



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**VIZUALIZAČNÍ NÁSTROJ PRO PILOTA DRONU V MICROSOFT HOLOLENS 2**

VISUALIZATION TOOL FOR DRONE PILOT IN MICROSOFT HOLOLENS 2

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MARTIN KYJAC**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. DANIEL BAMBUŠEK,**

BRNO 2022

## Zadání bakalářské práce



Student: **Kyjac Martin**  
Program: Informační technologie  
Název: **Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft HoloLens 2**  
**Visualization Tool for Drone Pilot in Microsoft HoloLens 2**  
Kategorie: Uživatelská rozhraní

### Zadání:

1. Prostudujte koncept rozšířené reality a její využití v oblasti vizualizace letových dat dronů. Seznamte se s brýlemi Microsoft HoloLens 2 a promyslete jejich využití pro zobrazení grafických prvků, které by usnadnily pilotování drona.
2. Vyberte vhodné metody a nástroje a navrhnete uživatelské rozhraní, které pomocí HoloLens usnadní pilotu ovládat drona, bude vizualizovat jeho letová data, blízké překážky a prvky mise.
3. Navrženou aplikaci implementujte.
4. Proveďte experimenty a vyhodnoťte vlastnosti výsledného řešení.
5. Vytvořte video prezentující klíčové vlastnosti výsledného řešení.

### Literatura:

- SCHMALSTIEG Dieter, HÖLLERER Tobias. *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison-Wesley, 2016. ISBN 978-0321883575.
- SEDLMAJER Kamil, BAMBUŠEK Daniel a BERAN Vítězslav. *Effective Remote Drone Control Using Augmented Virtuality*. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Computer-Human Interaction Research and Applications 2019. Vienna: SciTePress - Science and Technology Publications, 2019, s. 177-182. ISBN 978-989-758-376-6.
- VÁCLAVÍK, Marek. *Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft HoloLens 2*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. 2021-06-16. Vedoucí práce Bambušek Daniel. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/23524/>
- HARTSON Rex. *The UX Book: Process and Guidelines for Ensuring a Quality User Experience*. 2012. ISBN 9780123852427.
- Dále dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1, 2 a rozpracovaný bod 3.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Bambušek Daniel, Ing.**

Vedoucí ústavu: Černocký Jan, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1. listopadu 2021

Datum odevzdání: 11. května 2022

Datum schválení: 1. listopadu 2021

## Abstrakt

Pri pilotovaní dronu musí pilot sledovať ako samotný dron, tak aj rôzne letové údaje. Táto činnosť si vyžaduje neustále sústredenie a aj menšia nepozornosť môže viesť k nehode. Hlavne pri lete vo väčších vzdialenostiach pilot môže veľmi ľahko stratiť prehľad, kde sa dron nachádza, na akú stranu je otočený, prípadne akú má výšku. Na overenie týchto informácií je pri bežných aplikáciách potrebné skloniť hlavu a tým pádom stratiť dron z dohľadu pretože tieto údaje sa nachádzajú na ovládači, ktorý drží pilot v rukách. Toto prepínanie kontextov je veľmi nepraktické.

Cieľom aplikácie je vizualizovať tieto dáta pomocou rozšírenej reality zobrazenej cez Microsoft Hololens 2. Všetky potrebné letové údaje sa zobrazujú pomocou hologramov presne tam, kde sa samotný dron na oblohe nachádza a tak pilot nemusí prepínať medzi kontextami. Taktiež je oveľa jednoduchšie takýmto spôsobom zobraziť rôzne prvky misie, ktoré by inak nebolo možné nijako vizualizovať v reálnom svete. Bežne v takýchto prípadoch musí pilot nejako interpretovať údaje z 2D mapy do reality, čo môže byť náročné. Avšak pomocou rozšírenej reality sa tieto údaje môžu zobraziť priamo do reálneho sveta.

## Abstract

When piloting a drone, the pilot must monitor both the drone itself and various flight data. This activity requires constant concentration and even less inattention can lead to an accident. Especially when flying at greater distances, the pilot can very easily lose track of where the drone is located, which side it is heading to, or how high it is. To verify this information, it is necessary in common applications to tilt the head and thus lose sight of the drone because this data is located on the controller, which the pilot holds in his hands. This context switching is very impractical.

The goal of this application is to visualize this data using augmented reality displayed through Microsoft Hololens 2. All necessary flight data is displayed using holograms at the exact same position where the drone itself is in the sky, so the pilot does not have to switch between contexts. It is also much easier to display various elements of the mission in this way. Normally in such cases, the pilot has to somehow interpret the data from the 2D map into reality, which can be challenging. However, with augmented reality, this data can be displayed directly into the real world.

## Klíčové slová

dron, Microsoft Hololens 2, rozšírená realita, AR, unity, UWP, používateľské rozhranie

## Keywords

drone, Microsoft Hololens 2, augmented reality, AR, unity, UWP, user interface

## Citácia

KYJAC, Martin. *Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft HoloLens 2*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Daniel Bambušek,

# Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft HoloLens 2

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Daniela Bambuška. Uviedol som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpal.

.....  
Martin Kyjac  
10. mája 2022

## Podakovanie

V prvom rade by som chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Danielovi Bambuškovovi za jeho ochotu s akoukoľvek pomocou či už počas konzultácii alebo aj mimo nich. Ďalej by som rád poďakoval ústavu počítačovej grafiky a multimédií za sprístupnenie všetkých potrebných prístrojov pre vývoj aplikácie.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Rozšírená realita</b>	<b>4</b>
2.1	Definícia rozšírenej reality . . . . .	4
2.2	História . . . . .	4
2.3	Kontinuum reality a virtuality . . . . .	5
2.4	Zobrazovanie rozšírenej reality . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Microsoft HoloLens 2</b>	<b>12</b>
3.1	Komponenty . . . . .	12
3.2	Funkcie . . . . .	13
3.3	Spatial mapping . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Drony a ich využitie</b>	<b>16</b>
4.1	Výhody používania dronu . . . . .	17
4.2	Ovládanie dronu . . . . .	17
4.3	Drony a rozšírená realita . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Návrh rozšírenia vizualizačného nástroja</b>	<b>23</b>
5.1	Pôvodné riešenie . . . . .	23
5.2	Nedostatky pôvodného riešenia . . . . .	25
<b>6</b>	<b>Implementácia</b>	<b>30</b>
6.1	Architektúra aplikácie . . . . .	30
6.2	Získanie a spracovanie letových údajov . . . . .	31
6.3	Prvky používateľského rozhrania . . . . .	40
6.4	Ovládanie aplikácie . . . . .	41
6.5	Rozšírenie do budúcnosti . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Záver</b>	<b>44</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>45</b>
<b>A</b>	<b>Obsah priloženého média</b>	<b>47</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Pri neustálom a rýchлом rozvoji informačných technológií je snaha aplikovať ich do stále viac aspektov nášho sveta stále väčšia a väčšia. Podobne je to aj s rozšírenou realitou, ktorá slúži na zobrazenie hologramov. Táto práca sa zameriava práve na použitie takýchto hologramov pri pilotovaní dronu, pomocou ktorých je možné zobraziť letové údaje priamo na oblohe.

Za normálnych okolností, pilot pri ovládaní dronu musí sledovať oblohu a poprípadne aj obraz z kamery dronu na displeji, ktorý väčšinou býva pripnutý alebo vstavaný do diaľkového ovládača. Tento fakt spôsobuje to, že pilot sa na dron nemôže pozeráť celý čas a občas musí venovať pozornosť displeju s obrazom z kamery a tým pádom nevníma okolie dronu, ktoré z kamery nie je vidieť.

Technológia na zobrazovanie rozšírenej reality ešte nie je dokonalá ale oproti minulosti, kedy bolo jej reálne využitie iba minimálne, dnes nachádza využitie v priemysle, zábave ale aj v ďalších oblastiach. Veľkou výhodou je to, že človek vidí tak ako reálny svet, aj prvky zasadené do reality v podobe 3D objektov, tabuliek, okien zobrazujúcich dáta, s ktorými môže interagovať alebo tieto prvky môžu spolupracovať s reálnym svetom.

Drony majú obrovský potenciál a popularitu, ktorá za posledné roky narastá veľmi rýchlym tempom a preto sa dá predpokladať, že drony budú čoraz viac využívané vo všetkých oblastiach, v ktorých je to teoreticky možné.

Táto práca sa snaží použiť rozšírenú realitu na zjednodušenie ovládania dronu. Pomocou okuliarov Microsoft HoloLens 2 je možné zobraziť letové údaje, pozíciu dronu na oblohe ako aj iné údaje tak, aby pilot nemusel skloniť hlavu a pozrieť sa na displej a tým pádom sa môže celý čas sústrediť na dron na oblohe a zároveň mať zobrazené letové údaje. Práca nadväzuje na bakalársku prácu Mareka Václavíka, v ktorej je pripravené funkčné používateľské rozhranie avšak len pre virtuálny dron na interiérové použitie. Preto je táto práca zameraná na rozšírenie tohto rozhrania do reálneho sveta.

Kapitola 2 sa venuje rozšírenej realite ako takej. Prvá časť kapitoly definuje pojem rozšírená realita. Následne sú detailne popísané rôzne spôsoby zobrazovania rozšírenej reality od tzv. see-through displejov až po zobrazovanie pomocou projektorov.

Keďže táto aplikácia pracuje aj so zariadením Microsoft HoloLens 2, kapitola 3 vysvetľuje ako fungujú, z akých komponentov sa skladajú, aké funkcie majú a taktiež aj základy práce s nimi.

Ďalšia kapitola 4 sa v prvej časti zaoberá popisáním, čo všetko sa môže za dron považovať spolu s krátkou históriou ich vývoja. V ďalšej časti sa detailnejšie popisuje fungovanie dronu začínajúc jeho ovládaním spolu s názornou ukážkou a popisom ovládača dronu. V prípade moderných zariadení je možné prepojiť ovládač s chytrým telefónom a ovládať dron

pomocou neho. Ukážka takejto aplikácie sa taktiež nachádza v tejto časti. Posledná časť tejto kapitoly sa venuje využitiu dronu spolu s rozšírenou realitou, kde sú krátko popísané tri práce zaoberajúce sa touto tematikou.

Kapitola 5 sa venuje popisu pôvodného riešenia a jeho nedostatkami. Ďalej je popísané, ako by sa tieto nedostatky mohli vyriešiť.

Posledná a najdôležitejšia kapitola 6 sa venuje samotnému vývoju aplikácie. Na začiatku je popísaná architektúra aplikácie spolu s popisom jednotlivých prvkov ako je napríklad získavanie letových údajov z dronu alebo určenie jeho polohy. Práve táto časť bola najviac problematická a bolo jej venované najviac času pretože bolo nutné prísť na to, ako čo najpresnejšie určovať polohu dronu keďže GPS dáta neboli dostatočne presné. Následne sú popísané ďalšie problémy používateľského rozhrania a ich spôsob riešenia. V úplnom závere kapitoly sú popísané všetky prvky zobrazujúce letové údaje spolu s názornými obrázkami.

## Kapitola 2

# Rozšírená realita

Táto kapitola sa zaoberá definíciou rozšírenej reality, popisáním spôsobov jej zobrazovania a už existujúcimi prácami, ktoré sa zaoberali jej využitím pri lietaní s dronom. Pojem rozšírená realita sa v literatúre nachádza už dlhšiu dobu ale definovaný bol až v 90. rokoch 20. storočia [13].

### 2.1 Definícia rozšírenej reality

Na rozdiel od virtuálnej reality (VR), kde sa používateľ nachádza v prostredí, ktoré je celé generované počítačom, rozšírená realita, po anglicky „augmented reality“ (AR), sa zameriava na zobrazovanie informácií, ktoré sú priamo prepojené na reálne – fyzické prostredie. Poskytuje akýsi most medzi virtuálnou realitou a fyzickým svetom. Mnoho ľudí si tento pojem môže spájať so špeciálnymi efektami aké poznáme z filmového priemyslu. Kým tieto prvky z filmov môžu byť použité aj v rozšírenej realite, efekty vo filmoch ako také nemajú jeden zásadný prvok – interaktivita. Z používateľského pohľadu sa digitálne informácie zdajú byť súčasťou reálneho sveta, pričom sme schopní vnímať realitu ako aj informácie zobrazené pomocou technológie rozšírenej reality [17].

### 2.2 História

Pojem rozšírená realita sa prvý krát použil v 50. rokoch 20. storočia Mortonom Heiligom, kameramanom, ktorý si myslel, že myšlienka kina je schopnosť vtiahnuť diváka do aktivity na plátne tým, že bude efektívne využívať všetky svoje zmysly. V roku 1962 Heilig vytvoril prototyp jeho vízie, ktorý nazval „Sensorama“ (obr. 2.1). Prvé reálne prototypy priehľadných displejov na zobrazovanie 3D grafiky boli vytvorené v 60. rokoch 20. storočia. Výskum pokračoval v 70. a 80. rokoch. Počas tejto doby bol zaznamenaný príchod mobilných zariadení ako napríklad Sony Walkman alebo digitálnych náramkových hodín. Na konci 20. storočia sa prvý krát objavil pojem „rozšírená realita“ keď Caudell a Mizell začiatkom 90. rokov vyvíjali systém ktorý slúžil na uľahčenie zostavovania káblových zväzkov pre pracovníkov Boeingu. Dnes už existujú viaceré mobilné platformy ako napríklad tablety, chytré telefóny, ktoré sú schopné podporovať technológie spojené s rozšírenou realitou [1].





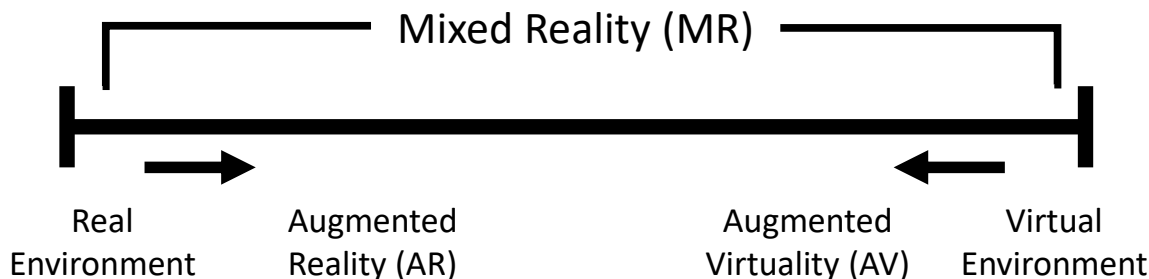
Obr. 2.1: „Sensorama“ (Morton Heilig / Courtesy of Scott Fisher; USPTO).

### 2.3 Kontinuum reality a virtuality

Hoci sa pojem rozšírená realita často vyskytuje v literatúre, dlhú dobu toto slovné spojenie nebolo nikde presne zafinované. Rozšírená realita bola popísaná ako rozšírenie spätnej väzby používateľovi pomocou simulovaných podnetov. Ďalšia definícia znie, že je to forma virtuálnej reality, kde displej pripevnený na hlavu používateľa (ang. head-mounted display) je priehľadný, čím mu umožňuje vidieť reálny svet. Tieto definície priniesli 2 otázky:

- Aký je vzťah medzi rozšírenou realitou a virtuálnou realitou?
- Mala by byť rozšírená realita limitovaná iba na priehľadné head-mounted displeje?

Pod pojmom virtuálna realita sa rozumie také prostredie, kde je pozorovateľ úplne obklopený umelým svetom, ktorý môže ale nemusí zobrazovať vlastnosti reálneho sveta a taktiež môže prekročiť hranice fyzickej reality, čím vytvorí svet, kde neplatia zákony gravitácie, času, vlastností materiálu. Naopak prostredie reálneho sveta tieto zákony musí dodržiavať. Namiesto považovania týchto konceptov ako protikladov, je vhodnejšie na ne hľadieť ako opačné strany kontinua. Túto schému v roku 1994 navrhol Paul Milgram a nazval ju reálno-virtuálne kontinuum.



Obr. 2.2: Zjednodušená reprezentácia kontinua reality a virtuality.

Ľavá strana kontinua definuje akékoľvek prostredie pozostávajúce iba z reálnych objektov a zahŕňa všetko, čo môže byť pozorované v reálnom svete, či už priamo alebo cez nejaký druh displeja. Pravá strana definuje prostredia, ktoré obsahujú čisto virtuálne objekty vytvorené grafickou simuláciou pomocou počítača. Pomocou rozhrania na obrázku 2.2 je možné priamočiaro zadefinovať zmiešanú realitu ako takú, v ktorej sú reálne a virtuálne objekty zobrazené spolu v jednom displeji, to znamená, kdekoľvek medzi hranicami kontinua reality a virtuality [13]. Na zobrazovanie virtuálnej reality slúžia mnohé zariadenia alebo systémy, ktoré sa líšia či už tým, akým spôsobom túto kombináciu virtuality a reality zobrazujú alebo kde sú umiestnené (napríklad na hlave alebo v rukách). Aby sa zariadenie mohlo nazývať systém pracujúci s rozšírenou realitou, je potrebné, aby malo nasledujúce vlastnosti:

- kombinuje realitu a virtualitu,
- umožňuje interakciu v reálnom čase,
- dokáže trojrozmerné zarovnať objekty.

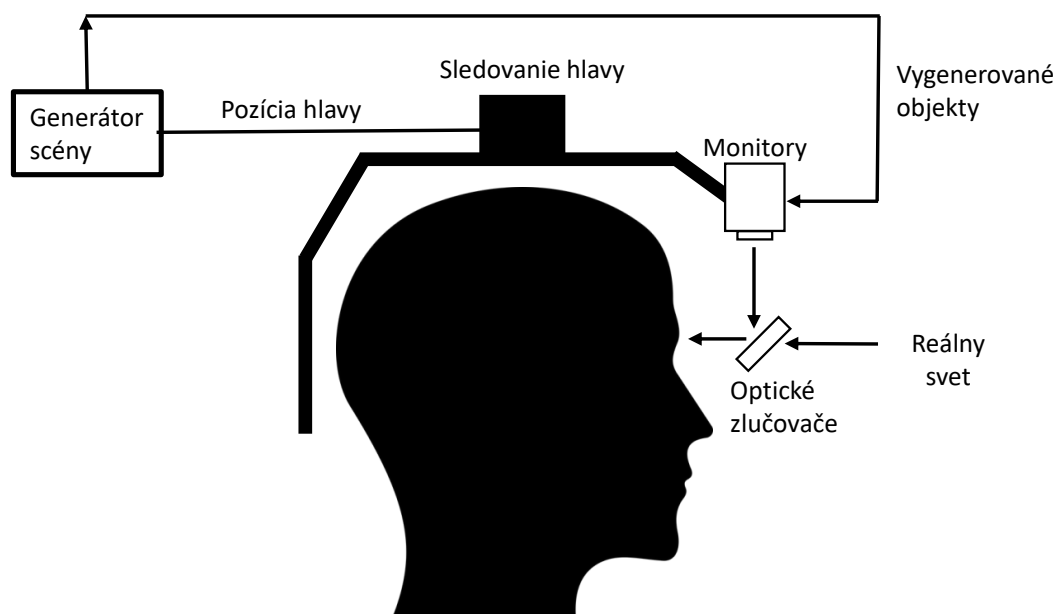
Trojrozmerné zarovnanie znamená, že virtuálne objekty sa bezproblémovo zarovnávajú s reálnym svetom. Bez tejto vlastnosti by nebolo možné vnímať hologramy ako súčasť reality a tým pádom by bola vierohodnosť týchto objektov narušená. Takže keby sa nejaký algoritmus snažil vykresliť napríklad stolovú lampu a lampu sa bude vznášať v priestore namiesto toho, aby zostala na jednom mieste (napríklad na stole), je narušená ilúzia toho, že hologram je reálny a v našom priestore naozaj existuje. Na pridanie dôveryhodnosti je možné pridať tiež nakoľko táto vlastnosť odzrkadľuje charakteristiky fyzického prostredia [15].

## 2.4 Zobrazovanie rozšírenej reality

Displeje sú systémy na vytváranie obrazu, ktoré používajú sadu optických, elektronických a mechanických komponentov na generovanie obrazu niekde na medzi očami pozorovateľa a fyzickým objektom, ktorý sa má „obohatiť“ o objekt z rozšírenej reality. V závislosti od použitej optiky môže byť obraz vytvorený na rovine alebo na zložitejšom nerovnom povrchu [5]. Kombinovanie obrazu z reálneho sveta spolu s virtuálnymi hologramami vyžaduje

viaceré zložité procedúry ako napríklad kalibráciu kamery alebo snímanie pohybu. Kalibrácia kamery je proces, kedy sa nastaví parametre virtuálnej kamery takým spôsobom, aby sa zhodovali s parametrami reálnej-fyzickej kamery (prípadne pohľadu používateľa). Virtuálna kamera sa stará o to, aby počítačom vygenerované obrazy boli správne zarovnané so skutočným svetom na zobrazovacom zariadení [4]. Ako sa postupom času táto technológia rozširovala, začali sa vylepšovať aj spôsoby zobrazovania rozšírenej reality a postupne začali vznikať rôzne typy displejov. Zariadenia na zobrazovanie rozšírenej reality sa delia na 4 hlavné kategórie vzhľadom na to, akým spôsobom kombinujú reálny svet a virtualitu: „See-through“, „Video based“ alebo „Video see-through“, „Virtual retinal“ a „Projection based“.

### „See-through“ displeje



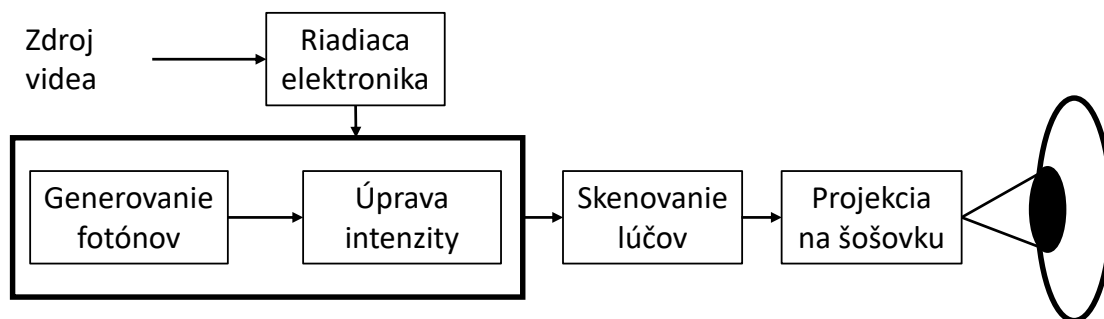
Obr. 2.3: Schéma fungovania see-through displeja [18].

Táto trieda displejov je charakteristická svojou schopnosťou vidieť cez displej do reálneho sveta, ktorý je okolo pozorovateľa a tým doceliť najvyšší možný rozsah vnímania reality spolu s digitálnym obsahom [13]. Využíva sa prevažne v takzvaných „Head-mounted“ displejoch (HMD), ktoré sú nasadené na hlavu používateľa ako na obrázku 2.3. Fungujú pomocou zlučovača (ang. combiner) umiestneného priamo pred používateľovými očami. Táto súčiastka čiastočne prepúšťa svetlo a čiastočne svetlo odráža takže je cez ňu možné vidieť reálny svet ako aj virtuálny obraz. Táto vlastnosť je jednou z hlavných výhod v porovnaní s „video see-through“ displejmi. Tým, že používateľ vidí reálny svet priamo a nie pomocou nepriehľadného displeja, nenastáva žiaden problém s nízkym rozlíšením obrazu reality alebo jej časovým oneskorením, čo môže byť veľmi kritické pre aplikácie, ktoré majú vysoký nárok na bezpečnosť, prípadne vyžadujú priamy pohľad na reálny svet. Sú to napríklad chirur-

gické alebo vojenské aplikácie. Takisto tento typ zobrazovania rozšírenej reality má nižšie nároky na výpočtový výkon nakoľko kombinácia skutočného sveta a toho virtuálneho je dosiahnutá fyzikálnymi vlastnosťami displeja. Avšak jednou z nevýhod je určité oneskorenie pri vykresľovaní hologramov v porovnaní s reálnym svetom. Hoci systém na sledovanie pohybu v priestore môže byť veľmi presný, stále zostáva určité oneskorenie v porovnaní s pohľadom na realitu, nakoľko virtuálne objekty sú aktualizované na základe výsledkov zo systému na sledovanie pohybu a tento proces má určité, hoci nie až tak dlhé, oneskorenie. Ďalšou nevýhodou je, že svetelné podmienky reálneho sveta môžu ovplyvniť dôveryhodnosť vykreslených hologramov. Keďže takýto displej má iba určitú maximálnu hodnotu jasú, môže sa stať, že napríklad pri použití v exteriéri budú mať vygenerované objekty oveľa nižší jas ako reálny svet a častokrát môže nastať problém, že hologram nebude dostatočne viditeľný a používateľ ho prehliadne. Niektoré zariadenia tento problém čiastočne riešia tým, že poskytujú vymeniteľné kryty s rôznou úrovňou priehľadnosti [4].

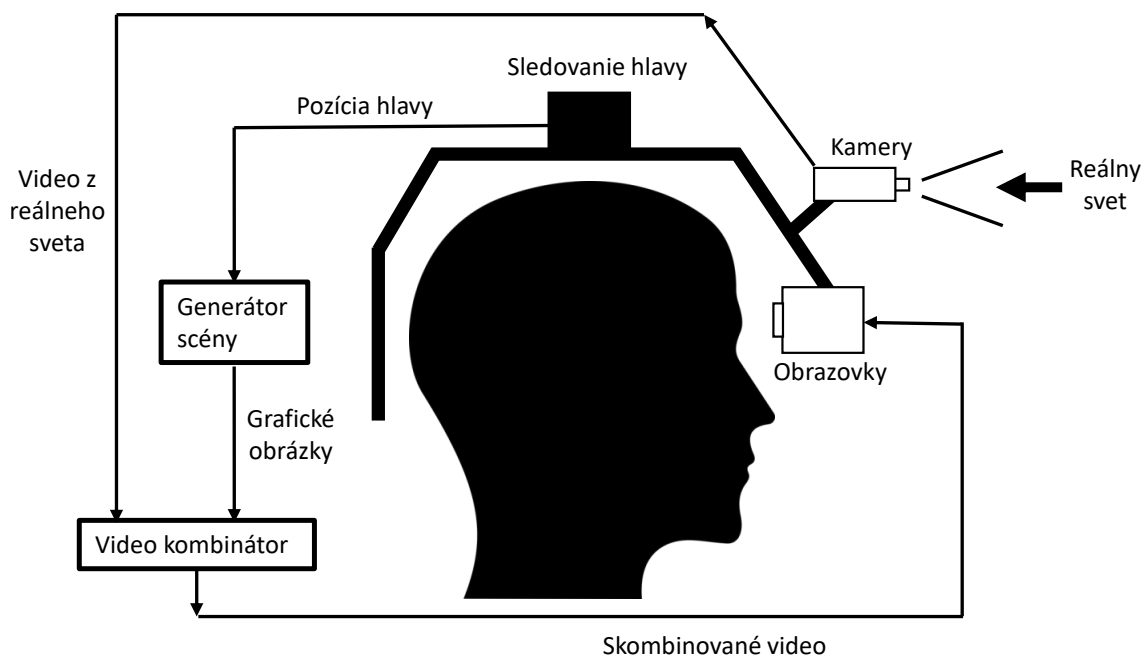
### „Virtual retinal“ displeje

Tento typ displeja vysiela obraz priamo do sietnice ľudského oka namiesto obrazovky pomocou modulovaného laserového lúča svetla ako je možné vidieť na obrázku 2.4 [18]. Pri ostatných typoch sa vytvára reálny obraz, ktorý je potom priamo pozorovaný používateľom. V tomto prípade sa však žiaden reálny obraz na žiadanom displeji nevytvára. Výsledok je vytvorený až na sietnici oka. Vďaka tomu je možné vygenerovať obraz vo vysokej kvalite [6]. Súčasným displejom tohto typu zdieľajú viaceré nedostatky s displejmi umiestnenými na hlave. Pre existujúce verzie však možno identifikovať niektoré ďalšie nevýhody. Napríklad je možné zobrazovať iba monochromatické hologramy červenou farbou pretože modré a zelené lasery v súčasnosti nie sú lacné a sú vysoko energeticky náročné [5].



Obr. 2.4: Schéma fungovania virtual retinal displeja.

## „Video see-through“ displeje



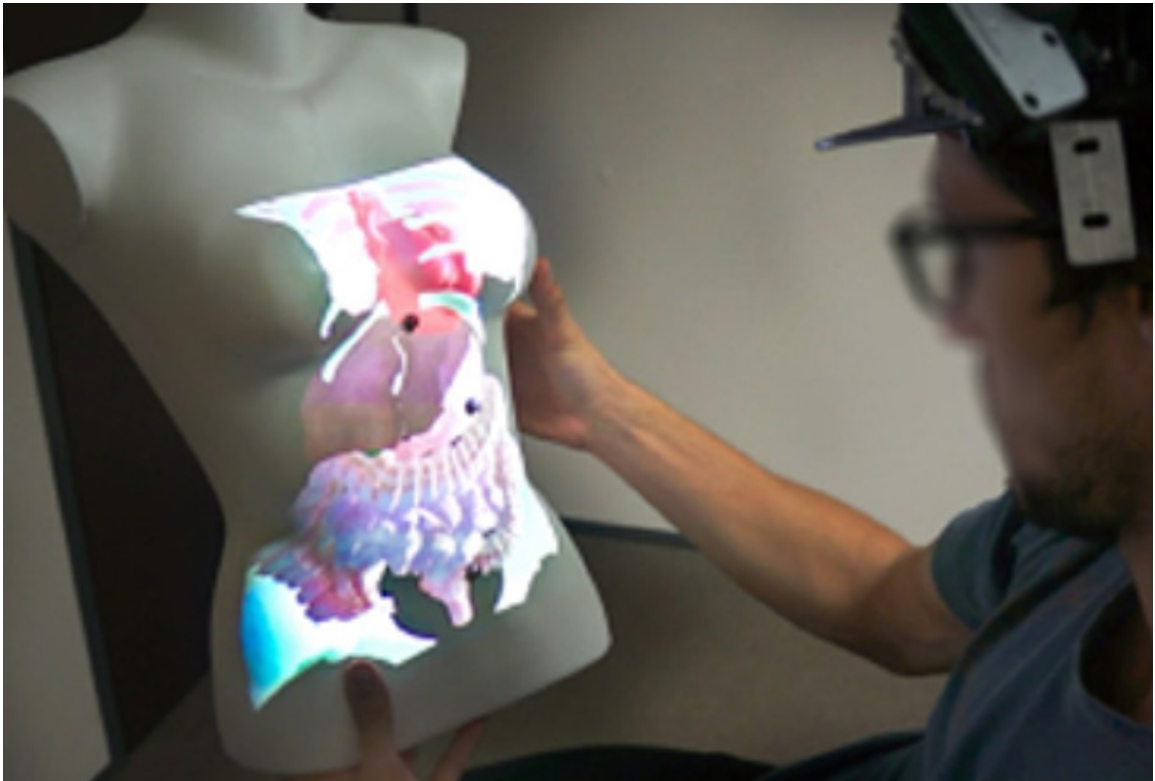
Obr. 2.5: Schéma video see-through displeja.

V prípade umiestnenia na hlave je pri tomto type displeja realita zachytávaná pomocou dvoch kamier umiestnených na hlave a tento obraz je následne spracovaný počítačom, kde sa skombinuje s digitálnymi prvkami a až potom sa zobrazí používateľovi na displeji [16]. Vo väčšine prípadov býva kamera umiestnená na opačnú stranu displeja a tým pádom smeruje tam, kde sa používateľ aktuálne pozerá v reálnom svete. Týmto spôsobom sa používateľ nepozerá priamo na realitu ale vidí len digitálnu verziu vytvorenú počítačom, ktorá je akousi ilúziou reálneho sveta pozorovanou cez displej. Kamera však nemusí vždy smerovať tam, kde sa používateľ pozerá. Môže byť nastavená tak, že je otočená smerom k používateľovi a tým sa vytvorí akési virtuálne zrkadlo. Tento typ zobrazovania rozšírenej reality je jeden z najrozšírenejších najmä vďaka tomu, že je ho možné použiť na bežne dostupných zariadeniach ako napríklad chytré telefóny alebo tablety. Ďalšou z výhod je to, že kombinácia skutočného a virtuálneho sveta je možná pomocou pokročilých algoritmov založených na počítačovom videní s presnosťou na pixel. Takisto sa môžu meniť určité vlastnosti zobrazovanej reality na rozdiel od „see-through“ displeja ako napríklad správna hĺbka farieb alebo jas čo značne prispieva k dôveryhodnosti hologramov a tie sa zdajú ešte viac prepojené s realitou. Ďalším z benefitov v porovnaní s inými typmi zobrazovania rozšírenej reality je zaniknutie oneskorenia medzi vykresľovaním hologramov a realitou keďže oba tieto svety sú najprv spojené do jedného obrazu a až následne zobrazené používateľovi. Jedným z častých problémov pri kombinovaní hologramov s reálnym svetom je detekcia toho, či sa virtuálny objekt nachádza za iným objektom z reality alebo nie. V prípade že áno, je potrebné nejakým spôsobom zakryť časť hologramu, ktorá sa nachádza za reálnym objektom aby používateľ nevidel prekrytú časť virtuálneho objektu. Video see-through displeje dokážu tento problém vyriešiť

veľmi ľahko pomocou získania informácií o hĺbke z reálneho sveta. Ako aj ostatné typy displejov, aj tento má svoje nevýhody. Jednou z najväčších je práve nepriamy pohľad na reálny svet. Keďže pohľad na realitu je sprostredkovaný cez displej, používateľ môže pracovať iba s obmedzeným rozlíšením poskytnutým z video kamier a kým sa obraz z kamier dostane na displej, zaberie to určitý čas [4]. Oproti iným spôsobom je tento komerčne najvyužívanejší. Avšak nie v podobe displeju pripevneného na hlavu ale v podobe **handheld** displeja. Sú to displeje, ktoré používateľ môže držať priamo v rukách a teda nie je priamo vtiahnutý do sveta s rozšírenou realitou. Na jej zobrazenie používajú senzory ako napríklad digitálny kompas a GPS na snímanie 6DoF (viď sekcia 3.2) pohybu. Na takéto zobrazenie rozšírenej reality sa používajú predovšetkým smartfóny alebo tablety pretože sa mimoriadne jednoducho prenášajú a sú celosvetovo rozšírené. Taktiež spolu s kombináciou výkonného procesoru, kamery, akcelerometra, GPS a kompasu sú tieto chytré zariadenia ideálnymi platformami na zobrazovanie rozšírenej reality. Avšak najväčšou nevýhodou týchto displejov je ich samotná veľkosť, ktorá nie je ideálna pre 3D používateľské rozhrania [7]. Aj napriek tejto nevýhode je tento typ zobrazovania rozšírenej reality veľmi populárny medzi širokou verejnosťou a to najmä vo forme videohier využívajúcich túto technológiu. Na obrázku 2.5 je znázornený video see-through displej pripevnený na hlavu používateľa. Obraz z kamery sa predá modulu na poskladanie videa. Paralelne s ním sa tomuto modulu predávajú informácie o hologramoch, ktoré sa vytvoria na základe polohy hlavy v generátore scény. Následne sa v module na poskladanie videa spoja hologramy a zábery z kamery dokopy a výsledok sa zobrazí na displeji používateľa.

## Projector based displeje

Kým ostatné spôsoby boli založené na kombinovaní reality a virtuality na plochom displeji, táto technológia zobrazuje virtuálne objekty priamo na povrchu tých reálnych a skupina používateľov môže spoločne vidieť rovnaké premietnuté informácie o objekte [10]. Kombináciou projekcie na reálne objekty spolu so sledovaním pohľadu používateľa, projector based displeje umožňujú interakciu s virtuálnymi objektami priamo na povrchu fyzických objektov. Na takéto zobrazenie rozšírenej reality sa väčšinou používa projektor, ktorý je umiestnený na stropce alebo na stene miestnosti. Toto poskytuje používateľovi väčšiu voľnosť pretože nemusí mať na sebe nasadené žiadne zariadenie. Avšak tento spôsob je obmedzený a môže zobrazovať hologramy iba na takých miestach, na ktoré má samotný projektor dosah. Na obrázku 2.6 je možné vidieť, že rozšírená realita je zobrazená iba na malej časti figuríny pretože projektor na iné časti už nedosiahol. Pokrok v minimalizovaní elektroniky umožnil vytvoriť také projektory na zobrazovanie rozšírenej reality, ktoré môže používateľ držať v rukách alebo ich mať dokonca nasadené na hlave. Keďže na projekciu obrazu sú potrebné reálne objekty, bez ich prítomnosti nie je možné túto technológiu využiť nakoľko nie je k dispozícii žiaden povrch na ich zobrazenie a obmedzuje využitie tohto spôsobu zobrazovania iba na objekty, ktoré sa nachádzajú v blízkosti používateľa. Ďalšou limitáciou sú svetelné podmienky, v ktorých projektor dokáže zobraziť hologramy [4]. Vyžaduje čo najtmavšie prostredie a preto je v exteriéry počas dňa takmer nepoužiteľný.



Obr. 2.6: Zobrazenie orgánov na figuríne pomocou projekcie [8].

Keďže už bolo popísané, čo je rozšírená realita a akým spôsobom je možné ju používateľovi zobraziť, je potrebné podrobnejšie opísať nástroj na jej zobrazovanie, ktorý je použitý v tejto práci.

## Kapitola 3

# Microsoft HoloLens 2

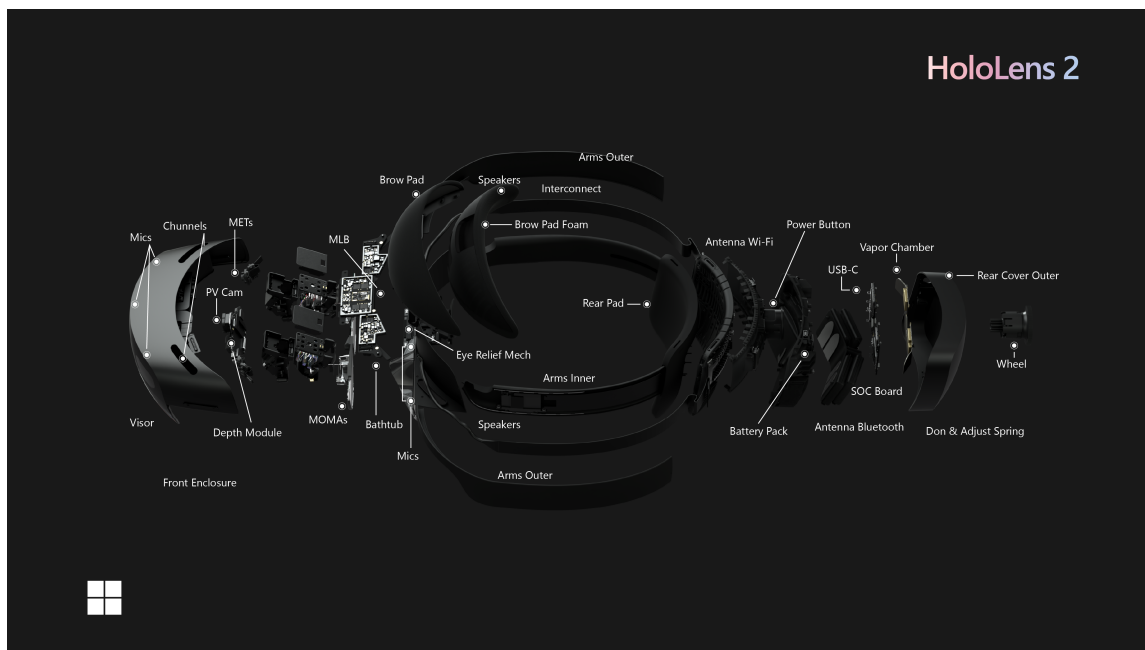
Na zobrazovanie hologramov je použité zariadenie s názvom Microsoft HoloLens 2. Tento prístroj patrí do kategórie „see-through“ displejov v podobe okuliarov, ktoré si používateľ nasadí na hlavu. Microsoft HoloLens 2 je holografický počítač. Je to 2. generácia týchto okuliarov a beží na operačnom systéme Windows Holographic OS, ktorý vychádza z Windowsu 10.

### 3.1 Komponenty

Microsoft HoloLens 2 je pomerne komplikovaný prístroj a skladá sa z veľkého množstva častí (viď obrázok 3.1). Jedny z najdôležitejších sú dva „see-through“ holografické displeje s rozlíšením až 2K slúžiace na zobrazenie digitálnych prvkov. Na sledovanie polohy hlavy slúžia 4 kamery snímajúce viditeľné svetlo. Ďalšie 2, ktoré snímajú infračervené svetlo sú na sledovanie pohybu očí. HoloLens 2 taktiež obsahuje IMU (Inertial measurement unit). Táto časť pozostáva z akcelerometra, gyroskopu a magnetometra. Kamera na zachytávanie videí a obrázkov má 8 MP a dokáže nahrávať video s kvalitou 1080p pri 30 snímkach za sekundu. Okuliare obsahujú 64GB pamäti na ukladanie aplikácií alebo obrázkov. Celé zariadenie váži iba 566 gramov takže aj pri dlhšom nosení na hlave by nemali nijako prekážať. Pre pripojenie k iným zariadeniam sú okuliare vybavené bluetooth a wi-fi. Na povrchu zariadenia sa nachádzajú nasledujúce komponenty, s ktorými môže používateľ priamo pracovať počas používania okuliarov:

- priezor – obsahuje senzory a displeje a počas nosenia je možné priezor vyklopiť nahor,
- tlačidlá jas,
- tlačidlá hlasitosti,
- vypínač,
- USB-C port na nabíjanie a prepojenie s PC.





Obr. 3.1: Komponenty, ktoré okuliare Microsoft HoloLens 2 obsahujú<sup>1</sup>.

## 3.2 Funkcie

Medzi hlavné funkcie Microsoft HoloLens 2 patrí najmä sledovanie rúk či prostredia pomocou hĺbkových kamier alebo kamier snímajúcich viditeľné svetlo, sledovanie pohybu očí a ovládanie pomocou hlasových príkazov.

### Sledovanie rúk

Táto funkcia poskytuje intuitívne interakcie s prostredím. Používateľ môže vybrať a premiestniť hologramy pomocou priameho dotyku rukou tak ako keby boli tieto hologramy reálne objekty. Microsoft HoloLens 2 rozpoznávajú viacero typov ručných gest. **Dotyk** je najintuitívnejší typ interakcie s hologramom. Keď je ruka v zornom poli, zobrazí sa ukazovateľ podobný kurzoru myši na počítači, ktorý pomáha používateľovi interagovať s objektami pomocou prsta na ruke. Interakcia hologramov sa môže líšiť. Funkcia dotyku môže byť pre každý hologram implementovaná zvlášť. **Dotyk do vzduchu** umožňuje používateľovi interagovať s objektom zdvihnutím ukazováku, poklepaním po palci a následným opätovným zdvihnutím ukazováku. V prípade že ukazovák zostane dole, je možné pomocou tohto gesta ľubovoľne presúvať objekt, v prípade použitia oboch rúk je možné ho otočiť alebo zmeniť veľkosť. **Lúč smerujúci z ruky** – na použitie tohto gesta je potrebné zdvihnúť ruku pred seba tak, aby dlaň smerovala od používateľa. Následne sa zobrazí laserový ukazovateľ, pomocou ktorého je možné interagovať so zameraným objektom. Pri interakcii je možné využiť rovnaké gestá ako boli spomenuté vyššie s tým rozdielom, že v tomto prípade je možné interagovať aj s objektami vo väčšej vzdialenosti od používateľa, keď na objekty priamo nemôže dočiahnuť.

<sup>1</sup>Zdroj obrázka <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware>

## Sledovanie pohybu očí

Funkcia sledovania očí sa v predchádzajúcej prvej generácii Microsoft HoloLens nenachádzala. Jedná sa o novú funkciu, ktorá prišla s novou generáciou. Vďaka tejto funkcionalite je možné v aplikáciách pracovať s informáciami o tom, kam sa používateľ aktuálne pozerá. Pre správne fungovanie je potrebná kalibrácia pre každého používateľa zvlášť. Rozsah snímania očí je približne  $1,5^\circ$  a je možné ho kombinovať so snímaním rúk (napríklad namierenie na hologram očami a následnú interakciu pomocou gest).

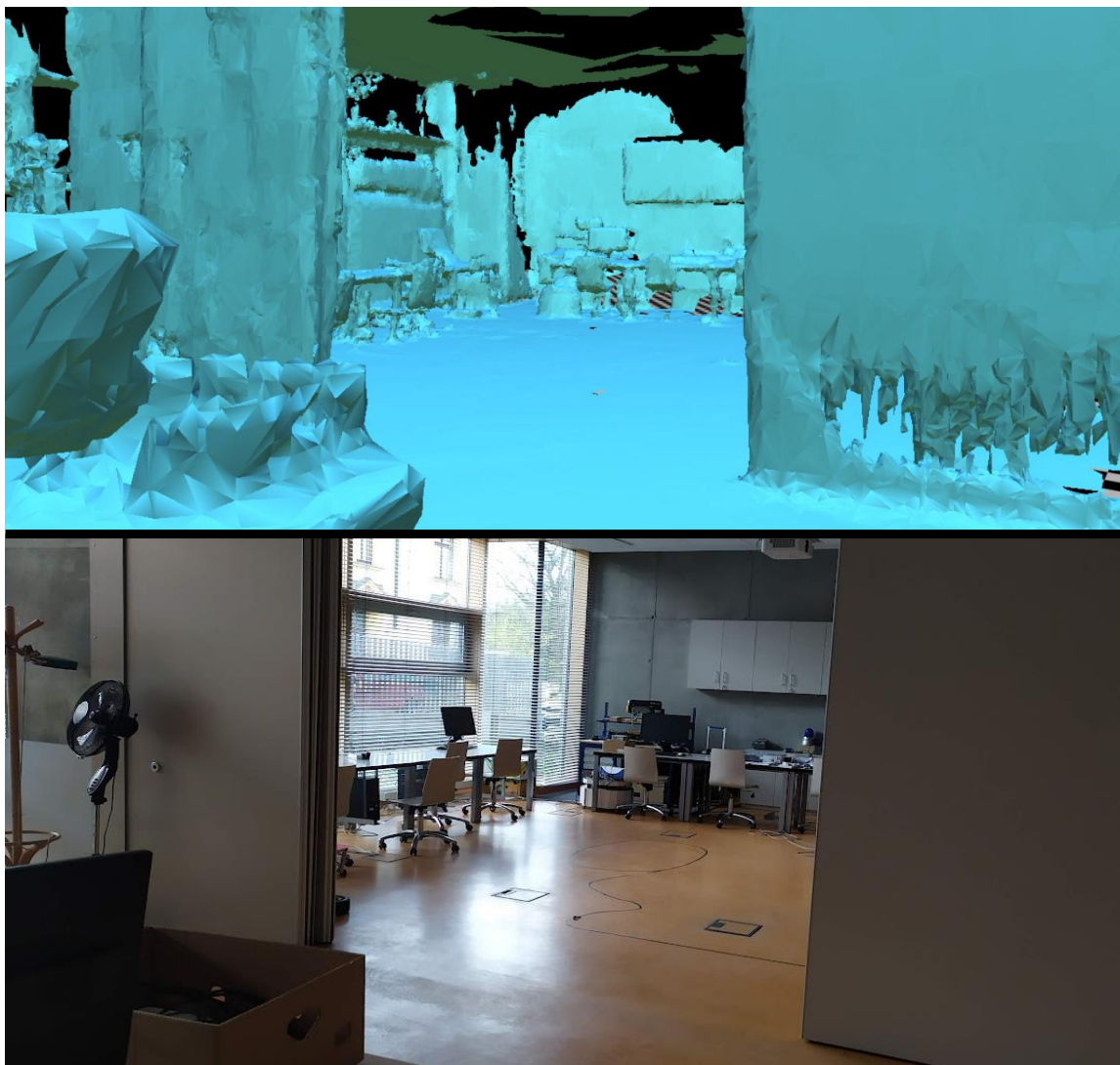
## Sledovanie prostredia

Okuliare Microsoft HoloLens 2 neustále snímajú svoje okolie rôznymi kamerami a vďaka tomu je možné vytvorenie priestorovej mapy (ang. **spatial mapping**), ktorá je bližšie popísaná v sekcii 3.3. Ďalej okuliare poskytujú **šesť stupňov voľnosti**. Tento termín označuje voľnosť pohybu pevného telesa v trojrozmernom priestore. Teleso sa môže hýbať ako smerom dopredu/dozadu, tak nahor/nadol a doľava/doprava – v troch kolmých osiach. V kombinácii týchto zmien so zmenami orientácie rotáciou okolo týchto troch kolmých osí tvoria tieto zmeny spolu šesť stupňov voľnosti (ang. six degrees of freedom). Pomocou kamier snímajúcich viditeľné svetlo je možné vytvárať fotografie alebo videá, ktoré zachytávajú presne to, čo vidí používateľ vrátane vykreslených hologramov.

### 3.3 Spatial mapping

Priestorové mapovanie poskytuje detailnú reprezentáciu povrchu z prostredia reálneho sveta okolo HoloLens pomocou hĺbkových kamier, ktoré sú umiestnené na prednej strane okuliarov. Táto funkcia umožňuje kombinovať digitálny obsah s predmetmi v realite a interakciu s nimi. Ukotvenie hologramov na iné hologramy a objekty zo skutočného sveta pomáhajú presvedčiť používateľa, že tieto hologramy sú naozaj v reálnom priestore. Hologramy, ktoré sa vznášajú v priestore alebo sa pohybujú s používateľom sa nebudú javiť ako skutočné. Okuliare Microsoft HoloLens 2 neustále snímajú okolie a vytvárajú 3D mapu nasnímaného prostredia, ktorá sa následne využíva v aplikáciách v prípade potreby interakcie virtuálnych objektov s reálnym svetom. Ako je možné vidieť na obrázku 3.2, priestorová mapa prostredia nie je presnou kópiou reálneho sveta. Kvalitu priestorového mapovania ovplyvňuje prostredie v ktorom sa používateľ nachádza. 3D mapa prostredia z obrázku nie je presnou kópiou reálneho sveta. Kvalitu priestorového mapovania ovplyvňuje prostredie v ktorom sa používateľ nachádza. Zariadenie Microsoft HoloLens 2 dokáže umiestňovať hologramy pomocou sledovania pozície používateľa v scéne pomocou priestorového mapovania. Na to slúži kamera sledujúca viditeľné svetlo. Preto ak je prostredie príliš svetlé, kamery môžu mať vysokú saturáciu a nevidia dostatočné množstvo detailov. Takisto pri tmavom prostredí kamery nedokážu zozbierať dostatok informácií kvôli nedostatku svetla. Ďalšia vlastnosť, ktorá dokáže ovplyvniť určenie polohy používateľa je nedostatok predmetov v okolí. HoloLens používajú unikátne orientačné body z prostredia. Preto ak je v prostredí nedostatok predmetov, nie je možné presne určiť pozíciu používateľa a tým pádom ani zobrazíť hologramy presne na tých miestach, na ktorých by sa mali nachádzať<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens-environment-considerations>



Obr. 3.2: Ukážka vytvorenej priestorovej mapy v Microsoft HoloLens 2 (hore) a jej porovnanie s fotografiou reálneho sveta (dole).

Aplikácia sa zaberá použitím rozšírenej reality pre zjednodušenie ovládania dronu. Rozšírená realita už bola vysvetlená, preto je ďalšia kapitola zameraná na drony – ich definíciu a príklady dronov. Na konci kapitoly sú krátko popísané tri práce, ktoré používajú obe technológie, čiže rozšírenú realitu a drony.

## Kapitola 4

# Drony a ich využitie

Dron alebo UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle) je lietajúce zariadenie, ktoré dokáže za pomoci autopilota a GPS súradníc letieť vopred stanovenú trasu. Zariadenie má tiež bežné rádiové ovládanie takže v prípade poruchy alebo nebezpečnej situácie sa dá pilotovať manuálne. Niekedy sa termín UAV používa na označenie celého systému vrátane pozemných staníc a video systémov, avšak tento termín sa najčastejšie používa pre modely lietadiel a vrtulníkov s pevnými a rotačnými krídlami [2]. Dron bol pôvodne vyvinutý pre vojenské účely. Prvé prototypy boli testované ešte pred 2. svetovou vojnou avšak prvý krát bol plne nasadený vo vojne v Iraku a v Afganistane od roku 2000. S vývojom technológií začali vznikať smart telefóny a všetky senzory spolu s mikroprocesormi začali byť čoraz menšie a mali čoraz vyšší výkon, čo viedlo asi pred 20 rokmi k malým, elektricky poháňaným viacrotorovým vrtulníkom, ktoré vážili niekoľko stoviek gramov až niekoľko kilogramov a boli schopné autonómneho letu. Tieto drony siahali od voľnočasového používania až po priemyselné využitie a dokonca sa o nich hovorilo, že prinesú priemyselnú revolúciu na oblohe. Z technického hľadiska mali tieto drony v minulosti veľa problémov s bezpečnosťou, spoľahlivosťou a odolnosťou a boli stále v štádiu vývoja, čo obmedzilo ich dnes veľmi častý účel použitia ako voľnočasová aktivita ako napríklad amatérske natáčanie videa [14]. V súčasnosti sú drony voľne dostupné a najčastejšie sa používajú takzvané kvadrokoptéry, ktoré majú štyri vrtule ako napríklad model DJI Mavic Mini Pro znázornený na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Moderný dron s videokamerou DJI Mavic Mini Pro<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><https://www.dji.com/cz/mavic-mini>

## 4.1 Výhody používania dronu

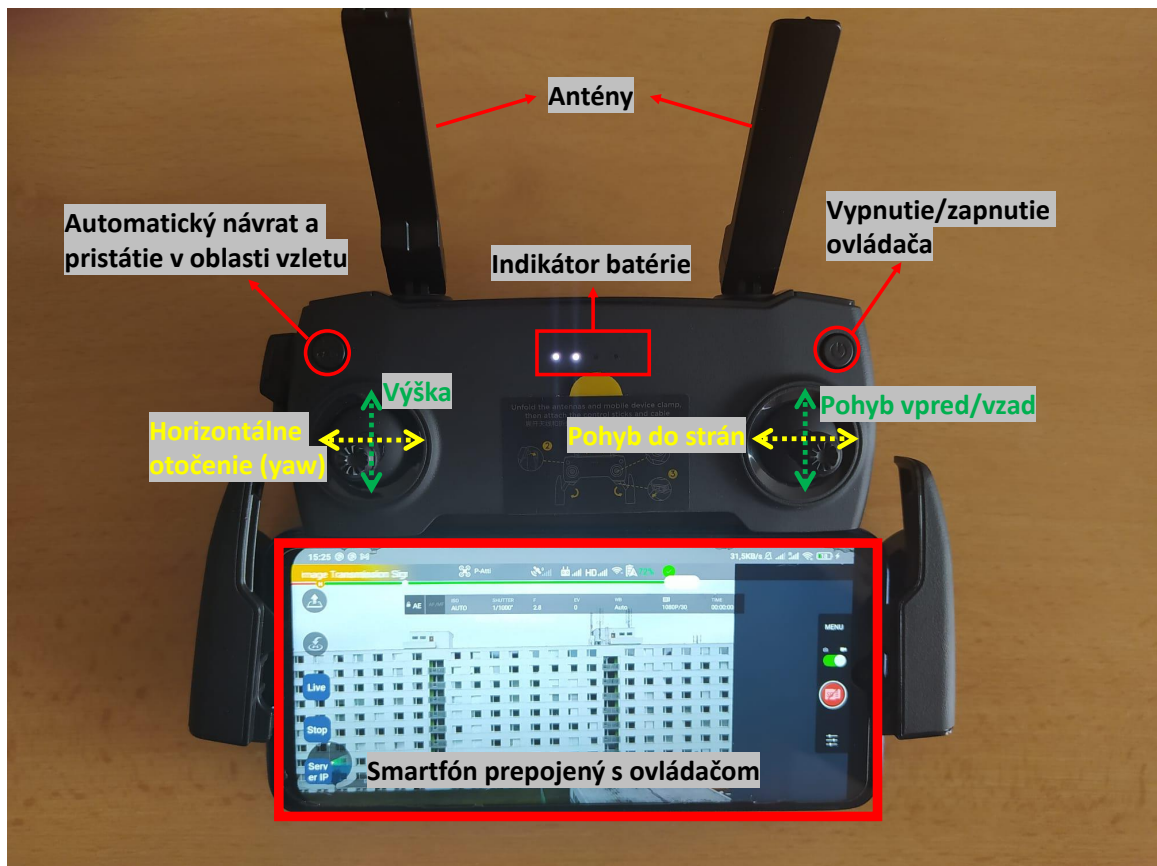
Bezpilotné lietadlá ponúkajú menej stresujúce prostredie pre používateľa a vďaka tomu sa pilot môže jednoduchšie a rýchlejšie rozhodovať v kritických situáciách. Keďže autonómne drony nepotrebujú žiadneho človeka na neustálu obsluhu, môžu nepretržite lietať celé hodiny pretože v tomto prípade nie je potrebné brať do úvahy ľudskú únavu pilota. Tieto drony môžu byť na oblohe prakticky dovtedy, kým nevyčerpajú palivo alebo elektrickú energiu. Ďalej tiež nie je potrebné, aby s ním lietal tak kvalifikovaný pilot ako v prípade klasických vrtuľníkov či lietadiel a to ani v prípade, že sa jedná o dron, ktorý nedisponuje autonómnym režimom a vyžaduje neustálu pozornosť pilota. Z dlhodobého hľadiska môže bezpilotné vzdušné vozidlo zostať vo vzduchu rádovo desiatky hodín a vykonávať opakujúce sa úlohy, ako napríklad presné, opakované skenovanie oblastí celý deň a noc a to aj v úplnej tme alebo v hmle pod kontrolou počítača [2]. Drony s takouto výdržou bývajú využívané armádou a nie sú voľne dostupné ako napríklad model MQ-1B Predator používaný armádou Spojených štátov amerických, ktorý môže nepretržite lietať aj 24 hodín<sup>1</sup>.

## 4.2 Ovládanie dronu

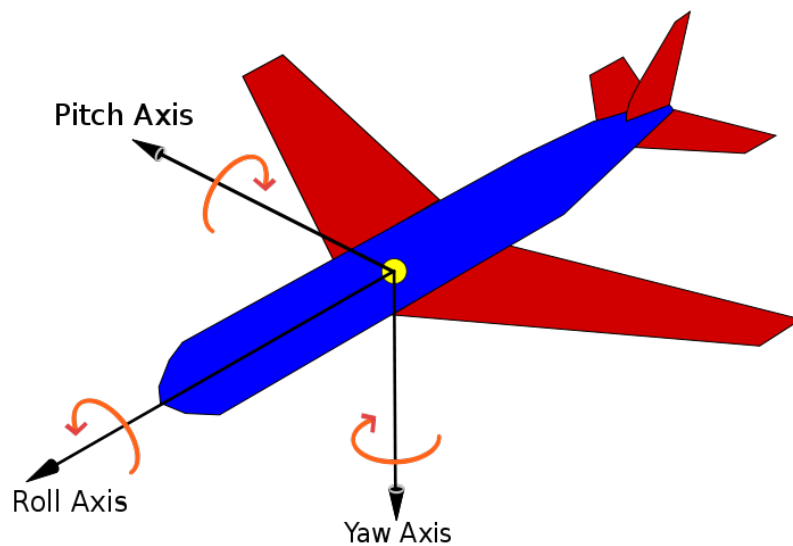
Drony sa ovládajú pomocou rádiového ovládača, ktorý odosiela signály dronu. Tie sú následne prijaté anténou na drone a konvertujú ich na digitálne dáta. Ovládače majú ustálenú podobu a väčšina prvkov znázornených na obrázku 4.2 sa nachádza na každom z nich. Tento kontrolér je od spoločnosti DJI a obsahuje 2 hlavné páky, ktoré slúžia na ovládanie samotného pohybu dronu – na lietanie smerom hore/dole a otáčanie v 3 rôznych smeroch (obr. 4.3). Lavá páka slúži na zmenu výšky pohybom nahor/nadol, čiže zvyšuje a znižuje rýchlosť otáčok vrtúľ, a na horizontálne otáčanie dronu (yaw). Druhá páka, ktorá leží na pravej strane ovládača slúži na nakláňanie dronu na lavú/pravú stranu (roll) a dopredu/dozadu (pitch). Niektoré ovládače obsahujú tlačidlo pre núdzový návrat dronu na miesto, odkiaľ vzlietol. Túto funkciu však musí dron podporovať a funguje tak, že sa dron prepne do autonómneho režimu, kedy nie je potrebná neustála pozornosť pilota a dron dokáže letieť sám. Následne sa pomocou GPS alebo iných senzorov vráti na miesto odkiaľ vzlietol a pristane. Táto funkcia sa tiež môže využiť kvôli bezpečnosti v prípade, že kapacita batérie klesne pod kritickú hodnotu alebo pilot stratí spojenie s dronom a nemôže ho ovládať. V týchto situáciách sa dron automaticky prepne do autonómneho módu a vráti sa naspäť na miesto, odkiaľ vzlietol.

---

<sup>1</sup><https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104469/mq-1b-predator/>



Obr. 4.2: Prvky kontroléru pre dron DJI Mavic Mini spolu s pripojeným smartfónom, na ktorom je spustená aplikácia Drone DJI Streamer, ktorá poskytuje prenos letových údajov na server.



Obr. 4.3: Znáozornenie osí yaw, pitch a roll.

Jeden z rozšírených modelov je DJI Mavic Mini, ktorý je svojou cenou a dostupnosťou vhodný hlavne pre menej skúsených používateľov. Tento dron je kontrolovaný diaľkovým ovládačom, ktorý je prepojený s android alebo iOS zariadením, na ktorom je spustená aplikácia na ovládanie dronu. Firma DJI poskytuje bezplatnú aplikáciu s názvom **DJI Fly** (obr. 4.4), ktorá je dostupná ako pre android zariadenia, tak aj pre iOS. Smartfón alebo tablet je prepojený s ovládačom a pomocou aplikácie DJI Fly je možné sledovať rôzne letové údaje, prípadne čiastočne ovládať samotný dron. Jej najdôležitejším prvkom je obrazovka s živým prenosom z kamery, kde sa nachádzajú dôležité prvky pre bezpečný let ako je GPS signál, aktuálna kapacita batérie, nastavenia fotografie a videa, intenzita signálu medzi dronom a ovládačom alebo vzdialenosť dronu od miesta vzletu. Pre niektoré modely dronov je dostupná možnosť prepínania medzi tromi unikátnymi letovými režimami: „position“, „sport“ alebo „cine smooth“. Režim „position“ je predvolený a poskytuje prístup k základným funkciám ako je napríklad GPS alebo detekcia prekážok. Tento režim umožňuje stabilitu pri vznášaní sa na mieste, čo ho robí ideálnym pre vytváranie statických záberov. Režim „sport“ je vytvorený na lietanie maximálnou rýchlosťou s čo najvyššou citlivosťou pri manévrovaní. Kvôli príliš rýchlemu lietaníu nie je možné vytvárať kvalitné zábery kamerou, preto je v tomto prípade prístup k nej odstránený. Vedľa indikátoru režimu lietania sa na hornej strane obrazovky nachádza stav dronu. Po jeho stlačení je možné nastaviť maximálnu možnú výšku letu spolu s ďalšími možnosťami. Na pravej strane sa nachádza okrúhle tlačidlo s nastaveniami kamery a zmenou režimu na fotografiu alebo video. V ľavej dolnej časti obrazovky sú informácie o aktuálnej rýchlosti, výške a vzdialenosti. Taktiež sa tam nachádza ikona s mapou, ktorá slúži na zobrazenie aktuálnej pozície dronu na mape. V prípade, že chce pilot zistiť jeho výšku, vzdialenosť alebo orientáciu, musí skloniť hlavu a pozrieť sa do tejto aplikácie. Tým pádom stráca priamy očný kontakt s dronom.

Samotný software však neobsahuje žiadnu funkciu odosielania letových dát na server ani prenos videa cez internet. Spoločnosť DJI však má vlastné SDK<sup>2</sup>, ktoré umožňuje pristupovať k údajom odosielaným z hardwarových a softwarových súčastí dronu do ovládača.

<sup>2</sup><https://developer.dji.com/mobile-sdk-v4/>



Obr. 4.4: Snímok obrazovky aplikácie DJI Fly. Na obrázku sa nachádza hlavná obrazovka zobrazená počas letu.

### 4.3 Drony a rozšírená realita

Táto práca nie je jedinou, ktorá sa zaoberá využitím rozšírenej reality na zjednodušenie ovládania dronu. Spojenie týchto 2 vecí sa ukazuje ako veľmi užitočné, efektívne a dokáže do značnej miery uľahčiť niektoré úkony, ktoré by boli bez využitia rozšírenej reality oveľa zložitejšie alebo nepresnejšie.

#### Interaktívne používateľské rozhranie pre autonómny dron

Liu a Shen [12] využili rozšírenú realitu k tomu, aby uľahčili prácu operátorom autonómnych dronov. Tie fungujú tak, že človek diaľkovo interaguje s dronom odosielaním vysoko úrovňových príkazov ako napríklad pozícia cieľa. Dron si následne už trasu naplánuje a vykoná sám. Hoci existujú viaceré metódy na interakciu zahrňujúce vygenerovanú 3D mapu a pozíciu dronu, tieto metódy je zložité vykonávať na 2D obrazovkách ako napríklad na počítači alebo tablete. Preto bolo vyvinuté rozhranie v rozšírenej realite, pomocou ktorého používateľ môže interagovať s dronom. Tento dron dokáže zrekonštruovať 3D mapu svojho okolia. Následne je táto mapa zobrazená používateľovi pomocou rozšírenej reality. Na mape je možné zadať cieľ, kam sa má dron dostať pomocou gesta rukou. Vďaka tomu používateľ už nemá skreslenú predstavu o priestore okolo dronu tým, že by musel pracovať na 2D displeji a pomocou toho sa podarilo zlepšiť interpretáciu mapy vytvorenej dronom a zvýšiť presnosť vysoko úrovňových príkazov.

#### Ovládanie dronu jednoručnými gestami

Práca využíva rozšírenú realitu a gesta rukou na zjednodušenie ovládania dronu. Klasické ovládače používajú na lietanie primárne 2 páky. Tento spôsob ovládania je neintuitívny, pretože dron nebude mať počas celého letu rovnakú orientáciu ako pilot. Preto môže byť niekedy náročné odhadnúť, akým smerom sa bude dron pohybovať. Z toho dôvodu bol navrhnutý spôsob ovládania pomocou pohybov rukou, ktoré pohybujú dronom tým smerom,



akým sa ruka pohybuje bez ohľadu na horizontálne otočenie dronu voči pilotovi. Rozšírená realita sa používa na zobrazenie miesta, kde sa dron nachádza spolu s prenosom videa z jeho kamery aby používateľ mohol ovládať dron aj z väčšej vzdialenosti (viď obrázok 4.5). Na zobrazenie týchto prvkov pomocou rozšírenej reality boli použité okuliare Microsoft HoloLens 2 [11].

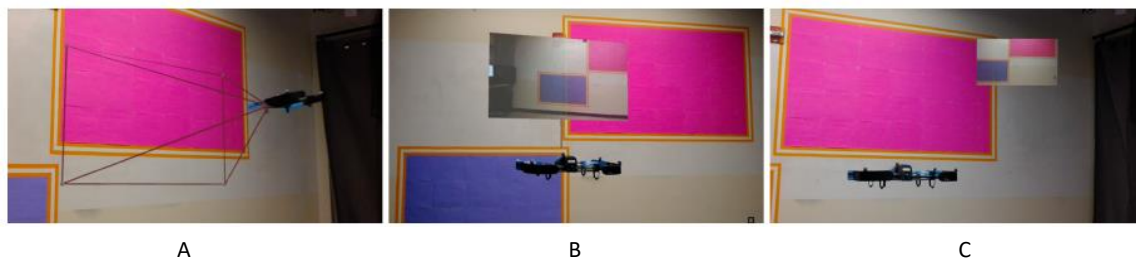


Obr. 4.5: Ukážka používateľského rozhrania. V strede je zobrazený prenos z kamery dronu. Hneď vedľa neho je znázornená poloha dronu.

### Zlepšenie diaľkovej operácie robota s rozšírenou realitou

Táto práca sa zameriava na vytvorenie a používateľské testovanie rozhrania v rozšírenej realite na ovládanie dronu pri vykonávaní operácie, ktorá spočívala v snímaní objektov kamerou dronu v laboratóriu. Na zobrazovanie rozšírenej reality boli použité okuliare Microsoft HoloLens. Najprv boli vytvorené 3 druhy používateľských rozhraní znázornené na obrázku 4.6. Prvý, nazvaný „**frustum**“, znázorňoval presnú časť priestoru, ktorá bola aktuálne snímaná kamerou dronu pomocou rámu zloženého z červených čiar zobrazeného priamo na povrchu objektu z reálneho sveta. Druhý, „**callout**“, zobrazoval prenos z kamery dronu v reálnom čase priamo nad dronom, takže obraz sa pohyboval spolu s dronom. Posledný dizajn, „**peripheral**“, bol podobný s predošlým, avšak prenos z kamery bol staticky umiestnený na jednom mieste v pravom hornom rohu. Na začiatku experimentu sa používatelia oboznámili s ovládaním dronu a okuliarmi Microsoft HoloLens. Následne mali za úlohu nasnímať kamerou dronu dva štvorcové rámy. Ak s dronom narazili do prekážky, dron sa vrátil na pôvodné miesto vzletu a používateľ musel začať let odznovu. Táto úloha bola vykonaná pomocou všetkých troch rozhraní a navyše bola úloha vykonaná ešte raz, bez akéhokoľvek používateľského rozhrania, iba za pomoci aplikácie nainštalovanej na tablete, ktorá umožňovala ovládať dron a vidieť prenos z jeho kamery v reálnom čase. Pri tejto variante mali však účastníci testu nasadené okuliare Microsoft HoloLens aj keď sa v nich nič nezobrazovalo. Po skončení testu boli vyhodnotené časy a presnosť úlohy. Vďaka zobrazeniu toho, čo sníma

kamera pomocou rámu a pohľadu z tretej osoby bol variant „frustum“ najrýchlejší a mal najnižšiu tendenciu na nehody a najpresnejší bol návrh „peripherals“. Avšak v porovnaní s vykonávaním bez používateľského rozhrania boli všetky tri návrhy markantne lepšie vo všetkých aspektoch [9].



Obr. 4.6: Vzhľad používateľských rozhraní frustum (A), callout (B) a peripheral (C).

S touto kapitolou boli spomenuté všetky použité technológie v tejto práci a mal by byť jasný ich princíp a fungovanie. Preto sa ďalšia časť bude venovať už samotnému vývoju aplikácie a popisu jednotlivých problémov a poznatkov získaných pri jej vytváraní.

## Kapitola 5

# Návrh rozšírenia vizualizačného nástroja

Na začiatku tejto kapitoly je popísaný pôvodný návrh používateľského rozhrania, ktorý bol implementovaný do reálneho sveta na použitie s reálnym dronom. Aplikácia vychádza z bakalárskej práce Mareka Václavíka<sup>1</sup>, ktorý vytvoril vizualizačný nástroj pre pilota dronu v Microsoft HoloLens 2. Ten slúži na zobrazenie letových údajov ako sú orientácia dronu, výška, smer, rýchlosť a iné.

### 5.1 Pôvodné riešenie

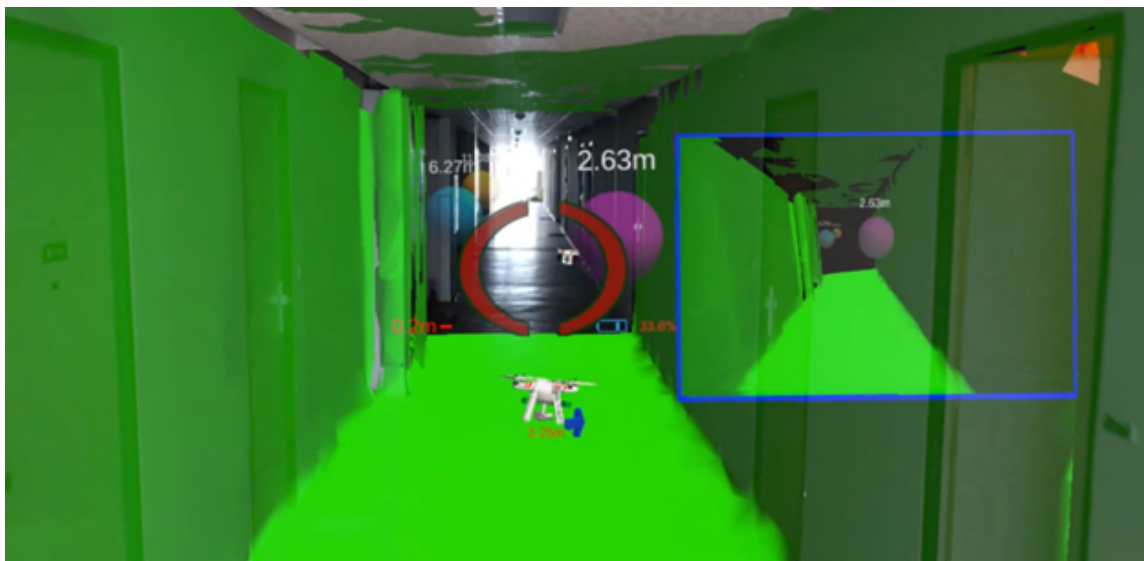
Pôvodný návrh slúžil na ovládanie virtuálneho dronu pomocou Xbox ovládača a nepotreboval žiadne externé aplikácie nakoľko všetky letové údaje boli generované priamo v aplikácii na základe vstupu z ovládača, ktorý je pripojený cez Bluetooth. Toto riešenie bolo vytvorené pomocou enginu Unity<sup>2</sup> s využitím Mixed Reality Toolkit SDK<sup>3</sup>, pomocou ktorého vývojár nemusí riešiť snímanie rúk, očí alebo pohyb a rotáciu okuliarov a môže sa zamerať na vývoj samotnej aplikácie. Toto SDK poskytuje multiplatformový systém vstupov a základnú funkcionálnosť pre interakcie s prostredím spolu s používateľským rozhraním. Ďalej je možné simulovať tieto funkcie v editore a tým umožňuje vidieť jednotlivé zmeny bez nutnosti nahrávania aplikácie priamo do zariadenia.

---

<sup>1</sup>Odkaz na bakalársku prácu Mareka Václavíka: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/23524>

<sup>2</sup>Oficiálna webstránka enginu: [www.unity.com](http://www.unity.com)

<sup>3</sup>Dokumentácia k SDK: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/?view=mrtkunity-2021-05>



Obr. 5.1: Ukážka pôvodnej aplikácie [19], ktorá zobrazuje letové údaje virtuálneho dronu ako je výška, smer, poloha, stav batérie alebo vygenerovaná priestorová mapa ako náhrada za obraz z kamery dronu keďže sa so žiadnym reálnym dronom nelieťa.

Na obrázku 5.1 je možné vidieť, že aplikácia pomocou spatial mappingu (viď sekcia 3.3) skenuje svoje okolie, vďaka čomu dokáže dron interagovať s okolím (určiť jeho výšku, prípadne upozorniť pilota na blízkú prekážku).

### Zobrazené letové údaje

- indikátor dronu – ak sa dron nachádza vo väčšej vzdialenosti od pilota, je ťažké vidieť ho voľným okom, preto je tento indikátor dôležitý prvok,
- výška dronu,
- orientácia (zelená šípka),
- smer pohybu (modrá šípka),
- priamy prenos z kamery dronu,
- aktuálne nabitie batérie,
- navigačná šípka (obrázok 5.2).

Okolo pozorovaného dronu sa vykresľuje **terč**, ktorý pomáha používateľovi lokalizovať dron v prípade, že sa nachádza vo veľkej vzdialenosti a nie je možné ho vidieť voľným okom alebo ak je medzi dronom a pilotom prekážka, ktorá prekáža pilotovi vo výhlade na dron. **Ukazovateľ smeru** pomáha lokalizovať dron. Indikuje smer, ktorým sa má pilot otočiť, pokiaľ sa zrovna dron v jeho zornom poli nenachádza.



Obr. 5.2: Ukazovateľ smeru v podobe šípky, ktorá smeruje na miesto, na ktorom sa nachádza dron.

**Pomocný model dronu** je vykresľovaný pod terč a odzrkadľuje pohyby reálneho dronu (náklon, otočenie). K tomuto modelu je pripojená vizualizácia pre upozornenia na nebezpečie, ktoré sa používateľovi zobrazí v prípade, že sa v blízkosti dronu nachádza prekážka. Modrá šípka vizualizuje smer a intenzitu pohybu dronu. **Výškomer** sa nachádza na ľavej strane používateľského rozhrania a zobrazuje aktuálnu výšku dronu od najbližšej prekážky pod ním. Táto výška sa zobrazuje ako číselná hodnota ale aj graficky prostredníctvom farebného pásika, ktorý sa v prípade dostatočnej výšky zafarbí zelenou farbou a v prípade, že sa dron nachádza tesne nad prekážkou a hrozí mu pád, zafarbí sa na červeno. **Indikátor batérie** je malá ikona na pravej strane terča a ukazuje percentuálny stav batérie. V prípade nízkej hodnoty batérie je používateľ varovaný nakoľko mu hrozí strata kontroly nad dronom.

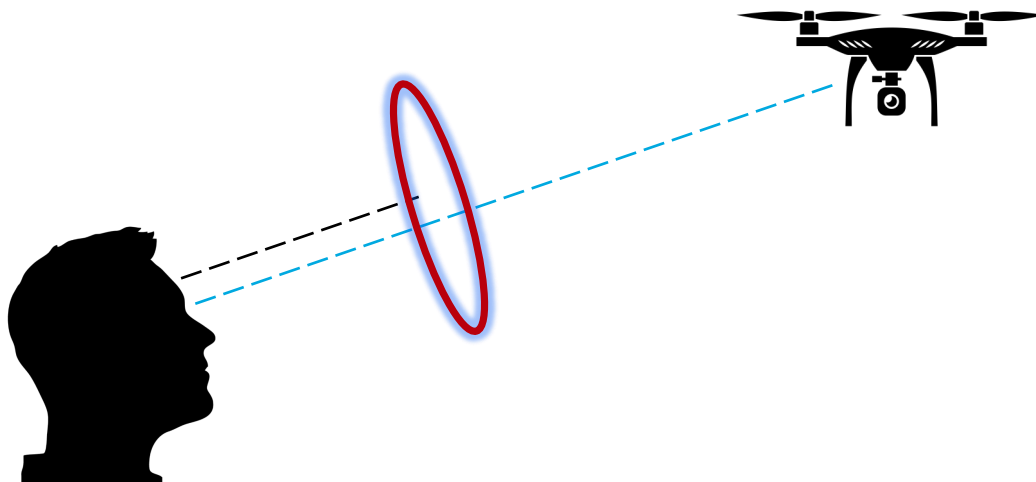
## 5.2 Nedostatky pôvodného riešenia

Pôvodné riešenie malo radu nedostatkov. Prvý a najvýznamnejší bol ten, že nebolo možné používať aplikáciu pri lietaní s reálnym dronom pretože táto aplikácia let iba simulovala pomocou vstupov z Xbox ovládača. Tento problém preto bránil akémukoľvek využitiu v reálnom svete. Ďalšie problémy boli spojené so samotným vykresľovaním prvkov používateľského rozhrania.

### Vzdialenosť vykreslených hologramov

Všetky prvky používateľského rozhrania sa vykresľovali na plátno, ktoré sa vždy nachádzalo vo vzdialenosti 1,5 metra od používateľa a otáčalo sa okolo neho podľa toho, ako sa menila poloha dronu. Toto sa už pri prvotnom testovaní ukázalo byť ako veľmi nepraktické pretože väčšinu letu sa dron nachádzal vo väčšej vzdialenosti od pilota ako 1,5 metra a preto bolo problematické sledovať súčasne letové údaje a samotný dron na oblohe. Pilot musel neustále

prepínať kontext medzi používateľským rozhraním a dronom (obr. 5.3), pretože ľudské oko dokáže zaostriť iba na jednu vzdialenosť. Tento problém by bolo možné vyriešiť tým, že sa budú letové údaje vykresľovať presne na tej pozícii, na akej sa nachádza dron, čiže vzdialenosť dronu a prvkov zobrazujúcich letové údaje bude vždy rovnaká.



Obr. 5.3: Znázornenie rozdielnych vzdialeností terča a dronu od očí používateľa, čo zapríčiňuje prepínanie kontextu medzi dronom a indikátorom dronu.

### Trasenie používateľského rozhrania

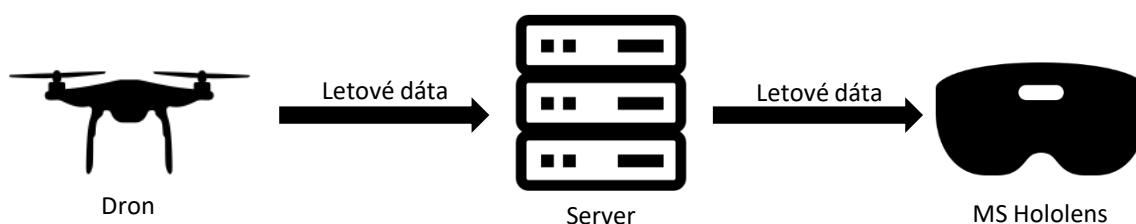
Ďalším problémom bolo trasenie sa celého rozhrania. Aj pri najmenšom pohybe hlavou sa začalo celé používateľské rozhranie triasť a bolo prakticky nemožné vyčítať akúkoľvek hodnotu. Tento problém bol zapríčinený tým, že v pôvodnom riešení boli všetky prvky používateľského rozhrania naviazané na kameru scény, a teda pri použití Microsoft HoloLens 2 boli všetky prvky naviazané na tieto okuliare. Tým pádom aj menší pohyb hlavou spôsobil otrasy okuliarov a kvôli tomu sa triasli aj všetky vykreslené hologramy. Tento problém sa násobne viac prejavoval pri chôdzi. Vtedy bolo nemožné prečítať akýkoľvek letový údaj. Toto bolo vyriešené ako predošlý problém, naviazaním používateľského rozhrania na samotný dron. Tým pádom už otrasy kamerou nemali žiaden vplyv na pohyb hologramov.

### Adaptácia na reálny dron

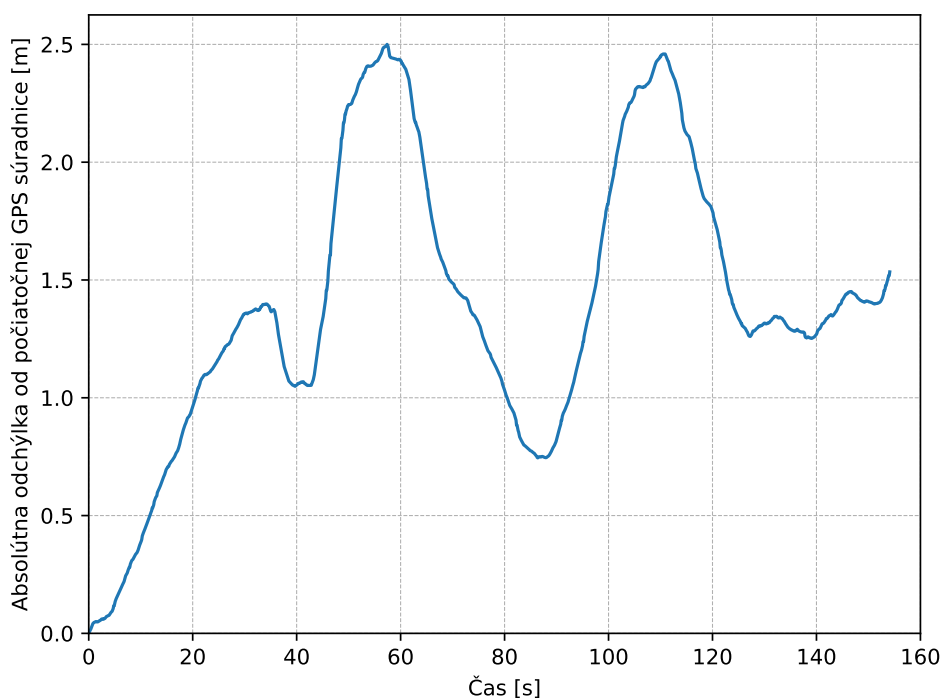
Ako bolo spomenuté na začiatku, aplikácia fungovala iba s virtuálnym dronom. Preto bolo potrebné vymyslieť, ako ju upraviť tak, aby dokázala pracovať s reálnym dronom. Letové údaje z dronu, ako sú GPS súradnice alebo otočenie dronu, by sa mohli pomocou android aplikácie využívajúcej DJI SDK<sup>4</sup> odosielať na server a následne by zo serveru boli tieto dáta odoslané do aplikácie bežiacей na Microsoft HoloLens 2 ako je znázornené na obrázku 5.4. Pôvodne bolo plánované vypočítať polohu dronu pomocou GPS súradníc odosielaných na

<sup>4</sup>Odkaz na dokumentáciu: <https://developer.dji.com/mobile-sdk/>

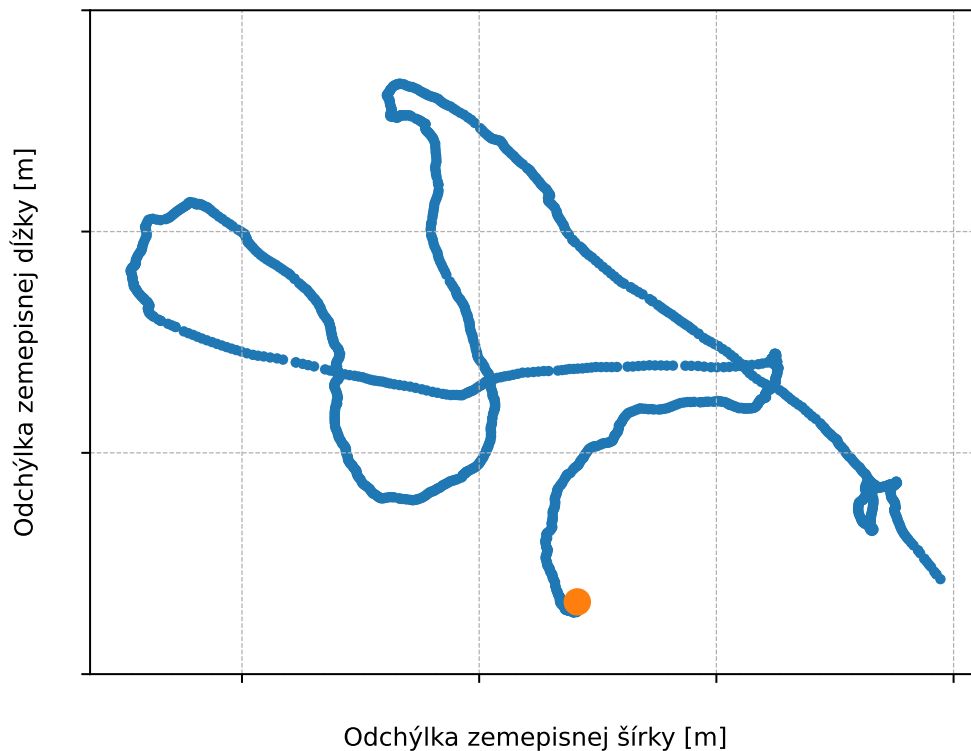
server. Pri testovaní na reálnom drone sa vyskytol problém s GPS. Dáta neboli ani zďaleka tak presné, ako sa očakávalo. Keďže indikátor dronu na oblohe sa pôvodne mal riadiť iba pomocou GPS súradníc prijímaných zo servera, bol závislý na čo najvyššej presnosti GPS dát, ktoré môžu mať výraznú odchýlku a tá značne ovplyvní zobrazenie indikátora dronu [3]. Testovanie prebehlo na dronoch DJI Mavic PRO a DJI Mavic Mini a kvôli menej presnému GPS modulu sa indikátor pohyboval aj keď dron pristál na zemi. Pričom odchýlka bola miestami viac ako 2 metre. Počas testovania presnosti GPS boli dáta odosielané z dronu na server uložené. Následne bolo potrebné zistiť, aká vysoká je odchýlka reálnej pozície dronu vzhľadom k súradniciam prijatým zo servera. Pre lepšiu predstavu boli vytvorené 2 grafy, kde graf 5.5 zobrazuje absolútnu vzdialenosť od počiatočnej GPS súradnice a druhý graf 5.6 slúži na zobrazenie „pohybu“ dronu na základe GPS aj keď v realite dron stál nehybne na mieste.



Obr. 5.4: Schéma komunikácie serveru, aplikácii na MS HoloLens a Dronu.



Obr. 5.5: Absolútna vzdialenosť od počiatočného bodu daného prvou súradnicou prijatou zo serveru.

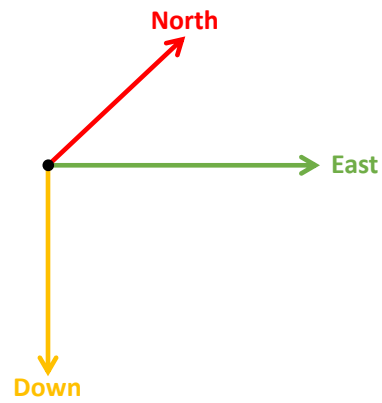


Obr. 5.6: Zobrazenie všetkých prijatých GPS súradníc pri testovaní, kedy bol dron položený na zemi. Oranžový bod predstavuje počiatočnú súradnicu prijatú zo serveru.

Dáta na obrázkoch 5.5 a 5.6 boli získané pomocou zaznamenávania jednotlivých súradníc odoslaných z dronu na server. Dáta boli odosielané každých 10ms. Pomocou týchto údajov bolo možné vytvoriť graf zmeny polohy v čase. Možné riešenie je pomocou tolerancie určitej odchýlky, vďaka ktorej sa poloha indikátoru zmení, až keď je odchýlka GPS súradníc vyššia ako daná hodnota. Toto bol jeden z dôvodov, kvôli ktorému bolo vytvorenie grafov za dôležité. Vďaka nim je jednoduchšie určiť potrebnú minimálnu odchýlku. Nakoľko odchýlka GPS modulu použitého v drone je rádovo v jednotkách metrov, nepomohla ani korekcia minimálnej odchýlky. Preto bolo potrebné vymyslieť iný spôsob. V práci s názvom An Augmented Reality Interaction Interface for Autonomous Drone [12] sa určuje poloha pomocou údajov z IMU (ang. inertial measurement unit). Tento modul je elektronické zariadenie, ktoré meria akceleráciu a rotáciu pomocou akcelerometrov a gyroskopov<sup>5</sup>. DJI SDK poskytuje prístup k týmto údajom, ktoré sú interpretované za použitia N-E-D (ang. north-east-down) súradnicového systému znázorneného na obrázku 5.7. Je to 3-rozmerný súradnicový systém, kde hodnoty udávajú pozíciu pozdĺž troch osí – prvá smerujúca na sever, druhá na východ a tretia dolu. Tieto údaje by sa dali použiť na presnejšie určenie polohy dronu bez závislosti na kvalite GPS signálu.

<sup>5</sup><https://www.embention.com/news/the-right-imu-for-an-uav/>





Obr. 5.7: N-E-D súradnicový systém.

Všetky nedostatky pôvodného riešenia boli popísané a bolo navrhnuté aj ich možné riešenie. Preto sa nasledujúca kapitola venuje už implementácii finálneho riešenia aplikácie.

# Kapitola 6

## Implementácia

Na začiatku kapitoly je popísaná architektúra implementácie a následne je popísaný princíp fungovania jednotlivých blokov aplikácie. Na konci sú ukázané a popísané už jednotlivé prvky používateľského rozhrania ako napríklad indikátor dronu alebo prvky misie.

### 6.1 Architektúra aplikácie

Hlavnými prvkami aplikácie sú Manageri. Tieto objekty sa starajú o spracovanie a zobrazenie všetkých údajov do scény.

**Websocket manager** slúži na komunikáciu so serverom. Pri spustení aplikácie websocket manager zariadi pripojenie na server s letovými údajmi pomocou technológie websocket. Následne, po úspešnom pripojení každú správu prijatú zo serveru vloží do fronty, aby sa v prípade vyššieho počtu správ zo serveru údaje nestratili, kde sa ďalej spracováva. Na spracovanie dát slúži drone manager, ktorému sú tieto dáta odovzdané.

**Drone manager** spracuje správu predanú cez websocket manager a následne sa stará o zmenu polohy dronu. Tento manager pracuje už so samotnou správou v textovom formáte. Najprv zistí, ktorému z dronov patria dáta zo serveru pomocou Drone ID. Ak žiaden dron s daným ID neexistuje, vytvorí sa nový. V prípade, že sa na server odosielať dáta z viacerých dronov, dron, ktorý ovláda pilot je označený, aby bolo možné ďalej rozlíšiť, ktorý dron je ovládaný pilotom, ktorý používa túto aplikáciu a ktoré drony ovládajú ostatní piloti.

**GPS manager** má na starosti prvotnú kalibráciu. Keďže Microsoft HoloLens 2 neobsahuje žiaden GPS modul, je potrebné určiť GPS polohu pilota za pomoci dronu. Preto po pripojení na server pilot musí prísť čo najbližšie k dronu a reštartovať súradnice scény tým, že sa aktuálne súradnice pilota v scéne zmenia na nulové okrem výšky pretože hlava pilota a tým pádom aj Microsoft HoloLens 2 sú vyššie od zeme ako je dron samotný, ktorý je položený priamo na zemi a nastaví sa počiatočná GPS poloha na polohu dronu načítanú zo serveru. V ten moment má pilot aj dron rovnaké GPS súradnice aj súradnice scény a súradnica scény 0,0,0 zodpovedá GPS polohe dronu. Následne sa pilot a taktiež aj dron môžu voľne pohybovať po okolí.

**Mission manager** slúži na zobrazenie a prácu s objektami misie ako sú body trasy alebo zóny.

## 6.2 Získanie a spracovanie letových údajov

Na prenos údajov je využitý formát dát **JSON**. Formát JSON slúži na prenášanie údajov nezávisle na type programu, nakoľko má vždy textovú podobu ako vo výpise 1. Samotný prenos dát prebieha pomocou technológie **websocket**. Táto technológia poskytuje obojstranné pripojenie na server, čiže je možné z neho čítať aj odosielať dáta. Preto je možné, aby na ten istý server boli letové údaje preposielané a následne aj čítané v aplikácii bežiacej na Microsoft HoloLens 2.

Cieľom tejto aplikácie bolo, aby sa mohla využívať s reálnym dronom, ktorý disponuje GPS, prípadne údajmi o akcelerácii. Prepojením dronu a aplikácie na Microsoft HoloLens 2 so serverom je možné tieto letové dáta spracovať. Keďže z aplikácie pre ovládanie dronu značky DJI nie je možné priamo získať a poslať letové dáta, bolo potrebné využiť aplikáciu DJI Streamer<sup>1</sup>, ktorá vo formáte JSON priebežne odosiela cez websocket letové údaje na server<sup>2</sup>, z ktorého je možné ich čítať hocikým, kto je na tento server pripojený.

### Získavanie letových údajov

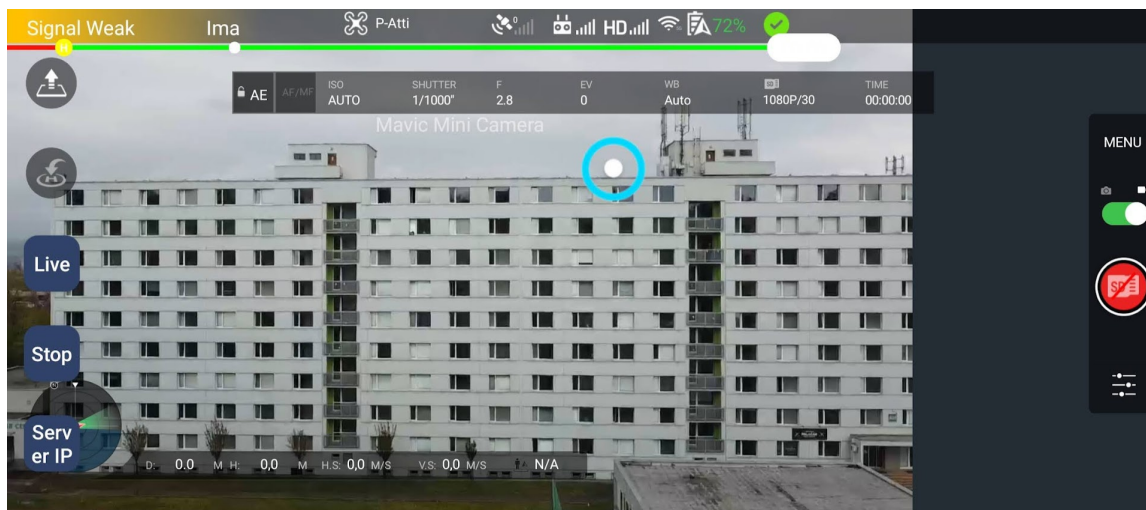
Samotná aplikácia DJI Fly spomenutá v sekcii 4.2 neobsahuje žiadnu funkciu odosielania letových dát na server ani prenos videa cez internet, na ich získavanie slúži aplikácia DJI Streamer. Pomocou tejto android aplikácie, ktorá je pripojená na ovládač je možné cez SDK od spoločnosti DJI získať letové údaje dronu. Pomocou neho sa dá zistiť, prípadne meniť:

- výška letu dronu,
- telemetria dronu a dáta zo senzorov,
- detekcia a vyhýbanie sa prekážkam,
- otáčanie kamery,
- prenos obrazu z kamery v reálnom čase,
- zobrazenie záchytných bodov,
- informácie o stave diaľkového ovládača.

Vďaka tomu je možné využiť aplikáciu, ktorá bude môcť zbierať potrebné letové údaje vrátane prenosu obrazu a preposielať ich na server. Táto aplikácia obsahuje prvky, ktoré sa v tej od spoločnosti DJI nenachádzajú.

<sup>1</sup>Odkaz na aplikáciu: [https://github.com/robofit/drone\\_dji\\_streamer/tree/main/DjiStreamer](https://github.com/robofit/drone_dji_streamer/tree/main/DjiStreamer)

<sup>2</sup>Odkaz na zdrojové súbory serveru: [https://github.com/robofit/drone\\_server](https://github.com/robofit/drone_server)



Obr. 6.1: Snímok obrazovky z aplikácie Drone DJI Streamer.

Používateľské rozhranie aplikácie na obrázku 6.1 je podobné ako to od DJI avšak s tým rozdielom, že do neho pribudli niektoré prvky. Najdôležitejšie pre túto prácu sú tlačidlá v ľavom dolnom rohu obrazovky. **Server IP** slúži na zadanie IP adresy a portu serveru na odosielanie textových dát (letových údajov) a URL serveru, ktorý bude prijímať prenos z kamery. Tlačidlo **Live** slúži na spustenie prenosu obrazu na server zadanej pomocou URL a server IP. Letové dáta sú odosielané automaticky na websocket server, hneď po spustení tejto android aplikácie. Letové dáta sú následne preposielané na zvolený websocket server, z ktorého aplikácia bežiacia na Microsoft HoloLens 2 tieto dáta číta ako je znázornené na obrázku 5.4.

### Spracovanie letových údajov

Po prijatí nových dát zo serveru sa volá funkcia na aktualizáciu polohy dronu na základe prijatých dát vo formáte JSON v nasledujúcom formáte:

```
{
  "DroneId": "DJI-MAVIC_PRO",
  "Altitude": 5.3,
  "Latitude": 49.2273892,
  "Longitude": 16.597255,
  "Pitch": 2.3,
  "Roll": -0.3,
  "Yaw": -149.2,
  "Compass": -149.2,
  "VelocityX": 0.0,
  "VelocityY": -0.2,
  "VelocityZ": 0.1
}
```

Výpis 1: Formát dát prijatých zo serveru obsahujúci všetky letové údaje.

**DroneId** je unikátny indikátor dronu. V prípade, že na server sa odosielaajú údaje z viacerých dronov, pomocou DroneId je možné v aplikácii identifikovať konkrétny dron a tým pádom aj zobraziť letové údaje správneho dronu. Výška dronu sa nachádza v atribúte **Altitude** a môže sa jednať o nadmorskú výšku alebo o relatívnu výšku od zeme. **Yaw, pitch, roll** udávajú naklonenie dronu po všetkých troch osiach (obrázok 4.3). Parameter **Compass** udáva horizontálne otočenie dronu, čiže údaj je rovnaký ako parameter Yaw. Údaje **Velocity** udávajú rýchlosť dronu v každej z troch osí, kde **VelocityX** značí rýchlosť pozdĺžne po osi smerujúcej na sever, **VelocityY** udáva rýchlosť po ose smerujúcej na východ a **VelocityZ** udáva klesanie alebo stúpanie (v prípade stúpania je hodnota záporná, v prípade klesania je kladná). Pre lepšie pochopenie, ako spracovať tieto dáta, je potrebné vysvetliť, ako sa v Unity určuje poloha objektov v scéne.

## Práca s objektami v Unity

Na určenie pozície objektu je potrebné určiť, kde sa má objekt nachádzať, aká je jeho veľkosť a ako je otočený. V unity (podobne ako vo väčšine programov pracujúcich s 3D grafikou) sa používa viacero súradnicových systémov, ktoré navzájom spolupracujú za účelom simulovania virtuálneho 3D priestoru (scény). Tieto systémy sú 2 a to globálny a lokálny súradnicový systém. **Globálny súradnicový systém** je súradnicový systém samotnej scény. Počiatok je v strede scény a nie je možné meniť smer ani mierku s akou súradnice pracujú. **Lokálny súradnicový systém** udáva relatívnu pozíciu objektu vzhľadom na iný, nadradený objekt a jeho počiatok je na mieste, kde sa nachádza os otočenia nadradeného objektu. Smer a mierka s akou súradnice pracujú sú taktiež závislé na polohe a mierke nadradeného objektu. Rotácia objektu je určená pomocou **Eulerových uhlov**. Sú to 3 hodnoty a každá udáva otočenie okolo jednej z 3 osí (x, y, z). Napríklad vektor (0, 90, 0) udáva otočenie objektu o 90 stupňov okolo y osi. Tieto hodnoty môžu byť zadané lokálne (vzhľadom na iný objekt) alebo globálne podobne ako súradnice.

## Určenie polohy a otočenia dronu

**Otočenie dronu** (yaw, pitch, roll) netreba nijako transformovať, pretože používajú rovnaký formát ako ten, s ktorým pracuje Unity. Stačí podľa nich otočiť zrkadlový model dronu. Ďalšie údaje je však potrebné ďalej spracovávať. Výška dronu (parameter Altitude) môže mať dva formáty – nadmorská výška alebo relatívna výška od zeme. V prípade, že je prijatá **nadmorská výška**, je tento údaj prepočítaný pomocou nástroja Mapbox<sup>3</sup> na relatívnu výšku od zeme. Tento nástroj obsahuje funkciu, ktorá vráti nadmorskú výšku v bode zadanom GPS súradnicami. Následne sa iba vypočíta relatívna výška od zeme ako rozdiel parametru Altitude a hodnotou, ktorú vrátil nástroj Mapbox. V prípade, že dron odosiela údaje o relatívnej výške od zeme, nie je potrebné tento údaj nijako modifikovať. Aj napriek nepresnosti metódy určovania polohy pomocou GPS bola táto možnosť v aplikácii ponechaná a je možné prepínať medzi spôsobmi určovania polohy v nastaveniach. Poloha dronu teda môže byť určená dvoma spôsobmi – pomocou GPS a pomocou údajov z IMU.

Pri **určení polohy pomocou GPS** je najdôležitejší letový údaj prijatý zo serveru je GPS poloha dronu. Keďže GPS súradnice neodpovedajú súradniciam dronu v scéne aplikácie, je potrebné ich konvertovať do súradnicového systému aplikácie. Toto je možné tiež pomocou nástroja Mapbox, ktorý dokáže prepočítať zemepisnú dĺžku a šírku do súradníc scény tak, že najprv sa počiatočnému bodu so súradnicami 0,0,0 priradí určitá poloha v

---

<sup>3</sup><https://www.mapbox.com/>

GPS súradnicovom systéme a následne sa relatívne k nemu dá dopočítať akákoľvek pozícia dronu udaná dátami z GPS.

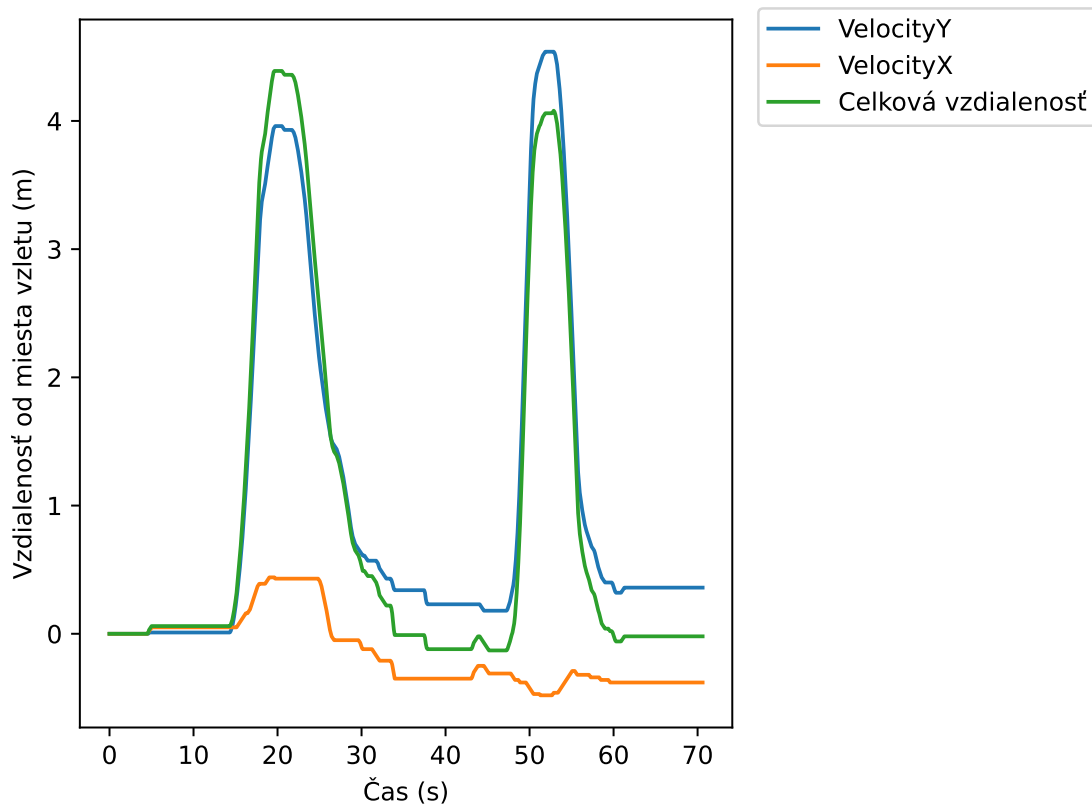
Určenie **polohy pomocou IMU** funguje na základe výpočtu z parametrov VelocityX a VelocityY. Parameter VelocityZ je možné odignorovať pretože pomocou neho je možné vypočítať výšku dronu, ktorá je už aj tak obsiahnutá v parametri Altitude. Poskytnuté údaje udávajú aktuálnu rýchlosť dronu v metroch za sekundu takže sa dá jednoducho vypočítať aktuálna poloha na základe týchto dát relatívne od počiatočného bodu pomocou rovnice

$$D_t = \sum_{i=0}^t V_i T \quad (6.1)$$

kde hodnota  $D_t$  predstavuje aktuálnu polohu dronu v čase  $t$ , vzhľadom k počiatočnej. Aktuálna poloha je vypočítaná ako súčet všetkých rýchlostí získaných zo serveru (parametre Velocity) vynásobených časovým intervalom odosielania nových dát z dronu. Keďže posledná poloha dronu je uložená, nie je potrebné ukladať všetky rýchlosti a nová pozícia sa dá zjednodušene vypočítať ako

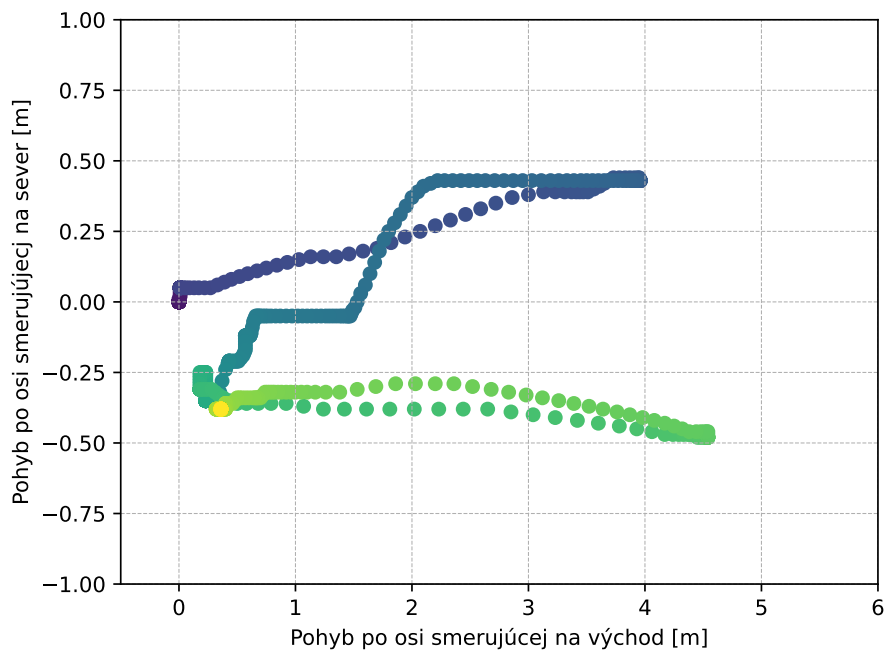
$$D_t = D_{t-1} + V_t T \quad (6.2)$$

kde  $D_{t-1}$  je predchádzajúca poloha a  $V_t$  je aktuálna rýchlosť prijatá zo serveru. Testovanie tohto spôsobu určovania polohy prebehlo tak, že sa dronom preletela vopred nameraná vzdialenosť 5 metrov smerom na východ a všetky letové údaje sa ukladali. Letelo sa na východ z toho dôvodu, aby bolo jednoduchšie znázorniť predenú vzdialenosť v grafoch. Následne sa uložené dáta vložili do vzorca 6.2 a vytvoril sa graf. Trasa k cieľu vzdialenému 5 metrov a naspäť na miesto vzletu bola vykonaná 2 krát a porovnaná s GPS dátami. Z uložených údajov boli vytvorené grafy pre lepšiu vizualizáciu presnosti.

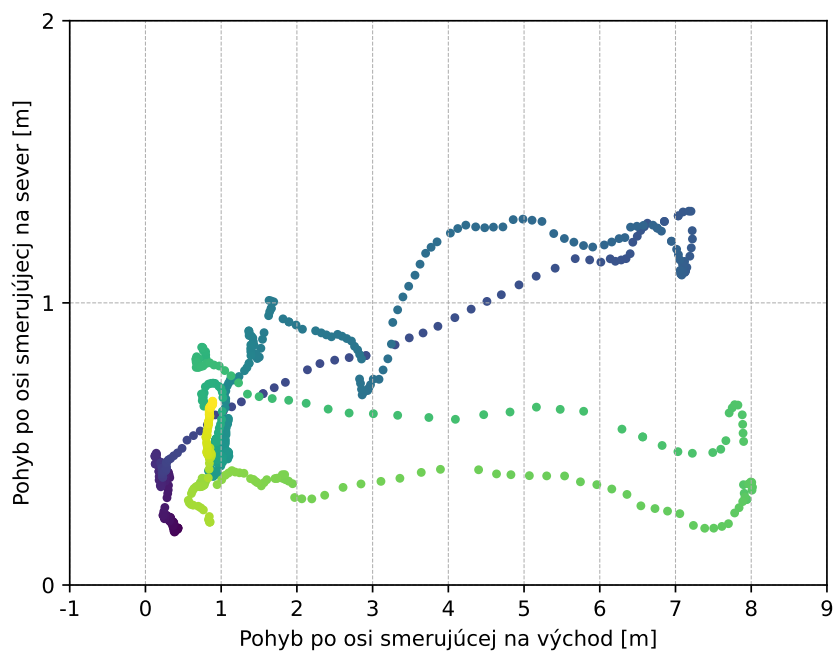


Obr. 6.2: Graf priebehu vzdialenosti dronu od miesta vzletu na základe výpočtu polohy z IMU podľa vzorcov spomenutých vyššie. Údaj VelocityZ bol odignorovaný pretože je z neho možné vypočítať výšku, ktorú aj tak nie je potrebné počítať a jej hodnota sa nachádza priamo v správe prijatej zo serveru.

Ako je možné vidieť na obrázku 6.2, celková vzdialenosť dosahuje hodnotu takmer 5 metrov. Hodnoty VelocityX a VelocityY predstavujú jednotlivé vzdialenosti od miesta vzletu v osiach X a Y v súradnicovom systéme N-E-D znázornenom na obrázku 5.7. Celková vzdialenosť je tým pádom súčet týchto 2 hodnôt v danom bode. Pre lepšiu predstavu boli vytvorené grafy na porovnanie trajektórie vypočítanej z IMU a trajektórie podľa prijatých GPS súradníc.



Obr. 6.3: Trajektória dronu vypočítaná na základe dát z IMU. Dron sa pohyboval smerom po X osi do vzdialenosti 5 metrov.



Obr. 6.4: Znáznornená trasa dronu pomocou GPS súradníc prijatých zo serveru. Graf ukazuje tú istú fyzickú trasu ako graf 6.3.



Pri porovnaní grafov 6.3 a 6.4 je možné vidieť veľké rozdiely ako v trajektórii, tak aj v celkovej vzdialenosti, ktorú dron prešiel. Čiastočne to mohlo byť zapríčinené nedostatočným GPS signálom ale tento fakt je ďalším dôvodom, prečo je oveľa vhodnejšie využívať primárne údaje o rýchlosti z IMU. Vďaka tomu je možné určiť polohu dronu aj v prípade nedostatočného alebo žiadneho GPS signálu.

Po prepočítaní polohy dronu do súradníc scény je možné na toto miesto presunúť všetky prvky zobrazujúce letové údaje. Následne je potrebné vypočítať vzdialenosť dronu od pilota na to, aby sa tieto prvky zobrazili v dostatočnej veľkosti a pilot mohol všetky údaje jednoducho prečítať. Ďalej je tiež potrebné, aby všetky prvky boli otočené smerom k pilotovi. Toto je docielené neustálím overovaním pozície kamery a teda aj pilota a následným otočením používateľského rozhrania tak aby jeho prvky smerovali k pilotovi.

## Zarovnanie otočenia scény

Indikátor dronu v podobe terča spolu s ostatnými prvkami používateľského rozhrania sa zobrazujú na miesto, kde sa nachádza samotný dron. Ako bolo spomenuté v sekcii 6.2, unity pracuje so svojim vlastným súradnicovým systémom a počiatok súradnicového systému je na tom mieste, na ktorom sa spustí aplikácia a tento bod sa už ďalej nedá zmeniť a rovnako to je aj s rotáciou kamery. Tá má vždy na začiatku túto hodnotu nulovú. Keďže letové údaje prijaté zo serveru, ktoré poskytujú horizontálne otočenie dronu udávajú odchýlku od geografického severu, je potrebné nejako „zosynchronizovať“ súradnicový systém reálneho sveta s tým, ktorý používa unity. Preto sa na vykreslenie indikátoru dronu spolu s ostatnými prvkami využíva rotačná matica, vďaka ktorej je možné otočiť ľubovoľný vektor o daný uhol:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

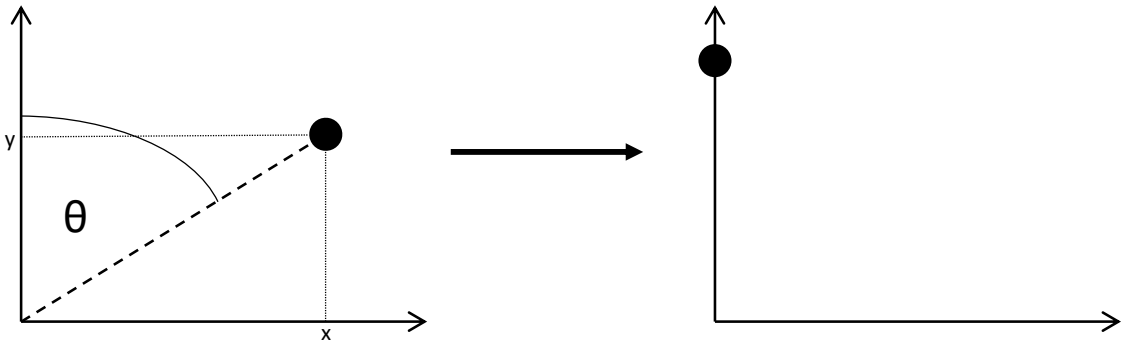
kde  $x'$  a  $y'$  je nový vektor, ktorý vznikne rotáciou pôvodného vektora  $(x, y)$  o uhol  $\theta$  radiánov. Zjednodušením matíc potom vzniknú 2 rovnice na výpočet oboch rozmerov nového vektora<sup>4</sup>

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' &= x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (6.4)$$

Údaje o otočení dronu prijaté zo serveru sú udané v stupňoch takže ich je potrebné pred dosadením do rovníc premeniť na radiány. Keďže  $\pi rad$  je 180 stupňov, je jednoduché odvodiť si rovnicu na prepočet stupňov do radiánov. Na prepočet je teda použitá rovnica  $x' = (\pi/180) * x$ , kde  $x$  je pôvodná hodnota v stupňoch a  $x'$  je hodnota v radiánoch. Pri stlačení tlačidla Set GPS sa vycentruje mapa a poloha dronu sa nastaví na počiatok. Do premennej RotationOffset, ktorá patrí triede Drone, sa uloží hodnota horizontálneho otočenia (yaw) dronu podľa dát prijatých zo serveru. Vďaka tomu bude možné zistiť, o koľko stupňov je potrebné otočiť scénu reálneho sveta spolu so samotným dronom tak, aby sa zlúčila s tou v Unity. Následne sa pri obdržaní nových letových údajov prepočítajú GPS súradnice prípadne dáta z IMU do súradníc scény. Avšak tieto súradnice treba ešte otočiť o hodnotu RotationOffset aby boli zarovnané s otočením scény aplikácie. Bod obdržaný transformáciou GPS údajov alebo výpočtom z IMU je transformovaný na 2D vektor s počiatkom v bode 0,0 a koncom v bode získanom z letových dát. Keďže výšku nie je potrebné nijako otáčať, môže sa tento rozmer odignorovať a vďaka tomu vznikne 2D vektor namiesto 3D vektoru. Následne sa tento vektor vloží do rotačnej matice a tá vráti hodnotu súradníc

<sup>4</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation\\_\(mathematics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rotation_(mathematics))

v súradnicovom systéme aplikácie. Z rovnakého dôvodu je potrebné upraviť aj horizontálne otočenie modelu dronu, ktorý sa nachádza pod indikátorom – hodnota yaw zo skutočného dronu môže byť x stupňov ale pri spustení aplikácie by mal byť zarovnaný s kamerou, čiže mať horizontálnu rotáciu 0 stupňov. Preto je od tohto otočenia potrebné odčítať `RotationOffset`.



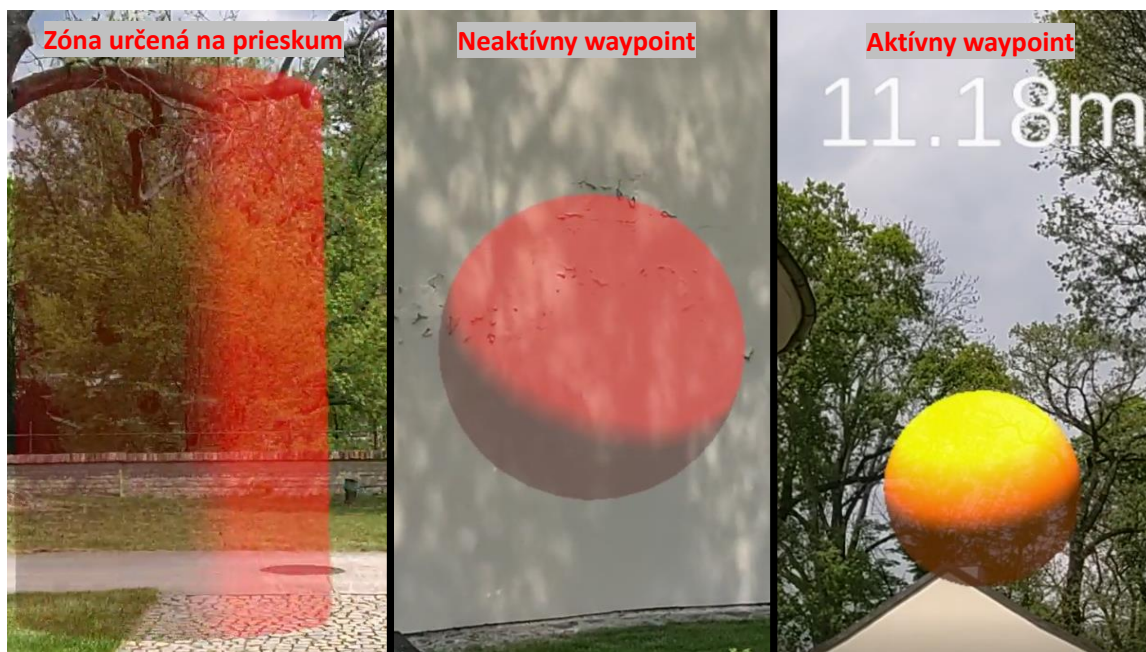
Obr. 6.5: Otočenie bodu so súradnicami  $[x,y]$  o  $\theta$  stupňov v prípade, že je hodnota `RotationOffset` rovnaká ako uhol  $\theta$ . Po rotácii sa tým pádom bod nachádza priamo na Y osi.

## Zobrazenie misie

Misia obsahuje určité body, ku ktorým sa má pilot s dronom dostať a tým vykonať určitú, vopred zadanú misiu. Taktiež sa v aplikácii zobrazia aj zóny. Tieto zóny môžu slúžiť buď na definovanie priestoru, do ktorého má dron zakázané vstúpiť, prípadne sa tento prvok môže použiť ako súčasť misie v prípade, že je potrebné napríklad preskúmať danú oblasť. Všetky prvky sú znázornené na obrázkoch 6.6 a 6.7. Na spravovanie misie slúži **MissionManager**, v ktorom sa pomocou parametrov dajú nastaviť farby jednotlivých prvkov misie. Ten po prvotnej kalibrácii pomocou `GPSManageru` vytvorí misiu v scéne. Vytvorí sa tým, že sa vygenerujú jednotlivé zóny a body letu. Misiu je možné kedykoľvek reštartovať pomocou tlačidla s názvom „Restart mission“, ktoré sa nachádza v nastaveniach. V prípade vytvárania **bodov trasy** (waypointov) je potrebné zadať GPS súradnice a relatívnu výšku od zeme. Následne sa objekt vytvorí ako guľa s polomerom 1,5 metra a prepočíta sa jeho poloha do súradnicového systému scény na miesto, kam sa umiestni. Po pridaní waypointu do scény sa celý objekt vloží do zoznamu, ktorý patrí triede `MissionManager`. Na vytvorenie **zóny**, ktorá je určená na prieskum je potrebné zadať GPS súradnice a polomer jej veľkosti. Tento prvok sa zobrazí vo forme valca s výškou 3 metre. Samotný waypoint a prieskumná zóna v sebe obsahuje informácie o svojej polohe, vykreslenom objekte v scéne a stave. Stav môže byť:

- Aktívny (Active) – v tomto prípade je bod zobrazený oranžovou farbou a značí aktuálny bod letu, kam sa dron musí dostať. V takomto stave sa vždy môže nachádzať iba jeden prvok misie.
- Neaktívny/nedosiahnutý (NotActive) – ak misia obsahuje väčšie množstvo bodov letu a nie všetky z nich už boli dosiahnuté, je takýto prvok zafarbený červenou farbou a signalizuje bod, na ktorý sa dron bude musieť dostať až po dosiahnutí niektorých predošlých aktívnych waypointov alebo zón.

Po dosiahnutí aktívneho cieľu sa automaticky tento objekt odstráni a ako aktívny sa označí nasledujúci.



Obr. 6.6: Zobrazenie jednotlivých prvkov misie. Indikátor vzdialenosti dronu od daného prvku sa nachádza iba na aktívnom prvku.

Objekt typu **bezletová zóna** (obr. 6.7) slúži na označenie určitého územia, a teda vytvorenie „steny“ signalizujúcej bezletovú zónu. Tento prvok je definovaný pomocou dvoch GPS súradníc – miesto, kde sa hranica začína a miesto, kde končí. Po zadaní súradníc je vytvorený objekt v scéne podobne ako pri bodoch letu a je znázornený červenou farbou.

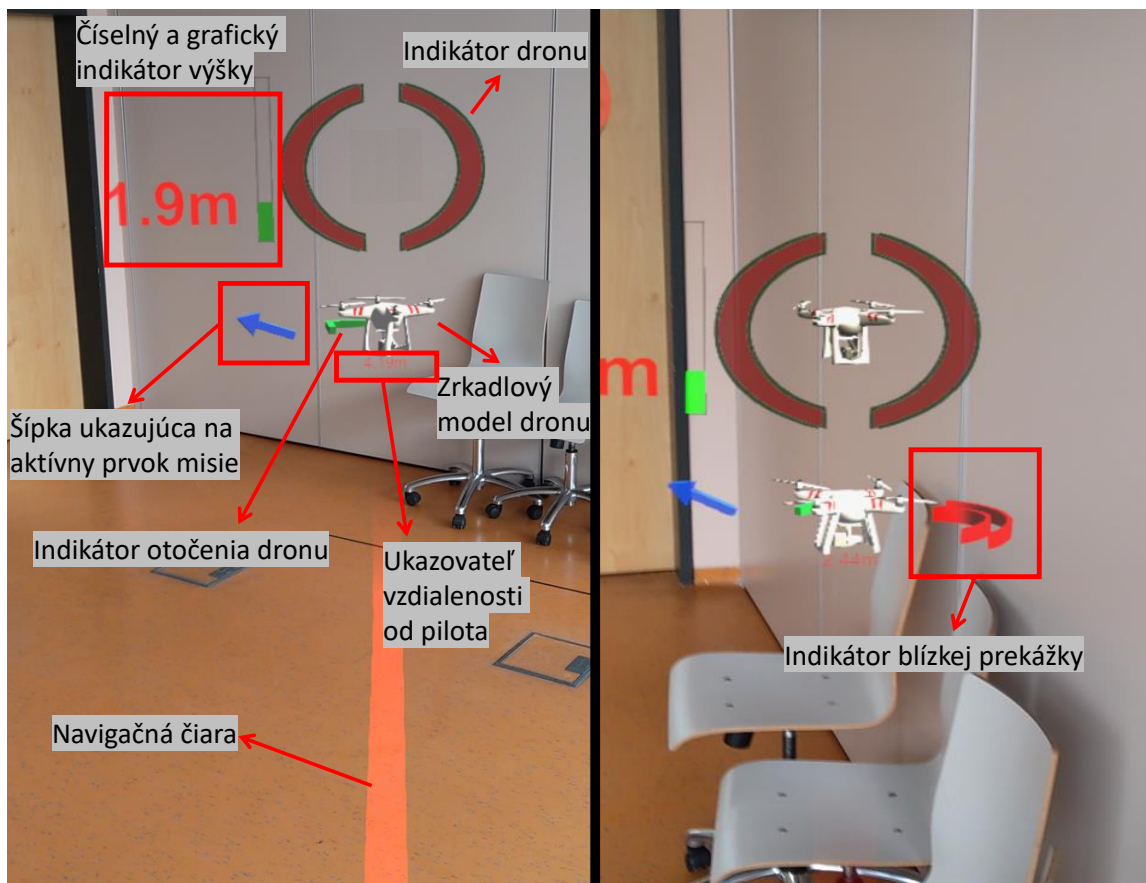


Obr. 6.7: Hranica bezletovej zóny označená červenou farbou.

Súčasťou prvkov misie je tiež zobrazenie vzdialenosti dronu od zóny, prípadne waypointu. Táto hodnota sa nachádza priamo nad samotným objektom a je vždy otočená smerom k pilotovi a jej veľkosť je dynamicky menená na základe vzdialenosti od používateľa tak, aby bola čitateľná aj v prípade vyšších vzdialeností. Zobrazovanie tejto informácie pre každý prvok misie sa ukázalo byť veľmi rušivé a zbytočné, nakoľko pilot sa sústreďuje v prvom rade na aktuálne aktívnu časť. Preto sa vzdialenosť dronu od objektu zobrazuje iba ak je daný objekt v aktívnom stave.

### 6.3 Prvky používateľského rozhrania

Všetky prvky sú uložené pod objektom HeadUpDisplay, ktorý mení svoju polohu zároveň s dronom. Vďaka tomu je potrebné meniť iba polohu dronu a prvky používateľského rozhrania sa presúvajú automaticky a jedine, čo je potrebné vyriešiť je ich otočenie smerom k pilotovi a zmenu veľkosti vzhľadom na vzdialenosť od pilota aby sa pri pohľade na ne zdala byť ich veľkosť konštantná aj keď sa neustále vzdalujú alebo približujú podľa toho ako letí samotný dron. Kvôli tomuto sa pri každej aktualizácii obrazu otočí objekt HeadUpDisplay smerom ku kamere a nastaví sa jeho mierka na hodnotu vzdialenosti pilota od dronu. Aplikácia používa prevažnú väčšinu prvkov z pôvodného riešenia, nakoľko už boli používateľsky testované. Prvky majú modifikované chovanie tak, aby spolupracovali s dátami zo serveru. **Indikátor výšky** zobrazuje výšku graficky a číselne. Graficky pomocou pásiku, ktorý sa sfarbuje podľa toho, ako blízko zeme sa dron nachádza a pod týmto pásikom sa nachádza presná hodnota výšky. **Zrkadlový model dronu** ukazuje jeho otočenie a náklon. Pre lepšiu predstavu otočenia dronu je na jeho prednej strane zobrazená zelená šípka. Tento prvok je veľmi užitočný v prípade, že sa dron nachádza vo väčšej vzdialenosti a pilot nedokáže voľným okom rozpoznať kam dron smeruje, čo by mohlo zapríčiniť nehodu. **Indikátor blízkeho objektu** signalizuje nebezpečenstvo v situácii, kedy je v blízkosti dronu nejaká prekážka. Nakoľko sa tu využíva hĺbková mapa vytvorená pomocou snímania prostredia cez Microsoft HoloLens 2, táto funkcia je neefektívna v prípade, že sa dron nachádza v prostredí, ktoré ešte nebolo zmapované. Pri signalizácii blízkej prekážky sa zobrazí značka pri zrkadlovom modeli dronu z tej strany, z ktorej sa objekt nachádza. **Indikátor dronu** je jeden z hlavných prvkov, ktorý ukazuje, kde konkrétne na oblohe sa dron nachádza. Je v podobe červeného terča a jeho poloha je vypočítaná na základe údajov či už z GPS alebo IMU. V prípade, že pilot stratí dron z dohľadu je celý čas vykresľovaná **navigačná čiara**, ktorá sa tiahne po zemi od používateľových nôh až k dronu a následne kolmo hore, tesne pod prvky používateľského rozhrania. Táto kolmá čiara sa však zobrazí, až od určitej výšky dronu, nakoľko je zbytočné ju vykresľovať pri nízkej výške kedy je viditeľná aj čiara na zemi. Okolo zrkadlového modelu dronu sa zobrazuje **modrá navigačná šípka**, ktorá ukazuje na prvok misie, ktorý sa nachádza v stave aktívny čiže miesto, kam sa má pilot s dronom dostať. Tento ukazovateľ pomáha hlavne v prípade, že misia obsahuje nejaké miesto, ktoré je vo veľkej vzdialenosti od pilota, kedy môže byť náročné určiť, akým smerom má dron letieť. Názorná ukážka týchto prvkov je na obrázku 6.8. Keďže okuliare Microsoft HoloLens 2 sú navrhnuté primárne na použitie v interiéri, testovaní v exteriéri boli tieto prvky veľmi slabo viditeľné a v prípade, že priamo svietilo slnko, väčšinu hologramov nebol takmer vôbec vidieť. Taktiež na priamom slnku mali okuliare problémy s orientáciou a rozpoznávaním gest rukou. Keďže táto aplikácia gestá rukou skoro vôbec nepoužíva, stačí iba zlepšiť viditeľnosť hologramov. Toto je jednoduché docieľiť pomocou slnečného filtra, ktorý sa na ne nasadí.



Obr. 6.8: Ukážka prvkov používateľského rozhrania. Fotografie boli vytvorené v laboratóriu bez reálneho dronu kvôli lepším svetelným podmienkam.

## 6.4 Ovládanie aplikácie

Pred spustením aplikácie je potrebné postaviť sa priamo nad dron tak, aby bol smer pohľadu používateľa zarovnaný s otočením dronu. Toto je potrebné kvôli tomu, že okuliare Microsoft HoloLens 2 nemajú v sebe zabudovaný kompas a preto nie je možné zistiť, na akú svetovú stranu je pilot otočený. Na druhej strane dron odosiela svoje údaje o horizontálnom otočení pomocou kompasu a preto je potrebné nejako zarovnať údaje o otočení prijaté zo serveru s údajmi o otočení aplikácie, ktoré sú získané zo senzorov Microsoft HoloLens 2. Preto je potrebné, aby otočenie kamery (hlavy používateľa) bolo nulové vtedy, keď je zarovnaná s dronom. Je to aj z toho dôvodu, že nie je možné programovo meniť pozíciu kamery<sup>5</sup>. Akonáhle je aplikácia načítaná, je potrebné otvoriť menu tým, že používateľ nasmeruje dlaň ruky smerom k tvári. Pomocou tohto gesta sa vedľa dlane zobrazia 4 tlačidlá. Prvé, „**Connect to server**“, slúži na pripojenie na vopred nastavený web socket server, na ktorý odosielané letové údaje dronu. Aplikácia sa ihneď pri spustení pokúsi pripojiť na server ale v prípade, že sa to nepodarí, je neskôr potrebné manuálne sa pripojiť na server pomocou tohto tlačidla. Pod ním sa nachádza možnosť s názvom „**set GPS**“, ktorá slúži na vycentrovanie mapy a zarovnanie otočenia scény s reálnym svetom. Tlačidlo „**Reconnect**“ slúži na znovu pripojenie na server v prípade nejakých problémov so serverom. Posledné

<sup>5</sup><https://forums.hololens.com/discussion/9068/replacing-hololens-camera-position>

tlačidlo „**Settings**“ slúži na otvorenie panelu s nastaveniami. Po stlačení sa zobrazí panel s ďalšími tlačidlami kde je možné nastaviť typ určovania polohy dronu – buď pomocou GPS alebo na základe výpočtov z dát z IMU modulu. Ďalej je možné zapnúť/vypnúť virtuálny model dronu, ktorý slúži hlavne na ladenie aplikácie. Taktiež je v nastaveniach možnosť nastavenia korekcie pri určovaní polohy dronu. V prípade, že sa poloha určuje pomocou GPS, táto korekcia značí minimálny náklon dronu v stupňoch. Ak dron dosiahne náklon, ktorý je zadaný v nastaveniach, zmení sa jeho poloha na základe GPS. Týmto sa minimalizuje odchýlka zapríčinená nepresným GPS modulom. V prípade, že sa poloha dronu určuje pomocou údajov z IMU, značí táto hodnota koeficient, ktorým sa vypočítaná hodnota pomocou vzorca 6.2 na určenie polohy na základe prijatých údajov z IMU vynásobí a pripočíta sa k pôvodnej hodnote. To znamená, že v prípade, že toto nastavenie má hodnotu 0,5, bude výsledná poloha spočítaná ako 1,5 násobok pôvodného vektora prijatého zo serveru a predchádzajúcej polohy. Ďalej sa v nastaveniach nachádza možnosť reštartovania misie. Po stlačení tohto tlačidla sa nastavia všetky waypointy okrem prvého v zozname ako neaktívne. Prvý sa nastaví do stavu aktívny.

Po kalibrácii GPS súradníc sa spustí misia (ak bola nejaká definovaná) a zobrazia sa body znázorňujúce trasu letu s príslušnými stavmi spolu so zónami a pilot môže začať let s dronom.

## 6.5 Rozšírenie do budúcnosti

Počas implementácie bola snaha prenášať **živý prenos z kamery dronu** do aplikácie tak, aby používateľ mal úplne všetko potrebné na let s dronom zobrazené pomocou hologramov v Microsoft HoloLens 2 a tým bola ešte viac minimalizovaná potreba pilota skloniť hlavu k ovládaču. Pôvodne bol prenos odosielaný z android aplikácie DJI Streamer na server pomocou protokolu RTMP. Prenos dát pomocou tohto protokolu je však značne pomalý a spôsoboval by príliš veľké oneskorenie. Toto by mohlo viesť k nehode v prípade, že pilot ovláda dron iba na základe obrazu z kamery. Preto je prenos obrazu na serveri konvertovaný do UDP prenosu, kde je možné s ním ďalej pracovať. Tento stream je prenášaný pomocou UDP paketov, ktoré sa vyznačujú veľkou rýchlosťou za cenu možnej straty dát, čo je pri prenose videa zanedbateľné, nakoľko sa jedná o stratu pár pixelov, čo sa prakticky nedá postrehnúť. Následne by sa tieto UDP pakety pomocou nástroja GStreamer<sup>6</sup> priamo tejto aplikácii prekonvertovali na obraz, ktorý by sa zobrazil na plátno. Pri pokuse o takúto implementáciu nastal problém pretože balíček na import tohto nástroja do Unity nebol pre verziu GStreamer, ktorá by podporovala ARM architektúru procesoru, ktorý je použitý v Microsoft HoloLens 2. Preto by bolo vhodnejšie zvoliť iný nástroj alebo protokol na prenos, ktorý by bol kompatibilný s Microsoft HoloLens 2 avšak na túto implementáciu už nezostal čas.

Ako bolo spomenuté v kapitole 3, okuliare Microsoft HoloLens 2 disponujú kamerou zachytávajúcou viditeľné svetlo. Práve vďaka nej by bolo možné použiť **rozpoznávanie obrazu** na spresnenie určovania polohy dronu, prípadne na korekciu chyby, pri výpočte polohy na základe údajov z IMU. Táto chyba sa môže prejaviť po určitom čase alebo v prípade, že dron príliš rýchlo mení smer a hodnoty z akcelerometrov nie sú dostatočne presné na výpočet polohy. Táto metóda bola využitá v práci An Intuitive System for Single-Handed Gesture Control, Drone Tracking, and Contextualized Camera Feed Visualization in Augmented Reality [11], kde bola odchýlka pri určení polohy dronu odstránená tým, že sa

<sup>6</sup><https://gstreamer.freedesktop.org/>

každých pár sekúnd upravila poloha dronu na základe rozpoznávania obrazu, kedy algoritmus rozpoznal, v akej časti obrazu snímaného RGB kamerou sa dron nachádza a podľa toho bolo možné upraviť jeho pozíciu. Avšak táto metóda funguje iba vo vzdialenosti do 5 až 10 metrov pretože vo väčšej diaľke už nie je možné pomocou algoritmu na rozpoznávanie obrazu rozpoznať dron. Vo väčších vzdialenostiach už aj tak nie je potrebná tak presná poloha dronu pretože je dron vo väčšej diaľke od pilota a tým pádom sa tieto nepresnosti nebudú prejavovať až v takej veľkej miere, ako by to bolo vo vzdialenosti pár jednotiek metrov od pilota.

# Kapitola 7

## Záver

Cieľom tejto práce bolo implementovať funkčné používateľské rozhranie pre pilota dronu, ktoré mu uľahčí jeho prácu tým, že sa letové údaje zobrazia priamo na oblohu, na miesto, kde sa aktuálne samotný dron nachádza spolu so zobrazením jednotlivých cieľov a iných prvkov misie ako je napríklad bezletová zóna.

Aplikácia zobrazuje letové údaje potrebné na bezpečné ovládanie dronu spolu s prvkami misie ako sú body letu, zóny na preskúmanie alebo označenie bezletovej oblasti. Prvky boli otestované v reálnom prostredí a upravené tak, aby boli čo najviac intuitívne. Výsledná aplikácia nie je dokonalá a je značne limitovaná dostupnými technológiami, hlavne v prípade zobrazovania rozšírenej reality. Keďže Microsoft HoloLens 2 sú navrhnuté primárne na použitie v interiéri, ich použitie na priamom slnku je takmer nemožné pretože hologramy sú veľmi ťažko pozorovateľné a to aj pri najvyššom možnom jase displeja a preto je potrebné použiť nejaký svetelný filter.

Jednou z najdôležitejších vlastností bolo to, aby sa prvky používateľského rozhrania zobrazovali priamo na mieste, kde sa dron nachádza. Ak by boli tieto prvky zobrazené mimo reálny dron, bolo by takmer nemožné túto aplikáciu používať, nakoľko by pilot mohol veľmi rýchlo stratiť orientáciu. Pri testovaní sa však zistilo, že princíp určovania polohy dronu pomocou údajov z GPS a tým pádom aj umiestňovania týchto prvkov je veľmi nepresný a preto bolo potrebné preskúmať letové údaje a vymyslieť iný spôsob. Pri analýze zaznamenaných súradníc z testovania bolo zistené, že maximálna odchýlka bola približne 2,5 metra. Preto bol na lokalizáciu dronu zvolený spôsob výpočtu polohy na základe dát z akcelerometra. Táto technika sa v porovnaní s pôvodnou metódou ukázala byť omnoho presnejšia.

V práci by sa mohlo pokračovať pridaním záznamu z videokamery dronu do aplikácie. Tento prvok je jediný, ktorý ešte stále núti pilota pozerať na ovládač. Určovanie pozície dronu ešte stále nie je úplne dokonalé, preto by bolo vhodné preskúmať a implementovať korekciu napríklad pomocou rozpoznávania obrazu.



# Literatúra

- [1] AGARWAL, C. a THAKUR, N. The evolution and future scope of augmented reality. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*. 1. vyd. Citeseer. 2014, zv. 11, č. 6, s. 59.
- [2] AHIRWAR, S., SWARNKAR, R., BHUKYA, S. a NAMWADE, G. Application of Drone in Agriculture. *International journal of current microbiology and applied sciences*. 1. vyd. 2019, zv. 8, č. 1, s. 2500–2505. ISSN 2319-7692.
- [3] ARREOLA, L., OCA, A. Montes de, FLORES, A., SANCHEZ, J. a FLORES, G. Improvement in the UAV position estimation with low-cost GPS, INS and vision-based system: Application to a quadrotor UAV. In: *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. IEEE, 2018, s. 1248–1254. ISBN 1538613549.
- [4] BILLINGHURST, M., CLARK, A. a LEE, G. A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*. 2015. ISSN 1551-3955.
- [5] BIMBER, O. a RASKAR, R. Modern approaches to augmented reality. In: *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*. 2006, s. 1–es.
- [6] BUREAU, D. *VIRTUAL RETINAL DISPLAY: Your Eye Is The Screen* [online]. 2004 [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.dqchannels.com/virtual-retinal-display-your-eye-is-the-screen>.
- [7] CARMIGNIANI, J., FURHT, B., ANISETTI, M., CERAVOLO, P., DAMIANI, E. et al. Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia tools and applications*. Springer. 2011, zv. 51, č. 1, s. 341–377.
- [8] CORTES, G., MARCHAND, E., BRINCIN, G. a LÉCUYER, A. MoSART: Mobile Spatial Augmented Reality for 3D Interaction With Tangible Objects. *Frontiers in Robotics and AI*. 2018, zv. 5. DOI: 10.3389/frobt.2018.00093. ISSN 2296-9144. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2018.00093>.
- [9] HEDAYATI, H., WALKER, M. a SZAFIR, D. Improving collocated robot teleoperation with augmented reality. In: *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. 2018, s. 78–86.
- [10] KERN, J., WEINMANN, M. a WURSTHORN, S. PROJECTOR-BASED AUGMENTED REALITY FOR QUALITY INSPECTION OF SCANNED OBJECTS. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2017, zv. 4.

- [11] KONSTANTOUDAKIS, K., CHRISTAKI, K., TSIKMAKIS, D., SAINIDIS, D., ALBANIS, G. et al. Drone Control in AR: An Intuitive System for Single-Handed Gesture Control, Drone Tracking, and Contextualized Camera Feed Visualization in Augmented Reality. *Drones*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2022, zv. 6, č. 2, s. 43.
- [12] LIU, C. a SHEN, S. An Augmented Reality Interaction Interface for Autonomous Drone. In: IEEE. *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2020, s. 11419–11424.
- [13] MILGRAM, P., TAKEMURA, H., UTSUMI, A. a KISHINO, F. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: *Proceedings of SPIE*. SPIE, 1995, sv. 2351, č. 1, s. 282–292. ISBN 9780819416865.
- [14] NONAMI, K. Research and Development of Drone and Roadmap to Evolution. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2018, zv. 30, č. 3, s. 322–336. DOI: 10.20965/jrm.2018.p0322.
- [15] PAPAGIANNIS, H. *Augmented human: How technology is shaping the new reality*. O'Reilly Media, Inc.", 2017.
- [16] ROLLAND, J. P., HOLLOWAY, R. L. a FUCHS, H. Comparison of optical and video see-through, head-mounted displays. In: *Proceedings of SPIE*. SPIE, 1995, sv. 2351, č. 1, s. 293–307. ISBN 9780819416865.
- [17] SCHMALSTIEG, D. *Augmented reality : principles and practice*. Addison Wesley: Boston, 2016. ISBN 978-0-321-88357-5.
- [18] SILVA, R., OLIVEIRA, J. C. a GIRALDI, G. A. Introduction to augmented reality. *National laboratory for scientific computation*. 2003, zv. 11.
- [19] VÁCLAVÍK, M. *Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft Hololens 2*. Brno, CZ, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/23524/>.

# Príloha A

## Obsah priloženého média

- xkyjac00.pdf – Text práce.
- tex/ – L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X zdrojové súbory.
- src/ – Zdrojvé súbory aplikácie.
- video.mp4 – Video ukážka aplikácie.