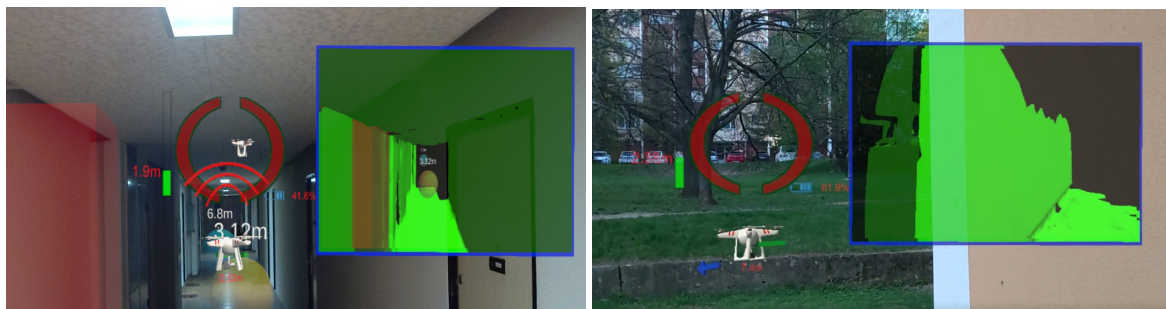


Vizualizační nástroj pro pilota dronu v Microsoft HoloLens 2

Václavík Marek



Abstrakt

Ovládání dronu může být nelehký úkol a spolu s rozrůstající se škálou využití a zájmem o tyto bezpilotní letouny, se zvedá zájem i o dokonalejší a vyspělejší nástroje určené k jejich ovládání. V mnoha odvětvích se na repetitivní úkoly dronu využívají auto-pilotní programy, které zajistí určitou míru automatizace. Zůstává stále mnoho situací, kdy je zapotřebí ovládat drona manuálně, tedy s přítomností osoby, která letoun ovládá. Takový pilot je právě nejvíce závislý na nástroji, který k ovládaní dronu využívá a ve většině případů nepotřebuje pouze drona ovládat, ale mít dostatek údajů jak o letounu, tak o jeho okolí. Běžně využívané aplikace tyto údaje zobrazují operátorovi na displej zařízení, což způsobuje určitou míru dezorientace pro pilota, který je nucen přepínat mezi těmito kontexty. Cílem této práce je prozkoumat možnost využití rozšířené reality, jakožto prostředí pro nástroj ulehčující pilotovi s dronem operovat a plnit různá zadání.

Pro zobrazení rozšířené reality jsou použity brýle Microsoft HoloLens 2, které v rámci vyvinuté aplikace v reálném čase zobrazují informace potřebné k ovládání dronu a zvládnutí různých úkonů přímo do prostoru k dronu na obloze, čímž se minimalizuje nutnost přepínání kontextu.

Klíčová slova: Microsoft HoloLens 2 — ovládání dronů — navigační prvky

Příložené materiály: Demonstration Video — [Downloadable Code](#)

*xvacla26@fit.vutbr.cz, *Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně*

1. Úvod

Ačkoliv jsou s námi drony již více než sto let, jejich vývoj se stále nezpomaluje a jejich využití zasahuje stále více odvětví. První bezpilotní letouny byly využívány především ve vojenském průmyslu, ale dnes se s nimi můžeme setkat na mnoha místech, jako například ve filmovém průmyslu pro natáčení, využívají je záchranné složky, ať už při prohledávání určité oblasti, hledání lidí nebo monitorování požárů a jeho ohnisek. Ve vyspělejších zemích se můžeme

setkat i s drony v zemědělství, využitých například pro monitorování úrody nebo při automatizovaném postřikování plodin [1]. Díky vývoji dronů a jejich lepší cenové dostupnosti si drony pořízují i lidé do domácností pro rekreační využití, ať už pro zábavu, jakožto hračky nebo jako nástroje pro pořizování snímků či videí z oblohy [2].

Drony se tedy dělí dle jejich využití, od čehož se odvíjí také jejich výbava nebo vlastnosti. Mezi nejvíce využívaný typ patří tzv. průzkumný dron, do jehož výbavy patří nejméně jedna kamera, ať už klasická

video kamera nebo termokamera. Možností využití tohoto typu dronu je nespočet, ale ve většině případů nelze využít auto-pilotní způsob řízení a je proto nutno tyto letouny ovládat manuálně [2, 3].

Spolu s rostoucím zájmem o drony souvisí i neustálý vývoj nástrojů určených k jejich ovládní, ty se zaměřují především na to, aby pilot mohl letoun co nejsnadněji a nejefektivněji ovládat.

Mezi hlavní problém těchto nástrojů patří především to, že pilot nemůže zároveň sledovat dron na obloze a současně sledovat kamerové záběry drona nebo jiné důležité informace pro jeho ovládní. Uživatel je tedy nucen přepínat mezi těmito kontexty, čímž se u něj může projevit určitá míra dezorientace, vedoucí v některých případech až k zřícení letounu [4]. To vedlo ke vzniku myšlenky, ze které vychází tato práce, kdy se pomocí rozšířené reality pokoušíme dezorientaci eliminovat zobrazováním informací přes brýle přímo do pilotova pohledu na drona. Tato práce má za cíl vytvořit nástroj, který by eliminoval problém přepínání kontextu tím, že by pomocí brýlí pro rozšířenou realitu, operátorovi zobrazoval informace potřebné pro pilotování přímo do pracovního prostoru drona.

Nejdříve bylo zapotřebí zanalyzovat GUI běžně používaných aplikací a zjistit jaké informace jsou předávány pomocí něj uživateli. Byla navržena aplikace pro rozšířenou realitu, do které byly převedeny tyto prvky, tak aby byly vhodně zobrazovány a dostatečně intuitivní pro uživatele. Bylo otestováno několik způsobů zobrazení těchto informací a jejich umístění a nástroj si prošel několika úpravami.

Později bylo přidáno několik dalších prvků zlepšujících přehled operátora o dronu, jeho okolí a úkolech které potřebuje splnit. Funkční aplikace byla otestována několika uživateli, kteří plnili testovací úlohy a následně hodnotili aplikaci pomocí dotazníku.

2. Existující řešení

Technologie, která by umožňovala uživateli v reálném čase do jeho pohledu zobrazovat rozšířenou realitu je momentálně méně dostupná. Na trhu se nachází pouze několik typů těchto zařízení a jejich cena je pro běžného uživatele příliš vysoká. Z tohoto důvodu se na trhu nenachází aplikace stejného typu jako ta, která je vyvíjena v rámci této práce.

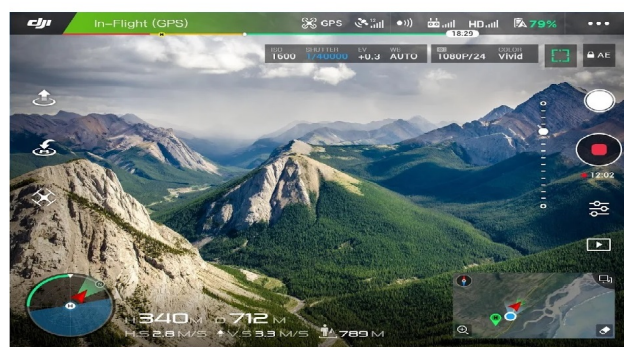
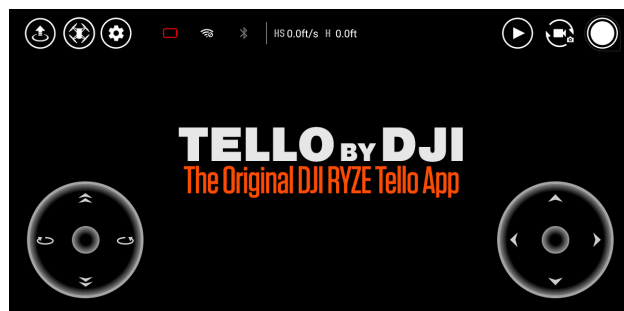
K této práci byly nalezeny a využívány poznatky dalších vědeckých skupin, jejichž práce se zabývaly podobnou problematikou. Mimo jiné potvrzují teorii tohoto nápadu, že využití rozšířené reality při dálkovém ovládní robotů zlepšuje lidskou schopnost robota ovládat [5] a snižuje mentální vytížení operátora [6]. Jako další opora pro tuto práci posloužily články [3, 7],

kteří se mimo jiné zabývají komunikací mezi operátorem a dronem za využití rozšířené reality.

2.1 Zkoumané aplikace

Existuje však na trhu poměrně velká škála aplikací pro chytrá zařízení, které umožňují uživateli bezdrátově se připojit k dronu, ovládat ho, sledovat či nahrávat záběry z jeho kamery a zobrazují jeho letová data. Tyto aplikace jsou většinou volně dostupné nebo dodávané spolu s dronem.

Jednou z nich je například „Tello“ (viz obrázek 1) od společnosti DJI, která posloužila jako první zkoumaná aplikace. Druhá aplikace od stejné společnosti, u které byly pozorovány vizualizační prvky pro pilota, se jmenuje „DJI GO 4“ (viz obrázek 1). Nástroj DJI GO 4 je opět volně dostupný pro chytrá zařízení, ale oproti předchozí aplikaci je o něco komplexnější a je určený pro vyspělejší drony a nabízí tedy i více funkcí.



Obrázek 1. Nahoře: aplikace Tello ¹. Dole: aplikace DJI GO 4 ².

Tyto aplikace a další podobného typu mají vesměs stejnou strukturu. Obsahují ovládací a informační prvky, které umožňují intuitivní ovládní letounu a přehled o jeho stavu a poloze. Virtuální joysticky slouží k řízení pohybu dronu do všech směrů, k jeho otáčení a případně i k otáčení kamery. Pomocí ikon na displeji je možné přepnout režim kamery na nahrávání, nebo pořizovat jednotlivé snímky. Pro lepší orientaci v terénu je možné využít zmenšené satelitní mapy v pravém dolním rohu

¹<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.-ryzerobotics.tello&hl=cs&gl=US>

²<https://play.google.com/store/apps/details?id=dji.go.v4&hl=cs-&gl=US>

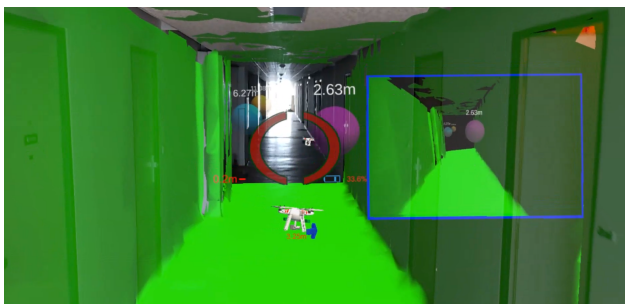


Obrázek 2. Komponenty navrženého systému pro vizualizaci letových dat dronu. **Nahoře:** Dron Tello Ryze. **Vlevo dole:** Brýle Microsoft Hololens 2. **Vpravo dole:** Bezdrátový ovladač pro Xbox One.

obrazovky. Na ní lze vidět, jakým směrem se dron pohybuje směrem od pilota. Další prvek, který informuje o tom, kde se dron nachází v prostoru je výškoměr, který udává výšku letounu nad zemí. V horní části displeje jsou vyobrazeny základní ukazatele, jako je síla signálu a stav baterie.

3. Architektura řešení

Architektura aplikace je tvořena třemi základními komponenty, které jsou zobrazeny na obrázku 2. Uživatelské rozhraní bylo implementováno pomocí herního engine Unity a nasazeno jako aplikace, která běží na zařízení Microsoft Hololens 2. Tyto brýle jsou schopny uživateli v reálném čase zobrazovat virtuální obsah do reálného prostředí [8] a zároveň za pomoci několika kamer sledovat jeho okolí. Tyto kamery pomocí technologie „Spatial mapping“ [9] skenují okolí uživatele a vytváří 3D mapu okolních objektů a zdí (viz. obrázek 3). Tato technologie je využívána v tomto projektu pro zjištění různých překážek, se kterými by mohl dron přijít do kolize.



Obrázek 3. HoloLens snímají okolí a vytváří 3D mapu prostředí, která je využita pro virtuálního drona na detekci překážek a zároveň jako prostředí pro virtuální kameru

Dron vrací informace o své poloze a o svém stavu do brýlí a aplikace s těmito informacemi pracuje a vhod-

ným způsobem je vizualizuje uživateli. Při testování s dronem však nebyla zajištěna dostatečná přesnost detekce jeho pohybu a vznikala špatná synchronizace pohybu skutečného drona a jeho zrcadlového modelu v aplikaci. Práce se zaměřuje především na vizualizaci informací pilotovi, a proto byl prozatím skutečný dron nahrazen jeho simulací.

Uživatel tohoto simulovaného drona ovládá pomocí bezdrátového Xbox One ovladače, jehož joysticky a tlačítka kopírují funkčnost ovládacích prvků dostupných v dříve zmíněných aplikacích 1 a byla přizpůsobena i jejich citlivost tak, aby odrážela pohyby skutečného drona.

Aplikace mimo jiné využívá sadu „Mixed Reality Toolkit“, což je open-source multiplatformní vývojářský nástroj pro aplikace se smíšenou realitou. MRTK obsahuje mnoho komponent sloužících k rychlejšímu vývoji aplikací právě například i pro Hololens 2.

4. Rozhraní pro řízení drona

V této části je popsáno navržené rozhraní, které se skládá z několika klíčových komponent pro zobrazení letových dat, prvků mise, obrazu z kamery a dalších.

4.1 Jednotlivé komponenty rozhraní

Na obrázku 4 je vidět náhled uživatelského rozhraní, které se zobrazuje do uživatelského pohledu. Skládá se z několika komponent a snaží se intuitivně předat uživateli informace o dronu a letových datech. Prvky byly navrženy tak, aby byly co nejvíce minimalistické a přitom dostatečně intuitivní pro uživatele.

Kolem pozorovaného drona se vykresluje **terč**, který pomáhá uživateli lokalizovat drona i v případě, že by ho nemohl vidět, například by byl ve velké dálce nebo by něco překázelo jeho přímému vidění.

Šipka směru (viz. obrázek 5) pomáhá uživateli lokalizovat drona, pokud se zrovna nenachází v jeho pohledu tím, že ukazuje kterým směrem se má otočit aby měl pozorovaného drona ve svém pohledu.

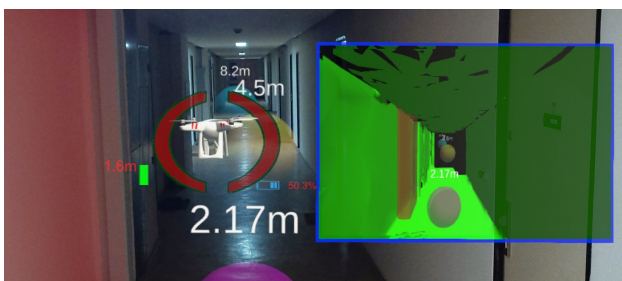
Pomocný model dronu je vykreslován pod terč a kopíruje vlastnosti skutečného dronu. Tento dron se ve scéně nepohybuje, resp. je připevněn k terči a slouží k tomu, aby uživatel mohl vidět jak se skutečný dron pohybuje, kterým směrem je natočený a jak daleko od uživatele se nachází. K tomuto dronu je také vizualizováno **upozornění na nebezpečí**, které uživateli sdělí, že se v jeho blízkosti nachází objekt u kterého hrozí kolize. **Upozornění na nebezpečí** také zobrazuje v kterém směru se překážka nachází a také jak moc blízko se k ní nachází. Modrá šipka vizualizuje směr a intenzitu pohybu drona.



Obrázek 4. Detail vizualizace letových dat a informací o dronu. Uprostřed se nachází pilotovaný dron, kolem kterého se vykresluje terč, který ukazuje, kde v uživatelském pohledu se dron nachází. Nalevo od terče se nachází výškoměr, napravo malý indikátor baterie a obraz kamery. Pod terčem se nachází pomocný model dronu, který ukazuje aktuální natočení pilotovaného dronu, jeho vzdálenost od uživatele a indikátor nebezpečí.



Obrázek 5. Pokud se terč nachází mimo pole uživatele (šedá zóna), zobrazí se uživateli navigační šipka ukazující směr, kterým se terč nachází.



Obrázek 6. Při létání v bezprostřední blízkosti pilota se uživatelské rozhraní adaptuje a zobrazuje jen nutné informace. Není potřeba zobrazovat například pomocný model dronu. Ten se zobrazí až při větších vzdálenostech.

Výškoměr se nachází na levé straně terče a uka-

zuje výšku, kterou dron má vzhledem k nejbližší překážce pod ním. Barevně taktéž indikuje, zdali se dron nachází v dostatečné výšce (zelená) nebo se blíží k zemi (červená) a hrozí pád dronu. **Indikátor baterie** je malá ikonka na pravé straně terče a udává procentuální stav baterie. V případě nízké hodnoty baterie je uživatel varován, jelikož mu hrozí ztráta kontroly nad dronem.

4.2 Obraz kamery

Jednou z nejdůležitějších informací pro pilota průzkumného letounu je **obraz kamery**, proto jeho umístění musí být patřičně zvaženo. V základu existují 3 možnosti kde uživateli obraz z kamery v rozšířené realitě zobrazit. Jednou z možností, je využití tzv. „Frustum“, kdy uživatel vidí zorné pole kamery dronu reprezentované komolým jehlanem, který přiléhá na plochu, kterou kamera sleduje. Dalšími možnostmi je obraz zobrazovat fixně k letounu a nebo ho připevnit do zorného pole uživatele.

Výhodami a nevýhodami těchto možností se podrobně ve své studii zabývá Hedayati a spol. [4]. Na základě výsledku jejich experimentů vyplývá, že efektivnost výběru umístění obrazu kamery se odvíjí od typu úkolu, který uživatel s dronem plní. Zobrazení obrazu způsobem „Frustum“ se dle experimentů [4] jeví jako nejlepší způsob, pokud je cílem úlohy co nejpresněji vyfotit určitou plochu. Nicméně je tento způsob nejméně využitelný v praxi, jelikož není vhodný pro větší vzdálenosti a na nerovných plochách by se

neadekvátně zobrazoval. V celkové účinnosti a jednoduchosti pro uživatele se dle experimentů nejlépe jeví zbylé 2 způsoby a oba byly implementovány v tomto nástroji. Uživatel si tedy může vybrat, zdali bude vidět záznam z kamery vedle drona nebo jestli bude staticky v jeho zorném poli, nezávisle na pohybu drona. Mezi těmito způsoby může přepínat pomocí ovladače. Jelikož nástroj není propojen s reálným dronem, záznam z kamery je schopný zobrazovat pouze virtuální prvky scény. Uživatel tak vidí pouze prostředí, které nasnímaly brýle pomocí technologie „Spatial mapping“ a je zobrazováno jako 3D mapa. V tomto prostředí se také nachází avatar, reprezentující polohu uživatele a prvky mise ulehčující operátorovu orientaci při plnění úloh.

4.3 Prvky mise

Nástroj také obsahuje vizualizaci „kontrolních bodů“, které slouží k určování trasy dronu při plnění testovacích úloh. Uživatelé mají za úkol těmito body prolétat, a tím se diriguje jejich trasa letu. Tyto body jsou viditelné jak pro uživatele tak i pro kameru dronu a ukazují vzdálenost drona od těchto bodů. Dále se při úlohách využívají vizualizované překážky, ať už jako nepohyblivé objekty nebo jako zóny, do kterých uživatel nesmí zaletět.

4.4 Problémy s prostorovým viděním

Při umístění jednotlivých vizuálních prvků do uživatelského pohledu muselo být pohlíženo na biologickou funkci očí a na jejich nedokonalost. Člověk se totiž, v jednu chvíli, svým zrakem nedokáže zaměřit na více od sebe vzdálených objektů. Proces, kdy se oko snaží zaostřit právě na jeden objekt se nazývá „akomodace oka“.

U různých živočichů se tato schopnost liší, u lidí je způsobena změnou optické mohutnosti oční čočky a změna akomodace mezi různě vzdálenými objekty trvá přibližně 1 vteřinu [10]. Tato skutečnost byla brána v potaz při umístění jednotlivých vizuálních prvků v HUD displeji, jelikož jejich rozložení může mít negativní vliv na uživatelskou námahu očí a soustředěnost. [11].

Proto byly jednotlivé prvky umístěny tak, aby byla zajištěna co nejmenší zátěž na uživatele a jeho zrak.

5. Adaptace na venkovní prostředí

Aktuálně je nástroj v rámci této práce vyvíjen pro použití ve vnitřních prostorách, kdy je využívána technologie „Spatial mapping“, pro rychlou detekci překážek nacházejících se v blízkosti uživatele.

Aplikace však počítá i s přechodem z experimentálního prostředí do venkovního, kdy je ale potřeba pomýšlet na několik faktorů, které by u vnitřního řešení nefungovaly. Technologie „Spatial mapping“ se nedá u venkovního létání efektivně využít, jelikož efektivní dosah hloubkových kamer těchto brýlí je přibližně 3m [9]. Tato technologie by tedy musela být nahrazena jinou alternativou jako například offline 3D modelem map. Jeden z dalších problémů, který ve venkovním prostředí vzniká je různě velká síla osvětlení sluncem, která může způsobit špatnou viditelnost hologramů v brýlích a musela by se řešit nějakým slunečním filtrem, který by toto osvětlení redukoval.

6. Testování

S dosažením funkční aplikace se mohlo přejít k jejímu testování na uživatelských a k vyhodnocení její použitelnosti. Nejprve bylo zapotřebí, aby se uživatelé seznámili s brýlemi a naučili se s nimi interagovat. Následně jim byl ukázán simulátor drona a jeho ovládání.

Uživatelé během testování měli za úkol splnit 2 úlohy s využitím aplikace a následně vyplnit krátký dotazník. Úlohy byly vytvořeny tak, aby byly zvládnutelné v krátkém čase a nevyžadovaly velkou zručnost nebo zkušenost s ovládáním dronů.

První testovací úloha sloužila k seznámení uživatele se simulátorem drona a s HUD displejem a jeho komponentami. Úkolem bylo pouze s dronem proletět několika předem přichystanými body následně se otočit a vrátit se na začátek letu. Uživatel si tímto úkolem osvojil základní manévry potřebné pro létání s dronem a seznámil se vizualizačními prvky v HUD displeji.

Úkolem uživatele při druhé úloze bylo opět proletět s dronem několika předem přichystanými body, s tím rozdílem, že se bylo zapotřebí úspěšně vyhnout několika překážkám. Trasa letu v tomto úkolu byla o něco náročnější než při předchozím úkolu, aby operátora nabádala k využití navigačních prvků a ukazatele nebezpečí poukazující na možný střet s překážkou nebo stěnou.

V rámci testování byl využit dotazník „User Experience Questionnaire“ (UEQ) [12], jehož pomocí je možno rychle a komplexně vyhodnotit uživatelský zážitek (User Experience) z testované aplikace. Jednotliví účastníci, po dokončení testovacích úloh, obdrželi UEQ dotazník a jejich odpovědi byly pomocí nástroje „Data Analysis Tools“ vyhodnoceny a převedeny do výsledkové tabulky a grafů.

6.1 Vyhodnocení testů

Úkoly byly vytvořeny tak, aby pro testovací uživatele byly jednoduché, ale aby je zároveň pobízely k využívání

Účastník	Atraktivita	Přehlednost	Účinnost	Spolehlivost	Stimulace	Originalita
A	2,17	2,75	2,00	2,50	2,25	3,00
B	2,00	0,75	1,50	1,00	2,50	3,00
C	2,00	1,75	1,50	1,50	2,25	2,50
D	2,33	1,75	1,75	1,25	2,25	2,50
Průměr	2,13	1,75	1,69	1,56	2,31	2,75
Směrodatná odchylka	0,14	0,71	0,21	0,57	0,11	0,25

Tabulka 1. Tabulka ukazující převedené výsledky pro každého účastníka dotazníku

navigačních prvků aplikace.

Testování se zúčastnili 4 studenti ve věku 20 až 25 let. Účastníci neměli žádnou předchozí zkušenost s rozšířenou realitou zobrazovanou pomocí brýlí. Pravidelně i to ovlivnilo to, že aplikace získala vynikající hodnocení originalitě a v atraktivitě (viz tabulka 1).

Nejméně se dotazovaní shodli na přehlednosti aplikace, naopak velmi podobné výsledky měli v kategorii stimulace. Nejhůře na tom byla účinnost a spolehlivost aplikace, ale i přesto se aplikace v porovnání s ostatními umístila mezi nejlépe hodnocenými aplikacemi otestovanými tímto dotazníkem (viz obrázek 7).

7. Práce do budoucna

V dalším kroku vývoje aplikace by bylo vhodné implementovat a synchronizovat napojení na skutečného drona, čímž by se mohlo řešení porovnat v různých aspektech oproti běžným aplikacím pro ovládání drona pro chytrá zařízení a výsledky porovnání by mohly být zapracovány do aplikace pro její zlepšení.

Aplikace by taktéž mohla být adaptována na venkovní prostředí (viz kapitola 5) nebo by se mohla propojit například s fakultní aplikací DroCo [13]¹, která slouží k ovládání drona pomocí pohledu třetí osoby právě za využití offline 3D modelů map.

8. Závěr

Tato práce popisuje alternativu pro klasická 2D uživatelská rozhraní pro pilotování drona, kde pomocí brýlí Microsoft Hololens 2 zobrazuje prvky těchto rozhraní přímo do prostoru k ovládanému dronu.

V rámci této práce byl vytvořen funkční nástroj pro pilota dronu, který eliminuje problém dezorientace uživatele, který mají aplikace pro ovládání drona pomocí 2D rozhraní. Tento nástroj vizualizuje potřebné informace pilotovy způsobem „head-up“ displeje, čímž odebírá nutnost pilota sledovat jak drona na obloze, tak displej zobrazující záznam z kamery a letové informace.

Na práci pokračuji dále, chtěl bych se zaměřit na zkvalitnění designu aplikace, aby byla pro uživatele více intuitivní a bylo ji příjemnější používat. Aplikaci plánuji adaptovat na venkovní prostředí a nakonec otestovat její vliv na pilotovu schopnost ovládat dron a sebrat výsledky tohoto experimentu.

Tato práce má dle mého názoru velký potenciál k dalšímu vylepšení a využití. Může být použita jako součást větší aplikace pro ovládání dronů, kdy by například sloužila jako nástroj umožňující ovládat letounu z pohledu první osoby.

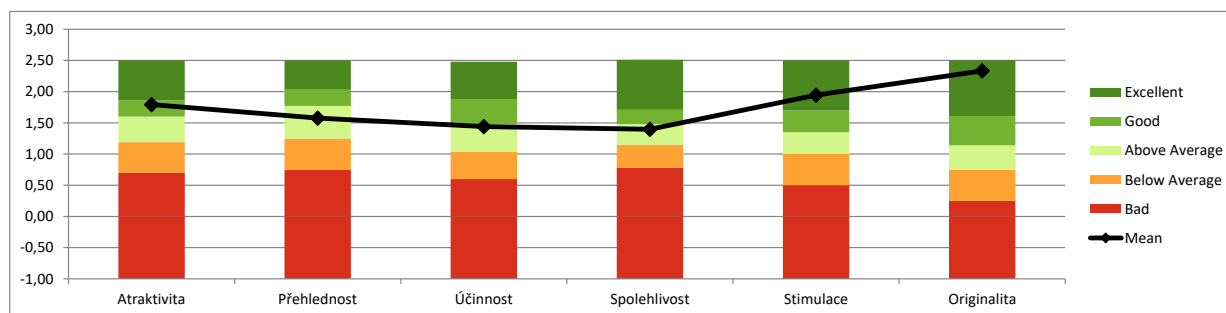
Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé práce Danielovi Bambuškoví za jeho rady a vedení po celou dobu mé práce.

Literatura

- [1] Mitchell B. Cruzan, Ben G. Weinstein, Monica R. Grasty, Brendan F. Kohn, Elizabeth C. Hendrickson, Tina M. Arredondo, and Pamela G. Thompson. Small unmanned aerial vehicles (micro-uavs, drones) in plant ecology. *Applications in Plant Sciences*, 4(9):1600041, 2016.
- [2] Austin Reg. *Introduction to Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, chapter 1, pages 1–15. John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [3] Michael Walker, Hooman Hedayati, Jennifer Lee, and Daniel Szafir. Communicating robot motion intent with augmented reality. HRI '18, page 316–324, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [4] Hooman Hedayati, Michael Walker, and Daniel Szafir. *Improving Collocated Robot Teleoperation with Augmented Reality*. Association for Computing Machinery, 2018. ISBN: 9781450349536.
- [5] Michael E. Walker, Hooman Hedayati, and Daniel Szafir. Robot teleoperation with augmented reality virtual surrogates. In *Proceedings of*

¹https://github.com/robofit/drone_vstool



Obrázek 7. Graf porovnávající naměřené hodnoty s ostatními produkty, které byly porovnány stejným dotazníkem .

the 14th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, HRI '19, page 202–210. IEEE Press, 2019.

Human Interaction Research and Applications 2019, pages 177–182. SciTePress - Science and Technology Publications, 2019.

- [6] Jacopo Aleotti, Giorgio Micconi, Stefano Caselli, Giacomo Benassi, Nicola Zambelli, Manuele Bettelli, and Andrea Zappettini. Detection of nuclear sources by uav teleoperation using a visuo-haptic augmented reality interface. *Sensors*, 17(10), 2017.
- [7] Joao Teixeira, Ronaldo Ferreira, Matheus Santos, and Veronica Teichrieb. Teleoperation using google glass and ar, drone for structural inspection. *SBC Journal on Interactive Systems*, 5(3), 2014.
- [8] Schmalstieg D. and Tobias Höllerer. *Augmented reality: principles and practice*. Boston : Addison-Wesley, 2016. ISBN: 0321883578.
- [9] Spatial mapping. online, March 2018. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/spatial-mapping>.
- [10] F. W. Campbell and G. Westheimer. Dynamics of accommodation responses of the human eye. *The Journal of Physiology*, 151(2):285–295, 1960.
- [11] David M. Hoffman, Ahna R. Girshick, Kurt Akeley, and Martin S. Banks. Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*, 8(3):33–33, 03 2008.
- [12] Martin Schrepp, Andreas Hinderks, and Jörg Thomaschewski. Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (ueq). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4:40–44, 06 2017.
- [13] Kamil Sedlmajer, Daniel Bambušek, and Vítězslav Beran. Effective remote drone control using augmented virtuality. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer-*