

Hĺbková stereokamera RealSense

Technická dokumentácia

Viliam Hrčka, Norbert Krivý, Viktória Špaková, Jozef Filip

Katalóg požiadaviek.....	4
1. Úvod.....	4
1.1 Účel katalógu požiadaviek	4
1.2 Rozsah využitia systému.....	4
1.3 Slovník pojmov	4
1.4 Odkazy.....	4
1.5 Prehľad nasledujúcich kapitol.....	5
2. Všeobecný popis	6
2.1 Perspektíva systému	6
2.2 Funkcie systému	6
2.3 Charakteristika používateľov	6
2.4 Predpoklady, závislosti a obmedzenia	6
3. Špecifikácia požiadaviek	7
3.1 Základné požiadavky.....	7
3.1.1 Kalibrácia kamery	7
3.1.2 Farebný výstup kamery v reálnom čase	7
3.1.3 Meranie vzdialenosti	7
3.1.4 Výber rozlíšenia a presnosti	7
3.1.5 Sken miestnosti.....	7
3.1.6 Pohyb po naskenovanom mračne bodov	7
3.1.7 Export dát	7
3.2 Dodatočné požiadavky.....	8
3.2.1 Dynamické skenovanie	8
3.2.2 Nástroj na výrez mračna bodov	8
3.2.3 Uloženie konfigurácie scény	8
3.2.4 Načítanie konfigurácie scény	8
Návrh systému	9
1. Úvod.....	9
1.1 Účel návrhu systému	9
1.2 Rozsah použitia systému.....	9
2. Odkazy a referencie	9
3. Všeobecný popis	9

3.1 Všeobecný popis modulov.....	10
3.1.1 Streamovanie dát	10
3.1.2 Výber rozlíšenia skenovania.....	10
3.1.3 Skenovanie	10
3.1.4 Zobrazenie mračna bodov	11
3.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov	11
3.1.6 Export mračna bodov	11
4. Závislosti	11
4.1 Závislosti medzi procesmi	11
4.1.1 Vyhotovenie skenu.....	11
4.2 Závislosti na dátach	12
4.2.1 Vyhotovený sken.....	12
5. Popis používateľského rozhrania.....	11
5.1 Popis rozhraní modulov.....	11
5.1.1 Streamovanie dát	11
5.1.2 Výber rozlíšenia skenovania.....	11
5.1.3 Skenovanie	11
5.1.4 Zobrazenie mračna bodov	11
5.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov	12
5.1.6 Export mračna bodov	12
6. Detailný popis	16
6.1 Detailný popis modulov.....	16
6.1.1 Streamovanie dát	16
6.1.2 Výber rozlíšenia skenovania.....	16
6.1.3 Skenovanie	17
6.1.4 Zobrazenie mračna bodov	19
6.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov	20
6.1.6 Export mračna bodov	21
Analýza presnosti skenovania	21
Podmienky pre dosiahnutie najlepších výsledkov	23

Katalóg požiadaviek

1. Úvod

1.1 Účel katalógu požiadaviek

Tento dokument slúži na podrobný opis všetkých požiadaviek a očakávanej funkcionality pre vyvíjaný projekt "Hĺbková stereokamera RealSense D455". Jeho cieľom je poskytnúť jednoznačnú a zrozumiteľnú špecifikáciu pre všetkých zainteresovaných, vrátane vývojového tímu, zadávateľa a ďalších zúčastnených strán, ktorí sa podieľajú na realizácii a hodnotení projektu.

Katalóg požiadaviek predstavuje záväznú dohodu medzi zadávateľom projektu a vývojovým tímom, pričom slúži ako referenčný dokument počas celého životného cyklu projektu. Definuje funkčné a nefunkčné požiadavky na aplikáciu a zabezpečuje, aby všetky strany mali spoločné porozumenie o očakávaniach týkajúcich sa výsledného riešenia.

Dokument slúži ako základ pre implementáciu, testovanie a následné hodnotenie systému, a umožňuje efektívne riadenie vývoja podľa definovaných špecifikácií.

1.2 Rozsah využitia systému

Hlavným cieľom výslednej aplikácie je poskytnúť širokej verejnosti nástroj pre skenovanie a export dát z hĺbkovej stereokamery RealSense D455, (ďalej len "kamera") v bežných formátoch pre 3D modely. Súčasťou aplikácie bude tiež funkcionality kalibrácie kamery, zobrazovanie naskenovaných dát a meranie vzdialenosti dvoch bodov v naskenovanom mračne bodov.

1.3 Slovník pojmov

SDK – súbor nástrojov, knižníc a dokumentácie, ktorý umožňuje vývojárom vytvárať aplikácie pre konkrétnu softvérovú platformu (v našom kontexte Intel RealSense SDK)

Mračno bodov (angl. Point cloud) – 3D súbor dát zložený z množstva bodov reprezentujúcich povrch objektu alebo priestoru, často získané 3D skenovaním

1.4 Odkazy

Repozitár projektu

- <https://github.com/TIS2024-FMFI/realsense-demo>

Kamera

- <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/>

Intel RealSense SDK 2.0

- <https://www.intelrealsense.com/sdk-2/>

1.5 Prehľad nasledujúcich kapitol

V druhej kapitole je viac priblížená požadovaná funkcionálna aplikácia, jej závislosti a perspektíva. Zároveň určíme role používateľov aplikácie a stručne ich popíšeme.

V tretej kapitole sú detailne popísané konkrétne jednotlivé funkčné požiadavky na aplikáciu ako aj tie, ktoré priamo nenadväzujú na funkcionálnu. Tieto požiadavky boli dohodnuté so zadávateľom projektu.

Štvrtá kapitola obsahuje prílohy súvisiace s naším projektom, na ktoré sa prípadne v rámci tohto dokumentu odkazujeme.

2. Všeobecný popis

2.1 Perspektíva systému

Aplikácia pre hĺbkovú stereokameru RealSense D455 bude navrhnutá ako samostatné softvérové riešenie, ktoré bude slúžiť na zber, spracovanie a vizualizáciu hĺbkových dát.

Aplikácia bude schopná komunikovať s inými softvérovými riešeniami na spracovanie 3D modelov prostredníctvom využívania štandardizovaných formátov, ako je napríklad STL.

Z perspektívy používateľa bude systém určený pre široké spektrum používateľov. Používateľské rozhranie bude navrhnuté tak, aby bolo intuitívne a vhodné pre rôzne úrovne technickej zdatnosti.

Z technologického hľadiska bude aplikácia využívať pokročilé funkcie kamery a bude integrovaná s Intel SDK, ktoré zabezpečí prístup k hĺbkovým dátam.

2.2 Funkcie systému

Po pripojení kamery k zariadeniu bude užívateľovi sprístupnená všetka funkcionálnosť aplikácie. Keď kamera zaznamená nízku presnosť merania hneď po pripojení alebo po niekoľkých skenoch, vyzve užívateľa na vykonanie kalibrácie, aby bolo skenovanie presné. V okne aplikácie bude zobrazené, čo kamera v danom momente vidí. Pred skenovaním si vie užívateľ vybrať rozlíšenie, v akom bude sken vykonaný. Po kliknutí na tlačidlo skenovania, započne kamera sken. Užívateľ vie otáčať kamerou položenou na statíve a tak snímať panorámu. Po dokončení je možné si prezrieť naskenované mračno bodov, odmerať v ňom vzdialenosť kliknutím na dva body a exportovať daný snímok do formátov STL, OBJ a PLY.

2.3 Charakteristika používateľov

V rámci našej aplikácie budeme mať len 1 rolu používateľa - bežný užívateľ. Naša aplikácia nebude mať žiadne obmedzenia pre bežného používateľa v rámci používania, preto by admin rola alebo nejaká iná v našom prípade nebola zmysluplná.

2.4 Predpoklady, závislosti a obmedzenia

Aplikácia nemá využitie bez vlastníctva kamery. Ideálne podmienky pre skenovanie sú za dňa, alebo v dobre osvetlenej miestnosti. Tmavé prostredie zhoršuje kvalitu skenu. Aplikácia bude vyvíjaná pre operačný systém Windows 10/11. Skenované objekty nesmú byť od kamery vzdialené viac ako 6 metrov. Kamera musí byť počas celej doby skenovania na otočnom statíve.

3. Špecifikácia požiadaviek

3.1 Základné požiadavky

Tieto požiadavky tvoria jadro funkcionality aplikácie a budú implementované.

3.1.1 Kalibrácia kamery

V aplikácii bude kliknutím na tlačidlo “Kalibrácia” začatý proces kalibrácie. Kamera musí byť pripojená k počítaču a spustená. Po dokončení procesu bude kamera správne kalibrovaná a pripravená na použitie. Spôsob kalibrácie bude určený pri implementácii a v prípade potreby bude používateľovi dodaný návod, ako ju má vykonať.

3.1.2 Farebný výstup kamery v reálnom čase

V aplikácii bude v hlavnom okne vyhradená oblasť pre zobrazovanie živého farebného 3D výstupu kamery, t.j. čo práve vidí. Pri pohybe kamerou bude tento výstup aktualizovaný. Farby v náhľade zodpovedajú skutočným farbám objektov, ktoré kamera vidí.

3.1.3 Meranie vzdialenosti

Používateľ bude v 3D prostredí aplikácie schopný aktivovať funkciu merania vzdialenosti prostredníctvom tlačidla “Meranie”. Po aktivácii tejto funkcie bude môcť zvoliť dva body v 3D priestore, pričom po výbere druhého bodu sa automaticky zobrazí vypočítaná vzdialenosť medzi týmito bodmi v metroch. Na uskutočnenie nového merania stačí označiť nový bod. Funkcia merania môže byť deaktivovaná opätovným stlačením tlačidla “Meranie”.

3.1.4 Výber rozlíšenia a presnosti

V aplikácii bude možné vybrať si spomedzi viacerých rozlíšení mračna bodov, v ktorom sa bude sken vykonávať, čo ovplyvní jeho detaily a kvalitu. Nižšie rozlíšenia sú vhodné pre vytvorenie rýchleho náhľadu scény alebo pre zariadenia s nižším výkonom. Vyššie rozlíšenia sú vhodné pre vytváranie presnejších a detailnejších skenov.

3.1.5 Sken miestnosti

Kliknutím na tlačidlo “Začať skenovanie” začne kamera skenovať to, čo momentálne vidí. Používateľ bude následne po vyzvaní od aplikácie kameru pomaly otáčať okolo zvislej osi na statíve, aby mohla skenovať ďalšiu časť miestnosti. Po dokončení skenovania celej miestnosti používateľ klikne na tlačidlo “Dokončiť” a zobrazí sa mu 3D model toho, čo naskenoval. Ak už predtým bolo nejaké skenovanie dokončené, aplikácia sa užívateľa opýta, či chce momentálne dáta zahodiť a skenovať nanovo.

3.1.6 Pohyb po naskenovanom mračne bodov

Užívateľ môže voľne “lietať” v mračne bodov pomocou klávesnice a prezerať si ho pohybom myši v 3D priestore.

3.1.7 Export dát

Ďalšou funkciou, ktorú bude aplikácia obsahovať, je možnosť exportu 3D naskenovaných modelov do štandardizovaných formátov - STL, PLY a OBJ. Používateľ

bude môcť iniciovať export prostredníctvom tlačidla “Export”, pričom bude mať na výber z uvedených formátov pre export. Exportovaný súbor bude následne uložený na miesto, ktoré používateľ určí.

3.2 Dodatočné požiadavky

Tieto požiadavky predstavujú extra funkcionality aplikácie, ktoré ale kvôli nedostatku času nemusia byť vo finálnej verzii implementované.

3.2.1 Dynamické skenovanie

Užívateľ sa s kamerou pohybuje po miestnosti, ktorá priebežne skenuje, čo vidí. Výsledný sken vzniká spojením čiastkových skenov miestnosti.

3.2.2 Nástroj na výrez mračna bodov

Po kliknutí na tlačidlo “Výrez” si používateľ vie vyrezať časť naskenovanej scény, ktorá sa uloží do užívateľom vybraného súboru. Rez užívateľ špecifikuje tak, že v náhľade skenu vyberie dva body, čo budú dva konce telesovej uhlopriečky kvádra. Tento kváder bude symbolizovať výber výrezu.

3.2.3 Uloženie konfigurácie scény

Po stlačení tlačidla „Uložiť scénu“ systém uloží aktuálny 3D sken scény, vrátane všetkých hĺbkových dát, farebných informácií a konfiguračných nastavení kamery. Uložený súbor bude obsahovať potrebné údaje pre zobrazenie scény v 3D priestore tak, aby bolo možné scénu neskôr presne načítať a zobraziť.

3.2.4 Načítanie konfigurácie scény

Po stlačení tlačidla „Načítať scénu“ systém načíta predtým uložený 3D sken scény. Všetky hĺbkové dáta, farebné informácie a konfiguračné nastavenia kamery budú načítané tak, aby bola scéna zobrazená s pôvodnými parametrami a kvalitou. Užívatelia budú môcť s načítanou scénou pracovať, akoby bola práve naskenovaná, čo umožňuje jej ďalšie spracovanie.

Návrh systému

1. Úvod

1.1 Účel návrhu systému

Účelom tohto dokumentu je poskytnúť vývojovému tímu prehľad o moduloch systému a ich detailný popis. Na základe návrhu systému bude výsledný systém vyvíjaný.

1.2 Rozsah použitia systému

Systém je vyvíjaný za účelom poskytnutia aplikácie umožňujúcej vytváranie komplexných 3D skenov interiéru. Môže byť využitý pre exportovanie 3D dát a ich následnú vizualizáciu.

2. Odkazy a referencie

Knižnica Open3D:

<https://www.open3d.org/docs/release/>

Open3D GUI:

https://www.open3d.org/docs/release/python_api/open3d.visualization.gui.html

Open3D reconstruction system:

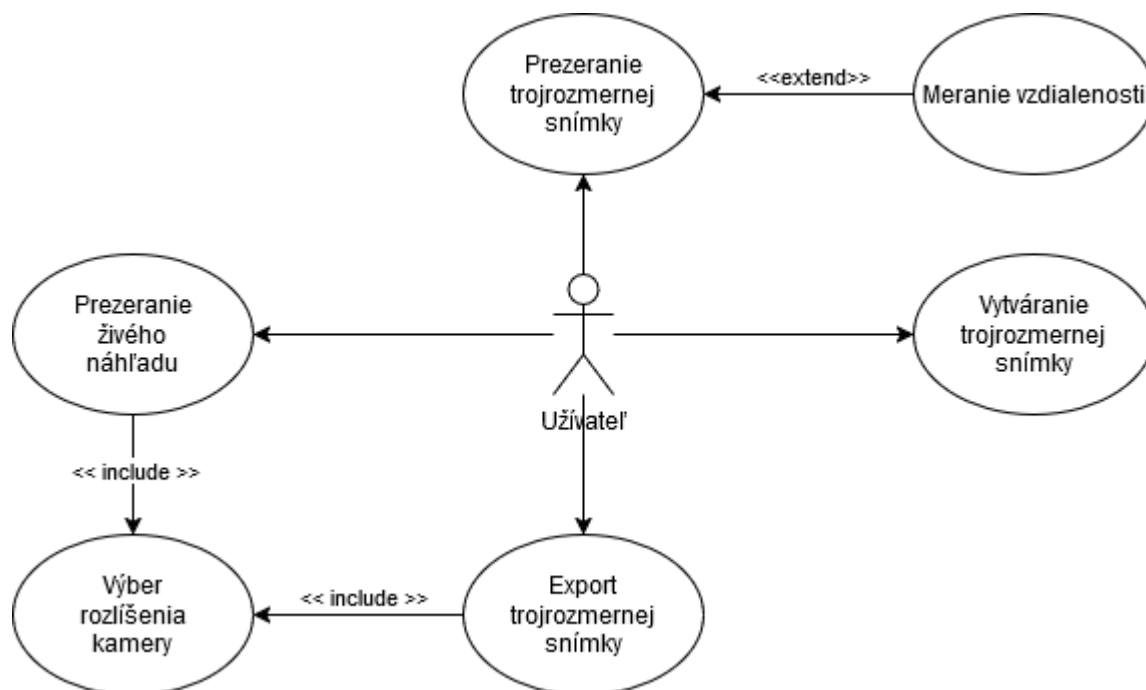
https://www.open3d.org/docs/latest/tutorial/reconstruction_system/

Knižnica pymeshlab pre export:

<https://pypi.org/project/pymeshlab/>

3. Všeobecný popis

V tejto kapitole sa zameriame na jednoduchý popis našej aplikácie. Popíšeme si v skratke jej jednotlivé časti, ktoré v ďalších kapitolách rozvineme do väčších detailov.



Užívateľské scenáre

3.1 Všeobecný popis modulov

V jednotlivých podkapitolách sa pozrieme na krátky popis modulov našej aplikácie - Streamovanie dát, Výber rozlíšenia, Skenovanie, Zobrazenie mračna bodov, Meranie vzdialenosti v mračne bodov a Export mračna bodov.

3.1.1 Streamovanie dát

Tento modul má za úlohu vytváranie živého farebného 2D náhľadu zorného poľa kamery. Dáta berieme z jednej z farebných kamier, zvyčajne z pravej. Tieto dáta sú ďalej poslané užívateľskému rozhraniu pre zobrazenie v hlavnom okne aplikácie.

3.1.2 Výber rozlíšenia skenovania

Tento modul umožňuje užívateľovi vybrať jedno z rozlíšení skenovania, ktoré kamera poskytuje. Vyššie rozlíšenia poskytujú vyššiu kvalitu mračna bodov, no jeho vyhotovenie trvá dlhšie, pričom nižšie rozlíšenia poskytujú rýchlejší náhľad za cenu nižšej kvality.

3.1.3 Skenovanie

Na skenovanie využívame Reconstruction system od Open3D, ktorý zostaví point cloud zo sekvencie zarovnaných farebných a hĺbkových obrázkov z našej kamery.

Tento proces sa skladá z piatich krokov:

- Vytvorenie datasetu

- Vytvorenie fragmentov
- Registrovanie fragmentov
- Doladovanie registrovaných fragmentov
- Integrácia scény

3.1.4 Zobrazenie mračna bodov

Tlačidlo SHOW SCAN zobrazí naskenované dáta vo forme bodového mračna v grafickom rozhraní pomocou knižnice Open3D. Tlačidlo HIDE SCAN tieto dáta z plochy odstráni. Obe funkcie umožňujú jednoduché prepínanie medzi zobrazením a skrytím modelu, pričom sa automaticky aktualizuje stav ovládacích prvkov.

3.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov

Funkcia merania vzdialenosti v bodovom mračne umožňuje užívateľovi získať informáciu o vzdialenosti medzi dvomi vybranými bodmi v 3D dátach. Jej hlavnou úlohou je poskytnúť presný výpočet vzdialenosti na základe údajov z bodového mračna, pričom výsledok je jednoducho dostupný pre ďalšie spracovanie alebo analýzu.

Táto funkcionálna je navrhnutá tak, aby bola intuitívna a efektívna, umožňujúca interaktívnu prácu s modelom.

3.1.6 Export mračna bodov

Exportovať dáta budeme do 3 formátov, konkrétne do formátov OBJ, PLY a STL. PLY formát získame naskenovaním dát priamo, teda nie je z našej strany potrebné ho pregenerovať. Z PLY formátu dostaneme formáty OBJ a STL s využitím Python knižnice pymeshlab.

4. Závislosti

V rámci našej aplikácie máme viacero závislostí - ide o závislosti medzi procesmi a závislosti na dátach. V tejto kapitole si konkrétne závislosti bližšie popíšeme.

4.1 Závislosti medzi procesmi

4.1.1 Vyhotovenie skenu

V rámci časti skenovania potrebujeme, aby sa jednotlivé časti vykonali v správnom poradí a sú teda na sebe závislé. Ide o takéto poradie:

1. Vytvorenie datasetu
2. Vytvorenie fragmentov
3. Registrovanie fragmentov
4. Doladovanie registrovaných fragmentov

5. Integrácia scény

4.2 Závislosti na dátach

4.2.1 Vyhotovený sken

Predtým, než vieme sken zobraziť v užívateľskom rozhraní, manipulovať s ním, merať v ňom vzdialenosť alebo ho exportovať do jedného z podporovaných formátov je potrebné, aby bol vyhotovený, tj. všetky procesy z kapitoly 4.1.1 musia byť úspešne ukončené.

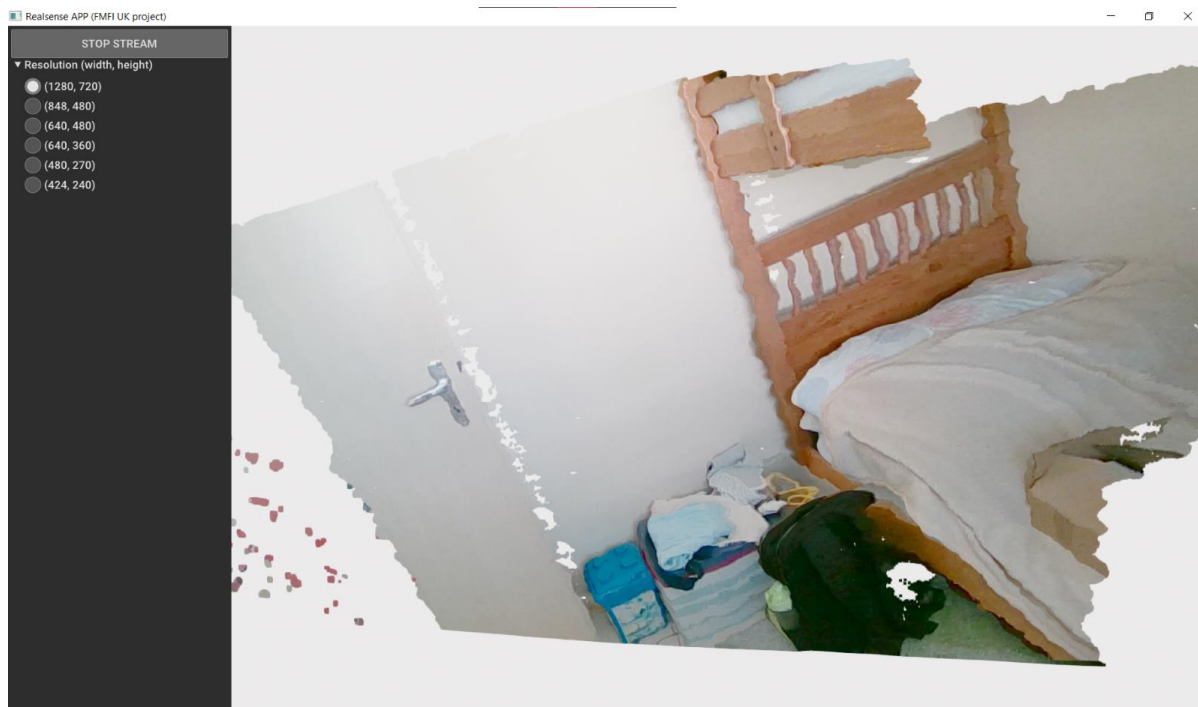
5. Popis používateľského rozhrania

V tejto časti sa budeme venovať opísaniu toho, ako bude daná aplikácia dostupná používateľovi. Popíšeme si, akým spôsobom bude používateľ vedieť využiť konkrétne funkcionality.

5.1 Popis rozhraní modulov

5.1.1 Streamovanie dát

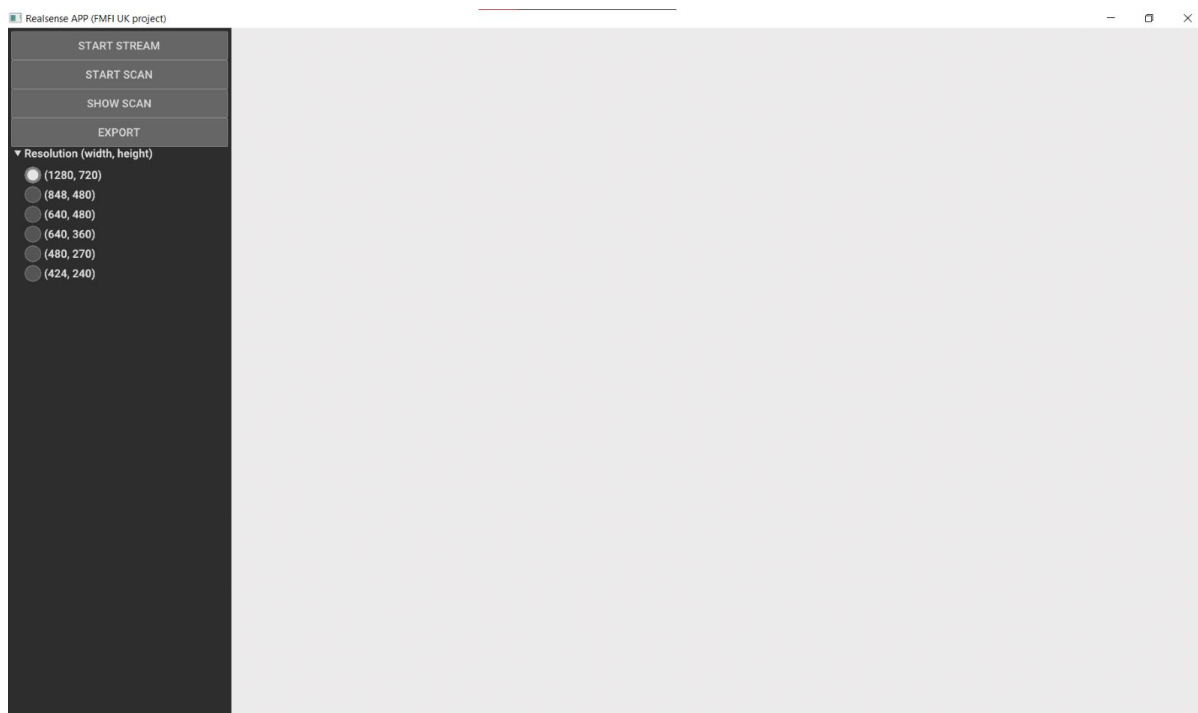
Po spustení aplikácie, keď je kamera zapojená do zariadenia, sa v hlavnom okne zobrazí možnosť zobraziť živý výstup zorného poľa kamery spolu so všetkými ostatnými tlačidlami.



Zobrazovanie živého náhľadu

5.1.2 Výber rozlíšenia skenovania

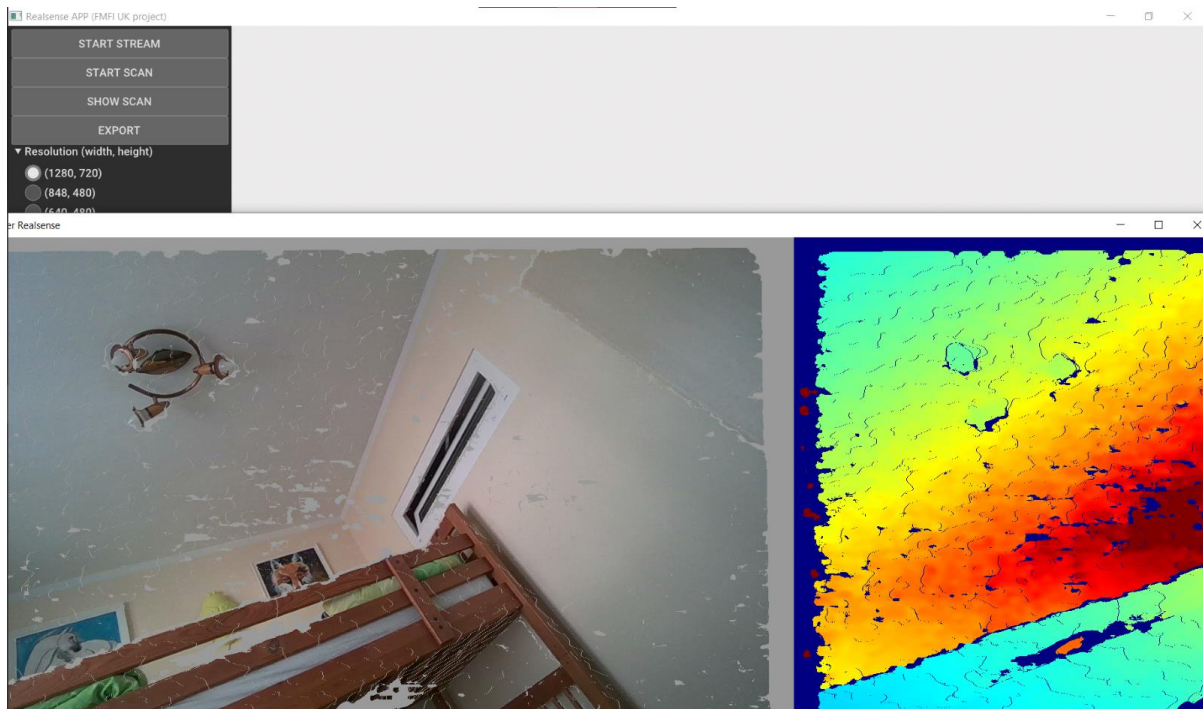
Výber rozlíšenia sa uskutoční za pomoci rozbaľovacej ponuky, ktorá sa zobrazí pod ostatnými tlačidlami na hlavnej obrazovke. Po kliknutí na ponuku sa v stĺpci zobrazia všetky podporované rozlíšenia. Kliknutím na jednu z možností sa dané rozlíšenie nastaví.



Snímka obrazovky hlavného menu s ponukou rozlíšení

5.1.3 Skenovanie

Proces skenovania začne kliknutím na tlačidlo “START SCAN”. Po kliknutí sa používateľovi zobrazí okno s dvoma typmi pohľadu - farebným a hĺbkovým (sivá znázorňuje to, čo kamera “nevidí”). V tomto momente sa začína proces tvorenia datasetu a vytvárajú sa snímky. Keď používateľ naskenuje všetko, čo chcel, tak sken ukončí stlačením tlačidla ESC. Následne sa spustí proces spájania snímok pre vytvorenie finálneho mračna bodov.



Vytváranie skenu

5.1.4 Zobrazenie mračna bodov

Po stlačení tlačidla SHOW SCAN sa skontroluje, či sú dostupné naskenované dáta. Ak áno, mračná bodov (PLY dáta) sa pridajú do scény a zobrazia sa v grafickom rozhraní. Tlačidlo SHOW SCAN sa deaktivuje a tlačidlo HIDE SCAN sa aktivuje.

Po stlačení tlačidla HIDE SCAN sa zobrazené dáta odstránia zo scény a hlavnej plochy grafického rozhrania. Tlačidlo HIDE SCAN sa deaktivuje a tlačidlo SHOW SCAN sa opäť aktivuje.

5.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov

Po stlačení tlačidla START MEASURE sa tlačidlo deaktivuje a súčasne sa aktivuje tlačidlo STOP MEASURE. Otvorí sa nové okno vizualizácie, v ktorom je možné pracovať s mračnom bodov. Aplikácia sa prepne do režimu merania, ktorý umožňuje používateľovi interaktívne vyberať body.

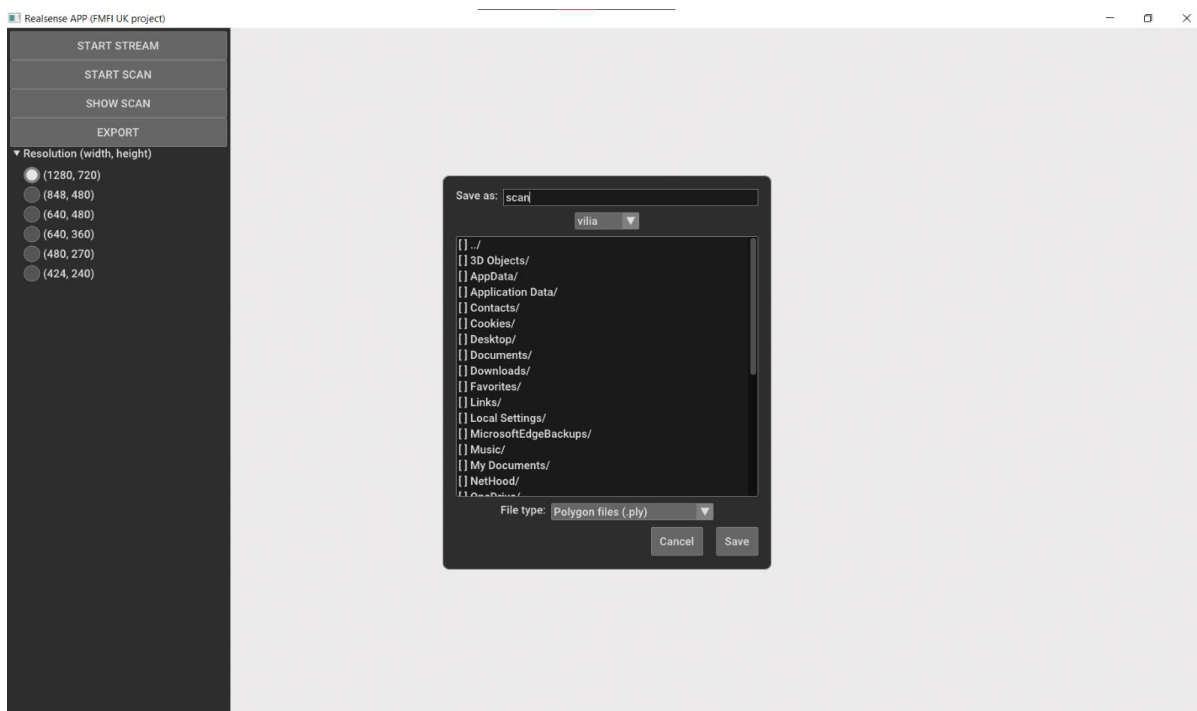
Po stlačení tlačidla STOP MEASURE sa režim merania ukončí. Tlačidlo STOP MEASURE sa deaktivuje a tlačidlo START MEASURE sa opäť aktivuje. Nové okno vizualizácie sa zatvorí, vizualizácia sa vráti do bežného stavu a všetky aktívne procesy súvisiace s meraním sa zastavia.



Prezeranie skenu s možnosťou merania

5.1.6 Export mračna bodov

Po kliknutí na tlačidlo “EXPORT” sa zobrazí okno s výberom formátu a miesta, kam chce užívateľ daný export uložiť. V aplikácii je možné vybrať si z 3 formátov na export – OBJ, STL a PLY.



Dialóg pre export mračna bodov

6. Detailný popis

V tejto kapitole si bližšie popíšeme našu aplikáciu a zameriame sa na hlbší popis jej súčastí.

6.1 Detailný popis modulov

Táto podkapitola bude zameraná na bližší popis všetkých modulov, ktoré v aplikácii používame - Streamovanie dát, Výber rozlíšenia, Skenovanie, Zobrazenie mračna bodov, Meranie vzdialenosti v mračne bodov a Export mračna bodov.

6.1.1 Streamovanie dát

Proces sa začína vytvorením streaming pipeline pomocou metódy `rs.pipeline()` z knižnice `pyrealsense2` (v metóde importovaná pod aliasom “rs”). Ďalej sa volaním metódy `rs.config()` vytvorí konfigurácia tejto pipeline, kde sa zapne hĺbkový stream vo formáte `z16` so snímkovou frekvenciou 30 snímok za sekundu. Tiež sa zapne farebný stream vo formáte `rgb8` s rovnakou snímkovou frekvenciou. Následne sa spustí snímanie kamery volaním `pipeline.start(config)`, kde `config` je vytvorená konfigurácia streamov.

Ako ďalšie sa začne cyklus, kde sa spracúvajú získané snímky z kamery (pomocou metódy `pipeline.wait_for_frames()`). Zo získaných snímok sa vyberú hĺbkové (`depth_frame`) a farebné (`color_frame`). Získa sa farebný obraz (`color_image`) volaním metódy `color_frame.get_data()`. Potom sa vytvorí mračno bodov (`pc`) pomocou metódy `rs.pointcloud()`, `pc.map_to(color_frame)` a `pc.calculate(depth_frame)`.

Následne sa začne konverzia `realsense` mračna bodov do Open3D (importované ako `o3d`) mračna bodov. Vypočítajú sa osi (`vertices`) a farby (`colors`) nového mračna bodov. Potom sa vytvorí Open3D mračno bodov (`o3d_pc`) cez metódu `o3d.geometry.PointCloud()`. Novému mračnu bodov sa priradia vypočítané osi (`o3d_pc.points = o3d.utility.Vector3dVector(vertices)`). Každému bodu sa v cykle priradí správna farba na základe získaného farebného obrazu (`color_image`).

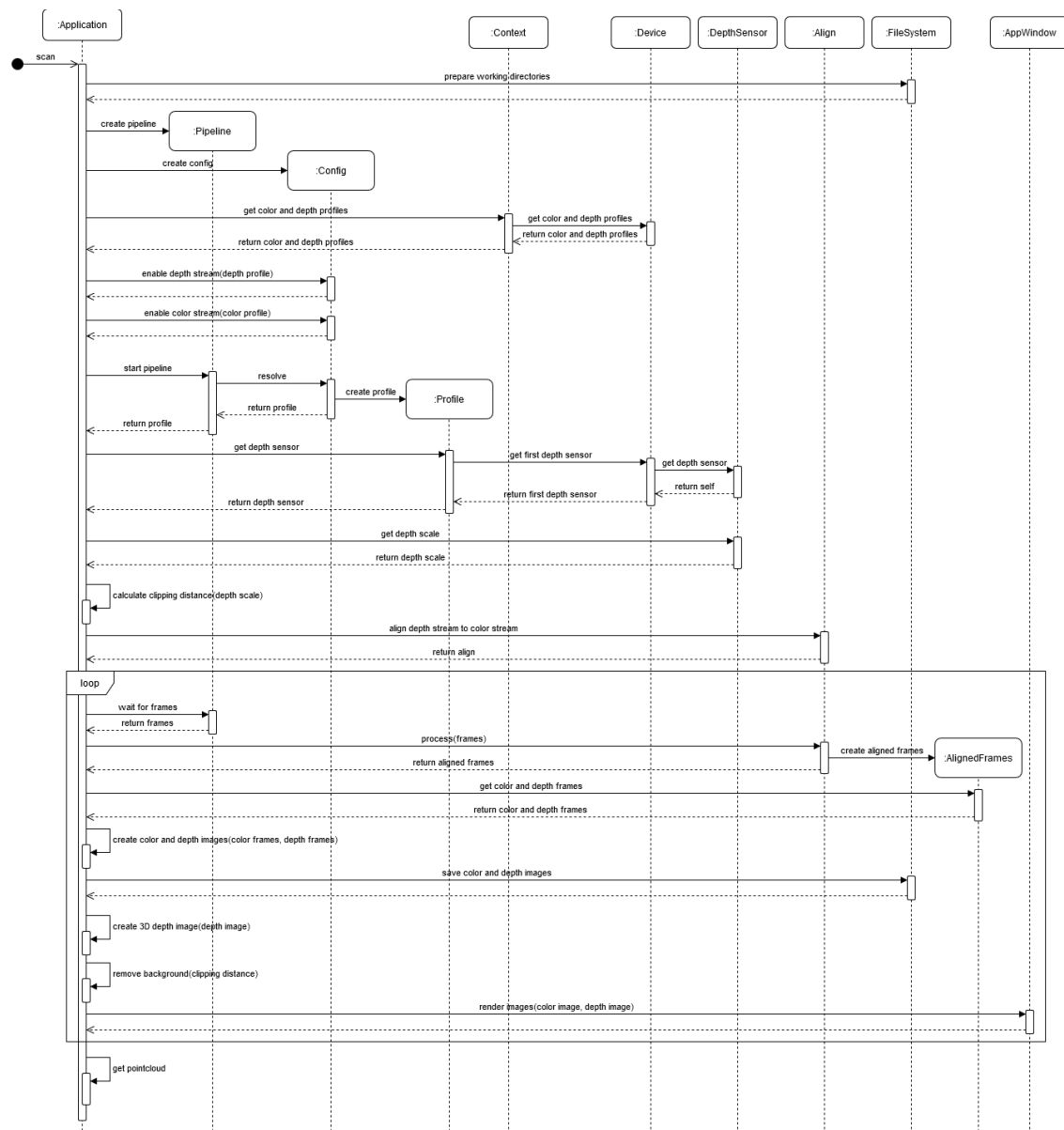
Ako posledný krok sa vymaže zobrazovacia plocha a vloží sa do nej novo vytvorené mračno bodov (`add_and_clear(o3d_pc)`).

6.1.2 Výber rozlíšenia skenovania

Pri vytváraní užívateľského rozhrania sa pridá rozbaľovacia ponuka do ľavého panelu. Potom sa z kamery získajú všetky možné podporované profily pomocou metódy `get_profiles()` z modulu `realsense_helper.py`. Z týchto profilov sa vyfiltrujú len tie farebné profily, ktoré majú farebný formát `rgb8` so snímkovou frekvenciou 30 snímok za sekundu. Zo všetkých hĺbkových profilov sa vyberú len tie so snímkovou frekvenciou 30 snímok za sekundu. Vytvorí sa prienik všetkých hĺbkových a farebných profilov s rovnakým rozlíšením a tie sa pridajú ako možnosti do rozbaľovacej ponuky. Každý

možnosti sa prideli akcia reagujúca na klik, ktorá aktualizuje premennú s aktuálnym rozlíšením skenovania.

6.1.3 Skenovanie



Sekvenčný diagram popisujúci vytvorenie datasetu

Celý proces sa skladá z 5 krokov, ktoré si bližšie popíšeme.

Vytvorenie datasetu

V tomto kroku vyhotovíme sekvenciu synchronizovaných farebných a hĺbkových obrázkov. Realsense SDK poskytuje funkcie na streamovanie obrazu kamery. Vytvoríme 2 streamy – jeden na farbu a druhý na hĺbku, kde odstránime neznáme oblasti a príliš vzdialené body – napríklad od 3 metrov. Potom obrázky zarovnáme tak, aby farebný a hĺbkový obrázok mali rovnaké poradové číslo a uložíme ich do svojich priečinkov - pre

hĺbkové priečnikov dataset/realsense/depth a pre farebné priečnikov dataset/realsense/color .

Vytvorenie fragmentov

Zo zarovnaných obrázkov tvoríme fragmenty. Využívame Open3D funkciu „compute_rgbd_odometry“, ktorá slúži na zistenie posunu kamery medzi 2 RGBD snímkami. Rozoznávame 2 prípady:

- „Susediace snímky“ – predpokladáme, že snímky sú už takmer zarovnané, pretože boli snímané hneď za sebou – ako vstup použijeme jednotkovú maticu
- „Nesusediace snímky“ – využíva sa proces wide baseline matching, kde najprv použijeme pose_estimation funkciu, ktorá nájde a namapuje kľúčové body medzi snímkami. Následne aplikuje metódu 5-point RANSAC na hrubý odhad zarovnania podľa týchto kľúčových bodov – tento výsledok použijeme ako vstup pre funkciu compute_rgbd_odometry

Funkcia make_posegraph_for_fragment vytvorí graf pozícií na zarovnanie série RGBD snímkov do sekvencie. V tomto grafe každý vrchol reprezentuje snímku s jej pozíciou a orientáciou v priestore. Tieto vrcholy popisujú, ako sú snímky pospájané v globálnej mierke. V grafe sú zahrnuté len kľúčové snímky reprezentujúce veľké zmeny. Vytvorený graf použijeme na zlepšenie zarovnania snímkov. Následne využijeme RGBD integráciu na vybudovanie 3D modelu farebných fragmentov pre každú sekvenciu RGBD snímkov.

Celý tento proces spracujeme vo funkcii process_single_fragment – tá postupne zavolá všetky popísané funkcie na spracovanie konkrétneho fragmentu. Keďže tento proces trvá dlho, využívame viacero vlákien na jeho urýchlenie a paralelné spracovanie.

Registrovanie fragmentov

Používame 6 vlastných funkcií:

- preprocess_point_cloud – znížime počet bodov v point cloude, aby bol redší a viac rovnomerný
- compute_initial_registration – vypočítame hrubý odhad zarovnania medzi dvoma fragmentami
- register_point_cloud_fpfh – zarovnáme dva point cloudy nájdením zhôd medzi nimi a zabezpečením validnej transformácie
- update_posegraph_for_scene – vybudujeme graf pozícií na zarovnanie všetkých fragmentov dokopy
- optimize_posegraph_for_scene – slúži na optimalizáciu grafu pozícií, zlepšuje ho pre dosiahnutie precíznejšieho zarovnania všetkých fragmentov. Po optimalizácii aktualizuje vrcholy a hrany grafu na zabezpečenie zarovnanej, presnej 3D rekonštrukcie

- `make_posegraph_for_scene` – spojí všetky tieto funkcie dokopy a zabezpečí vytvorenie výsledného grafu pozícií

Dolaďovanie registrovaných fragmentov

Hlavnou časťou je funkcia `make_posegraph_for_refined_scene`, ktorá spája viacero častí:

- načítanie predtým optimalizovaného grafu pozícií pre dataset
- pairwise matching – pre všetky dvojice spojených fragmentov v grafe doladí ich zarovnanie použitím funkcie `register_point_cloud_pair`
- vytvorenie nového grafu pozícií – aktualizujeme nový graf s doladenými transformáciami a integrujeme všetky vrcholy späť do zjednoteného grafu

Výsledkom tohto kroku je viac optimalizovaný graf s lepším zarovnaním fragmentov.

Integrácia scény

Posledný krok má 3 časti:

- čítanie grafu pozícií – načítame výsledný graf z predchádzajúcich krokov
- integrovanie RGBD dát – pre každý RGBD frame systém použije informácie o zarovnaní pre spojenie RGBD snímkov do 3D TSDF volume, to je zabezpečené integrovaním každého framu do volume
- vytvorenie meshu – keď sú všetky RGBD framy integrované, systém z TSDF volume extrahuje triangle mesh

Výsledkom je spojenie všetkých synchronizovaných RGBD framov do jedného 3D modelu.

6.1.4 Zobrazenie mračna bodov

Funkcia zobrazenia zoskenovaných dát je spustená po stlačení tlačidla SHOW SCAN slúži na zobrazenie naskenovaných dát vo forme mračien bodov v hlavnom grafickom okne aplikácie. Proces prebieha nasledovne:

1. Kontrola dát: Funkcia najskôr overí, či sú k dispozícii naskenované dáta. Ak dáta nie sú dostupné, funkcia sa ukončí bez ďalšieho spracovania.
2. Pridanie geometrie do scény: Ak sú dáta dostupné, pridajú sa do scény grafického rozhrania pomocou metódy na pridanie geometrie. Naskenované mračná bodov sú vykreslené pomocou Open3D knižnice, pričom sú použité základné vizuálne parametre, ako napríklad veľkosť bodov a predvolený shader.
3. Aktualizácia tlačidiel: Tlačidlo SHOW SCAN sa deaktivuje, aby sa predišlo opakovanému pridávaniu dát, a tlačidlo HIDE SCAN sa aktivuje, čím sa umožní odstránenie dát zo scény.

Funkcia vymazania zobrazeného modelu zoskenovaných dát je spustená po stlačení tlačidla HIDE SCAN. Odstraňuje zobrazené naskenované dáta z hlavnej plochy grafického rozhrania. Proces prebieha nasledovne:

1. Odstránenie 3D modelu: Funkcia odstráni mračná bodov pridané do scény na základe jeho identifikátora.
2. Aktualizácia tlačidiel: Tlačidlo HIDE SCAN sa deaktivuje a tlačidlo SHOW SCAN sa znova aktivuje, čím sa používateľovi umožní opätovné zobrazenie dát.

Tieto dve funkcie spolu zabezpečujú jednoduché prepínanie medzi zobrazením a skrytím naskenovaných dát, pričom zmeny v stave tlačidiel zabezpečujú intuitívne ovládanie a správne správanie aplikácie.

6.1.5 Meranie vzdialenosti v mračne bodov

Funkcia merania vzdialenosti v mračne bodov sa spúšťa po stlačení tlačidla "START MEASURE", ktoré otvorí nové okno s vizualizáciou mračen bodov. Tieto body sú načítané zo súboru a používateľ má možnosť vybrať dva body, medzi ktorými sa vypočíta vzdialenosť.

Postup merania vzdialenosti:

1. Po otvorení okna môže používateľ interaktívne vybrať body. Výber sa vykonáva kombináciou SHIFT + ľavé tlačidlo myši:
 - a. Prvé kliknutie označí prvý bod.
 - b. Druhé kliknutie označí druhý bod.
2. Keď sú oba body označené, používateľ stlačí kláves Q, čím ukončí výber bodov a okno sa zatvorí.
3. Vybrané body sú automaticky uložené ako ich indexy v rámci mračen bodov.

Po ukončení výberu sa z mračen bodov načítajú súradnice oboch bodov. Na výpočet vzdialenosti sa použije Euklidovská metrika, ktorá vypočíta priamu vzdialenosť medzi týmito dvoma bodmi v 3D priestore. Výsledná vzdialenosť sa vypíše na obrazovku.

Kontrola výberu bodov: Ak používateľ nevyberie dostatočný počet bodov (menej ako dva), funkcia na to upozorní a ponúkne možnosť zopakovať proces merania.

Ukončenie merania: Po vypočítaní vzdialenosti je možné režim merania ukončiť stlačením tlačidla "STOP MEASURE", ktoré vráti ovládacie prvky aplikácie do pôvodného stavu a deaktivuje režim merania.

Celý proces umožňuje presné a intuitívne meranie vzdialenosti medzi dvoma bodmi v zobrazenom mračne bodov a je ideálny na analýzu priestorových dát v 3D prostredí.

6.1.6 Export mračna bodov

Export vykonávame do 3 formátov. Formát PLY máme priamo z naskenovaných dát (naskenované dáta máme v ňom uložené), čiže transformovanie dát do tohto formátu nie je nutné riešiť. Transformovanie dát do formátov STL a OBJ budeme riešiť s využitím knižnice pymeshlab.

V rámci tejto knižnice využijeme funkciu `load_new_mesh` – pomocou nej načítame .ply súbor. Následne využijeme funkciu `save_current_mesh`, pomocou ktorej vieme dáta exportovať do daných formátov.

Pri tomto module využívame aj dialógové okno - slúži na výber formátu a miesta, kde chceme exportované dáta uložiť. Využijeme na to knižnicu `open3D` a jej triedu `FileDialog`.

Analýza presnosti skenovania

Tento experiment slúži na preskúmanie schopností a limitácií skenovania kamery na základe vyhotovenia meraní vo vyhotovených skenoch.

Tabuľka nižšie ukazuje výsledky deviatich meraní dlhšej strany balenia kamery D455 pri vyhotovení skenov kolmo zhora z rôznych vzdialeností, pri rôznych rozlíšeniach. Dlhšia strana hornej časti balenia má rozmer 16,4 cm.

V ľavom stĺpci sú uvedené výšky umiestnenia kamery nad balením v centimetroch. V hornom riadku je uvedené nastavené rozlíšenie pre sadu meraní v rôznych výškach.

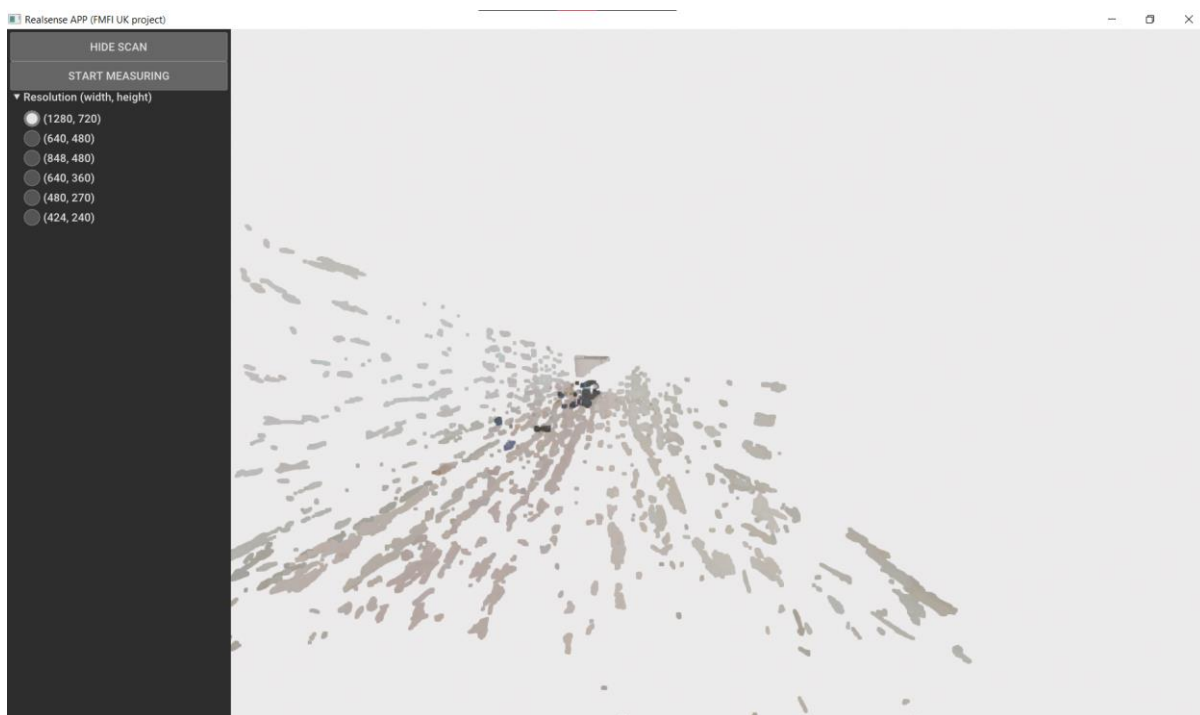
	424x240	640x360	1280x720
50 cm	16,4 cm	16,4 cm	Nemerané
125 cm	16,5 cm	16,7 cm	16,4 cm
200 cm	16,4 cm	16,4 cm	16,5 cm

Z výsledkov je vidieť, že odchýlka merania je veľká najviac tri milimetre, čo predstavuje jedno percento skutočnej dĺžky.



Sken vyhotovený z výšky 50 centimetrov pri rozlíšení 640x360

Pri meraní z výšky 50 centimetrov s rozlíšením 1280x720 sa objavila limitácia kamery. Vrch balenia bol príliš blízko ku kamere a preto nezvládla správne vyhotoviť sken.



Nepresne vyhotovený sken z výšky 50 centimetrov pri rozlíšení 1280x720.

Podmienky pre dosiahnutie najlepších výsledkov

Po vyhotovení viacerých skenov pri budovaní aplikácie sa ukázalo, že isté podmienky skenovania výrazne ovplyvňujú kvalitu výsledného skenu.

Prieľadné, priesvitné a lesklé povrchy spôsobujú, že niektoré body sa vyskytujú na nesprávnom mieste, keď sa kamera snaží snímať tento druh povrchu. To sú napríklad okná či zrkadlá.

Kamera nevie spoľahlivo snímať objekty, ktoré sú bližšie ako 50 centimetrov. Výsledný sken v tom prípade obsahuje vysoké množstvo bodov umiestnených náhodne v priestore.

Kamera tiež nedokáže snímať objekty vzdialené približne viac ako 3 metre. Táto hodnota sa dá upraviť v konfiguračnom súbore `config/realSense.json` v hodnote `depth_max`. Pokus o snímání vzdialenejších objektov spôsobí, že vo výslednom skene sa objaví prázdny priestor, namiesto snímaného objektu.

Snímaný priestor by mal byť dostatočne osvetlený prirodzeným alebo umelým svetlom. Snímání tmavých priestorov spôsobuje výskyt bodov umiestnených náhodne v priestore.

Pri snímání priestoru je potrebné pohybovať kamerou pomaly a plynule. Pri trhanom či rýchlom snímání môže byť výsledný sken deformovaný.

Vyššie rozlíšenia zvyknú produkovať skeny s vyššou hustotou bodov a vyššou kvalitou nasnímaného povrchu.

Ak to je možné, pokúste sa nesnímať už nasnímanú časť priestoru jedného skenu viackrát. Môže to spôsobiť nesprávne umiestnené body vo výslednom mračne bodov.