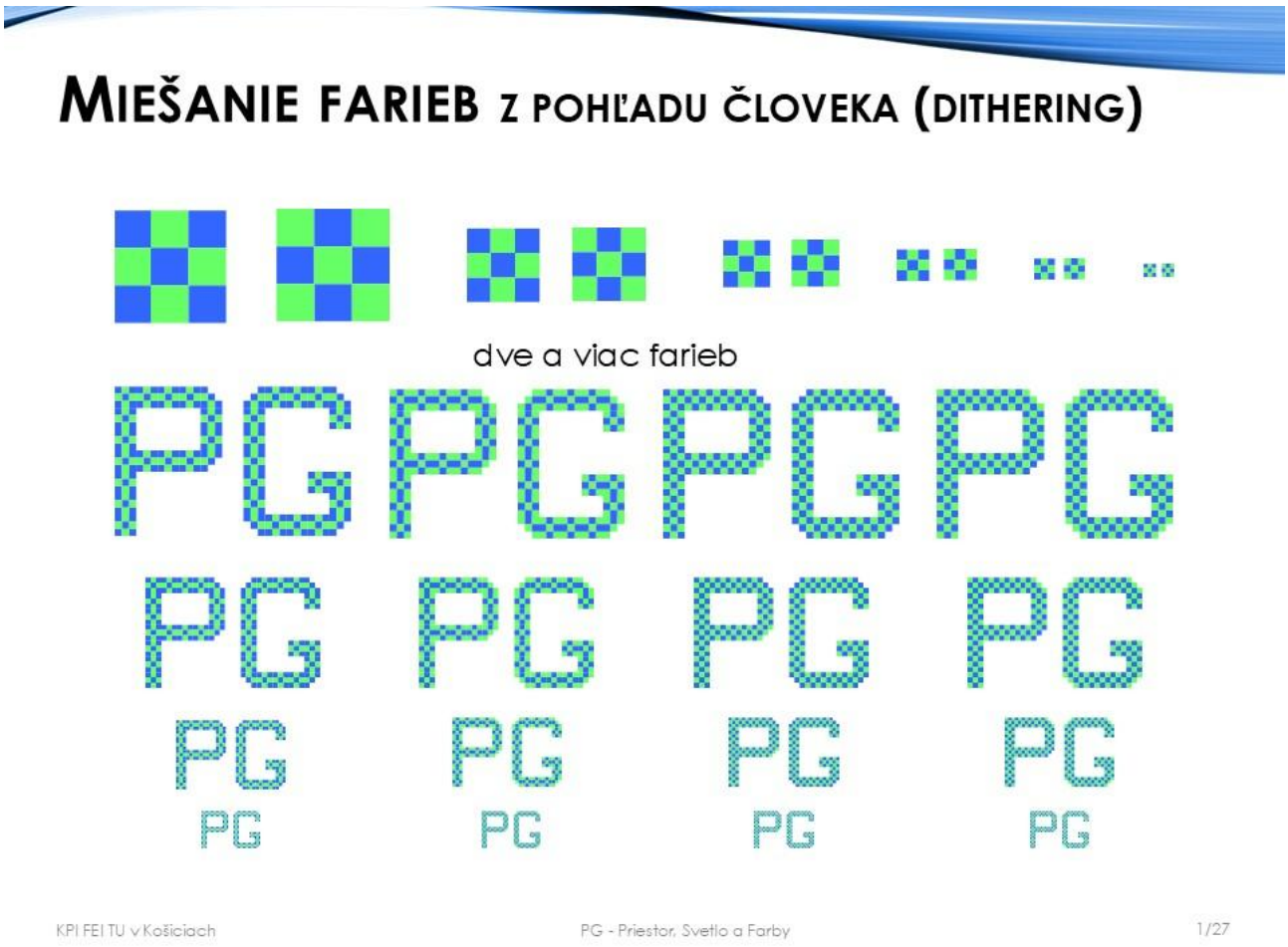


KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/26

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



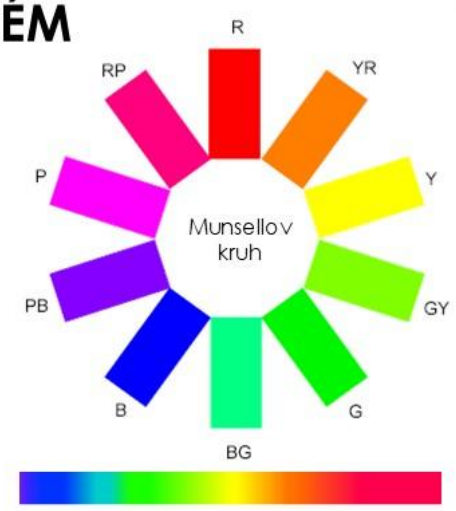
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

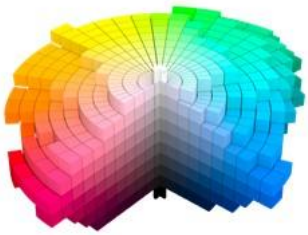
Zaujímavé URL:

MUNSELLOV FAREBNÝ SYSTÉM

Albert Henry Munsell, 1905



Tri veci sú potrebné na to, aby človek videl farby:
- svetelný zdroj (osvetlenie, illuminant)
- objekt (vzorka, sample)
- pozorovateľ/spracovateľ (observer/processor)



3D reprezentácia Munsellovho farebného systému (1943)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/28

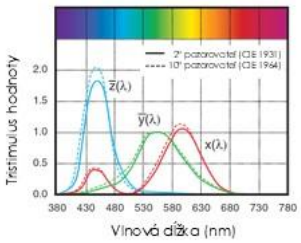
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIE CHROMATICKÝ DIAGRAM (1931, 1964, 1976)

- farebný model vyvinutý na základe štandardného pozorovateľa, ktorého farebné videnie je zástupcom ľudskej populácie s normálnym farebným videním (*CIE - Commission internationale de l'éclairage (fr.) - International Commission on Illumination (en)*).
- pre určenie farby sa používa trojzložkový (***tristimulus***) systém. Farba je určená trojicou čísel/koordinátov (*X, Y, Z*).
  - Tieto trojzložkové hodnoty udávajú množstvo každej z troch hypotetických primárnych zložiek, ktoré definujú farbu. Hodnota *Y* dáva jas objektu a primárne zložky sú vybrané tak, aby boli viditeľné farby definované ako pozitívne hodnoty.



Tristimulus koncept štandardného pozorovateľa založený na priemernej ľudskej reakcii na vlnové dĺžky svetla (štandardný pozorovateľ predstavuje to, ako vidí priemerný človek farby vo viditeľnom spektre.)

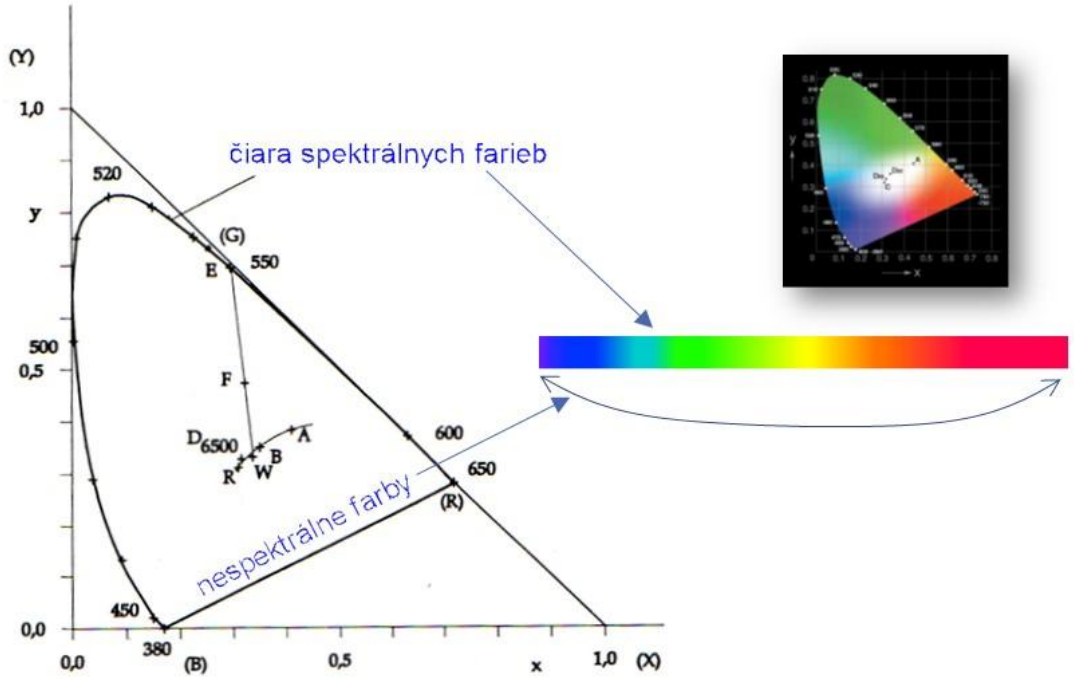
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIExy Chromatický diagram (1931)
Základná konštrukcia



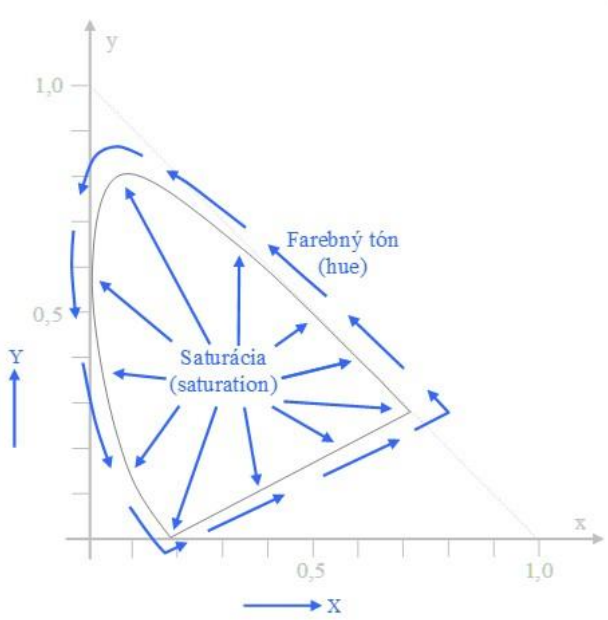
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/30

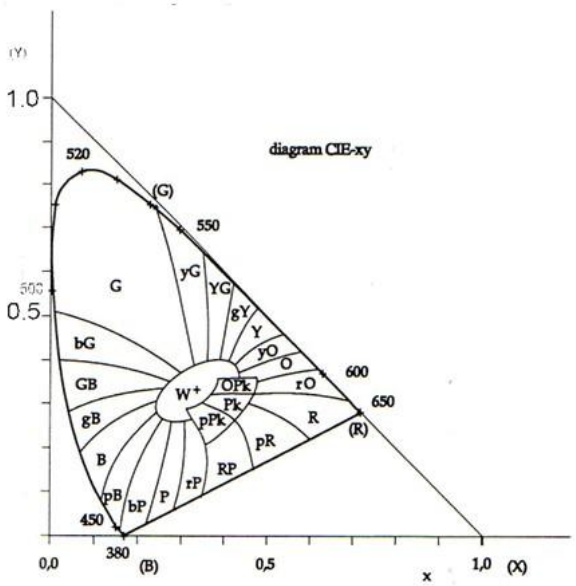
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIExy Chromatický diagram (1931)
Základná konštrukcia





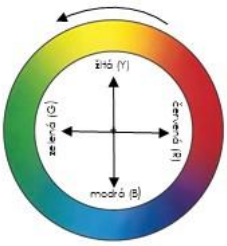
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ODTIEŇ A SATURÁCIA

- *Odtieň* – (farebný tón, Hue) je spôsob, akým vnímame farbu objektu - červená, oranžová, zelená, modrá atď. Definuje spôsob popisu prechodu medzi jednotlivými farbami. Najčastejšie sa používa uzavretý kruhový cyklický spôsob.



- *Saturácia* – (chroma, chromacity) - popisuje živosť alebo nevýraznosť farby t.j. ako blízko je farba k sivej alebo čistému odtieňu. Farby v strede sú sivé (matné) a sýtejšie (živšie), keď sa pohybujú smerom k obvodu.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/32

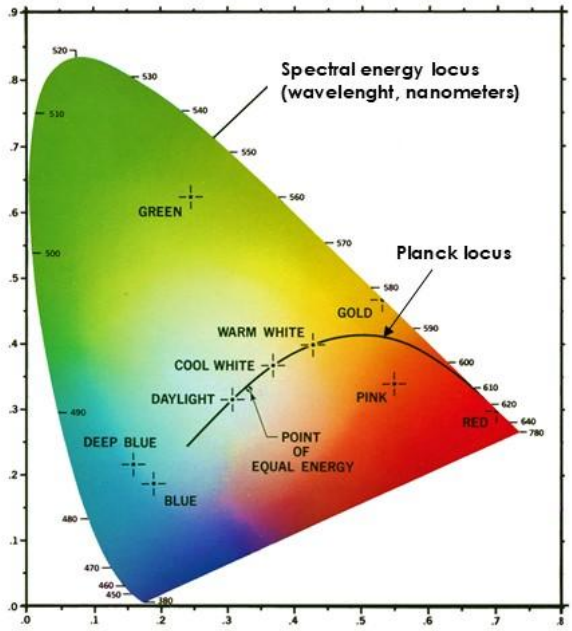
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIE - CHROMATICKÝ DIAGRAM (1931, 1964, 1976)

UNIFORM CHROMATICITY SCALE DIAGRAM



Planckov lokus alebo **lokus čierneho telesa** - dráha alebo lokus, ktorým by sa uberala farba rozžeraveného čierneho telesa v určitom farebnom priestore pri zmene teploty čierneho telesa. Prechádza od sýtočervenej pri nízkych teplotách cez oranžovú, žltkastobielu, bielu a nakoniec modrobielu pri veľmi vysokých teplotách.

Teplota farieb

1800°K 4000°K 5500°K 8000°K 12000°K 16000°K

Príklady farebných teplôt rôznych svetelných zdrojov (napr. mesiac a zrkadlo nie sú zdroje svetla):

1200°K : sviečka
2800°K : žiarovka
3000°K : štúdiové osvetlenie
5000°K : denné svetlo, žiarivka
5500°K : fotografické blesky
6000°K : jasné poludňajšie svetlo
7000°K : mierne zamračená obloha
8000°K : oblačno, hmlisto
10 000°K: veľmi zamračená obloha

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/33

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIEXYZ CHROMATICKÝ DIAGRAM (1964, 1976)

- ***CIELAB*** – (*svetlo absorbované*; atramenty, farbivá, pigmenty) reprezentuje popis farebného priestoru založený na subtraktívnom miešani.
  - CIE L*a*b* (L- lightness, a = red-green, b=blue-yellow)
- ***CIELUV*** – (*svetlo emitované*; fosfor, farebné svetelné zdroje) reprezentuje popis farebného priestoru založený na *aditívnom* miešaní
  - CIE L*C*h° (L-lightness, C = chroma (saturácia), h = hue (farebný tón)

Škála svetlosti (jasnosti) je pre oba modely rovnaká a je založená na tretej odmocnine svietivosti, ktorý dáva lineárna stupnica

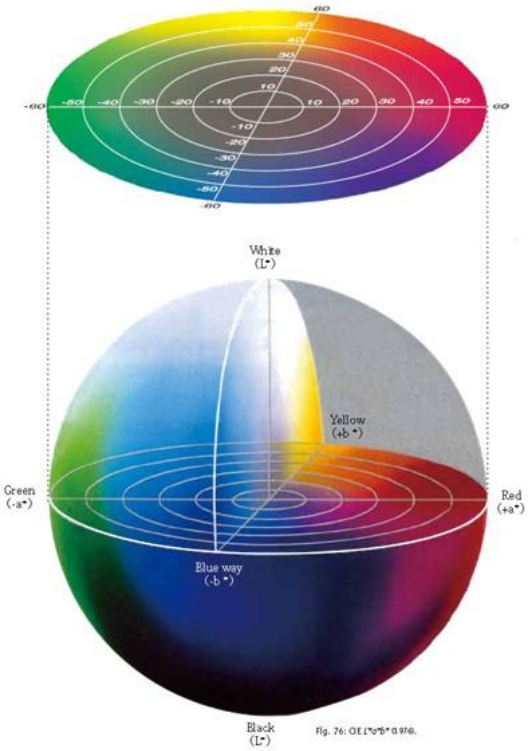
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/34

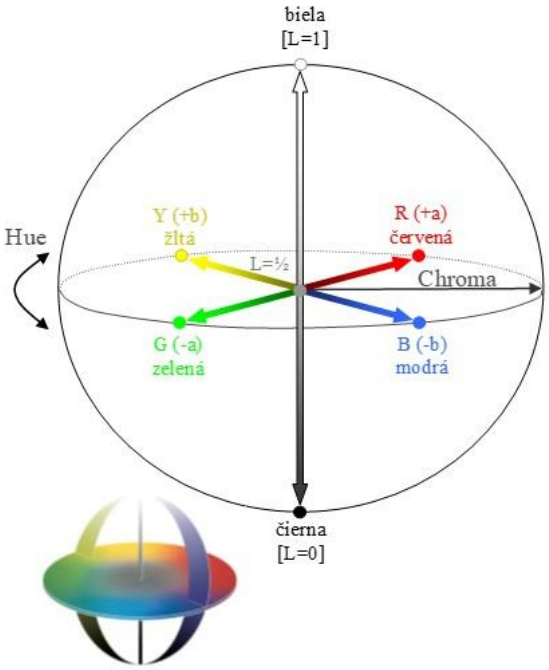
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIELAB CHROMATICKÝ DIAGRAM





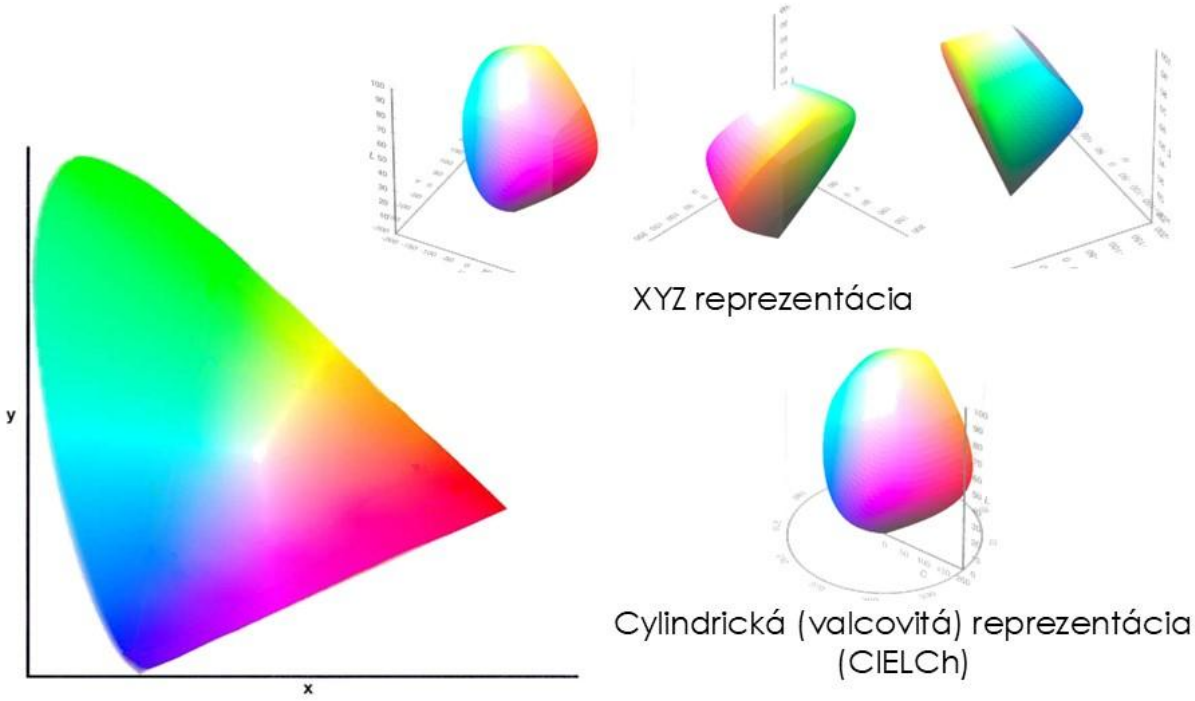
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/35

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CIELUV CHROMATICKÝ DIAGRAM



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/36

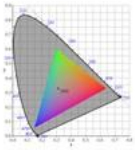
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

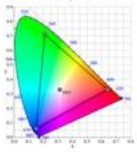
Zaujímavé URL:

ĎALŠIE FAREBNÉ PRIESTORY

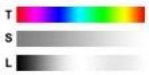
- *sRGB* je štandardný farebný priestor RGB (červená, zelená, modrá), ktorý spoločnosti HP a Microsoft vytvorili v spolupráci v roku 1996 na použitie na monitoroch, tlačiarňach a web-e (zvyčajne je to predpokladaný farebný priestor pre obrázky, ktoré nie sú označené pre iný farebný priestor ani nemajú vložený farebný profil).



- *Adobe RGB* (opRGB) je farebný priestor vyvinutý spoločnosťou Adobe Systems, Inc. (1998). Zahŕňa väčšinu farieb (50 % viditeľných farieb špecifikovaných farebným priestorom CIELAB) dosiahnuteľných na farebných tlačiarňach CMYK, ale použitím primárnych farieb RGB na zariadení, ako je napr. počítačový displej.



- *TSL* (Tint, Saturation and Lightness) je percepčný farebný priestor vyvinutý predovšetkým na účely detekcie tváre, ktorý definuje farbu ako
  - *odtieň* (miera, do akej možno stimul opísať ako podobný alebo odlišný od iných stimulov, ktoré sú opísané ako červená, zelená, modrá, žltá, a biela, možno si predstaviť ako odtieň s pridanou bielou),
  - *sýtosť* (farebnosť stimulu v pomere k jeho vlastnému jasu) a
  - *svetlosť* (jas stimulu v porovnaní so stimulom, ktorý sa v podobných podmienkach zobrazenia javí ako biely).



- *NCS* (Systém (priestor) prirodzených farieb) je patentovaný percepčný farebný priestor (model) založený na fenomenológii ľudského vnímania a nie na miešaní farieb (definuje ho farebný atlas) Je založený na troch pároch základných farieb (biela-čierna, zelená-červená a žlto-modrá) a definované farebnou opozíciou. Navrhnutý bol nemeckým fyziológom Ewaldom Heringom a udržiavaný je švédskou nadáciou Color Center Foundation.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/37

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÉ MODELY

sú definované (v rámci farebnej dimenzie):

- množinou základných farieb,
- spôsobom ich miešania a
- pravidlami menenia farebných charakteristík

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/38

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZÁKLADNÉ FAREBNÉ MODELY

- RGB (RGBA)
- CMY (CMYK)
- HSB (HSV)
- HLS

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/39

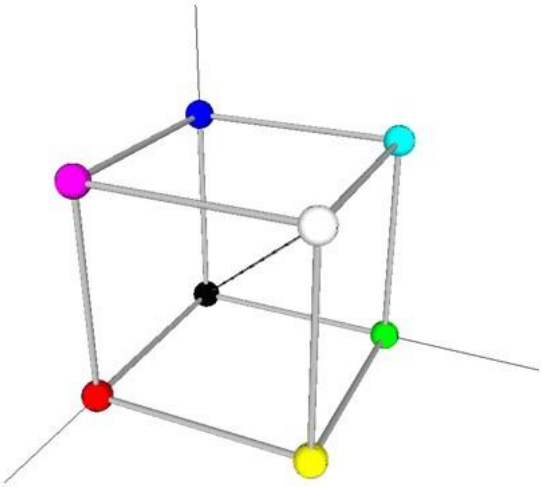
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGB

- Zložky
  - **R**ed – červená
  - **G**reen – zelená
  - **B**lue – modrá
- Miešanie: aditívne
- Zmena zložky: lineárna



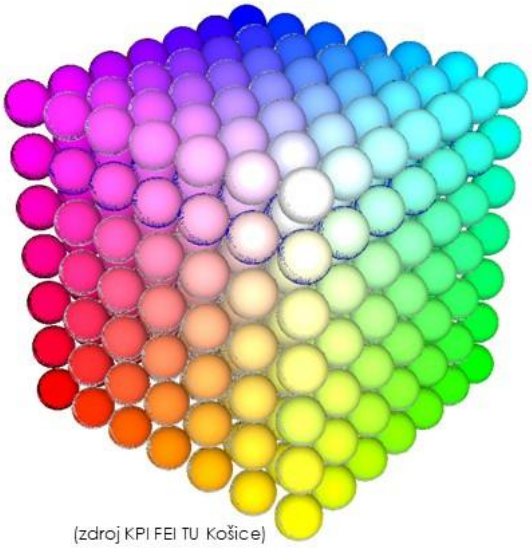
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/40

Poznámky:

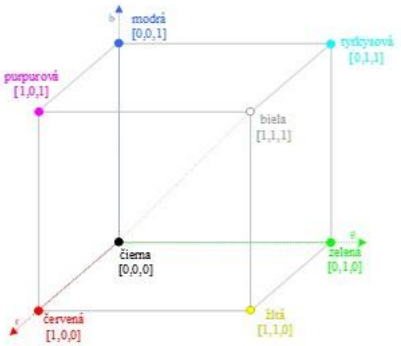
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGB



(zdroj KPI FEI TU Košice)



farba \ zložka	R(ed) červená	G(reen) zelená	B(lue) modrá
čierna	0	0	0
modrá	0	0	1
zelená	0	1	0
tyrkysová (azúrová)	0	1	1
červená	1	0	0
purpurová (fialová)	1	0	1
žltá	1	1	0
biela	1	1	1

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/41

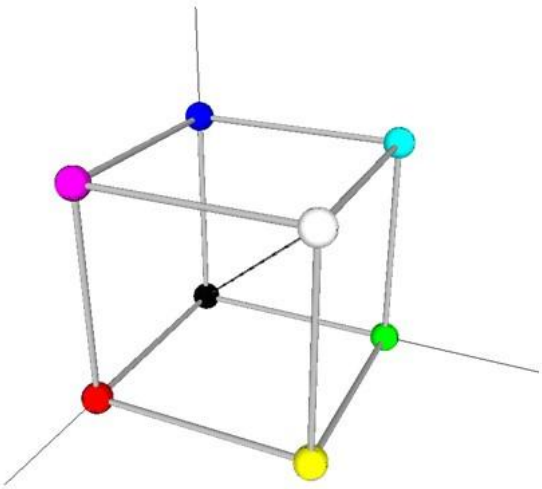
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGBA

- Zložky
  - **R**ed – červená
  - **G**reen – zelená
  - **B**lue – modrá
  - **A**lfa - priesvitnosť
- Miešanie: aditívne
- Zmena zložky: lineárna



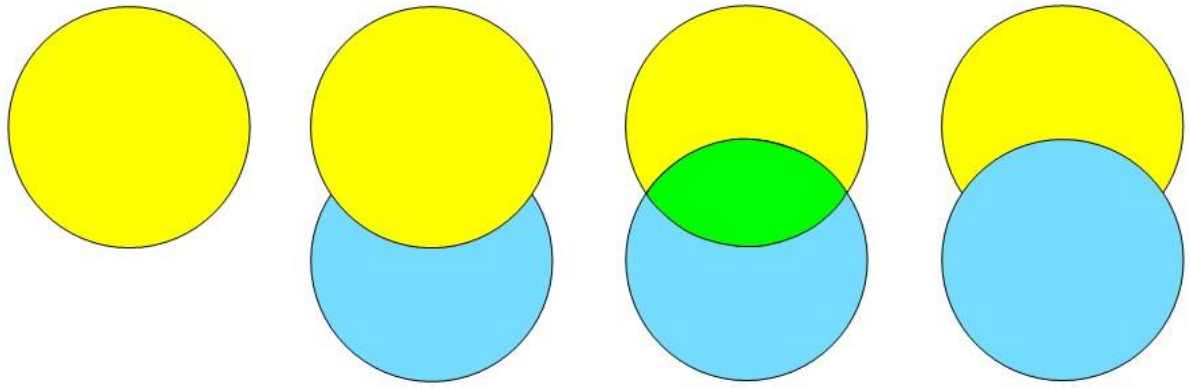
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/42

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGBA
ALFA MIEŠANIE



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGBA

ALFA MIEŠANIE - TYPY

- Trajektória prechodu farieb
  - lineárna
  - nelineárna
- Spôsob/rozdelenie prechodu farieb
  - uniformný (pravidelný)
  - neuniformný (nepravidelný)
    - exponenciálny
    - logaritmický
    - ...

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/44

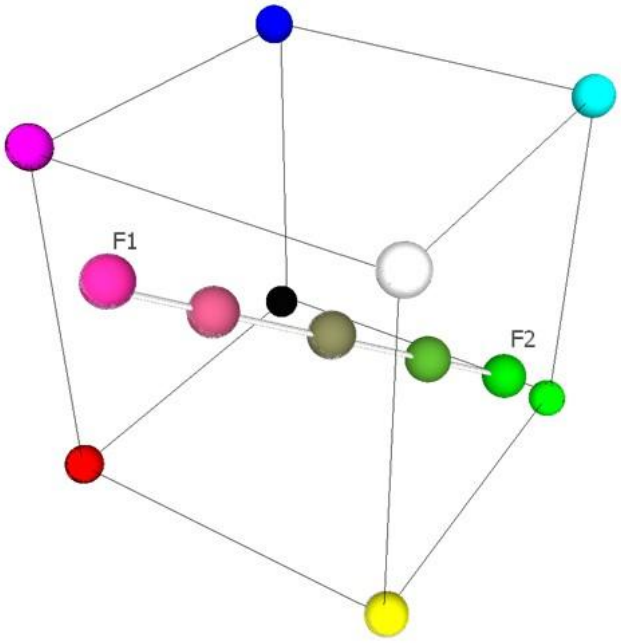
Poznámky:

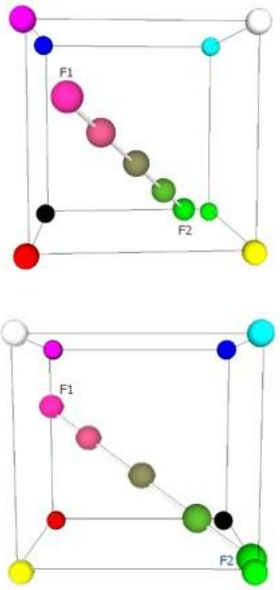
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGBA

ALFA MIEŠANIE – LINEÁRNE (LINEÁRNA TRAJEKTÓRIA), RGB PRIESTOR





(zdroj KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/45

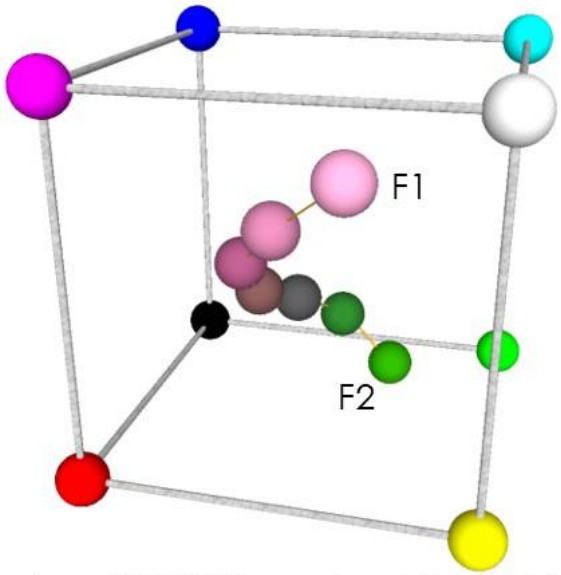
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

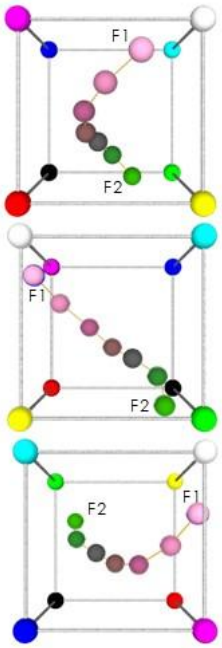
Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL RGBA

ALFA MIEŠANIE - NELINEÁRNE, RGB PRIESTOR



nelineárny (NURBS) prechod (trajektória) F(arba)1-F(arba)2 pri alfa miešaní, RGB priestor



(zdroj KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/46

Poznámky:

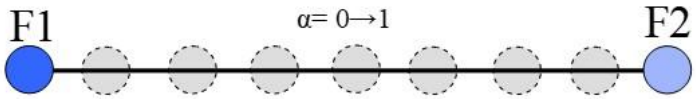
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

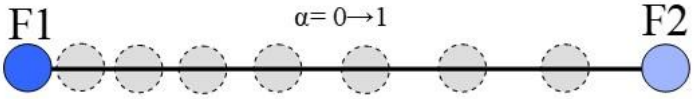
FAREBNÝ MODEL RGBA

ALFA MIEŠANIE – PRÍKLADY SPÔSOBOV PRECHODU FARIEB

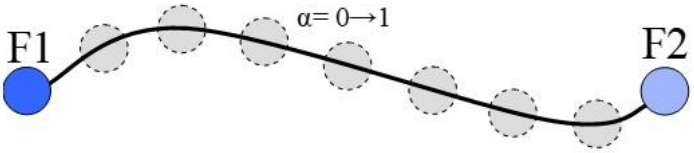
- lineárne, uniformné



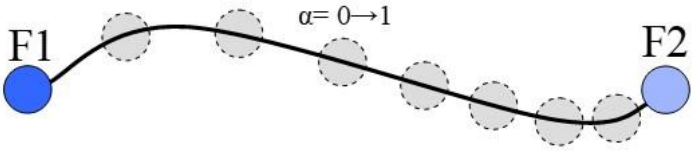
- lineárne, exponenciálne



- nelineárne, uniformné



- nelineárne, logaritmické



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/47

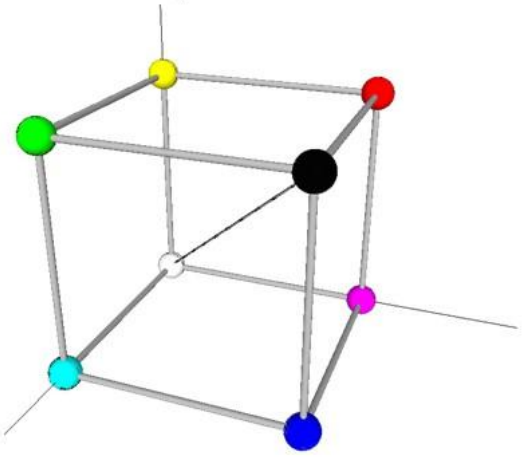
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL CMY

- Zložky
  - **C**yan – tyrkysová (azúrová)
  - **M**agenta – purpurová (fialová)
  - **Y**ellow – žltá
- Miešanie: subtraktívne
- Zmena zložky: lineárna



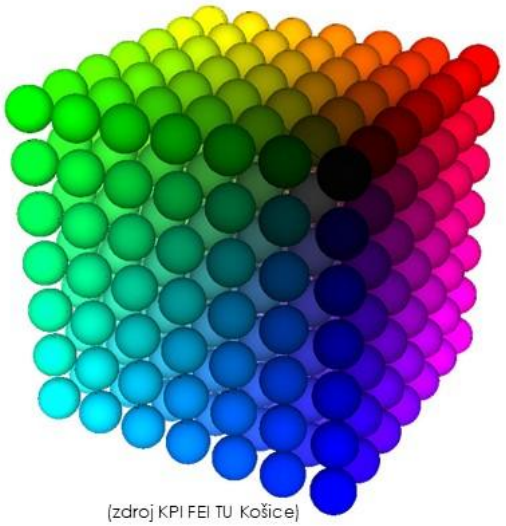
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/48

Poznámky:

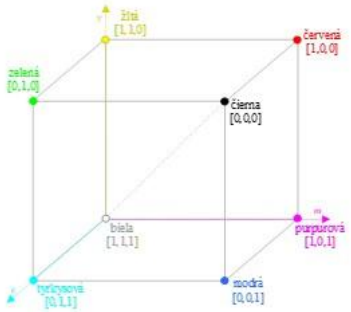
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL CMY



(zdroj KPI FEI TU Košice)



zložka / farba	C(yan) tyrkysová	M(agenta) purpurová	Y(ellow) žltá
biela	0	0	0
žltá	0	0	1
purpurová (fialová)	0	1	0
červená	0	1	1
tyrkysová (azúrová)	1	0	0
zelená	1	0	1
modrá	1	1	0
čierna	1	1	1

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/49

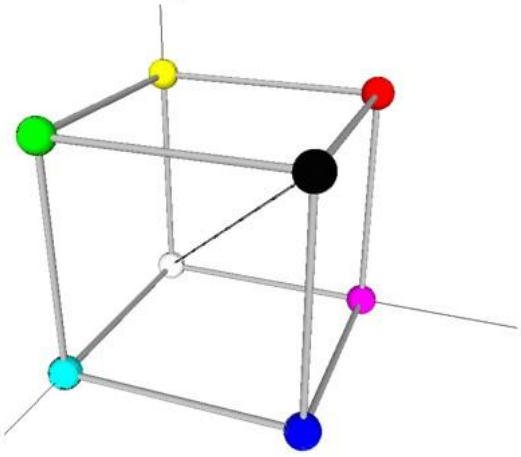
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL CMYK

- Zložky
  - **C**yan – tyrkysová (azúrová)
  - **M**agenta – purpurová (fialová)
  - **Y**ellow – žltá
  - blac**K** - čierna
- Miešanie: subtraktívne
- Zmena zložky: lineárna



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/50

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PREVOD RGB ↔ CMY

RGB → CMY

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CMY → RGB

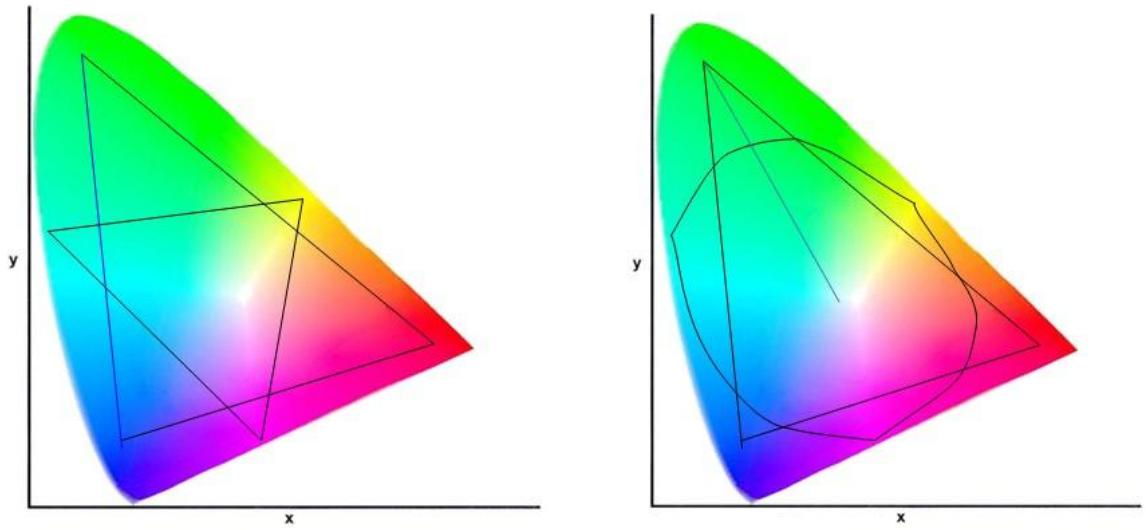
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POROVNANIE RGB A CMY FAREBNÉHO PRIESTORU



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/52

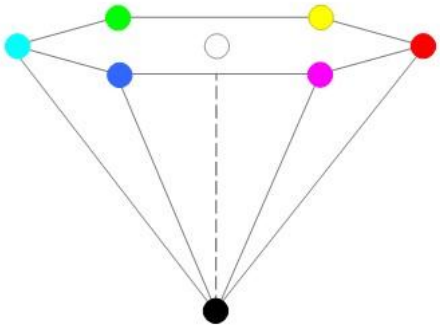
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL HSB (HSV)

- Zložky
  - **H**ue – farebný tón
  - **S**aturation – saturácia
  - **B**rightness – jas (value)



- Miešanie: aditívne
- Zmena zložky: uhlová a lineárna

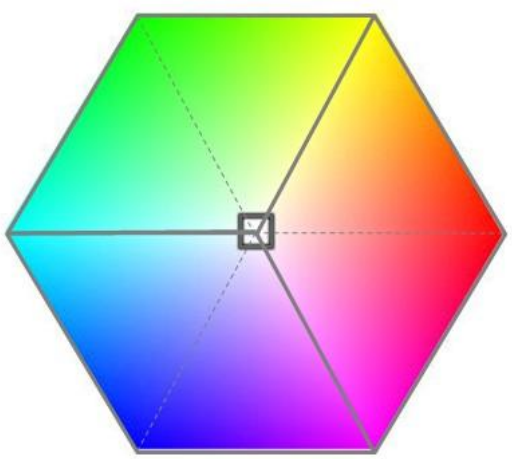
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/53

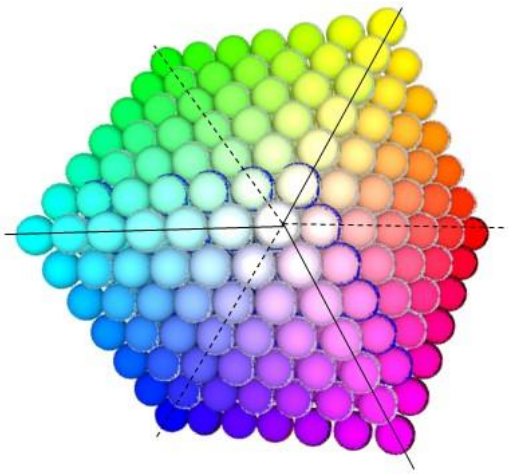
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL HSB (HSV)





RGB priemet do roviny kolmej k šedej diagonále (0,0,0) - (1,1,1)

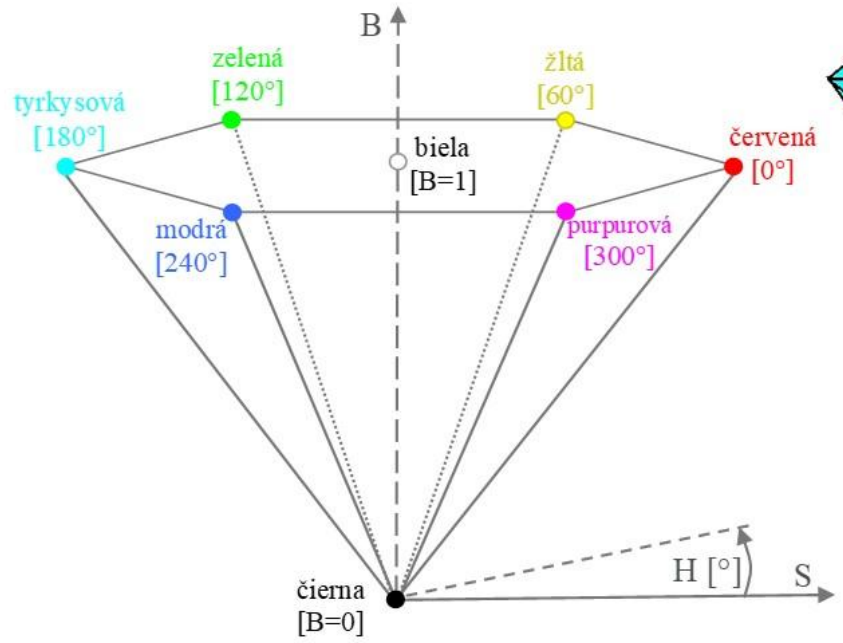
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/54

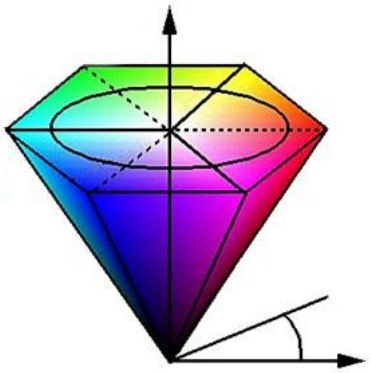
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL HSB (HSV)





KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/55

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PREVOD RGB ↔ HSB (HSV)

RGB → HSB (HSV)

1. max=max(R,G,B)
2. min=min(R,G,B)
3. delta=max-min
4. V=max
5. ak max==0 S=0 inak S=(max-min)/max
6. ak prevláda zložka R: H=(G-B)/delta
7. ak prevláda zložka G: H=2+(B-R)/delta
8. ak prevláda zložka B: H=4+(R-G)/delta
9. H=H*60, ak H je záporné číslo: H=H+360

HSB (HSV) → RGB

1. ak S==0, R=V, G=V, B=V, koniec
2. inak H=H/60
3. i=celá časť H, f= zvyšok po delení H
4. p=V*(1-S), q=V*(1-(S*f)), t=V*(1-(S*(1-f)))
5. ak i==0 R=V, G=t, B=p
6. ak i==1 R=q, G=V, B=p
7. ak i==2 R=p, G=V, B=t
8. ak i==3 R=p, G=q, B=V
9. ak i==4 R=t, G=p, B=V
10. ak i==5 R=V,G=p, B=q

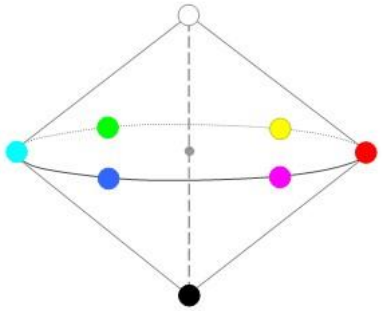
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL HLS

- Zložky
  - **H**ue – farebný tón
  - **L**ightness – svetlosť
  - **S**aturation – saturácia



- Miešanie: aditívne
- Zmena zložky: uhlová a lineárna

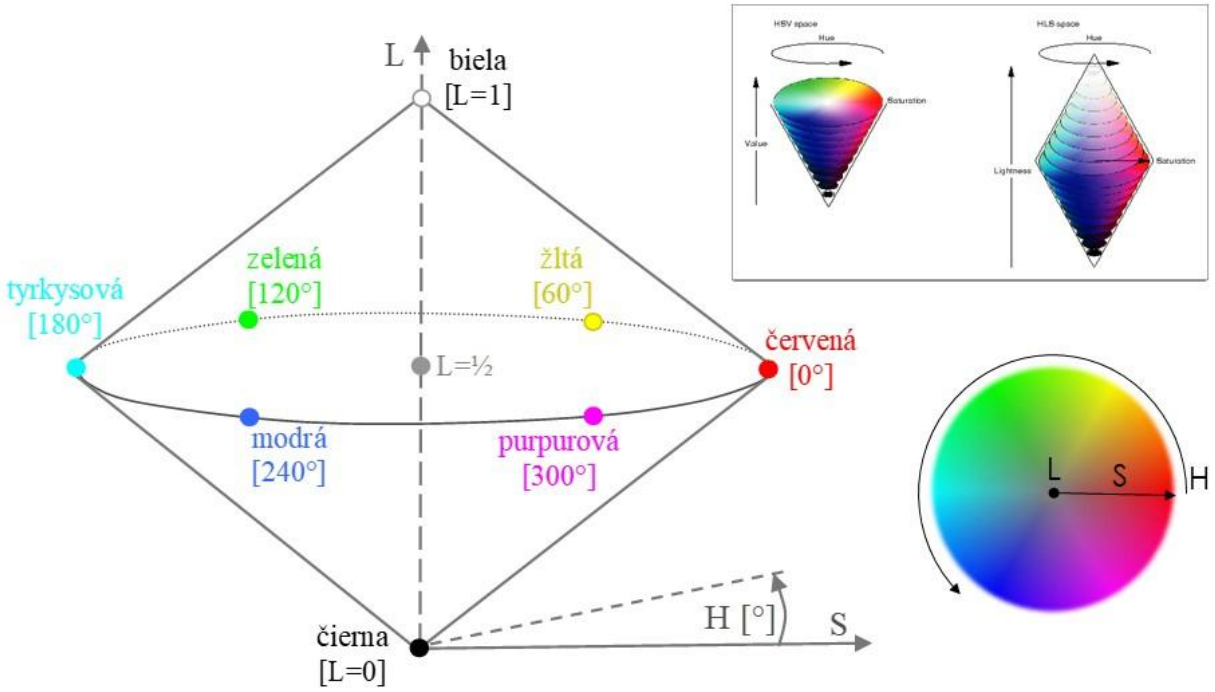
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/57

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ MODEL HLS



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/58

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PREVOD RGB → HLS

1. minim=min(R,G,B)
2. maxim=max(R,G,B)
3. L=(minim+maxim)/2
4. ak L==1, H=0, S=0, koniec //biela farba
5. ak minim==maxim, S=0, H=0, koniec //odtiene šedej
6. inak S=(1-minim)/(1-L)-1
7. ak L > 0.5
   R2=1+(R-1)/(2-2L)
   G2=1+(G-1)/(2-2L)
   B2=1+(B-1)/(2-2L)
   inak R2=R, G2=G, B2=B
8. ak prevláda zložka R: ak G2 > B2, H=G2/B2 inak H=6-B2/G2
9. ak prevláda zložka G: ak R2 > B2, H=2-R2/G2 inak H=2+B2/G2
10. ak prevláda zložka B: ak G2 > R2, H=4-G2/B2 inak H=4+R2/B2
11. H=H*60, ak H < 0: H=H+360

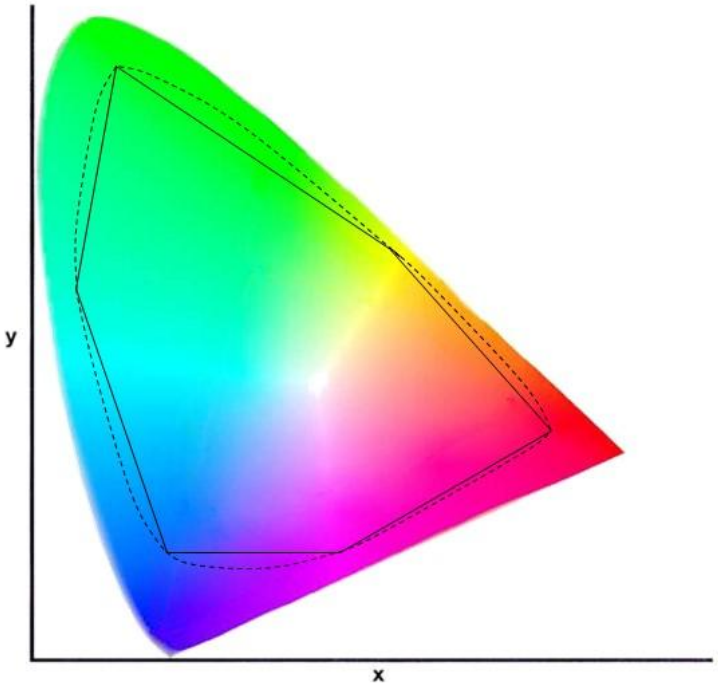
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/59

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FAREBNÝ PRIESTOR HSB, HLS



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/60

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

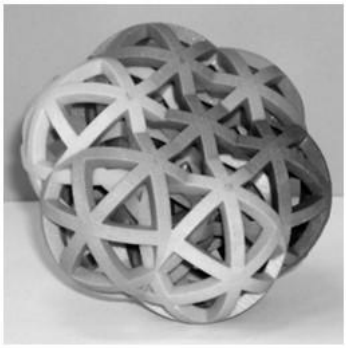
Zaujímavé URL:

PREVOD RGB DO ODTIEŇOV ŠEDEJ

$$I = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$$

I - je výsledná intenzita (úroveň šedej)
R, G, B - sú základné farebné zložky pôvodnej farby

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/61

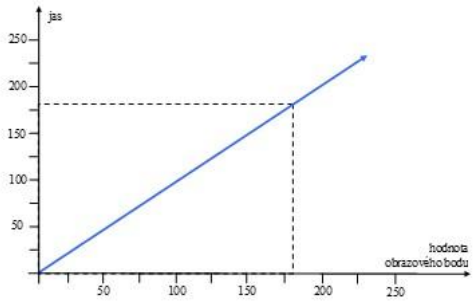
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

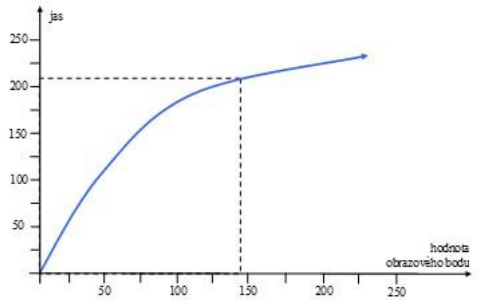
Zaujímavé URL:

GAMA KOREKCIA

Koeficient *gama*, definuje vzťah medzi číselnou hodnotou obrazového bodu a jeho skutočnou svietivosťou. *Gama korekcia* sa aplikuje preto, lebo ľudské oko má vyššiu citlivosť v tieni (L=0,5), kým pri jasnom svetle (L=1) alebo v tme (L=0) je menej citlivé. Naopak technické prostriedky (senzory, snímače, zobrazovače) vnímajú/emitujú svetlo spravidla lineárne. *Gama korekcia tak* pomáha vylepšiť techniku expozície/iluminácie, ktorá vzniká rozdielom medzi technickým spracovaním farieb a prirodzeným ľudským vnímaním.



Ideálna (technická, lineárna) závislosť hodnoty obrazového bodu a jeho jasu



Reálna (ľudská, nelineárna) závislosť hodnoty obrazového bodu a jeho jasu

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/62

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MERANIE FARIEB
SPEKTROMETRE A KOLORIMETRE

- ***Spektrometer*** meria odrazené alebo prechádzajúce svetlo v mnohých bodoch vizuálneho spektra, výsledkom čoho je krivka. Keďže krivka každej farby je jedinečná ako podpis alebo odtlačok prsta, krivka jednoznačne špecifikuje a tým sa identifikuje zhoda farieb. Je to teda druh vedeckého prístroja, ktorý umožňuje skúmať prvkové (chemické) zloženie látky či objektu na báze merania odrazeného svetla respektíve odrazenej vlnovej dĺžky svetla a jeho absorpcie alebo na základe merania vzniknutého svetla, pričom ku vzniku dochádza umelou excitáciou (plazma, iskra, rtg, ...). Proces sa volá spektrometria. Spektrometre sa často využívajú pre získavanie dát o zložení telies najmä v kozmickom výskume. pri výrobe materiálov, riadenie výroby, kontrolách chemického zloženia, testovaní farieb atramentov, kontrole farby náterov či kontrole farby plastov a textílií .
- ***Kolorimeter*** nie je spektrometer. Kolorimetre sú tristimulačné (trojfiltrové) zariadenia, ktoré využívajú červené, zelené a modré filtre, ktoré napodobňujú reakciu ľudského oka na svetlo a farbu. Kolorimeter meria absorbanciu určitých vlnových dĺžok svetla špecifickým senzorom alebo aj roztokom. V niektorých aplikáciách kontroly kvality predstavujú tieto nástroje najlepší pomer cena/výkon. Kolorimetre nedokážu kompenzovať metaméru (posun vo vzhľade vzorky v dôsledku svetla (svetelného zdroja) použitého na osvetlenie povrchu). Nedokážu to preto, lebo kolorimetre používajú spravidla jeden typ referenčného svetla (ako je žiarovka alebo pulzný xenón) a nezaznamenávajú spektrálnu odrazivosť média. Spektrometre dokážu kompenzovať tento posun, vďaka čomu sú spektrometre vynikajúcou voľbou pre presné a opakovateľné meranie farieb. Kolorimeter sa používa aj na meranie/kalibráciu monitorov/displejov.

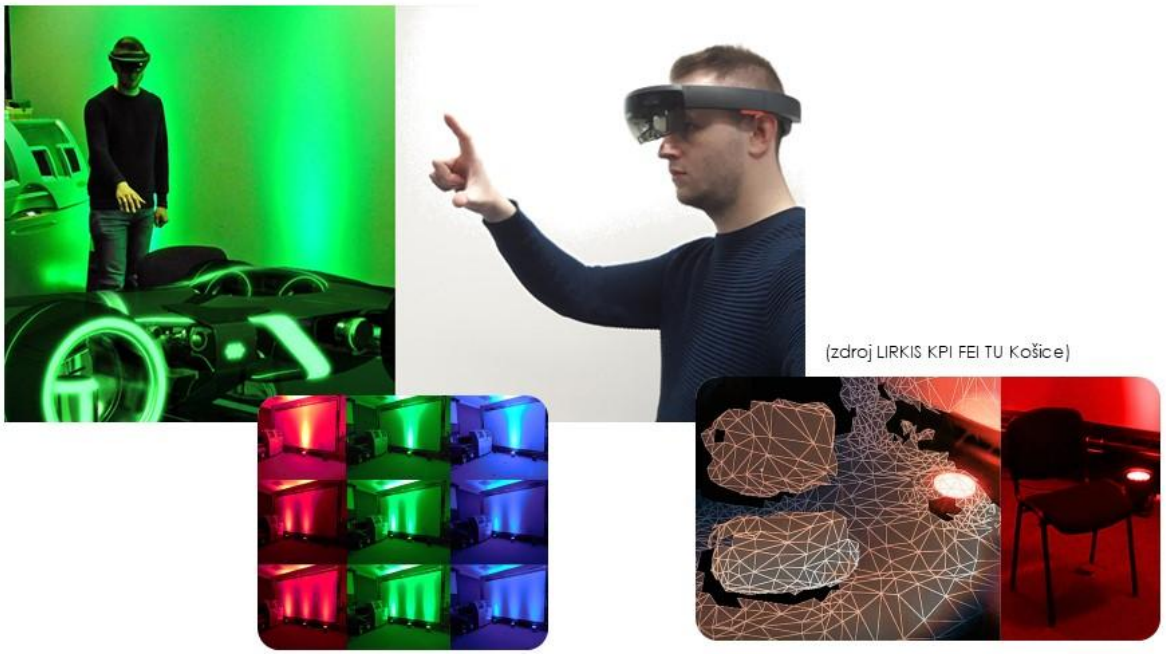
KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/63

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VPLYV FARBY NA VNÍMANIE VIRTUÁLNEHO SVETA
SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY LIRKIS



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/64

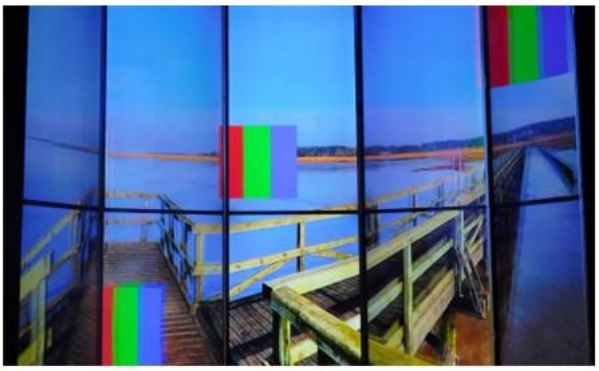
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TRÉNING A POSILNENIE FAREBNÉHO VIDENIA V SYSTÉME VIRTUÁLNEJ JASKYNE LIRKIS CAVE

Virtuálna scéna je viac škálovaná v odtieňoch základných farieb (R, G, B) a umožňuje pri tréningovom procese vymeniť jednotlivé farby. Najbežnejšou metódou pri virtuálnom tréningu je zmena farby predmetov na výrazné farby, ktoré pôsobia na pozornosť a podporujú aktiváciu príslušných častí ľudského mozgu. Použiteľné je aj prostredie so skutočným vnímaním a farebnými značkami v rôznych častiach scény



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Priestor, Svetlo a Farby 1/65

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte videnie, vykresľovanie a vizualizáciu a popíšte vrstvy vizualizačného procesu.
- Charakterizujte dimenziu priestoru a dimenziu objektu, štruktúra dimenzie.
- Priestor a jeho súradnicová sústava, stupeň voľnosti
- Problém používania a spracovania farieb v rámci počítačovej grafiky, základné atribúty svetla, farebný priestor, gamut
- Chromatický diagram, typy, odtieň a saturácia
- Farebné modely RGB a RGBA.
- Farebné modely CMY a CMYK.
- Farebný model HSB.
- Farebný model HLS.
- Gama korekcia a alfa-miešanie.
- Charakterizujte problematiku ľudského vizuálneho vnemu a jeho spracovania v relácii s počítačovou grafikou.
- Problém miešania a rozptyľovania farieb (prevod do šedej škály, halftoning, dithering) v rámci počítačovej grafiky.

2 Grafická informácia a grafické entity

Každý grafický systém pracuje s určitými množinami entít, pomocou ktorých sa dosahuje výsledný grafický efekt. Základné typy grafickej informácie sú:

- *rastrový* typ a
- *vektorový* typ.

Základom (a to aj pri všetkých dosiaľ definovaných grafických štandardoch) je množina grafických elementov (prvkov, primitív). Množina týchto elementov môže byť v rôznych systémoch definovaná rôzna. Je možné však násť niektoré prvky vyskytujúce sa najčastejšie:

- bod
- zoznam (sled) bodov (polymarker)
- krivka (špeciálne priamka, častokrát aj elipsa stojí samostatne)
- lomená čiara (polyline)
- text (t.j. grafický text)
- plocha (špeciálne rovina)
- vyplnená oblasť (fill area)
- výplňový vzor definovaný aj ako pole bodov (pixel aray)
- všeobecný grafický prvok (generalised drawing primitive)

Okrem toho konečný tvar týchto primitív je možné riadiť ich atribútmi. Medzi základné atribúty z pohľadu počítačovej grafiky zaraďujeme:

- *farba*
- *typ* (napr. čiar, písma a pod.)
- *hrúbka* (napr. čiar, písma a pod.)
- *poloha* (napr. písma)
- *smer vykreslenia* (napr. horizontálny, vertikálny) atď.

Atribúty môžu byť jednotlivým elementom priradené:

- *konvenčne* alebo tiež individuálne, pevne, čo vedie niekedy k nekompatibilite na rôznych zobrazovačoch.
- *symbolicky*, najčastejšie formou kódu. Vtedy hovoríme o viazaných (bundled) atribútoch. Tieto sú vzhľadom na zobrazovač transparentné.

Dôležité v tomto prípade je pri tvorbe grafických systémov implemetovať základnú množinu grafických entít/primitív, ktoré budú v danom systéme dostupné. Sem možno zaradiť zo základných spomínaných prvkov všetky od krivky (priamky) vyššie. Z hľadiska počítačovej grafiky sem patria aj algoritmy kreslenia bázických entít ako úsečka (DDA a Bresenhamov algoritmus) či kružnica alebo elipsa. Najmä u rastrového typu je potrebné ďalšie spracovanie pre skvalitnenie grafického výstupu týchto entít a to najmä antialiasing a ďalšie filtrovacie a rozptyľovacie techniky (napr. halftoning či dithering).

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA (OBJEKTY)

1. Typy
2. Primitíva
   1. implementácia primitív
   2. filtračné a rozptyľovacie metódy
3. Popis objektu
4. Reprezentácia objektu
5. Priestor objektu

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA (SPRACOVANIE)

1. Grafická informácia spracovávaná mimo reálneho času (*OFG* (off-line graphics))
2. Grafická informácia spracovávaná v reálnom čase (*RTG* (real-time graphics))

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/3

Poznámky:

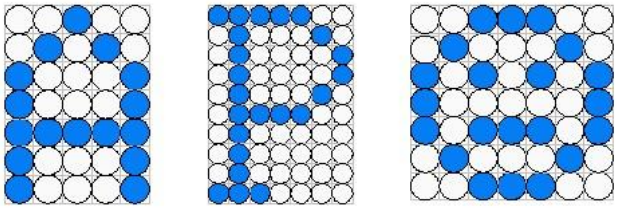
Zaujímavé zdroje:

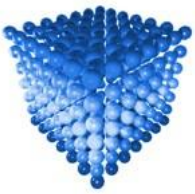
Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA - TYP

1. Vektorová
(spojitý priestor, rôzne entity)

2. Rastrová
(nespojitý priestor, len body)





KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/4

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA

POUŽITIE VEKTOROVEJ GRAFIKY

- Schémy
- Grafy
- Konštruovanie
- Dizajn
- Diagramy
- Reklama
- Mapy
- Piktogramy
- …

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/5

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA

POUŽITIE RASTROVEJ GRAFIKY

- Obrázky
- Fotografie
- Filmy
- Komunikácia
- Skenovanie
- Televízia
- Biometria
- …

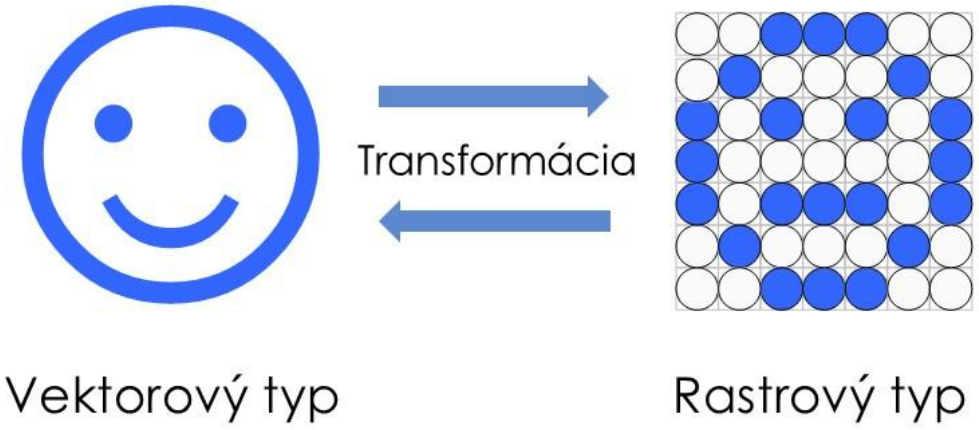
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/6

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÁ INFORMÁCIA
TRANSFORMÁCIE TYPOV



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/7

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÉ OBJEKTY

1. Vektorové

2. Rastrové

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/8

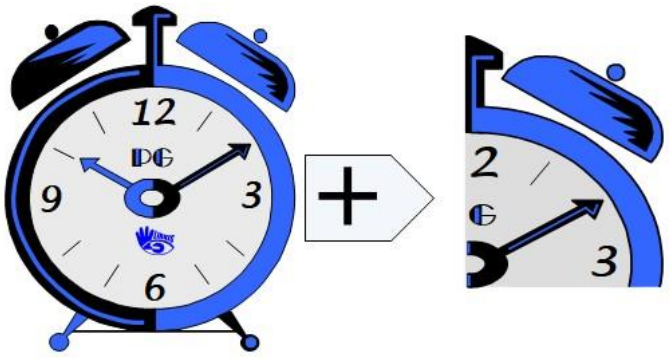
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

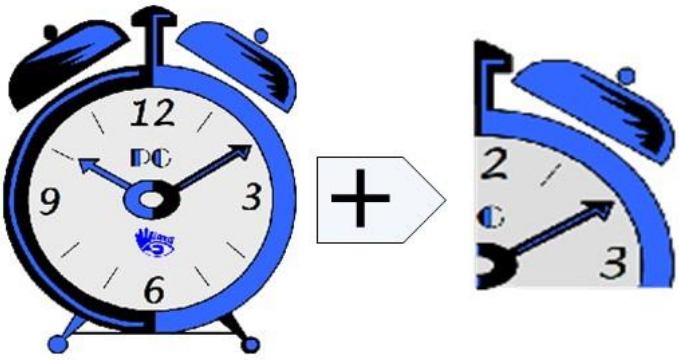
Zaujímavé URL:

ZVÄČŠENIE OBJEKTOV

1. Vektorové



2. Rastrové



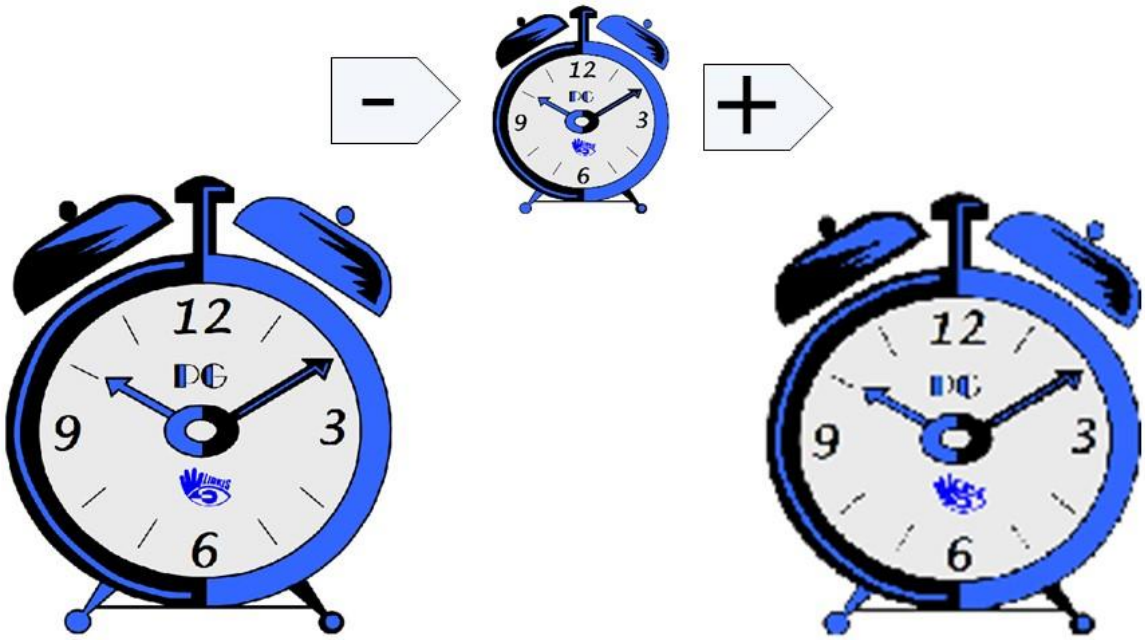
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/9

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

STRATA INFORMÁCIE PRI RASTRI



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/10

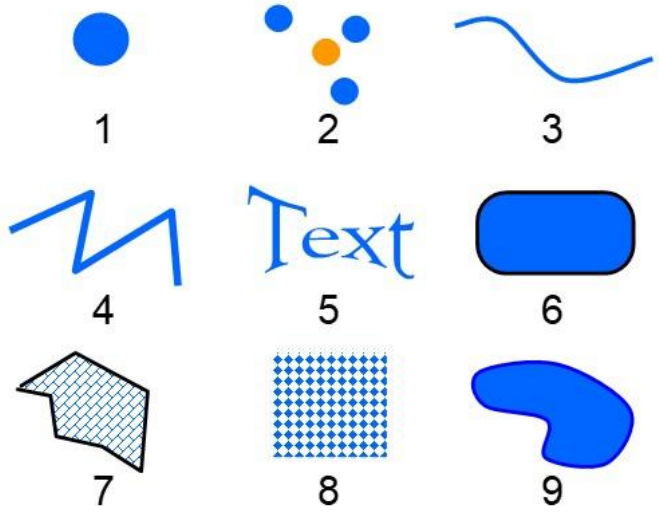
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÉ PRIMITÍVA

1. Bod
2. Sled bodov
3. Krivka
4. Lomená čiara
5. Grafický text
6. Plocha
7. Vyplnená oblasť
8. Výplňový vzor
9. Všeobecný grafický prvok



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÉ PRIMITÍVA - ATRIBÚTY

Konečný tvar primitív je možné riadiť ich atribútmi. Medzi základné atribúty z pohľadu počítačovej grafiky zaraďujeme najmä:

1. Farba
2. Typ (napr. čiar, písma a pod.)
3. Hrúbka (napr. čiar, písma a pod.)
4. Poloha (napr. písma)
5. Smer vykreslenia (napr. horizontálny, vertikálny atď.)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/12

Poznámky:

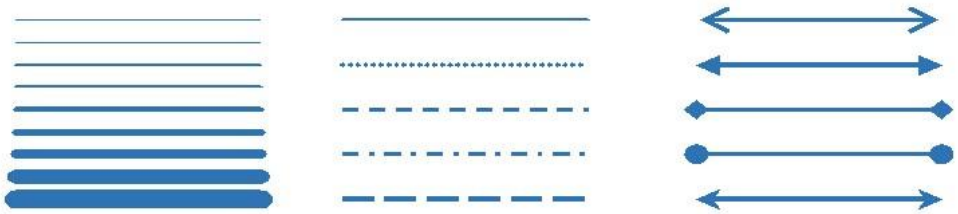
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GRAFICKÉ PRIMITÍVA - ATRIBÚTY

Atribúty môžu byť jednotlivým elementom priradené:

1. *konvenčne* alebo tiež *individuálne*, *pevne*, čo vedie niekedy k nekompatibilite na rôznych zobrazovačoch.
2. *symbolicky*, najčastejšie formou kódu. Vtedy hovoríme o *viazaných* (bundled) atribútoch. Tieto sú vzhľadom na zobrazovacie zariadenie transparentné.



Príklady rôznych atribútov čiar

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/13

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BOD

Bod je z pohľadu počítačovej grafiky chápany ako elementárny (atomárny) objekt.

Základnými atribútmi bodu z pohľadu počítačovej grafiky, sú: jeho *poloha* a *farba* príp. *čas* (v prípade heterogénnej štruktúry dimenzie priestoru, ktorej je bod prvkom)

Niektoré typy bodov:

- **Pixel** – obrazový bod, ktorý je charakterizovaný dvomi súradnicami polohy a svojou farbou. Z pohľadu PG je pixel chápaný ako najmenšia jednotka digitálnej rastrovej grafiky.
- **Voxel** – objemový bod, charakterizovaný tromi polohovými súradnicami a svojou farbou.
- **Texel** – bod textúry, okrem polohy v rámci určitej súradnicovej sústavy má ešte definovanú aj polohu v rámci výplňového vzoru (textúry) a reláciu svojho priradenia vypĺňanej oblasti.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/14

Poznámky:

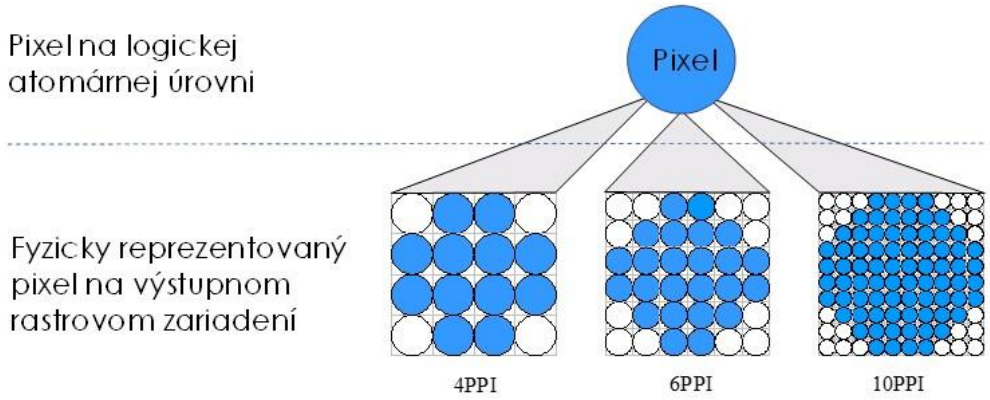
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FYZICKÉ VYTVORENIE BODU, ROZLÍŠENIE

Na rastrovom zobrazovacom zariadení (napr. na monitore) je pixel vytvorený zobrazením (rozsvietením) istej množiny fyzických bodov výstupnej jednotky zariadenia.

Jemnosť (narastajúca hustota a veľkosť) fyzických bodov ovplyvňuje kvalitu zobrazenia. Udáva sa podľa zariadenia v *PPI* (*Pixel Per Inch*) alebo *DPI* (*Dot Per Inch*)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SLED BODOV - POLYMARKER

Je rozširujúcim prvkom a priamo nadväzuje na bod.

Polymarker definuje logicky zviazanú *množinu bodov* na základe určitej *relácie* medzi prislúchajúcimi atribútmi týchto bodov. Pri akejkoľvek operácii (napr. presúvaní) sa táto operácia deje nad všetkými bodmi spolu.

Relácia medzi atribútmi bodov polymarkra môže byť:

- **homogénna** - je relácia definovaná medzi rovnakými atribútmi jednotlivých bodov polymarkra. Homogénna relácia, napr. medzi atribútmi polohy.
- **heterogénna** - je definovaná medzi rôznymi atribútmi jednotlivých bodov polymarkra, napr. farba niektorého bodu je závislá od polohy druhého.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/16

Poznámky:

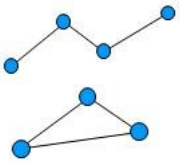
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKA, LOMENÁ ČIARA

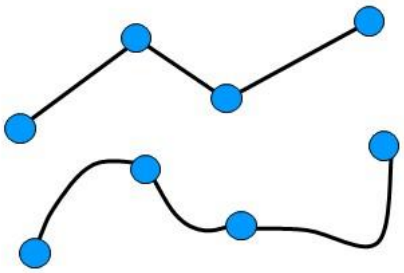
1D útvar definovaný vrcholmi a hranami:

- neuzavretý (acyklický) – krivka, polyline
- uzavretý (cyklický) – plocha, polygón



Podľa typov hrán (segmentov) krivky/čiary:

- lineárny
- nelineárny



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/17

Poznámky:

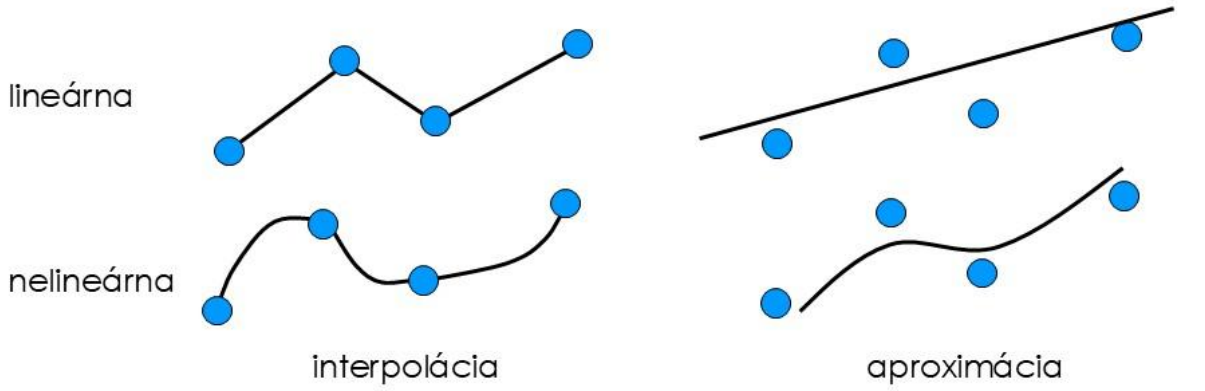
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKA, LOMENÁ ČIARA

Podľa vplyvu vrcholov na tvar krivky/čiary:

- **Interpolačné** (vrcholy sú súčasťou krivky), typovo: lineárna a nelineárna.
- **Aproximačné** (vrcholy nemusia byť súčasťou krivky, ale vplývajú na jej tvar), typovo: lineárna a nelineárna.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZÁKLADNÉ SPRACOVÁVANÉ GRAFICKÉ PRIMITÍVA

- Úsečka (priamka)
- Kružnica
- Elipsa
- Plocha

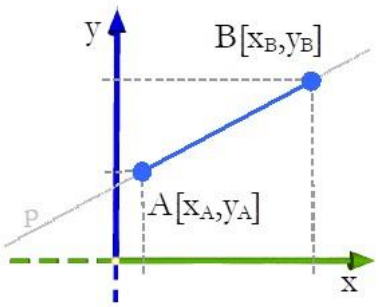
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ÚSEČKA

$$y = k \cdot x + c$$



kde:

- y - súradnica bodu na osi y
- x - súradnica bodu na osi x
- k - smernica priamky, na ktorej leží úsečka
- c - posun na osi y

Ak máme dva body $A[x_A, y_A]$ a $B[x_B, y_B]$, ktoré sú koncovými bodmi úsečky, potom základné koeficienty vypočítame nasledovne:

$$k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad \text{a} \quad c = \frac{\left(x_B y_A - x_A y_B\right)}{\left(x_B - x_A\right)}$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY KRESLENIA ÚSEČKY (RASTROVEJ NÁHRADY)

- Algoritmus založený na výpočte oboch súradníc
- DDA - digital differential analyzer
- Bresenhamov algoritmus

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

DDA ALGORITMUS

prírastkový algoritmus
(DDA - digital differential analyzer)
založený na postupnom pripočítavaní konštantných prírastkov k obom súradniciam x a y.

Rozlišujeme výpočet pre priamku:
- so smernicou menšou ako 1
- so smernicou väčšou ako 1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

DDA ALGORITMUS

$$k = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \quad \text{a} \quad c = \frac{(x_B y_A - x_A y_B)}{(x_B - x_A)}$$

$$dx = |x_B - x_A| \\ dy = |y_B - y_A| \Rightarrow pocet_krokov = \max(dx, dy) \Rightarrow px = \frac{dx}{pocet_krokov} \quad py = \frac{dy}{pocet_krokov}$$

$$y_{i+1} = y_i + py \qquad x_{i+1} = x_i + px$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BRESENHAMOV ALGORITMUS

veľmi efektívny algoritmus generovania bodov na úsečke. Nachádza body ležiace najbližšie danej skutočnej úsečke na základe hodnoty predikčného chybového člena E_D

Rozlišujeme výpočet pre priamku:

- so smernicou menšou ako 1
- so smernicou väčšou ako 1

Dr. Jack Elton Bresenham

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/24

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BRESENHAMOV ALGORITMUS

$$dx = |x_B - x_A|$$
$$dy = |y_B - y_A|$$

$E_1 = 2 \cdot dx - dy$ pre prvý bod

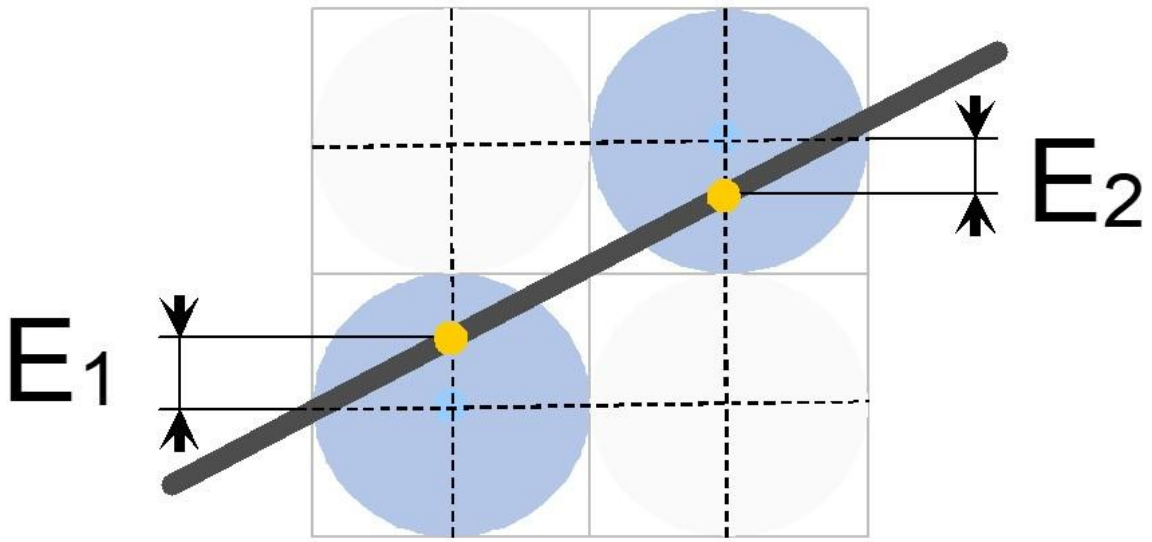
$$E_i < 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + 2 \cdot dy \; ; \; y_{i+1} = y_i$$
$$E_i \geq 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + 2 \cdot dy - 2 \cdot dx \; ; \; y_{i+1} = y_i + 1$$

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BRESENHAMOV ALGORITMUS



Stanovenie chybového člena E_D pri Bresenhamovom algoritme

Poznámky:

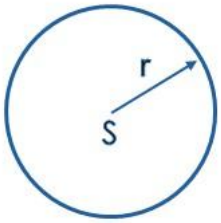
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUŽNICA

množina bodov rovnako vzdialených od stredového bodu S.

$$y = y_S \pm \sqrt{r^2 - (x - x_S)^2}$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/27

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUŽNICA

- Algoritmus kreslenia kružnice na základe parametrického vyjadrenia

$$x = x_S + r \cdot \cos(u)$$

$$y = y_S + r \cdot \sin(u)$$

- Algoritmus kreslenia kružnice podľa predikcie chyby

$x_1 = 0$ Poloha: $x_{i+1} = x_i + 1$

$y_1 = r$ y_{i+1} sa stanoví predikciou chyby E_{i+1}

Počiatočná predikcia chyby:
$E_1 = 1 - r$

$$E_i < 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + 2 \cdot x_i + 3$$

$$E_i \geq 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + 2 \cdot x_i + 5 - 2 \cdot y_i$$

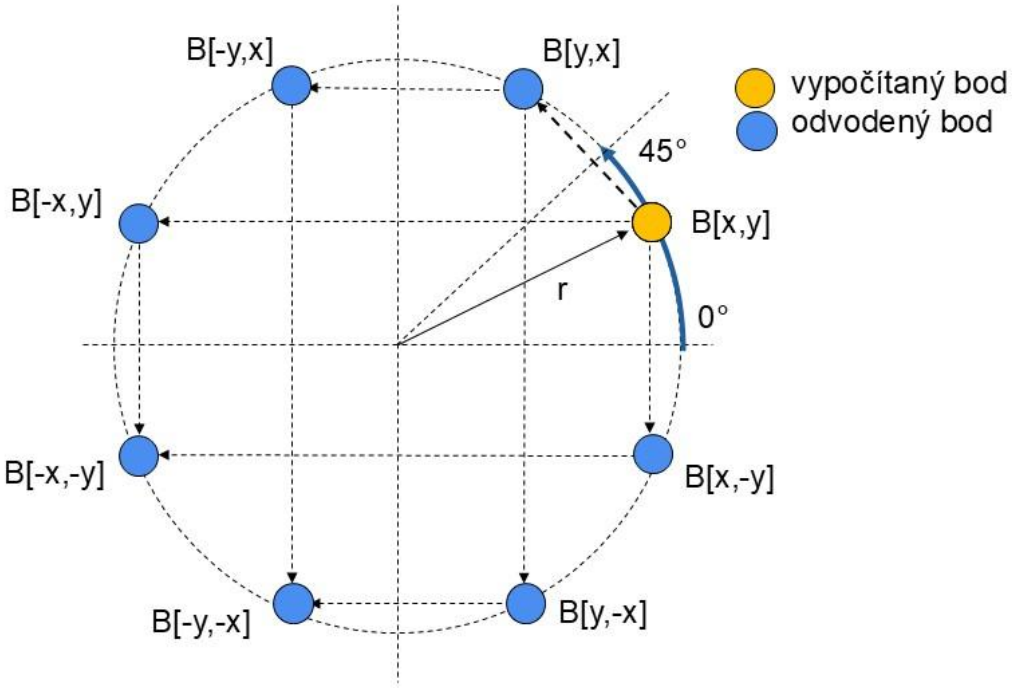
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/28

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUŽNICA



Kreslenie kružnice využitím osovej súmernosti

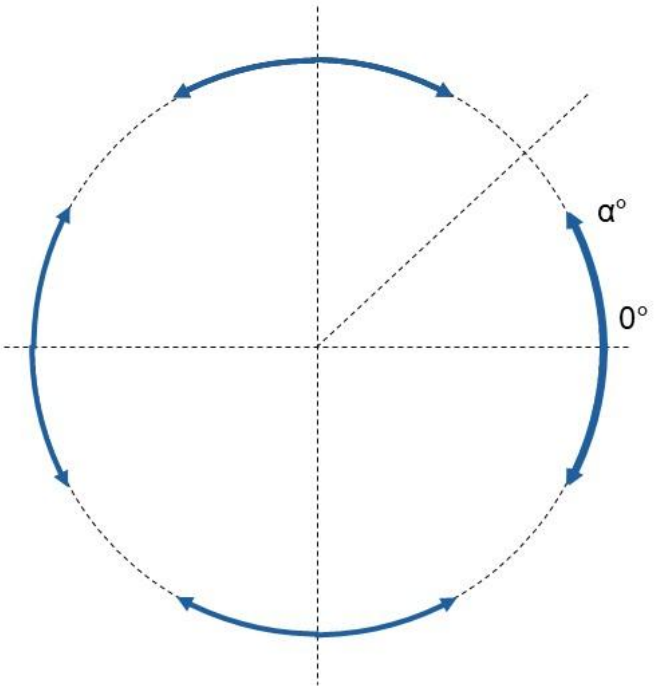
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUŽNICA



Kreslenie kružnice využitím osovej súmernosti

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ELIPSA

množina bodov rovnako vzdialených od dvoch ohnísk

$$\frac{(x - x_S)^2}{a^2} + \frac{(y - y_S)^2}{b^2} = 1$$

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ELIPSA

- Algoritmus kreslenia elipsy na základe parametrického vyjadrenia

$$x = x_S + a \cdot \cos(u)$$

$$y = y_S + b \cdot \sin(u)$$

- Algoritmus kreslenia elipsy podľa predikcie chyby

$x_1 = 0$ Poloha: $x_{i+1} = x_i + 1$

$y_1 = r$ y_{i+1} sa stanoví predikciou chyby E_{i+1}

Počiatočná predikcia chyby:

$$E_1 = b^2 - b \cdot a^2 + \frac{a^2}{4}$$

$$E_i < 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + b^2 \cdot (2 \cdot x_i + 1)$$

$$E_i \geq 0 \Rightarrow E_{i+1} = E_i + b^2 \cdot (2 \cdot x_i + 1) - 2 \cdot a^2 \cdot y_i$$

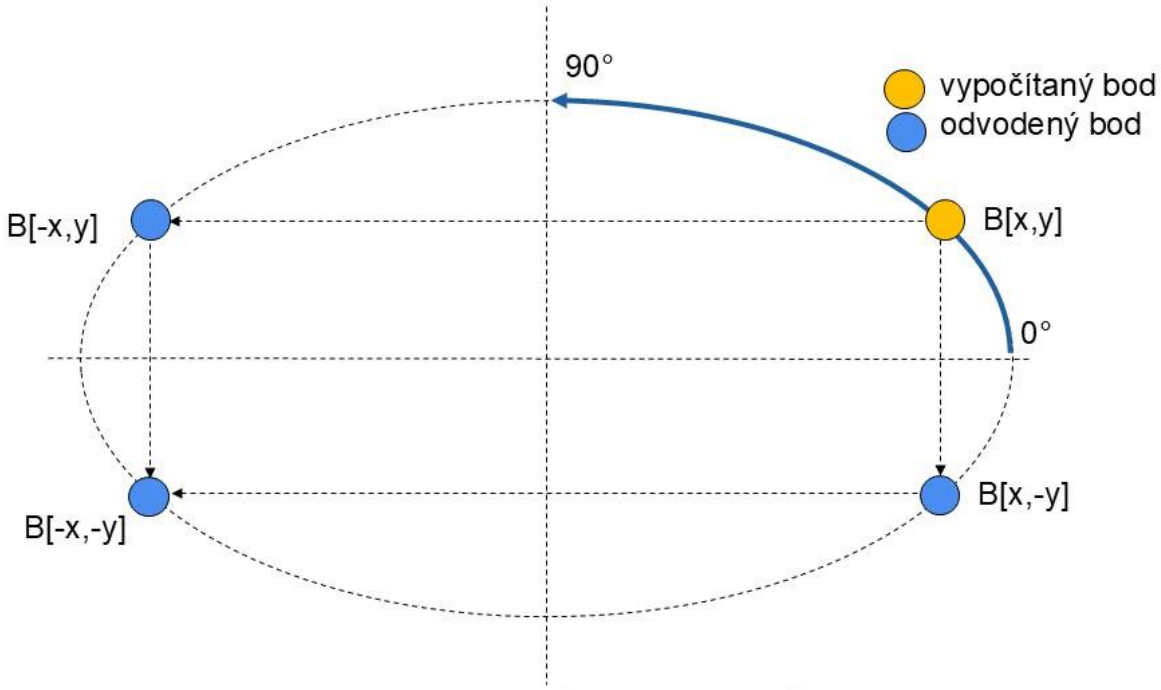
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/32

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ELIPSA



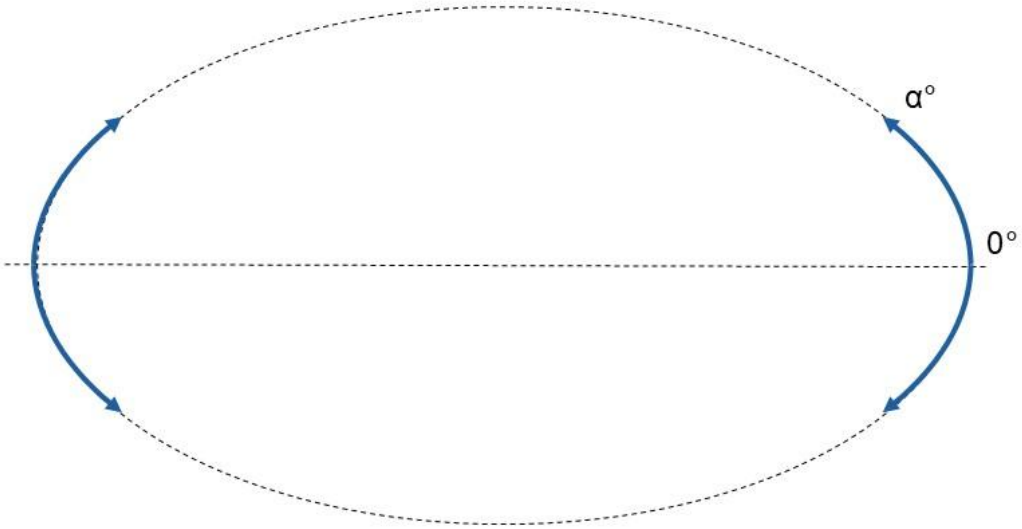
Kreslenie elipsy využitím osovej súmernosti

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUŽNICA



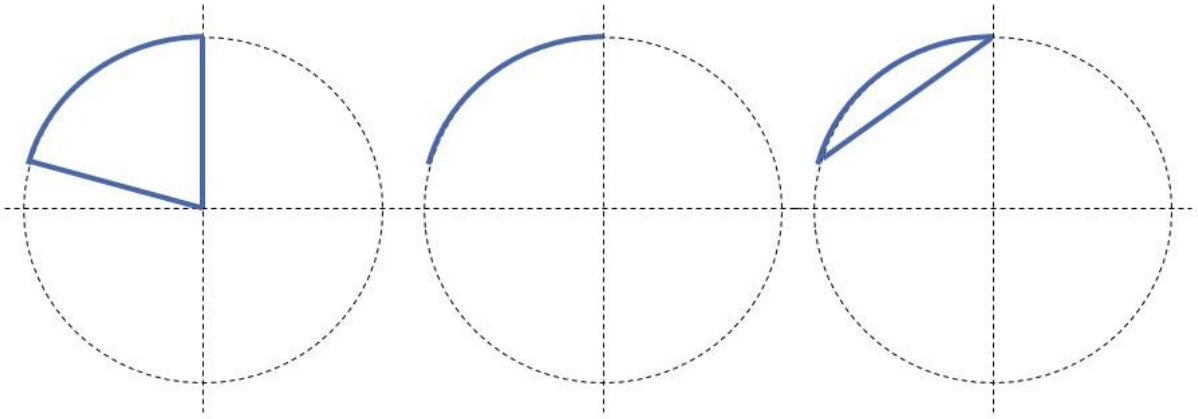
Kreslenie elipsy využitím osovej súmernosti

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRUHOVÉ (ELIPTICKÉ) OBLASTI

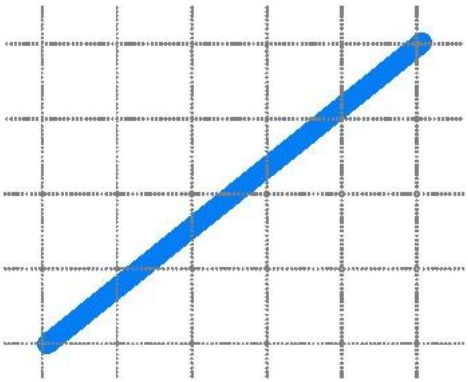


Poznámky:

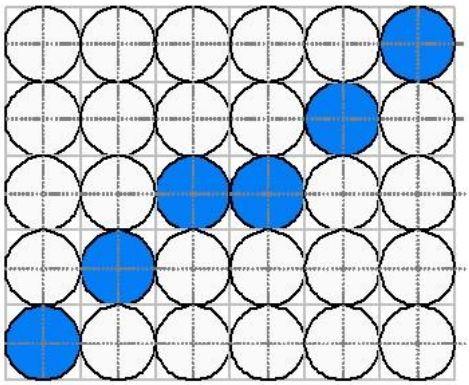
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ANTIALIASING



úsečka



rastrová náhrada
(alias)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ANTIALIASING

Prípady:

- schodovité zobrazovanie priamych rovných čiar a hraníc polygónov na rastrových displejoch.
- zobrazovaný objekt menší ako veľkosť pixelu (obrazového bodu) alebo pri veľmi tenkých čiarach. Malé objekty potom nie sú vôbec zobrazené alebo napr. tenké čiary nie sú opticky hladké resp. ucelené (sú zobrazené ako nepravidelná postupnosť bodov).
- pri zobrazení zložitejšej scény s blízkymi detailmi (napr. pri generovaní základných obrázkov z raytracingu). Tieto detaily sú buď potlačené alebo skreslené tak, že nie je možné rozoznať ich pôvodný tvar. (LOD – Level of Detail)

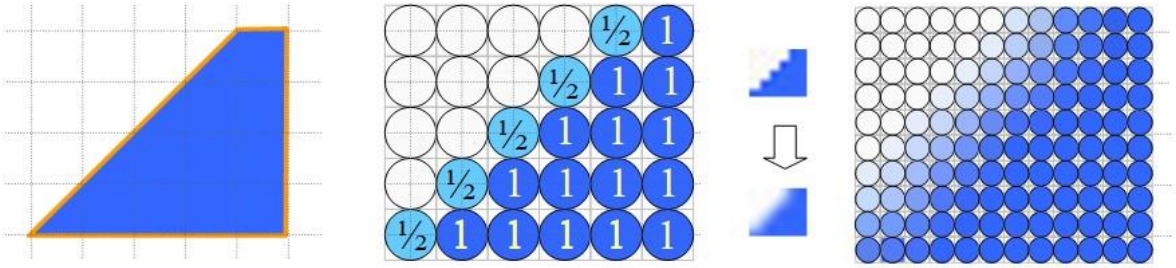
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/37

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ANTIALIASING



Častokrát sa používajú miesto *antialiasingu* aj niektoré rozptyľovacie metódy.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/38

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FILTROVACIE A ROZPTYĽOVACIE METÓDY

Určenie farby:

- náhodne
- *spriemernením* bodov oblasti alebo použitím *mediánovej* funkcie príp. inej funkcie.
- zistí sa početnosť výskytu farieb v oblasti a vyberie sa tá farba, ktorá sa vyskytuje najčastejšie. Ak je výskyt farieb rovnaký, vyberie sa farba podľa iného pravidla alebo ľubovoľná z vyskytujúcich sa farieb.
- vyberie sa farba, ktorá sa vyskytuje najmenej krát.
- vyberie sa farba ľavého horného bodu oblasti

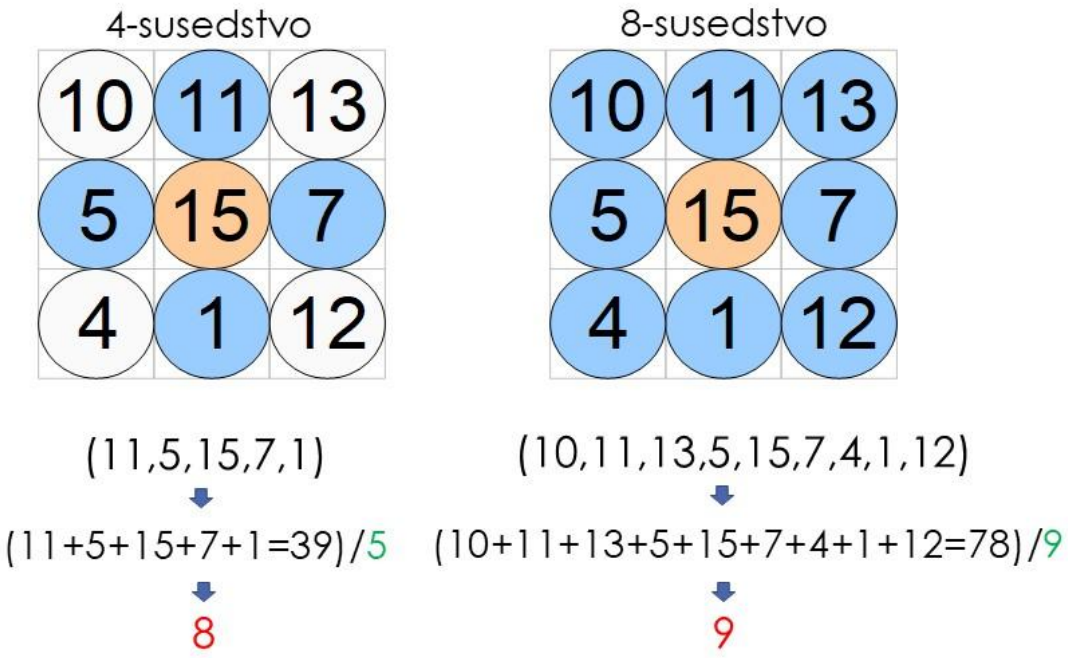
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FILTROVACIE A ROZPTYĽOVACIE METÓDY

SPRIEMERNENIE



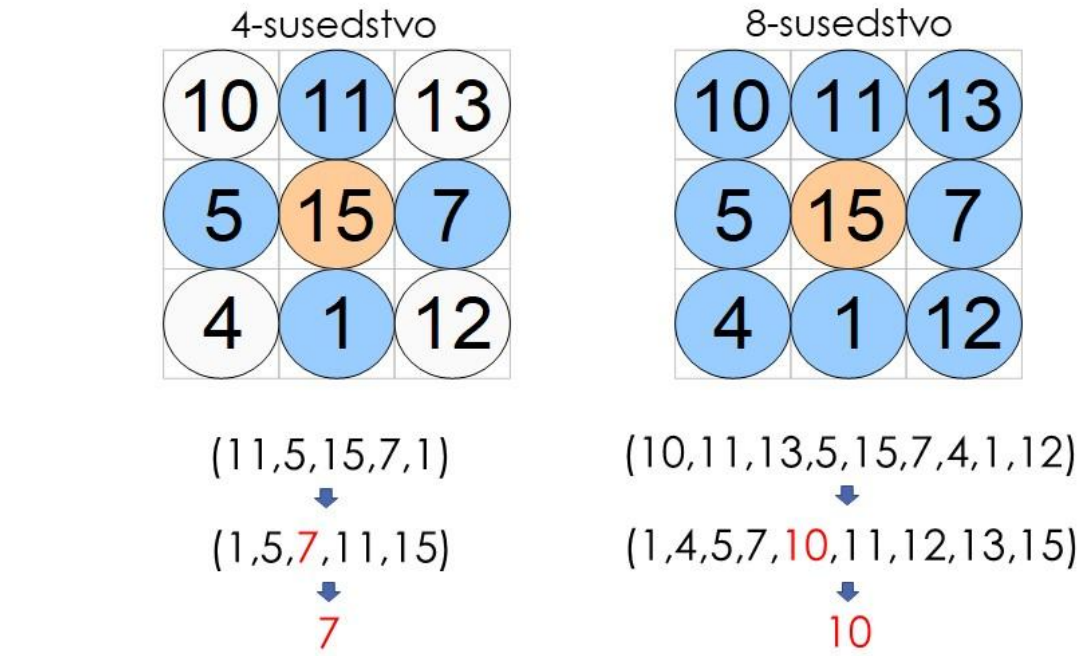
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/40

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FILTROVACIE A ROZPTYĽOVACIE METÓDY
MEDIÁNOVÁ FUNKCIA (MEDIÁN FILTER)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/41

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

Metódy na riešenie problému rozdielu medzi požadovanou kvalitou výsledných obrazov a obmedzenými možnosťami dostupného farebného priestoru zariadenia alebo techniky pre podporu *antialiasingu*

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

Rozptyľovacie metódy využívajú tú vlastnosť ľudského oka, že z farieb niekoľkých blízkych bodov vytvára dojem jediného bodu, ktorého farba je daná aditívnym zlúčením farieb pôvodných bodov (napríklad pre prevod obrazu so 16 úrovňami šedej na binárny obraz sa použije intenzitu jasu (farba) vstupného bodu $I_{IN} \in <0, 15>$ a výstupného bodu $I_{OUT} \in <0, 1>$).

- Náhodné rozptyľovanie
- Maticové rozptyľovanie
- Rozptyľovanie distribúciou chyby

0	0
0	0

$I_{IN} = 0$

0	0
0	1

$I_{IN} = 1$

0	0
1	1

$I_{IN} = 2$

0	1
1	1

$I_{IN} = 3$

1	1
1	1

$I_{IN} = 4$

Príklady rozptyľovacích matíc $I_{IN} = <0,4>$

0	11	3	14
8	4	10	7
2	13	1	2
9	6	8	5

$I_{IN} = <0,15>$

0	12	3	15
8	4	11	7
2	14	1	13
10	6	9	5

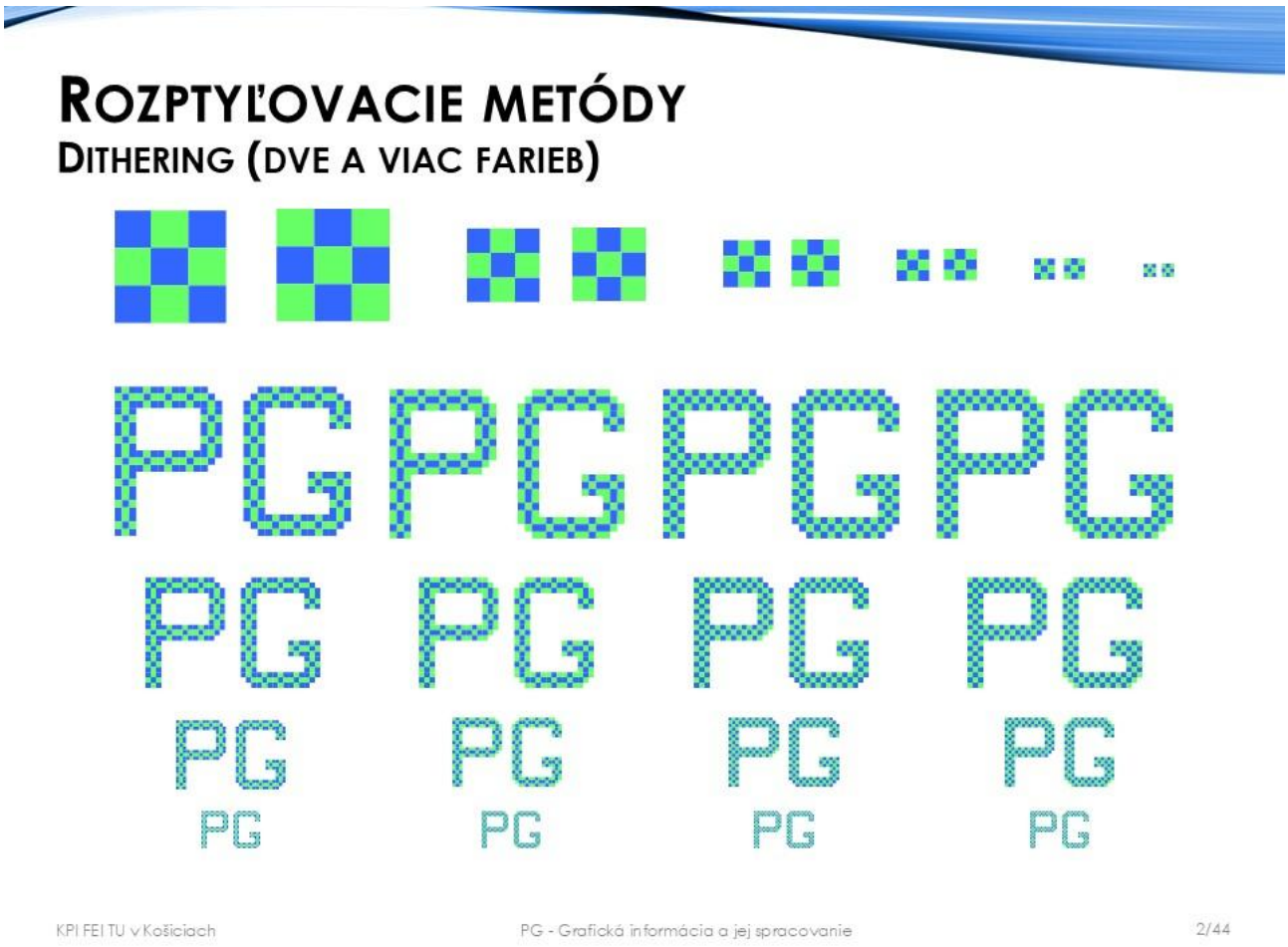
$I_{IN} = <0,16>$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/43

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

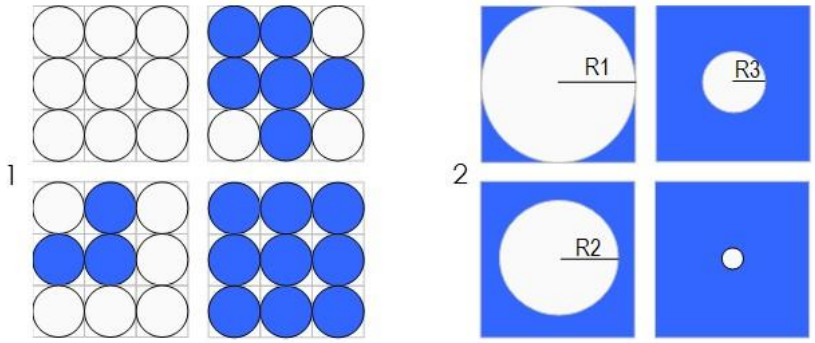
ROZPTYĽOVACIE METÓDY

POLTÓNOVANIE - HALFTONING

Viacero spôsobov ako prevádzať na dve farby. Dôležité je určiť binarizačný prah (treshhold).

Najpoužívanejšie spôsoby:

1. *maticové* - využitím binárnych nahradzovacích matíc pre spracovávanú oblasť
2. *funkcionálne* – využitím funkcií k pomerovému vyplneniu spracovávanej oblasti



Príklady rôznych spôsobov poltónovania

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/45

Poznámky:

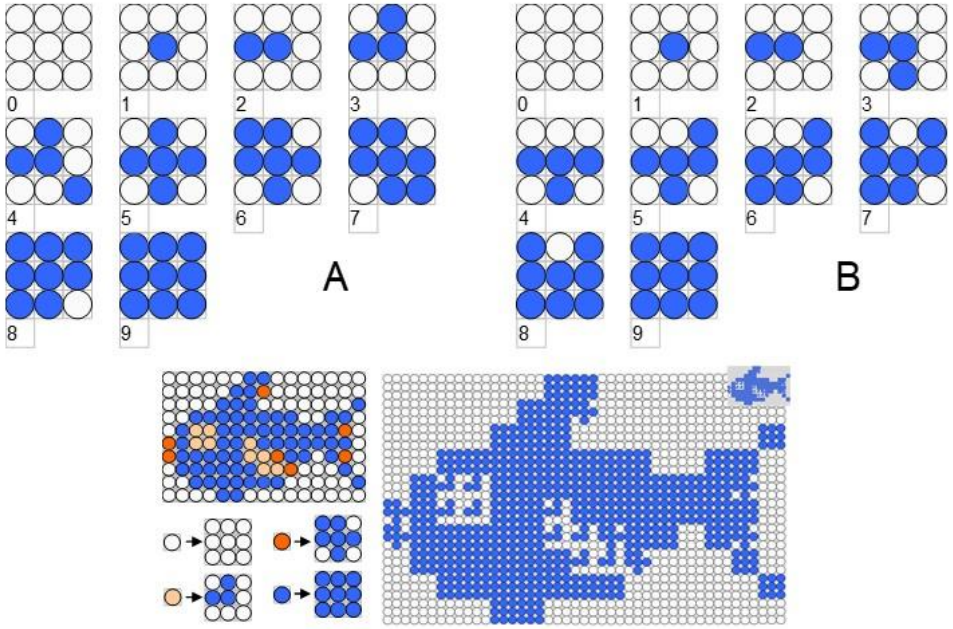
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

POLTÓNOVANIE - HALFTONING

- Rôzne nahradzovacie matice:



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/46

Poznámky:

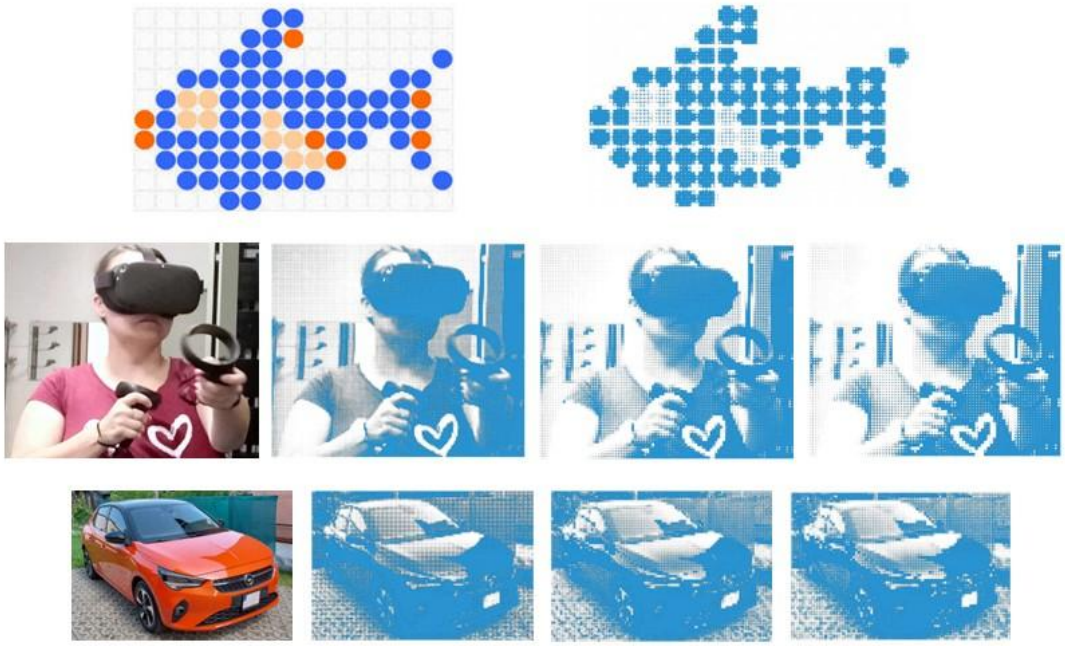
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

POLTÓNOVANIE - HALFTONING

- Príklady funkcionálneho poltónovania (rôzne parametre):



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/47

Poznámky:

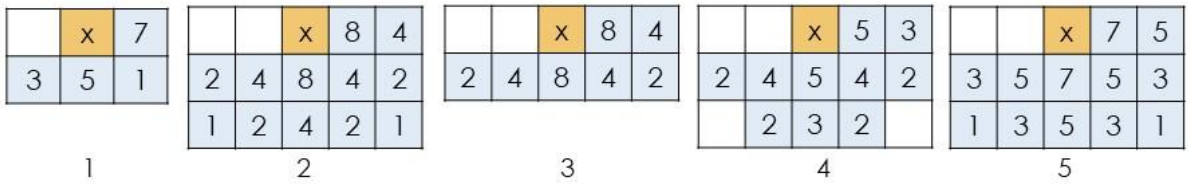
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

NA ZÁKLADE DISTRIBÚCIE CHYBY

1. distribúcia chyby - Floyd-Steinberg (koef./16)
2. distribúcia chyby – Stucki (koef./42)
3. distribúcia chyby – Burkes (koef./32)
4. distribúcia chyby – Sierra (koef./32)
5. distribúcia chyby - Jarvis, Judice, Ninke (koef./48)
6. distribúcia chyby - Stevenson, Arce (koef./200)
7. ...



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/48

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZPTYĽOVACIE METÓDY

DISTRIBÚCIA CHYBY - FLOYD-STEINBERG (KOEF./16)

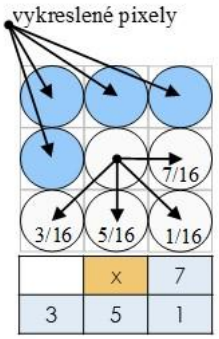
Je to veľmi rýchla metóda, pretože pri nej dochádza k deleniu jednotlivých koeficientov šestnástimi, čo je možné veľmi jednoducho implementovať bitovou rotáciou.

Intenzita vstupného prvku obrazu (bodu) je na výstupe postupne nahradzovaná jednotkou alebo nulou, Vstupná intenzita I_{IN} je použitá nielen k nájdeniu najbližšej zodpovedajúcej intenzity I_{OUT}, ale zanedbaná hodnota, vznikajúca zaokrúhlením I_{IN} z väčšieho rozsahu do rozsahu <0, 1> je využitá na modifikáciu hodnôt susedných prvkov obrazu (Ak má byť napríklad spracovaný prvok obrazu so vstupnou hodnotou 4, výstupnému prvku obrazu sa priradí hodnota 0 a zanedbaná hodnota 4 sa pripočíta k hodnotám susedných prvkov obrazu. Distribuovaná chyba je rozdelená medzi susedné prvky obrazu v závislosti od použitej metódy).

Pred vykreslením každého prvku obrazu je ku vstupnej hodnote I_{IN} pripočítaná doteraz získaná chyba (z pamäte chyby) a až potom je výsledná hodnota prevedená do výstupného rozsahu. Zanedbaná hodnota sa opäť rozdelí a pripočíta do pamäte chyby (nutné zabezpečiť, aby nedochádzalo k strate celočíselným delením).

Postup pre použitie rozptyľovacích metód pre farebné obrazy je nasledujúci:

1. Pre daný obraz sa vytvorí paleta podľa požiadaviek niektorou z metód popísaných vyššie a algoritmus sa nastaví na prvý bod obrazu.
2. Vyberie sa bod a nájde sa k nemu najbližšia farebná hodnota vo vytvorenej palete.
3. Pre daný bod sa určí zanedbaná hodnota, ktorá vznikne zaokrúhlením pôvodnej farby na farbu z palety.
4. Na základe zanedbanej hodnoty a použitej metódy sa rozhodne o prípadnom zvýšení výslednej intenzity farby výsledného bodu.
5. Ak ešte nie je spracovaný celý obraz, posunie sa na ďalší bod a pokračuje sa ďalej krokom 2.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafická informácia a jej spracovanie 2/49

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte grafickú informáciu po objektovej aj typovej stranke.
- Vymenujte základné grafické primitíva a ich atribúty.
- Popíšte spracovanie bodu a sledu bodov v rámci počítačovej grafiky,
- Vysvetlite DDA algoritmus.
- Vysvetlite Bresenhamov algoritmus.
- Popíšte spracovanie kružnice a elipsy v rámci počítačovej grafiky a uveďte základné metódy jej generovania.
- Charakterizujte a popíšte antialiasing.
- Charakterizujte a popíšte základné filtrovacie a rozptyľovacie techniky v rámci PG

3 Priestor a objekty

Aby boli možné manipulácie s objektami v rámci počítačovej grafiky je nutné najprv zadefinovať (virtuálny) priestor, v rámci ktorého sa tieto manipulácie udejú. Základnou charakteristikou priestoruje jeho rozmer (dimenzia). Tento môže byť:

- *číselný* alebo
- *nečíselný*.

Z hľadiska charakteru dimenzie poznáme viacero dimenzií číselných: topologická, Hausdorffová, fraktálna, dimenzia sebepodobnosti, kapacitná dimenzia alebo nečíselné napr.: informačná dimenzia a pod. Všetky definície týchto dimenzií sú relatívne. Medzi najviac používanú dimenziu sa radí topologická dimenzia vyjadrená celočíselne.

Topologická dimenzia je dimenzia, ktorá sa v rámci počítačovej grafiky používa najčastejšie. Je to rozmernosť objektov bežne používaných v matematike. Topologickú dimenziu teda môžeme chápať aj intuitívne. S ohľadom na topologickú dimenziu najčastejšie používané objekty sú:

- 0-rozmerný objekt (bod)
- 1-rozmerný objekt (priamka, úsečka)
- 2-rozmerný objekt (plocha)
- 3-rozmerný objekt (teleso)

Všetky geometrické objekty, ktoré sa dajú spojitou transformáciou previesť na vyššie uvedené objekty majú rovnakú topologickú dimenziu (napríklad krivke priradíme priamku, ploche rovinu apod.). Typovo sa spracovávané objekty delia na *vektorové* a *rastrové*. Aby však bolo možné transformácie vykonať, je nutné definovať si určité súradnicové sústavy, vzhľadom na ktoré sa uvedené transformácie vykonávajú.

Ako definovanie či modelovanie, tak aj následné transformácie či zobrazenia objektov patria medzi základné procesy aplikované v počítačovej grafike. Veľmi dôležitým faktorom je reprezentácia objektov. Medzi hlavné typy patria:

- *Hraničná reprezentácia* (B-REP, špecificky *Winged edge* reprezentácia)
- *Konštruktívna geometria telies* (CSG)

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

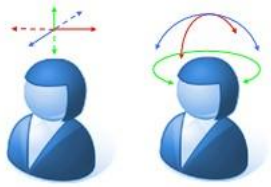
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRIESTOR A JEHO PARAMETRE



Podľa charakteru priestoru (definuje aj DOF):

1. Translačný priestor (T)
2. Rotačný priestor (R)
3. Kombinovaný priestor

Podľa typu dimenzie:

1. Celočíselné – topologické (I)
2. Neceločíselné (F)

Podľa štruktúry dimenzií (primárne geometria) a ich počtu:

1. Homogénna štruktúra (N+0) – ND priestor (U_{niform})
2. Heterogénna štruktúra (N_1+N_2+....N_n) – (N_1+N_2+....N_n)D priestor (H)

Príklady:

- celočíselný 3D translačný priestor (IU3DT),
- neceločíselný 2+1D rotačný priestor (FH2d1DR)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OBJEKTY V POČÍTAČOVEJ GRAFIKE

1. 0-rozmerný objekt (bod)
2. 1-rozmerný objekt (priamka, úsečka)
3. 2-rozmerný objekt (plocha)
4. 3-rozmerný objekt (teleso)

- Všetky geometrické objekty, sa dajú spojitou transformáciou previesť na vyššie uvedené objekty ak majú rovnakú topologickú dimenziu.
- Všetky geometrické objekty, môžu reprezentovať vyššie uvedené objekty, ak majú rovnakú alebo nižšiu topologickú dimenziu
- Počet menených súradníc/parametrov transformácií v danej aktuálnej topologickej dimenzii (ATD) je určený vzťahovými objektami (VZO, napr. rotácia voči VZO(bod, os a pod) je daný *doplnkovo* k ATD. A naopak ak v ATD je počet menených parametrov transformácie N, potom maximálna dimenzia VZO bude doplnok k ATD (t.j. ATD-N)
  - Napríklad ak sa bude v 3D priestore zrkadliť voči osi (*1*-rozmerný objekt) počet menených parametrov bude *3 - 1 = 2*. Naopak, ak bude v 2D priestore požadovaná rotácia (mení *2* parametre) potom táto je možná len okolo počiatku sústavy (*0*-rozmerný objekt, *2 - 2 = 0*).

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/3

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POPIS A REPREZENTÁCIA OBJEKTOV

Pri spracovaní objektov sú zaujímavé dve hľadiská:

- popis objektu
- reprezentácia objektu

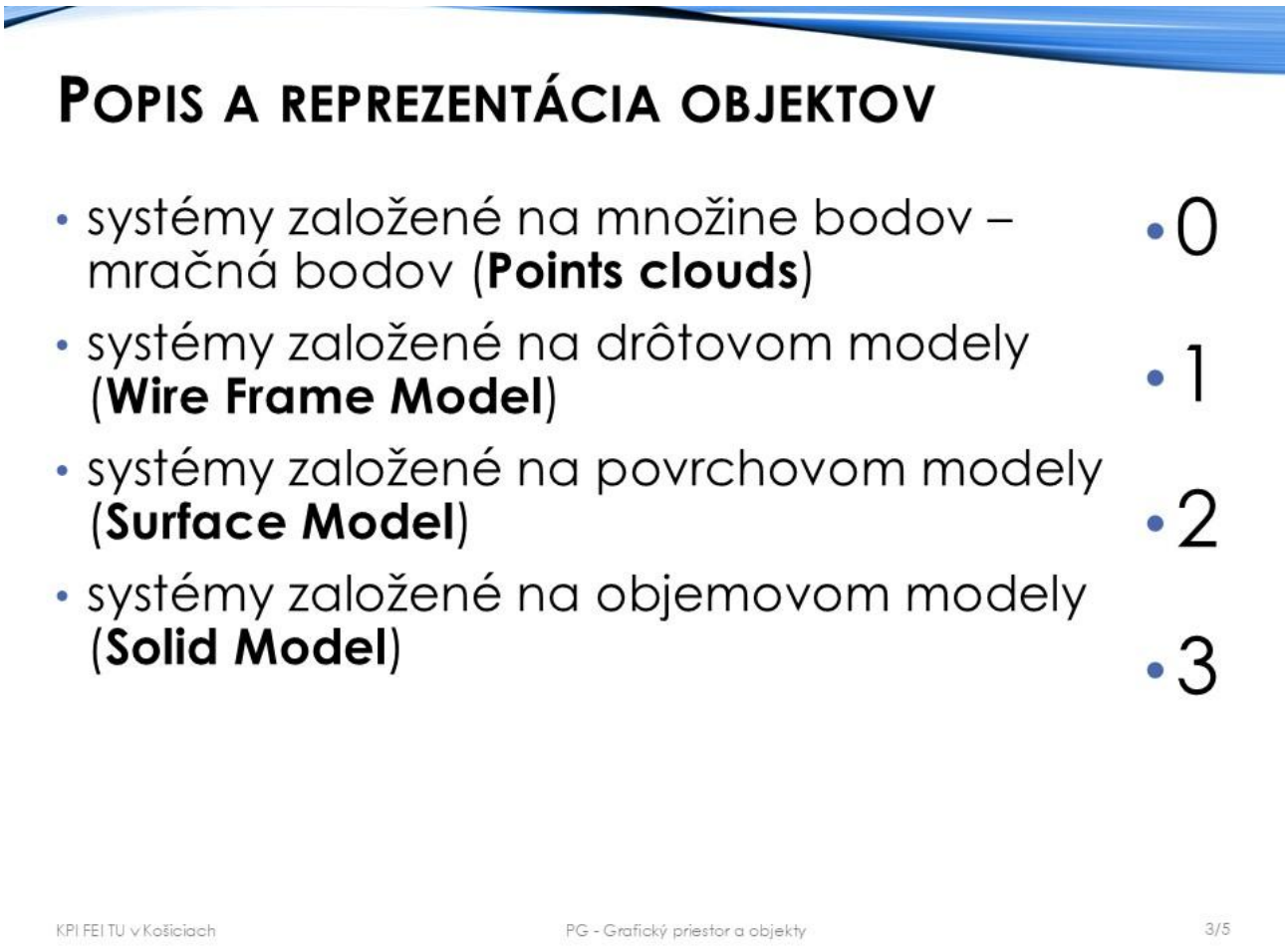
Pre modelovanie telies sú používané tri základné spôsoby popisu:

- hraničná reprezentácia a jej štruktúrovaná derivácia B-rep
- konštruktívna geometria telies (CSG)
- vypočítavanie obsadených častí priestoru

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



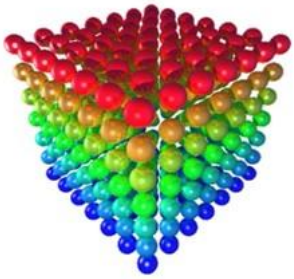
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

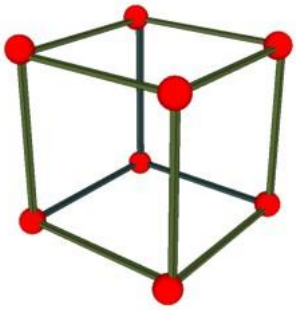
Zaujímavé URL:

POPIS A REPREZENTÁCIA OBJEKTOV

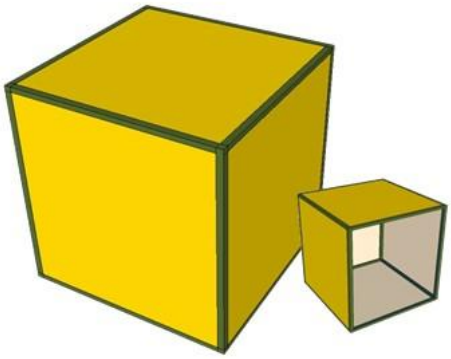
0



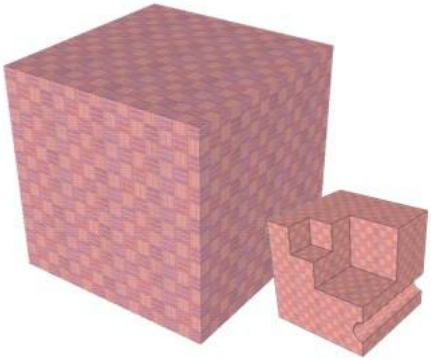
1



2



3



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/6

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

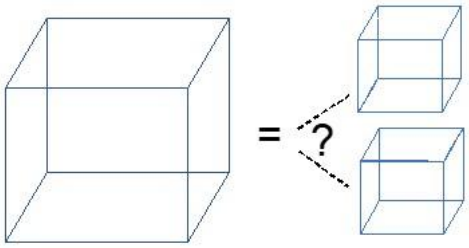
HRANIČNÁ REPREZENTÁCIA

Vychádza z predstavy, že najvýznamnejšou časťou telesa sú jeho hraničné elementy ako napr. hrany alebo povrch, ktorý tvorí hranicu medzi hmotou telesa a okolitým priestorom.

Hraničné plochy môžeme deliť na časti rovín, analytické plochy a na špeciálne parametrické plochy.

Najjednoduchšia metóda popisu hranice telies spočíva v stanovení hrán a vrcholov na povrchu telesa (drôtový model).

Môže byť nejednoznačná



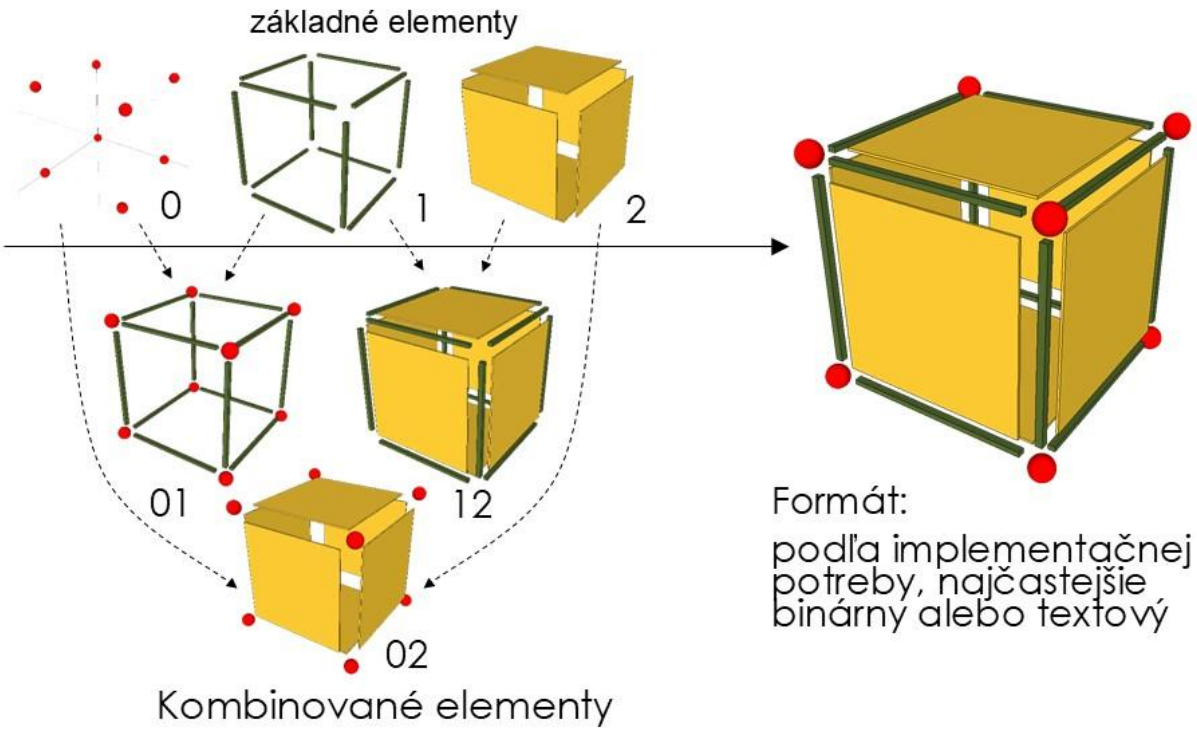
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/7

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HRANIČNÁ REPREZENTÁCIA



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/8

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HRANIČNÁ REPREZENTÁCIA

ŠTRUKTUROVANÁ B-REP METÓDA

B-REP (Boundary Representation) definuje objekt svojím povrchom. Povrch je zložený zo stien, ktoré sa môžu vzájomne dotýkať iba na spoločných hranách, pričom každá hrana je orientovaná (dá sa jednoznačne určiť, či sa jedná o vnútornú, alebo vonkajšiu hranu).

Objekt je reprezentovaný dynamickou údajovou štruktúrou nazývanou **Winged Edge Structure**, zloženou zo štyroch druhov uzlov:

- *vrchol (Vertex),*
- *hrana (Edge),*
- *stena, plocha (Face),*
- *teleso (Solid)*

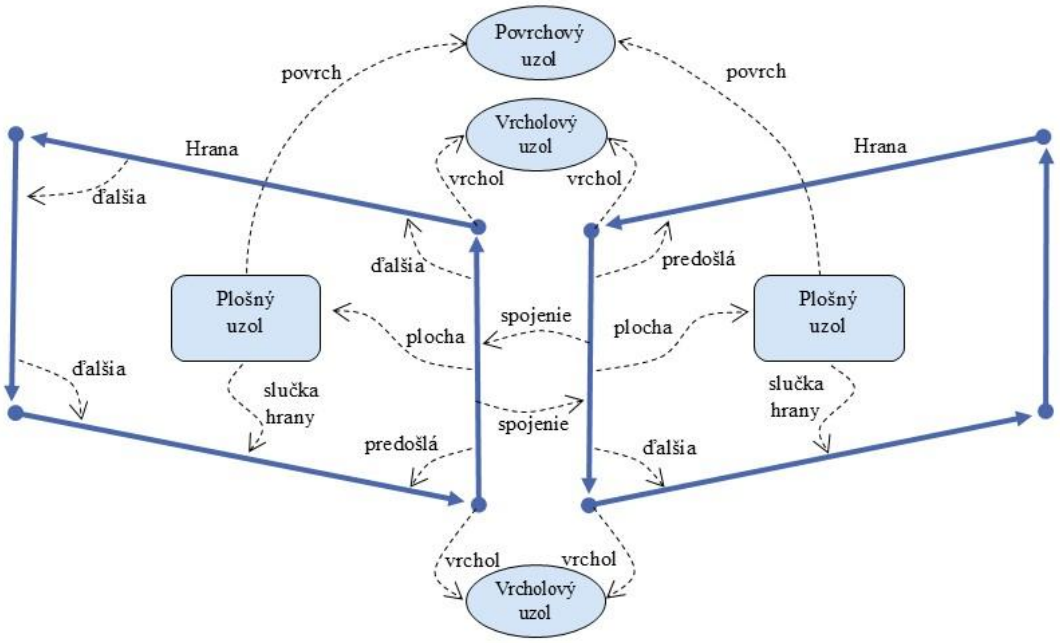
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/9

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HRANIČNÁ REPREZENTÁCIA
ŠTRUKTUROVANÁ B-REP METÓDA



Rozšírená hranová (winged-edge) štruktúra

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/10

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KONŠTRUKTÍVNA GEOMETRIA TELIES

CSG – CONSTRUCTIVE SOLID GEOMETRY

Je definovaná abstraktnou údajovou štruktúrou: **strom**

- **Listy** stromu definujú jednotlivé atomárne elementy, z ktorých sa následne objekt skladá
- **Uzly** stromu definujú operácie medzi atomárnymi elementami/objektami a/alebo prípadne vzniknutými subobjektami na danej úrovni stromu (zjednotenie, rozdiel, prienik)
- **Hrany** stromu definujú transformácie atomárnych elementov a/alebo subobjektov vstupujúcich do rodičovského uzla
- v **Koreni** stromu je už definovaný celý objekt

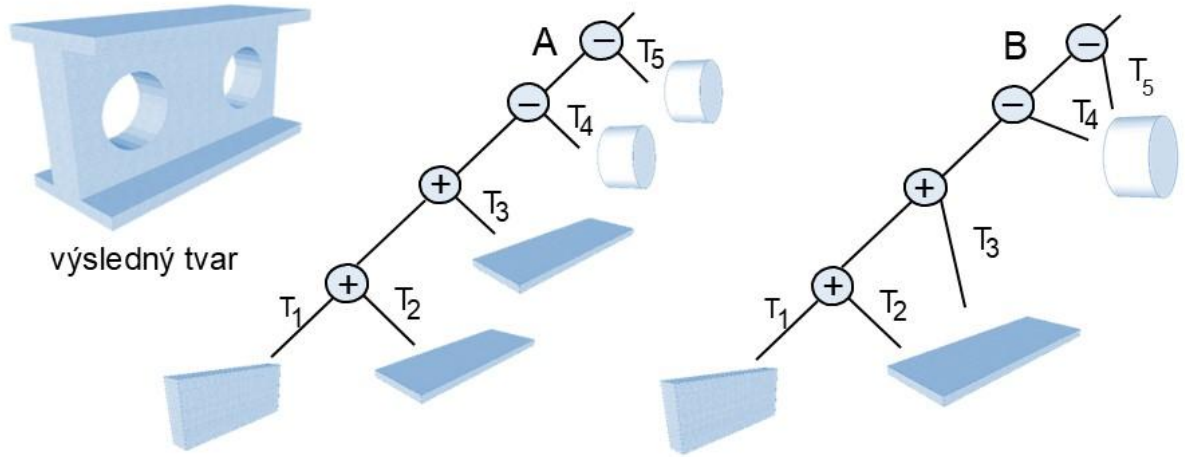
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CSG REPREZENTÁCIA



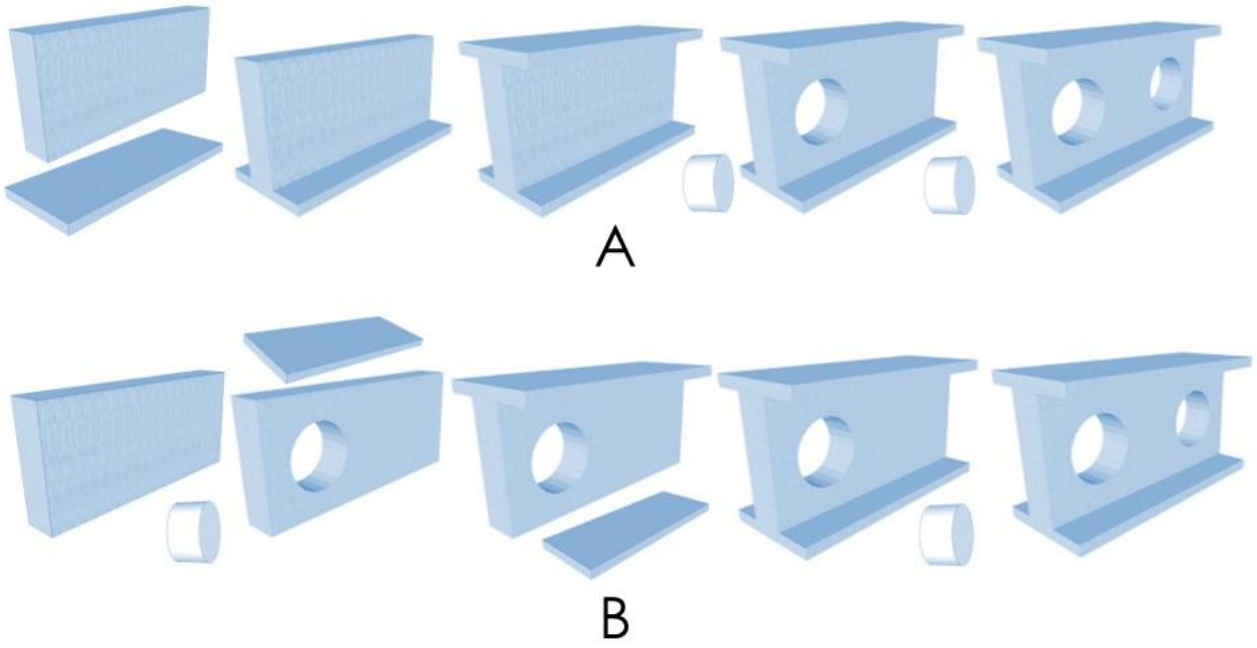
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/12

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CSG REPREZENTÁCIA



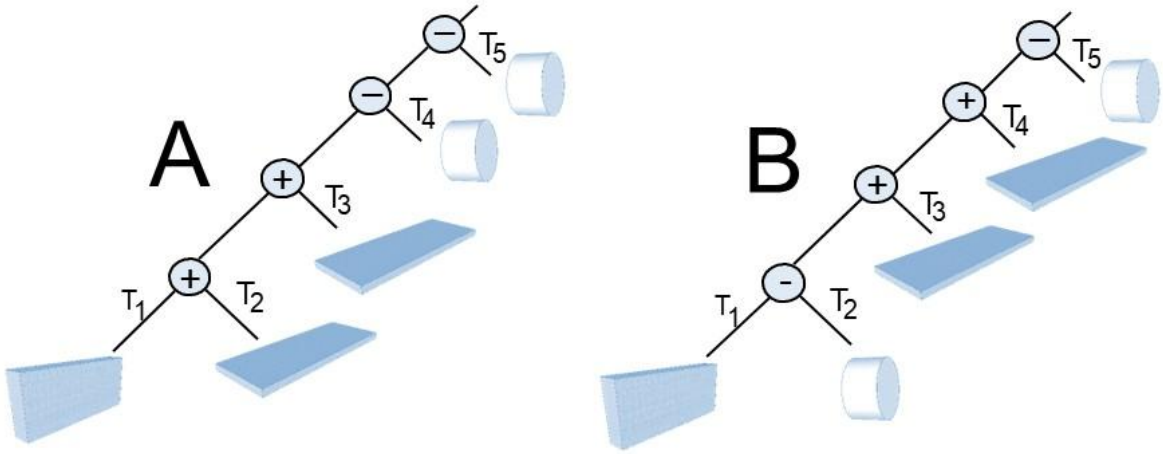
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/13

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

CSG REPREZENTÁCIA



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRIESTOR A JEHO KOORDINAČNÝ SYSTÉM

SÚRADNICOVÁ SÚSTAVA

- *Koordinačný systém* (súradnicová sústava) umožňuje parametrizovať priestor a definovať jeho počiatočný bod (stred koordinačného systému, origin) a smery rozvoja fyzikálnej veličiny v príslušnej dimenzii priestoru popisovaného koordinačným systémom (jeho osi).
- *Súradnice* (parametre, koordináty) definujú jednoznačne polohu v rámci koordinačného systému podľa charakteru a štruktúry dimenzií priestoru

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRIESTOR A JEHO KOORDINAČNÝ SYSTÉM

SÚRADNICOVÁ SÚSTAVA

Súradnicová sústava umožňuje parametrizovať priestor a definovať jeho počiatočný bod

1. *Počiatok* (stred súradnicovej sústavy)
2. Os – definuje smer rozvoja fyzikálnej veličiny v príslušnej dimenzii priestoru popisovaného súradnicovou sústavou
3. *Súradnice* (parametre) – definujú jednoznačne polohu v rámci súradnicovej sústavy podľa charakteru a štruktúry dimenzií priestoru (Počet súradníc – podľa počtu dimenzií priestoru)
4. *Smer rozvoja zoradenia súradníc* – najčastejšie točivosť (ľavo alebo pravotočivá)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY

LINEARITA A PRAVOUHLOSŤ

Podľa rozvoja hodnôt veličín príslušných dimenzií priestoru ktorému je súradnicová sústava priradená:

1. Lineárne súradnicové sústavy
2. Nelineárne súradnicové sústavy

Podľa vzťahu osí súradnicového systému:

1. Pravouhlé
2. Nepravouhlé

Pre počítačovú grafiku sa primárne používajú celočíselné translačné alebo rotačné lineárne súradnicové sústavy

KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/17

Poznámky:

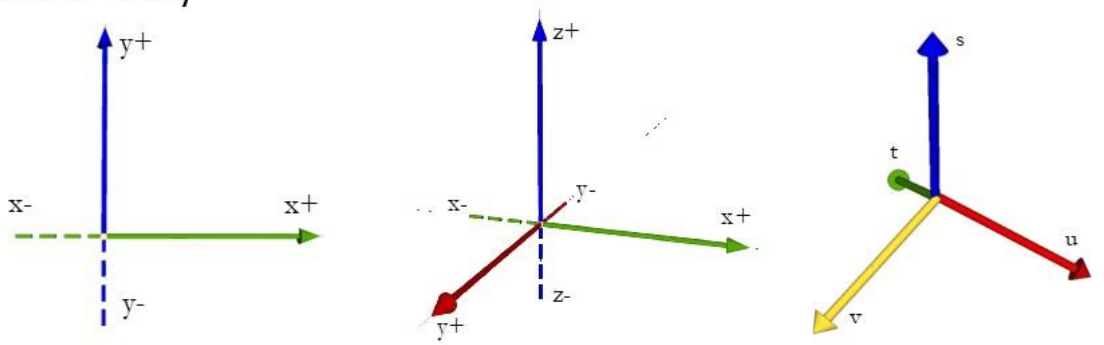
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY

TYPY

1. 2D (topologicky, 2+0) translačná pravouhlá lineárna súradnicová sústava
2. 3D (topologicky, 3+0) translačná pravouhlá lineárna súradnicová sústava
3. 4D (topologicky, 4+0) translačná pravouhlá lineárna súradnicová sústava (projekcia do 3D, disfenoid)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/18

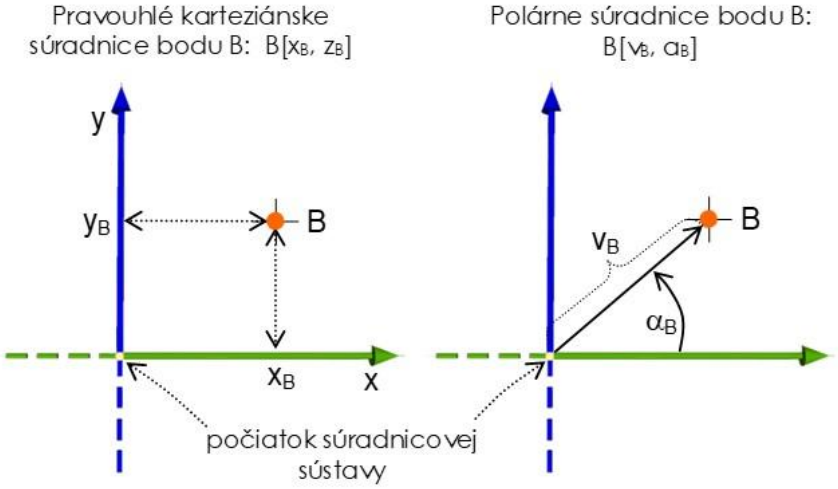
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY
POUŽÍVANÉ 2D TYPY

1. Karteziánska 2D pravouhlá súradnicová sústava
2. Polárna súradnicová sústava



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/19

Poznámky:

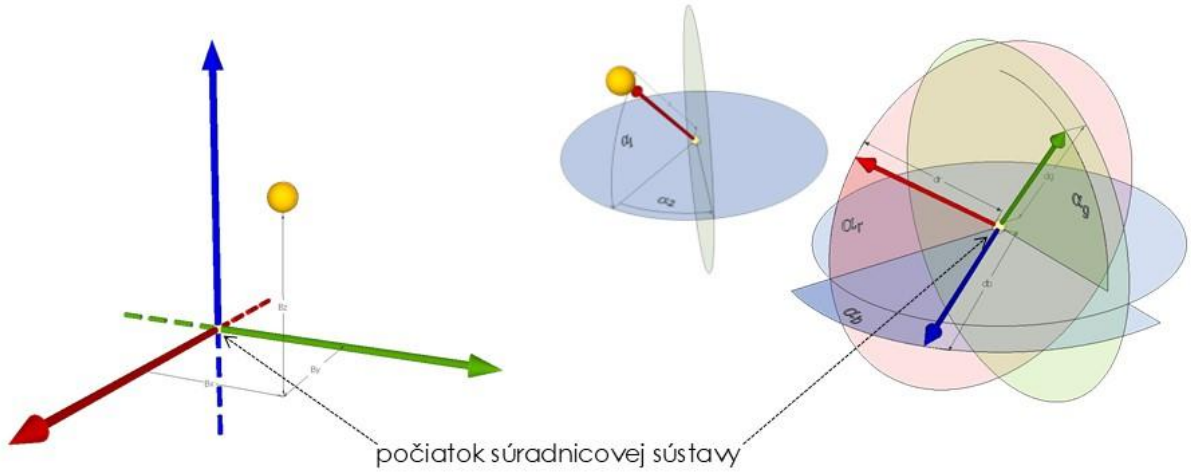
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY

POUŽÍVANÉ 3D TYPY

1. Karteziánska 3D pravouhlá súradnicová sústava
2. Sférická súradnicová sústava



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY
ŠTANDARDNÉ PRACOVNÉ PRIESTORY

1. *USS* - Univerzálna (Používateľská, Globálna) Súradnicová Sústava
2. *SSO* - Súradnicová Sústava Objektu
3. *NSS* - Normalizovaná Súradnicová Sústava
4. *SSZ* - Súradnicová Sústava Zariadenia
5. *SSC* - Súradnicová Sústava kamery
6. *SST* – Súradnicová Sústava Textúry

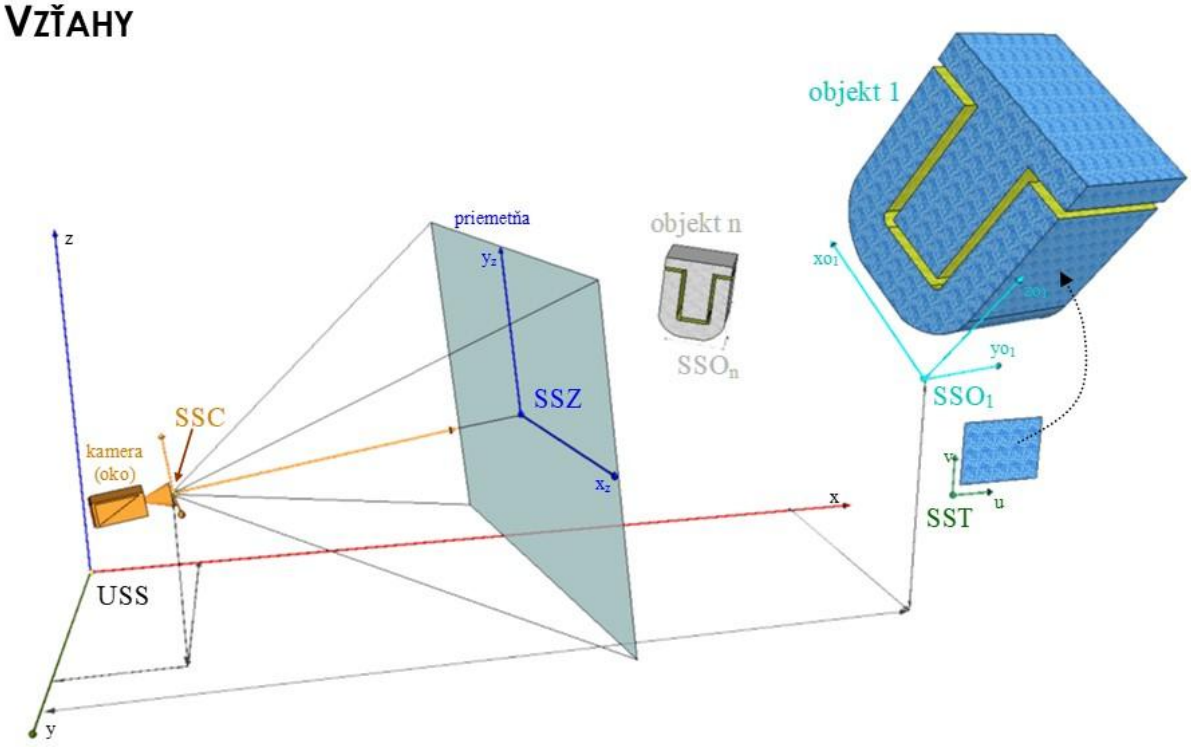
KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/21

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY
VZŤAHY



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/22

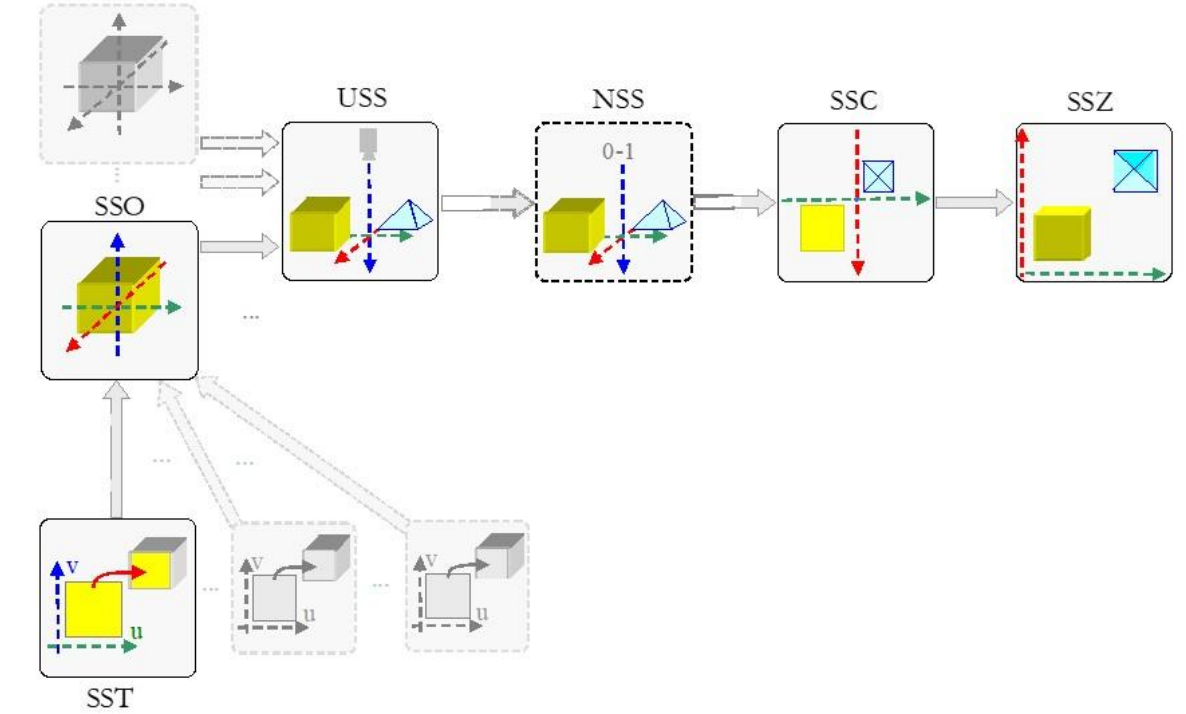
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY

VZŤAHY – SÚRADNICOVÝ REŤAZEC



KPI FEI TU v Košiciach PG - Grafický priestor a objekty 3/23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Popis a reprezentácia objektov v počítačovej grafike, priestor a jeho parametre.
- Hraničná reprezentácia.
- Konštruktívna geometria telies.
- Vymenujte a popíšte súradnicové sústavy používané v počítačovej grafike.

4 Transformácie grafických objektov

Manipulácia s grafickými objektami a teda transformácie nad nimi, ich zobrazenia a prípadné morfovanie je jednou z najčastejších činností systémov počítačovej grafiky. Postupné zreťazenie transformácií medzi jednotlivými súradnicovými sústavami (geometrická, pohľadova, zobrazovacia a orezávacia transformácia) sa nazýva transformačný reťazec. Transformácie podľa svojho charakteru delíme na *lineárne* a *nelineárne*.

Najčastejšími vnímanými transformáciami sú lineárne geometrické transformácie (afinné transformácie ako – zrkadlenie, zmena mierky, posunutie, skosenie a otočenie. Ich implementácia môže byť realizovaná ako nad vektorovými tak aj rastrovými typmi grafických objektov a samozrejme v rôzne dimenzionálnych grafických priestoroch.

Novším prvkom je 3D morfovanie objektov v zmysle transformácií riadiacich prvkov modelovacích prostriedkov, v zmysle simulácie buď morfovanie objektu v časovom kontinuu (napr. starnutie, rozklad a pod.) alebo morfovania objektu pri interakcii. Najmä posledne uvedená problematika je silne závislá od použitých modelovacích prostriedkov a v používaní alebo nepoužívaní podporných hardvérových urýchľovačov. Osobitnou kapitolou je nepoužívanie 2D zobrazovačov ale snaha o použitie 3D zobrazovačov,. U tohto typu zobrazovačov sa však v súčasnosti ešte jedná o pomerne robustné zariadenia s nízkymi parametrami za priveľmi vysokú cenu. To však neznamená, že ich použitie v budúcnosti nemá zmysel.

Ako definovanie či modelovanie, tak aj následné transformácie či zobrazenia objektov patria medzi základné procesy aplikované v počítačovej grafike.

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/1

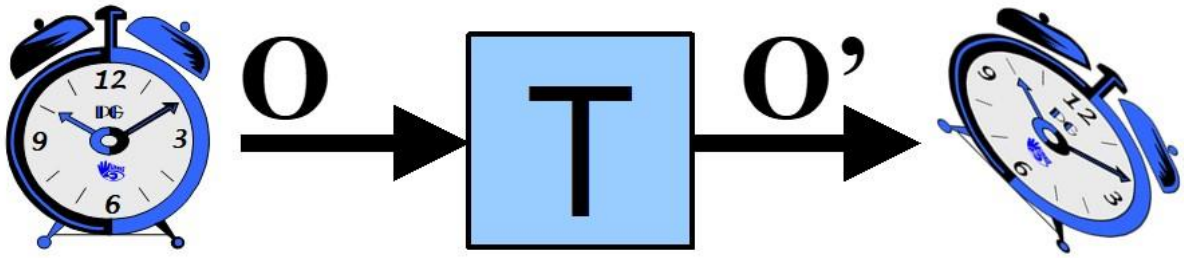
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TRANSFORMÁCIE

Transformácia je proces, ktorý mení (transformuje) vstupný objekt (jeho parametre) na objekt výstupný.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TRANSFORMÁCIE

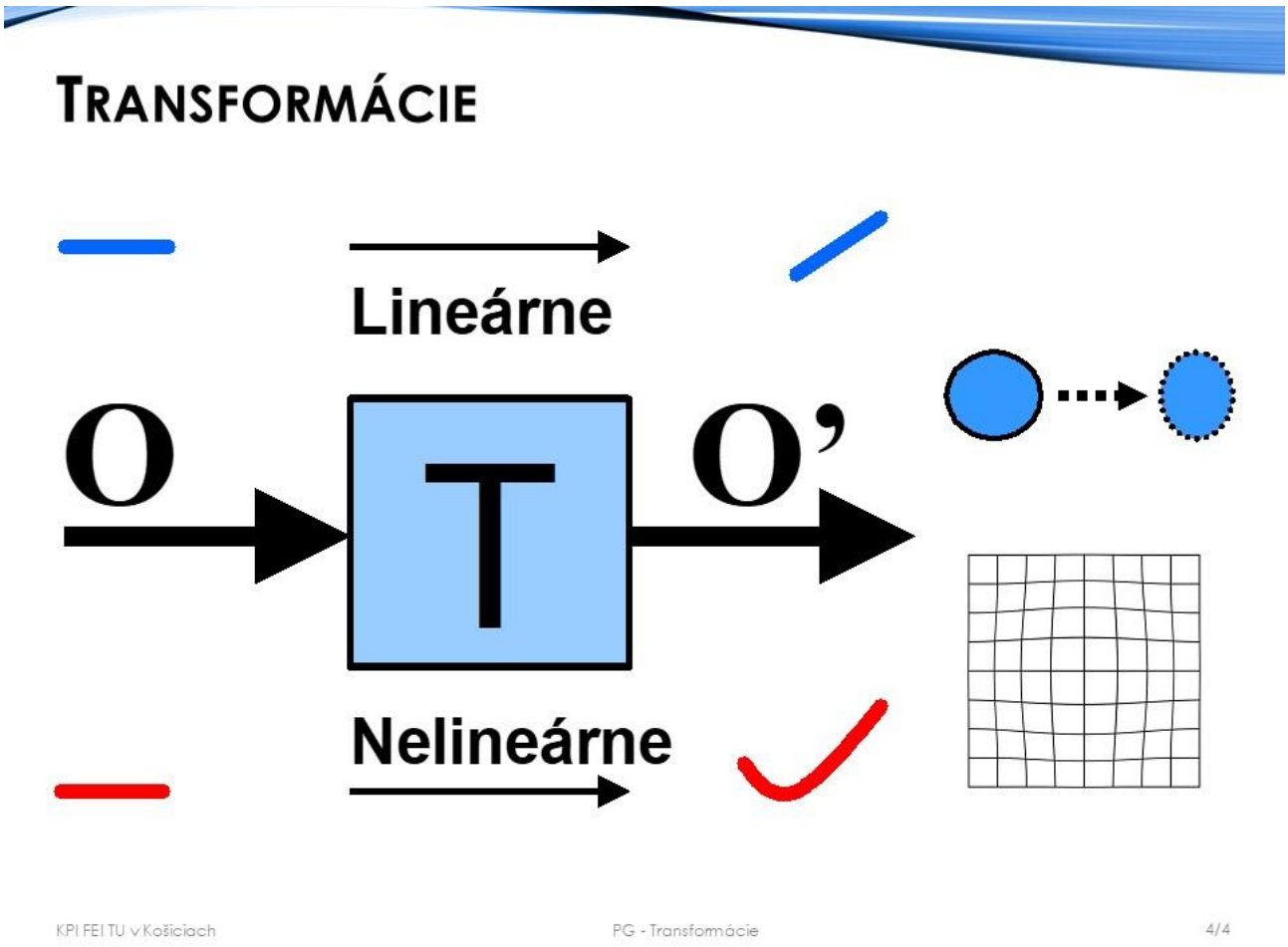
- **Lineárne** – po transformácii sa nemení charakter objektu. Medzi tieto transformácie radíme najmä posunutie (transláciu), otočenie (rotáciu), zmenu mierky (škálovanie), skosenie a zrkadlenie.
- **Nelineárne** – po transformácii sa mení charakter objektu. Medzi tieto transformácie patrí napr. distorzia obrazu, rybie oko, panoráma, zošikmenie, face warp a pod.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/3

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



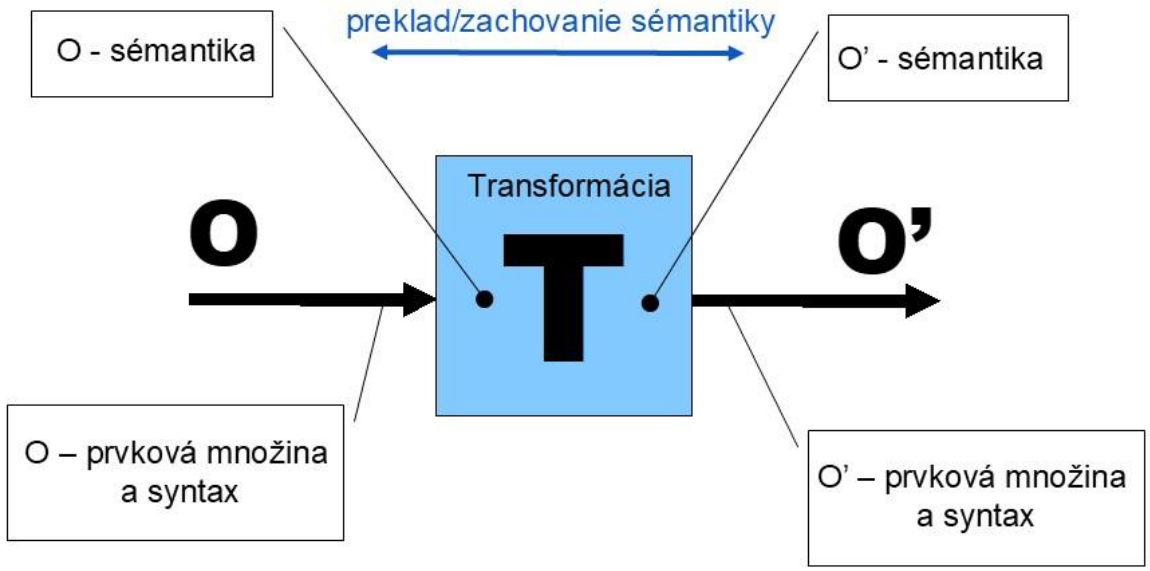
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TRANSFORMÁCIE

- so zachovaním sémantiky (spravidla lineárne)
- s prekladom sémantiky (spravidla nelineárne)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/5

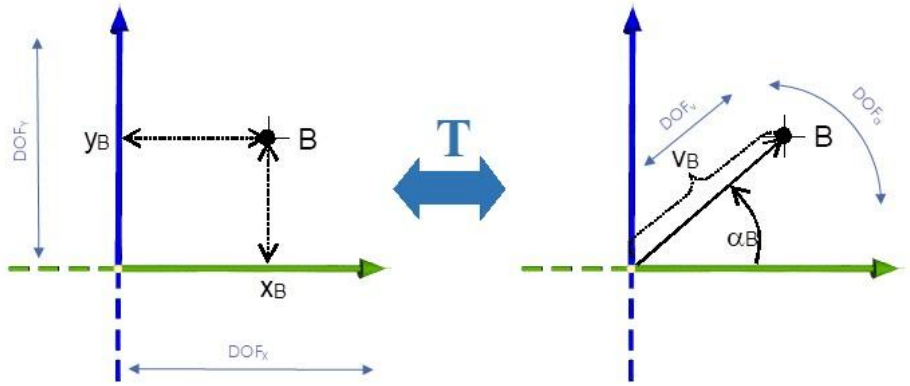
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VZŤAH PRIESTOROV, ICH SÚRADNICOVÝCH SÚSTAV A TRANSFORMÁCIÍ

- Z hľadiska použitého typu sústavy je možné príslušnú transformáciu z hľadiska jej vonkajšieho prejavu v rôznych sústavách vnímať rozdielne.
- Rôzne manipulácie toho istého objektu je možné jednoduchšie popísať použitím inej sústavy a vyjadrením transformácie medzi týmito sústavami
- Vo virtuálnom grafickom svete DOF (Degree of Freedom – stupeň voľnosti) definuje počet translačných a rotačných (alebo časových) smerov, v ktorých sa môže grafický objekt pohybovať).



Pravouhlá kartézska súradnicová sústava Polárna súradnicová sústava

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/6

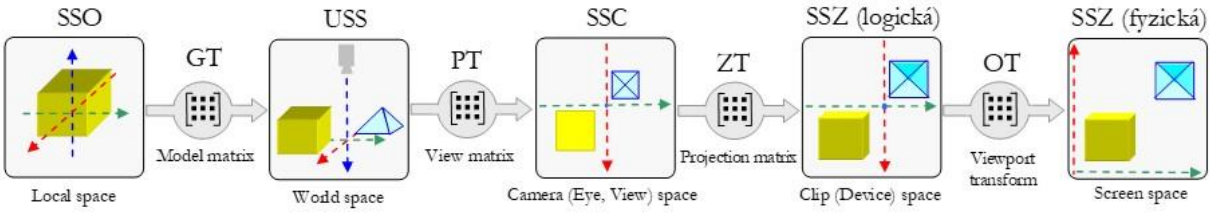
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MEDZISÚSTAVOVÉ TRANSFORMÁCIE

- Globálna (geometrická) transformácia **GT**,
- Pohľadová transformácia **PT**,
- Zobrazovacia (projekčná) transformácia **ZT**,
- Orezávacia transformácia **OT**

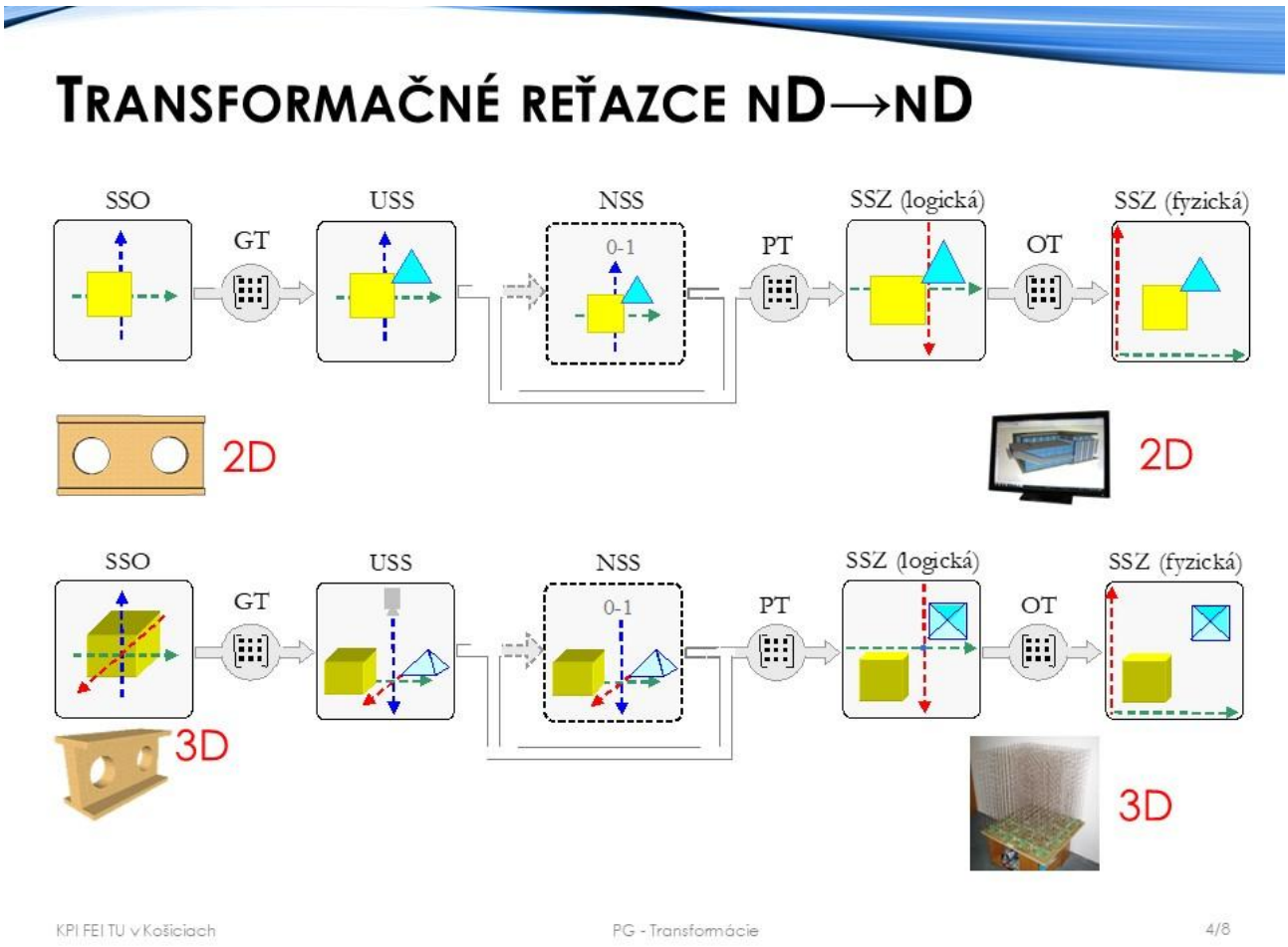


KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/7

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

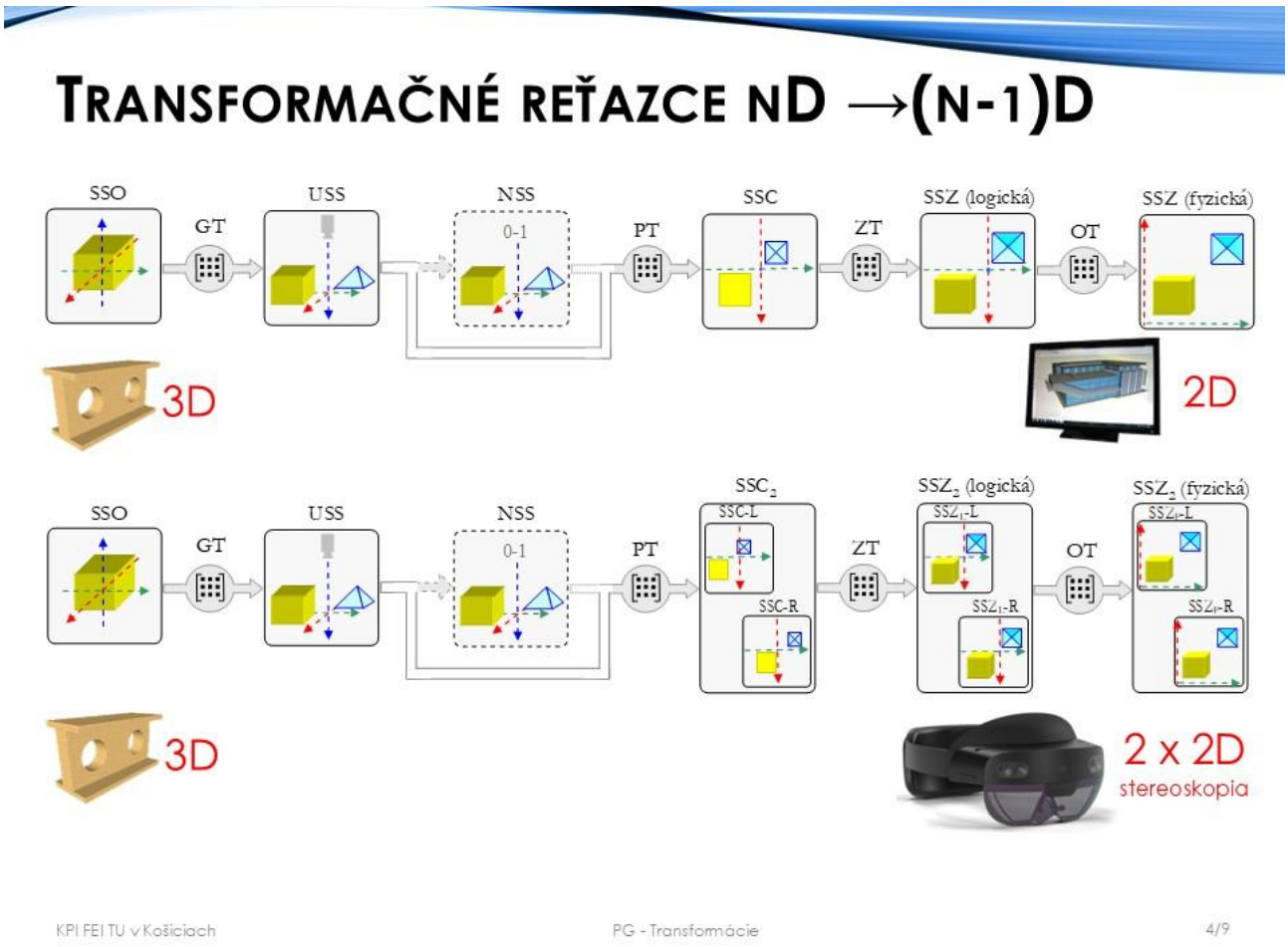
Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

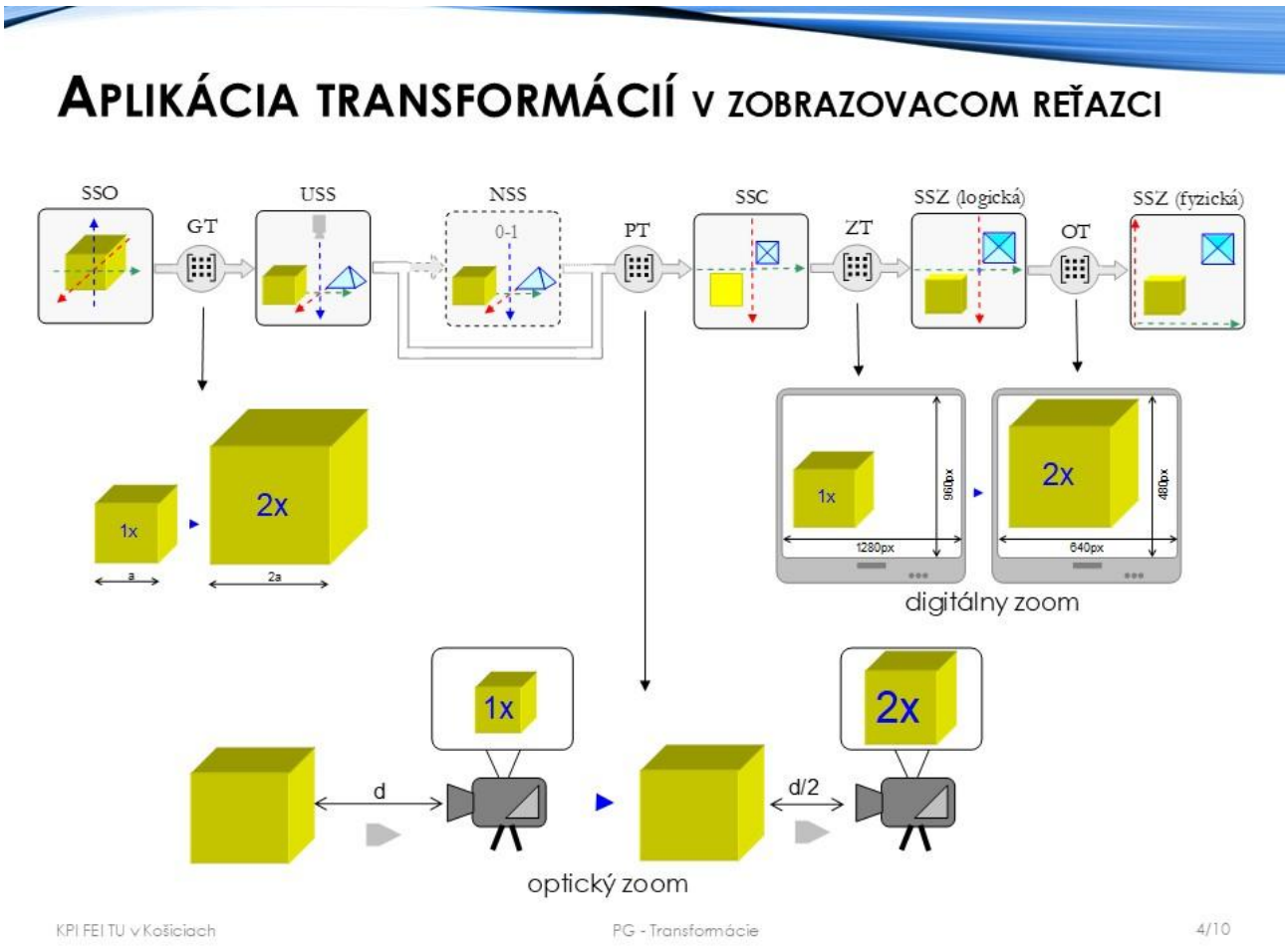
Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

IMPLEMENTÁCIA TRANSFORMÁCIÍ, TRANSFORMAČNÉ MATICE

- Implementácia analytickým spôsobom
- Implementácia pomocou maticového počtu

$$O \times \mathbf{T} = O'$$

Transformačná matica

$$[x, y] * \mathbf{T} = [x', y'] \quad \text{v 2D}$$

$$[x, y, z] * \mathbf{T} = [x', y', z'] \quad \text{v 3D}$$

Podstatné obmedzenie matíc 3x3 (3D): nemožnosť použitia pre posunutie
Riešenie: zavedenie homogénnych súradníc

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HOMOGÉNNE SÚRADNICE

$$\varphi(X,Y,W)=\begin{cases}\left(\frac{X}{W} \quad \frac{Y}{W}\right) & ak \quad W\neq 0\\ smer. \quad (X,Y) & ak \quad W=0\end{cases}$$

$$\begin{aligned}&[xw, yw]\equiv[x,y,w]\\ &[xw, yw, zw]\equiv[x,y,z,w]\end{aligned} \quad \text{alebo} \quad \begin{aligned}&\left[\frac{x}{w},\frac{y}{w}\right]\equiv[x,y,w] && \text{pre2D}\\ &\left[\frac{x}{w},\frac{y}{w},\frac{z}{w}\right]\equiv[x,y,z,w] && \text{pre3D}\end{aligned}$$

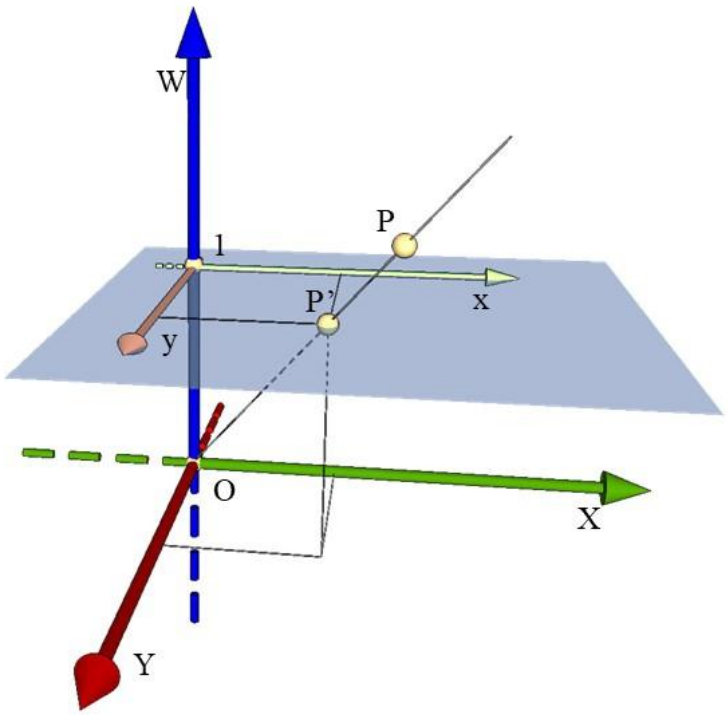
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/12

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

HOMOGÉNNE SÚRADNICE
GEOMETRICKÁ REPREZENTÁCIA



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/13

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

AFINNÉ TRANSFORMÁCIE

- Zrkadlenie
- Zmena mierky
- Posunutie
- Skosenie
- Otočenie

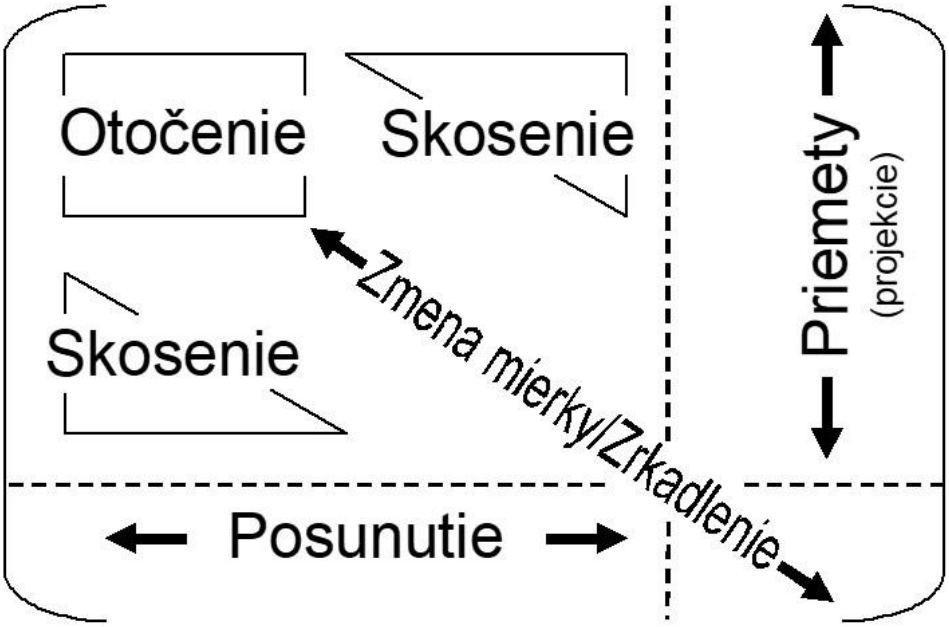
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZMIESTNENIE PARAMETROV TRANSFORMAČNÝCH MATÍC



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/15

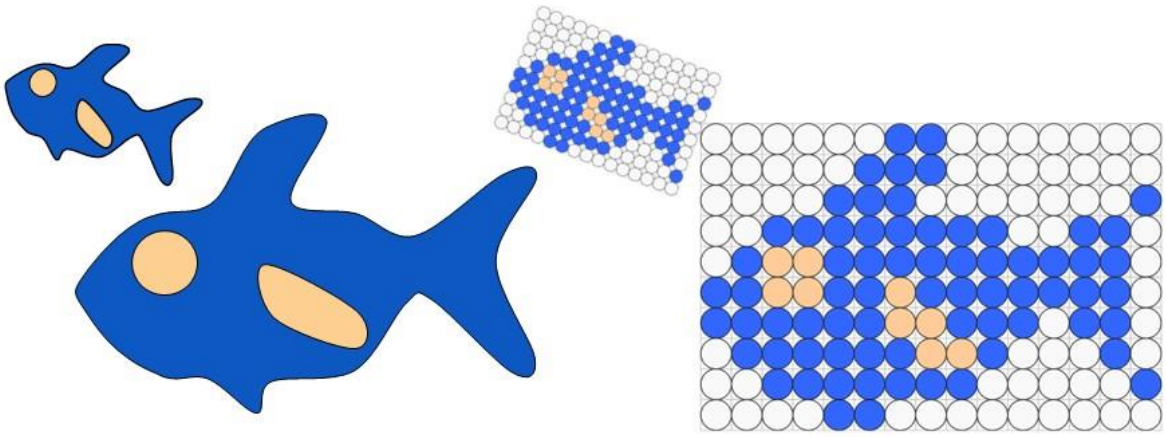
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

IMPLEMENTÁCIA AFINNÝCH TRANSFORMÁCIÍ

- Implementácia pre vektorové objekty
- Implementácia pre rastrové objekty



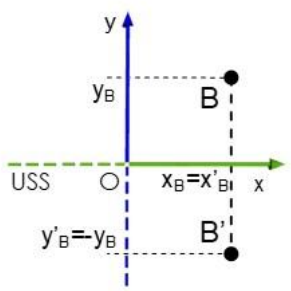
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

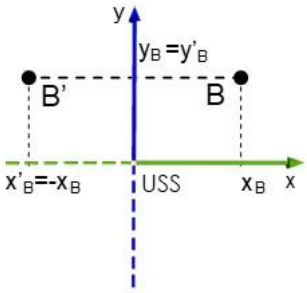
Zaujímavé URL:

ZRKADLENIE (2D)



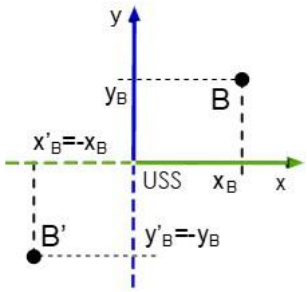
$$x'_B = x_B$$
$$y'_B = -y_B$$

vzhľadom na os x



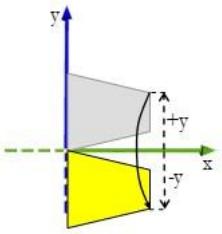
$$x'_B = -x_B$$
$$y'_B = y_B$$

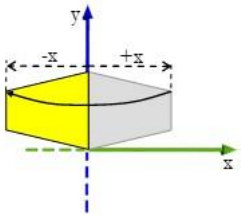
vzhľadom na os y

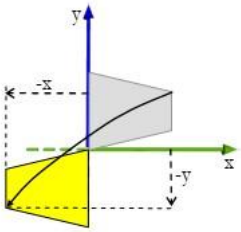


$$x'_B = -x_B$$
$$y'_B = -y_B$$

vzhľadom na stred







KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZRKADLENIE (3D)

$$\mathbf{T}_{Zx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Zxy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Zs} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

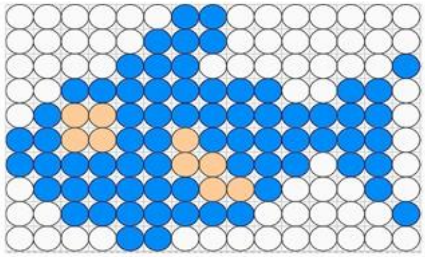
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

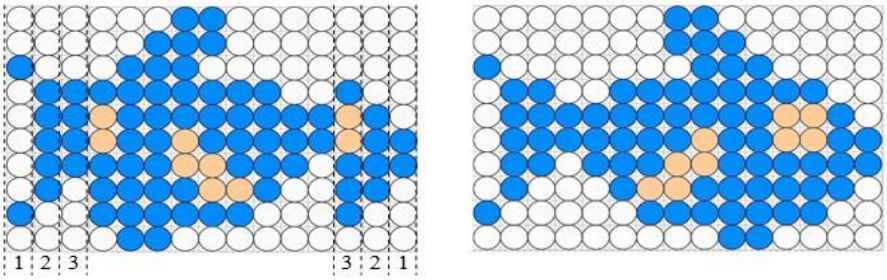
Zaujímavé URL:

ZRKADLENIE RASTROVÝCH OBJEKTOV



0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

originál maska



prvé 3 kroky zrkadlenia výsledok

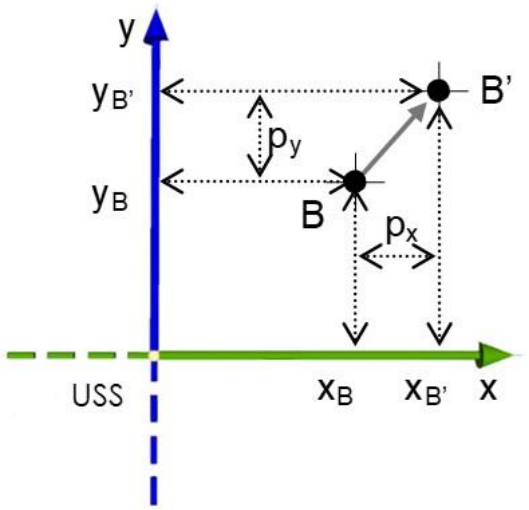
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/19

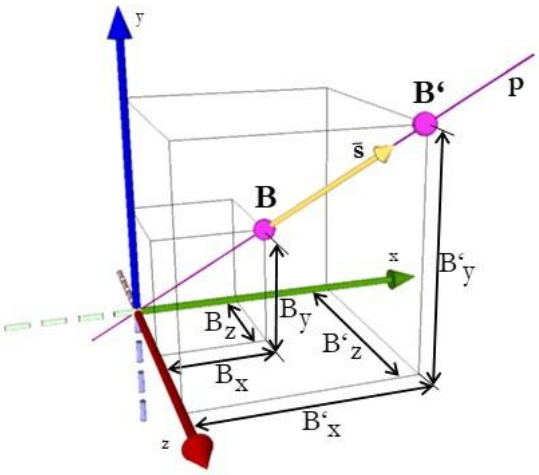
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POSUNUTIE (TRANSLÁCIA)





KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/20

Poznámky:

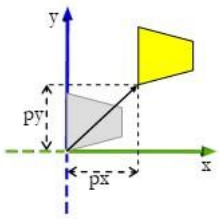
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POSUNUTIE (TRANSLÁCIA)

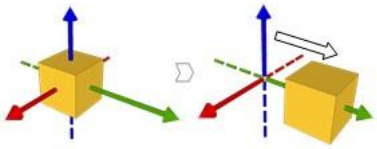
$$x'_B = x_B + px$$
$$y'_B = y_B + py$$

$$\mathbf{T}_P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ px & py & 1 \end{bmatrix}$$



$$x'_B = x_B + px$$
$$y'_B = y_B + py$$
$$z'_B = z_B + pz$$

$$\mathbf{T}_P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ px & py & pz & 1 \end{bmatrix}$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/21

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

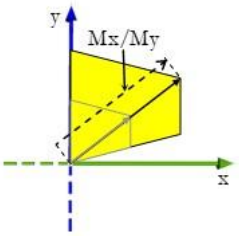
ZMENA MIERKY (ŠKÁLOVANIE)

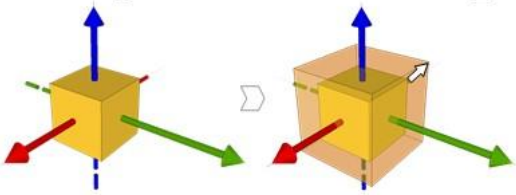
$$x'_B = M_x \times x_B$$
$$y'_B = M_y \times y_B$$

$$\mathbf{T}_M = \begin{bmatrix} M_x & 0 & 0 \\ 0 & M_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$x'_B = M_x \times x_B$$
$$y'_B = M_y \times y_B$$
$$z'_B = M_z \times z_B$$

$$\mathbf{T}_M = \begin{bmatrix} M_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/22

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMENA MIERKY RASTROVÉHO OBJEKTU

ZVÄČŠENIE

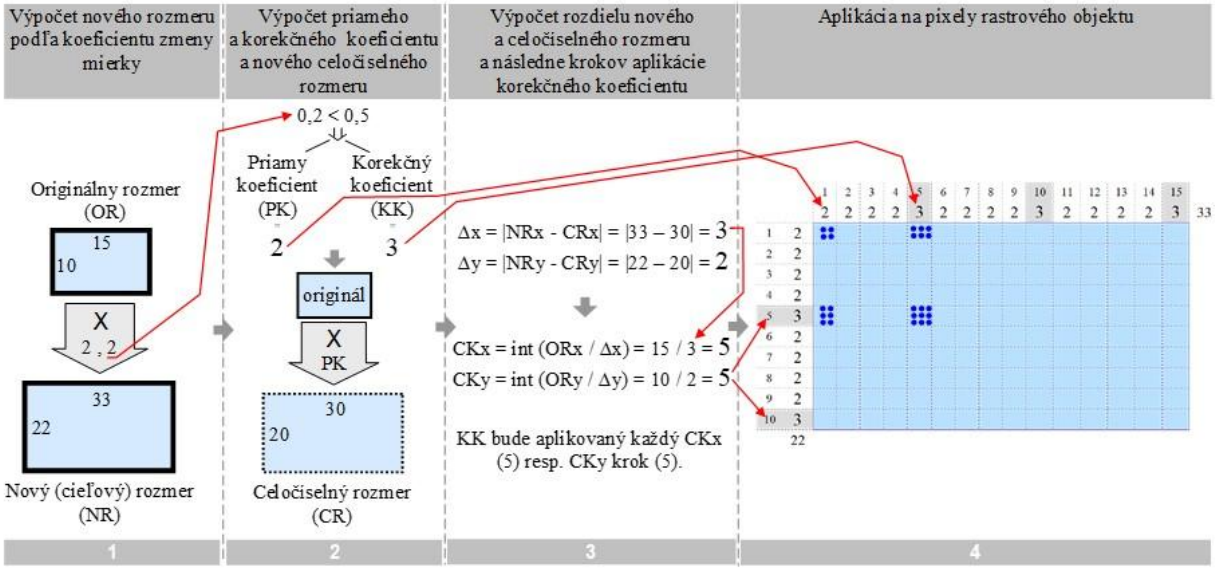
1. vypočíta sa predpokladaný nový rozmer (NR) rastra
2. určí sa celočíselná a desatinná časť koeficientu zmeny mierky
3. vykoná sa test, či desatinná časť koeficientu zmeny mierky je väčšia ako 0.5.
4. určí sa pomocný výpočtový nový priamy koeficient (PK). Tento nový koeficient je buď totožný s celočíselnou časťou koeficientu zmenu mierky (ak desatinná časť koeficientu zmeny mierky M bola ≤ 0.5) alebo je o 1 väčší (ak desatinná časť koeficientu zmeny mierky M bola > 0.5). Potom nový korekčný koeficient (KK) je určený presne opačne ako priamy koeficient.
5. následne sa vypočíta veľkosť rozmeru rastra (CR), ak by bol koeficient zmeny mierky len celá časť M.
6. zistí sa celočíselný rozdiel (Δ) medzi výpočtovým novým rozmerom a celočíselným rozmerom aby sa zistilo, koľko bodov je nutné ešte doplniť.
7. vypočíta sa korekčný krok (CK) (z originálneho počtu krokov t.j. originálneho rozmeru), ktorý bude určovať, kedy sa vykoná zmena celočíselného koeficientu zmeny mierky o 1 (+ alebo – podľa toho či nebola alebo bola desatinná časť koeficientu zmeny mierky > 0.5), teda kedy sa vlastne použije korekčný koeficient KK.
8. nakoniec sa vykoná konečné priradenie celočíselnej štandardnej (priamej) hodnoty koeficienta zmeny mierky a celočíselného korekčného koeficienta v jednotlivých krokoch.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMENA MIERKY RASTROVÉHO OBJEKTU
ZVÄČŠENIE, KOEFICIENT <0.5



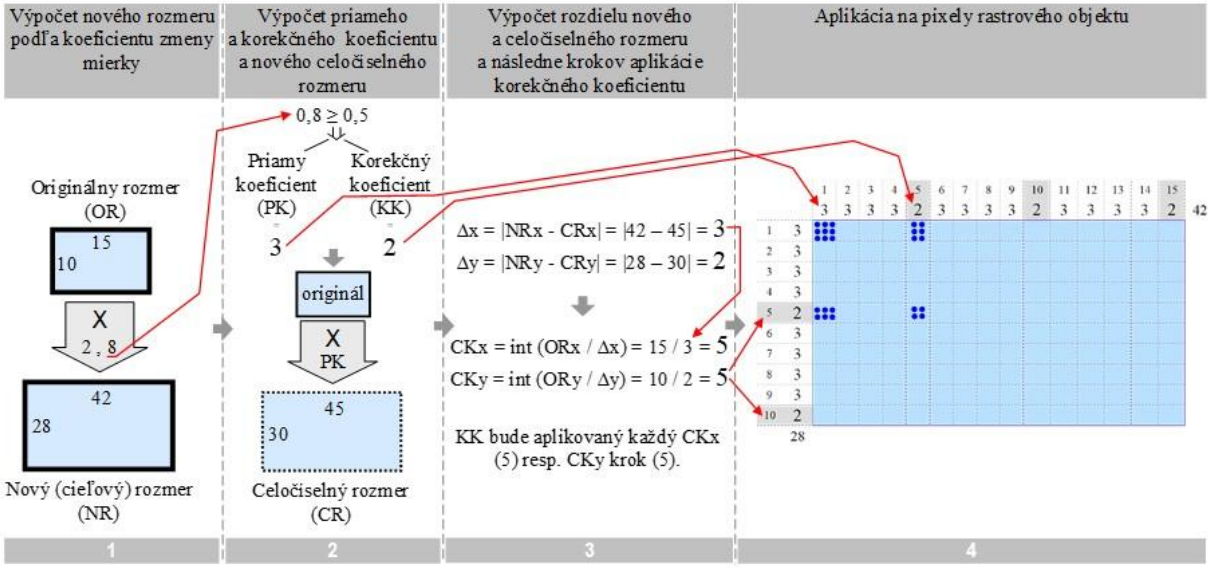
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/24

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMENA MIERKY RASTROVÉHO OBJEKTU
ZVÄČŠENIE, KOEFICIENT ≥ 0.5



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/25

Poznámky:

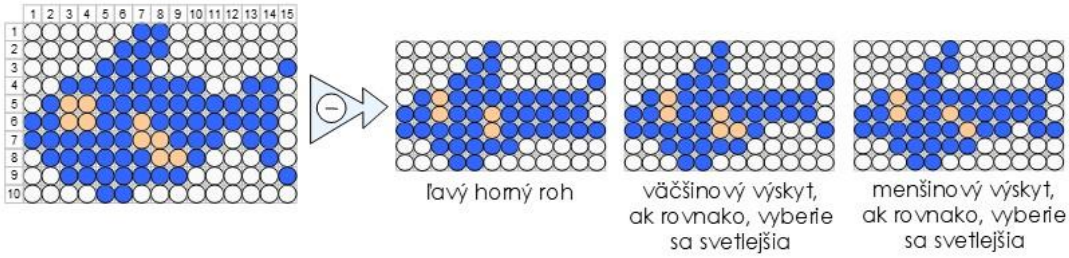
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMENA MIERKY RASTROVÉHO OBJEKTU

ZMENŠENIE, URČENIE FARBY

1. Vypočíta sa zmena mierky v opačnom smere t.j. ako pri zväčšení len s $M = 1/M$, tým sa zistí, vlastne aká matica pixelov bude tvoriť subpixel (napr. 2x2, 3x3 či 3x2).
2. Následne sa určí farba subpixelu. Tá sa dá získať viacerými spôsobmi:
   - spriemernením farieb pixelov alebo použitím mediánovej funkcie v matici pixelov.
   - zistí sa početnosť výskytu farieb v matici pixelov a vyberie sa tá farba, ktorá sa vyskytuje najčastejšie. Ak je výskyt farieb rovnaký, vyberie sa farba podľa iného pravidla alebo ľubovoľná z vyskytujúcich sa farieb.
   - vyberie sa farba, ktorá sa vyskytuje najmenej krát.
   - vyberie sa farba ľavého horného bodu obdĺžnika



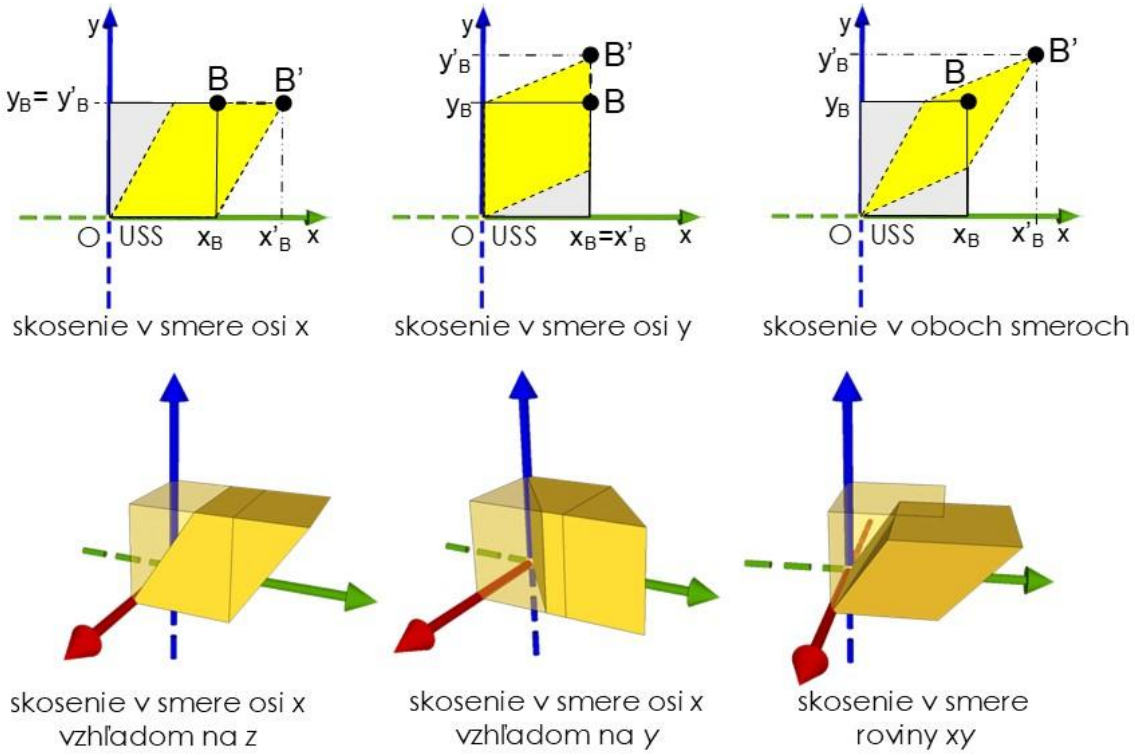
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/26

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SKOSENIE



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/27

Poznámky:

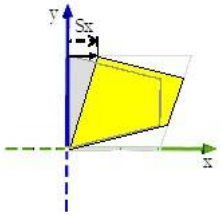
Zaujímavé zdroje:

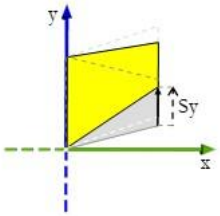
Zaujímavé URL:

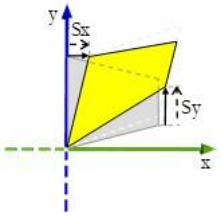
SKOSENIE (2D)

$$x'_B = x_B + S_x \times y_B \qquad x'_B = x_B$$
$$y'_B = y_B \qquad y'_B = y_B + S_y \times x_B$$

$$\mathbf{T}_{Sx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ S_x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Sy} = \begin{bmatrix} 1 & S_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$







KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/28

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SKOSENIE (3D)

$$x'_B = x_B + S_{xoz} \times z_B \qquad x'_B = x_B + S_{xoy} \times y_B \qquad x'_B = x_B + S_{xoz} \times z_B$$
$$y'_B = y_B \qquad y'_B = y_B \qquad y'_B = y_B + S_{yoz} \times z_B$$
$$z'_B = z_B \qquad z'_B = z_B \qquad z'_B = z_B$$

$$\mathbf{T}_{Sxoz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_{xoz} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Sxoz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ S_{xoy} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Sxy} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ S_{xoz} & S_{yoz} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

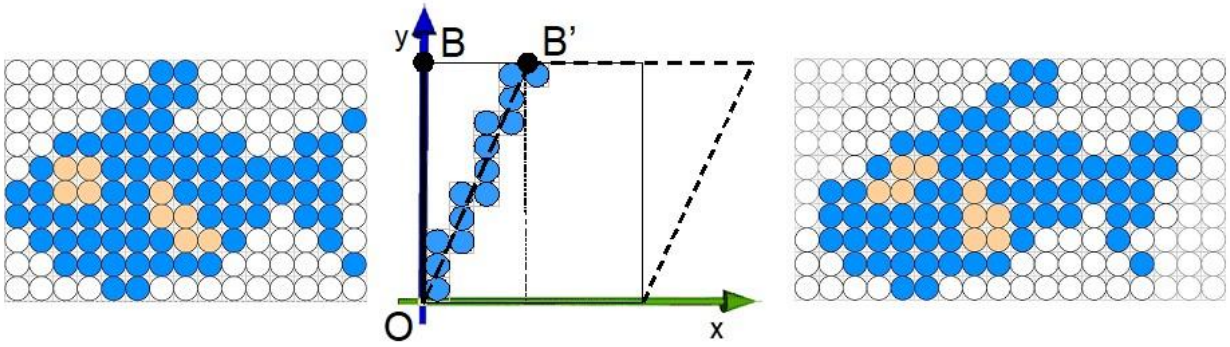
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SKOSENIE RASTROVÝCH OBJEKTOV



Poznámky:

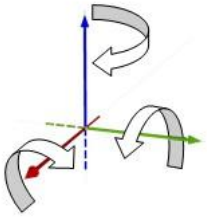
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

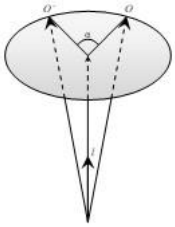
OTÁČANIE (ROTÁCIA)

Leonhard Euler

- otáčanie definované **Eulerovými uhlami** a reprezentované všeobecnými transformačnými maticami. V princípe sa jedná o rozklad všeobecného otočenia otáčania na tri zložky a to okolo jednotlivých osí kartézskej súradnicovej sústavy.



- otáčanie definované **Eulerovým teorémom** a reprezentované *quaterniónmi*.



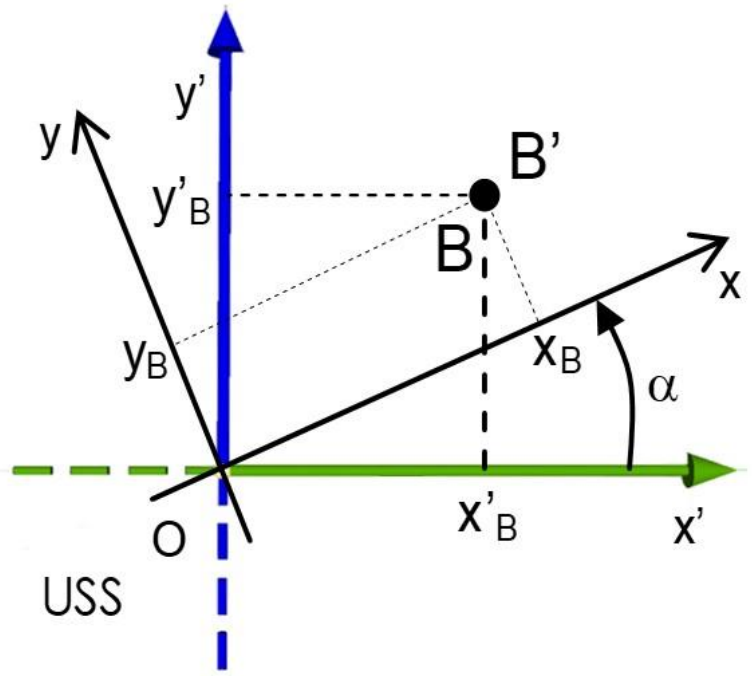
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/31

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE (ROTÁCIA 2D)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/32

Poznámky:

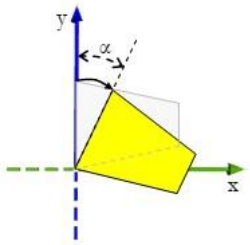
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE (ROTÁCIA, 2D)

$$x'_B = x_B \times \cos(\alpha) - y_B \times \sin(\alpha)$$
$$y'_B = x_B \times \sin(\alpha) + y_B \times \cos(\alpha)$$

$$\mathbf{T}_O = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/33

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE (ROTÁCIA, 3D)

$$x'_B = x_B$$
$$y'_B = y_B \times \cos(\alpha) - z_B \times \sin(\alpha)$$
$$z'_B = y_B \times \sin(\alpha) + z_B \times \cos(\alpha)$$

$$x'_B = x_B \times \cos(\alpha) + z_B \times \sin(\alpha)$$
$$y'_B = y_B$$
$$z'_B = -x_B \times \sin(\alpha) + z_B \times \cos(\alpha)$$

$$x'_B = x_B \times \cos(\alpha) - y_B \times \sin(\alpha)$$
$$y'_B = x_B \times \sin(\alpha) + y_B \times \cos(\alpha)$$
$$z'_B = z_B$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/34

Poznámky:

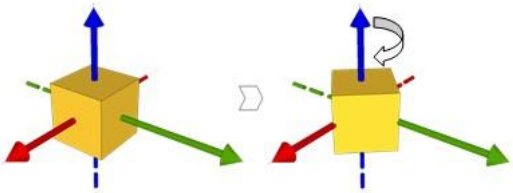
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE (ROTÁCIA, 3D)

$$\mathbf{T}_{Ox} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T}_{Oy} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & \sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{T}_{Oz} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



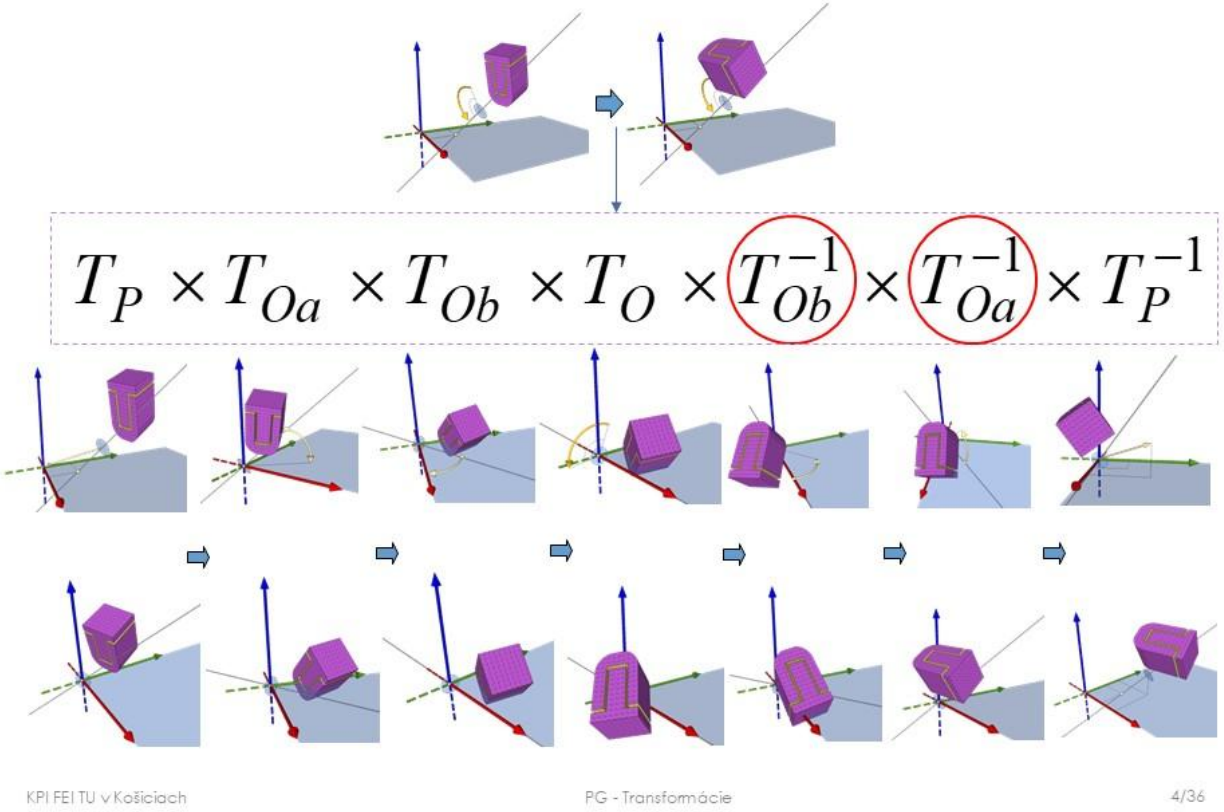
KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/35

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE OKOLO VŠEOBECNEJ PRIAMKY



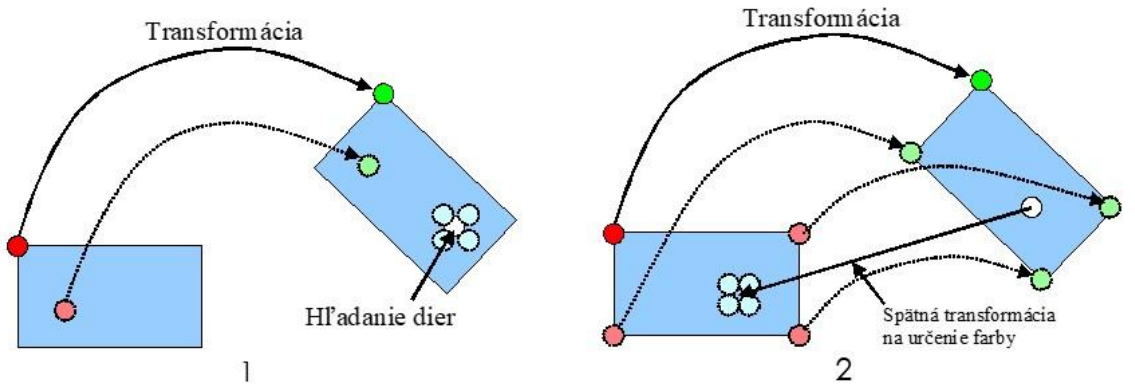
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE RASTROVÝCH OBJEKTOV

1. *Priame otáčanie* - Otočenie s interpoláciou medziľahlých bodov
2. *Spätné otáčanie* - Otočenie s interpoláciou všetkých bodov



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/37

Poznámky:

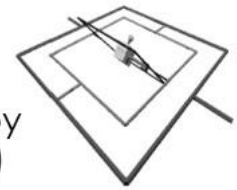
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OTÁČANIE A STRATA STUPŇA VOĽNOSTI

Je ťažké predvídať ako sa postupné rotácie okolo základných osí navzájom ovplyvnia. (maticová reprezentácia Eulerových uhlov má prirodzenú jedinečnosť v parametrizácii) Je možné vytvoriť takú postupnosť rotácií, že vo výslednej rotácii sa stratí jeden stupeň voľnosti. Táto situácia sa nazýva **gimbal lock** (*strata stupňa volnosti*).

Gimbal lock je pojem prevzatý z leteckého a vesmírneho priemyslu, kde sa používajú gyroskopy (vytvárajú umelý horizont)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/38

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

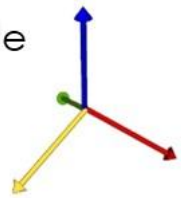
Zaujímavé URL:

ROTÁCIA POMOCOU QUATERNIÓNOV

Pre popis rotácie (otočenia) nasledovaného prípadnou zmenou mierky sú potrebné štyri čísla (W. R. Hamilton, 1843, aplikácia v PG, K. Shoemake, 1985) :

- jedno číslo popisuje veľkosť zmeny mierky,
- jedno veľkosť uhla (v stupňoch), o ktorý sa bude otáčať, a
- posledné dve čísla označujú rovinu, v ktorej sa bude vektor otáčať

- Quaternión je definovaný ako komplexné číslo
  - $\mathbf{q} = w + x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$
- Rotácia je nahradená násobením quaterniónov, kde
  - $\mathbf{i}*\mathbf{j} = -\mathbf{j}*\mathbf{i} = \mathbf{k}$
  - $\mathbf{j}*\mathbf{k} = -\mathbf{k}*\mathbf{j} = \mathbf{i}$
  - $\mathbf{k}*\mathbf{i} = -\mathbf{i}*\mathbf{k} = \mathbf{j}$

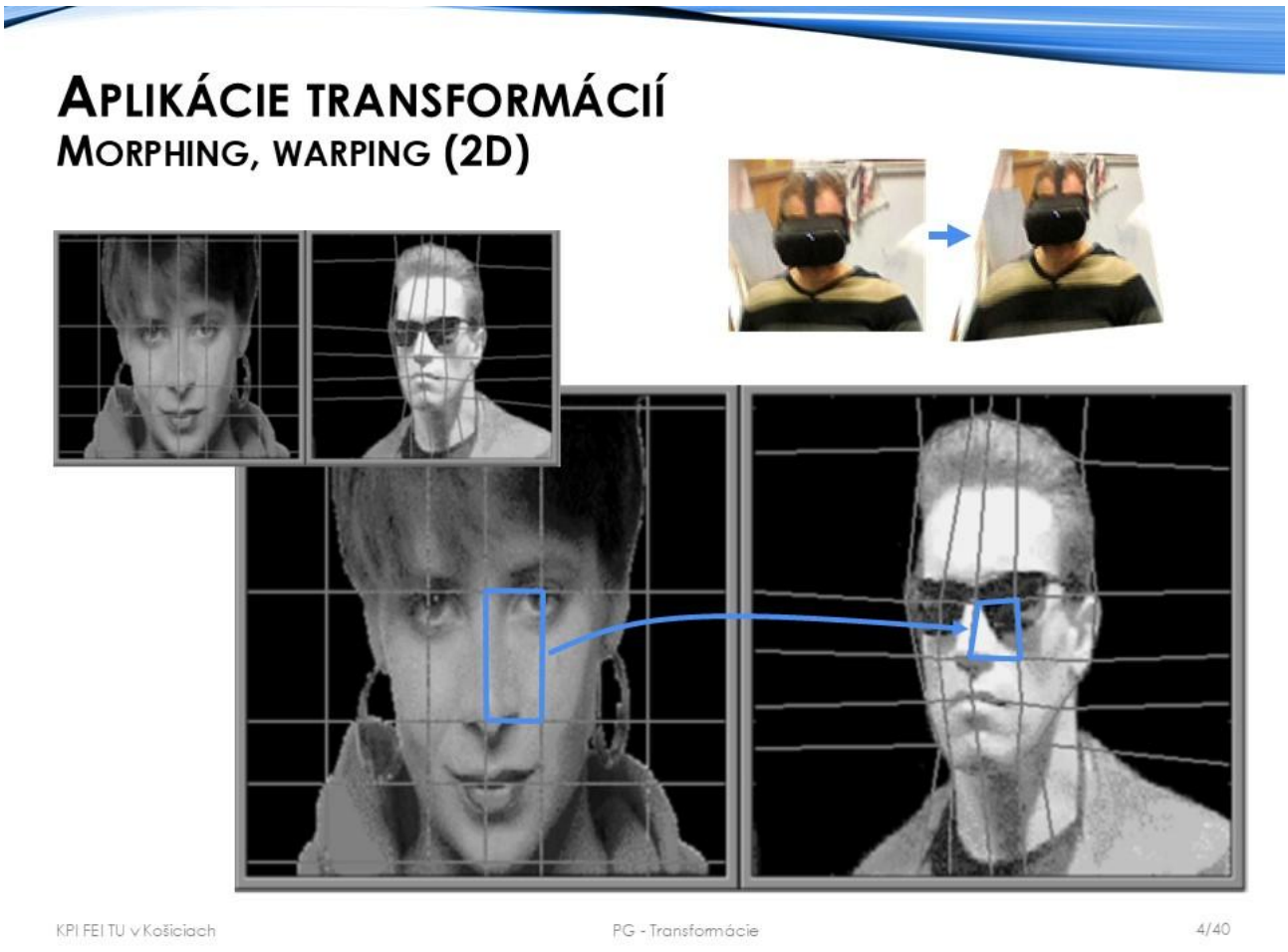


KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/39

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

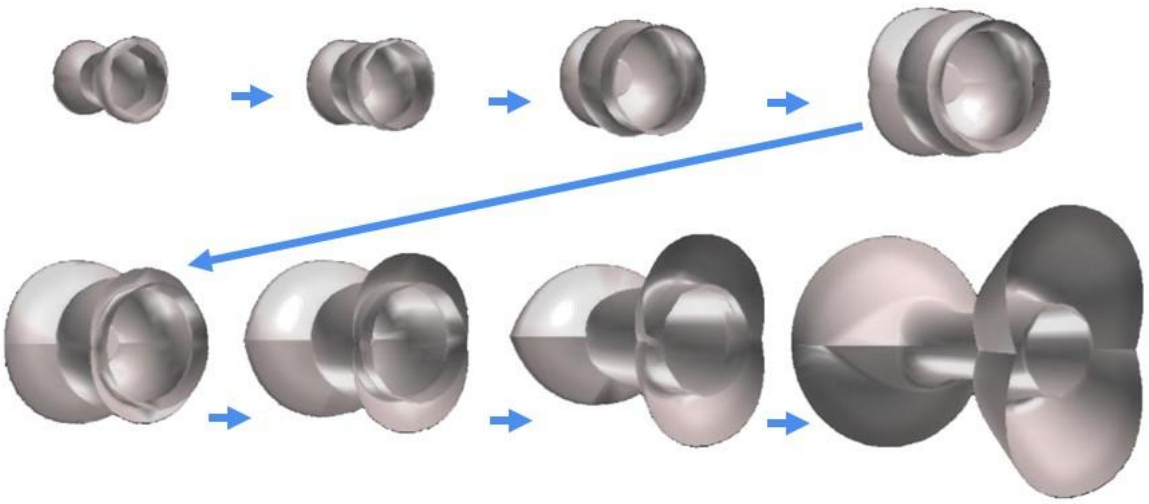


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

APLIKÁCIE TRANSFORMÁCIÍ
MORPHING, WARPING (3D)



(zdroj KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Transformácie 4/41

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte transformácie a transformačné zobrazovacie reťazce v rámci počítačovej grafiky.
- Transformácie v rámci zobrazovacích reťazcov, transformačné matice a homogénne súradnice,.
- Charakterizujte geometrickú transformáciu posunutia.
- Charakterizujte geometrickú transformáciu zrkadlenia.
- Charakterizujte geometrickú transformáciu zmeny mierky, zväčšenie/zmenšenie rastrového objektu
- Charakterizujte geometrickú transformáciu zmeny mierky, zmenšenie rastrového objektu.
- Charakterizujte geometrickú transformáciu skosenia.
- Charakterizujte geometrickú transformáciu otočenia.
- Rotácia okolo všeobecnej priamky využitím Eulerových uhlov, gimbal lock, quaternióny
- Charakterizujte transformáciu otočenia rastrového objektu

5 Projekčné a zobrazovacie transformácie

Projekcia, premietanie resp. zobrazovanie sa deje spravidla na výstupné zobrazovacie zariadenie alebo pri prevode do súradnicovej sústavy kamery *SSC* (ak dochádza k zmene rozmeru priestoru napr. z 2D do 3D). Tieto premietacie transformácie môžu byť lineárne alebo nelineárne.

Ak sa pozrieme na túto problematiku z pohľadu zobrazovania objektov z *USS→NSS*, tak sa zobrazuje len vymedzená spravidla pravouhlá (obdĺžniková) časť priestoru *USS*, ktorú chce používateľ zobraziť. Tejto časti budeme hovoriť logický pracovný priestor. Strany tohto priestoru sú spravidla rovnobežné so súradnicovými osami *USS*. Logický pracovný priestor však nemusí byť zobrazený na celý priestor rozsahu súradníc *NSS* (niekedy aj *SSZ*), ale býva zobrazené len do určenej pravouhlej (obdĺžnikovej) oblasti zobrazovacieho priestoru, do tzv. výrezu (fyzický pracovný priestor, viewport),

Pri práci s trojrozmerným priestorom nesmieme zabúdať, že vykresľovanie bude vo väčšine prípadov do roviny (napr. obrazovka zobrazovača). Z tohto dôvodu sú projekcie resp. premietacie transformácie dôležité ako základné transformácie priestoru do roviny t.j ako transformácie *USS→SSC* a následne *SSC→SSZ*. Pre naše potreby si podrobnejšie uvedieme len niektoré. Medzi základné typy premietaní patria:

- kolmé
- axonometrické (axonometria)
- perspektívne (perspektíva)

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

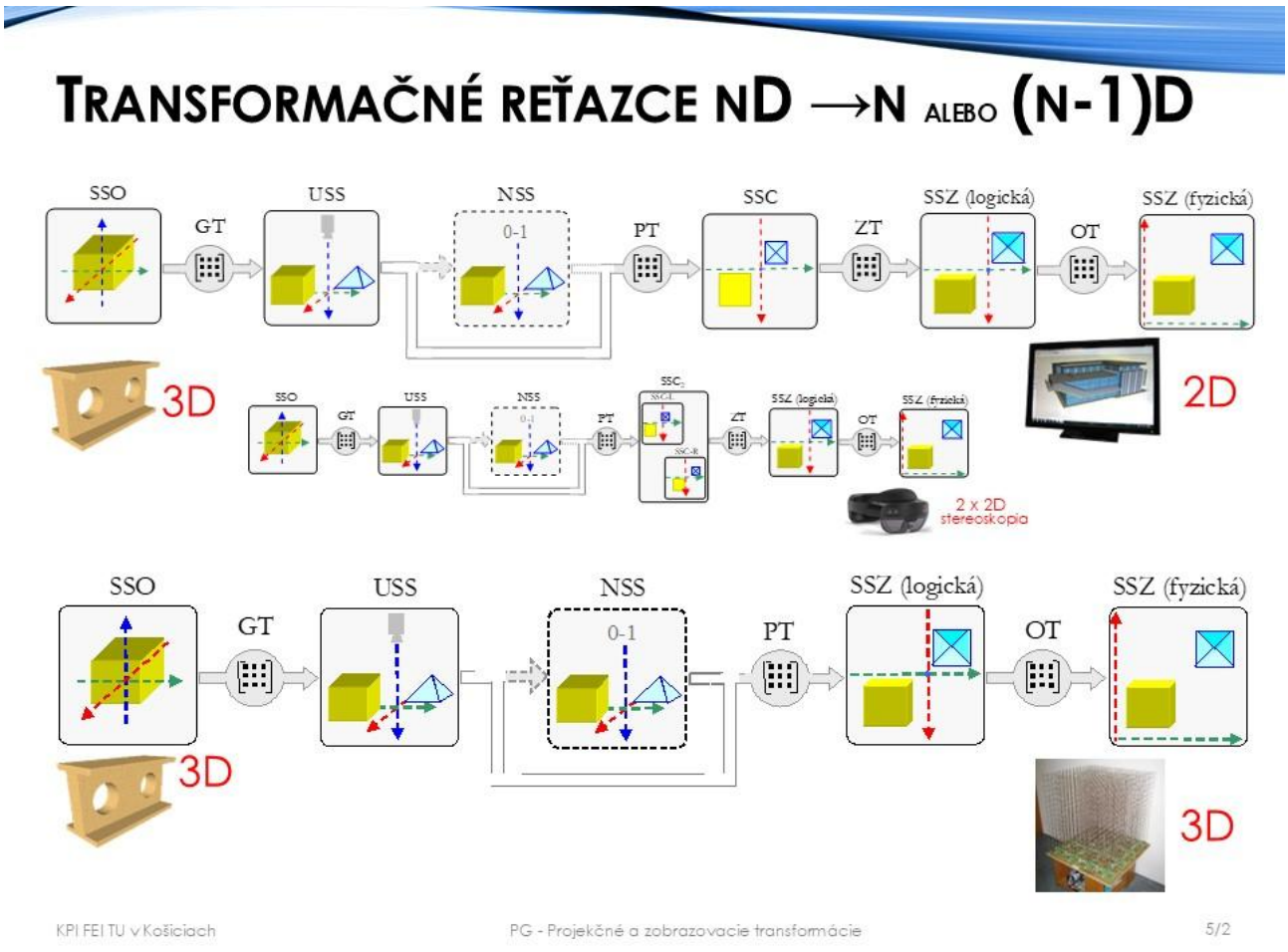
1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

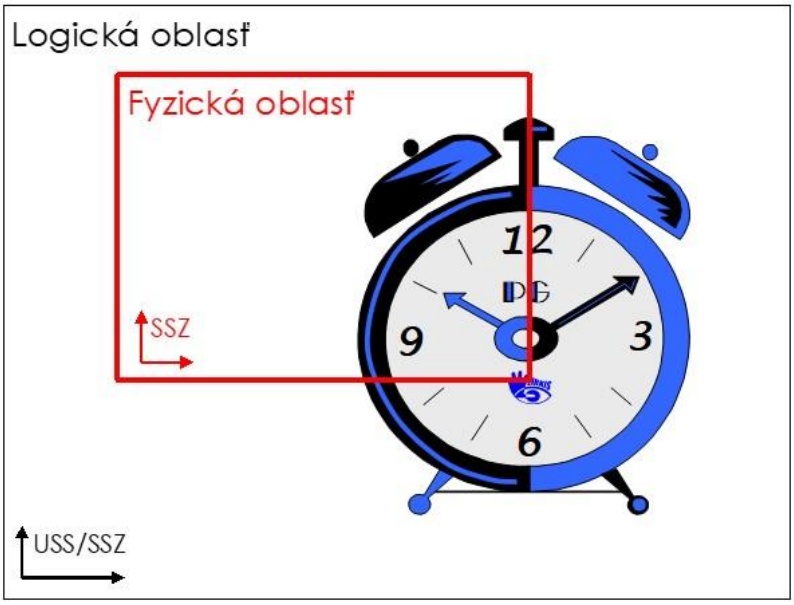


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

LOGICKÁ A FYZICKÁ PRACOVNÁ OBLASŤ

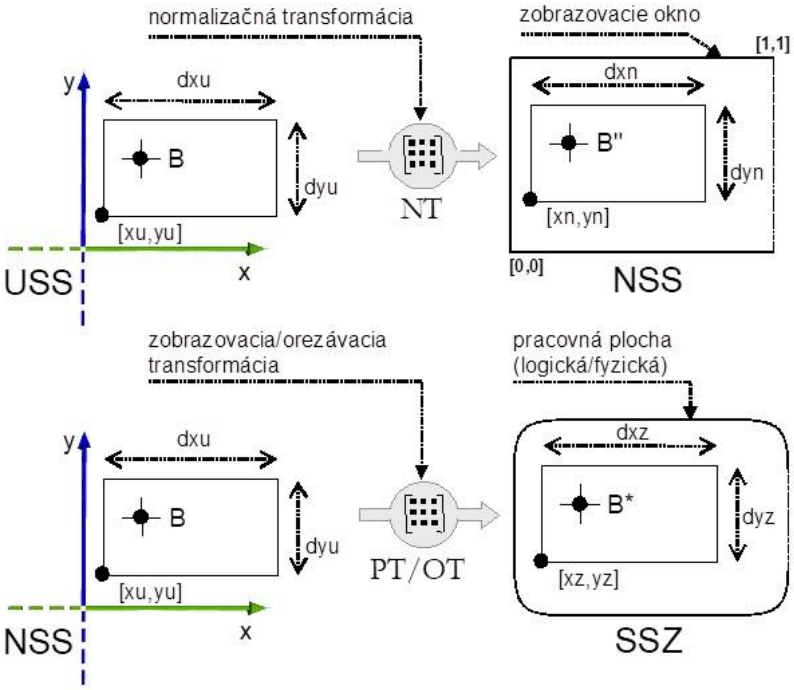


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TYPY ZOBRAZOVACÍCH TRANSFORMÁCIÍ V 2D



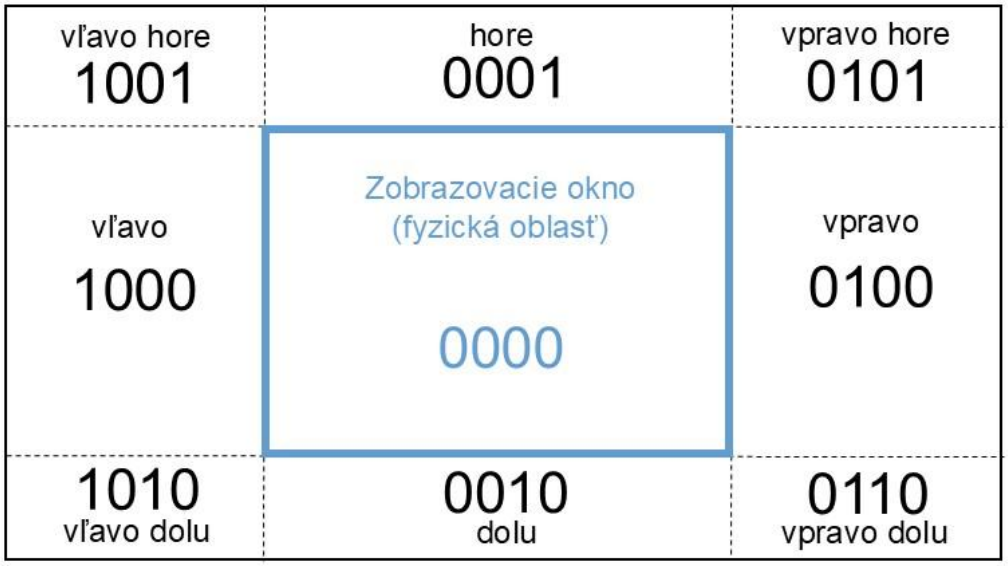
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/4

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

COHEN-SUTHERLANDOV ALGORITMUS (OREZÁVACIA TRANSFORMÁCIA)

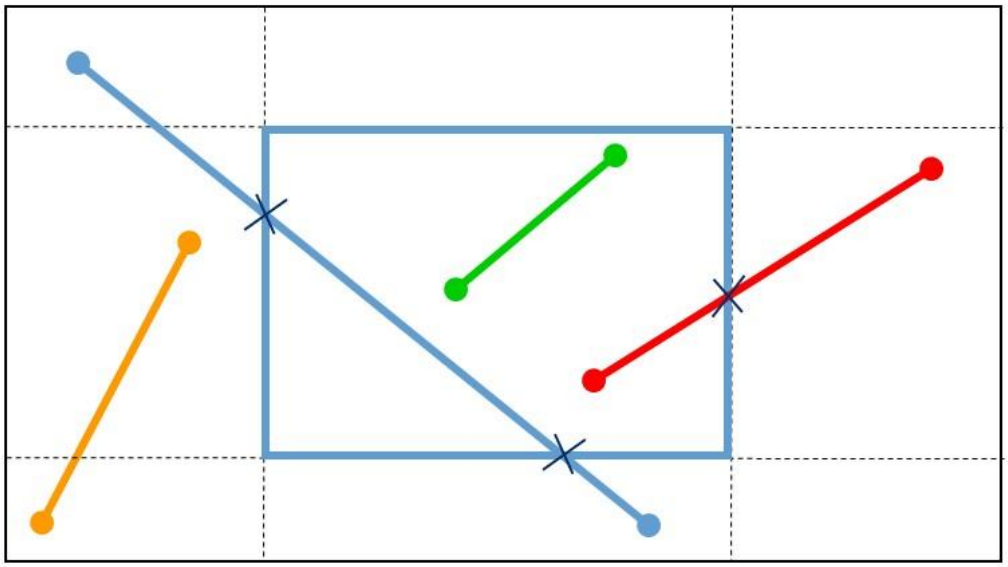


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

COHEN-SUTHERLANDOV ALGORITMUS (OREZÁVACIA TRANSFORMÁCIA)



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

COHEN-SUTHERLANDOV ALGORITMUS (OREZÁVACIA TRANSFORMÁCIA)

- kódy oboch koncových bodov sú nulové (prázdne) potom oba koncové body ležia vo vnútri zobrazovacieho okna a je možné úsečku vykresliť bez orezania.
- jeden z kódov nenulový, potom je nutné orezanie, pretože časť úsečky určite leží mimo zobrazovacieho okna.
- obidva kódy sú nenulové. Potom sú možné dva prípady:
  - celá úsečka je mimo zobrazovacieho okna a nevykreslí sa. Toto sa deje najmä ak obidva kódy dva príslušné bity rovnaké (napr. 1000 a 1010).
  - časť úsečky je v okne. Toto sa môže stať, ak obidva kódy nemajú dva príslušné bity rovnaké (napr. 1000 a 0100). Vtedy je nutné orezanie.

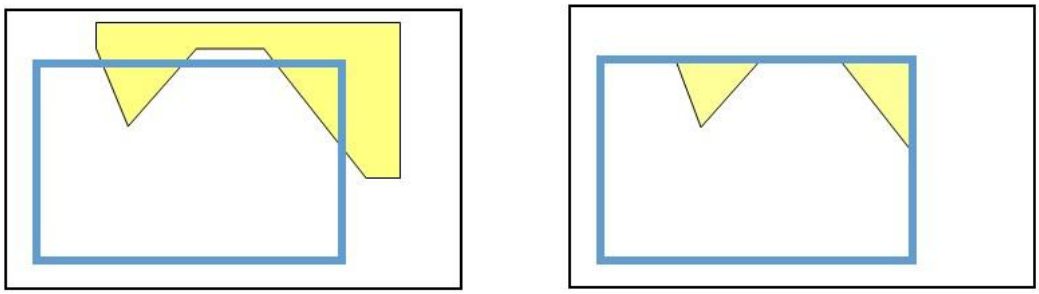
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/7

Poznámky:

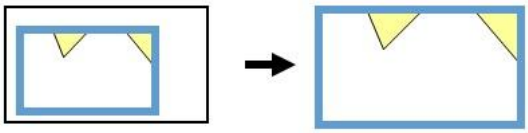
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

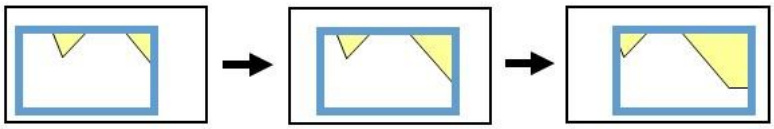
TRANSFOKÁCIA A PANORÁMOVANIE



- Transfokácia



- Panorámovanie



KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/8

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

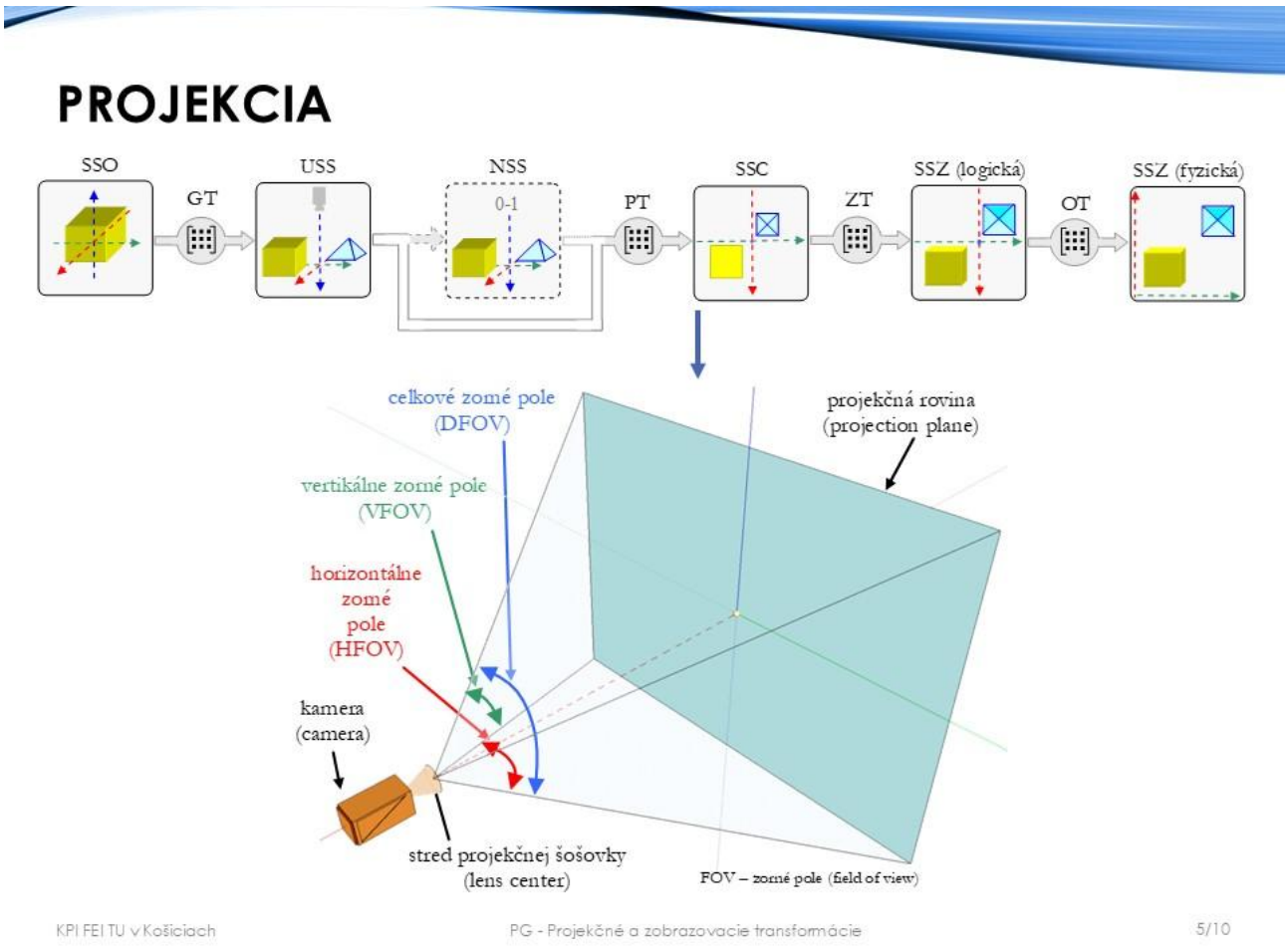
TYPY PROJEKČNÝCH TRANSFORMÁCIÍ

- Kolmá
- Axonometrická (axonometria)
- Perspektívna (perspektíva)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

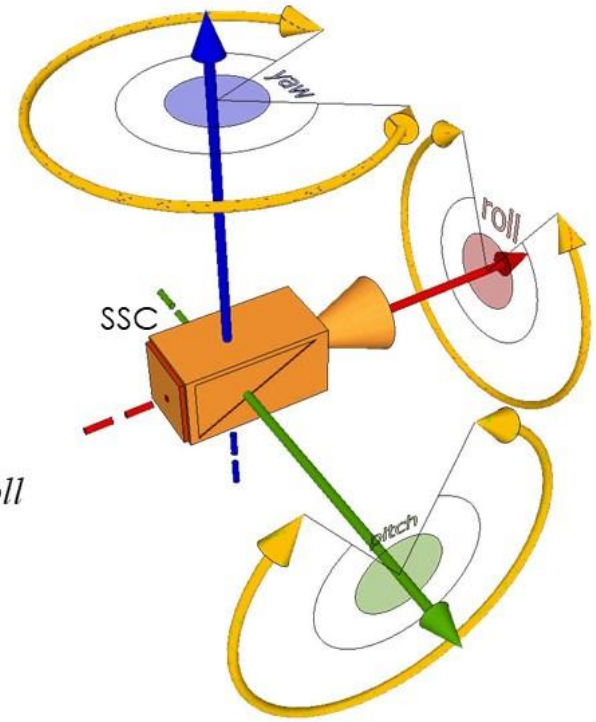
Zaujímavé URL:

OTÁČANIE KAMERY NA BÁZE EULEROVÝCH UHLOV

ROZKLAD, ORBITA

- Otáčanie kamery v pôdoryse SSC (*yaw*)
- Sklonenie/zdvihnutie pohľadu kamery v SSC (*pitch*)
- Otáčanie okolo vektora pohľadu kamery v SSC (*roll*)

$$T_{cam} = T_{yaw} \times T_{pitch} \times T_{roll}$$



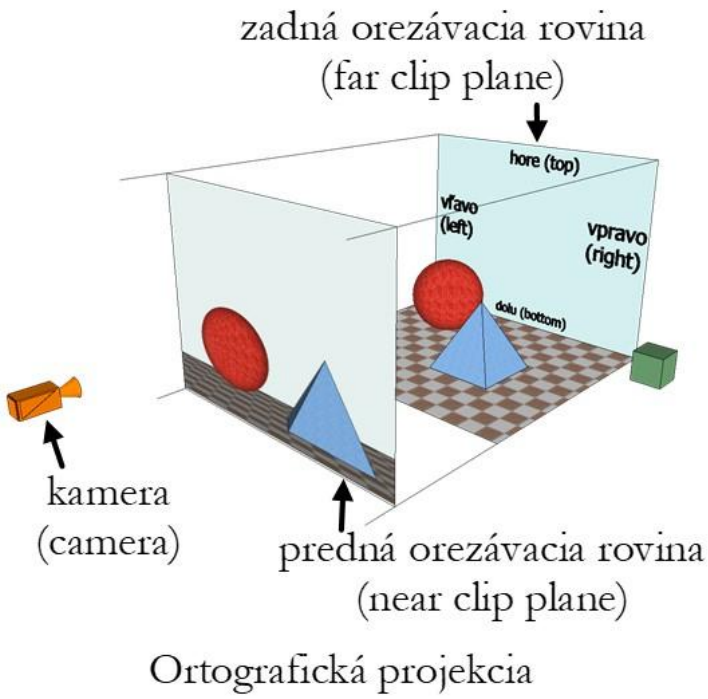
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLMÁ (ORTOGRAFICKÁ) PROJEKCIA



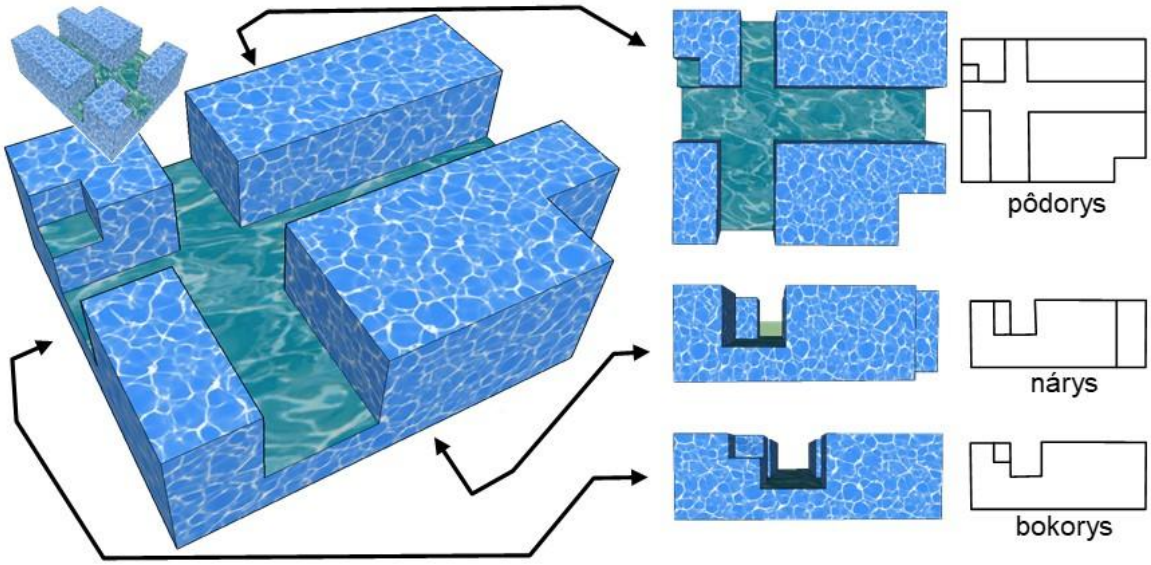
Ortografická projekcia

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLMÁ (ORTOGRAFICKÁ) PROJEKCIA

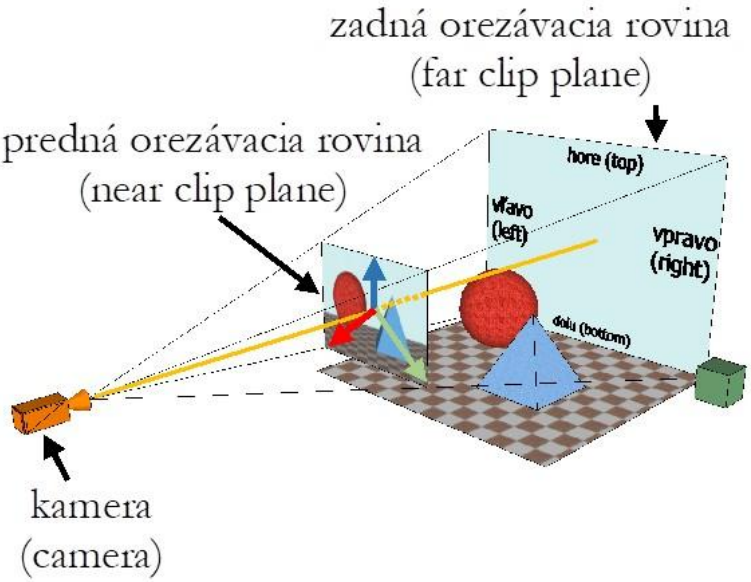


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

AXONOMETRIA



Stredová projekcia

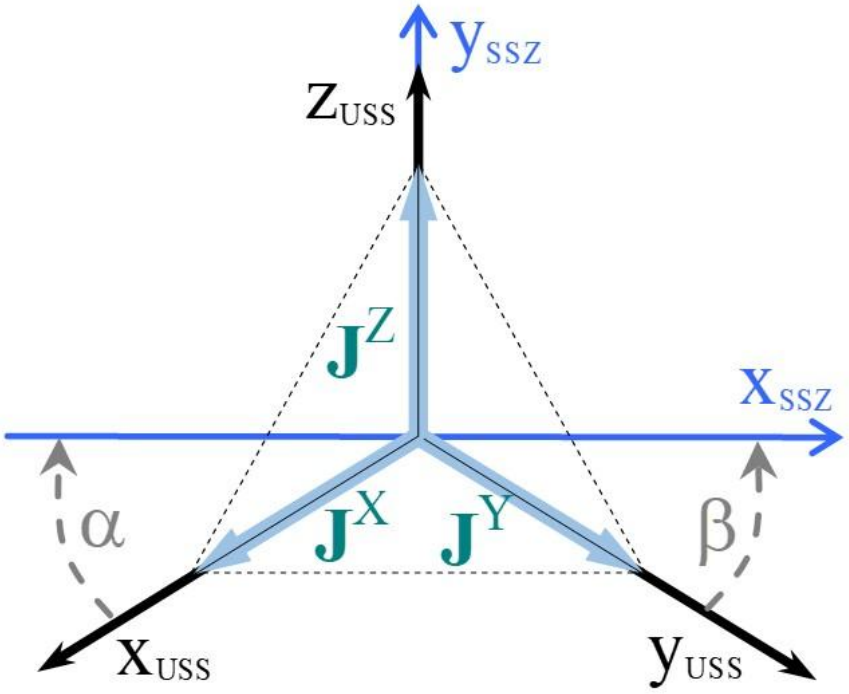
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

AXONOMETRIA



KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/15

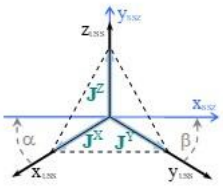
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

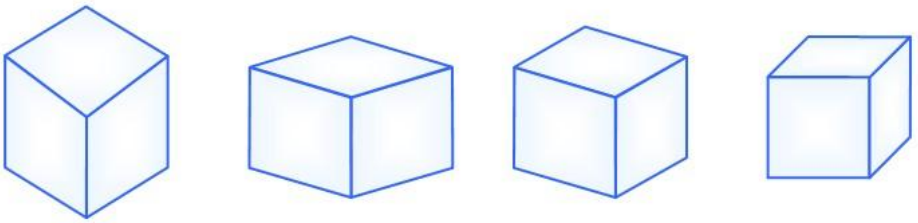
Zaujímavé URL:

AXONOMETRIA

$$x_{SSZ} = -\mathbf{J}^X \cdot \cos(\alpha) \cdot x_{USS} + \mathbf{J}^Y \cdot \cos(\beta) \cdot y_{USS}$$
$$y_{SSZ} = -\mathbf{J}^X \cdot \sin(\alpha) \cdot x_{USS} - \mathbf{J}^Y \cdot \sin(\beta) \cdot y_{USS} + \mathbf{J}^Z \cdot z_{USS}$$



- izometria: $J^X = J^Y = J^Z$ a $\alpha = \beta$
- dimetria: $J^X = J^Y$ a $\alpha = \beta$
- trimetria: $J^X \neq J^Y \neq J^Z$ a $\alpha \neq \beta$
- technická axon.: $J^X = J^Y$, $J^Z = ½.J^X$, $\alpha = 45°$, $\beta = 0°$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/16

Poznámky:

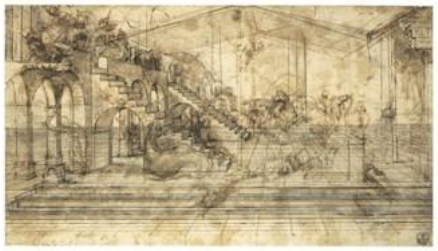
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PERSPEKTÍVA
HISTORICKÉ NÁVÄZNOSTI

Leonardo da Vinci – použil matematické princípy lineárnej perspektívy (rovnobežky, horizont a úbežník) na vytvorenie ilúzie hĺbky na rovnom povrchu. O perspektívnom zobrazovaní hovorí (da Vinciho okno): „*Perspektíva nie je nič iné ako, videnie miesta za oknom z číreho skla, ako plochu, na ktorú sú zobrazované predmety spoza skla*"

(„Perspective is nothing else than seeing a place or objects behind a plate of glass, quite transparent, on the surface of which the objects behind the glass are to be drawn")



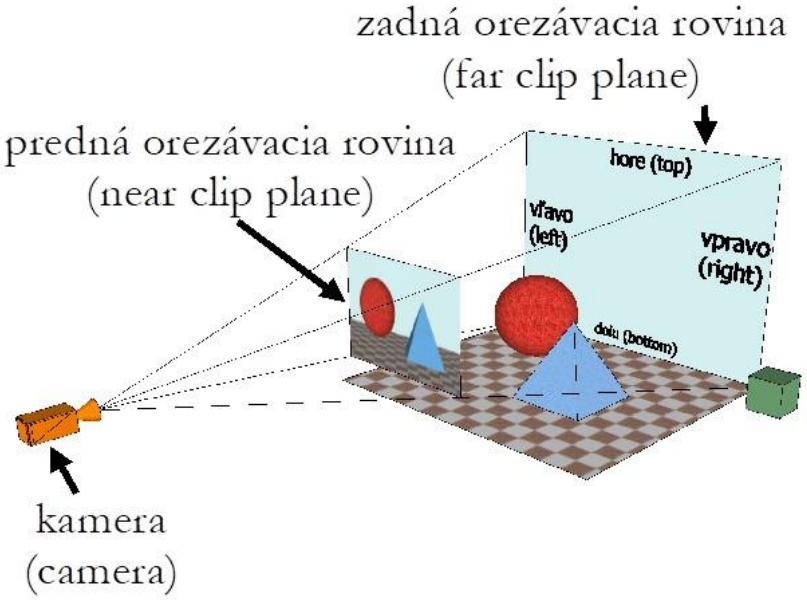
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PERSPEKTÍVA



Perspektívna projekcia

KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/18

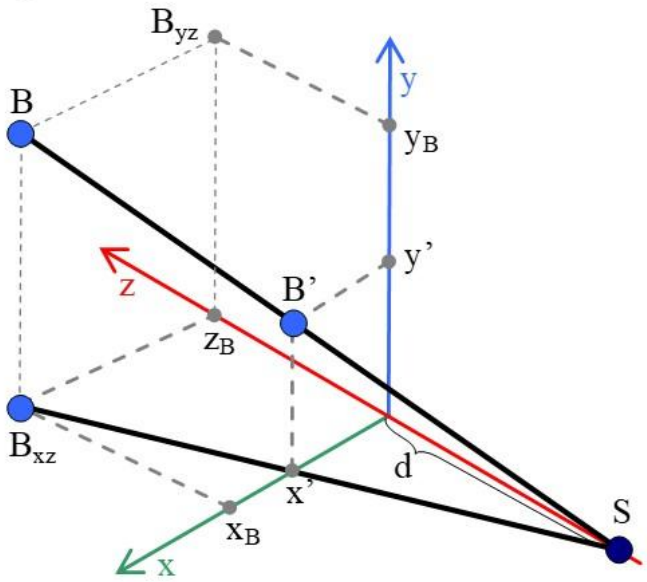
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PERSPEKTÍVA

$$P = \frac{d}{d + z_B} \qquad \frac{x'}{x_B} = \frac{y'}{y_B} = P \qquad x' = P \cdot x_B \qquad y' = P \cdot y_B$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/19

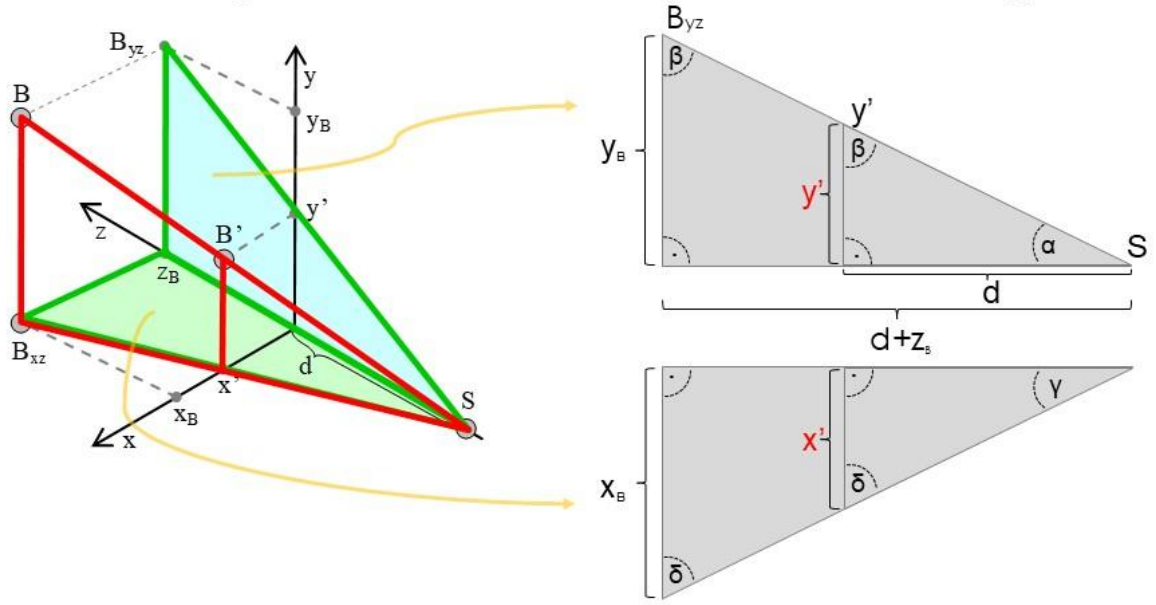
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PERSPEKTÍVA

$$P = \frac{d}{d + z_B} \qquad \frac{x'}{x_B} = \frac{y'}{y_B} = P \qquad x' = P \cdot x_B \qquad y' = P \cdot y_B$$



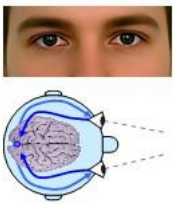
Poznámky:

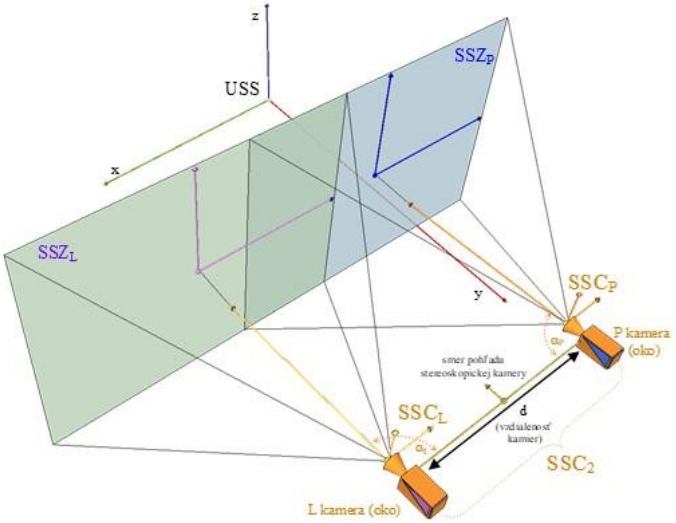
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

STEREOSKOPICKÁ PROJEKCIA

Stereoskopické videnie je jednou zo základných vlastností a schopností ľudí a tiež aj mnohých iných foriem života na Zemi. Ak sa používa viac pohľadov jedná sa o *multiskopiu*.





Stereoskopická súradnicová sústava

Poznámky:

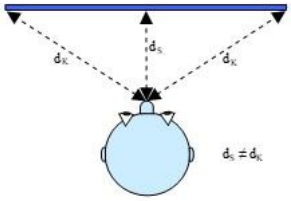
Zaujímavé zdroje:

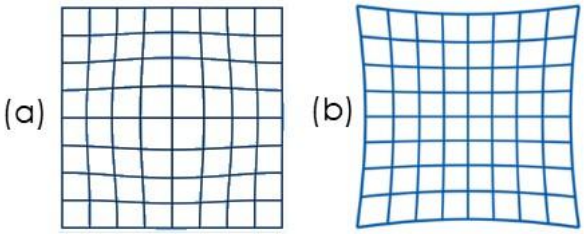
Zaujímavé URL:

DISTORZIA OBRAZU (NELINEÁRNA TRANSFORMÁCIA)

Distorzia (skreslenie) obrazu – je vlastne optická chyba spôsobená tým, že priečne zväčšenie nie je po celej ploche obrazu rovnaké (vzdialenosť v strede je iná ako na kraji, v optike závisí aj od konštrukcie šošovky/rozptylky). Tým je narušená geometrická predmetová a obrazová podobnosť. Neskresľuje sa zobrazenie jednotlivých bodov, ale ich konfigurácia.

Pravouhlá matica lineárnych kriviek kolmá na optickú os kamery je vizuálne deformovaná na sieť konvexných kriviek ((a), eng. *barrel distorsion*)pri zväčšovaní vzdialenosti od osi kamery (konkávnych kriviek ((b) eng. *pincushion distorsion*) pri zmenšovaní vzdialenosti).





KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/22

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RYBIE OKO (NELINEÁRNA TRANSFORMÁCIA)

Zobrazenia, ktoré vzniknú na základe týchto rovníc nazývame:

- ortografickým, $y = f \cdot \sin(\beta)$
- rovnoplochým a $y = 2 \cdot f \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$
- ekvidištantným zobrazením $y = f \cdot \beta$

kde:
y - vzdialenosť snímku svetelného lúča a prechádzajúceho bodom O, od hlavného bodu H
f - ohnisková vzdialenosť objektívu
β - uhol, ktorý lúč vytvára s optickou osou o objektívu.

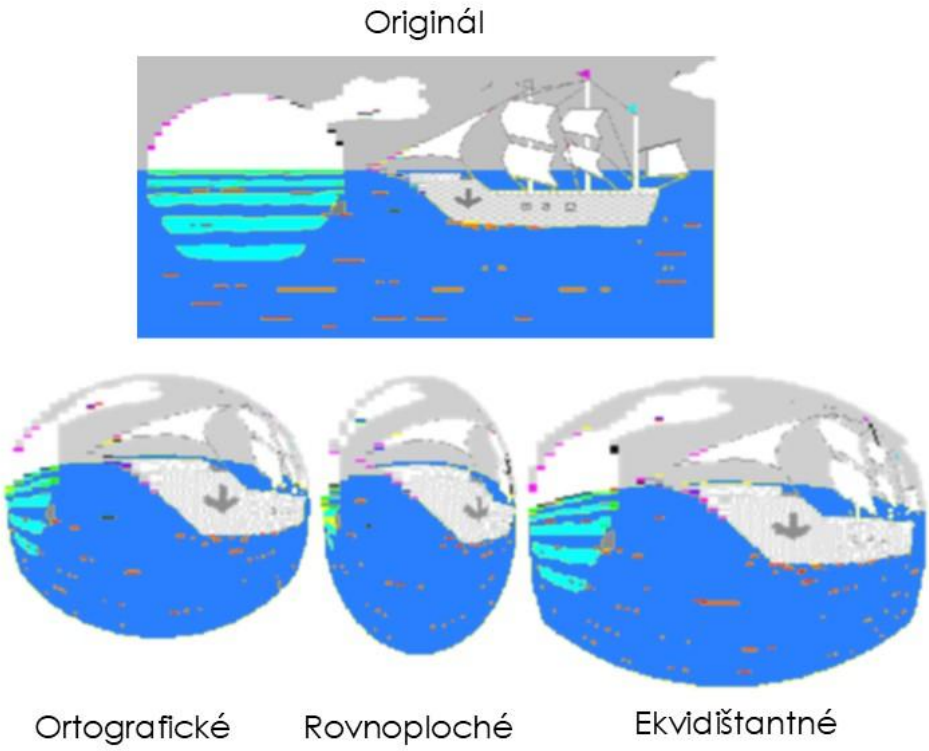
KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RYBIE OKO



KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/24

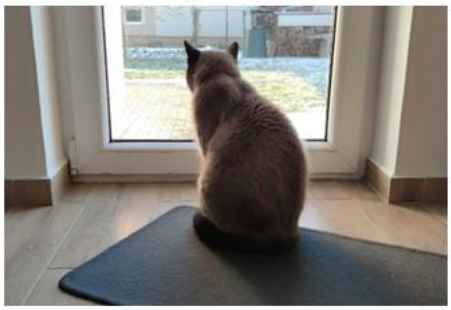
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RYBIE OKO

Originál



Ortografické

Ekvidištantné

KPI FEI TU v Košiciach PG - Projekčné a zobrazovacie transformácie 5/25

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Vymenujte a v krátkosti popíšte 2D premietacie transformácie používané v počítačovej grafike, logická a fyzická pracovná oblasť, otáčanie kamery na báze Eulerových uhlov, kolmá (ortografická) projekcia.
- Popíšte princíp Cohen-Sutherlandovho algoritmu.
- Popíšte axonometrickú projekciu používanú v počítačovej grafike.
- Popíšte perspektívnu projekciu v počítačovej grafike.
- Nelineárne premietacie transformácie, distorzia obrazu, rybie oko.

6 Krivky a plochy v počítačovej grafike

Krivky a plochy sú používané v počítačovej grafike najmä z dvoch dôvodov. Prvým je ich samotné zobrazovanie a tým ich použitie v oblasti modelovania objektov. Druhý dôvod, v súčasnosti s naberajúcim trendom, je ich využitie „v pozadí“ ako riadiacich atribútov rôznych činností používaných v PG (napr. pri fyzikálnych javoch).

Každá krivka resp. plocha musí mať svoj matematický popis, aby bolo možné vykonávať rôzne operácie s takouto krivkou/plochou alebo s jej časťou, ako sú napríklad posuny, rotácie, alebo zmena mierky. Vzhľadom na to, ako sú krivky/plochy zadané a z hľadiska počítačovej grafiky rozdeľujeme krivky/plochy najmä na:

- krivky/plochy dané analytickým popisom
- interpolačné krivky/plochy
- aproximačné krivky/plochy

Skôr však ako sa dostaneme k samotnému popisu jednotlivých typov kriviek/plôch je nutné poznamenať, že snáď najväčšie ich uplatnenie je práve v systémoch CAD alebo po 3D skenovaní, kde je možné pomocou týchto kriviek/plôch naprojektovať rôzne tvary, ale s jedným veľkým plus. Tým je znalosť matematického vyjadrenie krivky/plochy, čo umožňuje napr. ľahko vypočítať dĺžku/obsah krivky/plochy či jednoducho ju tvarovať. Celkovo tak nie je nutné pracovať so všetkými bodmi krivky/plochy ale len s určitými ťažiskovými (riadiacimi) bodmi krivky/plochy.

V kapitole budú uvedené len niektoré krivky a plochy, nakoľko ich typov a modifikácií je v súčasnej počítačovej grafike používaných niekoľko. Pre vkročenie do ich problematiky však uvedené typy postačia.

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKY POUŽÍVANÉ V PG

- krivky dané analytickým popisom
- interpolačné krivky
- aproximačné krivky

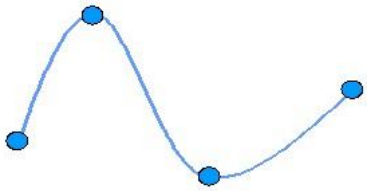
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

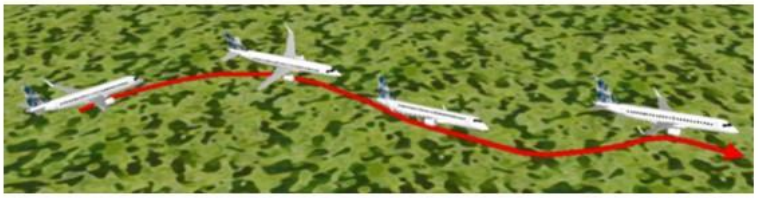
Zaujímavé URL:

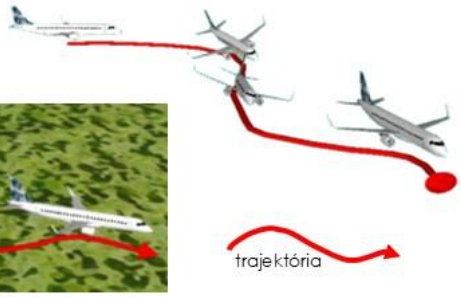
POUŽITIE KRIVIEK A PLÔCH V PG

- Geometrická reprezentácia



- Riadiaca funkcia





KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/3

Poznámky:

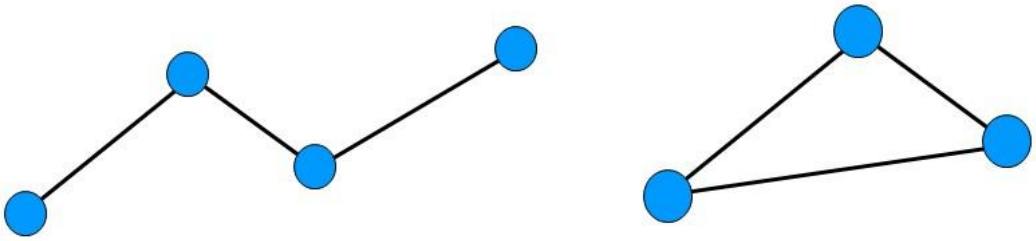
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKOVÉ 1D ÚTVARY - TYPY

1D útvar definovaný vrcholmi a hranami (segmentami)- **polyline**:

- neuzavretý (acyklický)
- uzavretý (cyklický)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/4

Poznámky:

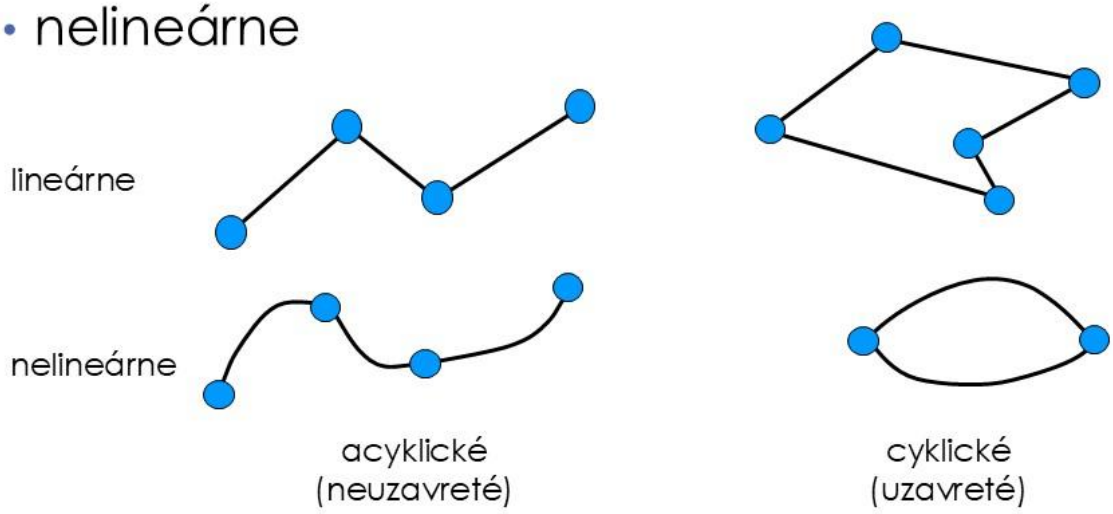
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKOVÉ 1D ÚTVARY - TYPY

Podľa typov hrán (segmentov) krivky/čiary:

- lineárne
- nelineárne



Poznámky:

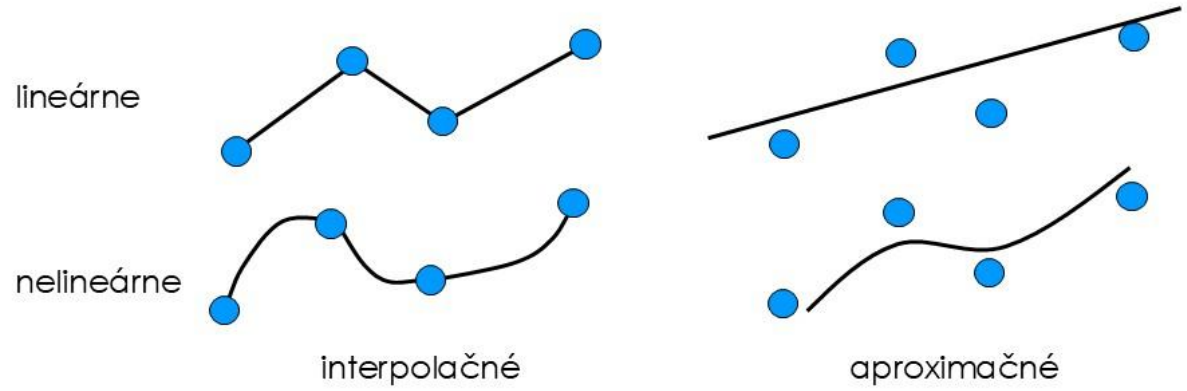
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKOVÉ 1D ÚTVARY - TYPY

Podľa vplyvu vrcholov na tvar krivky/čiary:

- **Interpolačné** (vrcholy sú súčasťou krivky), typovo: *lineárna* a *nelineárna*.
- **Aproximačné** (vrcholy nemusia byť súčasťou krivky, ale vplývajú na jej tvar), typovo: *lineárna* a *nelineárna*.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/6

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POUŽÍVANÉ KRIVKY

- Lineárna interpolácia, lomená čiara — lineárne
- Bézierove krivky stupňa n — nelineárne
- Racionálne Bézierove krivky stupňa n
- B-spline krivky stupňa n
- Kubické B-spline krivky
  - Uniformné
  - Neuniformné
- Racionálne B-spline krivky stupňa n
  - Uniformné
  - Neuniformné

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/7

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MODIFIKOVATEĽNOSŤ KRIVIEK

- Zmena polohy riadiacich vrcholov
- Zmena váh riadiacich vrcholov
- Modifikácia uzlového vektora

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KRIVKY DEFINOVANÉ ANALYTICKY

$$\left.\begin{array}{l} x = f(t) \\ y = g(t) \end{array}\right\} \quad t \in \langle zac, kon \rangle$$

$$z = h(t)$$

kde t je parameter funkcie

alebo (pre 2D)

$$y = f(x) \quad x \in \langle zac_x, kon_x \rangle$$

(pre 3D)

$$z = f(x, y) \quad x \in \langle zac_x, kon_x \rangle, y \in \langle zac_y, kon_y \rangle$$

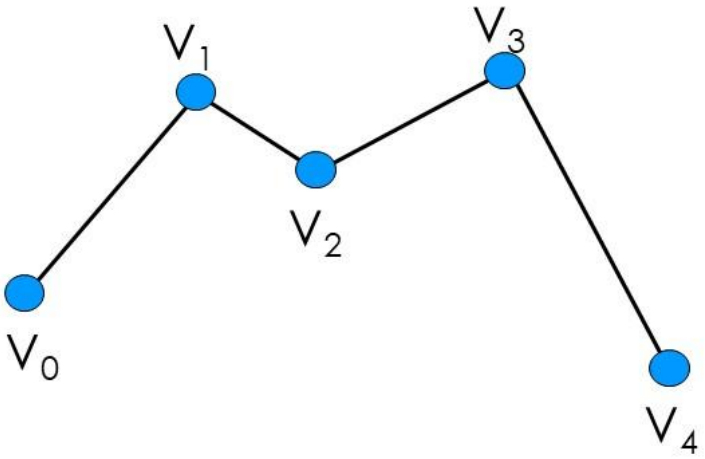
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/9

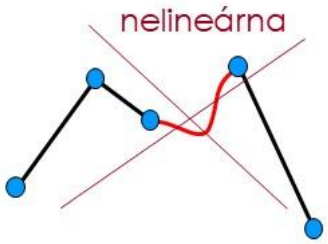
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

LINEÁRNA INTERPOLÁCIA, LOMENÁ ČIARA





všetky segmenty musia byť lineárne

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/10

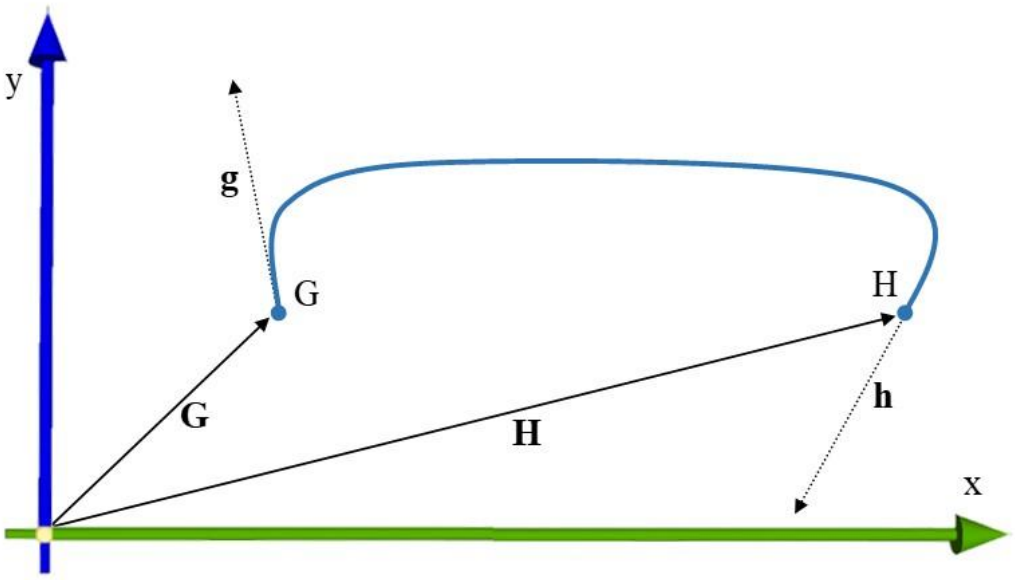
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FERGUSONOVA KRIVKA (JAMES C. FERGUSON,1963, BOEING)

Fergusonova krivka (interpolačná krivka)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FERGUSONOVA KRIVKA

$$\mathbf{P}(v) = \mathbf{m} \cdot v^3 + \mathbf{n} \cdot v^2 + \mathbf{p} \cdot v + \mathbf{q}$$

v ϵ< 0,1>

$$\mathbf{P}_{xyz}(v) = \mathbf{m} \cdot v^3 + \mathbf{n} \cdot v^2 + \mathbf{p} \cdot v + \mathbf{q}$$

$$\mathbf{m} = 2 \cdot \mathbf{G}_{xyz} - 2 \cdot \mathbf{H}_{xyz} + \mathbf{g}_{xyz} + \mathbf{h}_{xyz}$$

$$\mathbf{n} = -3 \cdot \mathbf{G}_{xyz} + 3 \cdot \mathbf{H}_{xyz} - 2 \cdot \mathbf{g}_{xyz} - \mathbf{h}_{xyz}$$

$$\mathbf{p} = \mathbf{g}_{xyz}$$

$$\mathbf{q} = \mathbf{G}_{xyz}$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/12

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FERGUSONOVA KRIVKA

$$\mathbf{P}(v) = A(v)\cdot\mathbf{G} + B(v)\cdot\mathbf{H} + C(v)\cdot\mathbf{g} + D(v)\cdot\mathbf{h}$$

$\mathbf{G},\mathbf{H},\mathbf{g},\mathbf{h} \in E^3(E^2)$, v ϵ< 0,1>

$$\mathbf{P}_{xyz}(v) = A(v)\cdot\mathbf{G}_{xyz} + B(v)\cdot\mathbf{H}_{xyz} + C(v)\cdot\mathbf{g}_{xyz} + D(v)\cdot\mathbf{h}_{xyz}$$

$$A(v) = 2\cdot v^3 - 3\cdot v^2 + 1$$
$$B(v) = -2\cdot v^3 + 3\cdot v^2$$
$$C(v) = v^3 - 2\cdot v^2 + v$$
$$D(v) = v^3 - v^2$$

Hermitove polynómy
(Ch.Hermit, 1869)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/13

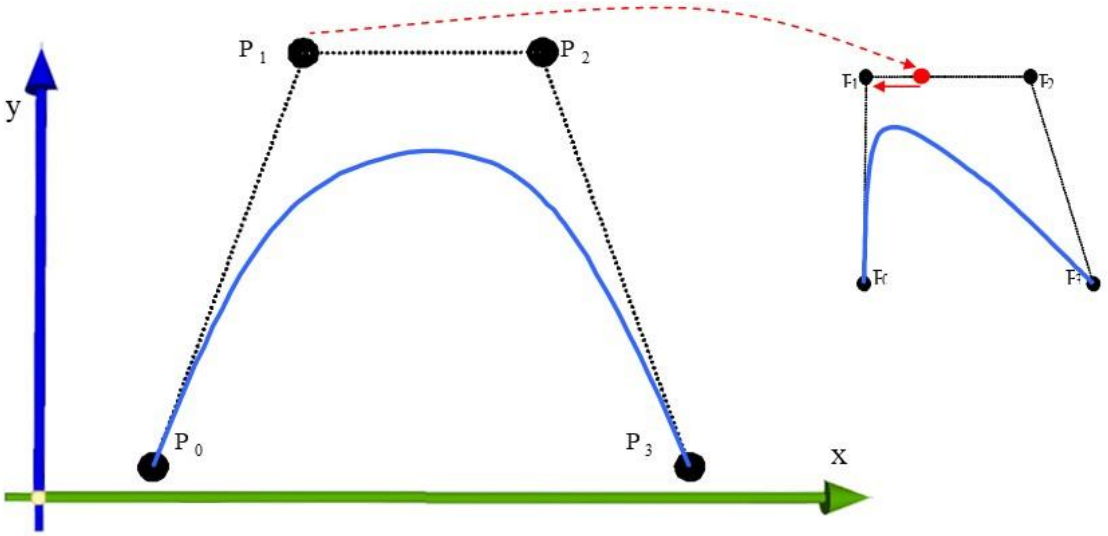
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA KRIVKA (PIERRE BÉZIER, 1960’S, RENAULT)

Bézierova kubická krivka (aproximačná krivka)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

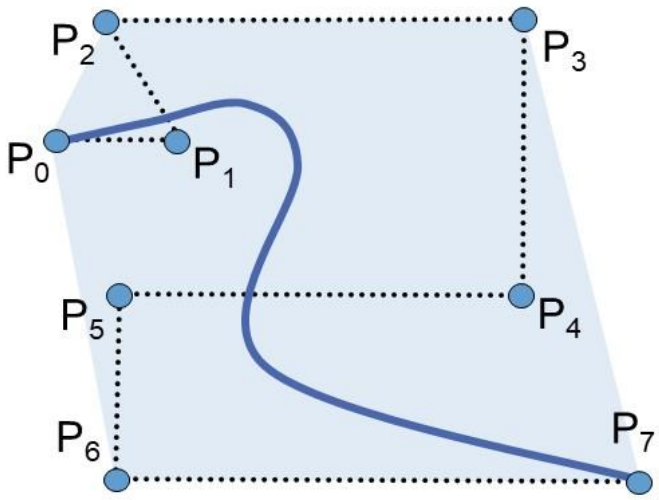
Zaujímavé URL:

VLASTNOSTI BÉZIEROVEJ KRIVKY

Základné vlastnosti Bézierovej krivky stupňa *n*:

- je aproximačného typu ale interpoluje koncové vrcholy, je uniformná
- Definovaná polynomiálnou funkciou stupňa *n*, kde

  n=počet riadiacich vrcholov – 1
- Leží v konvexnom obale riadiacich vrcholov
- Pseudolokálna kontrola
- Afinná invariancia (po aplikovaní afinných transformácií zachováva tvar)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA KRIVKA

Bernsteinove polynómy
(S.N.Bernstein, 1912)

$$\mathbf{R}(t) = \sum_{i=0}^{m} \mathbf{P}_i \cdot Be_{im}(t)$$

$$P_i \in E^3 \left(E^2\right)$$

$$Be_{im}(t) = \sum \binom{m}{i} \cdot t^i \cdot (1-t)^{m-i}$$

$$t \in \langle 0,1 \rangle$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA KUBICKÁ KRIVKA

$$\mathbf{P}(t) = \mathbf{P}_0 \cdot B_0(t) + \mathbf{P}_1 \cdot B_1(t) + \mathbf{P}_2 \cdot B_2(t) + \mathbf{P}_3 \cdot B_3(t)$$

$P_i \in E^3(E^2)$, t ϵ< 0,1>

$$\mathbf{P}_{xyz}(t) = \mathbf{P}_{0xyz} \cdot B_0(t) + \mathbf{P}_{1xyz} \cdot B_1(t) + \mathbf{P}_{2xyz} \cdot B_2(t) + \mathbf{P}_{3xyz} \cdot B_3(t)$$

$$\left.\begin{aligned} B_0(t) &= (1-t)^3 \\ B_1(t) &= 3 \cdot t \cdot (1-t)^2 \\ B_2(t) &= 3 \cdot t^2 (1-t) \\ B_3(t) &= t^3 \end{aligned}\right\} \text{ pre } t \in \langle 0,1 \rangle$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SPLINE KRIVKA

Spline funkciou stupňa m pre daných $n+1$ bodov $X_i = (x_i , y_i)$, $i = 0..n$, $x_0 < x_1 < ... < x_n$, nazývame funkciu $f(x)$, pre ktorú na intervale $<x_0 , x_n>$ platí:

- $f(x) = f_k(x)$ na intervale $<x_k , x_{k+1}>$, kde f_k je polynóm stupňa m,
- $f(x)$ má spojité derivácie $f(0), f(1), ..., f(m-1)$.

Najčastejšie sa používajú kubické spline funkcie ($m = 3$)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

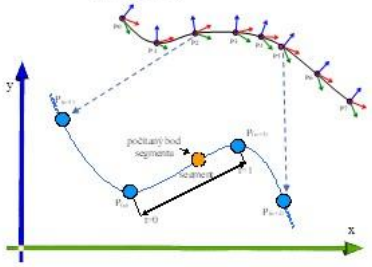
Zaujímavé URL:

CATMULL-ROM SPLINE KRIVKA (1974)

Ed Catmull

R. Rom

Patrí medzi interpolačné krivky. Krivka prechádza cez všetky riadiace body P_i. Neexistujú žiadne diskontinuity v smere a velkosti dotyčnice (C^1) ale druhá derivácia je lineárne interpolovaná v rámci každého segmentu (nie je C^2), čo spôsobuje, že zakrivenie sa lineárne mení po dĺžke segmentu. Výsledné body segmentu krivky môžu ležať mimo domény $P_1 \rightarrow P_2$. Aj keď segment splinu je definovaný pomocou štyroch riadiacich bodov, spline môže mať ľubovolný počet ďalších riadiacich bodov.



$$Q(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(A \cdot t^0 + B \cdot t + C \cdot t^2 + D \cdot t^3\right), \quad t \in \langle 0,1 \rangle$$

$$A = 2 \cdot P_{(n)\,xyz}$$
$$B = -P_{(n-1)xyz} + P_{(n+1)xyz}$$
$$C = 2 \cdot P_{(n-1)xyz} - 5 \cdot P_{(n)\,xyz} + 4 \cdot P_{(n)+1xyz} - P_{(n+2)xyz} \qquad P_i \in E^3\left(E^2\right)$$
$$D = -P_{(n-1)xyz} + 3 \cdot P_{(n)\,xyz} - 3 \cdot P_{(n+1)\,xyz} + P_{(n+2)xyz}$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/19

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

B-SPLINE KRIVKA

B-spline krivky sú zovšeobecnením Beziérových kriviek, miesto Bernsteinových polynómov sa používajú jednoduchšie funkcie.

Coonsove polynómy
(S.A.Coons, 1966)

Kubický Coonsov B-spline

$$\mathbf{R}(t) = \sum_{i=0}^{3} \mathbf{P}_i \cdot Co_i(t) \;, \quad t \in \langle 0,1 \rangle$$

$$P_i \in E^3 \left(E^2\right)$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

B-SPLINE KRIVKA

Kubický Coonsov B-spline $\mathbf{R}(t) = \sum_{i=0}^{3} \mathbf{P}_i \cdot Co_i(t)\ ,\ \ t \in \langle 0,1 \rangle$

kde:

$\left\{ \mathbf{P}_i^n \right\}_{i=0}$ sú polohové vektory riadiacich vrcholov pre *i = 0-3*

$$Co_0(t) = -\frac{1}{6}\cdot t^3 + \frac{1}{2}\cdot t^2 - \frac{1}{2}\cdot t + \frac{1}{6}$$
$$Co_1(t) = \frac{1}{2}\cdot t^3 - t^2 + \frac{2}{3}$$
$$Co_2(t) = -\frac{1}{2}\cdot t^3 + \frac{1}{2}\cdot t^2 + \frac{1}{2}\cdot t + \frac{1}{6}$$
$$Co_3(t) = \frac{1}{6}\cdot t^3$$

pre $t \epsilon < 0,1 >$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/21

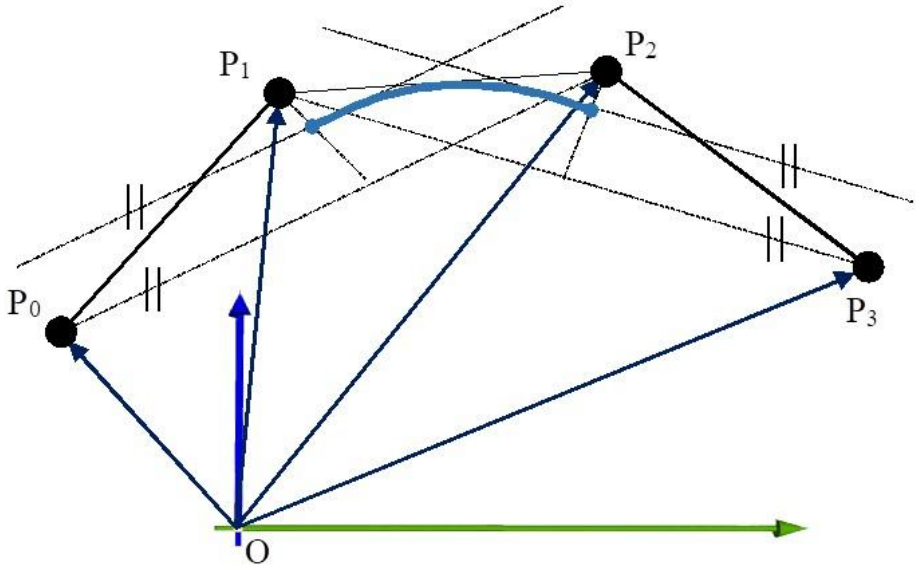
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

B-SPLINE KRIVKA

Kubický Coonsov B-spline



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/22

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VLASTNOSTI B-SPLINE KRIVKY

Základné vlastnosti B-spline krivky stupňa *n*:

- je aproximačná a je uniformná
- špeciálne zadané vstupné hodnoty (násobnosti) spôsobia, že krivka začína v bode P_0 a končí v bode P_{L+n-1} kde

  n=počet riadiacich vrcholov

  L=počet násobností riadiacich vrcholov
- Pseudolokálna kontrola a segmentovateľnosť
- Afinná invariancia (po aplikovaní afinných transformácií zachováva tvar)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POROVNANIE BÉZIEROVEJ A B-SPLINE KRIVKY

Ak porovnáme Bézierové krivky a B-spline krivky pre daný polygón $\{P_i\}$, $i=0..n$, tak potom:

- Bézierova krivka je stupňa n, avšak B-spline krivka je zložená z $n-1$ segmentov (prvý segment je určený bodmi P_0, P_1, P_2, P_3 , druhý segment bodmi P_1, P_2, P_3, P_4 atď.), z ktorých každý je popísaný polynómom tretieho stupňa.
- Nevýhodou B-spline kriviek je, že krivka nezačína a nekončí v začiatočnom a koncovom bode polygónu. Túto nevýhodu možno odstrániť tak, že použijeme *náhradný polygón*, alebo *sa zmení násobnosť prvých a posledných prvkov uzlového vektora*.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/24

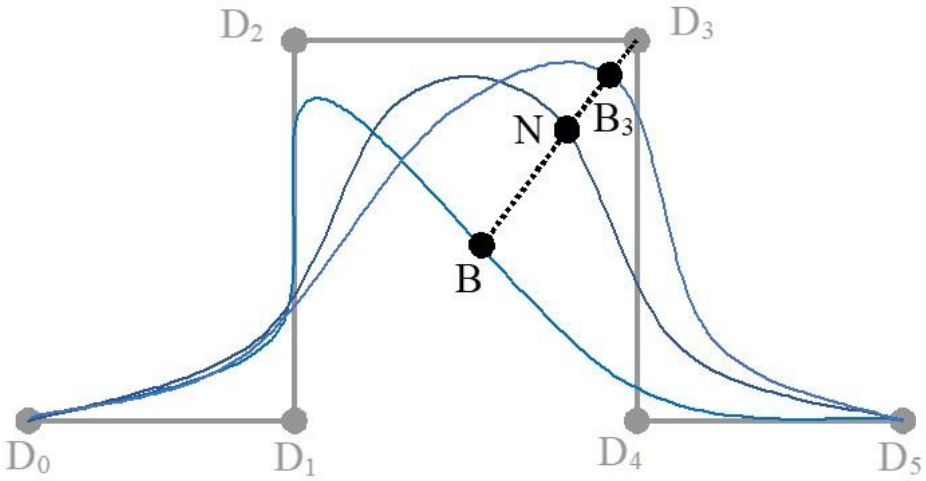
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RACIONÁLNE KRIVKY

Oproti reálnym pribúdajú váhy riadiacich vrcholov



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/25

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

UNIFORMNOSŤ A NEUNIFORMNOSŤ

Voľba uzlovej postupnosti (napr $u_i = i$):

- **Uniformná** ak $u_{i+1}-u_i = konštanta$ pre všetky i
- **Neuniformná** ľubovoľná neklesajúca postupnosť uzlov

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PLOCHY POUŽÍVANÉ V PG

- Plochy dané analytickým popisom
- interpolačné plochy
- aproximačné plochy

Poznámky:

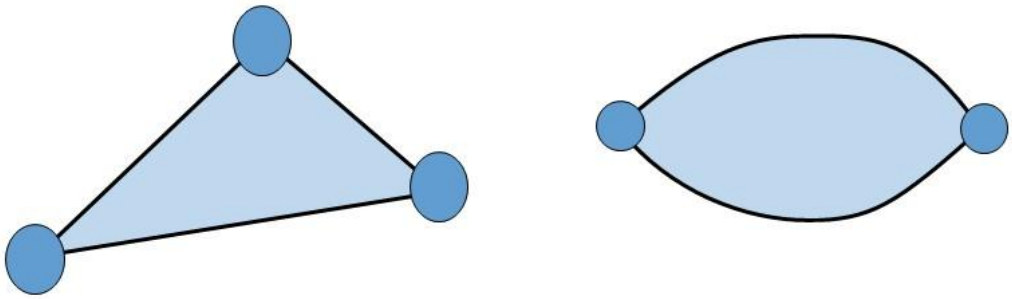
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PLOŠNÉ 2D ÚTVARY - TYPY

2D útvar definovaný vrcholmi a hranami - **polygón**:

- lineárny
- nelineárny



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POUŽÍVANÉ PLOCHY

- Rovinné (pravítkové) plochy — lineárne
- Bézierove plochy
- B-spline plochy
- Racionálne B-spline plochy — nelineárne
  - Uniformné
  - Neuniformné

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MODIFIKOVATEĽNOSŤ PLÔCH

- Zmena polohy riadiacich vrcholov
- Zmena váh riadiacich vrcholov
- Modifikácia uzlových vektorov

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/30

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PLOCHY DEFINOVANÉ ANALYTICKY

$$\left.\begin{aligned} x &= f(t) \\ y &= g(t) \\ z &= h(t) \end{aligned}\right\} \quad t \in \langle zac, kon \rangle$$

kde t je parameter funkcie

alebo

$$z = f(x, y) \quad x \in \langle zac_x, kon_x \rangle, y \in \langle zac_y, kon_y \rangle$$

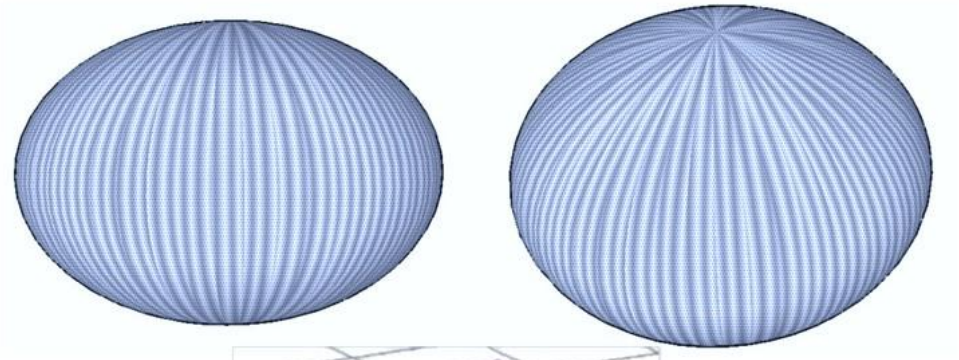
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/31

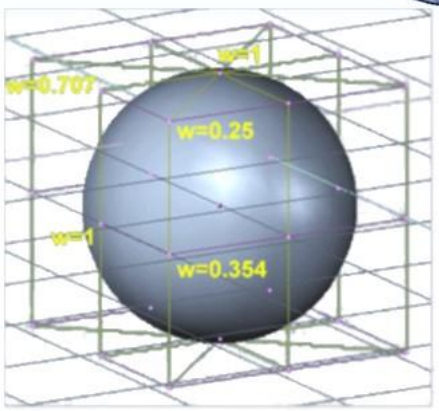
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRÍKLADY PRAVIDELNÝCH ANALYTICKÝCH PLÔCH





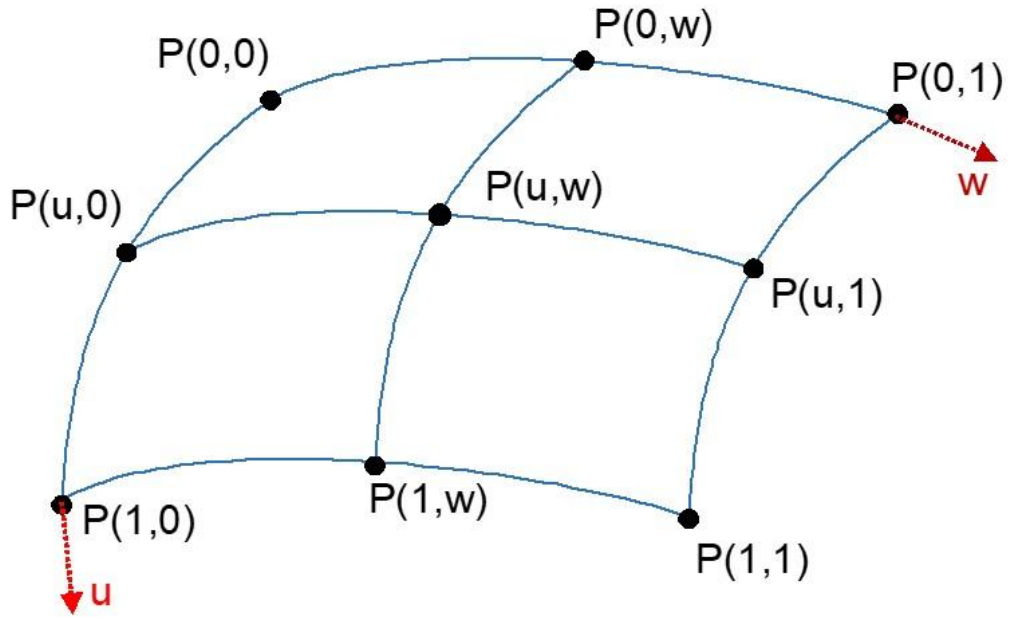
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/32

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BILINEÁRNA COONSOVA PLOCHA



KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/33

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BILINEÁRNA COONSOVA PLOCHA

Pokiaľ protiľahlé strany budú úsečky, dostaneme tzv. ***priamkovú*** (*pravítkovú*) plochu. Coonsova bilineárna plocha je teda všeobecnejšia ako plocha priamková.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BILINEÁRNA COONSOVA PLOCHA

$$[1-u,-1,u]*\mathbf{M}*[1-w,-1,w]^T=0$$

kde:
u a w sú parametre ($u\in\langle 0,1\rangle$, $w\in\langle 0,1\rangle$), pretože bilineárny plát je určený okrajom $P(u,0)$, $P(u,1)$, $P(0,w)$ a $P(1,w)$

$$\mathbf{M}=\begin{bmatrix} \mathbf{P}_{xyz}(0,0) & \mathbf{P}_{xyz}(0,w) & \mathbf{P}_{xyz}(0,1) \\ \mathbf{P}_{xyz}(u,0) & \mathbf{P}_{xyz}(u,w) & \mathbf{P}_{xyz}(u,1) \\ \mathbf{P}_{xyz}(1,0) & \mathbf{P}_{xyz}(1,w) & \mathbf{P}_{xyz}(1,1) \end{bmatrix}$$

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BILINEÁRNA COONSOVA PLOCHA

tvar sa prevedie na explicitný, čím dostaneme:

$$P(u,w) = [1-u, u] * [\mathbf{P}(0,w), \mathbf{P}(1,w)]^T + [\mathbf{P}(u,0), \mathbf{P}(u,1)] * [1-w, w]^T - [1-u, u] * \mathbf{Q} * [1-w, w]$$

kde **Q** je matica: $$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{xyz}(0,0) & \mathbf{P}_{xyz}(0,1) \\ \mathbf{P}_{xyz}(1,0) & \mathbf{P}_{xyz}(1,1) \end{bmatrix}$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/36

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BIKUBICKÁ COONSOVA PLOCHA

Je ďalším typom Coonsových plôch a predstavuje rozšírenie bilineárnej plochy, ale jej zadávanie a tvar je rovnaké. Rovnica popisujúca túto plochu je modifikáciou rovnice pre bilineárnu plochu.

$$\left[F_1(u),-1,F_2(u)\right] * \mathbf{M} * \left[F_1(w),-1,F_2(w)\right]^T = 0$$

kde **M** je matica ako u bilineárnej plochy a F_1, F_2 sú známe Fergusonove polynómy :

$$F_1(t) = \quad 2\cdot t^3 - 3\cdot t^2 + 1$$
$$F_2(t) = -2\cdot t^3 + 3\cdot t^2$$

Pre lepšiu implementovateľnosť túto rovnicu upravíme a dostaneme analogickú explicitnú rovnicu ako v prípade bilineárnej plochy.

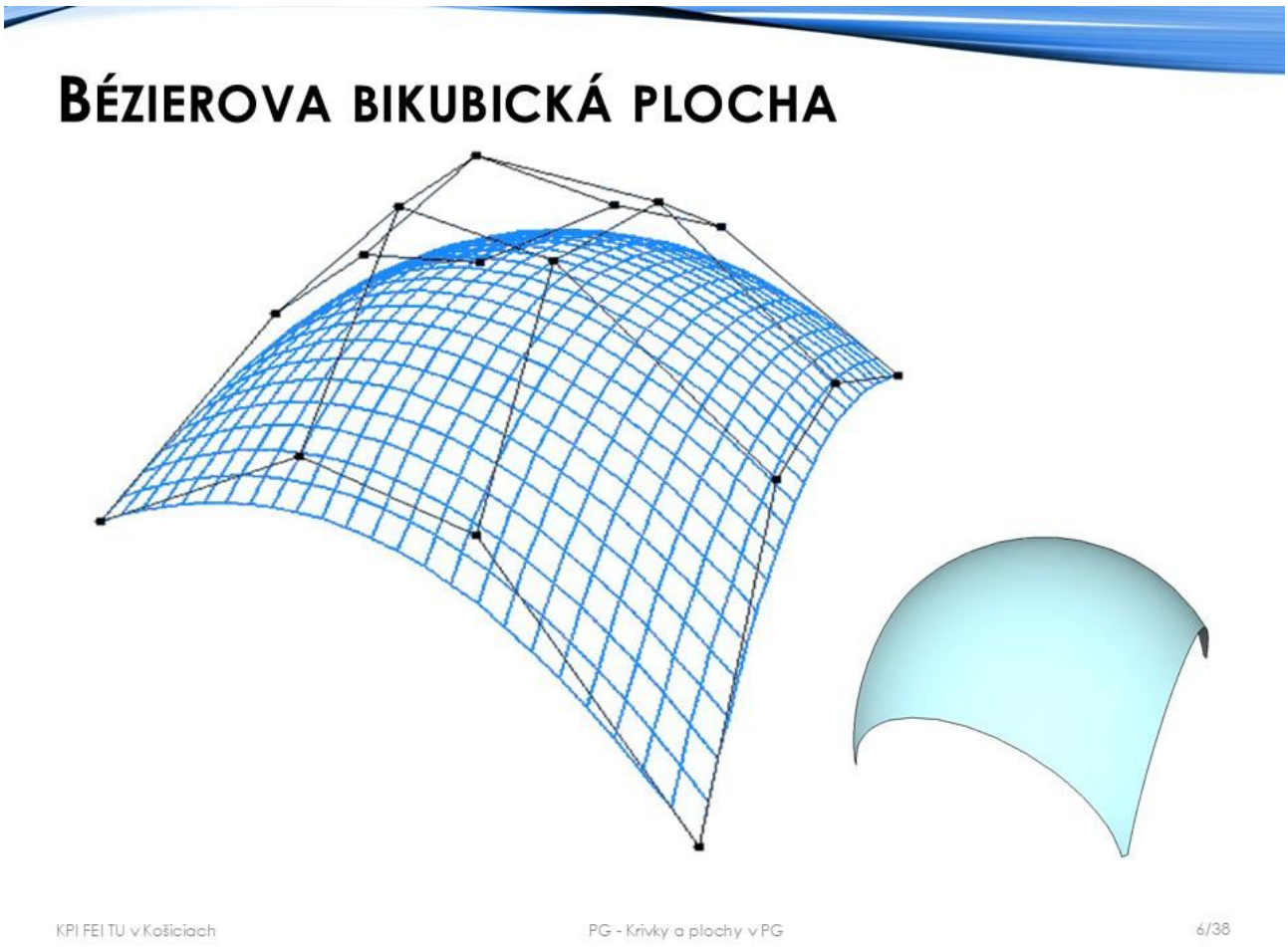
Základným problémom Coonsových plôch tohto typu je veľmi ťažké vyjadrenie priamych dotyčnicových vektorov, čím sa obtiažne dosahuje hladké spojenie dvoch Coonsových plátov.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/37

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA BIKUBICKÁ PLOCHA

Základná Bézierova plocha je nazývaná aj *Beziérova bikubická plocha* a je daná maticou *4x4* bodov, teda 16-imi uzlami B_{ij}, $i,j=0,1,2,3$. Plocha je následne definovaná explicitnou rovnicou:

$$z = [E(u), F(u), G(u), H(u)] * \mathbf{B} * [E(w), F(w), G(w), H(w)]^T$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/39

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA BIKUBICKÁ PLOCHA

$$z = [E(u), F(u), G(u), H(u)] * \mathbf{B} * [E(w), F(w), G(w), H(w)]^T$$

kde *E(t), F(t), G(t), H(t)* sú kubické Bernsteinove polynómy definované nasledovne:

$$E(t) = (1-t)^3$$
$$F(t) = 3 \cdot t \cdot (1-t)^2$$
$$G(t) = 3 \cdot t^2 (1-t)$$
$$H(t) = t^3$$

B je matica vrcholov riadiacej siete:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} B_{00xyz} & B_{01xyz} & B_{02xyz} & B_{03xyz} \\ B_{10xyz} & B_{11xyz} & B_{12xyz} & B_{13xyz} \\ B_{20xyz} & B_{21xyz} & B_{22xyz} & B_{23xyz} \\ B_{30xyz} & B_{31xyz} & B_{32xyz} & B_{33xyz} \end{bmatrix}$$

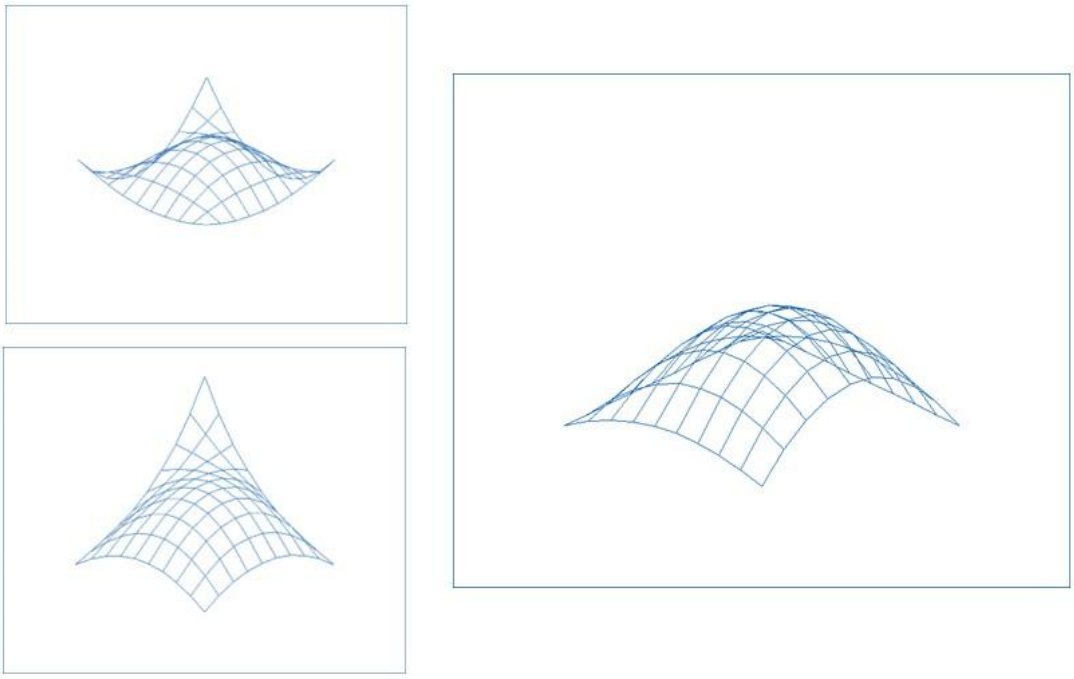
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/40

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÉZIEROVA BIKUBICKÁ PLOCHA - PRÍKLADY



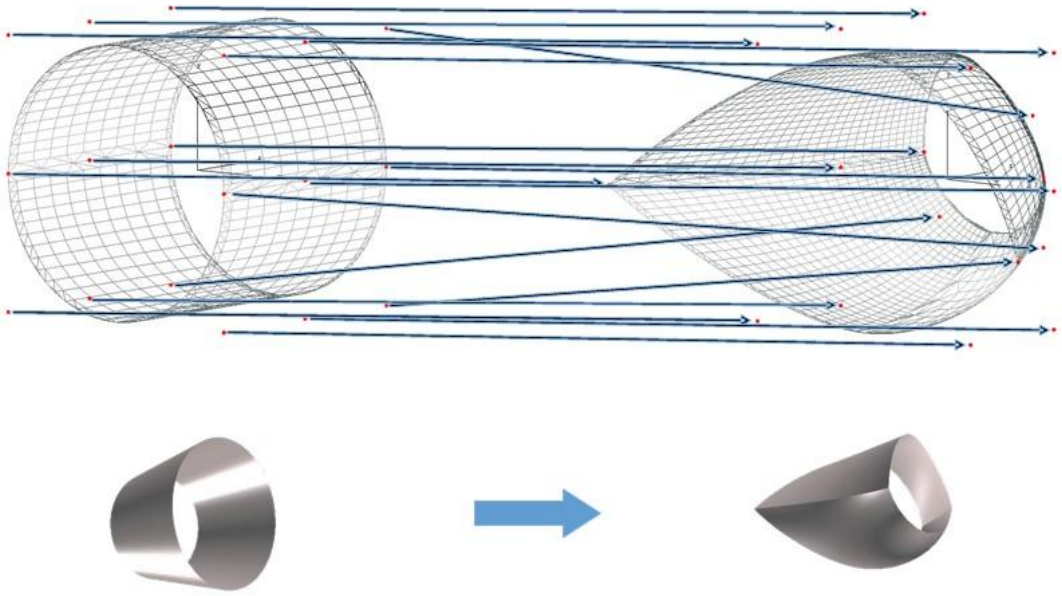
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/41

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MORPHING, WARPING
3D, MORFOVANÉ POLOHOU RIADIACICH BODOV



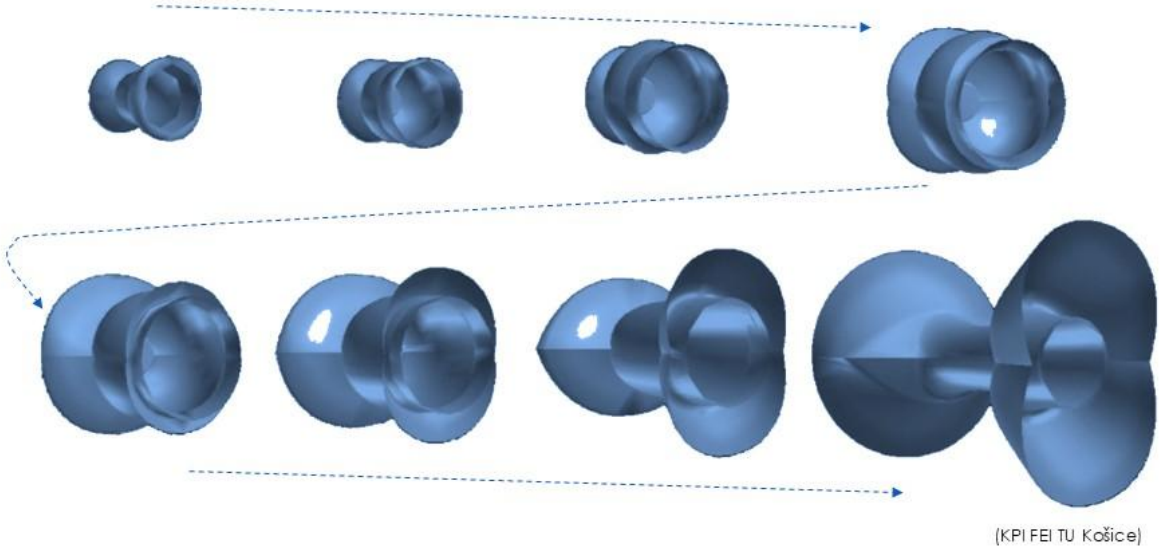
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/42

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MORPHING, WARPING (3D)

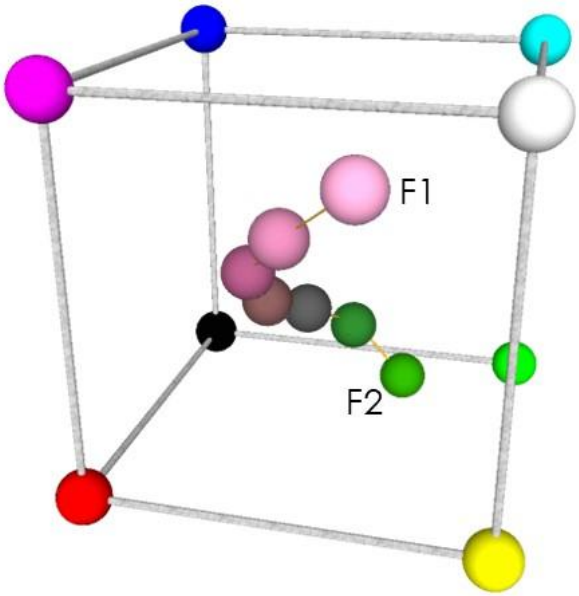


Poznámky:

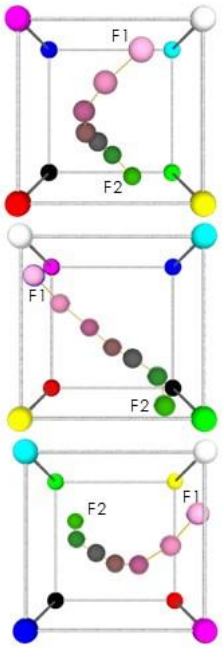
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRÍKLADY POUŽITIA KRIVKY VO FAREBNOM PRIESTORE
NELINEÁRNE ALFA-MIEŠANIE



nelineárny prechod F(arba)1-F(arba)2
pri alfa miešaní, RGB priestor



(zdroj KPI FEI TU Košice)

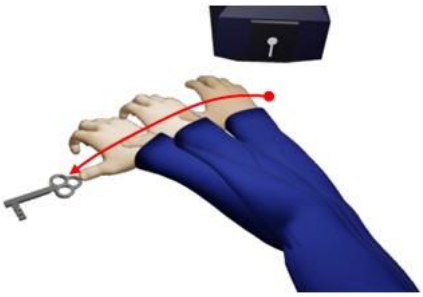
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/44

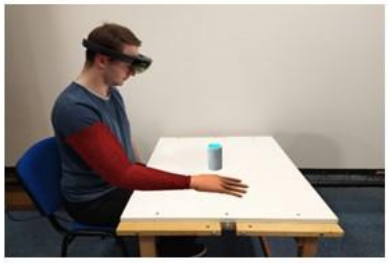
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

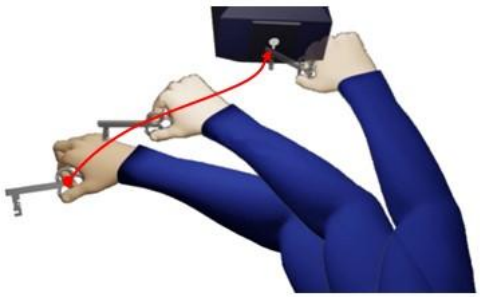
Zaujímavé URL:

PRÍKLADY TRAJEKTÓRIE POHYBU RUKY
SPRACOVANIE TRAJEKTÓRIÍ MODELOVANIA POHYBOV OSÔB





(LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Príklad pohybu ruky po trajektórii definovanej pomocou krivky (rehabilitácia paretickej ruky, inverzná kinematika, pohľad pacienta)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/45

Poznámky:

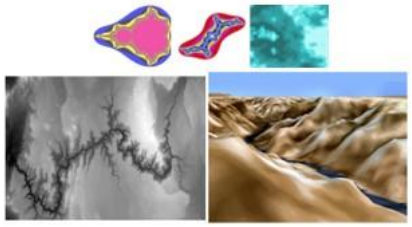
Zaujímavé zdroje:

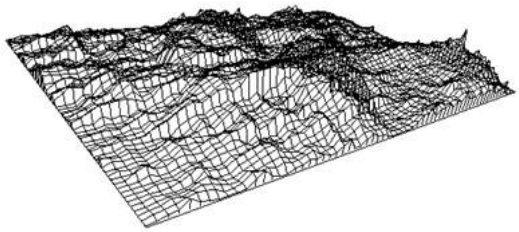
Zaujímavé URL:

PRÍKLADY POUŽITIA POVRCHOV

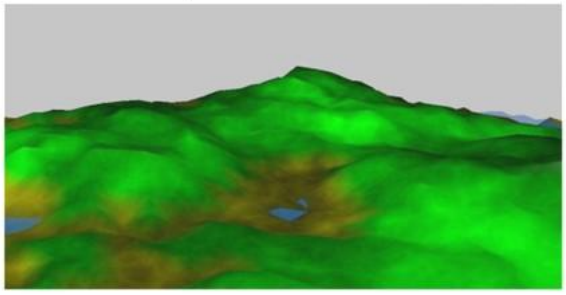
Digitálny terén:

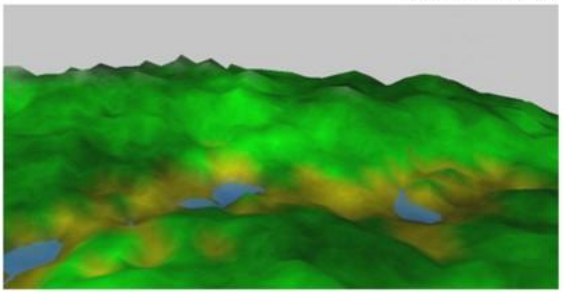
- drôtový, polygonálny,
- preložený plochou vyššej úrovne





(KPI FEI TU Košice)





KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/46

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

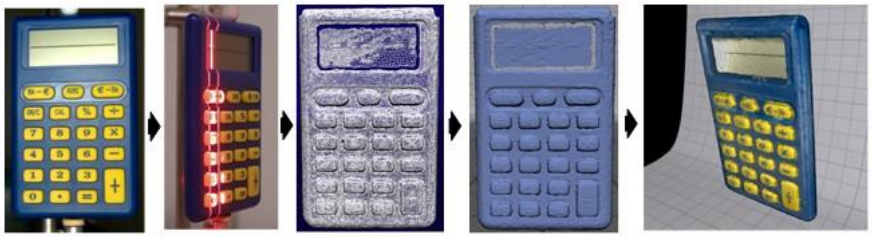
Zaujímavé URL:

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

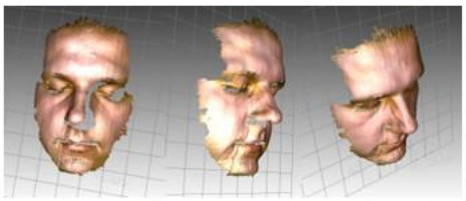
Zaujímavé URL:

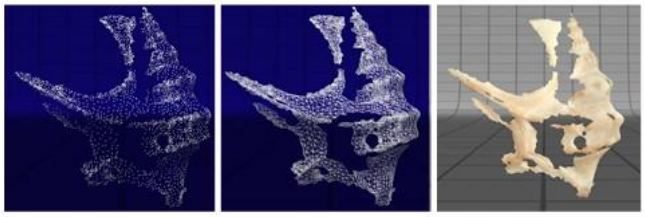
PRÍKLADY POUŽITIA PLÔCH
PRI SPRACOVANÍ VÝSLEDKOV 3D SKENOVANIA A PRI 3D TLAČI



(a) (b) (c) (d) (e)

(LIRKIS KPI FEI TU Košice)





(a) (b) (c)

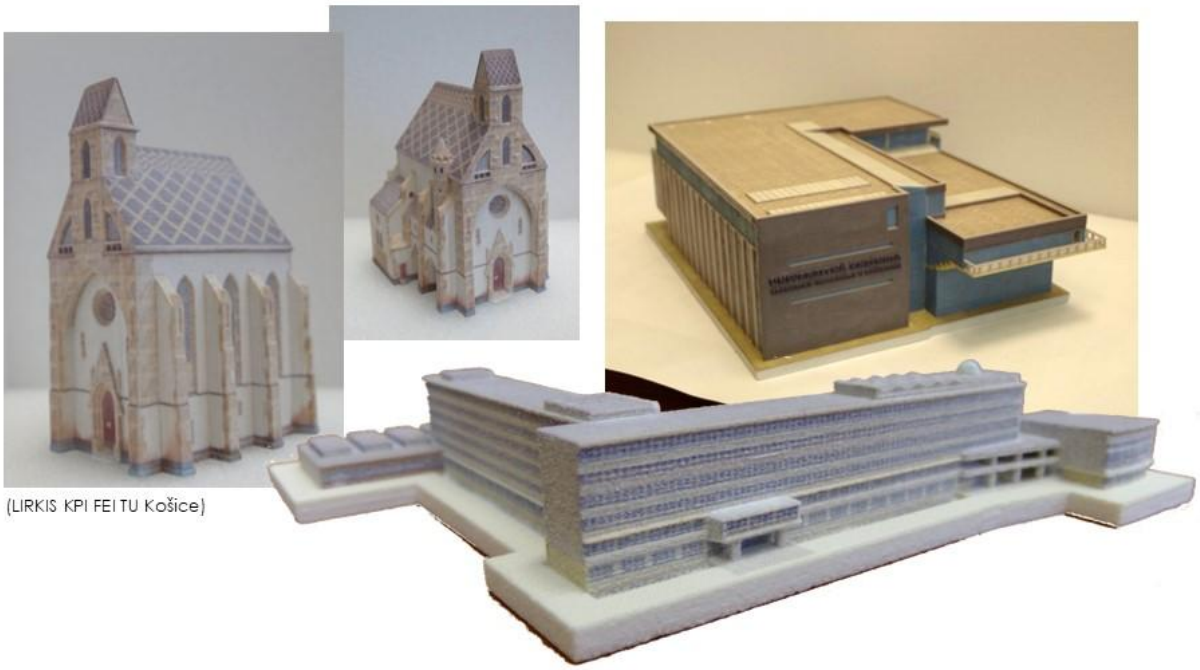
KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/48

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRÍKLADY POUŽITIA PLÔCH
PRI SPRACOVANÍ VÝSLEDKOV 3D SKENOVANIA A PRI 3D TLAČI



(LIRKIS KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Krivky a plochy v PG 6/49

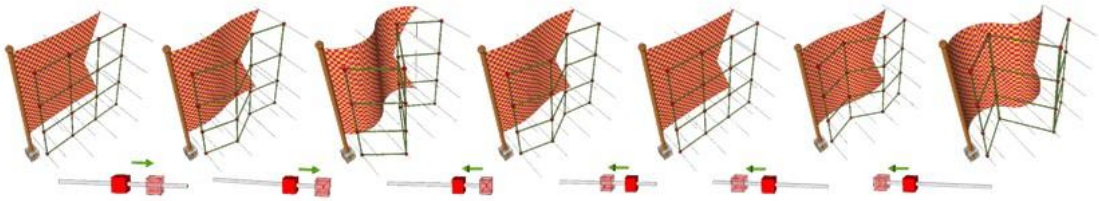
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSTATNÉ VYUŽITIE KRIVIEK A PLÔCH

- pre použitie v časových osiach animácií
- ako vstupné parametre pri simulácii prirodných tvarov a javov
- ako prechodové krivky pri práci s farebným priestorom (napr. pri alfa-miešaní)
- ako základ pre evolučné a genetické algoritmy
- pri spracovaní trajektórií v prípade rôznych fyzikálnych simulácií vrátane inverznej kinematiky a modelovania pohybov osôb a živočíchov (vrátane mimických)



Ukážka riadenia povievania zástavy pomocou riadiach bodov bikubickej plochy

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte krivky používané v počítačovej grafike, spôsob využitia, 1D krivkové útvary.
- Charakterizujte a popíšte Fergusonovu krivku.
- Charakterizujte a popíšte Bézierove krivky.
- Charakterizujte a popíšte spline, Catmul-Rom spline a B-spline krivku.
- Charakterizujte plochy používané v počítačovej grafike, 2D plošné útvary, modifikovateľnosť plôch.
- Charakterizujte a popíšte Coonsovu bilineárnu plochu.
- Charakterizujte a popíšte Beziérovú bikubickú plochu.

7 Riešenie viditeľnosti

Riešenie viditeľnosti v počítačovej grafike nepatrí k triviálnym úlohám. V čom vlastne spočíva riešenie viditeľnosti (angl. visibility problem). Spočíva v odstránení (resp. odlíšení) tých častí trojrozmerných objektov, ktoré pri danom premietaní/projekcii do 2D nie sú z miesta pozorovateľa viditeľné. Tým sú tieto časti zakryté a dostávame jednoznačné priemety želaných telies. V súčasnosti je dostupné riešenie viditeľnosti s podporou technických prostriedkov na úrovni grafických kariet/adaptérov (urýchlením).

Na riešenie problému viditeľnosti existuje niekoľko algoritmov. Rozdelenie algoritmov je možné podľa niekoľkých hľadísk. Základné delenie je podľa toho v akom tvare poskytujú výsledky na vektorové ((čiarové, hranové) výsledkom je množina kriviek predstavujúcich viditeľné hrany) a rastrové ((bodové) výsledkom je obraz predstavujúci jednotlivé body (pixely) s farbou príslušných viditelných plôch s možnosťou ich osvetlenia príp. tieňovania). Ďalšie delenia sú možné:

- podľa priestoru, kde je viditeľnosť riešená:
  - riešenie v 3D
  - riešenie v 2D priemetne
- podľa reprezentácie objektov, ktorých viditeľnosť riešime:
  - objektovo orientované algoritmy (kde sa rieši, ktorá časť príslušného objektu je viditeľná)
  - obrazovo orientované algoritmy (kde sa rieši spätne pre každý obrazový bod, ktorý objekt je v ňom vidieť)
- podľa toho či sa uvažuje aj osvetlenie telesa:
  - riešenie bez osvetlenia (vyhodnotenie farieb je aplikované lokálne na každý objekt)
  - riešenie s osvetlením (medzi tieto radíme v podstate aj metódu sledovania lúča (raytracing) alebo vyžarovaciu metódu (radiosity), ktoré sa častokrát označujú aj ako globálne metódy riešenia viditeľnosti s globálnou aplikáciou farieb v rámci scény t.j. napr. aj odrazy)
- podľa vplyvu možnej chyby pri vykonávaní (napr. použitím celočíselnej aritmetiky):
  - s lokálnym vplyvom chyby na výsledok
  - s globálnym vplyvom chyby na výsledok
- podľa času potrebného na riešenie viditeľnosti:
  - riešenie mimo reálneho času
  - riešenie v reálnom čase

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RIEŠENIE VIDITEĽNOSTI (VISIBILITY)

Spočíva v odstránení (resp. odlíšení) tých častí trojrozmerných objektov, ktoré pri danom premietaní do 2D nie sú z miesta pozorovateľa viditeľné. Tým sú tieto časti akože zakryté a dostávame jednoznačné priemety želaných telies.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RIEŠENIE VIDITEĽNOSTI - KATEGORIZÁCIA

- podľa priestoru, kde je viditeľnosť riešená:
  - riešenie v *3D*
  - riešenie v *2D* prietmetne
- podľa reprezentácie objektov, ktorých viditeľnosť riešime:
  - *objektovo orientované algoritmy* (kde sa rieši, ktorá časť príslušného objektu je viditeľná)
  - *obrazovo orientované algoritmy* (kde sa rieši spätne pre každý obrazový bod, ktorý objekt je v ňom vidieť)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RIEŠENIE VIDITEĽNOSTI - KATEGORIZÁCIA

- podľa toho či sa uvažuje aj osvetlenie telesa:
  - *riešenie bez osvetlenia* (vyhodnotenie farieb je aplikované lokálne na každý objekt)
  - *riešenie s osvetlením* (medzi tieto radíme v podstate aj metódu sledovania lúča (raytracing) alebo vyžarovaciu metódu (radiosity), ktoré sa častokrát označujú aj ako globálne metódy riešenia viditeľnosti s globálnou aplikáciou farieb v rámci scény t.j. napr. aj odrazy)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RIEŠENIE VIDITEĽNOSTI - KATEGORIZÁCIA

- podľa vplyvu možnej chyby pri vykonávaní (napr. použitím celočíselnej aritmetiky):
  - *s lokálnym vplyvom chyby* na výsledok
  - *s globálnym vplyvom chyby* na výsledok
- podľa času potrebného na riešenie viditeľnosti:
  - riešenie *mimo reálneho času*
  - riešenie *v reálnom čase*

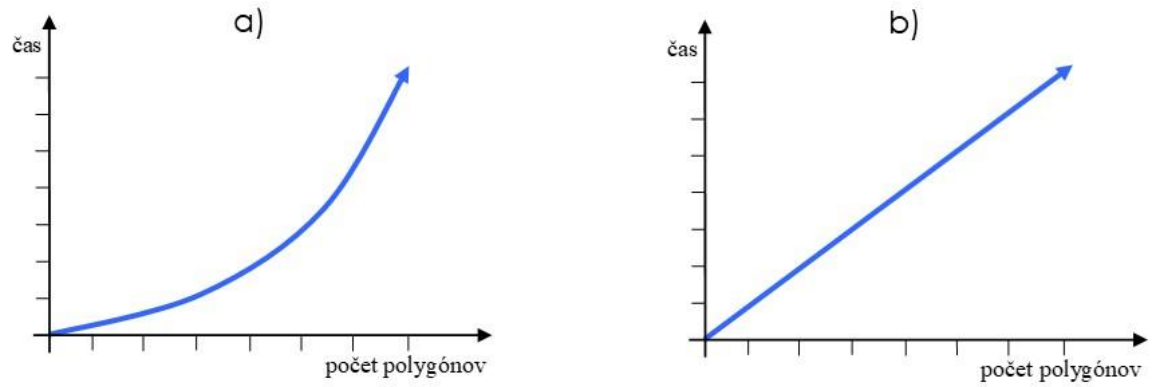
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ČASOVÁ ZÁVISLOSŤ RIEŠENIA VIDITEĽNOSTI

$$T = T_{V_{výber}} + T_{K_{reslenie}}$$



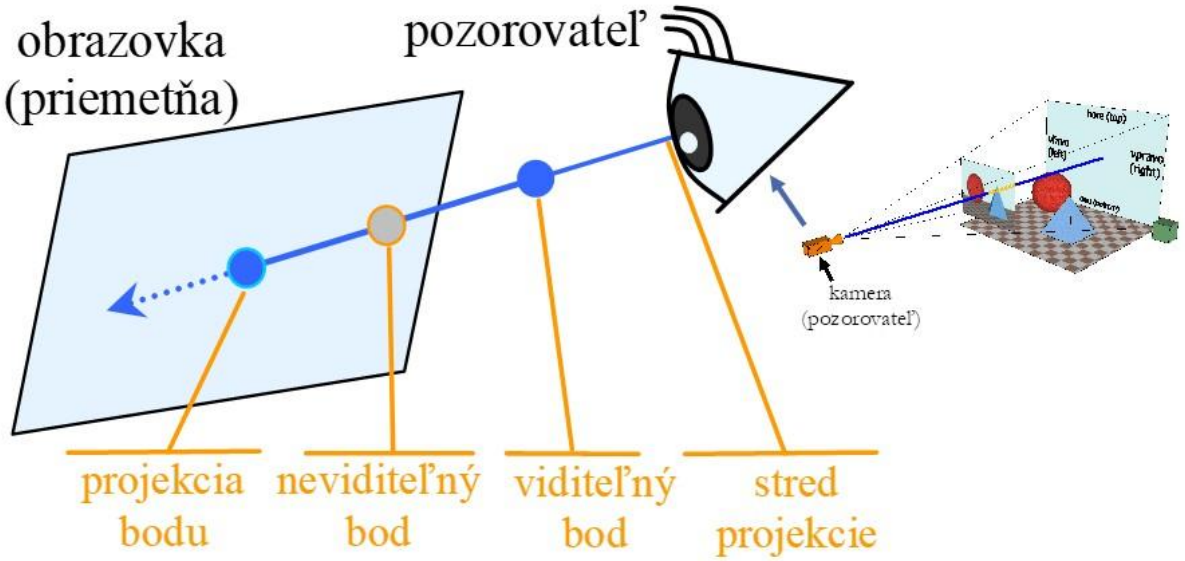
T_V pre a) objektové a b) rastrové algoritmy

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIDITEĽNOSŤ BODU



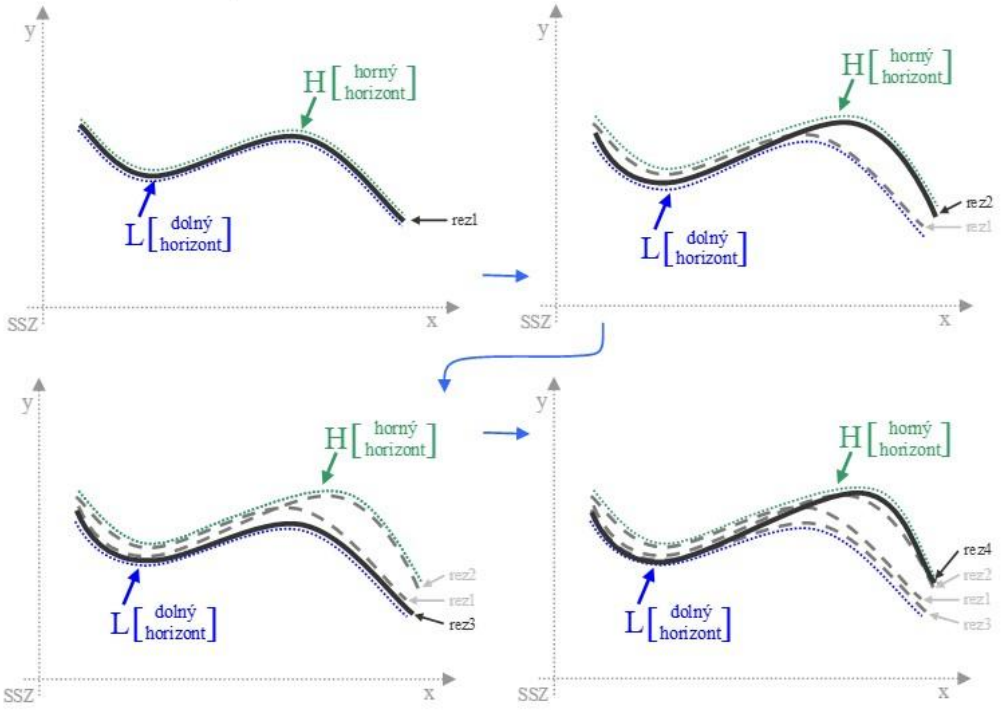
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/7

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMUS PLÁVAJÚCEHO HORIZONTU
NA ÚROVNI REZOV/KRIVIEK



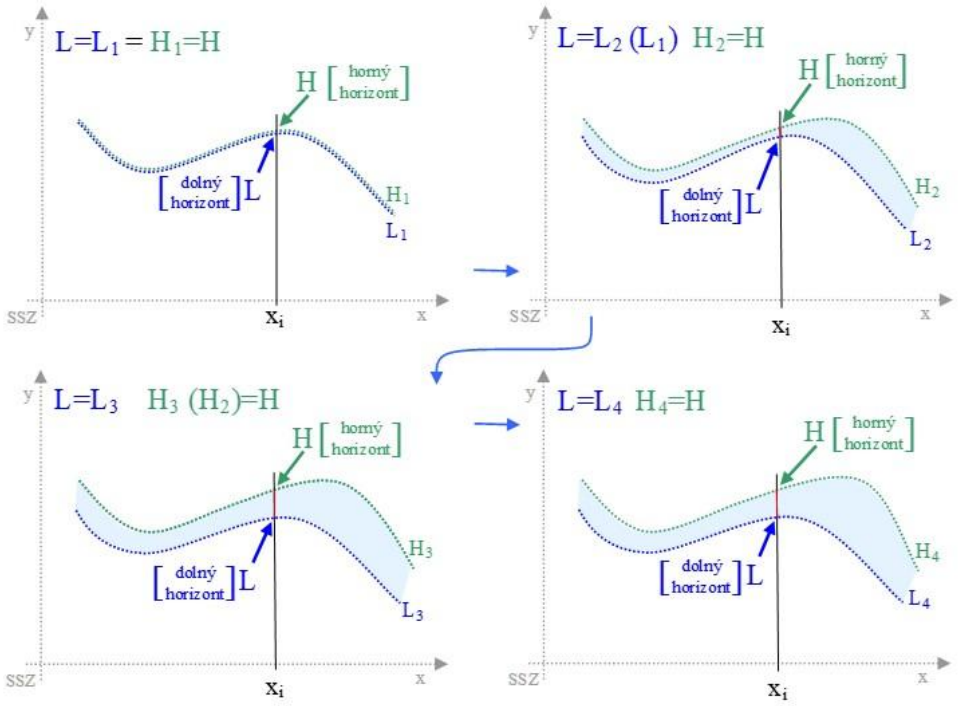
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/8

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMUS PLÁVAJÚCEHO HORIZONTU NA ÚROVNI INTERVALU HODNÔT V X_i



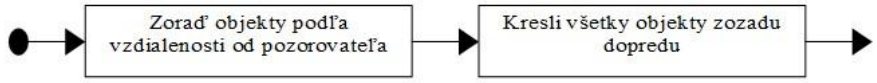
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/9

Poznámky:

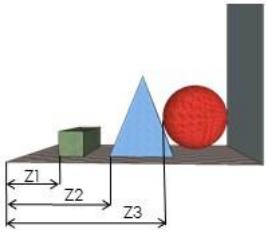
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MALIAROV ALGORITMUS
PAINTER'S ALGORITHM



(Z-Sort, O(n.log2 n) v najlepšom prípade)



Podmienky:

- Ak $z1_{max} < z2_{min}$, potom je polygón *P1* úplne za polygónom *P2*.
- Ak sa neprekrývajú priemety polygónov v rovine priemetne (t.j. v *SSZ*), je poradie ich vykresľovania nezávislé a polygón P1 testu vyhovuje.
- Ak sú všetky vrcholy polygónu *P1* pod rovinou určenou polygónom *P2*, potom *P1* leží za polygónom *P2*.
- Ak sú všetky vrcholy polygónu *P2* nad rovinou určenou polygónom *P1*, potom *P1* leží za polygónom *P2*.

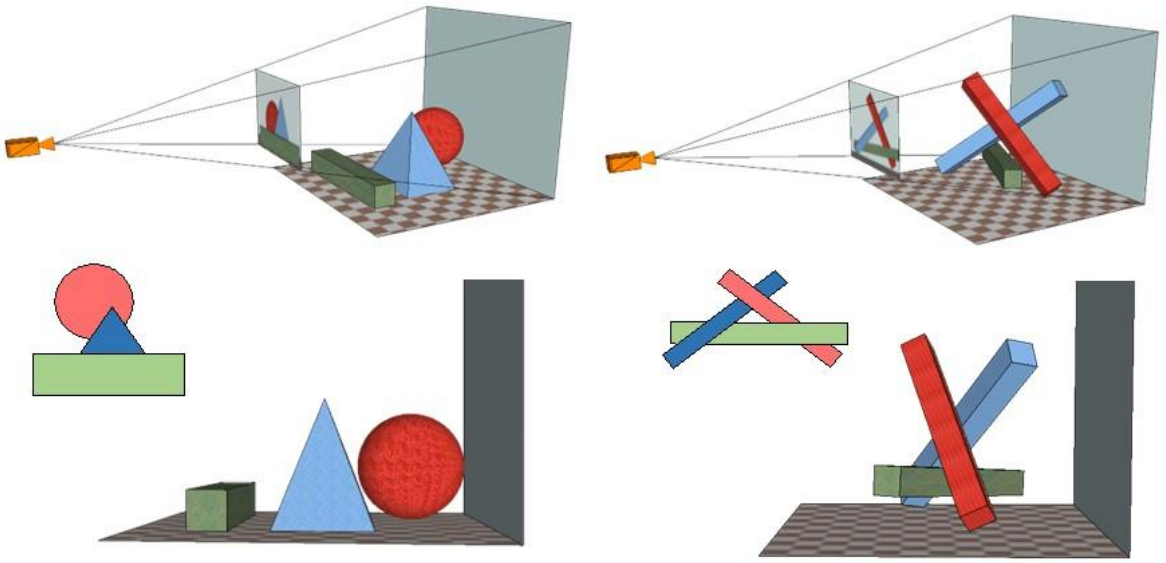
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/10

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MALIAROV ALGORITMUS



Modelové scény pre maliarov algoritmus bez a s cyklickým prekryvom

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

WARNOCKOV ALGORITMUS

Warnockov algoritmus umožňuje zobraziť viditeľné časti telesa dvoma spôsobmi:

- hrany (drôtové zobrazenie)
- steny (plošné zobrazenie)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

WARNOCKOV ALGORITMUS

1. Uloženie základného zobrazovacieho priestoru, teda jednej z tých 4.častí do zásobníka.
2. Výber zo zásobníka a sprístupnenie informácií, ktoré definujú veľkosť okna.
3. Ohodnotenie a rozhodnutie, vzhľadom na jednotlivé možnosti, ktoré môžu nastať pri kreslení telies po delení v príslušnom obdĺžniku (okne). Možnosti:
   a) V okne sa nachádza mnohouholník prekrývajúci daný obdĺžnik.
   b) Mnohouholník je mimo obdĺžnika.
   c) Ostatné prípady.
4. Keď sa jedná o možnosti a) alebo b), potom vieme jednoznačne rozhodnúť o viditeľnosti (výpočet vzdialenosti a rozhodnutie je v 3D). Nastáva vykreslenie.
5. Keď nevieme rozhodnúť o viditeľnosti, teda jedná sa o možnosť c), potom sa robí ďalšie (vlastne rekurzívne) delenie príslušného okna na 4 rovnaké časti. Vypočítajú sa súradnice jednotlivých okien a každé okno sa uloží do zásobníka.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/13

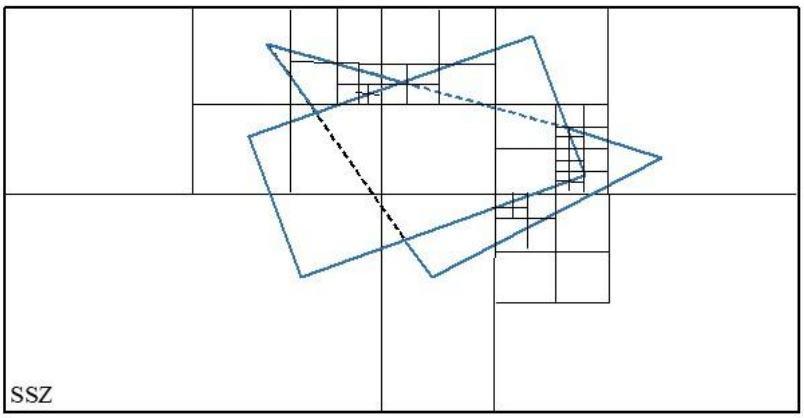
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

WARNOCKOV ALGORITMUS

6. Keď rozmery okna sú rovné jednej, tzn. že sa jedná o bod (pixel), dá sa jednoznačne rozhodnúť, ktorý bod je viditeľný a ten sa vykreslí.
7. Keď sa zásobník vyprázdni, ukončí sa celý algoritmus.
8. V opačnom prípade sa pokračuje v kroku 2.



Postup delenia pri Warnockovom algoritme

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FREEMAN-LOUTRELOV ALGORITMUS

Algoritmus pracuje v 3D a je založený na rozdelení stien na neviditeľné a potencionálne viditeľné na základe uhla φ medzi vektorom pohľadu kamery a normálou steny.

$$\varphi = \arccos\left(\frac{a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}\right)$$

Je potrebné zabezpečiť rovnakú orientáciu všetkých stien v scéne (v smere alebo proti smeru hodinových ručičiek)

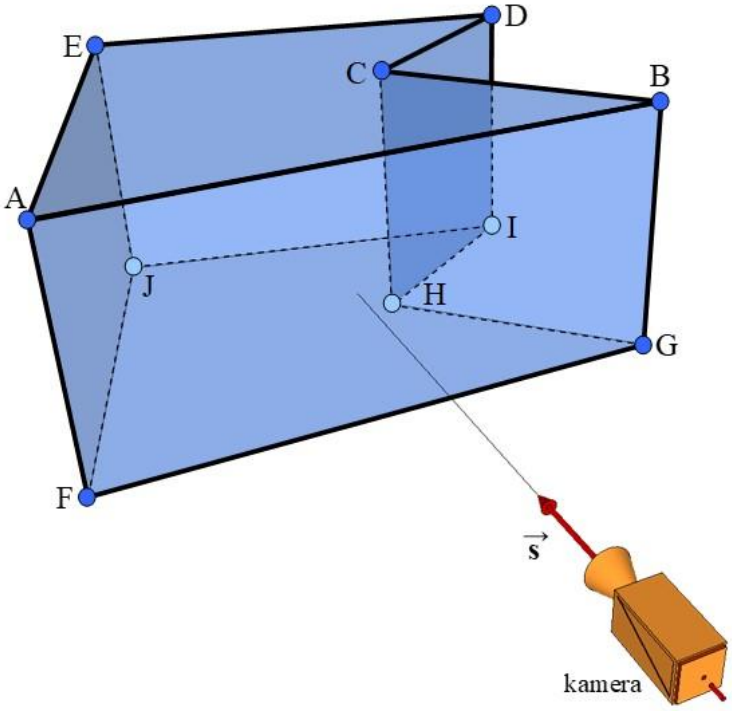
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FREEMAN-LOUTRELOV ALGORITMUS



Príklad typu stien:

orientácia

$\vec{n}(U,V,X,Z)$

normála príslušnej steny

$\vec{n}(B,C,H,G) \times \vec{s} > 0$

zadná (neviditeľná)

$\vec{n}(C,D,I,H) \times \vec{s} < 0$

predná

(potencionálne viditeľná)

Podmienka:

orientácia v celej scéne rovnaká

KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

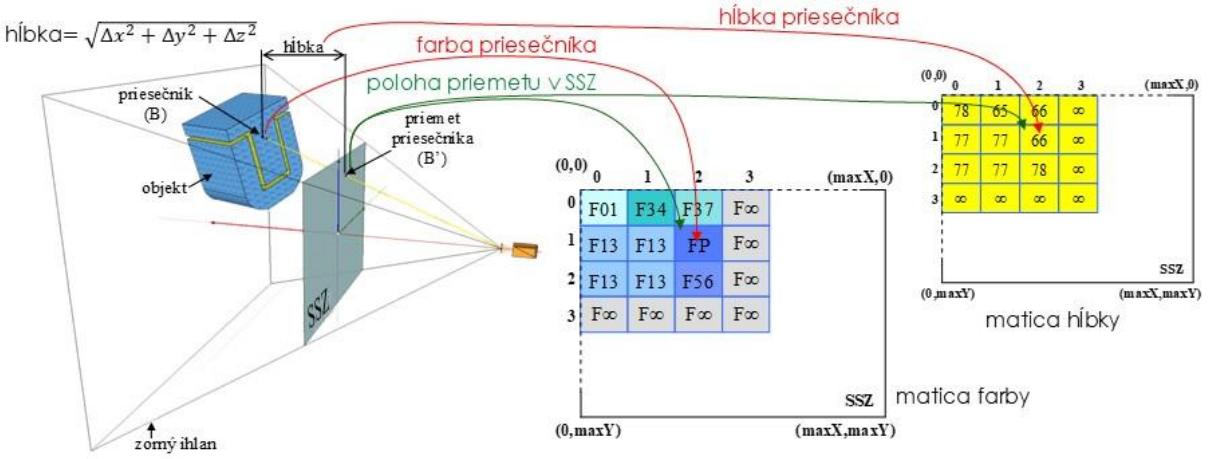
Zaujímavé URL:

ALGORITMUS PAMÄTE HĹBKY (Z-BUFFER)

všeobecná rovnica roviny mnohouholníka je:

$$a.x + b.y + c.z + d = 0.$$

$$z_i = \frac{-a}{c} \cdot (x_i - x_0) + \frac{-b}{c} \cdot (y_i - y_0) + z_0$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMUS PAMÄTE HĹBKY (Z-BUFFER)

výhody:

- korektne rieši viditeľnosť
- polygóny (mnohouholníky) sa môžu navzájom pretínať
- polygóny je možné kresliť v ľubovoľnom poradí (nevyžaduje žiadne predspracovanie ani triedenie polygónov)
- vhodný pre objekty s množstvom malých polygónov

nevýhody:

- vysoké nároky na pamäť, minimálne (2.maxX .maxY) bajtov
- prekresľovanie
- je pomalý (málo efektívny) pri veľkých scénach (veľa veľkých polygónov), je ho možné však urýchliť použitím orezania na zorný ihlan.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY (BINARY SPACE PARTITIONING)

- Podľa rozloženia objektov:
  - Vyvážené
  - Nevyvážené
- Podľa rozloženia deliacich rovín:
  - Statické
  - Dynamické
  - Adaptívne
  - Stratové

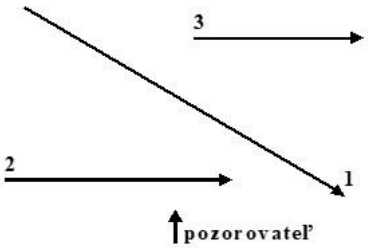
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/19

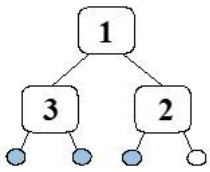
Poznámky:

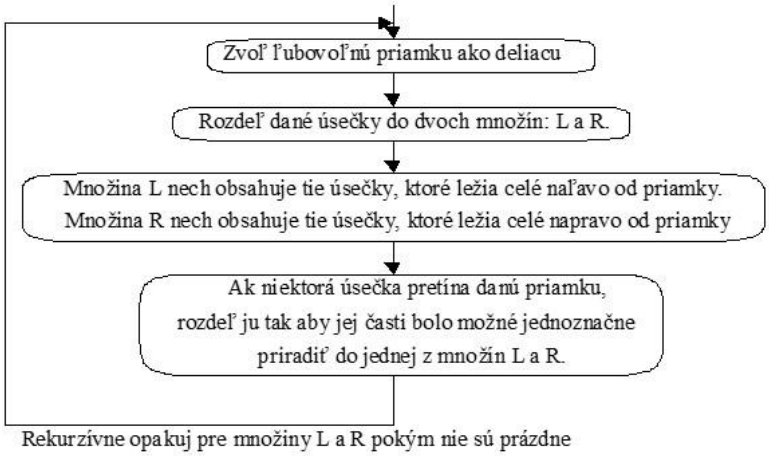
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY







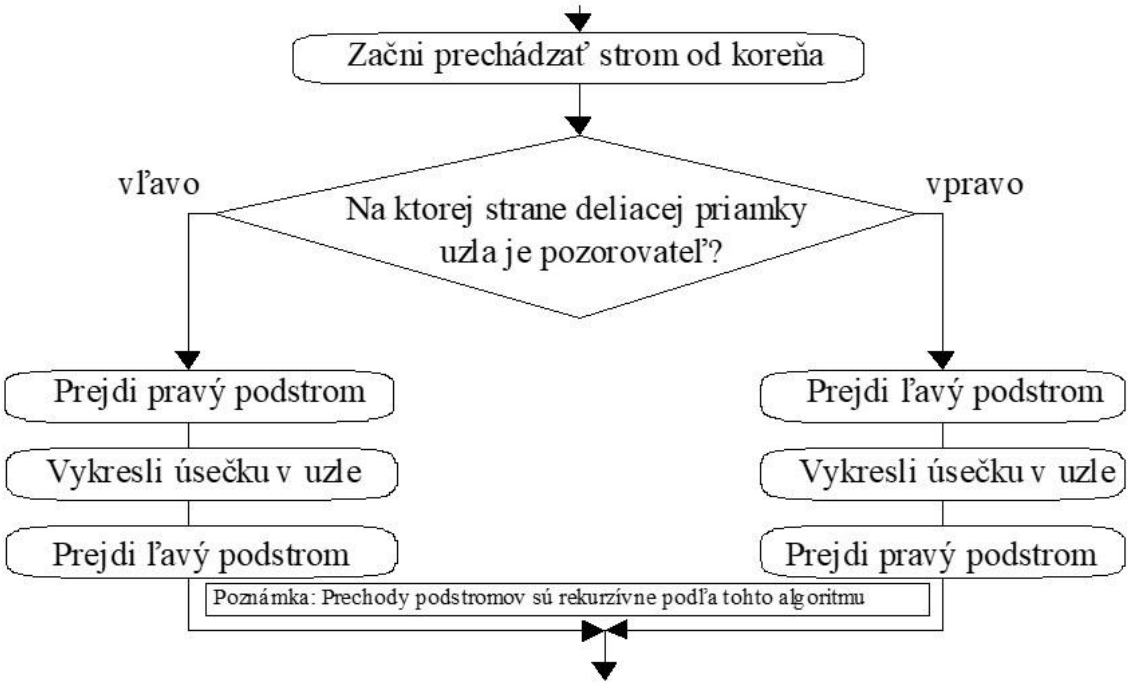
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY (PRECHOD ZOZADU DOPREDU)



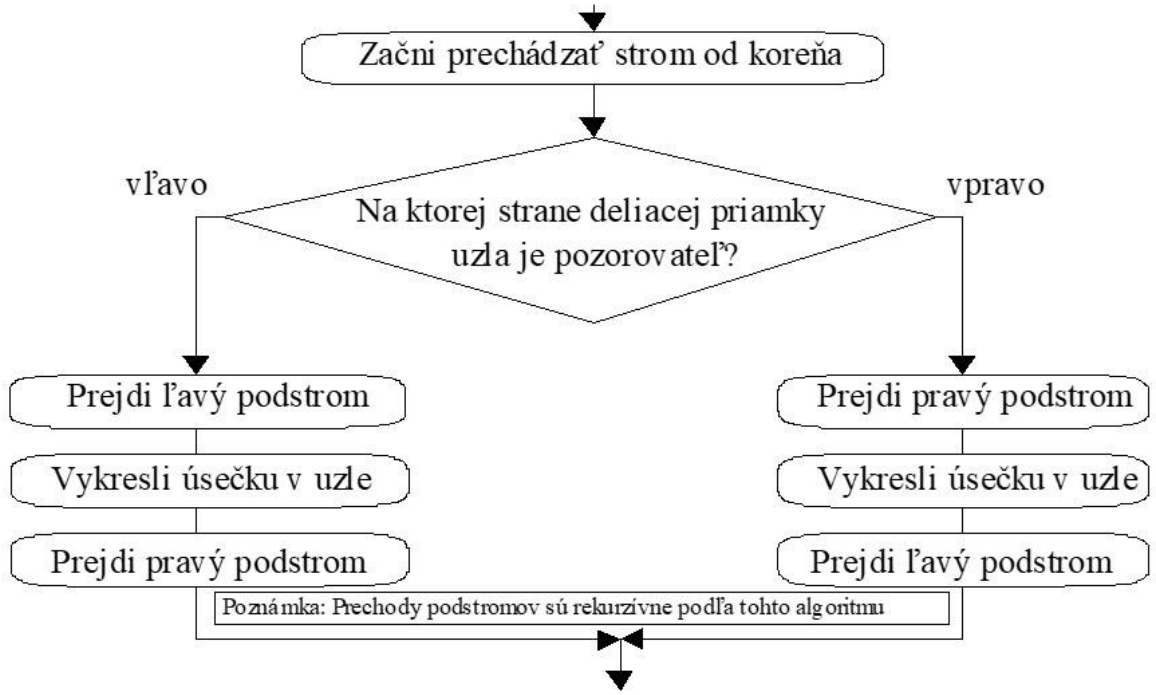
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/21

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY (PRECHOD SPREDU DOZADU)

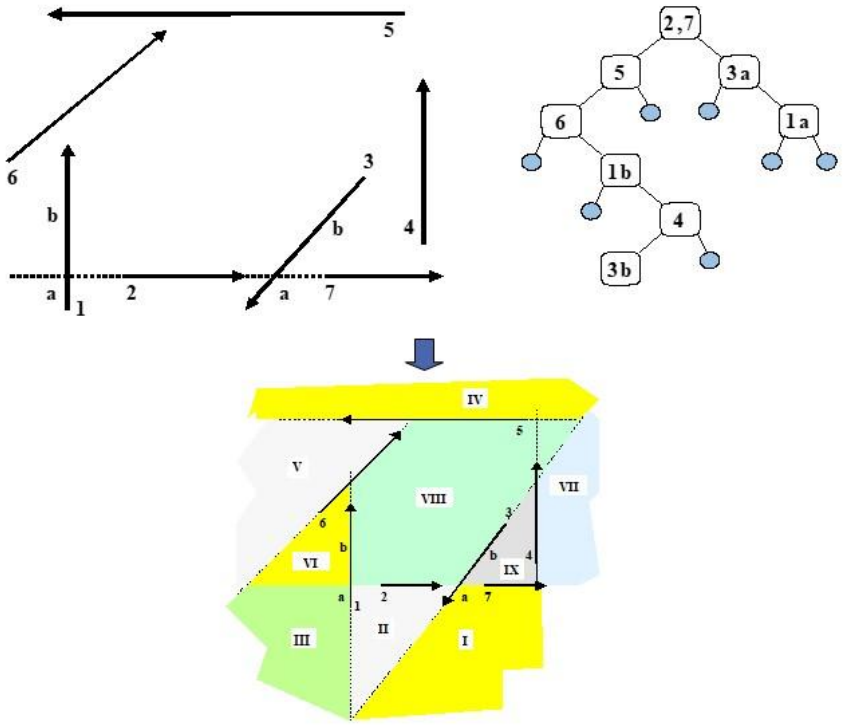


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY



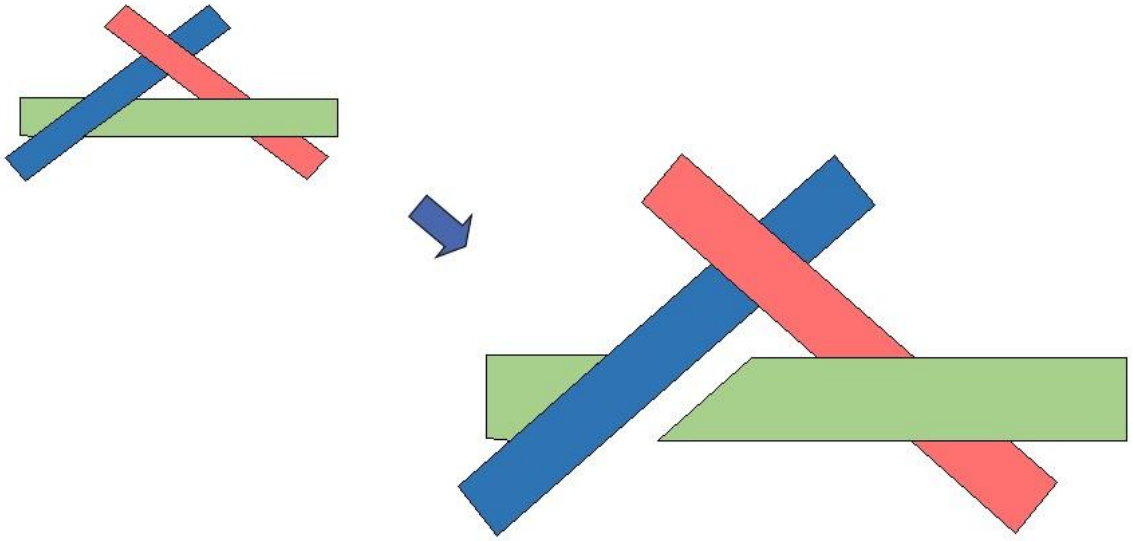
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/23

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BSP STROMY – RIEŠENIE CYKLICKEJ SCÉNY

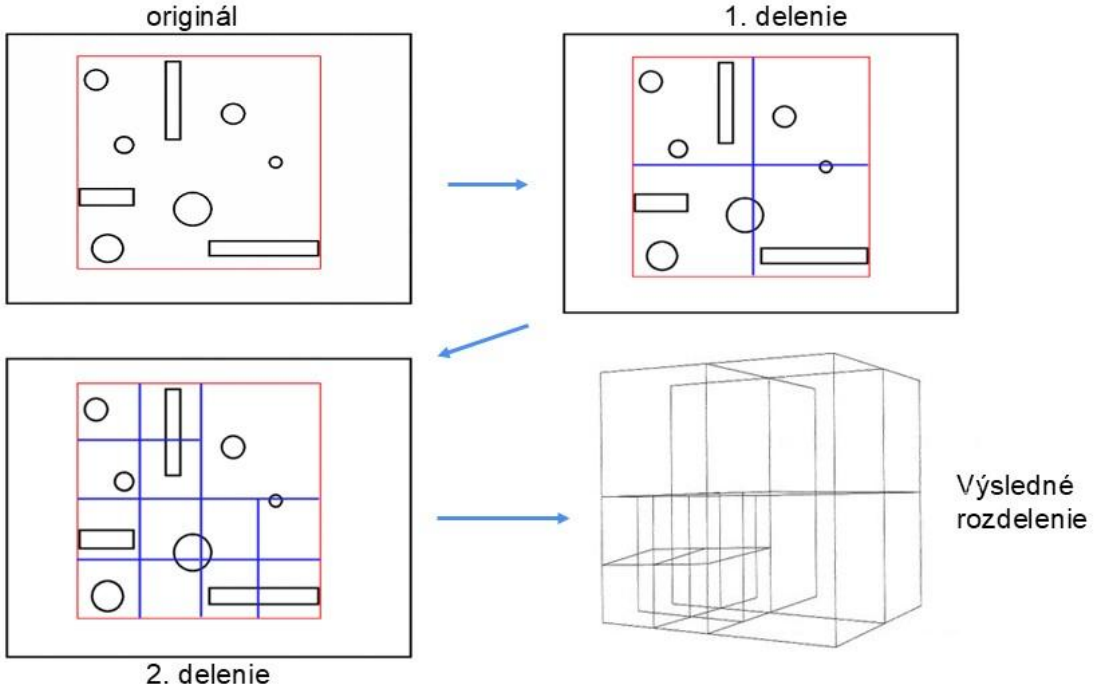


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OKTANTOVÉ STROMY (OCTREES)

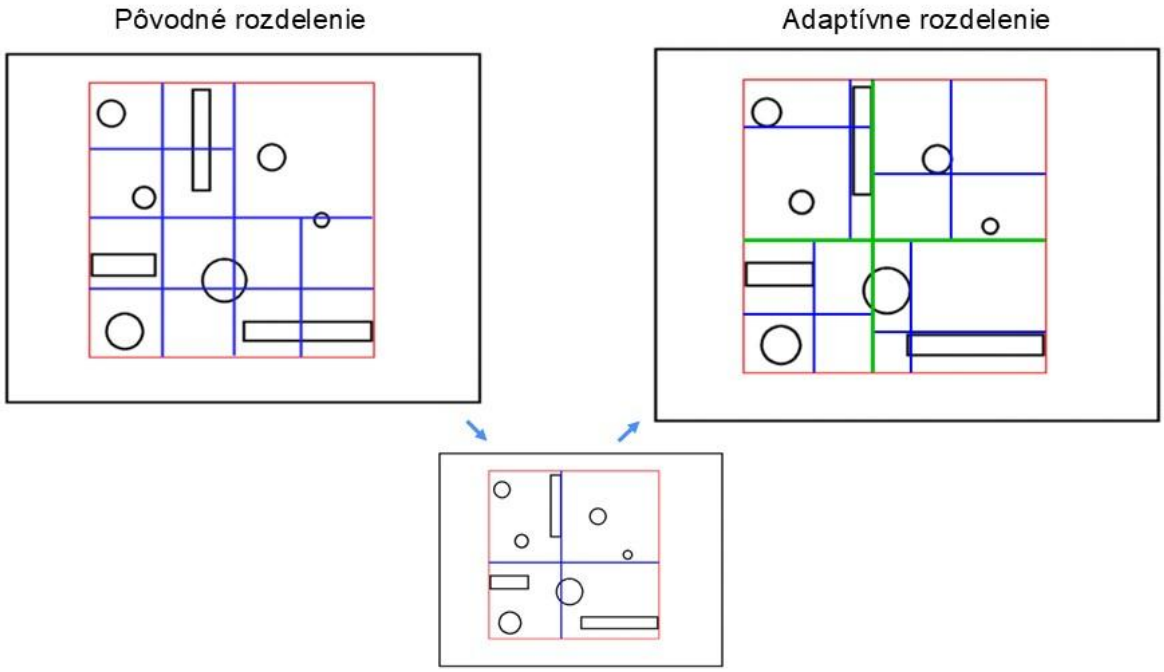


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OKTANTOVÉ STROMY



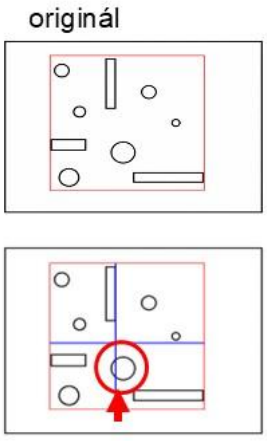
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/26

Poznámky:

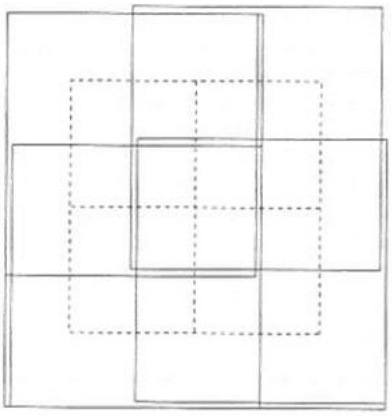
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

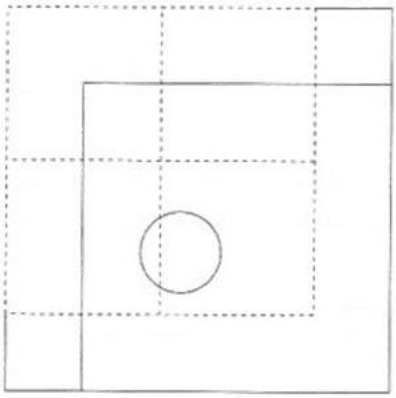
OKTANTOVÉ STROMY



Delenie pri použití adaptívneho delenia



Stratové delenie



Umiestnenie problematického objektu v stratovom oktantovom strome (pravý dolný uzol)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OKTANTOVÉ STROMY

Príklad zložitejšieho delenia priestoru pomocou oktantových stromov

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

URÝCHĽOVACIE TECHNIKY RIEŠENIA VIDITEĽNOSTI

- FV (Front view)/ BC (Back Cut)
- Orezávanie na zorný ihlan
- Ohraničujúce útvary
- Sektorovanie
- Potenciál viditeľnosti (PVS)
- S-buffer

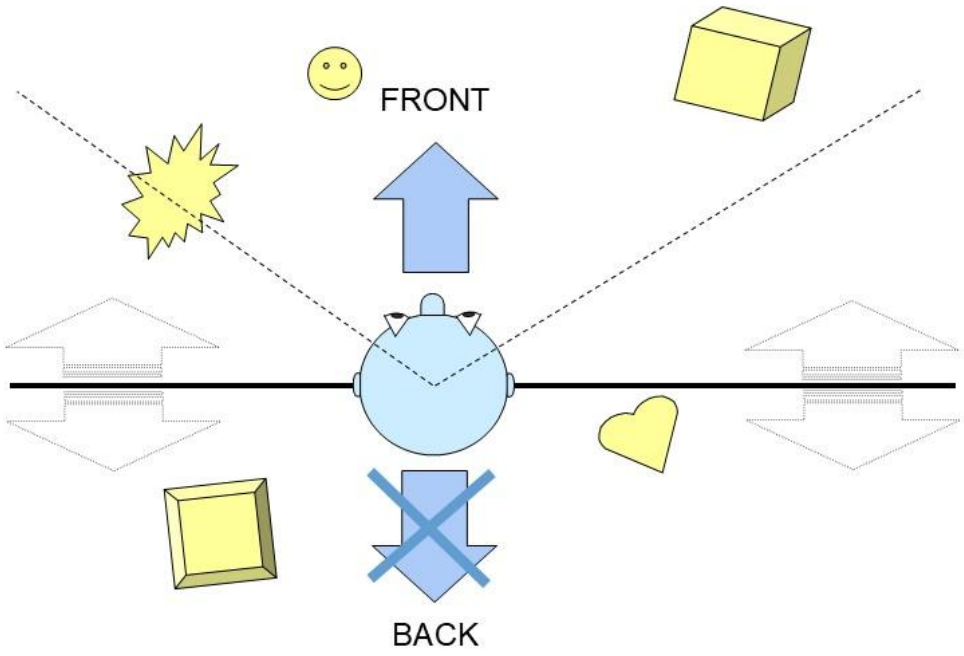
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FRONT VIEW / BACK CUT



KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/30

Poznámky:

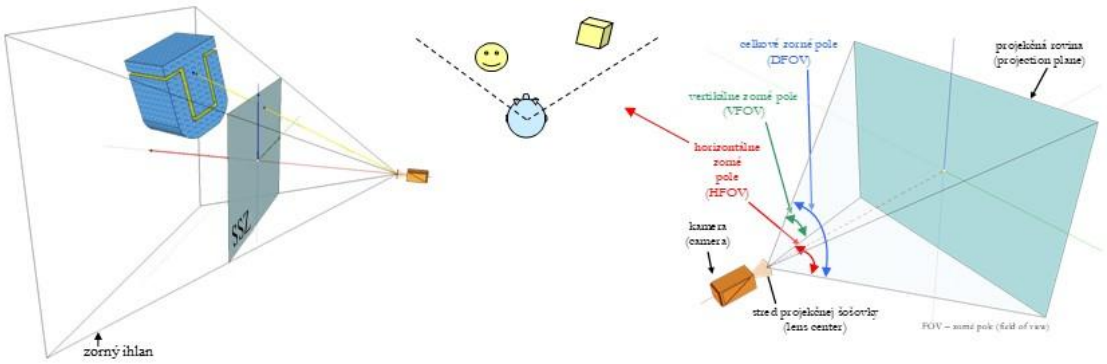
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OREZÁVANIE NA ZORNÝ IHLAN

Zorný ihlan je časť priestoru, ktorá je vymedzená *H/V-FOV* a po projekčnej a zobrazovacej transformácii (*USS→ SSC→SSZ*) zobrazí do obdĺžnika na priemetni, ktorý reprezentuje tú jej časť, ktorá v konečnom dôsledku bude viditeľná na zobrazovači (obrazovke) t.j. zorný priestor.

Orezávanie je možné robiť buď v *SSC* alebo v *USS*.



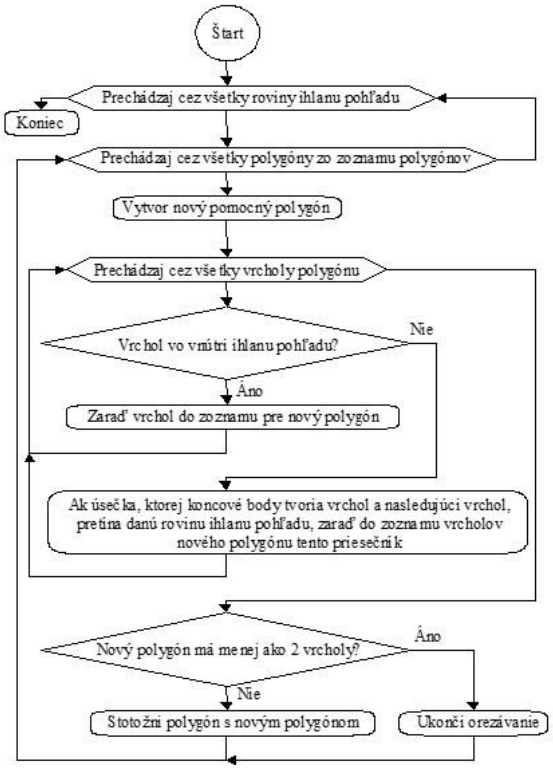
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/31

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OREZÁVANIE NA ZORNÝ IHLAN - ALGORITMUS



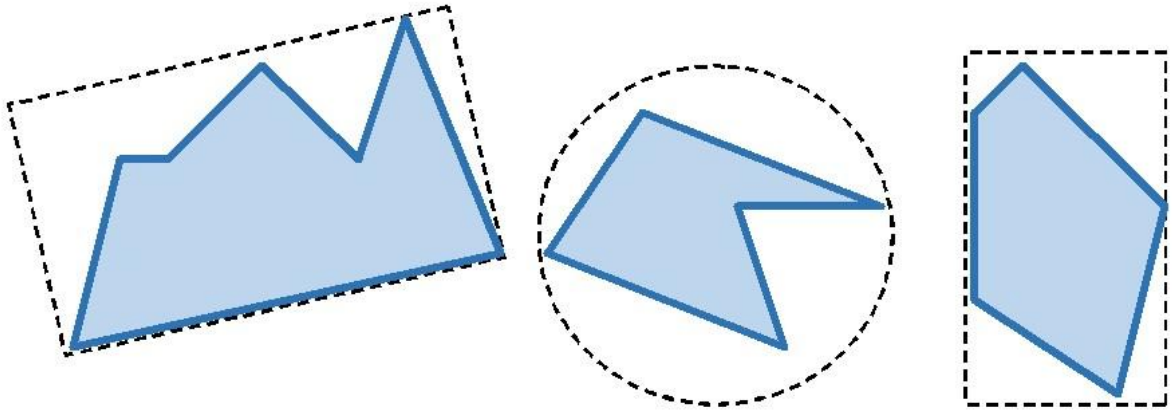
KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/32

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OHRANIČUJÚCE ÚTVARY



KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/33

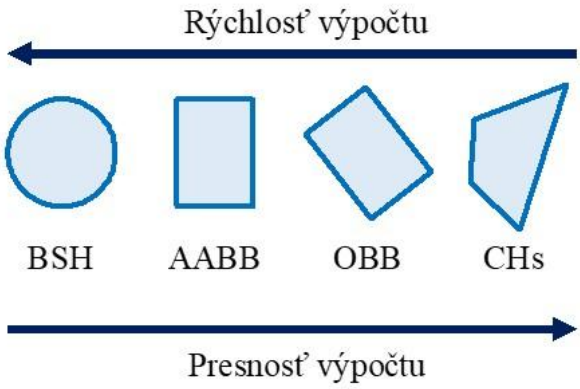
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OHRANIČUJÚCE ÚTVARY

- Hierarchia ohraničujúcich gulí (BSH)
- Osovo - orientovaný kváder (AABB)
- Objektovo - orientovaný kváder (OBB)
- Konvexná obálka (Convex Hull)

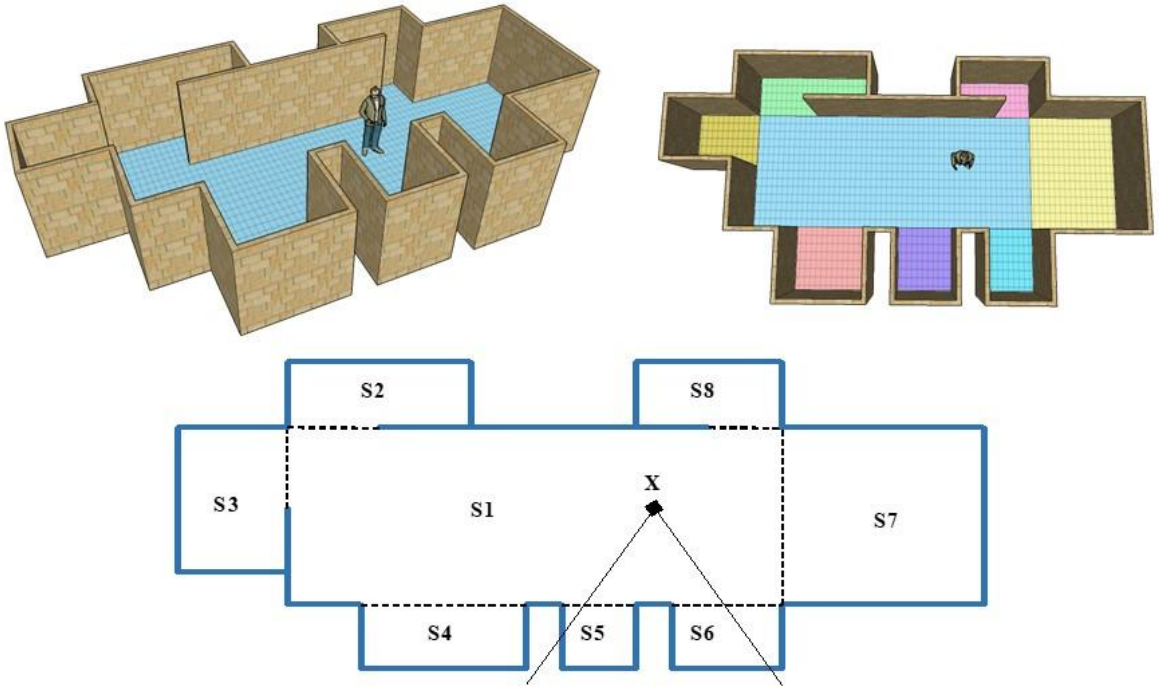


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SEKTOROVANIE

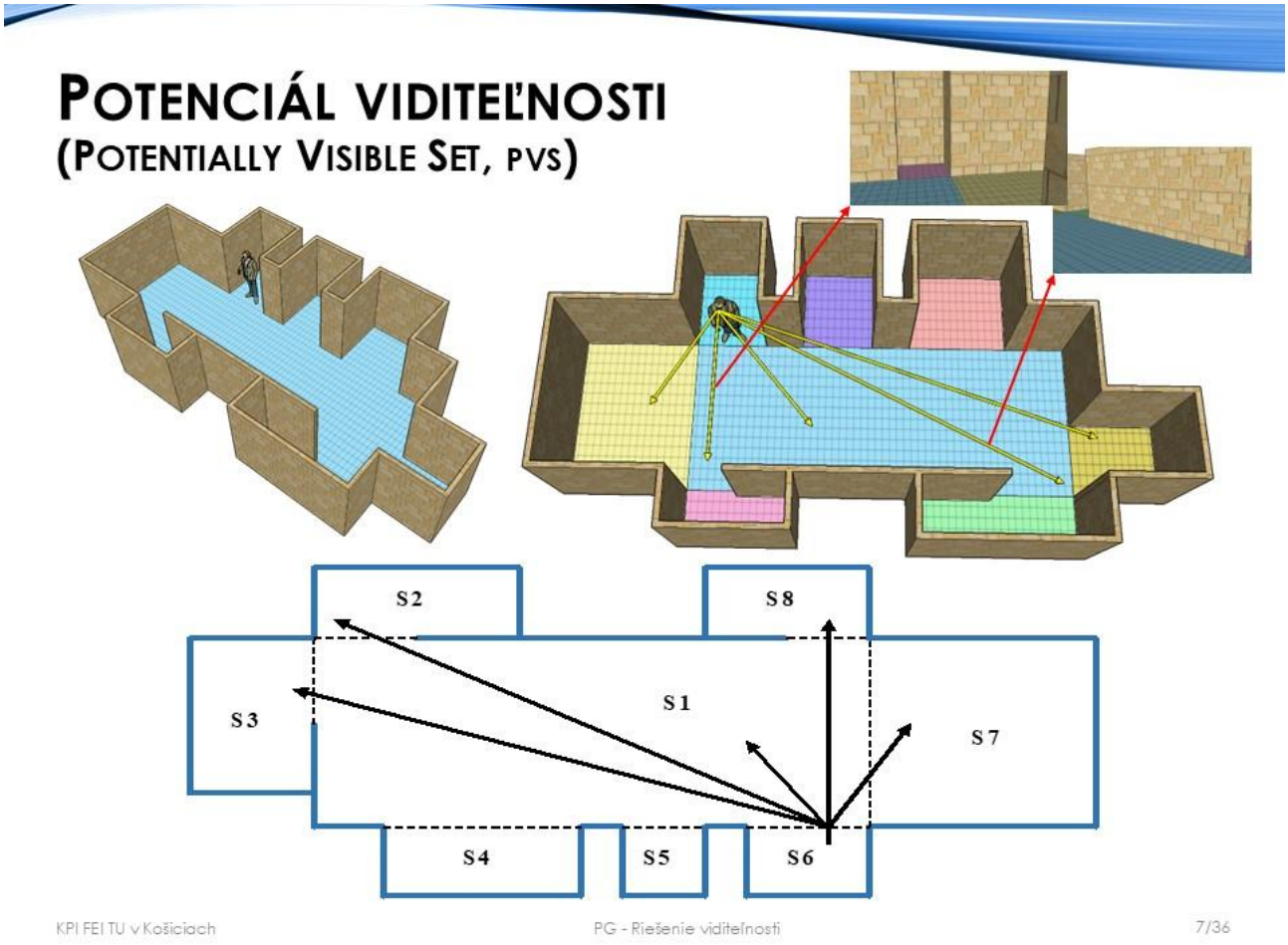


KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/35

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

S-BUFFER (SPAN BUFFER)

je jednou z techník, ako zabezpečiť neprekresľovanie už vykreslených polygónov v rámci SSZ, jedná sa teda o algoritmus, ktorý pracuje prioritne v 2D.

Jeho použitie sa teda obmedzuje na použitie v systémoch, ktoré kreslia scénu spredu dozadu.

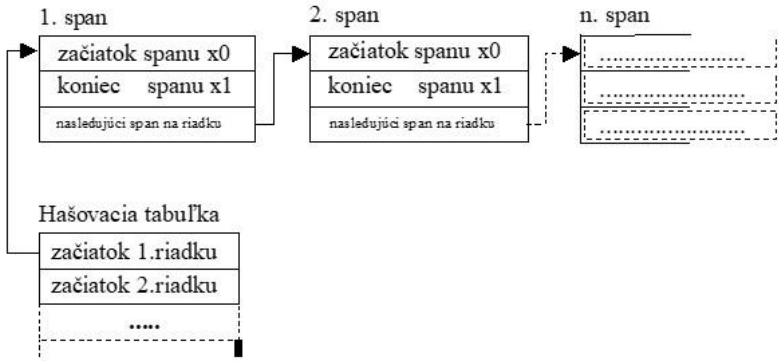
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

S-BUFFER – ÚDAJOVÉ ŠTRUKTÚRY

Údajové štruktúry, ktoré sa používajú pri S-buffri sú rôzne. Často sa však používa najmä spojkový zoznam. Ide teda o spojkový zoznam častí riadkov (angl. span), ktoré sú už vykreslené. Takýto zoznam je zostavený osobitne pre každý riadok obrazovky a smerníky na prvý span na každom riadku sú uložené v hašovacej tabuľke.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Riešenie viditeľnosti 7/38

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

S-BUFFER - SPRACOVANIE

Pri kreslení polygónu (mnohouholníka) sa musí každý *span* podrobiť testu, či nie je prekrytý iným, už nakresleným spanom. Ak je prekrytý, t.j. leží celý v rozmedzí x_0 a x_1 nejakého spanu v danom riadku, tak sa nekreslí. V opačnom prípade je potrebné počítať prieniky spanov a vykresliť len tie časti, ktoré sú ešte nevykreslené, t.j. postupne zaplňovať diery v S-buffri. Rutina na vkladanie spanu nie je vôbec jednoduchá a v značnej miere na jej efektívnosti závisí aj výkon vizualizačného systému.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte problém riešenia viditeľnosti a jeho kategorizáciu v rámci počítačovej grafiky.
- Uveďte postup pri získaní horizontu v rámci algoritmu plávajúceho horizontu.
- Charakterizujte a popíšte maliarov algoritmus riešenia viditeľnosti.
- Charakterizujte a popíšte Freeman-Loutrelov algoritmus riešenia viditeľnosti.
- Charakterizujte a popíšte algoritmus pamäte hĺbky (Z-buffer).
- Charakterizujte metódu BSP stromov pri riešení viditeľnosti v rámci počítačovej grafiky, popíšte tvorbu a prechod BSP stromom.
- Charakterizujte metódu oktantových stromov pri riešení viditeľnosti v rámci počítačovej grafiky.
- Vymenujte a v krátkosti popíšte urýchľovacie techniky pre riešenie viditeľnosti v počítačovej grafike.
- Popíšte spôsob orezávania na zorný ihlan pri riešení viditeľnosti v rámci počítačovej grafiky.
- Porovnajte technológiu ohraničujúcich útvarov, sektorovania a potenciálu viditeľnosti pri urýchľovaní riešenia viditeľnosti v rámci počítačovej grafiky.

8 Vyplňovanie a textúrovanie

Pod pojem vyplňovanie oblasti v súčasnosti radíme nasledujúce činnosti:

- vyplnenie oblasti jedinou farbou
- vyšrafovanie oblasti
- vyplnenie farebným vzorom (textúrovanie).

Túto funkciu má v súčasnosti implementovanú takmer každý grafický systém. Funkcia je implementovateľná najmä na rastrových zariadeniach. Typickým triviálnym algoritmom na vyplnenie oblasti, je algoritmus, ktorý prechádza všetkými bodmi zobrazovacej plochy a v prípade, že bod je vo vnútri oblasti, potom daný bod sa vyplní vyplňovacou farbou. Inak sa prejde na ďalší bod. Ani nie je potrebné hovoriť, že daný algoritmus síce vedie k cieľu, ale je značne neefektívny.

Algoritmy pre vyplňovanie oblastí je možné rozdeliť napríklad podľa toho akým spôsobom je zadaná hranica vyplňanej oblasti:

- *hranica definovaná geometricky:* Najčastejším prípadom geometricky určenej hranice je mnohouholník. Mnohouholník je definovaný postupnosťou koncových bodov lomenej čiary (polygónu), tvoriacej hranicu mnohouholníka. Mnohouholník môže byť konvexný alebo nekonvexný. Ak hranica pretína sama seba, je potrebné určiť vnútro oblasti t.j. hranica oddeľuje nevyplnený priestor od vyplneného
- *hranica nakreslená na zobrazovači:* Všetky informácie o hranici zadanej oblasti sú získané z obrazovej pamäte. Vstupom pre algoritmy sú súradnice vnútorného bodu oblasti a farba výplne. Niektoré algoritmy vyžadujú aj farbu hranice danej oblasti. Začínajúc zo zadaného bodu oblasti sa zisťuje, či susedné body majú farbu hranice. Ak nie, sú vyfarbené farbou výplne. Vyplňovanie môže byť napr. 4-spojité, t. j. v štyroch smeroch (sever, juh, východ, západ).

Najčastejšie sa vyplňovanie realizuje vo forme tzv. textúrovania. Textúrovanie je proces nanášania obrazových vzoriek (textúr, tapiet) na povrch objektov za účelom získania vizuálneho dojmu, že objekt je z istého materiálu (napr. drevo, kameň, kov a pod.). Používajú sa typy textúr podľa topologického rozmeru: 1D, 2D, 3D. Typy textúr ešte môžeme rozdeliť podľa spôsobu nanášania na:

- Statické
- Dynamické
    - Procedurálne
    - Animačné

Pri tomto procese nanášania obrazového formátu na plochy trojrozmerného objektu sa najčastejšie používa ako vzor obrázok (textúra). Obrazový formát (obrázok, textúra) využíva dvojrozmernú súradnicovú sústavu *SST [u,v],* ktorej hodnoty súradníc *u,v* zodpovedajú jednotkovej miere obrazového formátu. Súradnica „*u*“ zodpovedá *x*-ovej osi obrázka (textúry), súradnica „*v*“ zodpovedá *y*-ovej osi textúry.

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TYPY VYPLŇOVANIA

- vyplnenie oblasti jedinou farbou
- vyšrafovanie oblasti
- vyplnenie farebným vzorom (textúrovanie).

Poznámky:

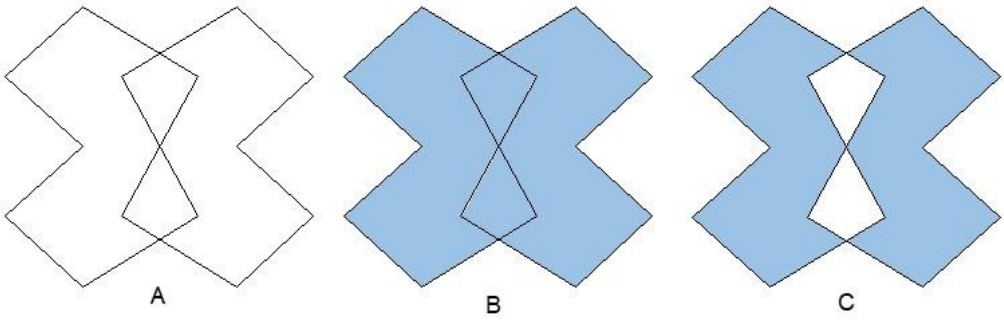
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ROZDELENIE ALGORITMOV VYPLŇOVANIA

podľa toho akým spôsobom je zadaná hranica vypĺňanej oblasti:

- hranica definovaná *geometricky*
- hranica *nakreslená na zobrazovači*



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

METÓDA RIADKOVÉHO ROZKLADU

SCANLINE

1. Postupuje sa od najvyššieho vrcholu oblasti k najnižšiemu, smerom zľava doprava v každom riadku.
2. Pre jednotlivé rozkladové riadky rovnobežné s osou *X* a s konštantnou súradnicou *Y*, klesajúcou s krokom *-1*, sa nájdu priesečníky s hranicami vypĺňanej oblasti.
3. Vo výslednom zozname sú usporiadané priesečníky zľava doprava a vyfarbené úseky medzi nepárnymi a párnymi priesečníkmi. Preto je nutné aby počet priesečníkov bolo párne číslo.

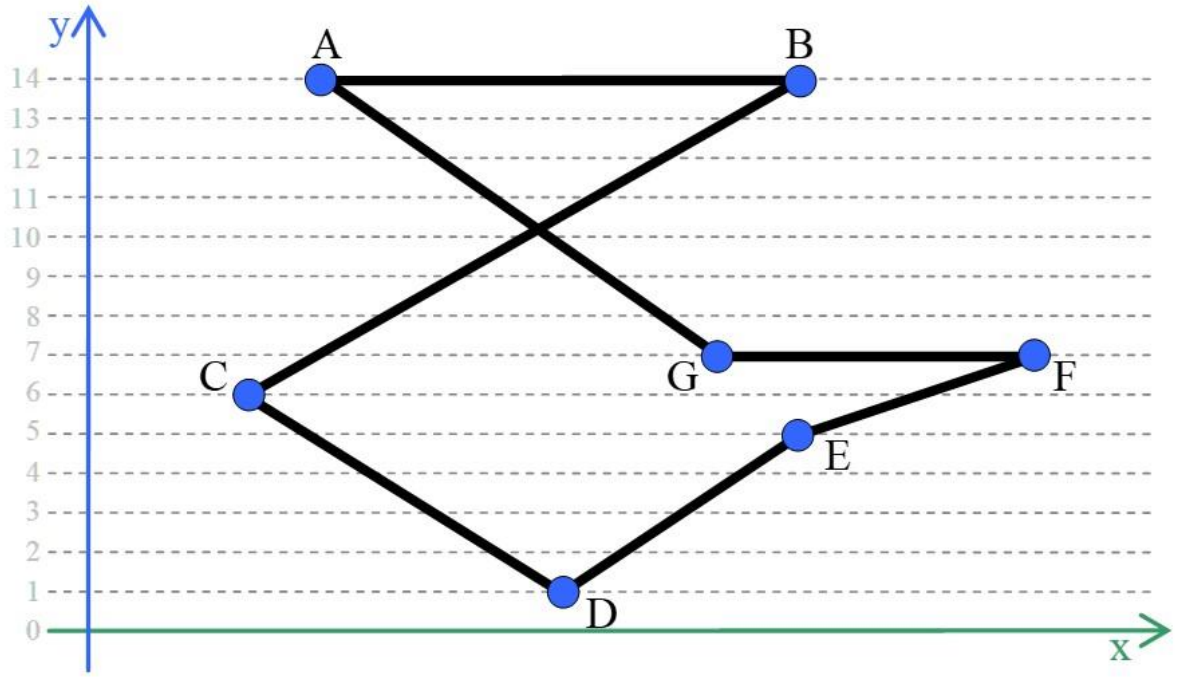
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

METÓDA RIADKOVÉHO ROZKLADU

SCANLINE



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/5

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

NÁJDENIE PRIESEČNÍKOV PRI METÓDE RIADKOVÉHO ROZKLADU

$$x = a_x + \frac{c_y - a_y}{b_y - a_y} \cdot (b_x - a_x)$$

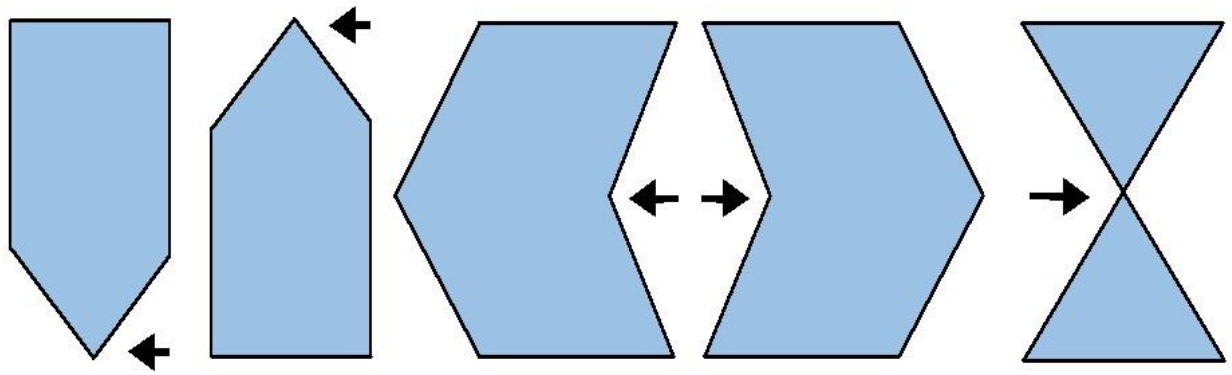
$$y = c_2$$

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

EXTRÉMY PRI METÓDE RIADKOVÉHO ROZKLADU



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

INVERZNÉ VYPLŇOVANIE

Využíva metódu XOR (0⊻0=1⊻1=0, 0⊻1=1⊻0=1)

Dva typy:

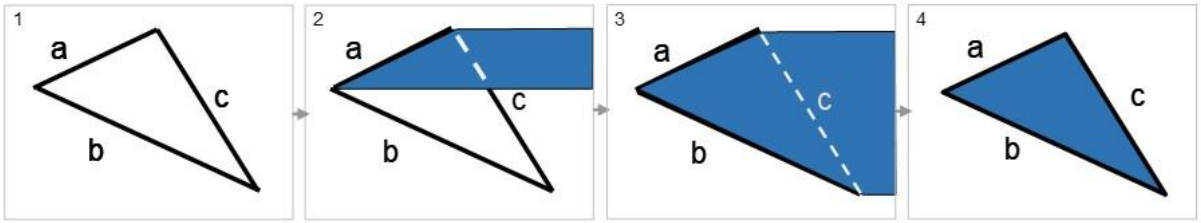
- vodorovné (riadkové) vyplňovanie
- zvislé (plotové) vyplňovanie

Poznámky:

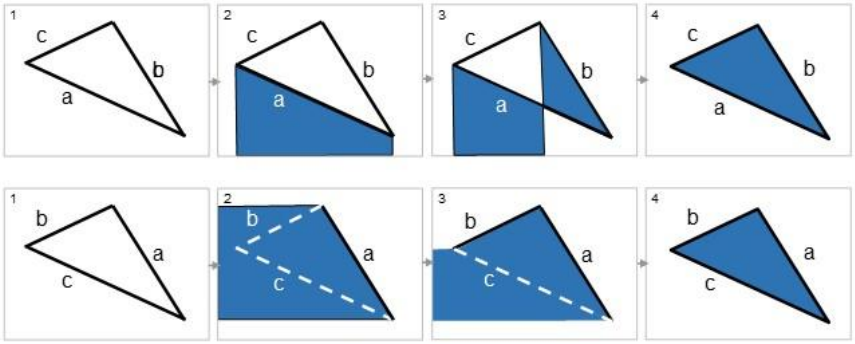
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

INVERZNÉ VYPLŇOVANIE



alternatívy:



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vyplňovanie a textúrovanie 8/9

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VYPLŇOVANIE SPEKTROM (2 SPÔSOBY)

Prvý spôsob:

výplne spektrom využíva metódu riadkového rozkladu popísanú skôr.

- Na začiatku sa musí otočiť mnohouholník tak, aby smer vykresľovania priamok bol rovnobežný s osou x, t.j. o uhol β a metódou riadkového rozkladu sa nájdu priesečníky.
- Pri vykresľovaní úsekov medzi priesečníkmi sa musia úseky spätne otočiť o uhol β.
- Rozdiel oproti riadkovej výplni je v tom, že oblasť nie je vypĺňaná jednou farbou, ale farba postupne plynule prechádza z prvej farby do druhej.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/10

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VYPLŇOVANIE SPEKTROM (2 SPÔSOBY)

Druhý spôsob:

využíva možnosť nastavenia orezávacej oblasti, ktorú poskytuje napr. grafické rozhranie MS Windows.

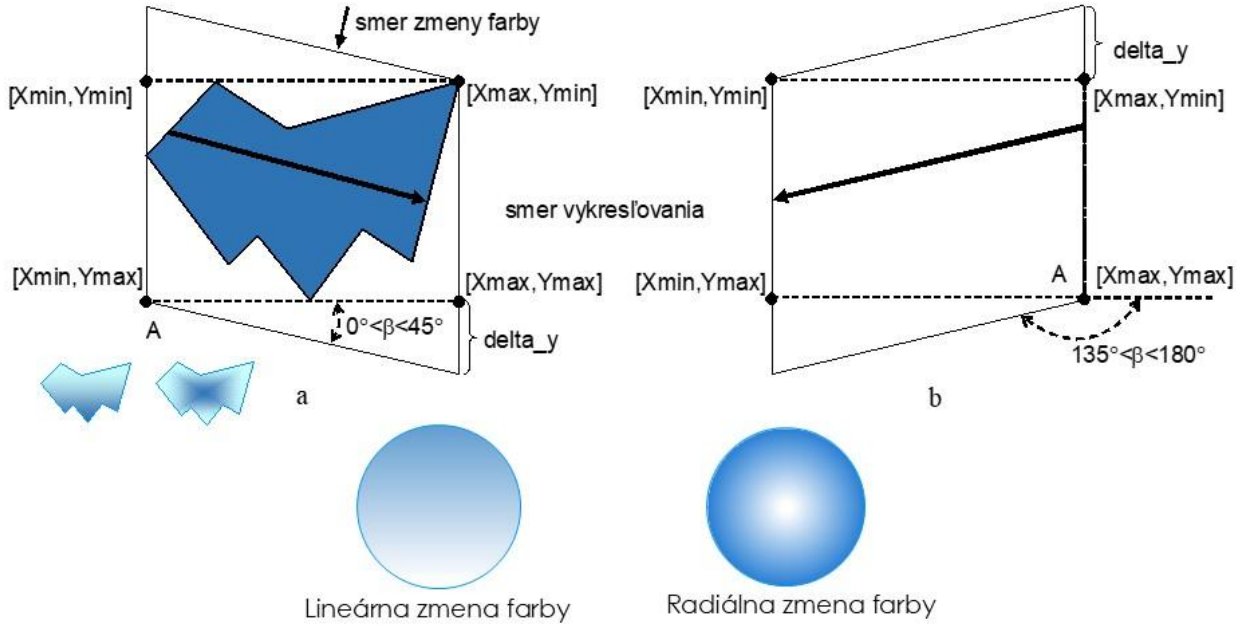
- Na začiatku sa nastaví orezávacia oblasť na celú oblasť mnohouholníka a vypočítajú sa súradnice *Xmin*, *Xmax*, *Ymin*, *Ymax*.
- Podľa veľkosti uhla β je vyplnený príslušný rovnobežník a orezávacia oblasť zabezpečí vyplnenie len v oblasti mnohouholníka.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VYPLŇOVANIE SPEKTROM



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vyplňovanie a textúrovanie 8/12

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VYPLŇOVANIE SPEKTROM

Plynulý prechod farieb:

- Zistenie rozdielu jednotlivých zložiek (napr. RGB) prvej a druhej farby.
- Vypočítanie počtu úsečiek v rovnobežníku.
- Vypočítanie prírastkov jednotlivých zložiek ako pomer rozdielu zložiek prvej a druhej farby a počtu úsečiek, napr. pre zložku R
- alebo prechod napr. v RGB modeli

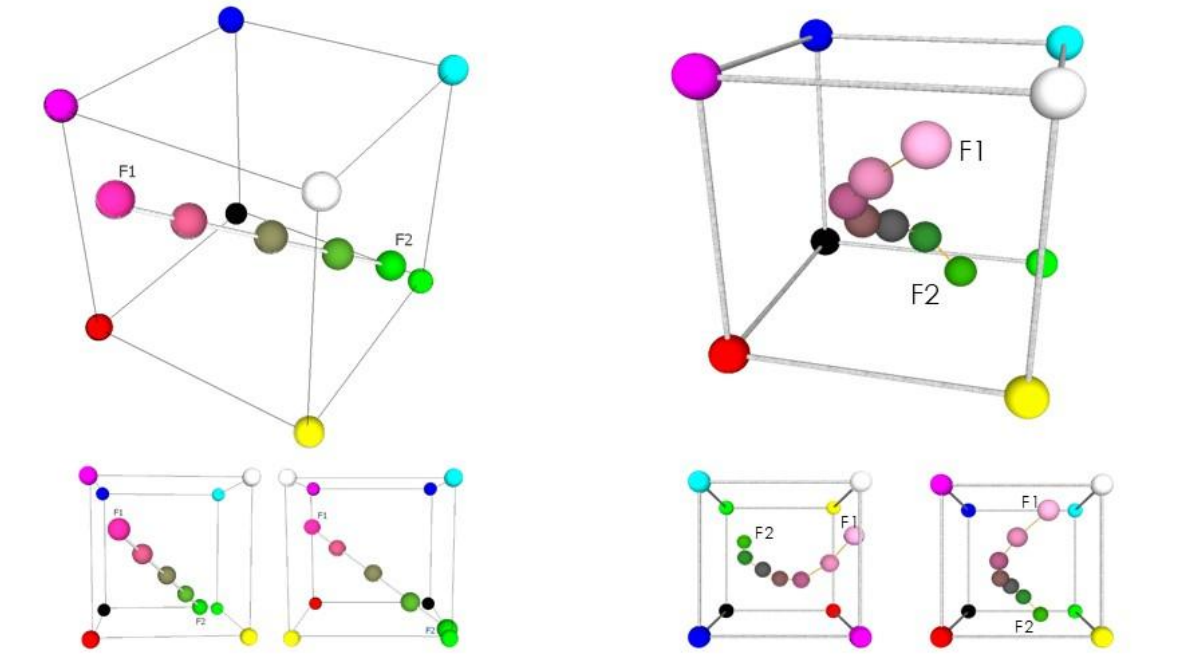
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VYPLŇOVANIE SPEKTROM (PRECHOD V RGB MODELI)

Ekvivalent alfa miešania (lineárne aj nelineárne, RGB priestor)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vyplňovanie a textúrovanie 8/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SEMIENKOVÉ VYPLŇOVANIE

```
SeedFill(x,y)
{
SetPixel(sx, sy, BLUE);
if(((GetPixel(sx-1,sy)) != HR_FARBA) &&
((GetPixel(sx-1,sy)) != BLUE)) SeedFill(sx-1,sy);
if(((GetPixel(sx+1,sy)) != HR_FARBA) &&
((GetPixel(sx+1,sy)) != BLUE)) SeedFill(sx+1,sy);
if(((GetPixel(sx,sy-1)) != HR_FARBA) &&
((GetPixel(sx,sy-1)) != BLUE)) SeedFill(sx,sy-1);
if(((GetPixel(sx,sy+1)) != HR_FARBA) &&
((GetPixel(sx,sy+1)) != BLUE)) SeedFill(sx,sy+1);
}
```

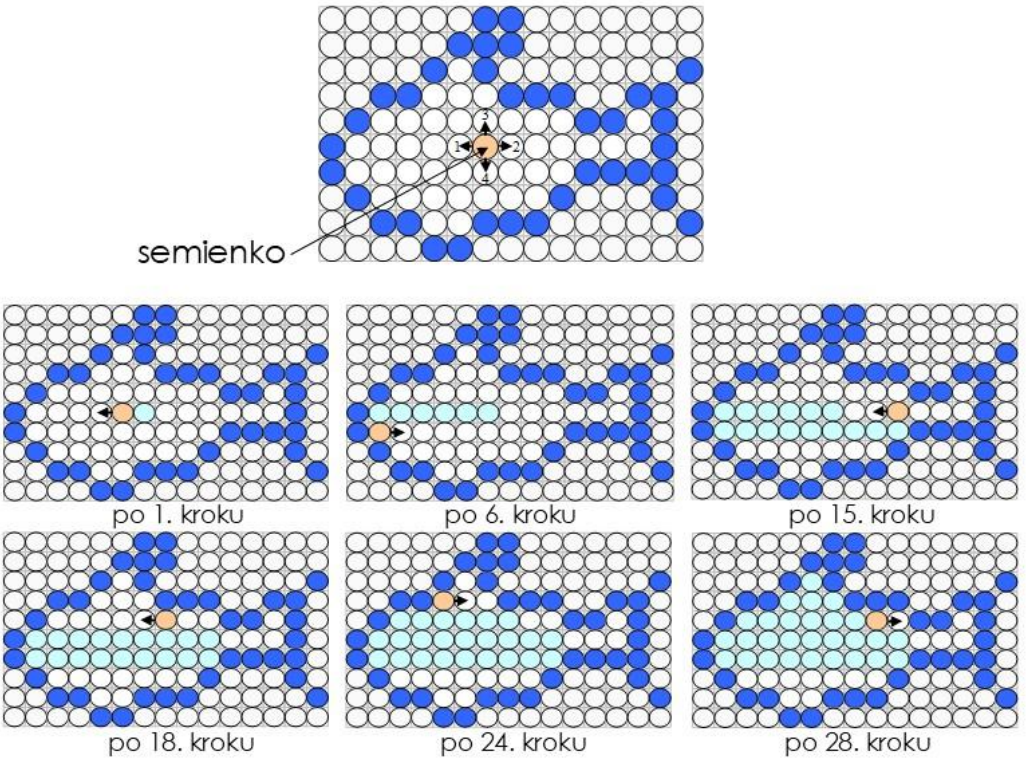
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vyplňovanie a textúrovanie 8/15

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SEMIENKOVÉ VYPLŇOVANIE



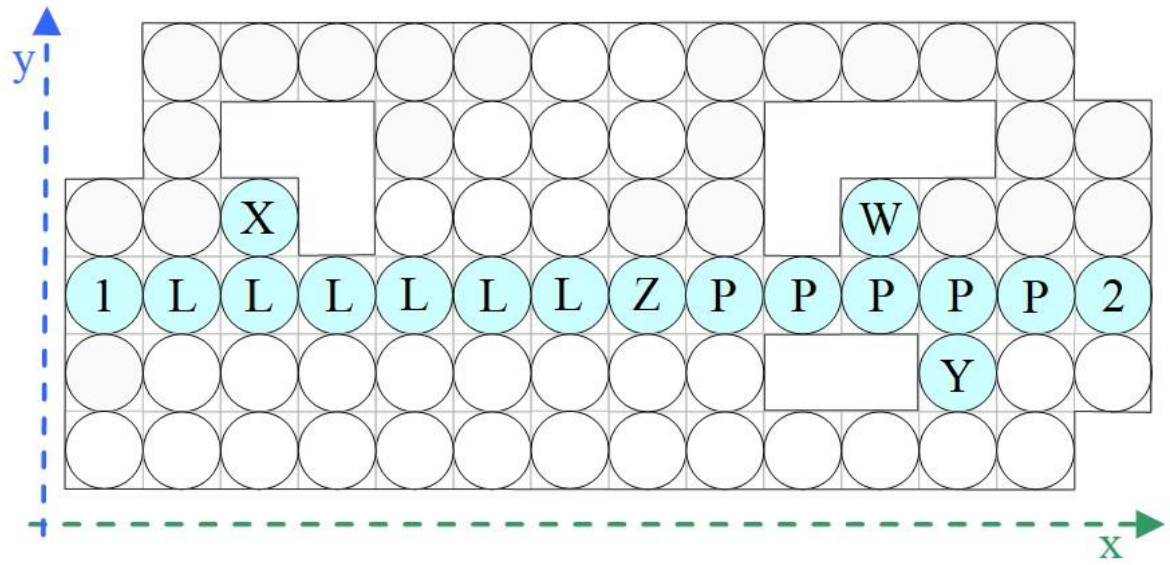
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

NEREKURZÍVNE SEMIENKOVÉ VYPLŇOVANIE



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TEXTÚROVANIE

Proces (Textúrovacia transformácia, TT) nanášania obrazových vzoriek (textúr, tapiet) na povrch objektov za účelom získania vizuálneho dojmu, že objekt je z istého materiálu (napr. drevo, kameň, kov a pod.).

- Typy textúr podľa topologického rozmeru:
  - 1D, **2D**, 3D
- Typy textúr podľa spôsobu nanášania:
  - Statické
  - Dynamické
    - Procedurálne
    - Animačné

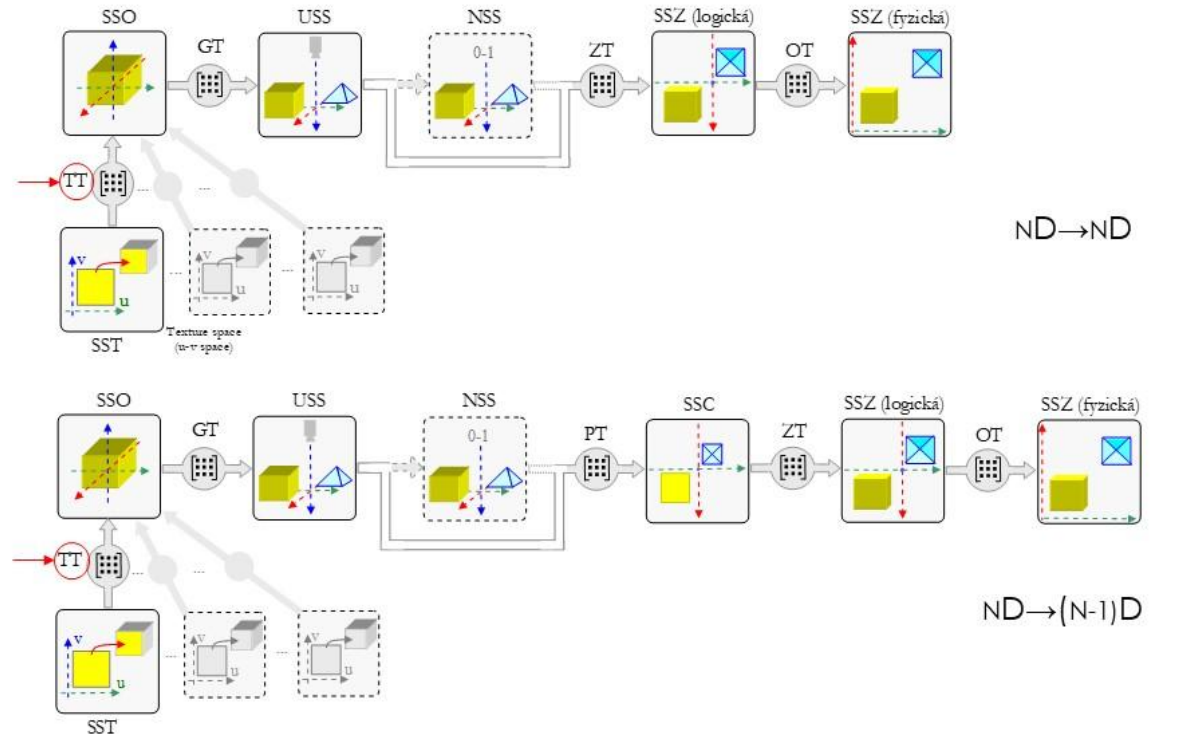
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/18

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TEXTÚROVANIE A TRANSFORMAČNÉ REŤAZCE



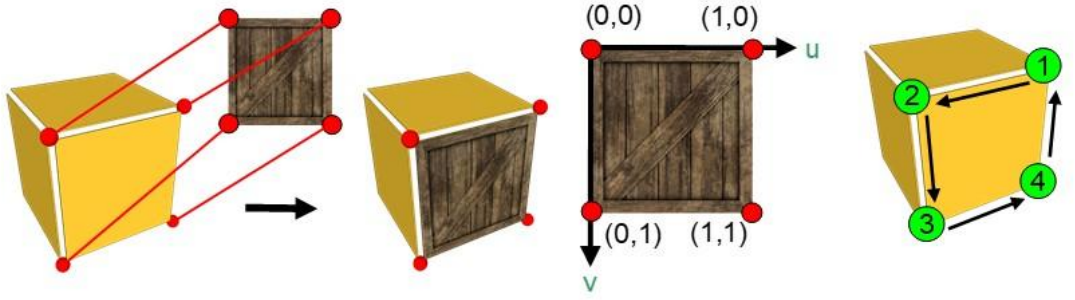
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TEXTÚROVANIE (BILINEÁRNE, UV)

- Pri tomto procese nanášania obrazového formátu na plochy trojrozmerného objektu sa najčastejšie používa ako vzor obrázok (textúra).
- Obrazový formát (obrázok, textúra) využíva dvojrozmernú súradnicovú sústavu *SST [u,v]*, ktorej hodnoty súradníc u,v zodpovedajú jednotkovej miere obrazového formátu.
- Súradnica „*u*“ zodpovedá x-ovej osi obrázka (textúry),
- súradnica „*v*“ zodpovedá y-ovej osi textúry.
- Jedna jednotka = dĺžka/šírka obrázku textúry. (*u*/*v*)



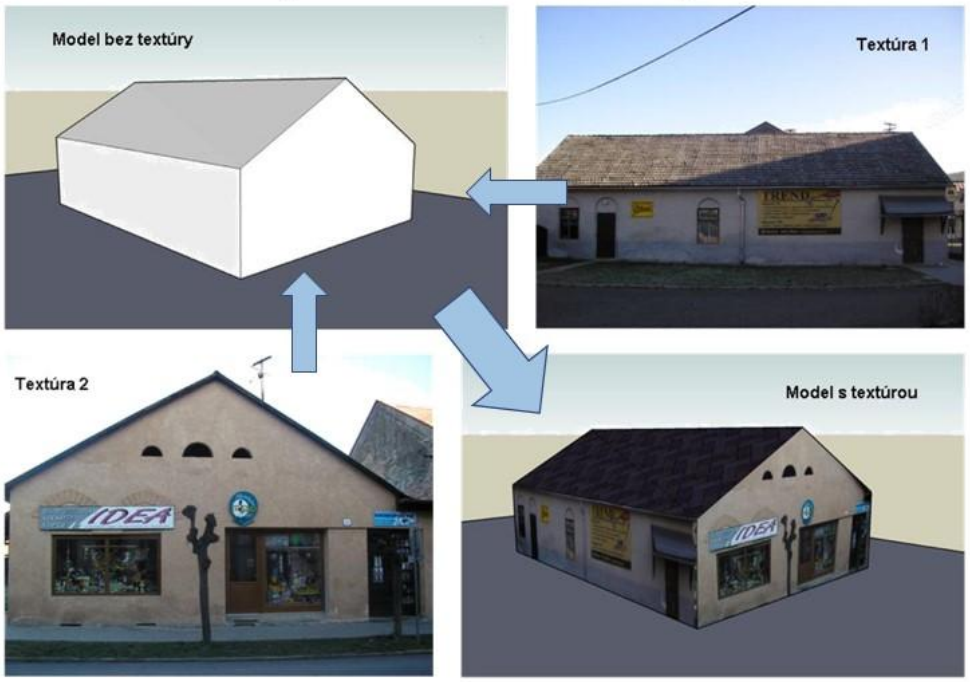
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/20

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TEXTÚROVANIE (BILINEÁRNE, UV)



postup pri textúrovaní

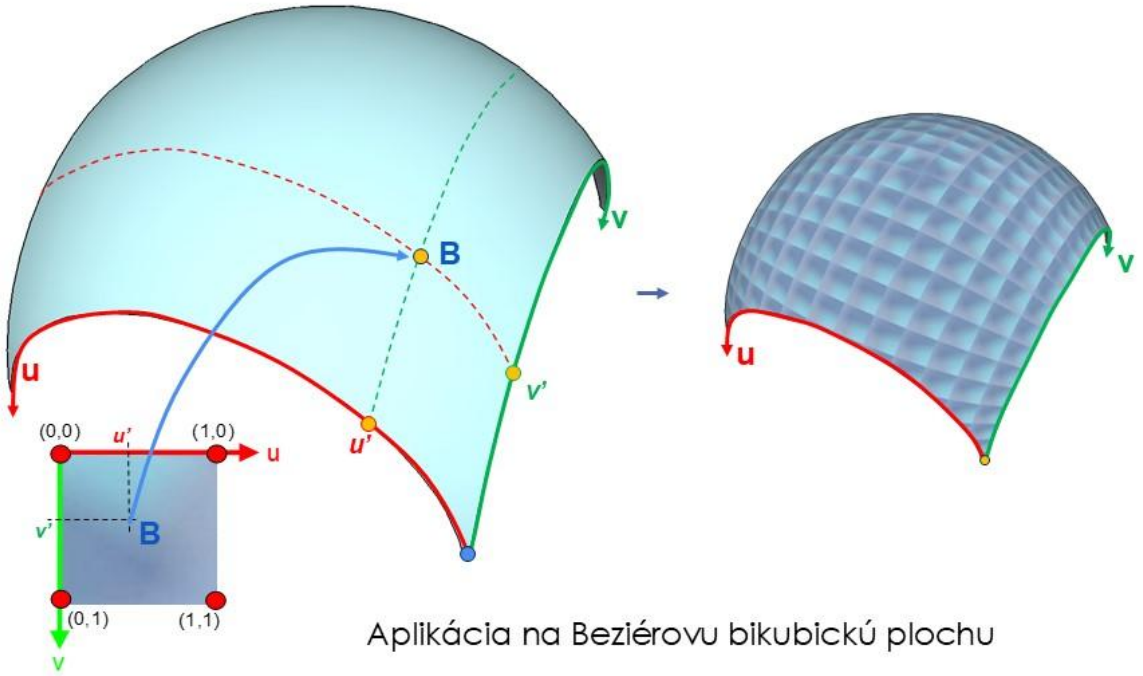
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/21

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TEXTÚROVANIE (BILINEÁRNE, uv)



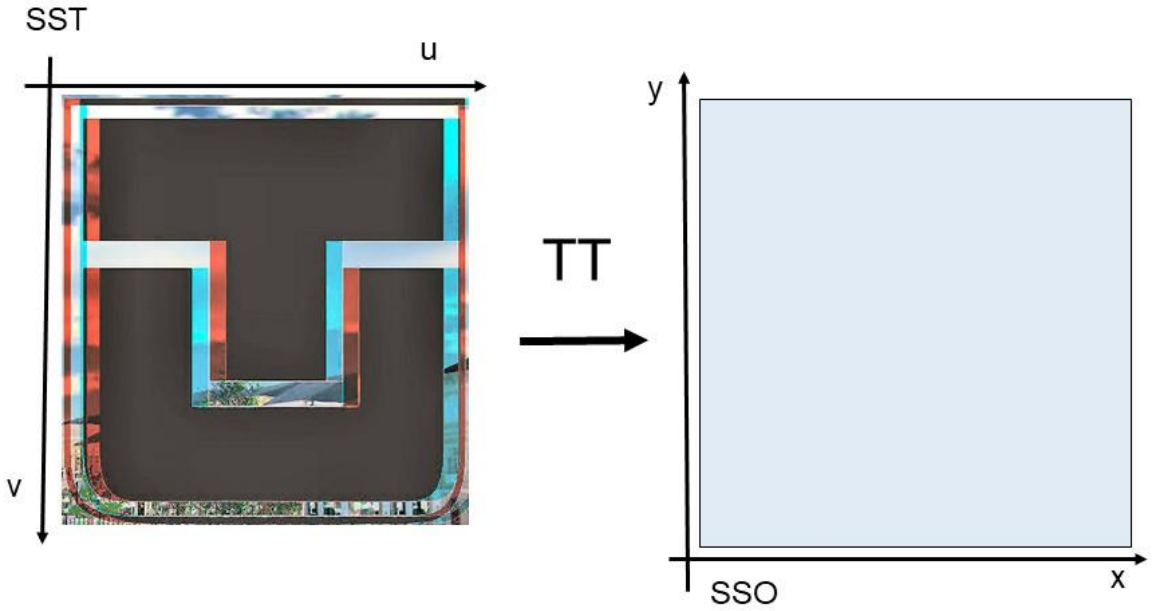
KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/22

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

APLIKÁCIA (MAPOVANIE) TEXTÚRY

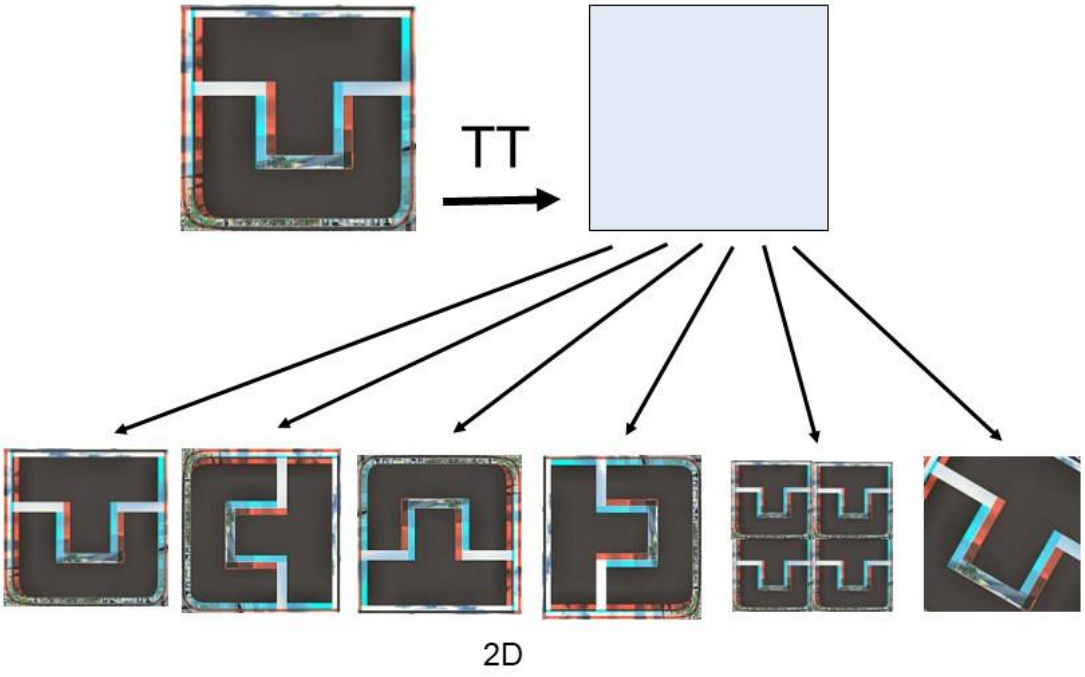


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

APLIKÁCIA (MAPOVANIE) TEXTÚRY

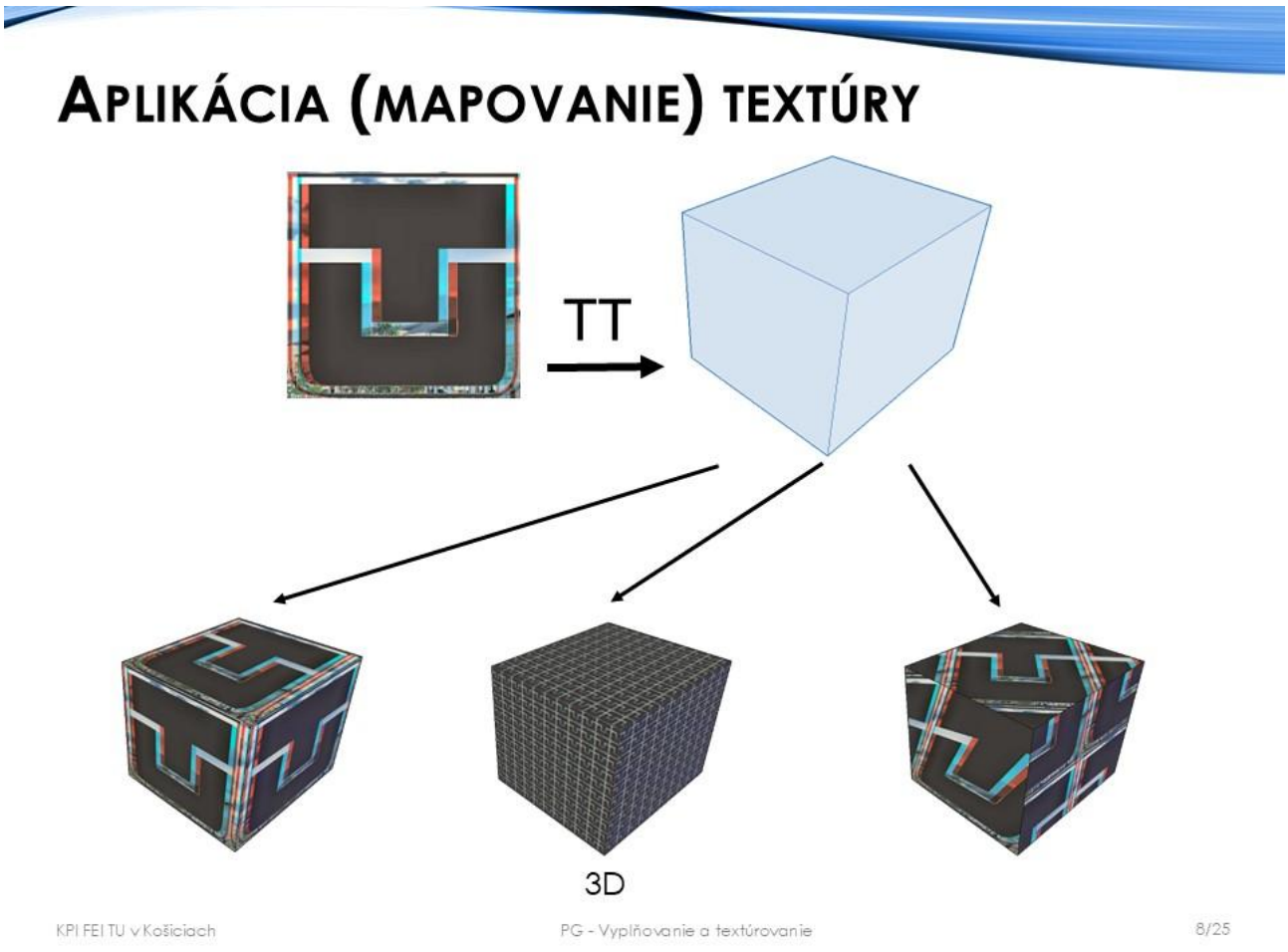


KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/24

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

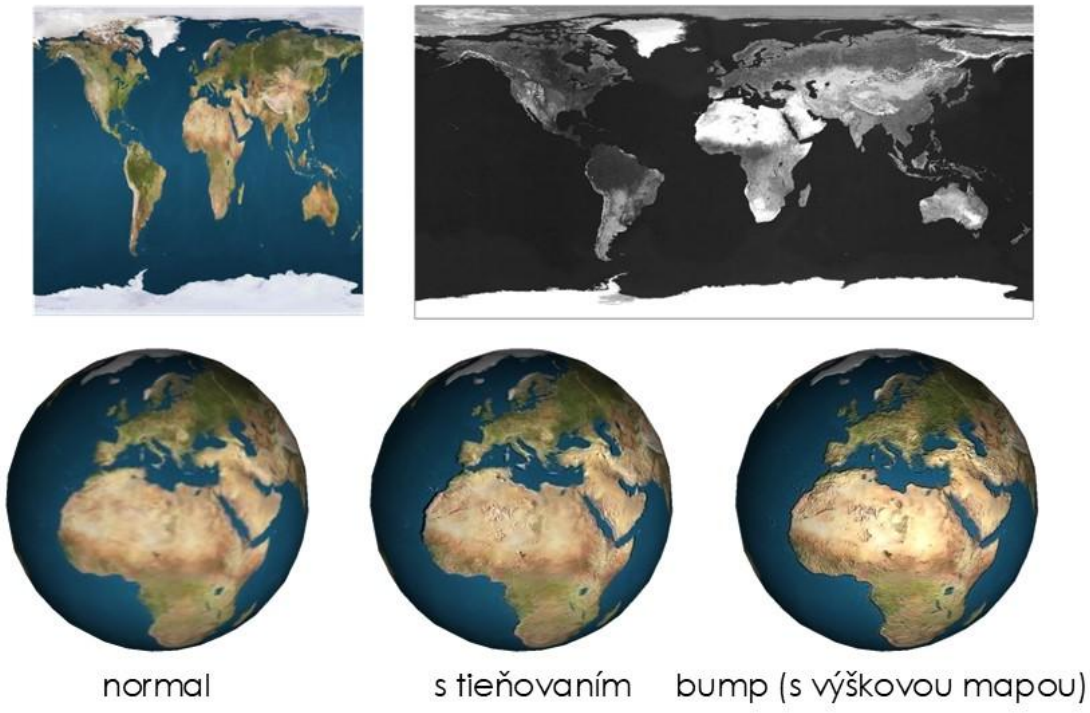


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BUMP APLIKÁCIA (MAPOVANIE) TEXTÚRY



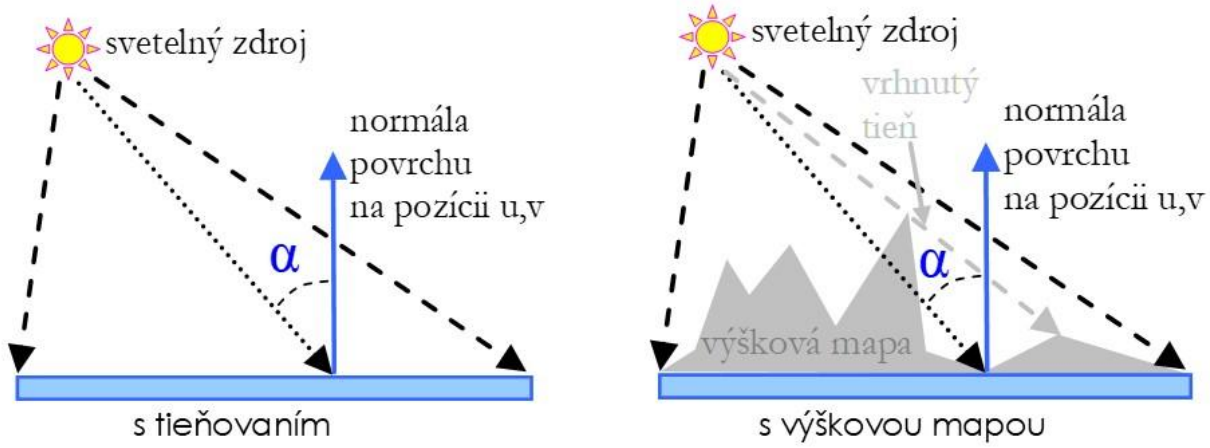
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

IMPLEMENTÁCIA TIEŇOVANIA A OSVETĽOVANIA TEXTÚRY

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}\right)$$



upravuje sa farba resp. jas alebo saturácia bodov textúry,
čím vzniká dojem tieňovania alebo hrboľatosti povrchu

KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/27

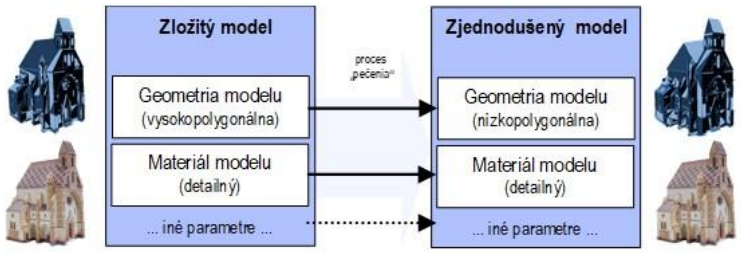
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

„PEČENIE“ TEXTÚRY (TEXTURE BAKING)

- „Pečenie“ textúry je proces prenosu údajov o textúre (materiále) zo zložitejšieho (detailnejšieho, presnejšieho) 3D modelu na iný jednoduchší (menej presný, decimovaný) 3D modelu.
- Prenášané parametre/údaje pri tomto procese môžu byť napríklad: textúra, farba, osvetlenie, tiene, odrazy a podobne
- Vo všeobecnosti sa tento proces používa najmä pri snahe vziať model definovaný vysokým počtom polygónov (highpoly) a previesť ho na zjednodušený model s nízkym počtom polygónov (lowpoly). Najčastejšie dôvody použitia:
  - nízkopolygonálny model má menej údajov, a preto má menšiu veľkosť súboru ako vysokopolygonálny model.
  - mnohé aplikácie najmä herné, webové prehliadače a napr. virtuálno-realitné systémy často zápasia so spracovaním vysokopolygonálnych modelov, najmä ak je potrebné ich spracovávať v reálnom čase.



KPI FEI TU v Košiciach PG - Vypĺňovanie a textúrovanie 8/28

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte vyplňovanie oblastí používané v počítačovej grafike.
- Charakterizujte a popíšte algoritmus riadkového rozkladu pri vyplňovaní oblastí.
- Charakterizujte a popíšte vyplňovanie spektrom.
- Charakterizujte a popíšte inverzné a plotové vyplňovanie.
- Charakterizujte a popíšte rekurzívne aj nerekurzívne semienkové vyplňovanie.
- Charakterizujte textúrovanie a jeho vzťah k zobrazovacím reťazcom.
- Charakterizujte bilineárne textúrovanie a bump-map textúrovací procees a použitie tieňovania, osvetľovania a „pečenia“ textúry.

9 Tieňovanie a osvetľovanie

Pri práci v trojrozmernom priestore a s trojrozmernými objektami je pre reálnosť vnemu vhodné odlíšiť aj určité zaoblenia resp. krivosti plôch. Tieňovanie samotné nerieši viditeľnosť a je to v podstate vykreslovanie farebných objektov rôznymi odtieňmi farieb. Medzi najznámejšie algoritmy tieňovania patria:

- konštantné,
- Gourardovo a
- Phongovo tieňovanie.

Popri týchto technikách sa častokrát používajú aj rozptylovacie techniky. Pomocou týchto techník dokážeme pomocou niekoľkých farieb vytvoriť dojem bohatej farebnej škály. Ako už bolo spomenuté, tieňovanie nerieši viditeľnosť, ale napomáha dostať očakávaný priestorový vnem. Pre realistický vnem sa zavádzajú tzv. osvetľovacie modely, ktoré popisujú svetlo resp. jeho zložky v každom bode viditeľného povrchu telies. Asi najnáročnejší je proces výpočtu odrazu svetla. Z tohto dôvou boli hľadané postupy ako určovať odraz svetla rýchlejšie, napr. pre celé plôšky (segmenty) riešených objektov.

Niektoré grafické metódy využívajú pre vykresľovanie určité fyzikálne javy, aby obraz nadobudol fotorealistický vzhľad. Tieto metódy niekedy nazývame aj globálne osvetľovacie metódy/techniky. V oblasti fotorealistického zobrazovania sa behom uplynulých rokov viedol intenzívny výskum, z dôvodu kvalitného obrazového výstupu. Keďže váha grafickej informácie čoraz viacej prechádza do popredia, nutnosťou je jej čo najlepšie reprezentovanie. Tieto požiadavky sa dajú naplniť pomocou použitia metód fotorealistického zobrazovania. Avšak je vhodné zabezpečiť, aby sa kvalitný obraz dosahoval v krátkom čase. Najznámejšou metódou je metóda raytracing (spätné sledovanie lúča). Avšak použitie tejto metódy ukázalo časovú náročnosť na vykresľovanie vstupnej scény. Preto sa hľadali možnosti, ako tieto výpočty skrátiť, a teda aj čas potrebný na celkové vykreslenie scény. Avšak časové hodnoty vykresľovania boli stále na vysokých hodnotách. Preto sa uplatňovali rôzne metódy, ktoré zlepšovali tento čas. Najviac sa dosahovalo zlepšenie so zlepšovaním grafických procesorov a paralelizáciou.

VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

1. Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
2. Transformácie nad objektami
3. Riešenie viditeľnosti
4. Tieňovanie
5. Osvetľovanie
6. Realistické zobrazovanie
7. Kompozícia a Vykresľovanie

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TIEŇOVANIE

Proces vplyvu svetelného zdroja na objekt (najčastejšie na jeho povrch).

Typy tieňovaní:

- Konštantné (flat)
- Gourardovo (interpolácia farby)
- Phongovo (interpolácia normály)

Podporné technológie:

- Poltónovanie (halftoning)
- Rozptyľovanie (dithering)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TIEŇOVANIE

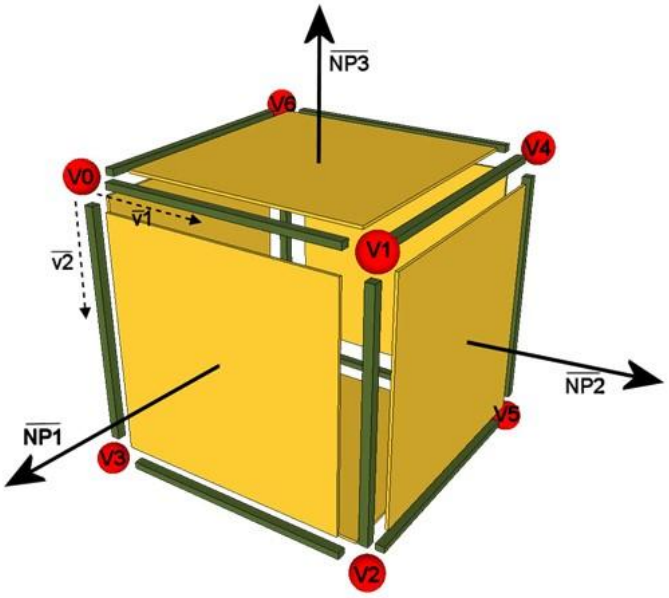
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/3

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KONŠTANTNÉ TIEŇOVANIE (FLAT)



$$\overline{NP1} = \overline{v1} \otimes \overline{v2}$$

podmienka: rovnaká orientácia všetkých stien v scéne

určenie normál pri konštantnom tieňovaní

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/4

Poznámky:

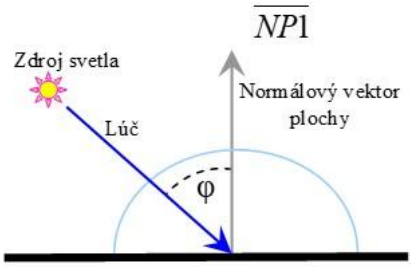
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KONŠTANTNÉ TIEŇOVANIE (FLAT)

Intenzita tieňa je závislá od uhla φ medzi vektorom dopadu lúča zo svetelného zdroja a normálou steny.

$$\varphi = \arccos\left(\frac{a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}}\right)$$



KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/5

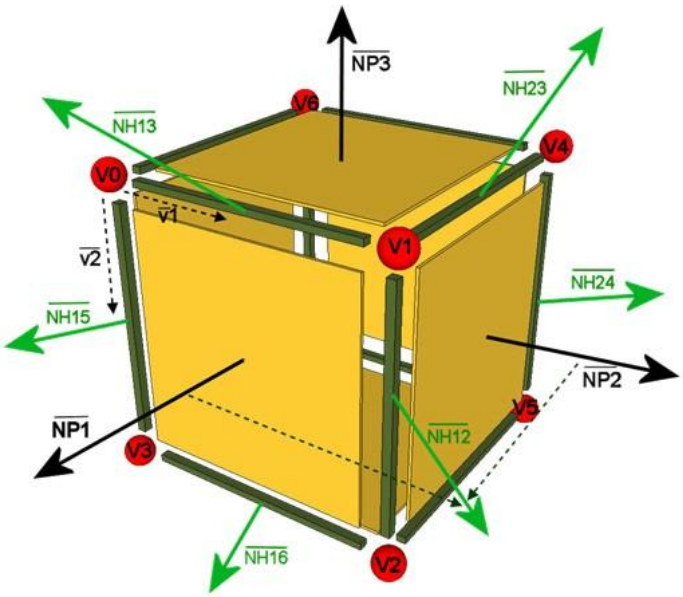
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GOURARDOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA FARBY)

Henri Gourard
(1971)



$$\overline{NH12} = \overline{NP1} \oplus \overline{NP2}$$

určenie normál pri Gourardovom tieňovaní

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/6

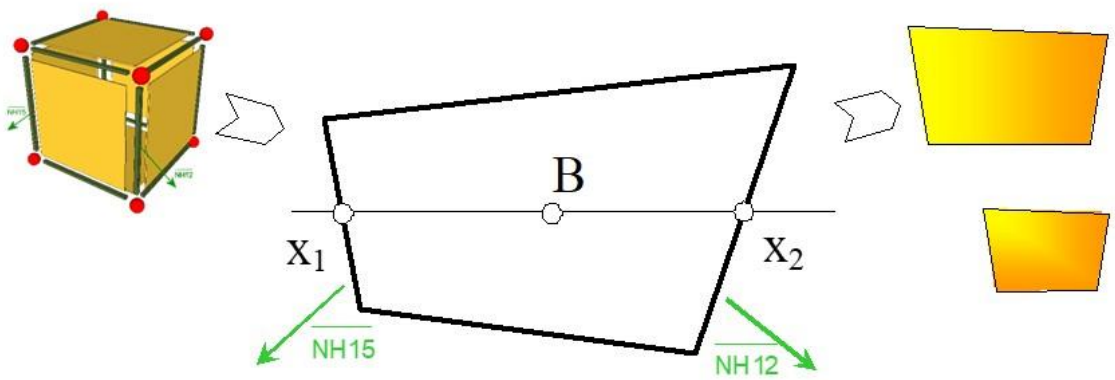
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GOURARDOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA FARBY)

$$I_B = I_{X1} \cdot \frac{X_2 - X_B}{X_1 - X_2} + I_{X2} \cdot \frac{X_B - X_1}{X_2 - X_1}$$



určenie farby interpoáciou pri Gourardovom tieňovaní

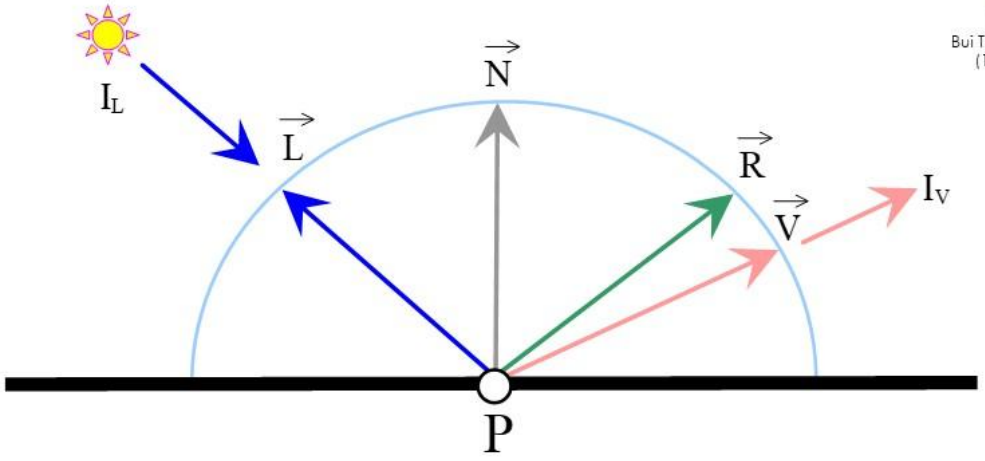
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PHONGOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA NORMÁLY)

Bui Tuong Phong,
(1942-1975)



Empirický osvetľovací model (Phong, 1975)

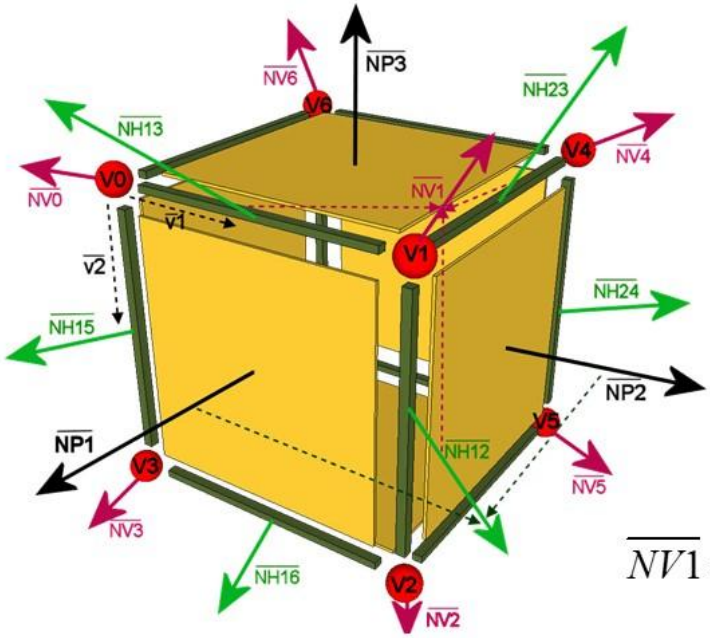
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/8

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PHONGOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA NORMÁLY)



$$\overline{NV1} = \overline{NH13} \oplus \overline{NH12} \oplus \overline{NH23}$$

určenie normál pri Phongovom tieňovaní

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

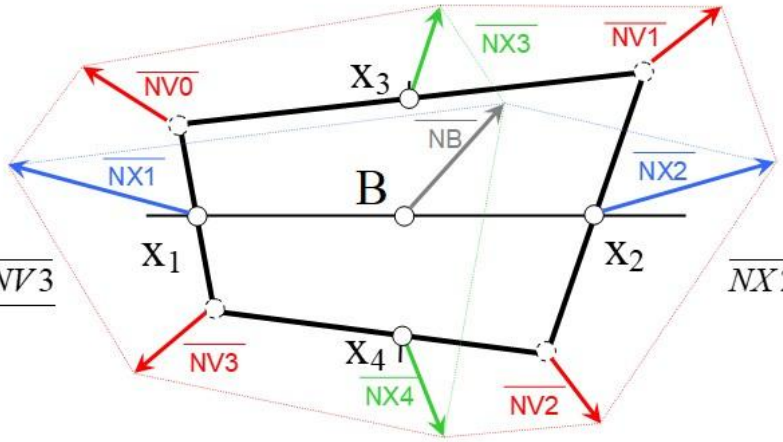
Zaujímavé URL:

PHONGOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA NORMÁLY)

URČENIE NORMÁL

$$\overline{NB} = \frac{\overline{NX1} \oplus \overline{NX2}}{2}$$

ekvivalentne pre NX3 a NX4



$$\overline{NX1} = \frac{\overline{NV0} \oplus \overline{NV3}}{2}$$

$$\overline{NX2} = \frac{\overline{NV1} \oplus \overline{NV2}}{2}$$

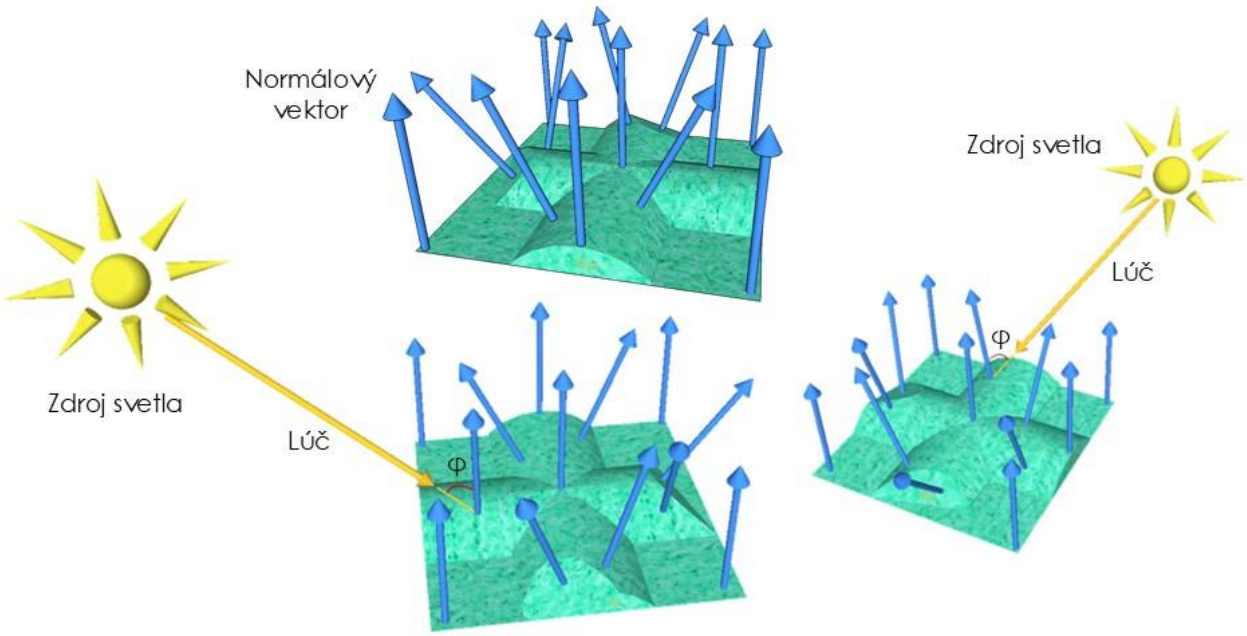
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/10

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PHONGOVO TIEŇOVANIE (INTERPOLÁCIA NORMÁLY)
URČENIE NORMÁL PO INTERPOLÁCII (PRÍKLAD)



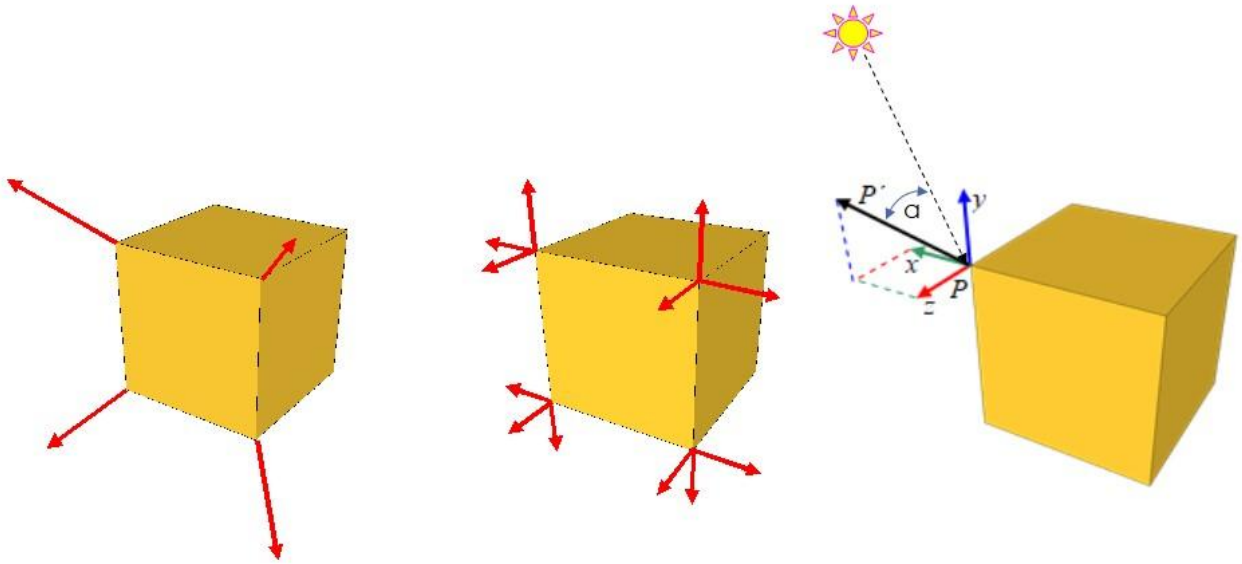
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/11

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VRCHOLOVÉ TIEŇOVANIE



KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/12

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE

Proces vplyvu svetelného zdroja/zdrojov, materiálu a iných objektov na svoje okolie resp. na iné objekty – vrhanie tieňov

Typy osvetľovaní:

- statické
- dynamické

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/13

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE A OSVETĽOVACÍ MODEL

Osvetľovací model je model, ktorým môžeme sledovať vlastnosti povrchu ako je *farba*, *lesklosť*, *matnosť*, *drsnosť* a podobne.

Základom osvetľovacieho modelu je *odrazová funkcia* (reflection function). Je to matematická funkcia vyjadrujúca intenzitu svetelného lúča rozptýleného svetla v závislosti na jeho smere a smere intenzity a vlnovej dĺžky dopadajúceho lúča. Čím lepšie popisuje odrazová funkcia chovanie skutočného svetla, tým lepší a presvedčivejší je dojem z generovanej počítačovej reprezentácie priestorového objektu.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE

Typy svetelných zdrojov podľa farby:
- Monochromatické
- Achromatické

Typy svetelných zdrojov podľa spôsobu vyžarovania:
- Bodové
- Reflektorové (spot)
- Plošné

Typy svetelných zdrojov podľa kinematiky:
- Statické
- Dynamické

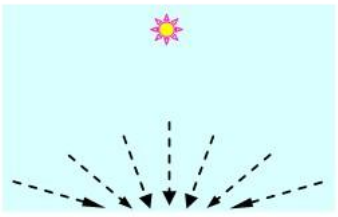
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/15

Poznámky:

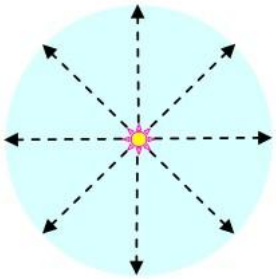
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

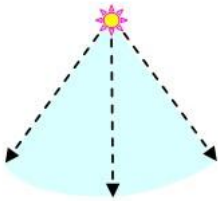
OSVETĽOVANIE – SVETELNÉ ZDROJE (ZÁKLADNÉ)



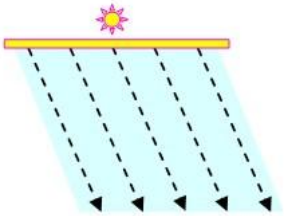
Okolité (ambientné) svetlo
(ambient light)



Bodové svetlo
(point light)



Reflektorové svetlo
(spot light)



Smerové svetlo
(directional light)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/16

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA (PHONGOV MODEL)

Ambientná zložka *(ambient light)* sa využíva hlavne pri empirických vyjadrených odrazových rovníc, táto zložka predstavuje odraz bližšie nešpecifikovaného, zo všetkých smerov prichádzajúceho okolitého svetla. Okolité rozptýlené svetlo vzniklo mnohonásobnými odrazmi od ostatných telies a rozptylom spôsobených molekulami vzduchu. Je preto väčšinou biele (achromatické).

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA (PHONGOV MODEL)

Difúzna zložka (*diffuse*) – jej charakteristika nezáleží na smere pohľadu. Po viacnásobnom odraze a lome bude smer svetelného lúča náhodný s rovnakou pravdepodobnosťou všetkých smerov. Veľkosť zložky bude závisieť iba na uhle dopadu (bude úmerná jeho kosínusu). Difúzne odrazené svetlo prinesie informácie o tom, čo nazývame farba povrchu.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA (PHONGOV MODEL)

Zrkadlová zložka (*specular*) – jej charakteristika záleží na smere pohľadu. Po viacnásobnom odraze a lome môže byť svetelný lúč utlmený. Pri odraze sa poväčšinou riadi štatistickým rozdelením. Veľkosť zložky bude závisieť na uhle dopadu a optických (zrkadlových) vlastnostiach povrchu.

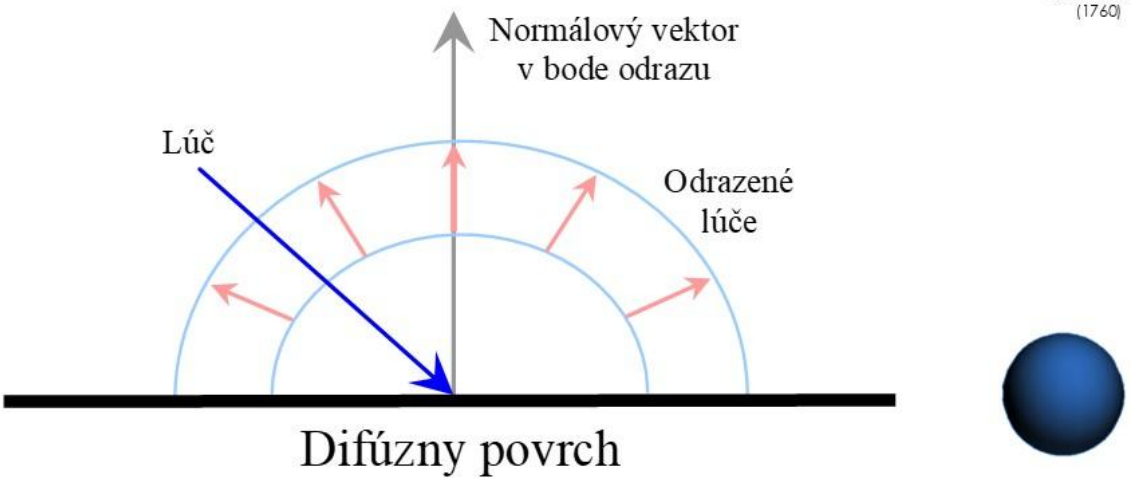
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA (LAMBERTOV MODEL)

J.H. Lambert
(1760)



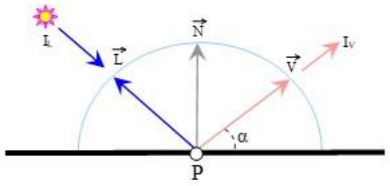
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – LAMBERTOV OSVETĽOVACÍ MODEL

- Difúzna zložka $I_d = L_L\, r_d \left(\vec{L}.\vec{N}\right)$



- Ambientná zložka $I_a = I_A.r_a$

- Výsledok: $I_V = I_d + I_a$

$$I_V = I_A r_a + \sum_{k=1}^{M} I_{L_k}\left[r_d \left(\vec{L_k}.\vec{N}\right)\right]$$

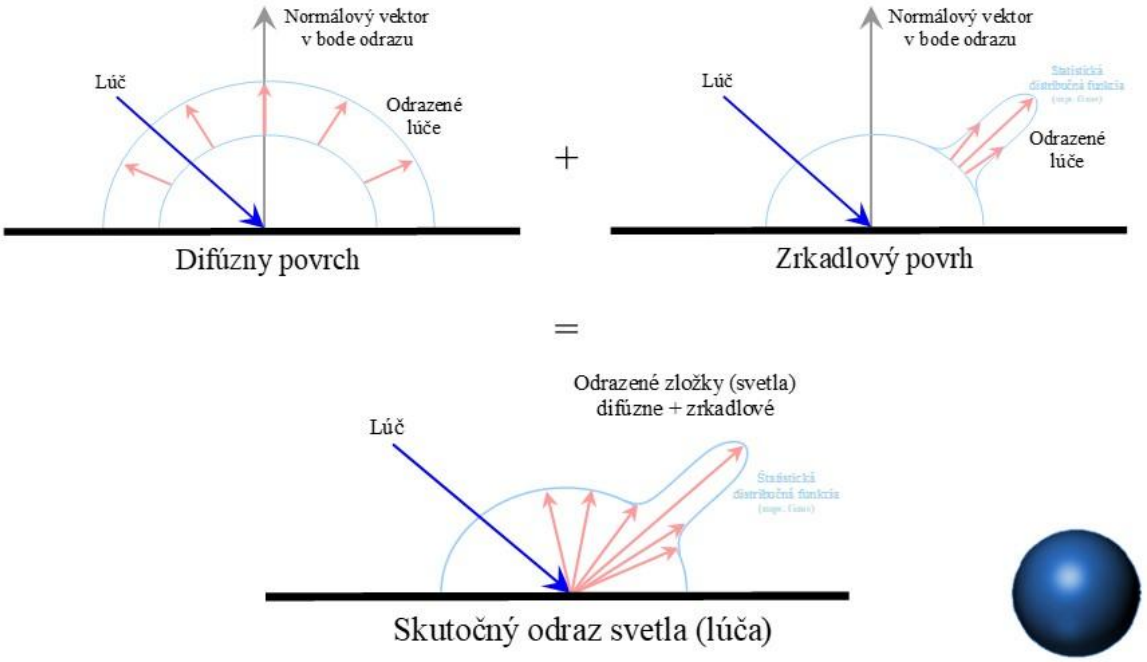
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/21

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA (PHONGOV MODEL)



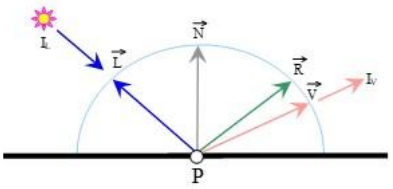
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – PHONGOV OSVETĽOVACÍ MODEL

- Difúzna zložka $I_d = L_L\, r_d \left(\vec{L}.\vec{N}\right)$
- Zrkadlová zložka $I_s = I_L\, r_s \left(\vec{V}.\vec{R}\right)^h$



- Ambientná zložka $I_a = I_A.r_a$
- Výsledok: $I_V = I_s + I_d + I_a$

$$I_V = I_A r_a + \sum_{k=1}^{M} I_{L_k} \left[r_s \left(\vec{V}.\vec{R_k}\right)^h + r_d \left(\vec{L_k}.\vec{N}\right) \right]$$

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/23

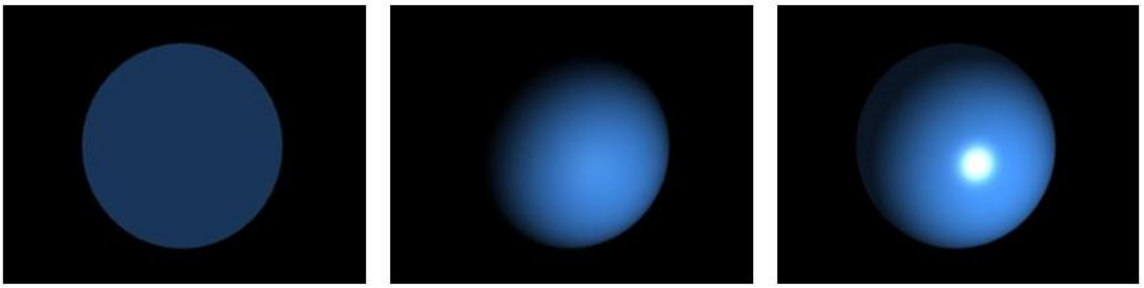
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE – ZLOŽKY SVETLA

POROVNANIE APLIKÁCIÍ ZLOŽIEK SVETLA



Ambientná zložka

Ambientna zložka + Difúzna zložka

Ambientná zložka + Difúzna zložka + Zrkadlové zložka

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/24

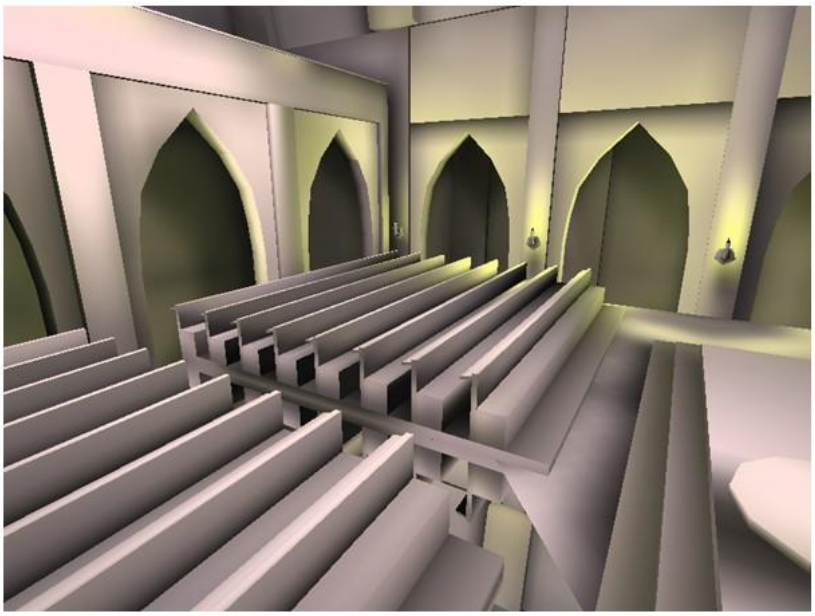
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVACIE MAPY (LIGHTMAPS)

Osvetľovacia mapa je celkový výpočet vplyvov svetelných zdrojov na scénu



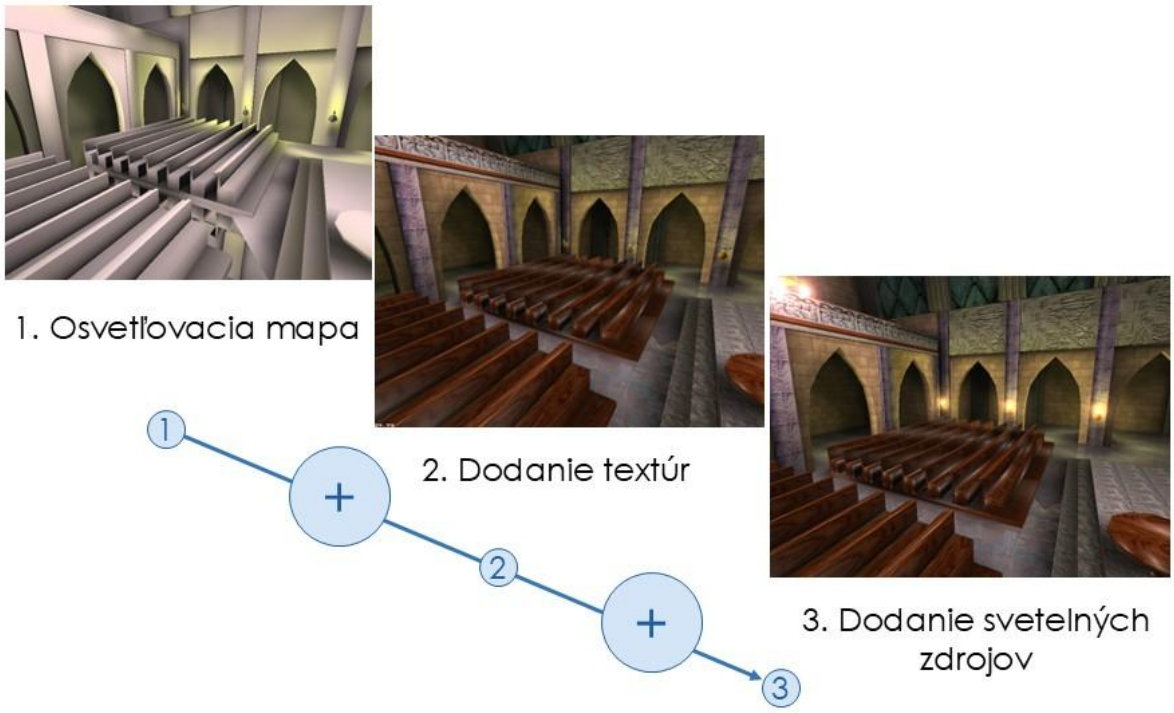
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/25

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

OSVETĽOVANIE - PROCES



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

IMPLEMENTÁCIA ZRKADIEL

Odrazy okolitých objektov a svetelných zdrojov na objekte

Typy zrkadiel:

- Enviromentálne zrkadlá
- Geometrické zrkadlá

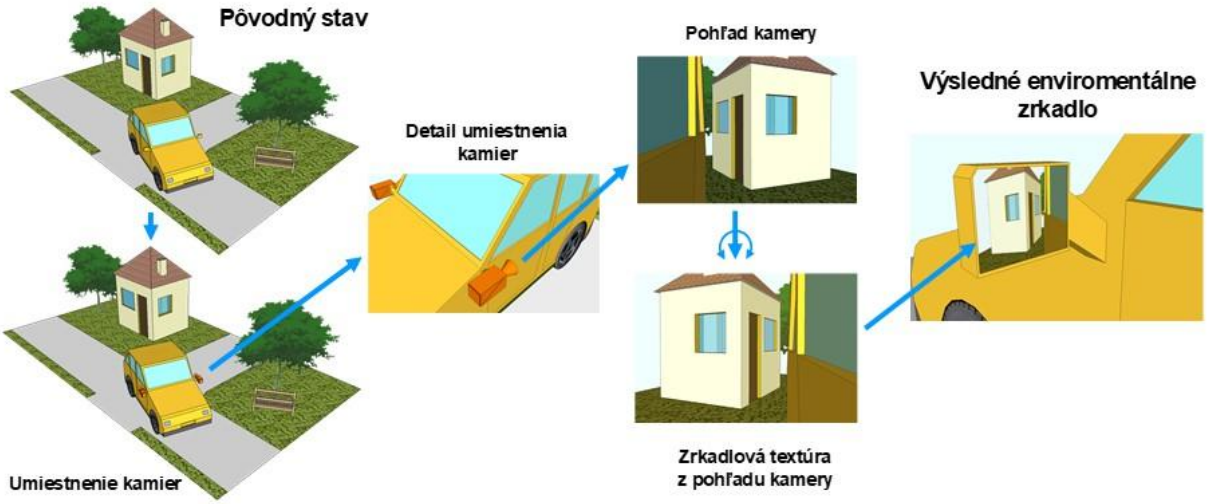
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/27

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

IMPLEMENTÁCIA ZRKADIEL
ENVIROMENTÁLNE ZRKADLÁ (PRÍKLAD)

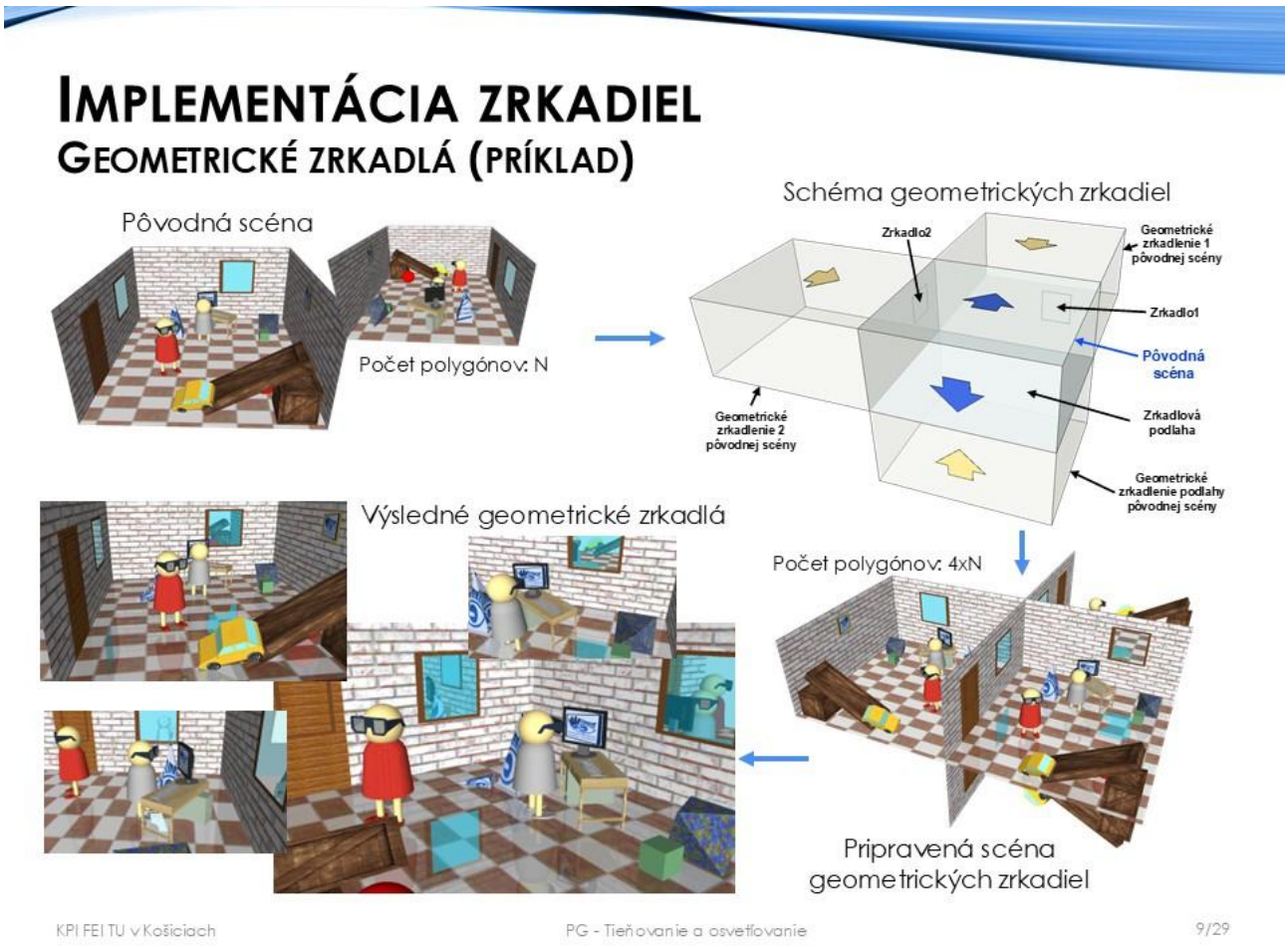


KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/28

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GLOBÁLNE OSVETĽOVACIE TECHNIKY (FOTOREALISTIKA)

Globálne osvetľovacie techniky slúžia na riešenie zobrazovacej rovnice (vrátane riešenia viditeľnosti). Ich riešením je:

- Výpočet osvetlenia všetkých plôch v scéne – *pohľadovo nezávislé*.
- Výpočet osvetlenia pre určitý smer – *pohľadovo závislé*.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/30

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

GLOBÁLNE OSVETĽOVACIE METÓDY (FOTOREALISTIKA)

Rozdelenie globálnych osvetľovacích techník:

- Metódy vychádzajúce od pozorovateľa
  - Sledovanie lúča
  - Sledovanie cesty
- Metódy vychádzajúce od svetelného zdroja
  - Sledovanie fotónov
  - Monte Carlo sledovanie svetla
- Obojsmerné metódy
  - Obojsmerné sledovanie cesty
  - Fotónové mapy
- Vyžarovacia metóda (Radiosity)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/31

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

METÓDY VYCHÁDZAJÚCE OD POZOROVATEĽA (FOTOREALISTIKA)

Jedná sa o pohľadovo závislé metódy, ktoré zhromažďujú svetelnú informáciu (energiu), ktorú lúč akumuluje (gathering methods) po svojej trajektórii. Tieto metódy môžeme tiež označiť ako spätné sledovanie trajektórie svetla.

- **Sledovanie lúča** (Ray tracing) - základný algoritmus pracuje s bodovými svetlami, poskytuje len ostré tiene a transport svetla je obmedzený na zrkadlové odrazy. Je schopný popisovať ľubovoľný počet zrkadlových odrazov a lokálny osvetľovací model s difúznou zložkou. Nepočíta sa kompletné riešenie zobrazovacej rovnice (napr. efekty ako kaustika, plošné svetelné zdroje, difúzne odrazy a pod.).
- **Distribuované sledovania lúča** (Distributed ray-tracing) - ide o rozšírenie Raytracingu o odraz lúča, aj do difúznych smerov, v závislosti od osvetľovacieho modelu.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/32

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

METÓDY VYCHÁDZAJÚCE OD SVETELNÉHO ZDROJA (FOTOREALISTIKA)

Tieto metódy sú označované aj ako *energiu vystreľujúce metódy* (*shooting methods*) a riešia problémy predchádzajúcich metód, ako sú kaustika, skryté svetelné zdroje a pod., avšak za cenu zaťaženia šumom. Tieto algoritmy hľadajú riešenie osvetľovacej rovnice náhodným sledovaním dráh lúča zo svetelného zdroja.

- **Photon tracing** - ide o duálnu metódu k metóde sledovania lúča. Používa rovnaké druhy odrazov no v opačnom smere a trajektória sa dá popísať ako *LS×DE*. Teda nastáva ľubovoľný počet zrkadlových odrazov zo svetla, ktoré ústia do difúzneho odrazu (závislého napr. od hĺbky rekurzie).
- **Light tracing** - Metóda sledovanie svetla je duálna k metóde sledovania cesty (path tracing). Náhodným spôsobom sa určujú odrazy lúčov v scéne, ktoré začínajú zo svetelného zdroja. Pokiaľ je bod odrazu lúča viditeľný pozorovateľom, určí sa jeho príspevok pre daný pixel (všetky príspevky pre daný pixel sa spriemerujú). Trajektória sa ukončí, pokiaľ bude príspevok svetla dostatočne malý.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/33

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY FOTOREALISTICKÝCH METÓD

Algoritmy zobrazujúce povrchy (surface based techniques)

Algoritmy zobrazujúce povrchy vytvárajú pomocnú geometrickú reprezentáciu povrchu. V trojrozmerných dátach sa hľadajú hrany a body povrchu. Z nich sa interpretuje povrch dvojrozmernými záplatami. Ide o nepriamu metódu. Medzi najznámejšie algoritmy patria:

- sledovania obrysov(*contour tracking*)
- marching cubes (*pochodujúce kocky*)
- marching tetrahedra
- dividing cubes
- opaque cubes

Tieto metódy sa snažia z objemových dát aproximovať povrch pomocou geometrických primitív a tie zobrazovať pomocou dobre známych metód počítačovej grafiky. Informácie o vnútrajšku objektu sa však stratia.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/34

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY FOTOREALISTICKÝCH METÓD

Objemové algoritmy

Využívajú plnú priestorovú informáciu na vykreslenie výsledného obrazu a sú nezávislé od zložitosti scény. Na výpočet používajú celú trojrozmernú mriežku údajov, preto sú veľmi náročné na pamäť a procesor . Pri každom výslednom obraze je vyžadované *traverzovanie údajov*. Je možné zobraziť ľubovoľný detail objektu. Tieto algoritmy poskytujú viac informácií ako algoritmy, ktoré používajú pomocnú reprezentáciu povrchu. Podľa klasifikácie údajov sa delia na:

- **Binárne** - pokrývajú každý voxel buď úplne alebo vôbec. Sú to povrchovo orientované algoritmy
- **Pravdepodobnostné** - priraďujú voxelom percentuálny podiel nejakého objektu. Sú založené na nahradzovaní príspevkov od všetkých vzoriek pozdĺž lúča do jedného obrazového pixela.

Ďalšie rozdelenie je podľa poradia, v akom sú voxely postupne spracované pri tvorbe obrazu, čiže ide o delenie podľa domény algoritmu.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/35

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY FOTOREALISTICKÝCH METÓD

Algoritmy pracujúce v obrazovom priestore

Pre každý pixel výsledného obrazu sa hľadajú voxely v objektovom priestore, ktoré prispievajú do výslednej farby bodu. Nakoľko pozície týchto voxelov obyčajne padnú mimo vrcholu mriežky, ich hodnotu musíme zisťovať interpoláciou. Do tejto skupiny môžeme zaradiť nasledujúce algoritmy:

- Trasovanie lúčov (raytracing, raycasting)
- Sábelova metóda

KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/36

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY FOTOREALISTICKÝCH METÓD

Algoritmy pracujúce v objektovom priestore

Pre každý voxel objektového priestoru sa hľadajú pixely výsledného obrazu, ktoré daný voxel ovplyvnia. Splatting je technika traverzujúca objektový priestor. Na každý voxel je aplikovaná konvolúcia s 3D rekonštrukčným filtrom. Príspevok filtrovaných bodov sa nahromaďuje do obrazového priestoru. Algoritmy:

- V-buffer
- Splatting

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ALGORITMY FOTOREALISTICKÝCH METÓD

Algoritmy pracujúce na hybridnom princípe

Kombinujú výhody oboch predchádzajúcich prístupov. Napríklad sa môže použiť algoritmus *Shear-warp* (*posuň a pokriv*), ktorý je považovaný za najrýchlejší. Myšlienka spočíva v posunutí jednotlivých rezov v objektovom priestore tak, aby ich namapovanie na 2D zobrazovací priestor bolo jednoduché a rýchle – vzorky pozdĺž lúčov budú ležať presne v rovinách rezov.

Traverzovanie údajmi vyžaduje jednoduché adresovanie a 2D prevzorkovací filter. Po projekcii sa zdeformovaný obraz pokriví naspäť. Algoritmus je veľmi rýchly aj na bežne dostupných počítačoch. Na druhej strane však produkuje artefakty, je pohľadovo-závislý a kvalita výsledného obrazu je nízka. Nižšia kvalita obrazu je spôsobená tým, že:

- algoritmus obsahuje až dva kroky prevzorkovania, čo môže spôsobiť rozmazanie a stratu detailných informácií,
- rekonštrukčný filter je iba dvojrozmerný. V rezoch sa používa iba bilineárna interpolácia, medzi rezmi iba interpolácia najbližším susedom. Tento bod je hlavnou nevýhodou algoritmu *shear-warp*,
- počet lúčov je rovný počtu voxelov jedného rezu, algoritmus produkuje alias kvôli podvzorkovaniu.

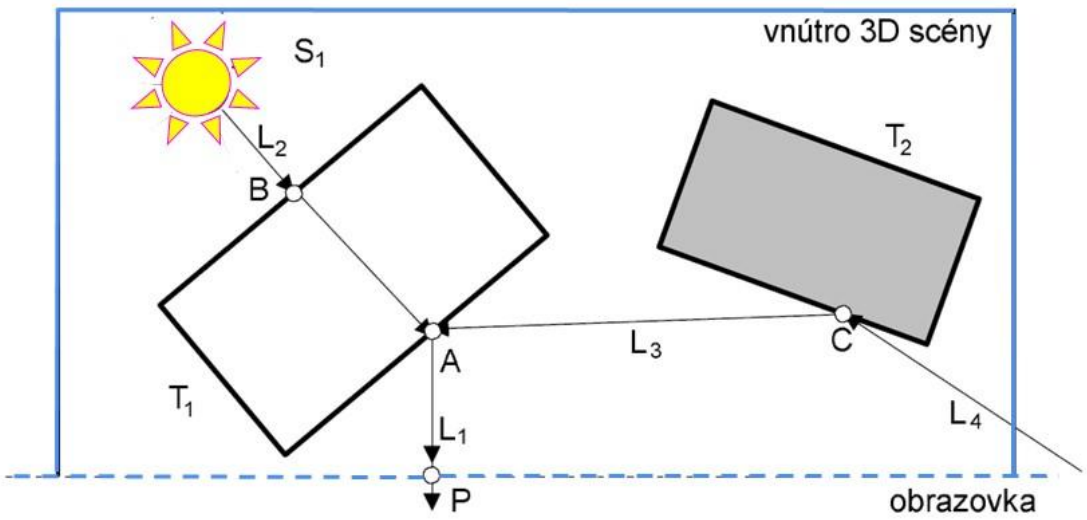
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/38

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RAYTRACING
SPÔSOB SLEDOVANIA LÚČA PRI RAYTRACING-U



KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/39

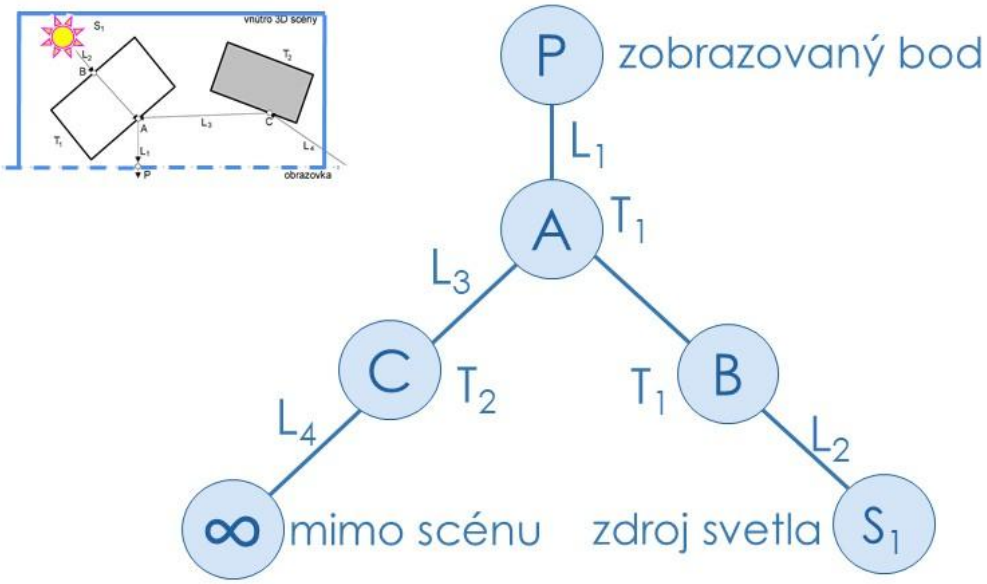
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RAYTRACING

PRÍKLAD STROMU SCÉNY PRI RAYTRACING-U



KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/40

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

RAYTRACING

PRÍKLAD VÝPOČTU INTENZITY PRI RAYTRACING-U

$$I_V = I_a + I_d + I_s + I_r + I_L$$

kde:

- I_V je výsledná intenzita

- I_a je zložka okolitého svetla
- I_d je difúzna zložka
- I_s je zrkadlová zložka (týka sa zdroja svetla)
- I_r je zložka z odrazeného lúča (týka sa telesa)
- I_L je zložka z lomeného lúča

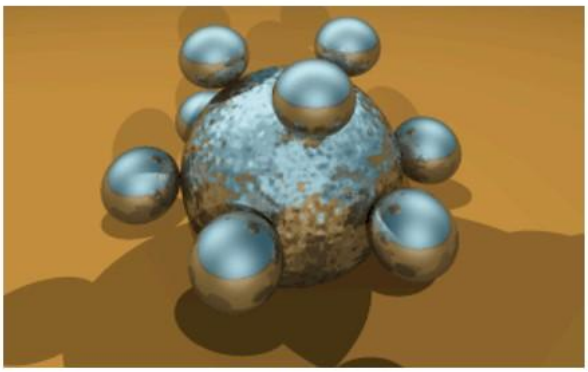
KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/41

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRÍKLADY SCÉN (FOTOREALISTIKA)
PRÍKLAD VÝSTUPOV Z RAYTRACINGU A VYŽAROVACEJ METÓDY



KPI FEI TU v Košiciach PG - Tieňovanie a osvetľovanie 9/42

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PRÍKLADY SCÉN (FOTOREALISTIKA)

PRÍKLAD VÝSTUPOV Z ROZSIAHLEHO RAYTRACINGU

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Charakterizujte a popíšte konštantné (flat) tieňovanie v rámci počítačovej grafiky.
- Charakterizujte a popíšte tieňovanie interpoláciou farby (Gourard) v rámci počítačovej grafiky.
- Charakterizujte a popíšte tieňovanie interpoláciou normály (Phong) v rámci počítačovej grafiky.
- Popíšte problematiku osvetľovania a osvetľovacích modelov, svetelné zdroje, osvetľovacie mapy.
- Spracovanie osvetľovacích modelov, zložky svetla podľa Phongovho osvetľovacieho modelu.
- Charakterizujte problém realistického zobrazovania a globálne osvetľovacie techniky v rámci počítačovej grafiky a v krátkosti popíšte fotorealistické metódy vychádzajúce od pozorovateľa a od svetelného zdroja.
- Uveďte a v krátkosti popíšte algoritmy fotorealistických metód a popíšte metódu raytracing.

10 Aplikácie počítačovej grafiky a virtuálna realita

Áno, vývoj počítačovej grafiky je obrovský a v súčasnosti snáď zasahuje do všetkých oblastí ľudskej činnosti ako sú najmä:

- Forma komunikácie s počítačom a používateľské rozhranie
- Počítačové hry a zábava
- Film, video, reklama
- Obaly v obchodoch
- Design automobilov či výrobkov spotrebnej elektroniky
- Projektovanie budov a interiérov
- Noviny, časopisy, katalógy
- Predpoveď počasia
- Spracovanie hospodárskych či štatistických výsledkov

a mnoho, mnoho ďalších príkladov. Áno, zásah počítačovej grafiky do nášho života je naozaj významný a dnes je už veľmi ťažké nájsť oblasť, v ktorej by využitie počítačovej grafiky nemalo zmysel, ak už nie kvôli samotnému spracovaniu napr. obrázkov, tak aspoň kvôli čoraz viac sa vyvíjajúcim naturálnym používateľským rozhraniam.

V základe je možné pozorovať približne tieto trendy použitia počítačovej grafiky:

- počítačové hry
- fotorealistické zobrazovanie, multimédiá, virtuálna realita a používateľské rozhrania
- manažérska grafika
- počítačom podporované navrhovanie a konštruovanie, rapid prototyping
- vizuálna simulácia
- spracovanie obrazu

Počítačová grafika výrazne zasahuje aj do kreatívnych odvetví a umožňuje mimoriadne pôsobivé vizuálne simulácie prírodných javov či scén a prípadne aj osôb (najmä v hernom a filmovom priemysle). Do popredia v počítačovej grafike sa dostávajú rôzne netradičné postupy, ktoré umožňujú používateľom vyrábať rôzne efektné kresby alebo modely a dosahovať zaujímavé výsledky. Medzi tieto „netradičnosti“ môžeme zaradiť aj fraktály alebo časticové systémy. Tieto sa používajú na generovanie rôznych, najmä abstraktných podkladov a tvarov, prípadne na rôzne zaujímavé rozptyľovacie technológie, ktoré môžu po aplikovaní na digitálny obraz vyvolať dojem, že obraz je napr. za sklom alebo v hmle. Fraktálmi sa zaoberá fraktálna geometria. Táto, ako vedná disciplína, sa rozvíja zhruba od 60-tich rokov nášho storočia. V tejto dobe sa niekoľko vedcov nezávisl na sebe pokúšalo objaviť popis chaosu prírody. Väčšina objektov v prírode je z tohto hľadiska chápania celkom chaotická, ale na druhej strane je zrejmé, že tento chaos nie je absolútny. Objekty v prírode sú síce rozložené náhodne, ale ani táto náhoda nie je celkom bez pravidiel. Násť tieto pravidlá znamenalo vytvoriť aparát, ktorý by popisoval chaotické javy a dovoľoval tak človeku ich exaktné pochopenie. Ústredný pojmom celej fraktálnej geometrie je sebepodobnosť. Typickým sebepodobným objektom je kameň. Či sa pozrieme na malý kamienok alebo na veľký kameň, tak jediné, čím sa líšia, je práve ich veľkosť (matematicky sa táto vlastnosť nazýva invariancia voči zmene mierky). A práve preto sa fraktály okrem iného hodia na reprezentáciu prírodných útvarov v počítačovej grafike.

Ďalšou nezanedbateľnou oblasťou, kde sa výrazne uplatňujú prvky počítačovej grafiky je reklama a prezentácie firiem a organizácií. Je zrejmé, že od kvality nástrojov na prezentáciu závisí aj celková kvalita prezentácie. Ako nástroj prezentácie môže poslúžiť samotný tovar (primárny nástroj), alebo rôzne iné predmety, popisujúce tovar (sekundárny nástroj). Za sekundárne nástroje prezentácie možno považovať dataprojektory, rôzne tabule s nákresmi až po holografické projekcie. To že prezentácia pomocou počítačovej grafiky nie je len okrajová oblasť počítačového priemyslu dokazuje

aj skutočnosť, že priamo pre potreby počítačovej prezentácie bolo vytvorených niekoľko špecializovaných periférnych zariadení (projekčné LCD panely či veľkoplošné alebo spomínané holografické projektory).

Vývoj nových technológií v rámci systémov výpočtovej techniky naberá závratné tempo. Z vysokej miery k tomu prispieva možnosť aplikácie výpočtovej techniky do rôznych sfér ľudskej činnosti. Dôležitým aspektom výpočtovej techniky je požiadavka efektívnej komunikácie medzi človekom a počítačom. V tejto oblasti je v poslednej dobe možné pozorovať obrovský rozmach technológií. Jednou z oblastí, ktorá je bytostne spätá s počítačovou grafikou a kde je pokrok takmer každodenne badateľný, je nepopierateľne virtuálna realita (ďalej len VR) a jej pridružené technológie.

Virtuálno-realitný systém reprezentuje interaktívny počítačový systém, vytvárajúci ilúziu fyzickej prítomnosti v danom čase neexistujúceho len syntetizovaného priestoru alebo ešte presnejšie môžeme hovoriť o tzv. dokonalej simulácii v prostredí tesne viazanej interakcie človek-výpočtový systém (HCI, Human Computer Interaction). VR sa vďaka implementáciám stále dokonalejších a cenovo prijateľnejších riešení stáva súčasťou čoraz väčšieho počtu výskumných a priemyselných pracovísk ako aj domácností či herní a škôl. V rámci domácností je logické, že pokročilé rozhrania nachádzajú priame uplatnenie najmä pri hraní počítačových hier, ktoré sú z hľadiska masového záujmu a z toho plynúcich finančných výnosov, dlhodobo ťahúňom technologického pokroku pridruženého hardvéru. Napriek nesporným výhodám, ktoré moderné riešenia VR poskytujú, nie je bežnou praxou ich využitie v rámci profesionálneho prostredia. Tu naďalej prevládajú primárne systémy postavené na klasických, zaužívaných vstupoch a výstupoch ako klávesnica, myš a bežný 2D monitor.

Virtuálna realita zahŕňa širokú škálu problémov. Vymedzenie smeru v tomto multidisciplinárnom probléme nie je jednoduché. Celkový proces spracovania vstupov, ich modelovania, vizualizácie a virtualizácie v rámci komplexného systému virtuálnej reality sa nazýva virtualizačný reťazec. Generovanie virtuálneho sveta a jeho realistická vizualizácia v reálnom čase je pomerne mladá oblasť, pretože realistické vizualizačné systémy pracujúce v reálnom čase zaznamenali svoj rozmach až v poslednom desaťročí, čo súviselo najmä s ich finančne náročnou realizáciou a nedostatočnou ako hardvérovou tak softvérovou podporou. Ako mnoho iných odborov v oblasti počítačov aj virtuálna realita má svoje základy v počítačovej grafike. Systémy VR je možné deliť najmä podľa technických, čiastočne aj podľa programových prostriedkov, potrebných pre dosiahnutie príslušných VR výsledkov, na:

- *Vstupná VR* predstavuje v podstate len "inteligentnejšie" 3D modely a ich zobrazenie na obrazovku počítača. Spravidla je to podporené zvukom. Interakcia s generovaným svetom je na úrovni 2D ovládačov. V podstate sa môže jednať o niektoré dobre spracované hry.
- *Základná (nízka) VR*, kde základného 3D-efektu je dosahované pomocou monitorov a anaglyfických okuliarov s použitím príslušných filtrov (napr. červený a azúrový (tyrkysový) filter). Nevýhoda je menšie "vtiahnutie" používateľa do generovaného sveta. Interakcia s generovaným svetom je stále na úrovni 2D ovládačov (napr. myš, alebo joystick).
- *Stredná VR*, pri ktorej dochádza k podstatnému vylepšeniu komunikácie používateľa s počítačom. Sú prebudované najmä dokonalejšie zobrazovacie metódy, ale aj dokonalejšie vstupné ovládacie prvky. Dojem trojrozmerného obrazu je dosahovaný buď okuliarmi s polarizačnými filtrami alebo LCD okuliarmi, čo už umožňuje vytvoriť farebný pohľad do virtuálneho sveta. Pohyb, resp. interakcia smerom od používateľa, je dosahovaná pomocou ovládačov s viacerými stupňami voľnosti (napr. Spacepilot, spaceball, 3D joystick a pod.). Najnovším prvkom na tejto úrovni je kontaktná dátová rukavica, snímacie prvky na základe tenzie svalov alebo bezkontaktné snímacie prvky, napr. MS Kinect. Charakteristickou črtou VR-systémov na tejto úrovni je možnosť ich prevádzky aj na osobných počítačoch s príslušným vybavením, najmä dobrou a výkonnou grafickou kartou.
- *Úplné (immersive) systémy VR* umožňujú kvalitatívne inú interakciu používateľa s počítačovým svetom. Samozrejme najmä na úrovni vizualizačnej, zvukovej a pohybovej. Vizuálneho 3D efektu je možné dosiahnuť použitím špeciálnej dátovej prilby so vstavanými displejmi (Head mounted display, HMD). Tieto displeje môžu mať vzájomne posunutý obraz tak, aby vznikol dojem priestoru. Prilba je navyše vybavená príslušným audio systémom pre generovanie 3D

zvukových efektov a prípadne aj podporným výpočtovým systémom. Zo vstupných zariadení sem môžeme zarátať ďalšie iné snímače polohy hlavy, rúk či nôh, simulátory fyzického odporu, resp. dotyku, prípadne generátory a simulátory pôsobiace na iné ľudské receptory (napr. čuch, chuť a pod.).

VR systémy poskytujú lepší zážitok a sú viac interaktívne, avšak komplexnosť ich implementácie je oveľa väčšia. Podsystémy VR sa rozdeľujú podľa zmyslov, ktoré ovplyvňujú: Vizualizačný podsystém, Akustický podsystém, Kinetický a statokinetický podsystém, Podsystém dotyku a kontaktu a ďalšie zmysly (napr. čuch, chuť, citlivosť na feromóny). Niektoré zmysly, ktoré bežne vnímame v reálnom svete, nemá veľký zmysel implementovať do virtuálneho sveta. Jedným z takýchto zmyslov je v súčasnosti napríklad chuť.

V skutočnosti existujú tri základné technologické bázy systémov, ktoré sú používané ako štandard pri prístupe a interakcii používateľov s trojrozmernými prostrediami alebo objektmi. Každý z týchto systémov je schopný pracovať s virtuálnym kontextom, avšak odlišuje sa spôsobom jeho zobrazovania a ovládania.

- *Virtuálna Realita* (VR) predstavuje prvý zo systémov s plne pohlcujúcim virtuálnych prostredím. Prostredníctvom systémov VR je pohltenie používateľov riadené na troch štandardných úrovniach : vizuálna, zvuková, a dotykovo-hmatová. Každá z úrovní poskytuje relevantný spôsob spätnej väzby v závislosti od kontextu virtuálneho prostredia.
- *Zmiešaná Realita* (MR) reprezentuje ďalší systém zameraný hlavne na sytentizáciu virtuálnych objektov do fyzického priestoru používateľa. Úrovne pohltenia v MR systémoch sú identické so systémami VR. Avšak, hlavným rozdielom v spôsobe interakcie je ovládanie syntetizovaných objektov pomocou gestikulačných vstupov na báze snímania rúk používateľa. Vzhľadom na detekciu fyzického priestoru sú systémy MR rozšírené o technológiu priestorového rozpoznávania. Prostredníctvom nej je možné dosahovať detailné pozorovanie syntetizovaných objektov.
- *Augumentovaná Realita* (AR) je systém úzko súvisiaci s rozpoznávaním informácii v obraze za účelom dosadenia trojrozmerných objektov. Aj keď systémy AR využívajú rovnakú úroveň pohltenia ako systémy VR a MR, existuje rozdiel v spracovávaní vizuálnej spätnej väzby. Tá je prioritne viazaná k obrazovej informácii, ktorá musí byť konzistentná a rozpoznateľná pre docielenie požadovanej interakcie. Za účelom zdieľania používateľskej interakcie a spoločného virtuálneho priestoru vznikajú systémy kolaboratívnej virtuálnej reality. Hlavnou úlohou uvedených systémov je sprostredkovanie zdieľaného prostredia viacerým používateľom v reálnom čase a rovnako zabezpečenie zdieľania interakcie a komunikácie. Napriek prítomným technologickým pokrokom a výraznému zlepšeniu imerzívnych vlastností VR, MR a AR systémov vznikajú potreby zjednocovania ich softvérovej kompatibility. Riešenie tohto problému spočíva v sprístupnení spoločnej aplikačnej platformy pre rôzne druhy systémov bez ohľadu na ich rozdiely a spôsoby interakcie.

Existujúce systémy VR, MR a AR sa začínajú zlučovať pod oblasť inovatívnej *X-Reality* (XR), kde “X” referuje na variabilné použitie akéhokoľvek z nich. Týmto sa súčasný vývoj nezávislých aplikačných platforiem približuje k zjednocovaniu uvedených systémov práve na úroveň XR. Zjednotením VR, MR a AR systémov do skupiny XR vzniká vysoký predpoklad zlepšenia používateľskej interakcie a úrovne pohltenia.

POUŽITIE POČÍTAČOVEJ GRAFIKY

- Forma komunikácie s počítačom a používateľské rozhranie
- Obaly v obchodoch
- Design automobilov či výrobkov spotrebnej elektroniky
- Projektovanie budov a interiérov
- Noviny, časopisy, katalógy
- Predpoveď počasia
- Počítačové hry a zábava
- Spracovanie hospodárskych či štatistických výsledkov
- Film, video, reklama
- ...

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/1

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

TRENDY POUŽITIA POČÍTAČOVEJ GRAFIKY

- počítačové hry
- fotorealistické zobrazovanie, multimédiá, virtuálna realita a používateľské rozhrania
- manažérska grafika a reklama
- počítačom podporovaný návrh a konštruovanie
- vizuálna simulácia
- spracovanie obrazu

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/2

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POČÍTAČOVÉ HRY

sú samostatnou kapitolou. Je možné povedať, že vlastne sprostredkovávajú prvý kontakt neznalejšieho človeka s počítačom. Počítačové hry majú svoj základ už na prvých sálových počítačoch. Ich rozmach ale nastal až po nástupe malých domácich (8-bitových) počítačov. Základné počítačové hry dosiahli svoj kulminačný bod práve však na osobných počítačoch. Stále viac a viac sa presadzuje čo dokonalejšia grafika a je jasný trend prechodu od klasických dvojrozmerných hier ku trojrozmerným priestorovým hrám vrátane mobilných platforiem.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FOTOREALISTIKA, MULTIMÉDIÁ, VIRTUÁLNA REALITA

sú hitom dnešnej doby. U prvého ide o čo najvernejšie zobrazenie priestorových scén a objektov vrátane osvetlenia a riešenia viditeľnosti. Dokonalé skĺbenie kvalitného obrazu a zvuku je doménou multimédií. Ak sa ku kvalitnému programu pridá dostatočne výkonný počítač, ktorý umožňuje toto prepočítavanie v reálnom čase je možné simulovať v danom čase neexistujúci svet (virtual reality), napr. "prechádzať sa" ešte v nepostavenom vlastnom dome Informačné systémy a počítačové siete v spolupráci s prostriedkami virtuálnej reality (najmä formu netradičného rozhrania komunikácie človek počítač) začínajú tvoriť nový fenomén veľmi blízkej budúcnosti.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

MANAŽÉRSKA GRAFIKA A REKLAMA

slúži na grafické znázornenie výsledkov napr. rôznych kalkulácií alebo predstavenie produktu. Používateľ má obvykle možnosť výberu z niekoľkých typov diagramov napr. kruhové, stĺpcové a pod., alebo možnosť tzv. ikonickej grafiky (symbolické zobrazenia napr. postava, strom a.i. Potom napr. jedna postava môže znázorňovať určitý počet ľudí/km2). Príslušné merítka a transformácie väčšinou vypočítava systém sám. Predstavenie produktu využíva väčšinou hybridný prístup k zvizuálneniu.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POČÍTAČOM PODPOROVANÝ NÁVRH

(CAD - Computer Aided Design) našlo v počítačoch veľmi dobrú "pôdu". Od jednoduchých dvojrozmerných grafických editorov cez trojrozmerné až ku veľkým návrhovým komplexom najmä z hľadiska lepšej konštruktérskej predstavivosti alebo reálnejšiemu pohľadu. V súčasnosti je asi už pokrytá každá oblasť výroby príslušným CAD-ovským programom. Svoje prvotné uplatnenie však mali tieto programy najmä v oblasti elektrotechniky, strojárenstva a stavebníctva.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIZUÁLNA SIMULÁCIA

je oblasť počítačovej grafiky, ktorá sa rozvíja najmä v dvoch smeroch. Prvým je vizualizácia výsledkov rôznych simulačných programov napr. priebehy napätí a prúdov v elektrických obvodoch. Druhým je simulácia reálnych udalostí v rôznych počítačových trenažéroch napr. leteckých alebo automobilových.

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SPRACOVANIE OBRAZU

je časťou počítačovej grafiky, do ktorej zasahujú aj iné odbory. V princípe sem môžeme zahrnúť najmä procesy spracovania farieb, detekcie hrán, vyhladzovanie obrazu a pod. Vo veľkej miere sa používajú tieto postupy napr. v grafických editoroch ale aj v náročných vojenských alebo vesmírnych projektoch, napr. na vylepšenie prichádzajúcich snímok alebo v procese rozpoznávania obsahu obrazu a umelej inteligencie.

Poznámky:

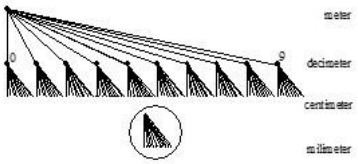
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY

„*Fraktál je množina, ktorej Hausdorffova dimenzia je väčšia než dimenzia topologická.*“

(Mandelbrot)



Sebepodobnosť

Jeden zo základných pojmov v oblasti fraktálov a fraktálnej geometrie je *sebepodobnosť*. Môžeme ju nájsť na rôznych miestach okolo nás. Zoberme si hlávku karfiolu. Po podrobnejšom preskúmaní je možné si všimnúť, že sa skladá z menších častí, ktoré tvoria celú hlávku karfiolu. Oddeľme jednu z týchto častí tvoriacich prvotnú hlávku. Zistíme, že je veľmi podobná pôvodnému celku, ktorý tvorila celá hlávka karfiolu. Jediný rozdiel je iba vo veľkosti. Tento postup je možné opakovať niekoľkokrát za sebou. Po každom takomto kroku je možné sledovať vzájomnú podobnosť oddeľovaných častí, pričom bude vždy platiť, že sa odlišujú iba vo veľkosti.

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/9

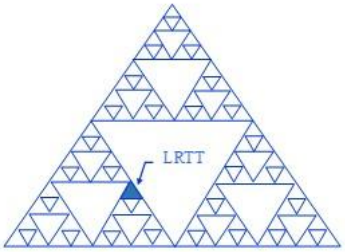
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

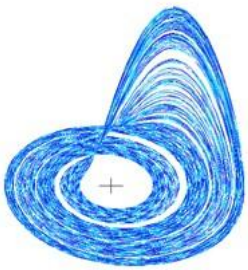
Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY - TYPY

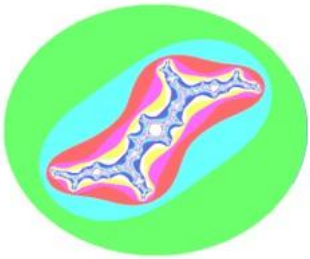
1. L-systémy (Linden-mayerove systémy)
2. IFS (systém iterovaných funkcií)
3. Dynamické systémy (dynamické množiny)



1.



2.



3.

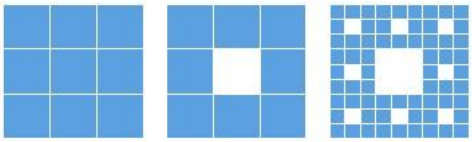
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

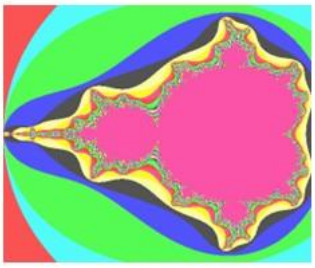
FRAKTÁLY - PRÍKLADY

- Sierpinského koberček



- Kochova krivka

- Mandelbrotova množina



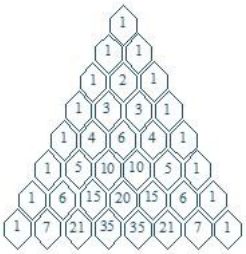
Poznámky:

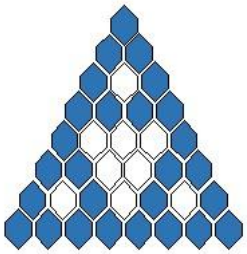
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

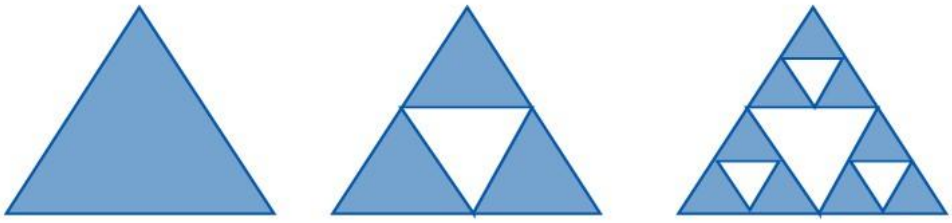
FRAKTÁLY - PRÍKLADY

- *Pascalov trojuholník*





- *Sierpinského trojuholník*



KPI FEI TU v Košiciach Zápočtový test, Fraktály a častícové systémy 10/12

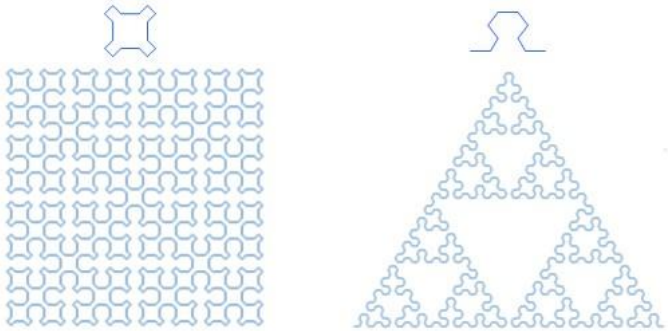
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

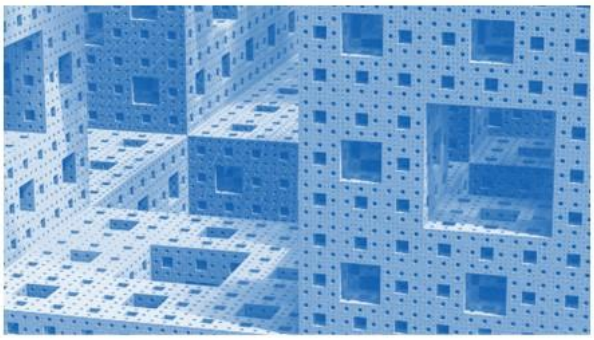
Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY - PRÍKLADY

- *Sierpinského vzory*



- *Mengeho huba*



KPI FEI TU v Košiciach Zápočtový test, Fraktály a častícové systémy 10/13

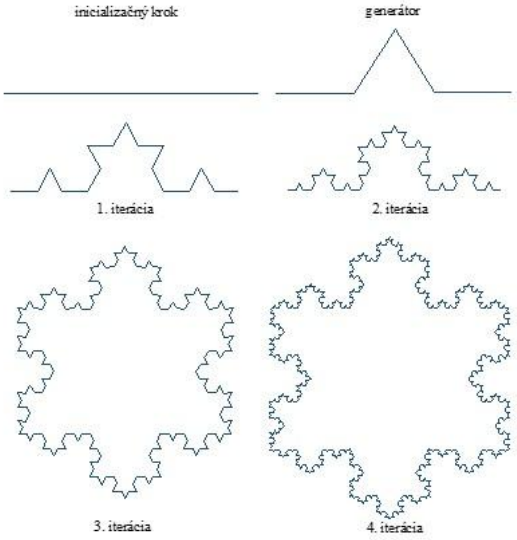
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

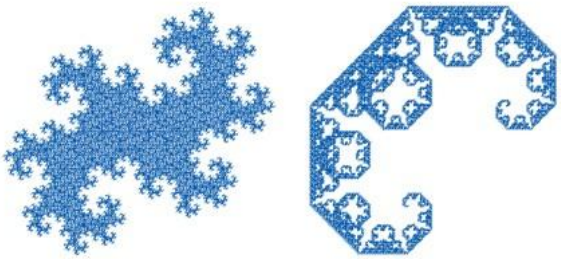
Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY - PRÍKLADY

- *Kochova vločka*



Dračia krivka (C-krivka)

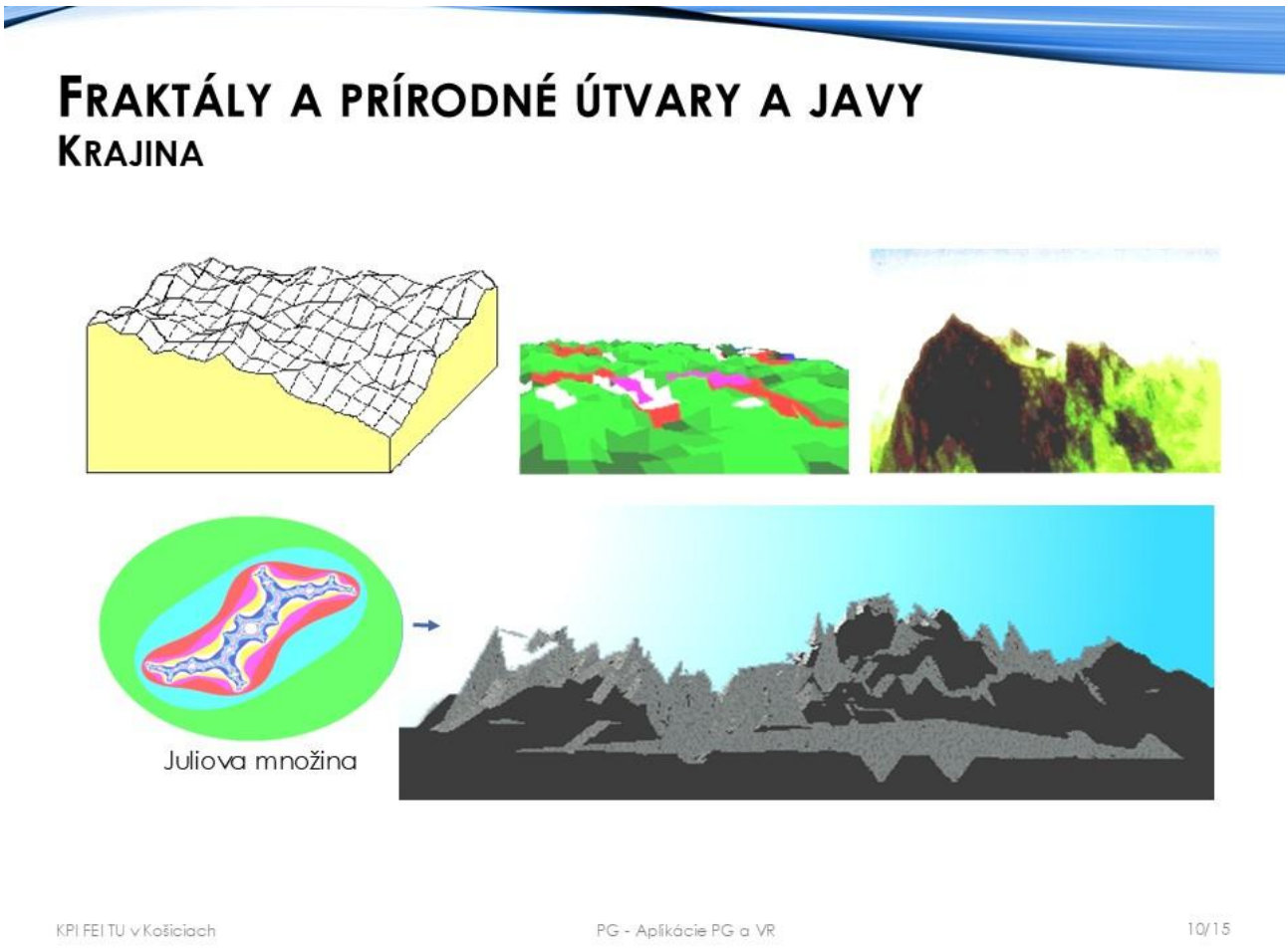


KPI FEI TU v Košiciach Zápočtový test, Fraktály a časticové systémy 10/14

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

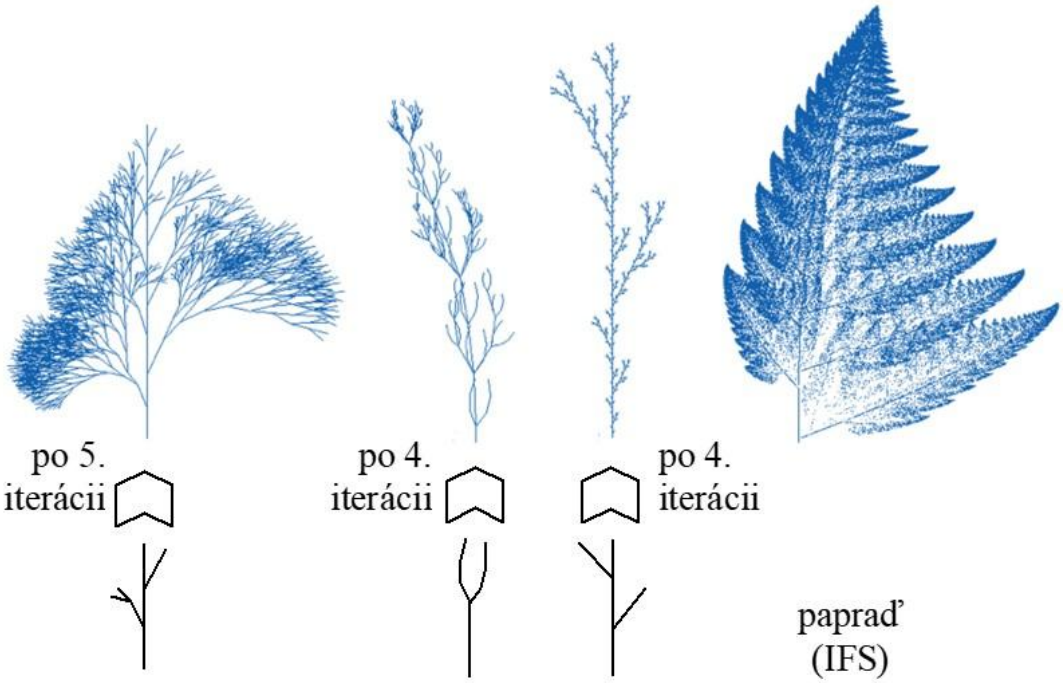


Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY A PRÍRODNÉ ÚTVARY A JAVY
RASTLINY



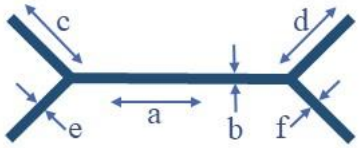
KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/16

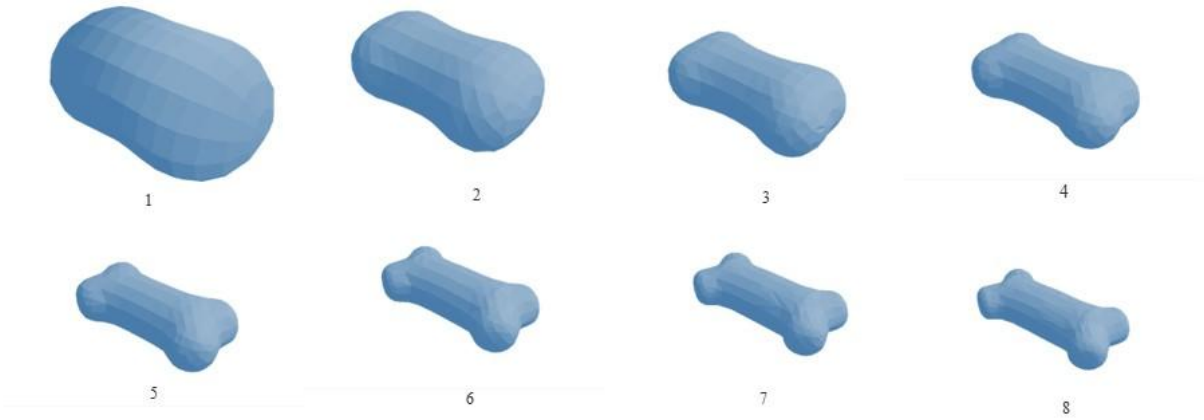
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY A PRÍRODNÉ ÚTVARY A JAVY
KOSTI





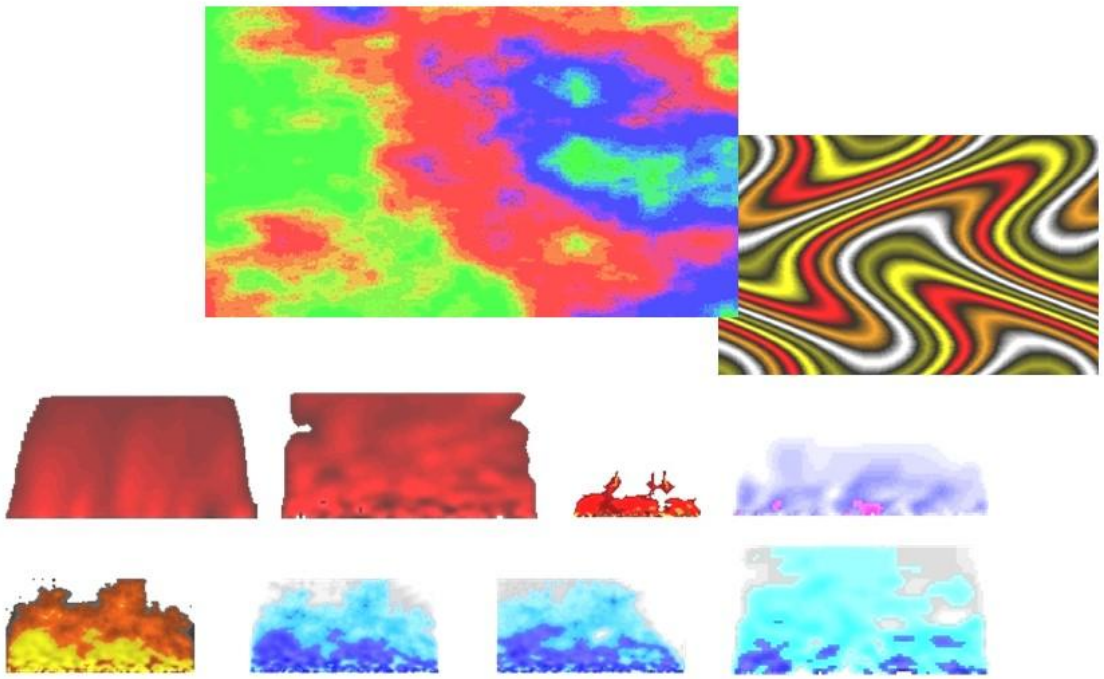
KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/17

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

FRAKTÁLY A PRÍRODNÉ ÚTVARY A JAVY
PLAZMA (AMORFNÉ TVARY, OHEŇ, OBLOHA)



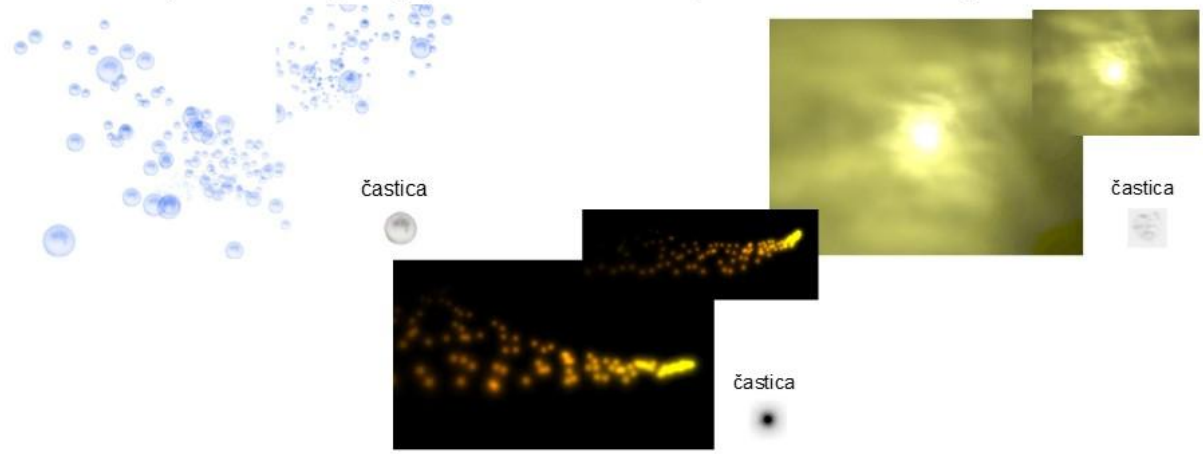
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ČASTICOVÉ SYSTÉMY (PARTICLE SYSTEMS)

Častica je objekt v scéne, ktorý má svoj vlastný životný cyklus. Niekde sa „narodí“, počas celého svojho života sa vyvíja podľa prideleného kódu a na konci „umiera“. To, čo vykonáva alebo ako sa vyvíja častica je plne v réžii programátora. Častícové systémy (particle systems) sa pre niektoré prírodné javy používa častejšie ako fraktály.

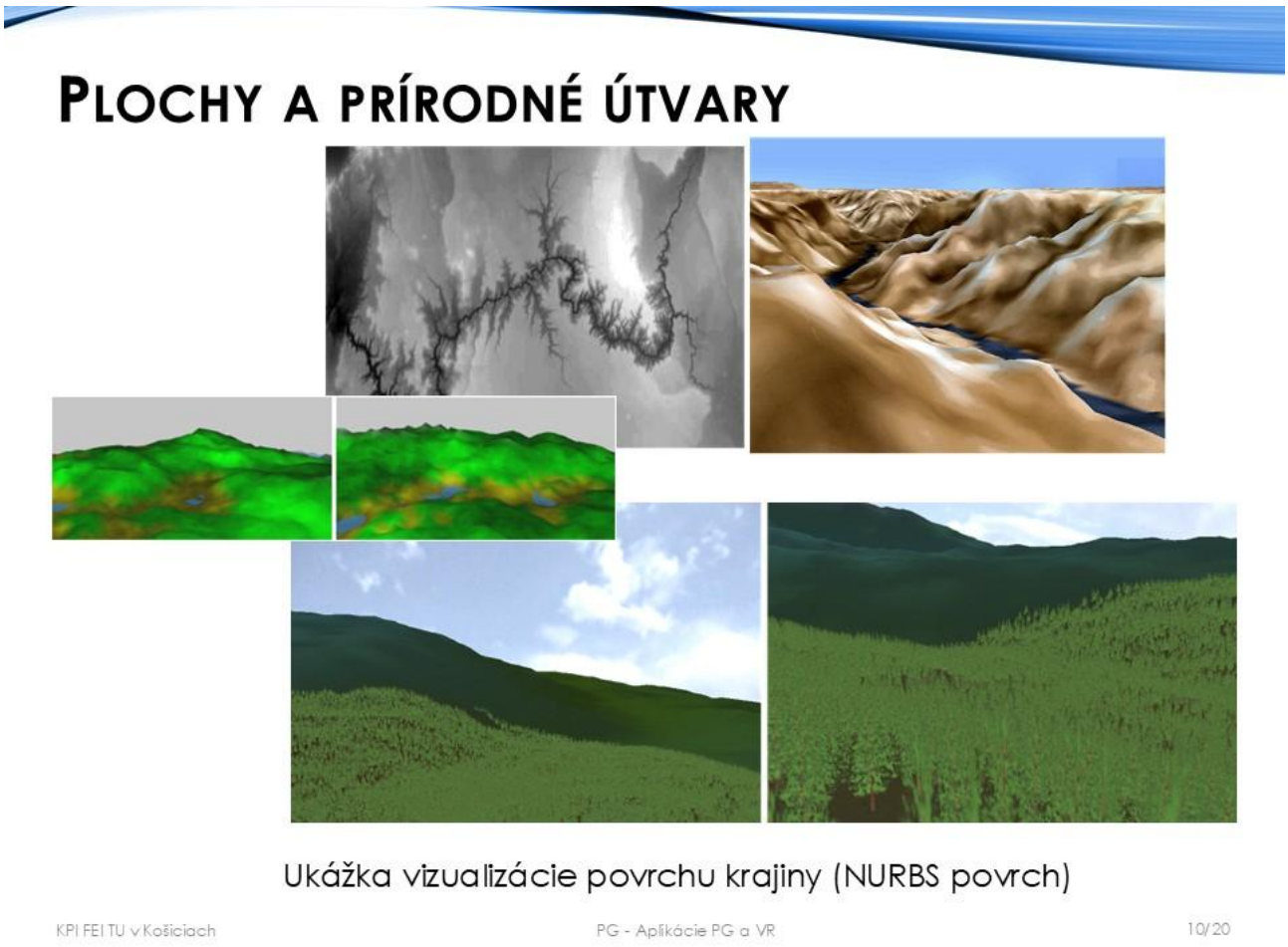


KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/19

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIRTUÁLNA REALITA

Virtuálno-realitný systém predstavuje interaktívny počítačový systém, vytvárajúci ilúziu v danom čase neexistujúceho len syntetizovaného priestoru alebo ešte presnejšie môžeme hovoriť o tzv. dokonalej simulácii v prostredí tesného spojenia človek-výpočtový systém

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POUŽÍVANÉ POJMY

- Virtual reality
- Fuzzy reality
- Mixed reality – zmiešaná realita
- eXtended Reality – Cross-Reality (XR, Virtual+Augmented+ +Mixed=eXtended)
- Cyberspace
- Pozorovateľ, cybernaut
- Avatar (zástupca pozorovateľa vo virtuálnom prostredí)

- HCI – Human Computer Interaction

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/22

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

NIEKTORÉ TECHNOLÓGIE SPADAJÚCE DO OBLASTI VR

- Telerobotika
- Teleprezencia
- teleriadenie (t.j. účasť na vzdialenom deji, forma virtuálnej výuky alebo forma virtuálnej konštrukčnej kancelárie)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KATEGORIZÁCIA VR SYSTÉMOV

- podľa úrovne V/V prvkov
  - Entry VR
  - Basic VR
  - Medium VR
  - Immersive VR

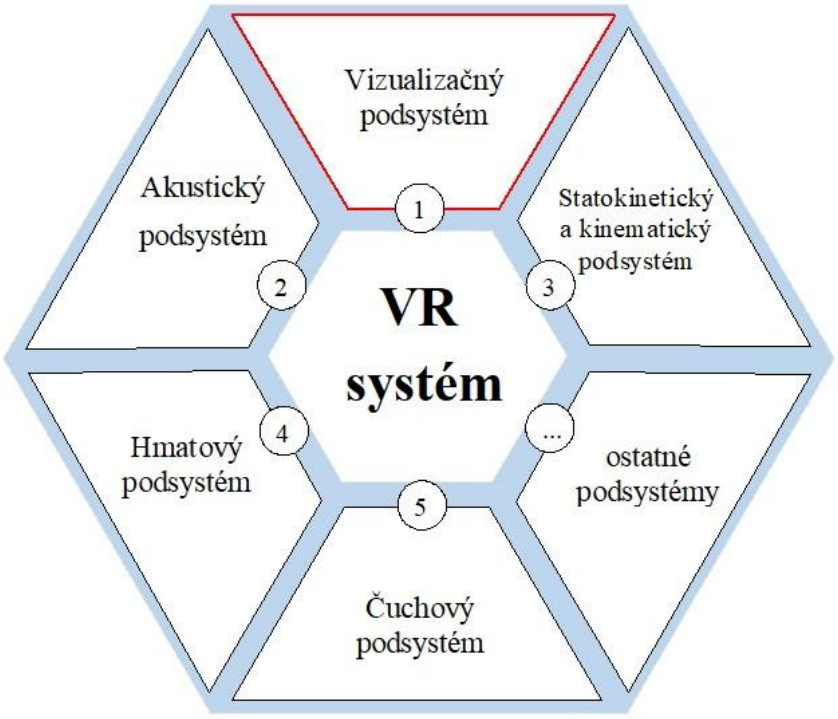
- podľa dynamiky pozorovateľa a prostredia
  - SESO – Static Environment Static Observer
  - DESO – Dynamic Environment Static Observer
  - SEDO – Static Environment Dynamic Observer
  - DEDO – Dynamic Environment Dynamic Observer

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

PODSYSTÉMY VR SYSTÉMU
A VZŤAH K POČÍTAČOVEJ GRAFIKE



KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/25

Poznámky:

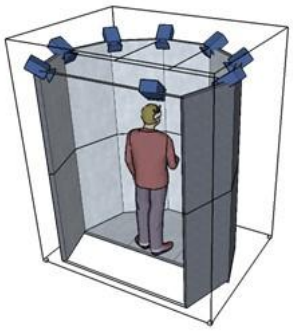
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

BÁZICKÉ KONCEPCIE

Najčastejším bázickým podsystémom je vizualizačný podsystém (80% informácie)

- Tesne-viazané systémy (najviac na báze HMD)
- Voľne-viazané systémy (najviac na báze virtuálnych jaskýň)
- Kombinované systémy



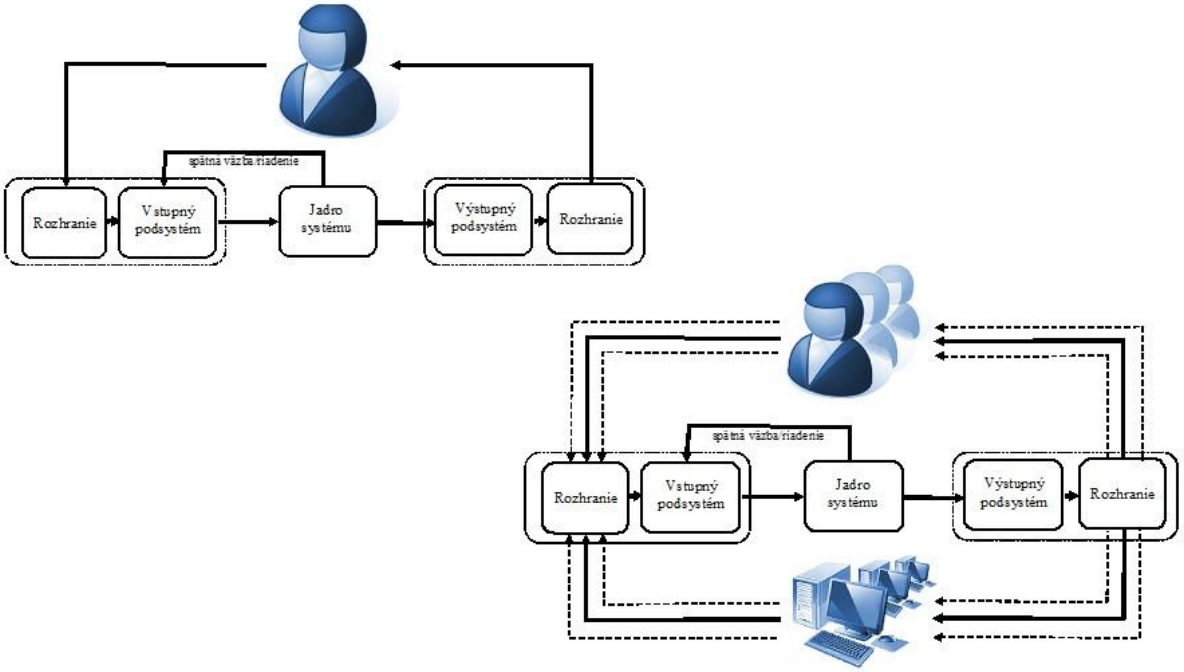
KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/26

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

SYSTÉM INTERAKCIE (JEDNO A VIACPOUŽÍVATEĽSKÝ)



KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/27

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMIEŠANÁ REALITA (ZR/MR)

Zmiešaná realita (mixed reality, MR) je oblasť počítačového výskumu zaoberajúca sa kombináciou reálneho sveta a počítačom generovaných dát (virtuálnej reality), kde počítačom generované syntetické objekty sú vmiešavané do reálneho prostredia a naopak, v reálnom čase.

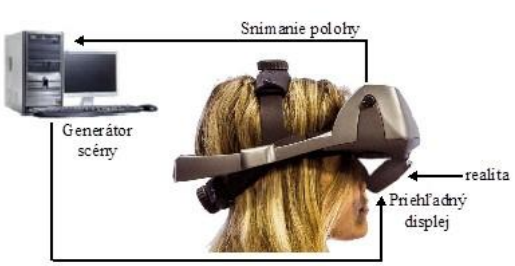
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMIEŠANÁ REALITA (ZR/MR)

TYPY MR PODĽA TOHO AKO JE VÝSLEDNÝ VNEM KOMPONOVANÝ



MR s priamym pohľadom
(optical see-through)
(s priehľadným displejom)

MR s nepriamym pohľadom
(video see-through)
(s HMD)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/29

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMIEŠANÁ REALITA (ZR/MR)

TYPY MR PODĽA SYNCHRONIZÁCIE VIRTUÁLNEJ A REÁLNEJ SCÉNY/OBJEKTOV

- *systémy s exaktnými značkami* (markered systems) – do reálnej scény sa umiestnia špeciálne značky, ktoré sú počas behu rozpoznané a nahradené virtuálnymi objektmi
- *systémy bez (exaktných) značiek* (semi-markerless, markerless systems) - vyhodnocovanie a vkladanie je bez exaktných značiek, avšak sú potrebné iné doplnkové informácie napr. rozpoznanie obrazu, tváre príp. GPS alebo Wifi signál , 3D sken v reálnom čase a pod.

Poznámky:

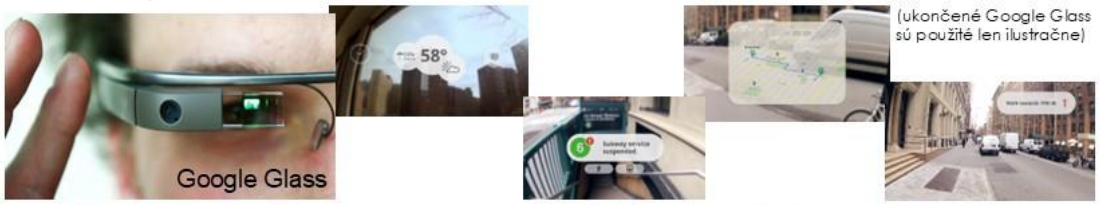
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

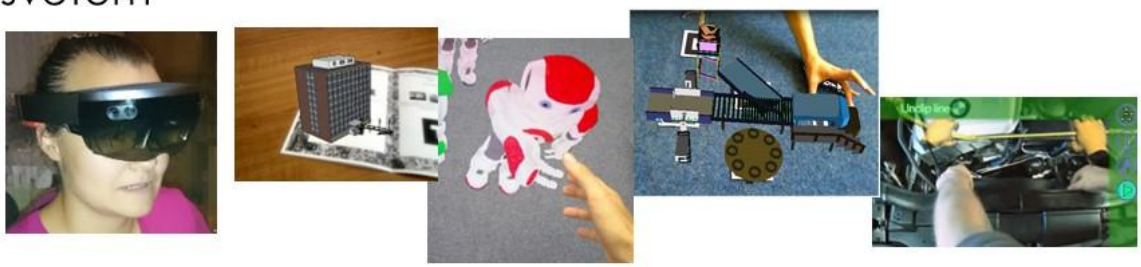
ZMIEŠANÁ REALITA (ZR/MR)

TYPY MR PODĽA TOHO AKO V PRIESTORE DOCHÁDZA K SYNCHRONIZÁCII

- *Obohatená realita* – bez priamej geometrickej väzby s reálnym svetom



- *Rozšírená realita* – s geometrickou väzbou s reálnym svetom



KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/31

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLABORATÍVNA VR A X-REALITA (XR)

Systém kolaboratívnej virtuálnej reality (CVR) resp. XR (CXR) je založený na báze technológií VR/XR za účelom sprostredkovať spoločne zdieľané virtuálne prostredie medzi viacerými používateľmi v reálnom čase

X-Realita predstavuje inovatívnu oblasť, ktorej účelom je aplikačne zjednotiť technológie VR (Virtual reality), MR (Mixed reality) a AR (Augmented reality)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/32

Poznámky:

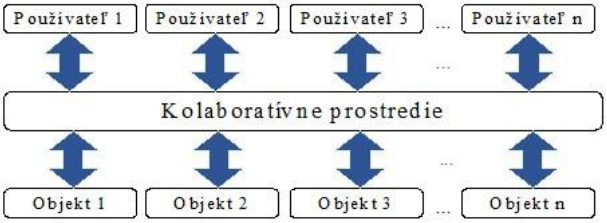
Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLABORATÍVNE VIRTUÁLNE PROSTREDIE

VLASTNOSTI

- Podpora aktivít s integráciou skupiny používateľov.
- Zdieľanie virtuálneho, zmiešaného, alebo zlúčeného kooperatívneho prostredia.
- Zámer - dosahovanie spoločného cieľového riešenia.
- Kombinácia viacerých vstupov v reálnom čase.
- Interaktívna komunikácia a operovanie v zdieľanom kooperatívnom prostredí.



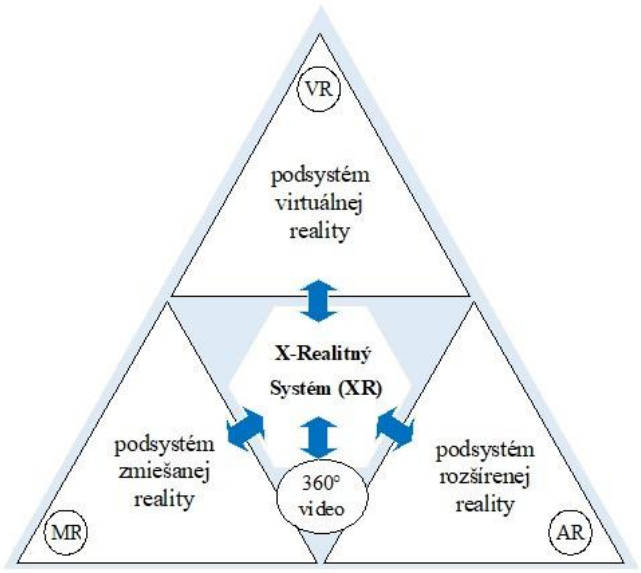
KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/33

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLABORATÍVNA VR A X-REALITA (XR)



Používateľ s datovou prilbou s transparetnými displejmi v prostredí virtuálnej jaskyne

LIRKIS (KPI FEI TU Košice)

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/34

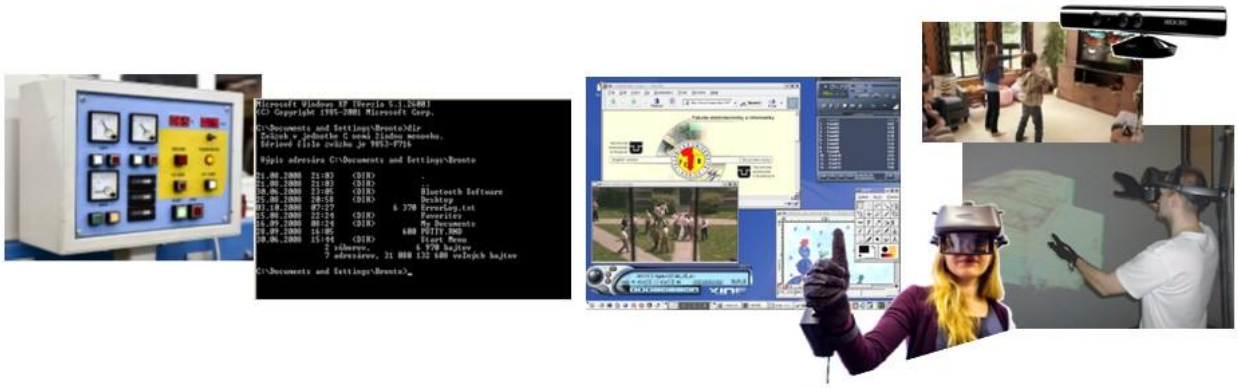
Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

POUŽÍVATEĽSKÉ ROZHRANIA A PG (VR)

- Priame, exaktné, mechanické
- Znakové (príkazový riadok (command line), terminál)
- Grafické
- Bio-adaptované, prirodzené a technológie virtuálnej reality



KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/35

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

LABORATÓRIUM LIRKIS

Unikátne pracovisko na výskum a vývoj nových flexibilných a inteligentných rozhraní systémov na báze počítačovej grafiky a technológií virtuálnej reality

Laboratórium LIRKIS
Laboratórium Inteligentných Rozhraní
Komunikačných a Informačných Systémov
KPI FEI TU Košice

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/36

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

VIRTUÁLNA REALITA A KPI

Pracovisko VR 1. generácie (KPI FEI TU Košice)

Pracovisko VR 2. generácie s virtuálnou jaskyňou (KPI FEI TU Košice)

1.-generačná datová rukavica (KPI FEI TU Košice)

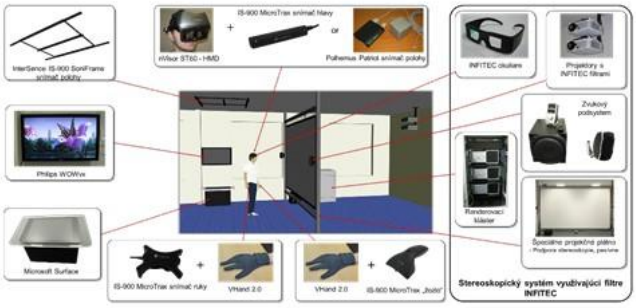
KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/37

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

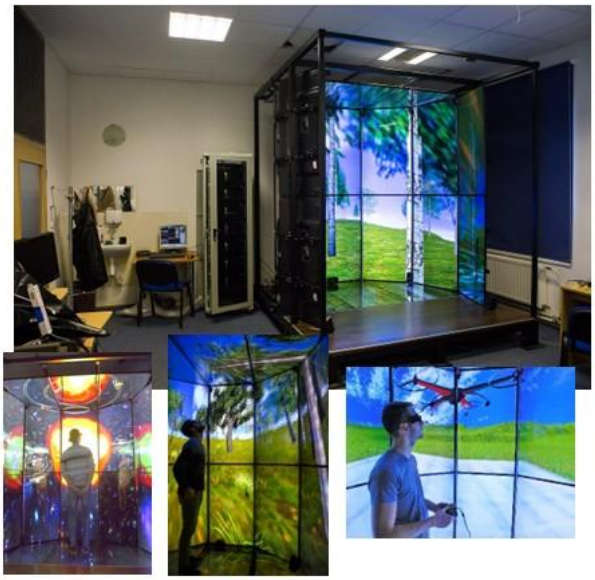
Zaujímavé URL:

VIRTUÁLNA REALITA A KPI



Pracovisko VR 3. generácie
(LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Pracovisko VR 4. generácie s
virtuálnou jaskyňou
(LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

ZMIEŠANÁ REALITA A KPI

Pracovisko ZR 1. a 2. generácie (KPI FEI TU Košice)

Pracovisko ZR 3. generácie s MS Hololens (KPI FEI TU Košice)

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLABORATÍVNA VR, X-REALITA A KPI
PRACOVISKO LIRKIS G-CVE 1. GENERÁCIE (KPI FEI TU KOŠICE)

Multiplatformové pracovisko na báze LIRKIS G-CVE

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/40

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

KOLABORATÍVNA VR, X-REALITA A KPI
PRACOVISKO LIRKIS G-CVE 1. GENERÁCIE (KPI FEI TU KOŠICE)

LIRKIS (KPI FEI TU Košice)

Aplikácie so špecifickým účelom

KPI FEI TU v Košiciach PG - Aplikácie PG a VR 10/41

Poznámky:

Zaujímavé zdroje:

Zaujímavé URL:

Kontrolné otázky okruhu

- Uveďte a v krátkosti popíšte fraktály a časticové systémy
- Uveďte pojem virtuálna realita a popíšte základnú štruktúru VR systémov a ich kategorizáciu
- Definujte pojem X-realita a vymenujte a charakterizujte jeho základné technologické bázy.

11 Záver

Úlohou tejto publikácie bolo vytvoriť nástroj pre jednoduchšiu prácu na prednáškach z predmetu Počítačová grafika na KPI FEI TU Košice. Je tiež potrebné poznamenať, že v predmete bol daný iba výber z príslušných tém. Mnoho tém má oveľa širší rozsah, ako sú uvedené v tejto publikácii. Poradie obsahu bolo didakticky dané poradím prednášok. Jednotlivé témy/okruhy nie sú vždy v časovom rozsahu určené na jednu prednášku. Môžu teda byť rozložené do viacerých prednášok.

Počítačová grafika a jej technológie v súčasnosti predstavujú už základný odbor informatiky a informačných technológií. Vzhľadom na svoju previazanosť so súčasným životom predstavuje etablovanú oblast odboru ale zároveň jeden z progresívne sa rozvíjajúcich smerov v tomto odbore. Z hľadiska rozsiahlosti vplyvu tiež predstavuje významný faktor aplikačnej diverzifikácie informačných technológií ako celku. Ostáva len dúfať, že snáď táto publikácia, ako aj celý predmet Počítačová grafika, priniesli znalosti pre študentov z oblasti tak modernej a progresívnej akou je počítačová grafika.

12 Doplnkové referencie

[1] Akeley K., "RealityEngine Graphics," Computer Graphics (Proc. Of SIGGRAPH 93), Aug. 1993, pp. 109-116.

[2] Akeley K., Jermoluk T. „ High-Performance Polygon Rendering. Computer Graphics (SIGGRAPH 88 Preceedings), 1988, pp. 239-246.

[3] Altmann, M.: About Nonuniform Rational B-Splines - NURBS, url: http://cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/nurbs.html

[4] Angel, E., Cunningham, S., Shirley, P., and Sung, K. 2006. Teaching computer graphics without raster-level algorithms. In Proceedings of SIGCSE, 266--267.

[5] Barbara J. Meier. Painterly rendering for animation. SIGGRAPH 96 Conference Proceedings, pages 477–484. August 1996.

[6] Blender, domáca stránka [online]., Dostupné na internete: <http://www.blender.org/>

[7] Brian Wyvill, Kees van Overveld: Tiling Techniques for Implicit Skeletal Models. Implicit Surfaces for Geometric Modeling and Computer Graphics, SIGGRAPH 1996.

[8] Crocker, G.A., "Invisibility coherence for faster scan-line hidden surface algorithms", Computer Graphics 18(3), July 1984, pp. 95-102.

[9] De Boor, C.: A Practical Guide to Splines, Springer Verlag, New York, 1978

[10] Deering M. and Nelson S. R., "Leo: A System for Cost Effect 3D Shaded Graphics," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), Aug. 1993, pp. 101- 108.

[11] Dietrich A., Gobbetti E., Yoon S.-E.: Massive Model Rendering Techniques, IEEE Computer Graphics & Applications, pp. 20-34, no. 6, Special Issue Nov/Dec 2007

[12] Ellsworth D., "A New Algorithm for Interactive Graphics on Multicomputers," IEEE Computer Graphics & Applications, July 1994, Vol. 14, No. 4, pp. 33-40.

[13] Engel, K., Klaus, M., Ertl, T. 2001. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware-accelerated pixel shading. ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS workshop on Graphics hardware, pp.9-16, Los Angeles, California, United States.

[14] Euclidean Space. Rotations. 1998, <http://www.euclideanspace.com/maths/geometry/rotations/index.htm>

[15] Eyles J., Molnar S., Poulton J., Greer T.,. Lastra A., and England N., "PixelFlow: The Realization", Proceedings of the Siggraph/Eurographics Workshop on Graphics Hardware, Los Angeles, CA, August 3-4, 1997, pp. 57-68.

[16] Fernando R., Kilgard M.J.: The Cg Tutorial – The Definitive Guide to Programmable Real-Time Graphics. Addison-Wesley, 2003.

[17] Foley J.D., van Dam A., Feiner S., Hughes J.: Computer Graphics: Principles and Practice, 2.ed., Addison-Wesley, 1996.

[18] General-Purpose Computation Using Graphics Hardware, 2008, Dostupné na internete: http://www.gpgpu.org

[19] Glassner A.S.: An Introduction to Ray tracing, 327 pages, Morgan Kaufmann, ISBN: 0122861604, California, 2000

[20] Goral C. M., Torrance K. E., Greenberg D. P., B. Battaile: Modelling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces. In Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 84), volume 18, pages 213{222, July 1984.

[21] J. Stein, A. S. Kyaw, Irrlicht 1.7 Realtime 3D Engine Beginner's Guide, Packt Publishing, 2011, 272p., ISBN 1849513988

[22] Jensen H.W.: Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping. A K Peters Ltd, 2001. ISBN 1-56881-147-0.

[23] Levoy, M. 1988. Display of Surfaces from Volume Data. IEEE Comuter graphics and Applications, 8(3):29-37.

[24] Lowe D. G.. Distinctive image features from scale-invariant keypoints,Computer Science Department, University of British Columbia ,5. január.2004

[25] Montrym J. S., Baum D. R., Dignam D. L., and Migal C. J., “InfiniteReality: A Real-Time Graphics System,” Computer Graphics (Proc. of Siggraph), August 1997, pp. 293-302.

[26] Mortenson M.E.: Geometric modeling, AK Peters, Second Edition, 235 pages, ISBN: 1568811985, USA 2003

[27] Nishimura S., Kunii T., “VC-1: A Scalable Graphics Computer with Virtual Local Frame Buffers,” Computer Graphics (Proc. of Siggraph), August 1996, pp. 365-372.

[28] OpenGL, domáca stránka [online]. Dostupné na internete: http://www.opengl.org/

[29] Pharr M., Fernando R.: GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation, Addison-Wesley Professional, 2005, ISBN 0321335597

[30] Piegl, L.: "On NURBS: A Survey", IEEE Computer Grapgics and Applications, Vol. 11, No. 1, pp.55-71, 1991.

[31] Shirley P.: Fundamentals of Computer Graphics, AK Peters, Ltd., England, 2002, ISBN 1568811241

[32] Shirley P., Morley R. K.: Realistic Ray Tracing, A K Peters Ltd, Second edition, 2003. ISBN 1-56881-198-5.

[33] Sobota, B.: Počítačová grafika a jazyk C. KOPP, České Budějovice, 1996.

[34] Sobota, B.; Hrozek, F.: Virtuálna realita a jej technológie. Košice: TU, 2013. 158 s. ISBN 978-80-553-1500-3.

[35] Sutherland, I. E.- Sproull, R. F. – Schumacker, R. A., "A Characterization of Ten Hidden Surface Algorithms," ACM Computing Surveys, Mar. 1974, Vol. 6, No. 1, pp. 1-55.

[36] Tanenbaum A.S., van Steen M.: Distributed Systems - Principles and Paradigms, 704 pages, Prentice Hall, 2002 ISBN: 0132392275

[37] Torborg J., Kajiya J.: Commodity Real-time 3D Graphics for the PC. In Proceedings of SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pages 353/364, August 1996.

[38] Tsai, P.: Bezier, B-spline, and NURBS, url: http://www.erc.msstate.edu/~pt1/NURBS/nurbs/nurbs.html

[39] Whitted T.: An improved illumination model for shaded display, Communications of the ACM, v.23 n.6, p.343-349, June 1980

[40] ZHANG, Ming – XIE, Hengheng – BOUKERCHER, Azzedine: A Design Aid and Real-Time Measurement Framework for Virtual Collaborative Simulation Environment, Parallel & Distributed Processing. In: Workshops and Phd Forum (IPDPSW), 2010 IEEE International Symposium, 19-23 April 2010, pp. 1-6

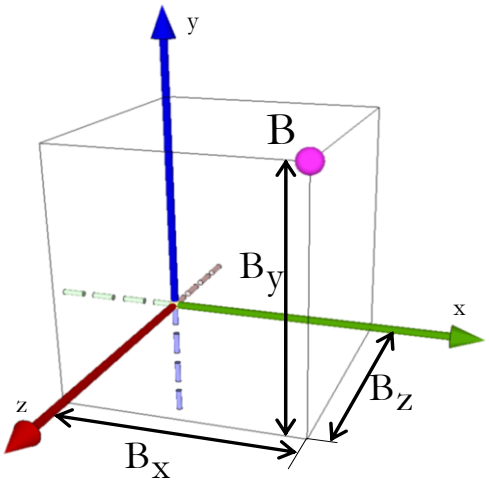
[41] Žára J., Beneš B., Sochor J., Felkel P.: Moderní počítačová grafika, Computer Press, 2005, 612 stran, ISBN 80-251-0454-0

13 Niektoré relevantné matematické vzťahy

Nasledujúce riadky ponúkajú základný prehľad reprezentácie bodov, vektorov, priamok a rovín ako základných geometrických elementov a s nimi súvisiace vlastnosti a vzťahy. Navyše sú tu uvedené aj základné vzťahy pre prácu s maticami a komplexnými číslami. Uvádzané vzťahy sa výborne hodia na zopakovanie matematických vedomostí použitých v niektorých prípadoch preberanej problematiky.

13.1 Bod

Bod v trojrozmernom priestore je reprezentovaný trojicou čísel $[B_x, B_y, B_z]$ ktoré vyjadrujú jeho *x*-ovú, *y*-ovú a z-ovú súradnicu.



Bod v pravouhlej súradnicovej sústave

13.1.1 Výpočet vzdialenosti medzi dvoma bodmi

Pre výpočet vzdialenosti medzi dvoma bodmi $A[A_x, A_y, A_z]$ a $B[B_x, B_y, B_z]$ môžeme použiť Pytagorovu vetu:

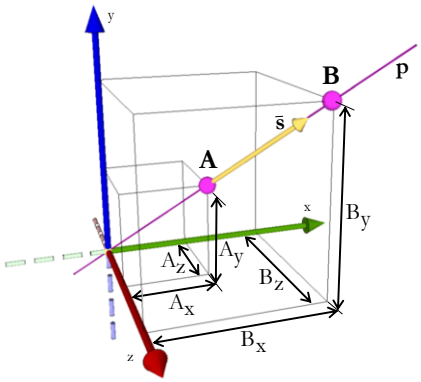
$$vzdialenost = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2}$$

13.2 Priamka

Priamku možno v 3D výhodne reprezentovať jej parametrickými rovnicami, ktoré určíme z dvoch bodov $A[A_x, A_y, A_z]$ a $B[B_x, B_y, B_z]$ na nej ležiacich:

$$x = A_x + t \cdot (B_x - A_x) = A_x + t \cdot s_x$$
$$y = A_y + t \cdot (B_y - A_y) = A_y + t \cdot s_y$$
$$z = A_z + t \cdot (B_z - A_z) = A_z + t \cdot s_z$$

Vektor $\boldsymbol{s}(s_x, s_y, s_z)$ je smerový vektor priamky, ktorý ukazuje z bodu A do bodu B, pričom $s_x=B_x-A_x$, $s_y=B_y-A_y$ a $s_z=B_z-A_z$. Pre reálne číslo $t \geq 0$ dostávame body polpriamky AB a pre $t \leq 0$ body opačnej polpriamky.



Priamka v 3D

13.2.1 Vzťah medzi dvomi priamkami

Predpokladajme dve priamky, prvú priamku určenú bodmi $A[A_x, A_y, A_z]$, $B[B_x, B_y, B_z]$ a druhú bodmi $C[C_x, C_y, C_z]$, $D[D_x, D_y, D_z]$. Jeden z výrazov $D_x - C_x$, $D_y - C_y$ a $D_z - C_z$ musí byť nenulový. Predpokladajme že $D_z - C_z \neq 0$ a vypočítajme $k = \dfrac{B_x - A_x}{D_x - C_x}$. Parameter k sa nazýva *smernica priamky*.

Ak $B_y - A_y = k(D_y - C_y)$ a $B_z - A_z = k(D_z - C_z)$ priamky sú *rovnobežné*. Ak bod C leží na priamke určenej bodmi A a B priamky sú totožné.

13.2.2 Uhol medzi dvomi priamkami (vektormi)

Predpokladajme, že máme smerové vektory dvoch priamok $\boldsymbol{a}$ a $\boldsymbol{b}$, uhol φ medzi týmito priamkami určíme:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \cdot \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} \right)$$

13.2.3 Výpočet priesečníka dvoch priamok

Uvažujme dve priamky podobne ako v predošlom prípade. Ak majú priamky spoločný bod tak musí platiť:

$$A_x + t \cdot (B_x - A_x) = C_x + v \cdot (D_x - C_x)$$
$$A_y + t \cdot (B_y - A_y) = C_y + v \cdot (D_y - C_y)$$
$$A_z + t \cdot (B_z - A_z) = C_z + v \cdot (D_z - C_z)$$

Z jednej dvojice vypočítame neznáme t a v. Ak tieto čísla vyhovujú aj tretej rovnici tak priamky určené bodmi A,B a C,D sú *rôznobežné*, v opačnom prípade sú priamky *mimobežné* a teda nemajú priesečník.

13.3 Rovina

Rovina je reprezentovaná v 3D priestore svojou všeobecnou rovnicou v tvare $ax+by+cz+d=0$. Konštanty *a*, *b* a *c* sú súradnice normálového vektora tejto roviny. Tento vektor sa vypočíta vektorovým súčinom dvoch vektorov ležiacich v tejto rovine, pričom tieto nesmú ležať na jednej priamke! Konštantu *d*, predstavujúcu posun roviny určíme:

$d=-aA_x-bA_y-cA_z$

pričom A_x, A_y a A_z sú súradnice bodu ležiaceho v tejto rovine.

13.3.1 Vzťahy medzi rovinami

Uvažujme dve roviny určené svojimi rovnicami $ax+by+cz+d=0$ a $mx+ny+pz+q=0$. Platí, že jedna z konštánt a,b,c je nenulová. Predpokladajme že a. Teraz vypočítajme konštantu $k=m/a$. Ak $bk=n$ a $ck=p$, tak roviny sú rovnobežné $(a:b:c=m:n:p)$. Ak roviny sú rovnobežné a platí $dk=q$ tak potom sú totožné $(a:b:c:d=m:n:p:q)$.

13.3.2 Uhol medzi dvoma rovinami

Uhol medzi dvoma rovinami sa rovná uhlu medzi ich normálovými vektormi.

13.3.3 Výpočet priesečnice dvoch rovín

Smerový vektor priesečnice dvoch rovín tvorí vektorový súčin normál týchto rovín. Bod ležiaci na oboch rovinách možno nájsť ako jedno riešenie dvoch rovníc rovín $ax+by+cz+d=0$ a $mx+ny+pz+q=0$ pre neznáme *x,y,z*.

13.3.4 Výpočet priesečníka troch rovín

Roviny nesmú byť navzájom rovnobežné. Najprv určíme priesečnicu prvých dvoch rovín a súradnice bodu patriaceho obom rovinám. Nasleduje určenie priesečníka medzi priesečnicou a treťou rovinou.

13.3.5 Vzdialenosť bodu od roviny

Vzdialenosť bodu $A[A_x, A_y, A_z]$ od roviny $ax+by+cz+d=0$ vypočítame:

$$\text{vzdialenosť} = \frac{\left|aA_x+bA_y+cA_z+d\right|}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}$$

13.3.6 Priesečník priamky s rovinou

Uvažujme priamku a rovinu $ax+by+cz+d=0$. Najprv vypočítame parameter *t*:

$t=-(aA_x+bA_y+cA_z+d)/(as_x+bs_y+cs_z)$

Hodnotu *t* dosadíme do parametrických rovníc priamky pre získanie súradníc priesečníka.

13.3.7 Uhol medzi priamkou a rovinou

Uhol medzi smerovým vektorom priamky $\mathbf{s}(s_x, s_y, s_z)$ a rovinou $ax+by+cz+d=0$ zistíme:

$$\varphi=\arcsin\left(\frac{as_x+bs_y+cs_z}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}.\sqrt{s_x{}^2+s_y{}^2+s_z{}^2}}\right)$$

13.4 Vektory

Vektory sa často používajú ako prehľadnejšia forma zápisu určenia smeru.
Vektor ***a***(a_x, a_y, a_z) je určený dvoma bodmi $A[A_x, A_y, A_z]$ a $B[B_x, B_y, B_z]$, pričom $a_x=B_x-A_x$, $a_y=B_y-A_y$ a $a_z=B_z-A_z$.

13.4.1 Výpočet veľkosti vektora

Veľkosť $|\mathbf{a}|$ vektora ***a***(a_x, a_y, a_z) vypočítame:

$$|\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + b_y^2 + c_z^2}$$

13.4.2 Normalizácia vektora

Normalizovaný vektor z vektora ***a***(a_x, a_y, a_z) určíme:

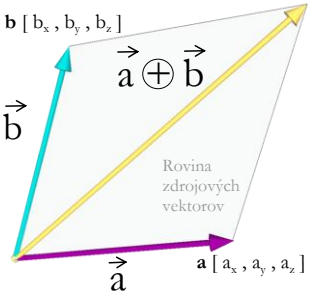
$$\left(\frac{a_x}{|\mathbf{a}|} \quad \frac{a_y}{|\mathbf{a}|} \quad \frac{a_z}{|\mathbf{a}|} \right)$$

13.4.3 Vektorový súčet/rozdiel

Ak máme definované dva vektory ***a***(a_x, a_y, a_z) a ***b***(b_x, b_y, b_z), potom vektorový súčet určíme:

$$\mathbf{a}+\mathbf{b} = \mathbf{a} \oplus \mathbf{b} = \left(a_x + b_x, \quad a_y + b_y, \quad a_z + b_z\right)$$

Výsledkom vektorového súčtu je opäť vektor v rovine/priestore zdrojových vektorov. Rozdiel vektorov sa určí analogicky.



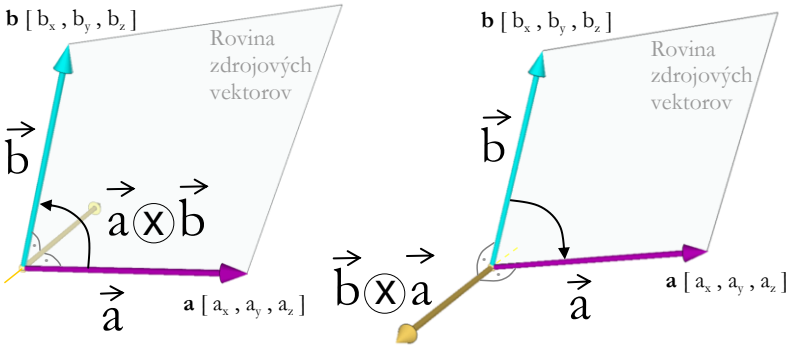
Vektorový súčet dvoch vektorov

13.4.4 Vektorový súčin

Ak máme definované dva vektory ***a***(a_x, a_y, a_z) a ***b***(b_x, b_y, b_z), potom vektorový súčin určíme:

$$\mathbf{a}\times\mathbf{b} = \mathbf{a} \otimes \mathbf{b} = \left(a_y b_z - a_z b_y, \quad a_z b_x - a_x b_z, \quad a_x b_y - a_y b_x\right)$$

Výsledkom vektorového súčinu je opäť vektor, ktorý je však kolmý na vektory ***a*** a ***b***.



Vektorový súčin dvoch vektorov

13.5 Matice

Matice, obdobne ako vektory, sa často používajú ako prehľadnejšia forma zápisu najmä operácií transformácií v počítačovej grafike.

Matica **M** typu $m \times n$ je tabuľka prvkov (reálnych čísel, funkcií, vektorov a pod.) usporiadaných do m riadkov a n stĺpcov.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{m1} & m_{m2} & \cdots & m_{mn} \end{bmatrix}$$

13.5.1 Základné druhy matíc

- *Nulová matica* – všetky jej prvky sú rovné 0
- *Jednotková matica* – všetky jej diagonálne prvky sa rovnajú 1, ostatné 0
- *Diagonálna matica* – všetky jej diagonálne prvky sú rôzne od nuly, ostatné 0
- *Obdĺžniková matica* – počet riadkov m a stĺpcov n nie je rovný
- *Štvorcová matica* – počet riadkov m a stĺpcov n je rovný
- *Riadková matica* – obsahuje iba jeden riadok
- *Stĺpcová matica* – obsahuje iba jeden stĺpec
- *Transponovaná matica* – sa označuje $\mathbf{M^T}$ a vznikne zamenením riadkov za stĺpce
- *Inverzná matica* – sa označuje $\mathbf{M^{-1}}$ k matici **M**, ak platí $\mathbf{M} \times \mathbf{M}^{-1} = \mathbf{M}^{-1} \times \mathbf{M} = 1$
- *Opačná matica* – sa označuje -**M** k matici **M**, ak platí $\mathbf{M} + (-\mathbf{M}) = 0$

13.5.2 Rovnosť matíc

Dve matice **A** a **B** toho istého typu sú rovné, ak sa ich prvky na tých istých miestach i a j rovnajú t.j. ak $a_{ij} = b_{ij}$.

13.5.3 Súčet matíc

Majme dve matice **A** a **B** toho istého typu. Ich súčtom je matica **M**, ktorej prvky m_{ij} vzniknú súčtom prvkov matíc a_{ij} a b_{ij} na tých istých miestach i a j t.j. $m_{ij} = a_{ij} + b_{ij}$.
Sčítanie matíc je komutatívne (**A**+**B**=**B**+**A**) a asociatívne (**A**+(**B**+**C**) = (**A**+**B**)+**C**). Rozdiel matíc sa určí analogicky resp. pričítaním opačnej matice.

13.5.4 Súčin matíc

Majme dve matice **A** s rozmerom $m \times n$ a **B** s rozmerom $r \times s$. Tieto dve matice možno násobiť $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ v tomto poradí iba ak platí $n = r$. Výsledok násobenia je matica **M** s rozmerom $m \times s$. Prvok matice m_{ij} vznikne súčtom násobení prvkov i-teho riadku matice **A** a j-teho riadku matice **B**.

$$m_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \ldots + a_{in}b_{rj}$$

Násobenie matíc nie je komutatívne (**A**×**B** ≠ **B**×**A**) ale je asociatívne (**A**+(**B**+**C**) = (**A**+**B**)+**C**) a distributívne (**A**× (**B**+**C**) = (**A**×**B**)+(**A**×**C**)).

13.6 Komplexné čísla

Základný zápis komplexného čísla: $z = a + bi$
kde: a - je reálne číslo a predstavuje reálnu časť komplexného čísla
b - je reálne číslo a predstavuje imaginárnu časť
i – rýdzoimaginárna jednotka
ak $a \neq 0, b = 0$ potom komplexné číslo $z = a + bi = a$ je reálne číslo;
ak $a = 0, b \neq 0$ potom komplexné číslo $z = a + bi = bi$ je rýdzoimaginárne číslo.
Pre imaginárnu jednotku platí: $i^1 = i;\ i^2 = -1;\ i^3 = -i;\ i^4 = 1;$

Navzájom združené (opačné) komplexné čísla sú: $z = a + bi$ a $\bar{z} = a - bi$
Navzájom inverzné komplexné čísla sú: z a z^{-1}

Modul (absolútna hodnota, veľkosť) komplexného čísla: $r = |z| = |a + bi| = \sqrt{a^2 + b^2}$

13.6.1 Sčítanie a odčítanie komplexných čísel

Majme dve komplexné čísla z_1 a z_2, potom pre sčítanie resp. odčítanie týchto komplexných čísel platí:
$z_1 \pm z_2 = (a_1 \pm a_2) + (b_1 \pm b_2)i$
$z + \bar{z} = a + bi + a - bi = 2a$

13.6.2 Násobenie a delenie komplexných čísel

Majme dve komplexné čísla z_1 a z_2, potom pre násobenie resp. delenie týchto komplexných čísel platí:

$z_1 \cdot z_2 = (a_1 a_2 - b_1 b_2) + (a_1 b_2 + b_1 a_2)i$
$z \cdot \bar{z} = (a + bi) \cdot (a - bi) = a^2 + b^2$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{z_1 \cdot \bar{z_2}}{z_2 \cdot \bar{z_2}} = \frac{(a_1 a_2 + b_1 b_2)}{a_2^2 + b_2^2} + \frac{(a_2 b_1 - a_1 b_2)}{a_2^2 + b_2^2} i$$

Branislav Sobota

Počítačová Grafika

Podklady k prednáškam ‘24

1. vydanie
náklad: 100 ks
454 strán

Technická Univerzita v Košiciach
2024