

VEDECKÁ RADA FAKULTY MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY  
UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

RNDr. Ján Lacko

Autoreferát dizertačnej práce

# Inverse problem solver

Na získanie vedecko-akademickej hodnosti *philosophiae doctor*

V odbore doktorandského štúdia: 9.2.1 Informatika

Bratislava, 2010

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky UK

Predkladateľ: **RNDr. Ján Lacko**  
FMFI UK, Mlynská dolina  
841 04 Bratislava  
lacko@sccg.sk

Školiteľ: **doc. RNDr. Andrej Ferko, PhD.**  
FMFI UK, Mlynská dolina  
841 04 Bratislava

Oponenti: **Prof. RNDr. Ján ČIŽMÁR, PhD.**  
KAGDM FMFI UK  
Mlynská dolina  
842 48 Bratislava

**doc. RNDr. Mária KMEŤOVÁ, CSc.**  
Katedra matematiky  
Fakulta prírodných vied  
Univerzita Konštantína Filozofa  
Trieda A. Hlinku 1  
949 74 Nitra

**RNDr. Silvester CZANNER, PhD.**  
Warwick Digital Laboratory  
The University of Warwick  
Coventry, CV4 7AL  
United Kingdom

Autoreferát bol rozoslaný dňa: .....

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa ..... o ..... hod. na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, miestnosť č. .... pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce doktorandského štúdia vymenovanou dňa ..... predsedom spoločnej odborovej komisie vo vednom odbore 9.2.1 Informatika.

Prof. RNDr. Branislav Rován, PhD.  
Predseda Spoločnej odborovej komisie  
pre obhajobu dizertačných prác  
vo vednom odbore  
9.2.1 Informatika

## **Obsah**

<b>Obsah</b> .....	3
<b>1. Úvod</b> .....	4
<i>Ciele dizertačnej práce</i> .....	4
<b>2. Geometrické pozadie</b> .....	5
<b>3. Rekonštrukčná a renderovacia postupnosť</b> .....	6
<b>4. Rekonštrukčné techniky</b> .....	7
<b>5. Klasifikácia rekonštrukčných techník</b> .....	10
<b>6. Expertný systém pre kvalifikované rozhodnutia v rekonštrukčnom procese</b> .....	13
<b>7. Pohľadovo závislé vyhodnotenie kvality 3D objektov</b> .....	17
<b>Zoznam použitej literatúry</b> .....	19
<b>Životopis</b> .....	21
<b>Zoznam publikácií</b> .....	25

## **1. Úvod**

Ako inverzný problém v našej práci definujeme vzťah medzi rekonštrukčným postupom a vykresľovaním objektu, t.j. proces získavania 3D modelu z nasnímaného objektu. Pričom základným problémom počítačovej grafiky je fotorealistické vykresľovanie 3D modelu. Je to inverzný vzťah medzi počítačovou grafikou a počítačovým videním.

V súčasnosti existuje množstvo rozličných rekonštrukčných postupov, ktoré využívajú rozličné spôsoby generovania 3D objektu z rozličných typov vstupných údajov. Mnohé z týchto rekonštrukčných postupov však negenerujú 3D model automaticky, ale potrebujú pre spracovanie výsledného 3D objektu súčinnosť používateľa, či už zadávaním potrebných informácií, alebo priamym vstupom do procesu tvorby 3D modelu. Zároveň si mnohé 3D objekty reprezentované ako výstupy z automatických techník vyžadujú ďalšie spracovanie výsledného 3D objektu, najmä segmentáciu objektu a pozadia pri rekonštrukcii jednotlivých objektov v scéne alebo segmentáciu objektov v rámci celej scény. Mnohé rekonštrukčné techniky sú závislé od kvalitne spracovaných vstupných údajov, pričom toto spracovanie často ovplyvňuje výslednú kvalitu spracovaného 3D objektu.

Pre optimalizáciu celého rekonštrukčného procesu s využitím existujúcich techník a nástrojov je nutné klasifikovať jednotlivé rekonštrukčné algoritmy. Prostredníctvom klasifikácie je možné zamyslieť sa nad tým, ktorá z techník je optimálna pre rekonštrukciu konkrétneho objektu. Tento prístup si však vyžaduje aj diverzifikáciu jednotlivých vstupov, to znamená, že ako vstupné dáta budeme využívať fotografie, mračná bodov získané laserovým skenovaním, formálny popis objektov alebo vstupné obrazy získané napríklad ako výstup z CT, MR alebo konfokálneho mikroskopu.

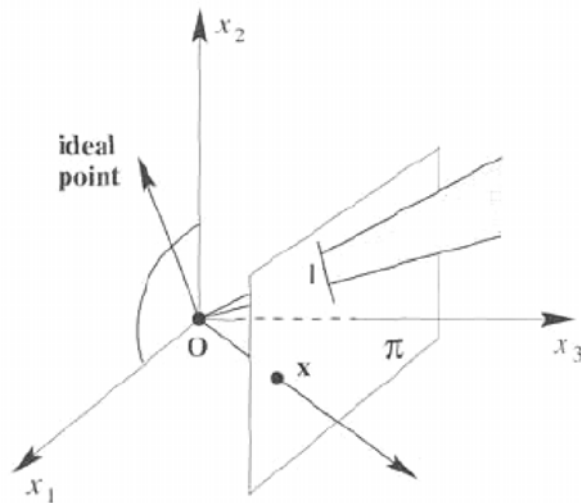
V našej práci sme navrhli metodológiu pre riešenie inverzného problému, pričom využívame známe fotogrametrické a iné rekonštrukčné techniky pre určenie optimálnej stratégie pre vytvorenie 3D objektu vychádzajúce z geometrickej, topologickej a rádiometrickej podstaty vstupného modelu. V rámci práce sme sa zaoberali aj návrhom dvoch techník pre evaluáciu 3D objektov, resp. pre nájdenie vhodnej trasy pre riadenú prechádzku, pričom sa rešpektujú najlepšie pohľady na jednotlivé objekty v scéne vychádzajúce z techniky pohľadovej entropie.

### ***Ciele dizertačnej práce***

V našej práci sme navrhli metodológiu pre riešenie inverzného problému, pričom využívame známe fotogrametrické a iné rekonštrukčné techniky pre určenie optimálnej stratégie pre vytvorenie 3D objektu vychádzajúce z geometrickej, topologickej a rádiometrickej podstaty vstupného modelu. V rámci práce sme sa zaoberali aj návrhom dvoch techník pre evaluáciu 3D objektov, resp. pre nájdenie vhodnej trasy pre riadenú prechádzku, pričom sa rešpektujú najlepšie pohľady na jednotlivé objekty v scéne vychádzajúce z techniky pohľadovej entropie.

## 2. Geometrické pozadie

Dôležitým predpokladom pre správnu klasifikáciu rekonštrukčného procesu a jednotlivých rekonštrukčných metód je korektná reprezentácia projektívneho priestoru. Pod pojmom model projektívnej roviny  $\mathbb{P}^2$  rozumieme množinu polpriamok v  $\mathbb{R}^3$ . Množina všetkých vektorov  $k(x_1, x_2, x_3)^T$ , kde  $k$  sa mení, určuje polpriamky prechádzajúce cez počiatok súradnicovej sústavy. Polpriamky reprezentujú bod v  $\mathbb{P}^2$ . V tomto modeli, priamky v  $\mathbb{P}^2$  sú rovinami prechádzajúcimi cez počiatok súradnicovej sústavy. Dá sa dokázať, že dve priamky ležia v jednej rovine a dve roviny sa pretínajú v jednej priamke. Je to analógia k tvrdeniu, že dva rôzne body určujú práve jednu priamku a že dve roviny sa pretínajú práve v jednom bode. Na Obrázku 1 priamky reprezentujú ideálne body a roviny reprezentujúce  $l_\infty$  sú rovnobežné s rovinou  $x_3 = 1$  [Hart04].



Obrázok 1: Model projektívnej roviny

Body a priamky v projektívnej rovine, resp. v projektívnom priestore môžeme reprezentovať pomocou rozšírených (homogénnych) súradníc.

Vzájomný vzťah bodov a priamok definuje veta: *Bod  $x$  leží na priamke  $l$  vtedy a len vtedy, ak vyhovuje rovnici  $x^T l = 0$ .* Pripomíname, že  $x^T l$  je skalárnym násobkom dvoch vektorov  $x$  a  $l$  [Hart04].

Projektívne transformácie tvoria grupu. V rámci tejto grupy je niekoľko dôležitých podgrúp, ktoré definujú hierarchiu transformácií.

### Izometrie.

Izometrie sú transformácie roviny  $\mathbb{R}^2$ , ktoré zachovávajú Euklidovskú vzdialenosť. Izometrie môžeme reprezentovať:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon \cos \Theta & -\sin \Theta & t_x \\ \varepsilon \sin \Theta & \cos \Theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

kde  $\varepsilon = \pm 1$ . Ak  $\varepsilon = 1$  potom izometrie zachovávajú orientáciu a sú Euklidovskými transformáciami (skladanie posunutí a otáčaní). Euklidovské transformácie sú modelom pre pohyb pevného telesa a majú 3 stupne voľnosti (jeden pre rotáciu a 2 pre posunutie). Invariantnými vzhľadom na transformáciu sú napríklad dĺžka, uhol, plocha.

*Podobnosť.*

Podobnosť je transformácia Izometrie zložená z izotropným škálovaním, reprezentovaná maticou:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} s \cos \Theta & -s \sin \Theta & t_x \\ s \sin \Theta & s \cos \Theta & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Planárna podobnosť má 4 stupne voľnosti (stupne voľnosti rovnaké ako izometria a jeden stupeň voľnosti pre škálovanie). Invariantými vzhľadom na transformáciu sú uhol, rovnobežnosť priamok, pomer dĺžok a pomer plôch.

*Afinné transformácie.*

Afinné transformácie sú nesingulárne lineárne transformácie spolu s posunutím, reprezentované maticou:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Oproti Podobnosti majú Afinné transformácie navyše dva stupne voľnosti: Pomer škálovacích parametrov  $\lambda_1:\lambda_2$  a uhol  $\phi$  špecifikujúci smer škálovania. Invariantnými vzhľadom na transformáciu sú rovnobežnosť priamok, pomer dĺžok častí rovnobežných priamok a pomer veľkosti plôch.

*Projektívne transformácie.*

Projektívne transformácie sú nesingulárne lineárne transformácie homogénnych súradníc. Zovšeobecňujú afinné transformácie a v maticovom tvare ich môžeme reprezentovať:

$$\begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

Projektívna transformácia je špecifikovaná ôsmymi pomermi parametrov. Invariantným je krížový pomer štyroch kolinaeárnych bodov. Kľúčový rozdiel medzi afinnými a projektívnymi transformáciami je, že v affinej transformácii bod v nekonečne zostáva aj po transformácii v nekonečne, ale v projektívnej transformácii sa zobrazuje na konečný bod.

*Transformácie v 3D.*

Transformácie v trojrozmernom priestore sú zovšeobecnením 2D transformácii. Maximálny počet stupňov voľnosti je 15. Sedem pre podobnosť (3 - rotácia, 3 – posunutie, 1 – isotropické škálovanie), päť pre afinné škálovanie a tri pre projektívnu časť transformácie.

### **3. Rekonštrukčná a renderovacia postupnosť**

Pre riešenie inverzného problému je dôležité poznať rekonštrukčnú postupnosť, ktorá je protikladom renderovacej postupnosti. Problém rekonštrukcie 3D objektu zo vstupných dát (obrázky, mračno bodov, matematický popis,..) je možné popísať konečným počtom krokov.

Každá z rekonštrukčných techník má vlastnú rekonštrukčnú postupnosť, ktorá vyplýva z povahy vstupných dát, resp. z dostupných prostriedkov. Vo všeobecnosti je možné rozdeliť rekonštrukčnú postupnosť na niekoľko základných krokov:

1. Popis objektu a výber rekonštrukčnej metódy
2. Získavanie a segmentácia dát
3. Kalibrácia
4. Výber korešpondujúcich bodov
5. Vytvorenie výstupu

Niektoré z týchto krokov, je možné pri niektorých typoch rekonštrukcií vynechať, resp. zmeniť ich poradie. Autori [Sain03], [Verg06] uvádzajú rekonštrukčnú postupnosť pre špecifické dátové vstupy a pre použitie pre konkrétne rekonštrukčné metódy pri spracovávaní vstupných dát pomocou fotogrametrie.

Rekonštrukčná postupnosť môže byť dekomponovaná a vizualizovaná ako sled matíc, z ktorých každá matica reprezentuje elementárnu rekonštrukčnú fázu. Určením týchto matíc a ďalších parametrov ovplyvňujúcich výsledný 3D model je možné ovplyvniť niektoré časti renderovacieho procesu, napr. výpočet polohy osvetlenia, resp. získanie parametrov pre pozíciu kamery v scéne.

Renderovacia postupnosť je rozdelená na tri hlavné časti: Aplikačnú, geometrickú a rasterizačnú, pričom pre náš výskum je kľúčová geometrická časť, v ktorej sa definujú modelové a pohľadové transformácie, osvetlenie, projekcia, orezávanie a transformácia na súradnice zobrazovacieho zariadenia. Každá transformácia v geometrickej časti renderovacieho procesu môže byť vyjadrená ako postupnosť transformačných matíc, čo implikuje možnosť vstupu externých parametrov získaných v rámci rekonštrukčnej postupnosti.

#### **4. Rekonštrukčné techniky**

Rekonštrukčné techniky môžeme rozdeliť na dve základné skupiny. Rekonštrukčné techniky využívajúce ako vstupné dáta obrázky a na rekonštrukčné techniky, ktoré získavajú vstupné dáta iným spôsobom (napr. Laserové skenovanie, matematický popis, procedurálne modelovacie techniky).

Rekonštrukčné techniky využívajúce ako vstup obrázky, sú najrozšírenejšie v rámci počítačového videnia a existuje množstvo softvérových nástrojov, ktoré využívajú tieto techniky ako priemyselný štandard. Mnohé z techník popísali autori [Faug01], [Hart04], [Sain03], [Verg06], [Osam09], [Brow03], [Lowe99] a [Poin05], pričom tieto rekonštrukčné techniky sa dajú rozdeliť na techniky, ktoré produkujú ako výstup 3D model, resp. na techniky, ktoré spracovávajú vstupné obrázky a transformujú ich do iných obrázkových formátov.

Techniky, ktoré produkujú ako výstup 3D model, môžeme deliť podľa počtu vstupných obrázkov na Jedn pohľadovú rekonštrukciu, ktorej vstupom je jeden obrázok a pridaná apriórna informácia, Epipolárnu geometriu, ktorá ako vstup používa dva obrázky, ktorých vzájomná informácia je určená prostredníctvom Fundamentálnej matice (Epipolárna geometria sa využíva ako priemyselný štandard v rekonštrukciách z dôvodu jednoduchej implementovateľnosti a dostatočne kvalitného 3D výstupu), metódy využívajúce trifokálny tenzor, ktorých vstupom sú tri obrázky a metódy využívajúce ako vstup viacero obrázkov.

Jedn pohľadová geometria získava informácie o hĺbke bodov alebo kľúčových hodnôt iba jeden vstupný obraz. Dôležitým predpokladom je, či je kamera použitá na snímání vstupného obrazu kalibrovaná. Kalibrácie zjednodušuje celý proces získavania 3D informácie. Zo vstupného obrazu môžeme získať informácie o polohe bodov v 3D priestore, ale, keďže sme obmedzení na jeden vstupný pohľad, chýbajú informácie o vzhľade objektu z iných pohľadov (Obrázok 2).



**Obrázok 2:** Vľavo: fotografia fresky v kostole sv. Márie vo Florencii. Vpravo: Štyri rozličné pohľady na 3D model. [Sing08].

Dvoj pohľadová (epipolárna) geometria medzi dvoma pohľadmi určuje prienik obrazovej roviny zo zväzkom rovín so spoločnou základnicou na osi spájajúcej optické stredy kamier.

Predpokladajme, že bod  $X$  v 3D priestore je zobrazený na svojich obrazoch, ako  $x$  na prvom, a  $x'$  na druhom. Ako vidíme na Obrázku 17 obrazy bodov  $x$  a  $x'$ , bodu  $X$ , a a stredov kamier sú koplanárne. Označme túto rovinu  $\Pi$ . Je jasné, že priamky premietnuté cez body  $x$  a  $x'$  sa pretínajú v  $X$ , a priamky sú koplanárne a ležia v  $\Pi$ . Táto vlastnosť je dôležitá pri hľadaní korešpondencii.

Predpokladajme, že poznáme iba bod  $x$ , potom sa môžeme opýtať, ako vieme určiť bod  $x'$ . Rovina  $\Pi$  je určená základnicou lúčom prechádzajúcim cez  $x$ . Vieme, že lúč korešpondujúci s  $x'$  leží v rovine  $\Pi$ , z toho vieme, že bod  $x'$  leží na priamke pretínajúcej  $l'$  a  $\Pi$  s druhou obrazovou rovinou. Táto priamka  $l'$  je obrazom lúča prislúchajúceho bodu  $x$  v druhom pohľade. Je to epipolárna priamka korešpondujúca s  $x$ . Výhodou takéhoto prístupu je, že pre hľadanie korešpondujúceho bodu k bodu  $x$  nemusíme prehľadávať celú rovinu obrazu, ale problém sa redukuje na prehľadávanie priamky  $l'$ .

Trifokálny tenzor hrá rovnakú úlohu pre tri pohľady ako Fundamentálna matica pre epipolárnu geometriu. Obsahuje všetky geometrické vzťahy (projektívne) medzi tromi pohľadmi, ktoré sú nezávislé na štruktúre scény.

Okrem metód využívajúcich hľadanie spoločných črt v obrazoch existujú aj metódy využívajúce symetriu objektov, resp. siluetu objektu (Obrázok 3) založené na metóde pohľadového objemu. Pohľadový objem zovšeobecňuje konvexný obal a prienik siluet v jednotlivých kanonických pohľadoch určí výsledný tvar objektu [Magn05].



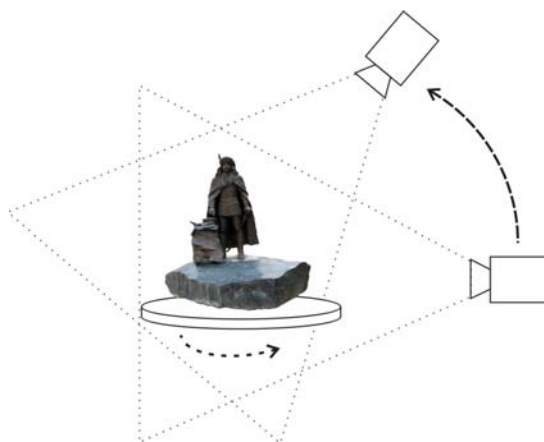


**Obrázok 3:** 3D model volebnej urny vytvorený pomocou techniky hľadania siluety objektu.

V niektorých prípadoch vyžadujeme na výstupe nie 3D rekonštruovaný objekt, ale napríklad obrazový výstup vo forme panorámy. Panoráma je obraz zložený zo spojených obrazov získaných samostatne zo spoločným stredom premietania a pozície do jedného spojitého obrazu s veľkou šírkou záberu alebo jeden obraz získané mnohosmerovou kamerou. Pre získavanie a kompozíciu panorám existujú rozličné metódy, pričom v tomto type výskumu je priemyselným štandardom plne automatická metóda založená na algoritme SIFT [Lowe99] a RANSAC [Fisch81].

Rozšírením panorám o ďalší stupeň voľnosti (čas) je využitie Videopanorám. Videopanoráma je kompozícia video záznamov získaných samostatne z jednej pozície v rovnakom čase do jedného videozáznamu s veľkým uhlom záberu alebo z mnohosmerovej kamery. Pre získanie videopanorámy je nutné použitie špeciálnej hardvérovej konštrukcie pozostávajúcej z 5-16 širokouhlých kamier usporiadaných okolo spoločného stredu [Poin05], alebo jednej panoramatickej kamery používajúcej parabolické zrkadlo [Svob98], [Naya97].

Objektová panoráma je jednoduchý spôsob pre získanie dojmu, že používateľ psi prehliada reálne vymodelovaný 3D objekt. Objektová panoráma je orientovaná a usporiadaná množina obrázkov získaných snímaním okolo objektu zo špecifikovanou pozíciou kamery. Najpoužívanejšou konfiguráciou pre získavanie objektovej panorámy je rotácia objektu okolo vertikálnej osi a statická kamera v rozličných výškach. Jedná sa o reverzný princíp oproti panorámam, kde kamera je umiestnená v strede a rotuje okolo vlastnej osi. Na obrázku 4 je zobrazená schéma pre získavanie objektových panorám.



**Obrázok 4:** Schéma systému pre získavanie objektových panorám

Iné metódy používané v tejto práci využívajú pre vytváranie 3D modelov princípy, ktoré nie sú založené na analýze vstupných obrazov, ale na iných typoch vstupných dát. Jednou z najpresnejších a často používaných techník je technika laserového skenovania. Využíva sa v nej 3D skener [Lkeu01], čo je zariadenie, ktoré analyzuje objekty alebo scény v reálnom svete a získava dáta o ich tvare a v prípade farebných skenerov aj o ich vzhľade prostredníctvom odrazeného laserového lúča. Získané dáta môžu byť použité na tvorbu digitálnych 3D modelov. Tieto zariadenia sa používajú v priemysle, ale aj v kontrole kvality, hernom priemysle, virtuálnej realite a dokumentácii kultúrnych artefaktov. Úlohou 3D skenera je vytvorenie mračna bodov reprezentujúceho povrch objektu a následná extrapolácia tvaru z týchto bodov. V každom bode môže byť zaznamenaná aj farba z ktorej sa dá získať výsledná farba povrchu rekonštruovaného objektu.

Ďalšia skupina techník nespracováva priame vstupné dáta s informáciou o tvare a vzhľade objektu ale používa matematický popis pre zložité objekty. Jednou z techník je aj použitie procedurálneho modelovania. Techniky procedurálneho modelovania môžeme použiť na modelovanie celých objektov (terén, vegetácia) resp. ich častí (napr. v kombinácii s fotogrametrickými metódami - vlasy). V prípade, že chceme pomocou procedurálneho modelovania získať, čo najvernejšiu rekonštrukciu reálneho 3D objektu, je nutné na vstupe mať čo najviac informácií o objekte získaných meraním. Nevýhodou týchto techník je, že neexistuje všeobecná metóda, ale len špeciálne techniky založené na vytváraní automatických procedúr na báze L-systémov, fraktálov, vždy s použitím určitej miery náhody pre variabilitu výstupu a ohraničujúcimi podmienkami.

## **5. Klasifikácia rekonštrukčných techník**

Klasifikácia rozličných rekonštrukčných techník [Lack09] je dôležitým krokom pre výber optimálnej rekonštrukčnej postupnosti pre rozličné vstupné dáta. Ak porovnáваме rozličné kvantitatívne a kvalitatívne kritéria, môžeme nájsť závislosti medzi vstupnými dátami a rekonštrukčnými technikami. Pre vhodnú klasifikáciu rekonštrukčných techník je dôležité vybrať klasifikačné kritéria.

Klasifikačné kritéria môžeme rozdeliť do dvoch skupín na kvantitatívne a kvalitatívne kritéria. Pomocou kvantitatívnych kritérií môžeme merať vlastnosti vstupných dát, napr. počet vstupných fotografií, prekrývanie obrazov alebo vlastnosti výstupu napr. počet výstupných obrazov, typ výstupu a pod. Kvalitatívne kritéria môžu porovnávať kvalitu výstupu realizovaného rozličnými rekonštrukčnými technikami na báze vizuálnej alebo štatistickej analýzy.

Pri porovnávaní kvantitatívnych kritérií vychádzame z porovnania metód príbuzného typu. Pre fotogrametrické metódy alebo pre modelovanie pomocou siluet, je nutné najprv porovnať počet vstupných obrázkov. Toto kritérium nám môže pomôcť pri výbere vhodnej metódy, napr. ak máme pre niektorú z metód dva vstupné obrazy, môžeme použiť metódu jednopohľadovej rekonštrukcie, resp. metódy epipolárnej geometrie v prípade vhodnej pozície kamier. V prípade, že objekt je snímaný z vhodných pozícií a objekt je symetrický, môžeme použiť metódu založenú na modelovaní zo siluety.

Ďalším z kvalitatívnych kritérií je prekrývanie vstupných obrazov pre fotogrametrické metódy. Ak je prekrývanie páru obrázkov dostatočne veľké, znamená to, že je v nich dostatočná redundancia dát pre vyhladávanie význačných črt v obraze, čo je pre tieto techniky nevyhnutným predpokladom. Pre techniky laserového skenovania je dôležitým faktorom hustota snímaných bodov. V prípade vysokej hustoty bodov, nemusíme zo vstupných bodov vytvárať mesh, ale je možné pre vykresľovanie modelu použiť techniky pre vizualizáciu mračna bodov. Naopak, v prípade malej hustoty vstupných bodov je nutné využiť techniky

pre vytvorenie meshu z týchto bodov pomocou triangulácie. Pre ďalšie techniky je možné pridať viac kvantitatívnych kritérií, napr. rozlíšenie rezov, vzdialenosť rezov, dodatočné informácie o vnútorných parametroch kamery a pod.

Pre určenie kvalitatívnych kritérií pre rekonštrukčné techniky, môžeme porovnávať kvalitu vstupných dát (na základe rôznych typov vstupov) alebo môžeme porovnávať kvalitu výstupu pre rozličné rekonštrukčné algoritmy. V prípade porovnávania vstupných dát, môžeme porovnávať charakteristiky, akými sú napríklad rozlíšenie obrázkov, ostrosť obrázkov, kvalita vstupných obrazov na základe segmentácie pozadia a popredia, počtu farebných kanálov a farebnej hĺbky. Pre dáta získané laserovým skenovaním môžeme porovnávať vzdialenosť medzi skenerom a objektom, pozíciu skenera pomocou GPS súradníc a pod. Tieto informácie sú dôležité pre celý rekonštrukčný proces, ale môžeme ich použiť v rámci predspracovania v expertnom systéme pre podporu kvalifikovaných rozhodnutí.

Pre hodnotenie kvality výstupu je kľúčové určenie optimálneho 3D modelu. V mnohých prípadoch však nemáme referenčný model, takže musíme výstupy hodnotiť prostredníctvom iných techník. V našej práci pracujeme s predpokladom, že s rastúcim množstvom vstupných obrazov pre fotogrametrické metódy, ktoré sú priamo zapojené do procesu výpočtu polohy bodu v 3D priestore, je presnejšie takýto bod určený. Z tohto môžeme uvažovať, že s rastúcim množstvom vstupných obrazov stúpa kvalita výstupu.

Pre techniky zaožené na procedurálnom modelovaní, implicitnej reprezentácii a technikám, ktoré pracuju s časovo závislými dátami je problematické hľadať kvalitatívne kritériá. Pre niektoré techniky je možné použiť techniky geometrického porovnania a teoretické informačné hodnotiace kritérium.

Reconstruction technique	Quantity criteria				Quality of output	Type of output	Secondary input dataset
	Type of input	Number of input images /density of points	Overlap of input images /colour information of points	Meta information			
One view geometry	Images	1	0%	Important	↓	Inverse camera, 3D model	
Epipolar geometry	Images	2	10 – 90 %			3D model	
Trifocal tensor	Images	3	10 – 90 %			3D model	
Multifocal tensor	Images	4 – n	10 – 90%			3D model	
Object panorama	Images	2 – n Variable number of camera position sequences	10 – 50%			Image sequence	Yes
Panorama	Images	2 – n	10 – 50%			Image	Yes
Video panorama	Images	2 – n input cameras	10 – 30%			Video	Yes
Range scanning	Scanned	Variable	No colour	Important	↓	3D	

	points	density	information			model	
Colour range scanning	Scanned points	Variable density	8 – 24 bit colour information	Important		3D model	
Silhouette modelling	Images	2 – n	0 – 30 %			3D model	
Procedural modelling	Images, Parameters, Textures	1 – n	0 – 99%	Important		3D model	
Time variable structures modelling	Images, Mathematical representations, Animation parameters	1 – n	0 – 99%	Important		3D model	

**Tabuľka 1:** Klasifikácia rekonštrukčných techník

Ako je možné vidieť v tabuľke 1, pre niektoré rekonštrukčné metódy je potrebné pridávať dodatočné informácie (vnútorné parametre kamery, napr. šírka záberu, skreslenie,..., informácie o GPS pozícii laserového skenera alebo vstupné informácie pre techniky procedurálneho modelovania, napr. pravidlá pre L-systémy,...). Ďalšími dodatočnými informáciami môžu byť napr. Animačné parametre pre rekonštrukciu časovo závislých objektov. V stĺpci prekryv obrázkov uvádzame optimálne hodnoty pre získanie čo najväčšieho množstva vstupných informácií. Väčšina z fotogrametrických techník totiž pracuje s redundantnými informáciami pre určenie homografie medzi dvojicami obrázkov alebo pre hľadanie význačných číť v obraze, ale pre konštrukciu 3D modelu nie sú všetky tieto informácie potrebné.

Posledný stĺpec uvádza, ktoré z rekonštrukčných techník vytvárajú tzv. sekundárne vstupné dáta, t.j. dáta ktoré je možné použiť ako vstup do iných rekonštrukčných techník. Napríklad, ak používame objektovú panorámu ako sekundárne vstupné dáta, môžeme dvojice obrázkov použiť ako vstupy pre epipolárnu geometriu, pretože dáta sú vhodne usporiadané a získané z rovnakej vzdialenosti. V mnohých prípadoch nám však dáta pri objektovej panoráme chýbajú (napr. Fotografie objektu zospodu). Preto je nutné použiť techniky pre odstraňovanie artefaktov a vyplňanie dier v 3D modeli.

## **6. Expertný systém pre kvalifikované rozhodnutia v rekonštrukčnom procese**

V našej práci sme vytvorili algoritmus pre jednoduchý expertný systém pre kvalifikované rozhodnutia v procese výberu najvhodnejšej rekonštrukčnej techniky. Celý systém môžeme rozdeliť na niekoľko dôležitých častí.

Je dôležité pripomenúť, že vo všeobecnosti neexistuje žiadna automatická rekonštrukčná metóda. Všetky prezentované metódy si vyžadujú predspracovanie, postspracovanie alebo ďalšie doplňujúce informácie. Hlavné problémy, ktoré obmedzujú automatizáciu rekonštrukčných algoritmov, sú:

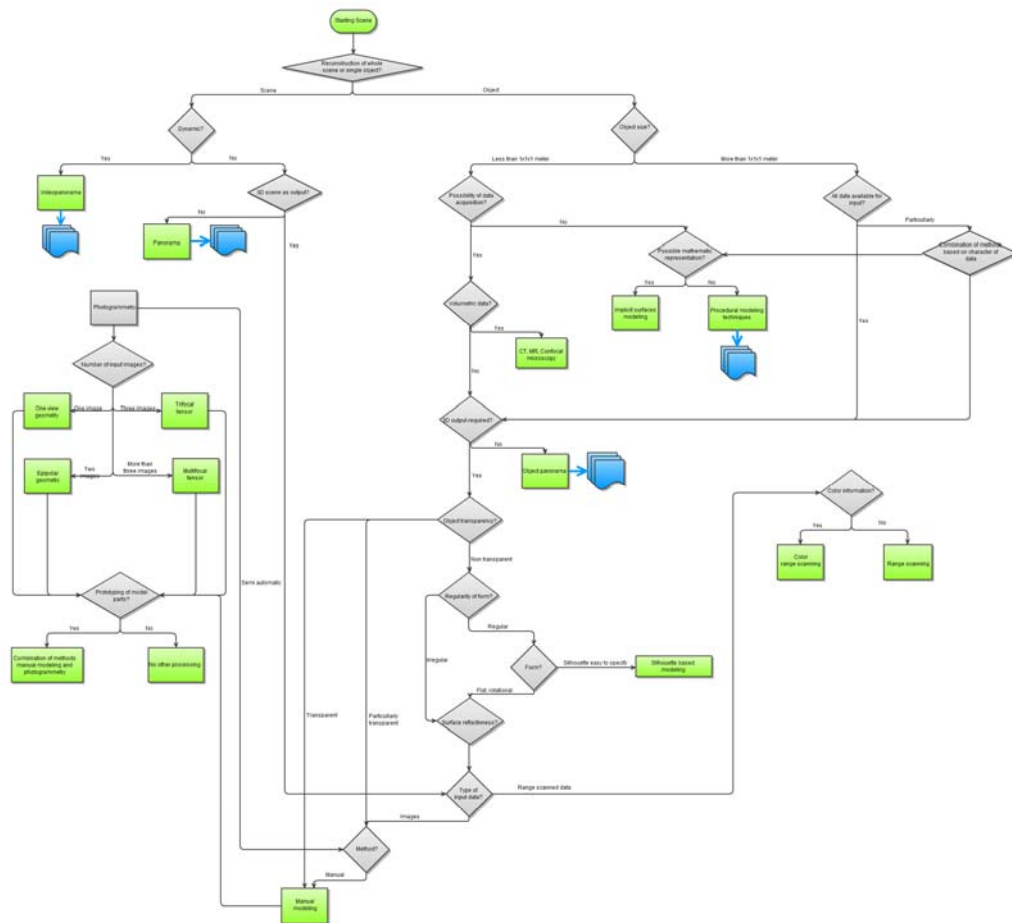
1. Získavanie primárnych vstupných dát
2. Usporiadanie vstupných dát
3. Segmentácia pozadia
4. Odstránenie artefaktov
5. Pridanie syntetickej informácie v prípade, že chýbajú originálne vstupné dáta

Tieto problémy môžu významne ovplyvniť celý rekonštrukčný proces. Okrem nich sa vynára ďalšia dôležitá otázka: „Aký je optimálny 3D výstup pre rozličné spôsoby vykresľovania?“ V prípade použitia 3D modelov pre vykresľovanie v komplexných scénach v reálnom čase je nutné optimalizovať model a vytvárať model s malým počtom polygónov a adekvátnymi materiálmi a textúrami. Naopak pre kvalitnejšie vykresľovanie je nutné mať vytvorený kvalitný model s vyšším množstvom polygónov a napr. pre 3D tlač je potrebné model optimalizovať vzhľadom na topologickú komplexnosť a vyplniť prípadné diery v objekte. V našej práci rozdeľujeme rekonštrukčný proces na nasledovné časti:

1. Popis objektu a výber rekonštrukčnej metódy
2. Získavanie vstupných dát a ich segmentácia
3. Kalibrácia
4. Extrakcia význačných črt
5. Tvorba výstupu

Niektoré z týchto častí môžeme reprezentovať ako rozhodovací strom, kde uzly tvoria dôležité otázky, ktorých zodpovedanie je nevyhnutné pre prechod do ďalšej rozhodovacej fázy. Pre rozličné rekonštrukčné metódy nie je vždy nutné použiť všetky časti tohto procesu a pre niektoré typy rekonštrukcií je možné meniť ich poradie.

V rozhodovacom strome (obrázok 5), prezentujeme metódu výberu optimálnej rekonštrukčnej techniky na základe vlastností objektu. Celý proces je rozdelený na niekoľko dôležitých rozhodnutí.



**Obrázok 5:** Diagram rozhodovacieho stromu pre expertný systém pre kvalifikované rozhodnutia pre 3D rekonštrukciu.

Celý proces výberu optimálnej rekonštrukčnej metódy začína výberom, či chceme rekonštruovať celú scénu alebo iba jednotlivé objekty v scéne.

V ďalšom kroku sa zameriame na časť stromu, ktorá reprezentuje rekonštrukčné metódy pre celú scénu. V prípade dynamickej scény bez nutnosti 3D výstupu je optimálnym výberom použitie videopanorámy, ktorá zároveň môže slúžiť ako sekundárna vstupná množina dát pre metódy získavania štruktúry z pohybu (SfM). V prípade že scéna je statická, bez nutnosti 3D výstupu je možné použiť ako výstupnú techniku panorámu. Ak je pri rekonštrukcii potreba vytvorenia 3D modelu celej scény, je možné použiť buď techniky laserového skenovania alebo fotogrametrické techniky v závislosti na type vstupných dát. V prípade použitia fotogrametrických techník je možné rozhodnúť sa pre rozličné techniky závislé na počte vstupov, ktoré sa podieľajú na určení polohy bodu v trojrozmernom priestore. V niektorých prípadoch je možné použiť techniky prototypovania, t.j. určenie opakujúcich sa častí v scéne alebo v objekte a následné použitie týchto častí [Have04], [Have07].

V prípade rekonštrukcie jednotlivých objektov musíme rozlišovať medzi malými a veľkými objektami, pričom v prípade veľkých objektov, nie je možná manipulácia s nimi alebo je obtiažna, čo obmedzuje možnosti použitia niektorých rekonštrukčných techník. V prípade veľkých objektov, nie vždy je možné získať kompletné vstupné dáta a preto niektoré časti objektu môžu chýbať, no vo veľa prípadoch máme o týchto častiach k dispozícii aspoň metainformácie. Rovnako ako pre veľké objekty, tak aj pre malé objekty môže platiť, že ich dokážeme popísať matematickými funkciami, v tom prípade použijeme reprezentáciu

pomocou implicitných plôch alebo dokážeme zložiť objekty popísať pomocou pravidiel a v tomto prípade je možné použiť techniky procedurálneho modelovania. V niektorých prípadoch požadujeme špeciálny typ 3D výstupu reprezentovaný tzv. objemovými dátami získanými prostredníctvom CT, MR alebo konfokálnej mikroskopie. Pri rozhodovaní o výbere rekonštrukčnej techniky pre objekty je nutné brať do úvahy informácie o tvare objektu (symetrickosť, pravidelnosť) a informácie o rádiometrických veličinách (priehľadnosť, lesklosť), ktoré vylúčia niektoré rekonštrukčné techniky. Listy samotného stromu tvoria jednotlivé rekonštrukčné techniky, pričom niektoré z nich môžeme použiť ako sekundárnu množinu vstupných dát.

V prvej časti celého procesu rekonštrukcie sme vytvorili rozhodovací strom, pričom ďalšie časti tohto procesu vyplývajú so zvolenej rekonštrukčnej metódy, ktorých vlastnosti a požiadavky sú zosumarizované v tabuľkách 2 a 3.

Type of reconstruction method	Type of input data	Data acquisition equipment	Possibility of segmentation	Calibration
Panorama	Set of images around viewer	Camera with static centre of projection	Yes – segmentation into objects in single panoramic image	Not important – general camera position
Videopanorama	Video sequences from more cameras around the viewer	Set of cameras with static centre of projections	Yes – segmentation into objects in single frame or SfM method	Important due to homographies
Object panorama	Set of images around the object	Camera positions around the object	Yes – in the input images	Important due to sharp data (focal length problem)
Range scanning	Cloud of points	Range scanner in one or more positions	Yes – background, foreground	Important scanner calibration
Colour range scanning	Cloud of points with colour information	Colour range scanner in one or more positions	Yes – background, foreground	Important scanner calibration
Silhouette based modelling	Set of images around the object	Camera	Problematic if some segmented data missing in some images	Important due to camera positions
Volumetric data reconstruction	Set of slices from CT, MR or Confocal microscope	CT, MR scanner Confocal microscope	Segmentation in input images, or using rendering techniques	Important equipment calibration
Implicit surface modelling	Mathematic representation of the object	-	-	-
Procedural modelling	Set of rules, images or meta-information	Camera	Segmentation into parts using rules (e.g. branches in L-system)	-
One view geometry	Image	Camera	Yes – background, foreground	Important camera calibration
Epipolar geometry	Set of minimum two images	Camera	Yes – background, foreground	Important camera calibration
Trifocal tensor	Set of minimum three images	Camera	Yes – background, foreground	Important camera calibration
Multifocal tensor	Set of minimum four images	Camera	Yes – background, foreground	Important camera calibration

**Tabuľka 2:** Klasifikácia častí rekonštrukčného procesu pre rozličné rekonštrukčné techniky – získavanie dát, segmentácia a kalibrácia

Type of reconstruction method	Feature detection	Output type	Secondary input dataset	Technique of usage of secondary input dataset
Panorama	Important due to position of images	Image	Yes	One view geometry, Combination of 3D models and panorama
Videopanorama	Only for camera calibrations / homography detection	Videosequence	Yes	Shape from motion
Object panorama	Not necessary – only in automatic sorting techniques of input images	Set of images adjacent images	Yes	Photogrammetry techniques
Range scanning	No	Cloud of 3D points	No	-
Colour range scanning	No	Cloud of coloured 3D points	No	-
Silhouette based modelling	No	3D textured model	No	-
Volumetric data reconstruction	Not in general, only for segmentation	Voxelized data	No	-
Implicit surface modelling	No	Mathematically described 3D model	No	-
Procedural modelling	Not in general, only for combination of procedural modelling and other reconstruction techniques	3D textured model	Yes	Combination of 3D models and other procedures
One view geometry	No	3D textured model	No	-
Epipolar geometry	Yes – SIFT, SURF, other scale invariant feature detection techniques	3D textured model	No	-
Trifocal tensor	Yes – SIFT, SURF, other scale invariant feature detection techniques	3D textured model	No	-
Multifocal tensor	Yes – SIFT, SURF, other scale invariant feature detection techniques	3D textured model	No	-

**Tabuľka 3:** Klasifikácia častí rekonštrukčného procesu pre rozličné rekonštrukčné techniky – detekcia významných črt, vytvorenie výstupu



## 7. Pohľadovo závislé vyhodnotenie kvality 3D objektov

Pre hodnotenie kvality 3D výstupu pre jednotlivé techniky sme vytvorili dva algoritmy na základe merania kvality pohľadu, pričom prvý z algoritmov sa zaoberá generovaním automatickej prechádzky v scéne rešpektujúc najlepšie pohľady na objekty v zmysle pohľadovej entropie a druhý algoritmus využíva meranie entropie v obrazovom priestore.

V našej práci [Lacko09] používame off-line metódu pre generovanie riadenej prechádzky. V našej metóde prezentujeme poloautomatický trojkrokový algoritmus:

- a) Výber dôležitých častí scény
- b) Vygenerovanie cesty okolo jednotlivých objektov
- c) Vytvorenie finálnej riadenej prechádzky

V každom kroku nášho algoritmu sme riešili niekoľko problémov. Obmedzujúce podmienky pre náš algoritmus boli, že scéna pozostávala z 3D objektov umiestnených spodnou časťou v rovnakej výške, z dôvodu použitia terénu.

Prvá časť algoritmu – výber dôležitých častí scény je manuálna, pretože nie je triviálnym problémom určiť dôležitosť objektu iba na základe jeho geometrických vlastností. Je možné nájsť heuristiky pre riešenie tohto problému. V tejto časti by to však znamenalo získať sémantickú informáciu z geometrických vlastností, čo je ťažko riešiteľný problém.

V druhej časti algoritmu pri počítaní pohľadovú entropiu pre každý z vybraných objektov, pričom kamera je umiestnená tak, aby v jej zábere bol celý objekt a jednotlivé pozície kamery sa nachádzajú na vhodne navzorkovanej pologuli umiestnenej okolo objektu. Keďže celý objekt má byť viditeľný, vypočítame vzdialenosť objektu a kamery pomocou vzorca

$$Dist(object, camera) = \frac{object.bbox}{2 \cdot \tan(FOV/2)},$$

kde *object.bbox* je dĺžka diagonály ohraničujúceho kvádra a *FOV* šírka záberu kamery. V prípade, že pozícia kamery pre jeden objekt leží vnútri pologule ohraničujúcej iný významný objekt, túto pozíciu ignorujeme a vypočítame novú na prieniku týchto dvoch pologúl. V rámci tejto časti algoritmu postupujeme nasledovne:

- a) Výpočet vzdialenosti objektu od kamery
- b) Navzorkovanie pologule pre umiestnenie kamery
- c) Výpočet kvality pohľadov pomocou pohľadovej entropie
- d) Výpočet cesty okolo objektu cez pohľady s najväčšou entropiou

V poslednom kroku algoritmu spojíme jednotlivé cesty vygenerované okolo významných objektov do jednej riadenej prechádzky. Finálna cesta nesmie mať kolízie s objektmi v scéne, musí byť  $C^1$  spojitá a čo najkratšia. Naša metóda počíta s generovaním cesty medzi dvoma objektmi, pričom ďalšie objekty v scéne je možné inkrementálne pridávať. Dôležitú rolu v našom algoritme zohráva konštrukcia Voronoiovhho diagramu, pričom hrany reprezentujú voľnú trasu pre pohyb kamery. Ako metódu konštrukcie Voronoiovhho diagramu sme si zvolili výpočet VG, kde generátormi sú ohraničujúce kvádre, pričom táto časť výpočtu pozostáva z nasledovných krokov

- a) Vytvorenie Voronoiovhho diagramu

- b) Výpočet riadenej prechádzky pre každý objekt a test, či cesta kamery neleží vnútri iného objektu v scéne
- c) Špecifikácia poradia objektov
- d) Prepojenie riadenej prechádzky pomocou Catmull-Rom splajnovkej krivky.

V treťom kroku nášho algoritmu sa snažíme nájsť najkratšiu cestu medzi dvoma objektmi v grafe, t.j. nájsť Hamiltonovskú cestu, čo je NP úplný problém, preto používame na jej určenie iba Heuristiku. V tomto algoritme je možné pridávanie nových informácií o objektoch scény (váha objektu) a k jednotlivým polygónom objektov (váha polygónov) a použiť ich pre presnejšie určenie výslednej trasy na základe informácií z rekonštrukčného procesu.

Druhý použitý algoritmus je použitý priamo na vyhodnotenie kvality pohľadu na základe vypočítanej entropie nie v geometrickom, ale v obrazovom priestore [Lack10].

V mnohých prípadoch, prehliadanie 3D objektov je možné iba na základe vykreslených 2D obrázkov, preto je žiadúce získať maximálne množstvo informácie o objekte práve v 2D priestore. Preto sme sa sústredili na možnosť merania entropie práve v dvojrozmerných dátach, ktoré vznikli projekciou 3D objektu.

V našom riešení, entropia každého obrázku (každý obrázok reprezentuje pohľad na daný objekt) na úrovni pixlov [Cern06]. Intenzita v obraze sa mení od 0 po  $N - 1$ . Pre pohľad  $f_t$  je počítaná  $N \times 1$  matica  $C_t$ . Prvok matice  $C_t(i)$ , s indexom  $0 \leq i \leq N - 1$ , korešponduje s tvrdením, aká je pravdepodobnosť, že pixel má úroveň intenzity  $i$  v pohľade  $f_t$ . Inými slovami,  $C_t(i)$  je vyjadrením pixelov, ktoré majú intezitu  $i$  v pohľade  $f_t$ , delená počtom pixlov na príslušnom obrázku. V prípade farebných obrazov, je entropia počítaná separátne pre každú RGB zložku. Pre pohľad  $f_t$  sú vytvorené tri matice  $C_t^R$ ,  $C_t^G$  a  $C_t^B$  o rozmere  $N \times 1$  rovnakým spôsobom, ako v prípade šedotónového obrazu.

Nasledujúca rovnica vyjadruje entropiu  $H_t$  pre pohľad  $f_t$ :

$$H_t = - \sum_{i=0}^{N-1} C_t(i) \log C_t(i).$$

V prípade farebného obrazu je pre každý farebný kanál vyrátaná entropia  $H_t^R$ ,  $H_t^G$  a  $H_t^B$ . Celková entropia je potom definovaná:

$$H_t = \frac{H_t^R + H_t^G + H_t^B}{3}.$$

Po získaní hodnôt entropie, je pohľad s najvyššou entropiou prehlásený za najlepší pohľad.

Z experimentov a dotazníka, ktorý sme pripravili k testovacím dátam nie je možné jasne prehlásiť, ktorá z metód hodnotenia kvality pohľadu (geometrická, obrazová) je lepšia. Je to problém, ktorý je ťažko rozhodnuteľný a otázka je, či je nutné určiť, ktorá metóda je vhodnejšia pre istý typ rekonštruovaných 3D objektov. V ďalšom výskume plánujeme testovať prepojenie metódy obrazovej entropie s metódou pre generovanie riadených prechádzok.

## **Zoznam použitej literatúry**

- [Brow03] BROWN, M. - LOWE, D. G. 2003. Recognising panoramas. In *Proceeding of 9th IEEE International conference on Computer Vision*. Nice: 2003. pp.1218-1225.
- [Faug01] FAUGERAS, O. - LUONG, Q. 2001. *The Geometry of Multiple Images*. MIT Press. 2001. 646 pp. ISBN: 0-262-06220-8.
- [Fisch81] FISCHLER, M. A. – BOLLES, R. C. 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. In *Communications of the ACM*. New York: ACM Press, 1981. pp.381–395.
- [Hart04] HARTLEY, R. - ZISSERMAN, A. 2004. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press. 2004. 655 pp. ISBN 0521-54051-8.
- [Have04] HAVEMANN, S. – FELLNER, D. W. 2004. Generative Parametric Design of Gothic Window Tracery. In *Proceedings of the Shape Modeling International 2004*. Washington DC: IEEE Computer Society, 2004. ISBN:0-7695-2075-8. pp. 350-353.
- [Have07] HAVEMANN, S. - FELLNER, D. W. 2007. Seven Research Challenges of Generalized 3D Documents. In *IEEE Computer Graphics and Applications*. ISSN: 0272-1716. 2007, Vol. 27, Issue 3, pp. 70-76.
- [Lack09] LACKO, J. – FERKO, A. 2009. Techniques of reconstruction of 3D scenes. In *Proceedings of Aplimat : 8th International Conference*. Bratislava: Slovak University of Technology, 2009. ISBN 978-80-89313-31-0. pp. 431-437.
- [Lacko09] LACKO, J. – MARIČÁK, M. 2009. Context based controlled Virtual Tours using Viewpoint Entropy for Virtual Environments. In *GraVisMa 2009*. Pilsen: University of West Bohemia, 2009. ISBN 978-80-86943-90-9. pp. 139-144.
- [Lack10] LACKO, J. – ČERNEKOVÁ, Z. – MARIČÁK, M. 2010. Geometry and image based view quality comparison for 3D models. Approved for Spring Conference on Computer graphics 2010. Budmerice.
- [Lkeu01] LKEUCHI, K. 2001. Modeling from Reality. In *Proceedings of 3rd International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling*. Quebec City: IEEE Computer Society, 2001. ISBN 0769509843. pp. 117–124.
- [Lowe99] LOWE, D. G. 1999. Object recognition from local scale-invariant features. In *Seventh International Conference on Computer Vision*. Corfu: 1999. pp. 1150-1157.
- [Magn05] MAGNOR, M. A. 2005. *Video-based rendering*. Wellesley: AK Peters, 2005. 197 pp. ISBN: 1-56881-244-2.
- [Naya97] NAYAR, S. K. 1997. Catadioptric omnidirectional camera. In *Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington DC: IEEE Computer Society, 1997. ISBN:0-8186-7822-4 pp.482.

[Osam09] OSAMA, H. – XINGMING, S. 2009. Three-Dimensional Reconstruction Using Enhanced Shape from Stereo Technique. In Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science. 2009. ISBN: 978-0-7695-3641-5. pp. 627-632.

[Poin05] POINT GREY RESEARCH. 2005. [online], 20. 1. 2010, url: <<http://ptgrey.com>>.

[Sain03] SAINZ, M. - PAJAROLA, R. - SUSIN, A. 2003. Photorealistic Image Based Objects from Uncalibrated Images. In *Proceedings of the 14th IEEE Visualization Conference*. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003. ISBN:0-7695-2030-8. pp. 105.

[Sing] CRIMINISI, A. et al. *Single view reconstruction*. [online], 19. 3. 2010, url: <<http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/projects/SingleView/article.html>>

[Svob98] SVOBODA, T. – PAJDLA, T. – HLAVAC, V. 1998. Epipolar Geometry for Panoramic Cameras. In *Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision*. London: Springer-Verlag, 1998. ISBN:3-540-64569-1. pp. 335-340.

[Verg06] VERGAUEN, M. - VAN GOOL, L. 2006. Web-based 3D reconstruction service. In *Journal of Machine Vision and Applications*. ISSN: 0932-8092. 2006, Vol. 17, Issue 6, pp. 411-426.

# Životopis

## Osobné údaje

Priezvisko/Meno	<b>Lacko, Ján RNDr.</b>
Adresa	Bratislavská 702, Most pri Bratislave 900 46, Slovenská republika
Telefón	Mobil: 0908 467 004
E-mail	lacko@sccg.sk
Štátna príslušnosť	Slovenská republika
Dátum narodenia	15. 06. 1983
Pohlavie	Muž

## Odborná prax

Od - do	<b>Október 2008 – Október 2009</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	Samostatný vedúci projektov
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Riešenie projektov tvorby softvéru a www stránok
Názov a adresa zamestnávateľa	SMART IT SOLUTIONS, s.r.o., Klincová 10, Bratislava www.smartholding.sk
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Vývoj softvéru
Od - do	<b>Jún 2008 – Október 2008</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	Riaditeľ spoločnosti
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Riešenie projektov tvorby softvéru a manažment tímu
Názov a adresa zamestnávateľa	VIS GRAVIS, s.r.o., Jána Stanislava 29, Bratislava www.visgravis.sk
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Vývoj softvéru
Od - do	<b>Máj 2006 – December 2007</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	živnostník
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Tvorba a dizajn www stránok
Názov a adresa zamestnávateľa	Ján Lacko – JL Production, D. Jurkoviča 2404, Topoľčany
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Tvorba www stránok
Od - do	<b>február 2006 – marec 2006</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	Web producer
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Vedenie tímu tvorby www stránok pre spoločnosť IBM
Názov a adresa zamestnávateľa	Danirol, s.r.o., Bratislava
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Tvorba www stránok

Od - do	<b>január 2007 – doteraz</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	konateľ
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Vedenie spoločnosti
Názov a adresa zamestnávateľa	Project group, s.r.o., Nitrianska 3, Bratislava
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Tvorba a manažment projektov

Od - do	<b>február 2008 – doteraz</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	konateľ
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Vedenie spoločnosti
Názov a adresa zamestnávateľa	VIS GRAVIS, s.r.o., Jána Stanislava 29, Bratislava www.visgravis.sk
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Tvorba softvéru

Od - do	<b>jún 2008 – doteraz</b>
Zamestnanie alebo pracovné zaradenie	konateľ
Hlavné činnosti a zodpovednosť	Vedenie spoločnosti
Názov a adresa zamestnávateľa	PKV Pro, s.r.o., Nitrianska 3, Bratislava www.pkvpro.sk
Druh práce alebo odvetvie hospodárstva	Tvorba softvéru

### **Vzdelávanie a príprava**

Od - do	2006 – doteraz
Názov získanej kvalifikácie	Doktorandské štúdium
Hlavné predmety/profesijné zručnosti	Počítačová grafika
Názov a typ organizácie poskytujúcej vzdelávanie a prípravu	Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského Mlynská dolina 842 48 Bratislava
Stupeň vzdelania v národnej alebo medzinárodnej klasifikácii	Postgraduálne vysokoškolské vzdelanie

Od - do	2007
Názov získanej kvalifikácie	RNDr.
Hlavné predmety/profesijné zručnosti	Počítačová grafika
Názov a typ organizácie poskytujúcej vzdelávanie a prípravu	Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského Mlynská dolina 842 48 Bratislava
Stupeň vzdelania v národnej alebo medzinárodnej klasifikácii	Postgraduálne vysokoškolské vzdelanie

Od - do	2001 – 2007
Názov získanej kvalifikácie	Mgr.
Hlavné predmety/profesijné zručnosti	Počítačová grafika, geometria, informatika
Názov a typ organizácie poskytujúcej vzdelávanie a prípravu	Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského Mlynská dolina 842 48 Bratislava
Stupeň vzdelania v národnej alebo medzinárodnej klasifikácii	Vysokoškolské vzdelanie

Od - do	2002
Názov získanej kvalifikácie	Certifikát – Tvorba a Manažment projektov
Hlavné predmety/profesijné zručnosti	Tvorba a Manažment projektov
Názov a typ organizácie poskytujúcej vzdelávanie a prípravu	Academia Istropolitana Nova

## Osobná spôsobilosť

Materinský(é) jazyk(y)

**Slovenčina**

Sociálne zručnosti

- Dobré komunikačné zručnosti (získané prácou v rozličných spoločnostiach a v neziskovom sektore)
- Zmysel pre tímovú prácu

Organizačné zručnosti

- Výborné organizačné zručnosti (získané organizovaním viac ako 50 rozličných podujatí na profesnej báze a v neziskovom sektore)
- Vedenie ľudí (zodpovednosť za organizáciu práce v niekoľkých spoločnostiach)

Technické zručnosti

- Analytické myslenie a následná príprava analýz

Počítačové zručnosti

- Programovanie: C++, OpenGL, PHP, MySQL, Javascript
- Webdizajn: HTML, CSS, ADOBE Dreamweaver
- DTP a grafické nástroje – ADOBE Collection, Corel Graphics Suite, FLASH
- 3D modelovanie: TrueSpace, 3DS MAX, Photomodeler
- Kancelárske balíky: MS Office, OpenOffice
- Operačné systémy: Windows, Linux
- Technológie: VRML, X3D, XML, CSV, MathML, ...

## Doplňujúce informácie

### Ocenenia:

CESCG 2004 a 2006 – cena Prof. Kuniiho

Študentská vedecká konferencia 2006 – víťaz fakultného kola

Werner von Siemens Excellence Award 2007 – cena za najlepšiu diplomovú prácu

## Vedenie záverečných prác:

### Bakalárske práce:

Maričák, Marian: *XML - multimédiá a 3D objekty*, 2007

Hrabovec, Ondrej: *Moderné prvky dizajnu webových portálov*, 2007

Paulis, Peter: *Virtuálne fotorealistické prostredie virtuálnych miest*, 2008

Klamová, Tatiana: *Metódy rekonštrukcie kultúrneho dedičstva*, 2008

Škvarka, Ján: *Databáza dopravných urbárnych prvkov*, 2008

Štítik, Peter: *Databáza malých urbárnych prvkov*, 2009

Slašťan, Andrej: *Využitie panorám a 3D modelov pre tvorbu virtuálnych prostredí : Prehľad metód pre spojenie panorám a 3D modelov a ich rozšírenie pre video panorámy*, 2009

### Diplomové práce:

Maričák, Marian: *Automatické generovanie riadených prechádzok pomocou viewpoint entropy*, 2009

Paulis, Peter: *3D webpages*, 2010

## Riešiteľ projektov:

[P1] “**Multimedia Historic Bratislava on DVD**” Project MDPT 456/131/2005, 2005

Links: <http://www.sccg.sk/~projects/mdpt-mhbad/>

Awards: EUROPRIX Top Talent Award 2008 – QUALITY SEAL

<http://www.toptalent.europrix.org>

[P2] “**Virtual Heart of Central Europe**” Culture 2000 Agreement n. 2003 - 1467/001/001 CLT CA12, EC grant 2003-2004

Links: <http://www.VHCE.info>

Awards: EUROPRIX Top Talent Award 2004 – QUALITY SEAL

<http://www.toptalent.europrix.org>

Two prizes in Slovak Prix competition: The best submission in its category. The best submission in the year 2005. <http://www.sccg.sk/~projects/virtual-heart/prizes/slovakprix.html>

[P3] “**Považské múzeum 3D online**” Project AV 4/0023/05, 2005-2007

Links: [http://www.sccg.sk/~projects/pav-pm3d\\_project/](http://www.sccg.sk/~projects/pav-pm3d_project/)

[P4] “**Complexity of Geometric Algorithms for Realtime Rendering in Virtual Reality**” Project VEGA 1/3083/06, 2006-2008

[P5] “**Spracovanie geometrie pre urbánu virtuálnu realitu**” Project VEGA 1/0763/09, 2009-2011

[P6] “**Multidimensional urban visions (MUVIS)**” Project OPVaV 4.2, ITMS: 26240220009, 2009-2012



## **Zoznam publikácií**

### **AFB Publikované pozvané príspevky na domácich vedeckých konferenciách**

AFB01 Ferko, Andrej 10% - Borovský, Peter 5% - Fano, Michal - Kubíni, Peter 10% - Lacko, Ján 5% - Laurenčík, Ján - Samuelčík, Martin 5% - Smoleňová, Katarína 10% - Stanek, Stanislav 15% - Šikudová, Elena 15% - Tátraiová-Dařílková, Kateřina 10% - Zeman, Matej : Virtual museum technologies  
Lit. 42 záz. n.  
In: 8th International Conference Virtual University VU'07 : Proceedings. - Bratislava : [Slovenská e-akadémia], 2007. - S. 37-44. - ISBN 978-80-89316-09-0  
[VU 2007 : Virtual University : International Conference. 8th, Bratislava, 13.-14.12.2007]

### **AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách**

AFC01 Borovský, Peter 40% - Samuelčík, Martin 15% - Novotný, Matej 15% - Stanek, Stanislav 15% - Lacko, Ján 10% - Ferko, Andrej 5%: 3D Multimedia Historic Bratislava  
Recenzované  
Lit. 13 záz. n., 12 obr.  
In: Mobility Nodes as Innovation Hubs. - Schwechat-Rannersdorf : Competence Center of Urban and Regional Planning, 2008. - S. 525-530. - ISBN 978-39502139-5-9  
[CORP 2008 : Urban Planning and Regional Development in the Information Society : International Conference. 13th, Vienna International Airport, 19.-21.5.2008]  
[REAL 2008 : Vienna Real Estate Conference ; GeoMultimedia. 3rd, Vienna International Airport, 19.-21.5.2008]

### **AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách**

AFD01 Borovský, Peter - Fano, Michal - Ferko, Andrej - Kubíni, Peter - Lacko, Ján - Smoleňová, Katarína - Stanek, Stanislav - Šikudová, Elena - Tátraiová-Dařílková, Kateřina - Zeman, Matej : New hardware and software integrated solution odvirtual museum  
Recenzovaný zborník  
Lit. 15 záz. n., 21 obr.  
In: Komunikatívny priestor. - Bratislava : Slovenská technická univerzita, 2007. - S. 55-61. - ISBN 80-227-2717-4  
[Komunikatívny priestor pre kreatívne inšpirácie a spoluprácu : Medzinárodná vedecká konferencia. Banská Štiavnica, 3.-5.10.2007]

AFD02 Ferko, Andrej 5 % - Běhal, David 5 % - Borovský, Peter 5 % - Černeková, Zuzana 5 % - Dadová, Jana - Dušková, Elena 5 % - Fano, Michal - Ftáčnik, Milan 5 % - Kubíni, Peter - Major, Viktor - Martinka, Jozef - Lacko, Ján 5 % - Laurenčík, Ján - Lúčan, Lubomír 5 % - Nociar, Michal 5 % - Novotný, Matej 5 % - Onačilová, Daniela 5 % - Praženica, Peter - Samuelčík, Martin 5 % - Smoleňová, Katarína 5 % - Stanek, Stanislav 5 % - Šikudová, Elena 5 % - Tátraiová-Dařílková, Kateřina - Tencer, Lukáš 5 %- Valíková, Miroslava 5 % - Varhaníková, Ivana 5 % - Vataha, Martin - Zeman, Matej - Zimányi, Marek 5 %: Národný program virtualizácie slovenských múzeí a galérií  
Lit. 51 záz. n.  
In: Digitalizácia múzejných zbierok : Zborník príspevkov z medzinárodného sympózia. - Bratislava : Slovenské technické múzeum, 2009. - S. 33- 50. - ISBN 978-80-970250-0-7  
[Digitalizácia múzejných zbierok - vízie a východiská : medzinárodné sympóziium. Banská Štiavnica, 20.-21.10.2009]

AFD03 Lacko, Ján 95% - Ferko, Andrej 5%: Techniques of reconstruction of 3D scenes [elektronický dokument]  
Lit. 13 záz. n., 4 obr., 1 tab.  
In: Aplimat : 8th International Conference (CD ROM). - Bratislava : Slovak University of Technology, 2009. - S. 431-437. - ISBN 978-80-89313-31-0  
[APLIMAT 2009 : International Conference. 8th, Bratislava, 3.-6.2.2009]  
POZNÁMKA: Vyšlo aj ako abstrakt - APLIMAT 2009. - Bratislava : Slovak University of Technology,

2009. - S. 75. - ISBN 978-80-89313-30-3

### **AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií**

AFG01 Lacko, Ján 50% - Maričák, Marian 50%: Context based controlled Virtual Tours using Viewpoint Entropy for Virtual Environments  
In: GraVisMa 2009. - Plzeň : University of West Bohemia, 2009. - S. 15. - ISBN 978-80-86943-92-3 [GraVisMa 2009. Plzeň, 2.5.9.2009]

### **AGI Správy o vyriešených vedeckovýskumných úlohách**

AGI01 - Ftáčnik, Milan 5% - Ferko, Andrej 5% - Samuelčík, Martin 25% - Borovský, Peter 25% - Zimányi, Marek 2% - Stanek, Stanislav 10% - Šikudová, Elena 10% - Tátraiová-Dařílková, Kateřina 7% - Lacko, Ján 5% - Fekiačová, M. - Csidey, A. - Kubíni, Peter : Efektívny prehliadač urbánnych dát-EPUD : Záverečná správa. - Bratislava : [s.n.], 2007. - 64 s.  
Lit. zázn.  
Záverečná správa,

AGI02 - Ferko, Andrej 5% - Ďurikovič, Roman 5% - Zimányi, Marek 5% - Stanek, Stanislav 5% - Šikudová, Elena 5% - Borovský, Peter 5% - Samuelčík, Martin 5% - Kubíni, Peter 5% - Novotný, Pavol 5% - Valient, Michal 5% - Tátraiová-Dařílková, Kateřina 5% - Smoleňová, Katarína 5% - Bujňák, Tomáš 5% - Nociar, Michal 5% - Tóth, Zsolt 5% - Lacko, Ján 5% - Novotný, Matej 5% - Černeková, Zuzana 5% - Florek, Martin 5% - Onačilová, Daniela 5%: Real-time rendering a zložitost' geometrických algoritmov pre virtuálnu realitu. - Bratislava : FMFI UK, 2009. - 119 s.  
Záverečná správa projektu VEGA 1/3083-06, 2006-2008.

### **BFB Abstrakty odborných prác z domácich podujatí (konferencie...)**

BFB01 Ferko, Andrej 9% - Borovský, Peter 9% - Ftáčnik, Milan 9% - Kubíni, Peter 9% - Lacko, Ján 9% - Lúčan, Ľubomír 2% - Maťuš, L. 2% - Nociar, Michal 2% - Novotný, Matej 9% - Samuelčík, Martin 9% - Smoleňová, Katarína 2% - Stanek, Stanislav 9% - Šikudová, Elena 9% - Tátraiová-Dařílková, Kateřina 9% - Tóth, Zsolt 2%: Geometrické aspekty tvorby urbánnych virtuálnych prostredí [elektronický dokument] Popis urobený 30.9.2008  
In: Geometria krajiny a sídla. - Bratislava : STU, 2008. - [nestr., 1 s.]  
[GAJA 2008 : Geometria a jej aplikácie : odborný seminár. Bratislava, 31.1.2008]  
URL: [http://www.math.sk/gaja/abstract/2008/Abstrakt\\_Ferko2008.pdf](http://www.math.sk/gaja/abstract/2008/Abstrakt_Ferko2008.pdf)<http://www.math.sk/gaja/index.htm>

### **CAH Audiovizuálne diela (videokazeta, film, CD-ROM, DVD) natočené v domácej produkcii**

CAH01 Ftáčnik, Milan - Barca, Robert - Bielik, Ladislav - Borovský, Peter - Brezanská, Helena - Čaputová, Miroslava - Tátraiová-Dařílková, Kateřina - Ferko, Andrej - Janoušek, Miloš - Kubáček, Zbyněk - Kubíni, Peter - Lacko, Ján - Lederleitner, Miroslav - Lúčan, Ľubomír - Martinka, Jozef - Mrázik, Augustín - Novotný, Matej - Samuelčík, Martin - Stanek, Stanislav - Szelepcsényi, Ján - Šikudová, Elena - Valúch, Dušan - Vetrík, Miroslav - Zeman, Marek - Zeman, Matej - Zimányi, Marek - Žiaran, Roman : Multimediálna historická Bratislava. - 1. vyd. - Bratislava : Knižničné a edičné centrum FMFI UK, 2006  
DVD  
ISBN 978-80-89186-15-0  
*Ohlasy (1):*  
[o6] 2005Vznikol virtuálny model centra mesta. In: Bratislavské noviny, 2.6.2005,  
[http://www.bratislavskenoviny.sk/buxus/generate\\_page.php?page\\_id=2651](http://www.bratislavskenoviny.sk/buxus/generate_page.php?page_id=2651)