

SYSTÉMY VIRTUÁLNEJ REALITY

PREDMET

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 00

© 2026

CIEĽ PREDMETU

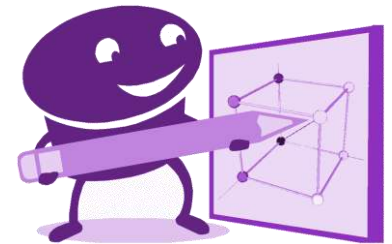
Predmet je zameraný na problematiku virtuálnej reality a jej technológií. Nadväzuje na predmety Počítačová grafika, Vývoj počítačových hier, Používateľské rozhrania a používateľský zážitok.

Cieľom je získať poznatky o princípoch práce virtuálno-reality systémov s tým, že v niektorých kapitolách je venovaná pozornosť aj odvodeniam jednotlivých algoritmov prípadne iným princípom základom, na ktorých virtuálna realita stavia.



PEDAGÓGOVIA

- doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.
branislav.sobota@tuke.sk
- Ing. Timotej Sobota
timotej.sobota@tuke.sk



OBSAH PREDMETU

Obsahom predmetu sú poznatky so zameraním na virtuálnu realitu a jej technológie, 3D počítačovú grafiku a pokročilé prostriedky rozhraní HCI. Predmet primárne preferuje najmä vizualizačné techniky vo väzbe na definíciu a formalizáciu virtuálneho priestoru vrátane transformácií s virtuálnymi objektami. Z hľadiska modelovania budú ozrejmené vyššie techniky modelovania na báze NURBS a transformácií na báze quaterniónov. Vo väzbe na tieto záležitosti sú tu prebraté techniky realistického zobrazovania virtuálnych scén a stereoskopie, riešenie kolízií a modelovania osob a prírodných objektov a javov. Získané budú tak vedomosti o celom virtualizačnom reťazci.

OBSAH PREDMETU

- Úvod do predmetu, virtuálna realita, zmiešaná realita, technológie
- X-realita a kolaboratívne virtuálne systémy
- Koncepce, navrhovanie a implementácia virtuálno-realitných systémov
- Vizualizácia, vykresľovanie, vizualizačné jadrá a grafické architektúry, GPGPU
- Virtuálny priestor a transformácie, VRML
- Rotačné transformácie a quaternióny
- Priestorové zobrazovanie a stereoskopia
- Modelovacie techniky používané vo VR
- Riešenie kolízií
- Modelovanie a vizualizácia osôb, prírodných javov a útvarov



OKRUHY CVIČENÍ

- Virtualizácia, modelovanie, tvorba obsahu
- Pokročilé modelovanie a skriptovanie Unity/Blender
- Stereoskopia
- Exkurzie
- Vypracovávanie/konzultácia/ odovzdávanie zadaní

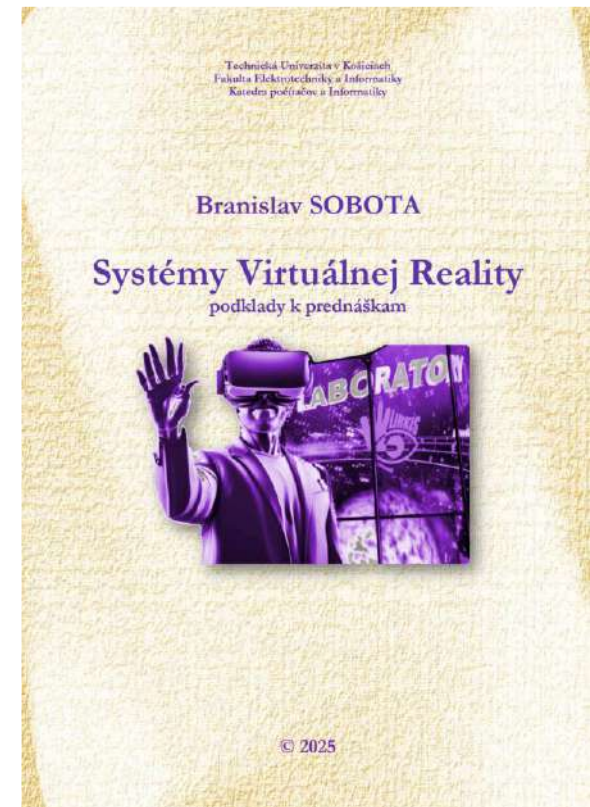
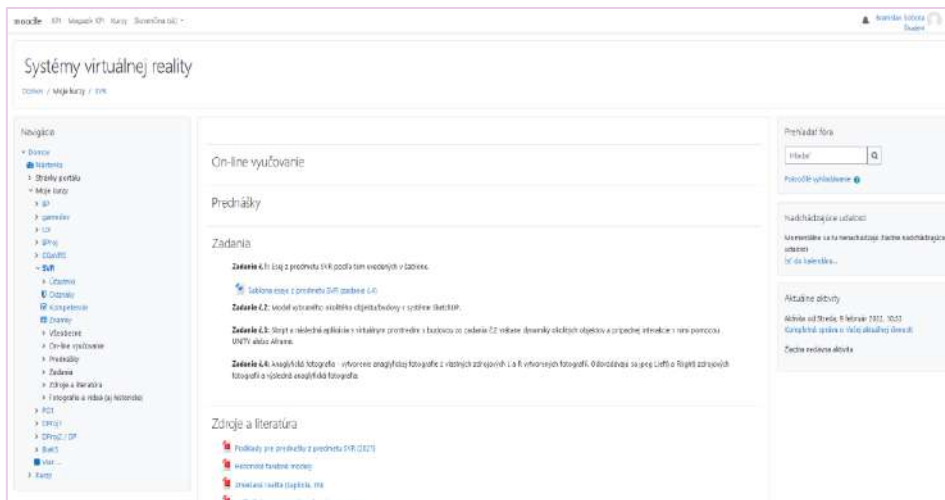


ZÁPOČET A SKÚŠKA

- **Zápočet:** Študent prospeje v PH a získa zápočet, keď splní podmienku získať min. 21b z 40b. Zároveň vypracuje minimálne 3 zadania (2 x a, 1 x b) z:
 - (a) vypracovanie eseje z oblasti VR a jej technológií
 - (b) vymodelovanie virtuálneho objektu na základe reálneho objektu
 - (b) skriptovanie dynamiky virtuálneho objektu/objektov vo vývojovom prostredí vrátane dynamiky kamery
 - (a) vytvorenie anaglyfickej fotografie
 - aktívna účasť na výuke
- **Skúška:** Študent prospeje v ZH a úspešne vykoná skúšku, keď splní podmienku získať nadpolovičnú väčšinu z oboch foriem (min. 31b z 60b spolu)
 - Forma skúšky: písomná a ústna
 - Skúška: vypracovanie všetkých hore-spomenutých zadaní + ústna forma.
- **Celkové hodnotenie:** CH je suma hodnotení získaných študentom za hodnotené obdobie. Celkový výsledok sa stanoví v súlade s vnútornými predpismi TUKE. (študijný poriadok)

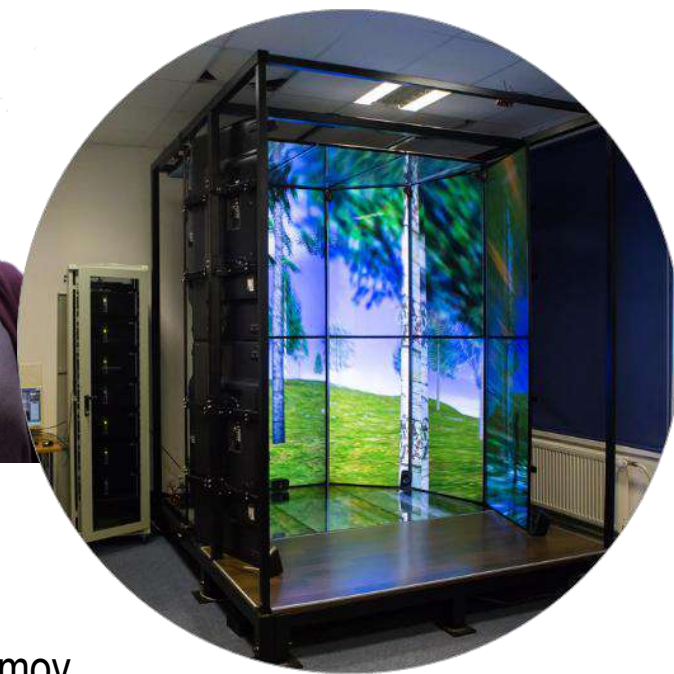
ODPORÚČANÉ ZDROJE

- Sobota Branislav : **Systémy virtuálnej reality – podklady k prednáškam**; 1. vyd - Košice : TU - 2025. - 474 s.. - ISBN 978-80-553-4857-5.
- <https://moodle.fei.tuke.sk>
 - Systémy Virtuálnej Reality (svr)



LABORATÓRIUM LIRKIS V PREDMETE

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

Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

VIRTUÁLNA REALITA

HISTÓRIA, POJMY, SÚVISLOSTI

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 01

© 2026

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



VIRTUÁLNA REALITA

ZÁKLADNÉ ATRIBÚTY

Základné atribúty VR:

- **Imerzia** – pohltenie používateľa resp. jeho pocit pohltenia, vnímanie prostredia emocionálne (Imerzia $\neq$ komfort používateľa)
- **Percepcia** – prítomnosť používateľa v prostredí, vnímanie prostredia dimensionálne a
- **Interakcia** – komunikácia s prostredím



VIRTUÁLNA REALITA

ĽUDSKÉ LIMITY

- **Potreba adaptácie používateľa**
 - rozdiely medzi používateľmi
 - nutnosť tréningu a postupnej adaptácie
- **Fyzické limity**
 - únava pohybového aparátu
 - obmedzenia priestoru a ergonómie zariadení
- **Kybernetická nevoľnosť** (cyber-sickness, motion-sickness)
 - nesúlad medzi zrakovým vnímaním a vestibulárnym aparátom
 - nevoľnosť, dezorientácia, únava, bolesti hlavy
- **Kognitívna a senzorická záťaž**
 - preťaženie zmyslov
 - znížená schopnosť dlhodobej koncentrácie



HISTORICKÉ SÚVISLOSTI

Totálna simulácia

Trenažér torpédového bombardéra (Crail, Škótsko, VB, 1940)



www.iwm.org.uk



kruhová projekcia



HISTORICKÉ SÚVISLOSTI



Telespheremask
(Morton L. Heilig
1960)



statická HMD
(I. Shutherland 1963)

Sensorama (Morton L. Heilig)



motocyklovanie Brooklynom

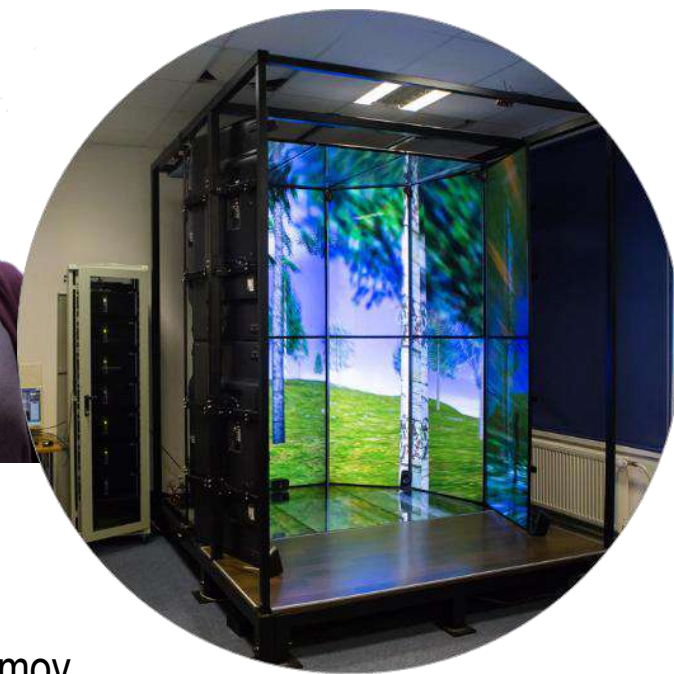
HISTORICKÉ SÚVISLOSTI - OSOBNOSTI



Morton L. Heilig, Ivan Sutherland, Ronald T. Azuma, Jaron Lanier, Nadja M. Thalmann

KPI A VR - LABORATÓRIUM LIRKIS

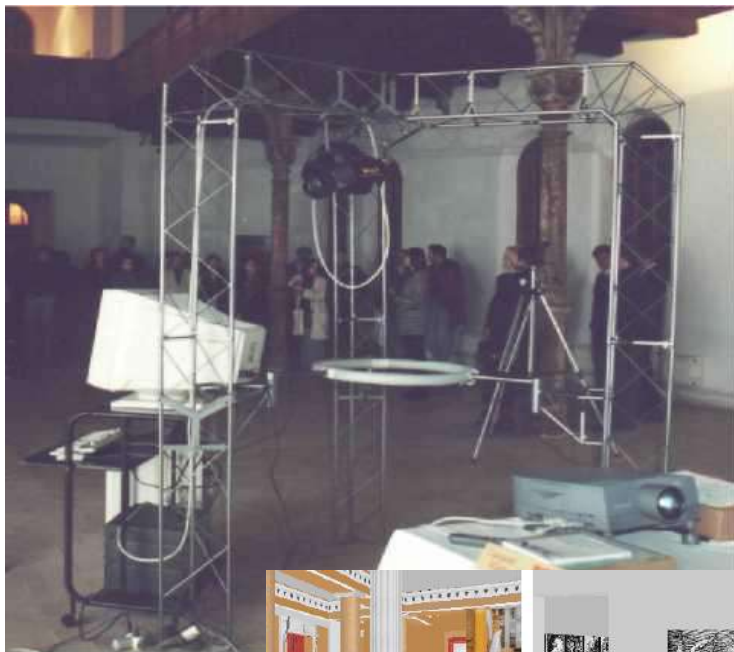
Unikátne pracovisko na výskum a vývoj nových flexibilných a inteligentných rozhraní systémov na báze počítačovej grafiky a technológií virtuálnej reality



Laboratórium LIRKIS

Laboratórium Inteligentných Rozhraní
Komunikačných a Informačných Systémov
KPI FEI TU Košice

KPI A VR - HISTORICKÉ SÚVISLOSTI

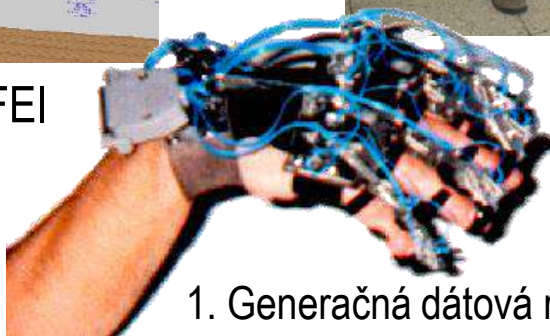


Pracovisko VR 1. generácie (KPI FEI TU Košice)

Pracovisko VR 2. generácie (KPI FEI TU Košice)

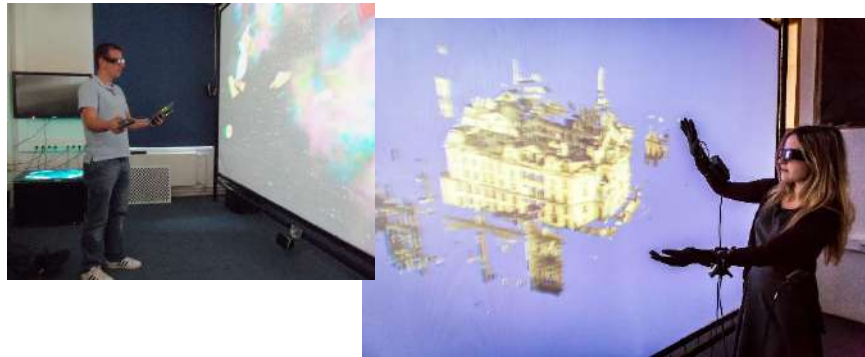


(zdroj KPI FEI TU Košice)

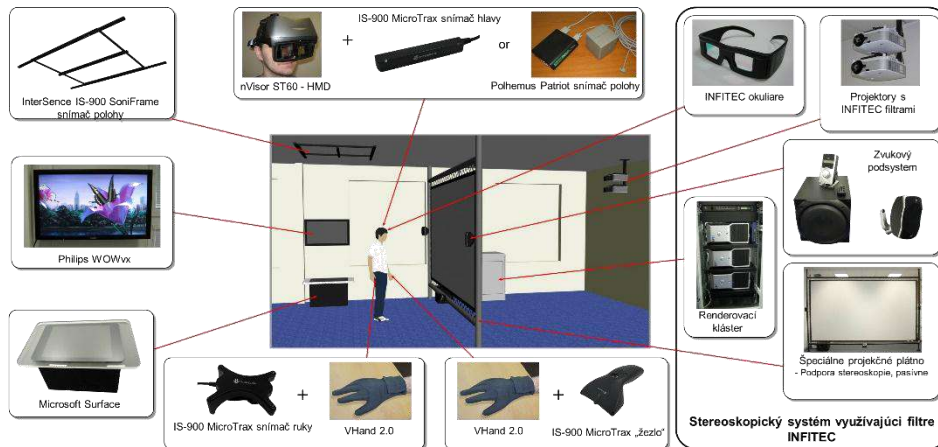


1. Generačná dátová rukavica (KPI FEI TU Košice)

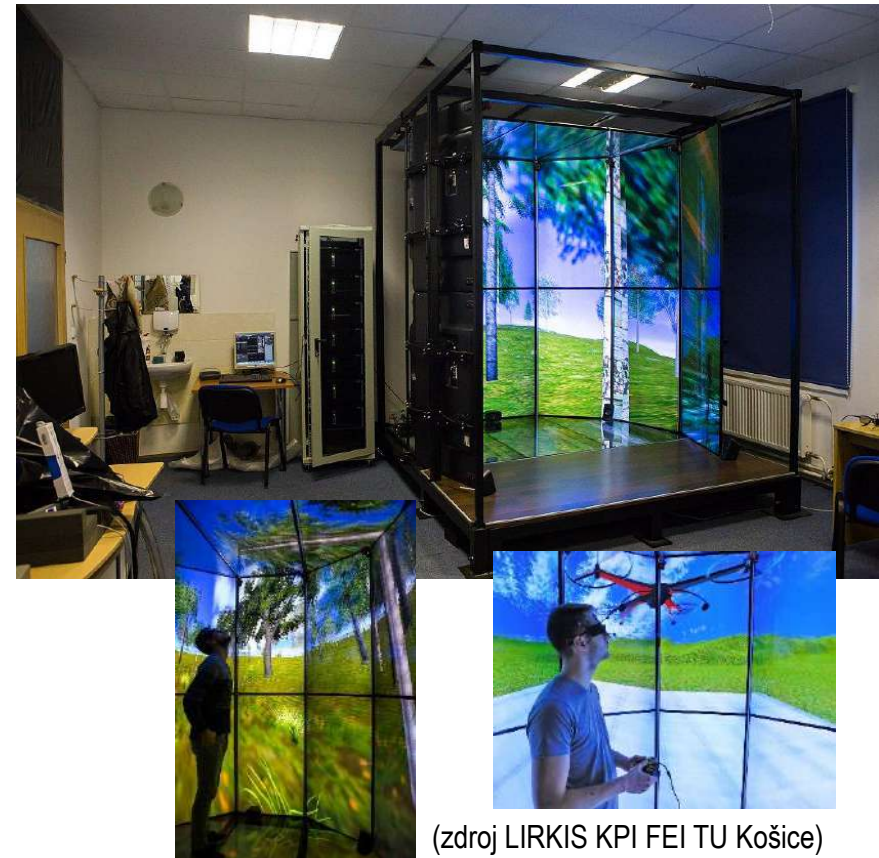
KPI A VR - HISTORICKÉ SÚVISLOSTI A SÚČASNOSŤ



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



Pracovisko VR 3. generácie (KPI FEI TU Košice)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

POUŽÍVANÉ POJMY (AJ HIST.)

- Virtual reality
- Fuzzy reality
- Mixed reality (augmented)
- Shared (Collaborative) reality
- eXtended Reality – Cross-Reality (XR, Virtual+Augmented+Mixed=eXtended) zjednotená aplikačná platforma
- Hyper reality (kombinácia VR, MR, AR, technolgicky, vrátane fyzickej kombinácie)

- Cyberspace
- Pozorovateľ, cybernaut
- Avatar (zástupca pozorovateľa vo virtuálnom prostredí)

- HCI – Human Computer Interaction
Interakcia človeka s počítačom sa zaoberá návrhom, vyhodnotením a realizovaním interaktívnych výpočtových systémov pre použitie človekom a štúdiom hlavných javov, ktoré ich obklopujú.



RELEVANTNÉ TECHNOLOGIE

- Telerobotika
- Teleprezencia (t.j. účasť na vzdialenom deji)
- Teleriadenie (napr. forma virtuálnej výuky, forma virtuálnej konštrukčnej kancelárie alebo forma komunikácie v rámci technológie digitálnych dvojčiat)
- Virtualizovaná realita (virtualised reality, VdR, iba na báze reality)
- Zmiešaná realita (mixed reality, MR)
- Obohatená realita (enriched reality, ER)
- Rozšírená realita (augmented reality, AR)
- Rozšírená virtualita (augmented virtuality, AV)
- Zdieľaná (kolaboratívna) realita (SVR/CVR)
- Metaverzum (Metaverse)



AVATAR



z Avatára(sanskrit)

inkarnácia naj/vyššej bytosti
(boha) na Zemi



AVATAR

Psycho-morfologická štruktúra reprezentujúca používateľa vo virtuálnom svete

Základné vlastnosti avatara:

- Morfologicko-vizuálne
- Schopnosti/možnosti vo virtuálnom svete
- Limity vo virtuálnom svete
- Implementačná štruktúra

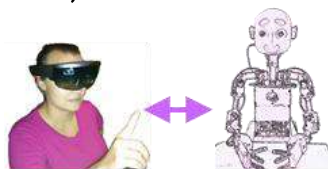


KONCEPT IMPLEMENTÁCIE AVATARA

PRÍKLAD

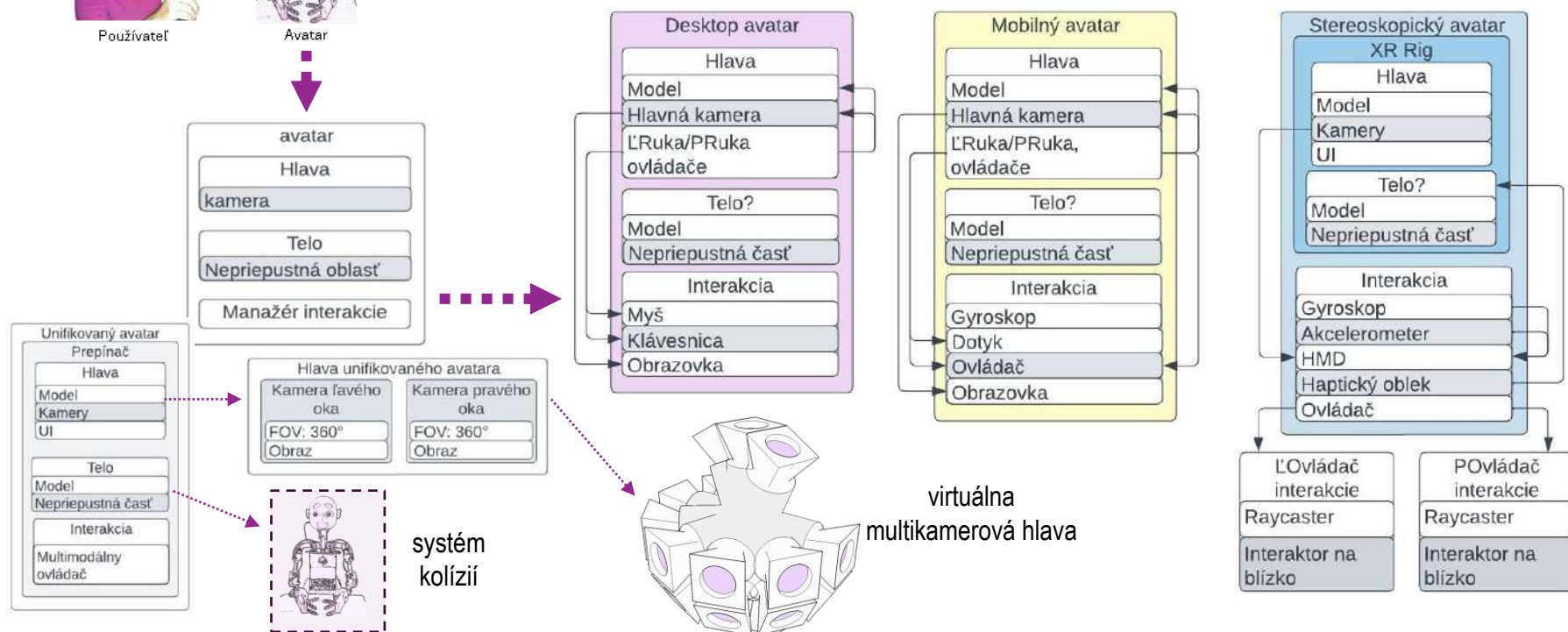
Avatar podľa systému:

- VR avatar
- AR, MR avatar



Avatar podľa vizualizačnej platformy:

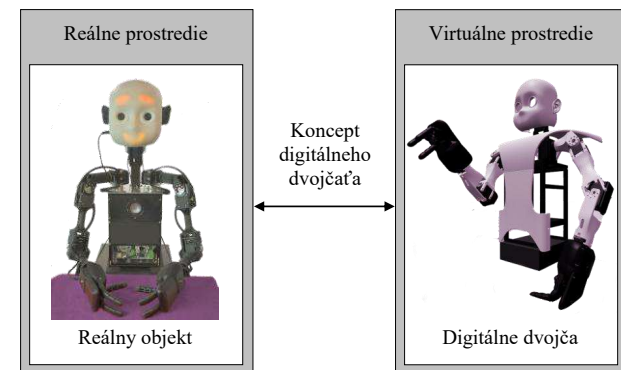
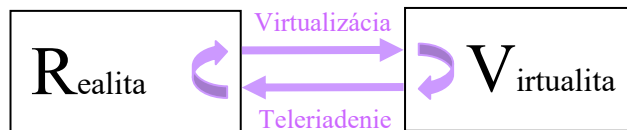
- desktop (monoskopický) avatar
- mobilný avatar
- stereoskopický (HMD) avatar
- iný (napr. multidisplejový, CAVE)



AVATAR

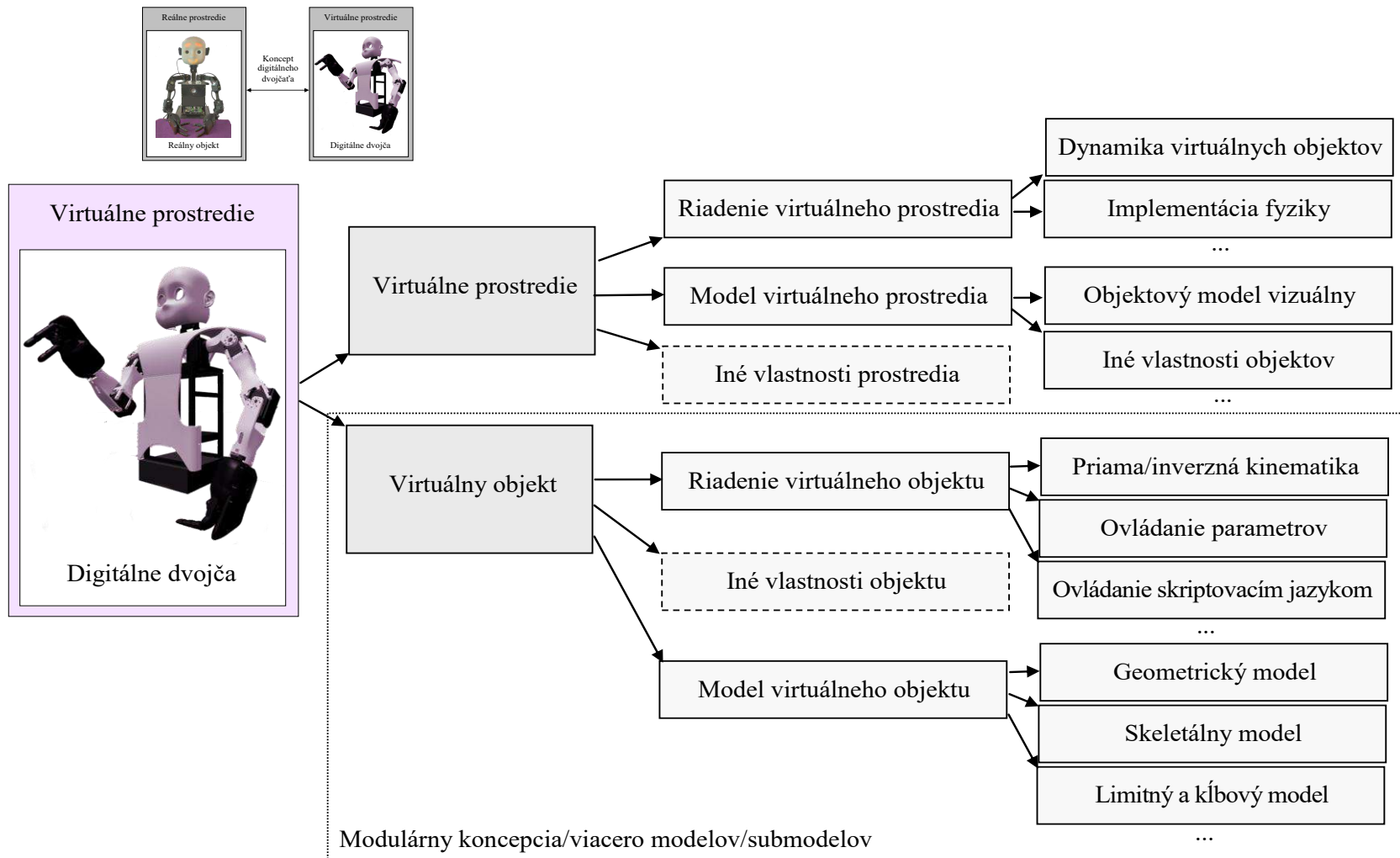
A KONCEPT DIGITÁLNEHO DVOJČAĽA (DIGITAL TWIN)

Digitálne dvojča (*Digital twin*, (1991) David Gelernter, kniha *Mirror World*, (2002) Michael Grieves – koncept využitia v priemyselnej výrobe v súvislosti s Industry 4.0) je riešenie založené na zbere dát z (výrobných) procesov, ich vyhodnocovaní a následnom optimalizovaní s využitím aj technológií VR/XR. V princípe sa jedná o sofistikovaného avatara výrobku/procesu s orientáciou na virtualizáciu výrobného procesu ale aj v urbanistickom plánovaní a stavebníctve, zdravotníctve či v automobilovom priemysle. Úlohou digitálneho dvojčata je (nie len ale aj) simulovať daný výrobok/proces v digitálnej forme a relatívne rýchlo, exaktne a človeku prijateľne prezentovať napríklad celkový 3D model výrobku/procesu (aj z rôznych pohľadov) prípadne usporiadať resp. optimalizovať poradie výrobkov/zákaziek tak, aby výroba vzhľadom na aktuálny stav resp. plán vyprodukovala čo najviac výrobkov alebo ich vyprodukovala čo najrýchlejšie či najlacnejšie



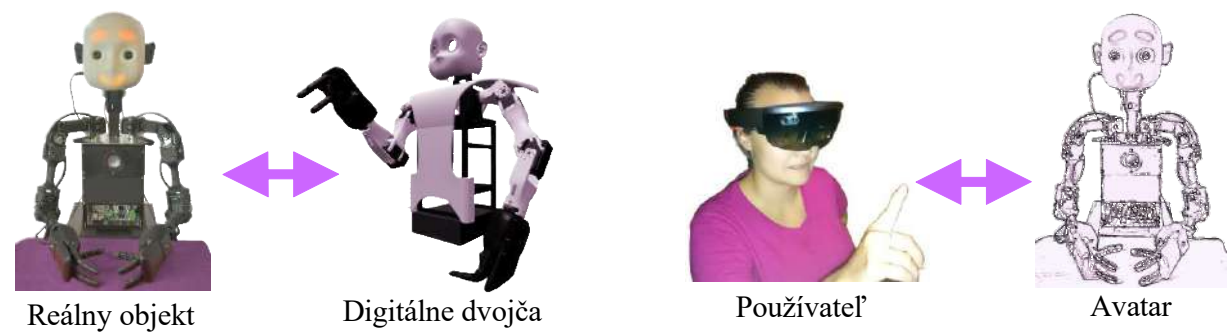
KONCEPT DIGITÁLNEHO DVOJČAĽA

PRÍKLAD



AVATAR VS. DIGITÁLNE DVOJČA

- áno/musí
- môže/nemusí
- nie/nemusí
- neaplikovateľné/
/nerelevantné



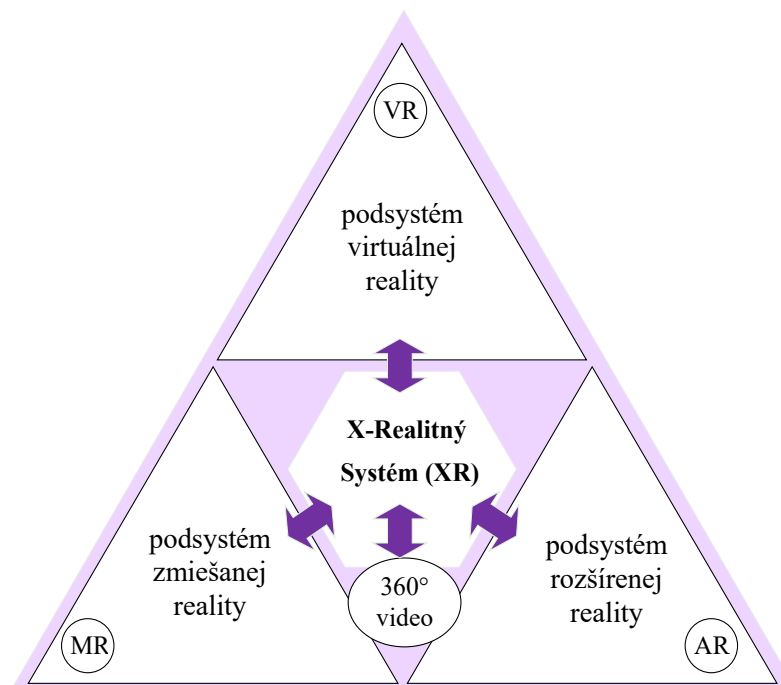
- Morfológia
- Vizualizácia
- Schopnosti
- Možnosti
- Limity/obmedzenia
- Spätná väzba
- Implementácia

vizuálna vždy

X-REALITNÝ SYSTÉM (XR)

V skutočnosti je definícia X-Reality (XR) komplikovaná vzhľadom na jej terminológiu v slovenskom a anglickom jazyku.

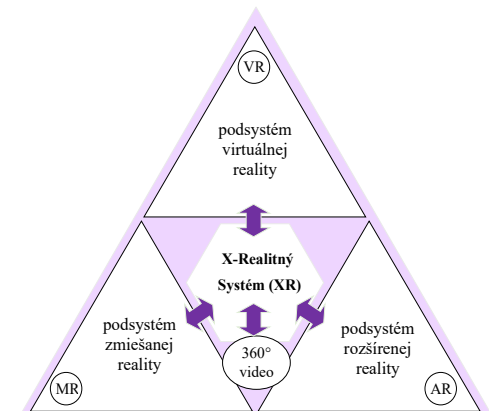
X-Realita predstavuje inovatívnu oblasť, aplikačnú platformu, ktorej účelom je zjednotiť technológie VR, AR a MR na aplikačnej úrovni.



X-REALITNÝ SYSTÉM (XR)

Tri základne zložky:

- *virtuálna realita (VR, virtual reality),*
- *augmentovaná (rozšírená, obohatená) realita (AR, augmented reality) a*
- *zmiešaná realita (MR, mixed reality).*
- voliteľne *prvky 360^a videa (tzv. bodová VR).*



Všetky zložky zdieľajú rovnaký koncept zahrnutia virtuálnych/syntetických objektov/prvkov do reality:

- či už v podobe plne virtuálneho priestoru (napr. virtuálne okuliare (HMD)) – **VR**,
- v podobe premietania virtuálnych prvkov a reality pomocou média (napríklad pomocou kamery) – **AR** a napokon
- v podobe vnímania reality vlastnými očami, kde sa virtuálne prvky projektujú napr. na transparentné displeje alebo inými výstupnými efektmi (Hologramy, okuliare MS Hololens) – **MR**.

vrátane podpory multimodálnosti vstupno/výstupných zariadení.

Poznámka: štandardizovane dnes zastrešené pod OpenXR (Kronos Group), <https://www.khronos.org/openxr/>

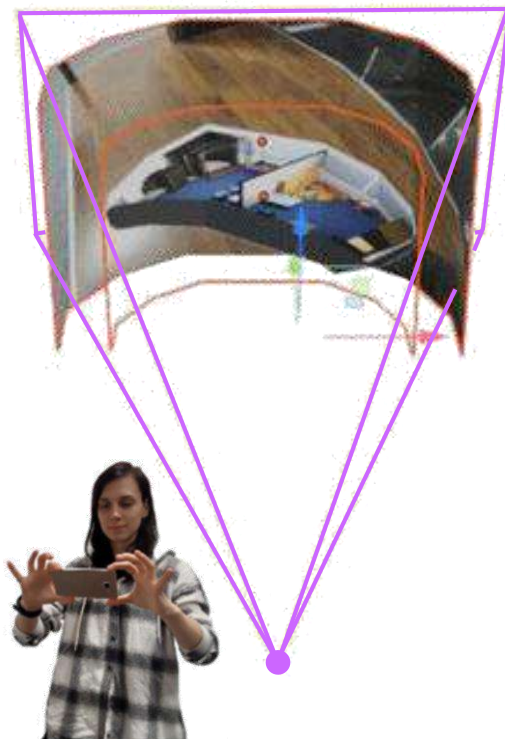
X-REALITNÝ SYSTÉM (XR)

PROJEKCIA VIRTUÁLNEHO PROSTREDIA PRE KAMERY XR PODSYSTÉMOV

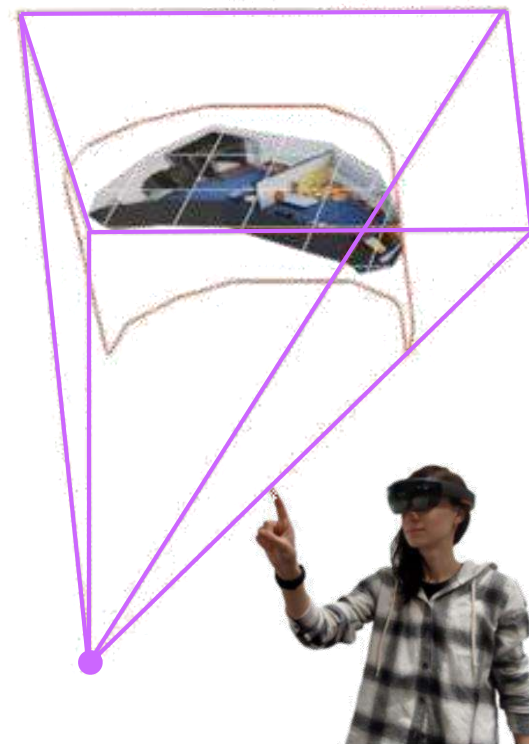
VR



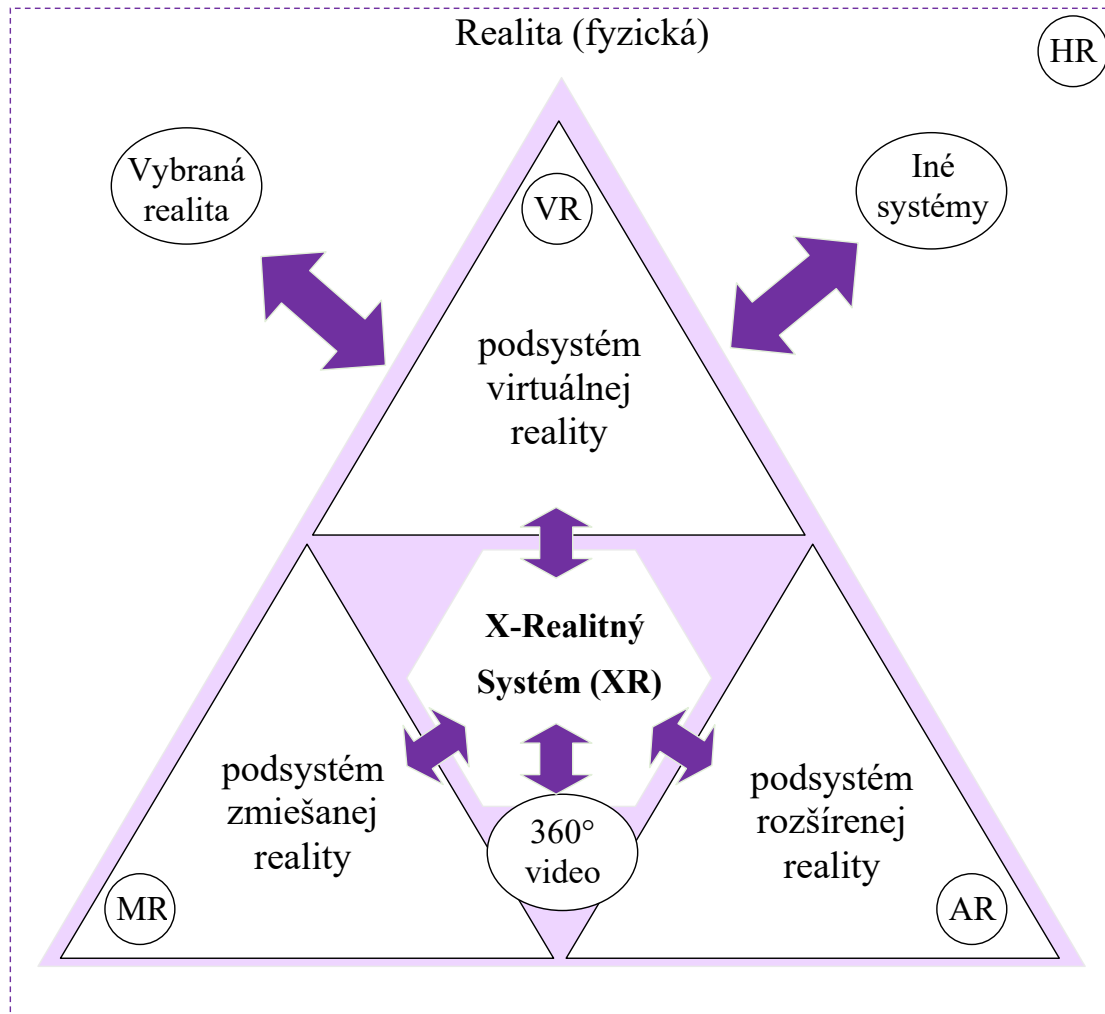
AR



MR



HYPER-REALITNÝ SYSTÉM (HR, XR)



Používateľ s datovou prilbou s transparentnými displejmi v prostredí virtuálnej jaskyne (LIRKIS KPI FEI TU Košice)

METAVERZUM (METAVERSE)

Idea novej verzie internetu *Web 3.0* založená na vrstvených 3D zobrazeniach a *blockchain* technológií (najmä kvôli lepšej kontrole používateľov nad svojim digitálnym vlastníctvom) s použitím najmä headsetov pre XR (rozšírenie HR).

- *Metaverzum* definuje prepojená sieť virtuálnych 3D svetov.
- *Metaverzum* vytvára priestor pre stretávanie sa, hranie sa, digitálne umenie, dizajn ale aj architektúru či marketing.
- *Metaverzum* môže byť v blízkej budúcnosti univerzálna platforma pre zdieľanú/kolaboratívnu realitu a jeho používanie môže byť častejšie a imersívnejšie ako súčasné komunikačné nástroje.



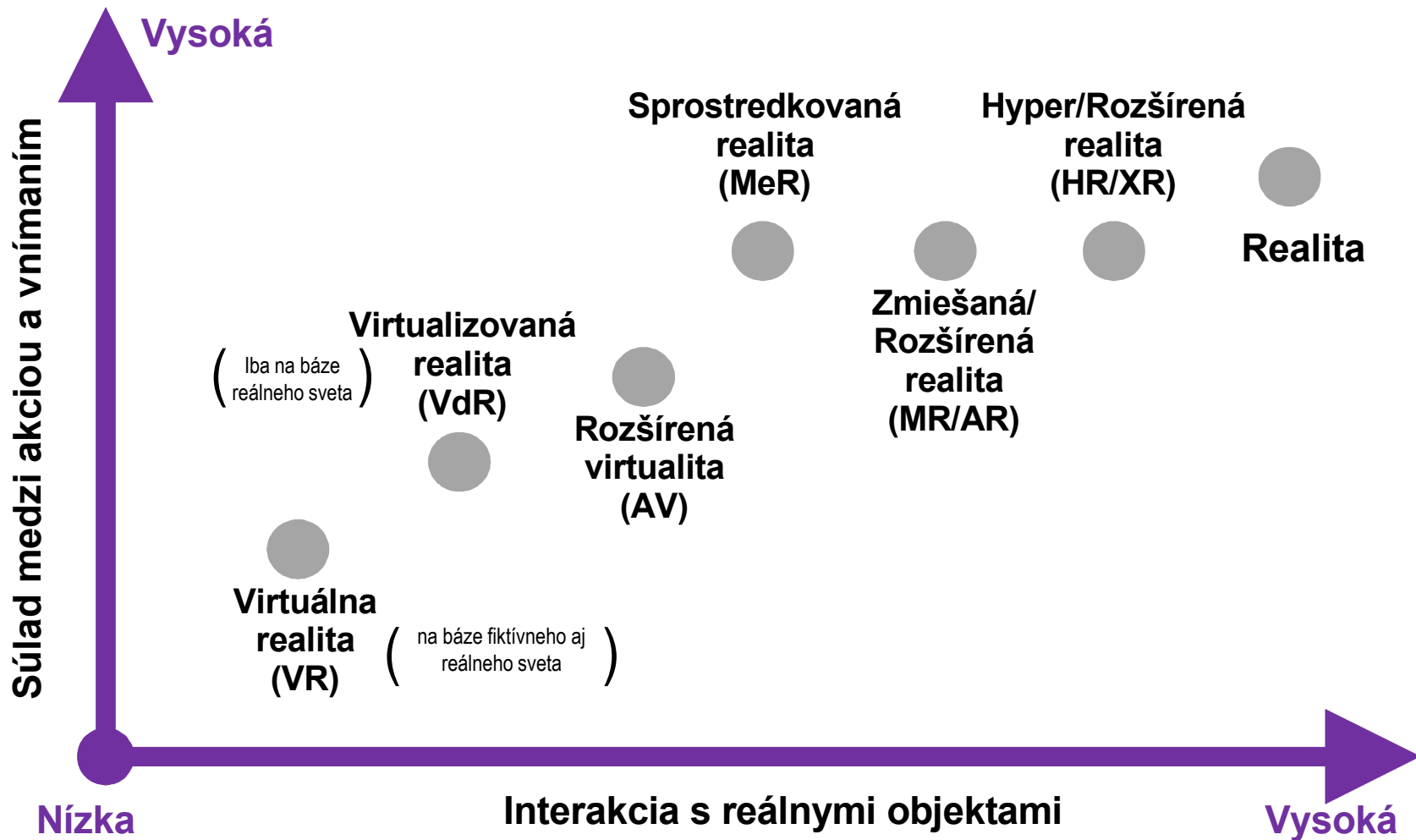
<https://about.meta.com/metaverse/>

METAVERZUM (METAVERSE)

BEZPEČNOSTNÉ A ETICKÉ ASPEKTY

- *Zber citlivých dát*
 - pohyb tela, gestá, hlas, biometrické údaje
 - behaviorálne a emočné reakcie používateľa
- *Súkromie a vlastníctvo dát*
 - otázka vlastníka virtuálnych dát/objektov
 - ukladanie a prenos dát v cloudových systémoch
- *Psychologický vplyv*
 - dlhodobé používanie imerzívnych systémov
 - zníženie hranice medzi realitou a virtualitou
- *Bezpečnosť používateľa*
 - fyzické riziká v reálnom priestore
 - potreba ochranných zón a bezpečnostných mechanizmov

KLASIFIKÁCIA V POROVNANÍ MEDZI AKCIOU A VNÍMANÍM VOČI ÚROVNI INTERAKCIE



KATEGORIZÁCIA XR SYSTÉMOV

Podľa úrovne V/V prvkov

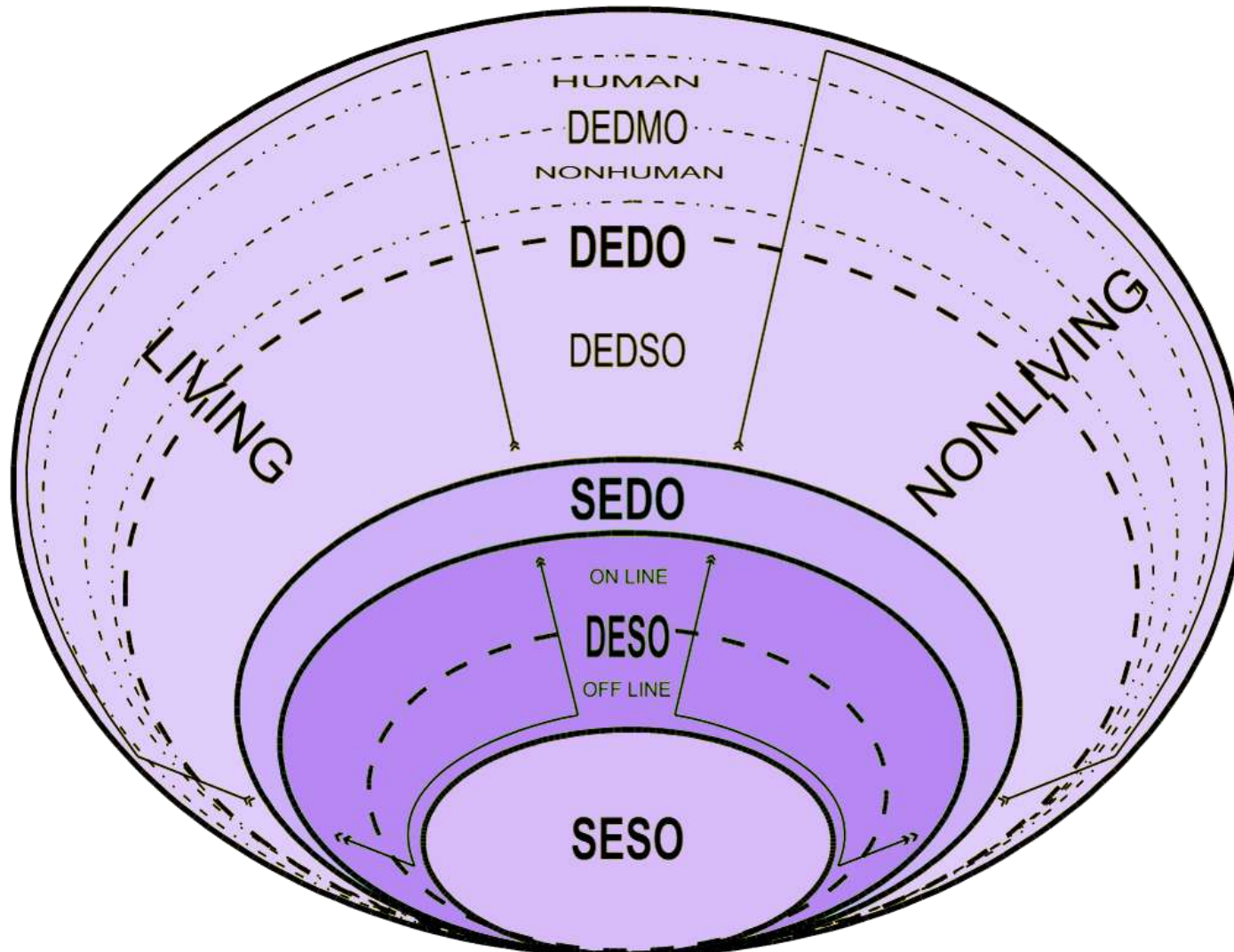
- Entry XR (VR)
- Basic XR (VR)
- Medium XR (VR)
- Immersive XR (VR)

Podľa dynamiky prostredia a pozorovateľa

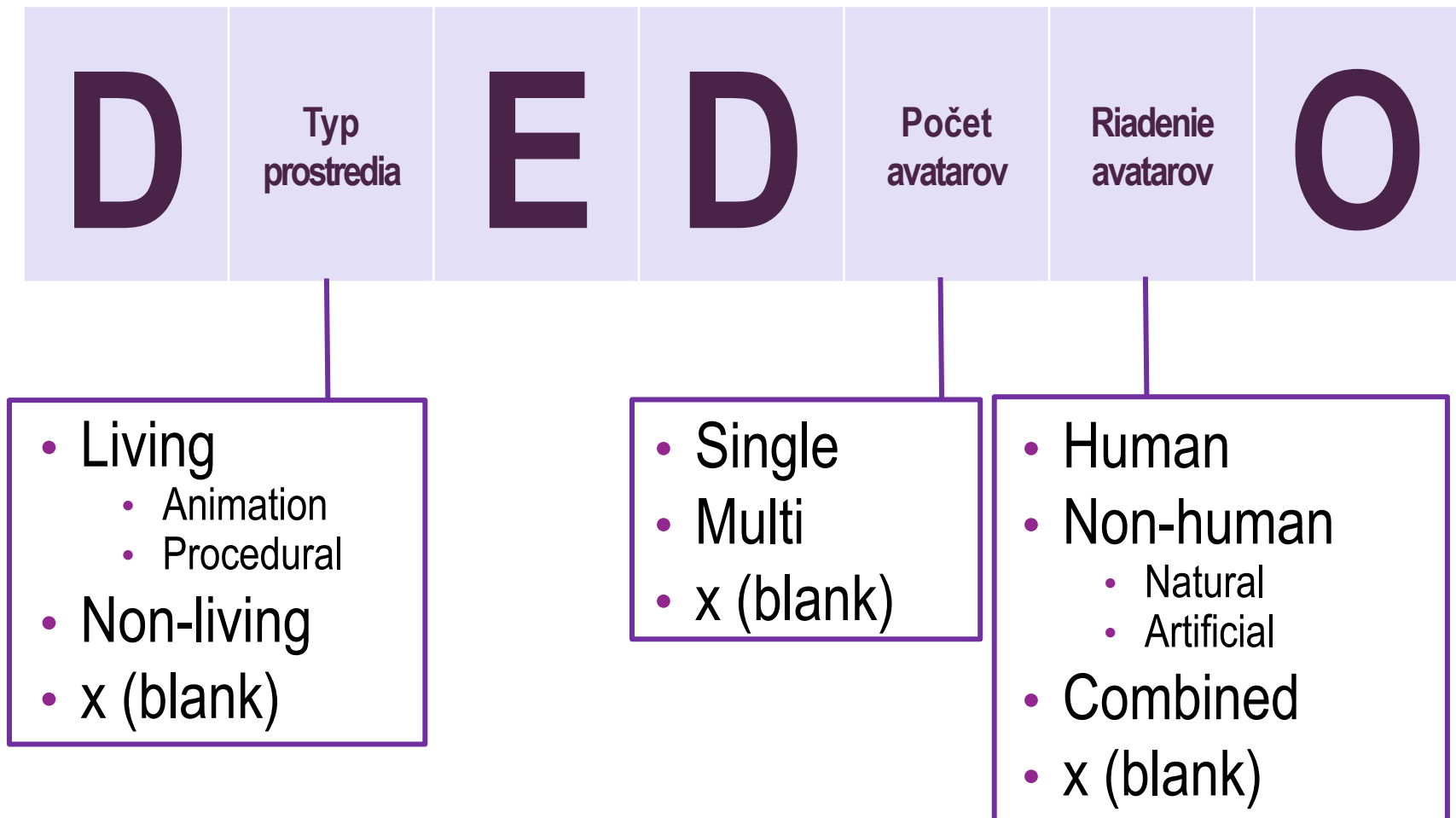
- SESO – Static Environment Static Observer
- DESO – Dynamic Environment Static Observer
- SEDO – Static Environment Dynamic Observer
- DEDO – Dynamic Environment Dynamic Observer

KATEGORIZÁCIA XR SYSTÉMOV

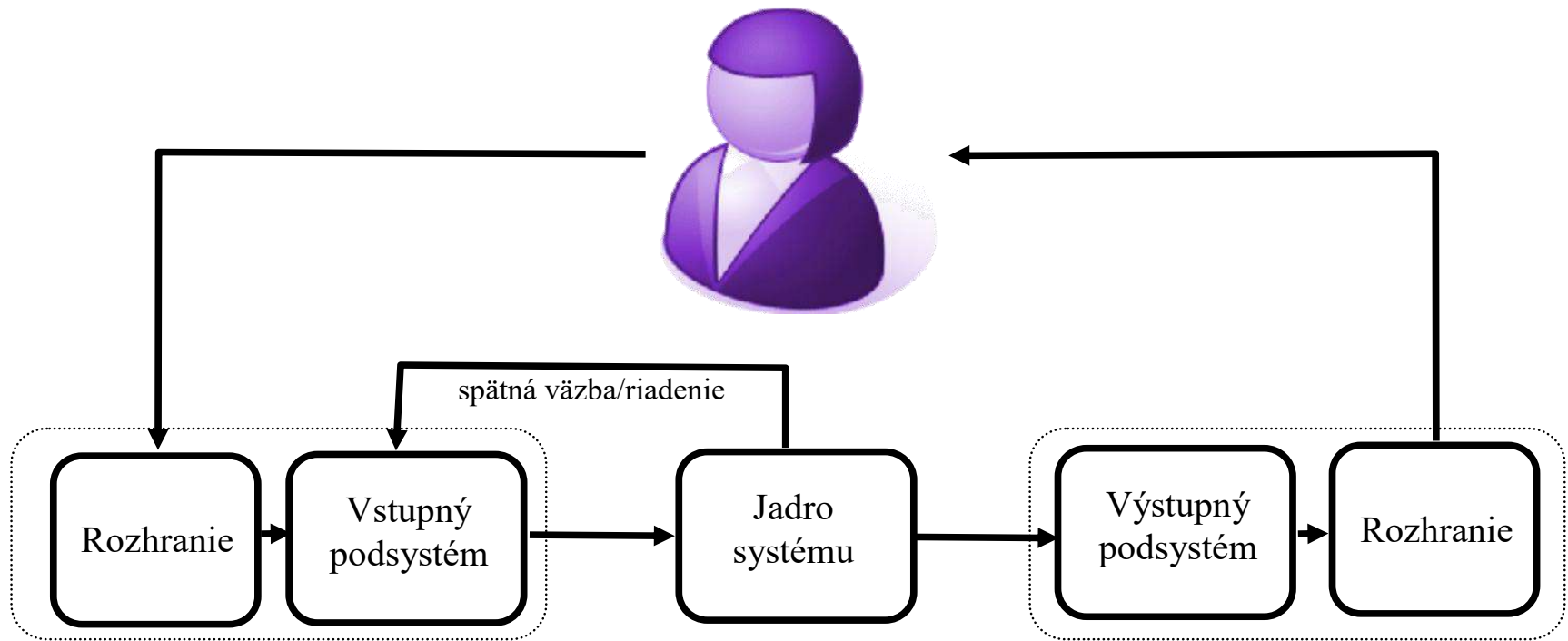
PODĽA DYNAMIKY PROSTREDIA A POZOROVATEĽA



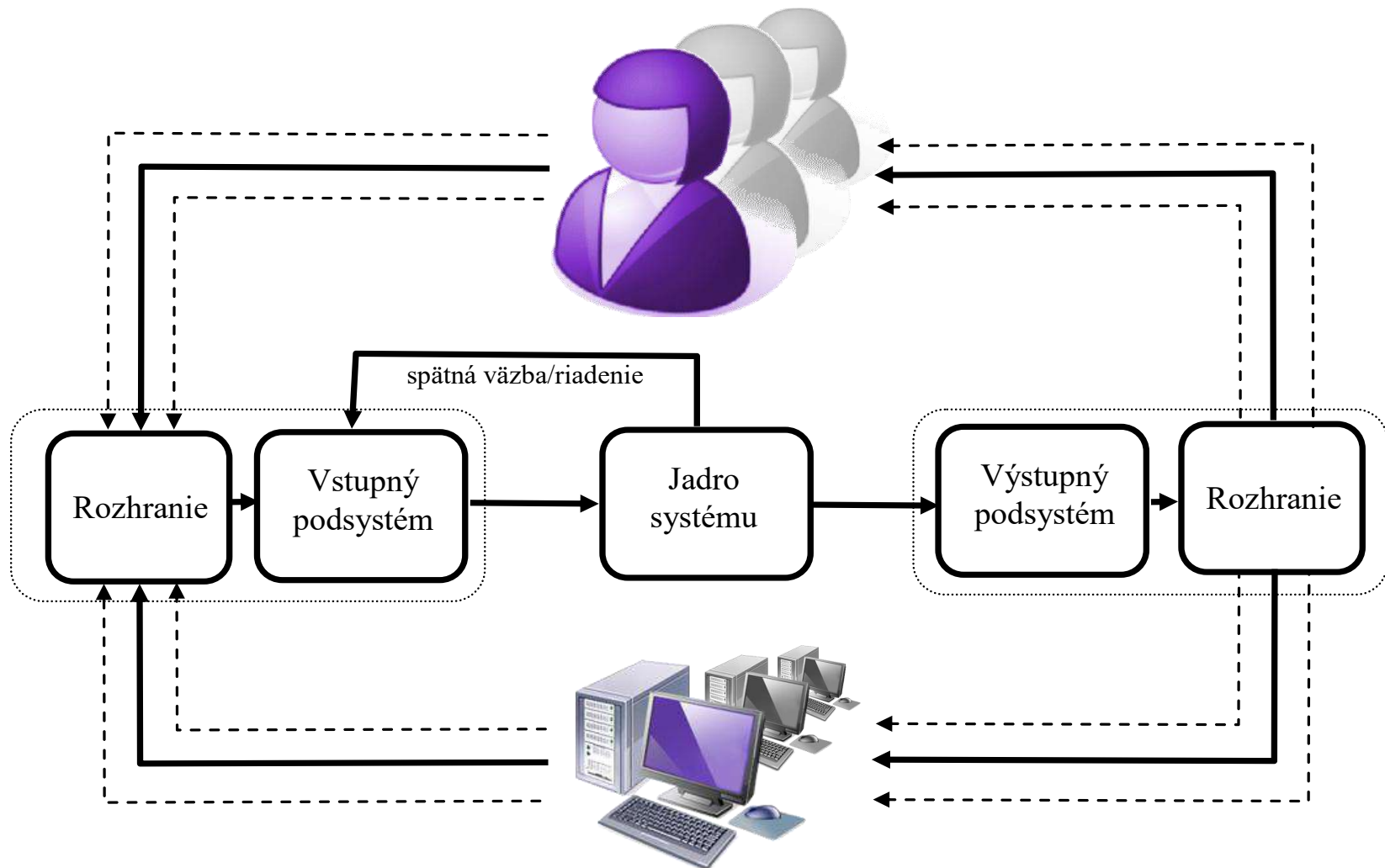
KATEGORIZÁCIA DEDO XR SYSTÉMOV



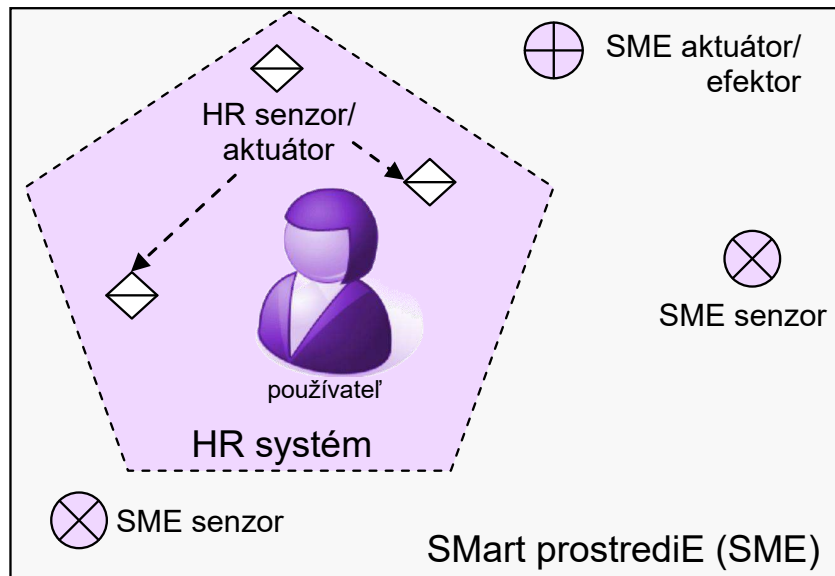
SYSTÉM INTERAKCIE XR SYSTÉMU (DEDSHO)



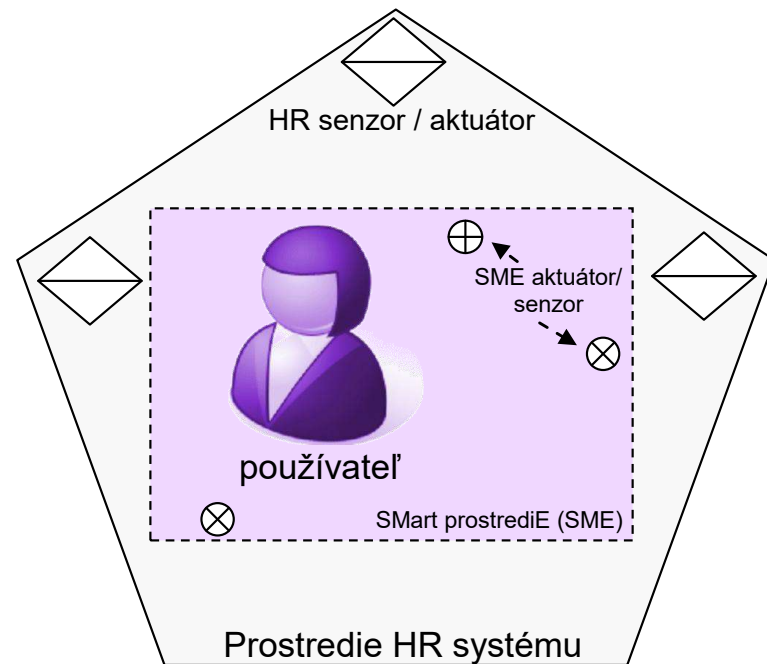
SYSTEM INTERAKCIE XR SYSTÉMU (DEDMNO)



HYPER-REALITNÝ SYSTÉM A SMART PROSTREDIE



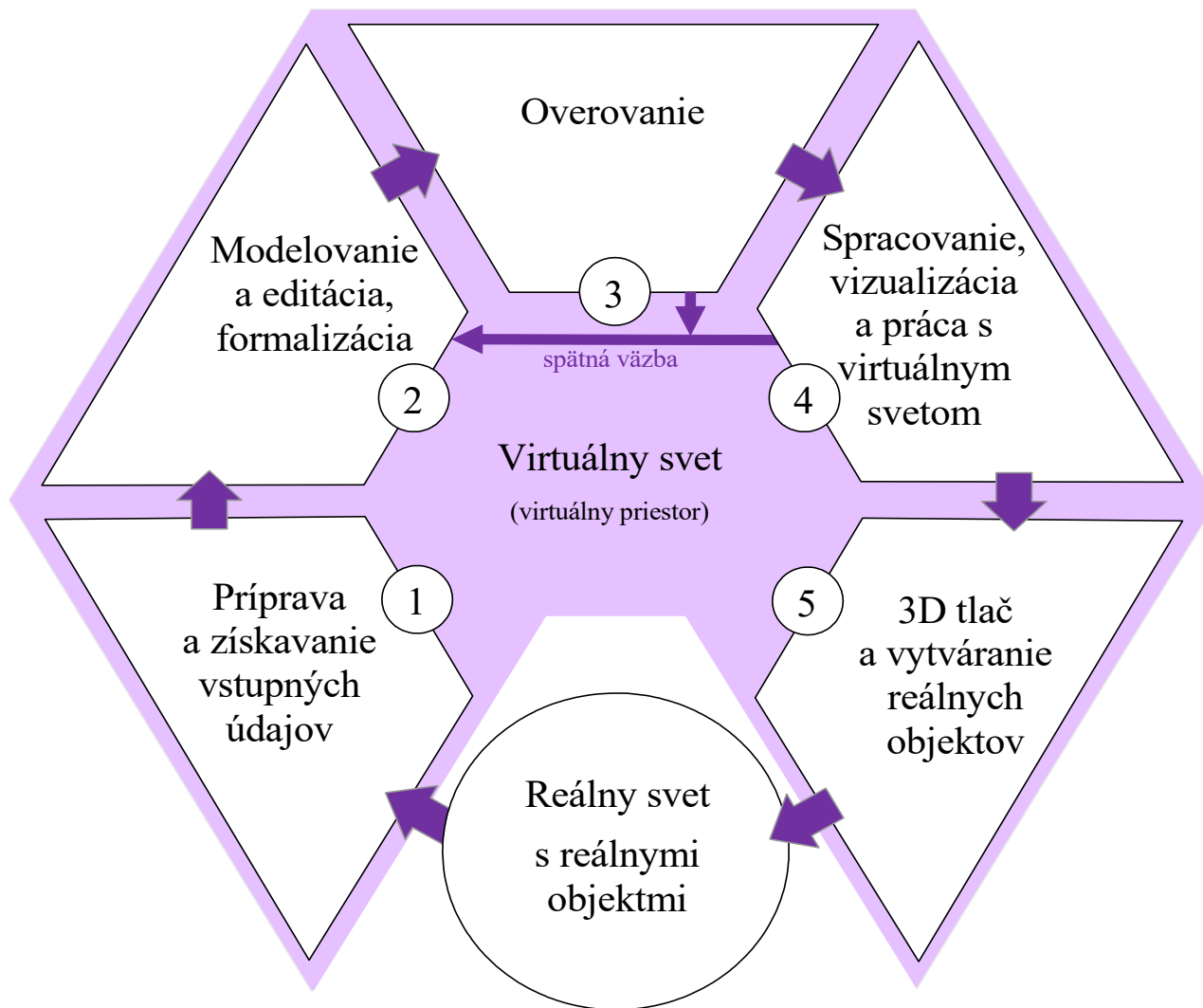
Konceptuálny model:
SME master – HR slave



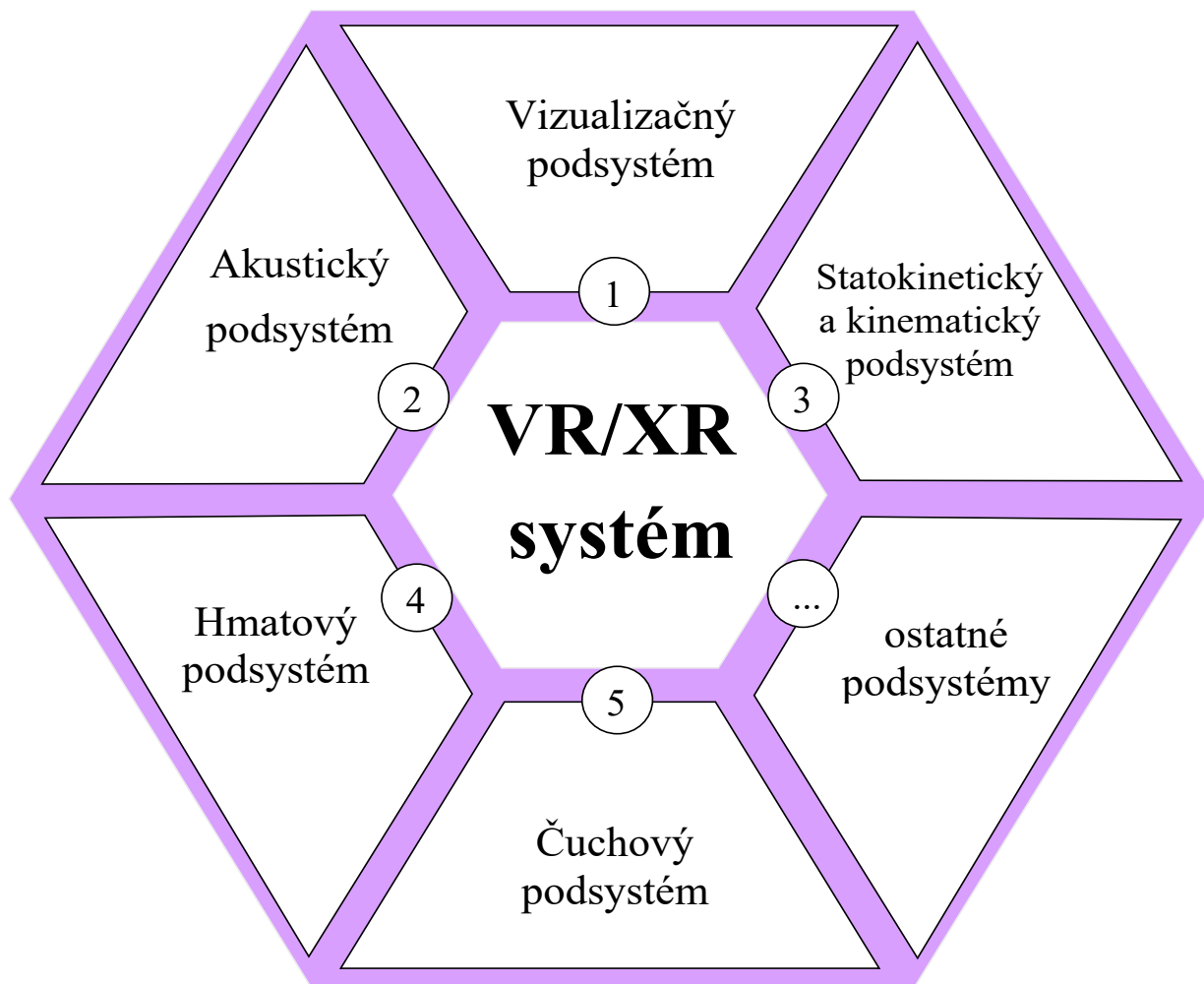
Konceptuálny model:
HR master – SME slave

PROCES TVORBY VIRTUÁLNEJ SCÉNY

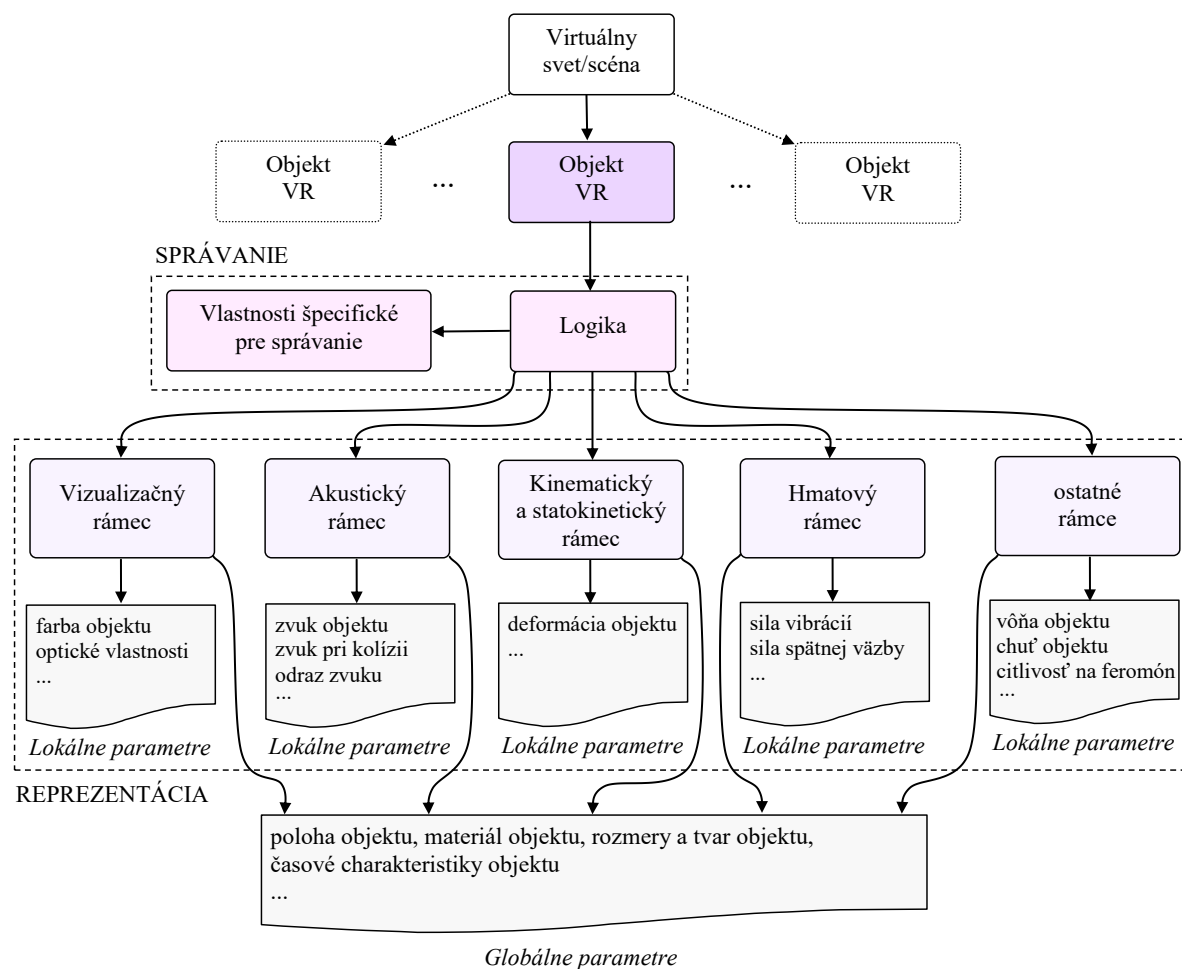
VIRTUALIZAČNÝ REŤAZEC



PODSYSTÉMY VR/XR SYSTÉMU



ŠTRUKTÚRA OBJEKTU VR/XR SYSTÉMU

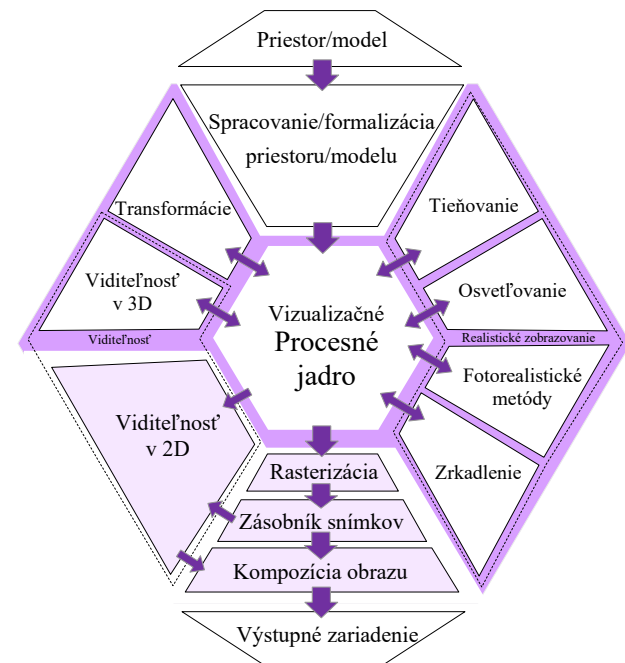


Poznámka: V oblasti VR/XR sa v kontexte virtuálnych objektov používa aj pojem **digitálny zdroj (asset)**, ktorým sa označujú prvky používané v aplikácii alebo virtuálnej scéne, ako napríklad 3D modely, textúry, materiály, animácie, audio súbory, skripty či UI prvky.

VIZUALIZAČNÝ PODSYSTEM (PG)

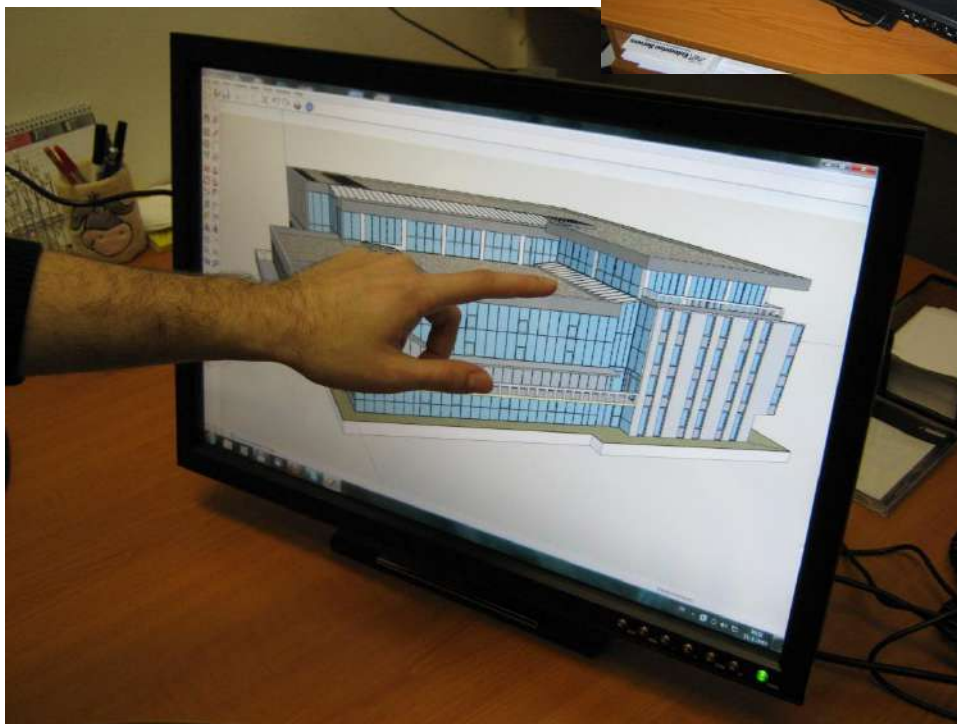
VRSTVY

- Definovanie/spracovanie modelu (reprezentácia, súradnicové systémy)
- Transformácie nad objektami (geometrické)
- Riešenie viditeľnosti
- Tieňovanie
- Osvetľovanie
- Realistické zobrazovanie
- Kompozícia a Vykresľovanie



VIZUALIZAČNÝ PODSYSTÉM V/V ZARIADENIA

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



VIZUALIZAČNÝ PODSYSTÉM

V/V ZARIADENIA (XR HEADSETY, AJ HIST.)



Oculus Quest II, Meta Quest Pro. Meta Quest III



HTC Vive



Apple
Vision Pro



MS Hololens (1,2)



Samsung Gear



Google cardboard

VIZUALIZAČNÝ PODSYSTÉM V/V ZARIADENIA



(zdroj TU Zvolen)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

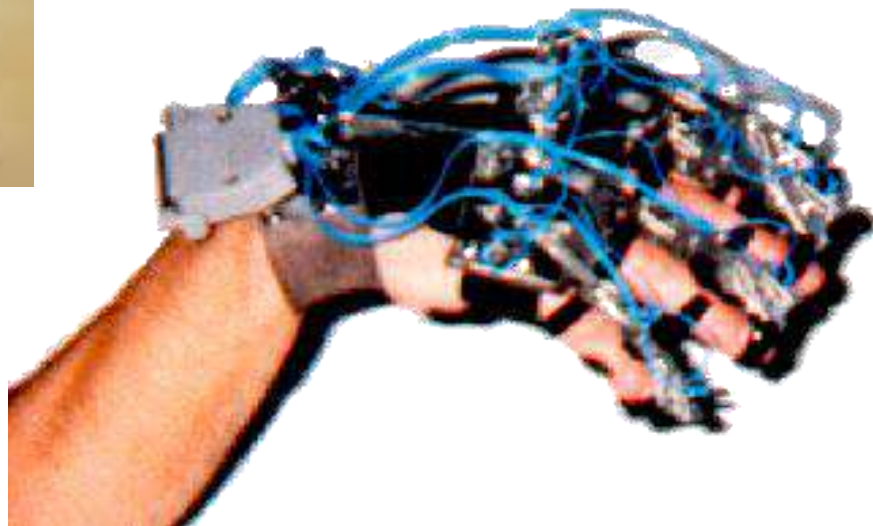


Virtuálna jaskyňa

HMATOVÝ A KINEMATICKÝ PODSYSTÉM DATOVÉ RUKAVICE



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



HMATOVÝ A KINEMATICKÝ PODSYSTÉM

SNÍMANIE RÚK A TELA (HISTORICKÉ)



MS Kinect 1,2



MYO EMG



LEAP Motion

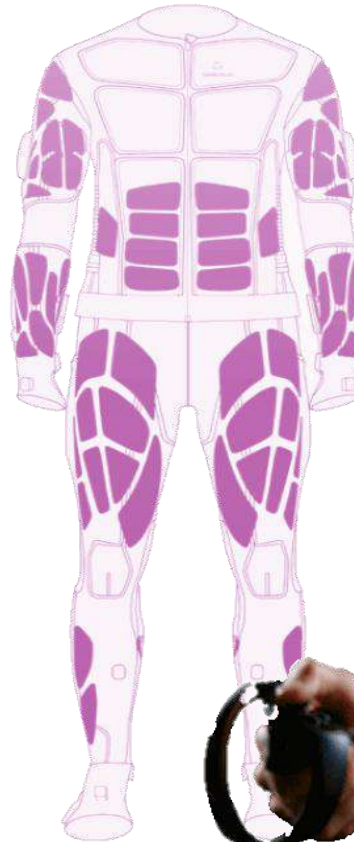


STATOKINETICKÝ A KINEMATICKÝ PODSYSTÉM

SNÍMANIE POHYBU CELÉHO TELA



Teslasuite



Teslaboots



Teslaglove

zdroj: <https://teslasuit.io>

STATOKINETICKÝ A KINEMATICKÝ PODSYSTÉM

SNÍMANIE POHYBU (MOTION CAPTURE)



Virtusphere



Cyberwalk



Optitrack system



Intersense SIMTracker system



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

APLIKAČNÉ NASADENIE XR SYSTÉMOV

- Herný priemysel
- Edukácia a tréning
- Simulácia a konštruovanie
- Pokročilé naturálne a bioadaptívne používateľské rozhrania
- Architektúra a archeológia
- Medicína a terapia
- Vojenské aplikácie
- Showbiznis a reklama
- Turizmus a ekológia



PRÍKLADY APLIKÁCIÍ (HISTORICKÉ)



Virtuálne priestory Východoslovenského múzea



Testovací virtuálny fyzikálny model

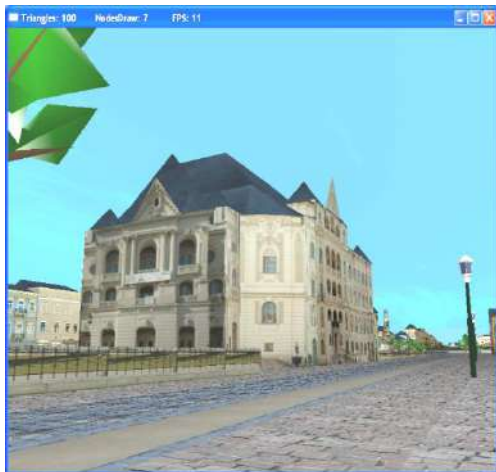
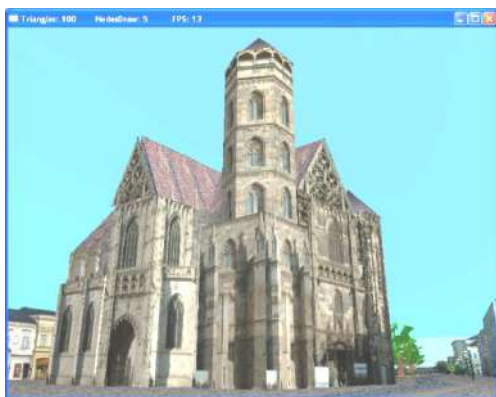
(zdroj KPI FEI TU Košice)



Virtuálna katedrála

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

KOŠICE – HLAVNÁ ULICA



(zdroj KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

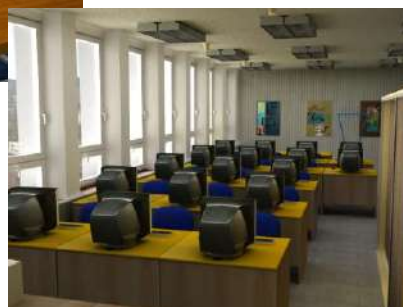
KOŠICE – ŠTÁTNE DIVADLO (3D SKEN)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

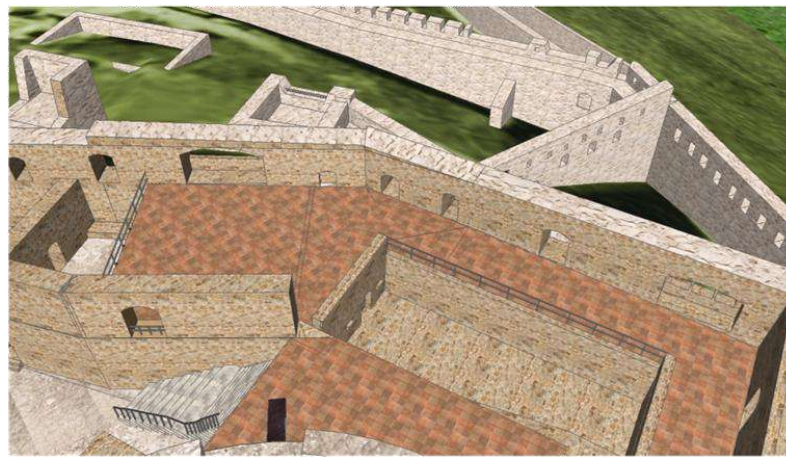
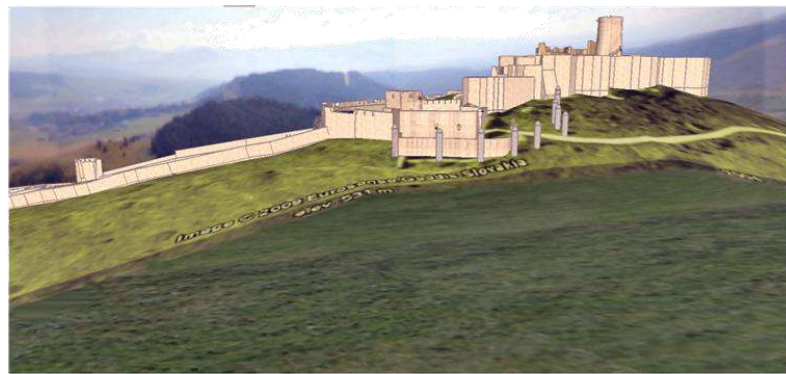
FOTOREALISTICKÁ VIZUALIZÁCIA PRIESTOROV KPI A AREÁL TU



(zdroj KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

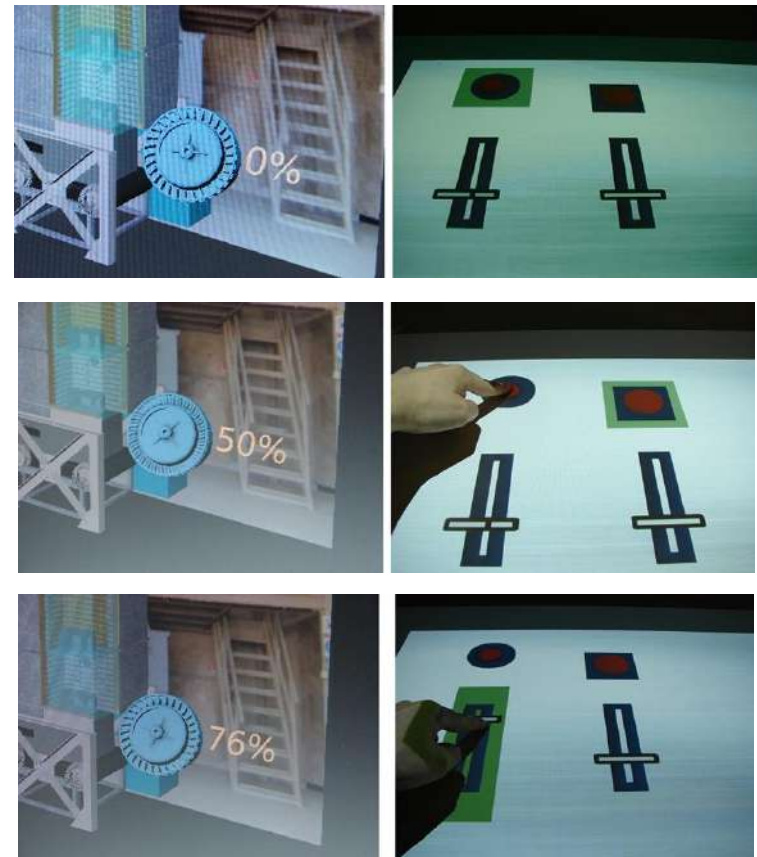
SPIŠSKÝ HRAD



(zdroj KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

VIRTUÁLNY RIADIACI PULT



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

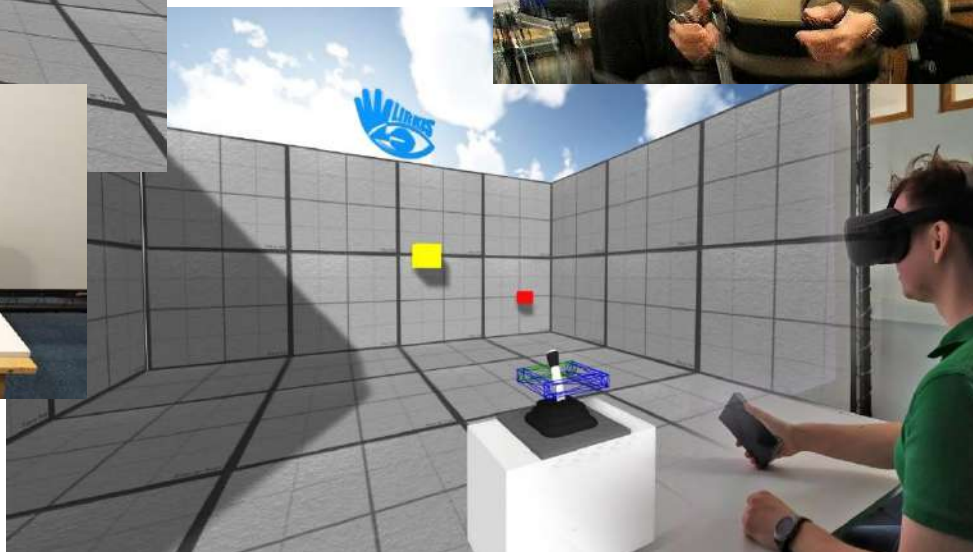
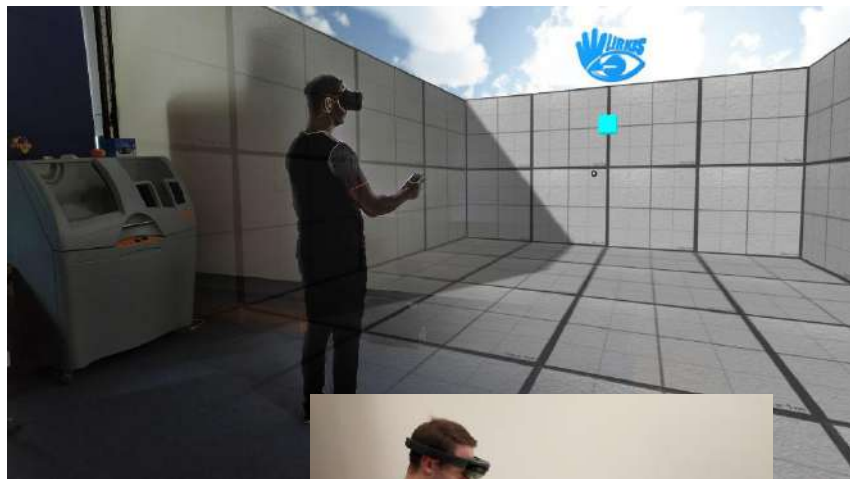
PRÍKLADY APLIKÁCIÍ VIRTUÁLNA JASKYŇA



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

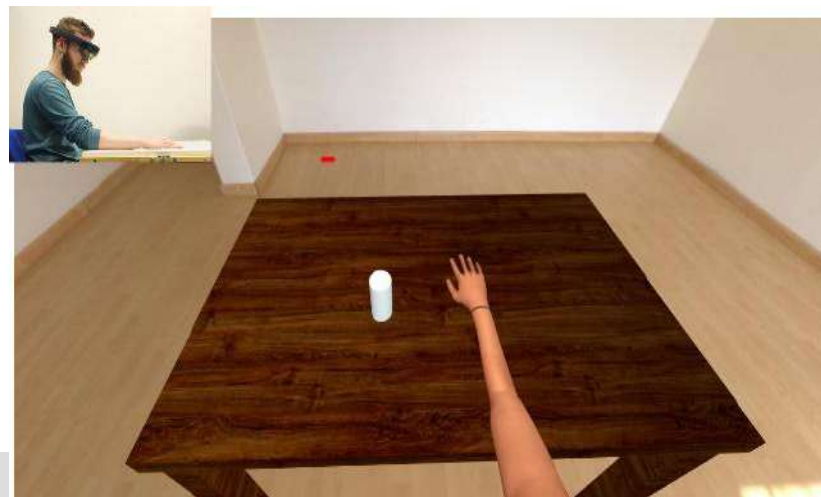
APLIKÁCIE NA BÁZE HMD



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

PRÍKLADY APLIKÁCIÍ

APLIKÁCIE NA BÁZE ZDIEĽANEJ VR



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

ZMIEŠANÁ REALITA A PRIDRUŽENÉ TECHNOLOGIE

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 02

© 2026

ZMIEŠANÁ REALITA (MR) (AZUMA)

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



ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY MR

- kombinuje reálne a virtuálne
- je interaktívna
- prebieha v reálnom čase
- je registrovaná v troch dimenziách

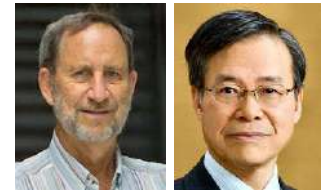


Ronald T. Azuma

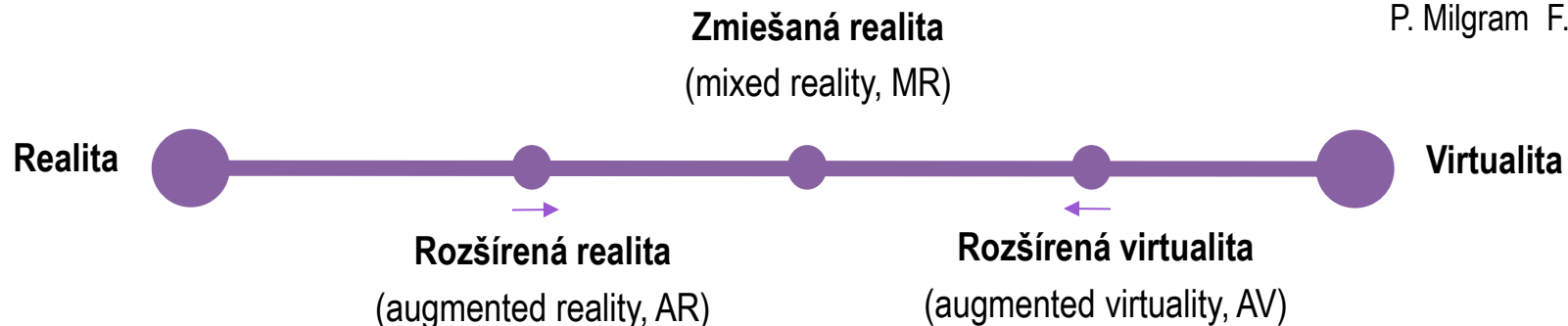
System zmiešanej reality je považovaný za definitívne imersívny systém aj v rámci konceptu HCI



ZMIEŠANÁ REALITA – MILGRAMOVO CONTINUUM



P. Milgram F. Kishino



Milgramov prechod (Milgramovo continuum) medzi reálnym a virtuálnym prostredím

- *Rozšírená (obohatená) realita* (augmented reality, AR) – vkladanie syntetizovaných/virtuálnych objektov do reálneho sveta
- *Rozšírená virtualita* (augmented virtuality, AV) – vkladanie reálnych objektov do syntetizovaného/virtuálneho sveta

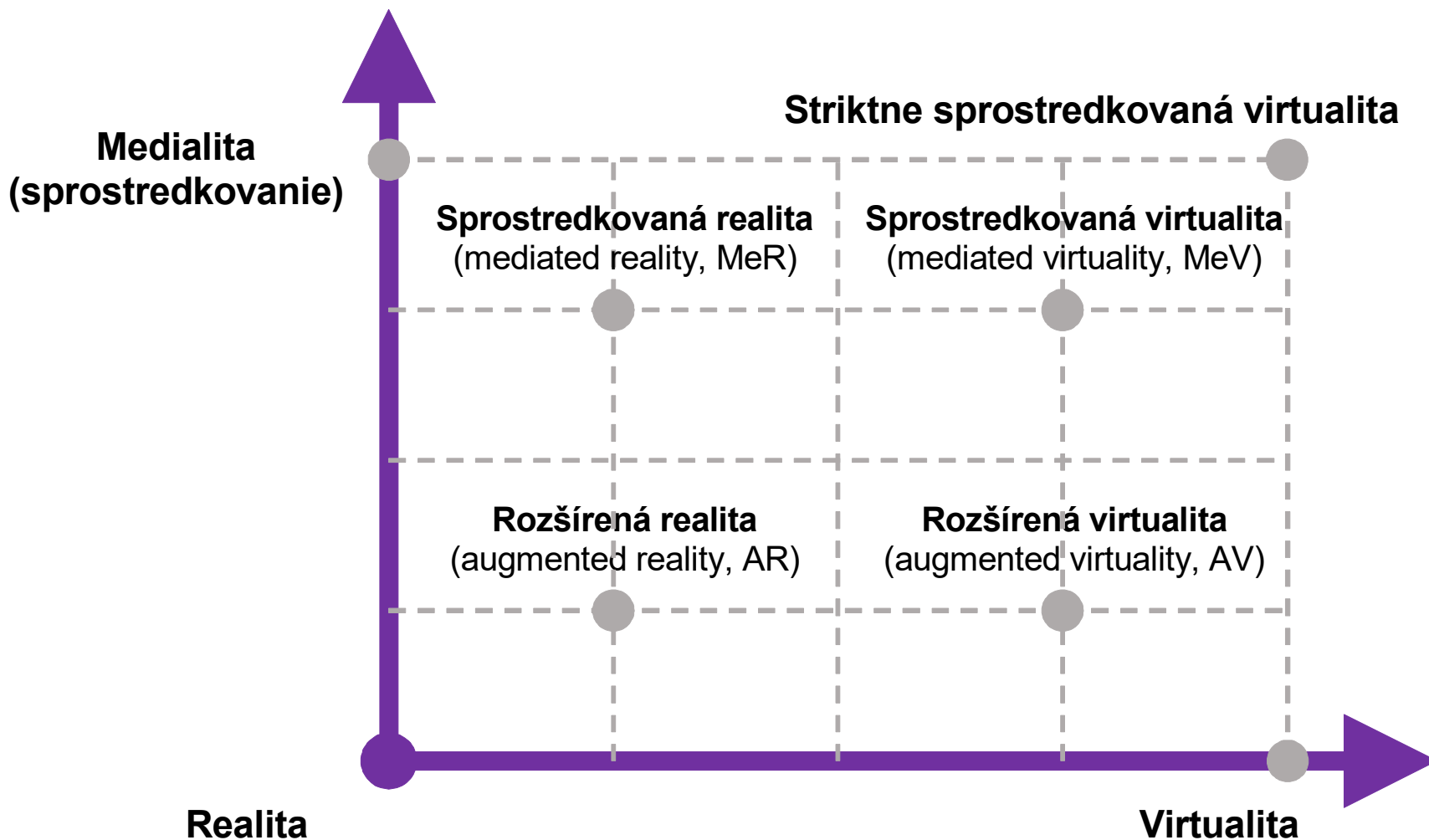
ZMIEŠANÁ vs. AUGMENTOVANÁ REALITA

Základný rozdiel je v kompozícii výsledného vizuálneho vnemu a v spôsobe synchronizácie v priestore (geometrická väzba)

- Zmiešaná (mixed) Reality (MR):
 - presná 3D registrácia virtuálnych objektov v reálnom priestore
 - interakcia virtuálnych objektov s reálnymi
 - zachovanie priestorových vzťahov a mierky
 - spravidla používa zariadenia s priamym *pohľadom*
- Augmented Reality (AR):
 - vkladanie virtuálnych informácií do reálneho sveta
 - obmedzená alebo žiadna presná geometrická väzba
 - objekty spravidla nereagujú na fyzické prostredie
 - spravidla používa zariadenia s nepriamym (sprostredkovaným) pohľadom

Poznámka: V súčasnej praxi sú pojmy AR a MR často zjednocované/zamieňané, z pohľadu Azumovej definície ide však o odlišné systémy. Napriek tomu sú dnes združené v aplikačnej XR platforme.

ZMIEŠANÁ REALITA – MANNOVA KLASIFIKÁCIA



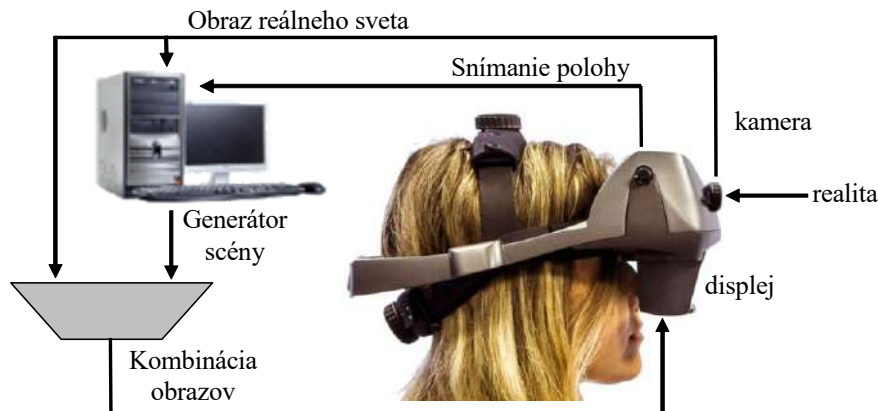
MEDIALITA

- Medialita vo forme **sprostredkovania**
- Sprostredkovanie z hľadiska tejto technológie je rozšírený pojem zahrňujúci aj isté prvky prenosu zviditeľnenia (vizualizácie) do iného formátu t.j. transformáciu objektov do „mediálnej“ podoby.
- *Mediácia* - proces prevádzania (transformácie) údajov v rámci vytvárania resp. presunu objektov zahrňujúci aj množinu transformácií umožňujúcich transport údajov na zviditeľnenie (vizualizáciu)
- Medialita je potom chápaná ako *interaktívne rozhranie t.j. prostredie styku rozdielnych svetov. Jedná sa teda o mieru možného prepojenia medzi heterogénnymi svetmi, v ktorých sú využívané rozdielne formy sprostredkovania (zviditeľnenia, vizualizácie).*



TYPY MR SYSTÉMOV

PODĽA TOHO AKO JE VÝSLEDNÝ VIZUÁLNY VNEM KOMPONOVANÝ



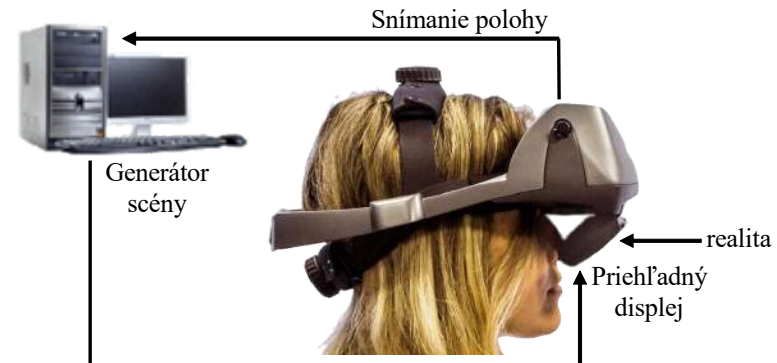
*MR s nepriamym (sprostredkovaným)
pohľadom*

(video see-through, AR)

(HMD s bežným/nepriehľadným displejom/i)



XR-AR podpora



*MR s priamym pohľadom
(optical see-through, MR)*

(HMD s priehľadným displejom/i,
môže byť doplnená kamerou/ami)

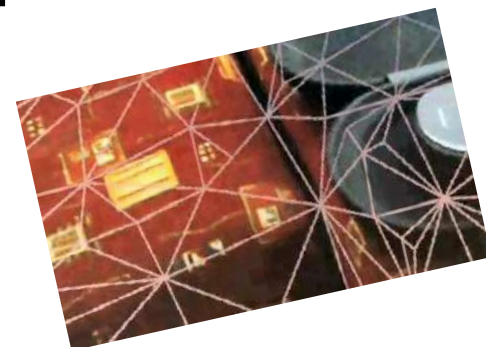


XR-MR podpora

TYPY MR SYSTÉMOV

PODĽA SYNCHRONIZÁCIE VIRTUÁLNEJ A REÁLNEJ SCÉNY/OBJEKTOV

- *systemy s exaktnými značkami* (marked systems) – do reálnej scény sa umiestnia špeciálne značky, ktoré sú počas behu rozpoznané a nahradené virtuálnymi objektmi
- *systemy 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.



TYPY MR SYSTÉMOV

PODĽA PROSTREDIA, KDE SA ODOHRÁVA

- a. Interiérové MR systémy
- b. Exteriérové MR systémy
- c. Kombinované MR systémy (kombinácia interiérových a exteriérových)

a.



b.

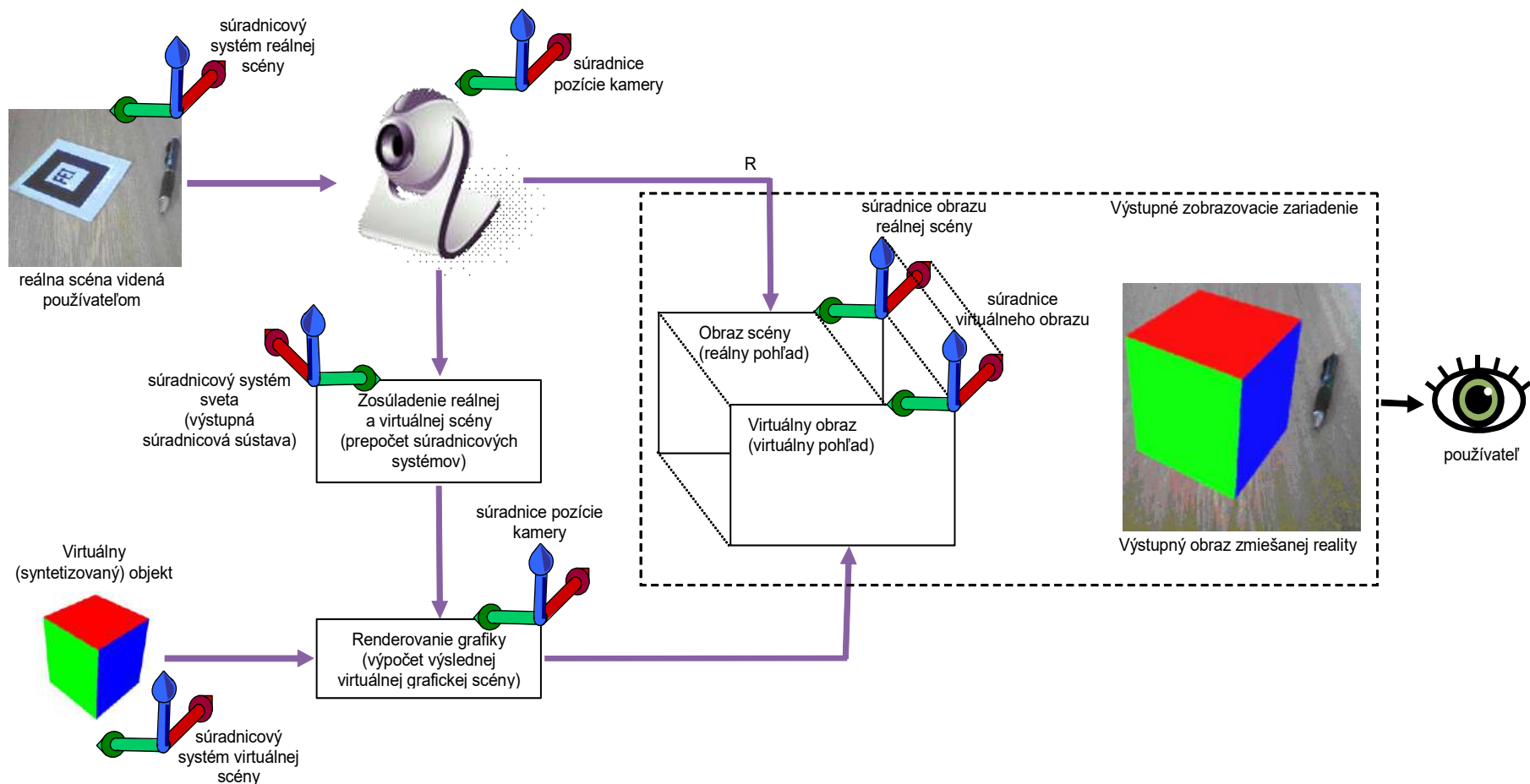


(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



c.

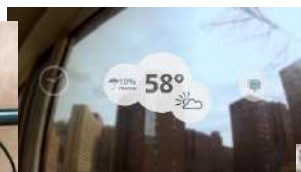
PREVIAZANIE OBRAZOV V SYSTÉME MR (MARKER)



TYPY MR SYSTÉMOV

PODĽA TOHO AKO V PRIESTORE DOCHÁDZA K SYNCHRONIZÁCII (AJ HIST.)

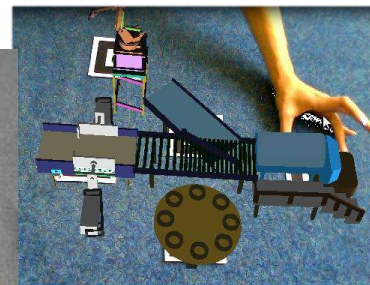
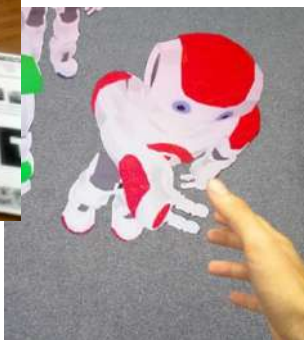
- *Obohatená realita* – bez priamej geometrickej väzby s reálnym svetom



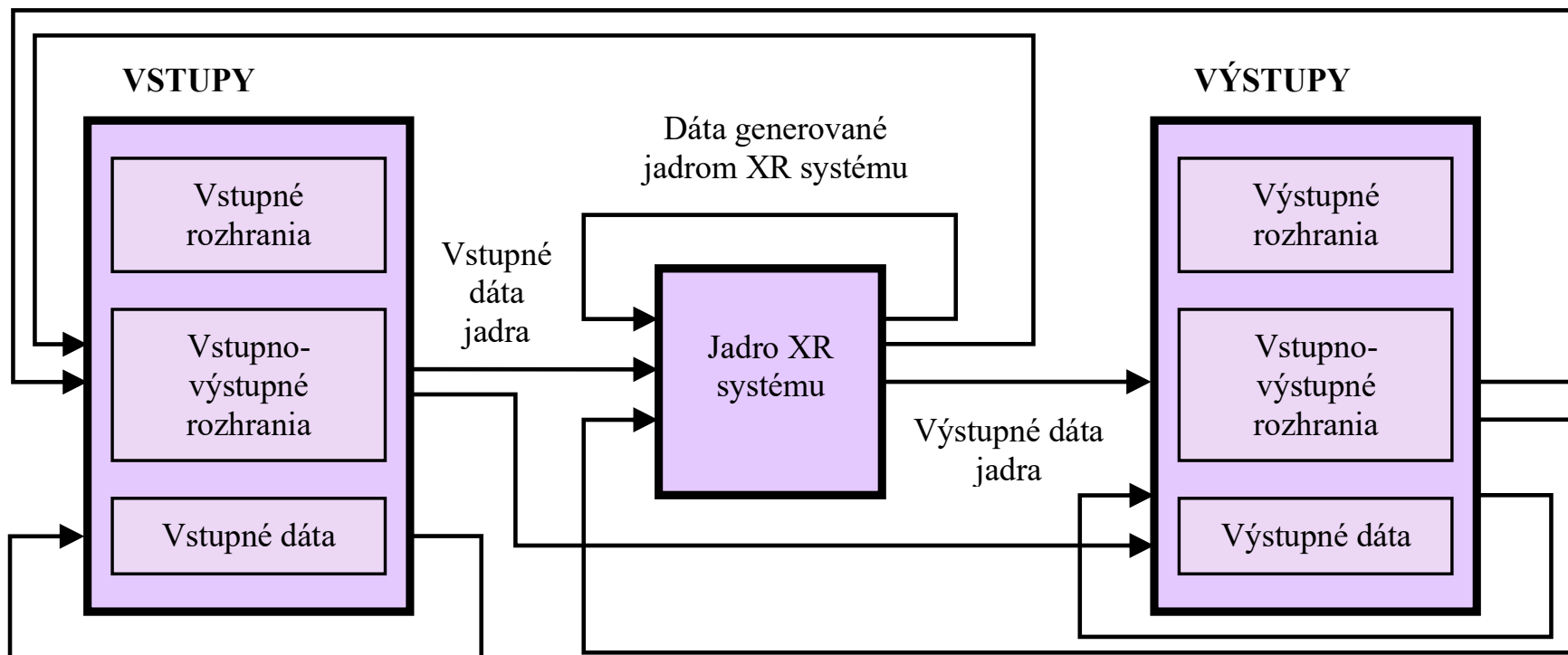
(ukončené Google Glass sú použité len ilustračne)



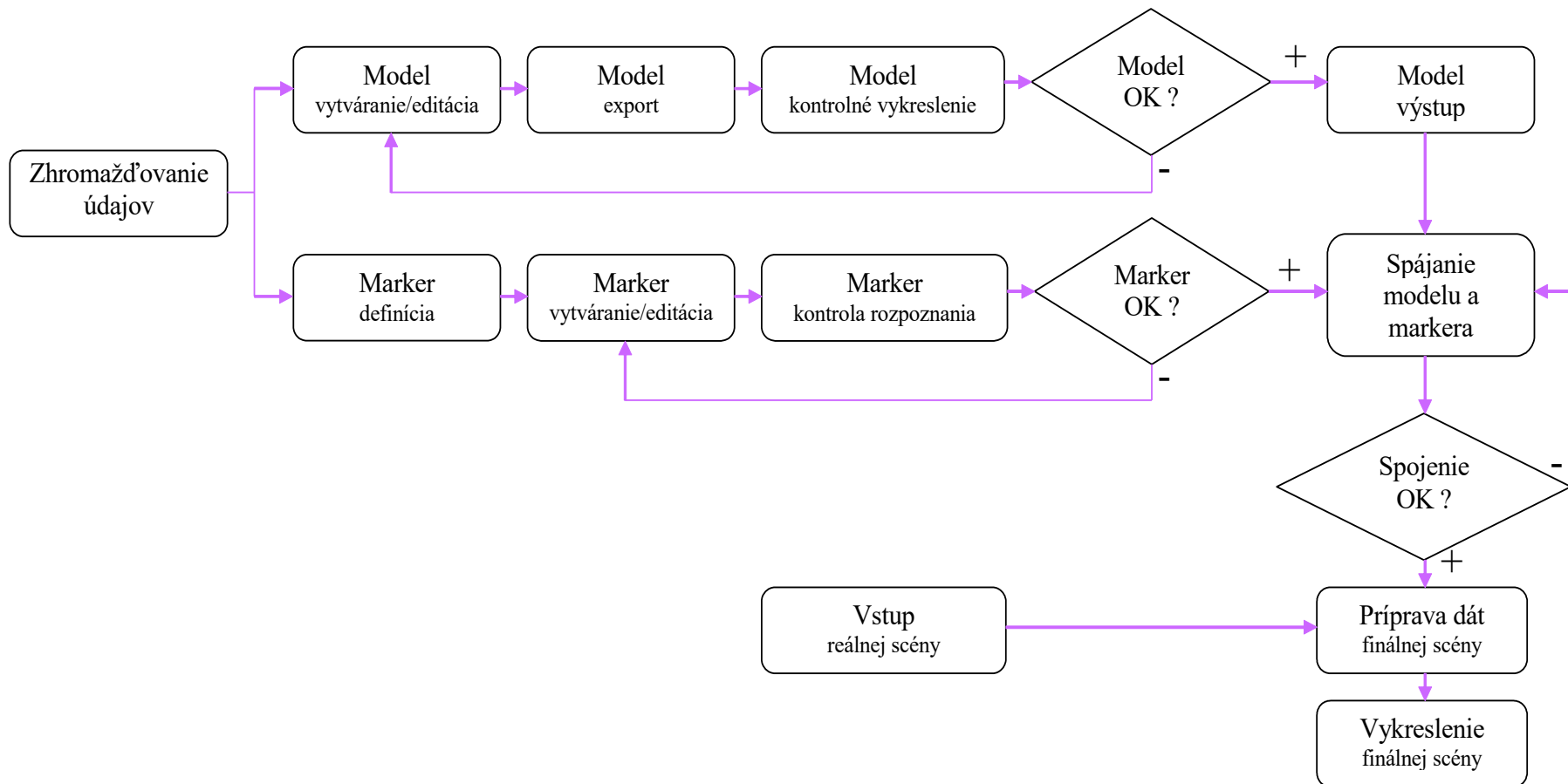
- *Rozšírená realita* – s geometrickou väzbou s reálnym svetom



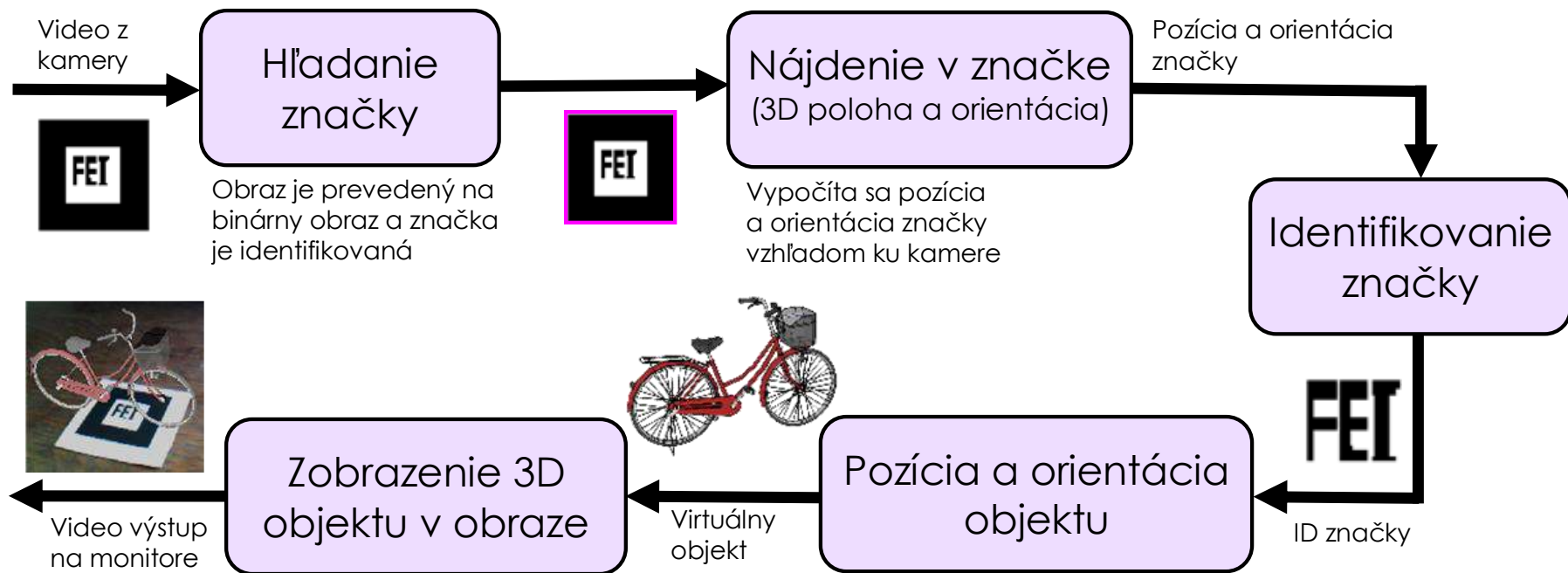
TOKY DÁT V SYSTÉMOCH XR (VR/MR/AR)



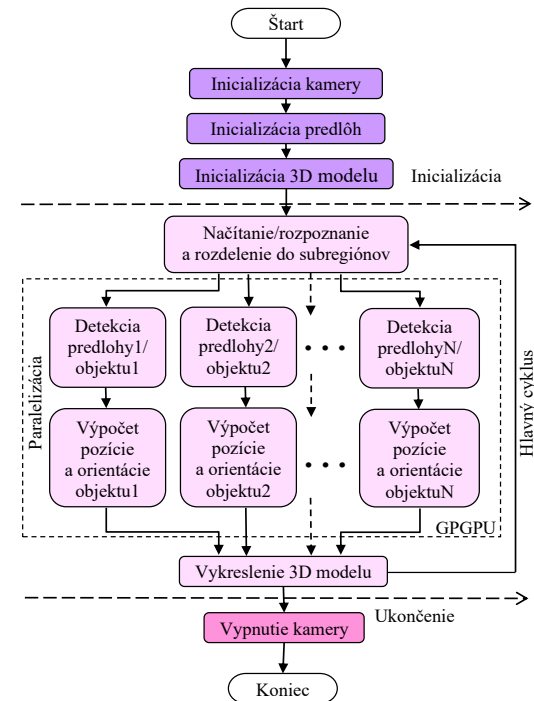
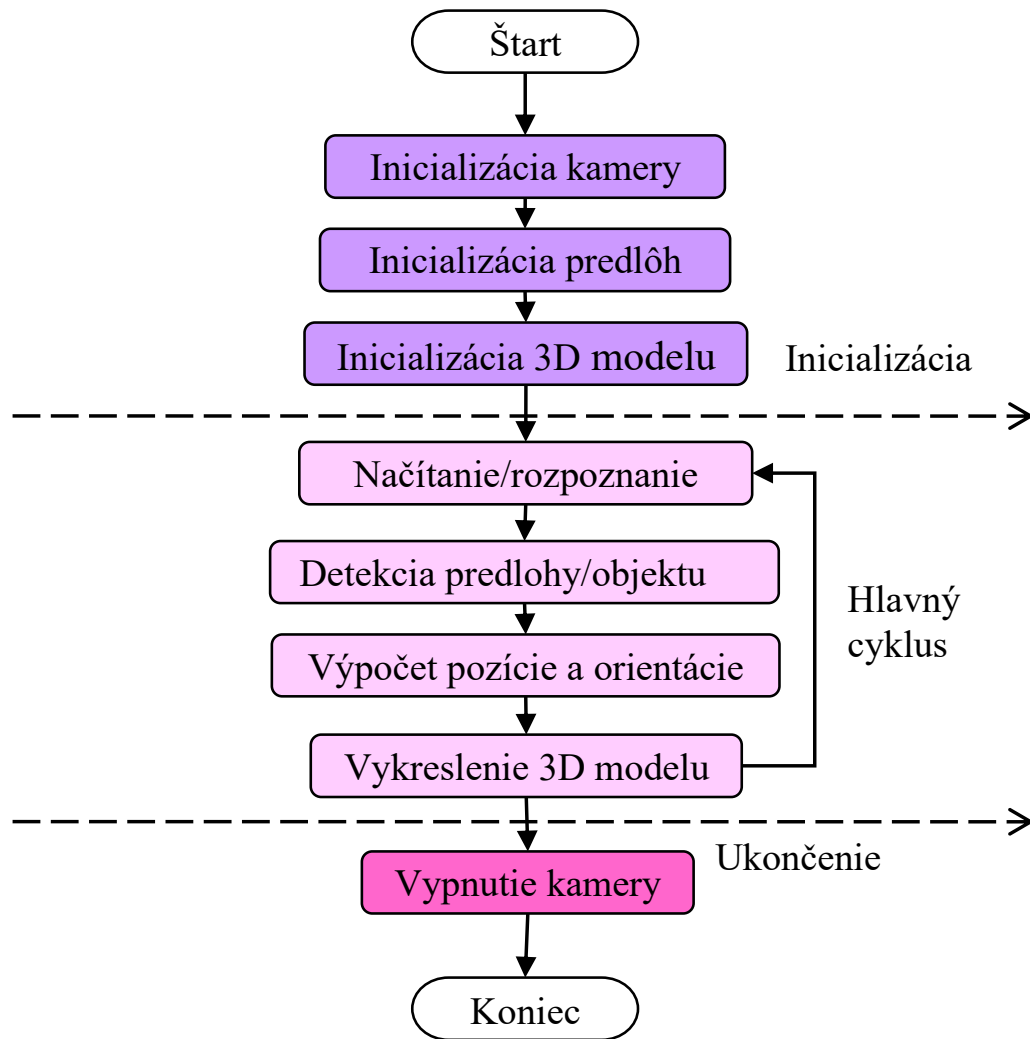
PROCES VYTVÁRANIA MR SCÉNY (MARKER)



PROCES SPRACOVANIA MR SCÉNY (MARKER)



PROCES PRÁCE MR APLIKÁCIE (SEMI/MARKERLESS)



Paralelizácia
procesu

PROCES PRÁCE MR APLIKÁCIE (SEMI/MARKERLESS)

1. kamera neustále sníma reálnu scénu a posiela video do výpočtového systému na spracovanie (aj v prípade optical see-through)
2. Programové vybavenie spracúva snímku po snímke a pomocou zvolenej metódy na detekciu hľadá v snímke danú(é) predlohu(y)/objekt(y).
3. po rozpoznaní objektu (predlohy) sa vypočíta jeho pozícia a orientácia
4. ak je známa pozícia a orientácia, umiestni sa virtuálny model na danú pozíciu
5. používateľ vidí na displeji reálnu scénu (u video see-through snímanú kamerou) rozšírenú o virtuálny 3D model.

METÓDY DETEKCIE V MR SYSTÉMOCH

NAJVIAC POUŽÍVANÉ

- *SIFT* - Scale Invariant Feature Transform
- *SURF* - Speeded-Up Robust Features
- *SLAM* - Simultaneous Localization and Mapping



METÓDY DETEKCIE V MR SYSTÉMOCH - SIFT

1. Vyhľadanie lokálnych extrémov v rozpoznávanom priestore – V prvej fáze sa zostrojí scale-space (SS) t.j. mierkovo nezávislá reprezentácia obrázku pri Gaussovom rozmazaní. V ňom sa vyhľadajú všetky lokálne extrémny. Pre efektívny výpočet SS sa používa rozdiel Gaussových funkcií – Difference-of-Gaussians (DoG)
2. Presnejšie určenie významných bodov – V tomto kroku sa získané body z prvej fázy podrobnejšie skúmajú. Tie, ktoré majú nedostatočnú stabilitu sú vylúčené a u zvyšných, ktoré sú stabilné sa spresní poloha v priestore.
3. Priradenie orientácií – V tejto časti je významným bodom priradená dominantná orientácia na základe orientácie gradientu v okolí bodu. Priradením orientácie docielime nezávislosť bodov od rotácie.
4. Vytvorenie deskriptorov pre významné body – Pre každý významný bod je vypočítaný deskriptor na základe gradientu v okolí bodu. Pomocou deskriptorov je možné hľadať zhody v porovnávaných obrazoch.

METÓDY DETEKCIE V MR SYSTÉMOCH - SURF

SURF je metóda, ktorá dokáže popísať obrázok pomocou deskriptorov. Metóda SURF je novšou obdobou metódy SIFT. Popis pomocou deskriptorov vygenerovaných touto metódou je invariantný voči rotácii a vzdialenosti kamery od popisovaného objektu. Algoritmus SURF sa využíva v mnohých aplikáciách počítačového videnia, ako napr. pri rekonštrukcii 2D a 3D scén, klasifikáciu obrázkov a hlavne pre rýchly popis obsahu obrázku.

METÓDY DETEKČIE V MR SYSTÉMOCH - SURF

1. Prvý funkčný blok algoritmu je tzv. „integrálny obraz“. Integrálny obraz v každom svojom obrazovom bode obsahuje hodnotu súčtu hodnôt obrazových bodov (pixelov) od počiatku obrazu až do daného bodu.
2. Ak je k dispozícii integrálny obraz, potom na výpočet ľubovoľnej veľkej sumy hodnoty pôvodného obrazu potrebujeme iba 4 okolité významové body (napr. na výpočet hodnoty sumy hodnôt pixelov vo vnútri celého definovaného obdĺžnika nám stačí poznať hodnoty rohových pixelov odpovedajúceho integrálneho obrazu).
3. Ďalej metóda SURF používa determinant Hessianovej matice. Hessianová matica je štvorcovou maticou druhých parciálnych derivácií spojitkej funkcie
4. V ďalšom kroku nastáva budovanie mierkovo nezávislej reprezentácie obrázku
5. Algoritmus končí priradením orientácie a vytvorením deskriptorov

METÓDY DETEKČIE V MR SYSTÉMOCH - SURF



Značka



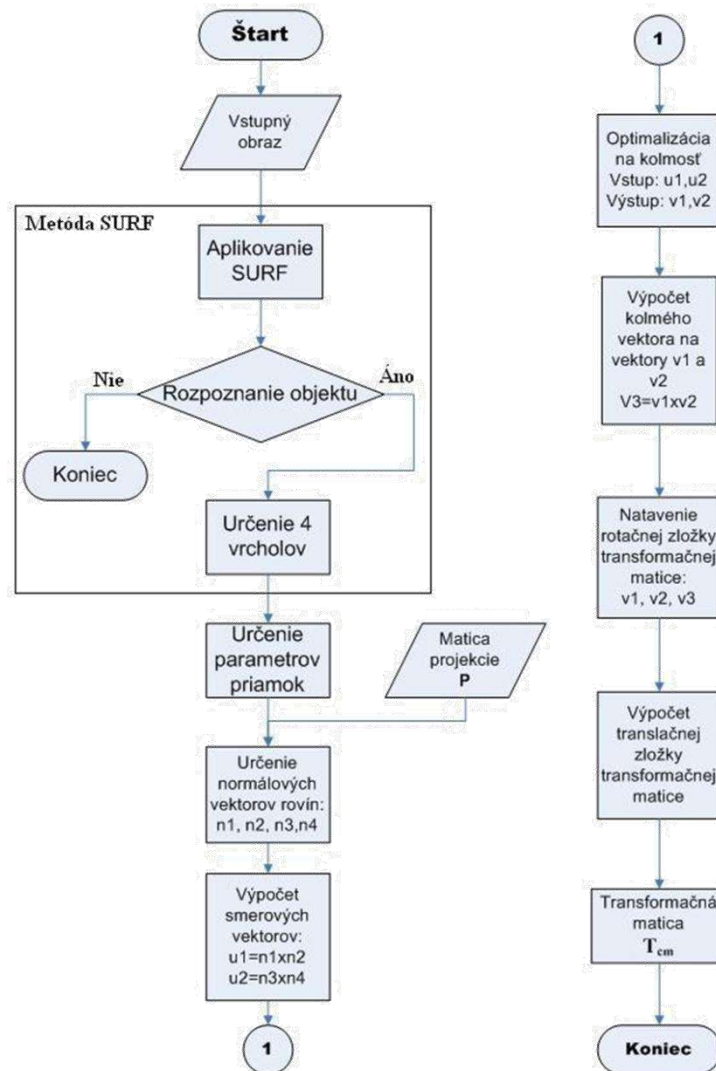
Snímka

Významné body spoločné pre značku a aktuálnu snímku

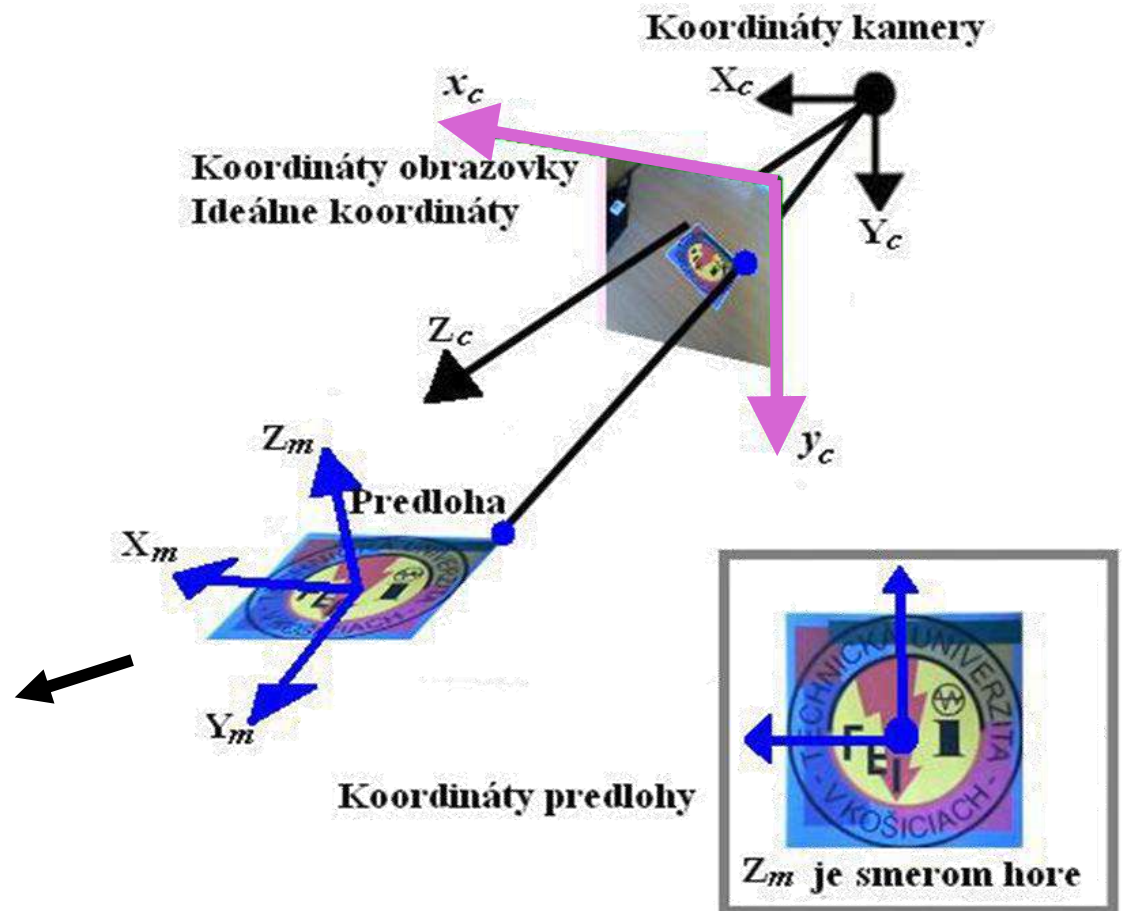
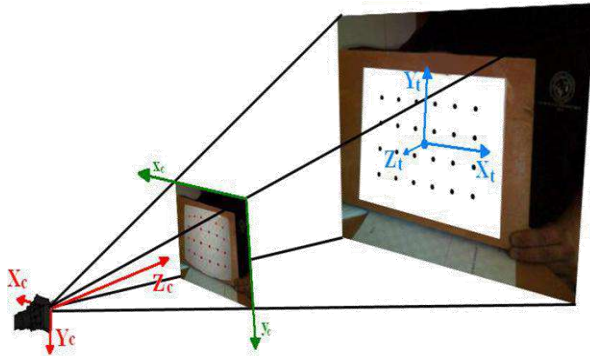
METÓDY DETEKCIE V MR SYSTÉMOCH - SLAM

1. simultánne určovanie:
 - polohy používateľa/zariadenia
 - mapy reálneho prostredia
2. využíva:
 - obrazové dáta z kamery
 - inerciálne senzory (IMU)
3. základ moderných MR (aj AR) systémov:
 - markerless systémov
 - mobilných aplikácií (môže pracovať s rekonštrukciou 3D z jednej kamery)

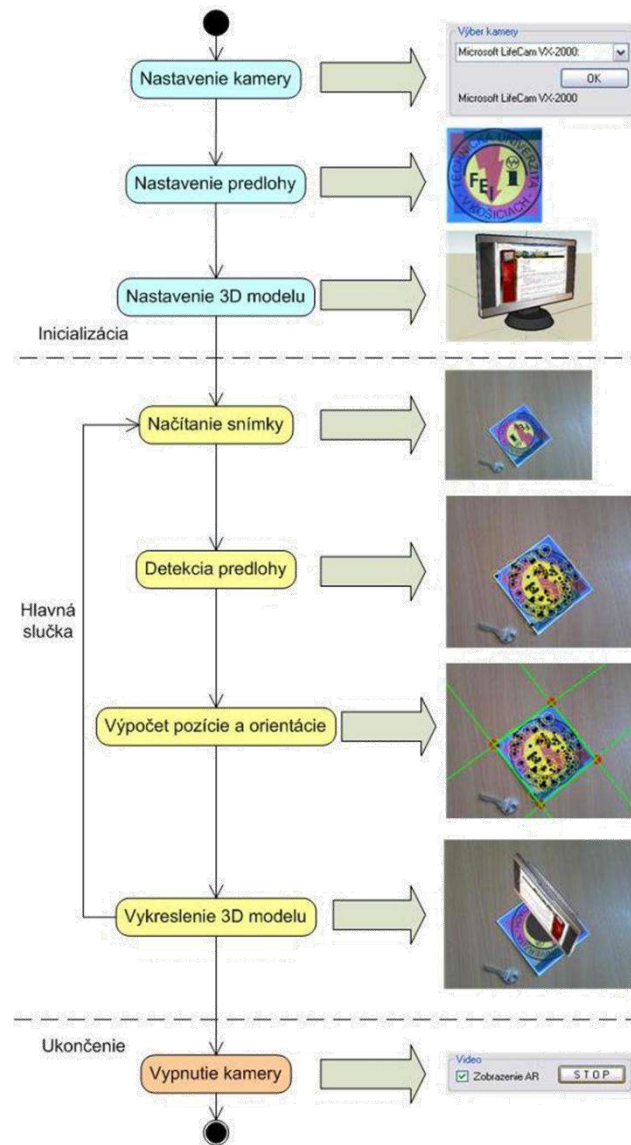
VÝPOČET POZÍCIE, ORIENTÁCIE A PROJEKcie



VÝPOČET POZÍCIE, ORIENTÁCIE A PROJEKČIE



CELKOVÝ PROCES MR (MARKER, SEMI-MARKLESS)



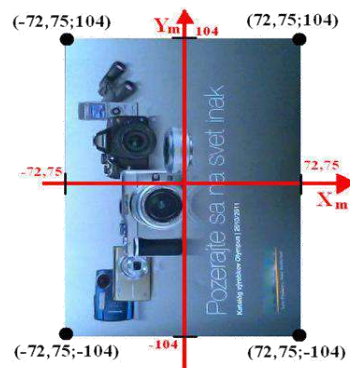
CELKOVÝ PROCES MR (SEMI-MARKLESS)



Značka



Snímka



Stereoskopické zobrazenie
MR pre HMD (XR headset)

OPENXR

ZÁKLADNÝ KONCEPT

OpenXR™ (zastrešená Khronos Group) je otvorená, free špecifikácia API pre vývoj aplikácií XR (AR / MR / VR) implementovateľná na rôznych zariadeniach. V princípe sa jedná o priemyselný štandard *XR API* podporovaný aj široko používanými systémami ako Unity či Unreal Engine a výrobcami príslušného hardvéru ako Meta, HTC, Microsoft či Valve. Dôvodom vzniku bola fragmentácia platforiem jednotlivých výrobcov (napr. Meta/Oculus, SteamVR, WMR, HoloLens...) a tým nejednotné API, čo znamenalo vyššie náklady pri vývoji XR-softvér z dôvodu nutnej duplicity prác. Ďalším dôvodom boli potom nekompatibilné vstupné a senzorické/sledovacie zariadenia (napr. *IMU senzory* (inerciálne meracie jednotky, angl. Inertial Measurement Unit) - slúžia na zisťovanie pohybu, orientácie a zrýchlenia objektu v priestore. Typicky sú to napr. *Akcelerometer* (zrýchlenie+sklon), *Gyroskop* (uhlová rýchlosť, rotácia) či *Magnetometer* (magnetické pole Zeme, kompas)). Hlavným cieľom OpenXR je vytvoriť *jedno API* pre mnoho mnoho zariadení a teda oddeliť aplikáciu od hardvéru. A tým umožniť štandardizovaný prístup k:

- HMD (head-mounted displays)
- ovládačom, rukám, telu, očiam, sledovačom (trackers)
- priestorovej registrácii/polohe a časovej predikcii

<https://www.khronos.org/openxr/>



OPENXR

REFERENČNÁ ARCHITEKTÚRA A VZŤAH K SYSTÉMOM MR

OpenXR™ je architektonicky tzv. „Runtime-based model“ (RBM) kedy aplikácia nepozná konkrétne zariadenie a pristupuje k nemu vždy cez runtime vrstvu.

- Predikcia pohybu - časovo synchronizované snímanie a rendering
- Rozšírenia (Extensions) napr. hand-tracking, eye-tracking, passthrough, body-tracking
- API vrstvy - validácia, ladenie aplikácie (debug), simulácia, výskum

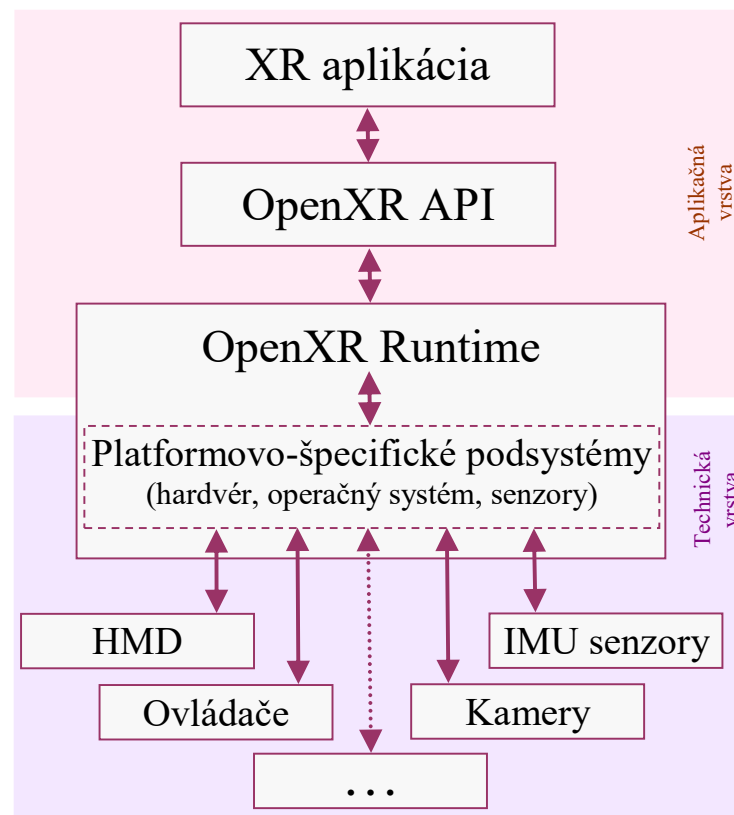
Poznámka: OpenXR API je pevná norma, ale runtime sa líši (Meta, SteamVR, WMR...) a hardvér je pre aplikáciu úplne transparentný.

Vzťah k MR podľa Azumu:

- OpenXR:
 - nerieši obsah MR (čo sa zobrazuje),
 - rieši infraštruktúru MR (ako sa dostať k okoliu, ako s ním interagovať)
- MR aplikácie:
 - OpenXR = technická vrstva
 - Registrácia / SLAM / interakcia = aplikačná vrstva

Porovnanie pojmov:

- MR / AR / VR sú chápané ako koncepty
- OpenXR je potom chápané ako štandardizované rozhranie



<https://registry.khronos.org/OpenXR/#apispecs>



LIMITY MR SYSTÉMOV (TECHNICKÉ)

- *Výpočtová náročnosť*
 - požadovaný výpočtový výkon najmä u mobilných zariadení (aj bezdrôtové XR headsety)
- *Latencia*
 - oneskorenie medzi snímaním a vykreslením a to ako v single-user tak ešte viac v multi-user MR systéme (sieťová komunikácia resp. synchronizácia navyše, vrátane synchronizácie času vo virtuálnom priestore)
- *Presnosť registrácie v priestore*
 - vychýlenie polohy (nepresné a nestále umiestnenie) v čase
 - možná kumulácia chýb merania ako v čase tak v prípade multi-senzorového systému
- *Vplyv prostredia*
 - vplyv osvetlenia (slabé aj veľmi vysoké)
 - problém spracovania príliš „zašumených“ pozadí v reálnom svete
 - problém lesklých, reflexných alebo príliš homogénnych povrchov



VYUŽITIE MR

- Možnosť pozrieť si výslednú realizáciu ešte pred samotnou realizáciou za pomoci MR projekcie, možnosť „prechádzať sa“ v prípadných existujúcich priestoroch.
- Ľahké odhalenie chýb pri projekcii - chybného umiestnenia prípadne chýbajúceho konštrukčného prvku
- Pre investora ľahké posúdenie a úprava pôvodného návrhu o optimálnom usporiadaní technológie ešte pred začiatkom samotnej realizácie. K projektu sa môžu pri takomto type vizualizácie vyjadrovať aj netechnici resp. môžu byť potlačené jazykové bariéry
- Pohľady na projekt, ktoré v reáli nie sú možné
- V kombinácii s GPS a prípadnými mobilnými zariadeniami orientácia vo výrobnom podniku alebo ako prvok rozhrania informačného systému podniku, kde môžu byť zobrazované doplnkové informácie o objektoch (napr. evidenčné číslo, dostupnosť na sklade či zodpovednú osobu).
- Možnosť pripraviť si a natrénovať postup dopravy a montáže s ohľadom na rozmer zariadenia a dostupného priestoru
- Tréning obsluhy technológie bez potreby pobytu priamo v prevádzke
- Tréning požiarnej ochrany, zväračský simulátor, tréning na vysoko zdvižnom vozíku, tréning bezpečnostných jednotiek
- Možnosť prípravy efektných prezentácií a podkladov pre budúcu reklamnú resp. investičnú kampaň

OBLASTI NASADENIA MR SYSTÉMOV

- Výskumné a akademické aktivity
- Komerčné systémy
- Počítačové hry, exteriérová MR
- MR v mobilných zariadeniach
- Armádne nasadenie
- Medicína
- Priemyselné riešenia, architektúra
- Výuka a tréning



NIEKTORÉ KOMERČNÉ MR SYSTÉMY

- InterSense - riadenie strojov a zariadení a tréning obsluhy a servisu: (<http://www.intersense.com>)
- Boeing repair assistant (<http://www.boeing.com>)
- Siemens Healthineers Immersive & Digital Education
(<https://www.siemens-healthineers.com/en-eg/comprehensive-education-portfolio/immersive-and-digital-education>)

EXTERIÉROVÁ MR/AR A HRY



Pokémon GO

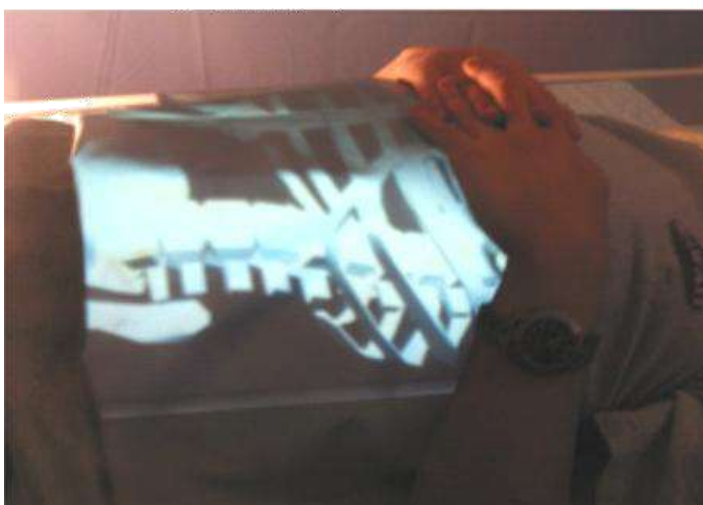
<https://pokemongolive.com/en/>

Fanta Virtual Tennis
(hist.)



Komponenty systému ARQuake a pohľad
používateľa (hist.)

MR/AR A MEDICÍNA



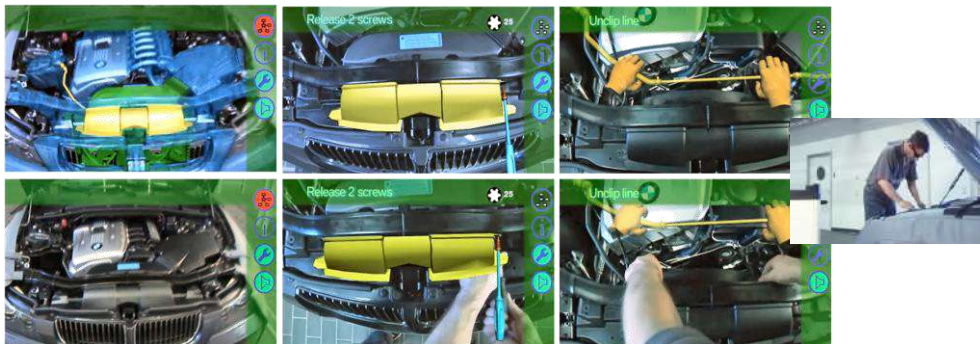
MR A ARMÁDA



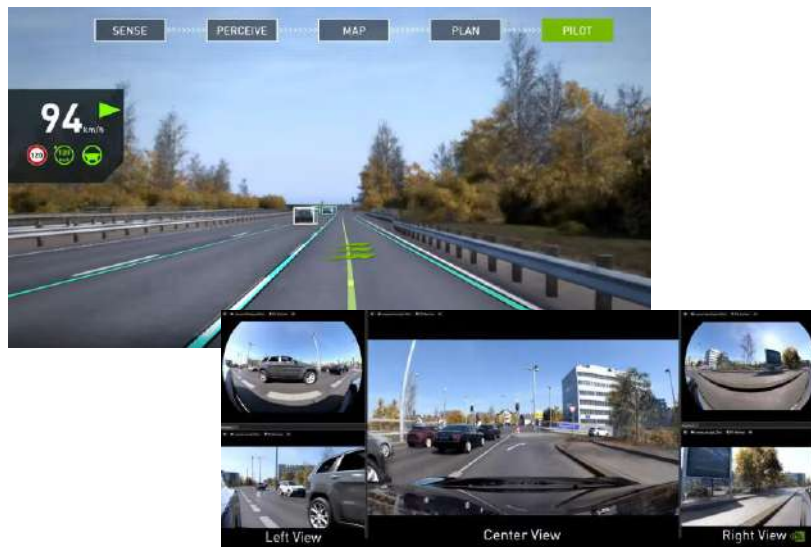
SIMNET, MILES2000 (aj ASR, hist.)

<https://man.fas.org/dod-101/sys/land/miles.htm>

MR/AR A AUTOMOBILOVÝ PRIEMYSEL



Ukážka servisnej BMW AR technológie

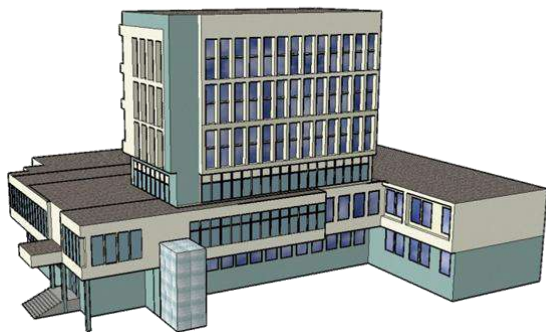


navigačné prvky v spojení
so systémom GPS priamo
do výhľadu vodiča
(napr. systém firmy Alvis
Technologies Inc.,
hist.).

Dnes pomerne
štandardné vybavenie
vozidiel

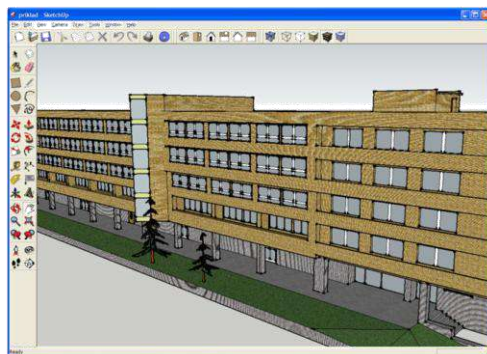
nVidia simulátor pre samojazdiace autá na báze Omniverse
(<https://www.nvidia.com/en-eu/self-driving-cars/simulation/>)

MR/AR A ARCHITEKTÚRA



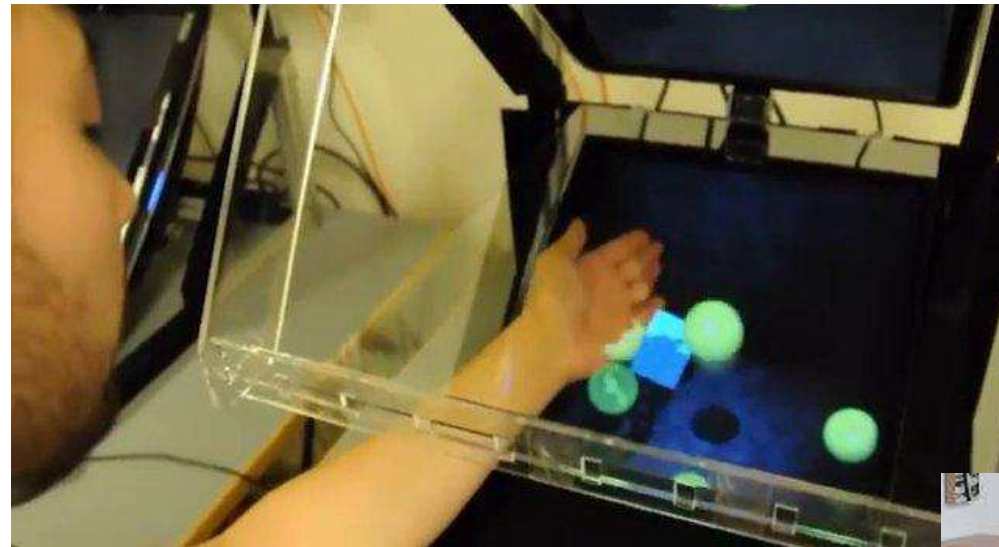
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Virtuálny model budovy a jej „zobrazenie“ v reálnom prostredí



Ukážka funkcie pre SketchUp

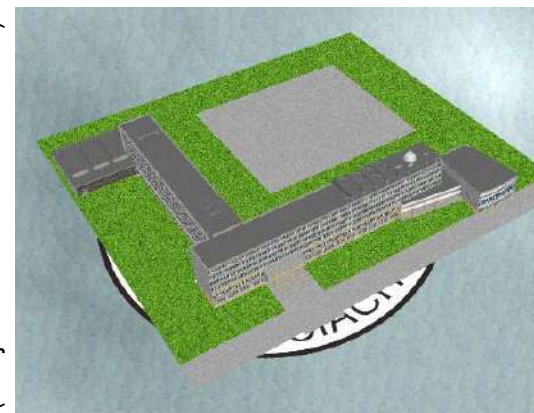
MR A MICROSOFT™



MS Holodesk a Hololens 1,2 (hist.)

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=JHL5tJ9ja_w#!

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 1. GENERÁCIA)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

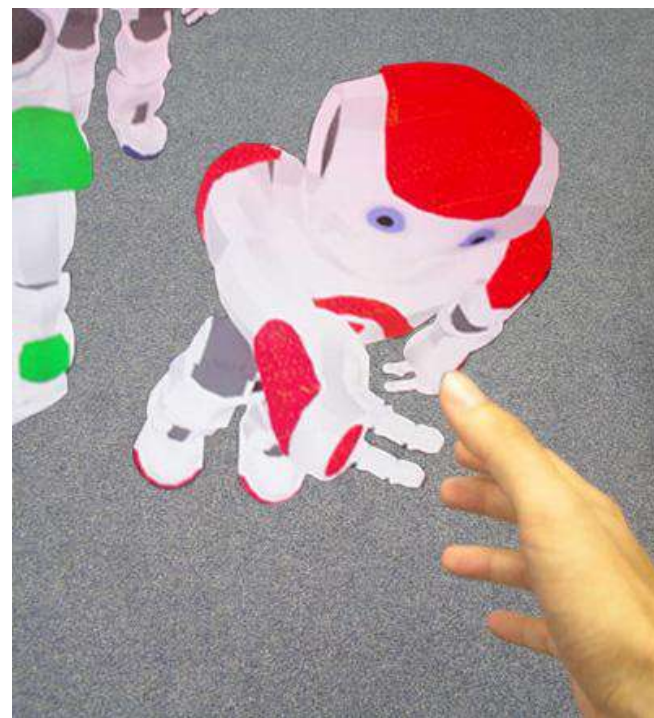


EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 1. GENERÁCIA)



Reálny pohľad

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Pohľad používateľa

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 1. GENERÁCIA)

reálny pohľad

zobrazenie v systéme AV



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

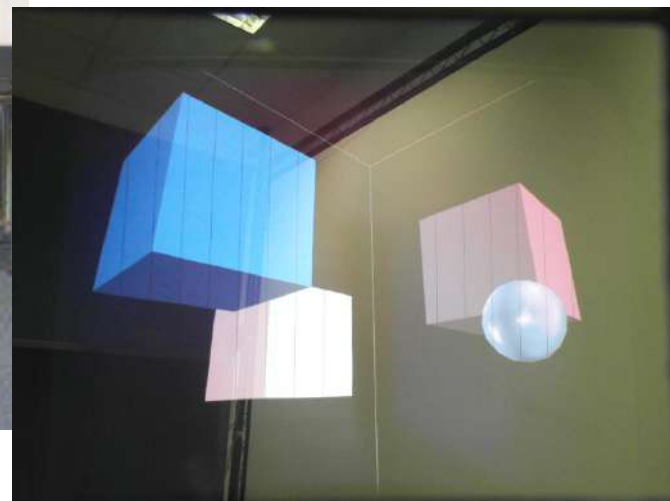
Rozšírená virtualita

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 2. GENERÁCIA)

PLNÝ DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY



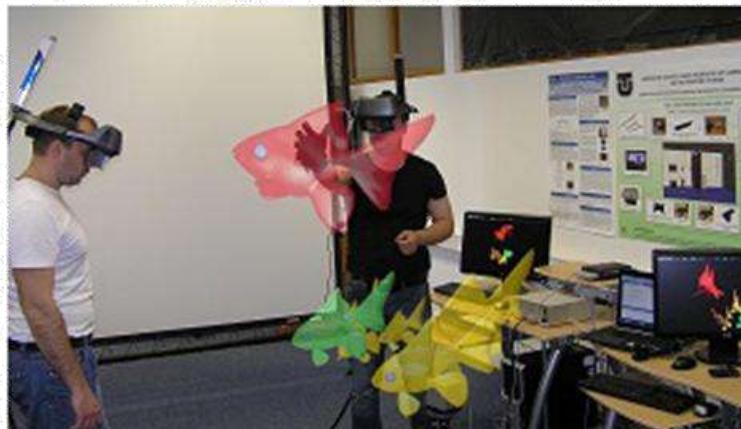
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Príklad práce jedného používateľa

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 2. GENERÁCIA)

PLNÝ DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY



úprava kvôli lepšej názornosti

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Príklad práce viacerých používateľov

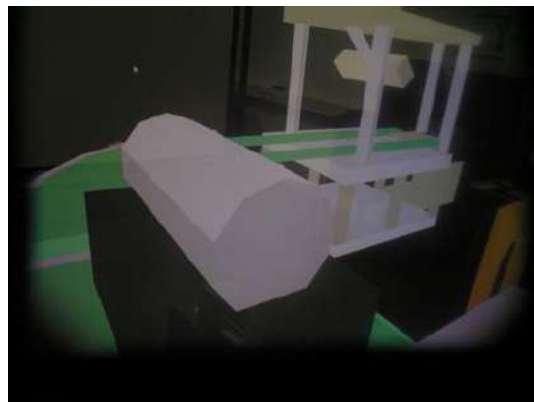
EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 2. GENERÁCIA)

Virtuálne pracovisko v modelovacom prostredí Tecnomatix JACK 7.1 (SIEMENS, vizual KPI FEI TU Košice)



Znázornenie tréningového procesu pomocou dátovej prilby a snímača v parciálnej úlohe uchopenie telesa (vľavo) a pri posúvaní vozíka s motorom (vpravo)

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Pohľad používateľa

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 3. GENERÁCIA)

SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY ZALOŽENÝ NA MS HOLOLENS

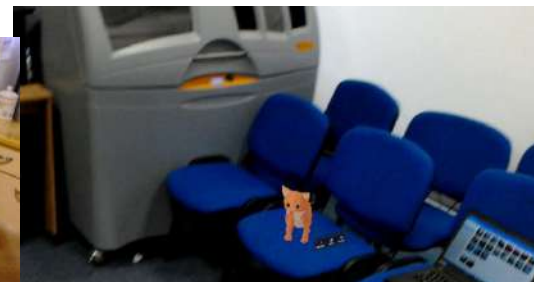


(LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Ukážka práce a pohľad pozorovateľa v systéme zmiešanej reality MS Hololens

EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 3. GENERÁCIA)

SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY ZALOŽENÝ NA MS HOLOLENS



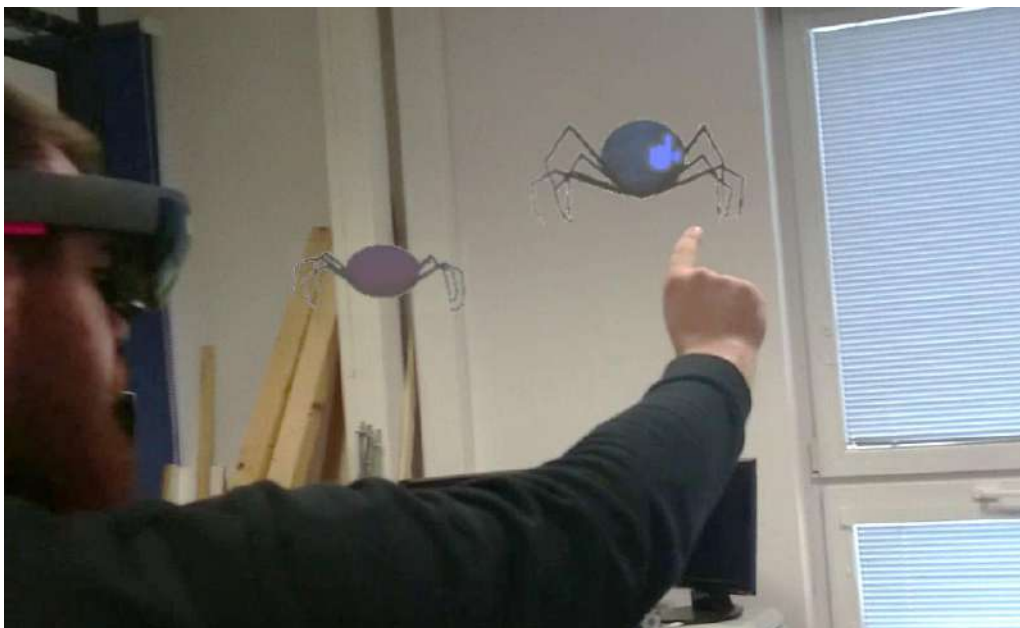
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Ukážka práce a pohľad pozorovateľa v systéme zmiešanej reality MS Hololens

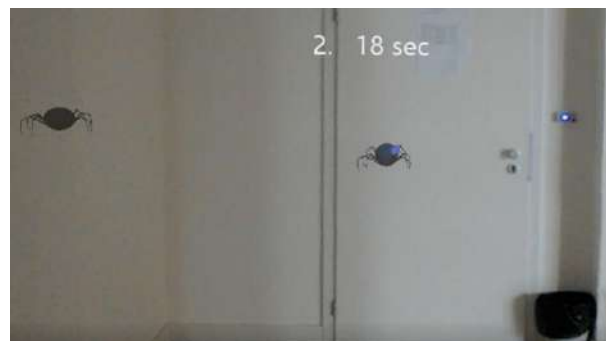
EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 3. GENERÁCIA)

TERAPIA FÓBIÍ NA BÁZE ZMIEŠANEJ REALITY



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Riadenie gestami rúk
a pohľad pacienta v
systéme MR pre
terapiu fóbií



Overovanie MR systému pre
terapiu fóbií



EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 3. GENERÁCIA)

SYSTÉM MR PRE STAVEBNÚ ČINNOSŤ



EXPERIMENTÁLNE PRACOVISKO MR (LIRKIS, 3. GENERÁCIA)

TERAPEUTICKÝ SYSTÉM ZMIEŠANEJ REALITY PRE PARETICKÝCH PACIENTOV



real

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



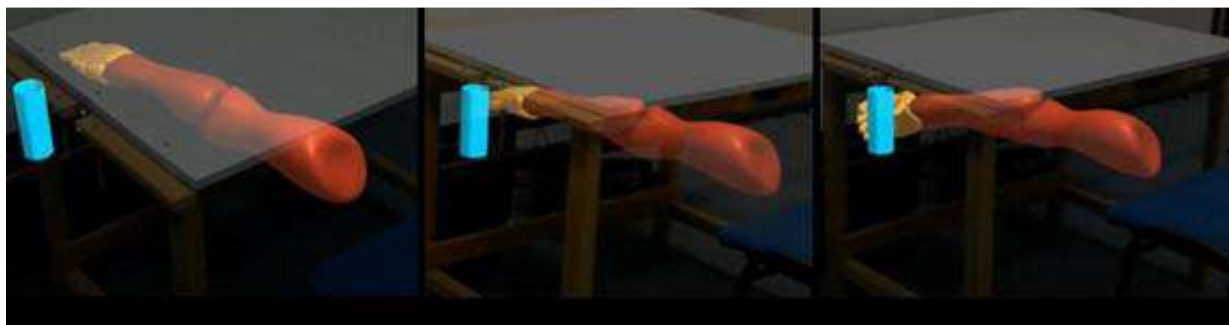
mix



Vizualizácia z pohľadu pacienta
(aktívna kamera zariadenia)

Ukážka práce a pohľad na pacienta v systéme
zmiešanej reality

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Ukážka postupného pohľadu pacienta pri úchope v systéme zmiešanej reality

Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

KOLABORATÍVNA/ZDIEĽANÁ VIRTUÁLNA/X REALITA

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 03

© 2026

KOLABORATÍVNA VR/XR (CVR/CXR)

ZÁKLADNÉ POJMY A DEFINÍCIE

- **Systém Kolaboratívnej VR/XR (CVR/XR)** – je systém založený na báze technológií Virtuálnej Reality/X Reality za účelom sprostredkovať spoločne zdieľané virtuálne prostredie medzi viacerými používateľmi v reálnom čase.
- **Kolaboratívne Virtuálne Prostredie (CVE)** – je virtuálny trojrozmerný priestor poskytujúci zdieľanie viacpoužívateľskej komunikácie a interakcie v reálnom čase.



KOLABORÁCIA VS. KOOPERÁCIA

- **Kolaborácia = tesne-viazaná spolupráca** – aktéri pracujú spolu a aktívne sa ovplyvňujú, rozhodujú, tvoria a riešia problémy spoločne. Je to oveľa zviazanejšia a interaktívnejšia forma spolupráce. Typicky sa používa zjednotená forma „myslenia, rozhodovania a tvorby“ s vysokou mierou komunikácie a koordinácie. Úlohy sa často prekrývajú alebo sú dokonca redundantné. Zodpovednosť je kolektívna, môže existovať riadiaca autorita.
- **Kooperácia = voľne-viazaná spolupráca** – aktéri alebo tímy spolupracujú na spoločnom ciele, ale každý si robí svoju časť úlohy viac-menej samostatne. Úlohy sú rozdelené a každý rieši svoje, ich komunikácia je obmedzená a výsledok vzniká „poskladaním“ jednotlivých častí. V tomto prípade nemusí existovať spoločné rozhodovanie a spravidla nie je definovaná exaktne riadiaca autorita.

Poznámka: Z hľadiska XR a predmetu sa obidva pojmy, napriek ich definičnému rozdielu, budú používať synonymicky

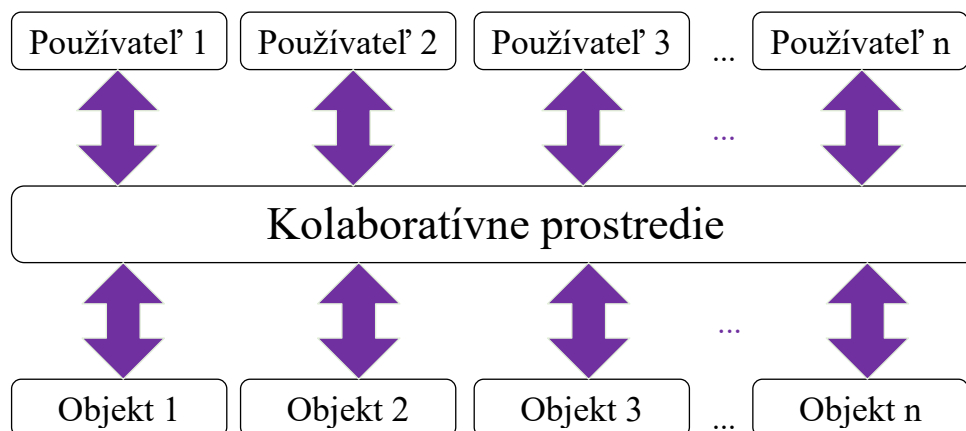
Oblasť	Kooperácia	Kolaborácia
Spôsob práce	paralelná práca	spoločná práca
Prepojenie úloh	nízke	vysoké
Interakcia	nízka/stredná	vysoká
Zodpovednosť	individuálna	zdieľaná



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/výstupov v reálnom čase (multimodalita).
- Interaktívna komunikácia a operovanie v zdieľanom kooperatívnom prostredí.



KLASIFIKÁCIA SYSTÉMOV KOLABORATÍVNEJ VR/XR

Rozdelenie systémov je klasifikované podľa nasledujúcich aspektov:

- Účel využitia
- Dostupnosť
- Konceptie aplikačnej architektúry
- Modely konzistencie zdieľaných prostredí



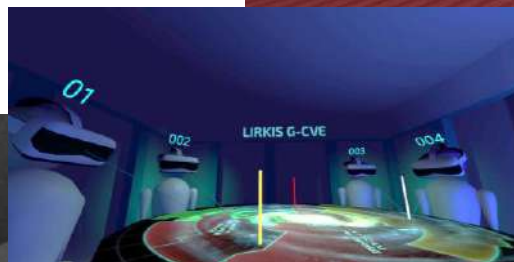
ÚČEL VYUŽITIA CVR(CXR)

- Viacúčelové prostredia
 - Akékoľvek všeobecné použitie.
 - Vysoká miera znovupoužitelnosti.
 - Široké spektrum používateľských úloh
- Prostredia so špecifickým účelom
 - Riešenie zložitých úloh.
 - Limitované využitie len pre konkrétnu oblasť.
 - Obmedzené spektrum používateľských úloh.

VIACÚČELOVÉ CVR/CXR PROSTREDIA

Primárne využitie:

- Virtuálne prehliadky,
- Sociálne stretnutia,
- Edukačné aplikácie,
- Herné aktivity.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



CVR/CXR PROSTREDIA SO ŠPECIFICKÝM ÚČELOM

Primárne využitie:

- Simulačné systémy,
- Tréningové a edukačné aplikácie
- Medicínske aplikácie,
- Priemyselné aplikácie.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

DOSTUPNOSŤ CVR/CXR

- Lokálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia
- Globálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia



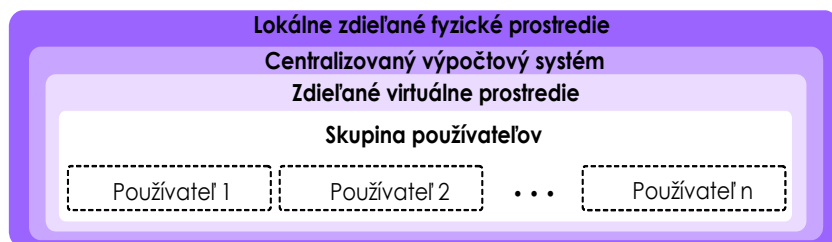
LOKÁLNE ZDIEĽANÉ SYSTÉMY A VIRTUÁLNE PROSTREDIA

- Kolaborácia v rámci spoločného fyzického priestoru.
- Limitácia o vzdialenú kolaboráciu.
- Prirodzená komunikácia používateľov.
- Typy používateľského prístupu:
 - Centralizovaný prístup
 - Oddelený prístup

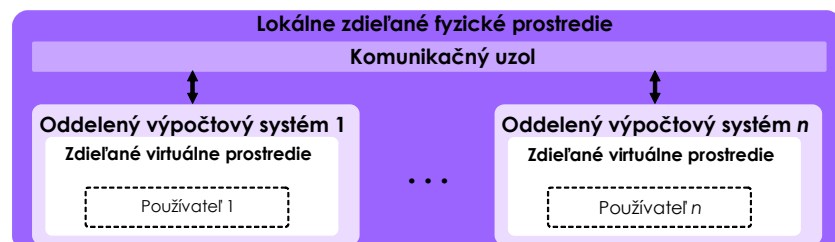


LOKÁLNE ZDIEĽANÉ SYSTÉMY A VIRTUÁLNE PROSTREDIA

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



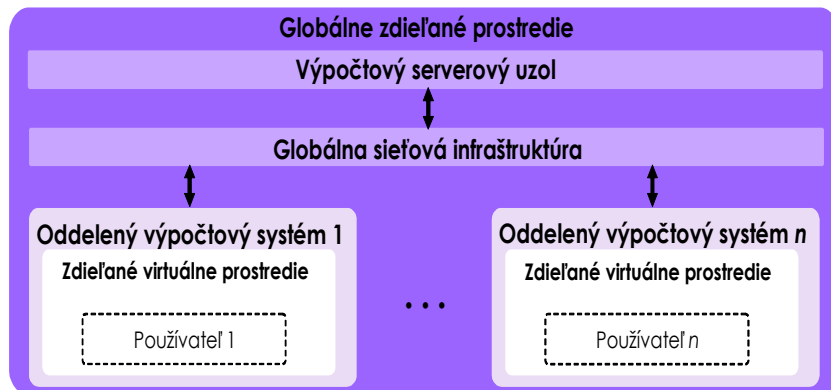
Centralizovaný prístup



Oddelený prístup

GLOBÁLNE ZDIEĽANÉ SYSTÉMY A VIRTUÁLNE PROSTREDIA

- Vzdialená kolaborácia používateľov.
- Rozsiahla skupina používateľov.
- Globálne zdieľaný priestor.
- Nevyhnutné využitie sieťovej infraštruktúry.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



RIADENIE VIZUALIZÁCIE V ZDIEĽANÝCH XR SYSTÉMOCH

- **Vizualizácia riadená jedným používateľom**
najmä lokálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia s centralizovaným riadením, napr. v CAVE
- **Vizualizácia riadená každým používateľom**
najmä lokálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia s oddeleným prístupom a aj globálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia, napr. na báze HMD



KONCEPCIE APLIKAČNEJ ARCHITEKTÚRY CVR/CXR

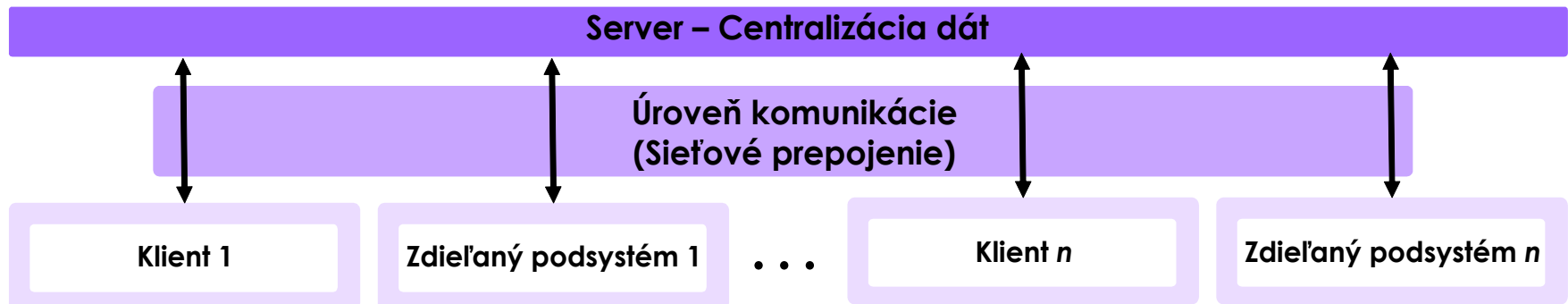
- Architektonický vzor Klient-server
- Architektonický vzor Peer-to-peer
- Distribuovaná serverová architektúra

Poznámka: Aplikačná architektúra ovplyvňuje určovanie rozhodovacej autority v CVR/CXR (*Autoritatívny server* – centrálné riadenie stavu, *Autoritatívny klient* – lokálne rozhodovanie a *Hybridná autorita* – kombinácia oboch). Autorita je element systému, ktorý rozhoduje o platnom stave kolaboratívneho prostredia. Nesprávne určená autorita môže viesť k nekonzistencii údajov/prostredia a bezpečnostným problémom.



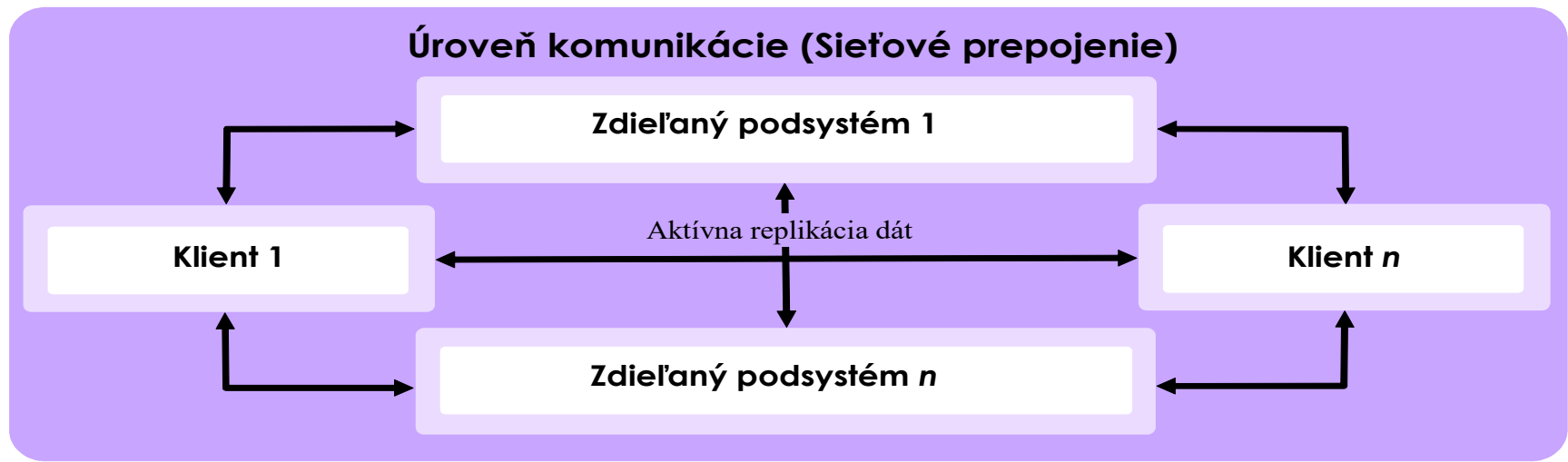
ARCHITEKTONICKÝ VZOR KLIENT-SERVER

- Server :
 - Centralizácia a synchronizácia dát medzi používateľmi.
 - Správa viacpoužívateľského prístupu a interakcie.
 - (odľahčenie výpočtového výkonu klienta)
- Klient :
 - Obojstranná komunikácia so serverom.
 - Zdieľanie interakcie v rámci kolaboratívnej skupiny.



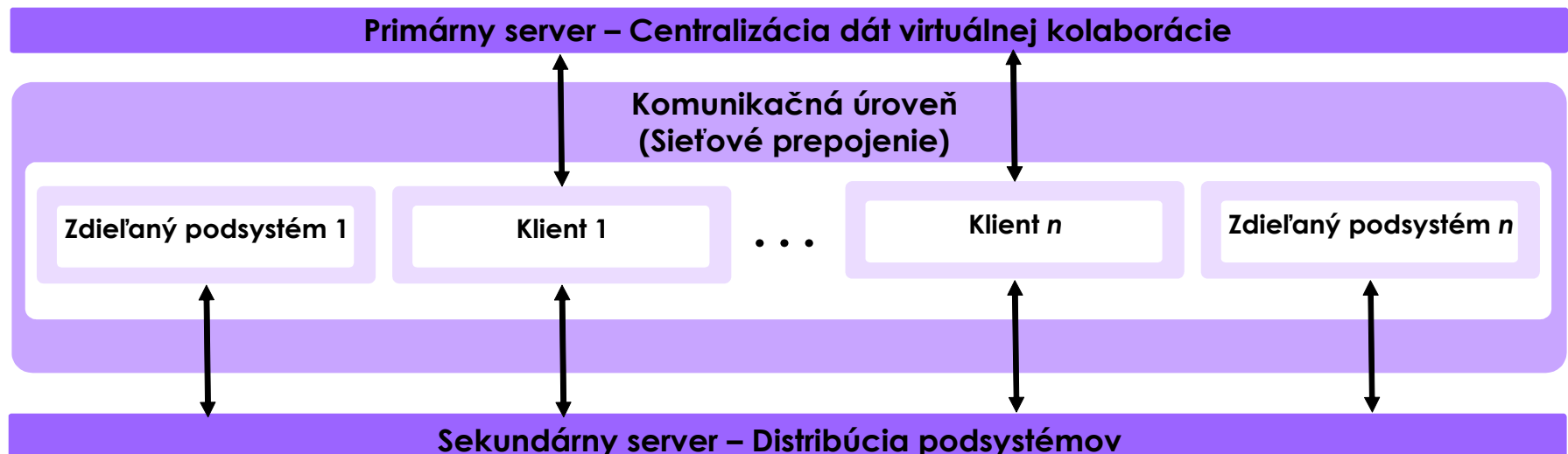
ARCHITEKTONICKÝ VZOR PEER-TO-PEER

- Absencia centralizovaného uzla – Servera.
- Spracovávanie viacpoužívateľského prístupu riadené len klientmi - Replikácia zdieľaných údajov navzájom.
- Potrebný vyšší výpočtový výkon klientov.
- Časté problémy s konzistenciou údajov.



DISTRIBUOVANÁ SERVEROVÁ ARCHITEKTÚRA

- Založená na báze architektonického modelu klient-server.
- Využitie najmenej dvoch *Serverových uzlov*:
 - *Primárny server* :
 - Spracovanie klientských prístupov.
 - Sprostredkovanie centralizovaného virtuálneho prostredia.
 - *Sekundárny server*:
 - Spracovávanie špecifických podsystémov a komplexných dát.



KONZISTENCIA ZDIEĽANÝCH PROSTREDÍ

- Pri zdieľaní virtuálneho prostredia vykonávajú používatelia rôzne aktivity.
- Týmto aktivitami modifikujú zdieľaný obsah.
- Každá modifikácia zdieľaného obsahu musí byť sprostredkovaná všetkým používateľom, bez straty.
- Z hľadiska konzistencie prostredia platí tiež poznámka pri koncepciách aplikačných architektúr (určenie autority)
- Z tohto dôvodu sú používané Modely konzistencie zdieľaných prostredí.



MODELY KONZISTENCIE ZDIEĽANÝCH PROSTREDÍ

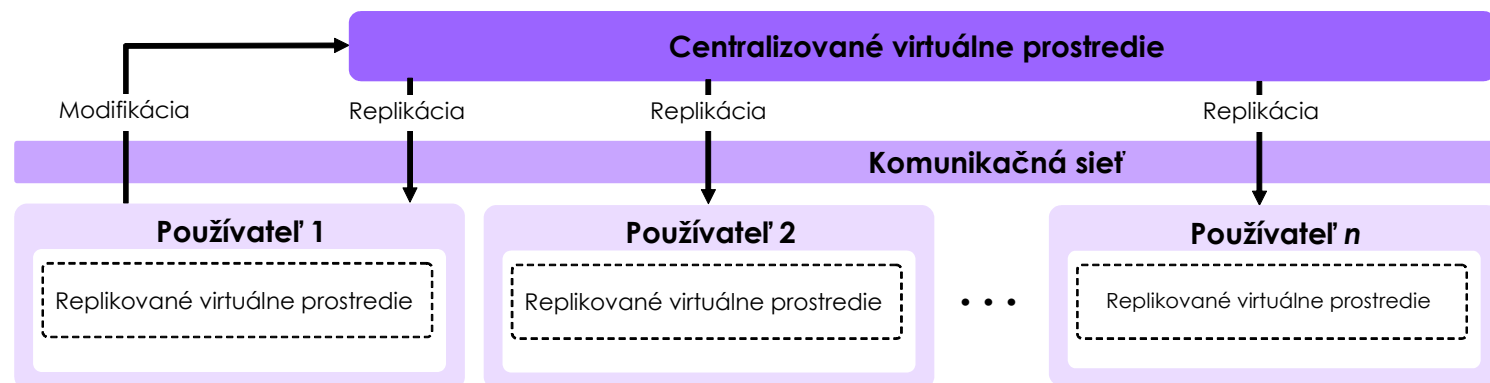
- Centralizované virtuálne prostredie
- Aktívne replikované virtuálne prostredie
- Distribuované virtuálne prostredie
- Zdieľanie vlastníctva údajov



CENTRALIZOVANÉ VIRTUÁLNE PROSTREDIE

Pravidlá pre zabezpečenie konzistencie zdieľaného obsahu :

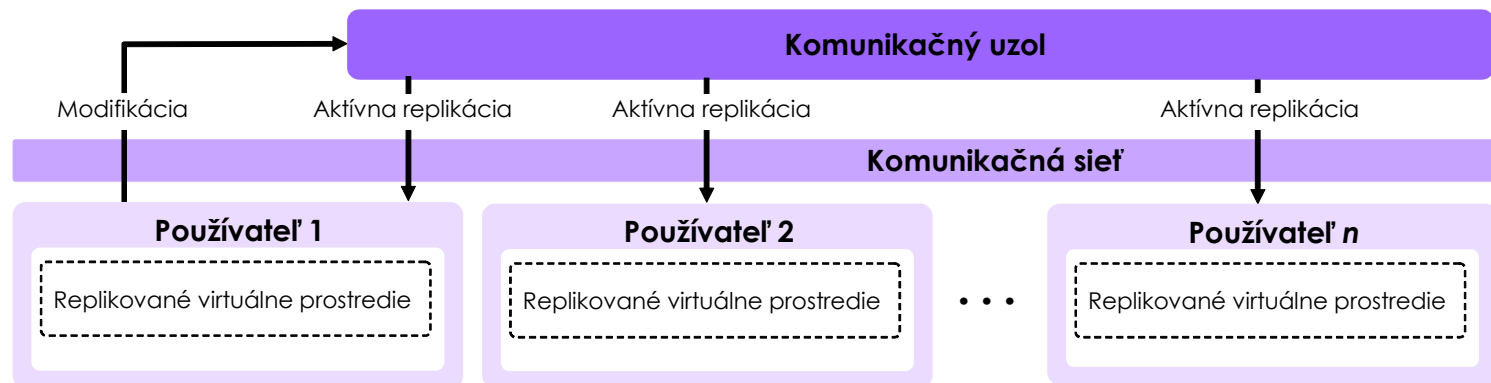
1. *Po pripojení* obdrží každý z používateľov replikáciu celého virtuálneho prostredia vrátane jeho aktuálneho stavu.
2. *Modifikáciu objektov* môžu vykonávať všetci pripojení používatelia súčasne.
3. *Po vykonaní modifikácie* je centralizované virtuálne prostredie aktualizované a zmena je replikovaná všetkým používateľom.
4. *Po ukončení kolaborácie* sa stav prostredia uchováva pre budúce použitie.



AKTÍVNE REPLIKOVANÉ VIRTUÁLNE PROSTREDIE

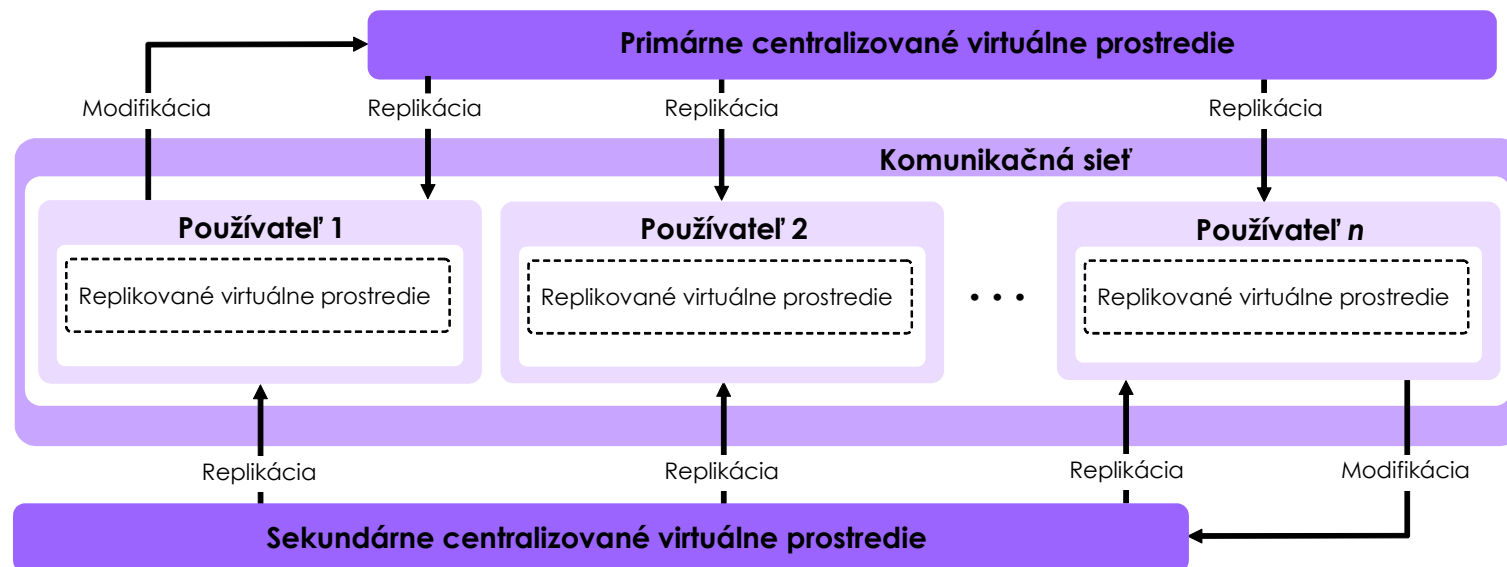
Pravidlá pre zabezpečenie konzistencie zdieľaného obsahu :

1. *Pred pripojením* musí byť zdieľané virtuálne prostredie programovo prítomné v každom používateľskom zariadení a v rovnakom počiatočnom stave.
2. *Po pripojení* nastáva len aktívna replikácia údajov medzi používateľmi prostredníctvom komunikačného uzla, ktorý údaje ncentralizuje.
3. Ak počas priebehu kolaborácie sa pripojí nový používateľ, ostatní používatelia mu automaticky replikujú súčasný stav virtuálneho prostredia, so všetkými zmenami, ktoré počas priebehu kolaborácie nastali.
4. *Modifikácia virtuálneho obsahu* môže byť vykonávaná všetkými používateľmi súbežne.
5. Ak niektorý z používateľov vykonáva modifikáciu nad konkrétnym obsahom, replikuje túto udalosť ostatným používateľom hromadne.
6. *Po ukončení kolaborácie* sa posledný stav prostredia neuchováva pre budúce použitie.



DISTRIBUOVANÉ VIRTUÁLNE PROSTREDIE

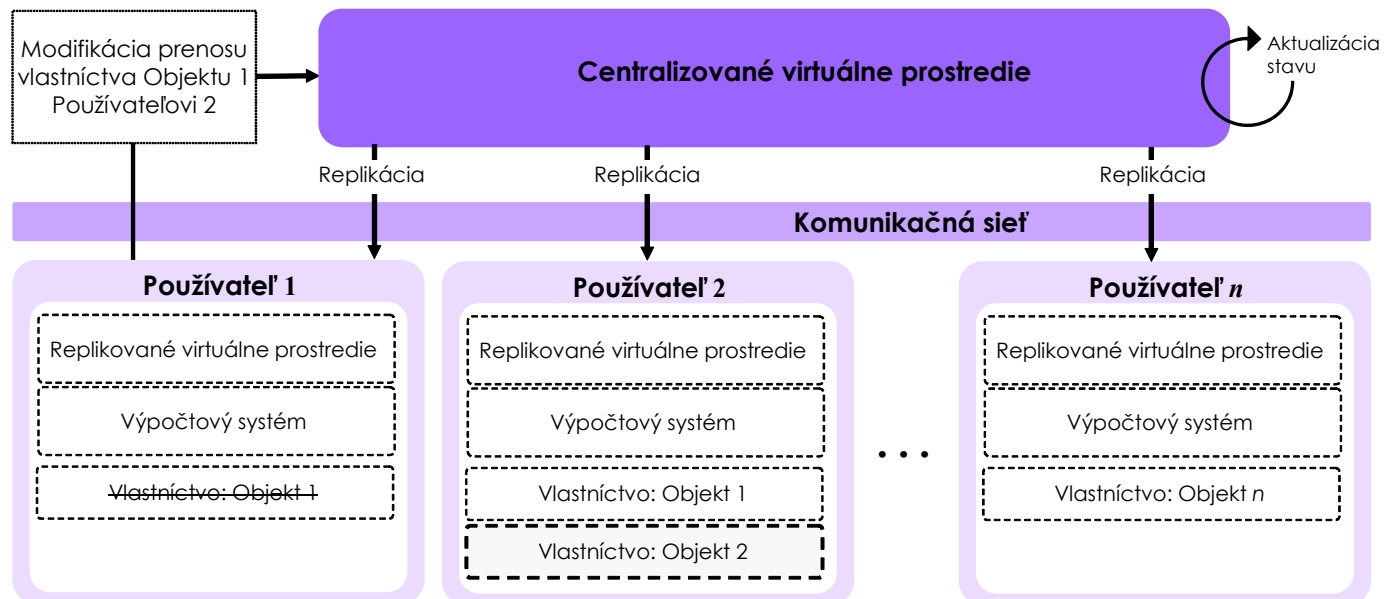
Pravidlá pre zabezpečenie konzistencie zdieľaného obsahu sú rovnaké ako v modeli Centralizovaného virtuálneho prostredia.



ZDIEĽANIE VLASTNÍCTVA ÚDAJOV

Zdieľanie vlastníctva údajov obsahuje nasledujúce udalosti:

- *Získanie vlastníctva :*
 - Ak používateľ získa prístup k virtuálnemu objektu a následne interaguje.
- *Odovzdanie vlastníctva :*
 - Ak používateľ predá, respektíve odovzdá objekt druhému používateľovi.
- *Odstúpenie vlastníctva :*
 - Ak sa používateľ vzdá virtuálneho objektu a ponechá ho voľne v prostredí.



SPRACOVÁVANIE VIACPOUŽÍVATEĽSKÉHO PRÍSTUPU

PRI ZDIEĽANÍ VIRTUÁLNEHO PROSTREDIA

- Mechanizmy replikácie údajov
- Riadenie interakcie skupiny používateľov
- Zabezpečenie viacpoužívateľského prístupu



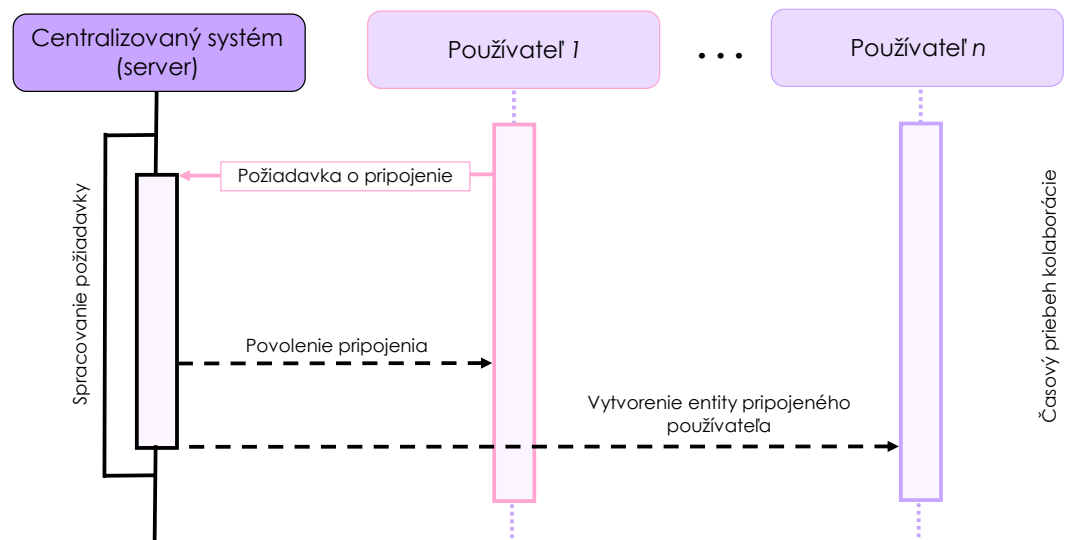
MECHANIZMY REPLIKÁCIE ÚDAJOV

- Synchronná replikácia údajov
- Asynchronná replikácia údajov



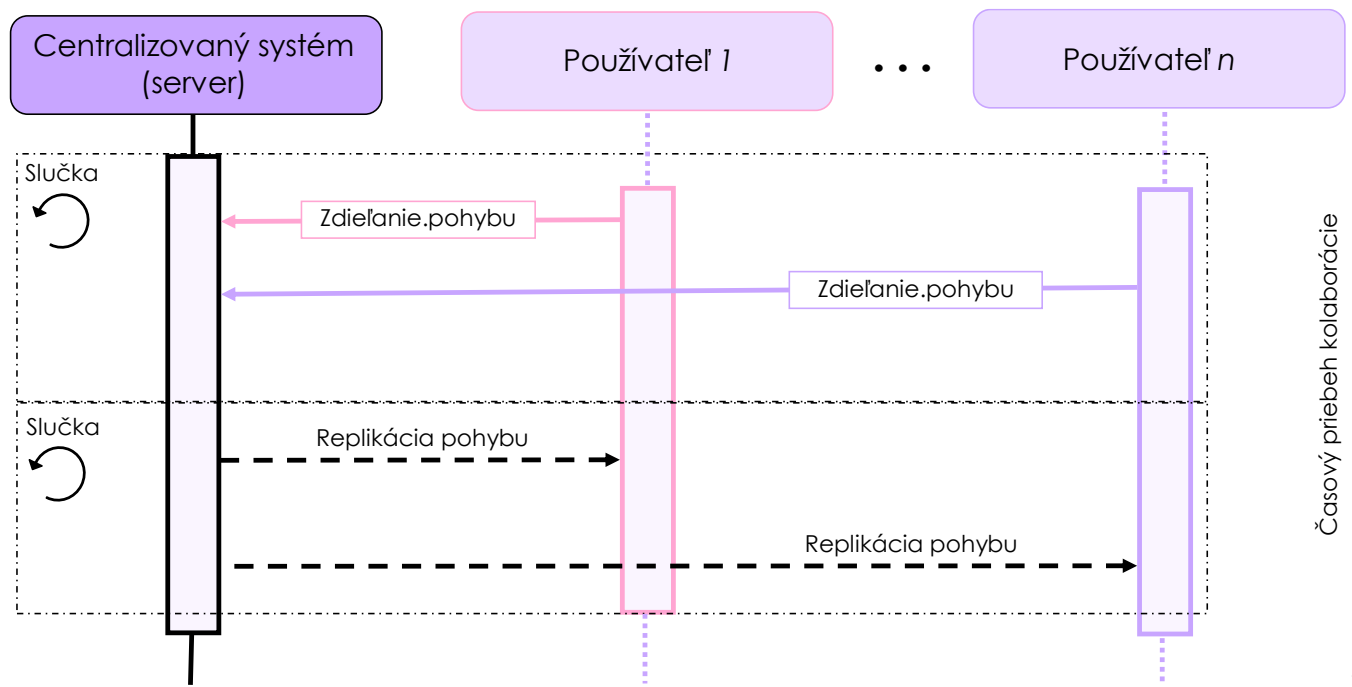
SYNCHRÓNNA REPLIKÁCIA ÚDAJOV

- Vykonanie požiadavky na systém, ktorá musí byť spracovaná.
- Druhy požiadaviek:
 - Pripojenie používateľa
 - Odpojenie používateľa
 - Zmena identity
- Pri spracovávaní požiadavky
 - *Musí jej žiadateľ (používateľ) čakať na spätnú odpoveď od systému.*
 - *Ostatní používatelia môžu v priebehu spracovávania požiadavky pokračovať v činnosti, bez čakania na výsledok jej spracovania.*



ASYNCHRÓNNA REPLIKÁCIA ÚDAJOV

- Vykonanie súbežných aktivít, ktoré sú replikované v krátkych opakujúcich sa časových intervaloch.
- Bez spracovávania požiadaviek systémom.
- Druhy aktivít:
 - Pohyb v zdieľanom virtuálnom prostredí
 - Zasielanie komunikačných správ



KOMUNIKAČNÁ LATENCIA V CVR/CXR

Latencia (podobne ako pri MR) je kritickým faktorom kvality CVR/CXR najmä pri replikácii údajov.

Sieťová latencia predstavuje časové oneskorenie medzi vykonaním interakcie používateľom a jej zobrazením ostatným používateľom

- Zdroje latencie:
 - sieťová infraštruktúra
 - spracovanie dát serverom
 - samotná replikácia a následné vykresľovanie zmien (na klientoch)
- Latencia z hľadiska CVR/CXR ovplyvňuje najmä:
 - *konzistenciu* zdieľaného prostredia
 - *synchronizáciu* pohybu a interakcií používateľov
 - *prezenciu* používateľov t.j. vnímanie ich spoločnej prítomnosti



MECHANIZMY RIADENIA INTERAKCIE POUŽÍVATEĽOV

- Mechanizmus kolaborácie s blokováním viacpoužívateľskej interakcie
- Mechanizmus kolaborácie s riadením voľnej interakcie používateľov

Poznámka: Interakcia vytvára problém najmä pri súbežnej interakcii používateľov. Konflikty vznikajú spravidla pri súčasnej manipulácii s rovnakým objektom a paralelných úpravách stavu prostredia. Ignorovanie tohto problému môže viesť k nekonzistentnému stavu prostredia a zníženiu dôvery používateľov v systém. Preto sa zavádzajú tieto mechanizmy.

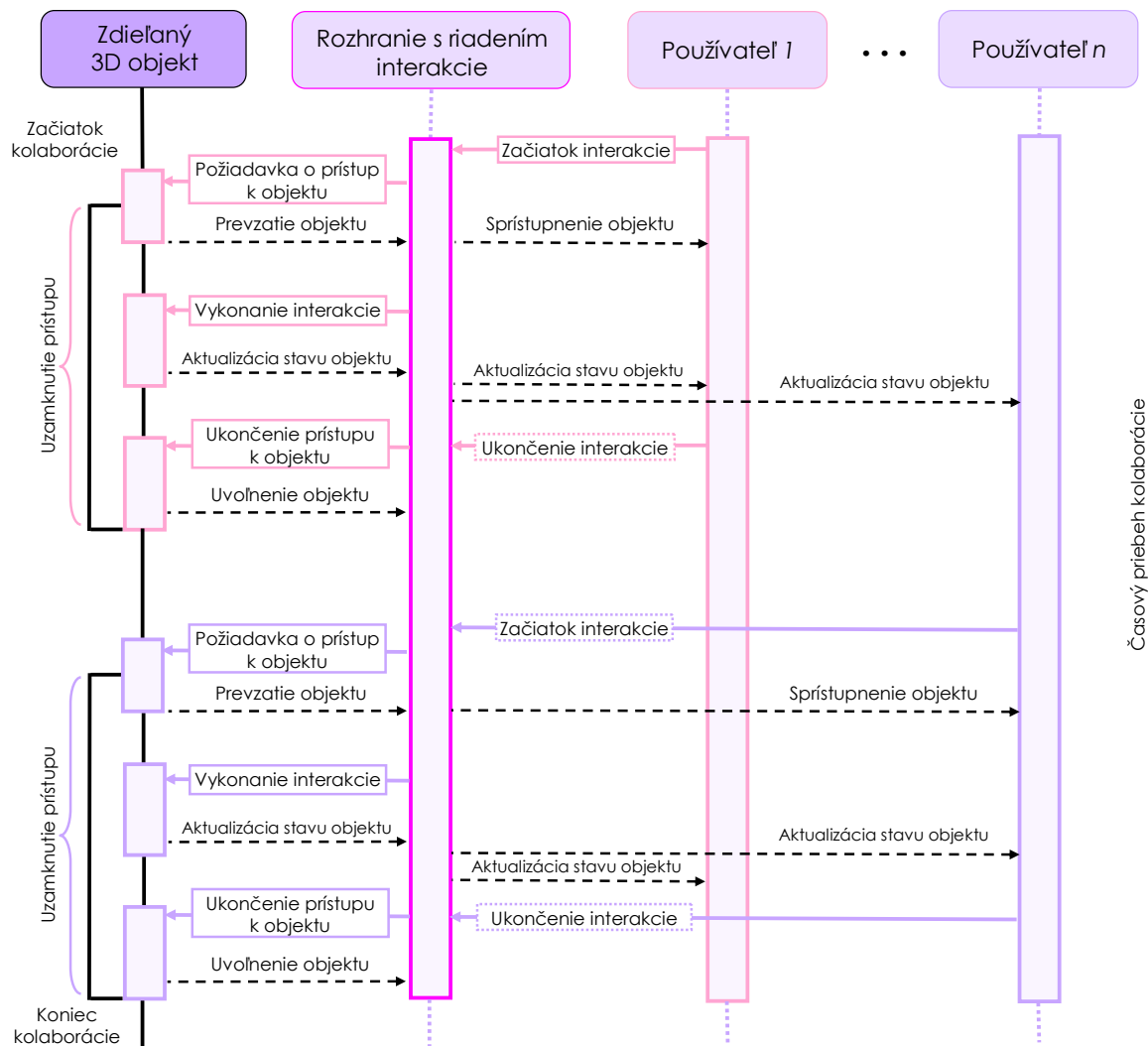


KOLABORÁCIA S BLOKOVANÍM VIACPOUŽÍVATEĽSKEJ INTERAKCIE

- Riadenie interakcie je založené na synchrónnom mechanizme, ktorý sprístupňuje ovládanie zdieľaného objektu len jednému používateľovi v reálnom čase.
- Pri blokovaní interakcie je aplikovaný nasledujúci algoritmus:
 1. *Používateľ 1* začne vykonávať interakciu nad zdieľaným objektom.
 2. Rozhranie túto interakciu prijme a skontroluje stav objektu:
 - Ak je virtuálny objekt dostupný, prevezme prístup a objekt uzamkne.
 - Ak je virtuálny objekt uzamknutý, zamietne prístup pre používateľa.
 3. Po sprístupnení objektu používateľovi je vykonávaná interakcia.
 4. Stav objektu je priebežne aktualizovaný a replikovaný všetkým používateľom.
 5. Na záver *Používateľ 1* ukončí interakciu.
 6. Rozhranie zaznamená ukončenie interakcie a zdieľaný objekt odomkne.
 7. Následne môže vykonávať interakciu *Používateľ n*.



KOLABORÁCIA S BLOKOVANÍM VIACPOUŽÍVATEĽSKEJ INTERAKCIE

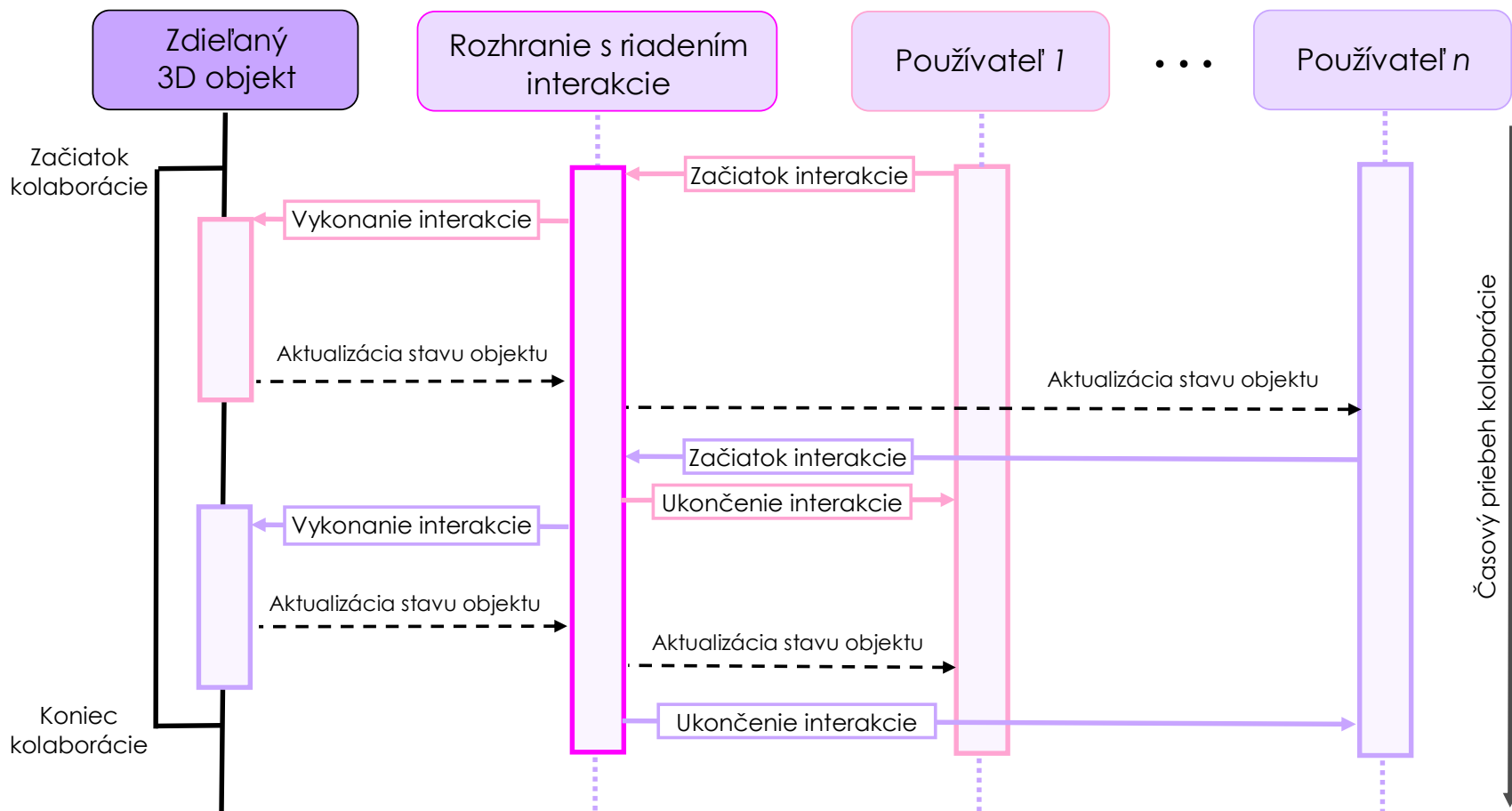


KOLABORÁCIA S RIADENÍM VOĽNEJ INTERAKCIE POUŽÍVATEĽOV

- V prípade voľne riadenej interakcie sú používatelia schopní si konkurovať pri ovládaní zdieľaného objektu.
- Pri voľnej interakcii je aplikovaný nasledujúci algoritmus:
 1. *Používateľ 1* začne vykonávať interakciu nad zdieľaným objektom.
 2. Rozhranie túto interakciu prijme a vykoná ju nad zdieľaným objektom.
 3. Stav objektu je priebežne aktualizovaný a replikovaný všetkým používateľom.
 4. Ak vykoná interakciu *Používateľ n*, rozhranie ukončí interakciu *Používateľa 1*.
 5. Následne vykonáva interakciu *Používateľ n*.
 6. Stav objektu je opäť aktualizovaný a replikovaný všetkým používateľom.
 7. Ak *Používateľ n* ukončí interakciu, rozhranie prestane vykonávať zmeny nad objektom.



KOLABORÁCIA S RIADENÍM VOĽNEJ INTERAKCIE POUŽÍVATEĽOV



ZABEZPEČENIE VIACPOUŽÍVATEĽSKÉHO PRÍSTUPU

- Riadenie prístupov podľa identifikácie používateľov
- Riadenie interakcií podľa hierarchie používateľov

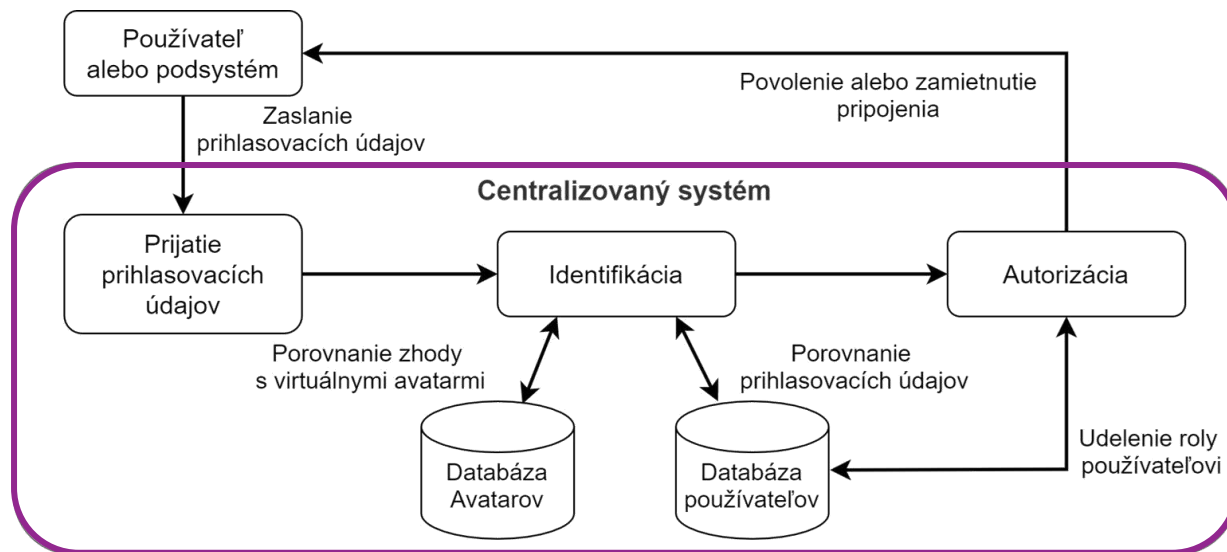


RIADENIE PRÍSTUPOV

PODĽA IDENTIFIKÁCIE POUŽÍVATEĽOV

Proces zabezpečenia prístupu používateľa pozostáva z nasledujúcich bodov:

1. Zaslanie prihlasovacích údajov do systému
2. Prijatie prihlasovacích údajov systémom
3. Identifikácia
4. Autorizácia
5. Povolenie alebo zamietnutie pripojenia



RIADENIE INTERAKCIÍ

PODĽA HIERARCHIE POUŽÍVATEĽOV

- Využitie modelov zabezpečenia *na základe rolí používateľov* (Role-based Access Control : RBAC).
- Delenie kompetencií a práv používateľov.

Kompetencie	Používateľské roly			
	Editor	Inštruktor	Kolaborant	Pozorovateľ
Vynútenie vlastníctva	😊	😊	✗	✗
Získanie voľného vlastníctva	😊	😊	😊	✗
Správa zdieľaného obsahu	😊	✗	✗	✗
Sledovanie aktivity používateľov	😊	😊	😊	😊
Riadenie kontextu kolaborácie	✗	😊	✗	✗

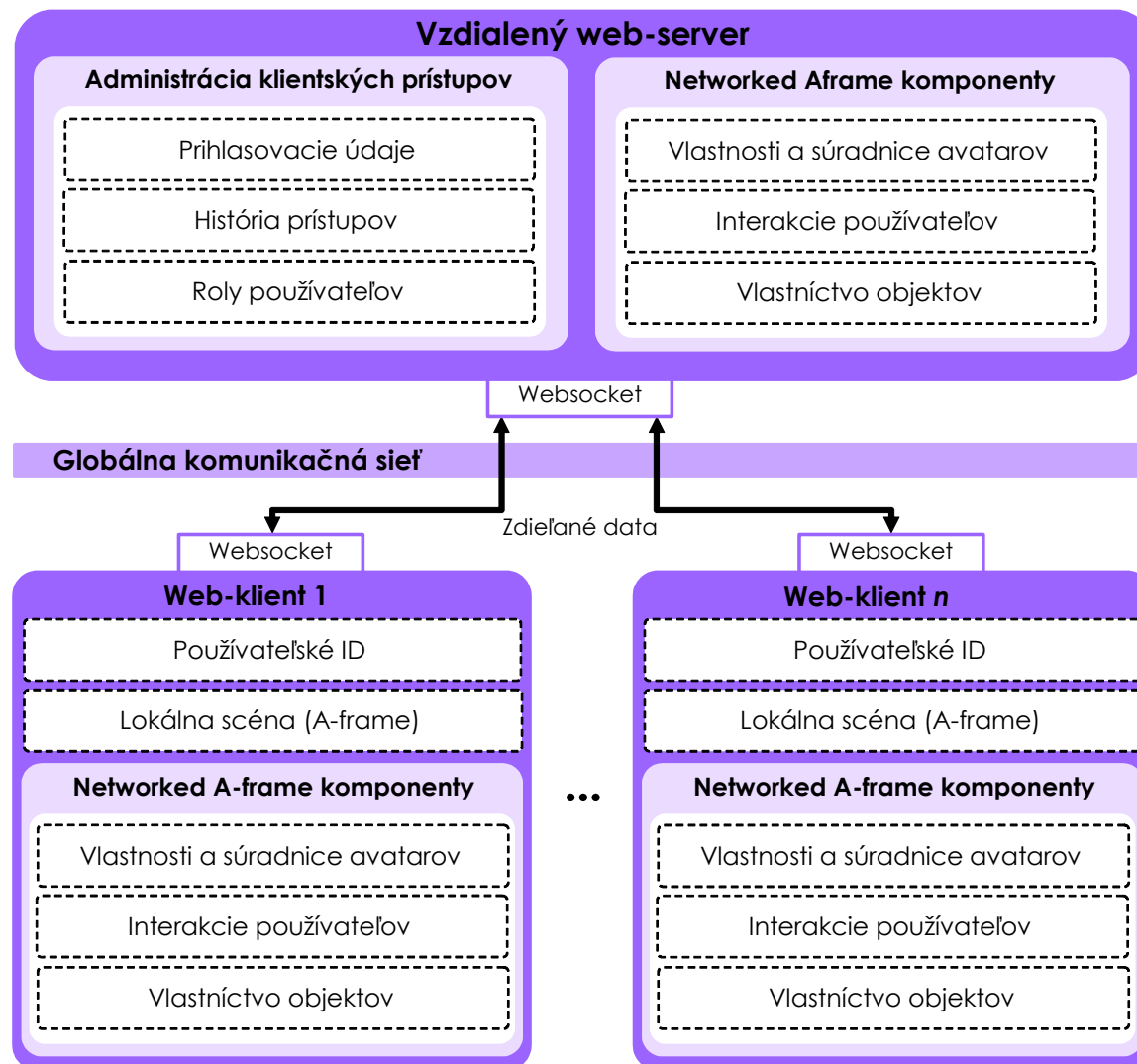
Príklad RBAC tabuľky

SYSTÉM LIRKIS G-CVE

- LIRKIS G-CVE – Global Collaborative Virtual Environment
- Účelom systému je poskytovať globálne prístupné virtuálne prostredia prostredníctvom webových prehliadačov.
- LIRKIS G-CVE využíva architektúru klient-server, prostredníctvom ktorej poskytuje prístup viacerým klientom v reálnom čase.
- Hlavnou časťou systému je vzdialený webový server, ktorý riadi komunikáciu medzi klientmi a sprostredkúva ich interakcie v zdieľanom virtuálnom prostredí.
- Server využíva tri aplikačné softvérové rámce : *Node.js*, *Express.js* a *NetworkedAframe*, implementované v skriptovacom jazyku *JavaScript*.
 - *Node.js* poskytuje paralelné pripojenie klientov v reálnom čase a spravuje asynchrónny dátový tok klient-server.
 - *Express.js* poskytuje restové API servera pre odbavenie HTTP požiadaviek od klientov počas pripojenia.
 - *Networked-Aframe* riadi zdieľanie a synchronizovanie virtuálneho prostredia medzi klientmi vrátane všetkých 3D objektov a interakcií.
- Komunikácia medzi klientom a serverom je založená na protokole *WebSocket*.
- Klient využíva technológiu *Aframe* so skriptovacím jazykom *JavaScript*.



ARCHITEKTÚRA SYSTÉMU LIRKIS G-CVE

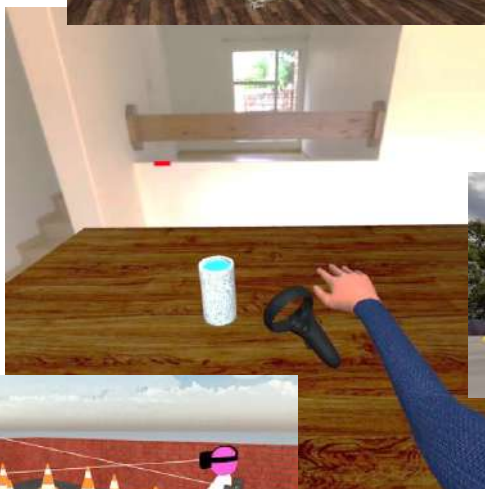


APLIKAČNÉ NASADENIE CVR/CXR SYSTÉMOV

- Herné aplikácie
- Edukačné a tréningové aplikácie
- Simulačné aplikácie
- Dizajnové a konštrukčné aplikácie
- Priemyselné aplikácie
- Virtuálne prehliadky
- Medicínske aplikácie



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

XR SYSTÉMY

NÁVRH, KONŠTRUKCIA A ROZHRRANIA

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

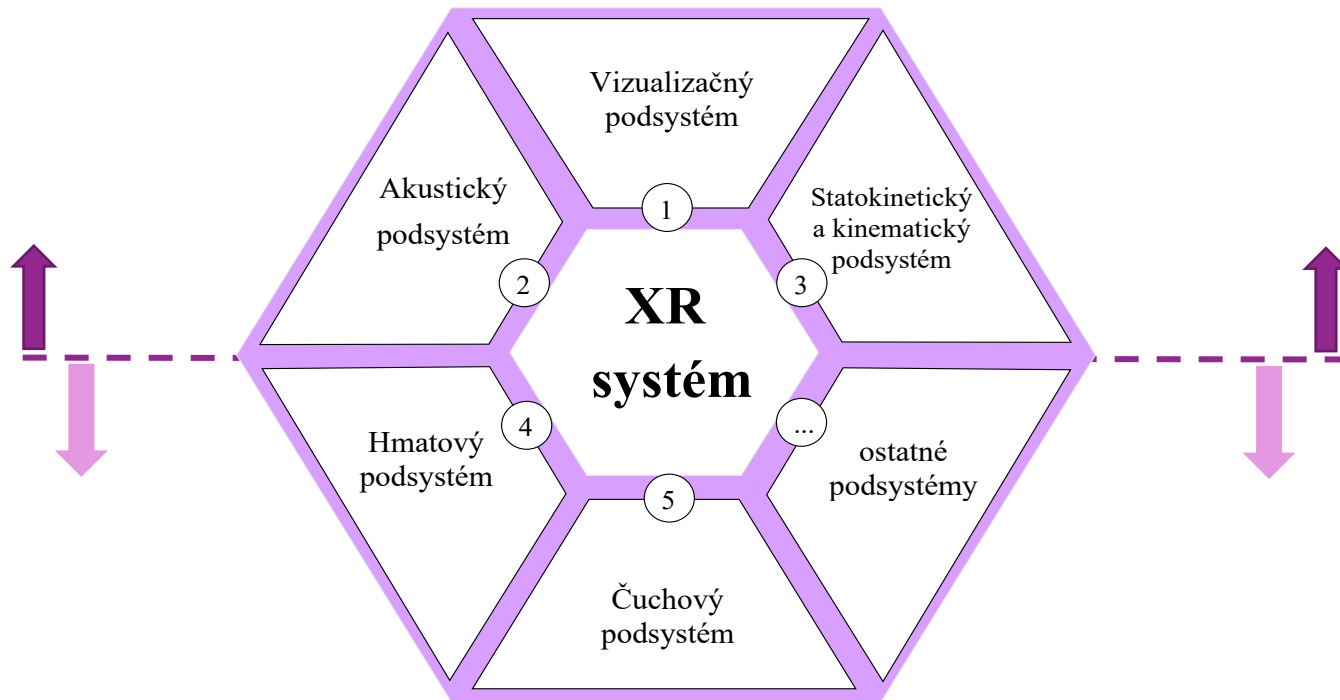
Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 04

© 2026

XR SYSTÉM A JEHO PODSYSTÉMY

Primárne podsystemy



Sekundárne podsystemy

ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

Z POHLADU IT

- Technické prostriedky
- Programové prostriedky
- Ostatné prostriedky

! Dobre navrhnutý a implementovaný XR systém je výsledkom vyváženia možností jednotlivých prostriedkov a používateľských (ľudských) limitov. **!**

Poznámka: Implementácia v súčasnosti smeruje ku štandardizácii na rôznych úrovniach. Vhodnou voľbou pre vývoj XR systémov je použitie OpenXR API,
<https://www.khronos.org/openxr/>



ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

- **Technické prostriedky**

- Mechanická konštrukcia
- Elektrická konštrukcia – silová
- Elektrická konštrukcia – nízkonapäťová
 - Sieťové podsystémy
 - **Senzorické** systémy
- Koncepcia jednotlivých podsystémov
 - **Vizualizačný** podsystém
 - Akustický podsystém
 - Kinematický a statokinetický podsystém
 - **Hmatový** podsystém
 - Ďalšie podsystémy
- Výpočtový systém
 - Architektúra
 - Jednojadrová
 - Viacjadrová
 - Jednosystémová
 - Paralelná, distribuovaná
 - Úložiská
 - Lokálne
 - Sieťové



ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

- **Programové prostriedky**

- Definičné prostriedky – formalizácia
 - Definovanie statických objektov, scén, svetov a prírodných javov
 - Definovanie dynamiky objektov, scén, svetov a prírodných javov
- Operačný systém
- Programové prostriedky jadra
 - Transformácie
 - Riešenie kolízií
- Programové prostriedky opisu datových štruktúr a modelov
- Skriptovacie prostriedky



ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU



- **Ostatné prostriedky**

- Fyzikálna podpora
- Medicínska podpora
- Neurologická podpora
- Psychologická podpora
- Biologická, chemická a biochemická podpora
- V prípade špecifického nasadenia – expertízna podpora
- Hygienické pravidlá



ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

PROBLÉMY LATENCIE A VPLYV NA XR SYSTÉM

Latencia predstavuje časové oneskorenie medzi vstupnou aktivitou používateľa a odozvou systému. Riešenie problému latencie je potrebné riešiť najmä na úrovni technických a programových prostriedkov.

Základné typy latencií, ktoré je potrebné pri implementácii riešiť:

- *vstupná latencia* - snímanie aktivity používateľa napr. na úrovni jeho pohybu či gest vrátane možných bio-senzorických vstupov
- *procesná/výpočtová latencia* – v rámci hlavnej procesnej slučky XR systému, ide najmä o návrh jadra systému (technicky aj programovo)
- *sieťová latencia* – týka sa hlavne distribuovaných a kolaboratívnych systémov. Je riešená v dvoch smeroch:
 - *infraštruktúrne* - technické zabezpečenie siete, technická sieťová latencia
 - *softvérovým manažmentom* – „logická“ a štrukturálna koncepcia, architektúra (napr. klient-server)
- *vizualizačná latencia* - spôsob výpočtu vizualizačného výstupu, renderovanie, príp. stereoskopia alebo viac-obrazovkový výstup, vrátane technológií CSR/SSR (Client/Server Side Rendering).

Dôsledky vysokej latencie:

- zníženie imerzie a kvality UX
- zníženie presnosti a rýchlosti interakcie
- zvýšené riziko cyber-sickness



ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

PROBLÉMY BEZPEČNOSTI POUŽÍVATEĽA V XR SYSTÉME

Základné bezpečnostné riziká vyplývajúce z implementácie XR systému. Riešenie problému bezpečnosti je potrebné riešiť na všetkých vyššie menovaných úrovniach (bez poradia dôležitosti):

Základná bezpečnosť na úrovni:

- ergonómie rozhrania – prívetivé a adaptívne pre používateľa
- vytvorenia ochranných zón – obojsmerne okolie ↔ používateľ všetkými typmi prostriedkov
- bezpečnostných mechanizmov – od technického zabezpečenia po organizačné (aj medicínske a hygienické alebo spracovanie citlivých údajov (napr. bio-metrické údaje, behaviorálne údaje))

Fyzická bezpečnosť:

- kolízie s objektami reálneho priestoru
- strata orientácie a rovnováhy
- obmedzená schopnosť spracovania súbežných podnetov, rozdielne spracovanie imerzie (hlbkový vnem, gravitácia)

Psychologická bezpečnosť:

- preťaženie zmyslov
- dezorientácia
- rozdielna adaptácia na „virtuálny“ pohyb resp. jeho obmedzenia
- stres



MERANIE KOMFORTU POUŽÍVATEĽA

ISO 9241-210, ISO 9241-11:2018

Na báze ergonómie interakcie človek-systém (HCI – Human Computer Interface, HCD, Human-centred design).
Vyššia technologická úroveň systému neznamena vyšší komfort používateľa

Podľa spôsobu vyhodnocovania:

- *Subjektívne (attitudinal) metódy* - sú založené na individuálnych hodnoteniach účastníkov testov, ktoré sa najčastejšie získavajú prostredníctvom dotazníkov, rozhovorov, videozáznamov alebo iných kvalitatívnych techník
 - SUS - System Usability Scale
 - NASA-TLX - NASA Task Load index
 - VRSQ - Virtual Reality Sickness Questionnaire
 - IPQ - Igroup Presence Questionnaire
- *Objektívne metódy* - založené na kvantitatívnom meraní, s využitím meracích zariadení a senzorov na monitorovanie fyziologických alebo behaviorálnych reakcií používateľov počas interakcie so systémom
 - *Efektívnosť/Výkonnosť (Efficiency)* - je mierou trvania potrebného na to, aby používateľ splnil úlohu/y s najmenším úsilím.
 - Čas
 - Počet pokusov
 - *Efektívnosť/Účinnosť (Effectiveness)* - je mierou úspešnosti používateľa pri vykonávaní úlohy
 - Správne poradie vykonania
 - Počet chýb alebo neúspešných pokusov



MERANIE KOMFORTU POUŽÍVATEĽA

ĎALŠIE POUŽÍVANÉ PARAMETRE

V súčasnosti nie je celosvetovo prijatá jednotná metodika vyhodnocovania komfortu resp. používateľského zážitku (UX) v XR systémoch.

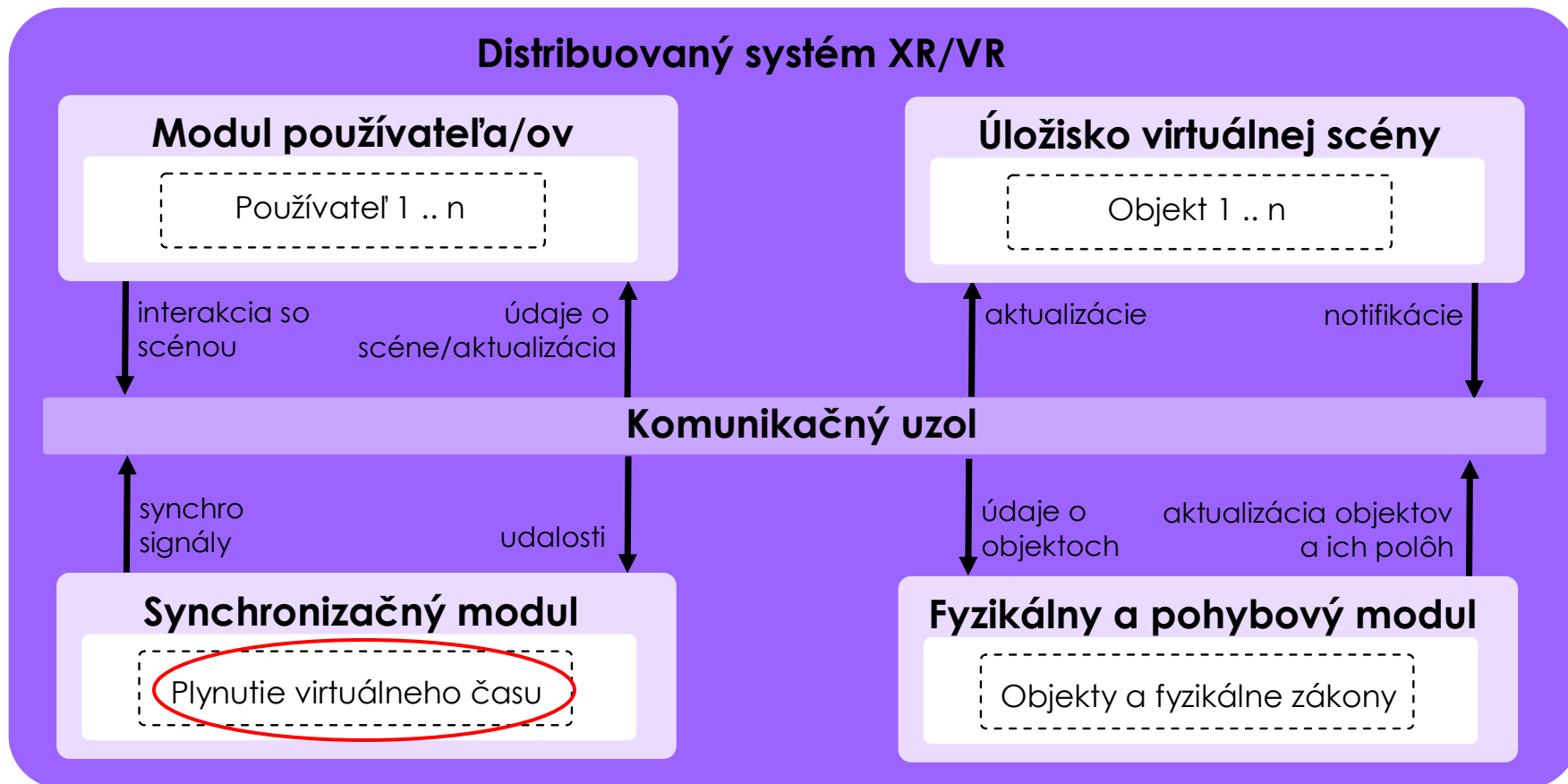
Okrem už uvedených parametrov sa používajú aj:

- rozmer virtuálneho priestoru (2D, 3D),
- miera simulovanej virtuálnej fyzikálnej veličiny (okrem času, napr. vzdialenosť, objem, farba, jas, zvuk atď.),
- počet interakcií s virtuálnymi objektmi,
- merané končatiny alebo iné časti tela (napr. hlava, prsty, oči, uši atď.),
- prispôbenie pre pravákov aj ľavákov,
- typy alebo multimodalita V/V zariadení (napr. klávesnica, myš, gamepad, ovládače headsetu XR, senzory mobilného telefónu, monitor, obrazovky headsetu XR atď.) a
- počet použiteľných/používaných V/V zariadení v kontexte ich multimodality vrátane ich kombinácií a alternatív.



PLNÝ DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM XR

SCHÉMA ZÁKLADNEJ KONCEPCIE - PRÍKLAD IMPLEMENTÁCIE



PLNÝ DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM

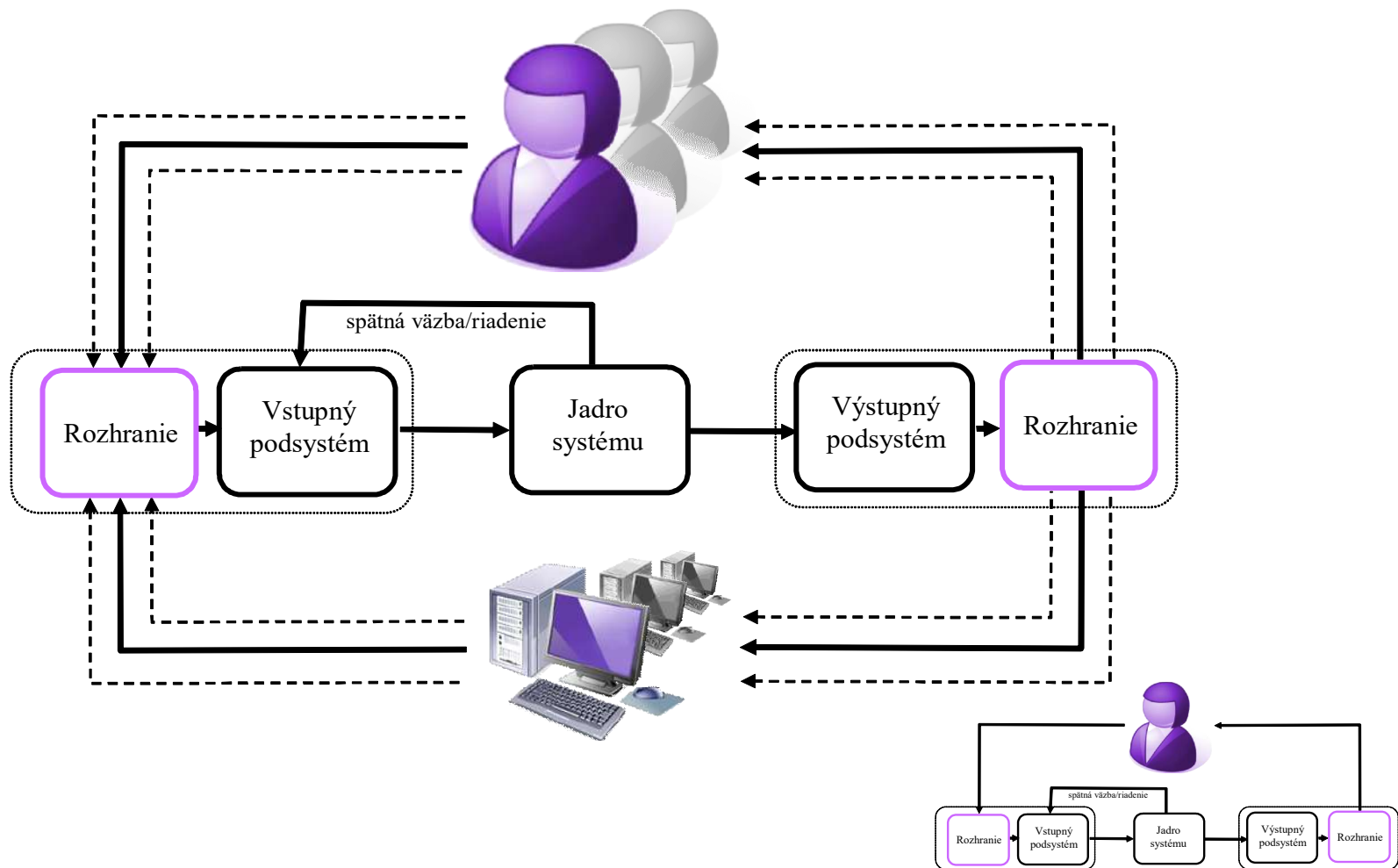
ZÁKLADNÉ MODULY – PRÍKLAD IMPLEMENTÁCIE

Základné moduly

- komunikačný modul,
- úložisko údajov,
- synchronizačný modul, **modul plynutia virtuálneho času**
- vizualizácia,
- údaje z polohových senzorov,
- gestá,
- realizácia skriptovaných animácií,
- detekcia kolízií medzi objektmi,
- manipuláciu s virtuálnymi objektmi,
- zachytenie zvuku,
- prehrávač zvuku.

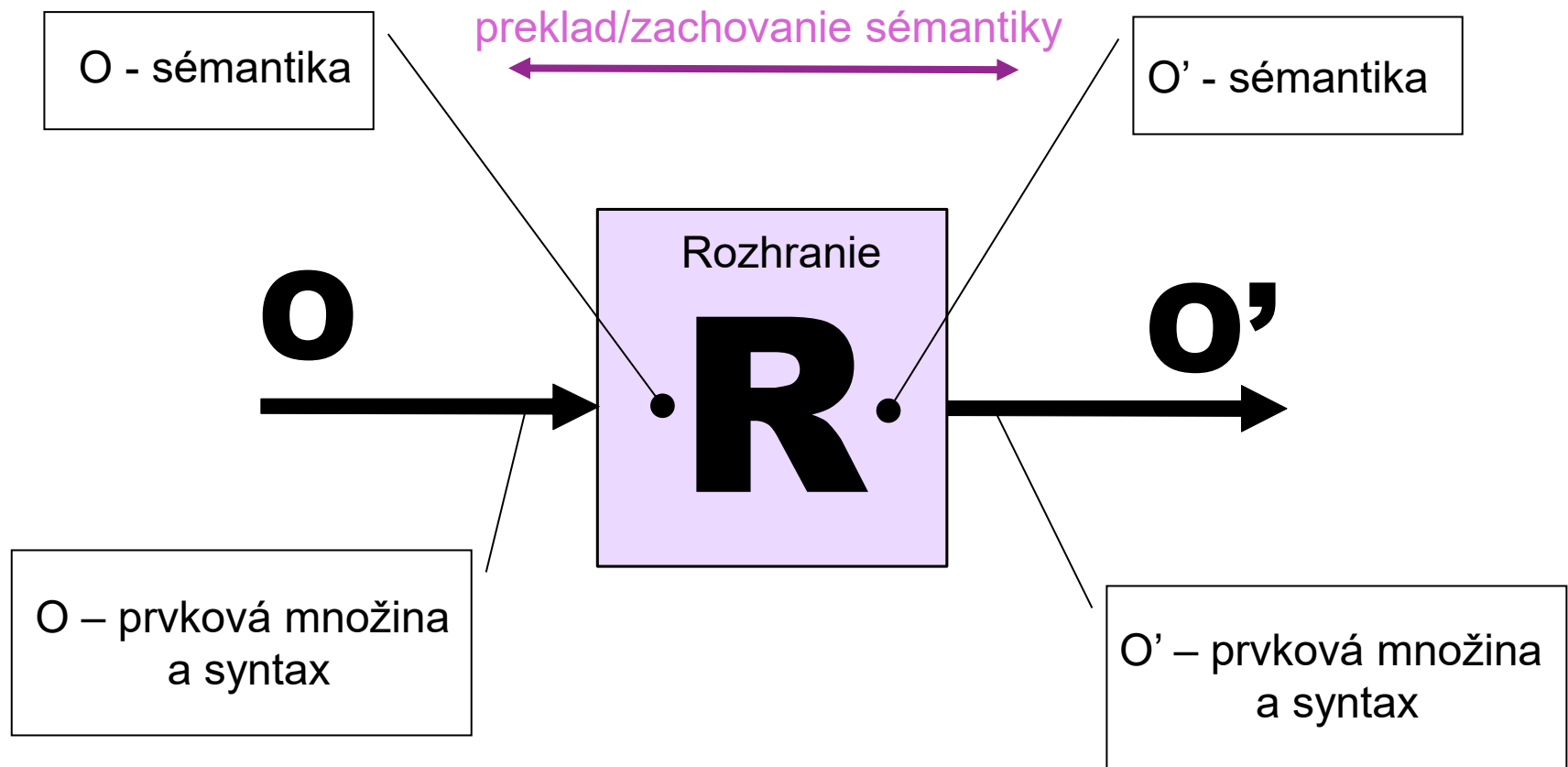


ZÁKLADNÝ NÁVRH POSTAVENÝ NA INTERAKCII



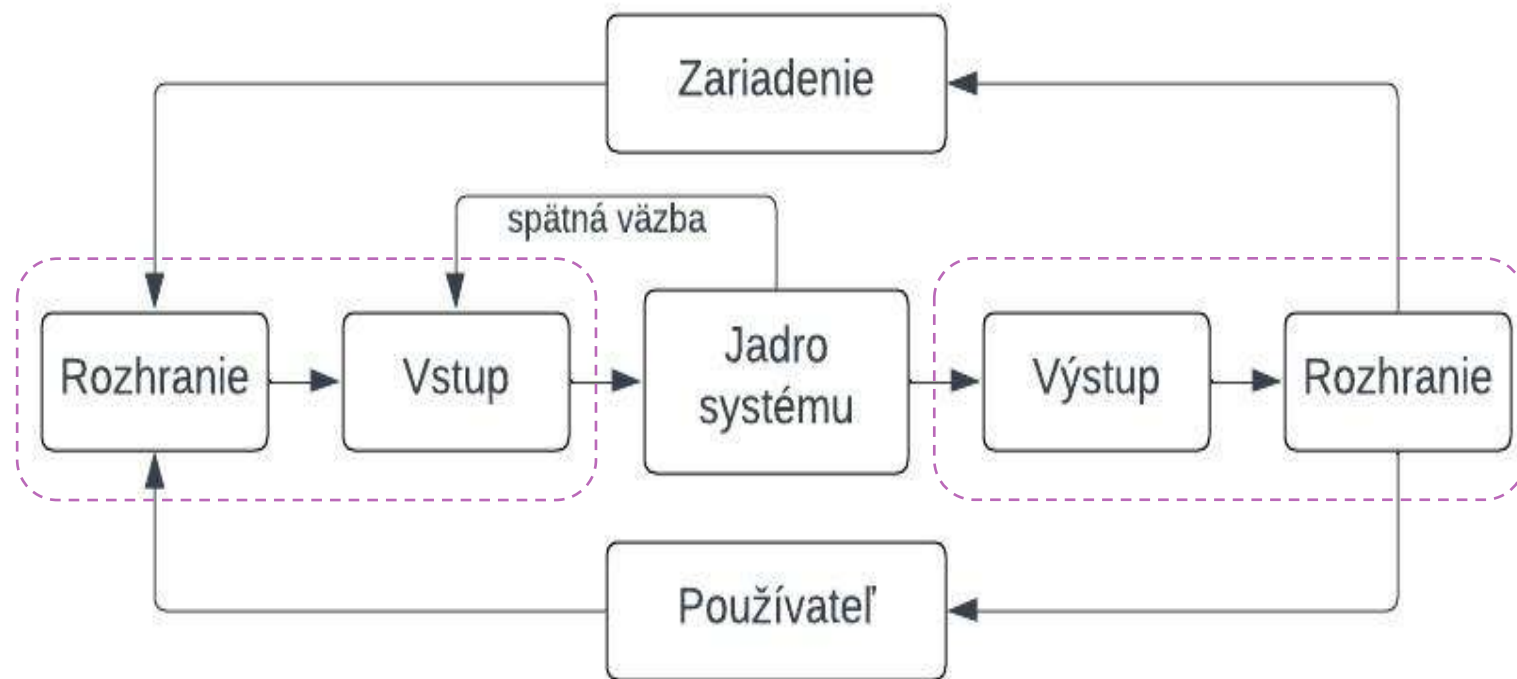
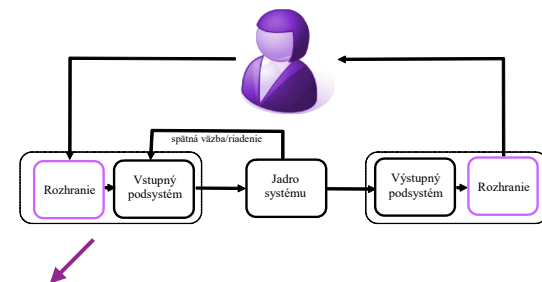
ROZHRANIE AKO TRANSFORMÁCIA

- so zachovaním sémantiky
- s prekladom sémantiky



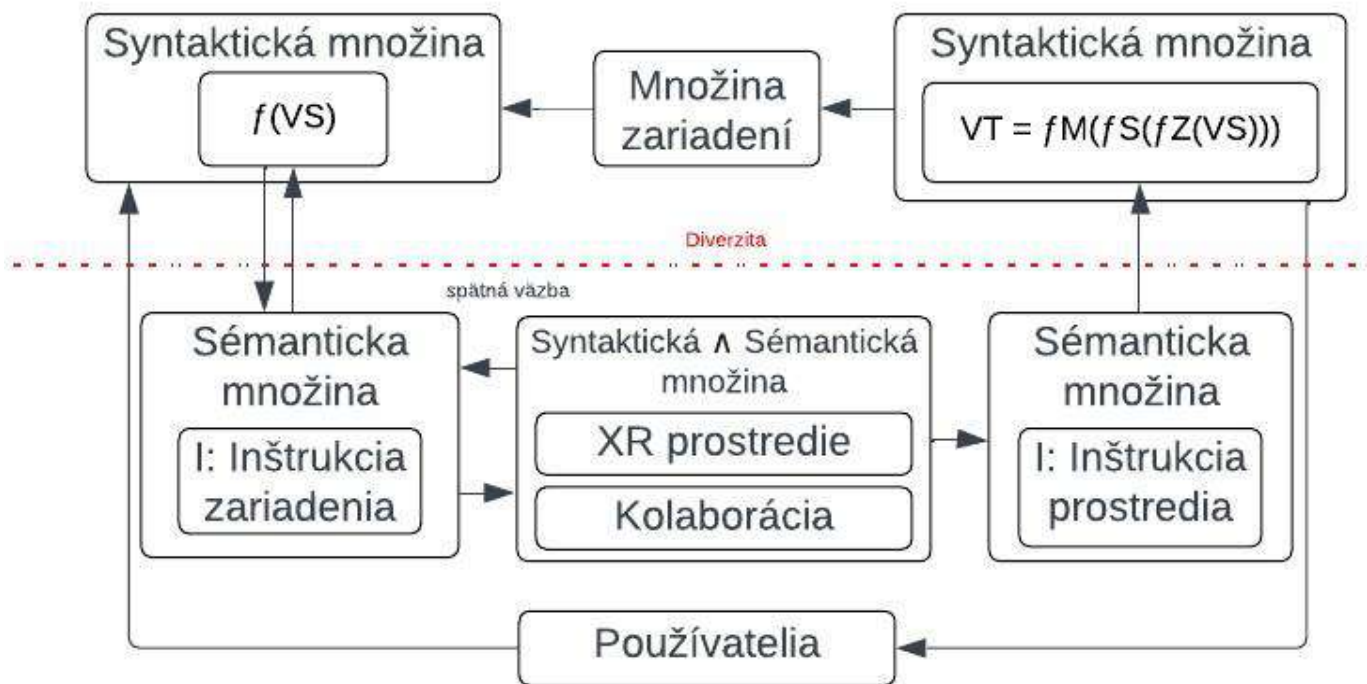
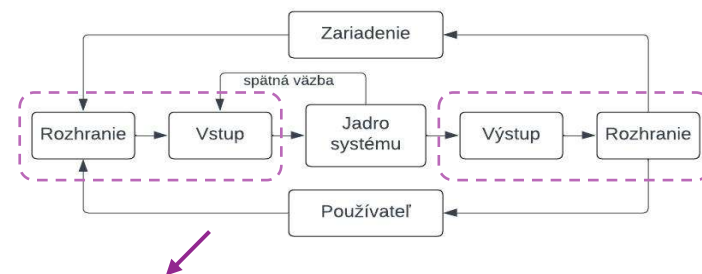
PROCES INTERAKCIE POUŽÍVATEĽA, SYSTÉMU A ZARIADENIA

1. ÚROVEŇ DETAILNOSTI



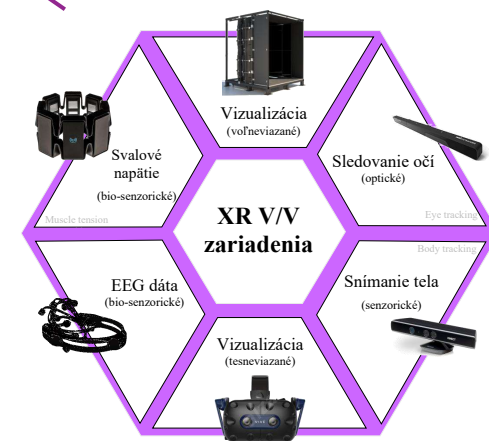
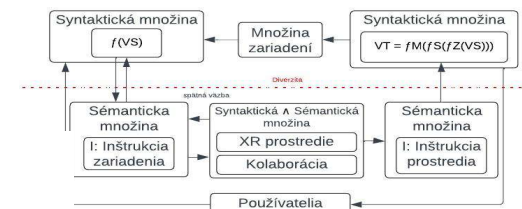
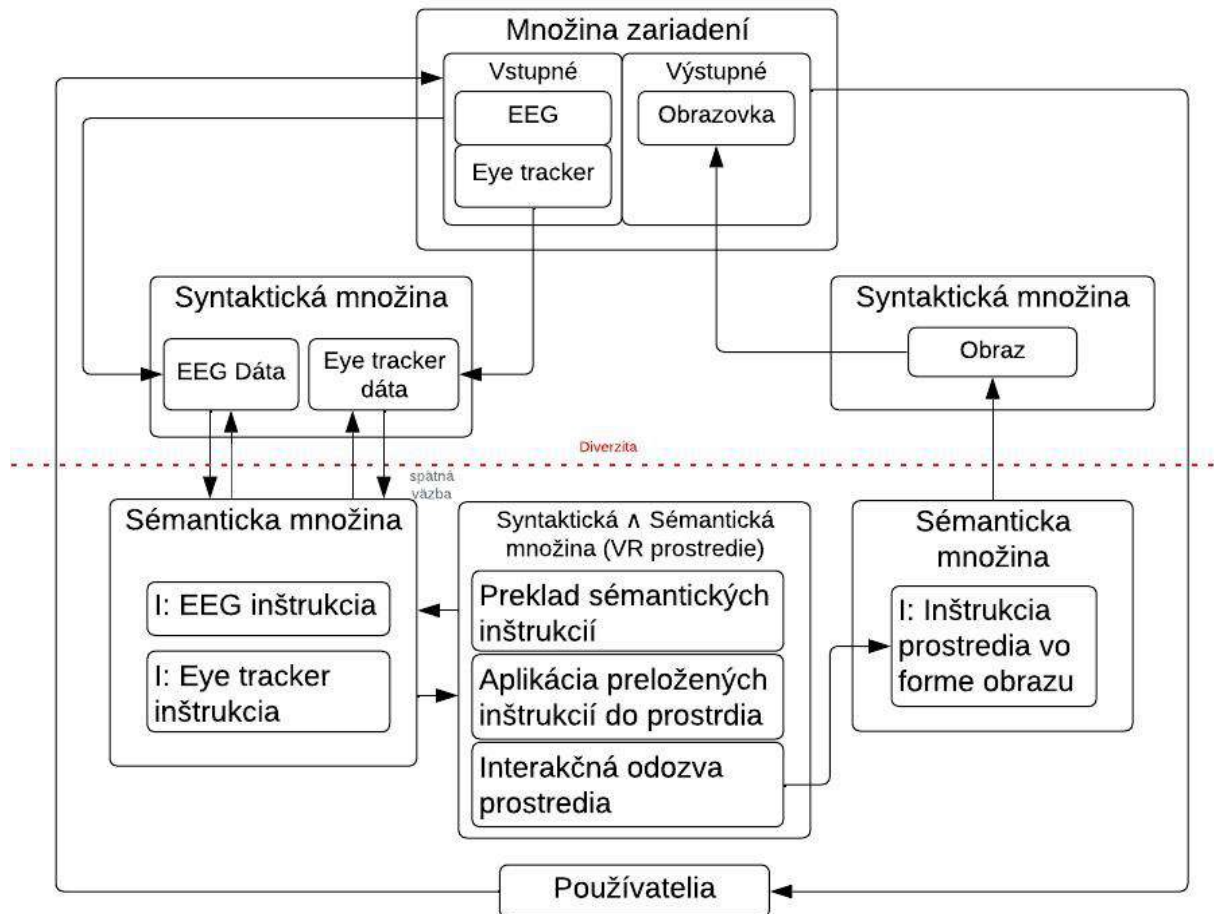
PROCES INTERAKCIE POUŽÍVATEĽA, SYSTÉMU A ZARIADENIA

2. ÚROVEŇ DETAILNOSTI



PROCES INTERAKCIE POUŽÍVATEĽA, SYSTÉMU A ZARIADENIA

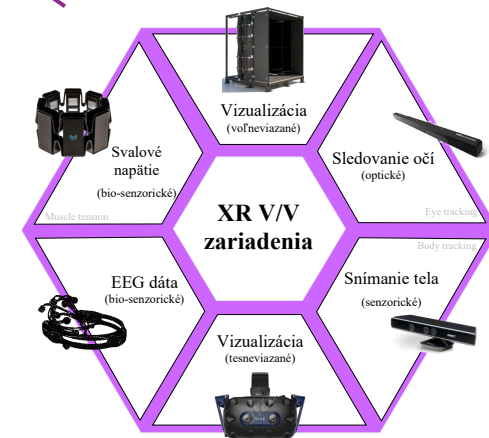
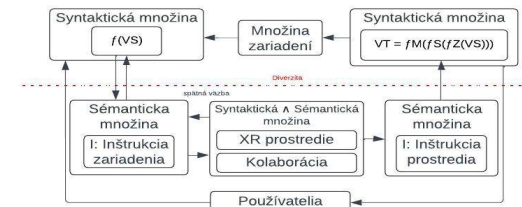
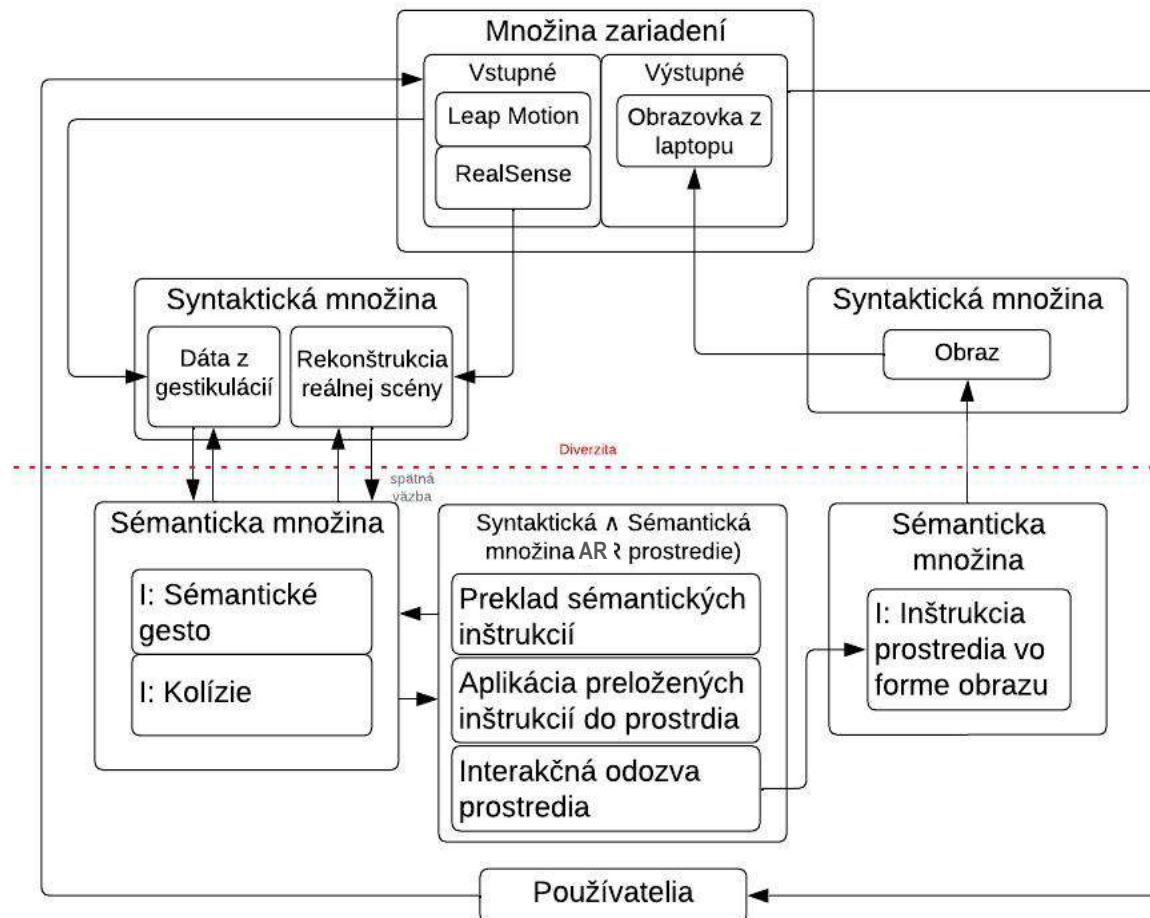
3. ÚROVEŇ DETAILNOSTI PRE VR



vybrané zariadenia

PROCES INTERAKCIE POUŽÍVATEĽA, SYSTÉMU A ZARIADENIA

3. ÚROVEŇ DETAILNOSTI PRE AR/MR

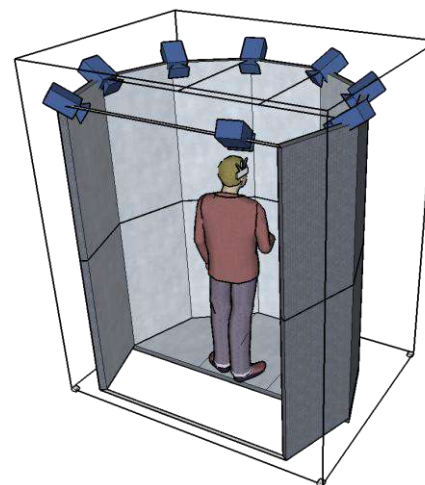
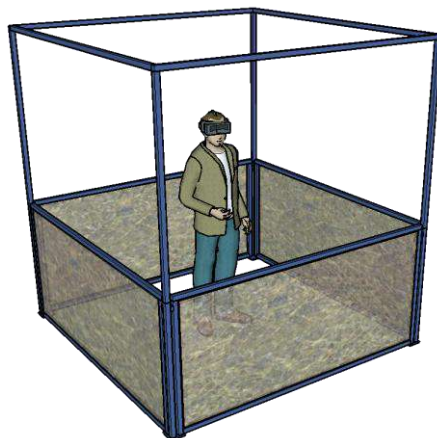


vybrané zariadenia

BÁZICKÉ KONCEPCIE

Najčastejším základným podsystémom je vizualizačný podsystém (80% informácie)

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



BÁZICKÉ KONCEPCIE - ZOBRAZOVANIE

Tieto zobrazovacie systémy sa dajú rozdeliť na:

- *Stereoskopické systémy* – pasívne, aktívne a autostereoskopické.

Štandardne je možné využiť anaglyfické zobrazenie alebo horizontálne-rozdelené ľavo/pravé zobrazenie.

- *Priestorové displejové systémy* (Volumetric displays)
- *Holografické systémy*
- **Projekcia na očnú sietnicu (retinal projection)*
- ***Stimulovanie vizualizačných častí mozgu*

Uvedené spôsoby je možné uplatniť ako v prípade nasadenia virtuálnej jaskyne CAVE (okrem *, **), tak aj datových prilieb HMD (okrem **).

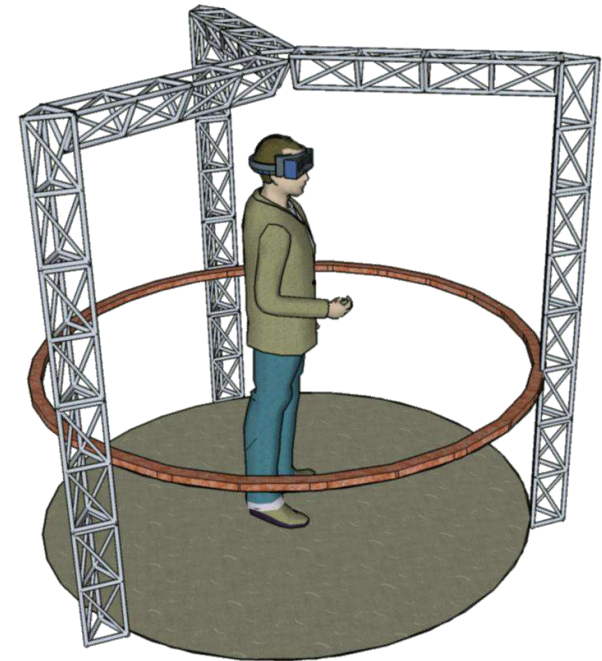
TESNE-VIAZANÉ SYSTÉMY NA BÁZE HMD

podľa typu zobrazovačov:

- so zabudovanými zobrazovačmi
- na báze smartfónov

podľa konektivity:

- Káblové prepojenie
(lacnejšie, staršie, obmedzujúce)
- Bezkábové prepojenie



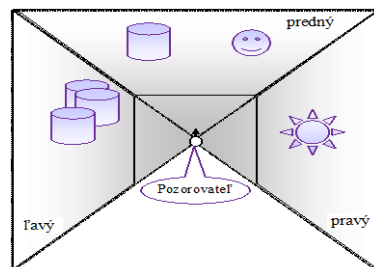
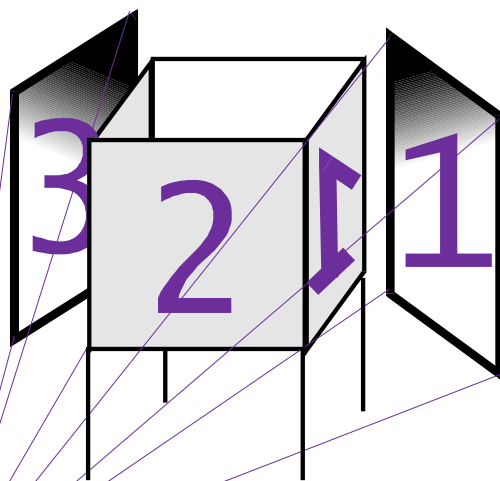
VOĽNE-VIAZANÉ SYSTÉMY

VIRTUÁLNE JASKYNE

- *Projekčné* – na báze datových projektorov
- *Displejové* – na báze monitorov/zobrazovačov



(TU Zvolen)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

VIRTUÁLNE JASKYNE

KONŠTRUKCIE

Najčastejšie mechanická nosná konštrukcia pre zobrazovače v okolí používateľa. Riadiaci výpočtový systém je spravidla realizovaný samostatne.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

ROZHRANIA SYSTÉMOV

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



```
Microsoft Windows XP [Verzia 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Bronto>dir
Zobraziť v jednotke C: nové zariadenie nenovoku.
Sériové číslo súboru je 9853-3716

Výpis adresára C:\Documents and Settings\Bronto
21.08.2008 21:03 <DIR> .
21.08.2008 21:03 <DIR> ..
30.06.2008 23:05 <DIR> Bluetooth Software
25.08.2008 20:50 <DIR> Desktop
03.10.2008 07:27 6 370 ErrorLog.txt
15.08.2008 22:24 <DIR> Favorites
16.09.2008 08:24 <DIR> My Documents
28.07.2008 16:05 600 P01TV.RND
30.06.2008 15:44 <DIR> Start Menu
                2 súborov, 6 370 bajtov
                7 adresárov, 31 080 132 608 voľných bajtov

C:\Documents and Settings\Bronto>
```



Všetky vyššie uvedené rozhrania môžu byť:

- neadaptívne a
- adaptívne

BIO-ADAPTOVANÉ VS PRIRODZENÉ ROZHRAVIA

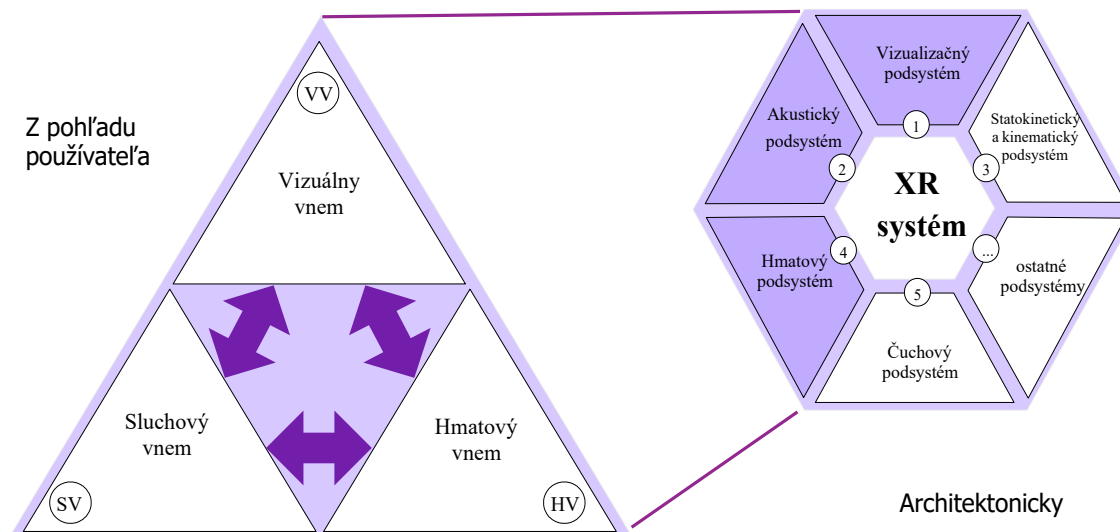
- *Bio-adaptované* – snímanie (vstup) biologických funkcií používateľa (ak je to živý organizmus) alebo vytváranie (výstup) biologického vnemu používateľa
- *Prirodzené/naturálne* – prispôsobené človeku čo najkomfortnejšie ovládať systém (napr. gestá, hlasové povely ...)



XR ROZHRAVIA S POSILNENÍM POHLTENIA

ARCHITEKTONICKÁ VÄZBA

Prirodzené rozhrania poskytujú interakciu človeka so systémom podľa reálne zaužívaného spôsobu, najbližšie k reálnym ľudským vnemom.

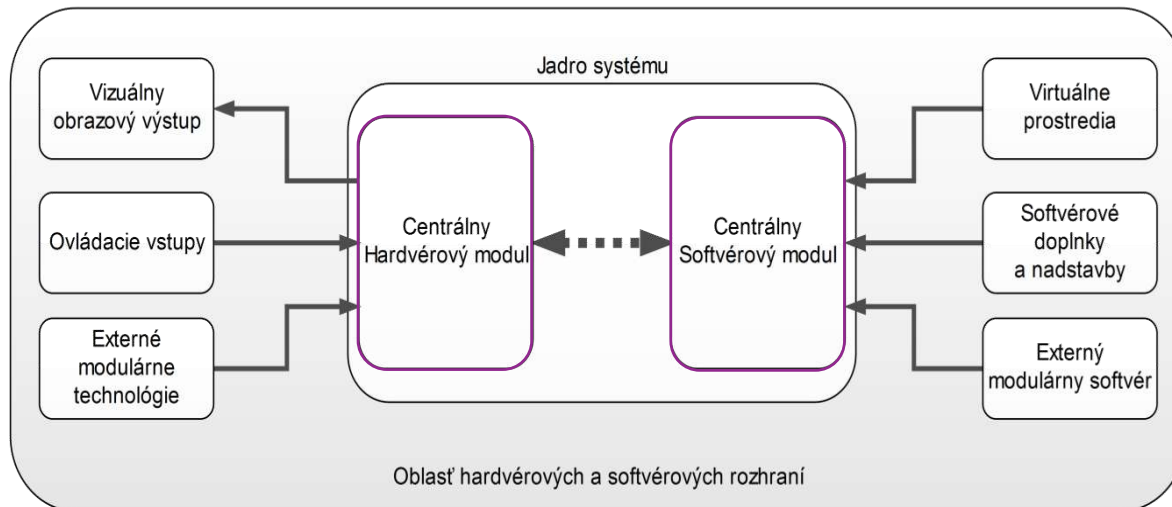


Architektonická podpora podstatných podsystemov XR systému voči vytvoreniu rozhrania

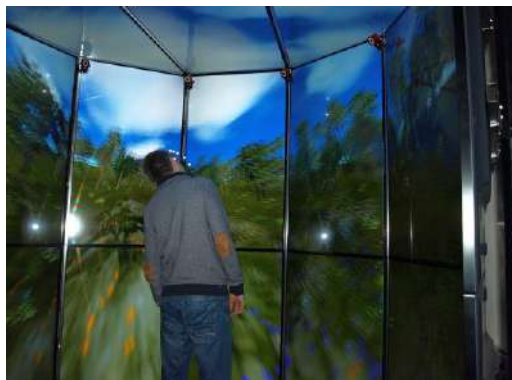
PRÍKLAD VYUŽITIA NATURÁLNYCH ROZHHRANÍ

SYSTÉM VIRTUÁLNEJ JASKYNE

Systém Virtuálnej jaskyne



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



PRÍKLAD VYUŽITIA NATURÁLNYCH ROZHHRANÍ

SYSTEMY XR HEADSETOV



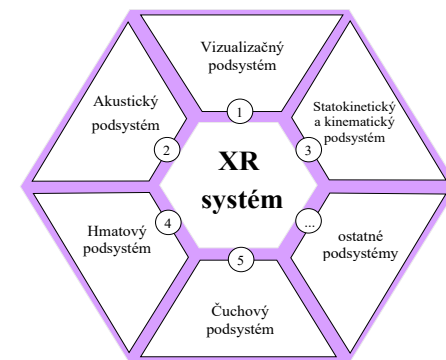
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



BIOADAPTOVANÉ, PRIRODZENÉ A XR ROZHRRANIA

TECHNOLOGICKÉ ROZDELENIE

- mechanické
 - mechanické prevodové
 - mechanicko – gyroskopické
 - bowdenové (ťahla, lanká)
- indukčné a magnetické
- vibračné a ultrazvukové
- tepelné a piezoelektrické
- infračervené a laserové
- optické a kamerové



BIO-ADAPTOVANÉ, PRIRODZENÉ A XR ROZHRRANIA

PRÍKLADY SNÍMAČOV POLOHY A POHYBU (HISTORICKY)



Intersense IS9000 SimTracker



EMG snímanie (MYO, výroba ukončená)
North by Google (pôvodne Thalmic Labs)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

MS Kinect 1,2



OptiTrack



Leap Motion

ADAPTÍVNE ROZHRRANIA XR SYSTÉMOV

Adaptivita je vlastnosť, ktorá súvisí so schopnosťou rozhrania prispôbiť svoje ovládanie vzhľadom na typ používateľského zariadenia.

Vo XR systémoch je účelom adaptívnych rozhraní zabezpečiť vhodné interakčné techniky, ktoré sa odrážajú od typov používateľských zariadení a rozhraní. V súčasnosti existuje viacero definícií adaptívnych rozhraní, nakoľko ich využitie je prínosné v akýchkoľvek XR systémoch, predovšetkým na webových platformách a v smart prostrediach (aj s prípadnou implementáciou AI).



ADAPTÍVNE ROZHRRANIA XR SYSTÉMOV

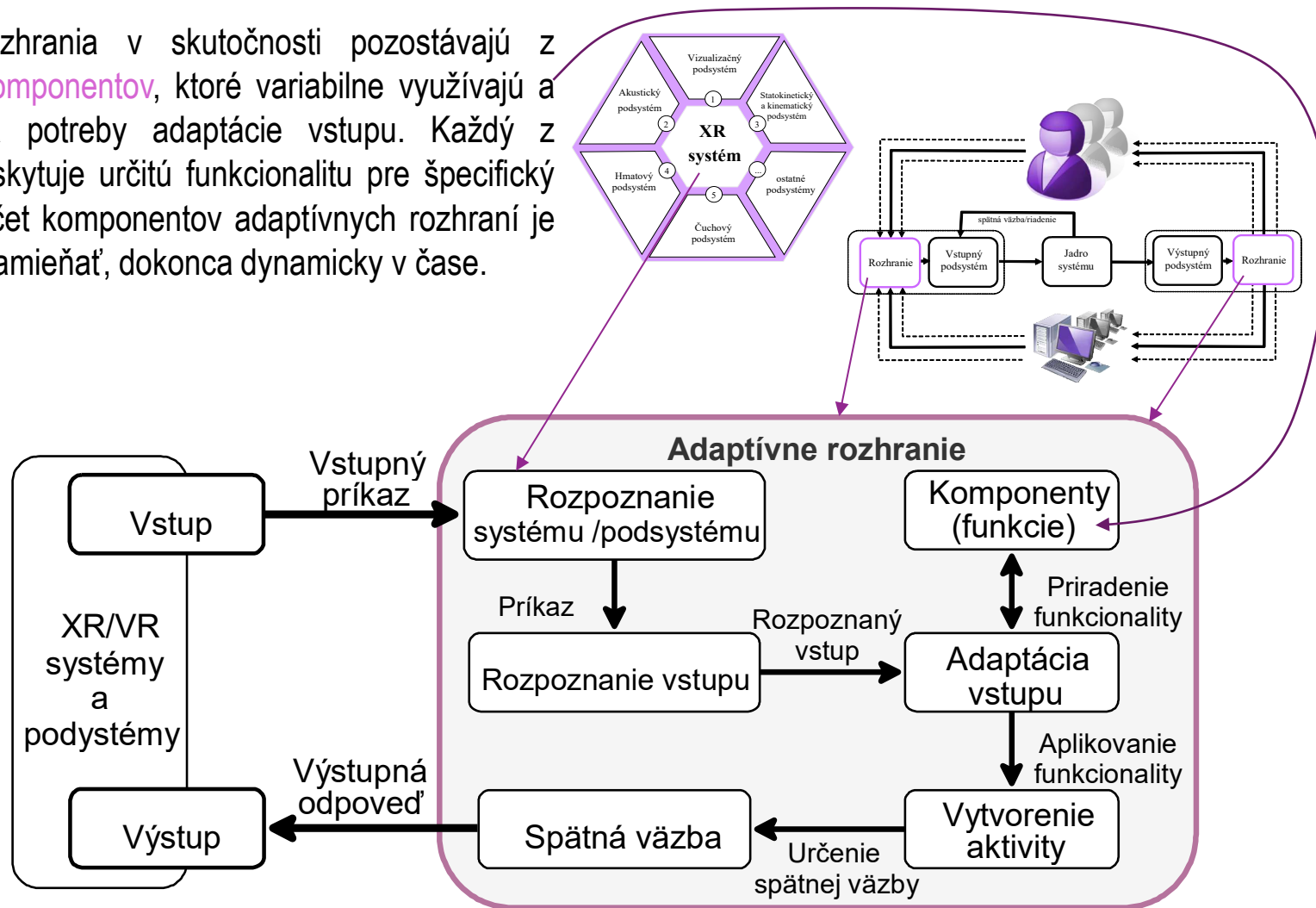
DEFINÍCIE

- Adaptívne rozhranie predstavuje systém alebo podsystém, ktorý je schopný meniť svoju štruktúru a funkcionálnosť podľa okolností používania, pričom je schopný vykonávať túto zmenu v reálnom čase. (Gulla)
- Za adaptívne rozhranie je možné považovať podsystém, ktorý dynamicky deteguje vstupy používateľov a následne ich priradzuje konkrétnej funkcionálite ovládania. (Roldán)
- Adaptívne rozhrania je možné reprezentovať ako inteligentné komunikačné rozhrania, ktorých hlavným účelom je uľahčiť interakciu používateľa. (Castillejo)



PROCES ADAPTÁCIE VSTUPOV NA VÝSTUPY POMOCOU ADAPTÍVNEHO ROZHRAINIA.

Adaptívne rozhrania v skutočnosti pozostávajú z rôzneho počtu **komponentov**, ktoré variabilne využívajú a kombinujú podľa potreby adaptácie vstupu. Každý z komponentov poskytuje určitú funkcionality pre špecifický účel využitia. Počet komponentov adaptívnych rozhraní je rovnako možné zamieňať, dokonca dynamicky v čase.

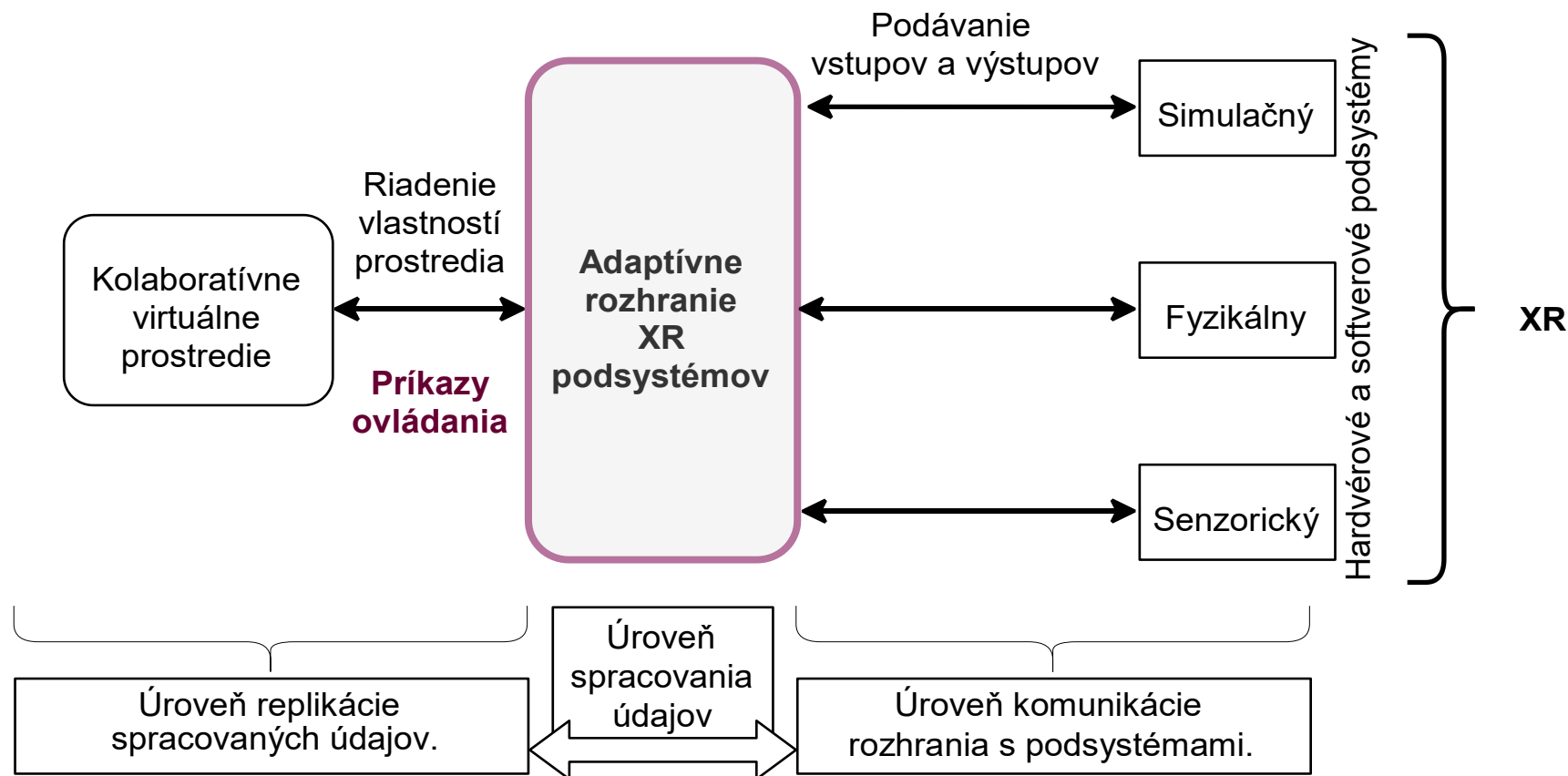


ADAPTÍVNE ROZHRAVIA PODĽA ÚČELU NASADENIA

- Štandardné adaptívne rozhrania XR podsystémov
- Viacpoužívateľské adaptívne rozhrania XR systémov

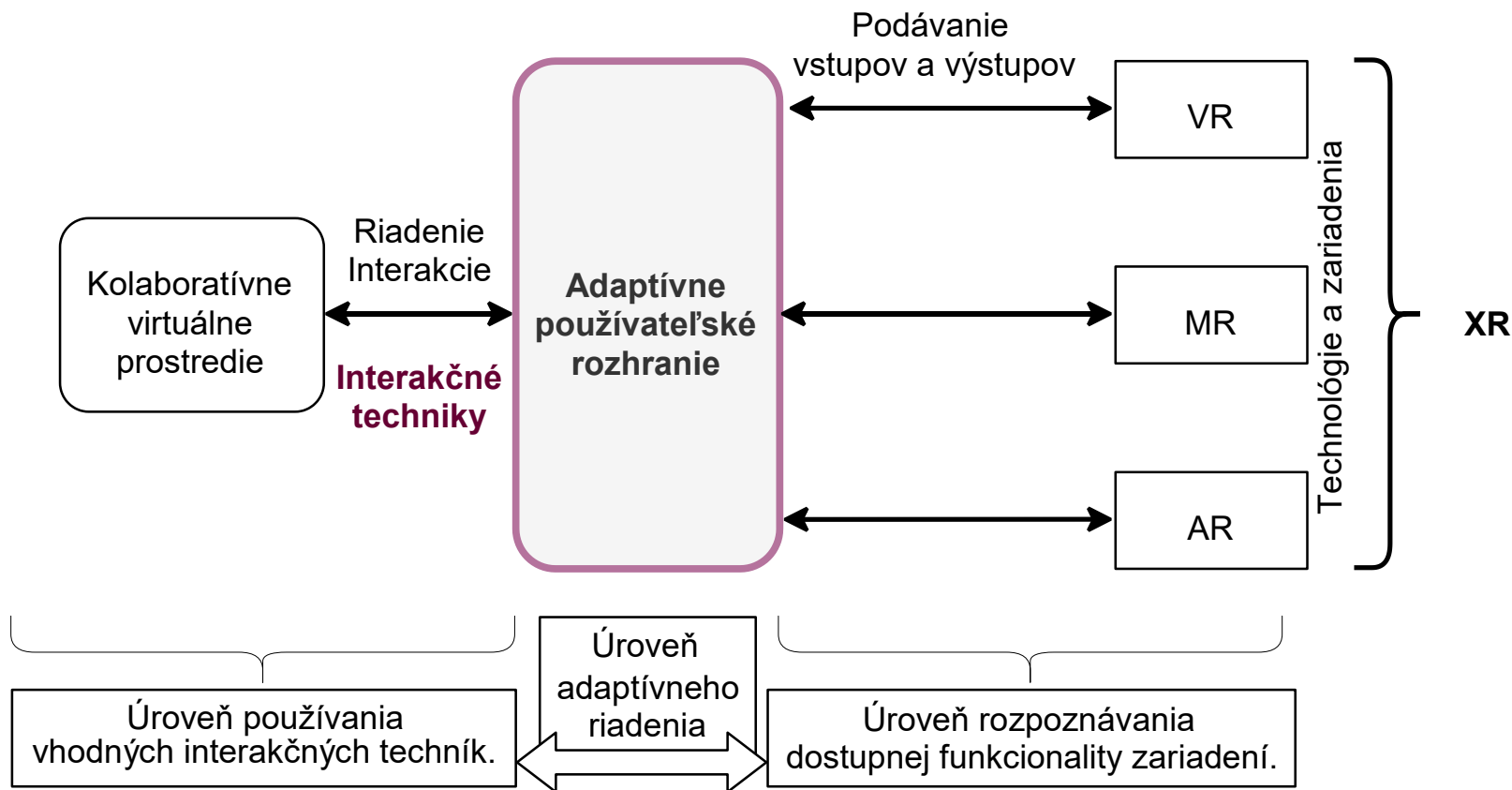


ŠTANDARDNÉ ADAPTÍVNE ROZHRAVIA XR PODSYSTÉMOV



VIACPOUŽÍVATEĽSKÉ ADAPTÍVNE ROZHRAINIA XR SYSTÉMOV

Integrácia adaptívneho viacpoužívateľského rozhrania pre multiplatformový XR účel



ADAPTÁCIA ROZHRAŇÍ

S POSILNENÍM INTERAKCIE POUŽÍVATEĽOV

Vstupné aktivity používateľov podľa časovej dĺžky

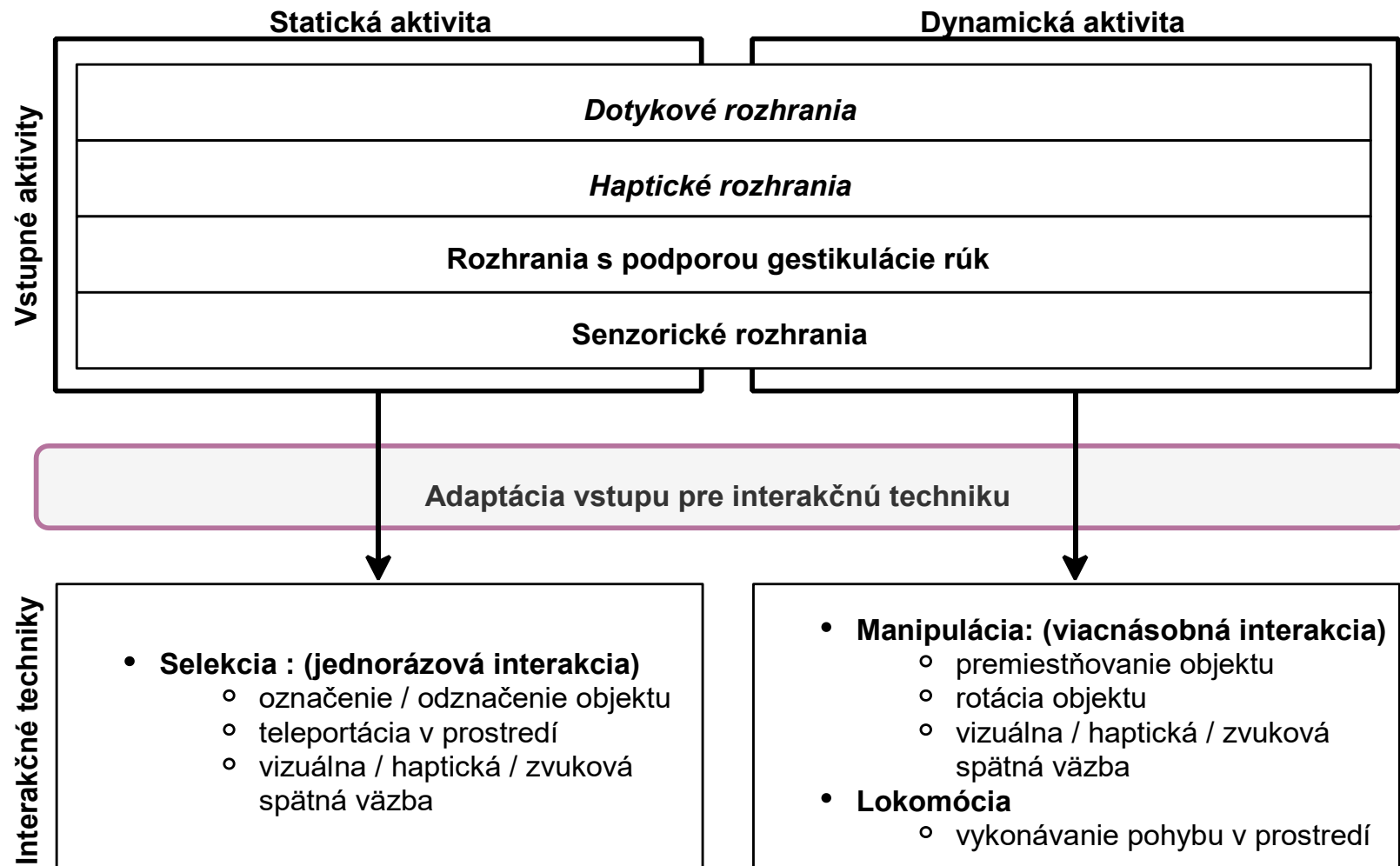
- **Statické aktivity:** Tieto aktivity sú detegované v krátkom časovom okamihu a predstavujú jednorázovú udalosť. Používateľ je schopný vykonať diskretný vstup (stlačenie tlačidla, vykonanie dotyku alebo statického gesta).
- **Dynamicke aktivity:** Tento druh aktivít je vykonávaný v časovom priebehu. Priebeh dynamickej aktivity nie je časovo limitovaný, preto je používateľ schopný prirodzene interagovať s virtuálnym prostredím.

Interakčné techniky používateľov ovládania virtuálneho prostredia

- **Selekcia:** Tento druh interakčnej techniky je spájaný so statickou vstupnou aktivitou. Selekcia je považovaná za základnú formu interakcie používateľov s virtuálnymi prostredím. Pomocou selekcie je možné virtuálne objekty označovať alebo meniť ich vlastnosti.
- **Manipulácia:** Manipulácia predstavuje interakčnú techniku riadenú dynamickou vstupnou aktivitou používateľa. Prostredníctvom manipulácie je možné vykonávať prirodzené aktivity v prostredí viazané na prácu s virtuálnymi objektmi. Tie je možné presúvať, otáčať, škálovať alebo prípadne deformovať.
- **Lokomócia:** Uvedená interakčná technika je riadená dynamickou vstupnou aktivitou používateľa. Prostredníctvom lokomócie je možné v prostrediach vykonávať prirodzený pohyb kamery.

ADAPTÁCIA ROZHRAŇÍ

PROCES ADAPTÁCIE



BIO-ADAPTOVANÉ, PRIRODZENÉ A XR ROZHRAANIA

- Dotykové rozhrania/ovládače,
- Hmatové (haptické rozhrania/ovládače),
- Rozhrania gestikulácie rúk,
- Senzorické rozhrania (EEG, EMG, EOG),
- Bio-senzorické rozhrania,
- Opticky adaptívne rozhrania.



XR A BIO-SENZORICKÉ ROZHRAVIA

- Priame získavanie fyziologických vstupov produkovaných používateľom.
- Využitie v systémoch pre kontrolu fyziologického stavu používateľa.
- Vysoká adaptivita (primerané reakcie systému) podľa nameraných vstupov z bio-senzorov.



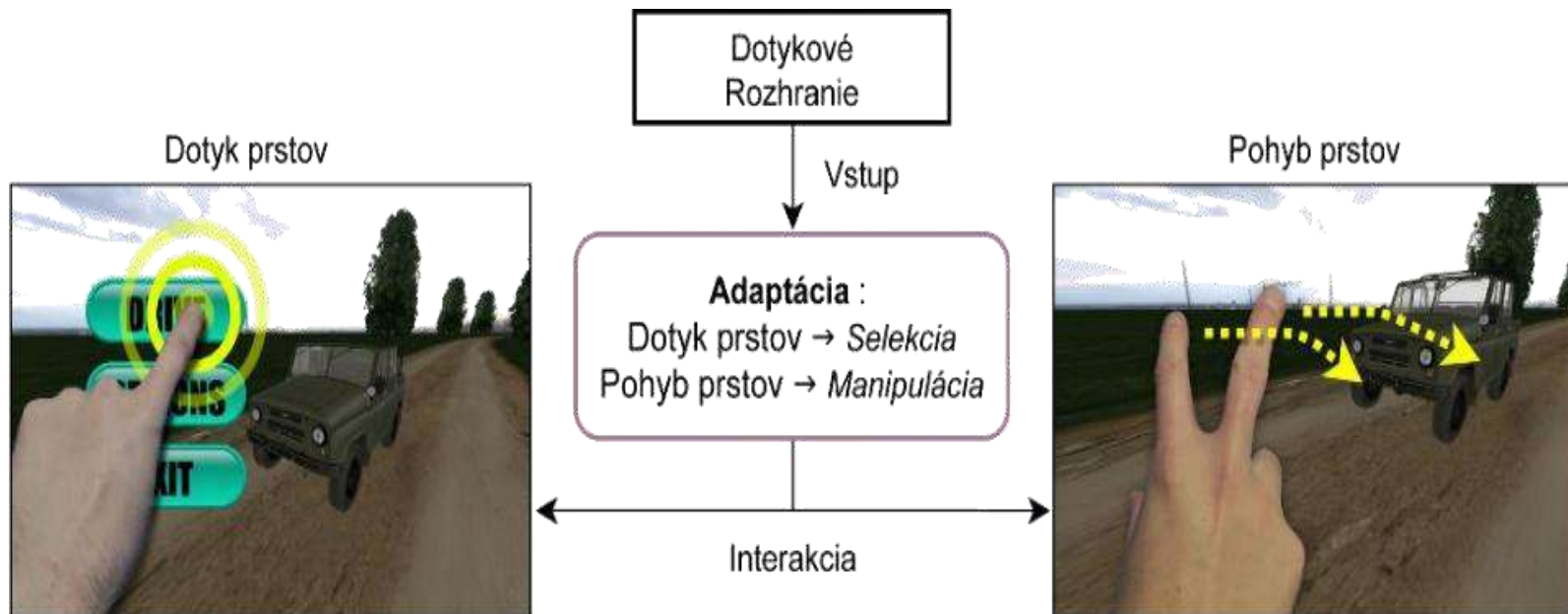
XR A PRIRODZENÉ ROZHHRANIA

Rôzne vstupno/výstupné zariadenia použiteľné v prirodzených rozhraniach



DOTYKOVÉ ROZHRRANIA

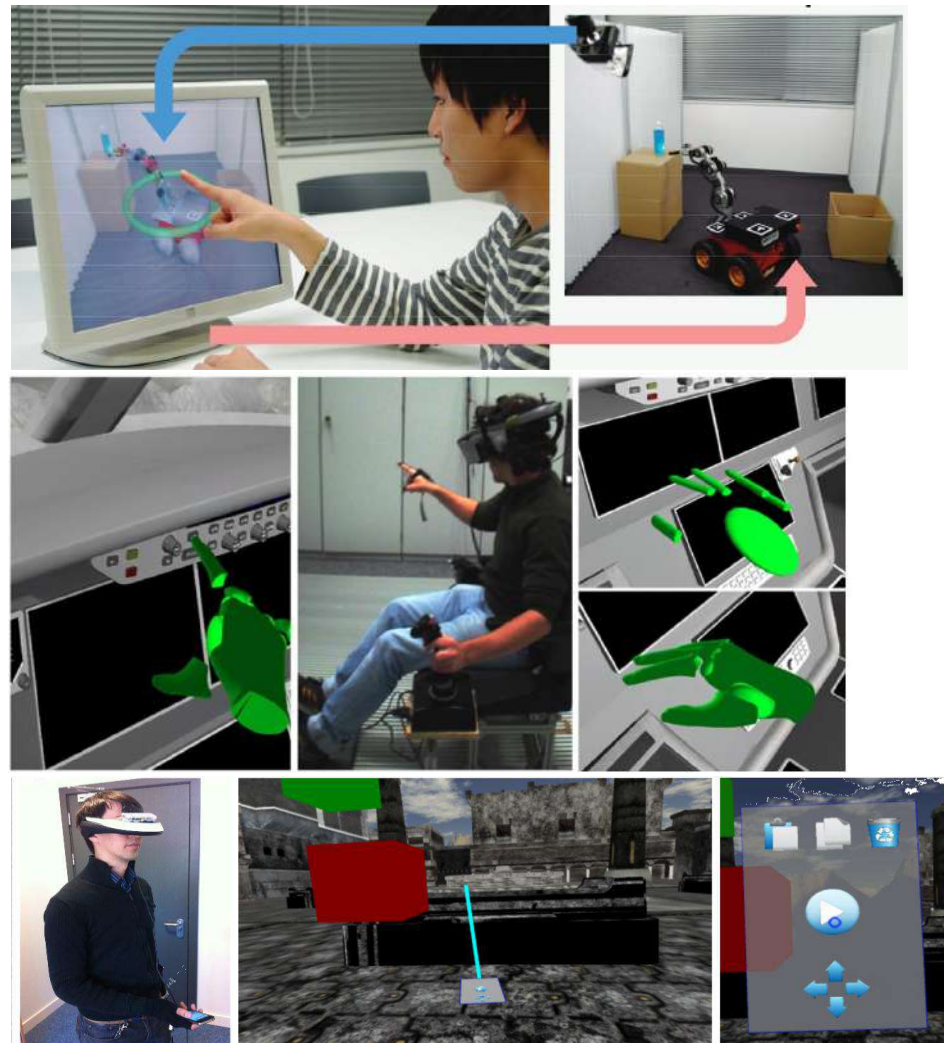
- Adaptácia dotyku prstov
- Adaptácia pohybu prstov



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

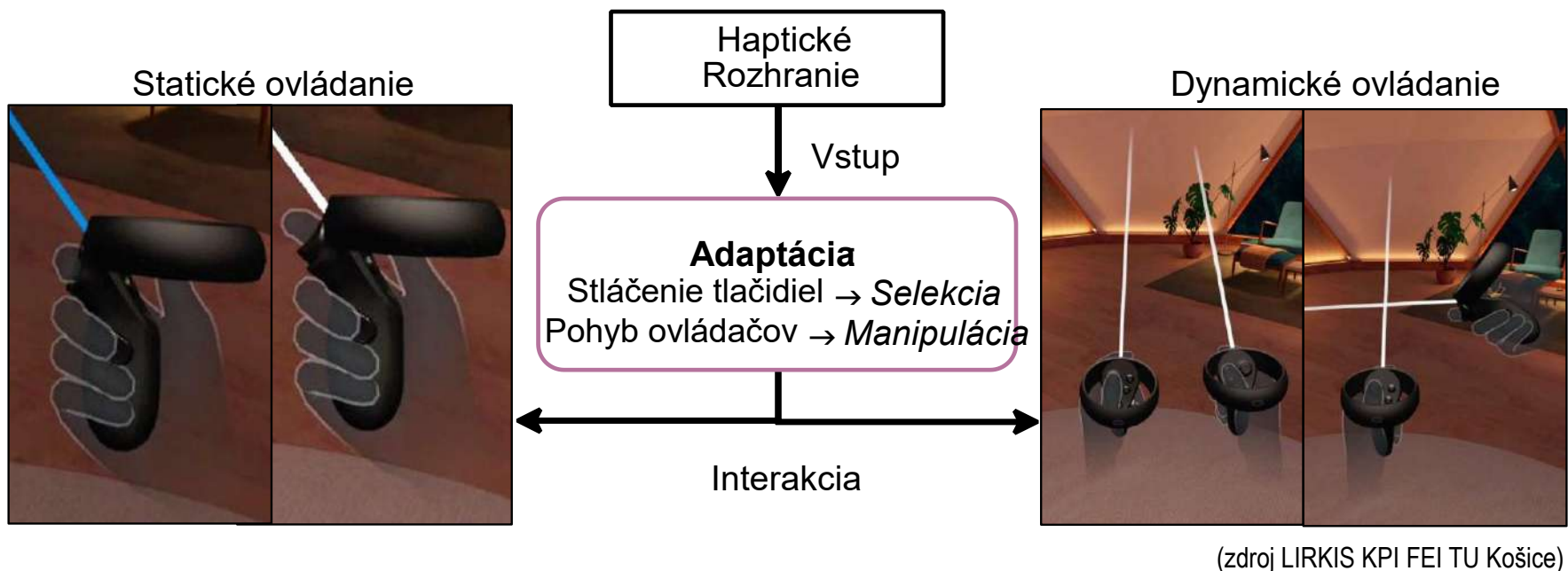
DOTYKOVÉ ROZHHRANIA

- Dotykové ovládače s priamou väzbou
- Virtuálne ovládače zapracované v trojrozmerných prostrediach
- Kombinované dotykové ovládače



HMATOVÉ (HAPTICKÉ) ROZHRRANIA/OVLÁDAČE

- Statické ovládanie
- Dynamické ovládanie



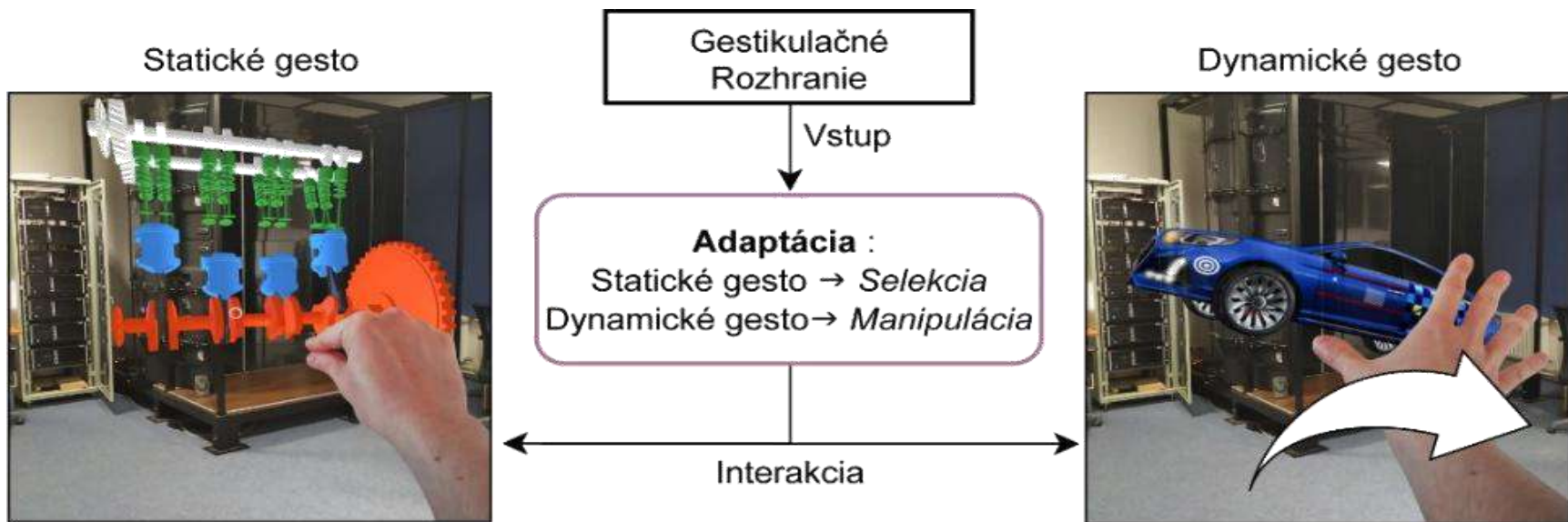
HMATOVÉ (HAPTICKÉ) ROZHHRANIA/OVLÁDAČE

Haptické rozhrania sú technologicky mechanické zariadenia, ktoré sprostredkujú komunikáciu medzi používateľom a počítačom.



ROZHRANIA GESTIKULÁCIE RÚK (DAT. RUKAVICE, EMG)

- Statické gestá
- Dynamické gestá
- Sekvenčné gestá



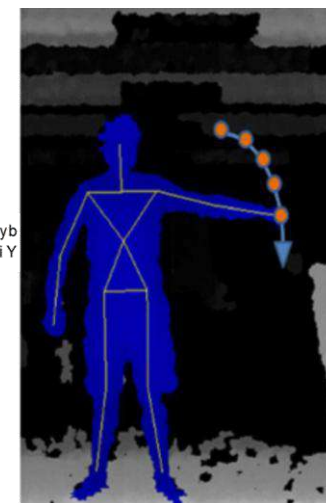
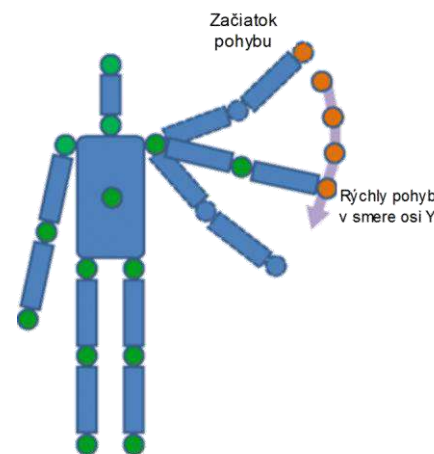
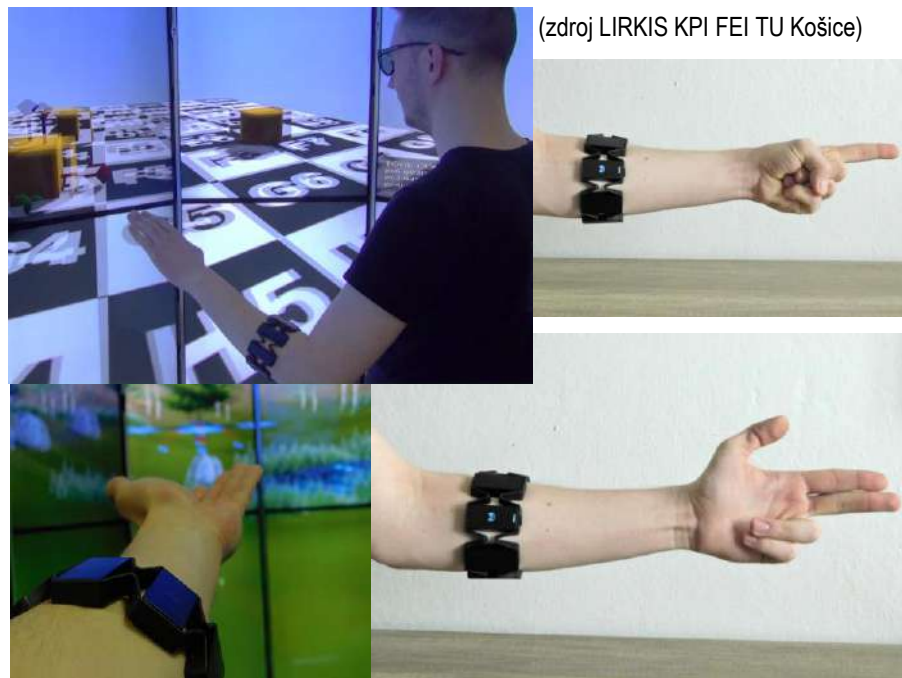
(LIRKIS KPI FEI TU Košice)

ROZHRANIA GESTIKULÁCIE RÚK (DAT. RUKAVICE, EMG)

Využívanie vstupných gest pre riadenie cieľového VR systému (najčastejšie na báze dátových rukavíc alebo EMG – Elektro MyoGrafie: snímanie svalovej aktivity končatín používateľa)

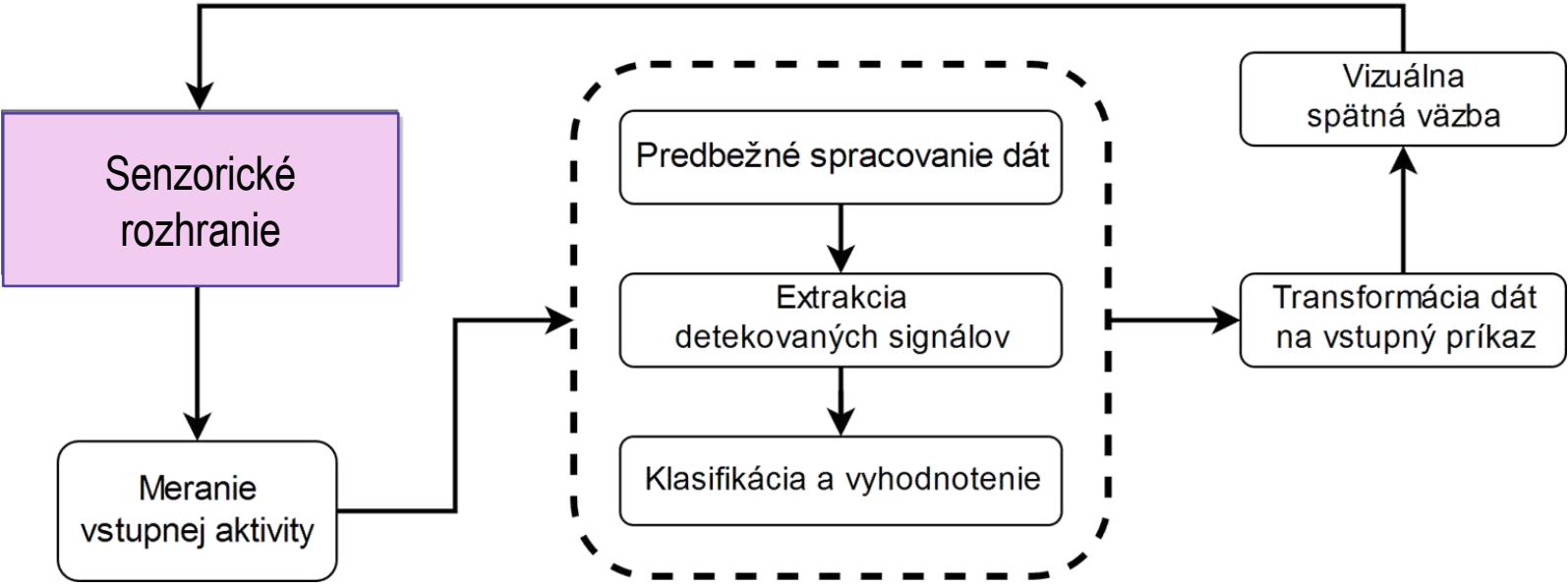
Rozdelenie gestikulačných vstupov :

- *Jednorazové statické gestá* (pózy, snímanie len v časovom intervale detekcie),
- *Kontinuálne dynamické gestá* (nepretržité snímanie v časovom intervale).



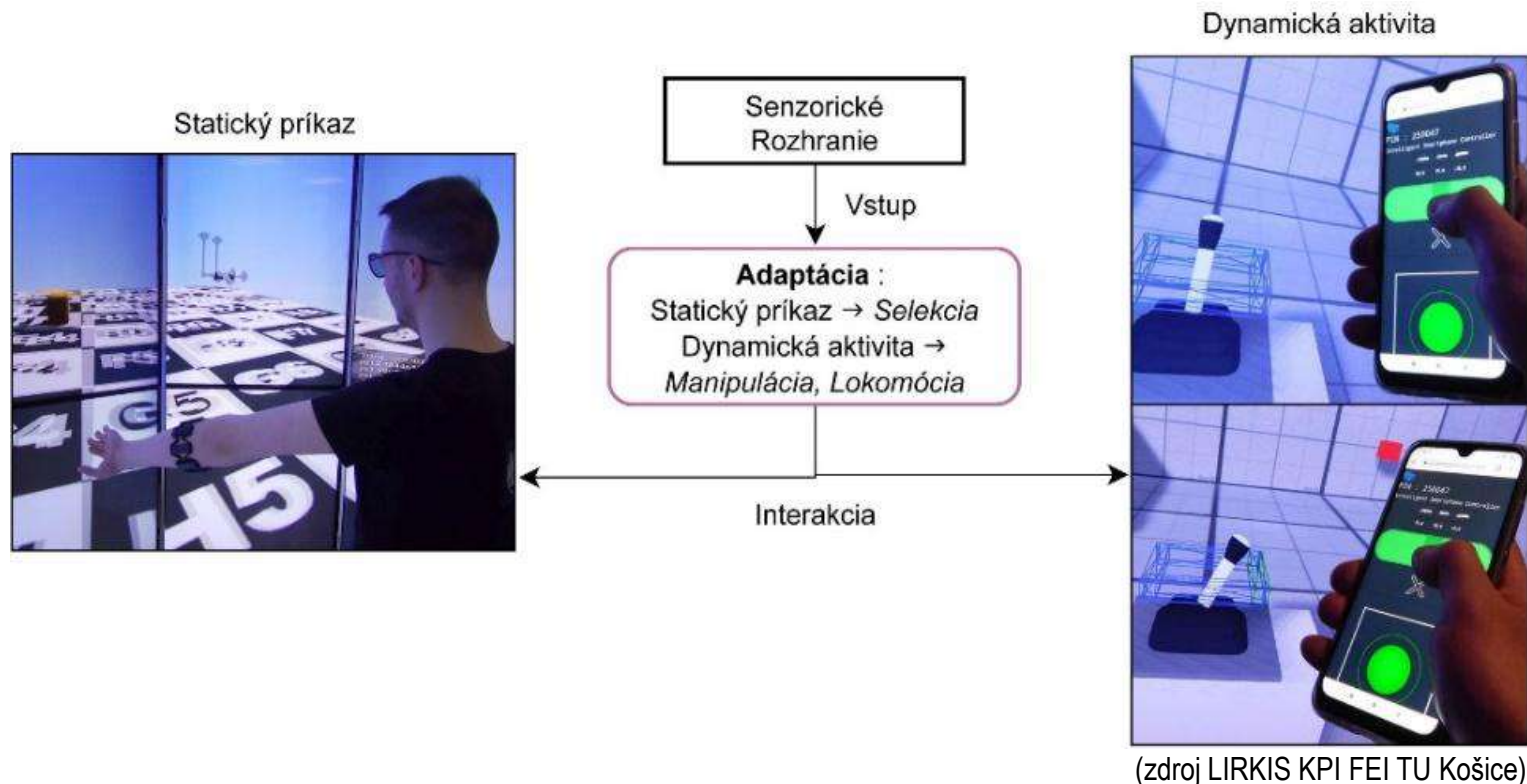
SENZORICKÉ ROZHRAVIA

Úlohou senzorických rozhraní je sprostredkovanie senzorických dát do pochopiteľnej formy pre človeka a XR systém.



SENZORICKÉ ROZHRAVIA

- Transformácia vstupov na statické príkazy
- Transformácia vstupov na dynamické aktivity



SENZORICKÉ ROZHRAVIA (EEG)

ELEKTROENCEFALOGRAFIA

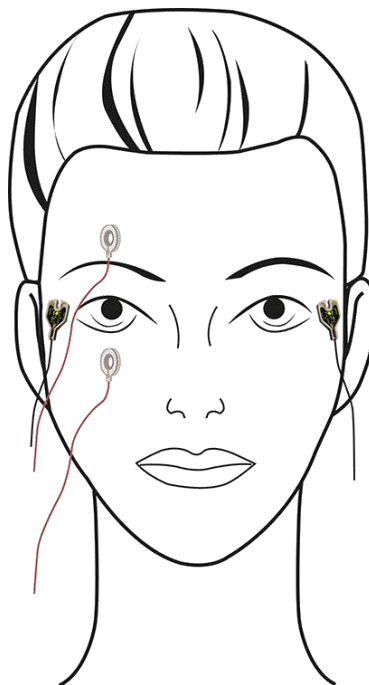
- Snímanie aktivity mozgu používateľa.
- Podpora ovládania mimickými vzormi, cielením myslenia podľa vopred definovaných pravidiel (farba, tvar,...).
- Problém – nejednoznačné vzory, veľmi osobne orientované, priveľmi parametrické



SENZORICKÉ ROZHRAVIA (EOG)

ELEKTROOKULOGRAM

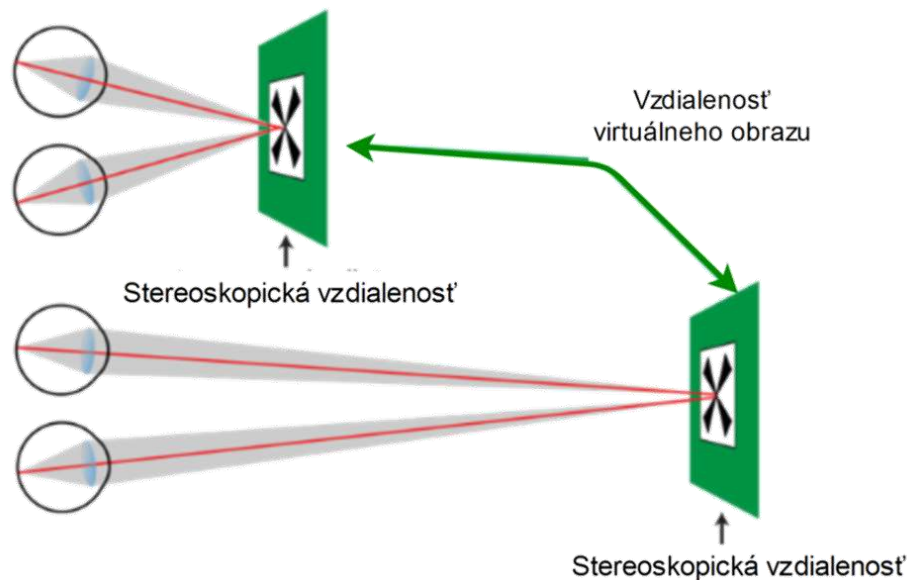
- Snímanie svalovej aktivity očí používateľa.
- Podpora ovládania v závislosti od cielenia pohľadu používateľa.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

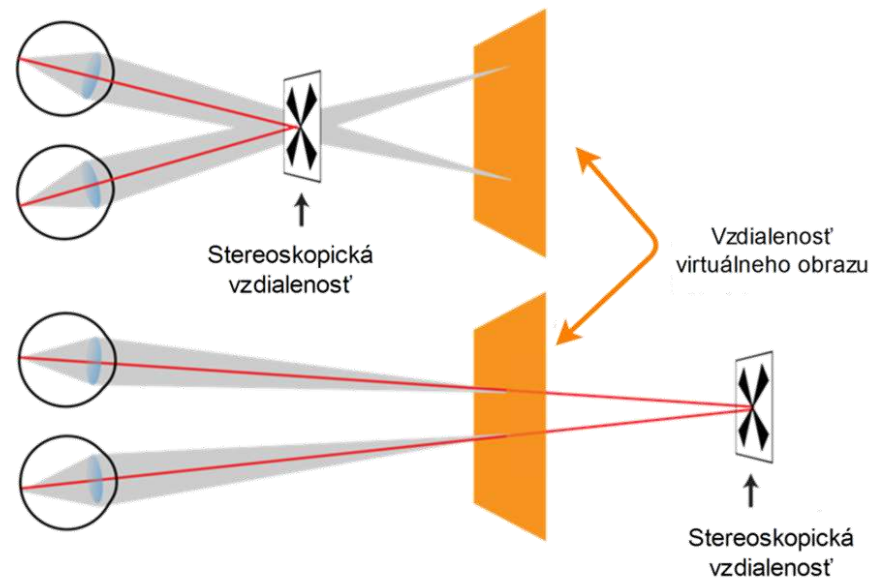
OPTICKY ADAPTÍVNE ROZHRAVIA

Riešenie ostrosti obrazu v závislosti od akomodácie oka používateľa.



Dynamicky adaptívna ostrosť obrazu.

- Mechanické optiky, hardvérová úprava. (automatické zaostrovanie – fotoaparát)



Konvenčne adaptívna ostrosť obrazu.

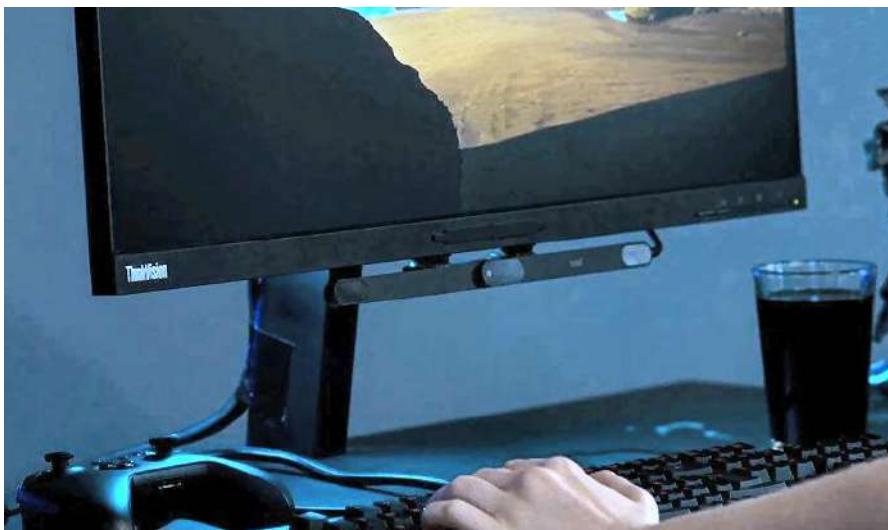
- Softvérovo upravený obraz. (stereoskopické displeje)

OPTICKY ADAPTÍVNE ROZHRANIA (ETK)

EYETRACKING

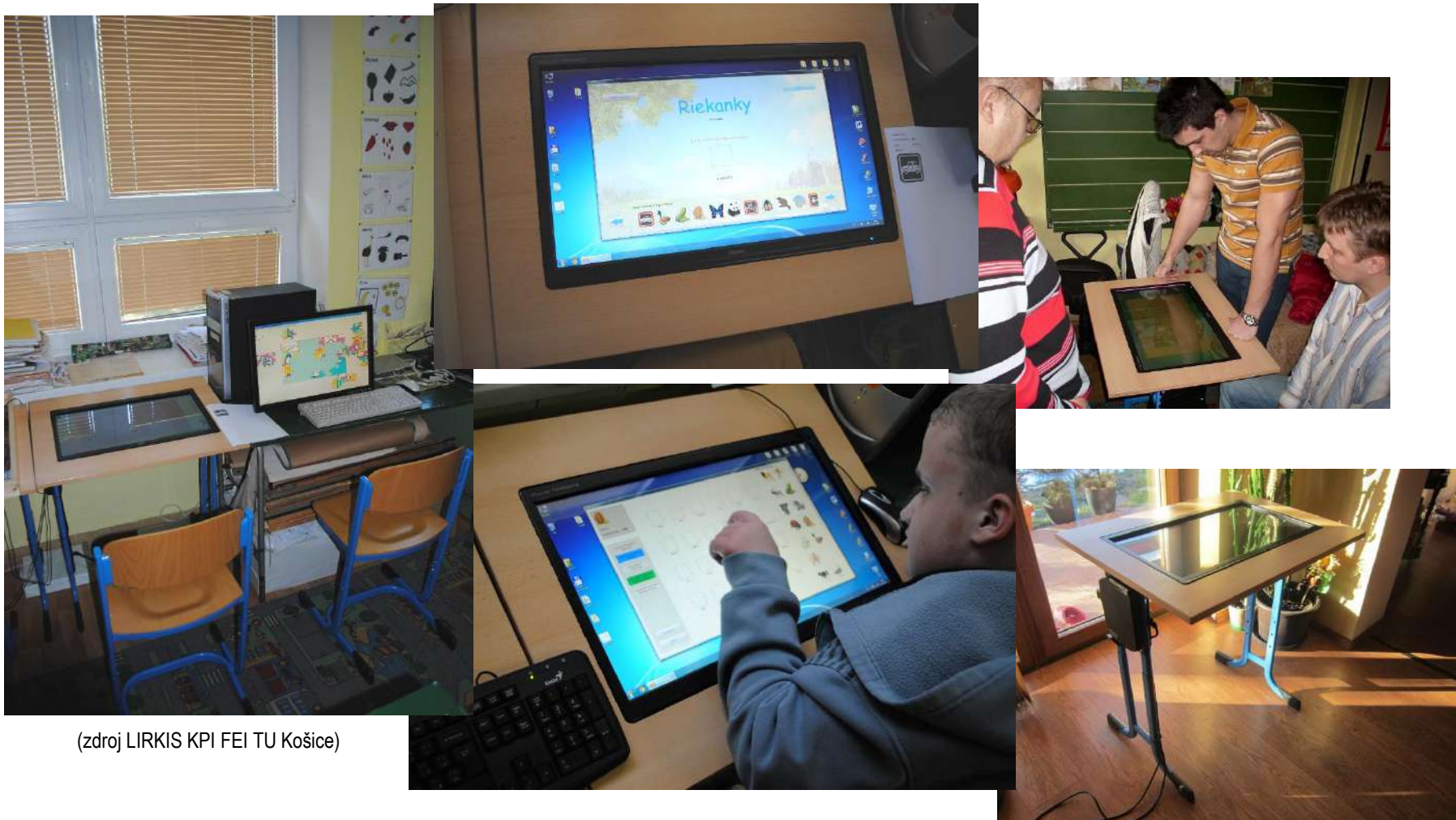
Sledovanie pohybu očí:

- Optické snímanie a vyhodnocovanie pohľadu používateľa
- Podpora ovládania v závislosti od cielenia pohľadu používateľa.



PRÍKLAD VYUŽITIA NATURÁLNYCH ROZHHRANÍ

INTERAKTÍVNA ŠKOLSKÁ LAVICA PRE POSTIHNUTÝCH ŽIAKOV



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

IMPLEMENTÁCIA XR SYSTÉMU VIRTUÁLNY PRIESTOR, JEHO FORMALIZÁCIA A DYNAMIKA

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 05

© 2026

ZÁKLADNÉ IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU

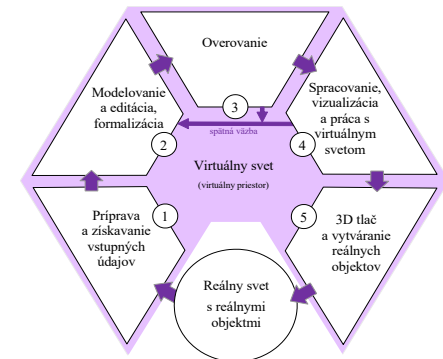
- Technické prostriedky
- Programové prostriedky
 - Definičné prostriedky – formalizácia
 - Definovanie statických objektov, scén, svetov a prírodných javov
 - Definovanie dynamiky objektov, scén, svetov a prírodných javov
 - Operačný systém
 - Programové prostriedky jadra
 - Transformácie
 - Riešenie kolízií
 - Programové prostriedky opisu datových štruktúr a modelov
 - Skriptovacie prostriedky
- Ostatné prostriedky



IMPLEMENTAČNÉ STUPNE XR SYSTÉMU A XR RÚRA

Implementácia XR systému prebieha ako viac-vrstvový proces a je založený na virtualizačnom reťazci:

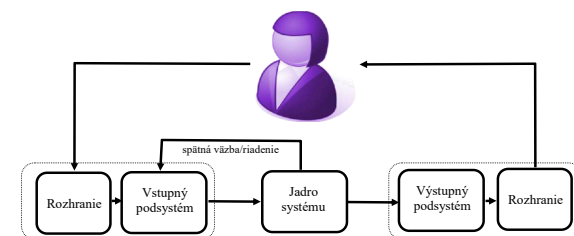
- zber a analýza požiadaviek
- formalizácia systému
- tvorba/získavanie/modelovanie virtuálneho priestoru a objektov
- simulácia procesov
- vizualizácia a interakcia
- spätná väzba používateľa



XR rúra (pipeline) predstavuje životný cyklus spracovania dát v **reálnom čase**, vytvorený na báze systému interakcie.

Rúra XR systému integruje:

- logické jadro systému
- dátové modely/objekty (assets)
- fyzikálne a simulačné moduly
- renderovací a interakčný subsystém



REAL-TIME OBMEDZENIA XR SYSTÉMOV

Tým, že XR systém primárne pracuje v reálnom čase má aj špecifické časové požiadavky a deterministickosť. Z toho vyplývajú niektoré jeho obmedzenia vyskytujúce sa v rámci implementácie základných slučiek:

- simulačná slučka
- renderovacia slučka (hlavné časové obmedzenia)
- interakčná slučka

Základné časové obmedzenia:

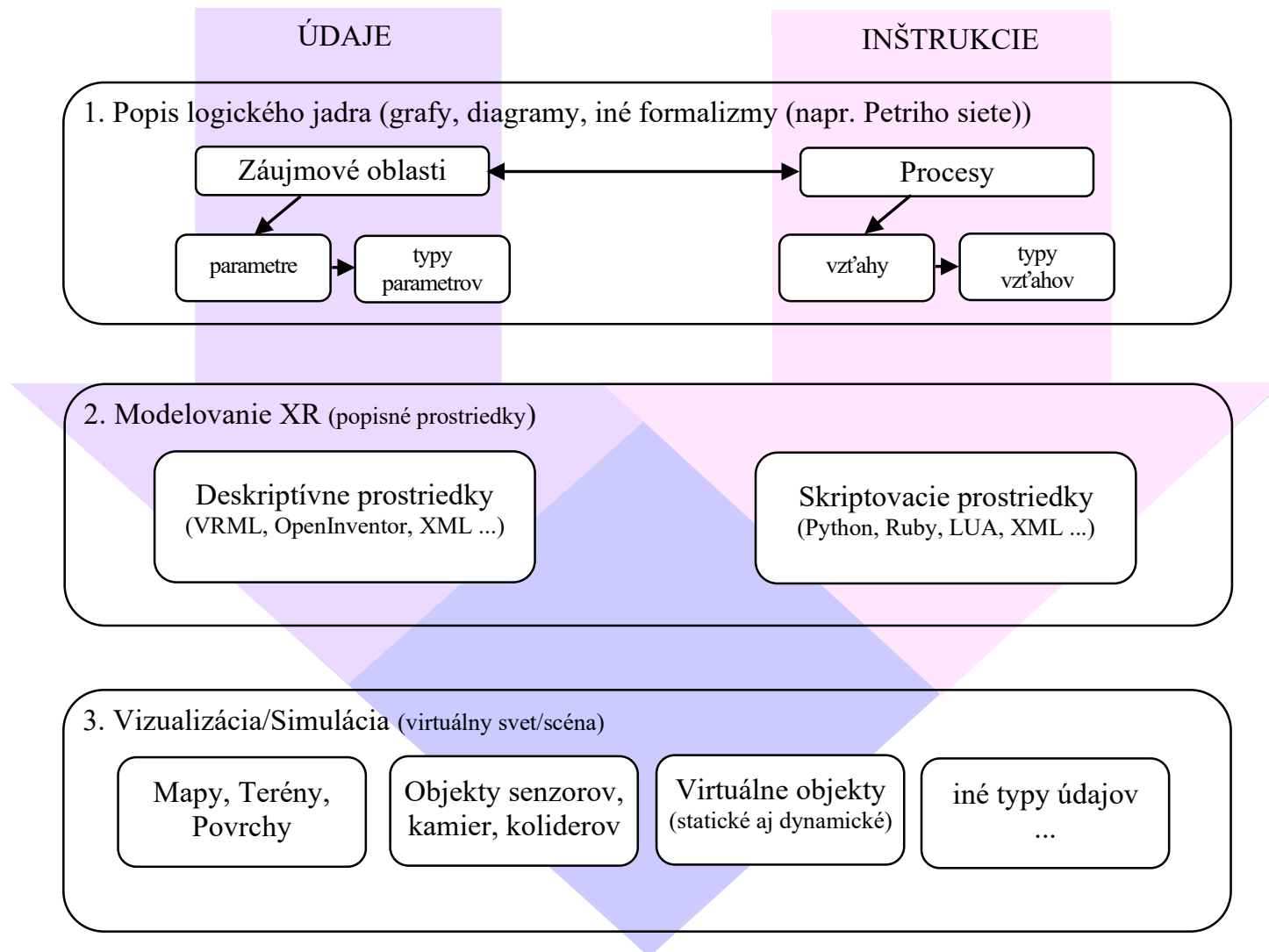
- obnovovacia frekvencia (60–120 Hz)
- časový rozpočet snímky (frame budget)

Nedodržanie časových limitov vedie k:

- zníženiu imerzie
- nestabilite systému
- cybersickness



HIERARCHIA PROGRAMOVEJ IMPLEMENTÁCIE XR SYSTÉMU



HIERARCHIA PROGRAMOVEJ IMPLEMENTÁCIE XR SYSTÉMU

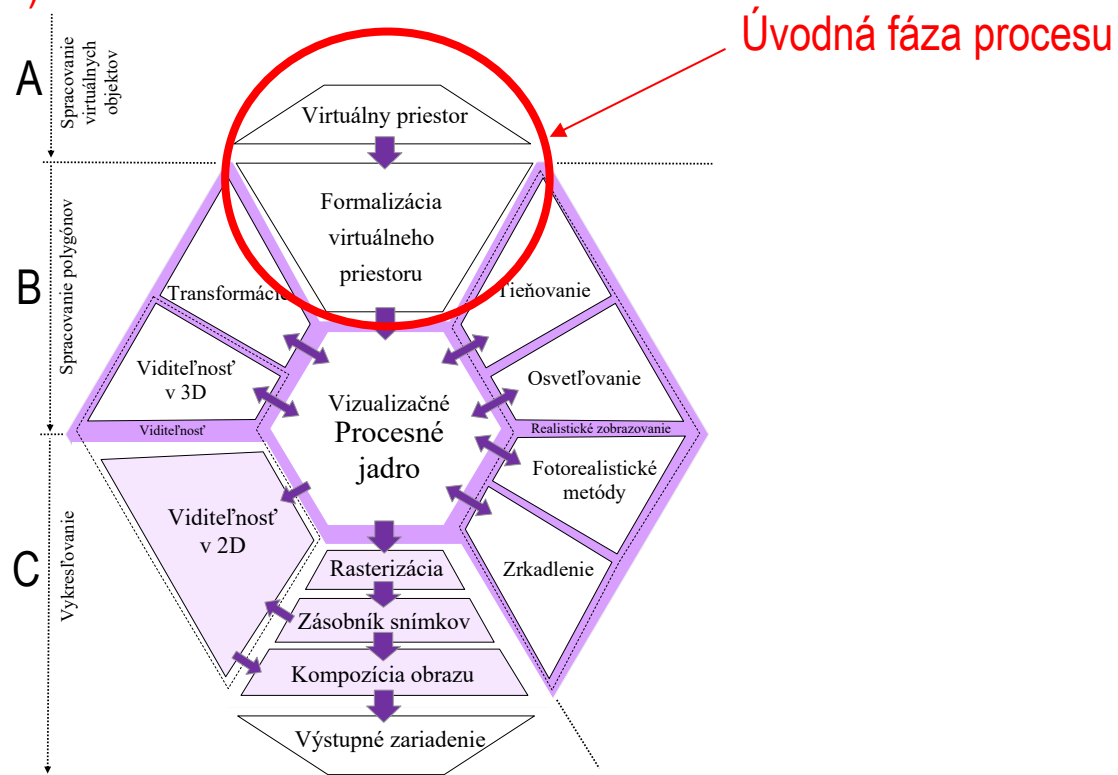
- *Popis logického jadra* - Formálne popísanie logického jadra vytváraného systému na základe požiadaviek na systém s ohľadom na procesy prebiehajúce v systéme (diagramy, grafy, formálne jazyky). Stanovenie záujmových oblastí pre vytváraný systém a následné definovanie parametrov pre každú záujmovú oblasť. Definovanie vzťahov medzi parametrami záujmových oblastí (v podstate možno najťažšia časť).
- *Modelovanie VR/X-reality* - Spracovanie formálneho návrhu pomocou deskriptívnych prostriedkov pre popis virtuálneho priestoru, objektov a scén (USD, VRML, XML, ...) a pomocou skriptovacích prostriedkov pre popis transformácií virtuálnych priestorov (Python, LUA, XML, ...).
- *Vizualizácia / Simulácia* - Výsledkom návrhu je rozhranie virtuálnej reality pre sprostredkovanie komunikácie medzi človekom a vytváraným systémom, kde človek môže vidieť a sledovať a tiež interaktívne ovplyvňovať procesy prebiehajúce v systéme.



PROCESNÝ MODEL IMPLEMENTÁCIE

Viacmenej sa kryje s procesom vizualizácie nakoľko človek približne 80 % informácií spracúva zrakom.

Základom dobrého návrhu a následne implementácie XR systému je vhodná formalizácia virtuálneho priestoru (najmä časť A).



POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM

Kroky postupu spracovania požiadaviek:

1. *Definovanie oblasti záujmu* pre vytváraný systém, ktoré sú definované zameraním systému, čiže pre koho je daný systém a akú má mať funkčnosť (statické, dynamické).
2. *Určenie parametrov pre definované oblasti záujmu*. Tieto parametre môžu byť interné alebo externé
3. *Otypovanie parametrov* - určenie také typy, ktoré v konečnom dôsledku umožnia vhodne pracovať s definovanými parametrami. Na základe analýzy boli zvolené štyri typy parametrov a to: identifikátory, logické hodnoty, číselné hodnoty a množiny hodnôt.
4. *Definovanie vzťahov medzi parametrami*.
5. *Určenie typov pre jednotlivé vzťahy* v systéme, ktoré môžu byť buď priamoúmerne závislé, nepriamoúmerne závislé alebo podmienené závislé.

POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM

DEFINOVANIE OBLASTÍ ZÁUJMU A URČENIE ICH PARAMETROV

1. Definovanie oblasti záujmu pre vytváraný systém, ktoré sú definované zameraním systému, čiže pre koho je daný systém a akú má mať funkčnosť. Tie je potrebné definovať na základe získaných požiadaviek. Tiež je dôležité brať do úvahy všetky procesy, ktoré je potrebné riešiť v systéme a aj čoho sa tieto procesy týkajú. Jednotlivé oblasti záujmu možno rozdeliť do dvoch skupín a to na:
 - *statické* objekty - definujú priestor vo virtuálnej realite (napr. budovy, cesty, ...)
 - *dynamické* objekty - definujú samotné procesy prebiehajúce v systéme (napr. pohybujúce sa dopravné prostriedky, ľudia, ...).
2. Určenie parametrov pre definované oblasti záujmu. Tieto parametre môžu byť:
 - *interné* - sú tie, ktoré sú potrebné vo vytváranom počítačovom systéme. Napríklad v systéme pre evidenciu liekov v lekární interné parametre predstavujú napr. názov lieku, evidenčné číslo, cena lieku, zisk z lieku, expiračná doba, účinná látka, potreba lekárskeho predpisu, aktuálna dostupnosť ...
 - *externé* - nie sú priamo reprezentované v systéme, ale je zaujímavé ich brať do úvahy, pretože ovplyvňujú daný systém a to napr. celkový zisk alebo stratu za predané lieky, neúmyselné poškodenie balenia lieku, krádež alebo strata lieku a pod.

POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM

OTYPOVANIE PARAMETROV

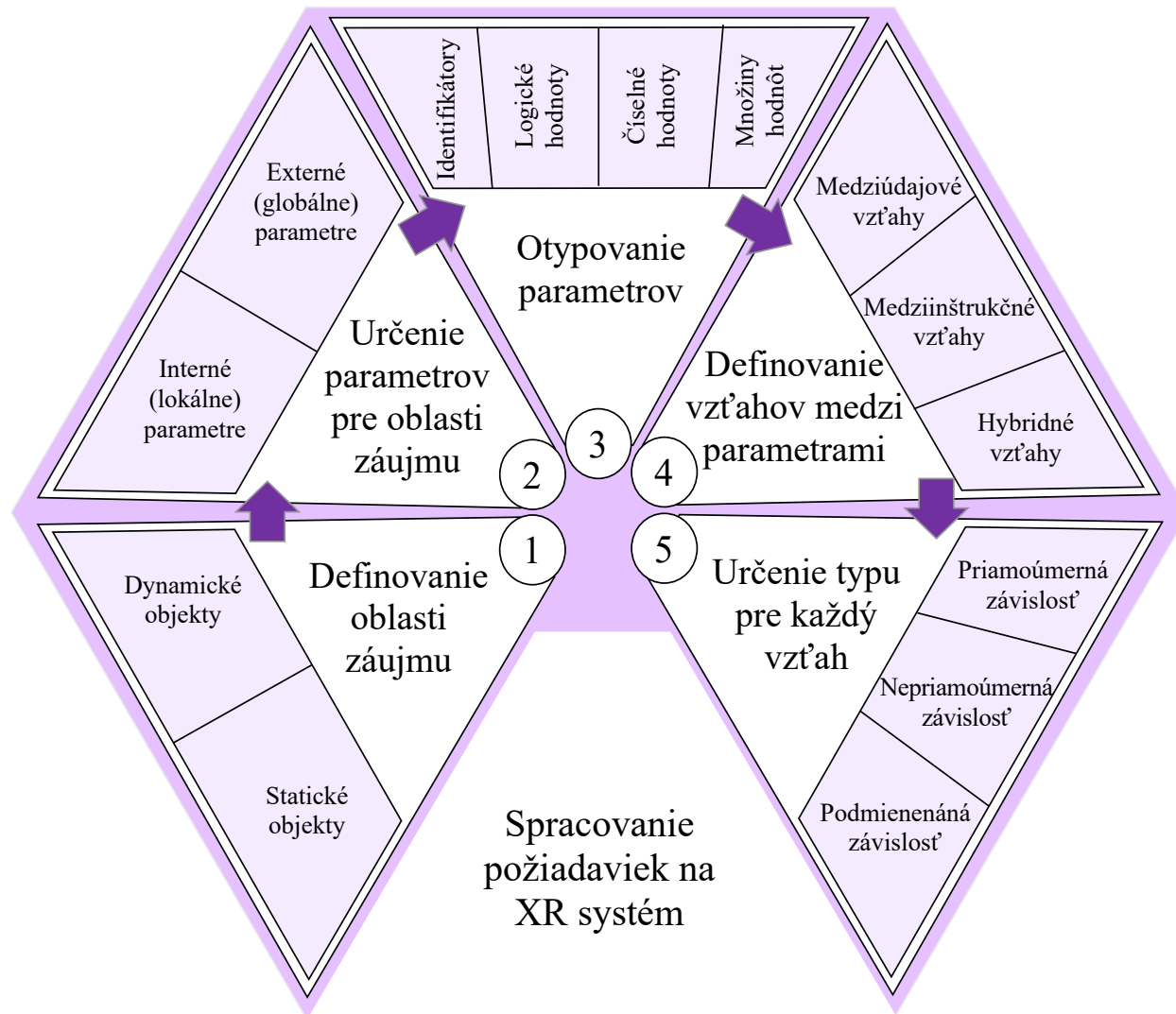
3. *Otypovanie parametrov* - nemyslí sa tým definovať pre parametre typy ako v programovacích jazykoch (int, float, string, bool, ...), ale určiť také typy, ktoré v konečnom dôsledku umožnia vhodne pracovať s týmito parametrami. Najčastejšie sú používané tieto typy parametrov:
- *Identifikátory* – sú parametre potrebné v počítačovom systéme, ktoré istým spôsobom identifikujú daný objekt, ale jeho zmena neovplyvní iný parameter v systéme, čo môže byť pre spomínaný systém pre evidenciu liekov napríklad jeho názov.
 - *Logické hodnoty* – sú parametre v systéme, ktoré ovplyvňujú nejakým spôsobom ďalšie parametre v systéme alebo oni samy sú ovplyvňované inými parametrami v systéme. Napríklad potreba lekárskeho predpisu pre predaj daného lieku.
 - *Číselné hodnoty* – sú parametre v systéme, pre ktoré platí rovnako ako pre logické hodnoty, že nejakým spôsobom ovplyvňujú ďalšie parametre v systéme alebo sú oni samy ovplyvňované inými parametrami. Príkladom takého parametra je napríklad zisk z predaja lieku.
 - *Množiny hodnôt* – tieto parametre rovnako ako logické a číselné hodnoty majú vplyv na parametre v systéme alebo sú nimi ovplyvňované. Príkladom takého parametra je účinná látka lieku (v systéme je konečný počet účinných látok lieku, pričom daný liek môže obsahovať len niektoré z nich, len jednu, resp. žiadnu).

POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM

DEFINOVANIE VZŤAHOV A URČENIE ICH TYPOV

4. *Definovanie vzťahov medzi parametrami* - tu je možné dôjsť k tomu, že niektoré parametre, ktoré boli považované za také, ktoré ovplyvňujú systém, sa stanú len identifikátormi, čiže nemajú vplyv na iné parametre v systéme. Môžu byť:
 - medziúdajové
 - medziinštrukčné a
 - hybridné vzťahy
 Všetky typy vzťahov navyše môžu byť:
 - neprocedurálne a
 - procedurálne
5. *Určenie typov pre jednotlivé vzťahy*, ktoré môžu byť:
 - *Priamoúmerná závislosť* – príkladom môže byť závislosť medzi ziskom z lieku a cenou, ktorú za liek zaplatí zákazník. Ak sa zvýši zisk z lieku, zvýši sa predajná cena lieku.
 - *Nepriamoúmerná závislosť* – napríklad závislosť medzi nákupnou cenou lieku a ziskom z lieku. Ak sa zvýši nákupná cena lieku, zníži sa zisk z lieku a naopak.
 - *Podmienená závislosť* – predstavuje tzv. existenčnú závislosť dvoch parametrov. Ak je medzi dvoma parametrami rôznych oblastí záujmu podmienený vzťah, možno povedať, že zrušením tohto vzťahu dôjde k nefunkčnosti procesov medzi týmito dvoma oblasťami záujmu, t.j. ak je k danému lieku vyžadovaný lekársky predpis a daný zákazník tento predpis nemá, tak si tento liek nemôže kúpiť, čiže celý proces predaja vlastne existovať nebude.

POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM



POSTUP SPRACOVANIA POŽIADAVIEK NA XR SYSTÉM

DÔSLEDKY

Definovaný postup spracovania požiadaviek vedie k:

- *Sledovaniu zmien v systéme pri zmene vstupných dát* - Systém umožňuje používateľovi na základe parametrov záujmových oblastí zistiť vplyv zmeny niektorého z parametrov na celý systém (napr. zmení sa nákupná cena lieku, čo všetko to ovplyvní?).
- *Zisteniu vplyvov pre sledovaný výstup systému* - Systém umožňuje používateľovi zistiť, ktoré parametre v systéme ovplyvňujú parameter sledovanej oblasti záujmu (napr. čo všetko má vplyv na výslednú predajnú cenu lieku?).
- *Sledovaniu vzájomných vplyvov jednotlivých oblastí záujmu* - umožňuje na základe vzťahov medzi oblasťami záujmu sledovať vzájomné vplyvy týchto oblastí záujmu (napr. čím sa vzájomne ovplyvňuje zákazník lekárne a samotný liek?).

DOPAD IMPLEMENTÁCIE XR SYSTÉMU V PRIEMYSLE

PRÍKLAD – TECHNOLOGIA DIGITÁLNEHO DVOJČAĽA (DIGITAL TWIN)

Industry 4.0. je spôsob priemyselnej výroby založený najmä na implementácii technológií cyber-priemyslu a inteligentnej logistiky. Základnými technológiami sú najmä:

- Strojová a umelá inteligencia (Machine and Artificial Intelligence),
- Spracovanie veľkých dát (Big Data processing),
- Internet vecí (IoT),
- Technológia digitálneho dvojčata (Digital twin)

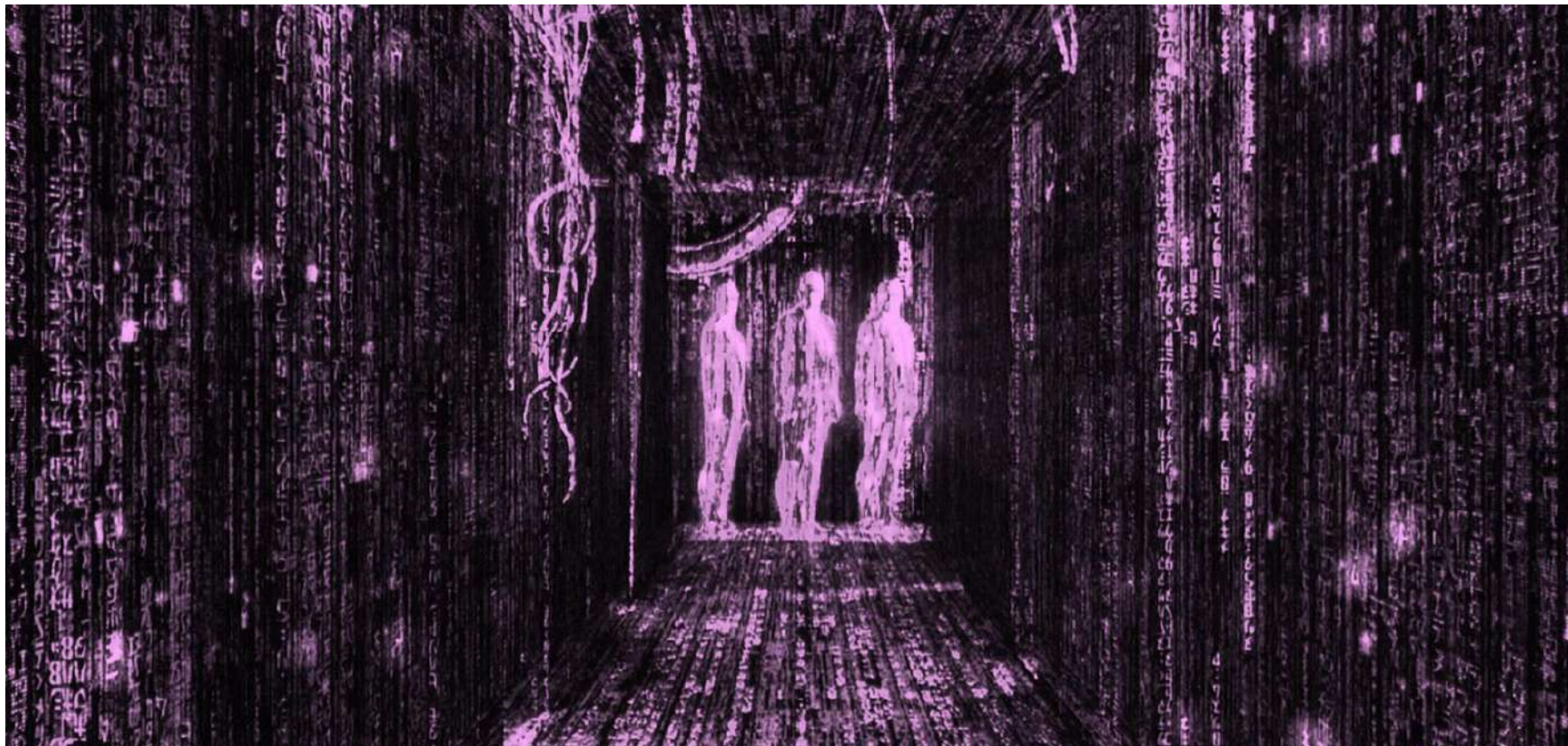
Digitálne dvojča (*Digital twin*, (1991) David Gelernter, kniha *Mirror World*, (2002) Michael Grieves – koncept využitia v priemyselnej výrobe) je riešenie založené na zbere dát z (výrobných) procesov, ich vyhodnocovaní a následnom optimalizovaní s využitím aj technológií VR/XR. Úlohou digitálneho dvojčata je (nie len ale aj) relatívne rýchlo, exaktne a človeku prijateľne odpovedať alebo zobraziť napríklad:

- celkový 3D model výrobku/procesu, aj z rôznych pohľadov
- kedy vymeniť/prestaviť pracovný nástroj najmä z dôvodu ukončenia jeho životnosti
- čo spôsobilo určitú nežiadajúcu udalosť vo výrobnom alebo v logistickom procese a zároveň aj odporučiť ako tento stav riešiť alebo mu predchádzať.
- ako usporiadať resp. optimalizovať poradie výrobkov/zákaziek tak, aby výroba vzhľadom na aktuálny stav resp. plán vyprodukovala čo najviac výrobkov alebo ich vyprodukovala čo najrýchlejšie či najlacnejšie

Tu je potrebná okrem iného aj dobrá vizualizácia a hlavne čo najprirodzenejšie a najintuitívnejšie rozhranie.



VIRTUÁLNY PRIESTOR



VIRTUÁLNY PRIESTOR

Virtuálny priestor resp. virtuálny svet (virtual space, virtual world) je základná entita, v ktorej sa odohráva resp. realizuje virtuálny dej (virtuálny život)

Je charakterizovaný:

- svojou dimenziou (pozor na miešanie štruktúr dimenzií)
- svojou súradnicovou sústavou (pozor na miešanie štruktúr dimenzií)
- svojou definičnou úrovňou, formálnym opisom a objektami
- svojou dynamikou (virtuálnym plynúcim časom, pohybom, transformáciami, genetikou, dejmi)



PRIESTOR A JEHO PARAMETRE

Podľa typu dimenzie:

1. Celočíselné - topologické
2. Neceločíselné

Podľa charakteru priestoru:

1. Translačný priestor
2. Rotačný priestor
3. Kombinovaný priestor

Podľa štruktúry dimenzií (primárne geometria) a ich počtu:

1. Homogénna štruktúra $(N+0)$ – ND priestor
2. Heterogénna štruktúra $(N_1+N_2+....N_n)$ – $(N_1+N_2+....N_n)D$ priestor

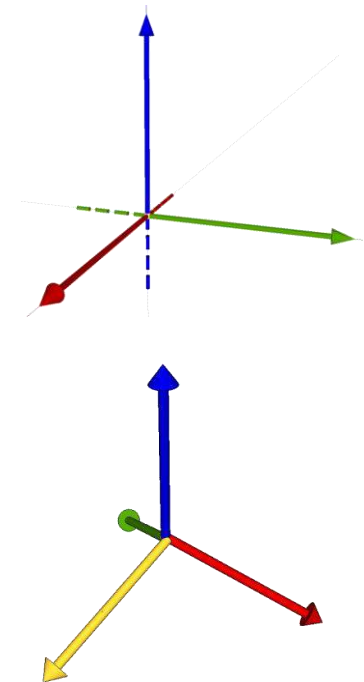
Podľa počtu stupňov voľnosti (Degree of freedom – DOF - je počet nezávislých parametrov, ktoré definujú konfiguráciu systému/objektu alebo stav v príslušnom koordinačnom systéme. Vo virtuálnom svete DOF definuje počet translačných a rotačných (alebo časových) smerov, v ktorých sa môže virtuálny objekt alebo avatar pohybovať).

1. Jednosmerné vzhľadom na dimenziu (len v jednom smere dimenzie)
2. Obojsmerné vzhľadom na dimenziu (v oboch smeroch dimenzie)

Príklady: celočíselný heterogénny obojsmerný translačný priestor, celočíselný homogénny jednosmerný rotačný priestor

ROZMER (DIMENZIA) PRIESTORU

- Číselný
- Nečíselný
- Topologická (0,1,2,3,4), celočíselná metrika
- Hausdorffová (*Neceločíselný* rozmer (2.6 a pod.))
- Fraktálna
- dimenzia sebedobnosti
- kapacitná dimenzia
- Informačná
- dimenzia rotácií
- ...



HAUSDORFOVA DIMENZIA

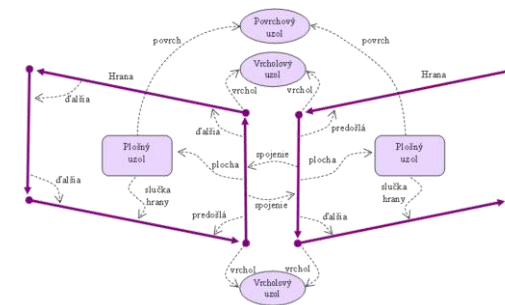
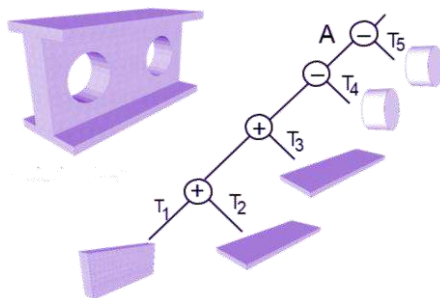
Hausdorffova dimenzia je zovšeobecnením pojmu topologická dimenzia. V prípade, že sa jedná o jednoduché geometrické objekty, tak dimenzia topologická sa rovná limitnej dimenzii Hausdorffovej. Táto dimenzia sa vytvára pomocou kružníc opísaných nad príslušným objektom, pričom rozmer predstavuje počet priesečníkov. Ich počet sa najčastejšie vyjadruje pomocou logaritmov (báza Počítačová grafika).

ROZMER OBJEKTU (TOPOLOGICKY)

- 0-rozmerný objekt (bod)
 - 1-rozmerný objekt (priamka, úsečka)
 - 2-rozmerný objekt (plocha)
 - 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
 - Štruktúra objektu v zmysle dimenzie je závislá od štruktúry virtuálneho priestoru. Adekvátne dimenzionalita objektov je závislá od homogenity dimenzionality virtuálneho sveta, v ktorom sa nachádzajú t.j. geometria, čas a pod. bez toho aby sa tieto miešali.

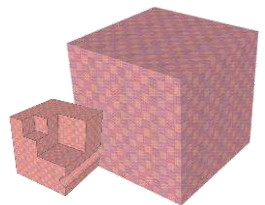
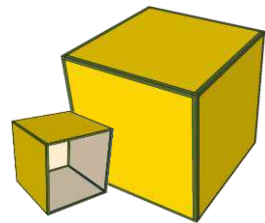
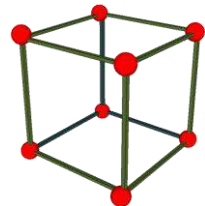
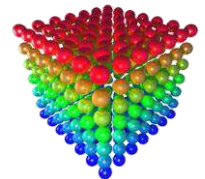
POPIS A REPREZENTÁCIA OBJEKTOV

- Pri spracovaní objektov sú zaujímavé dve hľadiská :
 - popis objektu
 - reprezentácia objektu
- Pre modelovanie telies sú najčastejšie používané tieto spôsoby reprezentácie:
 - *Hraničná reprezentácia* resp. jej štrukturovaná forma B-REP (Winged Edge Structure), zloženou zo štyroch druhov uzlov: *vrchol* (Vertex), *hrana* (Edge), *Stena*, *plocha* (Face), *teleso* (Solid)
 - *Konstruktívna geometria telies* - CSG



POPIS A REPREZENTÁCIA OBJEKTOV

- 0 - systémy založené na množine bodov – mračná bodov (*Points clouds*)
- 1- systémy založené na drôtovom modeli (*Wire Frame Model*)
- 2 - systémy založené na povrchovom modeli (*Surface Model*)
- 3 - systémy založené na objemovom modeli (*Solid Model*)



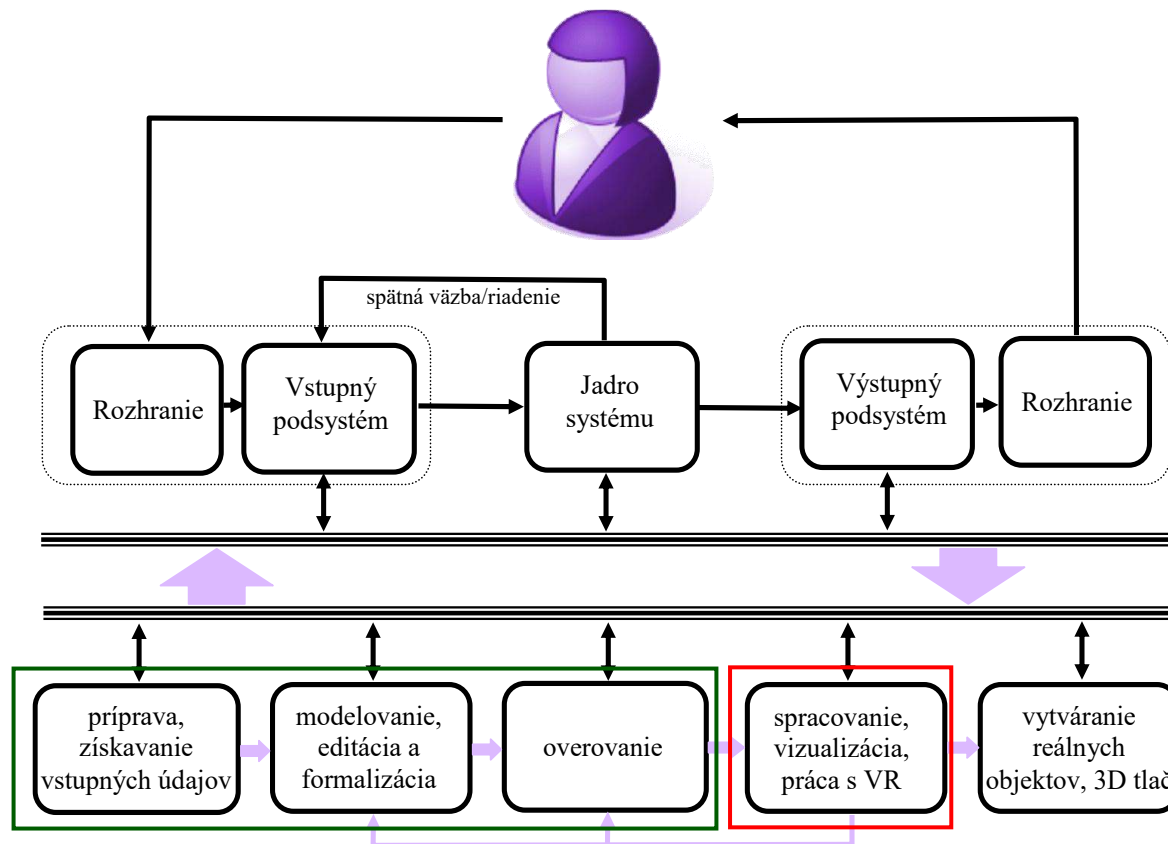
PROGRAMOVÁ TVORBA XR SYSTÉMU

Použité prostriedky XR umožnia vytvorenie lepšieho, efektívnejšieho a interaktívnejšieho systému, ktorý:

- na základe *vstupných rozhraní* umožňuje používateľovi zadávať vstupy do systému a ovplyvňovať tak procesy prebiehajúce v systéme,
- na základe *výstupných rozhraní* umožňuje používateľom získavať požadované výstupy,
- na základe *simulácie riešenej problematiky* umožňuje sledovať zmeny nastávajúce pri rôznych procesoch v systéme,
- na základe *vizualizácie* umožňuje používateľovi vizuálne sledovať procesy prebiehajúce v systéme,
- na základe *vzťahov medzi objektmi a procesov* prebiehajúcich medzi nimi, umožňuje používateľovi sledovať vzájomné vplyvy týchto objektov,
- na základe *parametrov objektov* umožňuje používateľovi zistiť vplyv zmeny niektorého z parametrov na celý systém, resp. zistiť ktoré parametre v systéme ovplyvňujú parameter sledovaného objektu záujmu používateľom.



VIRTUALIZAČNÝ REŤAZEC A SLUČKA INTERAKKCIE

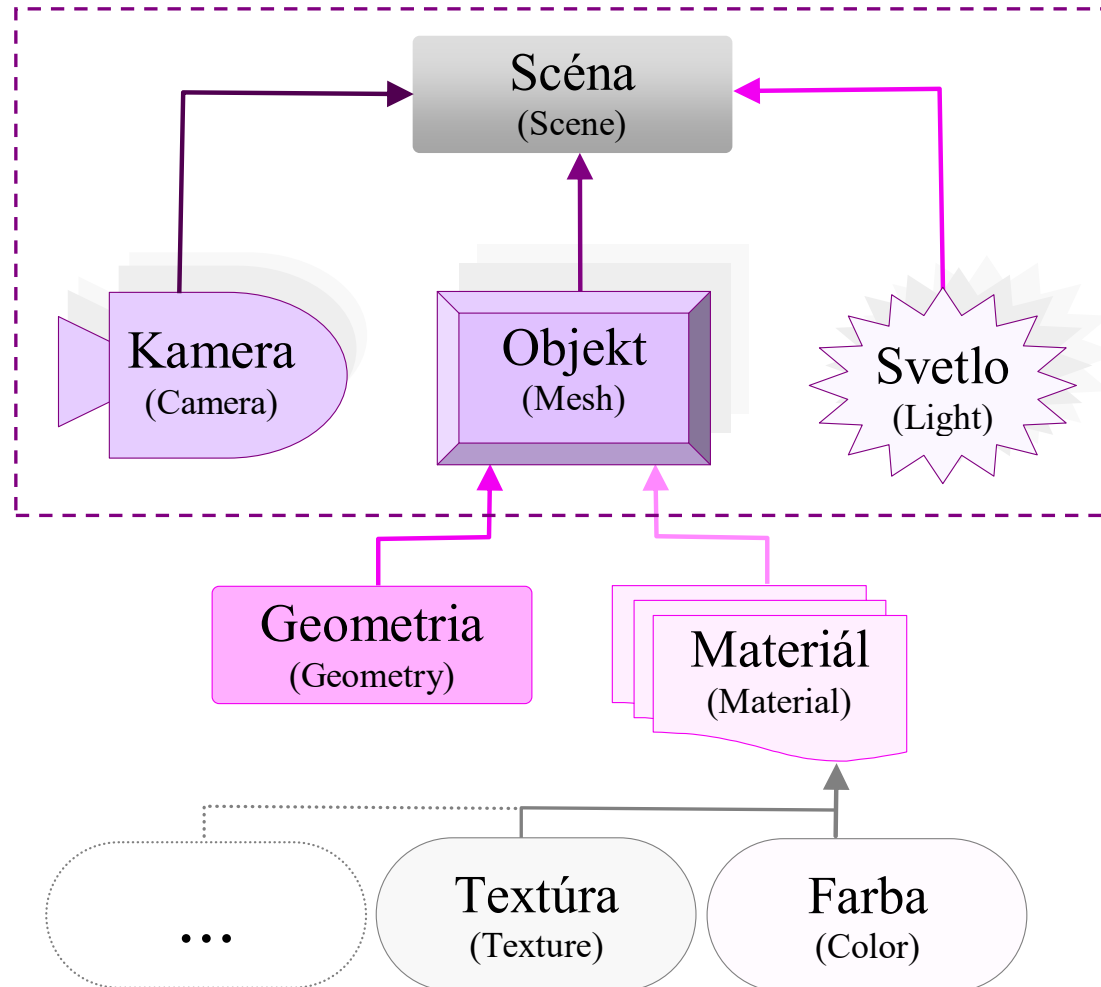


Slučka interakcie VR systému

Virtualizačný reťazec

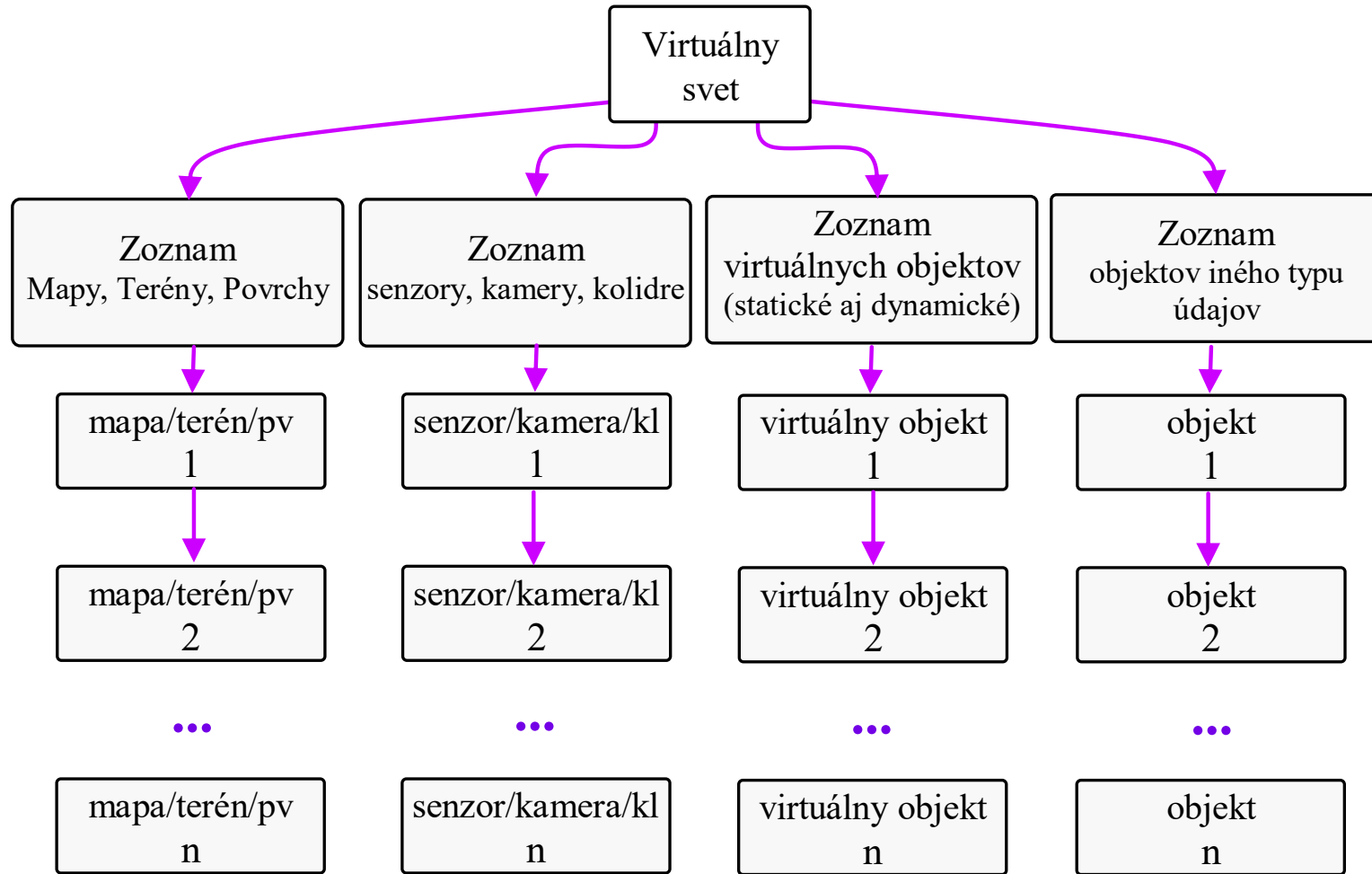
REPREZENTÁCIA VIRTUÁLNEHO SVETA

VIRTUÁLNA SCÉNA – ZJEDNODUŠENÁ IMPLEMENTÁCIA VIZUALIZÁCIE



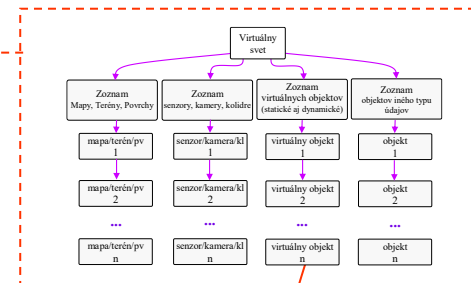
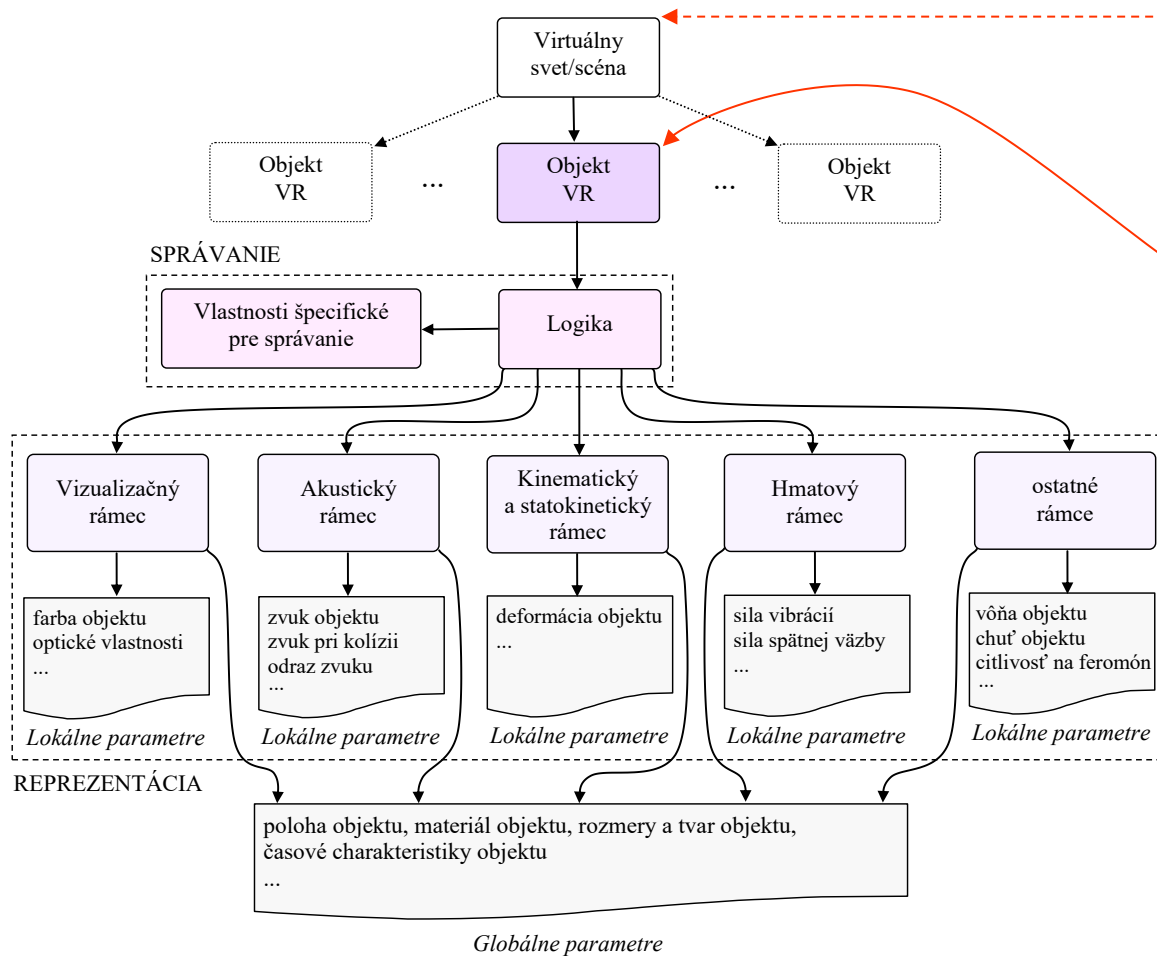
REPREZENTÁCIA VIRTUÁLNEHO SVETA

ELEMENTY



REPREZENTÁCIA VIRTUÁLNEHO SVETA

VLASTNOSTI

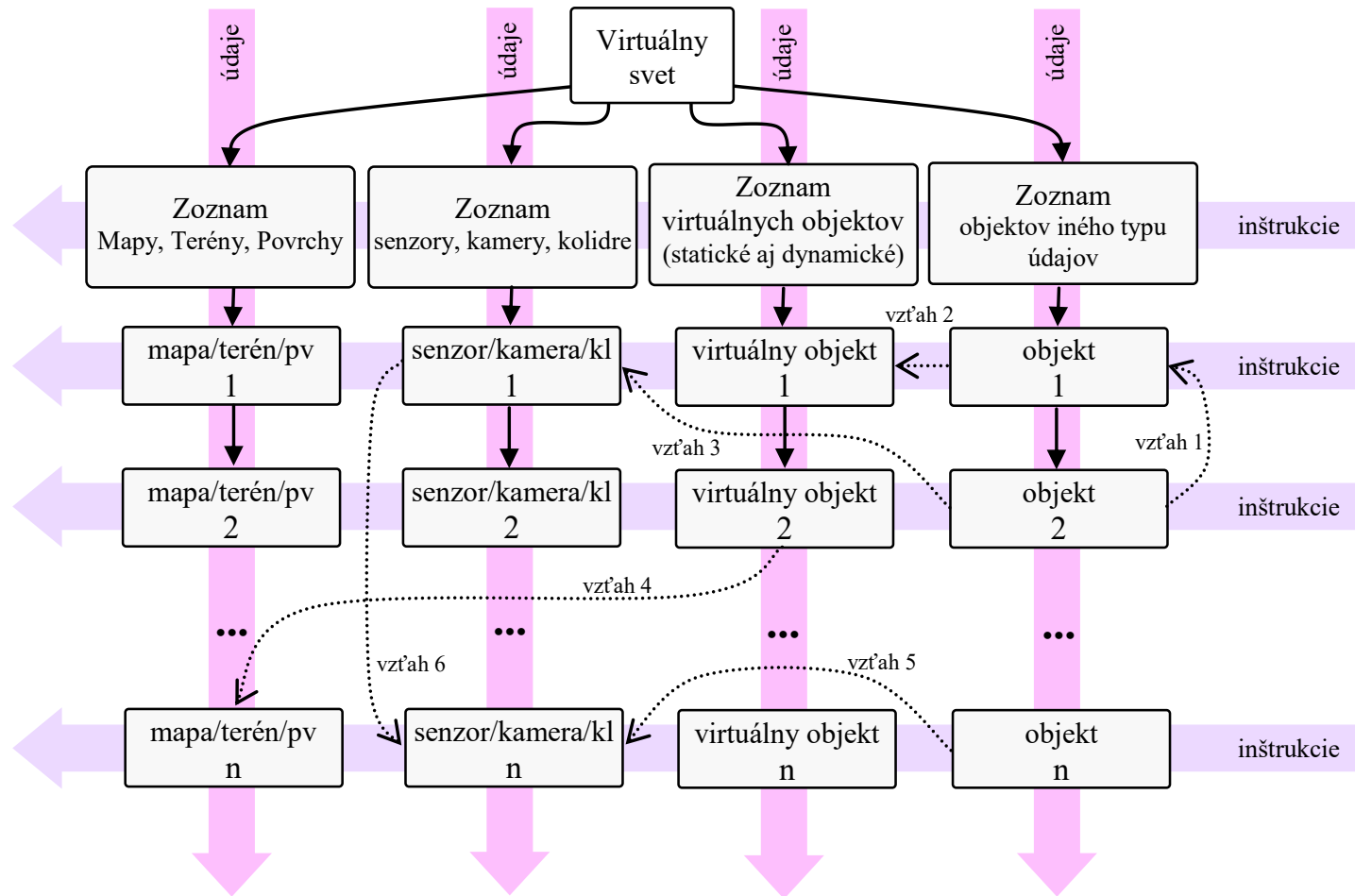


***Poznámka:** takto určená reprezentácia virtuálneho sveta sa spravidla používa ako fundamentálny koncept pre entitno-komponentné systémy (entity-component systems (ECS)), simulačné systémy aj pri definovaní digitálnych dvojčiat.*

***Poznámka:** V oblasti XR sa v kontexte virtuálnych objektov používa aj pojem **digitálny zdroj (asset)**, ktorým sa označujú prvky používané v aplikácii alebo virtuálnej scéne, ako napríklad 3D modely, textúry, materiály, animácie, audio súbory, skripty či UI prvky.*

REPREZENTÁCIA VIRTUÁLNEHO SVETA

VZŤAHY



Poznámka: Vzťahy nemusia byť stále, môžu vznikať a zanikať, môžu byť časovo podmienené, alebo reaktívne t.j. aktivujú sa ako reakcia na zmenu alebo udalosť (event-driven).

MAPOVANIE FORMÁLNEHO MODELU NA XR SYSTÉM

Formálny návrh systému je v praxi mapovaný na:

- logické/procesné jadro (XR core),
- virtuálny priestor/scéna (scene graph),
- virtuálne objekty (entity / komponenty, vrátane napríklad kamier a svetiel),
- transformácie resp. celý transformačný reťazec a
- rotácie, ak sú implementované napr. pomocou matematických knižníc v súčasnosti primárne na báze quaterniónov

XR systémy spravidla implementujú formálne modely implicitne, čo umožňuje:

- systematický návrh
- analýzu chýb
- kontrolu správania systému



POPISNÉ A IMPLEMENTAČNÉ PROSTRIEDKY

Popisné (deskriptívne) prostriedky pre popis virtuálneho priestoru, objektov, scén slúžia na formálny opis virtuálneho priestoru, najmä na:

- opis štruktúry scény a objektov,
- opis vzťahov medzi entitami.

Historické (konceptuálne) prostriedky, ktoré zaviedli pojem *scene graph*, *hierarchiu objektov* a *oddelenie dát od logiky*:

- VRML (Virtual Reality Modeling Language, <http://www.w3.org/MarkUp/VRML/>)
- OpenInventor (<https://developer.openinventor.com/refmans/latest/RefManCpp/>)
- XML-based scénické popisy

Súčasný (nástupnícke) prostriedky (formáty) používané ako konceptuálna náhrada predošlých:

- USD (Universal Scene Description, <https://openusd.org/release/index.html>),
- glTF (Graphics Library Transmission Format, ako textový *.gltf* (JSON) tak aj binárny *.glb*, <https://www.khronos.org/glTF/>),
- Scene-grafy v engine-och ako Unity či Unreal Engine (napr. Blueprint-y).



SKRIPTOVACIE A PROCEDURÁLNE PROSTRIEDKY

Skriptovacie (procedurálne) prostriedky slúžia na formálny popis:

- dynamiku virtuálneho sveta,
- správanie objektov,
- transformácie, interakcie, simulácie

Najčastejšie používané skriptovacie prostriedky:

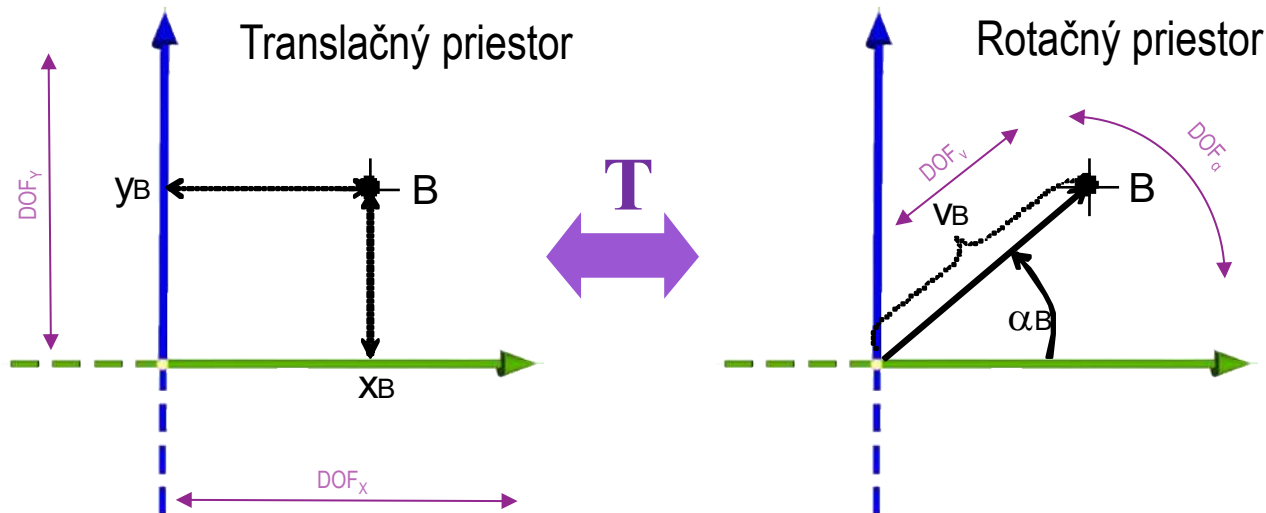
- RUBY (historicky, <http://www.ruby-lang.org/en/>),
- Python (<http://www.python.org/>),
- LUA (<http://www.lua.org/>),
- C#, C++,
- ECS systémy (Entity-component systems, <https://unity.com/ecs> tiež aj https://en.wikipedia.org/wiki/Entity_component_system),
- Blueprint-y (<https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/introduction-to-blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine>)

Poznámka: Trieda popisných a skriptovacích nástrojov definuje koncept implementácie. Následne konkrétna implementačná technológia je menej dôležitá než koncept, ktorý realizuje. Čiže dôležité nie je, v čom sa XR systém robí, ale aký princíp sa tým realizuje.



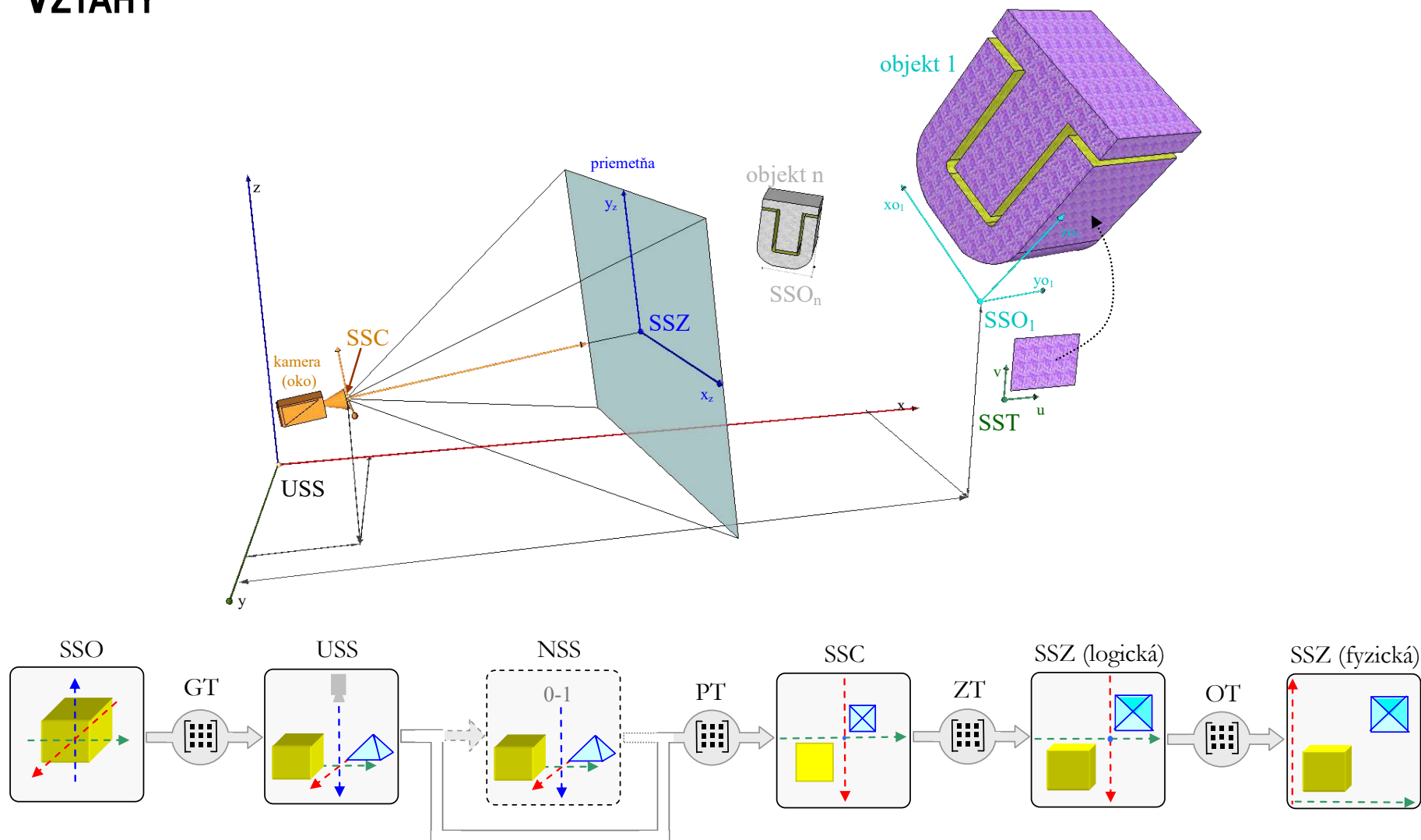
VZŤAH PRIESTOROV, ICH SÚRADNICOVÝCH SÚSTAV A TRANSFORMÁCIÍ

- 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 svete DOF (Degree of Freedom – stupeň voľnosti) definuje počet translačných a rotačných (alebo časových) smerov, v ktorých sa môže virtuálny objekt alebo avatar pohybovať).

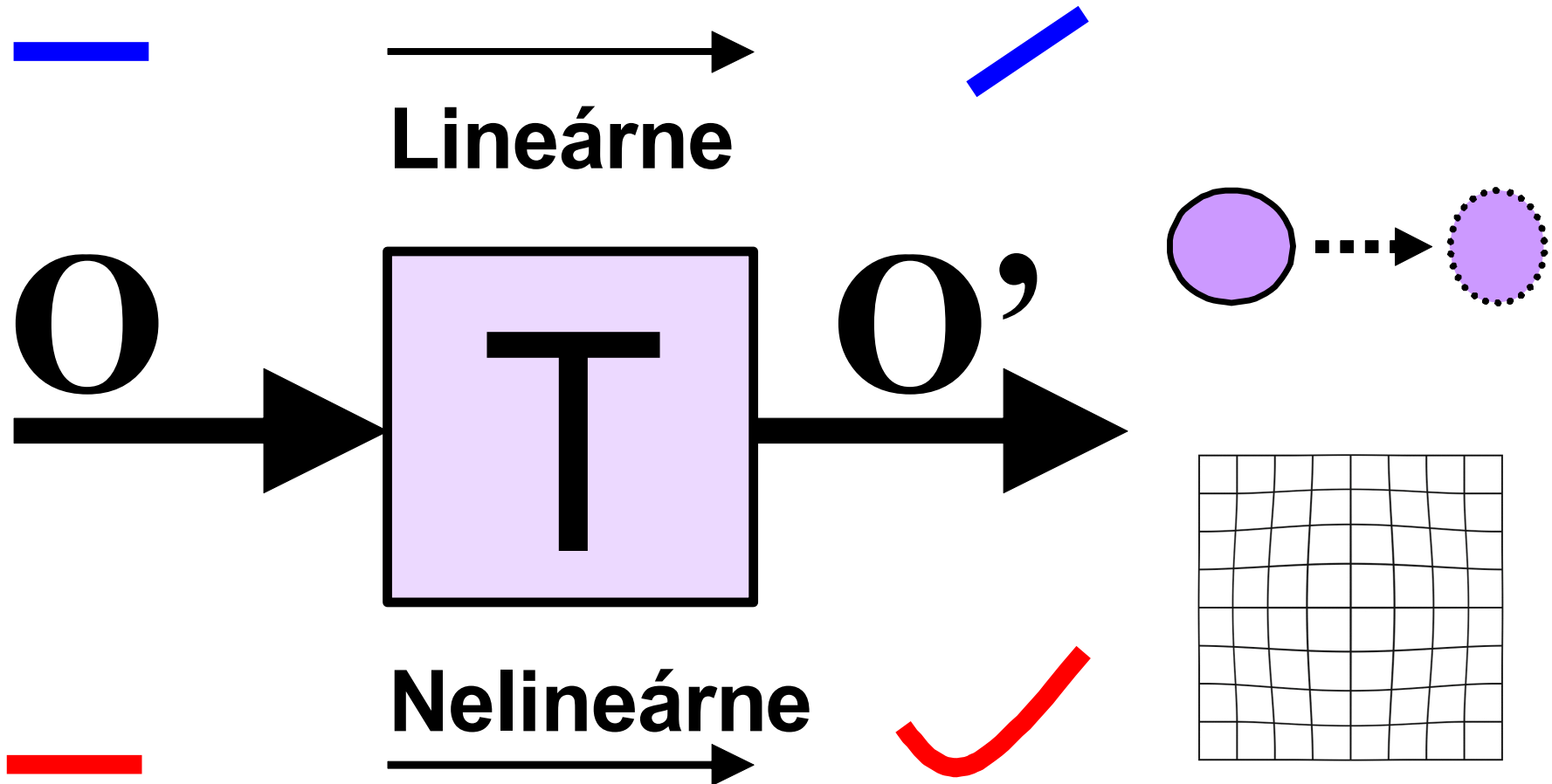


SÚRADNICOVÉ SÚSTAVY A TRANSFORMAČNÝ REĽAZEC

VZŤAHY



TRANSFORMÁCIE



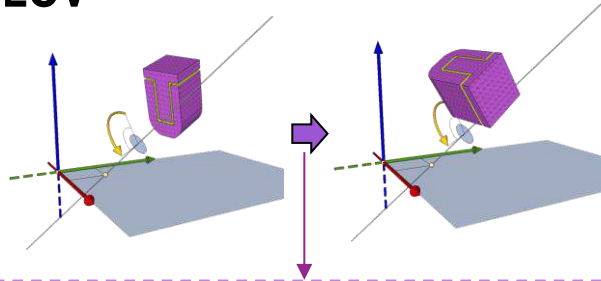
ROTÁCIA – METÓDY

- otáčanie definované ***Eulerovými uhlami*** a reprezentované všeobecnými transformačnými maticami.
- otáčanie definované ***Eulerovým teorémom*** a reprezentované *quaterniónmi*.

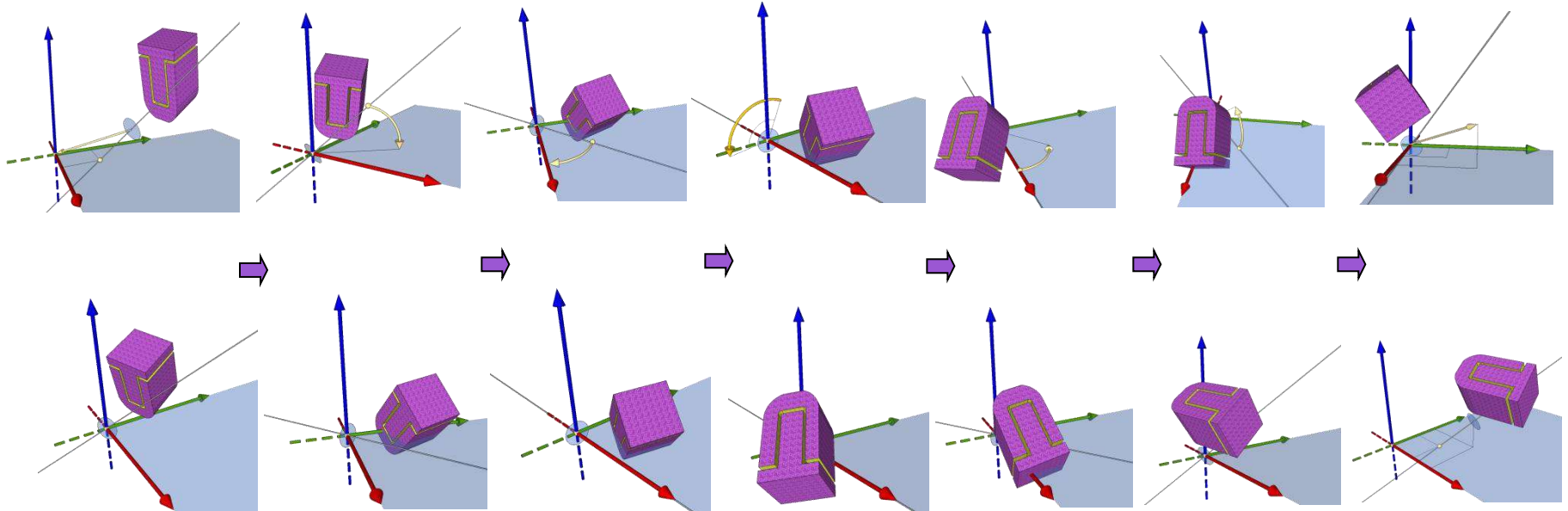


Leonhard Euler

ROTÁCIA OKOLO VŠEOBECNEJ PRIAMKY NA BÁZE EULEROVÝCH UHLOV



$$T_P \times T_{Oa} \times T_{Ob} \times T_O \times T_{Ob}^{-1} \times T_{Oa}^{-1} \times T_P^{-1}$$



PRIESTOR ROTÁCIÍ

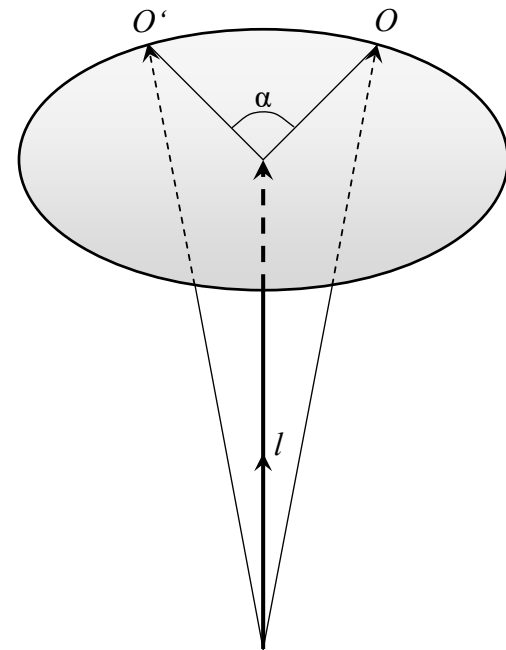
EULEROV TEORÉM

Nech

$O, O' \in R^3$ sú dve orientácie.

Potom existuje os $l \in R^3$
a uhol rotácie $\alpha \in [-\pi, \pi]$

Taký, že O prejde na O' , ak je otočený o uhol α okolo osi l



zobrazenie orientácie a následnej rotácie

PRIESTOR ROTÁCIÍ

Týmto sú teda uvedené ***orientácie*** a ***rotácia***. Je potrebné rozlišovať medzi týmito pojmami. Orientácia objektu v R^3 je daná bežným vektorom (poloha voči stredu súradnicovej sústavy). Rotácia (otočenie) je definovaná osou a uhlom otočenia. Je potrebné si zapamätať, že výsledok konštatuje existenciu, ale nie jedinečnosť takéhoto uhla a osi.



POPIS ROTÁCIÍ

Pre popis rotácie (otočenia) nasledovaného prípadnou zmeny mierky sú potrebné štyri čísla (W. R. Hamilton, 1843) :

- 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



W.R.Hamilton

QUATERNIÓNŮ

Quaternióny (W. R. Hamilton, 1843) sú rozšírením komplexných čísel.

- komplexné číslo $\mathbf{z}$: $z=a+bi$
- Opačné číslo k číslu $\mathbf{z}$: $z'=a-bi$
- Veľkosť (absolútna hodnota) čísla $\mathbf{z}$:

$$|\mathbf{z}| = \sqrt{\mathbf{z} * \mathbf{z}'} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

- Násobenie dvoch komplexných čísel:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{z}_1 = a_1 + b_1\mathbf{i} \\ \mathbf{z}_2 = a_2 + b_2\mathbf{i} \end{array} \right\} \mathbf{z}_1 * \mathbf{z}_2 = (a_1a_2 - b_1b_2) + (a_1b_2 + b_1a_2)\mathbf{i}$$

QUATERNIÓNŮ

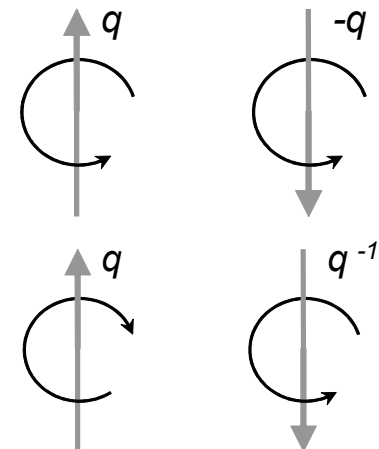
ZLOŽKY A ICH VZŤAHY

- Komplexné číslo (s, i, j, k) :
 - s – reálna zložka,
 - i, j, k – imaginárna zložka
 - $i*i = -1$ $j*j = -1$ $k*k = -1$
 - $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$
- Rotácia je nahradená násobením quaterniónov
 - $i*j = -j*i = k$
 - $j*k = -k*j = i$
 - $k*i = -i*k = j$

QUATERNIÓNÝ

OPAČNÝ A INVERZNÝ QUATERNIÓN

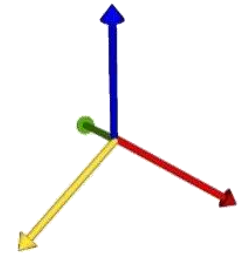
- *opačný* quaternión a veľkosť quaterniónu sa určujú rovnako ako u komplexných čísel:
 - $\mathbf{q} = \mathbf{w} + x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$
 - $\mathbf{q}' = -\mathbf{q} = \mathbf{w} - x\mathbf{i} - y\mathbf{j} - z\mathbf{k}$
 - $|\mathbf{q}| = \sqrt{\mathbf{q} * \mathbf{q}'} = \sqrt{w^2 + x^2 + y^2 + z^2}$
- *inverzný* quaternión je definovaný:
 - $\mathbf{q}^{-1} = \mathbf{q}' / (\mathbf{q} * \mathbf{q}')$
- quaternióny sú *asociatívne*:
 - $(\mathbf{q}_1 * \mathbf{q}_2) * \mathbf{q}_3 = \mathbf{q}_1 * (\mathbf{q}_2 * \mathbf{q}_3)$
- quaternióny nie sú *komutatívne*:
 - $\mathbf{q}_1 * \mathbf{q}_2 \neq \mathbf{q}_2 * \mathbf{q}_1$



QUATERNIÓNŮ

FORMÁTY ZÁPISU

- lineárna kombinácia 1, **i**, **j** a **k**
 - $\mathbf{q} = w + xi + yj + zk$
- vektor 4 koeficientov a ich lineárna kombinácia
 - $[x, y, z, w]$
- skalár pre koeficient 1 a vektor pre koeficienty z imaginárnej časti
 - $(s, \mathbf{v})$ kde $s=w$ a $\mathbf{v}=[x, y, z]$



QUATERNIÓNŮ

NÁSOBENIE

- Ak máme dva vektory zapísané v tvare $(s, \mathbf{v})$, môžeme napísať výsledok ich násobenia nasledovne:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{q}_1 = (s_1, \mathbf{v}_1) \\ \mathbf{q}_2 = (s_2, \mathbf{v}_2) \end{array} \right\} \quad \mathbf{q}_1 * \mathbf{q}_2 = (s_1 \cdot s_2 - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{v}_2, s_1 \cdot \mathbf{v}_2 + s_2 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_1 * \mathbf{v}_2)$$

- pri zápise druhým spôsobom po roznásobení dostaneme jednotlivé zložky:

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}_1 * \mathbf{q}_2 = [(q_x, q_y, q_z), q_w]$$

$$q_x = q_{1w} \cdot q_{2x} + q_{1x} \cdot q_{2w} + q_{1y} \cdot q_{2z} - q_{1z} \cdot q_{2y}$$

$$q_y = q_{1w} \cdot q_{2y} - q_{1x} \cdot q_{2z} + q_{1y} \cdot q_{2w} + q_{1z} \cdot q_{2x}$$

$$q_z = q_{1w} \cdot q_{2z} + q_{1x} \cdot q_{2y} - q_{1y} \cdot q_{2x} + q_{1z} \cdot q_{2w}$$

$$q_w = q_{1w} \cdot q_{2w} - q_{1x} \cdot q_{2x} - q_{1y} \cdot q_{2y} - q_{1z} \cdot q_{2z}$$

QUATERNIÓNŮ

A ROTÁCIE

- bod $B[x_B, y_B, z_B]$ v priestore je možné reprezentovať pomocou quaterniónu $B = (0, B)$.
- Potom rotáciu vypočítame pomocou nasledujúcej rovnice:

$$B_{\text{rotovaný}} = \mathbf{q} B \mathbf{q}^{-1}$$

- transformačná matica rotácie $\mathbf{Q}$ quaternióna $\mathbf{q}$ je:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 - 2y^2 - 2z^2 & 2xy - 2zw & 2xz + 2yw & 0 \\ 2xy + 2zw & 1 - 2x^2 - 2z^2 & 2yz - 2xw & 0 \\ 2xz - 2yw & 2yz + 2xw & 1 - 2x^2 - 2y^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a aplikuje sa ako rotačná matica

QUATERNIÓNÝ

VÝHODY A NEVÝHODY

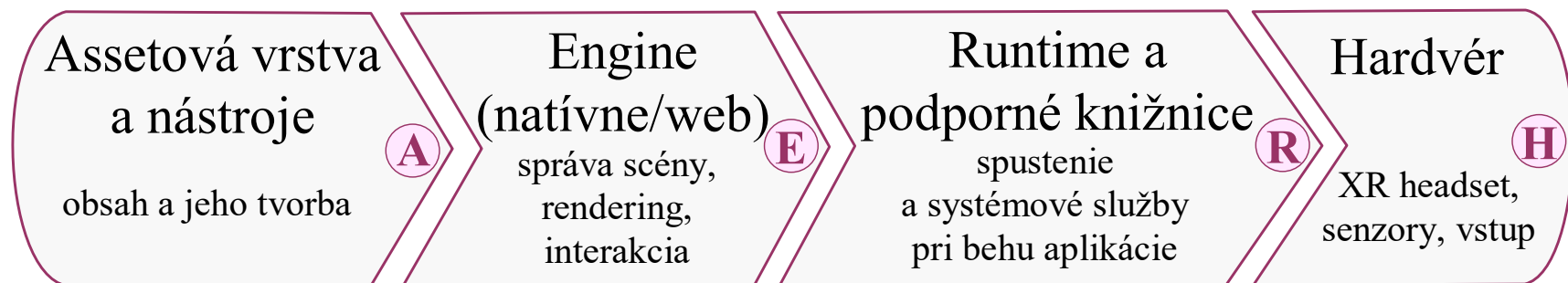
Jedinou skutočnou výhodou maticovej reprezentácie je možnosť reprezentovať všetky ostatné transformácie.

- Výhody quaterniónov
 - Zreteľná geometrická interpretácia
 - Nezávislosť od súradnicového systému
 - Kompaktná reprezentácia
 - Nestráca sa stupeň voľnosti (gimbal lock)
 - Jednoduchá kompozícia rotácií
- Nevýhody quaterniónov
 - Quaternióny reprezentujú iba rotáciu
 - Vzťahy popisujúce quaternióny vyzerajú komplikovane

IMPLEMENTÁCIA XR SYSTÉMU

BÁZICKÝ IMPLEMENTAČNÝ REŤAZEC

Bázický implementačný reťazec XR systému (vrátane alternatívnych implementačných platforiem):



Odporúčané prostriedky/technológie:

- A – Blender, glTF, Mixamo, Humanoid_Rig
- E – Unity, Three.js
- R – OpenXR, ARCore/ARKit, WebXR, PhysX, Ammo.js, OpenCV
- H - Meta Quest (platforma)

IMPLEMENTÁCIA XR SYSTÉMU

ODPORÚČANÉ PROSTRIEDKY/TECHNOLÓGIE

- **Blender** – open-source nástroj na tvorbu 3D obsahu – modelovanie, animácia, rigovanie postáv, priama väzba na Unity/Unreal pipeline – základný nástroj tvorby obsahu v modernom XR workflow, URL: <https://www.blender.org/>
- **glTF 2.0** – formát na výmenu a prenos 3D modelov – optimalizovaný pre runtime použitie, široká podpora v engineoch a WebXR – v princípe štandard pre distribúciu 3D dát, URL: <https://www.khronos.org/glTF/>
- **Adobe Mixamo** – automatické rigovanie a animácia postáv – výrazné zníženie času potrebného na prípravu animácií – pragmatický nástroj pre rýchlu tvorbu obsahu, URL: <https://www.mixamo.com/>
- **Unity Humanoid Rig** – systém animácie humanoidných postáv – štandardizácia kostry a pohybu medzi rôznymi modelmi – základ pre XR avatarov a interakciu, URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/AvatarCreationandSetup.html>
- **Unity Game Engine** – real-time 3D a XR engine – rýchly pomer vývoja k výsledku, multiplatformová podpora VR, AR a MR, silný ekosystém nástrojov a pluginov – hlavná aplikačná platforma pre väčšinu praktických XR projektov, URL: <https://unity.com/>
- **Three.js** – JavaScript knižnica pre 3D grafiku – jednoduchý vstup do webového 3D, silná komunita, rýchly vývoj – základná 3D vrstva pre WebXR aplikácie, URL: <https://threejs.org/>
- **OpenXR** – jednotné aplikačné rozhranie pre XR zariadenia – zabezpečuje interoperabilitu medzi Meta, HTC, Varjo a SteamVR, odstraňuje vendor-lock – strategicky najdôležitejší štandard pre udržateľný XR vývoj, URL: <https://www.khronos.org/openxr/>
- **ARCore / ARKit** – platformy pre mobilnú rozšírenú realitu – presné sledovanie pohybu, SLAM, detekcia rovín a prostredia – nevyhnutné pre phone-based AR aplikácie, URL: <https://developers.google.com/ar>
- **WebXR Device API** – XR rozhranie pre webové prehliadače – umožňuje okamžitý prístup k XR bez inštalácie aplikácie – vhodné pre demo systémy, vzdelávanie a rýchle prototypovanie, URL: <https://www.w3.org/TR/webxr/>
- **PhysX** – real-time fyzikálny engine – simulácia rigidných telies, kolízií a základnej dynamiky – natívne integrovaný do Unity a dostatočný pre väčšinu XR scenárov, URL: <https://developer.nvidia.com/physx-sdk>
- **Ammo.js** - webová fyzika, JavaScript fyzikálny engine, alternatíva pre PhysX ak sa implementuje fyzika na webovej platforme, URL: <https://github.com/kripken/ammo.js/>
- **OpenCV** – knižnica počítačového videnia – spracovanie obrazu, marker-based tracking, analýza scény – prepojenie reálneho sveta s XR systémami, URL: <https://opencv.org/>
- **Meta Quest (platforma)** – samostatné VR/MR zariadenia – dostupnosť, veľká používateľská báza, standalone prevádzka – najpraktickejšia cieľová XR platforma dnes, URL: <https://www.meta.com/>

IMPLEMENTÁCIA XR SYSTÉMU

TEÓRIA VS. PRAX

- Teória:
 - formálne modely
 - matematická presnosť
 - úplná kontrola vzťahov
- Prax:
 - výkonnostné kompromisy (najmä hardvérové)
 - aproximácie/zjednodušenia
 - skryté/nepredvídateľné implementačné detaily
- Kompromisy implementácie XR
 - matematická elegancia vs. praktická realizovateľnosť
 - presnosť vs. výkon
 - imerzia vs. stabilita
 - adaptivita vs. predvídateľnosť
- Súčasný XR systém:
 - vyvažuje presnosť a výkon
 - rešpektuje ľudské limity
 - rešpektuje real-time obmedzenia

Implementácia XR systému je vždy výsledkom kompromisu.

Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

GPGPU

GENERAL PURPOSE COMPUTING ON GRAPHICS PROCESSORS UNITS

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 06a

© 2026

GP/GPU

- *GPGPU* predstavuje skratku z anglického *General Purpose computing on Graphics Processor Units*, teda vykonávanie všeobecných výpočtov prostredníctvom grafických procesorov
- *GPU* predstavujú v súčasnosti masívne paralelný prúdový procesor typu SIMD, ktorého výpočtový výkon je rádovo na úrovni TFLOPSov.

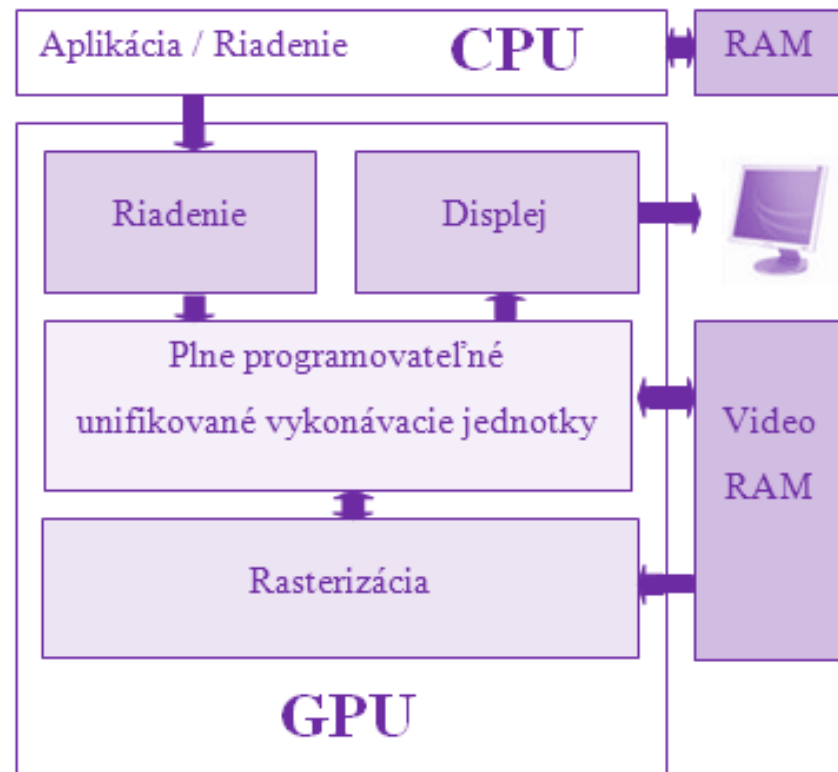
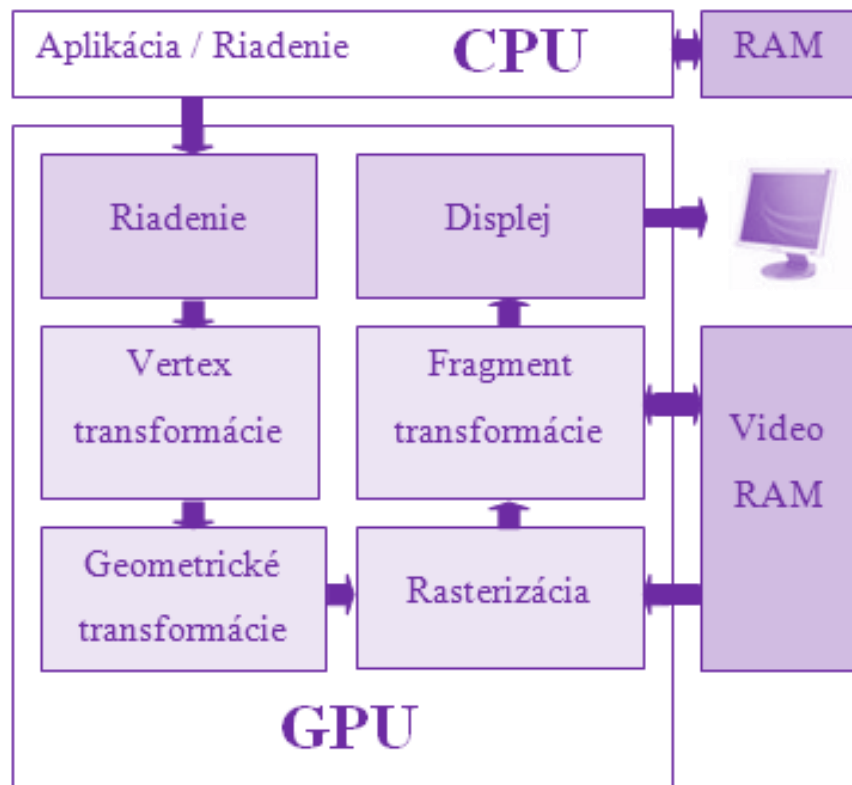


RTX5090

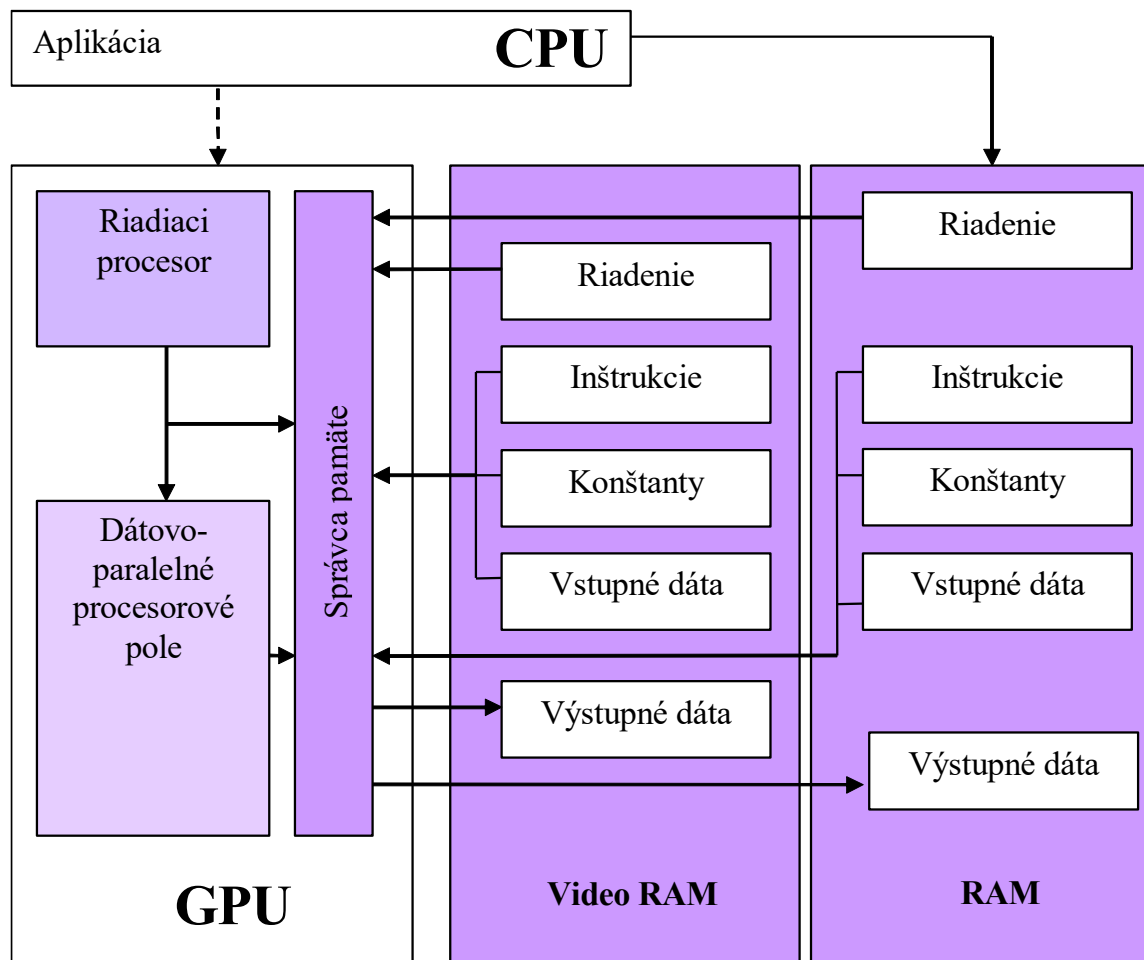


Platforma AMD Instinct (350)

GP/GPU BOLO LEN OTÁZKOU ČASU



ARCHITEKTÚRA GR. HARDVÉRU Z POHL'ADU GP/GPU



HISTÓRIA GP/GPU

1. etapa:

OpenGL, GLSL, Cg, Brook, Sh, CUDA, CTM

2. etapa:

CUDA, OpenCL, DirectX Compute



PROGRAMOVATEĽNOSŤ GPU

1. GENERÁCIA

grafický hardvér z obdobia rokov 1996 - 1997. Prvé 3D grafické karty / akcelerátory, ktoré pracovali v spojitosti so štandardnou 2D grafickou kartou. Neboli programovateľné, vertex transformácie a geometria sa vykonávali pomocou CPU. Jednoduché geometrické transformácie boli vykonávané v rámci vertex transformácií. Grafické hardvér urýchlňoval proces rasterizácie a ešte neobsahoval fragment transformácie. Ako zbernica prenosu riadiacich inštrukcií a dát bola použitá zbernica PCI. Komoditný grafický hardvér prvej generácie: 3dfx Voodoo, nVIDIA Riva TNT a ATi Rage.

PROGRAMOVATEĽNOSŤ GPU

2. GENERÁCIA

grafický hardvér z obdobia rokov 1998 - 1999. Hlavnou inováciou tejto generácie bol presun výpočtov vertex transformácií a geometrie z procesora CPU na procesor GPU. Tento presun znamenal vzhľadom na výpočtový potenciál a SIMD architektúru GPU procesora aj začiatok možnosti programovania jednotlivých súčastí tohto procesora. Grafický hardvér už v sebe obsahoval aj 2D funkcie, takže pre svoju prácu nepotreboval 2D grafickú kartu. Jednoduché geometrické transformácie boli stále vykonávané len v rámci vertex transformácií. Táto generácia ešte stále neobsahovala fragment transformácie, jej vertex jednotky boli programovateľné cez 3D API ako OpenGL alebo DirectX, zbernica PCI bola zamenená za rýchlejšiu zbernicu AGP. Komoditný grafický hardvér druhej generácie: nVIDIA GeForce1, GeForce2 a ATi Radeon 7500

PROGRAMOVATEĽNOSŤ GPU

3. GENERÁCIA

grafický hardvér z obdobia rokov 2001 - 2002. Tento hardvér mal rozšírené možnosti programovania vertex transformácií pomocou shading jazykov. Jednoduché geometrické transformácie boli stále vykonávané len v rámci vertex transformácií. Hlavnou inováciou tejto generácie bolo zavedenie jednoduchých fragment transformácií, ktoré bolo možné programovať taktiež pomocou shading jazykov. Ako zbernica prenosu riadiacich inštrukcií a dát bola znova použitá zbernica AGP. Začiatok uvažovania o využití GPU ako procesora pre vykonávanie všeobecných výpočtov. Komoditný grafický hardvér tretej generácie: nVIDIA GeForce3, GeForce4, ATi Radeon 8500.

PROGRAMOVATEĽNOSŤ GPU

4. GENERÁCIA

grafický hardvér z obdobia rokov 2002 - 2006. Jednoduché geometrické transformácie v rámci vertex transformácií. Hlavnou inováciou tejto generácie bolo zavedenie plne programovateľných vertex a fragment transformácií pomocou rozšírených shading jazykov. Ako zbernica prenosu riadiacich inštrukcií a dát bola použitá nová zbernica PCI-Express. V tomto období začali vznikať prvé jednoduché GPGPU aplikácie a rovnako aj prvé metajazyky pre programovanie GPU procesorov ako procesorov pre vykonávanie všeobecných výpočtov. Komoditný grafický hardvér štvrtej generácie: nVIDIA GeForce5, GeForce6, GeForce7, ATi Radeon 9700, 1800, 2800.

PROGRAMOVATEĽNOSŤ GPU

5. GENERÁCIA

grafický hardvér z obdobia rokov 2007 - súčasnosť. Hlavnou inováciou tejto generácie bolo zavedenie pojmu „unifikovaná vykonávacia jednotka“ (angl. unified shader), Táto generácia taktiež zaviedla ďalšiu možnosť do programovania vykonávacích jednotiek, konkrétne programovanie unifikovaných jednotiek ako geometrických jednotiek. Tento typ jednotiek je zodpovedný za zmenu geometrie, pričom je schopné generovať nové primitívy (trojuholníky), prípadne rušiť niektoré vrcholy a meniť topológiu. Unifikovaná vykonávacia jednotka dokáže vykonávať vertex/fragmentové/geometrické programy podľa potreby. V súčasnosti vznikajú už aj zložité GPGPU aplikácie. Piata generácia priniesla aj prvé jazyky priamo od výrobcov grafického hardvéru pre programovanie GPU

VÝVOJ JAZYKOV A GP/GPU



CUDA



OpenCL

Microsoft®

DirectX
Compute

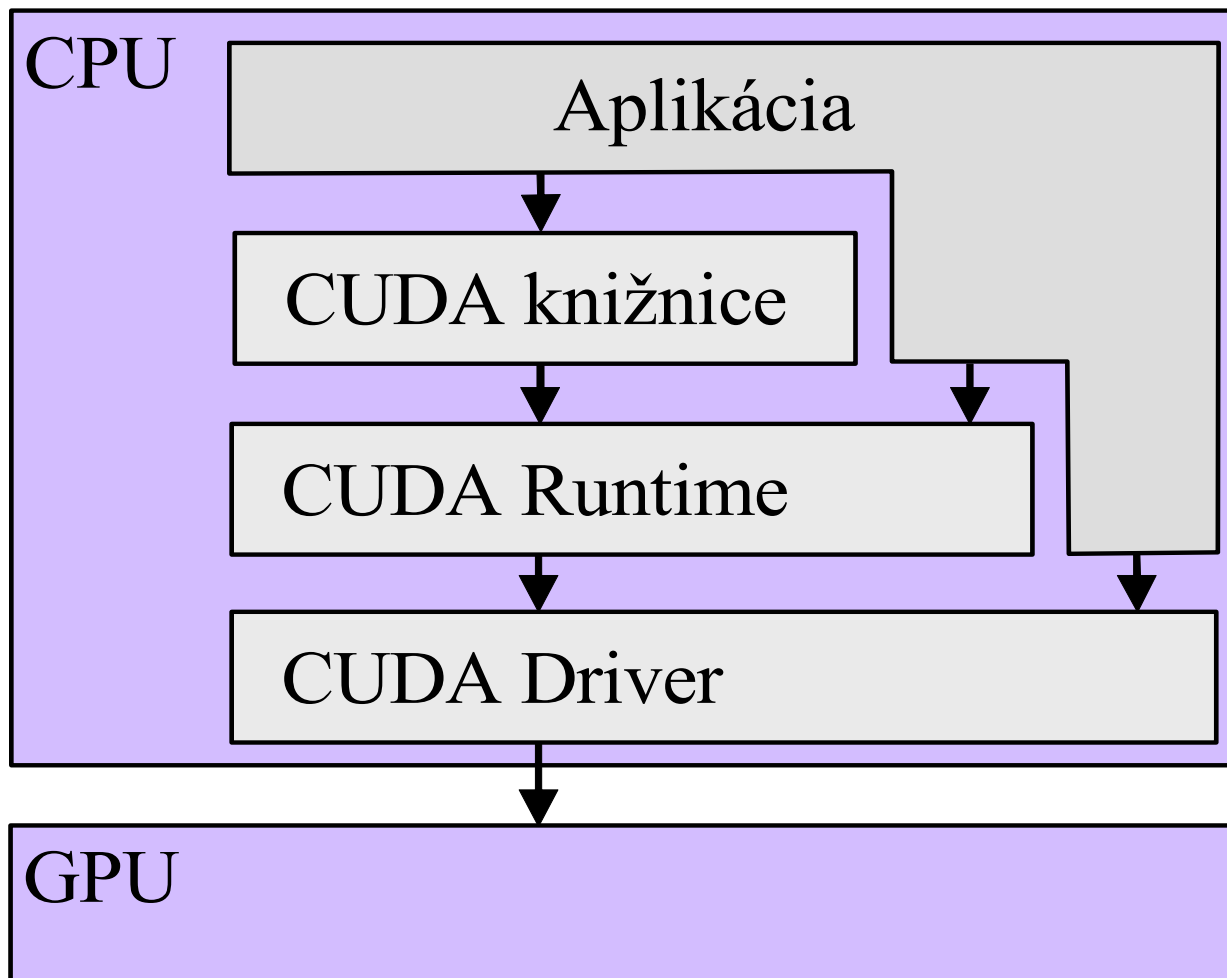
nVIDIA CUDA

CUDA C je rozšírením C, ktoré nVIDIA vyvinula za účelom kompilovania programov obsahujúcich kódy CUDA kernelov. Tým vznikol jazyk pre písanie kódu pre GPU, nVIDIA taktiež uviedla špecializovaný hardvér na spúšťanie masívnej výpočtovej sily CUDA architektúry. CUDA C je dostupná v balíkoch CUDA Toolkit



NVIDIA CUDA

ARCHITEKTÚRA



NVIDIA CUDA

VÝVOJOVÝ MODEL (1)

Aplikácia pozostáva z hlavného programu, ktorý sa vykonáva na hostiteľskom (host) CPU a CUDA program, ktorý sa vykonáva na GPU akcelerátora. Hostiteľský program volá výpočtové jadro (kernel, prípadne aj viac jadier), ktorý sa následne vykonáva na GPU. Kernel vykonáva paralelné operácie pomocou vlákien v GPU. Výpočtový kernel je napísaný najčastejšie v CUDA C.



NVIDIA CUDA

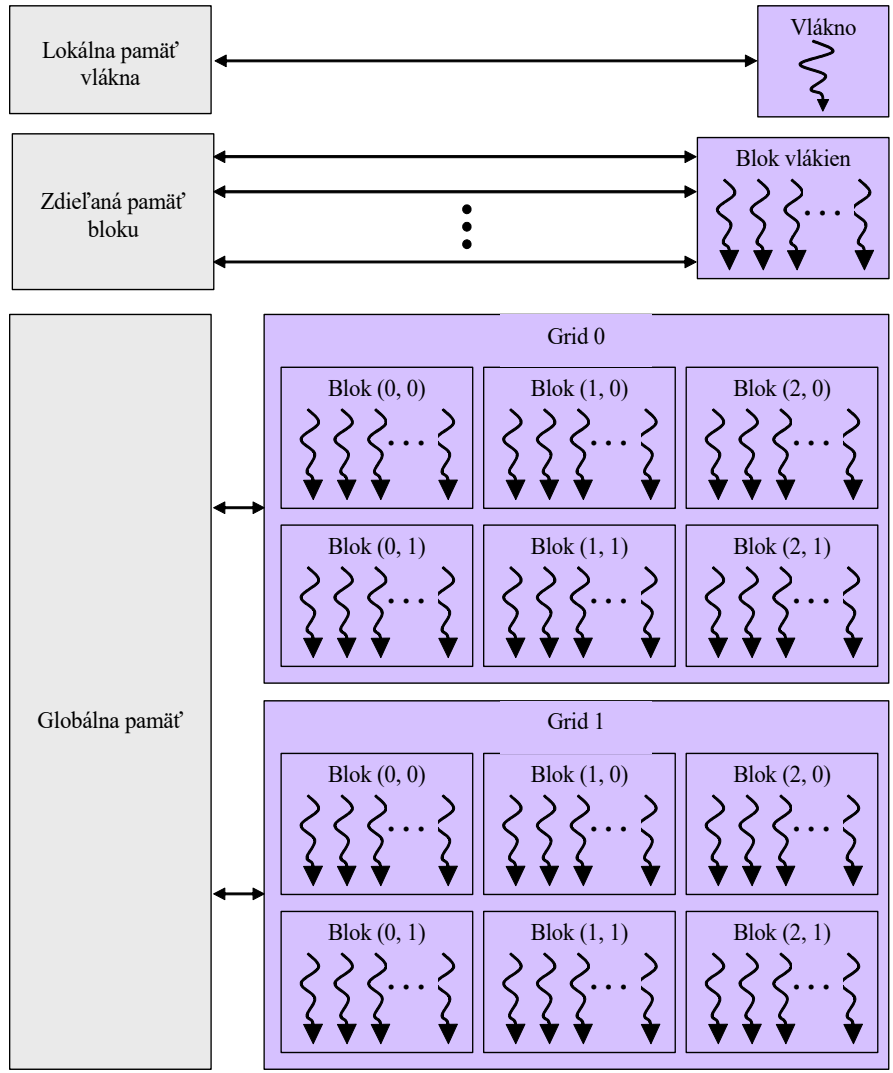
VÝVOJOVÝ MODEL (2)

- *thread (vlákno)* - je základným dátovým elementom, ktorý sa spracováva. Na rozdiel od vláken CPU sú CUDA vlákna podstatne odľahčené, čo znamená, že výmena obsahov dvoch vláken nie je nákladnou operáciou.
- *warp (osnova)* - skupina 32 vláken, čo je minimálna veľkosť dát v SIMD (Single Instruction, Multiple Data) spracovávaná CUDA multiprocesorom
- *block (blok)* - môže obsahovať od 64 do 512 vláken, a slúži k efektívnejšiemu používaniu, aby v prípade potreby nebolo nutné manipulovať priamo s osnovami.
- *grid (mriežka)* – obsahuje zoskupené bloky. Výhodou takéhoto zoskupovania je, že bloky sú spracovávané súčasne. Množstvo blokov v mriežke umožňuje abstrahovať od obmedzení a aplikovať jadro na rozsiahlu množinu vláken v jedinom volaní. V prípade ak má hardvér málo dostupných zdrojov, spúšťa bloky sekvenčne, a naopak, ak má zdrojov dostatok, vykoná ich paralelne.
- *host (hostiteľský počítač)* - označenie stroja CPU
- *device (zariadenie)* - označenie zariadenia GPU



NVIDIA CUDA

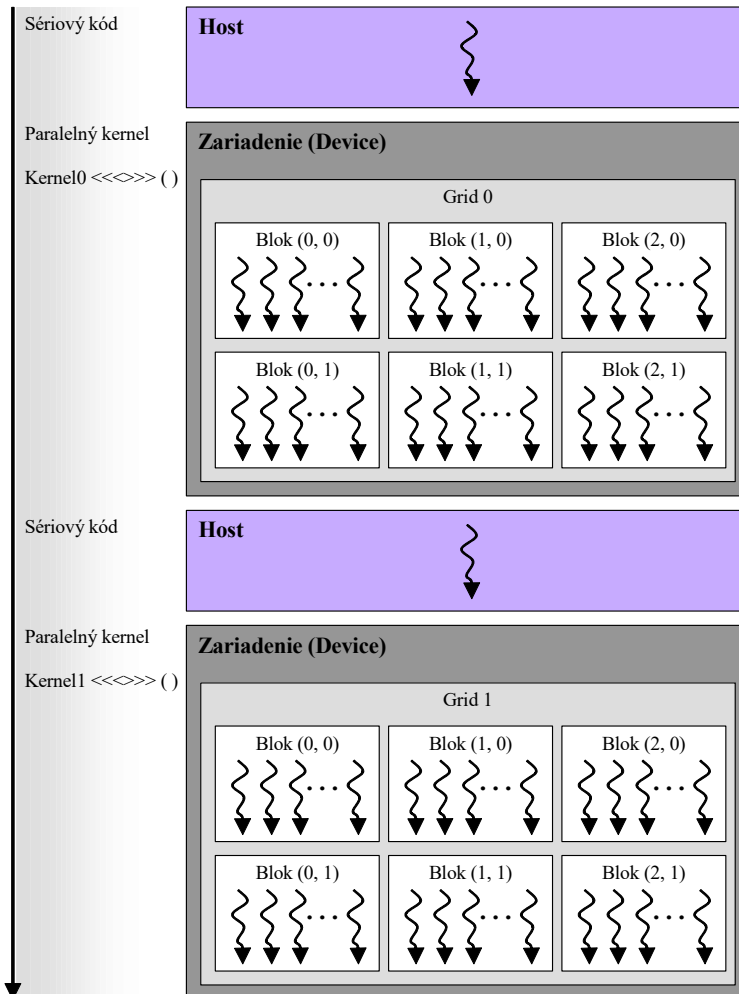
HIERARCHIA PAMÄTI



NVIDIA CUDA

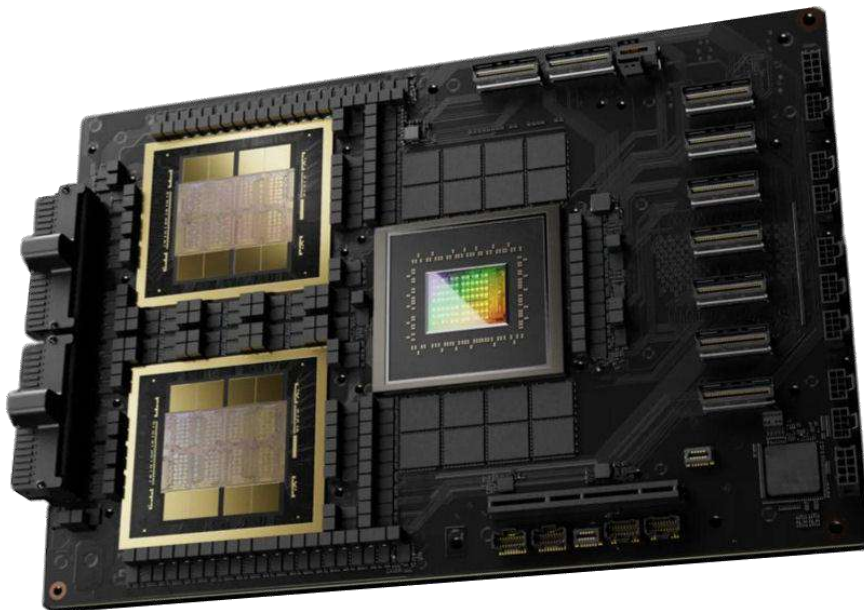
SEKVENČNÉ VYKONÁVANIE PROGRAMU

Sekvenčné vykonávanie programu



RIEŠENIE NVIDIA B100 / B200 (BLACKWELL)

- Architektúra Blackwell, používané v DGX Blackwell systémoch
- až 192 GB HBM3E
- Určené pre: LLM tréning (triliónové modely), AI fabriky a HPC superpočítače



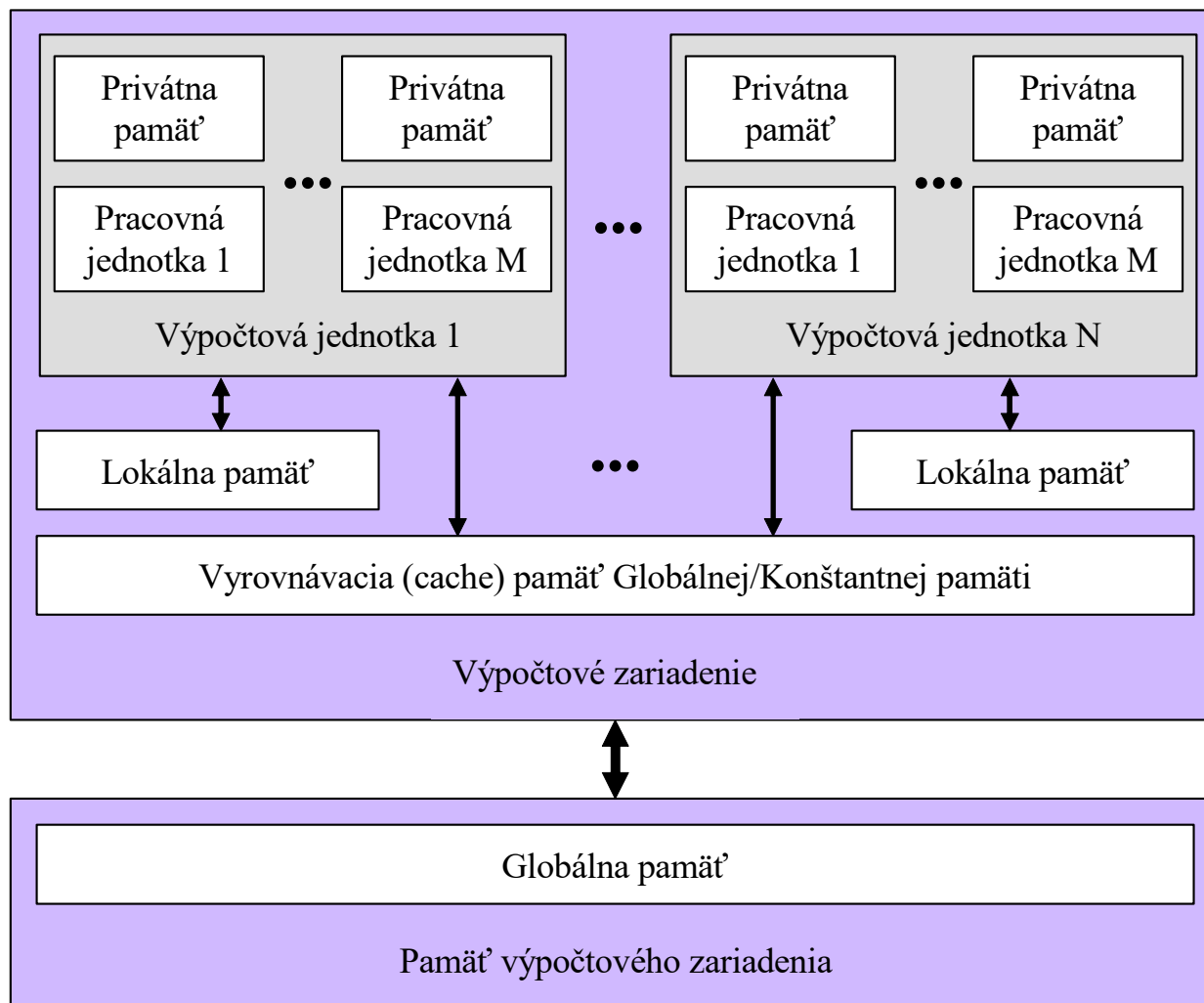
OPENCL (OPEN COMPUTING LANGUAGE)

- Otvorený štandard, prenositeľný, agnostický
- Programovanie (viacerých) CPU a GPU
- Zariadenia:
 - FPGA
 - Embedded processors
 - Multimedia chip
- Jednoduchý výpočtový model (aj API)
- Podpora ANSI-C99
 - Dopĺňa nové kvalifikátory, dátové typy a funkcie
- Rámec pre management vlákien
 - Synchronizácia na úrovni aplikácie a vlákien
- Priama spolupráca s OpenGL a pridruženými technológiami



OPENCL

PAMÄŤOVÝ MODEL



OPENCL

- Nevhodné aplikácie:
 - Sekvenčné problémy
 - Výpočty, ktoré vyžadujú veľa komunikácie
- Objekty:
 - Výpočtové zariadenia
 - Pamäťové objekty
 - Vykonávacie objekty



OPENCL - OBJEKTY

- Výpočtové zariadenia
 - Procesor istého druhu, ktorý vykonáva dátovo-paralelné programy
- Pamäťové objekty
 - Polia
 - Fungujú ako polia v C
 - Adresovanie elementov pomocou smerníkov
 - Obrázky
 - 2D a 3D obrázky
- Vykonávacie objekty
 - Výpočtový kernel
 - Dátovo paralelná funcia, ktorá je vykonaná na výpočtovom zariadení (CPU, GPU)
 - Výpočtový program
 - Skupina výpočtových kernelov a funkcií



APLIKAČNÉ NASADENIE OPENCL

- umelá inteligencia
- neurónové siete
- analýza a spracovanie signálov
- kódovanie - dekodovanie audio – video
- simulácia fyziky
- časticová fyzika
- simulácie bielkovín
- Databázy
- šifrovanie - dešifrovanie
- matematické počty
- finančné výpočty
- ray tracing
- vizualizácia
- satelitná analýza dát
- predikcia geologických aktivít
- GIS

Dátovo-paralelné algoritmy

APLIKAČNÉ NASADENIE OPENCL (AJ GP/GPU)

- výpočtové zariadenia, HPC
- umelá inteligencia
- rozpoznávanie obrazu
- kryptografia (šifrovanie, dešifrovanie, lúštenie)
- genetické programovanie
- simulácie neurónových sietí
- fyzikálne simulácie
- grafické operácie
- dolovanie v dátach
- hry a zábava
- kódovanie / dekódovanie audio / video signálu
- databázové operácie
- triedenie informácií
- ...



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

VIZUALIZAČNÉ PODSYSTÉMY XR SYSTÉMOV A GRAFICKÉ ARCHITEKTÚRY

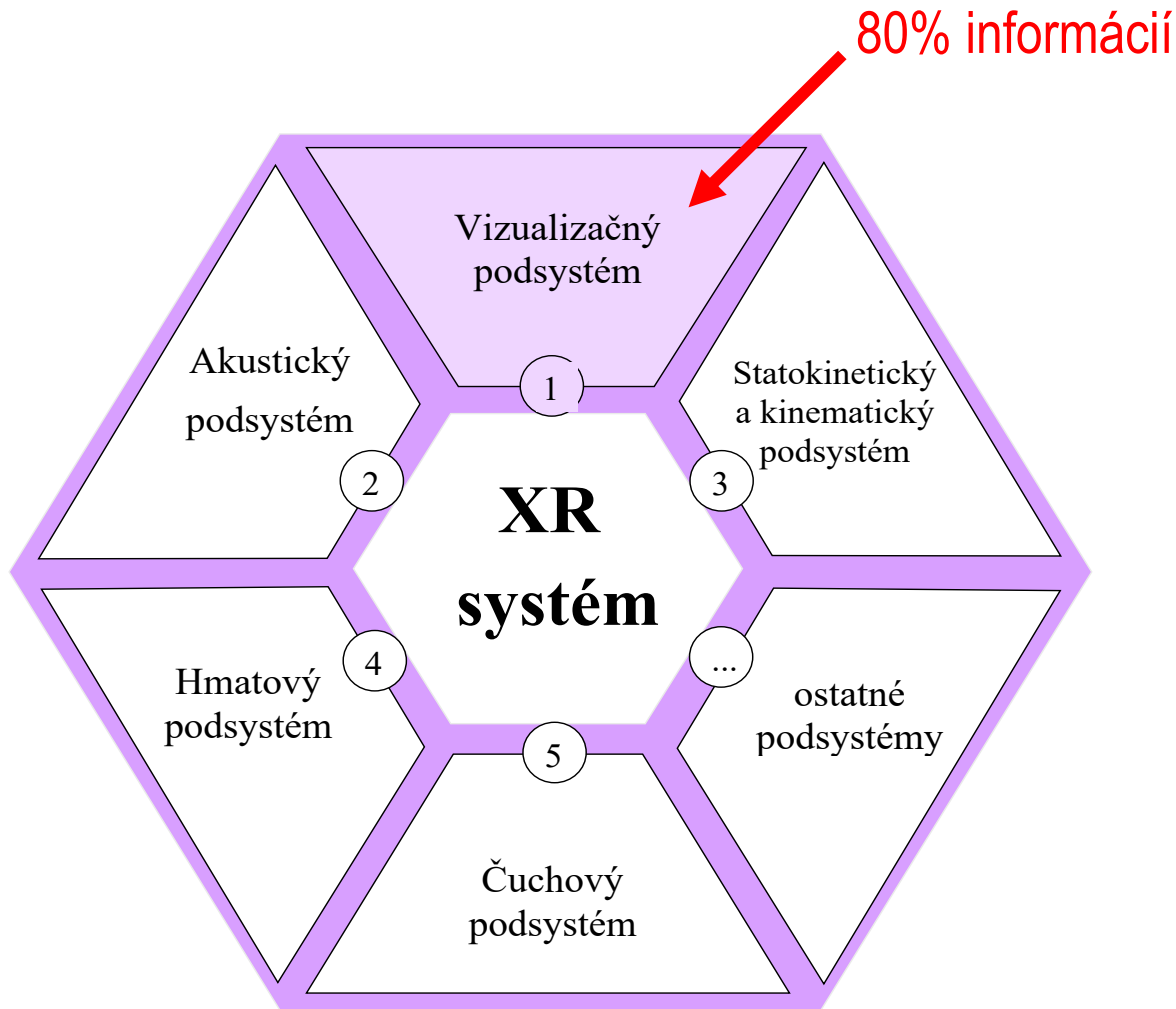
doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 06

© 2026

VIZUALIZAČNÝ PODSYSTÉM XR SYSTÉMU



MEDIALITA

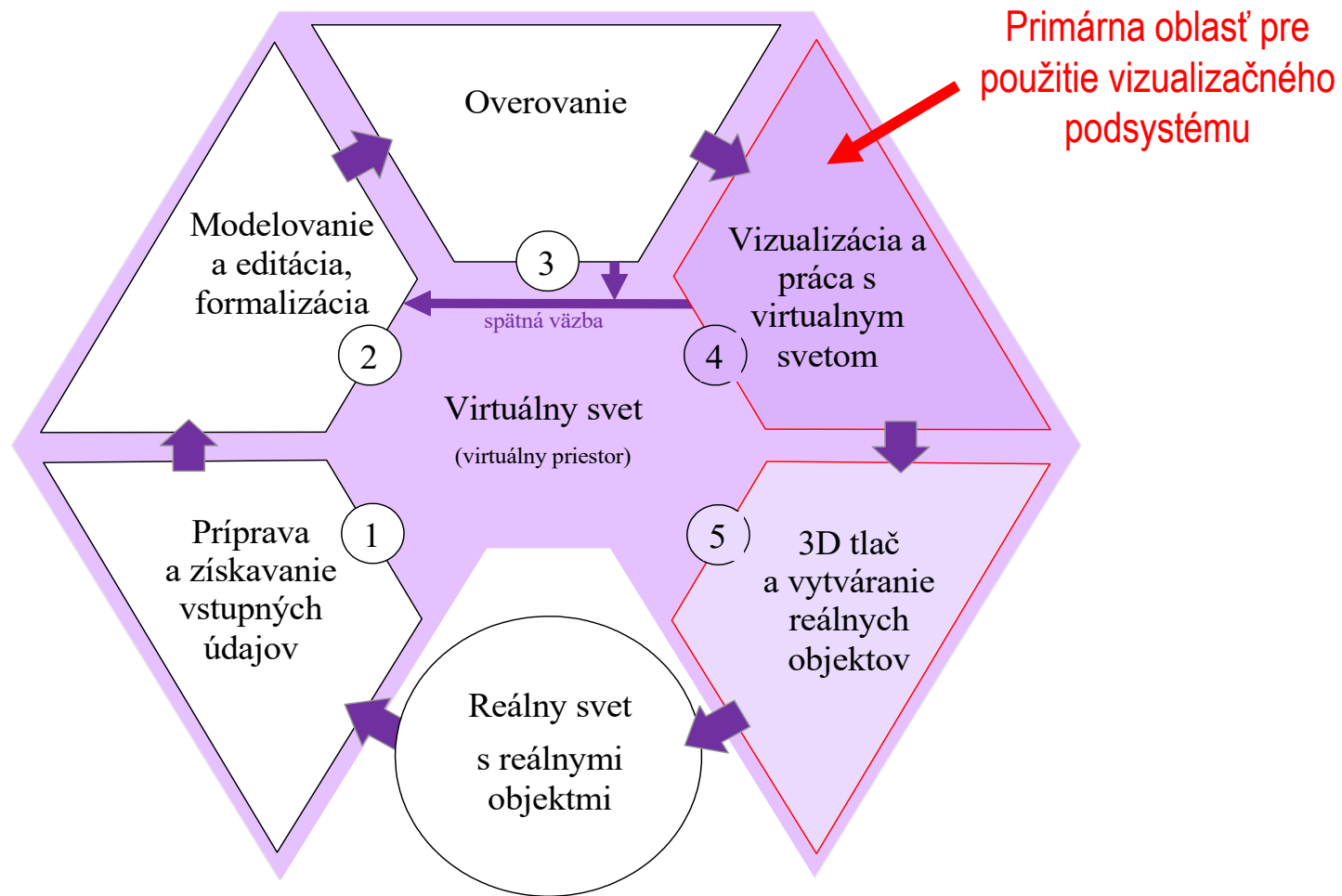
- Medialita vo forme **sprostredkovania**
- Sprostredkovanie z hľadiska tejto technológie je rozšírený pojem zahrňujúci aj isté prvky prenosu **zviditeľnenia (vizualizácie)** do iného formátu t.j. transformáciu objektov do „mediálnej“ podoby.
- *Mediácia* - proces prevádzania (transformácie) údajov v rámci vytvárania resp. presunu objektov zahrňujúci aj množinu transformácií umožňujúcich transport údajov na **zviditeľnenie (vizualizáciu)**
- Medialita je potom chápaná ako *interaktívne rozhranie t.j. prostredie styku rozdielnych svetov. Jedná sa teda o mieru možného prepojenia medzi heterogénnymi svetmi, v ktorých sú využívané rozdielne formy sprostredkovania (zviditeľnenia, vizualizácie).*

VIDENIE A VYKRESĽOVANIE

- *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 vo výpočtovom systéme



VIZUALIZÁCIA A VIRTUALIZAČNÝ REŤAZEC



VIZUALIZÁCIA

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



*Základnou úlohou grafických architektúr je generovať
grafický výstup pre pripojené zobrazovacie zariadenie*



KLASIFIKÁCIA GRAFICKÝCH VÝPOČTOVÝCH SYSTÉMOV

podľa

- reprezentácie, použitej na popis prostredia
- algoritmu, použitého na vytvorenie obrazov

Veľa algoritmov môže byť použitých pre danú reprezentáciu a mnoho reprezentácií sa môže použiť pre jeden algoritmus

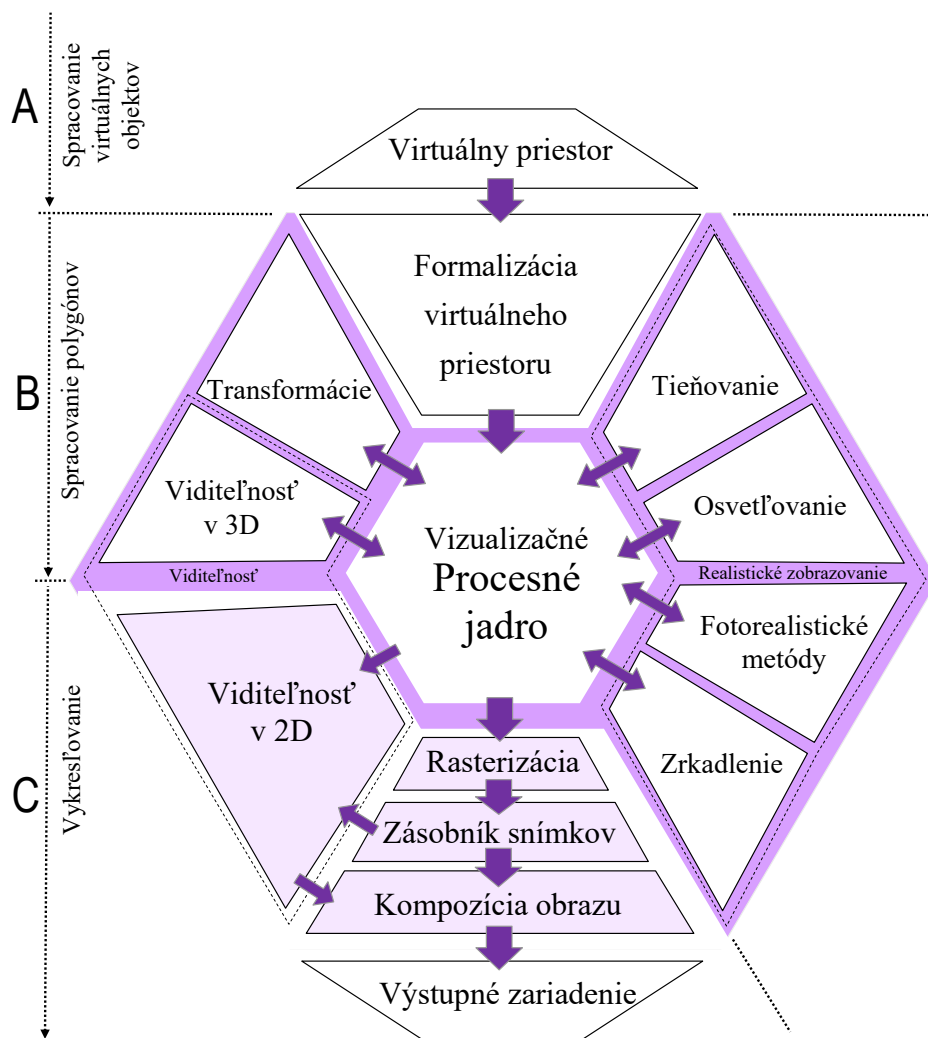


RIADENIE VIZUALIZÁCIE V ZDIEĽANÝCH XR SYSTÉMOCH

- Vizualizácia riadená jedným používateľom (najmä lokálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia s centralizovaným riadením, napr. v CAVE, najmä SSR – Server Side Rendering)
- Vizualizácia riadená každým používateľom (najmä lokálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia s oddeleným prístupom a aj globálne zdieľané systémy a virtuálne prostredia, napr. na báze HMD, najmä CSR – Client Side Rendering)



VIZUALIZAČNÝ PODSYSTÉM



VRSTVY VIZUALIZAČNÉHO PROCESU

V ŠTANDARDNÝCH SYSTÉMOCH POČÍTAČOVEJ GRAFIKY

- Definovanie/spracovanie/formalizácia modelu/scény (reprezentácia, súradnicové systémy)
- Transformácie nad objektami
- Riešenie viditeľnosti
- Tieňovanie
- Osvetľovanie
- Realistické zobrazovanie
- Kompozícia a Vykresľovanie



NIEKTORÉ POKROČILÉ XR RENDERING TECHNIKY

Cieľom je znížiť výpočtovú náročnosť pri zachovaní komfortu používateľa. Patria sem najmä:

- *Foveated rendering* – rederovanie s vyšším rozlíšením v centrálnej časti pohľadu a následné adaptívne znižovanie kvality mimo oblasti pohľadu.
- *Time-warp reprojection* - ak GPU nestihne včas vyrenderovať nový snímok, metóda vezme posledný vyrenderovaný obraz a geometricky ho upraví (prepočíta) podľa aktuálnej polohy a rotácie hlavy používateľa. Výsledkom je, že obraz reaguje na pohyb hlavy okamžite, aj keď nový snímok ešte nie je vypočítaný.
- *Space-warp reprojection* - ak aplikácia namiesto 60 FPS zvláda napr. len 30 FPS, metóda vyrenderuje len každý druhý snímok a medzislímky umelo dopočíta na základe pohybu objektov v scéne. Používateľ tak stále vidí 60 FPS, aj keď GPU v skutočnosti renderuje len polovicu snímkov.
- *Asynchrónne vykresľovanie* - oddelenie renderovania od zobrazovania



ŠPECIFICKÉ POŽIADAVKY NA VIZUALIZÁCIU V XR

V XR systéme musí vizualizačný podsystem najmä (a to v reálnom čase):

- minimalizovať oneskorenie medzi pohybom používateľa a obrazom
- zabezpečiť plynulý a stabilný obraz bez výpadkov

Preto vizualizácia v XR systémoch má špecificky vyššie nároky než klasická 3D grafika najmä v:

- stereoskopickom zobrazovaní (spravidla ľavé / pravé oko)
- vysokej obnovovacej frekvencii (90–120 Hz)
- požiadavke na nízku latenciu (motion-to-photon, časový interval medzi pohybom používateľa (napr. hlavy alebo ruky) a momentom, keď sa tento pohyb prejaví na zobrazovači ako viditeľný obrazový pixel („photon“))
- požiadavke na stabilitu snímkovej frekvencie (frame pacing, rovnomernosť časových odstupov medzi jednotlivými snímkami)

***Poznámka:** V prípade využitia OpenXR je potrebné si uvedomiť, že OpenXR nie je renderer. Avšak obsahuje tzv. Graphics Binding Layer s prepojením napr. na knižnice Vulkan, OpenGL či DirectX. OpenXR Runtime len manažuje synchronizáciu časovania jednotlivých krokov vykresľovania a zobrazovania rámcov (timing) a reťazca príslušných obrazových bufferov, medzi ktorými sa „prepína“ pri vykresľovaní obrazu na výstup (swapchain, rieši plynulé zobrazovanie obrazu bez blikania). Tak aplikácia renderuje obraz/y a OpenXR len určuje kto/čo, kedy, ako dlho a kam renderovať.*



ŠPECIFICKÉ POŽIADAVKY NA VIZUALIZÁCIU V XR

STEREOSKOPICKÉ A MULTI-VIEW RENDEROVANIE

Požaduje sa najmä pre dosiahnutie hĺbkového vnemu používateľa. Implementuje sa spravidla pre dve XR platformy:

- platformy na báze HMD (XR headset, tesneviazané) - sa spravidla používa stereoskopické renderovanie
- platformy na báze virtuálnych jaskýň (virtual CAVE, voľneviazané) – sa spravidla používa viac-pohľadové renderovanie.

Pre stereoskopické resp. viac-pohľadové (multi-view) zobrazovanie, ako základu pre vytvorenie hĺbkového vnemu, sa v princípe pre každé oko požaduje:

- spracovanie samostatnej projekcie a
- renderovanie samostatného pohľadu (L/P)
 - Takýto rendering je možné dosiahnuť použitím:
 - dvojitého renderingu (štandardný jednoduchý postup)
 - single-pass stereo
 - viac-pohľadovým renderingom
 - s cieľom dosiahnuť:
 - zníženie výpočtovej záťaže
 - zachovanie vizuálnej kvality

V súčasnosti je celá táto problematika riešená najmä extenzívnym spôsobom a to použitím *distribúcie* a **paralelizácie** výpočtu.
(najmä časti C a B, vizualizačného podsystému)

PARALELNÝ RENDERING

využitie viac procesných jednotiek pre urýchlenie výpočtu scény

dôvody:

- komplexnosť scény
- kvalita výstupného obrazu
- interakcia resp. odozva v reálnom čase (minimalizácia latencie)



PARALELIZMUS V GRAFICKÝCH ARCHITEKTÚRACH

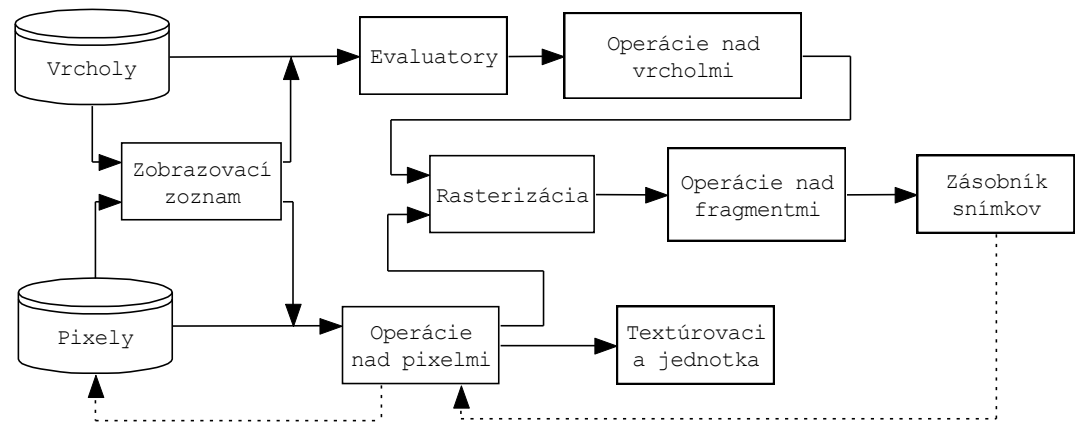
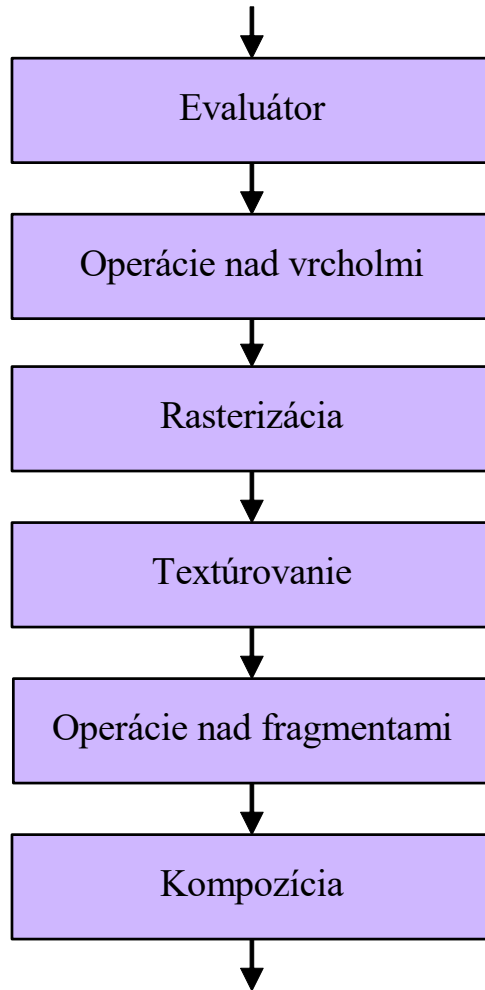
- Funkcionálny paralelizmus
- Údajový paralelizmus
- Časový paralelizmus



FUNKCIONÁLNY PARALELIZMUS

- rozdelenie procesu výpočtu do niekoľkých jednoznačných funkcií, ktoré môžu byť aplikované postupne na jednotlivé údaje.
- Ak jedna procesná jednotka odpovedá jednej funkcii (alebo skupine funkcií) a tok údajov je smerovaný z jednej jednotky do nasledujúcej, získame *prúdový* (zreťazený) výpočet (MISD)

VÝPOČTOVÁ VIZUALIZAČNÁ RÚRA



POUŽITIE FUNKCIONÁLNEHO PARALELIZMU

- Vhodný pre spracovanie polygónov a plôch v aplikáciách, kde 3D geometrické primitíva sú vkladané na vstupe prúdu a hodnoty pixelov výsledného obrazu sú produkované na konci prúdu



OBMEDZENIA FUNKCIONÁLNEHO PARALELIZMU

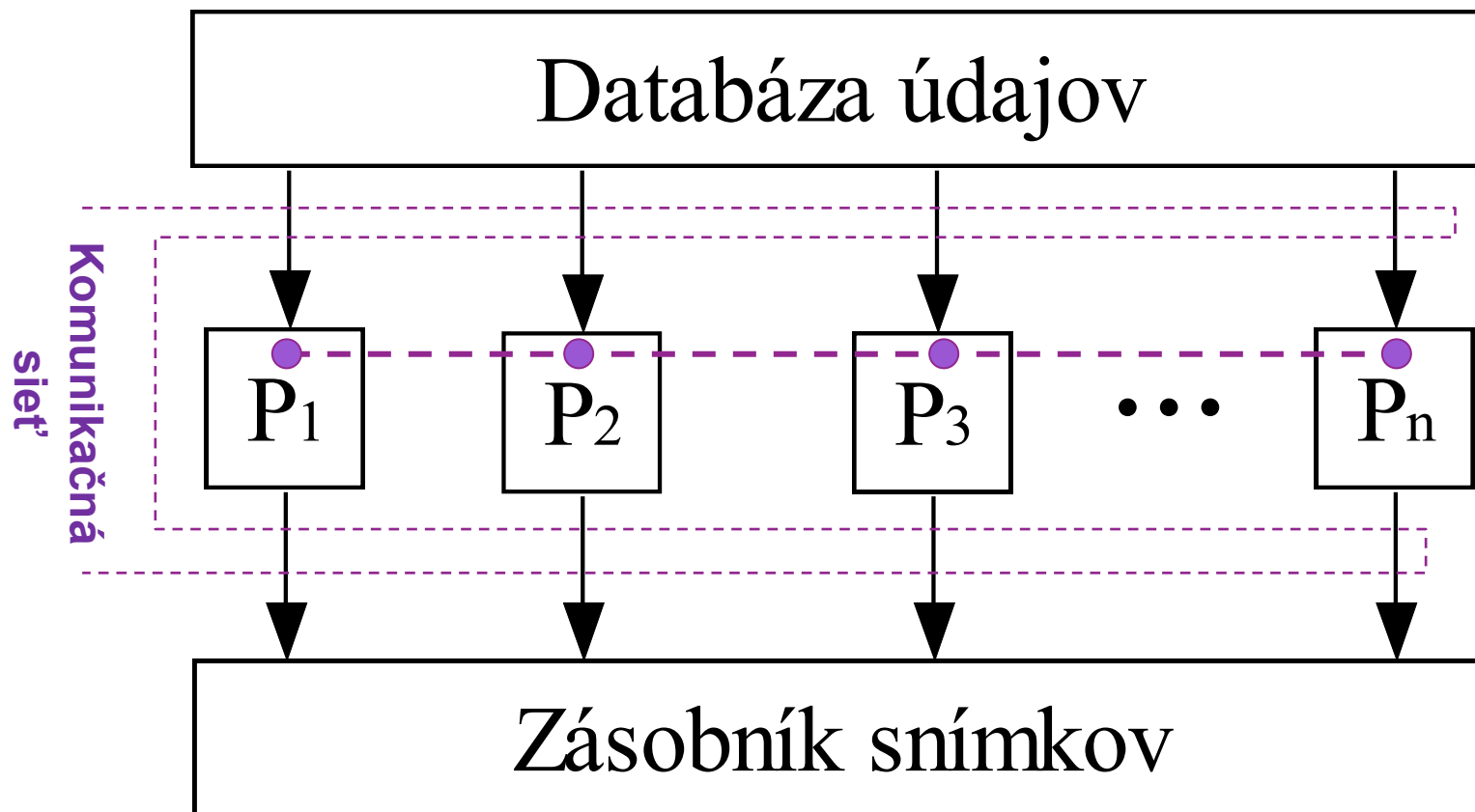
- Celková rýchlosť zreťazených procesných jednotiek je limitovaná najpomalšou z nich, preto funkčné jednotky musia byť navrhované s ohľadom na priepustnosť celého systému
- Limitovaný počet funkčných jednotiek v zreťazenom systéme



ÚDAJOVÝ PARALELIZMUS

- Namiesto výkonnej postupnosti zreťazených funkčných jednotiek na jednom údajovom prúde (single data stream), je možné rozdeliť údaje do viacerých prúdov a tie prideliť do rovnocenných procesných jednotiek (SIMD)
- Výsledky sa potom spájajú v zásobníku snímkov (framebuffer)

ÚDAJOVÝ PARALELIZMUS



TRIEDY ÚDAJOVÉHO PARALELIZMU

- Objektový paralelizmus - spracovanie objektov scény

- geometrická transformácia,
- vyradovanie odvrátených primitív,
- výpočty svetelných zdrojov,
- pohľadová transformácia,
- orezanie

Transformačná fáza

- Obrazový paralelizmus - tvorba obrazu

- výpočet osvetlenia,
- interpolácia,
- kompozícia,
- riešenie viditeľnosti

Rasterizačná fáza

ZÁVISLOSTI ÚDAJOVÉHO PARALELIZMU

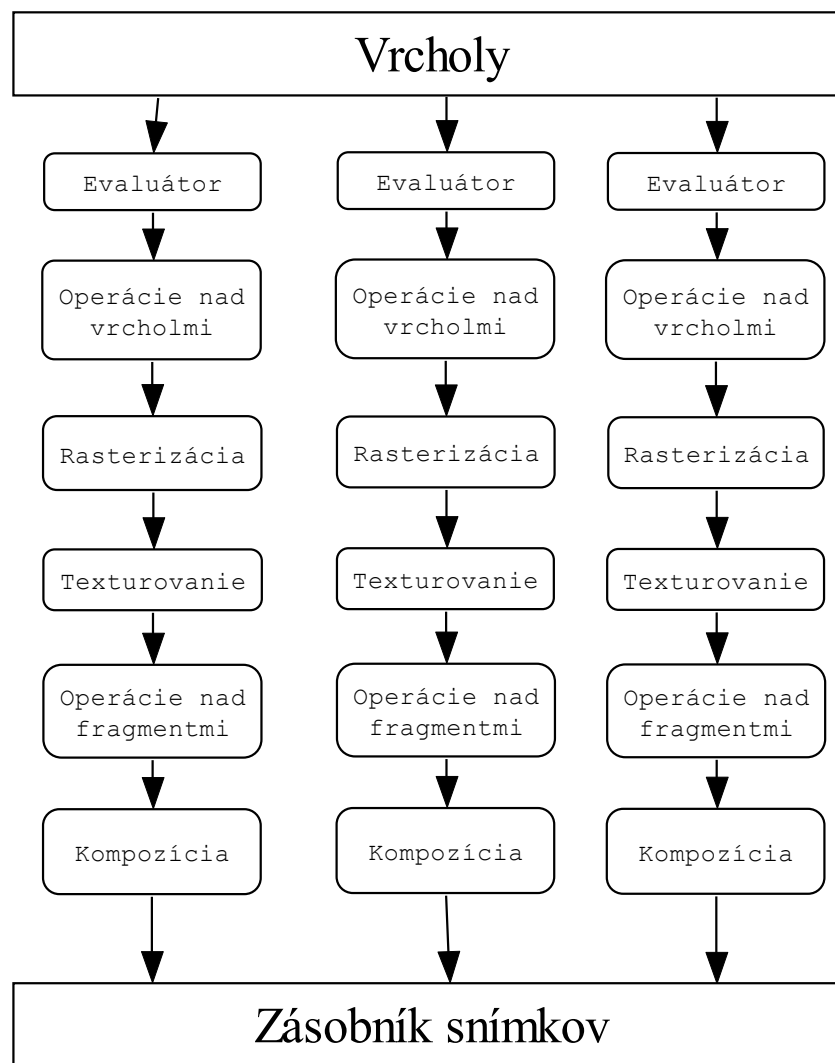
- od zložitosti vstupnej scény,
- od stupňa vzorkovania,
- od rozlíšenia výstupného obrazu



ČASOVÝ PARALELIZMUS

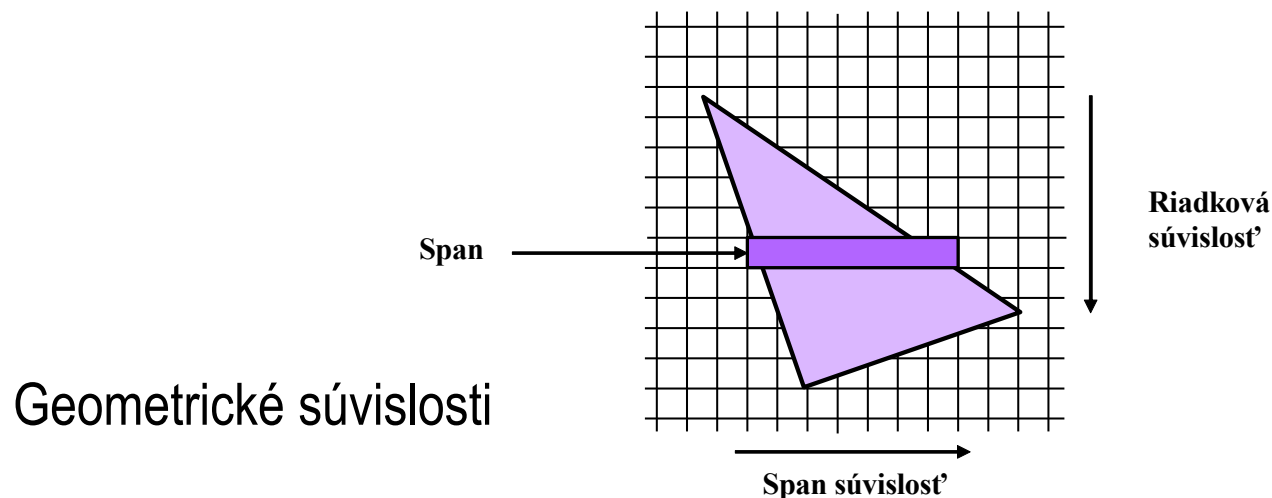
- V animovaných aplikáciách , kde stovky alebo tisíce vysoko kvalitných obrázkov (frames) musia byť vypočítané pre opakované prehrávanie, čas potrebný na výpočet jednotlivých snímkov nie je taký dôležitý, ako *celkový čas potrebný na výpočet všetkých snímkov celej animácie*. V tom prípade paralelizmus môže byť získaný rozdelením problému v *časovej doméne*.
- Každý procesor si vezme na starosť určitý počet snímkov, ktoré vypočíta pomocou údajov potrebných pre tieto snímky

HYBRIDNÝ PRÍSTUP



SÚVISLOSTI

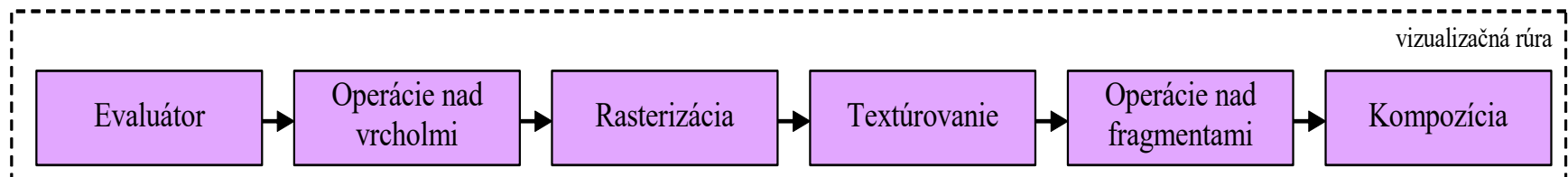
- *snímková súvislosť* (podobnosť pixelov medzi snímkami),
- *riadková súvislosť* (podobnosť pixelov vertikálne medzi riadkami),
- *súvislosť span* (súvislosť na intervale, podobnosť pixelov v rámci riadku),
- *lúčova súvislosť* (v algoritmoch sledovania lúča, okolie priesečníkov lúčov)



KLASIFIKÁCIA GRAFICKÝCH ARCHITEKTÚR

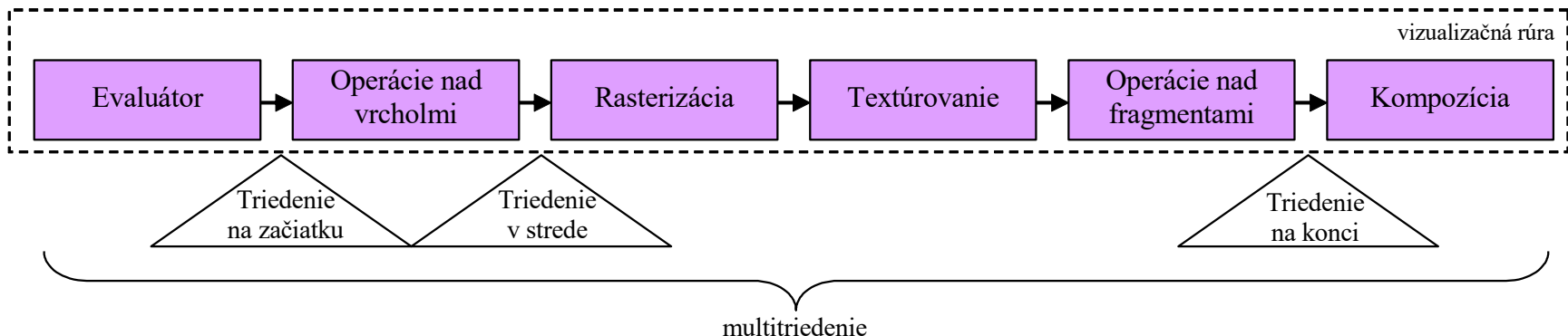
podľa miesta, kde nastáva triedenie. Základným predpokladom je, že architektúra sa skladá z viacerých grafických uzlov, kde každý uzel predstavuje samostatnú grafickú rúru pozostávajúcu z časti:

- *Evaluátory* - jednotka spracovania vstupných príkazov (skript)
- *Operácie nad vrcholmi* - geometrická jednotka pracujúca s vrcholmi
- *Rasterizácia* - rasterizačná jednotka
- *Textúrovanie* - textúrovacia jednotka
- *Operácie nad fragmentmi* - operácie na úrovni pixelov
- *Kompozícia* - kompozícia výstupnej snímky



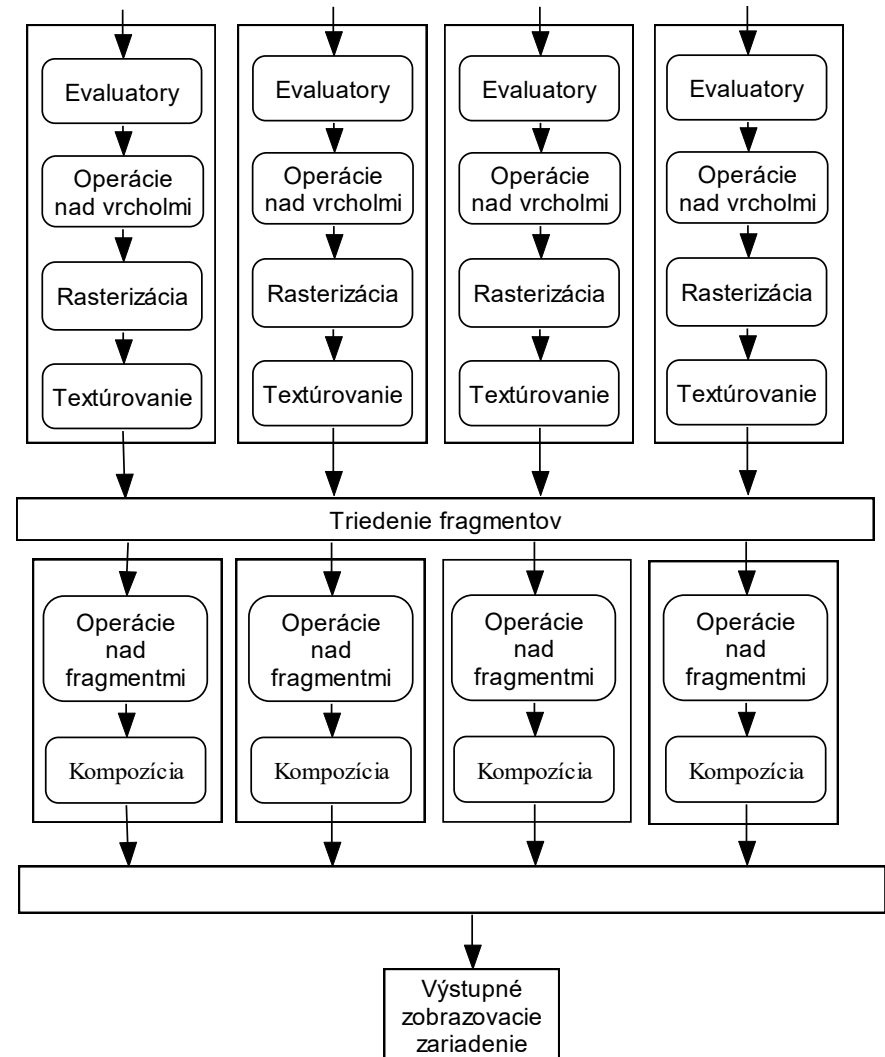
KLASIFIKÁCIA GRAFICKÝCH ARCHITEKTÚR

- *Architektúra s triedením na začiatku* - triedi 3D primitíva,
- *Architektúra s triedením v strede* - triedi 2D primitíva,
- *Architektúra s triedením na konci* – triedi fragmenty,
- *Architektúra s kompozíciou obrazu* - rozdeľuje vypočítané pixely až v procese zobrazovania,
- *Architektúra s viacnásobným triedením* - umožňuje komunikáciu každý s každým na všetkých úrovniach grafickej rúry s prihliadnutím na paralelnú efektívnosť



ARCHITEKTÚRY S TRIEDENÍM NA KONCI

každý procesor obsahuje takmer kompletnú renderovaciu rúru a vytvára časti obrazu po transformácii a rasterizácii príslušných častí primitív. Tieto časti obrazu sú spájané dohromady najčastejšie podľa hĺbkového triedenia každého bodu do konečného obrazu v zásobníku snímkov



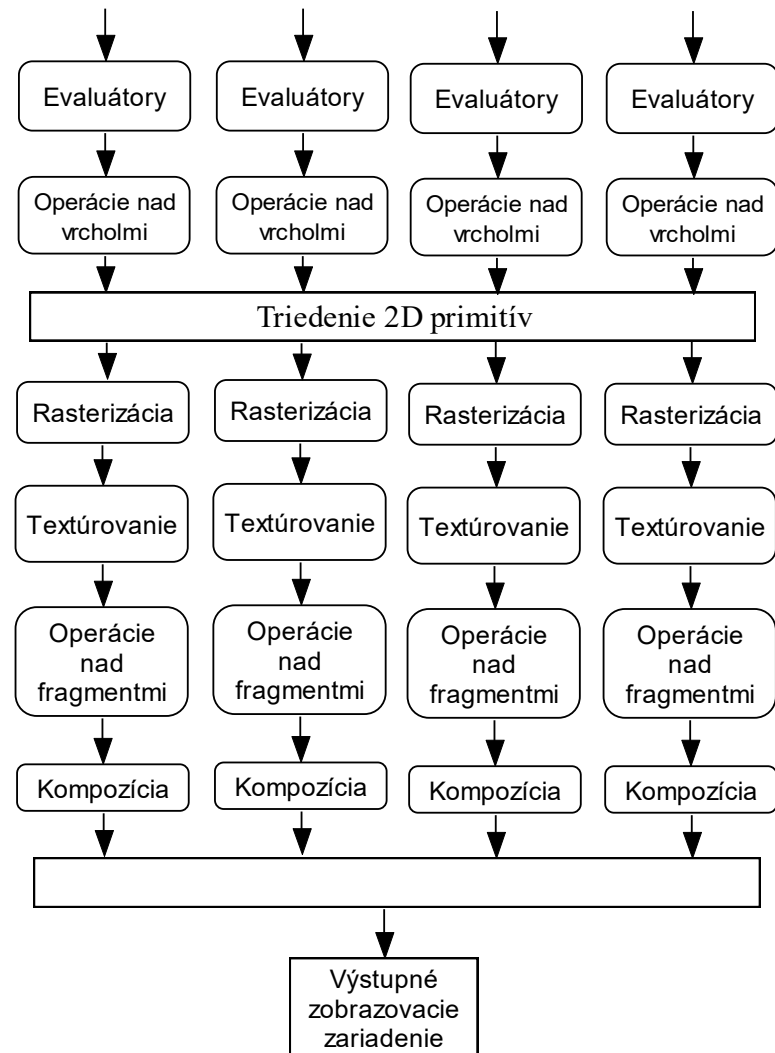
ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM NA KONCI

VÝHODY A NEVÝHODY

- výborná škálovateľnosť z pohľadu počtu primitív, ktoré môžu byť škálovateľné interaktívne. Stačí pridať ďalšie procesory do systému pre spracovanie väčšieho počtu primitív
- Na výstupnej strane zreťazeného spracovania je opačný problém. Tu sa nedá dobre škálovať s pohľadu počtu renderovaných pixelov. Každý vypočítaný pixel na každom procesore musí byť poslaný po spojovacej sieti a pre každý pixel sa musí posielat' dôležité množstvo informácií (farba, hĺbka)
- je absolútne nevhodná pre výstupy s vysokým rozlíšením

ARCHITEKTÚRY S TRIEDENÍM V STREDE

každý uzol zodpovedá za časť zásobníka snímkov. Keď príkazy vstúpia do rúry sú konvertované na 3D primitíva, ktoré sú osvetlené a transformované do 2D zobrazovacej roviny priemetne. Každý z týchto primitív je potom triedený do príslušného rasterizačného uzla na základe rozdelenia priemetne. Potom nasleduje textúrovanie a kompozícia. Nakoniec zobrazovací systém spojí rozdelený zásobník snímkov do jednotného výstupného obrazu



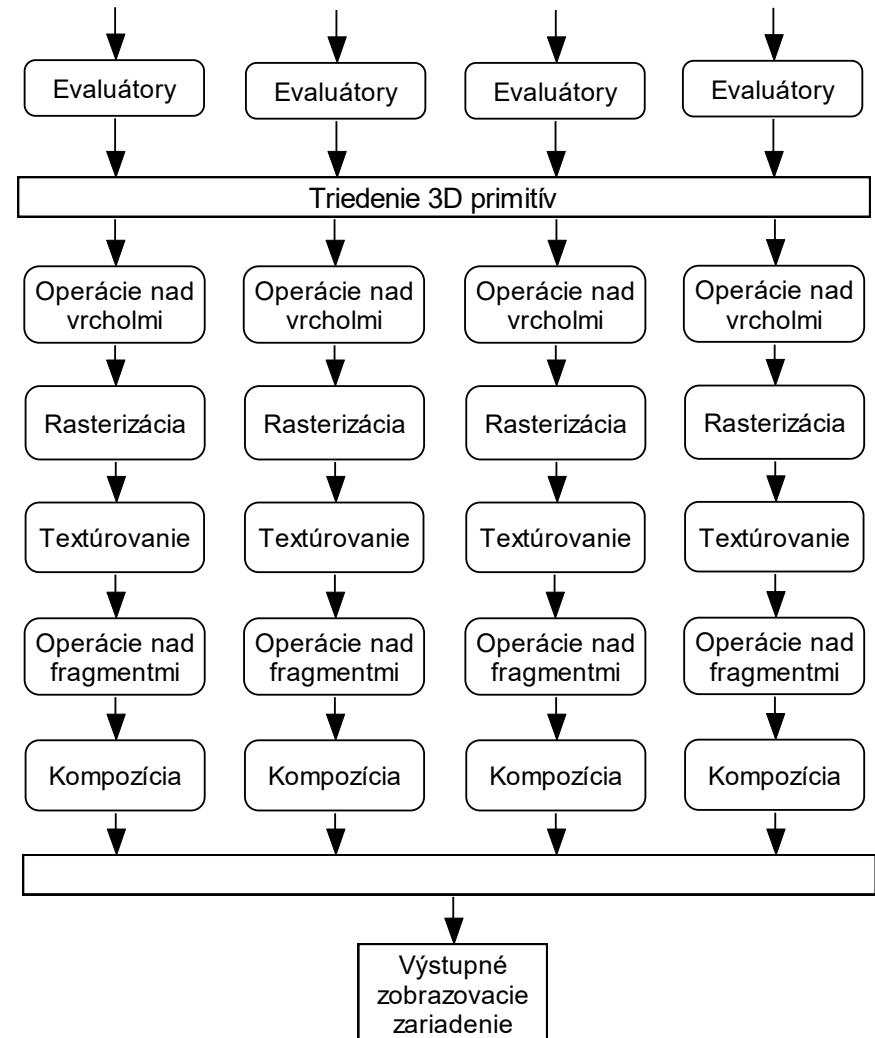
ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM V STREDE

VÝHODY A NEVÝHODY

- *sada transformačných procesorov* Na vstupe týchto procesorov využívajú rozdelenie obrazovky na ohraničené regióny pri triedení primitív. Každý procesor kompletne transformuje svoju časť pridelených primitív. Vystupujúce informácie o primitíve sú klasifikované podľa príslušného rozdelenia obrazovky do regiónov a posielané príslušným rasterizačným procesorom
- *sada rasterizačných procesorov* Pridelené primitíva sú transformované do fragmentov, otextúrované a výsledne pixely sú odoslané do zásobníka snímkov.

ARCHITEKTÚRY S TRIEDENÍM NA ZAČIATKU

V architektúre s triedením na začiatku príkazová jednotka interpretuje grafické príkazy a vykoná malé množstvo výpočtu, aby určila kam výsledné primitívum padne v zásobníku snímkov. Na základe toho sú primitíva poslané do príslušného grafického uzla alebo grafických uzlov, kde prejdú grafickými transformáciami a rasterizáciou. Pred vstupom do poslednej zastávky sa rozdelené oblasti zásobníka snímkov kombinujú do výsledného obrazu

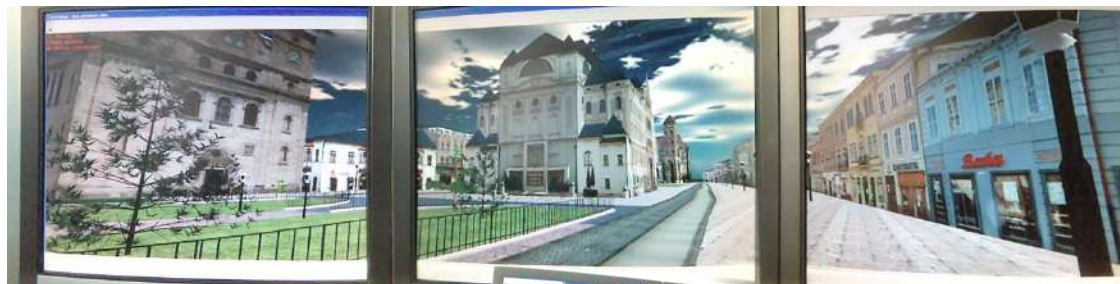
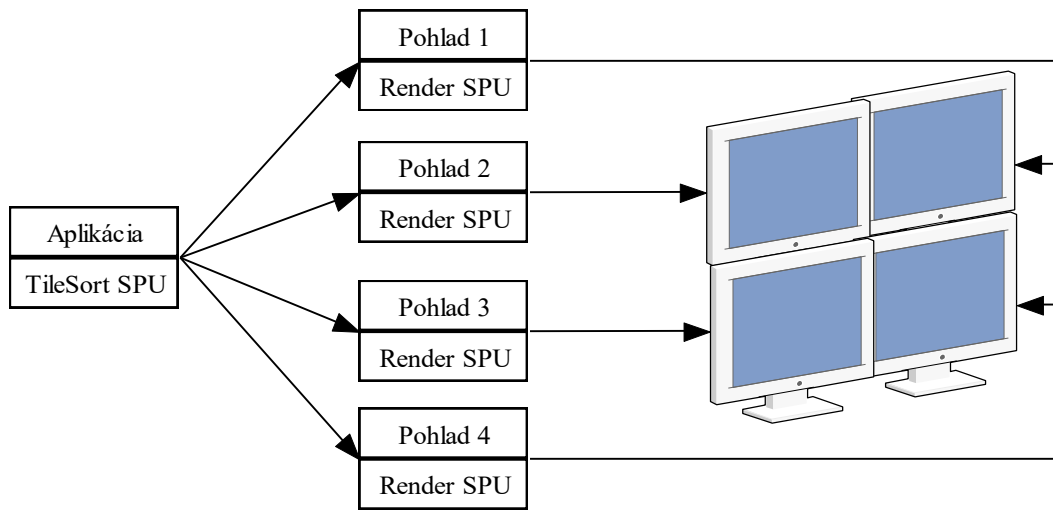


ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM NA ZAČIATKU

VÝHODY A NEVÝHODY

- posiela výstup vypočítaných pixelov v jednotlivých regiónoch do výsledného zásobníka snímkov
- rozdiel oproti Arch. s triedením v strede - či sa rozdeľujú primitíva podľa priestoru objektu alebo ich obrazu v rovine priemetne
- je potrebné na konci finálne pixely poslať do výsledného zásobníka snímkov
- výrazné využitie snímkovej súvislosti – pri rozsiahlych dátach (počte objektov) je možné ponechať databázu objektov a nepreposielať ju
- *Problém* - rovnomerné využitie systému, pretože rozdelenie primitív podľa priemetu do priemetne môže byť značne nerovnomerné a záleží na tom ako sú rozdelené regióny medzi procesory
- obmedzenie algoritmami, ktoré môžu byť použité

VEĽKOPLOŠNÉ ZOBRAZOVANIE



(zdroj KPI FEI TU Košice)

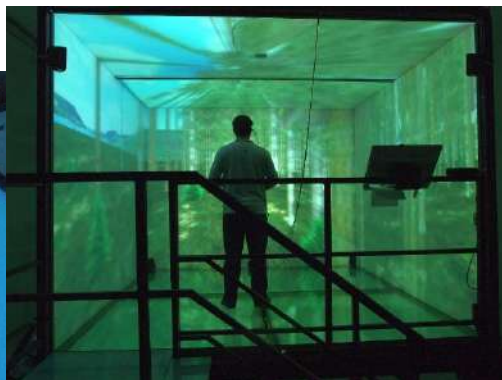


VEĽKOPLOŠNÉ ZOBRAZOVANIE

VIRTUÁLNA JASKYŇA



(zdroj TU Zvolen)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

VEĽKOPLOŠNÉ ZOBRAZOVANIE

AMD EYEFINITY



3x1 skupina displejov (na výšku)



3x1 skupina displejov (na šírku)



3x1 skupina displejov (na šírku) + 1x Extend



3x2 skupina displejov (na šírku)



3x1 skupina displejov (na výšku) + 3x Extend



2x2 skupina displejov (na šírku) + 2x Extend

GP/GPU

- *GPGPU* predstavuje skratku z anglického *General Purpose computing on Graphics Processor Units*, teda vykonávanie všeobecných výpočtov prostredníctvom grafických procesorov s potenciálom využitia aj vo XR/VR systémoch
- *GPU* predstavujú v súčasnosti masívne paralelný prúdový procesor typu SIMD, ktorého výpočtový výkon je rádovo na úrovni TFLOPSov.



GP/GPU A PROGRAMOVACIE PLATFORMY



CUDA



OpenCL

Microsoft®

DirectX
Compute

GP/GPU - APLIKAČNÉ NASADENIE

- výpočtové zariadenia
- grafické operácie
- umelá inteligencia
- hry a zábava
- kódovanie / dekodovanie audio / video signálu
- kryptografia (šifrovanie, dešifrovanie, lúštenie)
- databázové operácie
- triedenie informácií
- rozpoznávanie obrazu
- dolovanie v dátach
- simulácie neurónových sietí
- genetické programovanie
- fyzikálne simulácie



OBMEDZENIA VIZUALIZAČNÉHO PODSYSTÉMU XR

- Obmedzenia technickej infraštruktúry:
 - spotreba energie (najmä u mobilných XR)
 - teplotné obmedzenia HMD
- Obmedzenia pamäťového podsyntému:
 - priepustnosť pamäte vrátane zberníc
- Obmedzenia výpočtových procesov:
 - *rýchlosť zaplňania GPU* (GPU fill-rate) - koľko pixelov dokáže grafický adaptér vykresliť za jednotku času
 - *zložitosť shaderov* (shader complexity) - náročnosť výpočtov, ktoré vykonáva shader (napr. pixel alebo vertex shader) v zmysle jeho vplyvu na výkon GPU
- Obmedzenia komunikácie/synchronizácie:
 - CPU–GPU komunikácia



VÝZVY PRI NÁVRHU VIZUALIZAČNÉHO PODSYSTÉMU XR

Optimálne navrhnutý vizualizačný podsystem XR systému je spravidla výsledkom vyváženia týchto kompromisov:

- univerzálnosť vs. optimalizácia pre špecifické zariadenie
- cena vs. výkon
- realizmus (imerzia) vs. výkon
- kvalita obrazu vs. latencia (real-time)
- stabilita vs. vizuálne efekty



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

PRIESTOROVÉ ZOBRAZOVANIE A STEREOSKOPIA

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 07

© 2026

STEREOSKOPICKÉ VIDENIE

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*.

HISTORICKÉ NADVÄZNOSTI



Leonardo da Vinci - perspektívne zobrazovanie, 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“)



Charles Wheatstone
(1838)

stereovidenie, stereogram,
zrkadlový stereoskop

David Brewster
(1849)

zdokonalený šošovkový
stereoskop



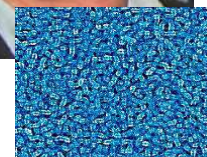
Peter L. Panum
(1858)

Panumova fúzna
oblasť



Béla Julesz
(1959)

random dot
stereogram



Christopher Tyler
(1979)

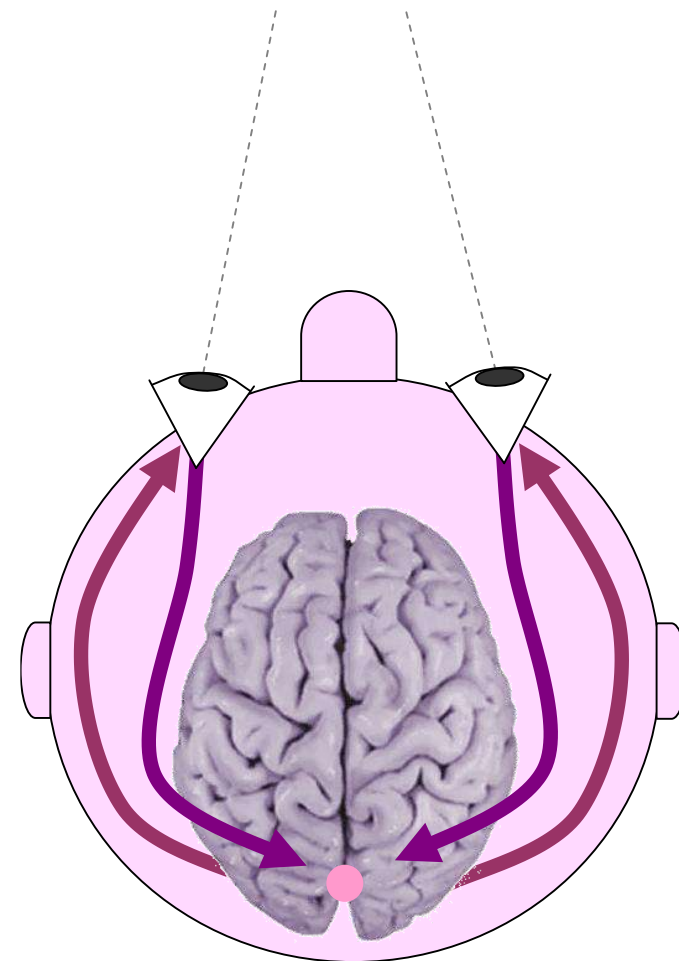
autostereogram,
single image stereogram

STEREOSKOPICKÉ VIDENIE

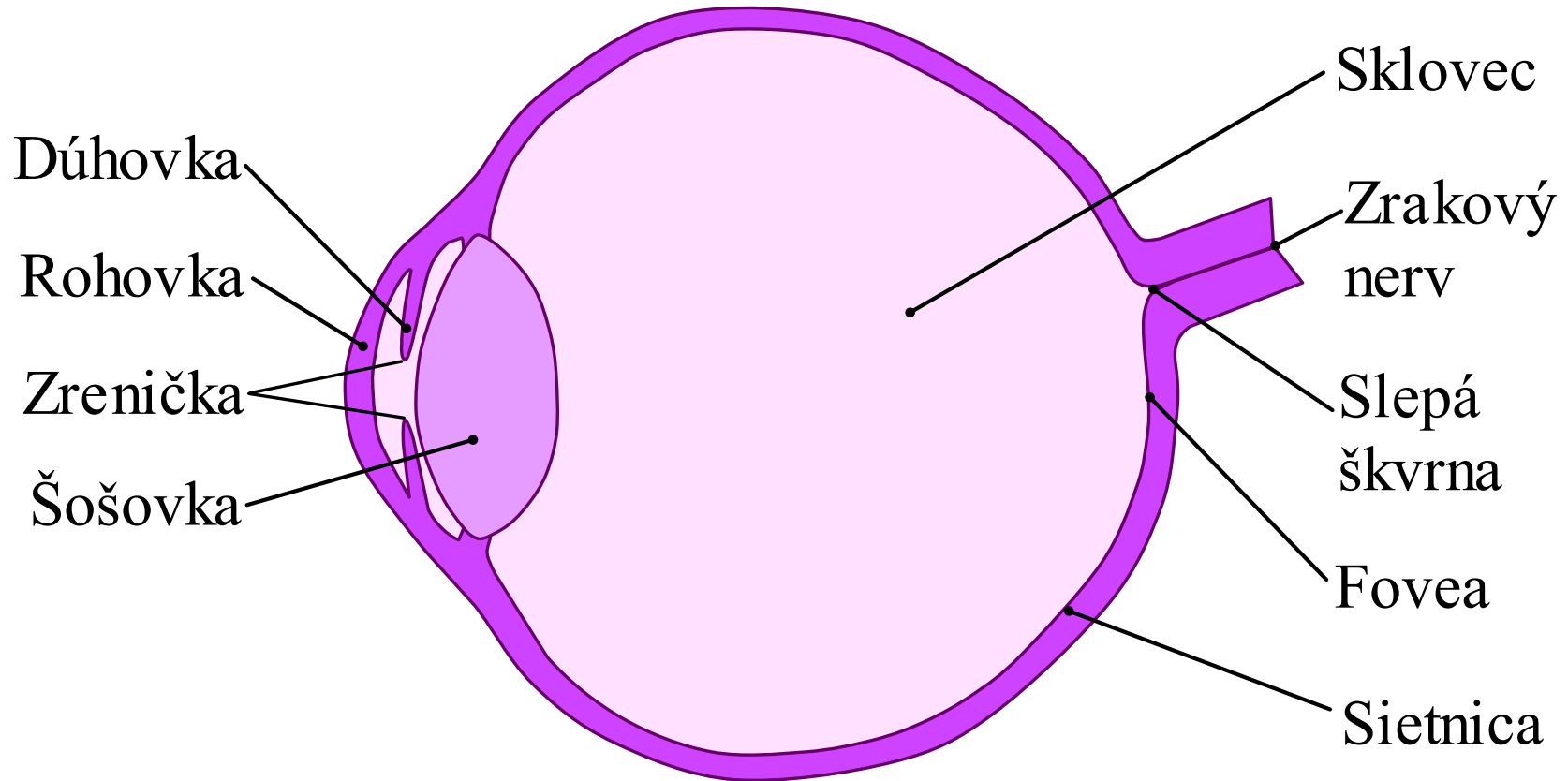
PROCES

- Snímanie – pomocou očí —
- Spracovanie – pomocou mozgu
 - Vnímanie hĺbky ●
 - Ovládanie očného svalstva —

Stereoskopický vnem je individuálny pre každého človeka.



FYZIOLÓGIA A OPTICKÉ VLASTNOSTI OKA



FYZIOLÓGIA A OPTICKÉ VLASTNOSTI OKA

- **Rohovka:** Pri vnímaní svetla, prichádzajúceho z okolitého sveta, prechádza svetlo najprv priehľadnou vrstvou nazývanou rohovka.
- **Dúhovka:** Po prechode rohovkou dopadajú svetelné lúče na jednu z najznámejších častí ľudského oka, na dúhovku. Tá je známa predovšetkým svojou farbou.
- **Zrenička:** Spolu s viečkami tvorí zrenička regulátor množstva svetla prichádzajúceho do oka. Je to malá čierna kruhová plocha, ktorú vidíme uprostred dúhovky. Pri zmenšení jej priemeru sa zväčší hĺbka ostrosti - rozsah vzdialenosti, v ktorej vidíme predmety ostro. Hrá dôležitú úlohu pri mnohých aplikáciách priestorového videnia, presnejšie pri zisťovaní a sledovaní smeru natočenia oka.



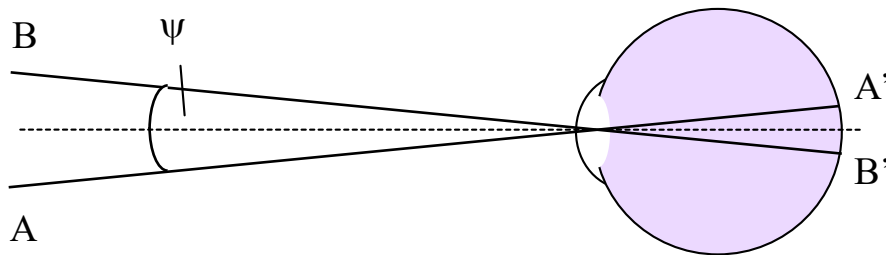
FYZIOLÓGIA A OPTICKÉ VLASTNOSTI OKA

- **Šošovka:** Umožňuje meniť zaostrenie na blízke alebo vzdialené predmety. Pôsobením akomodačného očného svalu na závesné vlákna šošovky sa jej tvar mení. Keď sa skrátiť polomery krivosti šošovky, zväčší sa jej optická mohutnosť. Táto zmena tvaru šošovky umožňuje ostro vidieť vzdialené predmety na sietnici. Obrazy blízkych predmetov by boli až za sietnicou a javili by sa neostro. Ak sa však zväčší vplyv šošovky na chod lúčov (väčším zakrivením jej plôch), potom aj obrazy blízko ležiacich predmetov budú na sietnici ostré. Čím väčšia je vzdialenosť predmetov, tým menšie je zakrivenie plôch šošovky. Prispôsobivosť šošovky na pozorovanie rozlične vzdialených predmetov sa nazýva *akomodácia*. Akomodačná schopnosť sa stráca s pribúdajúcim vekom.
- **Sietnica:** Nakoniec sa svetlu do cesty postaví sietnica, ktorá je naň veľmi citlivá. Predstavuje plošné rozvetvenie očného nervu. Má veľmi zložitú vrstevnatú štruktúru a tu zároveň dochádza k prvému spracovaniu obrazu. Svetlo dopadá na množstvo svetlocitlivých prvkov, nazývaných fotoreceptory. Tie sú dvoch druhov: *tyčinky* a *čapíky*

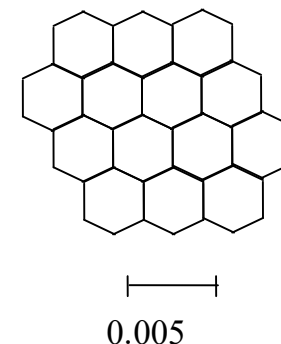


ROZLIŠOVACIA SCHOPNOSŤ OKA

Je to najmenšia uhlová vzdialenosť ψ dvoch bodov, ktoré okom vidíme oddelene, t.j. oko tieto dva body ešte rozozná. Dva body, ktoré vidíme pod menším uhlom splývajú v jeden. Monokulárna rozlišovacia medza oka býva okolo $60''$, to znamená, že dva body A a B , pozorované v uhlovej vzdialenosti $60''$, na sietnici normálneho oka sa zobrazujú v bodoch A' a B' , vzdialených od seba cca 0.005 mm



Rozlišovacia medza oka

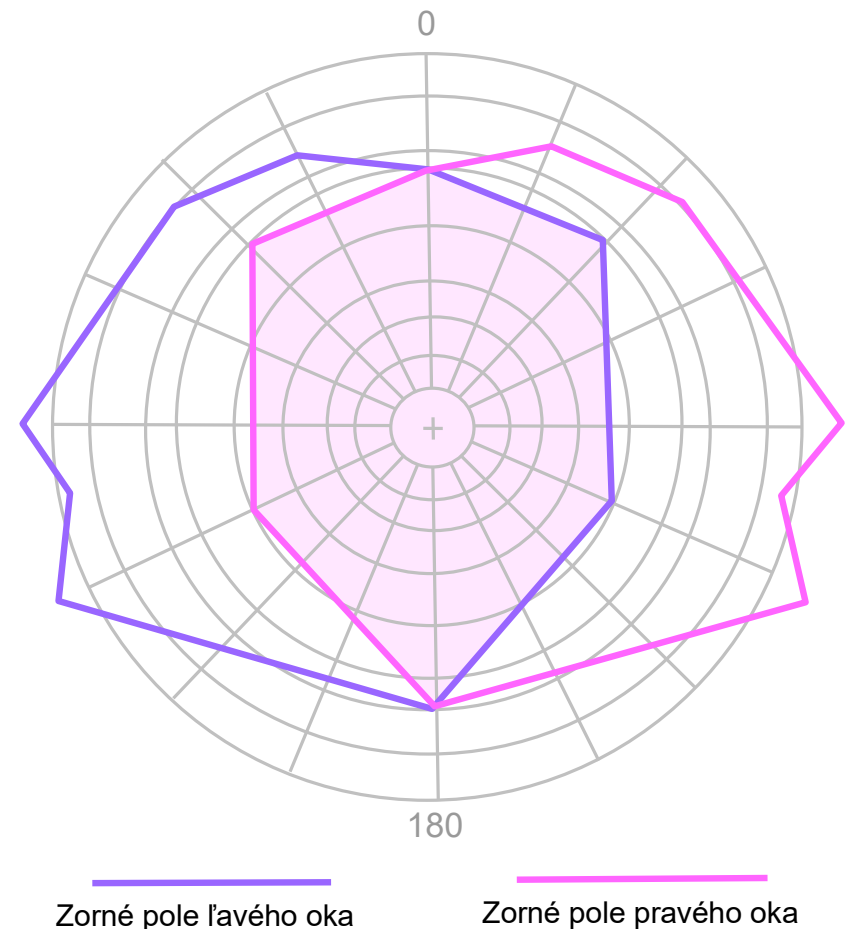


Priečný rez vrstvou čapíkov

ZORNÉ POLE OKA

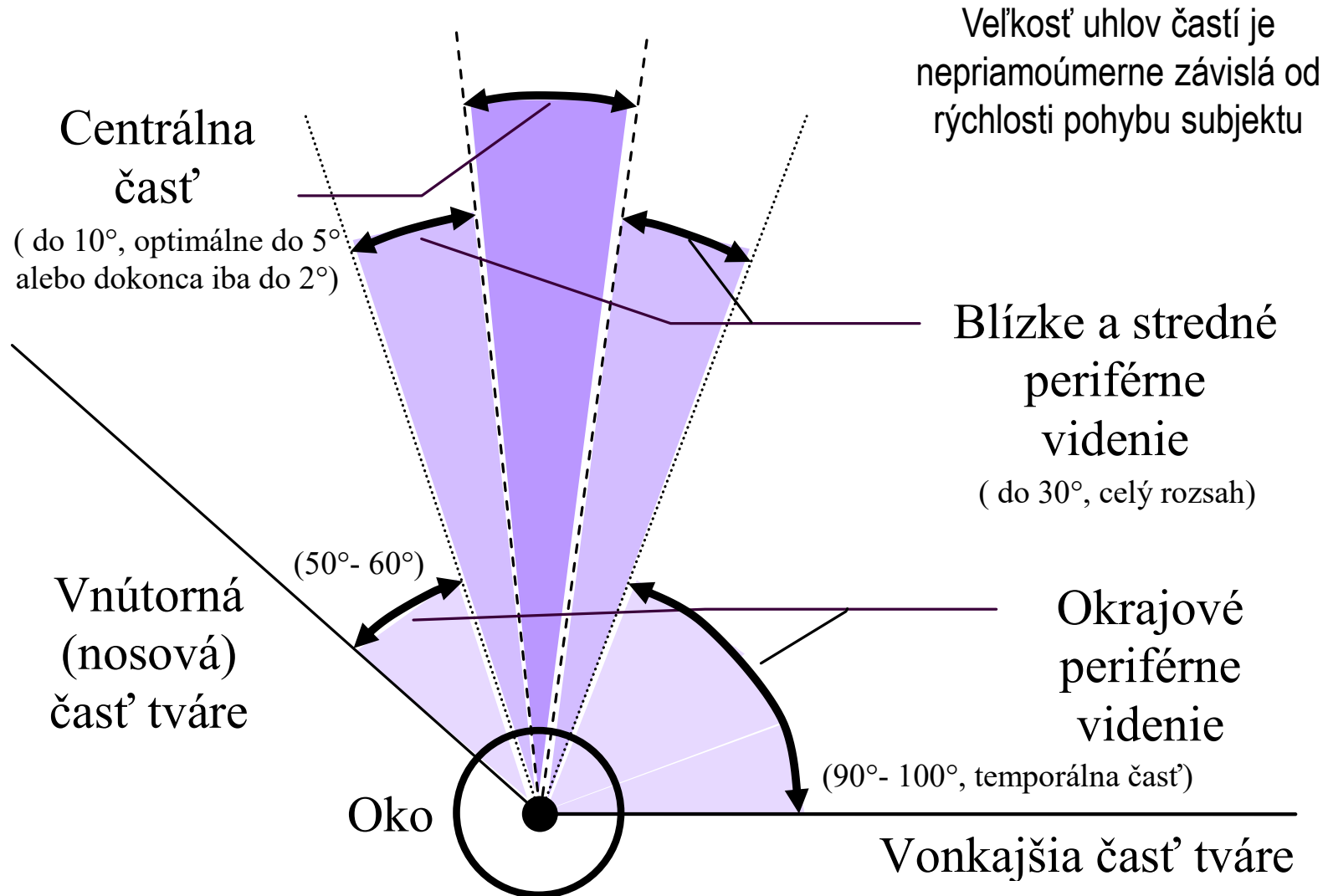
PRIAME A NEPRIAME VIDENIE

Zornému poľu oka zodpovedá priestor, ktorý môžeme okom zachytiť bez toho, aby sme zmenili smer pohľadu. Zo zorného poľa zachyteného okom vidíme ostro len malú časť, a to tú, ktorá sa zobrazí do fovey. Je to tzv. *priame videnie*. Ostatné zorné pole patrí do *nepriameho videnia*.



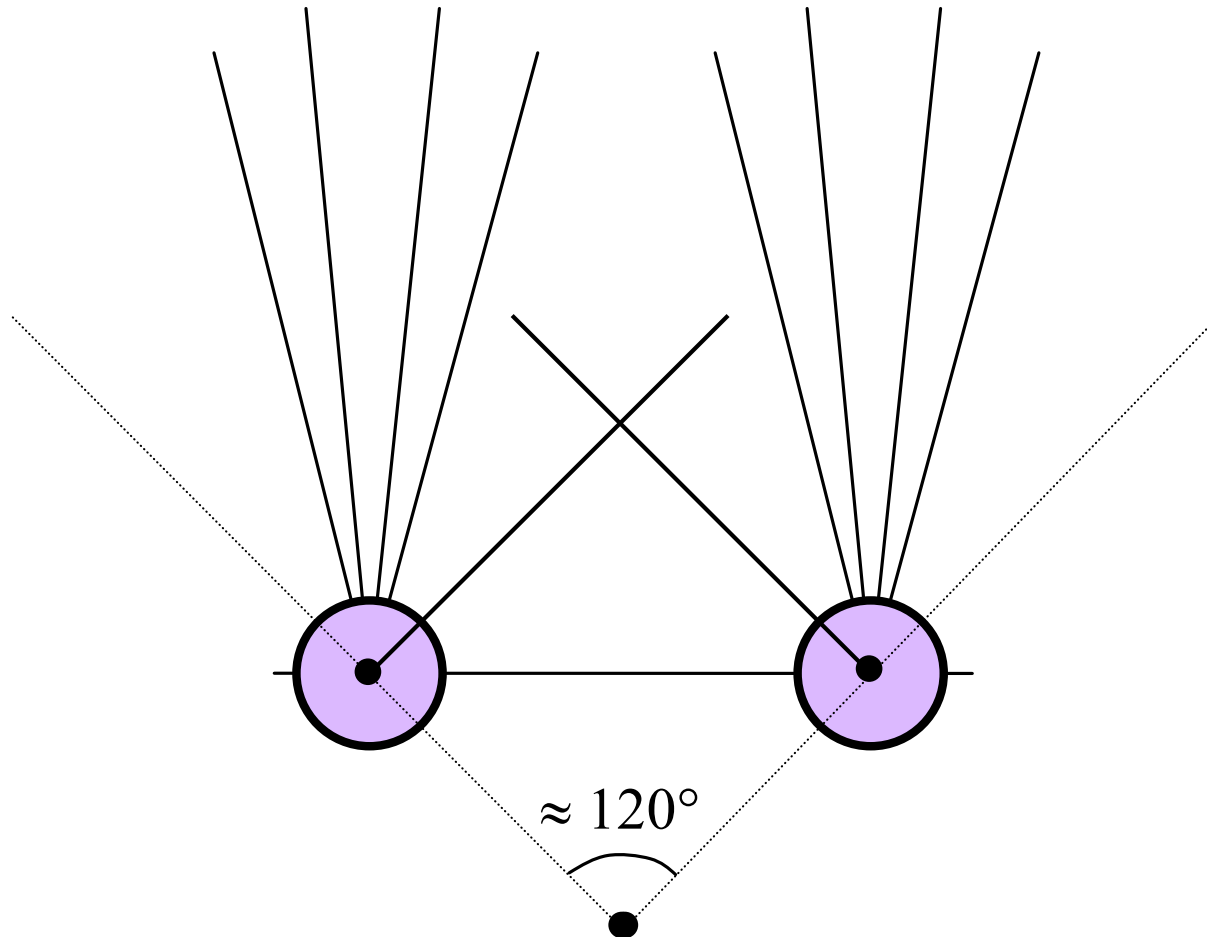
ZORNÉ POLE OKA

ČASTI



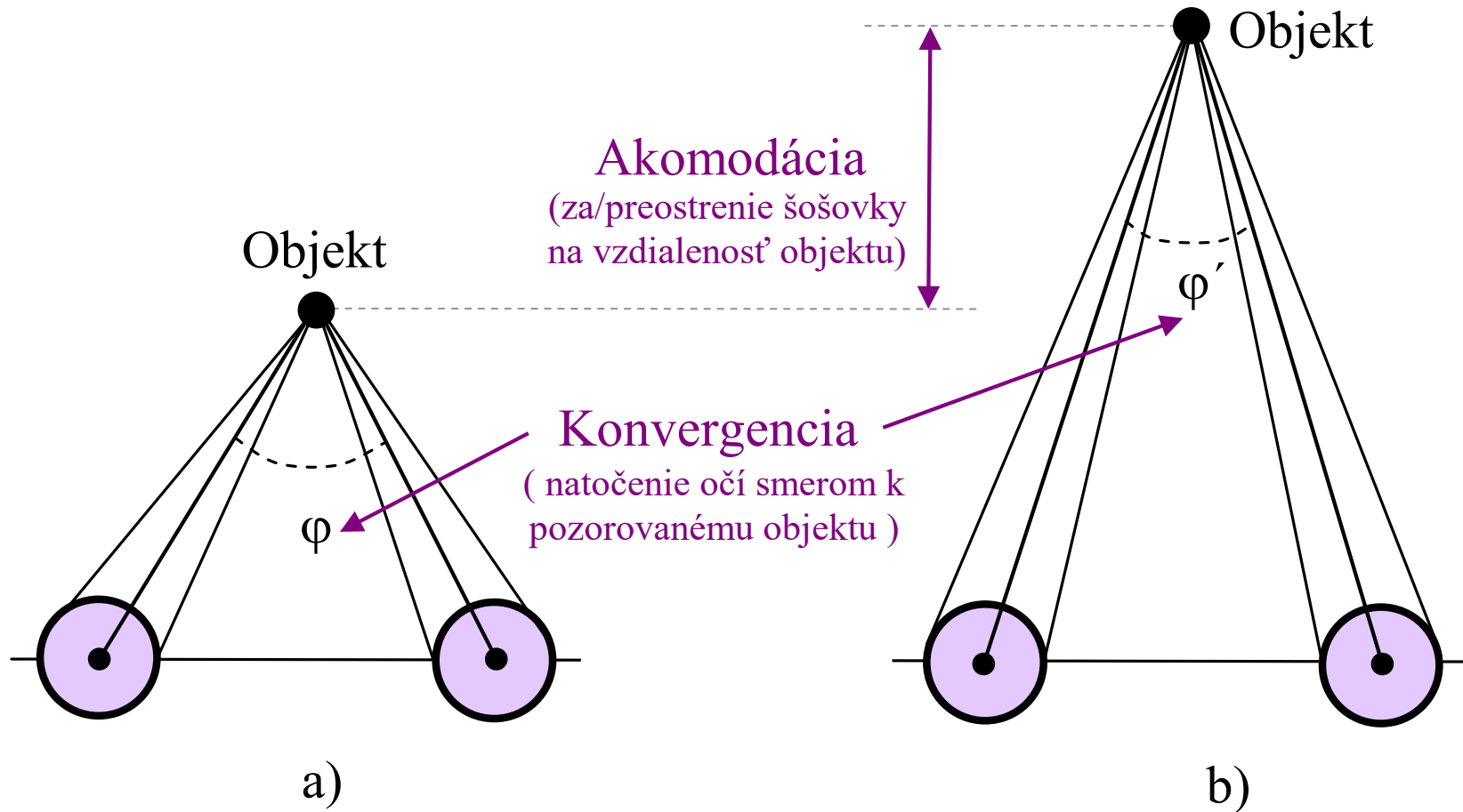
ZORNÉ POLE

OBIDVE OČI (BINOKULÁRNE) V PREKRYVE



KONVERGENCIA A AKOMODÁCIA

ZÁVISLÉ PARAMETRE



KONVERGENCIA A AKOMODÁCIA

KONFLIKT KONVERGENCIE A AKOMODÁCIE

Konflikt konvergencie a akomodácie (*Vergence–Accommodation Conflict* (VAC)) určuje jedno z hlavných obmedzení stereoskopie. V reálnom svete sú konvergenca a akomodácia navzájom viazané. V stereoskopických a XR systémoch:

- je obraz fyzicky v jednej rovine displeja (fixná rovina)
- konvergenca sa mení, akomodácia nie

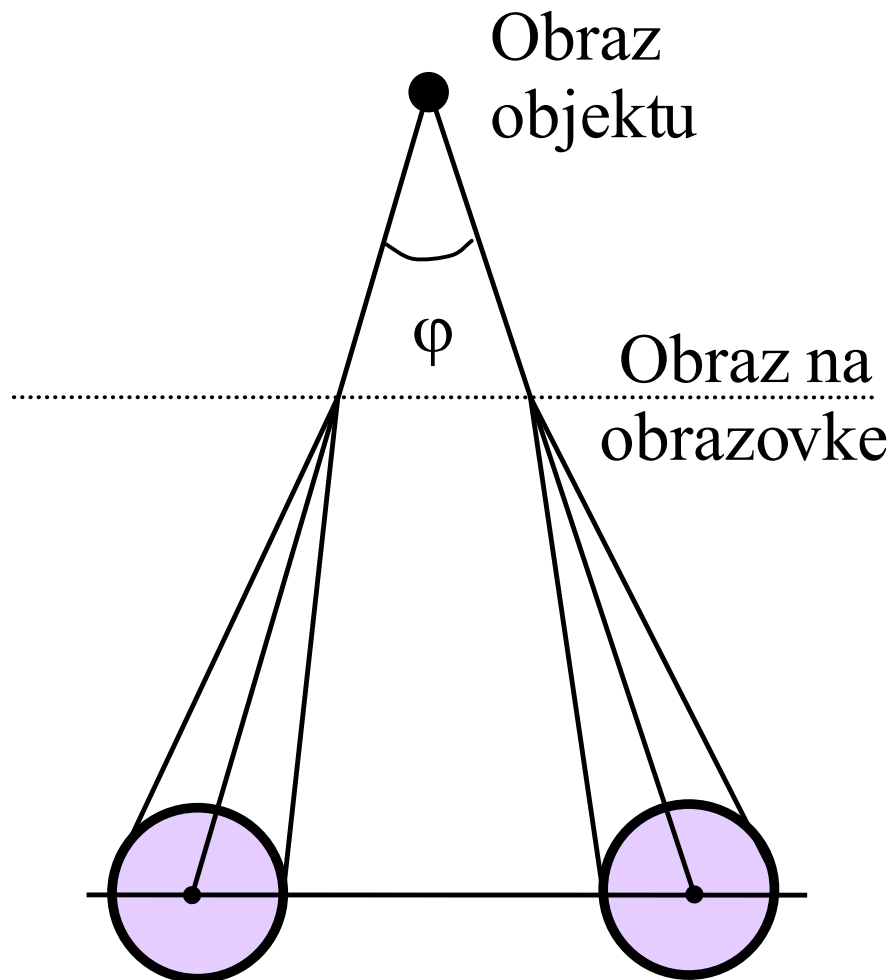
V dôsledku čoho sa môže vyskytnúť:

- obmedzenie/skrátenie času použitia XR systému
- nevoľnosť (vzniká skôr z nestability vnímania než z optiky (súvislosť s Panumovou oblasťou))
- bolesť hlavy
- únava očí



KONVERGENCIA A AKOMODÁCIA

PROBLÉM HMD (VAC)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

HĽBKOVÝ VNEM

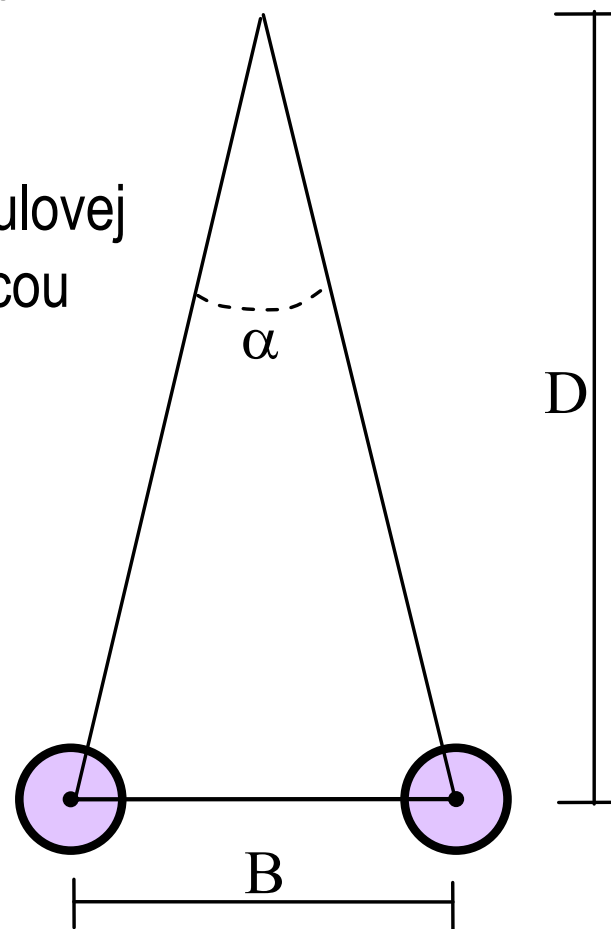
Človek priestorovo vníma (hĺbkový vnem) vo vzdialenosti

$$D \approx 0,3 - 220 \text{ m}$$

pri vzdialenosti očí $B \approx 65 \text{ mm}$ a prakticky nulovej rýchlosti oproti okolitému svetu. So zvyšujúcou rýchlosťou sa tento interval D skraca.

$$D = \frac{B}{2 \cdot \tan(\alpha/2)}$$

Stereoskopické rozlíšenie oka



FAKTORY PRIESTOROVÉHO ZOBRAZOVANIA

- **2D náznaky** (*2D cues*) sú vizuálne efekty, ktoré vytvárajú dojem vzdialenosti objektu od pozorovateľa. Vzdialenejšie objekty sú menšie, sú zobrazené vyššie, farby na ich povrchu majú znížený kontrast, jas a saturáciu. Medzi tieto techniky patrí aj tieňovanie a prekrytie objektov (viditeľnosť, alfa).
- **Pohybová paralaxa** (*motion parallax*) je možnosť pozorovať scénu z rôznych pohľadov. Posunutím pozorovacieho miesta hore, dole, doprava či doľava vidíme predtým skrytú časť pozorovaných objektov.
- **Lineárna paralaxa nekonečná** (*LPN*) určuje maximálne posunutie oboch obrazov, t.j. vzájomné posunutie objektov v jednom a druhom zobrazovacom poli bude menšie alebo rovné *LPN*, a to tak, že s narastajúcou vzdialenosťou od objektívov kamier (očí) sa toto posunutie zmenšuje.

FAKTORY PRIESTOROVÉHO ZOBRAZOVANIA

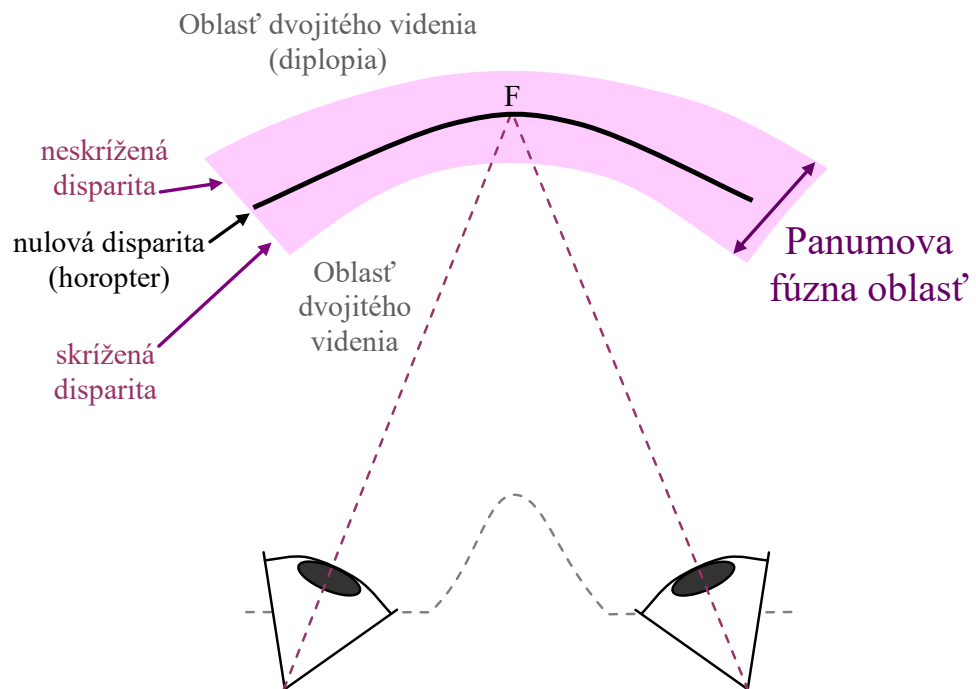
- **Binokulárna disparita** (*binocular disparity*) poukazuje na skutočnosť, že svet pozorujeme prostredníctvom dvoch navzájom posunutých očí. Každé z očí vidí svet z mierne odlišnej perspektívy.
- **Hĺbková disparita** (*depth disparity*) označuje fakt, že priestorovú informáciu o umiestnení objektov získavame taktiež z fyzickej vzdialenosti pozorovaných objektov od miesta pozorovania. Mozog interpretuje natočenie očí (konvergencia), ktoré je závislé na vzdialenosti objektu, na ktorý je práve zameraná pozornosť. Zaostrenie a natočenie očí na pozorovaný predmet je iné pre bližšie a iné pre vzdialenejšie predmety.

PANUMOVA FÚZNA OBLASŤ

Panumova fúzna oblasť (PFO) je rozsah binokulárnej disparity, v ktorom mozog ešte dokáže zlúčiť obrazy z ľavého a pravého oka do jedného *stabilného priestorového vnemu*, inak vzniká *dvojité videnie* (diplopia).

Ak je objekt bližšie než fixačný bod F , ktorý leží na úrovni *nulovej disparity* (horopter), potom vzniká *skrížená disparity*, naopak vznikne *neskrížená disparity*.

Poznámka: VAC je možné chápať aj ako dlhodobé udržiavanie vnemu blízko alebo za PFO. Pri komfortných XR systémoch sa pracuje spravidla hlboko pod hranicou PFO, nie na jej okraji.



TECHNOLÓGIE PRIESTOROVÉHO ZOBRAZOVANIA

- 2,5D projekcia
- Stereogram
- Stereoskopia
- Autostereoskopia
- Real – Depth
- Volumetrické zobrazenie
- Holografia
- Lightfield, varifocal a multifocal displeje
- 3D tlač ako výstupná technológia

Priestorové zobrazovanie je kompromis medzi biológiou, kogníciou a technologickými možnosťami



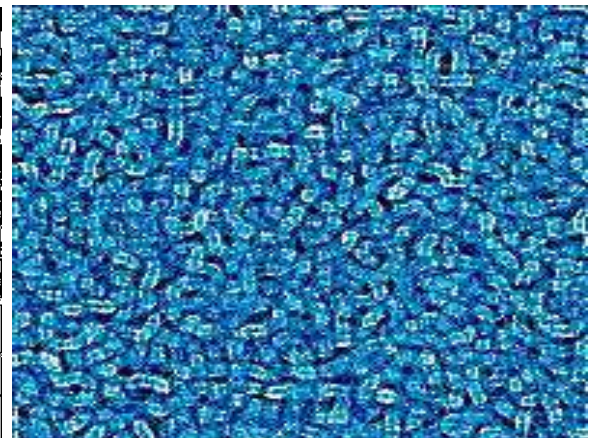
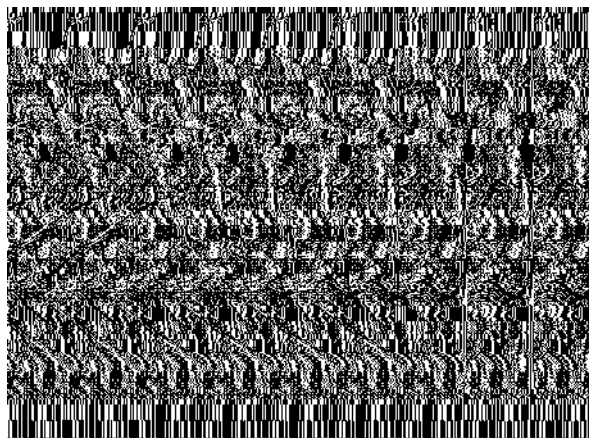
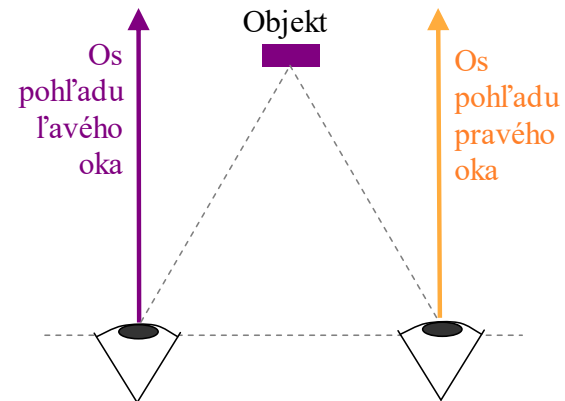
2,5D PROJEKCIA

- Táto technika priestorovej projekcie, nepatrí medzi skutočné techniky označované ako 3D. Táto technika býva označovaná ako 2,5D a je veľmi dobre známa z bežných 2D obrazov zachycujúcich 3D scénu. Technika rešpektuje iba 2D cues.
 - *výhody*: možnosť zobrazenia obrazov na bežne dostupných zobrazovacích zariadeniach
 - *nevýhody*: neposkytuje verný vizuálny priestorový vnem



STEREOGRAM

Táto technika (aj stereopáry) využíva binokulárnu disparitu v kombinácii so schopnosťou mozgu detegovať malé rozdiely medzi videnými obrazmi. Tak je v mozgu generovaná ilúzia 3D povrchu. Najzákladnejšia používaná technika je technika náhodných stereogramových bodiek vyvinutých Bélom Juleszom (random dot stereogram). Pre správne generovanie je vhodná hĺbková mapa obrazu (resp. mapa skrytých hrán alebo povrchov.)



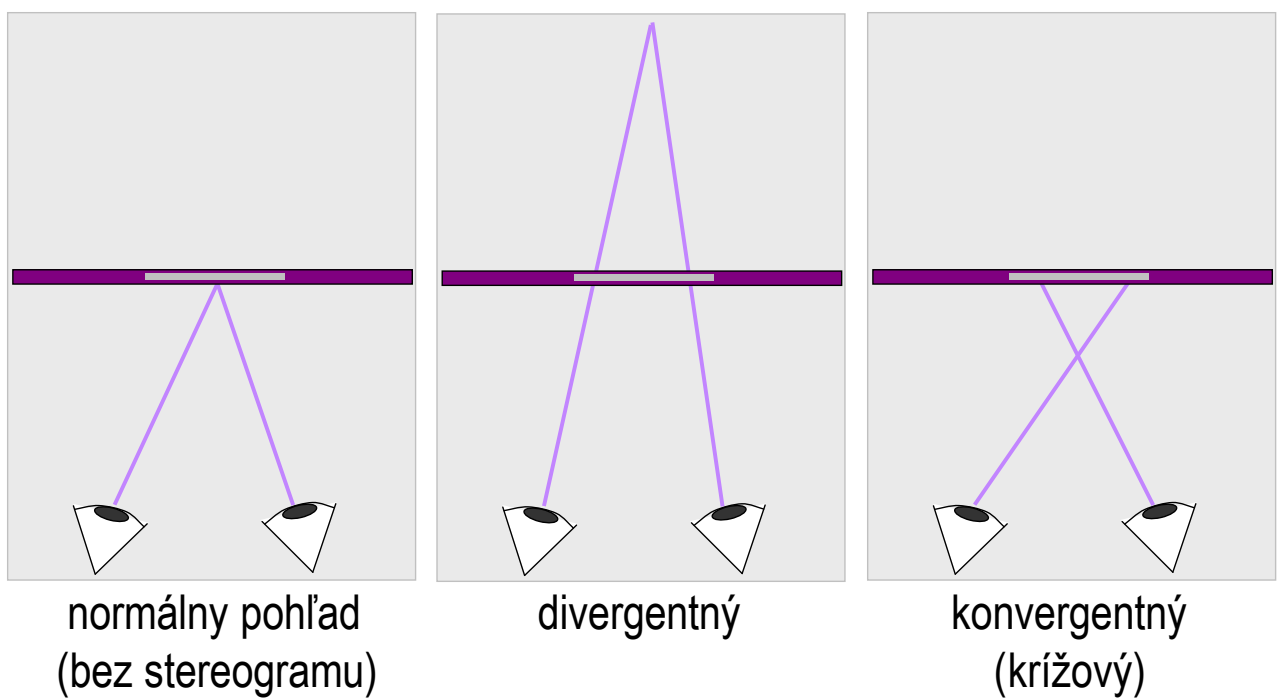
<https://www.easystereogrambuilder.com/how-stereograms-work>

STEREOGRAM

VIZUALIZÁCIA

- Divergentná vizualizácia (pohľad)
- Konvergentná vizualizácia (pohľad)

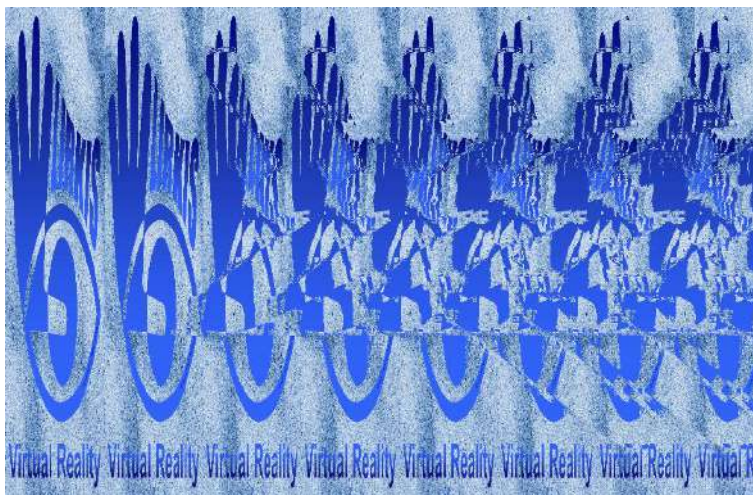
Stereogramy sú invariantné voči zmene mierky



napr.: <https://www.ime.usp.br/~otuyama/stereogram/basic/index.html>

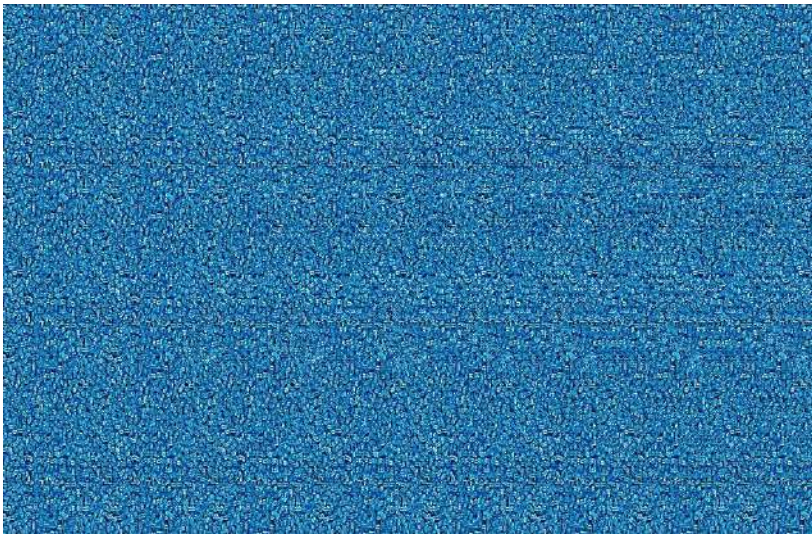
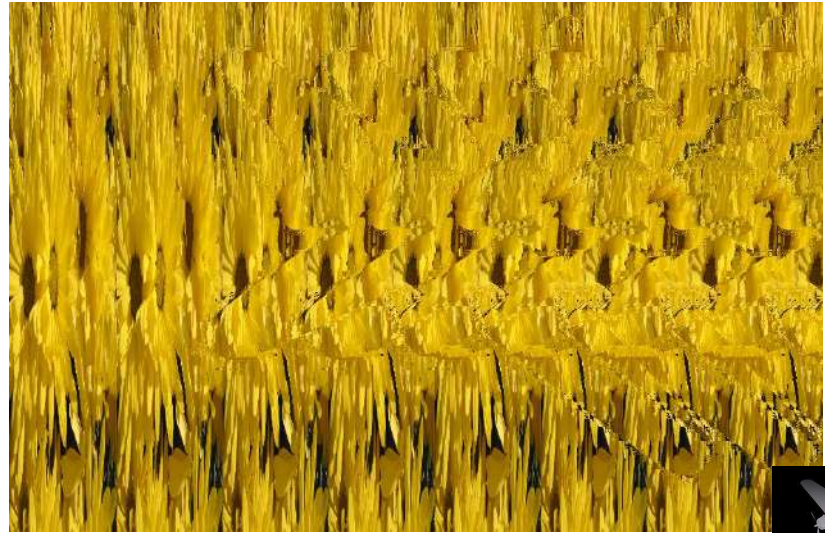
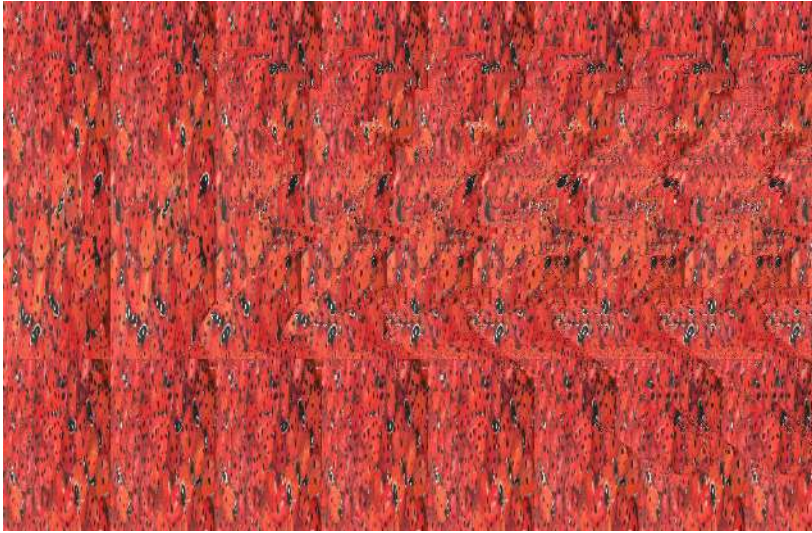
STEREOGRAM (SINGLE IMAGE STEREOGRAM)

PRÍKLADY ROZLIČNÝCH TEXTÚR A ICH VEĽKOSTÍ



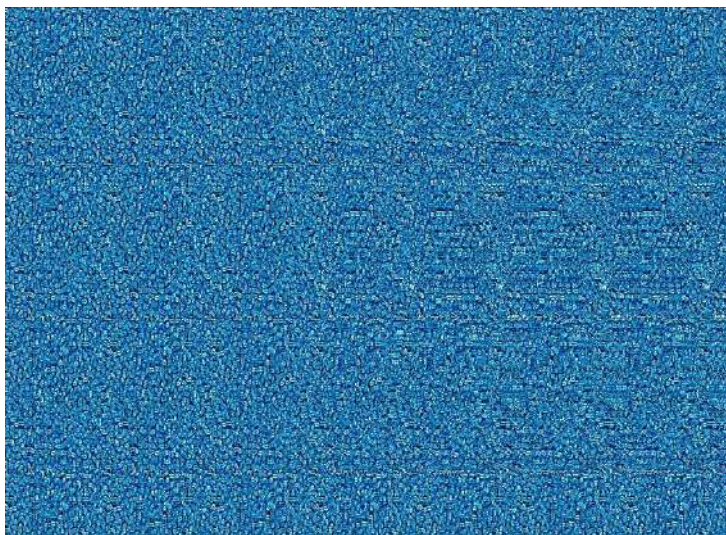
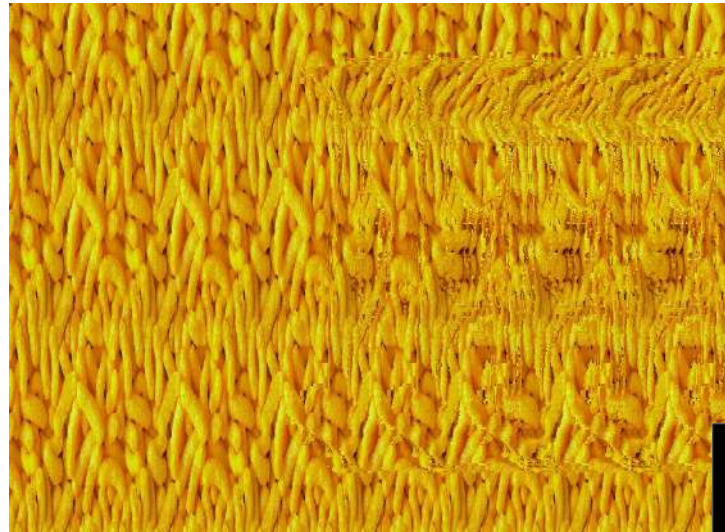
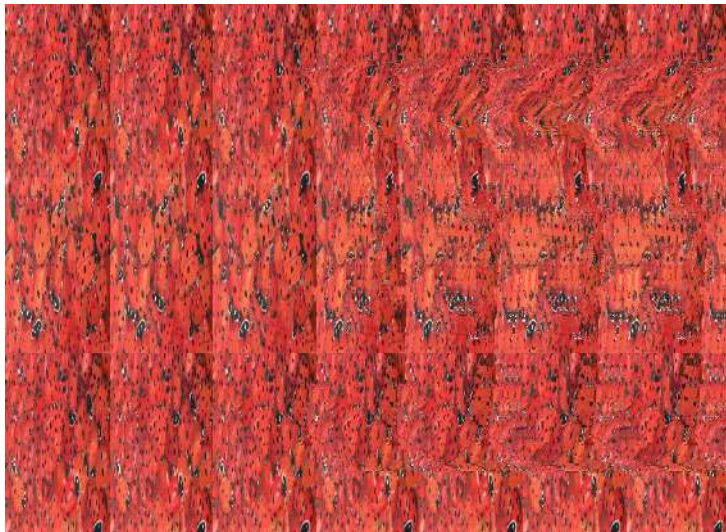
STEREOGRAM

PRÍKLADY MAPOVANIA ROZLIČNÝCH TEXTÚR



STEREOGRAM

PRÍKLADY MAPOVANIA ROZLIČNÝCH TEXTÚR S ROZDIELNYM HĽBKOVÝM OBRAZOM



STEREOSKOPIA

Stereoskopická projekcia je založená na princípe zobrazovania iného obrázku do každého oka

- *Tesneviazané*: prostredníctvom určitého špeciálneho zariadenia ako sú okuliare s rôzne farebnými sklami, synchronizované okuliare, polarizačné okuliare, stereoskop, či XR headsety pre virtuálnu realitu
- *Voľneviazané*: prostredníctvom úprav schopností alebo riadenia zobrazovania zobrazovacieho zariadenia



STEREOSKOPIA

ANAGLYF

Anaglyf je založený na farebnej separácii v RGB farebnom priestore pre každé oko zvlášť

- *výhody*: pomerne efektívne pri nízkych nákladoch (elektronické aj printové zdroje)
- *nevýhody*: vyžaduje pomôcky, výrazne redukuje viditeľný farebný priestor, okuliare alebo stereoskop spôsobuje bolesti očí, hlavy, nevoľnosť, závraty. Nerešpektuje súvislosť akomodácie, konvergenzie oka a vzdialenosti predmetu od pozorovateľa.

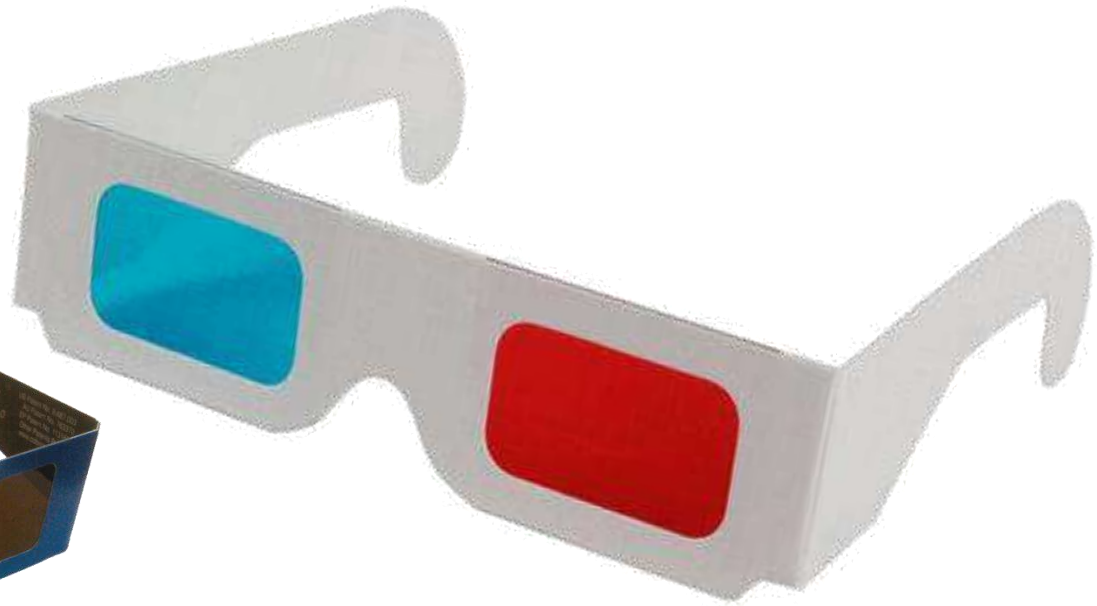
ANAGLYFICKÉ ZOBRAZENIE

TYPY

- podľa farebnosti výstupu:
 - v odtieňoch šedej s využitím len separovaných farebných vrstiev (len hĺbkový vnem)
 - farebné
- podľa použitých zložiek:
 - R-C(GB)
 - R-G
 - R-B
 - Y(RG)-B



ColorCode® okuliare (Y-B)

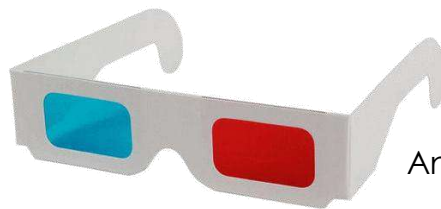


Anaglyfické okuliare (R-C)

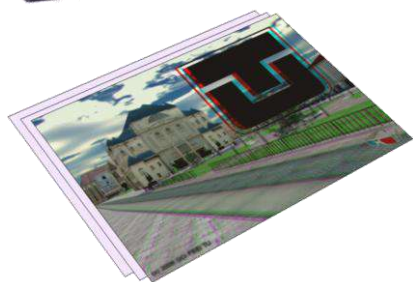
ANAGLYFICKÉ ZOBRAZENIE

VÝSTUPY

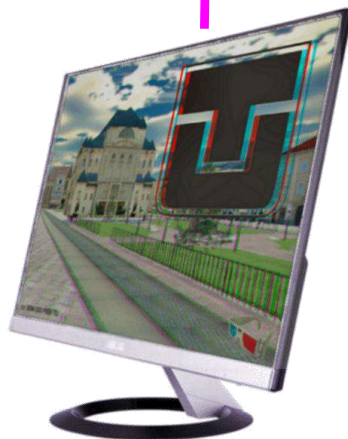
Zdroj 3D obsahu
(napr. počítač)



Anaglyfické okuliare



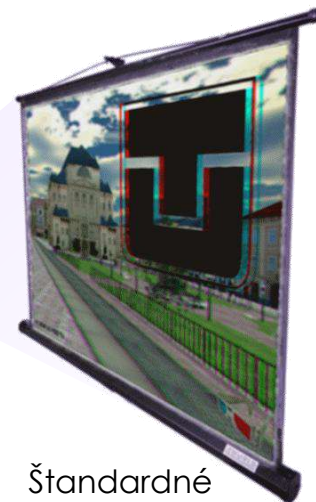
Tlačený
dokument



Štandardný monitor, TV
alebo displej smartfónu



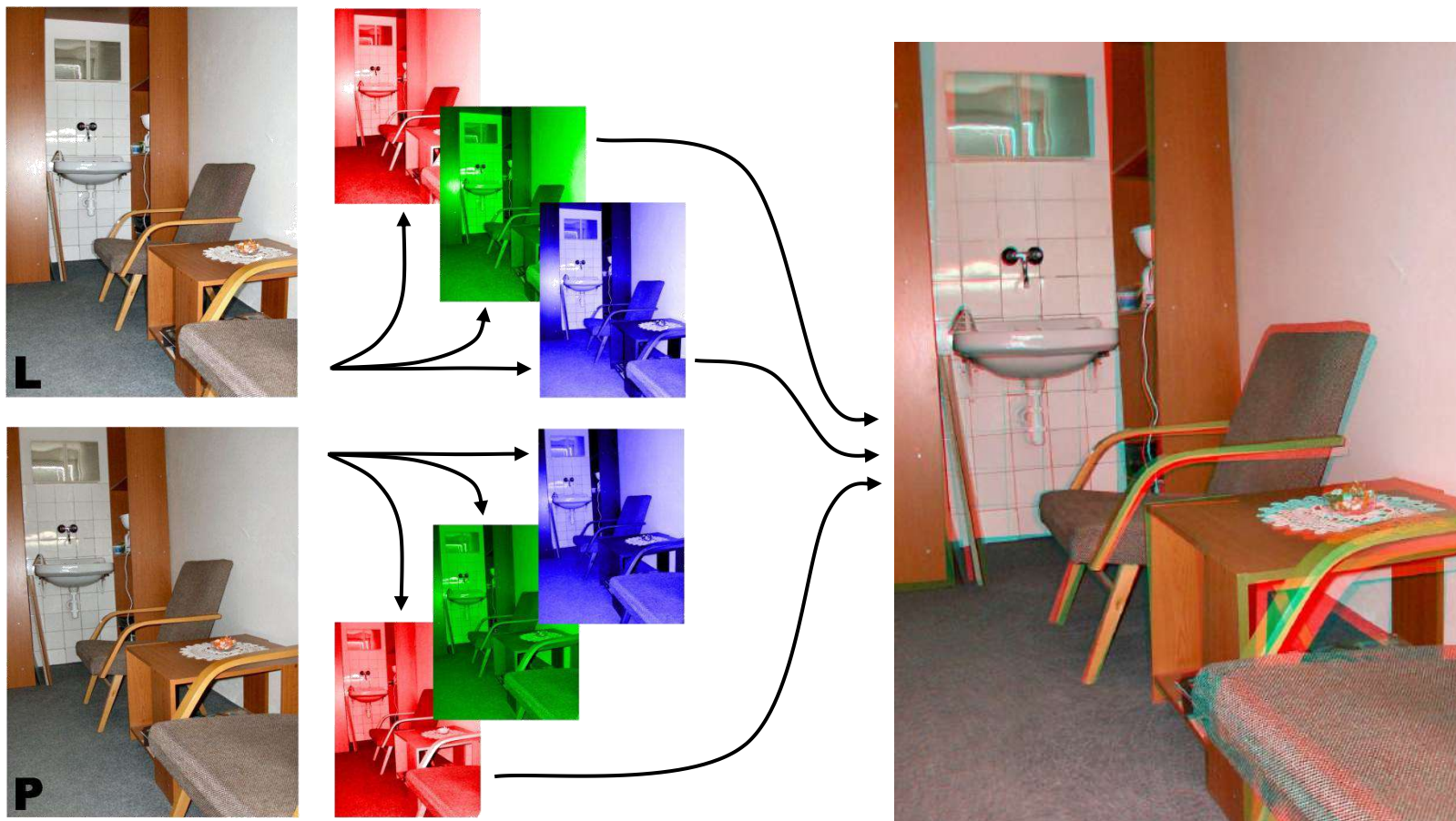
Štandardný
projektor



Štandardné
projekčné plátno

ANAGLYFICKÉ ZOBRAZENIE

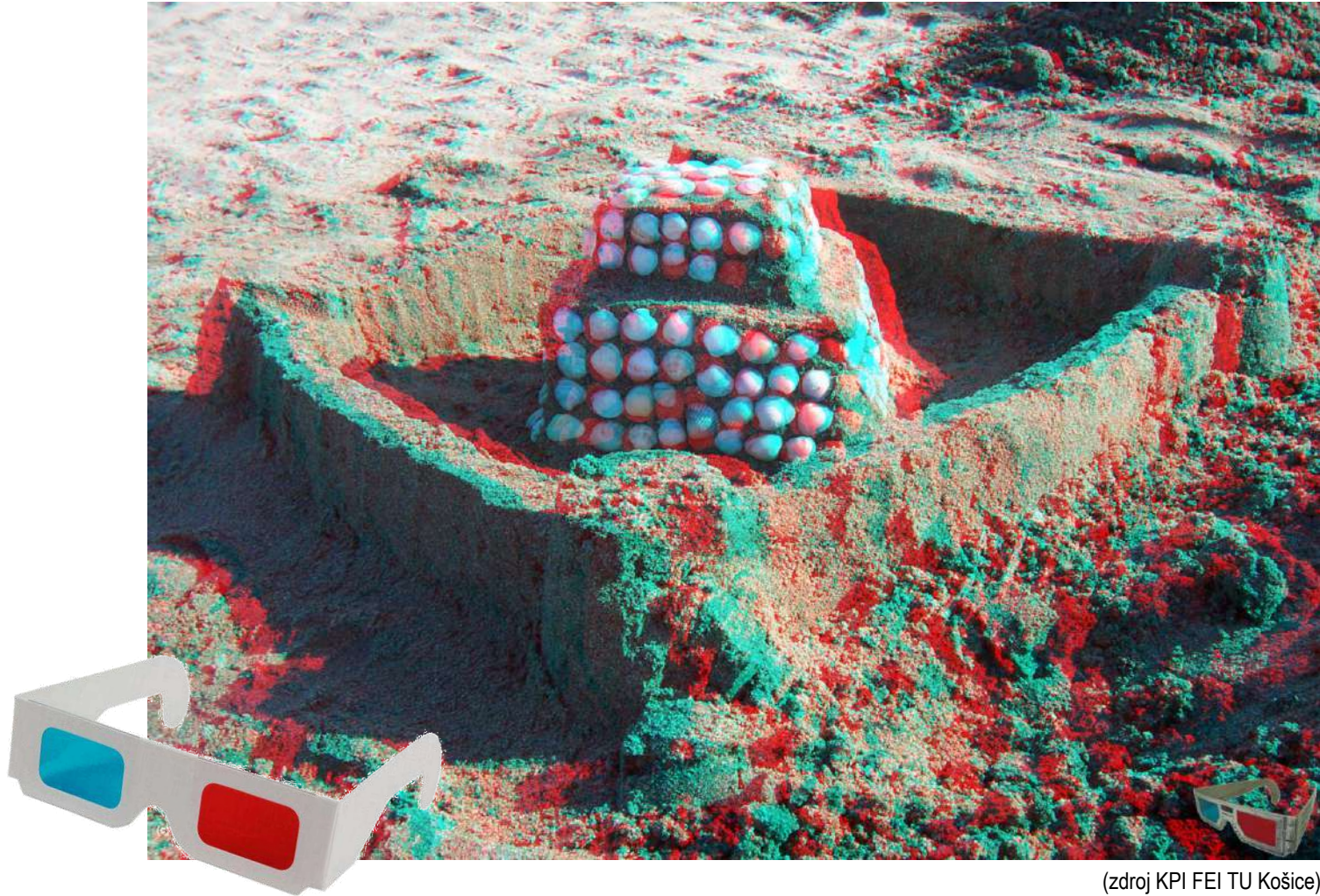
SKLADANIE VRSTVIEV



(zdroj KPI FEI TU Košice)

ANAGLYFICKÉ ZOBRAZENIE

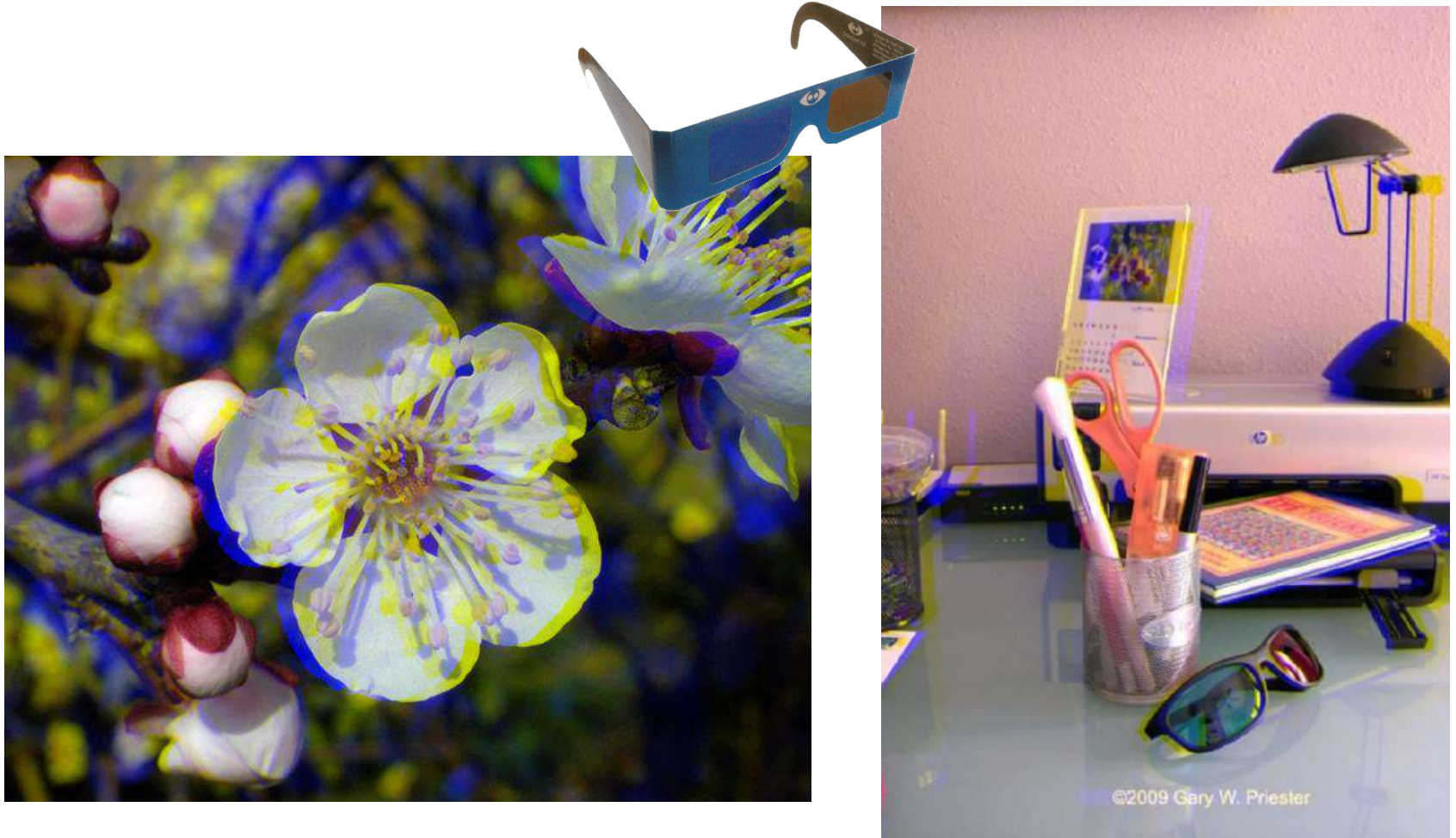
PRÍKLAD R-C ANAGLYFU



(zdroj KPI FEI TU Košice)

ANAGLYFICKÉ ZOBRAZENIE

COLORCODE (WWW.COLORCODE3D.COM)



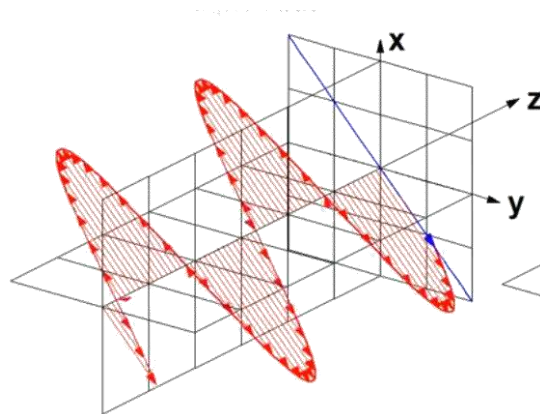
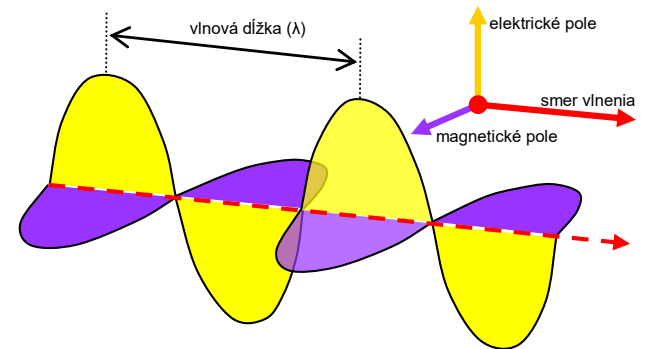
STEREOSKOPIA

POLARIZÁCIA

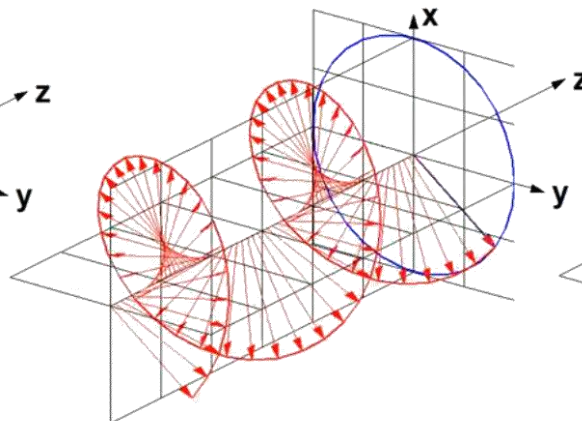
Jedná sa o usmernenie vzájomnej polohy jednotlivých polí (elektrické, magnetické) elektromagnetického vlnenia v spektre viditeľného svetla.

Najviac používané typy:

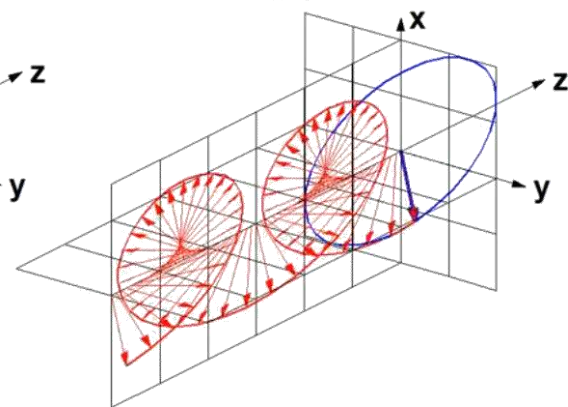
- lineárna (horizontálna)
- kruhová (cirkulárna)
- eliptická



Lineárna



Cirkulárna (pravostranná)



Eliptická (pravostranná)

Väčšinou používaná pre pasívne stereoskopické systémy. Technológia vyžaduje adekvátne polarizované filtre na oboch stranách t.j. pre okuliare aj pre projektory

<https://www.youtube.com/watch?v=Q0qrU4nprB0>

STEREOSKOPIA

INFITEC

Infitec (*INterference FIlter TEChnology* založená na Multiplexnej technológii vlnových dĺžok (Wavelength Multiplex Technology, WMT)) je technológia analogická anaglyfu t.j. pracuje s vlnovými dĺžkami v červenom, zelenom a modrom rozsahu viditeľného svetla. Keďže niektoré z týchto rozsahov vlnových dĺžok sú dané pre ľavé oko a iné pre pravé oko potom vhodným návrhom/kompozíciou prenosových spektier filtrov so strmými hranami je možné zabezpečiť, aby boli obe oči obsiahnuté týmito vlnovými dĺžkami a tak obe oči uvidia plne farebný obraz. Takéto viacpásmové optické filtre je možné v súčasnosti vyrábať iba ako tzv. interferenčné filtre. Technológia vyžaduje filtre na oboch stranách t.j. pre okuliare aj pre projektory (okrem laserových) a radíme ju k pasívnym stereoskopickým technológiám.



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

STEREOSKOPIA

XR OKULIARE (HEADSETY, PRILBY AJ HIST.)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

AUTOSTEREOSKOPIA

Autostereoskopia predstavuje technológiu zobrazovania 3D obrazu bez použitia pomocných tesneviazaných zariadení

Historické súvislosti: 1940, práca rusov D.V. Surenského a S.P. Ivanova



AUTOSTEREOSKOPIA

TECHNOLÓGIE

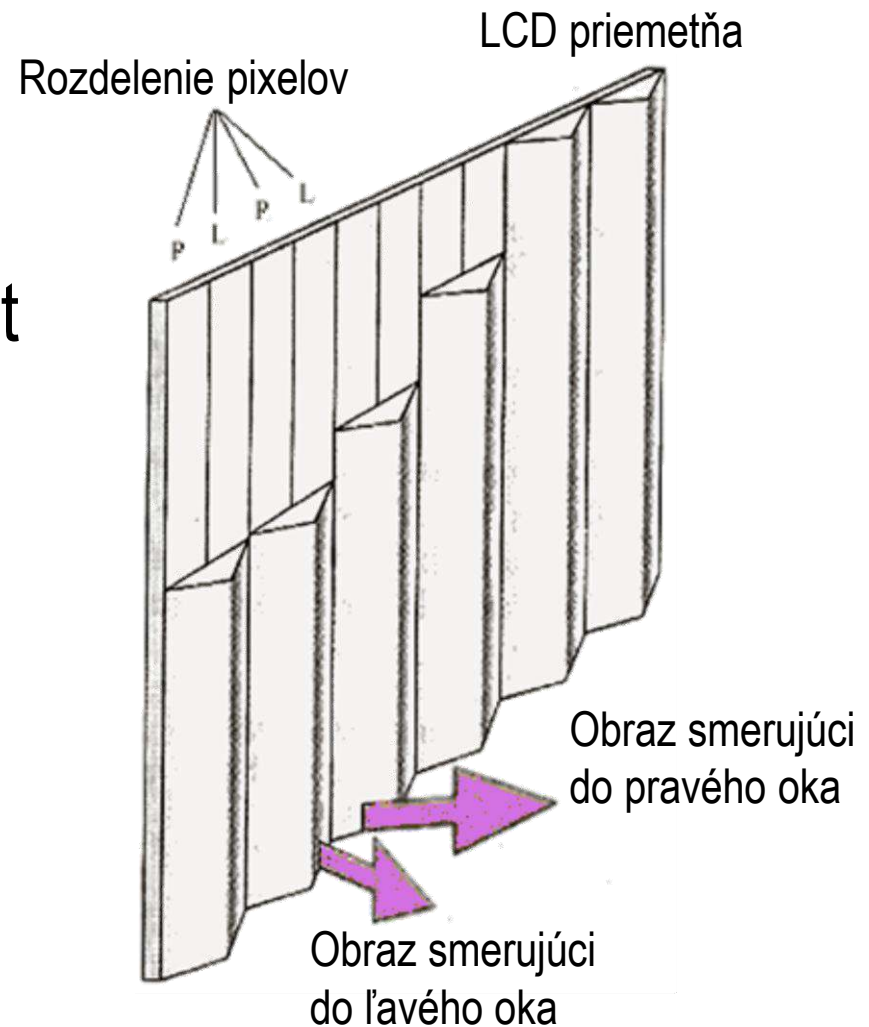
- bez aktívnej masky
- pomocou prizmovej mriežky (paralaxná bariéra)
- pomocou šošovkového (lentikulárneho) rastra
 - pomocou Fresnelových šošoviek (vertikálne aj horizontálne)
 - s riadením hĺbkovou mapou
- pomocou riadenia s aktívnou maskou



AUTOSTEREOSKOPIA

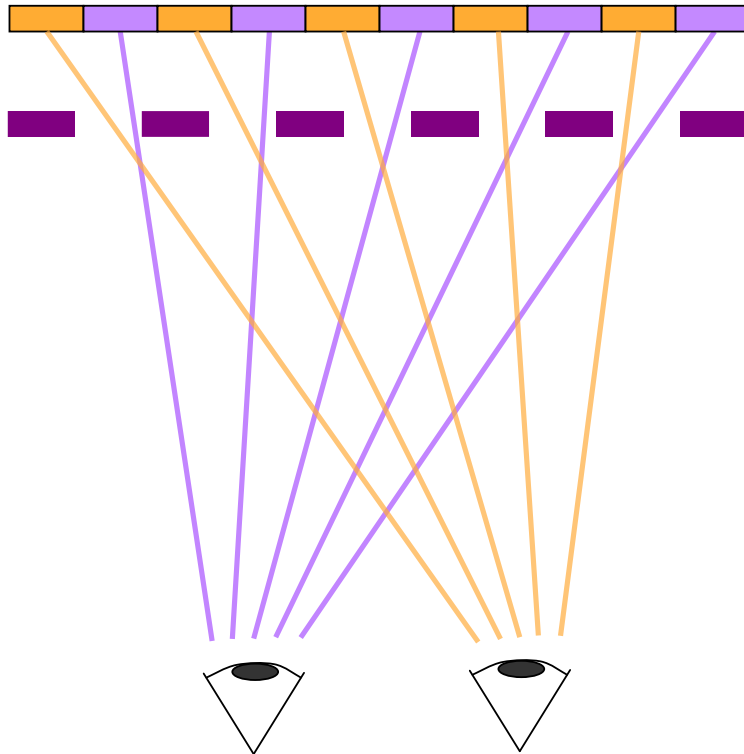
BEZ AKTÍVNEJ MASKY

- *výhody*: nevyžaduje okuliare alebo iné pomôcky
- *nevýhody*: len pre nízky počet pozorovateľov

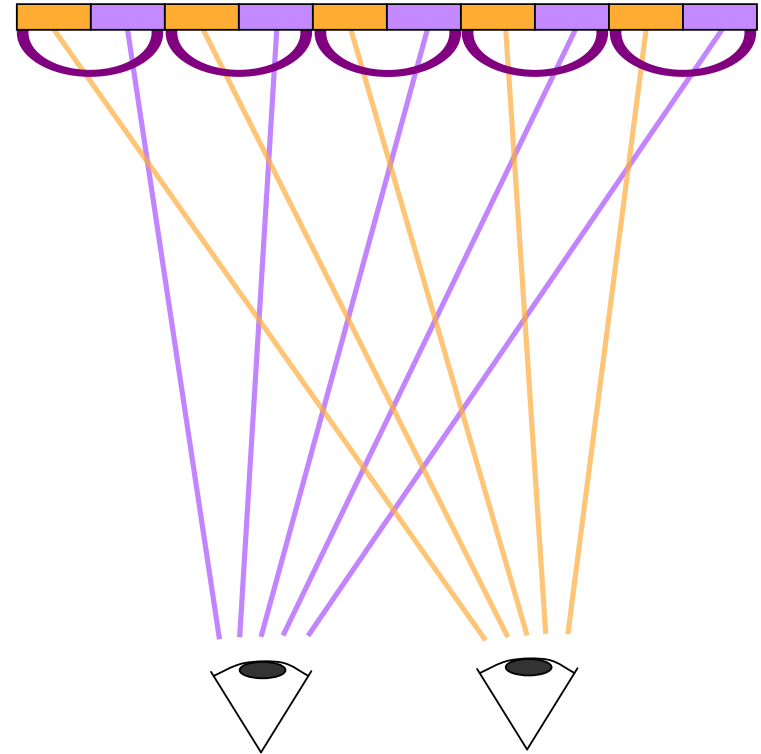


AUTOSTEREOSKOPIA

PRIZMOVÁ MRIEŽKA A LENTIKULÁRNY RASTER



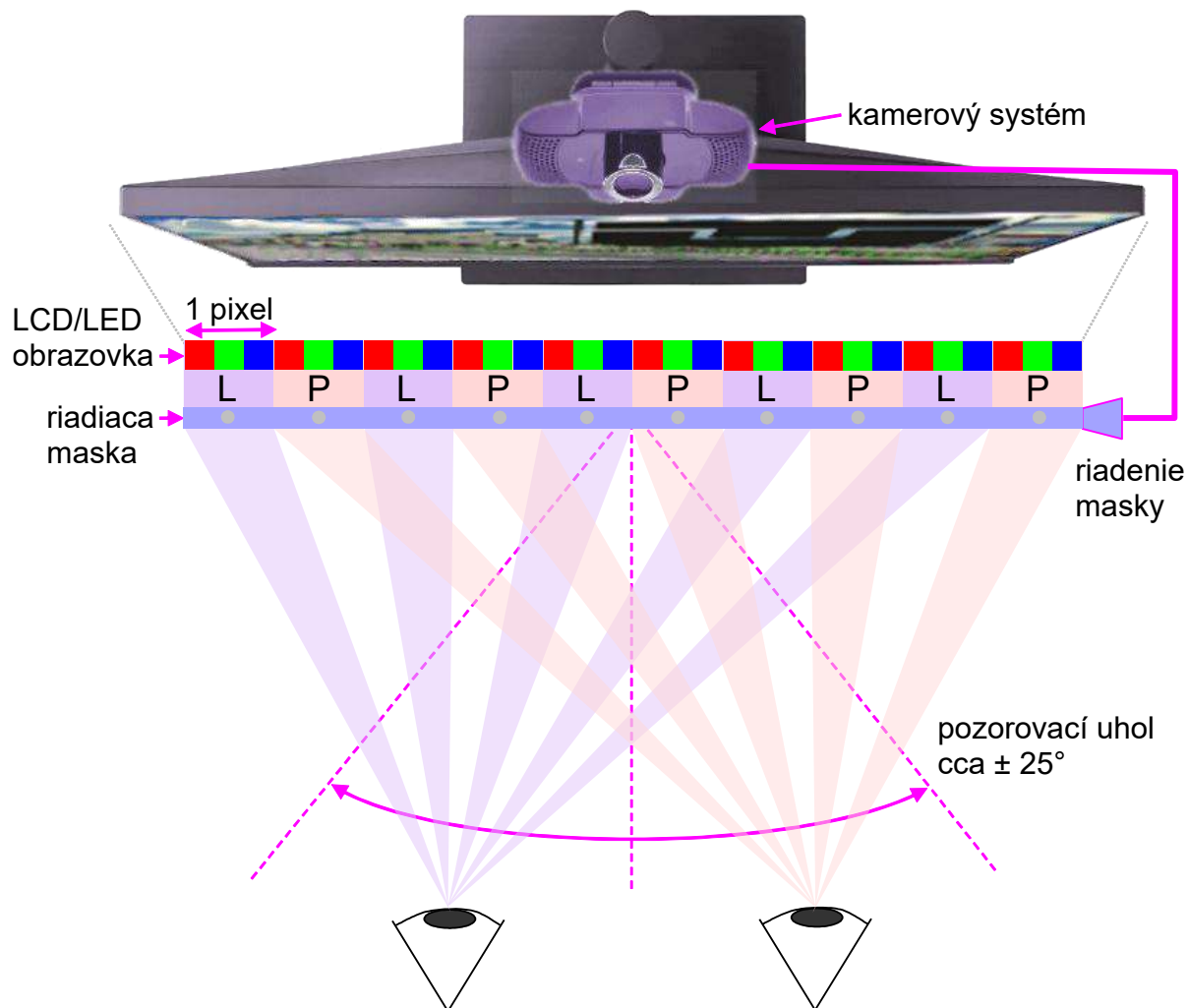
prizmová mriežka



lentikulárny raster

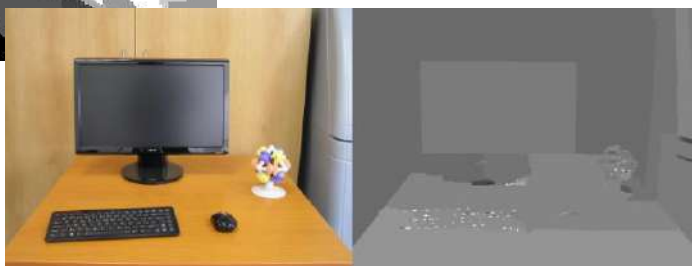
AUTOSTEREOSKOPIA

RIADENIE S AKTÍVNOU MASKOU



AUTOSTEREOSKOPIA

RIADENIE S HĽBKOVOU MAPOU



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

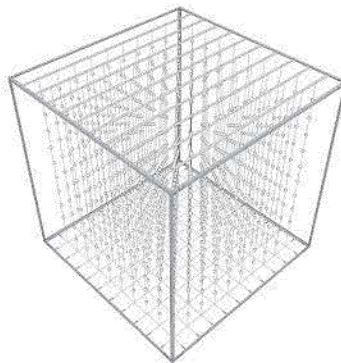
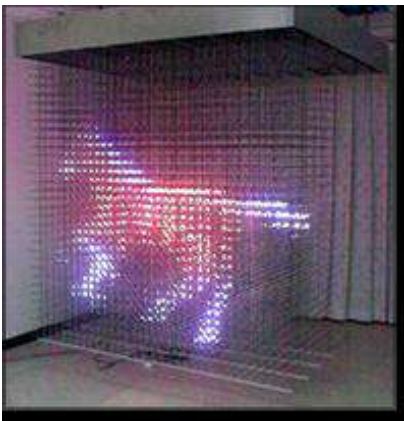


Philips WOW



3D LED DISPLEJE

- *výhody*: pomerne efektívne, nevyžaduje pomôcky, nespôsobuje nevoľnosť
- *nevýhody*: vysoká cena, problém s viditeľnosťou niektorých bodov, konštrukčná náročnosť



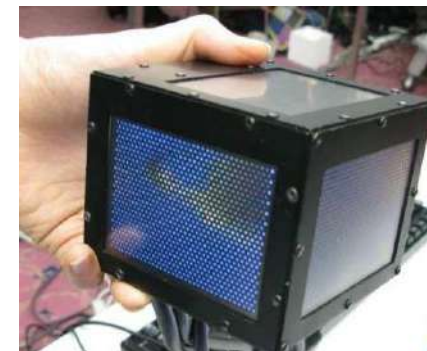
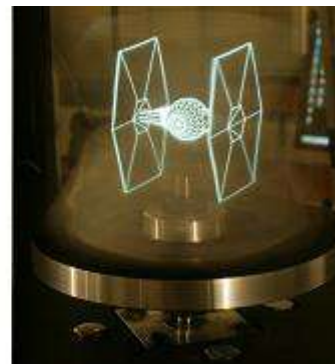
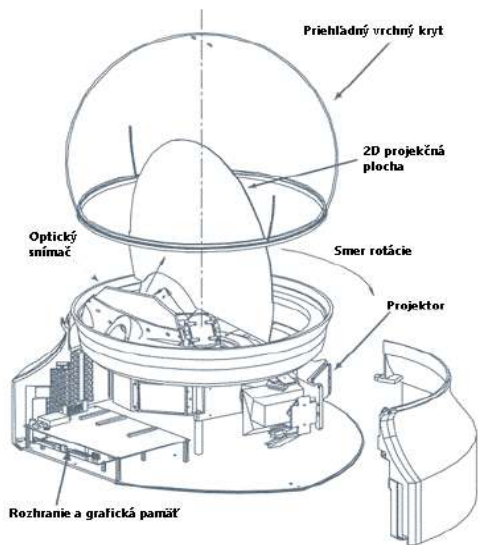
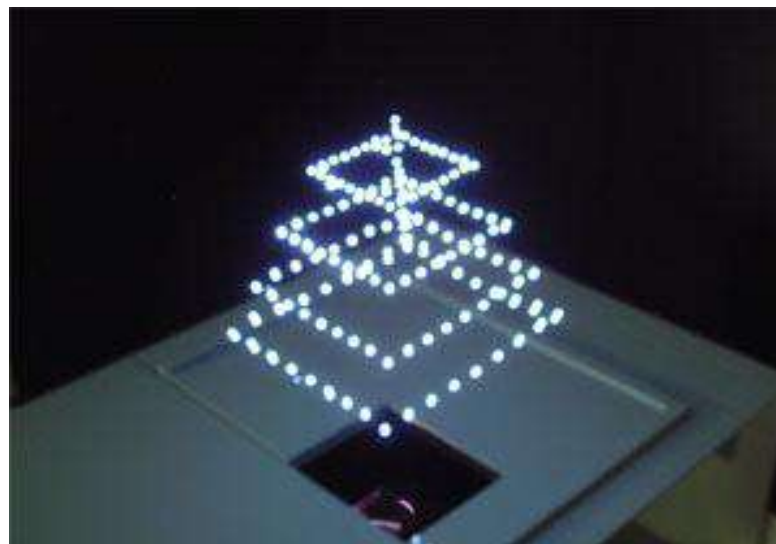
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

VOLUMETRICKÉ ZOBRAZOVANIE

Pri volumetrickom zobrazení sa vytvára skutočný priestorový obraz. Body priestorového telesa slúžiace ako display, vytvárajú buď skutočné priestorové teleso, napr. kocka, alebo rýchlo rotujúca doska. Obraz je vytváraný rozsvietením príslušných bodov v priestore

- *výhody*: obraz vytváraný rozsvietením bodov v 3D nevyžaduje pomôcky, nespôsobuje nevoľnosť
- *nevýhody*: z 2D cues nepodporuje prekrytie objektov, technicky veľmi náročné

VOLUMETRICKÉ ZOBRAZOVANIE (AJ HISTORICKY)

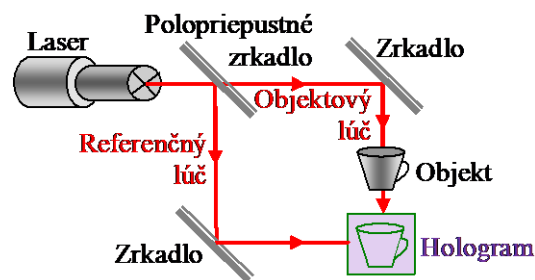


gCubik 3D displej

HOLOGRAFIA

Teória holografického zobrazenia objektov v priestore je známa od roku 1947. Objavitel'ovi teórie, vedcovi maďarského pôvodu Dennisovi Gáborovi, však vtedy k realizácii zobrazovača hologramu chýbal zdroj koherentného svetla - laser. Objavenie laseru v roku 1960 bolo preto veľmi významným prínosom pre aplikáciu teórie holografie. Holografia je v skutočnosti založená na princípe interferencie. Hologram zachytáva interferenčný obrazec medzi dvoma alebo viacerými lúčmi koherentného svetla (t.j. laserového svetla). Rovnako významným prínosom sa zdá byť technické zvládnutie generovania hologramov počítačom, t.j. digitálnou cestou.

- *výhody*: skutočný priestorový obraz, rešpektujúci všetky faktory pre verné 3D zobrazenie, nevyžaduje pomôcky, nespôsobuje nevoľnosť
- *nevýhody*: technicky veľmi náročné



Hologram



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



Holografický zobrazovač

Zariadenie na zobrazenie 3D holograficky pôsobiaceho obrazu (nie je to „skutočný hologram“ v fyzikálnom zmysle opísanom vedľa). Zobrazovač je založený na efekte Pepper's Ghost. Tento efekt je známy už od 19. storočia v súčasnosti v digitálnej podobe. Zobrazovaný objekt sa javí, akoby levitoval vo vzduchu v strede "pyramídy". Na šikmom priehľadnom skle jej stien sa odráža obraz zobrazovaný na displeji umiestnenom nad ňou.

<https://www.assignmentpoint.com/science/physics/describe-about-holography.html>

LIGHT-FIELD, MULTIFOCAL A VARIFOCAL DISPLEJE

- *Light-field displeje* (displeje na báze svetelného poľa) sú technológie zobrazujúce celé svetelné pole, nielen farbu a jas každého bodu, ale aj smer, z ktorého svetlo vychádza. Tým sa zobrazuje skutočný 3D obraz, ktorý pozorovateľ vidí bez použitia tesne-viazaných prvkov (napr. bez 3D okuliarov). Tieto displeje *generujú viacnásobné smery svetelných lúčov a pritom umožňujú správnu akomodáciu oka. Využívajú volumetrické a holografické princípy. Ich výhodou je, že potláčajú VAC a poskytujú prirodzenejší priestorový vnem. Zatiaľ nevýhodou je vysoká výpočtová a hardvérová náročnosť, obmedzené rozlíšenie a vysoká cena*
(<https://www.nature.com/articles/s41377-025-01752-x>)
- *Multifokálne (viacohniskové) zobrazovacie systémy* stoja medzi light-field a varifokálnymi systémami. Sú schopné zobrazovať obraz na viacerých ohniskových vzdialenostiach naraz. Multifokálny displej zobrazuje scénu na niekoľkých diskretných ohniskových rovinách (napr. 0.3m, 0.5m, 1 m, nekonečno) použitím niekoľkých priehľadných displejov za sebou alebo jedným displejom s optikou s extrémne rýchlym prepínaním ohniskovej vzdialenosti. Potom oči nie sú nútené neustále zaostrovať na jednu pevnú rovinu displeja, ale môžu vnímať hĺbku prirodzenejšie než pri klasických 3D systémoch (VAC konflikt).
(<https://link.springer.com/article/10.1186/s43074-020-00010-0>)
- *Varifokálne (adaptívne s meniacim sa ohniskom) zobrazovacie systémy* dynamicky menia zaostrovaciu vzdialenosť obrazu podľa toho, kam sa používateľ pozerá. Celý displej alebo šošovky sa drobne posúvajú vpred/vzad. Cieľom je, aby sa oči správali prirodzene s riešením VAC konfliktu a tým sa zvýšil komfort používateľa v XR.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030399225006449>)



Light-field displej

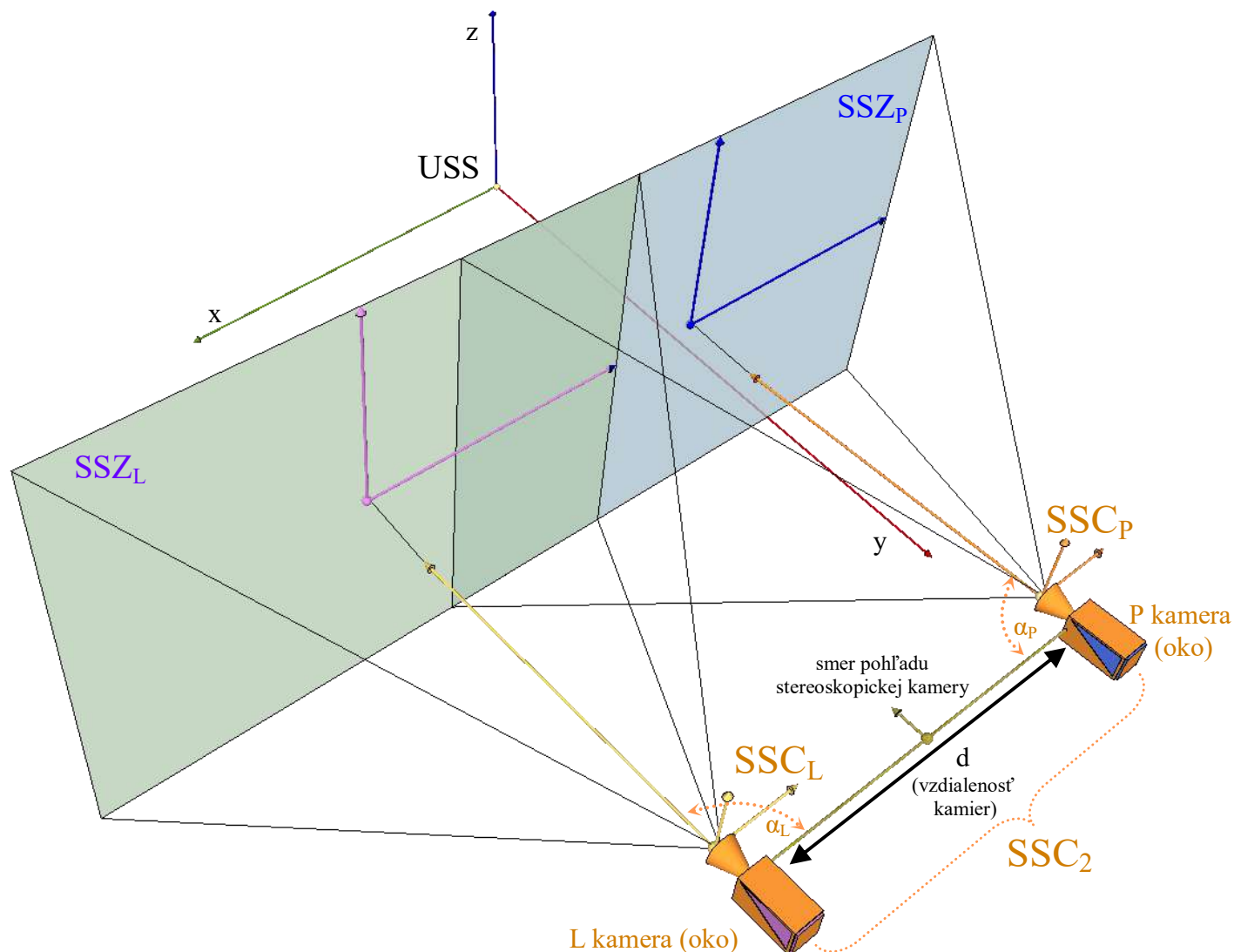
<https://lookingglassfactory.com/looking-glass-27>



Meta headset s retinálnym (projekcia na sieťnicu) varifokálnym displejom

Zobrazovanie v tesneviazaných systémoch XR smeruje k adaptívnym a viacohniskovým zobrazovacím systémom

STEREOSKOPICKÁ SÚRADNICOVÁ SÚSTAVA

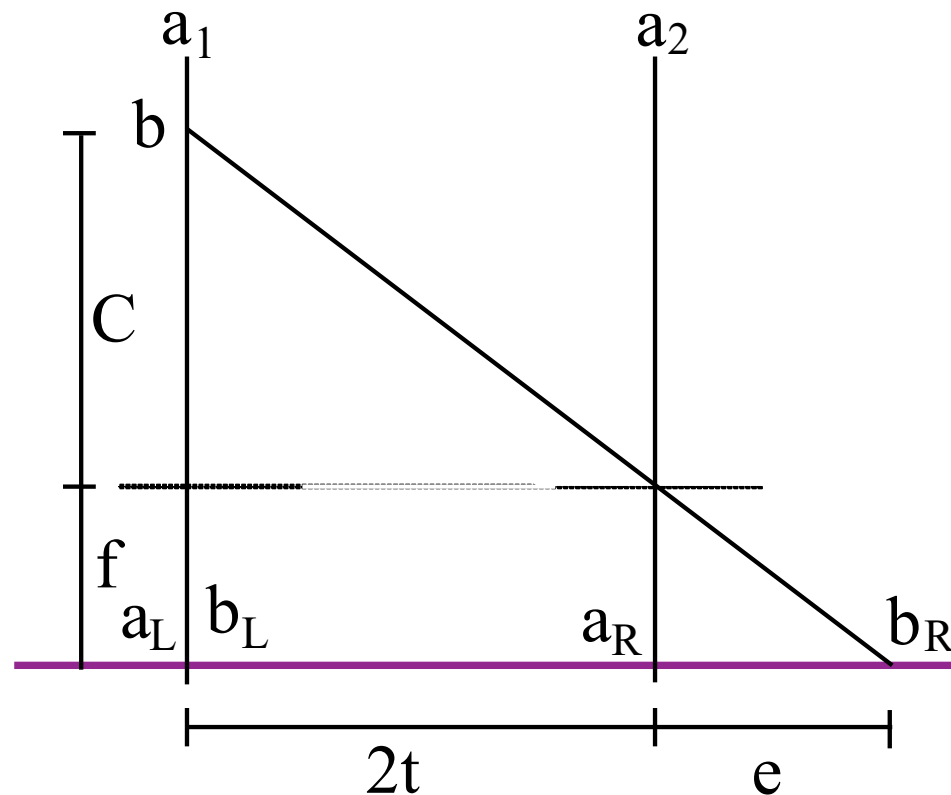


PRINCÍP ZOBRAZENIA

PARAMETRE VIRTUÁLNEJ KAMERY

- f - ohnisková vzdialenosť
- $2t$ - stereoskopická základňa pre získanie obrazov
- C - vzdialenosť najbližšej zobrazovanej roviny
- e - lineárna paralaxa nekonečna

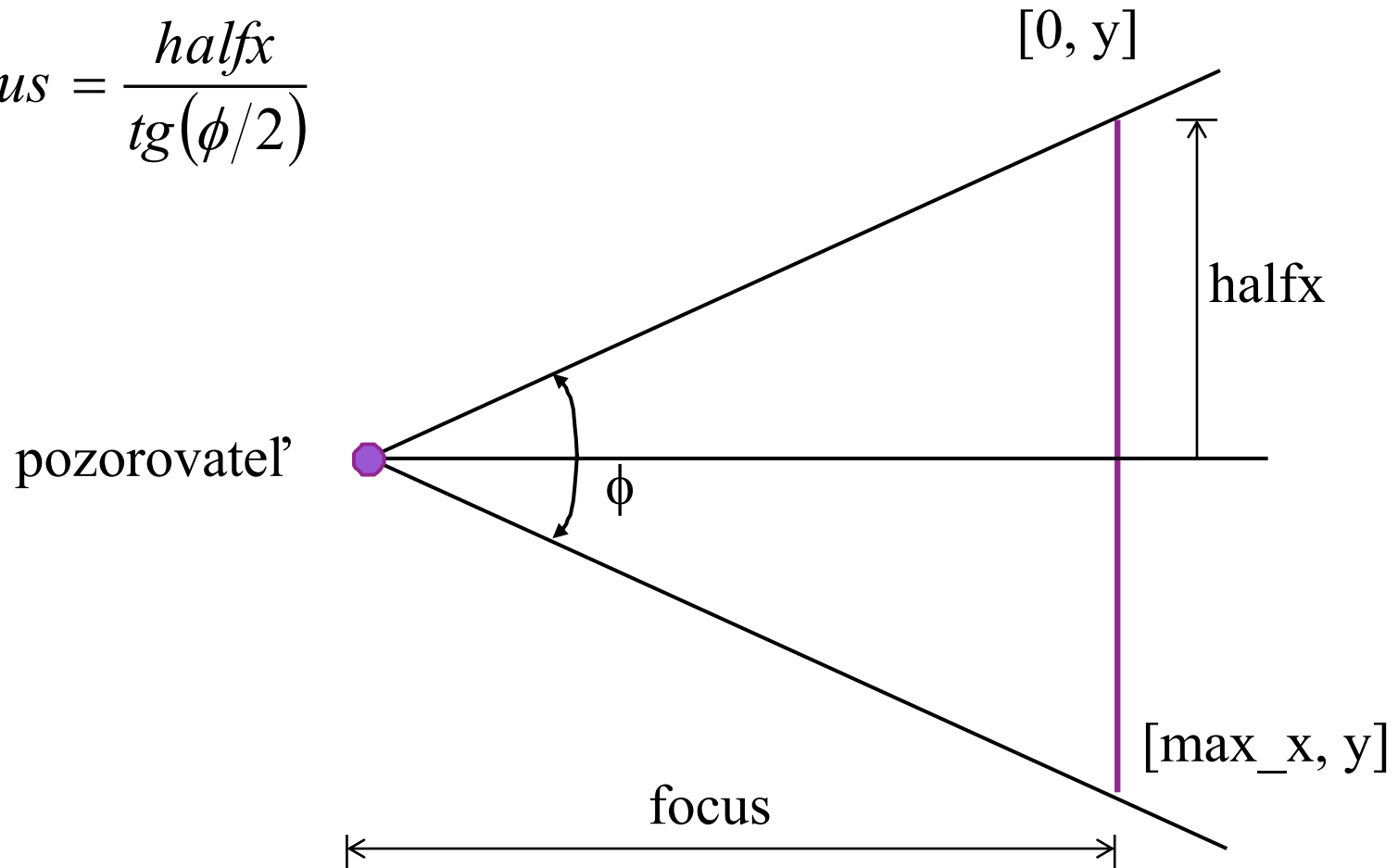
$$t = \frac{C \cdot e}{2 \cdot f}$$



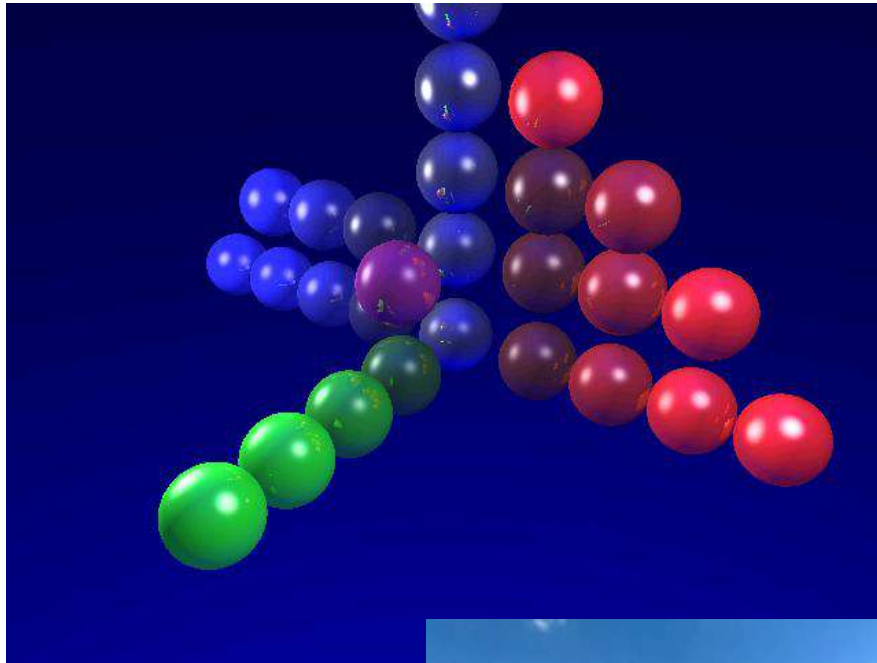
PRINCÍP ZOBRAZENIA

URČENIE OHNISKOVEJ VZDIALENOSTI

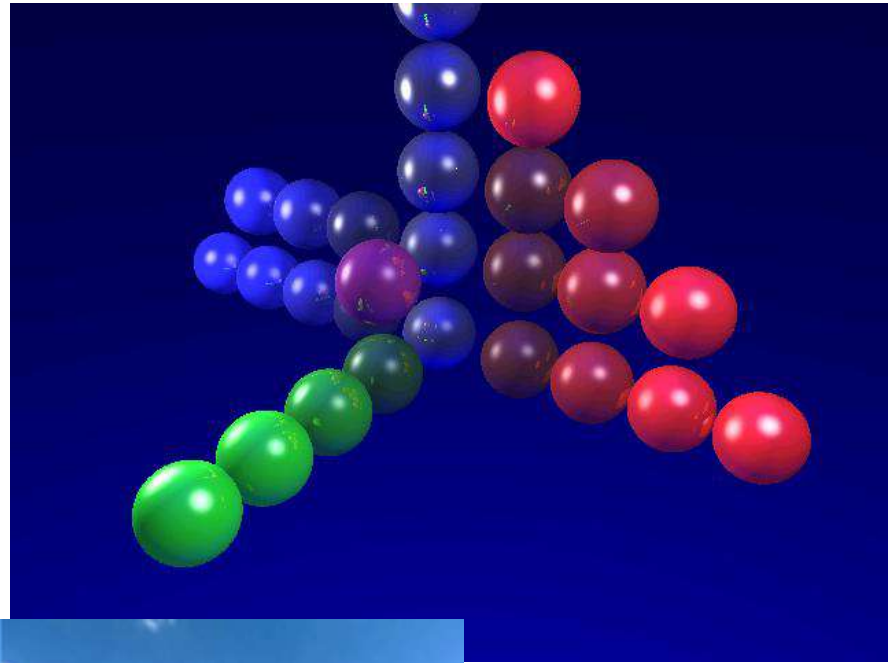
$$focus = \frac{halfx}{tg(\phi/2)}$$



STEREOSKOPICKÝ VÝSTUP



L



P



(zdroj KPI FEI TU Košice)

STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

TYPY

- podľa umiestnenia zdroja
 - priama (predná) projekcia
 - spätná projekcia
- podľa spôsobu vytvárania stereoefektu
 - pasívny
 - anaglyf
 - lineárna polarizácia
 - cirkulárna polarizácia
 - eliptická polarizácia
 - Infitec
 - aktívny



STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

MONITORY A TV

- **pasívne**

- anaglyf
- polarizácia:
 - lineárna (horizontálna)
 - kruhová (cirkulárna)
 - eliptická
 - Infitec
- zdrojový tvar obrazu:
 - ľavo/pravý horizontal

- **aktívne**

- polarizácia: bez priamej podpornej polarizácie
- synchronizácia: IrDa, RF, BT, USB
- zdrojový tvar obrazu:
 - ľavo/pravý horizontal
 - ľavo/pravý časovo prekladaný

- **autostereoskopické**

- polarizácia: bez priamej podpornej polarizácie
- technológia:
 - prizmová mriežka (paralaxná bariéra)
 - lentikulána
 - aktívne riadenie
- zdrojový tvar obrazu:
 - ľavo/pravý horizontal
 - obraz + hĺbková mapa

(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

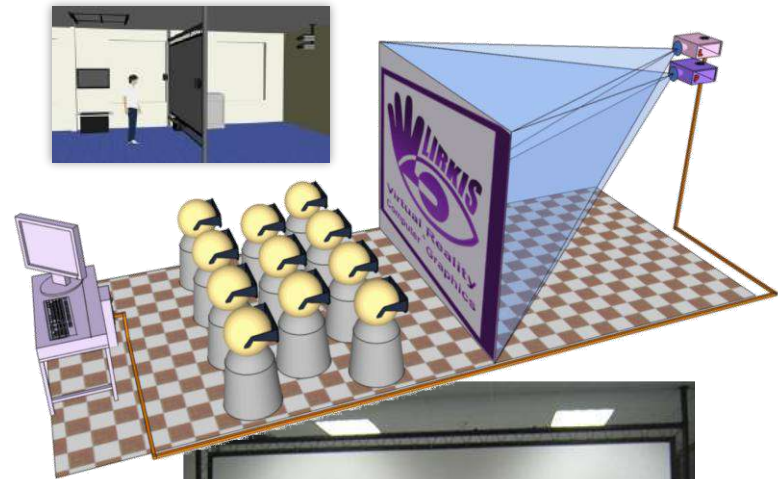


STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

PRIAMA A SPÄTNÁ PROJEKCIA



Priama projekcia



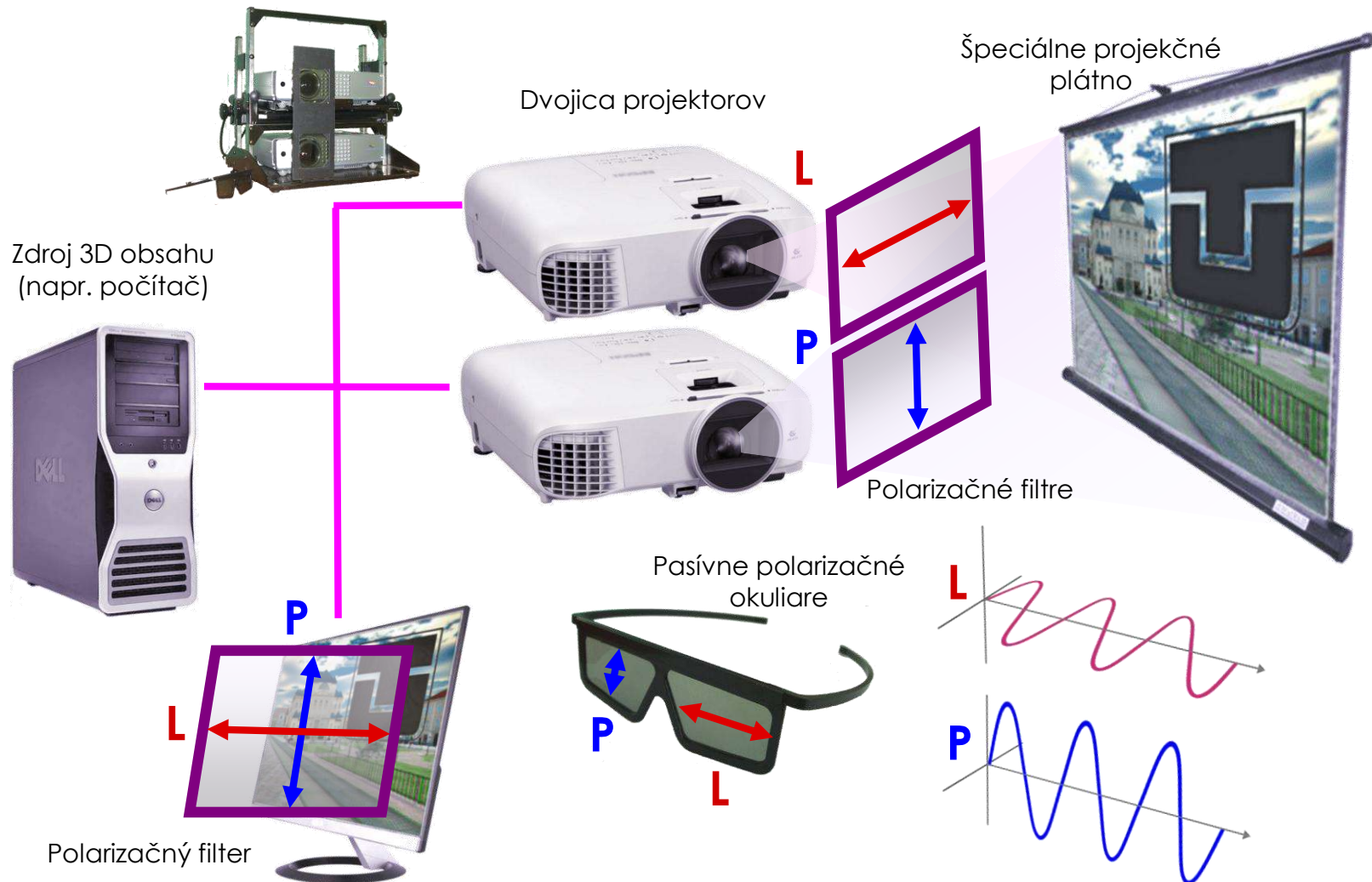
(zdroj KPI FEI TU Košice)



Spätná projekcia

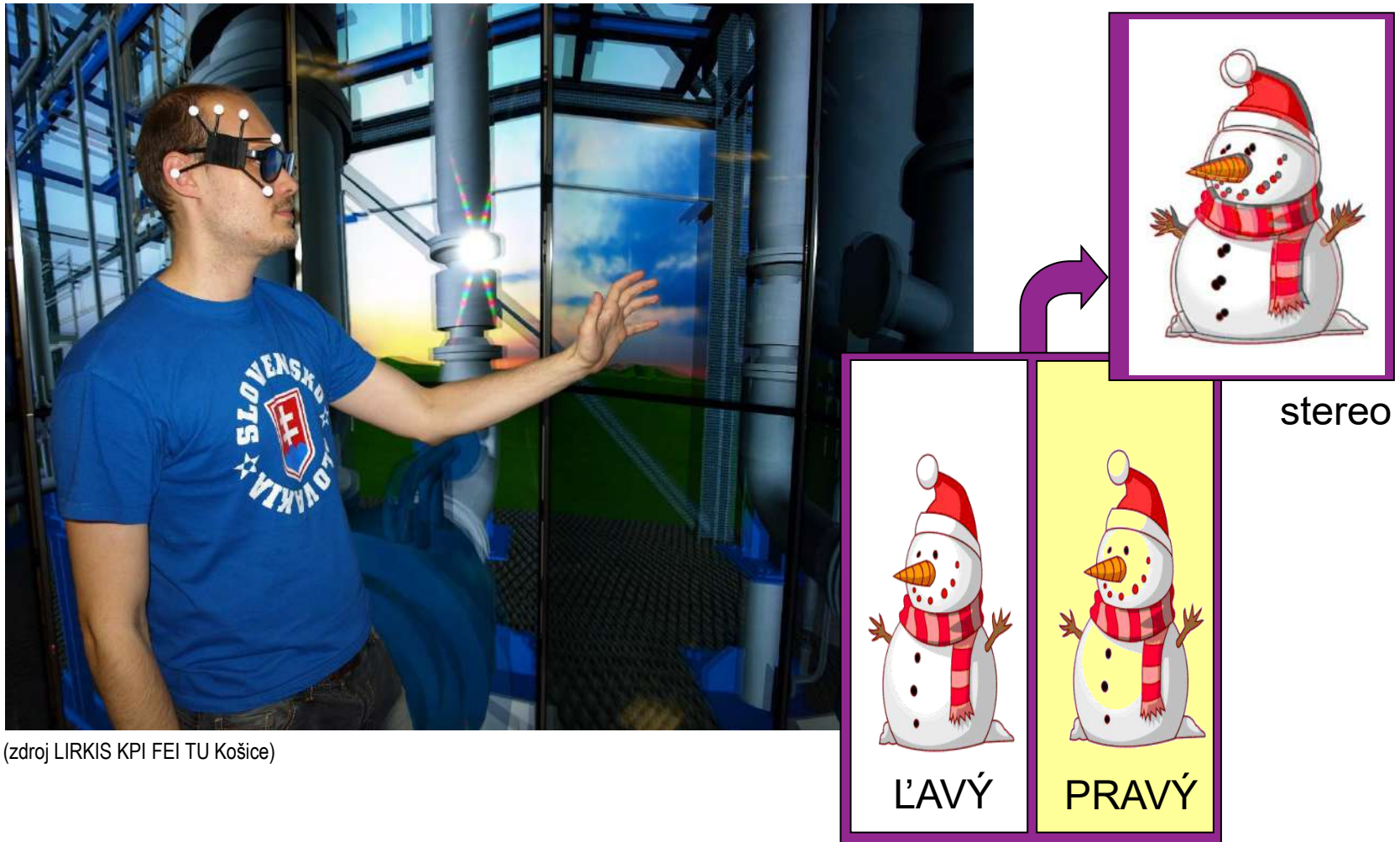
STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

PASÍVNY STEREOSKOPICKÝ SYSTÉM



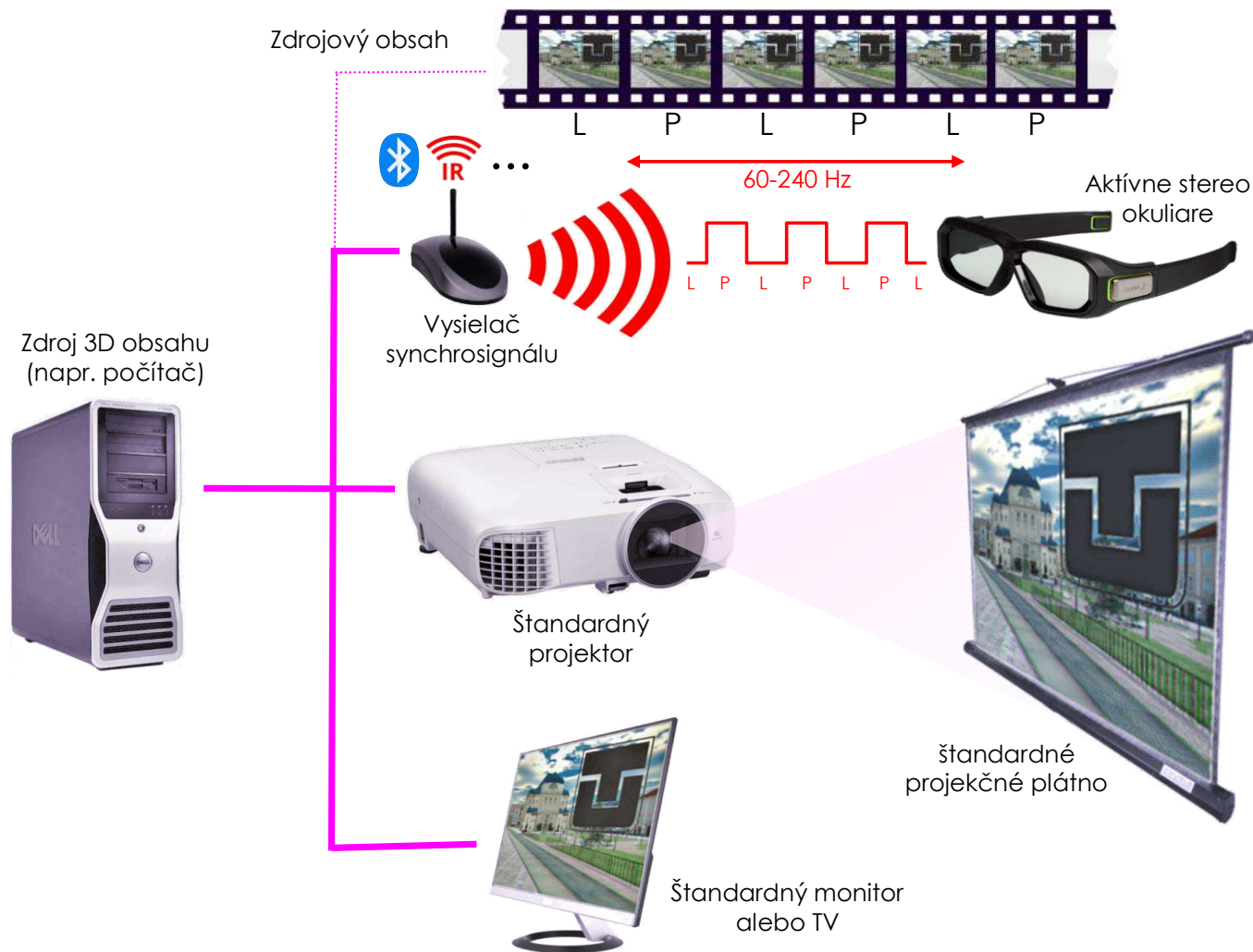
STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

PASÍVNA CIRKULÁRNA POLARIZÁCIA POUŽITÁ VO VIRTUÁLNEJ JASKYNI



STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

AKTÍVNY STEREOSKOPICKÝ SYSTÉM



STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

AKTÍVNE SYSTÉMY DYNA SIGHT A NVIDIA, HEMISFÉRICKÝ SYSTÉM (PRÍKLADY, HIST.)



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



VisionStation, Elumens Inc.



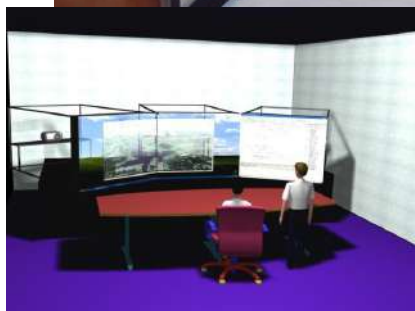
nVidia 3D Vision



DynaSight™ senzor

STEREOSKOPICKÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY

VEĽKOPLOŠNÉ ZOBRAZOVACIE SYSTÉMY A VIRTUÁLNE JASKYNE

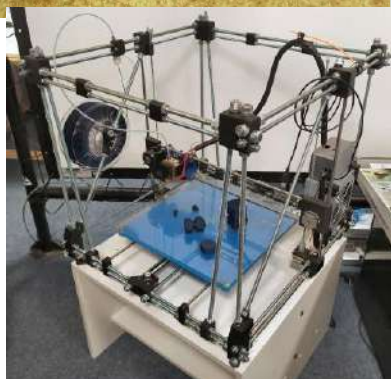


(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

3D TLAČ AKO PRIESTOROVÝ VÝSTUP



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



využitie aj pre slepých ľudí

STEREOSKOPICKÉ SNÍMACIE SYSTÉMY

STEREOSKOPICKÉ SNÍMANIE

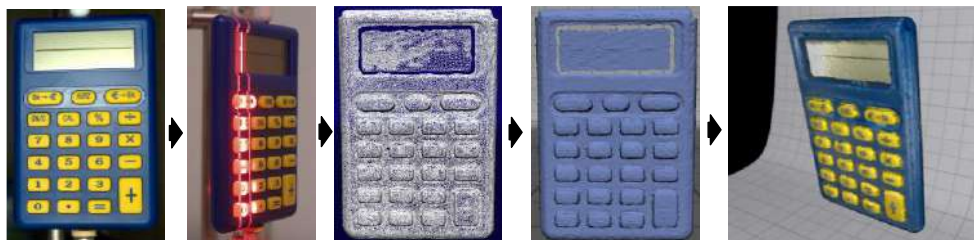


(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



3D SKENOVANIE

PROCES A PRÍKLADY 3D SKENEROV



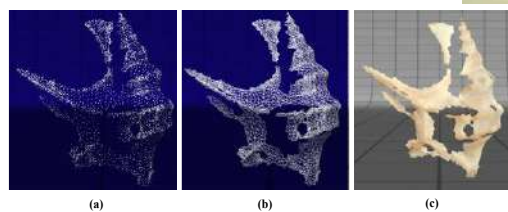
(a)

(b)

(c)

(d)

(e)



(a)

(b)

(c)



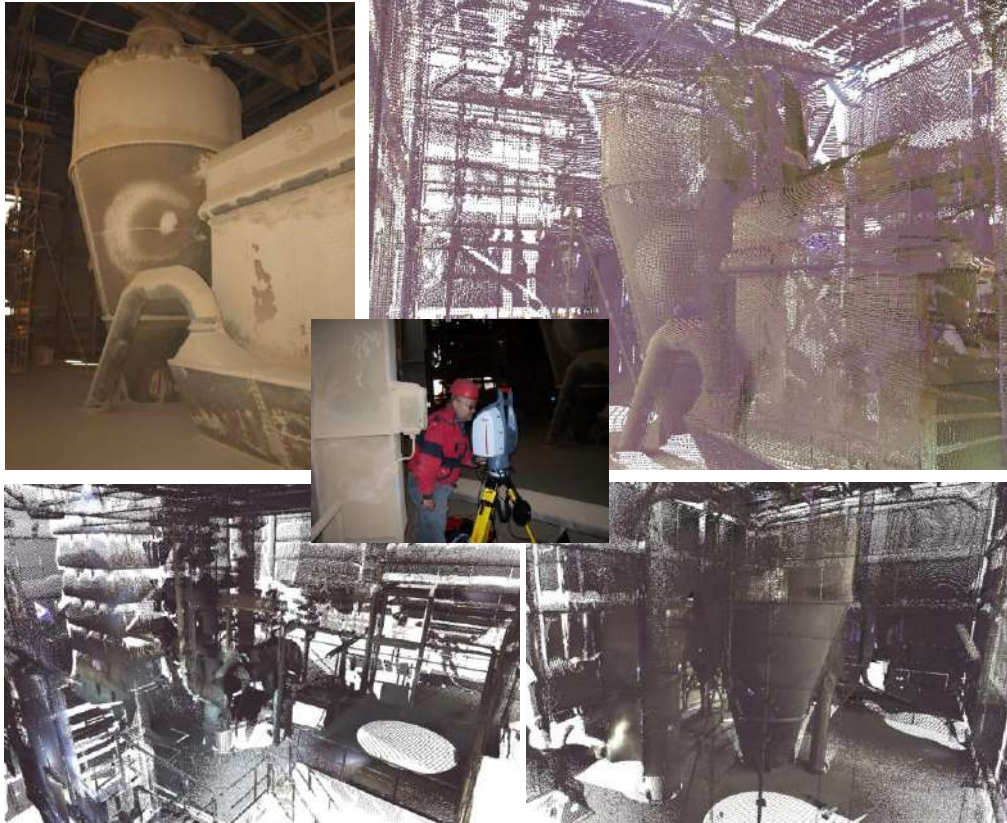
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

Stolný 3D skener s
autopoložovacím zariadením

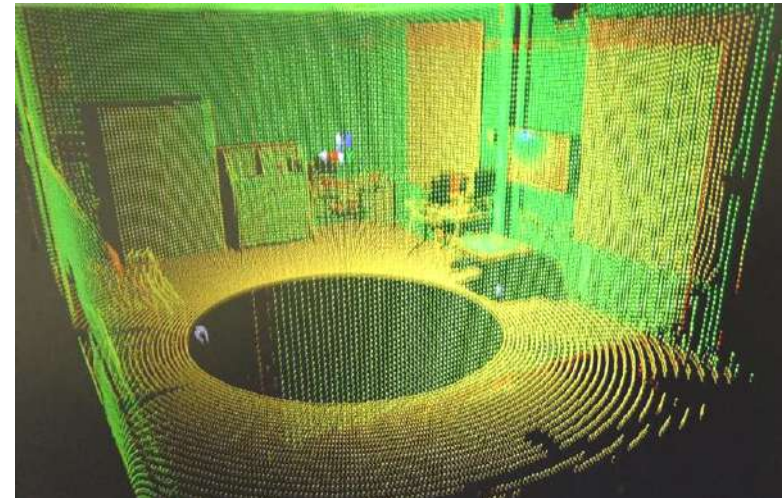
3D skener Leica ScanStation 2

3D SKENOVANIE

PRÍKLADY 3D SKENOV



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)



**3D sken časti laboratória LIRKIS
KPI FEI TU Košice vo forme
mračna bodov**

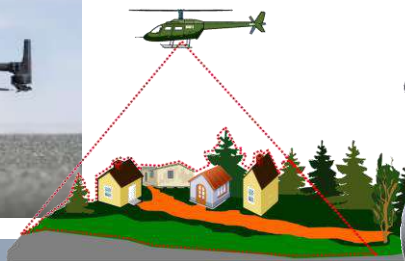
(neskenovaná kruhová oblasť je miesto
umiestnenia 3D skenera)

**Ukážka reálnej priemyselnej scény (SMZ Jelšava) a jej následného
3D skenu vrátane výsledných virtualizovaných priestorov**

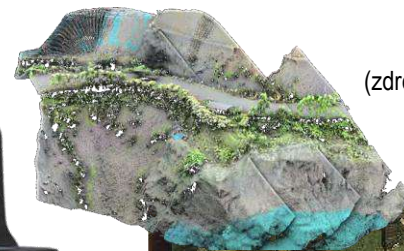
3D SKENOVANIE

LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)

LiDAR je špecifická technológia 3D skenovania, ktorá vysiela laserový impulz a meria čas návratu svetla z čoho následne vypočíta vzdialenosť. Používa sa najčastejšie v exteriéri. Typickými vlastnosťami tejto technológie je schopnosť práce na desiatky až tisíce metrov s pomerne vysokou presnosťou v priestore a výstupom na báze mračien bodov (point cloud). Najčastejšie použitie je pri mapovaní terénu, autonómnych vozidlách, dronoch a lietadlách, geodézii, archeológii či lesníctve.



Lidar



(zdroj <https://www.microgeo.it/>)



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

RIEŠENIE KOLÍZIÍ VO VIRTUÁLNYCH SCÉNACH

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 08

© 2026

KOLÍZIE VO VIRTUÁLNYCH SCÉNACH

ZÁKLADNÉ POJMY

- **Kolízia** - je stav alebo udalosť, pri ktorej sa dve alebo viaceré entity (napr. objekt, avatar, kamera a pod.) vo virtuálnom alebo zmiešanom priestore "fyzicky" dotknú, prekryjú alebo narazia do seba podľa zvolenej geometrickej a prípadne fyzikálnej reprezentácie systému. V danom momente spravidla entity alebo ich zjednodušené kolízne útvary zaberajú/obsadzujú rovnakú časť virtuálneho alebo zmiešaného priestoru, čo predstavuje neželaný alebo hraničný stav vyžadujúci riešenie/spracovanie.
- **Kolajder** (*kolízny objekt/útvár*, angl. *collider*) - je spravidla neviditeľný geometricky zjednodušený útvar, ktorý slúži na detekciu kolízií medzi objektmi vo virtuálnom prostredí. Kolajder určuje fyzikálny tvar objektu (spravidla ho ohraničuje) pre účely kolízií, zachytáva dotyky, nárazy alebo prekrytia s inými objektami alebo ich kolajdermi. Najčastejšie používané typy kolajderov sú: guľa (Sphere Collider), kváder (Box Collider), konvexná obálka (Mesh Collider, najpresnejšie ale výpočtovo náročné) a kapsula (Capsule Collider, najčastejšie pre postavy).



KOLÍZIE VO VIRTUÁLNYCH SCÉNACH

ZÁKLADNÉ TYPY RIEŠENÝCH KOLÍZIÍ

- Kolízie medzi avatarom (kamerou) a virtuálnou scénou/svetom
- Kolízie medzi avatarom (kamerou) a dynamickými virtuálnymi objektami
- Kolízie medzi avatarmi (multiobserver)
- Kolízie medzi dynamickými virtuálnymi objektami a virtuálnou scénou /svetom
- Kolízie medzi dynamickými virtuálnymi objektami

a reakcie na kolízie



DÔVODY RIEŠENIA KOLÍZIÍ

- Detekcia kolízie a následné zastavenie pohybu
- Detekcia kolízie a následná zmena trajektórie pohybu
- Aby sa neprechádzalo kamerou cez objekty scény
- Využíva sa pri senzorickej systéme napr. na vykreslenie doplnkových informácií na obrazovku pri vstupe do senzorickej oblasti



KOLÍZIE VO VIRTUÁLNYCH SCÉNACH

- **Detekcia kolízie** (collision detection). Rieši otázku „Došlo ku kolízii ?“
 - vznik kolízie – indikácia.
 - forma kolízie
 - objekty kolízie
 - čas kolízie
- **Reakcia na kolíziu** (collision response). Rieši otázku „Čo sa stane po kolízii ?“
 - správanie sa objektov podľa fyzikálnych zákonov
 - deformácia objektov
 - animačné efekty



POSTUP DETEKCIE KOLÍZIE

1. Výber objektov na detekciu kolízie
2. Utriedenie objektov na detekciu kolízie. Vybratie vhodného algoritmu a metód
3. Použitie vhodného algoritmu a metód detekcie kolízie. Test vylúčenia
4. Výpočet kolízie medzi objektami
5. Indikácia detekcie kolízie



TYPY KOLÍZNYCH SENZOROV (TRIGEROV)

- **vertikálny senzorový polygón** – určený na detekciu z pohľadu zobrazovača s napojením na definovaný typ ukazovacieho zariadenia, ktoré používa pozorovateľ (napr. myš alebo dátová rukavica). Po zistení polohy a stlačení definovaného aktivačného prvku (napr. tlačidla myši sa napr. zobrazia príslušné informácie)
- **horizontálny senzorový polygón** – určený na detekciu polohy kamery a aktivuje sa automaticky pri zistení kolízie. Jedná sa v princípe o polohový senzor.
- **pohľadový senzor** – určený na detekciu ihlana pohľadu kamery a aktivuje sa v prípade ak sa objekt dostane do zorného poľa kamery. V tomto prípade je nutné ešte detekovať najbližší objekt k osi pohľadu, pretože v ihlane pohľadu sa môže nachádzať viacero objektov.



TYPY KOLAJDEROV

Najčastejšie používané typy kolajderov sú:

- **guľa** (Sphere Collider), pretože je to najjednoduchší geometrický útvar a dokáže byť rýchlo vypočítany/určený,
- **kváder** (Box Collider), pretože umožňuje najefektívnejšie delenie priestoru,
- **tesná konvexná obálka** (Mesh Collider) pretože je najpresnejší typ ale výpočtovo náročný,
- **kapsula** (Capsule Collider) používaná najčastejšie ako kolajder postavy.



MODELY OBJEKTOV PRE KOLÍZIE

- **Polygonálne**
 - *Štrukturované* (konvexné alebo nekonvexné (konkávne) polygóny)
 - *Neštrukturované* (polygóny, ktoré nie sú pospájané a nemajú informáciu o typológii modelu)
- **Nepolygonálne** (napr. výsledok určitej funkcie, implicitné resp. parametrické plochy)

Pre každý z týchto modelov existuje iná forma detekcie kolízie

FÁZY DETEKCIE KOLÍZIE

Štandardne vo fyzikálnych a herných enginoch sa používa dvojfázová architektúra (v náväznosti na postup detekcie kolízie)

1. Hrubá fáza (Broad Phase)

- rýchle vylučovacie testy
- pracuje s aproximáciami/zjednodušeniami objektov (kolajdre)
- cieľom je výrazne znížiť počet testovaných dvojíc
- typické metódy:
 - BSH (Bounding Sphere Hierarchy)
 - AABB / OBB hierarchie
 - priestorové delenie (napr. BSP alebo OCTREE)

2. Jemná fáza (Narrow Phase)

- presná geometrická detekcia
- pracuje len s objektmi vybranými v hrubej fáze
- typické metódy:
 - OBB
 - konvexné obálky (CHs)
 - presné priesečníkové testy



ALGORITMY DETEKCIE KOLÍZIE

- Podľa reprezentácie detekcie kolízie:
 - *Detekčné*: reprezentácia iba pomocou logických hodnôt - true, false.
 - *Určujúce*: reprezentácia pomocou priesečníkov, kolíznych čiar a podobne.
- Podľa počtu objektov, ktoré sa vyskytujú pri výpočte detekcie kolízie (štandardne):
 - “*N- Body system*” – Výpočet detekcie kolízie sa robí naraz so všetkými pohybujúcimi sa objektmi a zisťuje sa čas, kedy ku kolízii dôjde pri známej rýchlosti objektov.
 - “*2-Body system*” – Výpočet sa robí len s dvoma objektmi bez ohľadu na to, či sa objekty pohybujú alebo nie.



ALGORITMY DETEKcie KOLÍZIE

Algoritmus Kontinuálnej detekcie kolízií (Continuous Collision Detection (CCD))

Jedná sa o diskretnú detekciu, ktorá testuje kolíziu/ie len v diskretných časových krokoch. Je mimoriadne vhodná pri rýchlo sa pohybujúcich objektoch avšak pri veľmi vysokých rýchlostiach môže zlyhať.

- **Základnou ideou CCD** je kontinuálne sledovanie pohybu objektu v čase a hľadá presný okamih kolízie (time of impact)
- **Základnou metódou** je vytvorenie kolajdra vo forme objemu vytvoreného pohybom (swept volume) počas definovaného času. Tento objem vznikne tak, že sa určitý tvar (2D alebo 3D) pohybuje po trajektórii v priestore a prírastkovo kontinuálne sa zväčšuje. Príklady: ak je tvarom kružnica pri priamkovej trajektórii vznikne objemovo valec a ak je tvarom polkruh pri rotačnej trajektórii vznikne guľa.
- **Základným problémom** je, že objekt „preskočí“ kolíziu (tunneling). Je výpočtovo a teda procesne náročnejší.



ZÁKLADNÉ POUŽÍVANÉ MATEMATICKÉ VZŤAHY

- Veľkosť vektora

$$\|\mathbf{v}\| = \sqrt{\mathbf{v}_x^2 + \mathbf{v}_y^2 + \mathbf{v}_z^2}$$

- Vzdialenosť dvoch vektorov

$$d = d(\mathbf{v}, \mathbf{u}) = \sqrt{(u_x - v_x)^2 + (u_y - v_y)^2 + (u_z - v_z)^2}$$

- Skalárny súčin vektorov

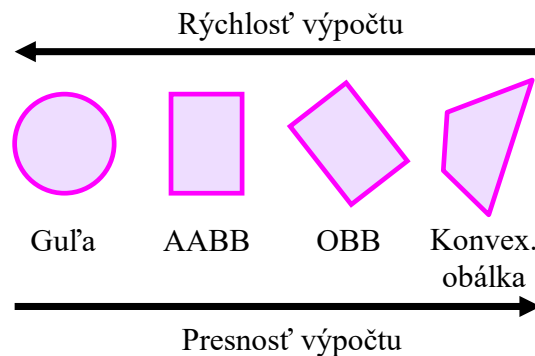
$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{u} = \|\mathbf{v}\| \cdot \|\mathbf{u}\| \cos(\mathbf{v}, \mathbf{u}) = v_x u_x + v_y u_y + v_z u_z$$

- Vektorový súčin vektorov

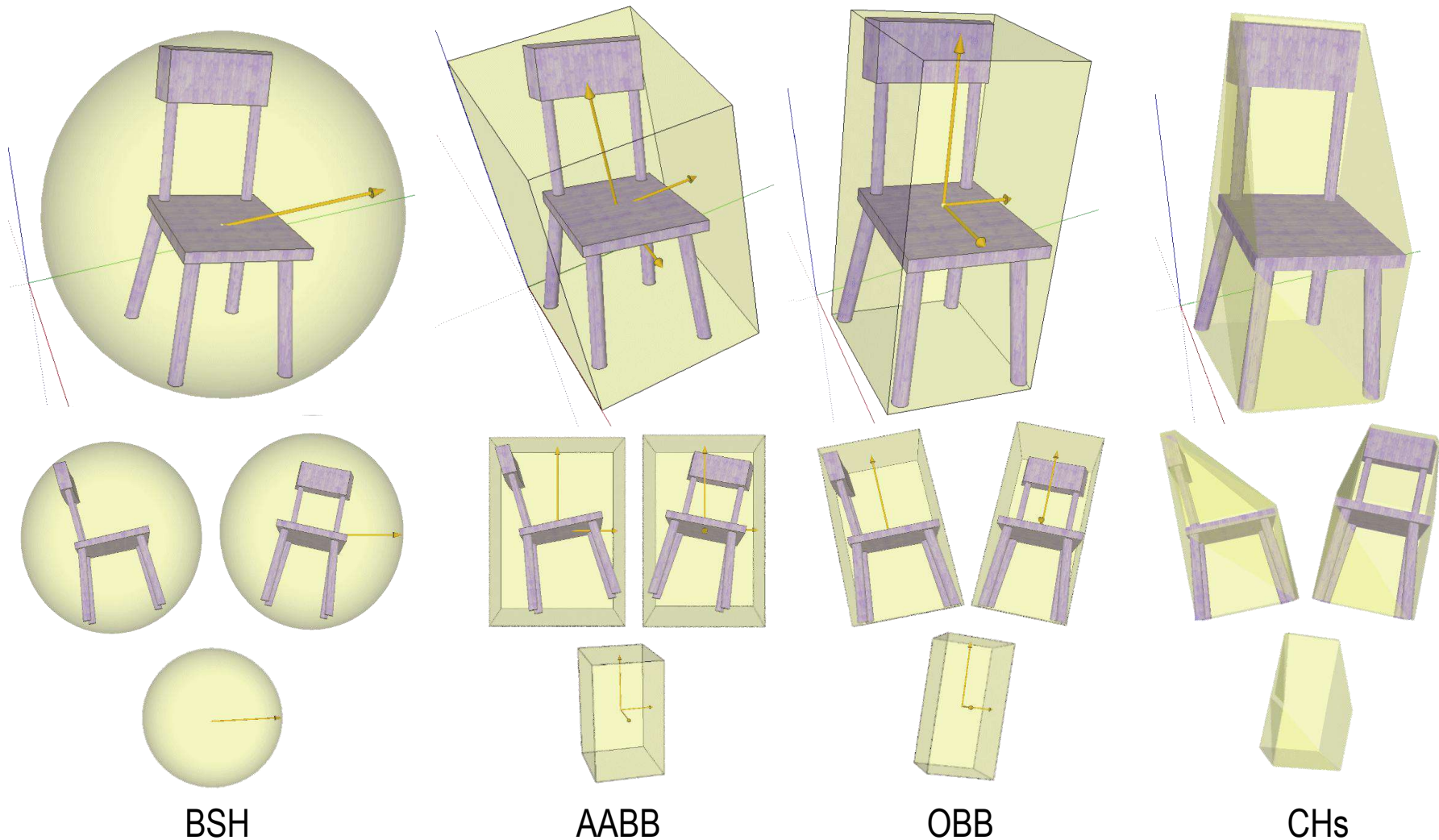
$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ v_x & v_y & v_z \\ u_x & u_y & u_z \end{vmatrix} = [a_y b_z - a_z b_y, a_z b_x - a_x b_z, a_x b_y - a_y b_x]$$

METÓDY RIEŠENIA KOLÍZIÍ

- **Hierarchia ohraničujúcich gúl** (*BSH - Bounding Spheres Hierarchy*) - Pozostáva iba z hierarchie ohraničujúcich gúl (každá guľa je definovaná stredom a polomerom). Kolízia objektov sa zistí, ak je vzdialenosť medzi dvoma stredmi gúl kratšia ako súčet ich polomerov (pozri aj Hausdorfovú dimenziu).
- **Osovo-orientované ohraničujúce kvádre** (*AABB - Axis Aligned Bounding Boxes*) - Pozostáva z množiny minimálnych/maximálnych hodnôt na osiach X , Y , Z alebo zo stredového bodu objektu a troch vektorov určujúcich vzdialenosť ohraničujúcich stien (zarovnaných vzhľadom na osi súradnicovej sústavy scény) od tohto stredového bodu.
- **objektovo-Orientované ohraničujúce kvádre** (*OBB - object-Oriented Bounding Boxes*) - Skladá sa zo šiestich polygónov pevne zviazaných s objektom, ktorý ohraničuje (v rámci sústavy SSO). Je to reprezentované maticou orientácie, stredovým bodom objektu a tromi vektormi určujúcimi vzdialenosť ohraničujúcich stien (nemusia byť zarovnané vzhľadom na osi súradnicovej sústavy) od stredového bodu objektu.
- **Systém konvexných obálok** (*CHs - Convex Hull (envelope) system*) - je to najkomplikovanejšie, ale najpresnejšie riešenie. Skladá sa z konvexných mnohoúholníkov, ktoré čo najlepšie (čo najtesnejšie) obklopujú celý objekt. Najtesnejšou obálkou je povrch konvexného objektu spravidla definovaný „mesh“ sieťou.

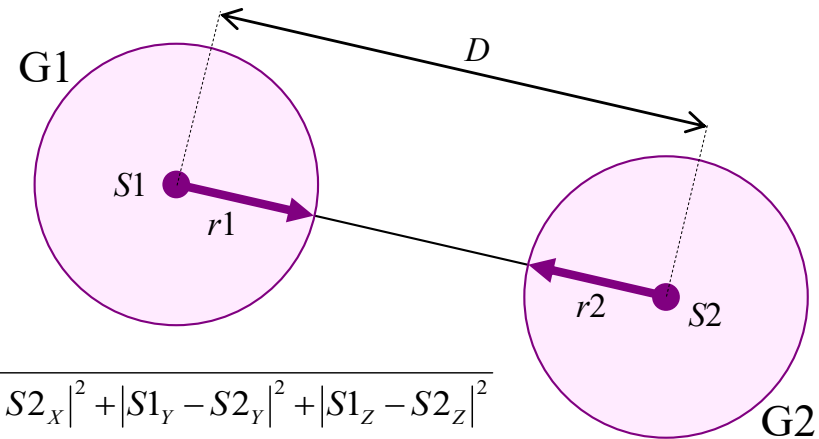
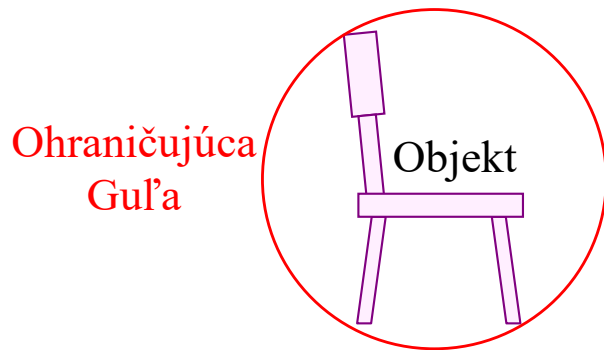


OHRANIČUJÚCE ÚTVARY PRI RIEŠENÍ KOLÍZIÍ

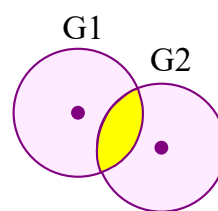
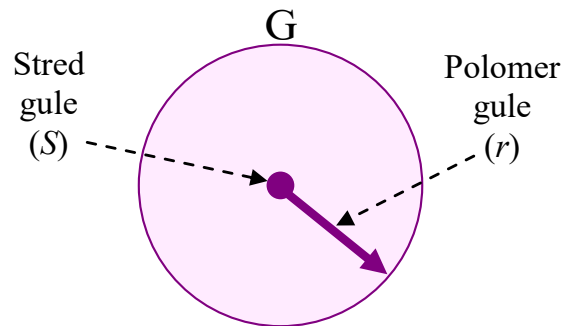


HIERARCHIA OHRANIČUJÚCICH GÚĽ

VÝPOČET DETEKcie



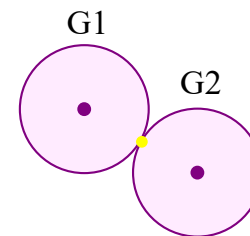
$$D = \sqrt{|S1_x - S2_x|^2 + |S1_y - S2_y|^2 + |S1_z - S2_z|^2}$$



a

$$D < r1 + r2$$

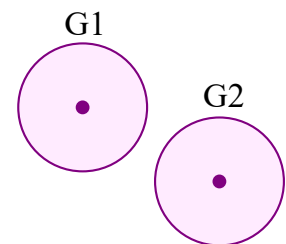
kolízia



b

$$D = r1 + r2$$

kolízia

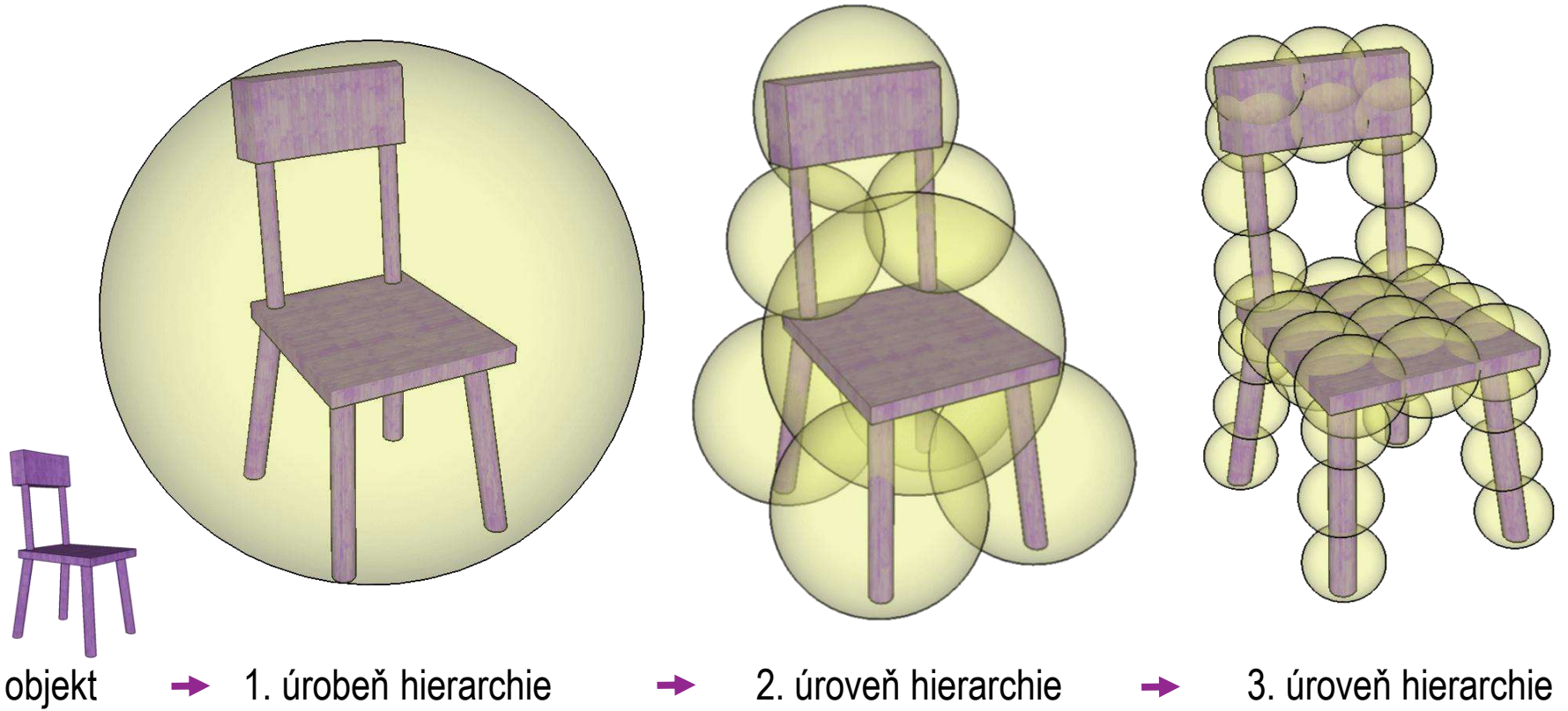


c

$$D > r1 + r2$$

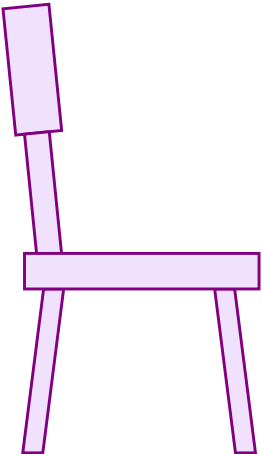
HIERARCHIA OHRANIČUJÚCICH GÚL

3D POHĽAD

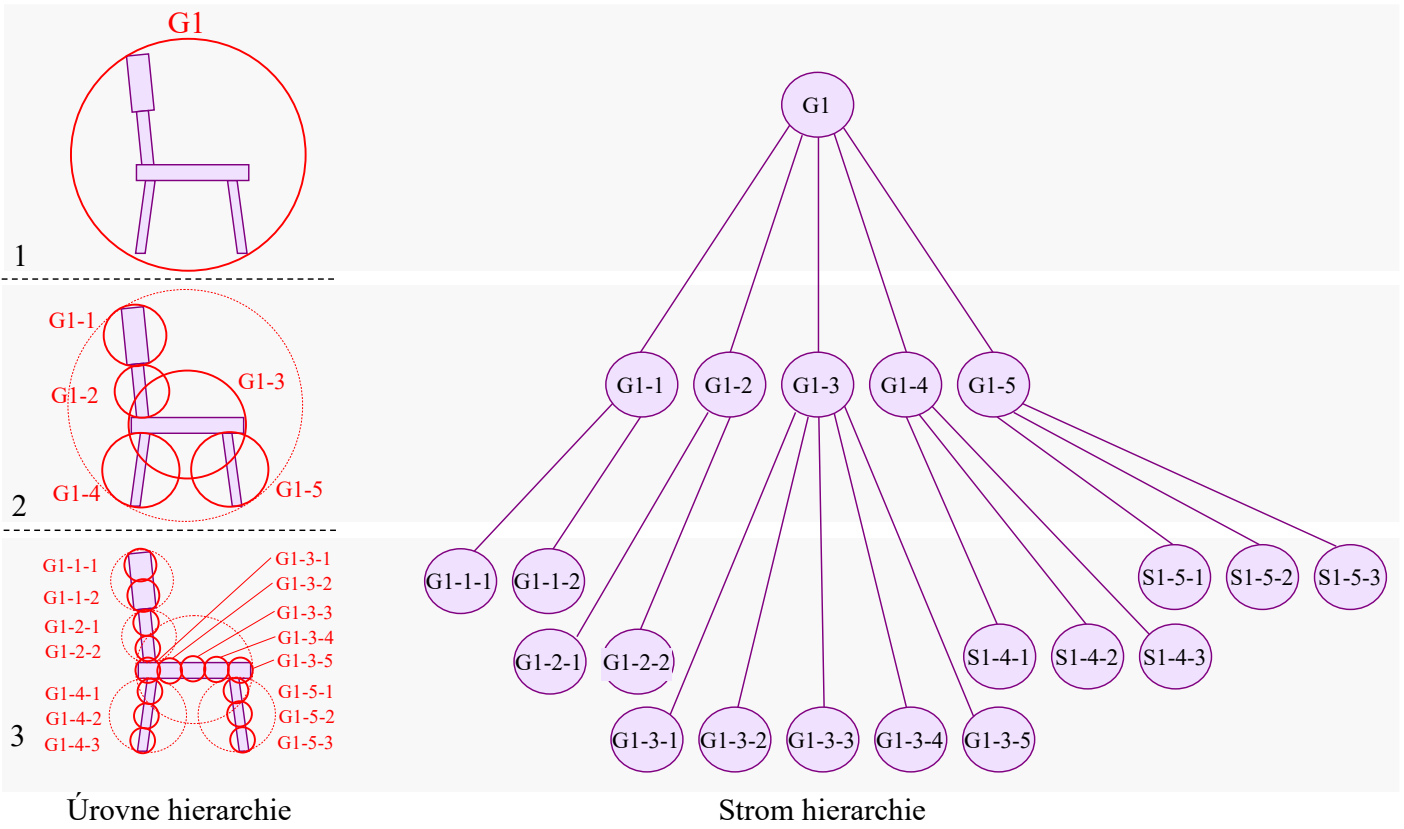


HIERARCHIA OHRANIČUJÚCICH GÚĽ

2D PROJEKCIA



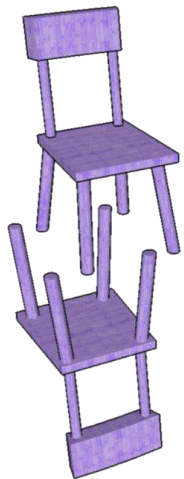
Objekt



HIERARCHIA OHRANIČUJÚCICH GÚL

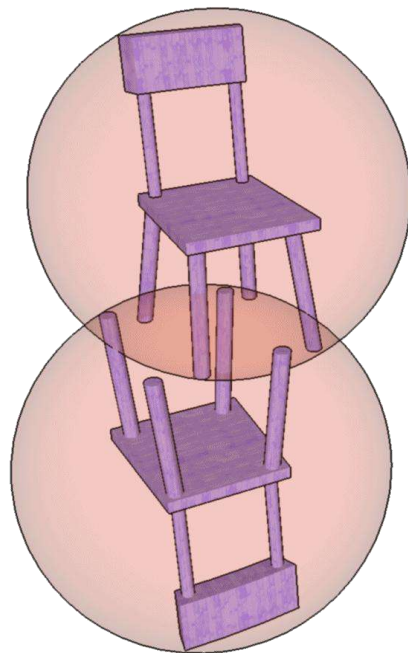
PROCES DETEKcie V 3D

Kolízia?



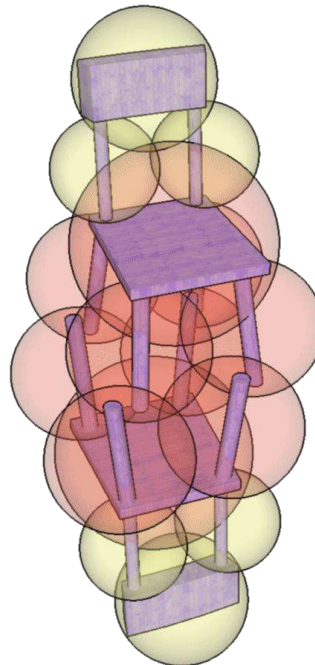
Scéna na
detekciu
kolízie

1.



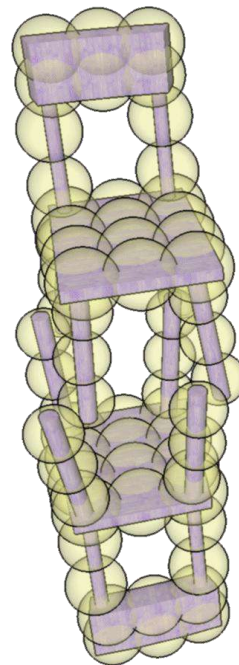
Detekcia kolízie na
1. stupni hierarchie
Kolízia ?
Áno

2.



Detekcia kolízie na
2. stupni hierarchie
Kolízia ?
Áno

3.

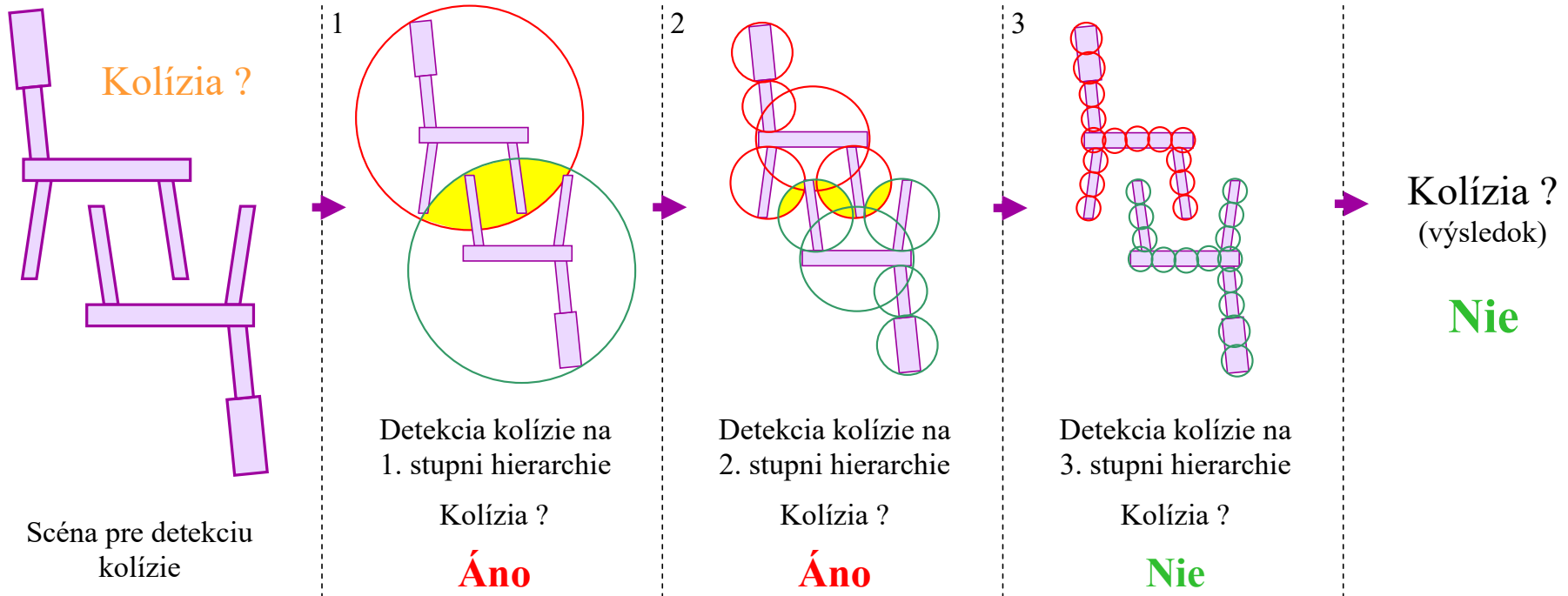


Detekcia kolízie na
3. stupni hierarchie
Kolízia ?
Nie

Kolízia?
(výsledok)
Nie

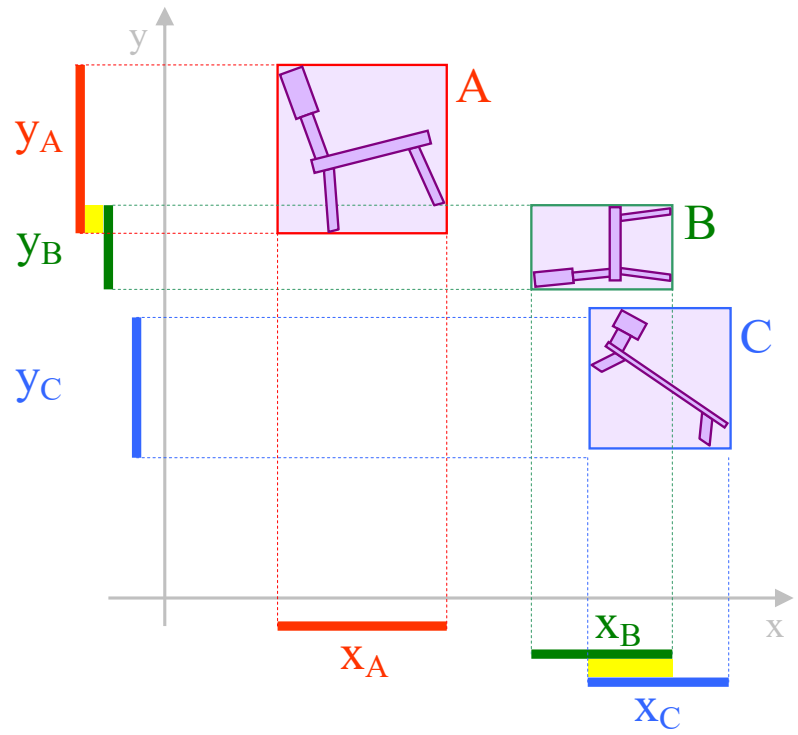
HIERARCHIA OHRANIČUJÚCICH GÚĽ

PROCES DETEKIE V 2D PROJEKCII



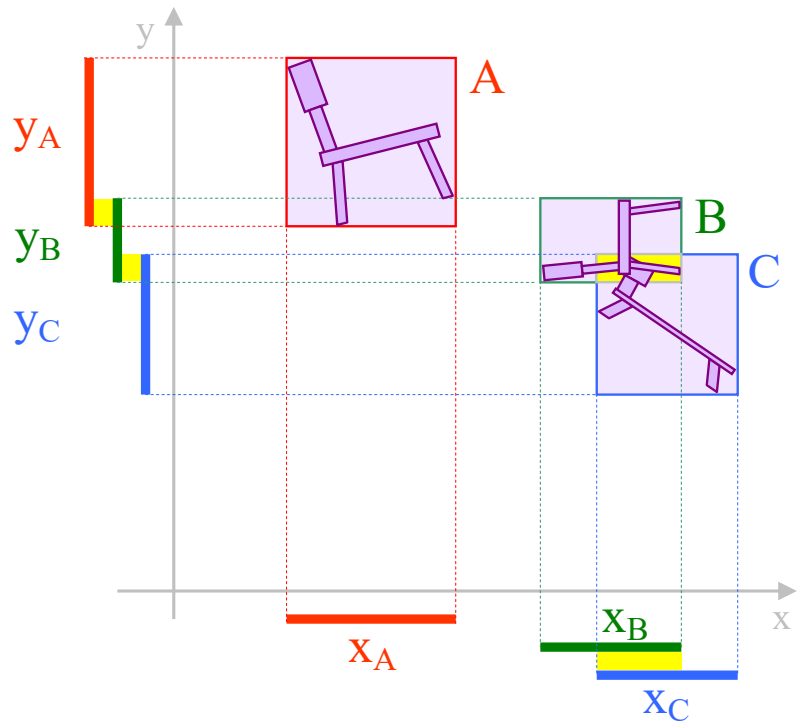
AABB - OSOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

PROCES DETEKcie V 2D



$x_A \wedge x_B =$	0	$x_A \wedge x_C =$	0	$x_B \wedge x_C =$	1
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$y_A \wedge y_B =$	1	$y_A \wedge y_C =$	0	$y_B \wedge y_C =$	0
	$=$		$=$		$=$

kolízia ? 0 0 0

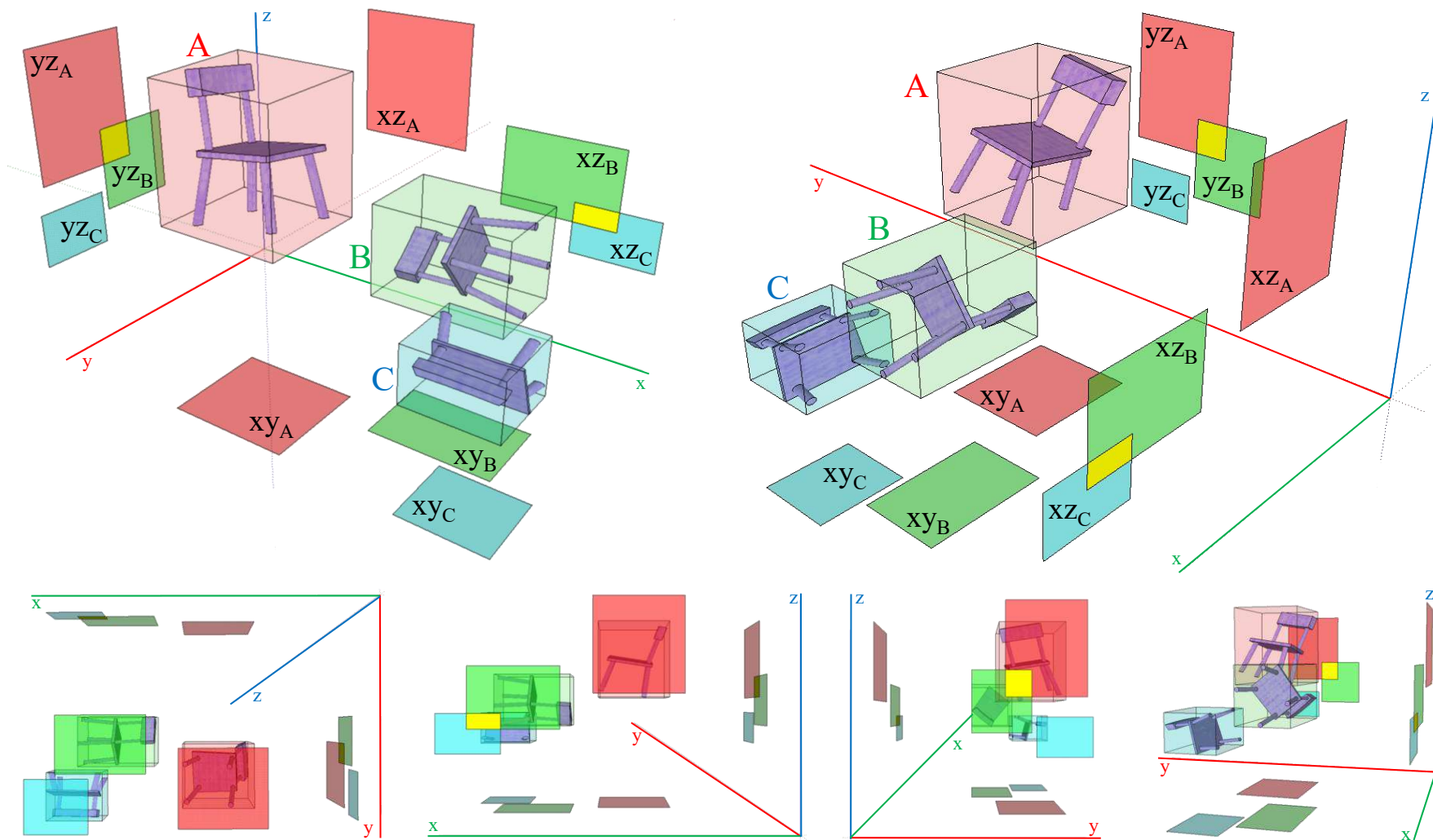


$x_A \wedge x_B =$	0	$x_A \wedge x_C =$	0	$x_B \wedge x_C =$	1
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$y_A \wedge y_B =$	1	$y_A \wedge y_C =$	0	$y_B \wedge y_C =$	1
	$=$		$=$		$=$

0 0 1

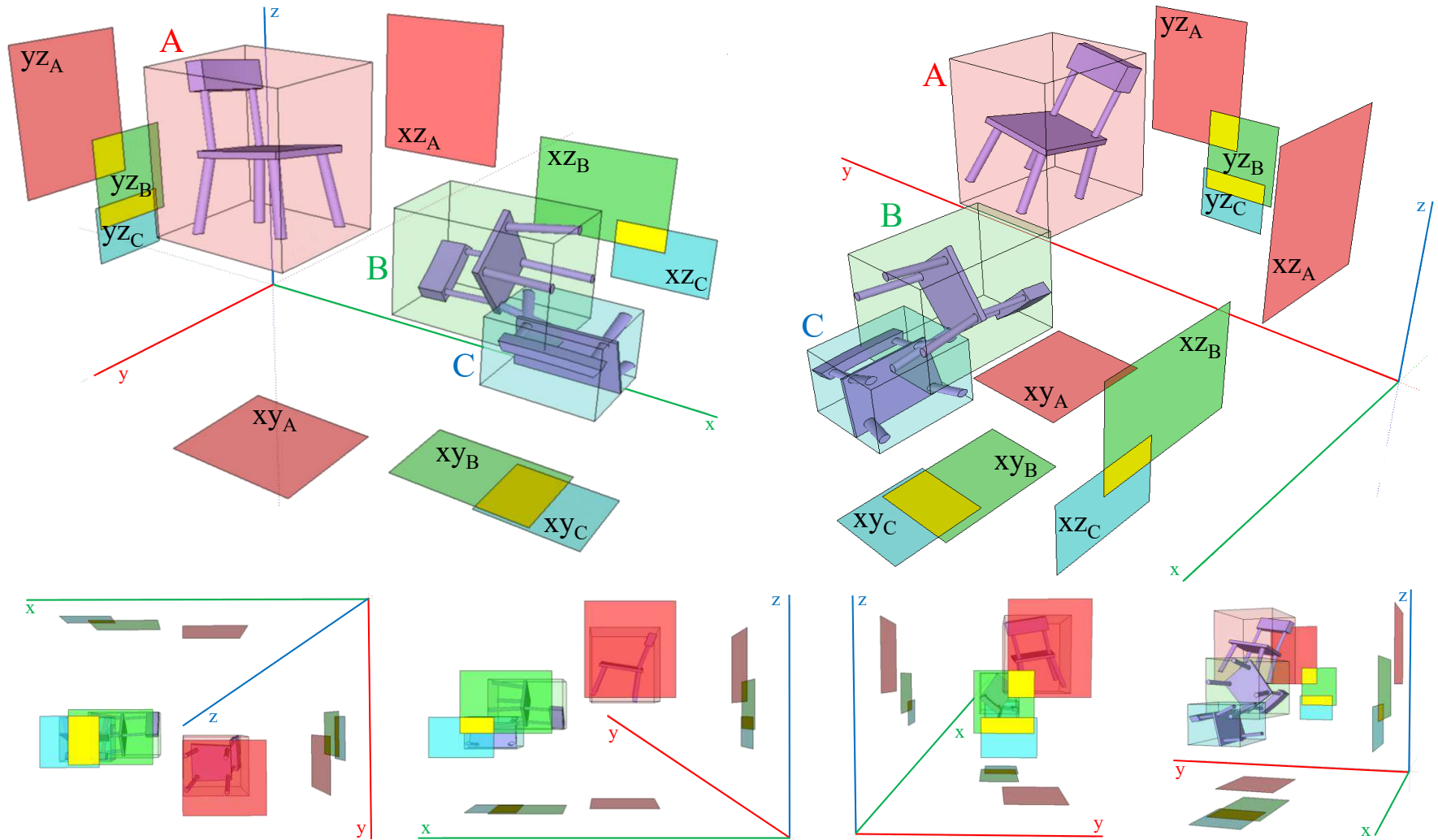
AABB - OSOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

PROCES DETEKcie V 3D – BEZ KOLÍZIE (PRÍPAD 1)



AABB - OSOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

PROCES DETEKcie V 3D – S KOLÍZIOU (PRÍPAD 2)



AABB - OSOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

PROCES DETEKcie V 3D – MATICE INCIDENCIE

- prípád 1

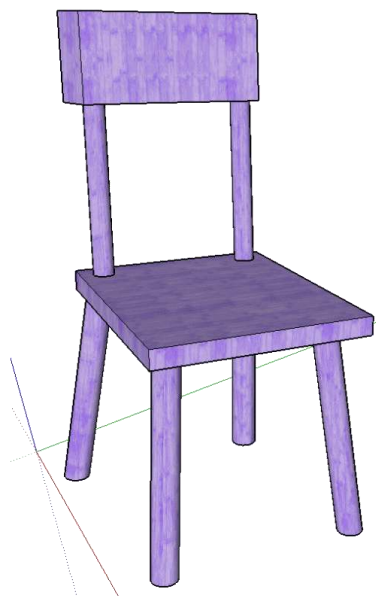
$xy_A \wedge xy_B =$	0	$xy_A \wedge xy_C =$	0	$xy_B \wedge xy_C =$	0
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$xz_A \wedge xz_B =$	0	$xz_A \wedge xz_C =$	0	$xz_B \wedge xz_C =$	1
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$yz_A \wedge yz_B =$	1	$yz_A \wedge yz_C =$	0	$yz_B \wedge yz_C =$	0
	=		=		=
kolízia ?	0		0		0

- prípád 2

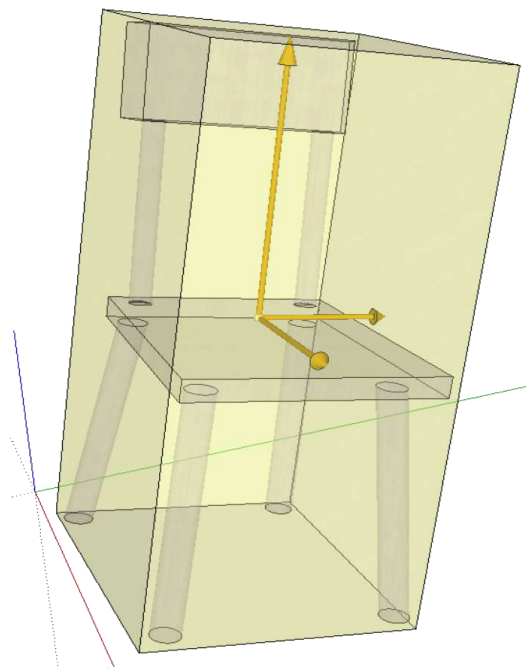
$xy_A \wedge xy_B =$	0	$xy_A \wedge xy_C =$	0	$xy_B \wedge xy_C =$	1
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$xz_A \wedge xz_B =$	0	$xz_A \wedge xz_C =$	0	$xz_B \wedge xz_C =$	1
	$\wedge$		$\wedge$		$\wedge$
$yz_A \wedge yz_B =$	1	$yz_A \wedge yz_C =$	0	$yz_B \wedge yz_C =$	1
	=		=		=
kolízia ?	0		0		1

OBB – OBJEKTOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

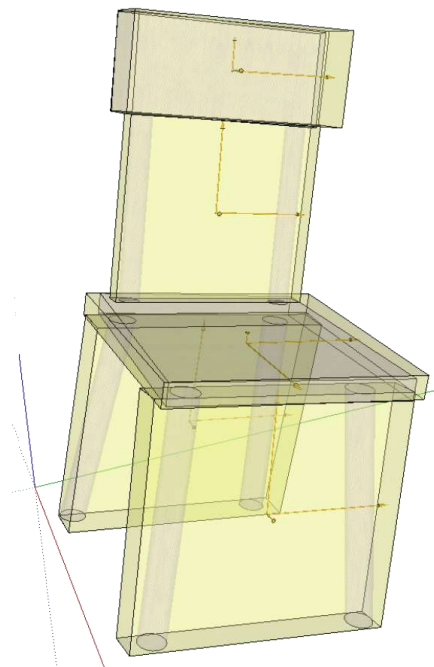
3D POHĽAD



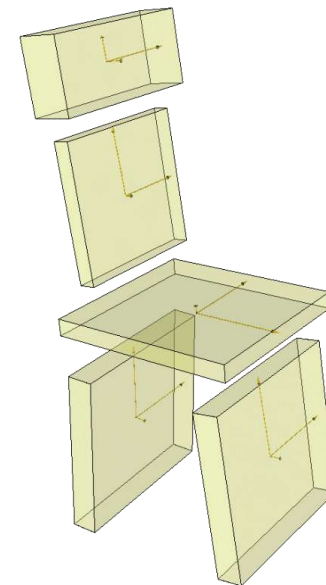
objekt



1. OBB úroveň
hierarchie



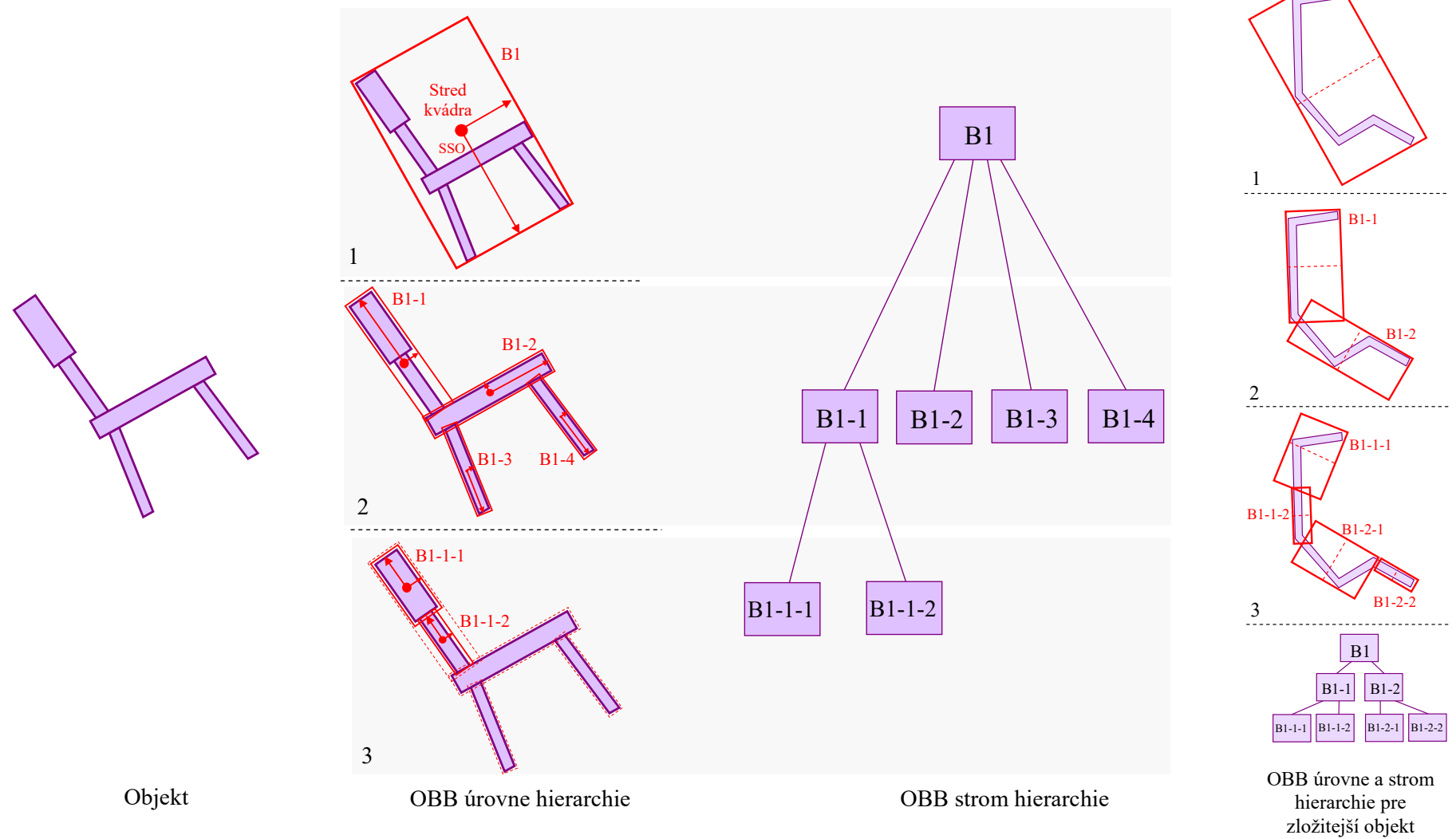
2. OBB úroveň
hierarchie



dekomponovaná
2. úroveň

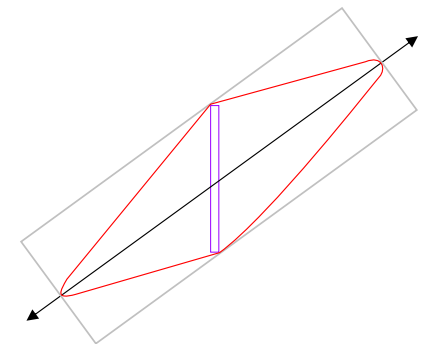
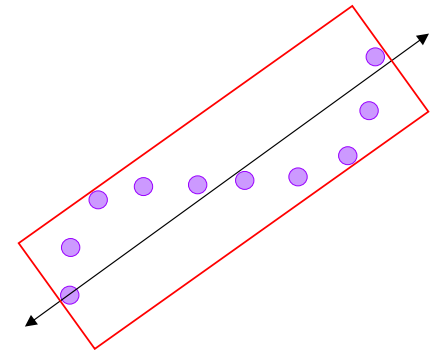
OBB – OBJEKTOVO-ORIENTOVANÉ OHRANIČUJÚCE KVÁDRE

2D PROJEKCIA



VZŤAH OBB A SYSTÉMU KONVEXNÝCH OBÁLOK

- Použitím konvariančnej metódy sa model aproximuje na sled vrcholov (vrátane zistenia/definovania stredového vrcholu). Zistením min. a max. hodnôt osí modelu (v rámci sústavy SSO) sa získa OBB obálka.
- V ďalšom kroku sa degeneruje konvexná obálka do formy kvádra. Rozširia sa tie hrany, ktoré sa nedotýkajú modelu. Použitím konvexnej obálky sa tak získa najtesnejšie spojenie. Neskôr sa degraduje táto obálka na OBB strom.



CHs - SYSTÉM KONVEXNÝCH OBÁLOK

- Konvexné obálky majú široké uplatnenie v matematike, štatistike, kombinatorickej optimalizácii, ekonomike či geometrickom modelovaní. Rovnako ako pre množiny konečných bodov, sú konvexné obálky používané aj pre jednoduché polygóny, Brownov pohyb či epigrafy funkcií. Príbuzné štruktúry zahŕňajú ortogonálnu konvexnú obálku, konvexné vrstvy a konvexné lebky, Delaunayovu trianguláciu či Voroného diagramy.
- V geometrii je konvexná obálka (konvexný uzáver) objektu najmenšou konvexnou množinou, ktorá objekt obsahuje. Konvexná obálka sa definuje buď ako priesečník všetkých konvexných množín obsahujúcich danú podmnožinu euklidovského priestoru, alebo ekvivalentne ako množina všetkých konvexných kombinácií bodov v podmnožine. Najtesnejšiu obálku konvexného objektu tvorí jeho povrch, ktorý je zvyčajne reprezentovaný polygonálnou „mesh“ sieťou. Pre ohraničenú podmnožinu roviny je možné konvexnú obálku zobrazit' ako tvar ohraničený „gumičkou“ rozťahnutou okolo tejto podmnožiny (tohto objektu).
- Algoritmické problémy hľadania konvexnej obálky konečnej množiny bodov v rovine alebo iných nízko-dimenziálnych euklidovských priestoroch a jeho duálny problém pretínania polpriestorov sú základnými problémami výpočtovej geometrie.

OPTIMALIZÁCIA RIEŠENIA KOLÍZIÍ

PARALELNÁ A GPU DETEKCIA KOLÍZIÍ

- GPU akcelerácia zvyšuje výkon kolíznych systémov v rozsiahlych scénach. Tieto systémy väčšinou používajú hybridné CPU–GPU riešenia využívajúce:
 - paralelné spracovanie testov
 - masívny údajový paralelizmus
- GPU sa využíva najmä pre:
 - hrubú fázu detekcie. Najčastejšie sa priestor rozdelí na pravidelnú mriežku (grid, grid-based broad phase) a každý objekt sa priradí do príslušných buniek mriežky. Bunky sú potom spracované paralelne
 - paralelné testy AABB
 - testovanie veľkého množstva objektov



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026

MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA OSÔB A PRÍRODNÝCH ÚTVAROV

doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

P 09

© 2026

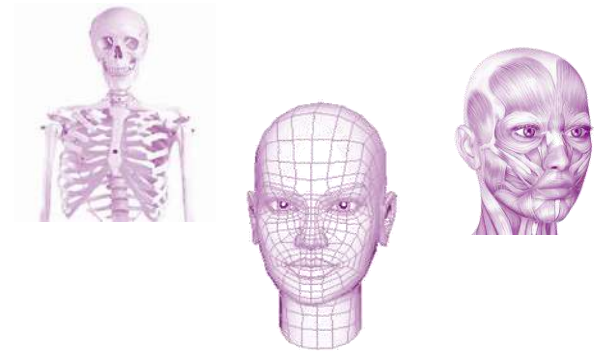
SPÔSOBY MODELOVANIA

- **Modelovanie pomocou primitív** – sa zakladá na procedúre, ktorá používa geometrické primitíva ako *valce*, *kocky*, *gule*, *kužele* a pod. ako stavebné jednotky a pomocou nich vytvára zložitejšie útvary.
- **Modelovanie pomocou kriviek/plôch** – plochy sú definované krivkami, ktoré sú ovplyvňované váženými riadiacimi bodmi. Krivka sleduje tieto body. Zvýšením váhy bodu sa krivka k tomuto bodu viacej priblíži. Typy kriviek sú spravidla *NURBS*, *Spline*, *Bezierové krivky*, *záplaty*.
- **Polygonálne modelovanie** – sa zakladá na spájaní bodov v 3D priestore, ktoré sa nazývajú vrcholy – vertices, pomocou úsečiek, tak aby vznikla tzv. polygonálna mreža. Tento spôsob modelovania sa používa veľmi často. Počítače dokážu vykresľovať takéto modely veľmi rýchlo, pretože sú flexibilné. Medzi nevýhody patrí to, že jednotlivé polygóny sú rovinné útvary. Na základe toho je potrebné zakrivené plochy modelu aproximovať veľkým množstvom menších polygónov najčastejšie trojuholníkov.
- **Sculp modelovanie** – táto metóda sa stala veľmi populárnou, aj keď sa využíva len niekoľko rokov. Má dva spôsoby použitia a to *Volumetric* a *Displacement*.



TYPY MODELOV ORGANIZMOV

- Skeletálny model (kosti)
- Muskulárny model (svalstvo)
- Povrchový model (koža)



-
- Fyzikálny model
 - Riadiaci model (správanie, umelá inteligencia)
 - Emocionálny model
 - Kinematický (pohybový) model

Model zohľadňuje schopnosti avatara alebo digitálneho dvojčaťa (objektu)

Moderné XR systémy využívajú hybridné prístupy, kde kombinácia jednotlivých modelov tvoria jeden celok

MODELY A ICH KOMBINÁCIE

ENTITY-COMPONENT SYSTÉM (ECS)

Model	Skeletálny	Muskulárny	Povrchový	Fyzikálny	Behaviorálny	Emocionálny	Kinematický
Skratka	S	M	P	F	B	E	K

- **O** - Objekt (organizmus, človek, zviera, ...)
- Sady parametrov: 1, 2, 3, 4 ... n (napr. prípustné hodnoty či limity). Aby bolo možné vytvárať odvodené typy objektov je nutné aby počet a charakter prvkov jednotlivých sád parametrov pri jednotlivých modeloch bol:
 - rovnaký (prípustné aj menší ako maximálny) alebo
 - existovali relačné funkcia/e medzi jednotlivými prvkami parametrov rôznych sád.

Základné typy kombinácií:

- $O1 = S1 + M1 + P1 + F1 + B1 + E1 + K1$
- $O2 = S2 + M2 + P2 + F2 + B2 + E2 + K2$
- $O3 = S3 + M3 + P3 + F2 + B3 + E3 + K3$

Derivované (odvodené) typy (príklady):

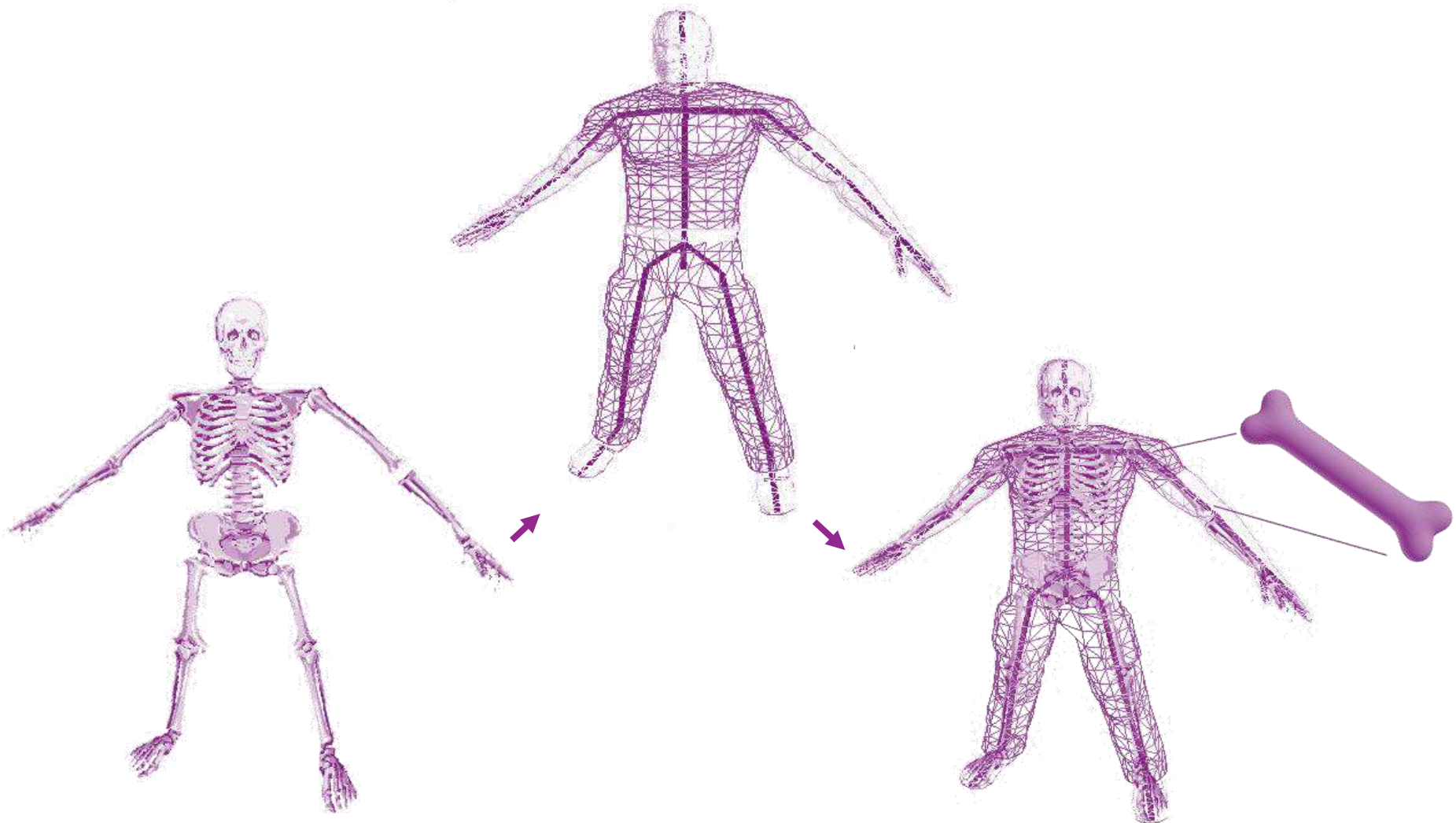
- $O4 = S1 + M1 + P2 + F1 + B1 + E1 + K3$ - na **skelet1** namapované **svalstvo1** a **povrch2** s aplikáciou fyziky1, **emócií1** a **riadením správania1** a **riadením pohybu (kinematiky3)**
- $O5 = S1 + M2 + P3 + F2 + B2 + E1 + K2$
- $O6 = S3 + M1 + P3 + F3 + B3 + E3 + K1$
-
- $On = Sx + My + Pz + Ft + Bu + Ev + Kw$

Výhody použitia kombinácii modelov (hybridizácie):

- možnosť vytvorenia väčšieho počtu rôznych objektov pri použití obmedzenej množiny bázičných modelov a ich sád parametrov,
- možnosť del'by práce medzi viacerých odborníkov,
- možnosť vytvárať, pridávať, upravovať a spájať jednotlivé modely postupne a tak aj postupne celkový kombinovaný model vylepšovať,
- možnosť aplikácie jednotlivých modelov podľa výkonnosti implementačnej platformy a infraštruktúry,
- možnosť komerčného predaja/nákupu jednotlivých modelov a/alebo celých sád parametrov.

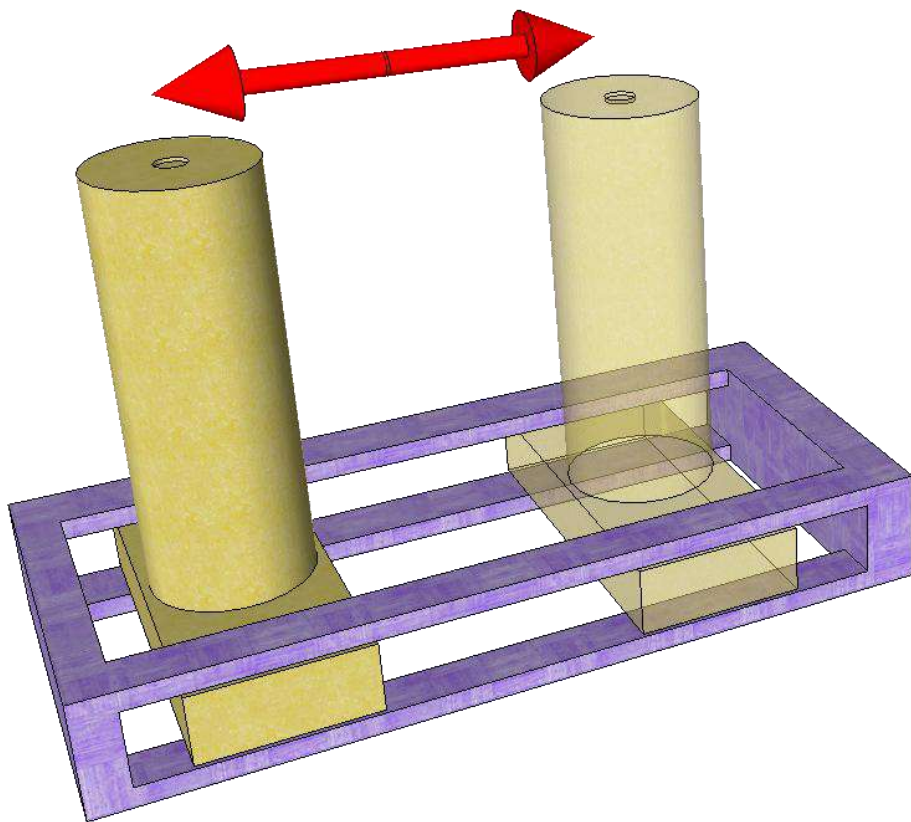
SKELETÁLNY MODEL

ANALÓGIA A HIERARCHIA

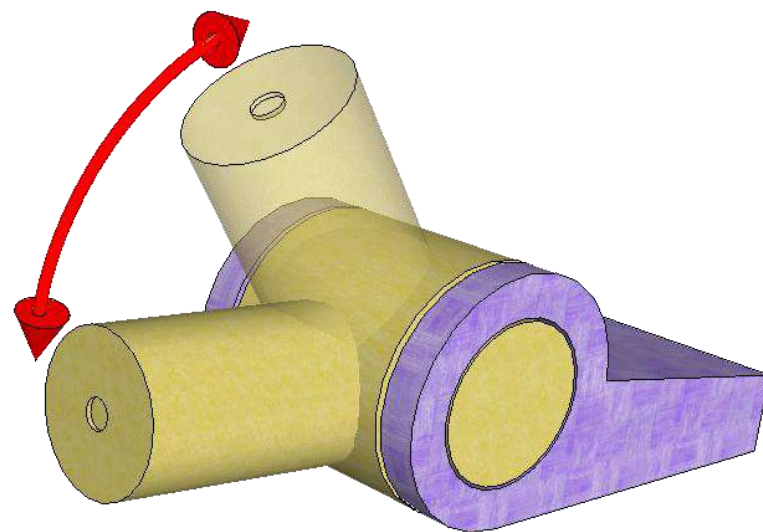


SKELETÁLNY MODEL

ZÁKLADNÉ TYPY KÍBOV



Translačný



Rotačný

MODEL A VIZUALIZÁCIA TELA

- *Skeletálny model* (aplikovateľný na):
 - transformácie a deformácie,
 - aplikácia ohraničení,
 - aplikácia fyzikálneho modelu
- *Muskulárny model*:
 - aplikácia ohraničení
 - detekcia kolízie
 - vizualizácia
- *Povrchový model*:
 - vizualizácia

Riadiaci
model



SKINNING

PREPOJENIE SKELETÁLNEHO A POVRCHOVÉHO MODELU

Skinning určuje, ako sa povrch (mesh) deformuje pri pohybe kostí t.j. ako sa vykonáva deformácia povrchového modelu pomocou skeletálneho modelu.

- Každý vrchol povrchového modelu:
 - je viazaný na jednu alebo viac kostí
 - má priradené váhy (vertex weights)
- Základné prístupy:
 - *Linear Blend Skinning (LBS)* - základná technika animácie skeletu, pri ktorej sa poloha každého vrcholu vypočíta ako vážený lineárny priemer transformačných matíc kostí. Je rýchla a jednoduchá, môže spôsobovať artefakty (kolaps kíbov). Používa sa spravidla v hrách a real-time aplikáciách.
 - *Dual Quaternion Skinning (DQS)* - technika deformácie 3D modelov, ktorá využíva duálne kvaternióny na plynulé a objem zachovávajúce transformácie pri animácii skeletu. Lepšie zachováva objem a vytvára realistickejšie deformácie, je výpočtovo náročnejšia. Používa sa najmä simuláciách, moderných herných enginech či filmovom priemysle.

Skinning je kľúčovým mostom medzi kinematikou a vizualizáciou

EMOCIONÁLNY MODEL A MIMIKA

PRELÍNANIE (MORFOVANIE) TVAROV (BLEND SHAPES, MORPH TARGETS)

Určuje, ako sa povrch deformuje pri pohybe svalov t.j. ako sa vykonáva deformácia povrchového modelu pomocou muskulárneho modelu najčastejšie na tvári. Prelínaním tvarov sa realizuje rozšírenie kinematických možností v tom zmysle, že rieši to, čo samotná kinematika nedokáže.

- Prelínanie tvarov - interpoluje medzi viacerými tvarmi jedného modelu a umožňuje:
 - mimiku tváre
 - jemné svalové pohyby
 - nekinematické deformácie
- Použitie:
 - emocionálny model
 - tvárová animácia (facial animation)
 - kombinuje sa so skinningom



POHYB MODELOV

KINEMATICKÝ REŤAZEC

Pohyb v priestore má zmysel len ak zmena jeho polohy je definovaná voči nejakému inému objektu najlepšie v rámci konkrétnej súradnej sústavy. V kĺbovej štruktúre sa musí nachádzať statický kĺb a zároveň aj kĺb, ktorého zmenu v priestore sledujeme.

- *Statický* kĺb sa nazýva **báza** a
- *dynamický* je označovaný ako koncový **efektor**.

Spolu tvoria **kinematický reťazec**. Kinematický reťazec teda musí obsahovať bázu a koncový efektor, pričom dĺžka reťazca môže byť ľubovoľná.

Pohyb kostí človeka je možný hlavne pomocou rotácie jeho kĺbov. Podľa počtu osí, okolo ktorých je možné rotovať kĺb, je určený *stupeň voľnosti kĺbu*. Bežný kĺb má *tri stupne voľnosti*.



POHYB MODELOV

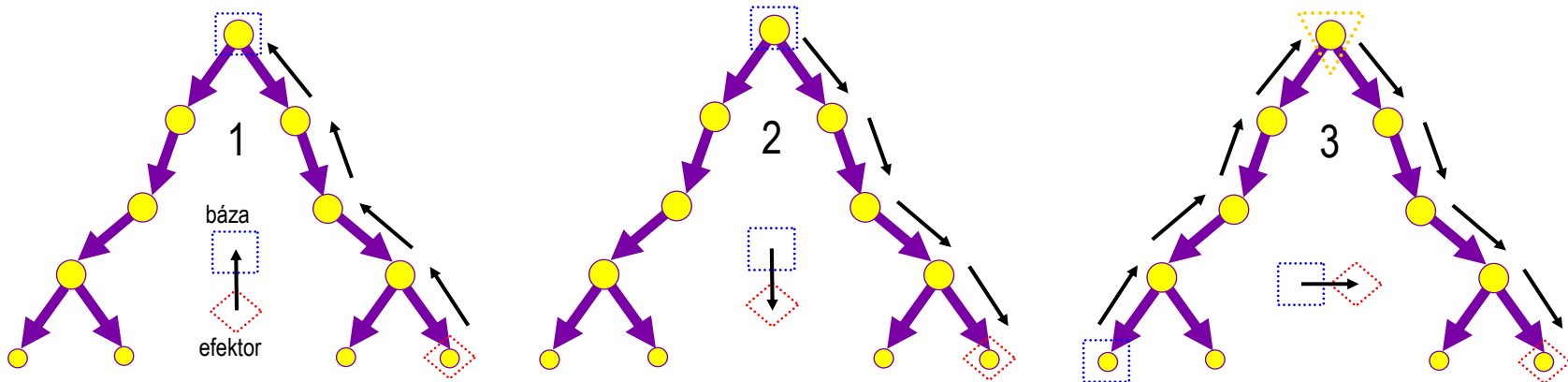
TVORBA KINEMATICKÉHO REŤAZCA

Abstrakcia kĺbovej štruktúry môže byť reprezentovaná acyklickým grafom, presnejšie nepravidelným n -árnym stromom.

- Uzly tohto stromu v skutočnosti reprezentujú *kĺby* a
- *spojnice* medzi uzlami, *kosti* kĺbov

Podľa pozície koncového efektoru v hierarchistickom vzťahu ku pozícii bázy v grafe reprezentovanom stromom, je možné rozdeliť úlohu hľadania kinematického reťazca na niekoľko možných variácií:

1. Koncový efektor je potomkom bázy
2. Báza je potomkom koncového efektoru
3. Efektor a báza sa nachádzajú v rozdielnych podstromoch



POHYB MODELOV

TYPY KINEMATIKY

- *Priama (dopredná) kinematika (PK, FK)*

Zadaný je počiatočný stav a predpis pohybu. Jeho aplikáciou sa objekt dostane do cieľového stavu

$$f(\text{uhly\_klbov}) = \text{poloha\_koncoveho\_efektora}$$

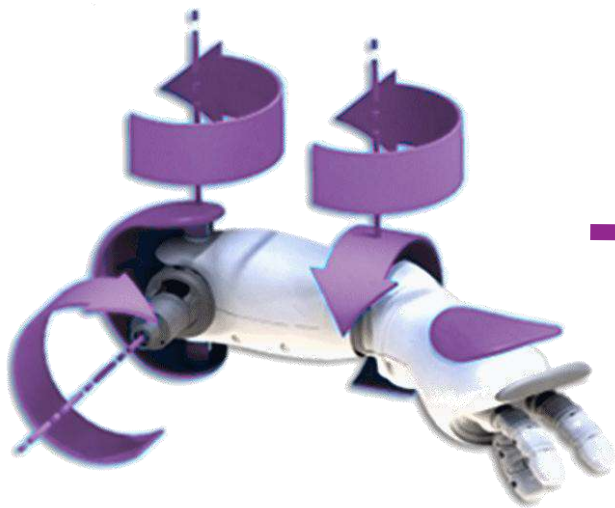
- *Inverzná kinematika (IK)*

Zadaný je počiatočný stav a koncový stav. Predpis pohybu sa vyhodnocuje ako výsledok inverznej funkcie medzi cieľom a počiatkom.

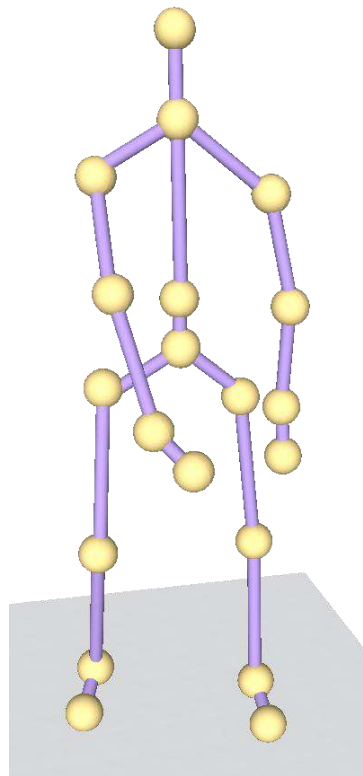
$$f^{-1}(\text{poloha\_koncoveho\_efektora}) = \text{uhly\_klbov}$$



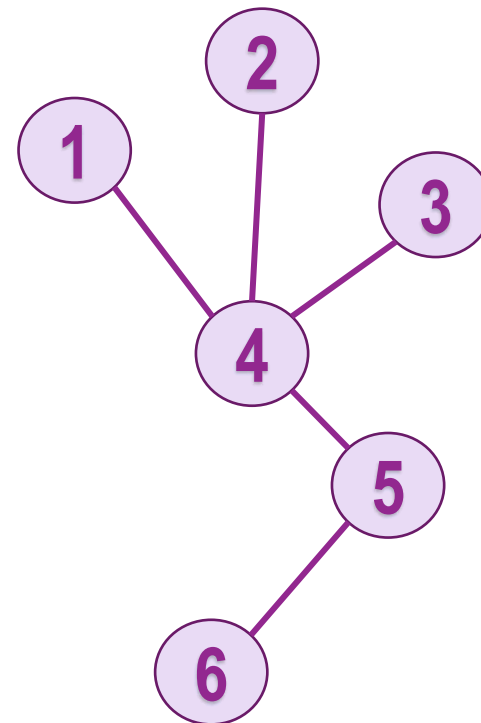
PRIAMA KINEMATIKA



príklad sústavy
rotačných kĺbov

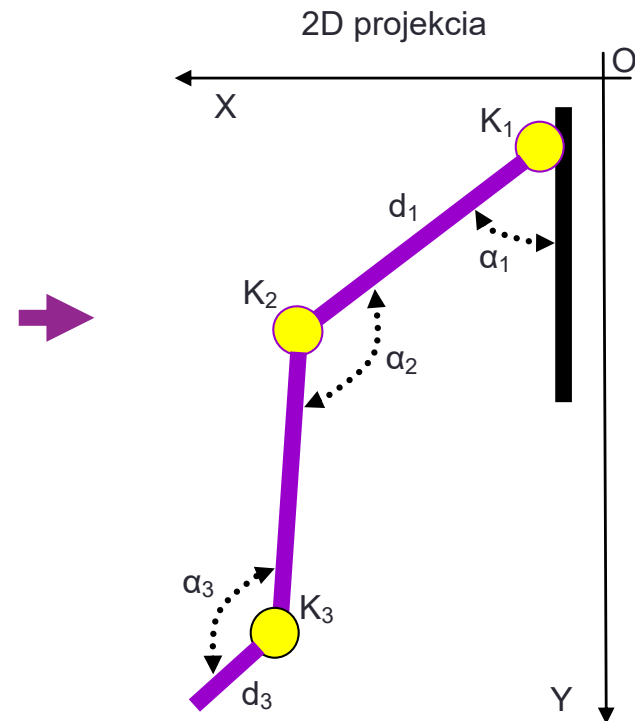
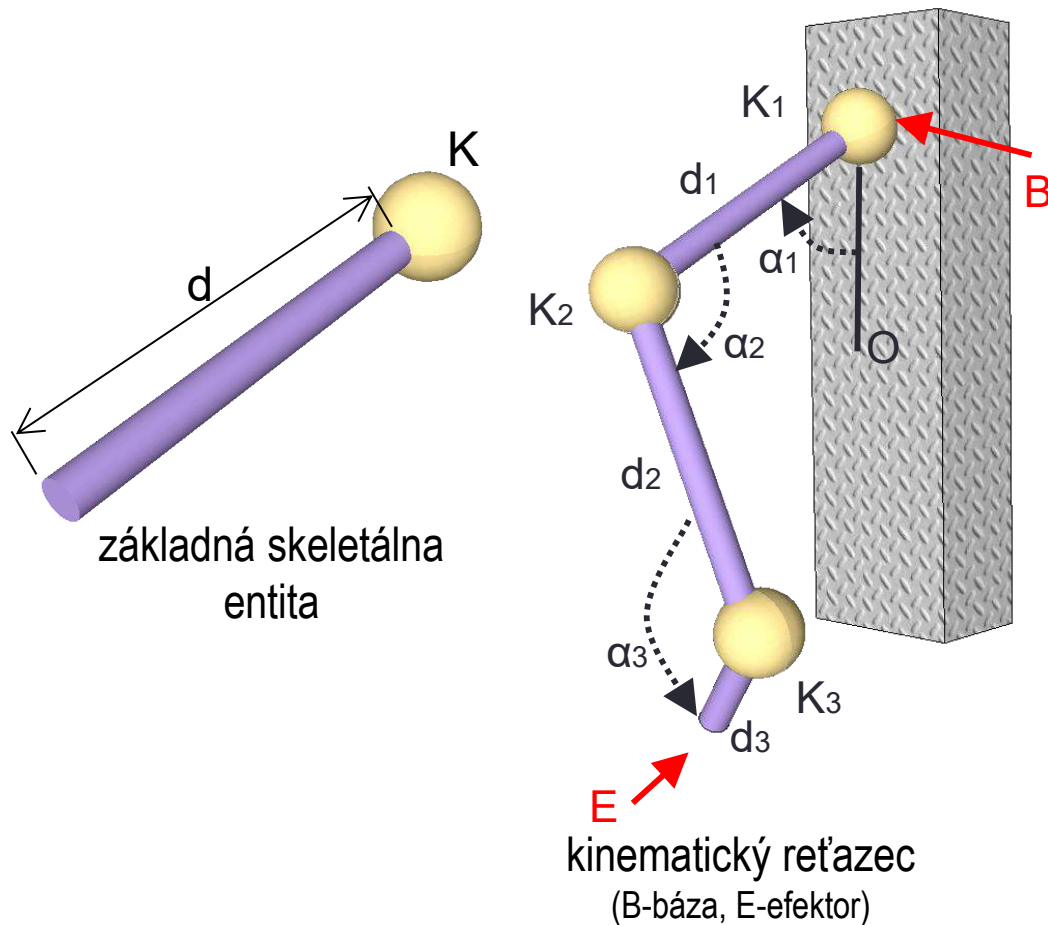


Znázornenie
formalizovanej
humanoidnej kostry



príklad formálneho grafu

PRIAMA KINEMATIKA

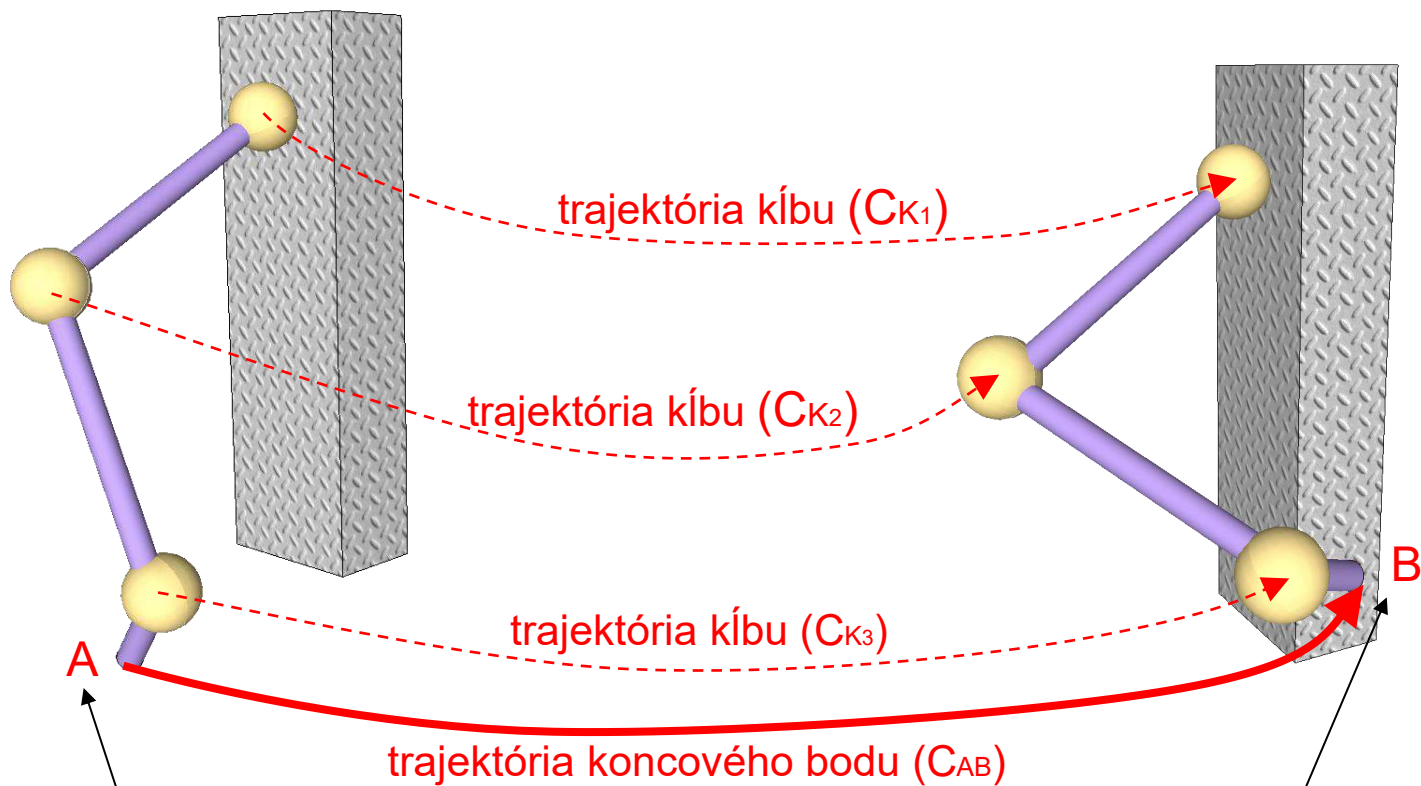


$$\begin{aligned}
 X_{chain} &= d_1 \cdot \cos \alpha_1 + d_2 \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2) + d_3 \cdot \cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \\
 Y_{chain} &= d_1 \cdot \sin \alpha_1 + d_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) + d_3 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \\
 \alpha_{chain} &= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3
 \end{aligned}$$

$$P_{E \rightarrow O} = T_{K_1}(d_1, \alpha_1) \times T_{K_2}(d_2, \alpha_2) \times T_{K_3}(d_3, \alpha_3)$$

(možné použitie quaterniónov)

PRIAMA KINEMATIKA



$$P_A(x_A, y_A, z_A) = T_{K_1}(d_1, \alpha_{A1}) \times T_{K_2}(d_2, \alpha_{A2}) \times T_{K_3}(d_3, \alpha_{A3})$$

$$P_B(x_B, y_B, z_B) = T_{K_1}(d_1, \alpha_{B1}) \times T_{K_2}(d_2, \alpha_{B2}) \times T_{K_3}(d_3, \alpha_{B3})$$

vypočítaná poloha bodu B (analogicky A)

známe hodnoty

PRIAMA KINEMATIKA

KOMUTATÍVNOSŤ VÝPOČTU

Proces priamej kinematiky:

- **je** komutatívny z hľadiska koncového bodu (výsledku transformácie)

$$P_{AB}(x_{AB}, y_{AB}, z_{AB}) = T_{K_1}(d_1, \alpha_{A1} \rightarrow \alpha_{B1}) \times T_{K_2}(d_2, \alpha_{A2} \rightarrow \alpha_{B2}) \times T_{K_3}(d_3, \alpha_{A3} \rightarrow \alpha_{B3})$$

$$P_{AB}(x_{AB}, y_{AB}, z_{AB}) = T_{K_2}(d_2, \alpha_{A2} \rightarrow \alpha_{B2}) \times T_{K_1}(d_1, \alpha_{A1} \rightarrow \alpha_{B1}) \times T_{K_3}(d_3, \alpha_{A3} \rightarrow \alpha_{B3})$$

$$P_{AB}(x_{AB}, y_{AB}, z_{AB}) = T_{K_3}(d_3, \alpha_{A3} \rightarrow \alpha_{B3}) \times T_{K_2}(d_2, \alpha_{A2} \rightarrow \alpha_{B2}) \times T_{K_1}(d_1, \alpha_{A1} \rightarrow \alpha_{B1})$$

- **nie je** komutatívny z hľadiska trajektórie kĺbov a trajektórie koncového bodu

$$C_{K_i} = T_{K_i}(d_i, f(\alpha_{Ai} \rightarrow \alpha_{Bi})) \quad f(\alpha_{Ai} \rightarrow \alpha_{Bi}) \begin{cases} \text{lineárna} \\ \text{nelineárna} \end{cases}$$

$$C_{AB123} = T_{K_1} \times T_{K_2} \times T_{K_3}$$

$$C_{AB213} = T_{K_2} \times T_{K_1} \times T_{K_3}$$

$$C_{AB321} = T_{K_3} \times T_{K_2} \times T_{K_1}$$

$$C_{AB123} \neq C_{AB213} \neq C_{AB321}$$

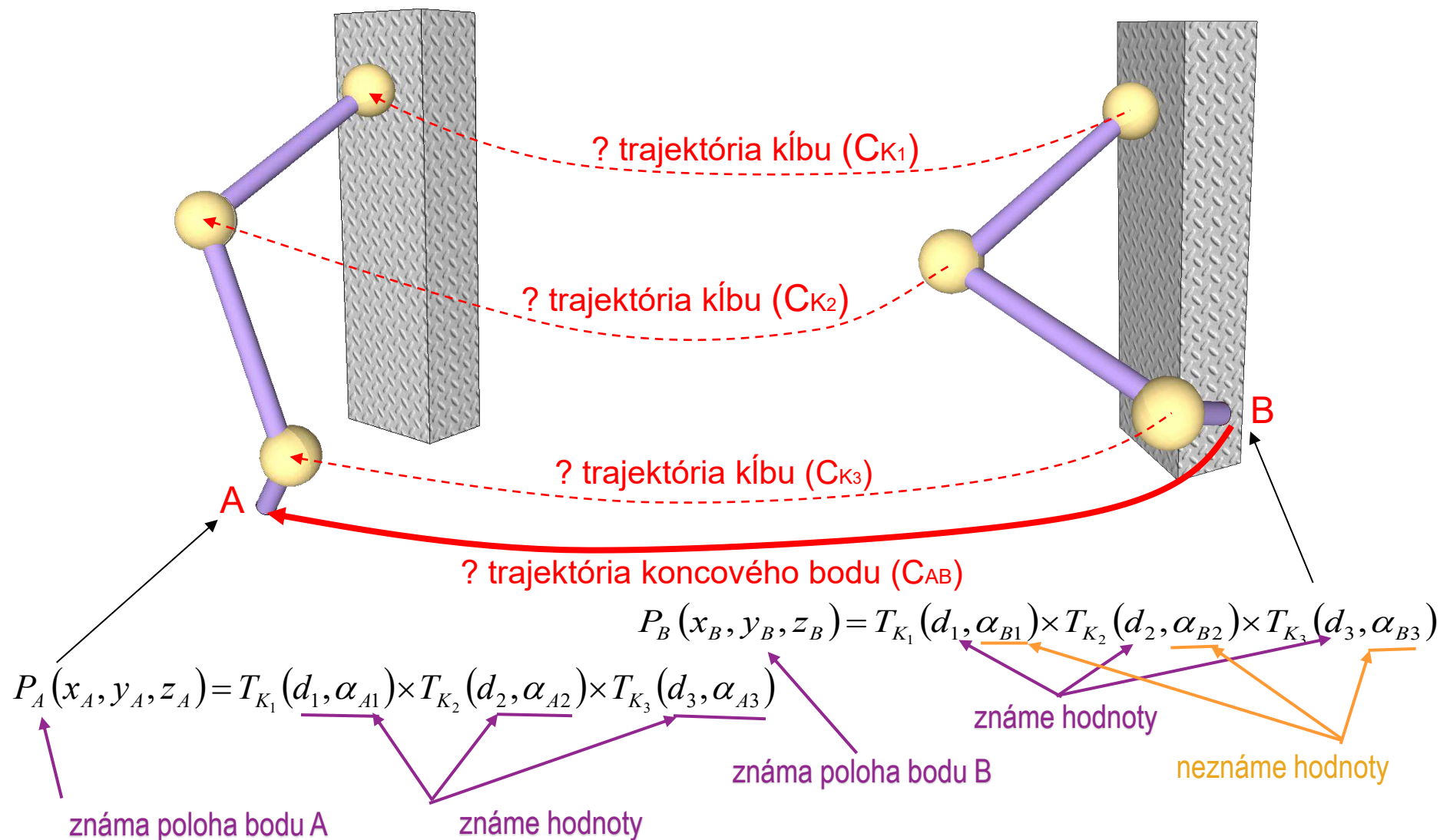
INVERZNÁ KINEMATIKA

METÓDY RIEŠENIA

- *Analytické metódy* – (exaktné, matematické vyjadrenie f^{-1}) presné a rýchle, málo flexibilné pri rôznych kinematických štruktúrach (nedajú sa aplikovať na všeobecný kinematický reťazec)
- *Numerické metódy* – (iteratívne) – pomalšie a menej presné, avšak vedia sa prispôsobiť viacerým kinematickým štruktúram. Ich podstata: postupné prechádzanie kĺbmi kinematického reťazca



INVERZNÁ KINEMATIKA



INVERZNÁ KINEMATIKA

KOMUTATÍVNOSŤ VÝPOČTU

Proces inverznej kinematiky:

- **je** komutatívny z hľadiska koncového bodu (výsledku transformácie)
- **nie je** komutatívny z hľadiska trajektórie kĺbov a trajektórie koncového bodu
- **nemusí byť riešiteľný** z hľadiska inverzných funkcií, inverzných transformačných matic a limit hodnôt

založené na problematike *Eulerových uhlov* a v prípade použitia iba rotačných kĺbov je možné využitie *Eulerovho teorému* a *quaterniónov* (pozri aj rotáciu okolo všeobecnej priamky)

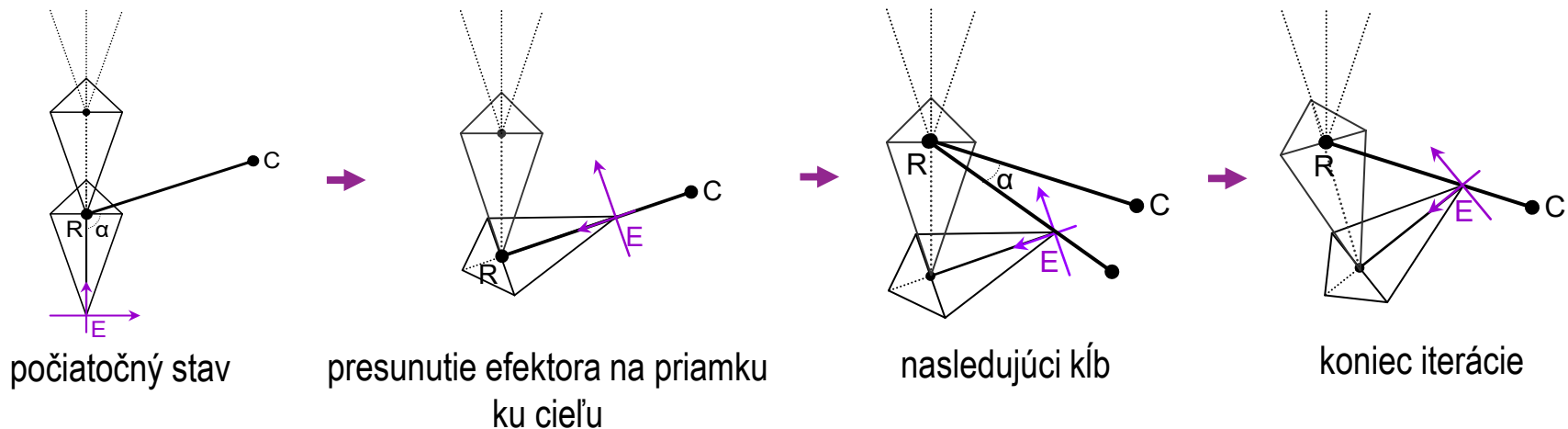
INVERZNÁ KINEMATIKA

METÓDA CCD – CYCLIC COORDINATE DESCENT

Princíp algoritmu *Cyclic coordinate descent* je opakované prechádzanie kĺbmi kinematického reťazca v smere od koncového efektora ku báze kinematického reťazca, teda k jej statickej časti. Jeden takýto prechod kinematickým reťazcom sa nazýva *iterácia*.

Algoritmus jednej iterácie vyzerá nasledovne:

1. Aktuálny kĺb je koncový efektor, potom len prejdí ku kroku 2
2. Aktuálny kĺb je nasledujúci kĺb v reťazci
3. Aktuálny kĺb zmení svoj uhol
4. Ak aktuálny kĺb nie je bázou, skok na krok 2, inak koniec



KINEMATIKA – SNÍMANIE REÁLNEHO POHYBU

MOTION CAPTURE (MoCAP)

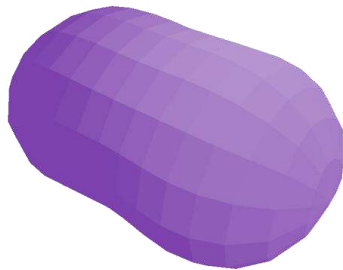
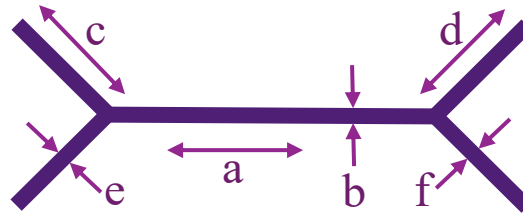
MoCap je technológia zaznamenávania pohybu skutočného živého tvora vrátane človeka. Je základom realistického pohybu virtuálnych objektov vo virtuálnom prostredí. Používa sa najmä vtedy, keď exaktný popis pohybu použitím priamej alebo inverznej kinematiky nie je možné jednoducho vytvoriť alebo získať spravidla kvôli komplikovanosti alebo komplexite pohybu.

- Typy:
 - optický (kamery, markery)
 - inerciálny (IMU senzory (napr. akcelerometer, gyroskop či magnetometer))
- Spracovanie:
 - presmerovanie/prepojenie (retargeting) pohybu na skelet
 - kombinácia s IK

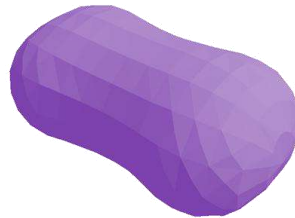


MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA KOSTÍ

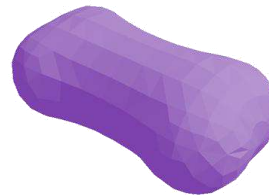
FRAKTÁLNA GEOMETRIA (L-SYSTÉMY)



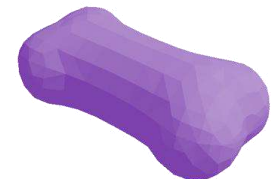
1



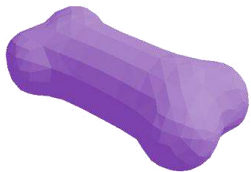
2



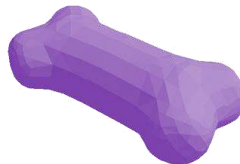
3



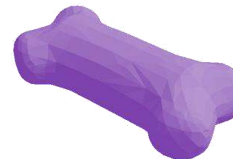
4



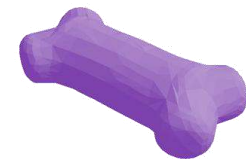
5



6



7



8

MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA KOSTÍ

ALGORITMUS SHRINK-WRAP

Algoritmus generuje trojuholníkovú sieť na priblíženie sa k (požadovanému) izo-povrchu. Začína trianguláciou (ohraničujúcej) gule a potom sa na túto trianguláciu použije séria deformácií, aby sa transformovala na požadovaný povrch. Tieto deformácie nechávajú topológiu nemennú, takže konečný izo-povrch by mal byť homeomorfný s guľou. Izo-povrch je množina bodov $r \in R^3$, pre ktoré funkcia $V(r) = V_0$ a kde

$$V(r) = \sum_i \frac{\rho_i}{|r - R_i|}$$



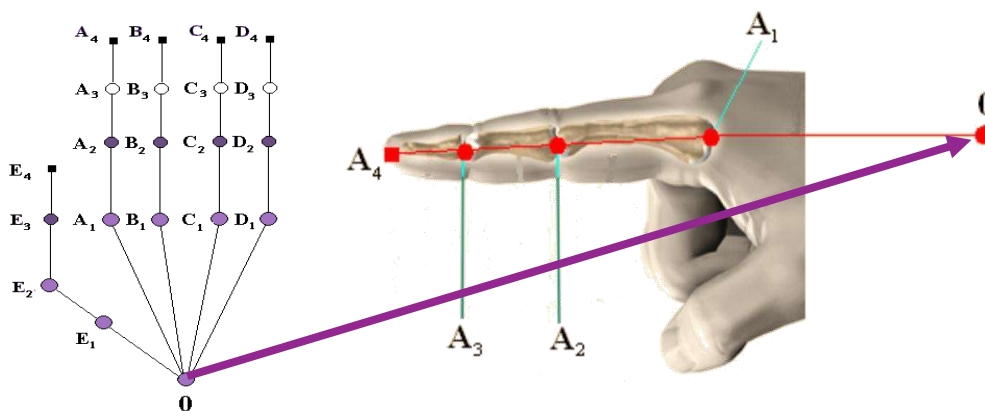
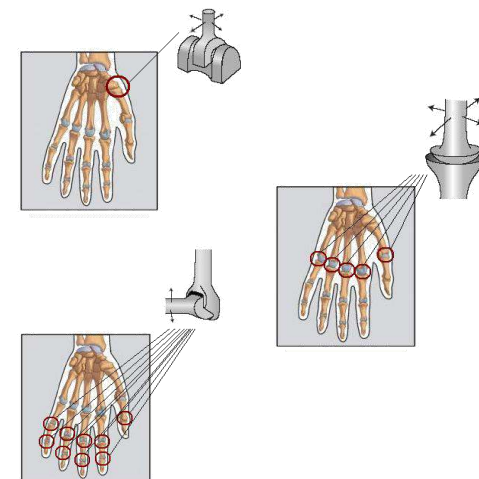
model kosti a jej povrchu
 modelovaný pomocou *shrink wrap*
 a prvkami náhodnosti

MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA ĽUDSKEJ RUKY

TYPY KLBOV A SKELETÁLNY MODEL

Kĺby sa nachádzajú všade, kde sa stretnú dve alebo viac kostí. Kĺby ruky vznikajú prepojením 29 kostí. Pre modelovanie a vizualizáciu sa najviac používajú kĺby:

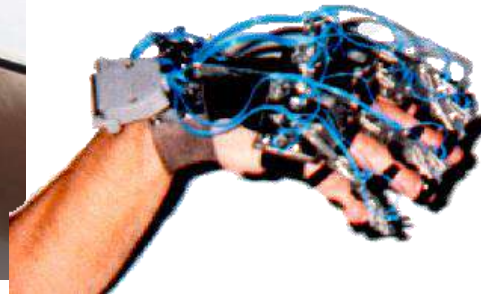
- metakarpálny falangeálny kĺb (MCP - metacarpophalangeal) - kĺb v spodnej časti prsta (kladkový typ)
- proximálny interfalangeálny kĺb (PIP - proximal interphalangeal) - kĺb v strede prsta (guľový typ)
- distálny interfalangeálny kĺb (DIP - distal interphalangeal) - kĺb najbližšie ku končekom prstov (sedlový typ)



rozloženie bodov modelu na ukazováku

MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA ĽUDSKEJ RUKY

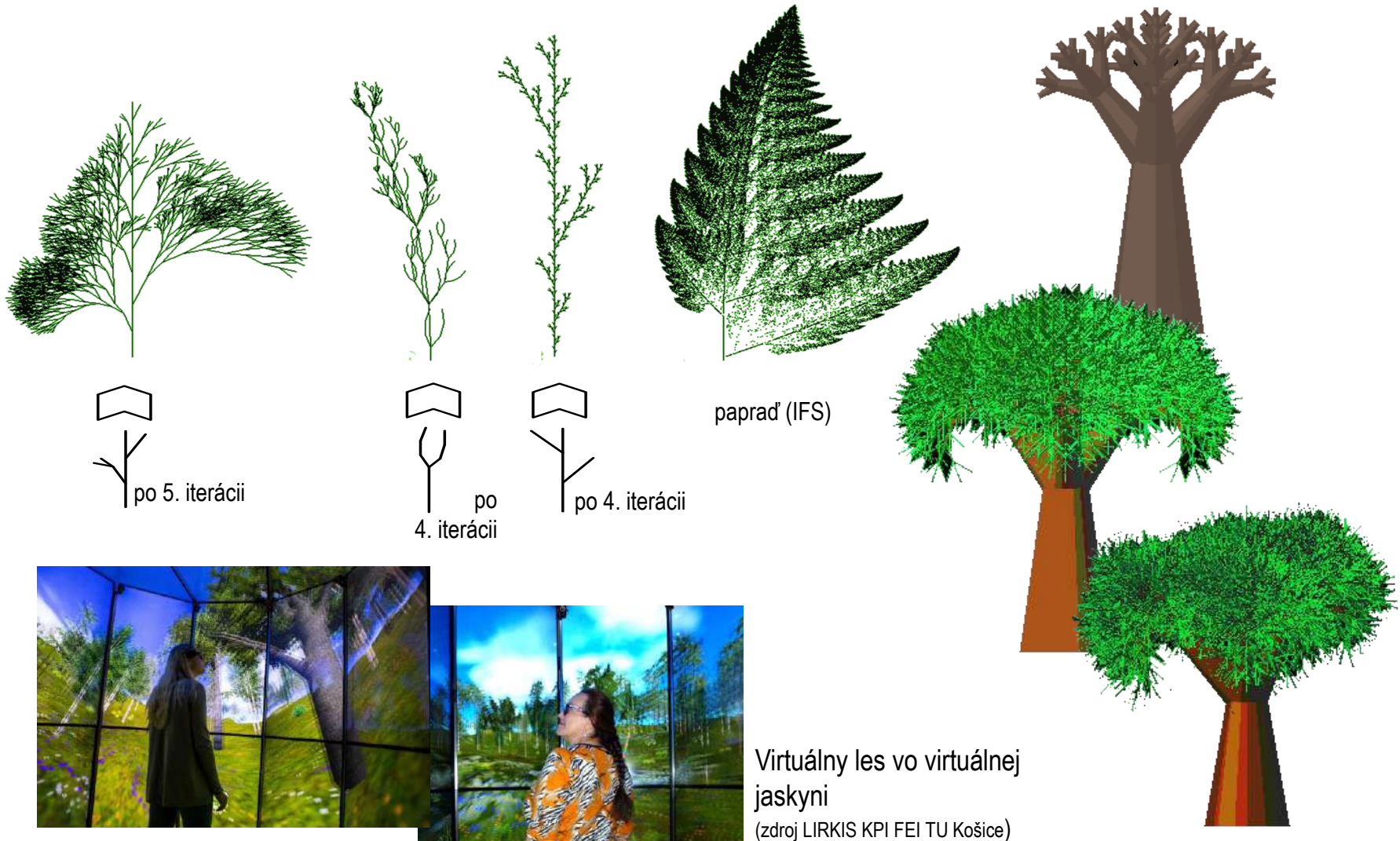
PRÍKLADY



Datové rukavice
(zdroj LIRKIS KPI FEI TU Košice)

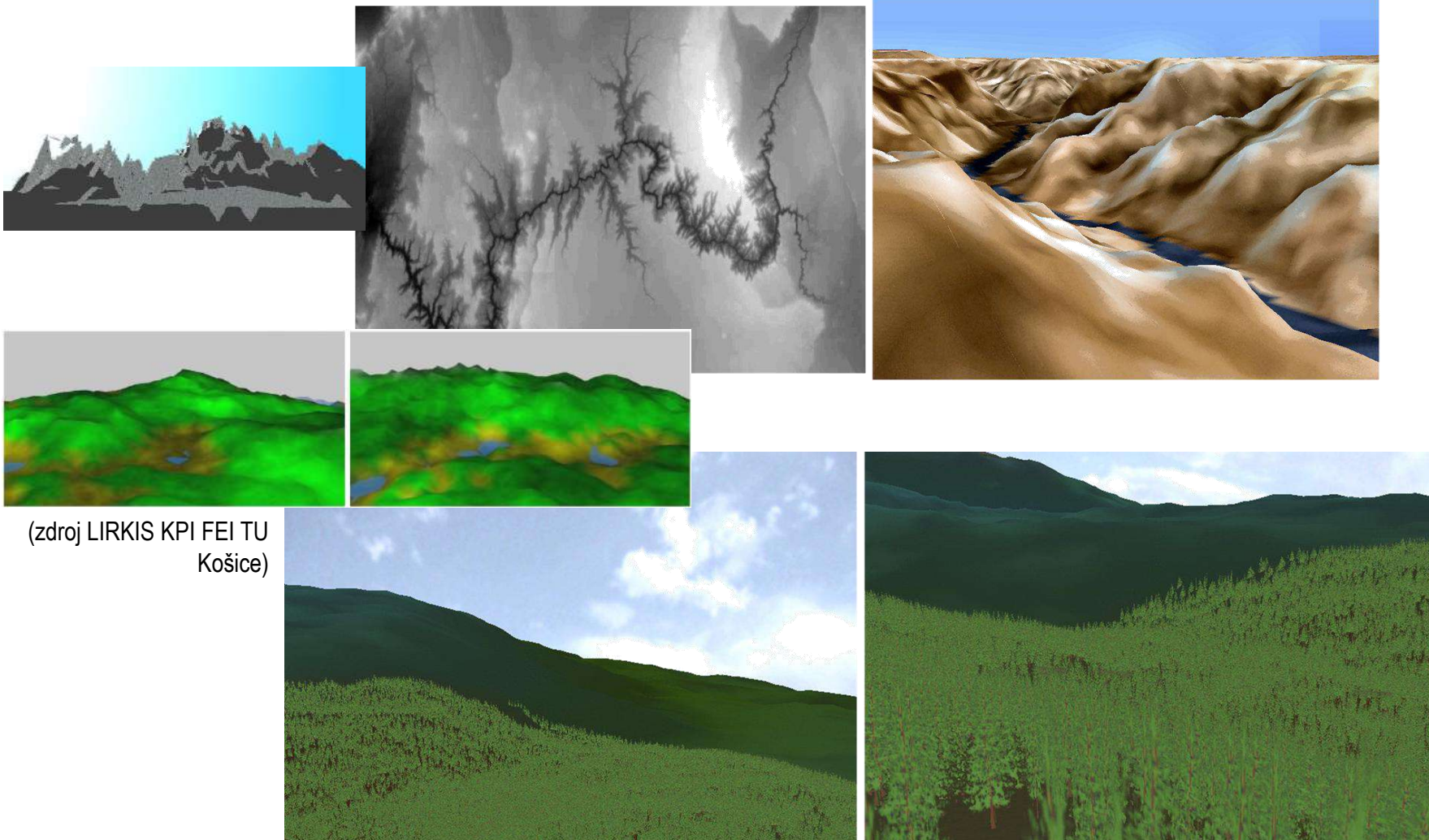
MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA RASTLÍN

PRÍKLADY



MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA TERÉNU

PRÍKLADY



(zdroj LIRKIS KPI FEI TU
Košice)

MODELOVANIE A VIZUALIZÁCIA EKOSYSTÉMU

SIMULÁCIA RASTU LESA

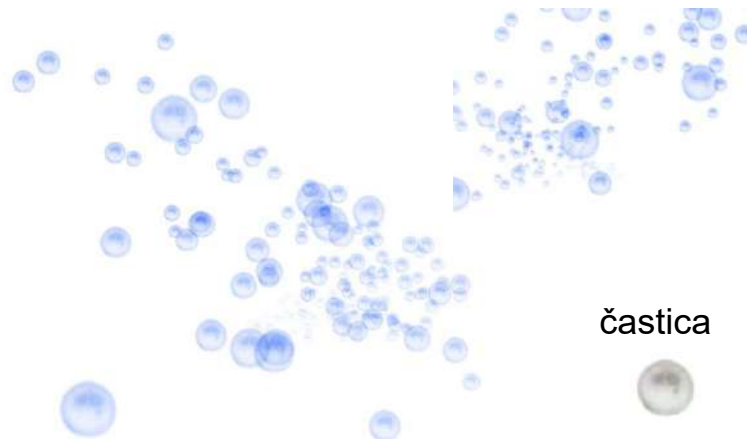
Komplexná vizualizácia procedurálne vytváraných stromov, terénu ako aj ďalších objektov nachádzajúcich sa v lese (mŕtve drevo, pne, kamene atď.). Vo virtuálnom prostredí je možné zobrazovať a interagovať tak s líniovými objektami (vodné toky, cesty, chodníky) ako aj s bodovými objektami (napr. strom, smerovník, krmelec, most, rovnaň dreva atď.). Systém obsahuje prvky fyziky, zmeny počasia (pohyb slnka po oblohe, oblačnosť, vietor, zrážky) ako aj predikciu budúceho vývoja lesa.



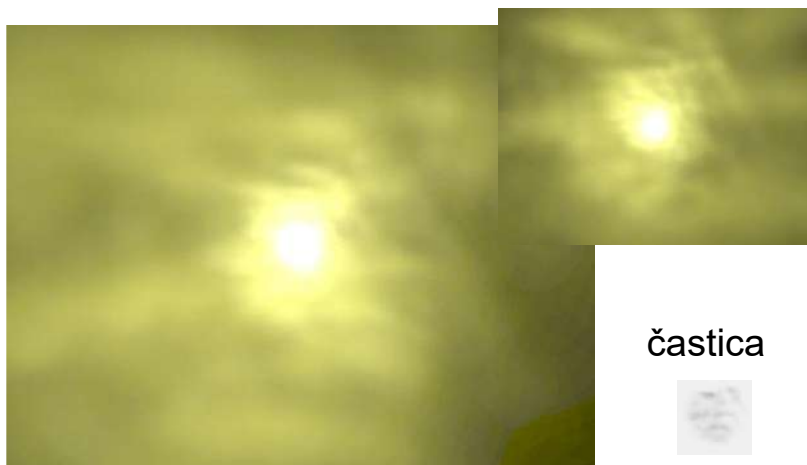
Virtuálny les v rastovom simulátore Sibyla
(zdroj Technická univerzita Zvolen)

ČASTICOVÉ SYSTÉMY

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. Časticové systémy (*particle systems*) sa pre niektoré prírodné javy používajú podobne ako fraktály.



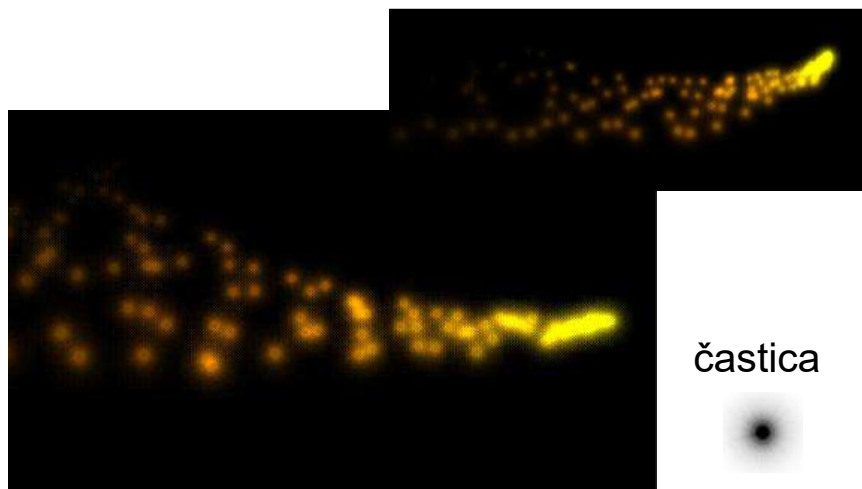
ČASTICOVÉ SYSTÉMY



častica

Slnko v opare (fragment kódu)

```
p[i].init(0,200,320+random(-5,5),240+random(-5,5),-100,1,1,1,1);  
p[i].speed(0,0,-4);  
p[i].color(0,0,-0.01f,-0.001);
```



častica

Kométa (fragment kódu)

```
poz+=1;  
p[i].init(0,100,320+200*sinf(ToRadian((int)poz)),240+100*cosf(ToRadian((int)poz)),-100,0.5f,0.5f,0,1);  
p[i].speed(sinf(ToRadian((int)poz)),0,random(-2,2));  
p[i].color(0.01f,0.001f,0,-0.01f);
```

ĎALŠIE MOŽNÉ OBLASTI VYUŽITIA

- Simulačné štúdie
- Filmová oblasť
- Herná oblasť
- Reklama
- Rozhrania informačných systémov
- ...



Q & A

branislav.sobota@tuke.sk

Katedra počítačov a informatiky, FEI TU v Košiciach

© 2026