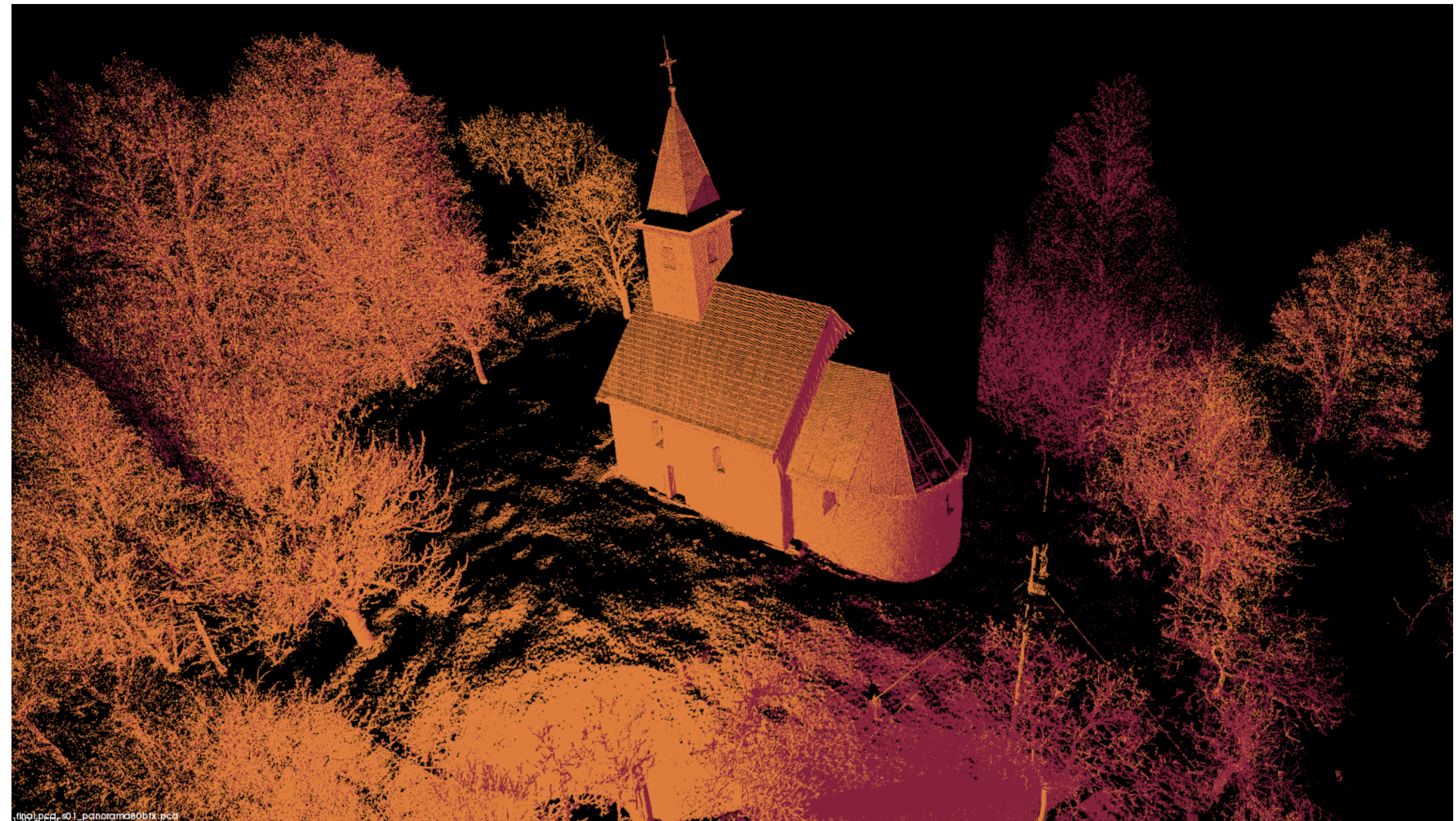
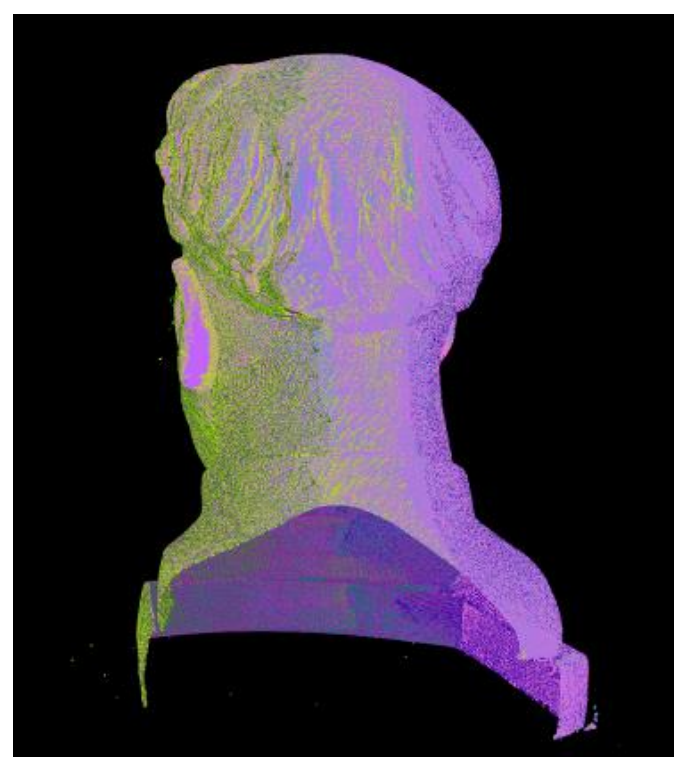
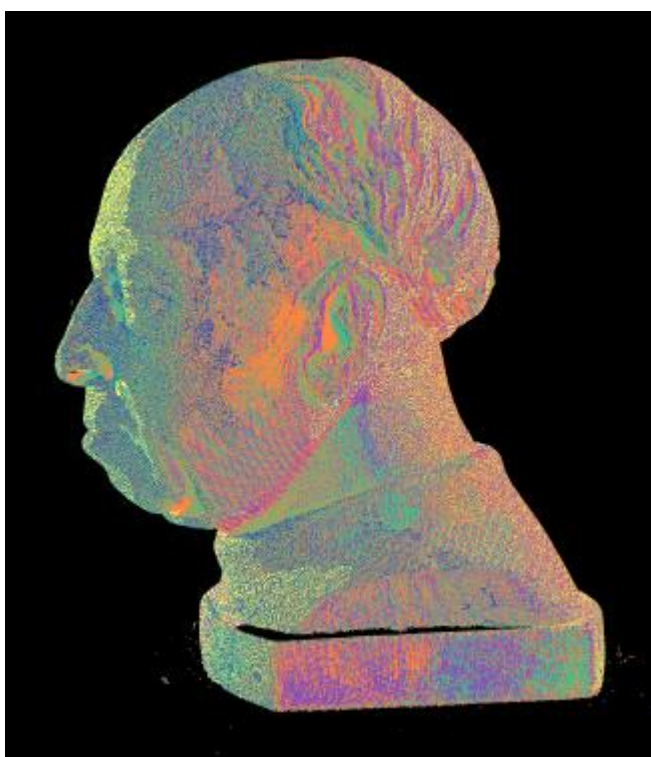


Numerické metódy pre tvorbu modelov 3D objektov pomocou registrácie mračien bodov získaných 3D skenermi

Vytváranie virtuálnych 3D modelov objektov a scén je čoraz častejší prípad takmer všetkých odvetví vedy i bežnej praxe. Vyvíjajú sa stále lepšie skenery a možnosti zachytenia priestoru produkujúce množiny bodov ako výsledok merania. Spolu s nimi však vzniká otázka spracovania takýchto údajov pre ďalšie použitia. V prostredí rozšírenej reality sa snažíme zaznamenať aj najmenšie detaily, v dôsledku čoho zachytávame predmety nášho záujmu z rôznych uhlov pohľadu. Pre vizualizáciu jednotného modelu však potrebujeme prostriedky na správne spájanie častí do celku.

Naša práca sa venuje práve skúmaniu možností a spôsobov vytvárania 3D modelov daným spôsobom. Metóda si našla uplatnenie v oblasti medicíny pri vyšetrovaní orgánov, v geografických informačných systémoch, metrológii, architektúre, pri uchovávaní hmotných pamiatok v digitálnej forme a mnohých iných aplikáciách.



Mračno bodov

Mračno bodov, alebo tiež *point cloud*, možno chápať ako množinu viacdimenziálnych bodov v istom súradnicovom systéme, najčastejšie kartézskom, popisujúcu povrch objektov.

Obvyklým spôsobom získavania mračien bodov je použitie rôznych druhov skenerov, napríklad optických alebo laserových, prípadne digitálna fotogrametria.

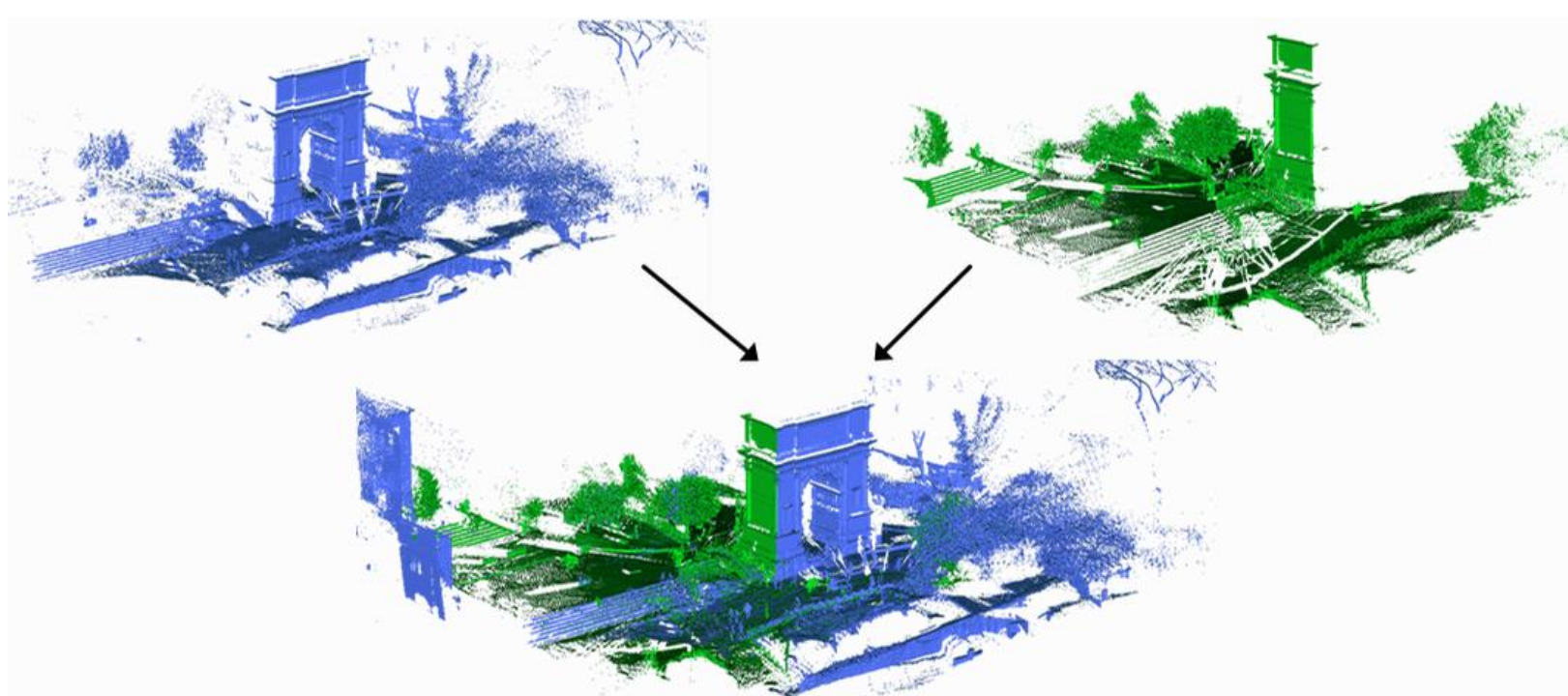
Registrácia

Problém konzistentného zarovnania rozličných 3D mračien bodov do kompletného modelu je známy ako registrácia. Jej hlavným cieľom je nájdenie vzájomnej polohy a orientácie samostatne získaných pohľadov v globálnom súradnicovom systéme tak, aby sa ich spoločné časti perfektne prekrývali [1].

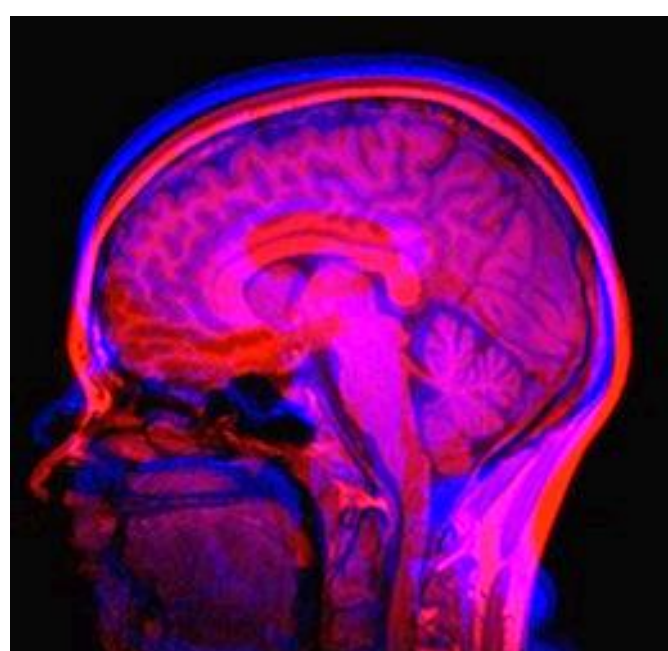
Rozlišujeme dva základné druhy transformácie objektov:

• Tuhá (rigidná) transformácia

Dochádza k translácii a rotácii bodov objektu alebo celej scény. Registráciu zarovnávajúcu takto transformované mračná bodov nazývame taktiež tuhú alebo rigidnou.



• Pružná (elastická) transformácia



Uvažujeme už aj zmenu tvaru telesa. Registrácia elasticky transformovaných mračien bodov je pružná, elastická. Využívaná je najmä v medicínskej oblasti.

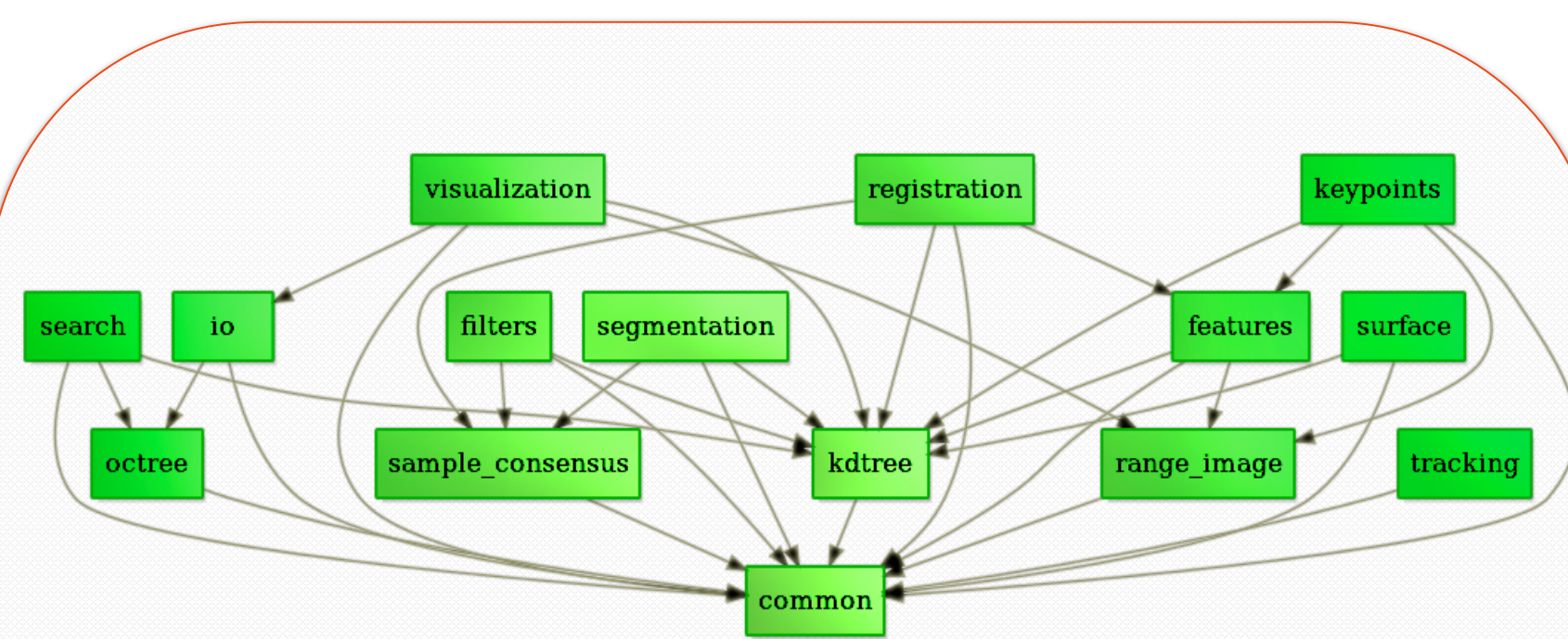
Proces zarovnania mračien bodov môžeme rozdeliť do niekoľkých krokov.

- Získanie, načítanie mračien
- Podvzorkovanie vstupných mračien
- Identifikácia korešpondujúcich dvojíc
- Určenie optimálnej translácie a rotácie

Point Cloud Library

Point Cloud Library je multiplatformová knižnica s otvorenými zdrojovými kódmi slúžiaca na spracovanie 2D/3D obrazu a mračna bodov. Obsahuje početné množstvo algoritmov zahŕňajúcich napríklad filtráciu, rekonštrukciu povrchu, registráciu, segmentáciu [2].

Pre svoju rozsiahlosť a uľahčenie vývoja bola PCL rozdelená na menšie modulárne knižnice, z ktorých každá sa zaoberá inou časťou úpravy mračien bodov.



Registrácia pomocou PCL

Postupujeme v zmysle krokov registrácie využívajúc PCL funkcie.

1) Vstupné mračná:

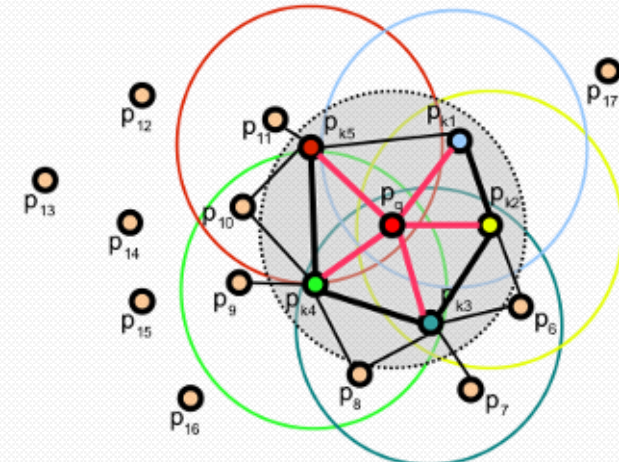
- Cieľové mračno (*target*) - body vzhľadom ku ktorým bude zarovnanie vykonané
- Zdrojové mračno (*source*) - body, ktoré budú prechádzať samotnou transformáciou

2) Podvzorkovanie (*downsampling*):

- Výber každého n-tého bodu
- Použitie voxelovej mriežky

3) Identifikácia korešpondujúcich bodov:

- Používateľom dané korešpondujúce body
- Použitie terčikov pri skenovaní scény
- Automatická detekcia na báze *Fast Point Feature Histograms*



4) Filtrovanie korešpondencií:

- Na základe maximálnej euklidovskej vzdialenosti
- Na základe mediánovej vzdialenosti
- Uvažujúc iba recipročné body
- RANSAC
- Na báze kompatibility normál

5) Hľadanie optimálnej transformácie:

Využívajúc singulárny rozklad matice (SVD), minimalizujeme jednu z metrik:

- *Point-to-point*

$$E_{point-to-point}(R, t) = \operatorname{argmin}_{R, t} \sum_{k=1}^N w_k \| (Rp_k + t) - q_k \|^2$$

- *Point-to-plane*

$$E_{point-to-plane}(R, t) = \operatorname{argmin}_{R, t} \sum_{k=1}^N w_k \left(((Rp_k + t) - q_k) \cdot n_{q_k} \right)^2$$

6) Ukončujúce podmienky:

- Maximálny počet iterácií
- Maximálny rozdiel nájdených transformácií v dvoch rôznych krokoch iterácie
- Maximálna hodnota sumy štvorcov euklidovských vzdialeností korešpondujúcich bodov

Registrácia s danými

korešpondujúcimi dvojicami bodov

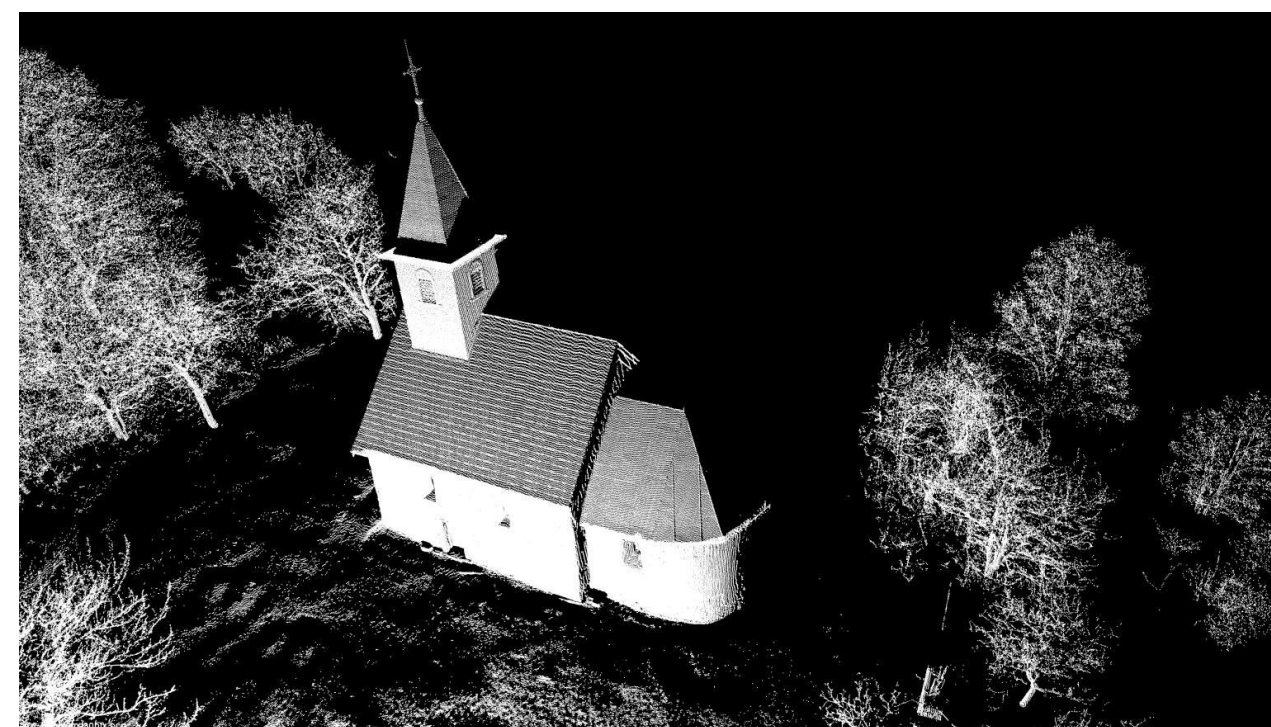
V rámci registrácie s používateľom danými korešpondujúcimi bodmi sme analyzovali viacero modelových situácií. Sústredili sme sa predovšetkým na detailnejšie skúmanie nasledujúcich okruhov:

- Algoritmy pre hľadanie optimálnej transformácie
- Počítanie centroidov zo všetkých bodov mračien v uzavretých, neuzavretých krivkách a analytickom postupe hľadania transformácie
- Simulácia nepresného výberu korešpondujúcich bodov

Automatická registrácia

Na reálnych dátach sme demonštrovali automatickú registráciu, teda registráciu prebiehajúcu bez väčšej potreby interaktivity s používateľom.

- Načítali sme cieľové mračno s počtom bodov 3 377 696 a podvzorkovali voxelovou mriežkou s hranou veľkou 1,4. Vyfiltrované cieľové mračno obsahovalo 9 206 bodov.



- Načítali sme zdrojové mračno s počtom bodov 3 814 907 a podvzorkovali voxelovou mriežkou s hranou veľkou 1,4. Vyfiltrované zdrojové mračno obsahovalo 8 803 bodov.



Následne sme odhadli normály s polomerom rovným trojnásobku hrany voxelovej mriežky, určili sme FPFH bodov vyfiltrovaných mračien s polomerom rovným štvornásobku veľkosti hrany voxelovej mriežky, vytriedili sme korešpondujúce dvojice na báze recipročných bodov a maximálnej vzdialenosti o veľkosti 0,05. Počiatočné zarovnanie sme previedli pomocou transformačnej matice nájdennej vďaka SVD rozkladu a konečné zarovnanie pomocou Iterative Closest Point (ICP), jedného z najrozšírejších registračných algoritmov PCL knižnice.



[1] The PCL Registration API. http://pointclouds.org/documentation/tutorials/registration_api.php#registration-api (2016-03-10)

[2] Point Cloud Library. <http://pointclouds.org/> (2016-03-10)