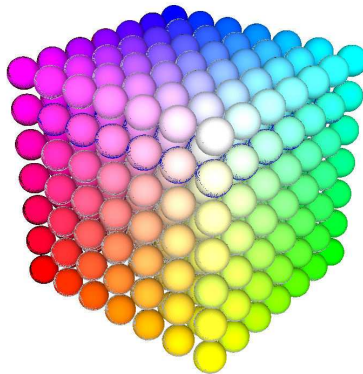


Katedra počítačov a informatiky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach

Branislav Sobota

**Virtuálna realita**  
**a**  
**Grafické architektúry**

Pomocný učebný text  
(len pre interné použitie)



# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>VIRTUÁLNA REALITA</b> .....	<b>2</b>
2.1	ZÁKLADNÉ ÚROVNE VIRTUÁLNEJ REALITY .....	2
2.2	PODSYSTÉMY VR-SYSTÉMOV .....	3
2.2.1	Vizualizačný podsystem .....	3
2.2.2	Akustický podsystem .....	4
2.2.3	Kinematický a statokinetický podsystem .....	5
2.2.4	Hmatový a dotykový podsystem .....	6
2.2.5	Ostatné vnemy .....	6
2.3	KLASIFIKÁCIA VR-SYSTÉMOV NA ZÁKLADE DYNAMIKY POZOROVATEĽA A PROSTREDIA .....	7
2.4	VIRTUÁLNO-REALITNÉ SYSTÉMY .....	8
2.5	VIZUALIZÁCIA A VIZUALIZAČNÝ SUBSYSTÉM .....	12
<b>3</b>	<b>PARALELNÝ RENDERING</b> .....	<b>13</b>
3.1	KONCEPCIE PARALELNÝCH ALGORITMOV .....	13
3.2	PARALELIZMUS V GRAFICKÝCH ARCHITEKTÚRACH .....	14
3.2.1	Funkcionálny paralelizmus .....	14
3.2.2	Údajový paralelizmus .....	15
3.2.3	Časový paralelizmus .....	17
3.2.4	Hybridné prístupy .....	17
3.3	IMPLEMENTÁCIA PARALELNÉHO RENDERINGU .....	17
<b>4</b>	<b>PARALELNÉ GRAFICKÉ ARCHITEKTÚRY</b> .....	<b>19</b>
4.1	ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM NA ZAČIATKU .....	20
4.2	ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM V STREDE .....	20
4.3	ARCHITEKTÚRA S TRIEDENÍM NA KONCI .....	21
4.4	POROVNANIE ARCHITEKTÚR .....	22
4.5	POROVNANIE S ARCHITEKTÚROU MIKROPROCESORA .....	23
<b>5</b>	<b>LITERATÚRA</b> .....	<b>25</b>

*Tento učebný text je určený ako interný rozširujúci pomocný učebný text pre predmet Systémy virtuálnej reality. Text obsahuje základný opis virtuálno-realitných systémov a grafických architektúr.*

Text neprešiel celkovou gramatickou, štylistickou a formátovacou úpravou

# 1 Úvod

S vývojom moderných technológií prirodzene prichádzajú nové možnosti využitia hardvérových zariadení aj na iné účely a operácie, než na ktoré boli pôvodne navrhnuté. Technológie sa nielen že prudko vyvíjajú, ale súčasne sa aj zvyšujú nároky kladené na ich efektívne využitie. Tento trend sa týka všetkých oblastí vedy a techniky, výpočtovej techniky a informatiky nevynímajúc. Typickým príkladom tohto trendu je zavádzanie paralelizmu v procesorových architektúrach a tiež grafický hardvér resp. vývoj grafických procesorov (GPU) v priebehu posledných rokov.

Rapidne zvyšovanie výpočtového výkonu grafického hardvéru, spojené s jeho masívne paralelnou architektúrou a vylepšeniami vnútornej architektúry GPU procesorov v zmysle možnosti jeho programovateľnosti, vytvorilo priestor pre jeho využitie aj na iné účely, ako len výpočet a zobrazovanie virtuálnych scén. Myšlienka využitia grafického hardvéru ako matematického koprocessora k hlavnému centrálnemu procesoru (CPU) je relatívne nová. Objektom intenzívneho výskumu je od konca roka 2002, kedy po prvý raz bola predstavená a použitá skratka GPGPU, ktorá je synonymom tohto výskumu. GPGPU predstavuje skratku z anglického General Purpose Computing on Graphics Processors, teda vykonávanie všeobecných výpočtov prostredníctvom grafických procesorov. To zároveň predstavuje nové možnosti zvyšovania výkonu počítačových systémov v dobe, kedy dominantným výpočtovým prvkom vo svete sú ešte stále klasické, monoprocessorové systémy založené na Von Neumannovskej architektúre. Tieto klasické systémy napriek neustálemu pokroku v zlepšovaní ich architektúr a výrobného procesu, často na hraniciach fyzikálnych možností jestvujúcich technológií, sú pre zvyšovanie hrubého výpočtového výkonu zapájané do zložitých paralelných počítačových systémov a štruktúr. Takéto štruktúry predstavujú zvýšené nároky nielen pre programátorov, ale rovnako aj pre ich administrátorov a samotných výrobcov. Škálovateľnosť takýchto systémov taktiež znamená pridávanie ďalších a ďalších uzlov do rozsiahlej siete distribuovaného počítačového systému, čo predstavuje priestorovú aj energetickú náročnosť. V neposlednej miere sa jedná aj o aplikačné nasadenie v oblasti riešenia niektorých náročných výpočtov, medzi ktoré patrí aj spracovanie rozsiahlych grafických údajov a v tomto smere najmä v segmente virtuálno realitných systémov.

Virtuálna realita, pojem, ktorý je v súčasnosti často skloňovaný. Virtuálno-reality systém predstavuje interaktívny počítačový systém pracujúci v prostredí tesného spojenia človek-počítač. Z tohto dôvodu je potrebné napríklad zabezpečiť čo najvernejšie zobrazenie priestorových scén a objektov vrátane osvetlenia a riešenia viditeľnosti. Ak sa ku kvalitnému programu pridá dostatočne výkonný počítač, ktorý umožňuje toto prepočítavanie v reálnom čase je možné simulovať neexistujúcu realitu. Počítačom nagenarovat' dokonalý obraz, spoločne s počítačom generovaným zvukom a iných vnemov, súčasne prijímať interakcie od používateľa, ale vyžaduje kvalitné a rýchle technické ale aj programové vybavenie. Na tieto činnosti už osobné počítače vo svojej klasickej podobe nestačia. Ich úlohu preberajú výkonnejšie ale drahšie pracovné stanice, príp. ešte vyššie počítače, ale najmä špecializované alebo ešte konkrétnejšie paralelné počítače.

Aj keď so základmi VR na nižšej úrovni je možné experimentovať aj na úrovni súčasných PC, lepšie sa na to hodia výkonnejšie výpočtové systémy.

## 2 Virtuálna realita

Ako už bolo povedané virtuálno-reálny systém predstavuje interaktívny počítačový systém pracujúci v prostredí tesného spojenia človek-počítač. V súčasnosti technológie VR sú jedny z ťažiskových adeptov na masívne využitie ako GPU tak aj paralelných platforiem všeobecne. Niektoré základné pojmy z oblasti virtuálnej reality a virtuálno-reálnych systémov si uvedieme v nasledujúcom. Okrem typického pojmu virtuálna realita je možné sa stretnúť aj so *Zdanlivou* (Fuzzy) *realitou* (počet rámcov nižší a kvalita resp. miera prevedenia nie je až tak dokonalá, najčastejšie kvôli technologickej náročnosti a cene) a *Zmiešanou* resp. *rozšírenou* (mixed, augmented) *realitou* (pohľad na reálny svet je doplnený/rozšírený o zobrazenie syntetizovaných/generovaných elementov). Pozorovateľ resp. používateľ systémov VR je tiež nazývaný *cybernaut* a virtuálnemu zástupca (predstaviteľ) používateľa vo virtuálnom svete sa nazýva *avatar*.

### 2.1 Základné úrovne virtuálnej reality

Pred nasledujúcim delením virtuálno-reálnych systémov je nutné uviesť, čo všetko vlastne spadá do oblasti VR. Okrem ďalej uvedených typických stupňov delenia je možné do VR zahrnúť aj telerobotiku [29] [77] [198] [220] [157] resp. iné typy teleprezencií (t.j. účasť na vzdialenom dejí [30] [221] [219] [228] [230] [229] [117] [255], virtuálna výuka [27] [140] [225] alebo forma virtuálnej konštrukčnej kancelárie [26] [143] [157]).

Najmä podľa technických, čiastočne aj podľa programových prostriedkov potrebných na dosiahnutie príslušných VR výsledkov, môžeme deliť systémy VR (uvedené napr. v [22][66][99][112][185]) na:

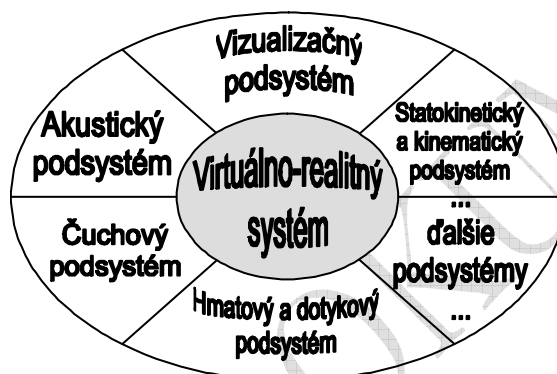
- **Vstupná VR** predstavuje v podstate len "inteligentnejšie" 3D modely a ich zobrazenie na obrazovku počítača. Spravidla je to podporené zvukom zo zvukovej karty. Interakcia s generovaným svetom je na úrovni 2D ovládačov. V podstate sa môže jednať o niektoré dobre spracované hry.
- **Základná (nízka) VR**, kde základného 3D-efektu je dosahované pomocou monitorov a anaglyfických okuliarov s použitím príslušných filtrov (napr. červený a tyrkysový filter) (napr. program 3D-Vision, KPI FEI TU Košice). Nevýhoda je menšie "vtiahnutie" používateľa do generovaného sveta a najmä čiernobiely pohľad. Interakcia s generovaným svetom je stále na úrovni 2D ovládačov (napr. myš, trackball alebo joystick).
- **Stredná VR**, pri ktorej dochádza k podstatnému vylepšeniu komunikácie používateľa s počítačom. Sú prebudované najmä dokonalejšie zobrazovacie metódy, ale aj dokonalejšie vstupné ovládacie prvky. Trojrozmerný obraz je dosahovaný buď okuliarmi s polarizačnými filtermi alebo LCD okuliarmi [133], čo už umožňuje vytvoriť farebný pohľad do virtuálneho sveta. Pohyb resp. interakcia smerom od používateľa je dosahovaná pomocou ovládačov s viacerými stupňami voľnosti (napr. Spacepilot, spaceball, 3D joystick a pod.). Najnovším prvkom na tejto úrovni je kontaktná dátová rukavica [214] [237]. Charakteristickou črtou VR-systémov na tejto úrovni je možnosť ich prevádzky aj na osobných počítačoch s príslušným vybavením, najmä dobrou a výkonnou grafickou kartou.
- **Úplné (immersive) systémy VR** umožňujú kvalitatívne inú interakciu používateľa s počítačovým svetom. Samozrejme najmä na úrovni vizualizačnej, zvukovej a pohybovej. Virtuálneho 3D efektu je možné dosiahnuť použitím špeciálnej dátovej prilby so vstavanými displejmi (Head mounted display - HMD) [43] [237] [45]. Tieto displeje môžu mať vzájomne posunutý obraz tak, aby vznikol dojem priestoru. Prilba je navyše vybavená príslušným audio systémom pre generovanie 3D zvukových efektov. Zo vstupných zariadení sem môžeme zaradiť ďalšie iné snímače polohy hlavy, rúk či nôh, simulátory fyzického odporu resp. dotyku, prípadne generátory a simulátory pôsobiace na iné ľudské receptory (napr. čuch, chuť a pod.). Pre používateľa VR-systémov tejto triedy sa používa označenie "cybernaut" alebo tiež vnorený aktér. Virtuálnemu zástupcovi používateľa vo virtuálnom svete sa

hovorí, už spomínaný, **avatar**. Samozrejme výpočtovou náročnosťou spadá tento stupeň do oblasti pracovných staníc (v súčasnosti aj na platforme PC s viacjadrovými procesormi), ale najmä paralelných počítačov príp. vyšších špecializovaných počítačov.

## 2.2 Podsystemy VR-systémov

Kategorizácia podsystémov VR (uvedená napr. v [8] [25] [42] [68] [80] [113] [191] [260]) je daná hlavne podľa zmyslov, na ktoré jednotlivé časti VR-systému pôsobia: Vizualizačný podsystém [38] [58] [84] [98] [138] [146], Akustický podsystém [46] [59] [97] [249], Kinematický a statokinetický podsystém [24] [88] [101] [183] [247], Hmatový a dotykový podsystém [101] [183] [257] a Iné vnemy [50] [75] [80] [99] [115] [158] [163] [111] [256] (napr. vnemy čuchové, chuťové, citlivosť na feromóny, citlivosť pri chorobe, bolesť, spánok či myšlienky).

Z hľadiska implementácie VR systému je potrebné uvažovať niekoľko skôr spomínaných podsystémov. Jednotlivé dôležité zložky ukazuje nasledujúci obrázok.



Obr. 1 Podsystémy virtuálno-reálneho systému

### 2.2.1 Vizualizačný podsystém

Človek vníma svoje okolie takmer z 80-ich percent pomocou vizuálnych vnemov, a preto prepracovanie práve vizuálneho vnemu bolo a je na prvom mieste VR-systémov. Samozrejme, že sa v celku jedná len o trojrozmerné videnie resp. zobrazovanie. Systémy VR používajú na tento účel dva základné princípy.

Prvý princíp predstavuje sledovanie statického monitora (napr. v [54]). Sem patrí najmä zobrazovanie do okolia používateľa na projekčné plochy s vysokým rozlíšením a veľkosťou väčšou ako je zorný uhol pozorovateľa. Samozrejme, že do tohto druhu patrí aj bežné sledovanie klasického monitora, kde je pomocou skôr popísaných metód simulované trojrozmerné videnie. Z fyzikálneho princípu je na dosiahnutie 3D-efektu nutné posunúť premietané obrazy medzi očami (napr. snímanie pomocou dvoch videokamier s príslušnými polarizačnými filtrami. Na strane zobrazovacej sú umiestnené opačné filtre. Takto dosiahneme to, že pre každé oko je prefiltrované len to, čo má vidieť). Na najnižšej úrovni je toto možné dosiahnuť napr. použitím anaglyfických okuliarov s výsledným efektom redukcie farebného spektra. Tento prístup je teda založený na premietaní na priemetné plochy. Druhým spôsobom v tejto oblasti je sekvenčné zobrazovanie oboch pohľadov na jeden monitor, ale v príslušnej synchronizácii sú zaslepované príslušné oči (napr. pomocou okuliarov na báze LCD) [214] [44]. Tento spôsob však kladie vyššie nároky na zobrazovacie zariadenie najmä z dôvodu rýchlosti zobrazovania, aby nedošlo k blikaniu obrazu. Preto sa používajú monitory s frekvenciou 120Hz a viac. Navyše má táto technológia problém s použitím dnes štandardne používaných LCD monitorov.

Druhý princíp umožňuje, aby sa zobrazovacia jednotka pohybovala spoločne s používateľom. Tento postup sa používa najmä vtedy, keď sa žiada hlbšie a presvedčivejšie vnorenie do virtuálneho sveta. Tu sa používa pár malých CRT (klasických elektrónkových) obrazoviek [84] alebo v súčasnosti už dominantných LCD displejov [14] [98] [43] [237] [45]. Takéto umiestnenie má niekoľko výhod. Prvou je,

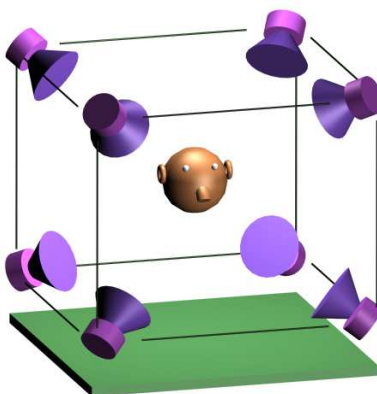
že z virtuálnej reality človek „nevypadne“ ani pri prudšom pohybe hlavy resp. tela. Ďalšou výhodou je fakt, že stabilné umiestnenie obrazu do ohniska pohľadu a vzájomné posunutie obrazov dáva lepší vizuálny a tým aj pocitový 3D-efekt. Periférne zariadenie, ktoré toto vykonáva, sa nazýva *head mounted display* (HMD). Technické prevedenie je závislé od typu monitorov, ktoré sa použijú. V prípade použitia zastaralých CRT obrazoviek, nie je únosné najmä z dôvodu ich hmotnosti, aby tieto boli umiestnené priamo na hlave používateľa. V minulosti sa volil preto tzv. periskopický variant (tzv. BOOM - Binocular Omni-Orientational Monitor) [84]. Obrazovky boli umiestnené na pohyblivom ramene a pred očami bolo pridržované len kukátko podobne ako pri periskope. Ak sa použijú LCD displeje, je možné ich aj kvôli rozmerom a hmotnosti umiestniť priamo na používateľa. Prednosťou je aj výrazne nižšia cena oproti CRT obrazovkám. Nevýhodou je zatiaľ nižšia použiteľná rozlišovacia schopnosť a najmä pomalosť (zotrvačnosť) zobrazovania. Princiipiálne novou možnosťou zobrazovania je priame premietanie obrazu na očné pozadie pomocou laseru [247] resp. použitie 3D zobrazovačov a hologramov [139] [40].



Obr. 2 Datová prilba pre VR

### 2.2.2 Akustický podsystém

Po zrakovom vnímaní je hneď na druhom mieste vnímanie zvukové. Tak ako v reálnom živote aj vo virtuálnom svete patrí zvuk k neodmysliteľnej súčasťi. Akustický podsystém môžeme rozdeliť podľa smeru toku informácií na vstupný a výstupný.



Obr. 3 Schéma 8-kanálového akustického systému virtuálnej reality

Vstup zvuku resp. reči používateľa do virtuálneho sveta patrí medzi základné a pre každého človeka aj prirodzené komunikačné schopnosti. V prípade interakcie vo virtuálnom svete s inou osobou "živého" charakteru (iný človek vstupujúci do virtuálneho sveta) [172] postačuje v podstate len digitalizácia vysloveného, prenos a následný prevod do výstupu audiopodsystému dotyčnej osoby. V prípade interakcie s objektami "neživého" charakteru (generované počítačom) už tento problém prestáva byť triviálny a do popredia sa dostane problém rozpoznávania reči [100].

Ľahšiu úlohu má výstupný podsystem. Je možné povedať, že v súčasných VR-systémoch sa takmer jednostranne preferuje práve len táto zložka. Samozrejme sa nejedná o obyčajný zvuk, ale o 3D zvuk [8] [97] [232] [236]. Ak prijímaný zvuk neodpovedá tomu, čo používateľ vidí, je ilúzia skutočnosti pokazená (to isté platí napr. pri posunutí obrazu a zvuku vo filme). Aj keď generovanie výstupného zvuku v súčasnej "hifi" dobe by sa nezdal až takým problémom, je opak pravdou. Systémy VR prvého príp. aj druhého stupňa sa často uspokojia so stereozvukom. Avšak úplným VR-systémom už na dosiahnutie priestorového efektu a následnej zvukovej lokalizácie [227] [249] častokrát nestačí. Je nutné aplikovať minimálne kvadrofónny zvuk [46]. Ďalším problémom je zvládnutie rôznych najmä "psychologických" prvkov ľudského počúvania [82]. Typickým príkladom je schopnosť človeka vyselektovať z množstva prichádzajúcich zvukov práve tie, o ktoré má v danom čase záujem (tzv. party-effect). Dojem je približne rovnaký ako pri počúvaní dabovaného filmu a tým sa nejedná len o obyčajné ozvučenie.

### 2.2.3 Kínematický a statokinetický podsystem

Určovanie pohybu resp. polohy (tzv. tracking [24] [88] [101] [183] [247]) pozorovateľa patrí medzi tri najdôležitejšie funkcie VR-systému. V rámci trackingu patria medzi hlavné úlohy určovanie pozície hlavy, rúk, nôh príp. celého tela. Na základe výsledku týchto operácií sa prispôsobuje používateľovi aj virtuálny svet. Podľa rozsahu a kvality snímania jednotlivých prvkov ľudského tela delíme systémy VR na:

- systémy s lokálnymi senzormi;
- systémy s globálnym sledovaním.

Medzi prvé patrí samostatné používanie len dátovej rukavice, prilby príp. obleku. K druhým zaraďujeme komplexné snímacie podsystemy väčšinou na mechanicko-gyroskopickú bázu. Podľa spôsobu snímania polohy a pohybu rozlišujeme systémy:

- mechanicko-gyroskopické
- bowdenové (alebo tiež tiahlové)
- ultrazvukové
- infračervené a laserové
- indukčno-magnetické
- optické

Všetky tieto systémy sa líšia najmä rýchlosťou odozvy, presnosťou vyhodnocovania, konštrukčnou náročnosťou a z toho vyplývajúcou cenou. Napr. u bowdenových systémov sa vyhodnocuje zmena dĺžky tiahel, pri ultrazvuku sa vyhodnocuje spozdenie medzi vyslaním a príjmom signálu, obdobne je to pri infračervenom systéme. V prípade magnetického určovania sa vyhodnocujú prúdy vytvárané pri pohybe príslušných svalov a končatín a pri optickom sledovaní sa toto najčastejšie vykonáva pomocou videokamier s následným počítačovým vyhodnocovaním. Optický spôsob sa úspešne využíva navyše aj pri určovaní ohybu v kĺboch (napr. koleno, ruky, prsty atď.) na základe intenzity svetla prechádzajúceho svetlovodným káblom.

V podstate posledné rozdelenie v tejto oblasti je možné vykonať na základe interaktívnosti ovládacích prvkov na:

- priamointeraktívne systémy (tzv. tesneviazané systémy)
- nepriamointeraktívne systémy (tzv. voľneviazané systémy)

K prvej skupine patria všetky systémy popisované v predchádzajúcich odstavcoch. K druhým patria najmä ovládače definované na strednom stupni systémov VR (3D joystick, spaceball atď.).



Obr. 4 Ukážka dátových rukavíc

### 2.2.4 Hmatový a dotykový podsystém

Hmat či pocit pri dotyku je takisto dôležitou stránkou pri interakcii človeka s okolitým prostredím. V reálnom živote je celkom prirodzená nepriepustnosť hmoty a je obtiažne prechádzať napr. cez steny. V súčasných VR-systémoch to až také neprirodzené nie je. Po konštrukčnej a implementačnej stránke to nie je triviálny problém. Napr. pre pocit uchopenia musí mať používateľ možnosť príslušnú virtuálnu vec zovrieť, potlačiť, stlačiť príp. inak spracovať napr. sa o ňu oprieť. Veci, ktoré by "nekládli" prirodzený odpor resp. nebola by potrebná prirodzená námaha (resp. pocit námahy) neboli by potom reálne a používateľ by mal naštrbený pocit reálnosti sveta, v ktorom sa pohybuje. Konštrukčné riešenia súčasnej doby sú pomerne robustné a neflexibilné. Tieto konštrukcie nazývame "exoskelety". Sú väčšinou založené na mechanicko-gyroskopickkej alebo bowdenovej báze. Tieto zariadenia simulujú odpor pre ruky a vo vývoji je zariadenie na simuláciu odporu pre nohy a ostatné časti tela [99] [113]. Prirodzeným pohybom vo virtuálnych svetoch je zatiaľ lietanie a najmä bezodporové chodenie.



Obr. 5 Nelineárny vyvíjač tlaku (vývoj KPI FEI TU Košice)

S pocitom fyzikálneho odporu súvisia aj hmatové pocity. Takmer všetky súčasné systémy vytvárajú tento pocit pomocou ovládania množstva vhodne umiestnených vzduchových vankúšikov resp. vzduchových valčekov (tzv. aerobox, aeropill alebo aerocylinder [99] [101] [113]). Ich nafúknutie resp. vyfúknutie je ovládané a synchronizované riadiacim počítačom, čím sa vytvára pocit dotyku a aj určitého odporu [183] [257]. Tieto prvky sa umiestňujú najmä do kontaktných rukavíc alebo kontaktných oblekov. V globále je simulácia dotykových vnemov úplne novým vedným odborom a prechádza búrlivým vývojom. Pracuje sa na senzoch schopných simulovať pocit pohladenia kožušiny, priblíženia k ohňu či ponorenia do vody [99] [113]. Tepelné resp. chladové senzory sú už v prototypoch vyvinuté. Sú založené, podobne ako vzduchové vankúšiky, na množstve malých elektrotepelných čerpadiel alebo piezoelektrických meničoch vhodne umiestnených či už v dátovej rukavici alebo obleku. Ich cena je však ešte vysoká.

### 2.2.5 Ostatné vnemy

Medzi ostatné, ale tiež nie nepodstatné vnemy patria vnemy čuchové, chuťové, citlivosť na feromóny, citlivosť pri chorobe, bolesť, spánok, myšlienky alebo dokonca virtuálna genetika [50] [75] [80] [158] [163] [256]. Mnohé z nich sú vo virtuálnom svete málo podstatné a tiež v reálnom svete tak málo preskúmané, že nemá zmysel uvažovať o ich simulácii. U niektorých, hoci majú významný zmysel v reálnom svete, je diskutabilná otázka ich implementácie do sveta virtuálneho. Takýmto zmyslom je napr. chuť a v súčasnosti sa s "virtuálnou stravou" nepočíta.

Najviac prepracované v tejto oblasti je použitie čuchového vnemu [99] [115] a sledovanie myšlienok na základnej úrovni [75] [158] [111]. Druhú oblasť preferujú a podporujú najmä vojenské kruhy a ich využitie sa predpokladá najmä v riadiacich systémoch lietadiel, raketoplánov, ponoriek a ich trenážerov [57]. Tieto prístroje sú založené na princípe encefalografu či detektora lži.

Čuch by mal byť súčasťou virtuálneho sveta rovnako ako reálneho. Výskum simulácie čuchových vnemov je síce na začiatku, ale je z ostatne spomínaných najďalej. Sú vyrábané receptory, ktoré na základe digitálnej informácie generujú určitú vôňu [13]. Tieto sú potom montované najčastejšie do kontaktnej prilby. Takisto prebieha výskum, či je možné všeobecné čuchové vnemy poskladať z určitých bázických vnemov ako je tomu pri svetle (napr. rozklade RGB resp. CMYK) [65].



## 2.3 Klasifikácia VR-systémov na základe dynamiky pozorovateľa a prostredia

Pre riešenie niektorých problémov vytvárania aj definície virtuálneho sveta sú skôr uvádzané delenia podľa technických prostriedkov príp. iné, často hrubozrnné a nemusia vždy postihovať želanú skutočnosť. Z tohto dôvodu bola navrhnutá nová klasifikácia, ktorá napomohla k systemizácii a pri návrhu a tvorbe komplexného VR-systému počas práce. Táto klasifikácia je založená na rozdelení VR-systémov na základe dynamiky pozorovateľa (vnoreného aktéra, avatara) a prostredia (sveta), v ktorom sa pozorovateľ nachádza príp. pohybuje. Teda na základe dynamiky jednotlivých subjektov v prostredí virtuálnej reality je možné rozdeliť tieto na dva tábory: tábor prostredia[i] (environment) a tábor pozorovateľa[ov] (observer). Na základe tohto delenia je možné dospieť k inej kategorizácii ako bola uvedená skôr. Táto kategorizácia nie je celkom závislá od zaradenia do úrovni kategorizácie podľa predchádzajúcich kapitol. Zrejme však je, že najvyššia trieda tejto kategorizácie bude viac súvisieť s immersívnymi VR systémami.

**Trieda SESO** [Static environment - static observer] (Statické prostredie - statický pozorovateľ) je najjednoduchší prípad a v podstate ho môžeme zaradiť medzi fotorealistické obrazy. Mimo reálneho času je schopný tieto úlohy plniť aj osobný počítač triedy PC. Pozorovateľ je schopný sa len pozerať, bez možnosti zasahovania do prostredia. Vzhľadom na "čistú statiku" de facto môžeme tu len hovoriť o akejkoľvek fotografii z virtuálneho sveta.

**Trieda DESO** [Dynamic environment - static observer] (Dynamické prostredie - statický pozorovateľ) je už zložitejší prípad. V podstate tento stav je možné prirovnať k sledovaniu filmu v kine alebo televízii. Opäť pozorovateľ je schopný sa len pozerať, bez možnosti zasahovania do prostredia. Do tejto kategórie môžeme zaradiť v podstate aj súčasné komerčné multimédiá. Tieto systémy podľa svojho vzniku môžeme opäť rozdeliť na dva druhy:

- systémy vznikajúce mimo reálneho času (*OFF LINE*)
- systémy prepočítavané v reálnom čase (*ON LINE*)

Prvý druh je rozšírením triedy SESO v podstate o kľazavú animáciu a na riešenie týchto úloh ešte stále postačuje PC. Druhý druh je už podstatne výpočtovo náročnejší a patrí už skôr do "oblasti záujmu" pracovných staníc a vyšších počítačových systémov. Samozrejme to závisí od rastra generovaného obrazu a mohutnosti virtuálneho sveta. Podľa charakteru dynamiky prostredia môže byť toto prostredie živé alebo neživé (viď. DEDO).

**Trieda SEDO** [Static environment - dynamic observer] (Statické prostredie - dynamický pozorovateľ). Táto trieda predstavuje kvalitatívny a zásadný rozdiel od prvých dvoch tried. Je ním možnosť zasahovania pozorovateľa do prostredia. Prostredie je ale statické do zásahu pozorovateľa resp. po zásahu pozorovateľa. Pôsobenie pozorovateľa na prostredie môže byť vykonané niekoľkými spôsobmi. Najjednoduchšie je pomocou klávesnice počítača alebo myši. Samozrejme, že je tu aj možnosť interakcie pomocou kontaktnej rukavice. Je možné povedať, že táto trieda je akýmsi pokračovaním triedy DESO s prepočítaním v reálnom čase. Takýmto spôsobom je možné sa napr. prejsť po ešte nepostavenom dome.

**Trieda DEDO** [Dynamic environment - dynamic observer] (Dynamické prostredie - dynamický pozorovateľ). Je najvyššia trieda v tomto chápaní kategorizácie. Je vlastne už úplným rozšírením triedy SEDO o možnosť premeny prostredia. Podľa počtu pozorovateľov môžeme túto triedu ešte rozdeliť na:

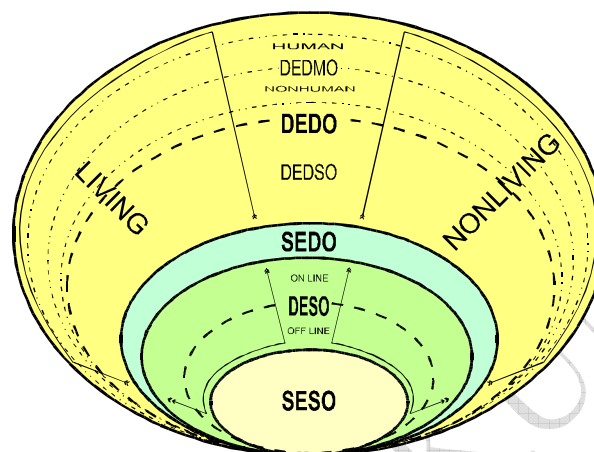
- *DEDSO* - čo predstavuje DEDO, ale len jeden (single) pozorovateľ
- *DEDMO* - čo predstavuje DEDO, ale s viacerými (multi) pozorovateľmi s možnosťou vzájomnej interakcie.

*DEDSO* systémy (podobne ako *DESO*) sú chápané ako svety jedného pozorovateľa a dynamického prostredia, kde prostredie sa chová podľa určitých pravidiel (napr. kývanie závažia v hodinách, tok vody a pod.) Toto rozdelenie v sebe môže zahŕňať živosť resp. neživosť prostredia (*LIVING/NONLIVING* tzv. *DLEDSO/DNEDSO*). Problémy umelých svetov a možnosti ich rozvoja nespádajú úplne do tejto problematiky a preto hlbšia kategorizácia nie je nutná.

DEDMO systémy sú najzložitejšie, okrem toho, že môžu byť *LIVING/NONLIVING* (DLEDMO/DNEDMO), majú navyše aj nutnosť vyriešiť nedeterminičnosť a interakciu dvoch a viacerých pozorovateľov, ktorý môžu napr. po vizuálnej stránke byť zobrazení rôzne. Takisto je možné tu zahrnúť, či riadenie v DEDMO systémoch pre všetkých pozorovateľov (avatarov) riadi každého pozorovateľa človek alebo napr. výpočtový systém (tzv. *HUMAN/NONHUMAN* systémy). Potom je možné zaviesť nasledujúce delenie:

DEDMO - *DEDMHO* (DEDO multiply human observer)  
*DEDMNO* (DEDO multiply nonhuman observer)

Kompletnú hierarchiu a väzby jednotlivých tried a podtried ukazuje nasledujúci obrázok.



Obr. 6 Hierarchia a väzby tried a podtried kategorizácie podľa dynamiky prostredia a pozorovateľa

## 2.4 Virtuálno-relitné systémy

Pojem virtuálna realita, ako môže byť zrejme aj z predchádzajúcich kapitol, zahŕňa širokú škálu problémov. Vymedzenie smeru v tomto multidisciplinárnom probléme nie je jednoduché. Generovanie virtuálneho sveta, jeho realistická vizualizácia v reálnom čase je pomerne mladá oblasť, pretože realistické vizualizačné systémy pracujúce v reálnom čase zaznamenali svoj rozmach až v poslednom desaťročí, čo súviselo najmä s ich finančne náročnou realizáciou a nedostatočnou ako hardvérovou tak softvérovou podporou.

Práce súvisiace s problematikou virtuálnej reality na úrovni immersívnych systémov boli donedávna v teoretickej rovine. Technologický pokrok a zlacnenie realizácie najmä hardvérových komponentov umožnili aj praktické realizácie a tým posunuli aj výskumné aktivity. Najčastejšie sa výskum realizuje podľa skúmaného rámca a predpokladanej oblasti nasadenia. Buď sa realizuje na špecializovaných architektúrach, ktoré majú implementované rôzne komponenty pre podporu toho-ktorého rámca virtuálno-relitného systému. Ich nevýhodou je potom závislosť výsledkov na danej architektúre alebo systéme. V súčasnosti predstavuje takisto pomerne výkonnú platformu širšie a lacnejšie nasadenie na platforme PC. Nevýhoda je najmä v tom, že zladenosť jednotlivých komponentov nemusí byť 100%, tým aj výkonnosť systému sa degraduje a potom je nutné mnohé problémy riešiť softvérovými prostriedkami. Aj z tohto dôvodu by bolo možné prvú cestu označiť skôr za extenzívny rast, kým druhá cesta, ktorá častokrát núti použiť vylepšené alebo dokonca niektoré nové postupy a metódy na dosiahnutie cieľov, sa môže označiť za intenzívnu.

V mnohých praktických realizáciách virtuálno-relitných systémov sa zanedbali z rôznych dôvodov (najmä časových) niektoré problémy. Pomerne málo prác sa venuje triedeniu a klasifikácii týchto systémov a častokrát sa mnohí tvorcovia uspokojia s klasickým triedením (basic-medium-immersive), ktoré nevystihuje vždy dokonale problematiku. Tvorba definičnej aj implementačnej stránky virtuálno-relitného systému je pomerne náročnou etapou a bez dokonalej analýzy a nevhodnej klasifikácie sa častokrát buď na niečo pozabudne, vytvorí sa systém pomerne uzavretý a málo flexibilný s prevládajúcim rámcom (najmä vizualizačným) alebo v snahe vyniknúť sa častokrát predstaví systém ako virtuálno-relitný a pritom ním

nie je, alebo splňuje len niektoré úrovne. Výber klasifikácie, definíčnej a implementačnej úrovne sa môže uskutočňovať podľa rôznych kritérií. Ďalším spoločným ustabilizovaným hľadiskom je definovanie jednotlivých rámcov virtuálno-reálného systému na báze zmyslov človeka, na ktoré pôsobia. V uvedenom prehľade je možné nájsť niekoľko prác, dotýkajúcich sa tejto problematiky [22] [26] [29] [42] [57] [62] [66] [68] [75] [99] [112] [115] [137] [172] [185] [191] [230] [246] [260] [256] [258] [261].

Ako uvádzajú autori najmä v lacnejších virtuálno-reálnych systémoch a pre populárno-vedecké ciele sa používa klasická klasifikácia na báze technických prostriedkov uvedená skôr. V [5] je použité delenie na pasívnu, aktívnu a interaktívnu úroveň. Najmä v [115] [260] [256] [258] [261] sa objavujú niektoré nové snahy klasifikácie najmä na delenia podľa toho aké objekty sa vyskytujú v simulovanom svete. V [22] [75] [137] [172] [185] [230] najmä podľa toho čím môže byť vnorený aktér, resp. s akou morficou resp. psychologickou úrovňou sa musí vo virtuálnom svete stotožniť. V niektorých prácach [29] [66] [68] [137] [172] [185] [258] je uvedená aj klasifikácia podľa toho, ako je implementované plynutie času vo virtuálnom svete. V prácach [248] [147] [260] [181] [130] sa vyskytuje kategorizácia na základe toho, pomocou akých prostriedkov sú modelované objekty vo virtuálnom svete (rovinné polygóny, spline, NURBS a pod.). Niekedy, najmä v prácach [69] [115] [181] [193] sa objavuje kritérium delenia a následného návrhu podľa implementačnej hardvérovej bázy na jednoprocessorovú a paralelnú platformu.

Niekedy sú potom podľa uvedených kritérií niektoré problémy zanedbané a niektoré klasifikácie sú vhodné len pre určitý systém. Vzhľadom na to, že pri problematike virtuálno-reálnych systémov sa jedná, ako už bolo uvedené skôr, o multidisciplinárnu problematiku, bude zrejme pomerne obtiažne zjednotiť kritériá klasifikácie. Nadväznou problematikou je aj popis virtuálneho sveta, kde sa v súčasnosti preferuje síce vytvorenie pomocou určitého 3D editoru, ale pre vnútornú reprezentáciu sa volí určitý abstraktný popisový prostriedok [115] [181] [260] [261].

Najviac preskúvanými rámcami v oblasti virtuálno-reálnych systémov sú rámce: vizuálny, akustický a kinematický. Vzhľadom na percentuálne rozdelenie informačného obsahu jednotlivých rámcov pre vnoreného aktéra, je na prvom mieste záujmu mnohých prác spracovanie práve vizuálneho rámca. Výskumné aktivity sa štiepia na dva smery:

- vývoj hardvérových vizualizačných komponentov a techník či po stránke výskumnej [6] [14] [26] [54] [84] [97] [98] [128] [139] [146] [187] [192] [247] [249] alebo komerčnej [43] [237] [45].
- vývoj, optimalizácia a úprava algoritmov pre podporu vizualizačného rámca [20] [27] [30] [34] [56] [64] [79] [138] [164] [173] [177] [179] [194] [216] [217] [243] [175] a jeho následnej implementácie [25] [38] [79] [128] [143] [192] [118].

Vývoj nových a dokonalejších hardvérových vizualizačných komponentov vyžaduje vysoké finančné investície. V prácach prvej skupiny sa výskum delí na dva smery, ktoré sú viac-menej dané platformou, pre ktorú sa vyvíjajú. Aj keď špičkové modely pracujú spravidla na špecializovaných grafických stanicích, podľa autorovi dostupných prameňov je veľmi vysoká aktivita (podporovaná aj komerčnými firmami) venovaná práve pre platformu PC. V tomto smere dochádza k vývoju buď špecializovanejších periférií (napr. dátové prilby a s nimi HMD) alebo k vylepšovaniu najmä grafických možností a s tým spojené zvyšovanie rýchlosti základných grafických adaptérov pre túto platformu (hardvérové urýchľovače pre riešenie viditeľnosti, textúrovanie alebo napr. tieňovanie).

V prácach druhej skupiny sa objavujú podporné prostriedky resp. ich vylepšenia pre jednotlivé stupne tvorby, ale najmä spracovania vizualizácie scény v reálnom čase pre všetky úrovne, ktoré je možné uviesť v krátkosti:

- *Definovanie modelu* [3] [42] [75], modelovacie techniky (drôtové modely [126], povrchové modely [126] [222] a objemové modely [126] [222] [118]) a prostriedky (plošné polygóny [57] [243], Beziérové kubické a vyššie krivky a plochy [260] [175], spline-krivky a plochy [57] [260], beta a gama spline [115] [222], NURBS [130] [147]). V tomto smere je cítiť evidentnú snahu prechodu od možnosti používania viacerých prostriedkov [42][57] k unifikovanému použitiu jedného alebo dvoch-troch prostriedkov [79]. Systémy, ktoré používajú viaceré prostriedky síce skvalitňujú, spríjemňujú a zrýchľujú niekedy tvorbu VR modelu, avšak pri reálnej vizualizácii sa stráca čas v dekódovaní typu použitého prostriedku a takisto je nutné robustnejšie jadro pre spracovanie toľkých typov. Kdežto u unifikovaného typu sa

vykonáva vždy tá istá operácia s rôznymi parametrami, čo má výrazný vplyv na jednoduchosť vizualizačného jadra. Na druhej strane však v snahe o použitie čo najvšeobecnejšieho prostriedku stúpa výpočtová náročnosť. V tomto smere sa najviac používajú buď rovinné plochy [260] alebo NURBS [130] [260]. Osobitnou časťou je použitie fraktálnej geometrie alebo časticových systémov na získanie niektorých modelov [216] [217].

- *Geometrické transformácie*, zobrazenia a morfovanie modelov resp. objektov. Pre geometrické transformácie sa používajú transformácie používané v počítačovej grafike (napr. v [53] [134]), takisto v zobrazeniach sa používa najmä perspektívne zobrazenie [53] menej často axonometrické zobrazenie [53] príp. možnosť viacerých typov zobrazení resp. iných zobrazení [139]. Novším prvkom je 3D morfovanie objektov [93] v zmysle transformácií: riadiacich prvkov modelovacích prostriedkov, v zmysle simulácie: morfovanie objektu v časovom kontinuu [75] (napr. starnutie, rozklad a pod.) alebo morfovania objektu pri interakcii. Všetky uvedené práce sa zaoberajú uvedenou problematikou pri jej riešení v reálnom čase. Najmä posledne uvedená problematika je silne závislá od použitých modelovacích prostriedkov. Práce sa líšia aj v používaní alebo nepoužívaní podporných hardvérových urýchľovačov. Osobitnou časťou sú práce, ktoré nepoužívajú 2D zobrazovače, ale sa snažia o 3D zobrazovače [139] [40], čím problematika zobrazenia odpadá. U tohto typu zobrazovačov sa však v súčasnosti ešte jedná o pomerne robustné zariadenia s nízkymi parametrami za priveľmi vysokú cenu. To však neznamená, že ich použitie v budúcnosti nemá zmysel.
- *Riešenie viditeľnosti*. Je jedným z náročnejších problémov. V uvádzaných prácach je opäť diferenciacia v použití a nepoužití hardvérových urýchľovačov. Takisto sa tu opakuje problém, ktorý bol uvedený pri modelovacích prostriedkoch. Algoritmov na riešenie viditeľnosti je niekoľko. V prácach [29] [58] [115] sa uvádza použitie jedného algoritmu práve kvôli robustnosti vizualizačného jadra alebo je to limitované použitým hardvérovým urýchľovačom. Naopak v prácach [6] [42] [132] [246] [259] [118] sa uvádza použitie viacerých techník. Ako jeden z problémov je tu uvádzaný vhodný výber a kombinácie príslušných techník a zdá sa, že táto problematika nie je zanedbateľná.
- *Realistické zobrazenie*. Je v súčasnosti najdôležitým krokom vizualizačného procesu. Do tejto skupiny je možné zahrnúť práce [177] [216] na textúrovanie objektov, ďalej práce [179] na tieňovanie objektov a práce, ktoré experimentujú s osvetľovaním objektov a teda výpočtom osvetľovacieho modelu a optických vlastností v reálnom čase [70]. K posledne menovaným prácam patria aj práce, ktoré sa zaoberajú raytracingom resp. vyžarovacou metódou. Z hľadiska realistickej vizualizácie má následný význam implementácia rozpoznávania obrazu na základe umelej inteligencie [170]. Problematika prirodzeného zobrazovania je jedným z hlavných v súčasnom čase riešených problémov. Vzhľadom na jeho široký záber a aj z dôvodu zamerania tejto práce, bude ďalej tomuto prúdu venovaná podrobnejšia časť.

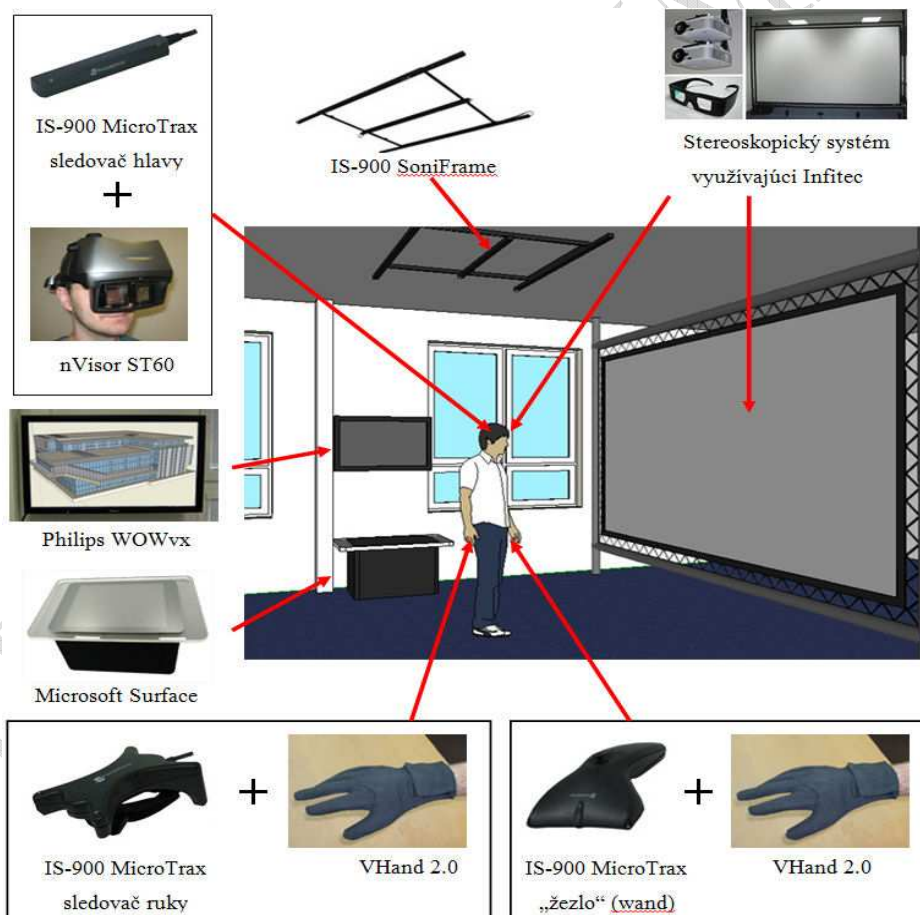
Z dostupných zdrojov sa môže zdať, že stav v oblasti riešenia výskumu vizualizačného rámca je už patrične pokrytý a bohato riešený. Pri spracovaní riešenej problematiky je však stav asi nasledovný. Ak sa zoberie kritérium počtu a rozsahu riešenia čiastkových úloh z každej uvedenej kategórie, je stav uspokojivý, ale ešte je "cítiť" mladosť tohto oboru. Iná situácia nastane, ak sa zoberie ako kritérium aj komplexnosť riešenia či už len celého vizualizačného rámca alebo dokonca v rámci globálneho virtuálno-reálného systému. Tento pohľad ponúkajú spravidla len globálne riešené projekty s praktickým výstupom a aj tu sa to líši od smerovania projektu napr. do hernej oblasti [237], telerobotiky [77] [157], teleprezencií [221] [219] [228] [230] [229] [117] či klasických počítačových simulácií [42] [115] [191]. Potom nastáva taká situácia, že niektoré postupy, ktoré pri parciálnom spracovaní fungujú veľmi dobre, v príslušnom kontexte celého rámca alebo systému fungujú nespoľahlivo či vyžadujú určité implementačné obmedzenia alebo kompromisy alebo nefungujú vôbec (napr. aj problém rozparalelnenia niektorých výpočtov a následná synchronizácia [67]).

Proces tvorby obrazu (angl. rendering) a videnie (angl. vision) je problém, ktorý analyzuje obrazy na vytvorenie počítačových modelov sveta, ktoré sú navzájom inverzné, ich postavenie z pohľadu výpočtu je odlišné. Vízia reálneho sveta je extrémne zložitý proces výpočtu tvorby modelu sveta z reálneho obrazu, pretože je to hlavne problém z oblasti umelej inteligencie [2]. K tomu je potrebné ľudské chápanie

a rozhodovanie. Výpočtové algoritmy týchto procesov sú z veľkej časti neznáme a vo výskume sú viaceré pohľady na ich pochopenie. Na druhej strane, základné procesy pri prevode popísanej scény do výstupného obrazu a fyzika prenosu svetla sú veľmi dobre pochopené a známe. Pochopenie je tak detailné, že sa aplikuje niekoľko úrovní aproximácie, aby bola syntéza obrazu spracovateľná. Výskum sa dnes hlavne zaoberá výkonnými výpočtovými algoritmi a modelmi pre syntézu obrazu [31] [160] [233] [251]. Výpočtové systémy môžu byť kvalifikované podľa :

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

Všeobecne povedané, veľa algoritmov môže byť použitých pre danú reprezentáciu a mnoho reprezentácií sa môže použiť pre jeden algoritmus. Pre komplexné scény alebo pre vysokú výstupnú kvalitu obrazu je proces výpočtovo náročnejší a pozostáva rádovo z  $10^6$  alebo  $10^9$  operácií v pohyblivej a pevnej radovej čiarky pre každý výstupný obrázok (frame). Požiadavka interakcie alebo odozvy v reálnom čase vo väčšine aplikácií kladie vysoké nároky na výkon. Jedna z možností, ako získať potrebný výpočtový výkon, je využiť viac procesných jednotiek pre urýchlenie výpočtu scény. Tento proces budeme nazývať *paralelný rendering*.



Obr. 7 Virtuálno-realistné pracovisko (KPI FEI TU Košice)

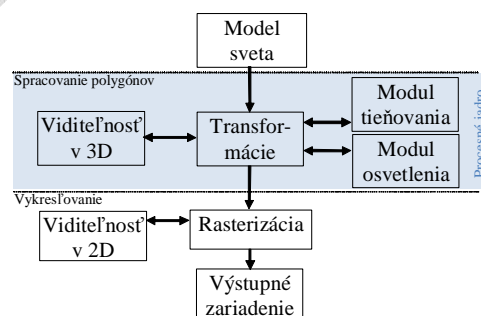
## 2.5 Vizualizácia a vizualizačný subsystém

Vizuálny subsystém VR systému poskytuje hlavnú časť informácie pre pozorovateľa vo virtuálnom prostredí. Tento subsystém vyrába obraz pre pozorovateľa vo virtuálnom svete. Pre pozorovateľa je veľmi zaujímavá fotorealistická vizualizácia. Ale v súčasnosti a existujúcom hardvérom to nie je možné urobiť v reálnom čase. Fotorealistická vizualizácia je taktiež veľmi dôležitá pre umelé svety, špeciálne pre následné rozporňovanie s metódami umelej inteligencie [169].

Pre vizualizáciu v rámci VR systému je použitý vizualizačný engine (angl. visualising engine) [207]. Grafický engine (angl. graphical engine) je často založený na sériovom využívaní informácie a v súčasnosti sú použité najmä služby GPU. Na vstupnej strane je model sveta a na výstupnej strane sú korektne sfarbené pixle na obrazovke. Medzi týmito dvoma stupňami sú dáke ďalšie stupne, ktoré čiastočne menia vstupnú informáciu. Hlavnou predstavou pre implementáciu grafického systému je minimalizovať čas použitý v každom stupni pre systém reálneho času. Vo viacprocesorových systémoch je možné aplikovať niektoré stupne paralelne, čo predstavuje výrazné zrýchlenie. Na nasledujúcom diagrame (pozri Obr. 8) sú znázornené základné fázy nášho vizualizačného jadra [207].

Hlavnou informačnou časťou je model sveta. Je založený na konvexných polygónoch (v budúcnosti to bude paralelná implementácia NURBS výpočtov ako základná časť tohto vizualizačného jadra. Funkcionálny jazyk [107] môže byť použitý pre implementáciu najvyššej vrstvy), ktoré vedia voľne ležať v priestore. Model sveta je vnútorne reprezentovaný pomocou 3D BS/BSP stromov (pozri nasledujúcu kapitolu). V rámci neho sú zahrnuté 3D, dynamicky animované objekty, ktoré sú uložené jednotlivo zo statického modelu sveta. V systéme je aj zopár špeciálnych častí modelu sveta: manažér textúr (angl. texture manager), ktoré menežuje použité textúry v pamäti a menežér svetla (angl. light manager), ktorý menežuje svetlá.

Ďalšou časťou pipeline je výpočet viditeľnosti v 3D. Viditeľnosť statického sveta je vykonaná pomocou prechádzania BS/BSP stromu, ktoré vypočítava zoznam polygónov v zmysle ktoré polygóny sú zotriedené z predu dozadu a vrcholy sú dvojrozmerné (súradnice obrazovky). Tento modul používa transformačný modul, ktorý vyrába všetky potrebné transformácie (vrátane transformácie na obrazovku). Svetelný modul je tiež použitý v tomto 3D module viditeľnosti. Správne osvetlenie pre všetky viditeľné polygóny je vyrábané pomocou troch typov svetla: smerové, ambientné a bodové svetlo. Všetky tieto svetlá môžu byť menené v každom snímku, čo znamená, že môže zmeniť svoju pozíciu, orientáciu a intenzitu. Viditeľnosť pre dynamické objekty je taktiež vyrábaná, ale zoznam polygónov je uložený v inej množine.



Obr. 8 Blokový diagram vizualizačného jadra

Vypočítané data z 3D modulu viditeľnosti sú použité v rasterizačnom module. V ňom každý polygon je rozdelený do horizontálnych rozstupov, ktoré sú zobrazené na obrazovke a z-buffer je nastavený adekvátne (zmena bez testovania znamená len nastavenie). Po zobrazení statického sveta sa zmení na zobrazenie dynamických objektov. Tie sú rozdelené do horizontálnych rozstupov, ale každý pixel v tomto rozstupe je testovaný pomocou z-buffera. Ak je viditeľný, tak sa patrične nastaví pixel farba obrazovky a z-hodnota. Rasterizačný modul využíva 2D modul viditeľnosti, ktorý menežuje z-buffer a rozsahový (span) buffer.

## 3 Paralelný rendering

Ako už bolo povedané, rendering je proces tvorby obrazu pomocou počítačových algoritmov alebo tiež oblasť štúdia zaoberajúceho sa syntézou obrazov z modelov sveta v počítači. Paralelné renderovacie architektúry môžu byť klasifikované podľa bodu v grafickom pipeline, v ktorom sú dáta triedené z objektovo – paralelnej distribúcie do obrazovo – paralelnej distribúcie [150].

### 3.1 Konceptie paralelných algoritmov

Prijatím uvedenej koncepcie vizualizačného jadra dochádza k výraznej zmene škálovateľnosti vizualizačného podsystemu, možnosti manažmentu zrnitosti výpočtov a v neposlednej miere aj k možnosti riadenia rozloženia výpočtových zdrojov v rámci klastra a tým k väčšiemu zrovnomeniu využitia týchto zdrojov. Napriek tomu návrh efektívneho paralelného algoritmu pre zobrazenie scény ostáva veľmi náročná úloha [224]. V niektorých prípadoch existujú sekvenčné algoritmy, ktoré majú jasnú paralelnú dekompozíciu. V iných prípadoch musia byť nové algoritmy navrhnuté úplne od začiatku. Väčšina nových paralelných algoritmov obsahuje ďalšie parametre, ktoré sa nevyskytujú v sekvenčnom algoritme. Tieto parametre bývajú niektoré z nasledujúcich:

- komunikácia medzi úlohami alebo procesormi,
- oneskorenie z dôvodu nerovnomerného zavádzania,
- prídavne alebo zbytočné výpočty,
- pamäťové nároky pre opakované alebo prídavne údajové štruktúry.

Hlavný dôraz je znova kladený na vizualizačný systém, ktorého hlavnou úlohou je kreslenie (renderovanie) scény [223].

Pri návrhu nového paralelného algoritmu je nutné brať do úvahy nasledujúce kľúčové faktory (z nich už niektoré spomínané):

- **dekompozícia úloh a údajov** – kde sa používajú dve základne stratégie pri delení úloh: *objektovo - paralelný* prístup a *obrazovo - paralelný* prístup. Pri objektovo paralelnom prístupe sa úlohy delia, buď podľa geometrického popisu scény, alebo podľa priestoru asociovaného s objektom [48]. Výpočtové operácie sa potom aplikujú paralelne na jednotlivé časti geometrických údajov. Výstupne hodnoty pixelov budú následne integrované do výsledného obrazu. Pri obrazovo paralelnom prístupe je mapovanie opačné. Úlohy sú vytvárané rozdelením zobrazovanej oblasti na regióny a každá úloha spracúva geometrické primitíva, ktorých priemety zasahujú do jej regiónu. Rozhodnúť sa pre použitie objektovo-paralelného alebo obrazovo paralelného algoritmu nie je jednoduché. Objektovo paralelný algoritmus prideluje výpočet objektu vždy viacerým procesorom, ale keďže geometrické primitíva sú väčšinou rôzne veľké, podklady pre rasterizáciu sú časovo odlišné pre jednotlivé procesory. S rastúcim počtom procesorov sa krok integrácie jednotlivých príspevkov od procesorov do výsledného obrazu premieňa do vyšších nárokov na pamäťovú zbernicu alebo komunikačnú sieť [131][135][136][141].
- **zrnitosť** - predstavuje množstvo výpočtu, ktoré sa vykoná v základnej vykonávacej jednotke. Táto vykonávacia jednotka môže odpovedať rozsahu jednej úlohy alebo môže vykonávať ešte menšie kvantum, definované napríklad počtom vykonaných inštrukcií medzi dvoma komunikáciami. Zrnitosť úloh môže byť *jemnozrnná* úloha pre výpočet hodnoty jedného pixelu a *hrubozrnná* úloha pre výpočet jedného snímku v animácii. Od zrnitosti často závisí efektívnosť paralelného výpočtu. Jemnozrnné výpočty všeobecne majú vyššie náklady v súvislosti s organizáciou a komunikáciou, ale ponúkajú možnosti rovnomerného spracovania údajov. Hrubozrnné výpočty majú nižšiu réžiu s riadením a komunikáciou, ale na druhej strane majú nerovnomerné spracovanie údajov a menšie možnosti využitia paralelizmu.

- **škálovateľnosť** paralelných systémov je možnosť zvýšenia kapacity zvýšením počtu procesných elementov. Dva odlišné typy škálovateľnosti sú zaujímavé z pohľadu paralelného výpočtu obrazu *škálovanie výkonu* (možnosť dosiahnuť vyšší výkon pri rovnakom probléme) a *údajová škálovateľnosť* t.j. schopnosť prispôbiť sa údajovo väčšiemu problému. (napr. komplexnejšia scéna alebo vyššie rozlíšenie výstupného obrazu) [36].
- **súvislosť**, väčšina základných algoritmov nad snímkami sa spolieha na súvislosť [150] [251] v rôznej podobe za účelom zníženia rozsahu výpočtov. Pri paralelnom výpočte scény existujú tieto typy súvislosti: snímková súvislosť [16], riadková súvislosť [71], súvislosť span [32] a lúčová súvislosť [15] [136].
- **rovnomerné zaťaženie** definuje efektivitu využitia procesora z hľadiska rozdelenia práce v systéme [89] [242]. Pri paralelnom výpočte výsledného obrazu je mnoho faktorov, ktoré sťažujú splnenie tejto podmienky. Ak je požadované rovnomerné rozdelenie geometrických primitív všetkým procesorom (*transformačná fáza*), treba brať do úvahy premenlivý počet vrcholov polygónov, rôzne réžie potrebné pre osvetľovacie a transformačné operácie, ak je povolené vyradovanie odvrátených primitív, rôzne procesory môžu spracovávať rôzne počty polygónov [226] a krok orezania umožňuje ďalšie zmeny. Problémy pri obrazovo – paralelnom prístupe (*rasterizačná fáza*) sú: rozdelenie primitív v obrazovom priestore je neuniformné, mapovanie priestoru objektu do priestoru obrazu je závislé od miesta a smeru pohľadu a rozdelenie primitív vo výstupnom obraze závisí na zmene medzi nasledujúcimi snímkami (interaktívne aplikácie). Za predpokladu náhodného pridelovania primitív procesorom je jasné, že vyt’áženosť systému bude nerovnomerná. Stratégie pri rozdeľovaní zobrazovacieho priestoru sa dajú klasifikovať na *statické* (fixné pridelovanie údajov všetkým procesorom) a *dynamické* (väčšia flexibilita pri pridelovaní práce procesorom).

### 3.2 Paralelizmus v grafických architektúrach

Základnou úlohou grafických architektúr je generovať grafický výstup pre pripojené zobrazovacie zariadenie. Proces transformácie popisu 3D modelu sveta do výstupného 2D obrazu na zobrazovacom zariadení (napr. monitor) budeme ďalej označovať ako vizualizácia scény. Snahou každého grafického systému je generovať výstup čo najrýchlejšie. Jednou z možností, ako urýchliť túto transformáciu, je rozparalelniť výpočet. V procese vizualizácie scény môže byť použité viacero typov paralelizmu ako napríklad:

- Funkcionálny paralelizmus
- Dátový paralelizmus
- Časový paralelizmus

Tieto základne typy paralelizmov sa dajú aj kombinovať v hybridných systémoch, ktoré umožňujú mnohé formy paralelizmu. Všetky uvedené typy paralelizmu sú vysvetlené podrobnejšie v nasledujúcich podkapitolách. Inštrukčný paralelizmus známy s MIMD architektúr sa v grafických architektúrach nepoužíva.

#### 3.2.1 Funkcionálny paralelizmus

Jeden zo spôsobov ako získať paralelizmus je rozdeliť proces 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 (Obr. 9). Keď procesná jednotka ukončí svoju prácu nad údajmi, pošle ich nasledujúcej jednotke a vyžiada si nové údaje od predradenej jednotky. Ak je prúdový systém plne vyt’áženy, stupeň paralelizmu sa blíži k počtu funkčných jednotiek, z ktorých systém pozostáva.

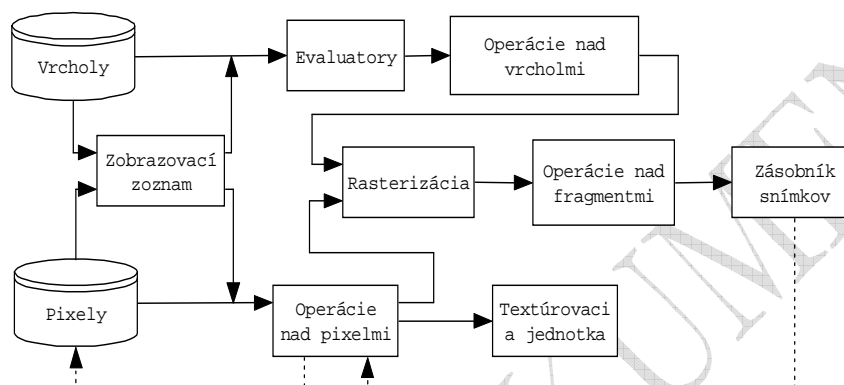
Funkcionálny prístup je obzvlášť vhodný pre spracovanie polygónov a plôch v aplikáciách, kde 3D geometrické primitíva sú vkladané na vstupe prúdu a hodnoty pixelov výsledného obrazu sú produkované



na konci prúdu. Pixel je základná grafická štruktúra výstupného obrazu, nesúca informáciu o farbe a umiestnení v súradnom systéme zobrazovacieho zariadenia, resp. v priemetni. Tento prístup sa veľmi úspešne začal používať najprv v špecializovanom hardvéri pre komerčné grafické stanice vyrábané v období rokov 1980 – 1990.

Napriek veľkému úspechu funkcionálny prístup má 2 dôležité obmedzenia:

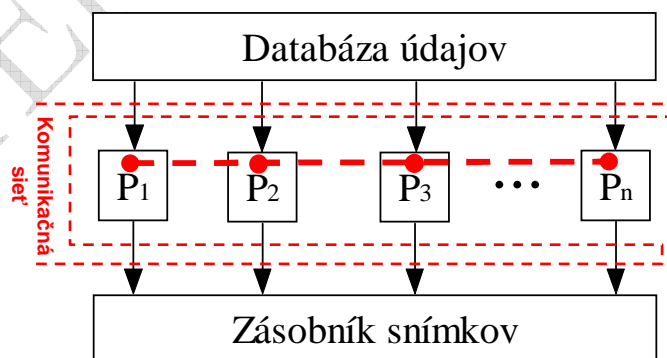
- Celková rýchlosť zret'azených procesných jednotiek je limitovaná najpomalšou z nich, preto funkčné jednotky musia byť navrhované s ohľadom na priepustnosť celého systému.
- Oveľa dôležitejšie pre paralelizmus je limitovaný počet funkčných jednotiek v zret'azenom systéme.



Obr. 9 Zret'azená OpenGL výpočtová rúra

### 3.2.2 Údajový paralelizmus

Namiesto výkonnej postupnosti zret'azených funkčných jednotiek na jednom údajovom prúde (single data stream), je možné rozdeliť údaje do viacerých prúdov a tie prideliť do rovnocenných procesných jednotiek. Výsledky sa potom spájajú v zásobníku snímok (framebuffer). Paralelizmus dosiahnutý týmto prístupom už nie je limitovaný počtom funkčných jednotiek v zret'azenom systéme, ale ekonomickými a technickými možnosťami počtu procesných jednotiek, ktoré môžu byť zabudované v jednom výpočtovom systéme. Najdôležitejšou časťou sa stáva komunikačná sieť, ktorá smeruje údaje medzi jednotlivými procesnými jednotkami. Ako je uvedené v nasledujúcej kapitole, parametre komunikačnej siete hrajú dôležitú úlohu pri výbere výpočtového algoritmu.



Obr. 10 Viacprúdový výpočtový systém.

Dve principiálne triedy údajového paralelizmu je možné nájsť v bližšom pohľade na výpočtový proces:

- paralelizmus pri spracovaní objektov scény.
- paralelizmus pri tvorbe obrazu.

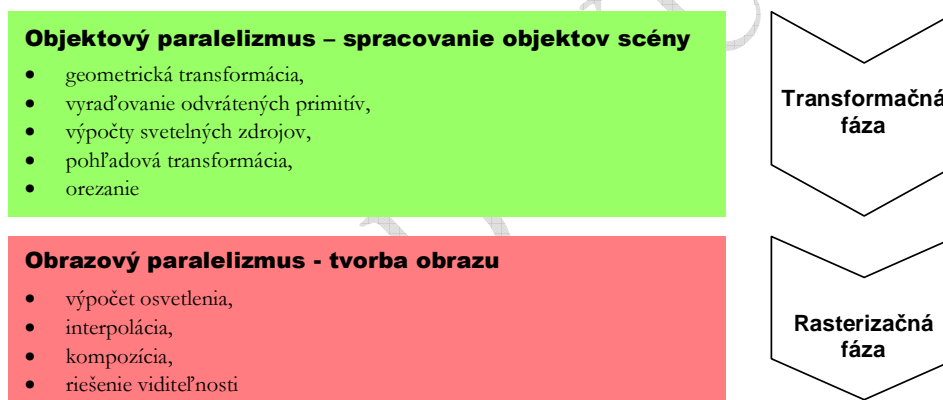
Údajový paralelizmus pri spracovaní objektov scény (ďalej len objektový paralelizmus) obsahuje operácie, ktoré sa vykonávajú nezávisle na geometrických primitívach, z ktorých pozostávajú objekty v scéne. Tieto operácie reprezentujú prvých päť funkčných jednotiek zret'azenia:

- geometrická transformácia,
- vyrad'ovanie odvrátených primitív,
- výpočty svetelných zdrojov,
- pohľadová transformácia,
- orezanie.

Údajový paralelizmus pri tvorbe obrazu (ďalej len obrazový paralelizmus) sa vyskytuje v zostávajúcich zret'azených funkčných jednotkách výpočtovej rúry a obsahuje operácie na výpočet hodnôt pixelov. Tieto výpočty závisia od použitých metód. Môže obsahovať:

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

Spoločne sa označuje objektová časť prúdového spracovania ako transformačná fáza a obrazová časť ako rasterizačná fáza.



Obr. 11 Fázy prúdového spracovania

Stupeň údajového paralelizmu môže byť vysoký. Počet geometrických primitív v scéne pozostáva z rádovo od stoviek až po milióny. Počet pixelov, ktoré treba prepočítať sa pohybuje od tisícok po stovky miliónov, v závislosti od rozlíšenia výstupného obrazu, vzorkovanej frekvencie a počítanej hĺbky v komplexnej scéne.

Aby sa vyhlo kritickým miestam, väčšina systémov založených na údajovom paralelizme musí použiť objektový aj obrazový paralelizmus. Správne vyváženie medzi obidvoma fázami výpočtu závisí hlavne od:

- zložitosti vstupnej scény,
- stupňa vzorkovania a
- rozlíšenia výstupného obrazu.

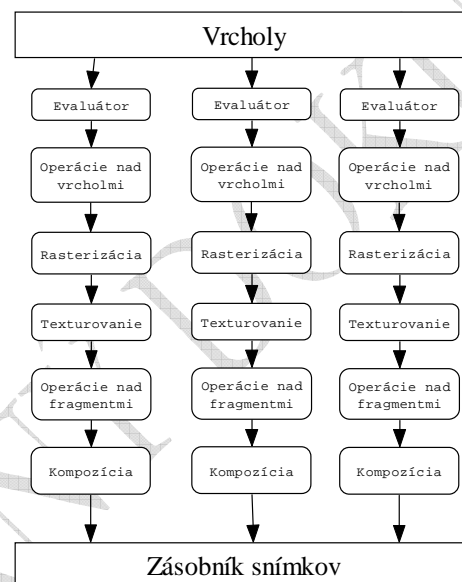
Jedna z možností je zdefinovať si výkonnosť každej fázy a postaviť systém, ktorý tieto požiadavky splní. Táto možnosť sa často používa, keď je použitý rozdielny hardvér na *objektový výpočet* a *obrazový výpočet*. V grafických systémoch, kde objektový aj obrazový výpočet vykonáva tá istá procesná jednotka, výkonnosť musí byť postavená na kombinovanej práci. V oboch prípadoch rovnomerné zaťaženie je dôležité pre zabezpečenie efektívneho využitia hardvéru.

### 3.2.3 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.

### 3.2.4 Hybridné prístupy

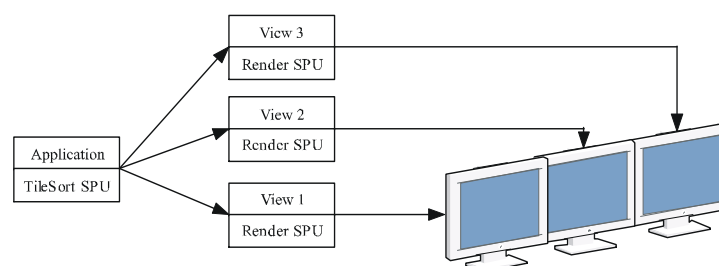
Určite je možné vyčleniť viac foriem paralelizmu v jednom systéme. Napríklad funkcionálny a údajový paralelný prístup môže byť skombinovaný pri využití celého alebo časti zreteľovaného systému (Obr. 12). Ako jeden z prvých takýchto prístupov bol LINKS-1 systém, ktorý pozostával z 64 identických mikropočítačov, ktoré mohli byť dynamicky prestaviteľné do viacerých prúdov s premenlivou dĺžkou zreteľovania. O čosi novší príklad bol Silicon Graphics Onyx 3000 with InfiniteReality4 graphics, ktorý pozostáva zo 128 procesorov a 16 grafických zreteľovaných prúdov, z ktorých každý umožňuje generovať až 8 miliónov pixelov pre jeden snímok. Celkovo dokázal systém generovať výstupný obraz v rozlíšení až 65 miliónov pixelov. V prípade časového paralelizmu je možné ho kombinovať s ostatnými stratégiami za účelom dosiahnutia extrémne vysokého celkového výkonu.



Obr. 12 Hybridná výpočtová architektúra

## 3.3 Implementácia paralelného renderingu

Pri paralelnom renderingu každý uzol načítava do pamäte požadované knižnice po inicializácii a vytvára smerovaciu tabuľu [201]. Tieto typy prúdových jednotiek sú navrhnuté pre použitie v ľubovoľnom mieste v grafe. Jednoduchý príklad je na obrázku Obr. 13.



Obr. 13 Prúdové procesné jednotky

Klienti načítavajú aplikáciu pomocou *tileSort SPU*. Táto systémová konfigurácia je paralelná grafická architektúra s triedením na začiatku (Sort First configuration). Servre na to využívajú *rendererSPU*, ktoré posiela prichádzajúce prúdy do ich lokálneho grafického adaptéra. Táto konfigurácia štartuje čistú klientsku aplikáciu s následnou výstupnou redistribúciou do niekoľkých serverov. Každý server vypočítava špecifickú časť výstupného obrazu (zvyčajne pravouhelníkový objekt) a výsledný obraz je získaný kompozíciou týchto výstupov. Výhodou tohto prístupu je možnosť pre neobmedzenú výstupnú kvalitu. Použitím jedného počítača je systém limitovaný parametrami rozlíšenia grafického adaptéra a výstupného zariadenia. Aktuálne maximálne rozlíšenie pre štandardné monitory už bežne presahuje 1600x1200 pixlov. Bežné aplikácie ale nevyžadujú vysoké rozlíšenie. Iná situácia je v prípade vizualizačných systémov, ako napríklad veľko-obrazová projekcia, VR systémy alebo zobrazovanie veľkej množiny dát. Kvalita je závislá na výstupnom zariadení v tomto prípade. Možnosť teoreticky neobmedzenej škálovateľnosti výstupného rozlíšenia pridávaním serverov je lacnejšia ako produkcia veľkých obrazoviek. Veľkosť obrazoviek je fyzikálne aj technologicky limitovaná. V tomto prípade je ale možné použiť rozširovač rozlíšenia ako napríklad Matrox Double/TripleHead2Go.



Obr. 14 Zariadenie Matrox Double/TripleHead2Go

Transformačný prúd uzla by nemusel byť bezpodmienečne vykonaný len pomocou jednej procesnej prúdovej jednotky. Lineárne zret'azené prúdovo procesné jednotky môžu byť zavedené do uzla počas behu. Každá SPU obsahuje jeho smerovaciu tabuľku do nasledujúceho SPU v jej lokálnom spojení počas inicializácie. Komplexnejšie výsledky je možné dosiahnuť kombináciou viacerých SPU. S využitím tejto vlastnosti SPU môže odchytiť a modifikovať (alebo odstrániť) volania špecifických OpenGL funkcií a môže poslať nezmenený zostatok do nasledujúceho SPU. To dovoľuje modifikáciu grafického stavu SP počas behu a jednoducho dosiahnuť rozdielny finálny výsledok. Napríklad filter "štýl drôtového zobrazenia" je možné dosiahnuť jednoduchou modifikáciou vstupných riadiacich prúdov. SPU predstavujú kresliaci mód do drôtového na začiatku vstupných prúdov a posiela ďalej všetky príkazy, okrem príkazov, ktoré modifikujú kresliaci mód. Týmto systémom nie je bezpodmienečne nutné posilať prúdy pre spracovanie na nasledujúcich uzloch pri každej príležitosti. Klient môže taktiež načítať *rendererSPU* do jeho integrovaného zret'azeného spracovania. S týmto riešením je komunikácia eliminovaná cez sieť a celková systémová dátová prenosová efektívnosť nie je limitovaná s priepustnosťou prepínania siete. Je možné zmeniť štýl aplikácie aj keď je táto aplikácia bežiaci len na jednom počítači. Zret'azenie viacerých SPU je stále inicializované v smere od posledného k prvému. SPU vracia zoznam všetkých implementovaných funkcií počas inicializácie.



Obr. 15 Príklad výstupu na troch obrazovkách

Výberom grafickej architektúry sa uzatvára návrhový proces, následne silne vplyvajúci na proces implementačný. Ako bolo v predchádzajúcom uvedené, základným kritériom pre porovnanie je ohodnotenie množstva práce medzi rôznymi komponentmi paralelného systému a zaobstaranie potrebnej komunikačnej infraštruktúry.

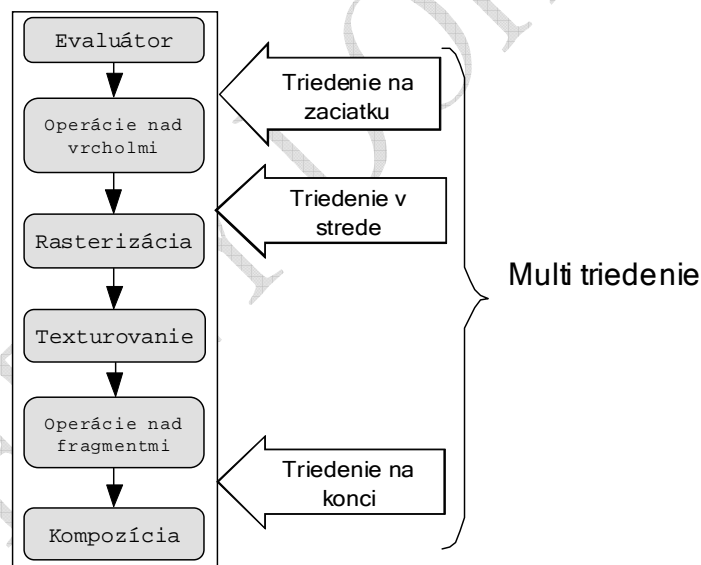
## 4 Paralelné grafické architektúry

V implementačnom procese paralelného renderingu je veľmi dôležité definovanie metrík, ktoré môžu byť použité pri porovnávaní škálovateľnosti rôznych grafických architektúr. Z týchto sa používajú najmä

- vstupná rýchlosť,
- počet spracovaných trojuholníkov,
- počet spracovaných pixlov,
- spracovanie textúr a
- použité výstupné zariadenia, ich počet a vzájomná kompozícia.

Podľa taxonómie uvedenej v [150] sa klasifikujú paralelné grafické architektúry podľa miesta, kde nastáva triedenie (Obr. 16). Základným predpokladom je, že architektúra sa skladá z viacerých grafických uzlov, kde každý uzol predstavuje samostatnú grafickú rúru pozostávajúcu z časti:

- *Evaluátory* jednotka spracovania vstupných príkazov (napr. zo skriptovacieho jazyka)
- *Operácie nad vrcholmi* geometrická jednotka pracujúca s vrcholmi
- *Rasterizácia* rasterizačná jednotka
- *Textúrovanie* textúrovacia jednotka
- *Operácie nad fragmentmi* operácie na úrovni pixlov
- *Kompozícia* kompozícia výstupnej snímky



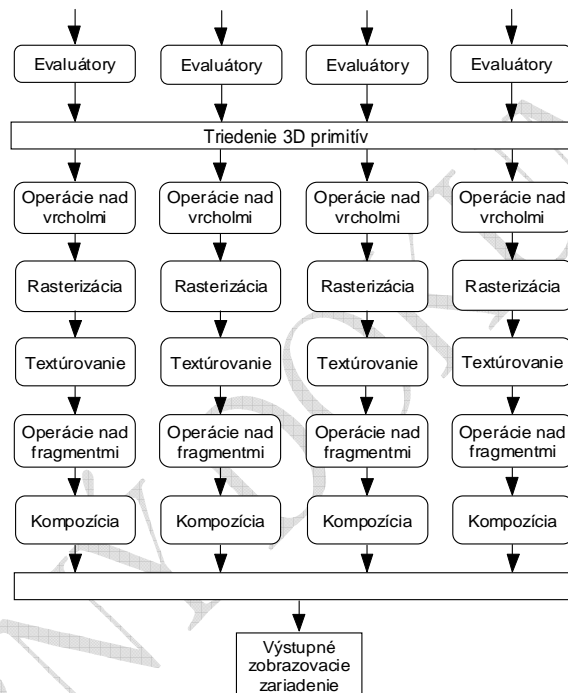
Obr. 16 Klasifikácie triedenia grafických architektúr.

Architektúry sa delia podľa miesta triedenia na:

- *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.

## 4.1 Architektúra s triedením na začiatku

Ako už bolo uvedené v predošlom, v architektúre s triedením na začiatku [155] [156] 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. Jedna z najväčších výhod tejto architektúry je, že sa dá postaviť pridaním jednoduchej komunikačnej infraštruktúry ku štandardnej grafickej rúre s malými prídavnými modifikáciami. Za účelom zníženia počtu rúr, do ktorých sú primitíva triedené, skoro všetky architektúry s triedením na začiatku odpovedajú hrubo-zrnnému rozdeleniu zásobníka snímkov. S ohľadom na minimalizáciu množstva výpočtu potrebného na ohodnotenie primitív, sa počíta obyčajne súbežne nad celou skupinou rôznych primitív (napr. ohraničených v kocke). Pretože pri tejto architektúre závisí od rozdelenia zobrazovacieho priestoru aj rozdelenie práce, je rovnomerné rozdelenie primitív jednotlivým uzlom veľmi dôležité. Problematika rovnomerného využitia systému je tu ešte komplikovanejšia ako u zvyšných alternatívnych architektúr.

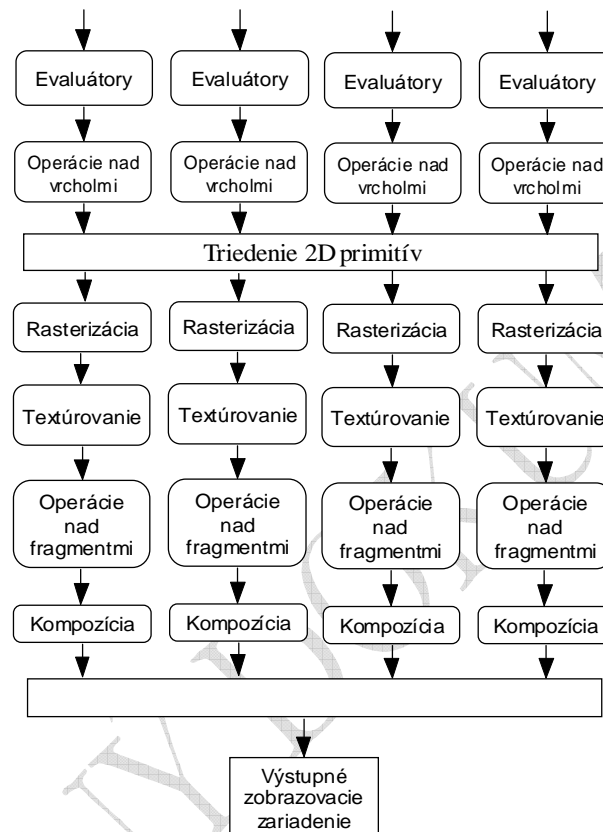


Obr. 17 Architektúra s triedením na začiatku

## 4.2 Architektúra s triedením v strede

V architektúre s triedením v strede podobne, ako pri architektúre s triedením na začiatku, 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. Mnoho komerčných systémov [4] [5] [37] [153] používa architektúry s triedením v strede, pretože majú lepšie vyvážené prerozdelenie pixlov a jednoduchý triediaci mechanizmus. Architektúru s triedením v strede tvorí *sada transformačných procesorov* a *sada rasterizačných procesorov*. Tieto úlohy je schopný vykonať buď jeden fyzický procesor, alebo to môžu byť oddelené procesory pre každú úlohu, ale v oboch prípadoch sú to dve logicky oddelené sady procesorov. V porovnaní s architektúrou s triedením na konci je východzie rozdelenie primitív na úrovni transformačných procesorov. Pre každý snímok musia všetky transformované primitíva, ktoré padli do zobrazovacej oblasti priemetne byť nasmerované do správnych rasterizačných procesorov. Táto komunikačná otázka prináša niektoré ohraničenia pre škálovateľnosť tejto architektúry. Vyvážené zavádzanie pri geometrických transformáciách je nezávislé od rasterizačnej fázy. Z tohto dôvodu

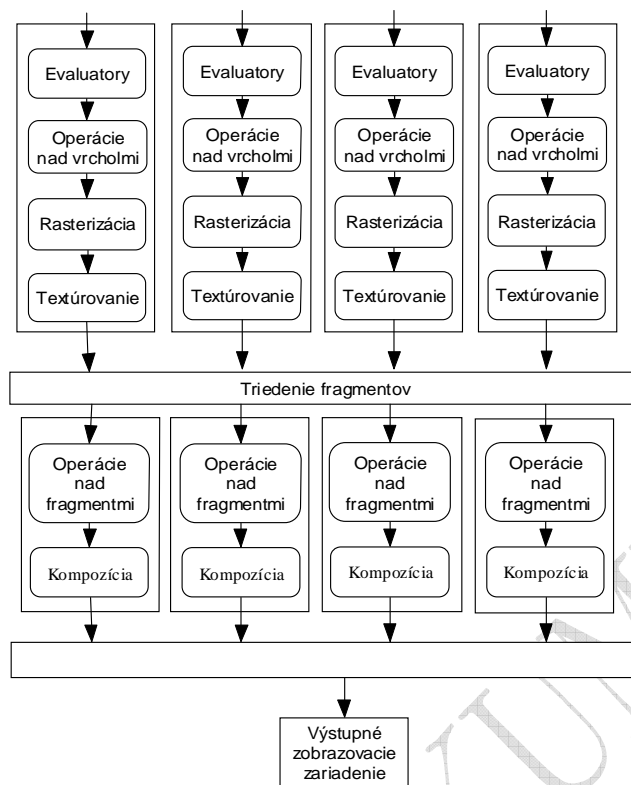
má výhodu oproti architektúram s triedením na začiatku a na konci. Ponúka možnosť efektívneho vyváženia transformačného výkonu s ohľadom na rasterizačný výkon prostredníctvom zmeny počtu procesorov na každej úrovni. Keďže geometrické transformácie nie sú tesne spojené s rasterizáciou ako u iných architektúr, ukladá určité obmedzenia na možné použité renderovacie algoritmy. Strata spojenia v strede zret'azeného spracovania môže obmedzovať spätnú väzbu z rasterizačnej fázy do transformačnej fázy. To môže spôsobiť, že algoritmus vyrad'ovania neviditeľných častí v scéne je menej efektívny alebo nemožný. Architektúra s triedením v strede je často používaná v rôznych implementáciách. Niektoré príklady sú v [4] [33] [37] [47] [55] a [250].



Obr. 18 Architektúra s triedením v strede

### 4.3 Architektúra s triedením na konci

Hoci architektúra s triedením na konci vytvára vysoko kvalitný vyhladený obraz, proces komplikuje posledný triediaci proces. Vytvorenie správne vyhladeného obrazu pomocou architektúry s triedením na konci vyžaduje, aby bola každá vzorka pixelu poslaná a spojená počas triediacej fázy. Množstvo potrebnej komunikácie medzi procesormi je priamo závislé od požadovaného stupňa vyhladenia obrazu (*anti-aliasing*). Keďže viditeľnosť nie je vyriešená až po kompozíciu, dáva to ohraničenie na renderovacie algoritmy, ktoré môžu byť použité. Napríklad, výber algoritmov schopných renderovať priesvitné polygóny je limitovaný a vyrad'ovanie odvrátených častí sa takmer vôbec nepoužíva. Viac o tejto architektúre možno nájsť v [49] [151] [152] [162].



Obr. 19 Architektúra s triedením na konci

#### 4.4 Porovnanie architektúr

Každá architektúra má svoje výhody a nevýhody, ale v princípe v súčasnosti posledné dve architektúry (s kompozíciou obrazu a s viacnásobným triedením) nezaznamenávajú badateľnejšie nasadenie. Niektoré z nich už boli popísané skôr. Architektúra s triedením na konci ponúka výbornú škálovateľnosť z pohľadu počtu primitív, ktoré môžu byť škálovateľné interaktívne. Stačí pridať ďalšie procesory do systému pre spracovanie väčšieho počtu primitív. S vhodným komunikačným hardvérom takéto škálovanie nemá žiadne postranné efekty na kompozíciu procesu alebo požadovanú priepustnosť. Samozrejme, že existujú hranice takéhoto škálovania, ktoré súvisia s distribúciou databázy a s koordináciou všetkých procesorov v systéme. Tieto problémy sa prejavujú až pri veľkých počtoch procesorov. Na výstupnej strane zret'azeného spracovania je opačný problém. Architektúra s triedením na konci sa nedá dobre škálovať z pohľadu počtu renderovaných pixlov. Každý vypočítaný pixel na každom procesore musí byť poslaný po spojovacej sieti a pre každý pixel sa musí poslať dôležité množstvo informácií. Minimálne každý bod musí obsahovať informácie o hĺbke a farbe. To je približne dvojnásobne viac údajov, ako keby bola posielaná iba informácia o farbe. Pri použití vyhladenia (anti-aliasingu) sa množstvo údajov, ktoré musí byť posielané, znásobuje. Pri 8-vzorkovom (8 *sample*) vyhladzovaní je potrebné poslať osemkrát viac údajov po sieti. Existujú spôsoby, ktoré zredujú túto nevýhodu, ale buď tieto alternatívy vyskúšané v [152] prinesú iné komplikácie alebo sa to premietne na kvalite výstupného obrazu. Je vidno, že architektúra s triedením na konci je absolútne nevhodná pre výstupy s vysokým rozlíšením a nie je vhodným kandidátom pre takéto aplikácie.

Architektúra s triedením v strede, na rozdiel od architektúr s triedením na začiatku a na konci posieľa po sieti iba finálne pixely po rasterizácii do zásobníka snímok. V porovnaní s predchádzajúcou tabuľkou je priepustnosť vo všetkých prípadoch 32 krát menšia. To znamená, že otázka priepustnosti siete nie je problémom pre architektúru s triedením v strede a je vhodným kandidátom pre aplikácie s veľkým výstupným rozlíšením.

V architektúre s triedením v strede každé zobrazené primitívum musí byť posielané z daného transformačného procesora do daného rasterizačného procesora. Je potrebná komunikačná schéma



každého s každým, čo prináša obmedzenia na počet procesorov, ktoré môžu byť pridávané do systému. Táto hranica je zaujímavá, ak pri komunikácii po sieti primitív dôjde k zahlteniu siete, čo v prípade klastra môže nastať. Navyše, na analýzu architektúry s triedením v strede je potrebné mať určité predpoklady o údajoch, ktoré budú posielané po komunikačnej sieti. Pri predpoklade, že všetky primitíva sú trojuholníky sa dá vypočítať množstvo bajtov potrebných pre jedno primitívum, ale je potrebný identifikátor, ktorý indikuje, že bude nasledovať trojuholník a renderovací príznak, ktorý je nutný na indikáciu ako sa bude trojuholník vykresľovať.

V závislosti na implementačných detailoch by sa dalo povedať, že architektúra s triedením na začiatku je veľmi podobná architektúre s triedením v strede. Oba potrebujú isté množstvo transformácií po rozdelení vstupných primitív. Oba posielajú výstup vypočítaných pixlov v jednotlivých regiónoch do výsledného zásobníka snímok. Technicky je možné oba rozlíšiť podľa toho, či sa rozdeľujú primitíva podľa priestoru objektu alebo ich obrazu v rovine priemetne. Oveľa zaujímavejší rozdiel medzi týmito dvoma architektúrami vzniká pri použití zadržaného módu nad databázami. Pri takýchto databázach, si architektúra s triedením na začiatku môže ponechať rozdelenú databázu pre jeden snímok aj pre nasledujúci snímok, využívajúc snímkovú súvislosť.

Interaktívne aplikácie vo všeobecnosti prezentujú značné množstvo snímkovej súvislosti. Táto výhoda znamená poslať menej primitív medzi snímkami po sieti. Je potrebné poslať len primitíva, ktoré prechádzajú z oblasti jedného procesora do susednej oblasti druhého procesora v rámci priemetne. Počet primitív, ktoré je treba poslať je nepriamoúmerný množstvu súvislosti, ktorá existuje medzi dvoma po sebe nasledujúcimi snímkami. To vedie k zaujímavému bodu, pretože množstvo súvislostí v aplikácii typicky rastie s rastom počtu snímok za sekundu (*angl. fps-frame per second*). To by znamenalo, že rýchlejšia výmena snímok potenciálne vedie k vyššiemu výkonu systému.

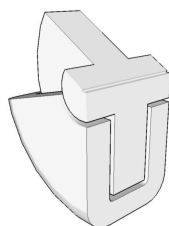
S ohľadom na požadovanú interaktívnu aplikáciu sa táto architektúra ukazuje ako najvhodnejší kandidát. Podobne ako pri architektúre s triedením v strede je potrebné na konci finálne pixely poslať do výsledného zásobníka snímok. S pohľadu komunikácie nad primitívami vyzerá architektúra s triedením na začiatku lepšie ako architektúra s triedením v strede ak využije snímkovú súvislosť na zníženie komunikačných nákladov.

Ani architektúra s triedením na začiatku nie je v skutočnosti tak bezproblémová architektúra. Rovnomerné využitie systému je jedným z veľkých problémov, pretože rozdelenie primitív podľa priemetu do priemetne môže byť značne nerovnomerné a záleží na tom ako sú rozdelené regióny medzi procesory. Riadenie skupiny migrujúcich primitív je samo o sebe komplexná úloha. Nakoniec je ešte architektúra obmedzená algoritmami, ktoré môžu byť použité.

## 4.5 Porovnanie s architektúrou mikroprocesora

Pri porovnaní grafických architektúr s architektúrami univerzálnych mikroprocesorov, najdôležitejšia vec je, že grafické architektúry sú oveľa menej obmedzované otázkami zavádzania inštrukcií a závislostí. Vo všeobecnosti, množstvo práce, špecifikovanej grafickou inštrukciou, je oveľa väčšie, ako množstvo práce, špecifikovanej inštrukciou mikroprocesora (pozri aj kapitoly **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** a **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**). Typická inštrukcia mikroprocesora špecifikuje jednoduchú operáciu ako násobenie. Naproti tomu, typická grafická inštrukcia, ako vykreslenie celého trojuholníka, obsahuje prinajmenšom stovky operácií. Osvetlenie a transformácia troch kolmíc trojuholníka ako aj nastavenie rasterizácie predstavuje niekoľko sto operácií s pohyblivou čiarkou. Okrem toho, každý trojuholník môže vytvoriť od zopár až po tisíc fragmentov, a každý fragment požaduje niekoľko sto operácií v pevnej čiarkke. Napriek veľkému počtu operácií na jednu grafickú inštrukciu, zavedenie inštrukcie je relatívne jednoduché v porovnaní s mikroprocesormi. Presne tak, ako počet vykonávacích jednotiek dostupných na grafickom čipe rastie exponenciálne a šírka pásma do grafického čipu zostáva limitovaná, moderné grafické architektúry sú limitované sériovým prepojením. Relatívny nedostatok dátových závislostí v grafických inštrukciách má veľký dopad na návrh grafických architektúr. To umožňuje, medzi iným, brať do úvahy veľkú toleranciu v oneskorení. Možnosti paralelizmu, ktoré sú k dispozícii u grafického rozhrania, sú rádovo niekoľkokrát väčšie, ako množstvo

paralelizmu, ktoré je k dispozícii z inštrukčnej sady mikroprocesora. Nielen vykonanie individuálnych inštrukcií obsahuje viac operácií v grafickom rozhraní, ale aj efekty minimálnej závislosti sú enormné. Kým moderné mikroprocesory udržiavajú inštrukčné okno niekoľkých inštrukcií, ktoré sú čiastočne vykonávané, moderné paralelné grafické architektúry pripúšťajú desaťtisíce nevybavených trojuholníkov. Každý čip v takej architektúre obsahuje stovky vykonávacích jednotiek, ktoré môžu byť použité paralelne s malými spormi. Pretože tok dát je neznámy a priori, v univerzálne použiteľnom mikroprocesore, množstvo hardvéru je venované na zistenie dátových závislostí a extrahovanie paralelizmu na úrovni inštrukcií pokiaľ je to možné. V grafických architektúrach, najviac dátových závislostí sú známych a priori, a väčšina hardvérových zdrojov sa spotrebuje na využitie rozsiahleho paralelizmu. Ošetrovanie závislostí v ovládaní sú jedným z najťažších aspektov v mikroprocesoroch. Pridávajú na zložitosti v dizajne, čím limitujú množstvo paralelizmu vo výpočte. U grafických architektúr paralelizmus nie je nijako limitovaný závislosťami v ovládaní, ani nepridáva žiadnu komplexnosť k dizajnu. Vďaka tejto skutočnosti grafickí architekti zostrojili mnoho paralelných grafických architektúr.



INTERNÝ DOKUMENT

## 5 Literatúra

- [1] Advanced Graphics Programming Techniques Using OpenGL. SIGGRAPH 1998 Course Notes.
- [2] Airey J., Rohlf J., Brooks F.: Towards image realism with interactive update rates in complex virtual building environments. *Computer Graphics (1990 Symposium on Interactive 3D Graphics)*, 24, 41-50 March 1990.
- [3] Airey, J.M.; Rohlf, J.H.; Brooks, F.P.: Towards Image Realism with Interactive Update Rates in Complex Virtual Building Environments; *Computer & Graphics*, Vol. 24, No. 2, pp. 41,1990
- [4] Akeley K., "RealityEngine Graphics," *Computer Graphics (Proc. Of SIGGRAPH 93)*, Aug. 1993, pp. 109-116.
- [5] Akeley K., Jermoluk T. , High-Performance Polygon Rendering. *Computer Graphics (SIGGRAPH 88 Preceedings)*, 1988, pp. 239-246.
- [6] Akiyama, K. a kol.: Consideration on three-dimensional visual communication systems ,*IEEE Journal on Selected Areas in Communications* ,Vol: 9 Iss: 4 s. 555-60 , May 1991 USA
- [7] Albrecht I. - Haber J. - Seidel H.P.: Construction and Animation of Anatomically Based Human Hand Models. In: *Proc. Eurographics/SIGGRAPH Symp. on Computer Animation 2003*, 2003, pp.98-109,368
- [8] Allport, G.: Three dimensional navigation using the five senses ,*IEE* ,London, 1991 UK
- [9] AMD CTM Overview, 2007, Dostupné na internete: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1281648>
- [10] Amdahl's law, 2006. Dostupné na internete: [http://en.wikipedia.org/wiki/Amdahl's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Amdahl's_law)
- [11] Ames, A.L.; Nadeau, D.R.; Moreland J.L.: *VRML 2.0 Sourcebook*, John Wiley & Sons Inc., New York, USA, 1997
- [12] ATi CrossFire, 2007, Dostupné na internete: <http://ati.amd.com/technology/crossfire/>
- [13] Aukstakalnis S., Blatner D.: *Silicon Mirage*, Peachpit Press 1992
- [14] Azuma, R.; Bishop, G.: Improving Státie and Dynamic Registration in an Optical See-through HMD; *Siggraph*, 1994
- [15] Badouel, D.,Bouatouch, K.,and Priol, T. Distributing Data and Control for Ray Tracing in Parallel. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.14, No.4, July 1994, 69-77.
- [16] Barbara J. Meier. Painterly rendering for animation. *SIGGRAPH 96 Conference Proceedings*, pages 477–484. August 1996.
- [17] Barga B., Donnelly P.: *Inside DirectX*, Microsoft Press, 1998, ISBN 1572316969
- [18] Bernátová, R. – Bernát, M.: Technika vizualizácie systému logickej štruktúry biologického a biofyzikálneho učiva na báze jeho kybernetickej podstaty. *Technológia vzdelávania*, V-XII, 03/2004, s. 12-14, ISSN 1335-003X.
- [19] Bierbaum A., Just C., Hartling P., Meinert K., Baker A., Cruz-Neira C.. *VR Juggler: A Virtual Platform for Virtual Reality Application Development*. *IEEE Virtual Reality*, 89-96, 2001.
- [20] Boof, K.R.: Making Visualization Work: How Abstract is Too Abstract - How Real is Too Complex?; *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization*, San Francisco, Oct. 1996
- [21] Brian Wyvill, Kees van Overveld: Tiling Techniques for Implicit Skeletal Models. *Implicit Surfaces for Geometric Modelling and Computer Graphics*, SIGGRAPH 1996.
- [22] Bricken, W.: Virtual reality, as unreal as it gets ,*Comput. Professionals for Social Responsibility* ,Palo Alto, CA, 1990 USA
- [23] BrookGPU, 2007, Dostupné na internete: <http://graphics.stanford.edu/projects/brookgpu/index.html>
- [24] Bryson, S.: Measurement and calibration of státie distortion of pos. dáta from 3D trackers *Virtual Reality for Visualisation*; *IEEE Visualisation*, pp. 179-189, 1993
- [25] Bryson, S.: Virtual Environment in Scientific Visualisation; *Virtual Reality for Visualisation*; *IEEE Visualisation*, pp. 87-127, 1993
- [26] Carrabine, L.: Plugging into the computer to sense virtual reality (3D imagery), *Computer-Aided Engineering*, Vol: 9 Iss: 6 s.16-17, 20, 22, 23, 26, 1990 USA
- [27] Close, A.M.: *Engineering visualisation, a new approach to teaching concepts* ,Edinburgh, IEE, London, 1991 UK
- [28] Correa, W.T., Klosowski, J.T., Silva, C.T.: Out-Of-Core Sort-First Parallel Rendering for Cluster-Based Tiled Displays. *EGPGV*, 2002.
- [29] Costea, L.: Building real-intelligent systems for design ,Northridge, CA, USA ,*Nat. Comput. Graphics Assoc* ,Fairfax, VA, 1990 USA
- [30] Couey, A.: Shapes of virtual reality: interactive experimentation in the arts online ,*Nat. Comput. Graphics Assoc* ,Fairfax, VA, 1990 USA
- [31] Cox M., *Algorithms for Parallel Rendering*, doctoral dissertation, Princeton University, May 1995.
- [32] Crocker, G.A., "Invisibility coherence for faster scan-line hidden surface algorithms", *Computer Graphics* 18(3), July 1984, pp. 95-102.
- [33] Crockett T. W. and Orloff T., "A Parallel Rendering Algorithm for MIMD Architectures," *Proc. Parallel Rendering Symposium*, ACM Press, New York, 1993, pp. 35-42.
- [34] Crow, F.C.: Shadow Algorithms for Computer Graphics, *SIGGRAPH 77*, *Computer Graphics* 11 (2), 1977, s.242-248
- [35] Čihák, R.: *Anatomie 1. 2. upravené a doplnené vyd.* Grada Publishing, 2001. 477 s. ISBN 80-7169-970-5.
- [36] Dederá, L. – Baráth, J. – Semančík, L.: Programové prostriedky pre vývoj paralelných aplikácií pre NNEC, in.: *Sborník přednášek z 11. mezinárodní konference spojovacího vojska AČR a 9. mezinárodní konference ITTE*, Komunikace v prostředí NEC 2007, 2.5.2005, Brno, Česká republika, ISBN 978-80-239-9156-7
- [37] Deering M. and Nelson S. R., "Leo: A System for Cost Effect 3D Shaded Graphics," *Computer Graphics (Proc. of Siggraph)*, Aug. 1993, pp. 101- 108.
- [38] Deering, M.: High Resolution VR Virtual Reality for Visualisation; *IEEE Visualisation*, pp. 172-178, 1993
- [39] Denis, J. B., Misunas, D. P.: A Preliminary Architecture for a Basic Data Flow Processor. *Proc. of the 2nd Annual Symp. on Computer Architecture*, Houston TX (1975) 126-132

- [40] Dennehy, M.T.; Nesbitt, D.W.; Sumey, R.A. : Real-time three-dimensional graphics display for anti-air warfare command and control; Johns Hopkins APL Technical Digest, Vol: 15 Iss: 2 p. 110-19, April-June 1994
- [41] Depta, J.: Data Flow Architecture for Advanced Process Control. Proc. of Conf. on Computer Software Structures Integrating AI/ KBS Systems in Process Control, A Postprint Volume from the IFAC Workshop, Lund (Sweden) (1996) 21 – 26
- [42] Dieberger, A.: The Information City Project - Virtual Reality User Interfaces for Navigation in Information Spaces; proc. symposium VR Vienna, 1993
- [43] domovská stránka Forte Technologies, <http://www.fortevr.com>,
- [44] domovská stránka StereoGraphics Corporation, <http://www.stereographics.com>,
- [45] domovská stránka Virtual i-0, <http://www.vio.com>,
- [46] Ebanks A., G. A.: Riadenie viacerých zvukových kariet, Diplomová práca, KPI FEI TU Košice, 1995
- [47] Ellsworth D., "A New Algorithm for Interactive Graphics on Multicomputers," IEEE Computer Graphics & Applications, July 1994, Vol. 14, No. 4, pp. 33-40.
- [48] Ellsworth D., Good H., and Tebbs B., "Distributing Display Lists on a Multicomputer," Computer Graphics, Vol. 24, No. 2, March 1990, (Proceedings 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics, Snowbird, Utah, March 25-28, 1990), pp. 147-155.
- [49] Eyles J., Molnar S., Poulton J., Greer T., Lastra A., and England N., "PixelFlow: The Realization", Proceedings of the Siggraph/Eurographics Workshop on Graphics Hardware, Los Angeles, CA, August 3-4, 1997, pp. 57-68.
- [50] Falconi, M.; Politicelli, F.; Desideri, A.: Virtual reality in the biochemistry of proteins: method of representation of an active site of an enzyme, Pixel. Computer Graphics, CAD/CAM, Image Processing, Vol: 12 Iss: 7-8 s. 35-8, 1991 Italy
- [51] Fleischmann, J. et al.: Anatómia človeka. 1.vyd. Bratislava : SPN, 1992. 261 s. ISBN 80-08-00343-X.
- [52] Foley J., Van Dam A., Feiner S., Hughes J.: Computer Graphics, Principles And Practice, Addison-Wesley, 1995, ISBN 0201848406
- [53] Foley, J. a kol.: Computer Graphics - Principles and Practice, sec.edit, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1990
- [54] Friedmann, M.; Stamer, T.; Pentland, A.: Device Synchronisation Using an Optimal Linear Filter; Siggraph Symposium on 3D Interactive Graphics, pp. 57-62, 1992
- [55] Fuchs H. et al., "Pixel-Planes 5: A Heterogeneous Multiprocessor Graphics System Using Processor-Enhanced Memories," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), July 1989, Vol. 23, No. 3, pp. 79-88.
- [56] Fukunaga, K.: Statistical Pattern Recognition; Academic Press Inc., 1990
- [57] Funkhouser, T.A.; Sequin, C.H.; Teller, S.J.: Management of Large Amounts of Data in Interactive Building Walkthroughs; Siggraph Symposium on 3D Interactive Graphics, pp. 11-20, 1992
- [58] Funkhouser, T.A.; Sequin, S.A.: Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualisation of Complex Virtual Environments; ACM - Siggraph, pp. 247-254, 1993
- [59] Gallardo R., A. A.: Abstraktný objektový popisový prostriedok pre zvuk, Diplomová práca, KPI FEI TU Košice, 1995
- [60] General-Purpose Computation Using Graphics Hardware, 2008, Dostupné na internete: <http://www.gpgpu.org>
- [61] Ghee, S.: Programming Virtual Worlds. ACM SIGGRAPH 96, Course Notes, Introduction to VR (1996) 92
- [62] Gigante, M.; Webb, R.: Distributed, Multi-Person, Physically-Based Interaction in Virt. Worlds Communicating with Virt. Worlds; Springer-Verlag, pp. 41-49, 1993
- [63] Goel V. and Mukherjee A., „Volumetric Ray Casting of Time Varying Data Sets“, in Proceedings of the ICASE/LARC Symposium on Visualizing Time-Varying Data, 1996, pp. 89-106. NASA Conference Publication 3321.
- [64] Gouraud, H.: Continuous shading of curved surfaces, IEEE Transactions on Computer, 20, jún 1971
- [65] Green, M.; Shaw, C.: The DataPaper: living in the virtual world, Canadian Inf. Process. Soc Toronto, 1990 Canada
- [66] Grimsdale, C.: Virtual realities-artificial environments, Blenheim Online ,London, 1990 UK
- [67] Grimsdale, C.H.R.: PROvision-parallel processing meets virtual reality ,IEE ,London, 1991 UK
- [68] Grimsdale, R.L. a kol.: Realism meets virtual reality ,IEE, London, 1991 UK
- [69] Hagiya, M.: Information processing 30 years from now ,Information Processing Society of Japan ,Vol: 32 Iss: 1 s.30-2 ,1991 Japan
- [70] Harriss, P.; McKellar, C.: Realtime lighting for virtual worlds ; Proceedings of the 2nd Annual Conference on Virtual Reality International '92: Impacts and Applications, p.37-43
- [71] Hart D., Dutre P., and Greenberg D. P. Direct illumination with lazy visibility evaluation. Proceedings of SIGGRAPH 99, pages 147-154, august 1999. ISBN 0-20148-560-5. Held in Los Angeles, California.
- [72] Havlice, Z.: Prototyping and modelling of wide information systems; In: Proceedings of FEI '25 Conference on Electronic Computers and Informatics, Sept. 22-23, 1994 Herľany, pp.237-242 (in slovak)
- [73] Heinecke A.: A Short Introduction to nVidia's CUDA, Ferienakademie, 2007, Dostupné na internete: [http://home.in.tum.de/~heinecke/docs/heinecke\\_fa2007.pdf](http://home.in.tum.de/~heinecke/docs/heinecke_fa2007.pdf)
- [74] Helman, J.: Architecture and Performance of Entertainment Systems, ACM SIGGRAPH96 Course Notes, Designing Real-Time 3D Graphics for Entertainment, p11.
- [75] Helman, J.L.: Designing VR Systems to Meet Physio- and Psychological Requirements; ACM - Siggraph'93 Course 23 - Applied Virtual Reality., 1993
- [76] Hendrickx, S.: Human Hand Simulation with Java 3D; K.U. Leuven, 1999-2003; <http://www.geocities.com/stefanhendrickx/hand/robotics.html>
- [77] Hitchner L.: Virtual Planetary Exploration:A Very Large Virtual Environment; Virtual Reality for Visualisation; IEEE Visualisation, pp. 148-163, 1993
- [78] Hoffman, W.: Database Design for Visual Simulation and Entertainment, ACM SIGGRAPH 96 Course Notes, Designing Real-Time 3D Graphics for Entertainment, p163.
- [79] Holland, S.: Two-dimensional visual programming and three-dimensional execution visualisation in Prolog ,IEE, London, 1991 UK
- [80] Holmes, R.: Health and safety issues concerning Virtuality systems ,London, Blenheim Online, 1990 UK

- [81] Homan Igehy, Gordon Stoll, and Pat Hanrahan. The design of a parallel graphics interface. Proceedings of SIGGRAPH 98, pages 141–150, July 1998.
- [82] Howard, D.M.; Angus, J.A.S.: Acoustics and psychoacoustics; Focal Press, Oxford, 1997
- [83] <http://www.nvidia.com/page/geforce8.html>
- [84] Huber, J.W.: Current research in the use of head mounted TV cameras to study depth perception on fiat screens ,IEE, London, UK ,1991 UK
- [85] Humphreys, G. - Buck, I. - Eldridge, M. – Hanrahan, P.. Distributed Rendering for Scalable Displays. IEEE Supercomputing, 2000.
- [86] Humphreys, G. - Eldridge, M. - Buck, I. - Stoll, G. - Everett, M. – Hanrahan, P.: WireGL: A Scalable Graphics System for Cluster. SIGGRAPH, 129-140, 2001.
- [87] Humphreys, G. - Houston, M. - Frank, R. - Ahern, S. - Kirchner, P.D. – Klosowski, J.T.: Chromium: A Stream-Processing Framework for Interactive Rendering on Clusters. SIGGRAPH, 693-702, 2002.
- [88] Chapman, D.; Ware, C: Manipulating the Future: Predictor Based Feedback for Velocity Control in Virtual Environment Navigation; Siggraph Symposium on 3D Interactive Graphics, pp. 63-66, 1992
- [89] Chen M, Stoll G., Igehy H. Proudfoot, K., & Hanrahan, P., Simple Models of the Impact of Overlap in Bucket Rendering. 1998 SIGGRAPH / Eurographics Workshop on Graphics Hardware, 105-112.
- [90] Chen, H. - Chen, Y. - Finkelstein, A. - Funkhouser, T. - Li, K. - Liu, Z. - Samanta, R. – Wallace, G. Data Distribution Strategies for High Resolution Displays. Computers and Graphics Vol. 25, 811-818, 2001.
- [91] Chen, Y. - Chen, H. - Clark, D.W. - Liu, Z. - Wallace, G. – Li, K.: Software Environments For Cluster-based Display Systems. IEEE Symposium on Cluster Computing and the Grid, 202-210, 2001.
- [92] Chiueh T.-C. and Ma K.-L., “A Parallel Pipelined Renderer for Time-Varying“ Volume Data, December 1997. ICASE Report No. 97-70.
- [93] Choma, M.: 3D-Morphing, Diplomová práca, KPI FEI TU Košice, 1997
- [94] Chromium: Parallel, Distributed OpenGL Rendering On Commodity Clusters Dostupné na internete: <http://chromium.sourceforge.net/doc/LLNLcopy.html>
- [95] Chung Ch.: Simulation Modeling handbook, CRC Press, 2004, ISBN 084931241-8
- [96] Igehy H., Stoll G., and Hanrahan P., “The Design of a Parallel Graphics Inteface,” Computer Graphics (Proc. of Siggraph), July 1998, pp. 141-150.
- [97] Isono, H.: Stereoscopic image and acoustic technologies; display systems Journal of the Inštitúte of Television Engineers of Japan ,Vol: 45 Iss: 4 s. 446-52 , April 1991 Japan
- [98] Iwata, H.: Virtual reality and force display Journal of the Japan Society of Precision Engineering ,Vol: 57 Iss: 8 s. 1326-9, Aug. 1991 Japan
- [99] Jacobson, L.: Virtual reality: a status report ,AI Expert, Vol: 6 Iss: 8 s. 26-33 , Aug. 1991 USA
- [100] Jadlovský, J.: Príspevok k rozpoznávaniu súvislej reči v slovenskom jazyku. Kandidátska dizertačná práca, Košice, 1990.
- [101] Jánsky, M.: Parallel implementation environment for kinematic frame of virtual reality system solving; DCI FEI TU Košice, 1998, ps.57 (in slovak).
- [102] Jasaň, M.: Modelovanie a vizualizácia ľudskej ruky; Diplomová práca; KPI FEI TU Košice, Košice 2004
- [103] Jelšina M, Vokorokos L: Počítače: základy technických prostriedov. Mercury-Smčkal 2004, ISBN 80-89061-90-7.
- [104] Jelšina M.: Architektúry počítačových systémov, Elfa s.r.o., Košice 2002, ISBN 8089066402
- [105] Jelšina Milan, Sobota Branislav, Straka Marek: Parallel Hierarchical Model of Visualization Computing in Virtual Reality System, Engineering of Modern Electric Systems journal EMES'03 incl. proceedings of 7<sup>th</sup> Scientific Conference with International Participation –, Oradea, 29.-31. 05.2003, University of Oradea, RO, Faculty of Electrotechnics and Informatics – Department of Computer Science, 2003, 7, 1, pp. 82-86, ISSN 1223-2106
- [106] Jelšina Milan, Sobota Branislav: Large graphical data volumes processing based on multifunctional pipeline processor model, Journal of Information, Control and Management Systems, Volume 4, No. 2/1, 2006, pp. 113-121, ISSN 1336-1716
- [107] Jelšina, M. - Kollár, J.: Dataflow Implementation of Abstract Types; Proc. of 4-th Japan-Central Europe Joint Workshop on Advanced Computing in Engineering; Pultusk - Poland, sept. 26.-29., 1994, pp.419-424
- [108] Jelšina, M.: Multifunctional Pipeline Units of the Dataflow Architecture. Acta electrotechnica et Informatica, Elfa s.r.o, Vol. 2, 2, Košice (2003)
- [109] Jelšina, M.; Krahulík, P.; Legnavský M.: Data Flow Architecture for the Parallel Implementation of the Functional Language; In: Proceeding of International Conference on Information, Communications and Signal Processing, Vol. 3 of 3, pp. 1452-1456, IEEE Singapore Section, Singapore 1997
- [110] Jia W., Zhóu W.: Distributed network systems – from concepts to implementation, Springer Science, 2005, ISBN 0-387-23840-9
- [111] Johnson, C.R.: Numerical Methods for Bioelectric Field Problems; in The Biomedical Engineering, CRC Oress and IEEE Press, 1995, ch. 12, ss.162-180
- [112] Kalawsky, R. S.: Reality of virtual reality ,IEE ,London, 1991 UK
- [113] Kalawsky, R.S.: State of virtual reality in the UK ,IEE, London, 1991 UK
- [114] Khronos OpenGL, 2007, Dostupné na internete: <http://www.opengl.org>
- [115] Kikuchi, N.: The RB 2 virtual reality systém Journal of the Japan Society of Precision Engineering ,Vol: 57 Iss: 8 s. 1347-51 , Aug. 1991 Japan
- [116] Kilgard M. J.: The Cg Tutorial: The Definitive Guide to Programmable Real-Time Graphics, Addison-Wesley, 2003, ISBN 0321194969
- [117] Kishino, F.; Ohya, J.; Takemura, H.; Terashima, N.: Virtual space teleconferencing system-real time detection and reproduction of 3-D human images;Proceedings of the Fifth International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International '93) p. 669-74 vol.2

- [118] Knittel, G.: Verve-voxel engine for real-time visualization and examination; Computer Graphics Fórum 1993, Vol: 12 Iss: 3 p. C37-48
- [119] Knorich Zuffo, M. SIGGRAPH 2002 Course 47: Commodity Clusters for Immersive Projection Environments. SIGGRAPH, 2002.
- [120] Kolb A., Cuntz N.: Dynamic Particle Coupling for GPU-based Fluid Simulation,
- [121] Kolenčík, P.: Methods in The Object-Oriented Model as Sums of Morphisms. Proceeding of International Conference MOSIS'97, Hradec nad Moravicí, Czech Republic 1997, pp. 83-88
- [122] Kollár Ján, Novitzká Valerie: Static Weaving at Dynamic Join Points, Acta Elektrotechnica et Informatica, 4, 1, 2004, pp. 16-23, ISSN 1335-824
- [123] Kollár, J.: Control-Driven data flow. Journal of Electrical Engineering, Vol. 51, No. 3-4, Slovak Republic, Bratislava (2000) 67-74
- [124] Kollár, J.: Funkcionálne programovanie, ELFA, Košice, 1995
- [125] Kovach P.: Inside Direct 3D, Microsoft Press, 2000, ISBN 0735606137
- [126] Křípač J.: Objemové modelovanie, aktuálni problémy a trendy, Softwarové noviny, č.3, 1990, s.21-28
- [127] Landryová, L. - Zolotová, I.: Industrial Web Portal for Remote Supervisory Control. In: Encyclopedia of Networked and Virtual Organization. New York: IGI Global, 2008. pp. 700-707. ISBN 978-1-59904-885-7.
- [128] Leibs, S.: The ultimate interface (virtual-worlds technology), InformationWEEK, Iss: no.276 s.46-8, 1990 USA
- [129] Lengyel E.: The OpenGL Extensions Guide, Charles Rivier Media, Inc., 2003, ISBN 1584502940
- [130] Les Piegl, "On NURBS: A Survey", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 11, No. 1, pp.55-71, 1991.
- [131] Li K., "IVY: A Shared Virtual Memory System for Parallel Computing," Proceedings of the 1988 International Conference on Parallel Processing, August 1988, pp. 94-101.
- [132] Liang, J.; Shaw, Ch.; Green, M.: On Temporal-Spatial Realism in the Virtual Reality Environment Virtual Reality for Visualisation; IEEE Visualisation, pp. 190-196, 1993
- [133] Loeffler, C.E.: Interactive computer-based art ,Nat. Comput. Graphics Assoc ,Fairfax, VA, 1990 USA
- [134] Loisel S.: Zed 3D. A compact reference for 3d computer graphics programming, <http://www.cs.mcgill.ca/~zed>
- [135] MacIntyre B. and Feiner S., "A Distributed 3D Graphics Library," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), July 1998, pp. 361-370.
- [136] Mackerres, P.,and Corrie,B. Exploiting Data Coherence to Improve Parallel Volume Rendering. IEEE Parallel and Distributed Technology, Vol. 2, No. 2, Summer 1994, 8-16.
- [137] McCluskey, J.: Virtual reality: the 'fifth' dimension, Multimedia Review ,Vol: 2 Iss: 1 s. 3-6, Spring 1991 USA
- [138] McDermott, R.C.: Image generation for a virtual environment, IEE ,London, 1991 UK
- [139] McKenna, M.; Zeltzer, D.: Three Dimensional Visual Display Systems for Virtual Environments; Presence, Vol. 1, No. 4, pp. 421, 1993
- [140] McLellan, H.: Virtual environments and situated learning, Multimedia Review ,Vol: 2 Iss: 3 s. 30-7,1991 USA
- [141] McMillan, L.,& Bishop, G., Plenoptic Modelling: "An Image-Based Rendering System. " Computer Graphics (SIGGRAPH 95 Preceedings), 29, 39-46.
- [142] McReynolds, T., Blythe D.: Advanced Graphics Programming Using OpenGL, Morgan kaufman Publishers – Elsevier Inc., 2005, ISBN 1-55860-659-9
- [143] Mercurio, P.J.; Gilmore, D. a kol.: Interactive scientific visualization: an assessment of a virtual reality systém , Center, C A, USA and North-Holland Amsterdam, 1990 , Netherlands
- [144] Microsoft DirectX, 2008, Dostupné na internete: <http://msdn.microsoft.com/directx>
- [145] Millery A. - Alleny P. - Santosz V. - Valero-Cuevasz F.: From Robotic Hands to Human Hands: A Visualization and Simulation Engine for Grasping Research; Dept. of Computer Science Columbia University and Neuromuscular Biomechanics Laboratory, Cornell University, NY, USA, 2003
- [146] Mine, M.R.: Characterization of End-to-End Delays in Head-Mounted Display Systems; Dep. of Comp. Science University of North Carolina (TR93-001), 1993
- [147] Mississippi state university, High performance computing collaboratory url: <http://www.erc.msstate.edu/~ptl/NURBS/nurbs/nurbs.html> (jan 2008)
- [148] Moccozet, L. – Thalmann, N.M.: Multilevel Deformation Model Applied to Hand Simulation for Virtual Actors; MIRALab University of Geneva; 1998 url: <http://www.miralab.unige.ch/papers>
- [149] Mohr A., Gleicher, M. Non-invasive, interactive, stylized rendering. ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pages 175–178, March 2001.
- [150] Molnar S., Cox M., Ellsworth D., and Fuchs H., "A Sorting Classification of Parallel Rendering," IEEE Computer Graphics & Applications, July 1994, Vol. 14, No. 4, pp. 23-32.
- [151] Molnar S., Eyles J., Poulton J., "PixelFlow: High-Speed Rendering Using Image Composition," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), July 1992, pp. 231-240.
- [152] Molnar S., Image-Composition Architectures for Real-Time Image Generation, doctoral dissertation, TR 91-046, University of North Carolina at Chapel Hill, Oct. 1991.
- [153] Montrym J. S., Baum D. R., Dignam D. L., and Migal C. J., "InfiniteReality: A Real-Time Graphics System," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), August 1997, pp. 293-302.
- [154] Moore G: Cramming more components onto integrated circuits, Electronics, vol. 38, no. 8, Apr. 1965.
- [155] Mueller C., "Hierarchical Graphics Databases in Sort-First," Proceedings of the 1997 Parallel Rendering Symposium (Phoenix, Arizona, October 25-26, 1997), special issue of Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, New York, 1997, pp. 49-57.
- [156] Mueller C., "The Sort-First Architecture for High-Performance Graphics," Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics (Monterey, California, April 9-12, 1995), special issue of Computer Graphics, ACM SIGGRAPH, New York, 1995, pp. 75-84.

- [157] Neugebauer, J. : Industrial applications of virtual reality: robot application planning; Proceedings of the 2nd Annual Conference on Virtual Reality International '92, p.92-102
- [158] Newquist, H.P.: A computer-generated suspension of disbelief (virtual reality) ,AI Expert ,Vol: 6 Iss: 8 s. 34-9 , Aug.1991 USA
- [159] Nguyen H.: GPU Gems 3, Addison-Wesley Professional, 2007, ISBN 0321515269
- [160] Nigus S. G., "New System Advances Visual Simulation Core Technologies," Proceedings of the 1994 Image VII Conference, June 1994, pp. 86-95.
- [161] Nishimura H. ,Ohno. H.,Kawata.T.,Shirakawa I. and Omura. K. LINKS-1: A Parallel Pipelined Multicomputer System for Image Creation. Preceedings 10th Annual Internationa Symposium on Computer Architecture, IEEE Computer Society Press, 1983, 387-394.
- [162] Nishimura S., Kunii T., "VC-1: A Scalable Graphics Computer with Virtual Local Frame Buffers," Computer Graphics (Proc. of Siggraph), August 1996, pp. 365-372.
- [163] Nomura, J.: System kitchen planning process in virtual space, Journal of the Japan Society of Precision Engineering, Vol: 57 Iss: 8 s. 1352-5 , Aug. 1991 Japan
- [164] Nugent, W.R.: Virtual Reality: advanced imaging special effects let you roam in cyberspace Journal of the American Society for Information Science ,Vol: 42 Iss: 8 s. 609-17, Sept. 1991 USA
- [165] NVIDIA Corporation: NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture - Programming Guide, 2007, Dostupné na internete: <http://developer.nvidia.com/cuda>
- [166] nVidia Geforce 8 Series, 2007, Dostupné na internete:
- [167] nVidia SLi, 2007, Dostupné na internete: <http://www.nvidia.com/page/sli.html>
- [168] nVidia Tesla, 2008, Dostupné na internete: [www.nvidia.com/page/hpc.html](http://www.nvidia.com/page/hpc.html)
- [169] Ocelíková, E.- Zolotová, I.: Recognition Procedures with use of principles and methods of artificial intelligence; In: Proceedings of Conference, I. Internal Scientific Conference of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics, February 5, 1998, Košice, Slovakia, pp. 15-16
- [170] Ocelíková, E.; Zolotová, I.: Recognition Procedures with use of principles and methods of artificial intelligence; In: Proceedings of Conference, I. Internal Scientific Conference of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics, February 5, 1998, Košice, Slovakia, pp. 15-16
- [171] OpenGL extensions, 2007, Dostupné na internete: <http://www.opengl.org/registry>
- [172] Parris, M.; Mueller, C; Prins, J.; Duggan, A.; Zhou, Q.; Erikson, E.: A Distributed Implementation of N-body Virtual World Simulation; Dep. of Comp. Science University of North Carolina (TR92-020), 1992
- [173] Pavlidis, T.: Algorithms for Graphics and Image Processing, Rockville, Computer Science Press, 1982
- [174] Perháč J.: Design of GPGPU utilization in distributed computer system, Košice, Slovakia, 2007, ISBN 978-80-8073-803-7
- [175] Petřík, S. – Skála, V.: Z-Diamonds: A Fast Iso-surface Extraction Algorithm for Dynamic Meshes, Proceedings of the IADIS International Conference on Computer Graphics and Visualization 2007, IADIS Press Lisbon, Portugal, 2007, pp. 67-74, ISBN 978-972-8924-39-3
- [176] Pharr M., Fernando R.: GPU Gems 2: Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation, Addison-Wesley Professional, 2005, ISBN 0321335597
- [177] Pimentel, K.: Texturing reality (virtual reality), Multimedia Review ,Vol: 2 Iss: 2 s. 28-33 , leto 1991 USA
- [178] Ponce J. - Sullivan S. - Boissonnat J.D. - Merletj. P.: On characterizing and computing three- and four-finger force-closure grasps of polyhedral objects. In Proc. of the 1993 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pages 821-827, 1993
- [179] Pospel, J.; Hornung, Ch.: Highlight Shading - Lighting and Shading in PHIGS+/PEX -Environment; Eurographics '89, pp. 317-332, 1989
- [180] Porubän Jaroslav: Time and space profiling for process functional language, Proceeding of the 7'th Scientific Conference with International Participation Engineering of Modern Electric Systems '03, Felix Spa, Oradea, May 29-31, 2003, pp. 167-172, 1223-2106
- [181] Pountain, D.: ProVision: The Packaging of Virtual Reality. BYTE, 16, 1991, č. 10, s. 80IS-53 - 80IS-64
- [182] Proc. 18th Symposium on Simulation Technique, 2005, ISBN 3-936150-41-9
- [183] Purcell, P.:Interfacing to virtual reality: modes of interaction with virtual objects ,Blenheim Online ,London, 1990 UK
- [184] Robinett, W. – Holloway, R.: The Visual Display Transformation for Virtual Reality, ACM SIGGRAPH 96 Course Notes, Introduction to VR, page 129.
- [185] Romkey, J.: Whither cyberspace? Journal of the American Society for Information Science ,Vol: 42 Iss: 8 s. 618-20, Sept. 1991 USA
- [186] Rossignac, J.: Geometric Simplification, ACM SIGGRAPH 96 Course Notes, Interactive Walkthrough of Large Geometric Databases, p 117.
- [187] Rowley, T.W.: Problems of headmounted display ,IEE, London, 1991 UK
- [188] Samanta R., Zheng J., Funkhouser T., Li K., and Singh J., "Load Balancing for Multi-Projector Rendering Systems," SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware, August 1999.
- [189] Samanta, R. - Funkhouser, T. - Li, K. – Singh, J.: Hybrid Sort-First and Sort-Last Parallel Rendering with a Cluster of PCs. Eurographics/SIGGRAPH workshop on Graphics hardware, 99-108, 2000.
- [190] Samanta, R. - Funkhouser, T. - Li, K. – Singh, J.: Sort-First Parallel Rendering with a Cluster of PCs. SIGGRAPH 2000 Technical Sketches, 2000.
- [191] Shaw, Ch.; Liang, J.: The Decoupled Simulation Model for VR Systems; CHI -Proceedings, pp. 321-328, 1992
- [192] Shimamura, K.: Developed image transmission network service-groupware: a new horizon of TV conference Journal of the Inštitúte of Television Engineers of Japan ,Vol: 45 Iss: 1 s. 34-7 ,Jan. 1991 Japan
- [193] Shimizu, K.; Tako, K.: Operating systems 30 years from now ,Information Processing Society of Japan ,Vol: 32 Iss: 1 s. 19-21 , 1991 Japan

- [194] Shirai, Y.: Recent trend of image processing technology and applications Journal of the Institute of Electrical Engineers of Japan ,Vol: 111 Iss: 2 s. 93-6 , Feb. 1991 Japan
- [195] Shirley P.: Fundamentals of Computer Graphics, AK Peters, Ltd., England, 2002, ISBN 1568811241
- [196] Schikore, D. R.- Fischer, R. A.- Frank, R.- Gaunt R.- Hobson J.- Whitlock, B.: High-Resolution Multiprojector Display Walls. IEEE Computer Graphics and Applications, 38-44, 2000.
- [197] Silicon Graphics, Inc.: SGI Onyx 3000 series with InfiniteReality4 graphics, url: <http://www.sgi.com/products/visualization/onyx3000/> október 2002
- [198] Slater, M.; Davison, A.: Gives us a hand: an evolutionary approach to 3D interaction ,Blenheim Online ,London 1990 UK
- [199] Sobota Branislav, Jelšina Milan: Large Graphical Data Volumes Processing Based on Parallel Computer Architecture, Journal of Information, Control and Management Systems, Volume 5, No. 1, 2007, pp. 121-130, ISSN 1336-1716
- [200] Sobota Branislav, Straka Marek, Hlinka Filip, Perháč Ján: Parallel processing of visualization of 3D virtual map project, MOSMIC 2007 - Modelling and Simulation in Management, Informatics and Control, Žilina, 15.10-16.10.2007, Žilina, Fakulta manažmentu, riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, 2007, pp. 9-14, ISBN 978-80-8070-807-8
- [201] Sobota Branislav, Straka Marek, Perháč Ján: A visualization in cluster environment, Grid Computing for Complex Problem 2007, Bratislava, 22.10-23.10.2007, Bratislava, Ústav Informatiky SAV, 2007, tretia, pp. 68-73, ISBN 978-80-969202-7-3
- [202] Sobota Branislav, Straka Marek, Sobotová Dagmar: 3D rozhranie informačného systému, I & IT'04 - Informatika a informačné technológie 2004, Banská Bystrica, 10. - 11.09.2004, Banská Bystrica, Bratia Sabovci, Banská Bystrica, 2004, pp. 52-56, ISBN 80-8083-017-7
- [203] Sobota Branislav, Straka Marek, Vavrek Miloš: The preparation of contribution of 3D model input using triangulation, MOSMIC 2007 - Modelling and Simulation in Management, Informatics and Control, Žilina, 15.10-16.10.2007, Žilina, Fakulta manažmentu, riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline, 2007, pp. 21-26, ISBN 978-80-8070-807-8
- [204] Sobota Branislav, Straka Marek: 3D informačný systém, MOSMIC'2003, Proceeding of the International Workshop MOSMIC'2003, Žilina, 8.-9. 10. 2003, Žilina, SK, 2003, 1, pp. 91-96, 80-8070-139-3
- [205] Sobota Branislav, Straka Marek: A conception of parallel graphic architecture for large graphical data volume visualization in grid architecture environment, Grid Computing for Complex Problem, Ústav Informatiky SAV, 29.11-1.12.2006, Bratislava, Ústav Informatiky SAV, 2006, druhá, pp. 36-43, ISBN 978-80-969202-6-6
- [206] Sobota Branislav, Straka Marek: Interactive Rendering on Clusters in Virtual Reality System Proland, Proceedings of the 6-th international scientific conference - Electronic Computer and Informatics ECI 2004, Košice-Herľany, 22-24.09.2004, Košice, Department of Computers and Informatics FEEI TU Košice, 2004, pp. 457-462, ISBN 80-8073-150-0
- [207] Sobota Branislav, Straka Marek: Visualising Kernel of Virtual Reality System and its Rendering Part, Proceedings of the Fifth International Scientific Conference „Electronics Computers and Informatics '2002“, Košice - Herľany, 10.-11.10.2002, Košice, KPI FEI TU Košice, 2002, pp. 323-327, ISBN 80-7099-879-2
- [208] Sobota Branislav: Modelovanie ľudskej ruky vo virtuálno-reálnom systéme, Acta Electrotechnica et Informatica, 5, 1, 2005, pp. 50-56, ISSN 1335-8243
- [209] Sobota Branislav: Modelovanie povrchu ruky vo virtuálno-reálnom systéme, Acta Electrotechnica et Informatica, 5, 4, 2005, pp. 67-72, ISSN 1335-8243
- [210] Sobota Branislav: Parallel hierarchical model of visualisation computing, Journal of Information, Control and Management Systems, Volume 5, 2, 2007, pp. 345-350, ISSN 1336-1716
- [211] Sobota Branislav: Vizualizácia kostí vo virtuálno-reálnom systéme, Acta Electrotechnica et Informatica, 5, 2, 2005, pp. 55-59, ISSN 1335-8243
- [212] Sobota, Branislav - Szabó, Csaba - Perháč, Ján: Using path-finding algorithms of graph theory for route-searching in geographical information systems. In: SISY 2008 : 6th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics : September 26-27, 2008, Subotica, Serbia. Budapest : Tech, 2008. 6 p. ISBN 978-1-4244-2407-8.
- [213] Sobota, Branislav et al. : 3D visualisation for city information system. In: AEI '2008 : International Conference on Applied Electrical Engineering and Informatics : September 8-11, Greece, Athens 2008. Košice : FEI TU, 2008. p. 9-13. ISBN 978-80-553-0066-5.
- [214] Society for industrial and Applied mathematics, url: <http://www.siam.org/catalog/mccl4/farin.htm> (nov. 2007)
- [215] Staadt. O.G. - Walker, J. - Nuber, C. – Hamann, B.: A Survey and Performance Analysis of Software Platforms for Interactive Cluster-Based Multi-Screen Rendering Proceedings of IPT/EGVE 2003, ACM Press, pp. 261-270 (IPT/EGVE 2003, Zurich, May 22-23, 2003).
- [216] Stanger, V.J.: The rendering of natural image textures for virtual reality applications ,IEE ,London, 1991 UK
- [217] Stevens, R. T.: Fractal programming and ray tracing with C++, Prentice Hall International, CAUSA., 1990
- [218] St-Laurent S.: Shaders for Game Programmers and Artists, Course Technology PTR, 2004, ISBN 1592000924
- [219] Stone, R.J.: Virtual reality and telepresence: an initiative within an initiative ,IEE ,London, 1991 UK
- [220] Stone, R.J.: Virtual reality in telerobotics ,Blenheim Online ,London, 1990 UK
- [221] Stone, R.J.; King, L; Dalton, G.; Weaver, L: Virtual reality and telepresence: visual worlds from non-visual sensors ,IEE, London, 1991 UK
- [222] Stoppi, J.: Virtual and real-time interactive spatial modelling. The rules and tools of virtual architecture and construction ; Proceedings of the 2nd Annual Conference on Virtual Reality International '92: Impacts and Applications, p. 23-30
- [223] Straka Marek, Sobota Branislav: Cluster Based Multi-Screen Rendering, Proceedings of 41th Spring International conference MOSIS '07, Modelling and Simulation of Systems, Rožňov pod Radhoštem, Česká republika, 24.-26. 04.2007, Ostrava, MARQ, 2007, 1, 41, pp. 71-76, ISBN 978-80-86840-30-7
- [224] Straka, M.: Simulácia úloh virtuálnej reality v špecializovanom paralelnom výpočtovom prostredí; Dizertačná práca, Košice, FEI TU Košice, 2006, 133 ps.
- [225] Stuart, R.; Thomas, J.C: The implications of education in cyberspace, Multimedia Review ,Vol: 2 Iss: 2 s. 17-27 , leto 1991 USA



- [226] Sutherland, I. E.- Sproull, R. F. – Schumacker, R. A., "A Characterization of Ten Hidden Surface Algorithms," ACM Computing Surveys, Mar. 1974, Vol. 6, No. 1, pp. 1-55.
- [227] Swan, C; Tyrrell, A.M.; Howard, D.M.: Real-time transputer simulation of the human peripheral hearing systém; Microprocessors and Microsystems, 1994, ss.215-221
- [228] Tachi, S.: Systemization and its applications: TELE-EXISTENCE Journal of the Inštitúte of Television Engineers of Japan ,Vol: 45 Iss: 4 s. 480-7 , Apríl 1991 Japan
- [229] Tachi, S.: Tele-existence and artificial reality Journal of the Japan Society of Precision Engineering ,Vol: 57 Iss: 8 s. 1321-5, Aug. 1991 Japan
- [230] Tachi, S.: Tele-existence Journal of the Society of Inštrument and Control ,Engineers ,Vol: 30 Iss: 6 s.465-71, Jun 1991 Japan
- [231] Tanenbaum A.S., M. van Steen: Distributed Systems - Principles and Paradigms, 704 pages, Prentice Hall, 2002 ISBN: 0132392275
- [232] Tobyáš, V. - Straka, I. - Koubský, P.: Hudba & zvuk na počítači. Softwarové noviny, č. 9/94, str. 18-26
- [233] Torborg J.and Kajija J., "Talisman: Commodity Realtime 3D Graphics for the PC," Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH), August 1996, pp. 353-363.
- [234] Václavík Peter: The Fundamentals of a Process Functional Abstract Type Translation, Proceeding of the 7th Scientific Conference with International Participation: Engineering of Modern Electric '03 Systems, Felix Spa, Oradea, 29-31 May 2003, pp. 193-198, ISSN-1223-2106
- [235] Van der Schaaf, T. - Renambot, L. - Germans, D. - Spoelder, H. – Bal,H.: Retained Mode Parallel Rendering for Scalable Tiled Displays. Immersive Projection Technologies Symposium, 2002.
- [236] Vester, K.: Zvukové karty. CHIP, 1992, č.8, s. 50-63
- [237] Virtuality Inc. url: <http://www.virtuality.com> (dec. 2006)
- [238] Vokorokos L., Perháč J., Kleinová A.: Parallel Compuer System Utilization in Data Visualization, Informatics' 2007, Bratislava, Slovakia, 2007, ISBN 978-80-969243-7-0
- [239] Vokorokos L.: Digital Computers Principles, Typotex 2004, Budapest, ISBN 9639548 09
- [240] Vokorokos L: Parallel Computing Recovery for Fault Tolerant Systems, 2003, Budapest, ISBN 9637154213
- [241] Vokorokos, Liberios - Perháč, Ján - Kleinová, Alžbeta: Parallel computer system utilization in data visualization. In: Informatics 2007 : Proceedings of the Ninth International Conference on Informatics : Bratislava, Slovakia, June 21-22, 2007. Bratislava : SSAKI, 2007. pp. 89-92. ISBN 978-80-969243-7-0.
- [242] Vokorokos, Liberios - Perháč, Ján - Madoš, Branislav: Data visualization in parallel environment based on the OpenGL standard. In: SAMI 2007 : 5th Slovakian - Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Poprad, Slovakia, January 25-26, 2007, pp. 99-106. ISBN 978-963-7154-56-0.
- [243] Wade B.: BSP tree Frequently Asked Questions, <http://www.graphics.cornell.edu/bspfq/>
- [244] Wald, I. - Slusallek, P. – Benthin, C.: Interactive Distributed Ray Tracing of Highly Complex Models. Eurographics Workshop on Rendering, 277-288, 2001.
- [245] Wald, I., Slusallek, P., Benthin, C.: Interactive Distributed Ray Tracing of Highly Complex Models. Eurographics Workshop on Rendering, 277-288, 2001.
- [246] Walser, R.: Doing it directly-the experiential design of cyberspaces, Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol: 1256 s. 147-53, 1990 USA
- [247] Ward, M.; Azuma, R.; Bennett, R.; Gottschalk, S.; Fuchs, H.: A Demonstrated Optical Tracker With Scalable Work Area for Head Mounted Display Systems; Siggraph Symposium on 3D Interactive Graphics, pp. 43-52, 1992
- [248] Washington university in St. Luis, url: [http://info.mcc.ac.uk/CGU/research/animation/nurbs\\_animation.html](http://info.mcc.ac.uk/CGU/research/animation/nurbs_animation.html) (dec 1998)
- [249] Wenzel, E.: Localization in Virtual Acoustic Displays; Presence, Vol. 1, No. 1, pp. 80, 1992
- [250] Whitman S., "A Task Adaptive Parallel Graphics Renderer," IEEE Computer Graphics & Applications, July 1994, Vol. 14, No. 4, pp. 41-48.
- [251] Whitman S., Multiprocessor Methods for Computer Graphics Rendering, AK Peters, Ltd., Wellesley, Massachusetts, 1992.
- [252] Wilkinson D.D. - Weghe M.V. - Matsuoka Y.: An extensor mechanism for an anatomical robotic hand. In Proc. of the 2003 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, pages 238-243, 2003
- [253] Yamagiwa S., Sousa L.: Caravela: A Novel Environment for stream-based distributed computing, IEEE Computer Magazine, 2007, ISSN 0018-9162
- [254] Z.- Liu, Li - Samanta, R. - Wallace, G.: Data Distribution Strategies for High Resolution Displays. Computers and Graphics Vol. 25, 811-818, 2001
- [255] Zolotová, I. – Liguš, J. – Jadlovska, A.: Remote and Virtual Lab – CyberVirtLab, In: Proceedings of the 17th EAEEIE Annual Conference on Innovation in Education for Electrical and Information Engineering, Craiova, Romania, June 2006, pp. 339-342, ISBN 973-742-350-X, 978-973-742-350-4.
- [256] Zyda, M.; Monahan, J.; Pratt, D.: NPSNET: Physically Based Modelling Enhancements to an object file formát; Creating and Animating the Virtual World, pp. 35-52, 1992
- [257] Zyda, M.; Monahan, J.; Pratt, D.: Real Time Collision Detection and Response; Journal of Vis. and Comp. Anim., Vol. 4, No. 1, pp. 13, 1993
- [258] Zyda, M.; Pratt, D.; Falby, J.: NPSNET: Hierarchical dáta structures for realtime 3-dimensional visual simulation; Computer & Graphics, Vol. 17, No. 1, pp. 65, 1993
- [259] Zyda, M.; Pratt, D.; Falby, J.; Lombardo, C; Kelleher, K.: The Software required for the Computer Generation of Virtual Requirements; Presence, Vol. 2, No. 2, pp. 131-140, 1994
- [260] Zyda, M.; Pratt, D.; Monahan, J.; Wilson, K.: NPSNET: Constructing a 3D Virtual World; SIGGRAPH 92 Symposium Interakt. 3D Graphics, pp. 147, 1992
- [261] Zyda, M.; Wilson, K.; Pratt, D.; Monahan, J.; Falby, J.: NPSOFF: An Object Description Language for Supporting Virtual World Construction; Computer & Graphics, Vol. 17, No. 4, pp. 457\_464, 1993