Slovenská technická univerzita v Bratislave
FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ

Tímový projekt

Rekonštrukcia 3D scény

Projektová dokumentácia - inžinierske dielo

Vedúci projektu:
Ing. Vanda Benešová, PhD.

Členovia tímu:
Bc. Lukáš Hudec (IS)
Bc. Róbert Birkus (IS)
Bc. Michal Löffler (IS)
Bc. Róbert Karásek (IS)
Bc. Martin Jurík (IS)
Bc. Michal Korbeľ (IS)
Bc. Katarína Janečková (IS)

Názov tímu: R3D (tím č. 5)
Web: http://labss2.fiit.stuba.sk/TeamProject/2015/team05is-si/
Kontakt: R3DteamTP@gmail.com
Akademický rok: 2015/2016
Dátum odovzdania: 14. december 2015

Zadanie

Cieľom projektu je návrh a implementácia metód pre rekonštrukciu 3D scény, automatické generovanie jednoduchého sémantického popisu 3D dát, registrácia texturovaných 3D dát získaných stereo rekonštrukciou ako i ich hierarchické spájanie. (Hierarchical 3D Stitching of surface patches.) Výstupom bude funkčný prototyp pre spracovanie 3D dát.

Atraktívna téma z oblasti počítačovej grafiky a počítačového videnia je orientovaná na využitie v praktických aplikáciách a aj vo výskume. Projekt bude vedený v spolupráci so skúseným tímom Machine Vision Applications Group, Institute for Information and Communication Technologies, JOANNEUM RESEARCH Graz, Austria, ktorý pod vedením Dipl-Ing. Gerharda Paara poskytne reálne dáta, ako i cenné skúsenosti.

V súčasnej dobe existujú rôzne metódy, prípadne i hotové senzory pre získavanie 3D vizuálnych dát. Tieto majú rôzne obmedzenia v rozlíšení, presnosti a pod., prípadne tiež obsahujú rušivý šum. V rámci tohto projektu vytvoríme prototyp pre spracovanie reálnych 3D dát, pričom kľúčové úlohy budú:

- 3D segmentácia je všeobecný problém, my sa sústredíme na generovanie abstraktného popisu.
- Hierarchická registrácia 3D dát. (Hierarchical 3D Registration of surface patches.) Výzvou pri riešení tohto problému budú predovšetkým dáta s rôznym rozlíšením získané z rôznych uhlov pohľadu.
- Hierarchické spájanie 3D dát (Hierarchical 3D Stitching of surface patches) Pri riešení tejto výzvy sa pokúsime rozšíriť registrované 3D dáta o ich hladké textúrovanie spájaním jednotlivých snímok.

Projekt má výskumný charakter, umožňuje rozvinúť vlastné nápady a zároveň je smerovaný pre uplatnenie v konkrétnych aplikáciách. Jedna dôležitá budúca aplikácia by mohla byť napr. aj fúzia 3D stereo dát snímaných na Marse. (US missions MER, MSL, Mars 2020; ESA Mission ExoMars 2018).

Obsah

Kapitola 1

Úvod

Tento dokument predstavuje projektovú dokumentáciu softvérového systému na rekonštrukciu 3D scény, ktorý je výsledkom zadania na predmete Tímový projekt.

1.1 Prehľad dokumentu

V časti 2 sú spísané ciele, ktoré chceme dosiahnuť počas zimného semestra. Kapitola 3 sa zaoberá architektúrou nášho systému, je v nej tiež uvedený prehľad modularizácie systému (3.1.2) a diagram tried (3.2). Podrobný opis jednotlivých tried rekonštrukcie systému - metód - nájdeme v kapitole 4.

Kapitola 2

Globálne ciele pre ZS

Medzi hlavné globálne ciele pre zimný semester patrí:

- Oboznámiť sa s problémom 3D rekonštrukcie a 3D registrácie dát
- Analyzovať a navrhnúť základnú architektúru aplikácie pre rekonštrukciu obrazu
  - Vybrať knižnice pre implementáciu
  - Navrhnúť základné triedy a metódy
- Načítať 3D dáta v možných formátoch
  - Načítanie dát pomocou funkcií použitých knižníc
  - Načítanie pomocou C/C++ funkcií a prekonvertovanie do použiteľného formátu
- Preskúmať, oboznámiť sa a vybrať metódy, použiteľné pre rekonštrukciu obrazu
  - Výber metód pre 3D rekonštrukciu a 3D registráciu dát
  - Štúdium a pochopenie zvolených metód
  - Implementácia a otestovanie daných metód
- Vizualizácia implementovaných metód ich prostredníctvom vytvorenej aplikácie
  - Navrhnúť GUI aplikáciu pre interakciu s používateľom
  - Implementovať načítanie súborov a výber metód pre spracovanie vstupných dát
  - Nastavenie parametrov zobrazenia vizualizácie
  - Implementácia ovládania kamery vizualizéra
  - Vizualizovať výstup spracovania pomocou zvolených metód

- Zhodnotenie práce za dané obdobie
- Konzultácia s product ownerom
  - Predvedenie výsledku práce
  - Dohodnutie ďalšieho postupu podľa požiadaviek

Ciele z pohľadu jednotlivých šprintov za zimný semester:

Šprint 1: Štúdium pojmov a odporúčanej literatúry ku knižniciam, analýzy metód, návrh rozhraní projektu a načítanie dát

Šprint 2: Prvé implementácie častí a metód spracovania point cloudov, testovanie datasetov

Šprint 3: Implementovanie prvého prototypu GUI, segmentácia plôch objektov, jednoduchá vizualizácia a pohyby kamerou, prepojenie jednotlivých lib modulov projektu s exe

Sprint 4: Integrácia OpenCV, spracovanie a vizualizácia histogramov normál, segmentovanie rovín - primitív, skumanie meód na detekciu rezov v 2D, aktualizácia GUI

Sprint 5: Implementácia spracovania VTK súborov, doladenie pohybov kamery, zistenie dominantných oblatí v histograme, implementácia SDK pre ovládanie pomocou 3D myši, aktualizácia požiadaviek pre GUI

Kapitola 3

Celkový pohľad na systém

3.1 Architektúra

3.1.1 Návrh architektúry systému

Náš projekt 3D rekonštrukcie scény prichádza ako samostatná nová aplikácia vyvíjaná naším tímom od prvého riadku zdrojového kódu. To znamená, že pre novú, takto rozsiahlu aplikáciu, na ktorej pracuje 7 členný tím bolo potrebné vytvoriť vhodnú architektúru, aby neskôr nedošlo k problémom priamo z tohto hľadiska implementácie riešenia. Okrem toho predpokladáme jej ďalšie využitie v projektoch vedených na FIIT, či už tímových tak aj diplomových.

Celkovému návrhu predchádzala podrobná analýza dostupných technológií – knižníc, ktoré sa zaoberajú problematikou 3D rekonštrukcie a vizualizácie 3D dát, najvhodnejšie oblaku bodov. Pre určité metódy sme zobrali do úvahy aj prácu nad 2D dátami. Dostupné a vhodné technológie sa ukázali knižnice PCL „Point Cloud Library“ a knižnica OpenCV. Časom sa ukázalo, že pre prácu v 3D je knižnica PCL viac než dostačujúca. Vzhľadom na komplexnosť problému, veľkosti spracúvaných dát a výpočtovej zložitosti problému sme sa rozhodli pre zrýchlenie na GPU pomocou knižnice CUDA. Z analýzy naďalej vyplýva, že naším cieľom je vytvoriť prototyp desktopovej aplikácie s extrahovateľnými modulmi rekonštrukcie a prípadnej segmentácie objektov, pripravenej pre ďalšiu modularizáciu a možné rozšírenie v budúcnosti.

Problémy, ktoré by mohli nastať z hľadiska implementácie sú ľahko predstaviteľné. Dokonca prvý problém sa vyskytol ešte v prvých fázach a bol okamžite odstránený. Zlý návrh znamenal problém pri implementácií ďalšieho funkčného rozšírenia. Tým, že na vývoji pracuje súčasne 7 ľudí a ich súčasti musia byť systematicky prepájané, je potrebné dbať na určité zásady.

[0]Vzhľadom na zadávateľa – výskumné centrum a charakter zadania potrebovali sme Open Source a GNU GPL licencie

K týmto zásadám sa viaže aj metodika písania zdrojového kódu.

Pre dosiahnutie bezproblémovej implementácie a jednoduchej integrácie jednotlivých modulov a vyvíjaných funkčných modelov musí byť architektúra projektu škálovateľná a robustná voči rôznym zmenám, ktoré sa počas vývoja vyskytnú. Najdôležitejšie vlastnosti, na ktoré architekt dával najväčší dôraz sú:

- Dátovo-formátová nezávislosť
  - Vzhľadom na to, že nedisponujeme zariadením na vytvorenie vlastného datasetu a centrum, pre ktoré vyvíjame prototyp nám ešte nedodalo testovací dataset, boli sme nútení nájsť alternatívu vo voľne dostupných datasetoch.
  - Problém takéhoto prístupu je jasný – dostupné datasety sú rôzneho typu, rôzneho formátu a preto je tento problém riešiť už v návrhu architektúry vytvorením modulu parsera dát.
  - Ďalším riešením je vytvoriť si syntaktické dáta – tieto sú však vhodné iba na testovanie a ich formát sa nemusí zhodovať s reálnym formátom, ktorý dostaneme zo snímacieho zariadenia.
- Dátovo-typová nezávislosť
  - Získané dáta môžu byť rôzneho typu – čisté XYZ, ale môžu obsahovať aj hodnotu intenzity či farebnú zložku. Prototyp by si mal vedieť s týmto problémom poradiť automaticky a nežiadať ďalšie pomocné informácie od používateľa.
- Dátovo-funkcionálna nezávislosť
  - Vývojári jednotlivých funkčných modelov potrebujú vyvíjať metódy a nie riešiť problémy s dátovými typmi. Potrebujú len vedieť kde ich nájsť, ako sa volajú a keď potrebujú iný typ ako štandardne volané XYZ.
- Škálovateľnosť, Flexibilita voči zmenám a Modulovateľnosť
  - Podstata celého výskumného prototypu je v tom, že v priebehu vývoja sa implementuje niekoľko rôznych riešení zadaného problému. Tieto riešenia budú pridávané postupne a do rôznych modulov podľa ich charakteristického zamerania a funkčného významu.
  - Architektúru je preto potrebné navrhnúť tak, že jednotlivé moduly budú ľahko doplniteľné a v prípade potreby vymeniteľné za iný modul.
- Nezávislá integrácia externých zdrojov

  - Výstupom nášho prototypu má byť najmä knižnica, ktorej funkcionalita je rekonštrukcia 3D dát a prípadne segmentácia objektov. Pre tento výstup je nežiaduce, keby bola táto knižnica viazaná na tematicky odlišnú funkcionalitu – gui, prípadne vizualizáciu, prípadne ovládač. Preto je potrebné navrhnúť štruktúru tak, aby nevznikali nežiadúce prepojenia na externé zdroje, s ktorými osobitné moduly pracujú.

- Údržba pamäte a šetrné zaobchádzanie so zdrojmi
  - Tento bod je spojený tiež s druhom dát, s ktorými program pracuje. Tieto dáta nie je možné spracúvať postupne a mať ich uložené na externom úložisku.
  - Tieto dáta musia byť načítané v programe celý čas ich spracovania aj zobrazovania.
  - Problém nastáva keď si uvedomíme, že niektoré datasety majú viac ako 2GB v ASCII formáte a po načítaní cez 500MB.
  - Z tohto dôvodu je potrebné neplytvať pamäťou a zdieľať čo najväčšie množstvo dát, ktoré je možné.

3.1.2 Modularizácia systému

Z architektonického hľadiska nezávislosti modulov vyplynulo rozdelenie problémov zatiaľ na 4 hlavné moduly. Z hľadiska plánovania a rozdelenia projektu časť týchto modulov predstavuje Epic úlohy evidované v TFS backlog-u.

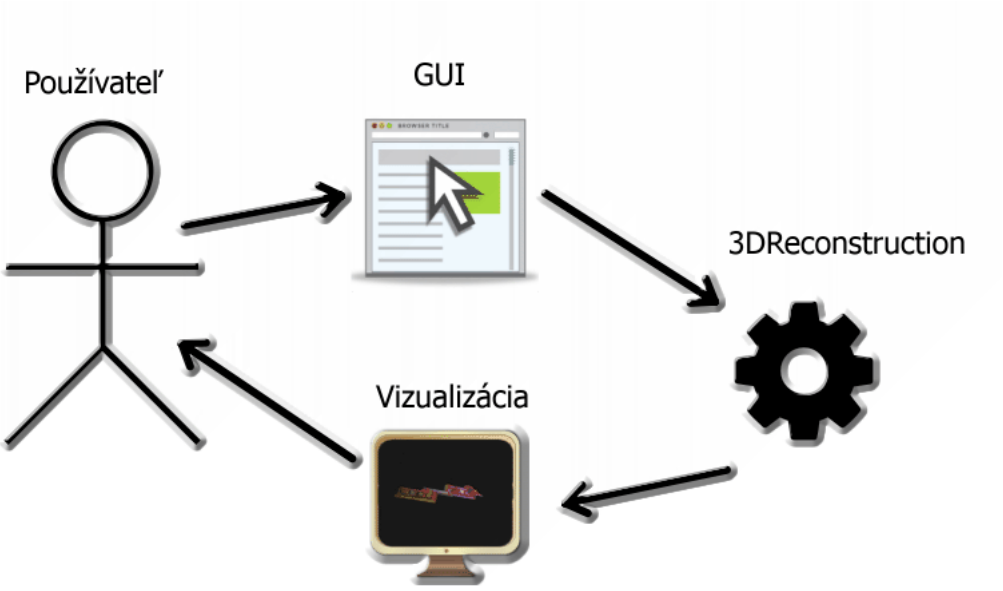
Tieto moduly sú:

- 3DReconstruction - hlavná logika aplikácie, dátové typy poznajú štruktúru jednotlivých načítaných dát
- GUI - Grafické rozhranie pre komunikáciu s používateľom
- Vizualization - Vizuálny výstup riešenia ako spätná informácia pre používateľa (Okrem vizualizácie rieši aj interakciu)
- DataHandling - Správa súborov a načítanie/konverzia dát

Diagram toku dát:

3DReconstruction

Tento modul obsahuje hlavnú naším tímom vyvíjanú logiku rekonštrukcie a segmentácie. Obsahuje hlavnú triedu „ClosedSpace“, ktorá spravuje dáta, nad ktorými sa vykonávajú operácie rekonštrukcie. Okrem toho, bol zámer ju vytvoriť typovo nezávislú, takže dokáže udržiavať dátové typy akéhokoľvek formátu. Okrem správy dát, spravuje spracované objekty. Významnou črtou



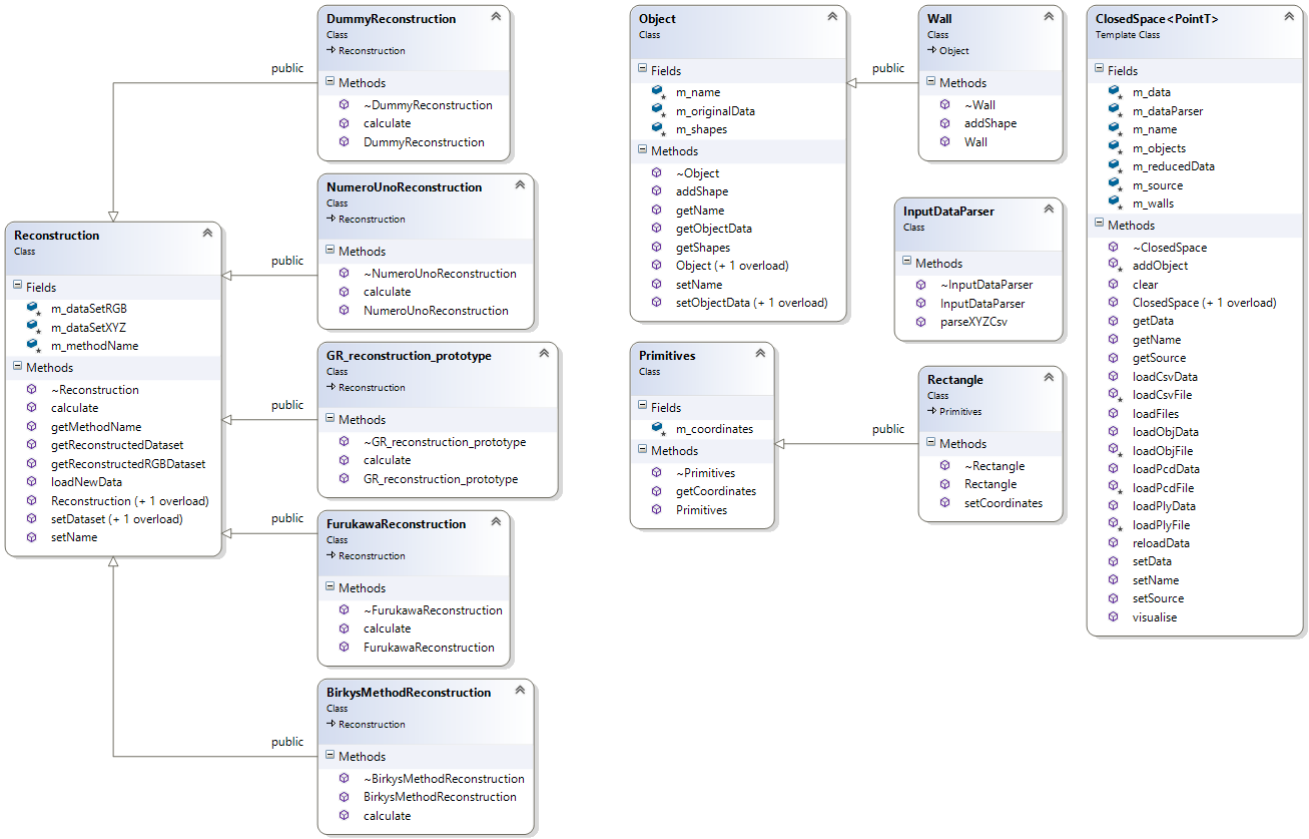
Obr. 3.1: Diagram toku dát

je, že pozná svoje typy objektov a taktiež ich dokáže z hľadiska PCL a VTK vizualizéra zobraziť podľa pravidiel, ktoré nim prislúchajú.

Ďalšou z hľadiska architektúry významnou triedou je „Reconstruction“ abstraktná trieda, ktorá je rodičom každej triede, ktorá sa venuje rekonštrukcií scény. Tento prístup bol smerovaný najmä z hľadiska modularity a „oop“ polymorfizmu. Z hľadiska správy dát a rekonštruovaných typov sú tiež významné triedy „Object“ a „Primitives“, ktoré spravujú rekonštruované typy a udržiavajú ich dáta. Takto bola dosiahnutá maximálna abstrakcia typov a v ďalších implementáciách objektový polymorfizmus.

GUI

Každý program potrebuje grafické rozhranie pre interakciu s používateľom. Špeciálne vtedy, keď potrebuje od používateľa aby si vybral metódu, ktorou chce vykonať rekonštrukciu, prípadne dáta, ktoré chce vizualizovať. Keďže je to tematicky odlišný modul, bol tak aj vytváraný a ostatné moduly od neho ostali architektonicky nezávislé. Jeho štruktúra je jednoduchá a prepojenie je riešené priamo cez kontroler. Môžeme povedať, že čo sa modulov týka, architektonický vzor použitý na implementáciu sa snažil priblížiť MVC.

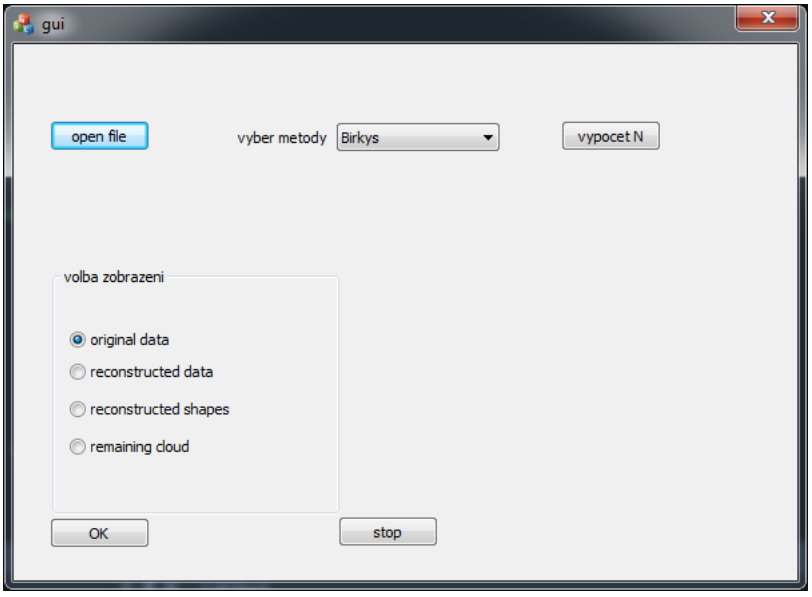


Obr. 3.2: Diagram tried

Opis ovládania a funkcionality GUI

Obrázok 3.3 zobrazuje GUI rozhranie projektu. Obsiahnutú funkcionalitu popisujú jednotlivé body.

- open file - slúži na výber jedného alebo viacerých súborov pre načítanie
- list box vyber metody - umožňuje vybrať jednu z metód pre použitie na spracovanie zvolených a načítaných súborov
- supinka radio buttonov
  voľba zobrazeni - je určená pre výber jedného typu požadovaného point cloudu pre zobrazenie
  original data - pre zobrazenie celého, pôvodného, neupraveného point cloudu
  reconstructed data - body pre rekoštrukciu plôch
  reconstructed shapes - zrekonštruované plochy
  remaining cloud - pre zobrazenie zostatkovej/nespracovanej časti spracovaného point cloudu
- OK button - spustí vizualizér, podmienkou je mať zvolené vstupné súbory, metódu a voľbu zobrazenia
- stop button - zastaví a zatvorí vizualizáciu, následne je možnosť ďalej interagovať s GUI, načítavať iné súbory, zvoliť si iné metódy či volby zobrazní a zase spustiť vizualizáciu s inými nastaveniami



Obr. 3.3: Screen GUI

Vizualization

Vizualizačný model mohol byť prepojený priamo na GUI, dôvod jeho oddelenia však spočíva v rozdielnych metódach použitých pri ich implementácií – na čo bolo potrebné myslieť už v rámci návrhu architektúry. Momentálna implementácia modulu rieši najmä interakciu používateľa so zobrazovanou scénou a pohyb kamery. Preto tiež aj z hľadiska čiastočnej tematickej odlišnosti bol tento modul oddelený od GUI.

DataHandling

Modul, ktorý vznikol z dôvodu lepšej modularizácie a lepších kompilačných časov, vzhľadom na oddelenie niektorých málo menených tried – kódu, ktorý sa od jeho vytvorenia už nemení. Takto sa oddelila funkcionalita načítavania dát z triedy „ClosedSpace“ do osobitného modulu. Čo sa hneď využilo, keď prišli nové dáta – aj nový formát dát, tým pádom vďaka flexibilite bolo pridanie možnosti načítavania bezproblémové a na vyšších vrstvách neboli potrebné žiadne úpravy.

Kapitola 4

Rekonštrukčné triedy systému

Rekonštrukcia 3D scény v dnešnej dobe už nie je problém. Existuje viacero metód, ktorými dokážeme vytvoriť modely s miliónmi bodov, s veľkou mierkou a s vysokým rozlíšením. Výzvou však je vytvoriť zjednodušený model, čo možno dokázať použitím určitého stupňa abstakcie a geometrizáciou. Takéto modely sú, okrem iného, oveľa lepšie použiteľné. Pracovať so zložitým modelom, ktorý obsahuje niekoľko miliónov bodov, nie je príliš praktické. Hovoríme napríklad o spracovaní, prenášaní, analyzovaní alebo vizualizácii. V našom projekte sme sa zamerali na rekonštrukciu miestnosti. Jednotlivé plochy a objekty v 3D dátach sú reprezentované príliš veľa bodmi. My chceme tieto plochy a objekty rozpoznať a nahradiť ich len niekoľkými bodmi, ktoré budú predstavovať ich zjednodušený geometrický tvar. Prekážkou, ktorú treba rozumným spôsobom prekonať, je nerovnomernosť, zašumenosť a nepresnosť v rekonštruovaných dátach. Rozhodli sme sa analyzovať niekoľko metód, ktoré sú opísané v častiach 4.1, 4.2, 4.3 a 4.4.

4.1 Metóda 1

4.1.1 Analýza

Metóda sa zakladá na článku [1]. V publikácii sa zaoberajú tvorbou zjednodušeného geometrizovaného modelu viacposchodovej budovy. Pri tejto metóde je predpoklad, že vstupný oblak bodov obsahuje body prevažne tvoriace horizontálne a vertikálne plochy.

4.1.2 Návrh

Postup je nasledovný: Najprv chceme nájsť rezy modelu. Rez predstavuje takú časť modelu, ktorú ohraničujú dominantné horizontálne štruktúry. Tieto štruktúry nájdeme tak, že zistíme, ktoré body majú podobnú normálu ako

os z a premietneme ich na ňu. Najhustejšie miesta v týchto 1D dátach budú predstavovať hlavné horizonrálne štruktúry. Aplikujeme na ne metódu mean shift, ktorou nájdeme stredy najhustejších oblastí, teda horizontálnych štruktúr a v týchto miestach povedieme rezy modelom. Každý rez premietneme do 2D priestoru a pomocou binárnej segmentácie označkujeme pixely ako v rámci objektu alebo mimo objektu. Ohraničíme tie, ktoré do objektu patria a získame 2D plán jedného rezu. Obrysy objektov každého rezu prevedieme do 3D a jednotlivé rezy pospájame. Kvôli nepravidelnostiam medzi rezmi navzájom urobíme s modelom 3D regularizáciu, čím dostaneme výsledný model rekonštruovaných dát.

4.1.3 Implementácia

Implementácia je zatiaľ v štádiu, kedy sa podarilo vytvoriť metódu na určenie normál všetkých bodov, nájdenie bodov s normálou podobnou osi z a následné premietnutie týchto bodov na os z. Ďalej sme implementovali metódu meanshift, pomocou ktorej určujeme umiestnenie horizontálnych rezov modelom.

4.2 Metóda 2

4.2.1 Analýza

Growing region je segmentačná metóda založená na porovnávaní susedných bodov v oblaku a následnom vytvorení vyfiltrovaných oblastí (regiónov) prislúchajúcich bodov. Na začiatku je potrebné si stanoviť tzv. "seed"bod, ktorý považujeme za štartovací bod. Od neho sa vyvíja celý proces segmentácie obrazu. Po stanovení počiatočného seed bodu a vypočítaní normály pre tento bod, môže začať proces segmentácie. Zoberieme susedné body v oblaku a vypočítame ich normály. Následne porovnáme uhol medzi normálou seed bodu a normálou každého susedného bodu. Ak uhol spadá pod stanovenú prahovú hodnotu, susedné body z oblaku patria do novovysegmentovanej oblasti. V opačnom prípade body vynecháme. V ďalšom kroku za seed body teraz považujeme novopridané body do oblasti a opakujeme krok algoritmu. Proces segmentácie a samotné porovnávanie susedných bodov sa taktiež môže uskutočňovať na základe RGB hodnôt jednotlivých bodov v oblaku. Rovnako sa stanoví prahová RGB hodnota a v prípade, že rozdiel dvoch susedných bodov spadá pod túto stanovenú hodnotu, oba body patria do jednej spoločnej oblasti.

Po segmentačnom procese každá oblasť (plocha) obsahuje určitý počet bodov. Takto zostavený model je komplikovaný a je náročnejšie ho vizualizovať, než keby jednotlivé plochy boli prekryté geometrickým útvarom (trojuholník, polygón...). Preto sa snažíme prekryť čo najviac bodov takýmto útvarom. Rovnako je potrebné riešiť body, ktoré nie sú priradené žiadnej

ploche, tzv. "outlier" body, tieto pravdepodobne vymažeme z oblaku, resp. táto otázka bude riešená v neskoršej fáze projektu.

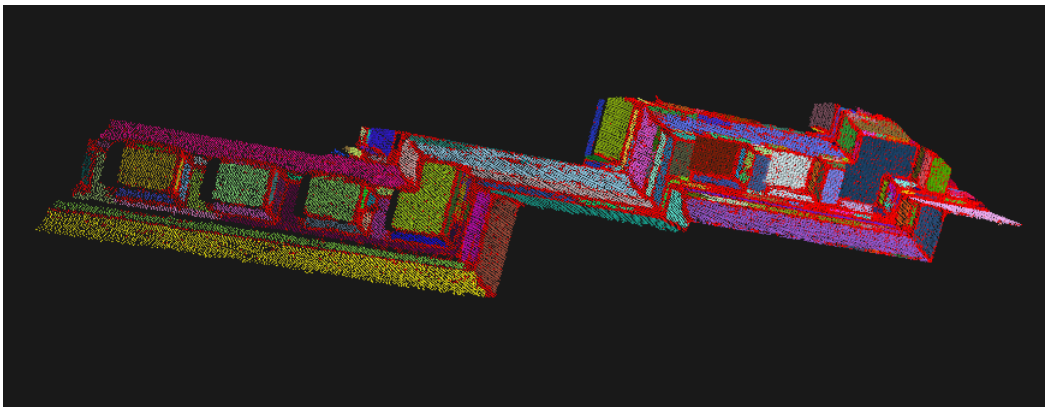
Mnohé výpočty potrebné pre algoritmus sú priamo zahrnuté v PCL knižnici, ktorú používame pri riešení projektu, a preto nemusíme riešiť implementácie elementárnych funkcií výpočtov. Napríklad v tomto prípade sú to normály, prípadne výpočet RGB hodnoty z bodov a podobne.

4.2.2 Návrh

Metóda je implementovaná pomocou triedy GR_reconstruction_prototype, ktorá reprezentuje rozšírenie hlavnej rekonštrukčnej triedy 3Dreconstruction. Metóda dostáva na vstupe oblak dát, ktorý je sekvenčne spracovávaný algoritmom growing region a na výstupe poskytuje zrekonštruovaný oblak dát pomocou tohto algoritmu.

4.2.3 Implementácia

V súčasnosti je vytvorený "prototyp" algoritmu, ktorý segmentuje vstupný oblak bodov na jednotlivé oblasti(plochy) bodov do klastrov. Každý takto vytvorený klaster obsahuje body označené jednou príslušnou farbou. Vo vysegmentovanom oblaku nájdeme aj body nespadajúce pod žiaden klaster, na obrázku 4.1 sú to červené body.



Obr. 4.1: Metóda growing region

Každý z vysegmentovaných klastrov predstavuje jednu plochu, zatiaľ však iba vo forme bodov. Kľúčovým krokom je tieto klastre reprezentovať čo najväčšími celistvými geometrickými útvarmi. Na tento účel sme využili metódu RANSAC, ktorá je dostupná v knižnici PCL. Tá zo vstupného klastru bodov na základe zadanej prahovej hodnoty odstráni "outlier" body a vráti koeficienty parametrického vyjadrenia roviny, v ktorej tieto body ležia. Tým

pádom sme však získali iba množinu neohraničených rovín. Preto je potrebné určiť ich ohraničenia. To sme dosiahli aplikovaním funkcie planeWithPlaneIntersection knižnice PCL, ktorou sme získali priesečníky jednotlivých plôch vo forme priamok (resp. koeficientov v ich parametrickom vyjadrení).

Ďalšia práca:

- hľadanie susednosti klastrov, aby sme vedeli ktoré plochy má zmysel vzájomne pretínať
- vytvorenie obdĺžnikov z rovín a ich pridanie pomocou addWall do zrekonštruovaného modelu

4.3 Metóda 3

4.3.1 Analýza

Daná metóda je založená na článku z našej literatúry. Metóda je zo začiatku dosť jednoducho a neopísaná do detailov, preto ju bude potrebné prispôsobiť, možno aj zlepšiť v niektorých častiach. Ako prvý bod metódy je potrebné vytvoriť histogram z bodov v smere gravitácie. Po aplikovaní niekoľkých algoritmov nám rozdelí 3D priestor na 2D rezy z ktorých sa vytvorí CSG model. Tie sa neskôr pospájajú a vytvoria nám miestnosť.

4.3.2 Návrh

Postupovať podľa článku a prispôsobovať algoritmy, nakoľko nie je tam opísaný do detailov.

4.3.3 Implementácia

Z implementačnej bol zatiaľ vytvorený histogram, ktorý bude neskôr použitý pre rozdeľovanie celkového 3D priestora. Nakoľko z článku nie je jasné ako bol implementovaný, je veľká pravdepodobnosť, že sa počas implementácie môže zmeniť.

4.3.4 Testovanie

Testovanie bolo na našom prvom datasete a testovala sa ešte Houghova transformácia, ktorá bude potrebná pre neskoršiu fázu vývoja.

4.4 Metóda 4

4.4.1 Analýza

Táto metóda je založená na histograme normál bodov. Cieľom je pomocou výpočtu normál jednotlivých bodov (pomocou ich okolia) určiť dominantné

smery v oblaku bodov a tým určiť potenciálnu orientáciu stien v analyzovanej miestnosti. Táto metóda by mala úspešne fungovať pri typických miestnostiach s rovnými stenami. Avšak, je dosť pravdepodobné, že táto metóda zlyhá pri atypických miestnostiách s oblúkovitými stenami. Ďalšími problémamy tejto metódy môžu byť rôzne objekty v miestnosti, či už na stenách alebo v samotnej miestnosti. Tento problém by sa však mohol riešiť pomocou predspracovania oblaku bodov danej miestnosti, pomocou ktorej by sa tieto objekty odstránili.

Samotná metóda sa skladá z niekoľkých krokov, konkrétne sú to: výpočet normál bodov, vytvorenie histogramu normál, nájdenie dominantných smerov z histogramu normál, označovanie jednotlivých bodov podľa dominantných smerov, získanie bodov jednej roviny(steny), vytvorenie primitív pre steny.

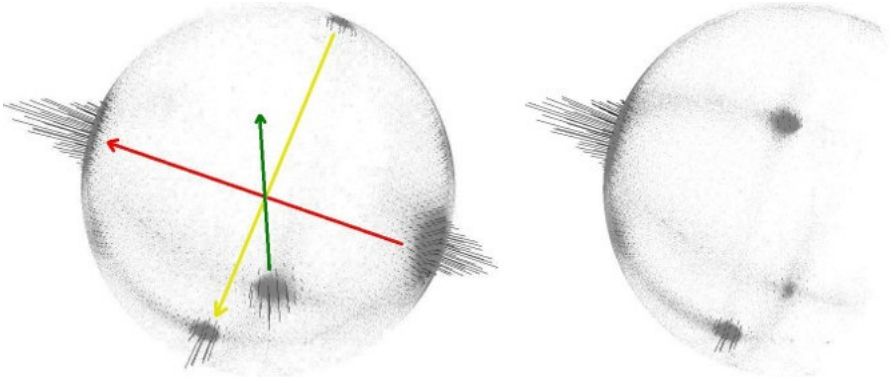
V našom projekte používame knižnicu PCL(Point Cloud Library) a OpenCV, ktoré sa snažíme maximálne využiť pre uľahčenie našej práce. PCL umožňuje výpočet normál bodov. Normály jednotlivých bodov vypočíta pomocou okolitých bodov zo zadefinovaného okolia. Vypočítané normály bodov obsahujú normalizovaný vektor x, y, z a tiež aj zakryvenie. Podrobné vysvetlenia výpočtu normál bodov v PCL je na oficiálnej stránke PCL. Možnosti PCL pre histogram sú vcelku obmedzené, keďže obsahuje iba implementáciu špecifických histogramov pre špecifické úlohy, ktoré pre našu úlohu nie sú vhodné. Je teda potrebné navrhnúť a naimplementovať vlastný histogram pre normály bodov. Pre určenie dominantných oblastí v histograme bude potrebné si zvoliť vhodný algoritmus, ktorý závisí predovšetkým od navrhnutého histogramu. Predpokladá sa použitie algoritmu mean-shift. Po zistení dominantných smerov v oblaku bodov je potrebné prideliť každý bod k niektorému z dominantných smerov. Ďalším problémom je, že body dvoch alebo viacerých rovnobežných stien budú pridelené k rovnakému dominantnému smeru a pre ďalšie spracovanie potrebujeme, aby sme mali jednotlivé steny zvlášť vysegmentované. Pre vysegmentovanie bodov prislúchajúcich jednotlivým stenám z množiny bodov prislúchajúcih rovnobežným stenám by sme mohli použiť algoritmus growing-region. Po vysegmentovaní bodov prislúchajúcich k jednotlivým stenám sa môžeme sústrediť na vykreslenie jednotlivých stien. Cieľom je nájsť hlavné body z množiny bodov patriacich jednej steny, pomocou ktorých sa následne vytvorí primitíva steny. Tento problém sa rieši aj v metóde č. 2.

4.4.2 Návrh

Pre výpočet normál použijeme existujúce funkcie PCL knižnice, ktoré fungujú na princípe PCA (Principal Components Analysis). V podstate ide o výpočet kovariačnej matice pre každý bod pomocou okolitých susedných bodov.

Keďže PCL neumožňuje vytvárať histogram, ktorý je potrebný pre našu

úlohu, navrhli sme vlastný. Pre zjednodušenie histogramu, aby sme nemuseli ukladávať všetky tri hodnoty normál (x,y,z) sme si zjednošuli úlohu výpočtom dvoch uhlou, ktoré určujú normálu. Sú to uhly alfa a beta. Alfa je uhol medzi x-ovou a y-ovou súradnicovou osou a beta je uhol medzi x-ovou a z-ovou súradnicovou osou. Týmto riešením nám stačí ukladať iba dve hodnoty, čím šetríme pamäť. Taktiež v našom pripáde normála a normála k nej inverzná je pre nás takpovediac identická, totiž nám obi dve z hľadiska určenia smeru stien dávajú rovnaký smer steny. Preto by tieto normály mali zahlasovať do histogramu rovnako. Pre lepšiu predstavu si pozrite 4.2.



Obr. 4.2: Všetky normály hlasujúce rôzne (naľavo), normály a normály k nim inverzné hlasujúce rovnako (napravo)[1]

Histogram normál teda bude 2D histogram, ktorý bude reprezentovať smer normál pomocou dvoch uhlov alfa a beta od 0°po 180°.

Pre určenie dominantných oblastí v histograme je najprv potrebné vizualizovať histogram, podľa ktorého sa bude dať lepšie odhadnúť najvhodnejšiu metódu pre danú úlohu. Vizualizácia sa bude riešiť pomocou knižnice OpenCV, keďže sa jedná o 2D histogram, ktorý sa dá zobraziť ako obrázok. Pre nájdenie dominantných oblastí v histograme normál sme navrhli aj dve metódy. Prvá metóda bola založená na algoritme mean-shift a druhá na hľadaní maxima a následného odstraňovania okolia maxima. Pri mean-shift algoritmu je v našom prípade problém určiť začiatočnú pozíciu okien kvôli čomu nie je táto metóda vhodná pre náš problém. Naopak, druhá metóda vyhovuje našim podmienkam a je schopná nájsť potrebný počet dominantných oblastí v histograme.

Po získaní dominantných smerov oblaku bodov, pridelíme každý bod k určitému dominantnému smeru, ku ktorému sa normála bodu podobá čo najviac. Toto sa vykoná iteráciou cez všetky body a zistením najpodobnejšieho dominantného smeru k ich normál. Po označení jednotlivých bodov podľa dominantných smerov oblaku bodov je ešte potrebné odlíšiť body patriace

[1] `http://www.pointclouds.org/documentation/tutorials/normal_estimation.php`

k rôznym rovinám (stenám). Čiastočne nám to už označovanie podľa dominantných smerov spravilo. Avšak, roviny (steny) ku sebe rovnobežné je ešte stále potrebné od seba oddeliť. To vyriešime pomocou algoritmu growing-reqion využijúc znalosť, že rovnobežné steny nie sú spojené alebo natoľko blízko seba, aby ich jednotlivé body nebolo možné priestorovo rozlíšiť. Je potrebné vhodne definovať susedné body (maximálnu vzdialenosť).

A na záver, po pridelení všetkých bodov k jednotlivým rovinám (stenám) bude potrebné vytvoriť primitíva pre jednotlivé steny. Toto chceme docieliť pomocou zredukovania bodov v oblaku bodov jednotlivých stien a následného vykreslenia plochy. Umiestnenie vykreslenej plochy bude potrebné zkorigovať podľa aritmetického priemeru alebo mediánu bodov v oblaku bodov. S týmto problém sa zaoberá aj metóda č.2.

4.4.3 Implementácia

Implementácia prebehla v jazyku C++ pomocou knižníc OpenCV a PCL. Vstupom pre túto metódu je oblak bodov a výstupom sú body potrebné na vykreslenie plôch reprezentujúcich steny.

Aktuálne metóda podporuje len výpočet normál, vytvorenie histogramu normál, nájdenie dominantných smerov z histogramu normál a označenie jednotlivých bodov podľa dominantných smerov.

4.4.4 Testovanie

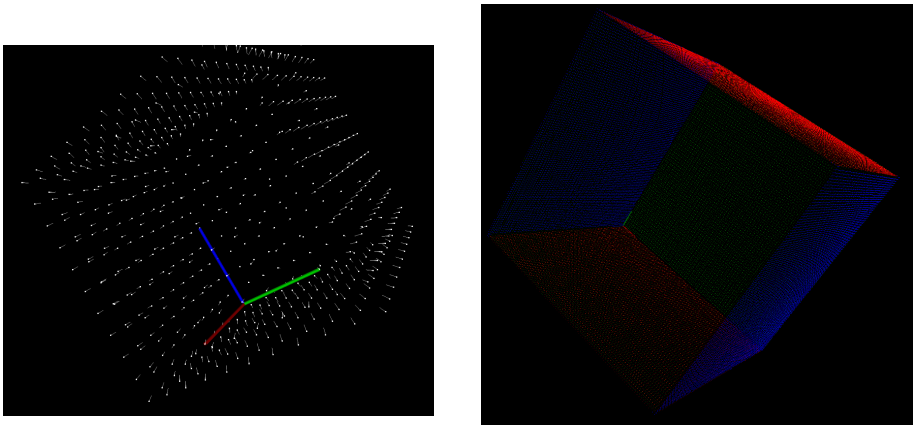
Testovanie prebieha súbežne pre všetky kroky metódy. Prevažne sa jedná o manuálne vizuálne testovanie pomocou vizualizácie knižnice PCL a OpenCV. Pre testovanie jednotlivých krokov metódy používame rôzne vstupné dáta. Pre testovanie sme si vytvorili tiež syntetické dáta. Vytvorili sme oblak bodov pravidelnej kocky, nepravidelnej kocky a kocky s objektmi vo vnútri. Jednotlivé kroky metódy najprv testujeme na týchto syntetických vstupných dátach a následne až na reálnych dátach.

4.5 Vizualizácia

4.5.1 Analýza

Dôležitým prvkom nášho nástroja je modul vizualizácie, ktorý bude slúžiť na zobrazovanie vstupného oblaku bodov a najmä na prezentáciu výsledných zrekonštruovaných objektov používateľovi.

Vo fáze vývoja aplikácie zároveň dovoľuje vývojárom priebežnú kontrolu funkčnosti jednotlivých rekonštrukčných metód. Môžu tu napríklad jednoducho sledovať, či sa geometrický útvar prekladá bodmi oblaku podľa očakávaní.



(a) Výpočet normál

(b) Označenie bodov podľa dominantných smerov

Obr. 4.3: Vizualizácia pravidelnej kocky

Z toho vyplýva požiadavka, aby bolo možné zobrazovať dáta vo forme oblaku bodov ako aj mriežky polygónov.

Úlohou tohto modulu však nebude len staticky vizualizovať, ale aj umožniť interaktívny pohyb scénou, vďaka ktorému bude možné detailne sledovať objekty z ľubovolného uhlu pohľadu.

Možným rozšírením do budúcnosti bude začlenenie podpory pre 3D myš SpaceNavigator, ktorá nám bola poskytnutá laboratóriom počítačového videnia a grafiky na FIIT STU.

4.5.2 Návrh

Vzhľadom na skutočnosť že pre vývoj nášho rekonštrukčného nástroja používame knižnicu PCL, pre lepšiu integráciu sme sa aspoň pre začiatok rozhodli aj na vizualizáciu využiť vizualizačnú triedu PCLVisualizer, ktorá je súčasťou tejto knižnice. Návrh nášho modulu vizualizácie preto zodpovedá návrhu tejto existujúcej triedy. Trieda PCLVisualizer je veľmi komplexná a okrem mnohých iných nám poskytuje metódy pre začleňovanie modelov vo forme oblakov bodov alebo mriežky polygónov do scény. O interakciu používateľa so scénou sa vo východzom stave stará trieda PCLVisualizerInteractorStyle, ktorá definuje priradenie udalostí zo vstupných zariadení (napr. kliknutie a pohyb myšou) konkrétnym akciám, napr. rotácii kamery.

Práve spôsob interakcie definovaný touto triedou sme vyhodnotili ako nevyhovujúci a preto sa zameriavame na jeho vylepšenie. Medzi hlavné nedostatky patria:

- pohyb kamery po scéne nemožno ovládať klávesnicou, ale iba stlačením kolečka myši a súčasným pohybovaním myšou

- pre rotáciu kamery je potrebné držať stlačené ľavé tlačidlo myši
- rotácia kamery prebieha neprirodzene okolo nejakého bodu umiestneného pred kamerou, navyše vzdialenosť od neho je navyše premenlivá
- počas rotovania sa kamera nekontrolovateľne točí aj okolo osi Z, čo je mätúce.

Navrhnutým a realizovaným riešením je vytvorenie vlastnej triedy interakcie CustomInteractorStyle, ktorá bude odvodená od spomínanej PCLVisualizerInteractorStyle. V nej budú všetky nevyhovujúce metódy prekonané vlastnou implementáciou. Tým pádom sa zachová štruktúra metód pôvodnej triedy a zmení sa iba ich implementácia.

Pre uplatnenie tohto vylepšeného štýlu interakcie sa výsledná trieda CustomInteractorStyle odošle ako parameter konštruktora triedy PCLVisualizer.

4.5.3 Implementácia

Nastavenie rotácie kamery okolo jej stredu v knižnici PCL je kamera reprezentovaná triedou Camera a jej poloha v scéne je zadefinovaná jej členskou premennou pos (position), ktorá je poľom troch súradníc x, y a z. Bod otáčania kamery je určený zase premennou focal (focal point), ktorá je podobne poľom súradníc. Aby sme dosiahli efekt otáčania kamery okolo vlastnej osi, bolo potrebné pomocou metódy SetFocalPoint nastaviť bod otáčania focal presne do bodu polohy kamery pos. To však ale nebolo možné, pretože z týchto dvoch bodov sa určuje vektor pohľadu kamery a keby boli obidva tieto body na totožných súradniciach, vektor pohľadu by bol nulový. Preto bol radšej bod otáčania nastavený do veľmi tesnej vzdialenosti od pozície kamery, čím sa dosiahol rovnaký efekt otáčania ako požadovaný a aj vektor pohľadu zostal nenulový.

Uzamknutie rotácie kamery okolo osi Z
Pre uzamknutie rotácie kamery okolo osi Z bolo potrebné prekonať metódu onMouseMove(). Jej telo bolo jednoducho nahradené rovnakou metódou z triedy vtkInteractorStyleTerrain knižnice VTK (Visualuzation ToolKit), ktorá presne implementuje požadované uzamknutie rotácie okolo osi Z.

Ovládanie pohybu kamery klávesnicou
na základe konvencie ovládania pohybov v počítačových hrách sme sa rozhodli, že pohyb kamery vpred a vzad sa bude ovládať klávesami W a S, a pohyby doľava doprava klávesami A a D. Aby bolo možné tieto pohyby kamery zrealizovať, bolo potrebné prekonať metódu onKeyPressed(), kde bolo pre každý zo znakov W,S,A,D zadefinované volanie zodpovedajúcej funkcie vykonávajúcej požadovaný pohyb- konkrétne sú to funkcie moveForwards(), moveBackwards(), keyboardPanLeft() a keyboardPanRight(). Samozrejme

tieto funkcie sme najprv naimplementovali. Metódy moveForwards() a moveBackwards() sú založené na premiestňovaní polohy kamery a jej stredu otáčania v smere rovnobežnom s vektorom pohľadu o vzdialenosť rovnú dĺžke tohto vektoru. Metódy pre pohyb do strán sú inšpirované metódami na posun kamery pomocou myši s tým rozdielom, že chýbajúci vektor pohybu myši do strany je nahradený konštantnou hodnotou, ktorá sa vygeneruje pri každom stlačení tlačidla A a D.

Interakcia pomocou 3D myši 3Dconnexion SpaceNavigator
Knižnica PCL využíva na vizualizáciu a interakciu prostriedky knižnice VTK. Tá vo východzom stave podporuje interakciu iba pomocou štandardných vstupných zariadení. Našťastie existuje možnosť jej prekompilovania tak, aby podporovala prijímanie udalostí aj zo vstupných zariadení od výrobcu 3Dconnexion. Je však potrebné nainštalovať softvérovú vývojovú sadu pre 3D myš. Túto možnosť sme preto využili, čím sa nám sprístupnil vstup z 3D myši vo forme udalostí (napr. TdxButtonPressEvent) ktoré knižnica generuje pri manipulácii s myšou.

Knižnica VTK však neobsahuje žiadu interakčnú triedu, ktorá by tieto udalosti interpretovala na skutočný pohyb kamery v scéne. Pre každý typ udalosti generovaný myšou je teda nutné naimplementovať funkciu, ktorá na základe parametrov pohybu myšou vykoná adekvátny pohyb kamery v scéne. Následne stačí pomocou metódy *addObserver()* každú z týchto funkcií namapovať na príslušnú udalosť generovanú myšou.

Literatúra

[1] Thomas Holzmann, Christof Hoppe, Stefan Kluckner, and Horst Bischof. Geometric abstraction from noisy image-based 3d reconstructions. *OAGM Workshop 2014*, pages 1–8, 2014.