



PROJEKT Č. VI20172020068

NÁSTROJE A METODY ZPRACOVÁNÍ VIDEO A OBRAZU  
PRO ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY OPERACÍ BEZPEČNOSTNÍCH A  
ZÁCHRANNÝCH SLOŽEK (VRASSEO)

## TECHNICKÁ ZPRÁVA 2018

### ROZŠÍŘENÁ VIRTUALITA PRO EFEKTIVNÍ VZDÁLENÉ ŘÍZENÍ DRONU

Kamil Sedlmajer, Daniel Bambušek, Vítězslav Beran

Fakulta informačních technologií  
Vysokého učení technického v Brně  
Božetěchova 1/2  
612 66 Brno, Česko

Prosinec 2018

## Obsah

1	Využití AR pro řízení dronů	1
2	Simulační nástroje	4
3	Rizika při řízení dronu	6
4	Datové zdroje	8
5	Návrh virtuálního modelu prostředí	10

## Abstrakt

Technická zpráva popisuje vývoj systému pro efektivní plánování mise a vizualizační modul pro pilota v situacích zhoršené orientace v průběhu mise. Řešení navazuje na výsledky v oblasti výpočtu pozice kamery a autonomního řízení dronu. Součástí zprávy je přehled existujících řešeních zaměřujících se na snížení zátěže pilota dronu a zvýšení jeho orientačních schopností při omezené viditelnosti kvůli větší vzdálenosti pilota od dronu. Zpráva obsahuje návrh systému a analýzu vhodných datových zdrojů: dostupné mapové podklady, výškové mapy, 3D modely budov apod. Výsledný systém bude založen na technologii rozšířená virtualita, kdy do virtuálního 3D modelu prostředí budou integrována reálná data z dronu (video-stream, 3D struktury, lokalizační informace). Pilot tak bude mít možnost v průběhu plánování mise definovat 3D oblasti s různým potenciálním bezpečnostním rizikem, které budou v průběhu mise využívány k navigaci v těchto zónách a vizualizaci celkové situace ve virtuální scéně rozšířené a on-line reálná data.

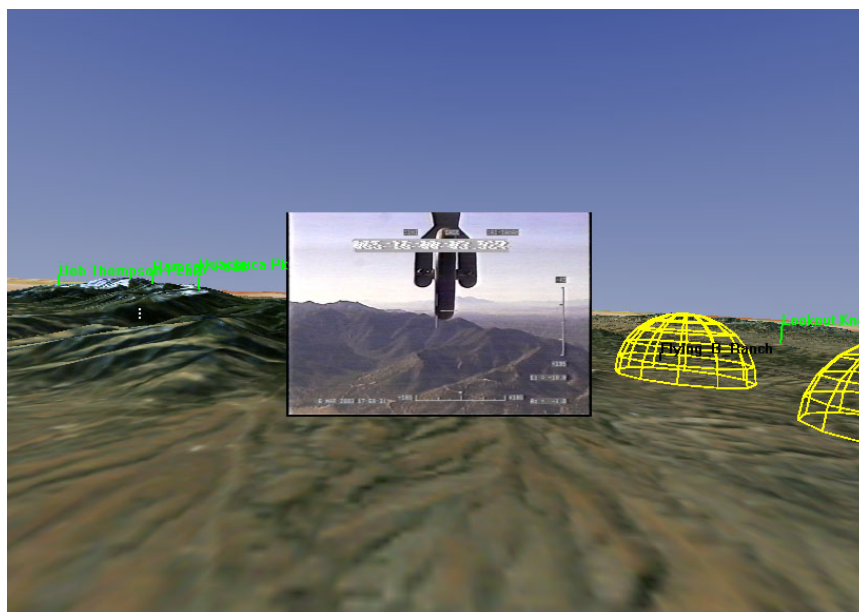
## 1 Využití AR pro řízení dronů

Na internetu lze nalézt mnoho videí vlastníků dronů, kteří experimentují s VR brýlemi v kombinaci s letem dronu. Pohled z kamery dronu se přenáší do brýlí a uživatel se tak může jednoduše přenést do pohledu první osoby dronu. V tomhle případě ale uživatel často nemá jasné prostorové vnímání, povědomí o rozměrech dronu či blížících se překážkách. Proto mnozí zkouší přidělat na dron násadu s přídatnou kamerou na jejím konci pro umožnění pohledu třetí osoby (obrázek 1), ve kterém by měl mít uživatel mnohem jasnější představu o velikosti dronu.

Zlepšit prostorové vnímání se podařilo vědcům z Microsoft Research [1], kteří na dron připevnili dvě kamery pro stereoskopické vidění z první osoby prostřednictvím VR brýlí Oculus Rift (obrázek 1). Operátor tak dron řídí Xbox kontrolérem pouze na základě obrazu z kamer. K dispozici má field-of-view o velikosti 185°. Autoři provedenými experimenty dokázali, že uživatelé jsou s nasazenými VR brýlemi schopni s dronem úspěšně vzlétnout, letět a přistát a mají díky stereoskopii výrazně lepší odhady vzdáleností než uživatelé s monoskopickým viděním.



Obrázek 1: **Nahoře:** Pohled z kamery dronu ze třetí osoby (zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=GV-41n1wYx4>). **Dole:** Operátor ovládající dron pomocí ovladače; pohled z brýlí se stereoskopickým viděním [1].



Obrázek 2: Picture-in-picture koncept. Obraz z videa bezpilotního letounu je vložen do virtuálního modelu prostředí, což operátorovi výrazně zvyšuje dostupné field-of-view [2].

Air Force Research Laboratory ve spolupráci s Rapid Imaging Software [2] zkoumala využití rozšířené reality pro řídicí stanice bezpilotních letounů a její dopad na operátorovo vnímání a kognitivní zátěž při řízení těchto letounů. Vyvinuli tak systém, který obohacuje obraz z kamery letounu o UI prvky reprezentující místa zájmu, významné budovy, cíle či naplánovanou trasu letounu. Mimo jiné představili i koncept umělého rozšíření field-of-view operátora, kde obraz z kamery vložili do virtuálního modelu prostředí, ve kterém se letoun pohybuje (viz obrázek 2). Podobný koncept ve své práci ověřili Ji a kolektiv [3].

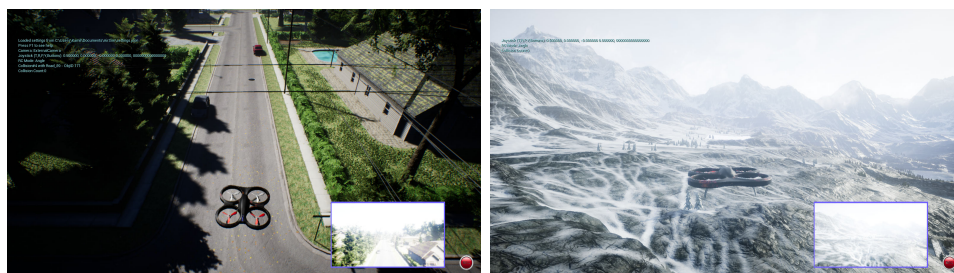
Výše zmíněná firma Rapid Imaging Software posléze vyvinula aplikaci pro mobilní zařízení SmartCam3D View<sup>1</sup>, cílená zejména na drony, umožňující augmentovat obraz z kamery geografickými daty (názvy ulic, body zájmu, atd.), za účelem zvýšení povědomí o okolním prostředí (viz obrázek 3).

Teixeira a kolektiv [4] zkusili využít pro řízení dronu AR brýle Google Glass. Pilot tak řídí dron gesty a pohledem, přičemž je obraz z kamery stremován do brýlí. Novější studie autorů Erat a kolektiv [5] k tomuto využívá brýle Microsoft HoloLens. Operátor dron ovládá specifikováním míst, kam má přiletět. Dron je tedy do značné míry řízen autopilotem. Demonstrační aplikace nachází využití zejména ve vnitřních prostorech, kde operátoru poskytuje rentgenový pohled skrz zdi.

<sup>1</sup>SmartCam3D View: <http://www.rapidimagingtech.com/augmented-reality/>



Obrázek 3: **Nahoře:** Augmentace obrazu z kamery dronu geografickými daty silnic. Využití například při záplavách. **Dole:** Vyznačení významných míst v obrazu kamery dronu (zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=DOVPXmuaPNI>).



Obrázek 4: Simulátor Airsim: **vlevo:** výchozí prostředí simulátoru, bohužel však placené, **vpravo:** jedno z mála prostředí dostupných zdarma Landscape Mountains.

## 2 Simulační nástroje

Pro testování ovládání koptéry a orientace pilota v prostoru je vhodné využít kromě reálné kvadrokoptéry také simulátor. Dostupných simulátorů je sice celá řada, jejich možnosti jsou však zatím stále poměrně omezené. Některé simulátory vyžadují přímé připojení hardwaru fyzické řídicí jednotky. Simulátor pak jednotce posílá data ze senzorů a ta zase naopak posílá simulátoru vypočítaný tah jednotlivých motorů, které simulátor zpracuje a převede na pohyb dronu prostorem. Některé řídicí jednotky je možné simulovat také softwarově bez nutnosti mít připojený reálný hardware (např. Pixhawk). I tak je ale rozjetí takového simulátoru značně náročný úkol, protože je nutné správně nakonfigurovat a propojit několik spolupracujících aplikací.

Zajímavými simulátory jsou především obecný robotický simulátor Gazebo a aplikace Airsim, která se specializuje pouze na simulaci dronů a automobilů. Vzhledem k tomu, že jsem neměl k dispozici reálný hardware podporované řídicí jednotky, rozhodl jsem se využít simulátor Airsim, který nabízí přímo vestavěnou jednoduchou softwarovou simulaci kvadrokoptéry.

**AirSim**<sup>2</sup> je open-source simulátor od Microsoftu postavený na Unreal Engine, který ale ve své poslední verzi obsahuje také experimentální verzi pro Unity. Je vyvíjen především pro výzkum UI, počítačového vidění a posilovaného učení pro autonomní prostředky. Zpřístupňuje API pro ovládání autonomních funkcí pomocí jazyků C nebo Python obsahuje svůj vlastní jednoduchý simulátor řídicí jednotky, ale kromě něj umožňuje také pokročilejší simulaci typu hardware-in-loop s připojeným reálným flight-controllerem.

Airsim nemá žádné vestavěné možnosti nastavení a konfigurace se provádí pomocí úprav konfiguračního souboru ve formátu JSON. Možnosti konfigurace jsou omezené, např. chybí důležité nastavení mapování os ovladače na osy kvadrokoptéry. Takže s připojením běžného gamepedu s 2 joysticky simulovanou koptéru nelze ovládat. Situace se paradoxně nezměnila ani nákupem oficiálně podporovaného ovladače FS-100, který převádí signál

<sup>2</sup><https://github.com/Microsoft/AirSim/>

PPM ze standardní modelářské vysílačky do počítače. Ani s tímto ovladačem však simulátor nefungoval zcela správně.

Pro řešení tohoto problému bylo nutné upravit soubor, který řeší zpracování dat z ovladačů a vše znovu zkompilovat. AirSim je vytvořen jako plugin pro Unreal Engine. Stačilo tedy vytvořit projekt v Unreal Engine, vložit do něj nějaké prostředí, které je dostupné zdarma, následně vložit plugin AirSim, nastavit několik parametrů a startovací pozici dronu a vše zkompilovat pro cílovou platformu.

Vlastní kompilace má však jednu podstatnou nevýhodu. Zatímco již zkompilované binárky jsou dostupné s mnoha různými prostředími, při vlastní kompilaci se každý musí omezit na ta prostředí, která má koupené nebo jsou zdarma. Výběr je tedy velice omezený. Budoucí verze tohoto simulátoru už ale snad přinesou možnost mapování os ovladače pomocí konfiguračního souboru.



### 3 Rizika při řízení dronu

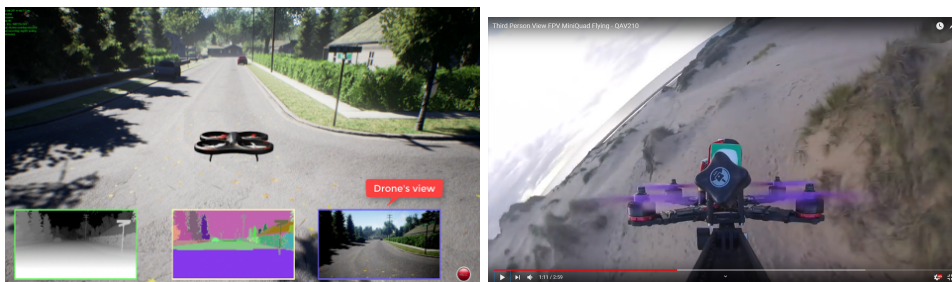
Během letu je nesmírně důležité, aby měl pilot neustále přehled o pozici, výšce a orientaci letounu. Tento přehled může získat jak přímým sledováním dronu, tak pohledem do aplikace, která obvykle zobrazuje pozici dronu a *homepointu* na mapě nebo také pomocí přenosu z kamery umístěné na koptěře (tzv. *FPV - First person view*).

Při řízení přímým pohledem na letoun se orientuje poměrně snadno v případě, že je letoun dostatečně blízko. Pilot pak jednoznačně vidí, kam směřuje před letounu a kam se pohybuje. U koptéry je situace o něco horší, protože zde nelze tak snadno určit, která část je před. Proto jsou obvykle přední rotory rozlišeny jinou barvou. Při létání na větší vzdálenosti je však jednoznačné určení směru natočení dronu poměrně obtížné. Cho a kolektiv [6] tento problém řešili zavedením egocentrického ovládní dronu, které ho automaticky rotuje tak, aby měl svou záď neustále natočenou směrem k operátorovi. Ten jej tak řídí ze své perspektivy a nemusí řešit, kterým směrem je v daný okamžik natočena před letounu.

Při řízení skrze pohled z kamery (FPV) je situace značně odlišná. Pilot zde přesně zná orientaci dronu - jednoznačně vidí k čemu míří před. Co však už vidí mnohem hůř, jsou překážky okolo dronu. Pilot totiž vidí jen před sebe, koptéra ale může letět také na stranu nebo dokonce vzad (mnohdy navíc plnou rychlostí). Zde už pilot ale překážky vůbec nemá šanci vidět.

Dalším problémem při tomto způsobu řízení je **ztráta vnímání pozice v prostoru**. Pohled z kamery totiž zabírá pouze úzký úsek prostoru a pilot se tak může ztratit i v prostředí, které důvěrně zná. Pohled z výšky navíc vypadá poněkud jinak než pohled ze země a méně trénovaný člověk s tím může mít problémy. Zde je situace horší především při větších rychlostech a prudkých obrazech, netrénovaný člověk však ztratí přehled o pozici letounu velmi často i při relativně pomalém letu. Na ztrátu orientace má také velký vliv stabilizace kamery a kvalita video přenosu, pokud se obraz třepe, zrní a občas vypadává, může být tento způsob řízení pro člověka velice náročný. Pozici pak musí člověk hledat v mapě, ale ani v tomto případě mnohdy není úplně snadné si tuto polohu rychle spojit s pozicí v prostoru.

Tyto nežádoucí efekty je možné částečně eliminovat použitím kamery s vysokým rozlišením, optikou s širokým úhlem záběru (často přes 170°), kvalitní stabilizací obrazu (gimbalem) a kvalitním přenosem. Zde se však naráží na dostupnost technologií (vysoké ceny) a především omezení vysílacích výkonů. V některých případech také pilot může do určité míry otáčet kamerou a tím svůj pohled rozšířit. Především při letu ve vyšších výškách (nad 150m) je mnohem důležitější pohled směrem dolů, jak pohled před sebe. Při letu v malých výškách je naopak důležitý pohled přímo před sebe. V určitých případech tak může být dokonce výhodnější použít kameru s poměrem stran 4:3 než moderní širokoúhlé, pilot tak totiž vidí mnohem více ve vertikální rovině, což je často velice důležité. I přes všechny tyto možnosti však zůstává



Obrázek 5: Pohled třetí osoby — **Vlevo:** Screenshot ze simulátoru AirSim. S pohledem třetí osoby a několika dalšími typy pohledů, v podokně vpravo dole FPV pohled. **Vpravo:** Pohled třetí osoby s využitím kamery na selfie tyči.

tento způsob pilotáže značně náročný a dal by se mnohdy přirovnat k jízdě autem v hustém městském provozu se začerněnými všemi skly a ponechaným pouze malým obdélníkem 80x60cm v předním skle.

Při ztrátě orientace však roste riziko nárazu do překážky. Toto riziko se ještě zvyšuje při větších rychlostech nebo silném a nárazovém větru. Při ztrátě orientace pak netrénovaný pilot mnohdy rychlým zásahem do řízení ve snaze vyhnout se překážce, provede tento zásah přesně opačným směrem než zamýšlel a pokud dron neobsahuje senzory, které mu v tom zamezí, dojde k nárazu do překážky a poškození letounu.

Pro zlepšení orientace pilotovi může pomoci např. všesměrová (360°) kamera, ale ani toto řešení však nemusí být úplně vhodné. Přidání kamery totiž výrazně zvyšuje nároky na přenos dat. Většina na trhu dostupných 360° kamer navíc obsahuje pouze 2 objektivy umístěné v úhlu 180° (tedy zády k sobě). Jak už ale bylo řečeno. Pilot potřebuje vidět především dopředu a dolů - z tohoto pohledu už tedy běžná 360° kamera, která nahoru a dolů prakticky nevidí už příliš vhodná není. Dalším problémem je využívání čoček typu rybí oko, které mají velké zkreslení. Objektivů by tedy pravděpodobně bylo potřeba ještě více a tím by se problém s přenosem dat ještě prohloubil.

Pokud si člověk vyzkouší řízení kvadrokoptéry v simulátoru, brzy zjistí, že pro řízení je mnohem pohodlnější využít namísto pohledu první osoby (FPV) tzv. **pohled třetí osoby** (*3rd person view*), kde pilot vidí také dron samotný a mnohem lépe také jeho okolí. Pokud navíc ještě kamera zůstane zafixována tak, aby byla vždy umístěna přímo za dronem, řízení se značně zjednoduší. Získat však krásný pohled na dron je však značně technicky složité, zvyšuje se např. zátěž (dron s sebou nese další tyč a kameru). Přesto bylo toto řešení několika uživateli úspěšně vyzkoušeno<sup>3</sup> (obrázek 5).

<sup>3</sup>Pohled třetí osoby: zdroj <https://www.youtube.com/watch?v=F7G7uH36y-c>



Obrázek 6: Mapová data společnosti Google **vlevo**: detailní 3D objekty přímo v aplikaci Google. **vpravo**: mapa poskytovaná třetím stranám prostřednictvím Android API už obsahuje výrazně chudší 3D modely.

## 4 Datové zdroje

Existuje však ještě jedna cesta - využít možností rozšířené virtuality. V tomto případě pilot uvidí virtuální scénu podobně, jako by létal v simulátoru. K tvorbě této scény je možné využít volně dostupná mapová data. Do této scény následně může být doplněn obraz z kamery, který obsahuje na rozdíl od statického modelu také pohybující se objekty a především je u něj vždy jistota, že je aktuální.

Google nabízí mapové API<sup>4</sup> pro různé platformy jako je JavaScript, Android i iOS. API pro různé platformy se liší jen minimálně a všechna tak poskytují velice podobná data. 3D modely budov jsou ale poměrně jednoduché a bez textur (obrázek 6). Hezké texturované budovy Google zobrazuje pouze ve svých aplikacích a poskytuje jim tak určitou exkluzivitu. Nevýhoda všech těchto API je však v tom, že mají značně omezené ovládání a není např. možné libovolně manipulovat s kamerou. Pro naši aplikaci takhle API tedy nejsou příliš vhodná.

**MapBox SDK for Unity**<sup>5</sup> využívá především data z OpenStreetMap. Plugin při pohybu prostorem automaticky načítá mapové podklady a výšková data a tak vytváří plastický terén. Díky využití Unity je možné libovolně manipulovat s kamerou a také přidávat do scény libovolné další objekty. Mělo by být navíc možné integrovat simulátor AirSim, který je sice primárně určen pro Unreal Engine, nová verze už ale obsahuje také betaverzi pluginu pro Unity.

MapBox obsahuje také nějaké 3D modely budov (obrázek 7), jejich kvalita

<sup>4</sup>Pohled třetí osoby: zdroj <https://cloud.google.com/maps-platform/>

<sup>5</sup><https://docs.mapbox.com/unity/maps/overview/>



## 5 Návrh virtuálního modelu prostředí

V navržené aplikaci využívající rozšířenou virtualitu bude pilot moci řídit stejně jako doposud - tedy pomocí FPV (*first person view*), kdykoliv ale bude mít možnost změnit polohu kamery a plynule tak přejít např. na TPV (*third person view*) a uvidí kromě obrazu z kamery také dron samotný a jeho okolí, které už kamera nevidí (obrázek 8). Kamery na dražších dronech mají poměrně často možnost měnit ohniskovou vzdálenost a pilot tedy má na ovladači posuvník pro jeho ovládání.

Do scény také bude možné přidat jakákoliv další data. Např. pomocí poloprůhledných virtuální zdí je možné zobrazit hranice řízených letových oblastí nebo prostorů letišť, kam dron v žádném případě nesmí vletět. Tyto hranice jsou často až od určité výšky a proto je tento způsob zobrazení mnohem praktičtější než prosté zobrazení ve 2D mapě.

Podobným způsobem je možné vizualizovat také uživatelem definované bezpečné zóny, kam může letět bez obav ze střetu s překážkou. Speciální oblastí je pak vizualizace dat ze senzorů. Některé drony jsou vybaveny hned několika sonary a dalšími senzory pro měření vzdálenosti od jiných objektů. V případě detekce objektu některým ze senzorů by bylo určitě vhodné tento objekt také ve scéně nějak zobrazit. Způsob zobrazení už samozřejmě záleží na typu senzoru, obecně se však dá říct, že známe alespoň přibližný směr a vzdálenost překážky. Přesný tvar obvykle neznáme. Způsob vhodné vizualizace bude předmětem dalšího zkoumání a vývoje. Dá se navíc předpokládat, že množství a kvalita senzorů v blízké budoucnosti neustále poroste, takže možnosti využití vizualizace těchto dat ke zvýšení bezpečnosti řízení ve specifických podmínkách je vhodným předmětem dalšího zkoumání.

Dron je možné řídit pomocí **FPV brýlí nebo brýlí pro virtuální realitu**. Někteří piloti dokonce využívají sledování pohybu hlavy (*head tracker*) a podle toho natočí kameru na koptěře. Pilot se tak může snadno a hlavně přirozeně rozhlížet po okolí. Zde je ale obrovským problémem zpoždění (*latence*) od otočení hlavy po otočení kamery, ze kterého se mnohým lidem dělá po chvíli nevolno.

V navrhovaném řešení lze tento problém eliminovat. Když pilot otočí hlavu, pohled se změní okamžitě a zobrazí tak uživateli jinou část 3D scény. Obraz kamery se posune do středu zorného pole až dodatečně s tím, jak se kamera skutečně otočí.

Tato **mobilní aplikace** tedy bude kombinovat jednak telemetrická data přijímaná z koptéry s video streamem z její kamery a mapovými daty načítanými online z internetu, případně offline z vlastního úložiště. Tato data navíc ještě dále zkombinuje s dalšími informacemi získanými od uživatele. Těmito daty mohou být např. již zmíněné definice bezpečných zón ve formě polygonů geodetických souřadnic ve formátu WSG84 doplněnými informacemi o minimální bezpečné výšce.

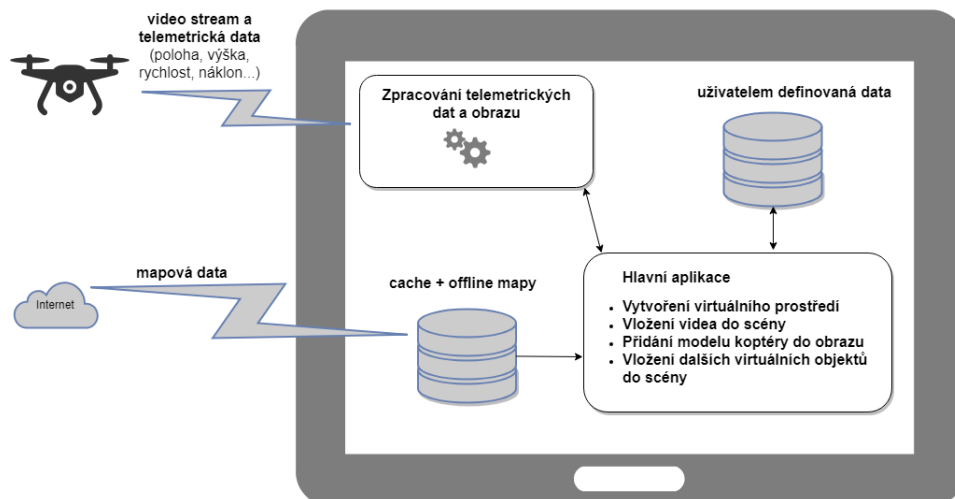
Problémem, který bude nutné vyřešit, je **přesnost telemetrických dat**



Obrázek 8: Návrh aplikace, využívající umělou virtualitu. Scéna obsahuje 3D model města z aplikace Google Maps. Uprostřed se nachází online obraz z kamery a model dronu (záměrně výrazně kontrastnější), který poměrně přirozenou cestou uživateli poskytne představu o okolí letounu a také jeho náklonu a pohybu.

**o poloze dronu**, jeho orientaci a úhlu natočení kamery. Dron obecně určuje polohu pomocí GPS, která má obvykle přesnost v řádu nižších jednotek metrů. Moderní GPS přijímače navíc ještě polohu zpřesňují využíváním dalších satelitů. Značná část GPS přijímačů tedy umí zpracovat signál alespoň z některých konkurenčních sítí jako je evropský systém Galileo, ruský Glonass a čínské BeiDou. Satelitní systémy mají ale obvykle mnohem horší přesnost dat ve vertikálním směru, výška je tedy ještě dále zpřesňována použitím barometru.

Data o poloze jsou tedy poměrně přesná a to především za letu, kdy se dron nachází nad úrovní překážek, které brání příjmu signálu ze satelitů. O něco horší jsou informace o orientaci dronu, kde se využívá především kompasu, který je však rušen elektromotory a anténami umístěnými na koptěře. Plánuje se využití dalších lokalizačních metod, které jsou na dronu integrovány. Vliv přesnosti registrace obrazu z kamery do virtuálního modelu na použitelnost řešení operátorem bude předmětem dalšího zkoumání.



Obrázek 9: Základní koncept aplikace

## Literatura

- [1] N. Smolyanskiy and M. Gonzalez-Franco, “Stereoscopic first person view system for drone navigation,” *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 4, 03 2017.
- [2] G. Calhoun, M. H. Draper, M. F. Abernathy, F. Delgado, and M. Patzek, “Synthetic vision system for improving unmanned aerial vehicle operator situation awareness,” *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol. 5802, 05 2005.
- [3] X. Ji, X. Xiang, and T. Hu, “Data-driven augmented reality display and operations for uav ground stations,” in *2017 6th Data Driven Control and Learning Systems (DDCLS)*, pp. 557–560, May 2017.
- [4] J. M. Teixeira, R. Ferreira, M. Santos, and V. Teichrieb, “Teleoperation using google glass and ar, drone for structural inspection,” in *2014 XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp. 28–36, May 2014.
- [5] O. Erat, W. A. Isop, D. Kalkofen, and D. Schmalstieg, “Drone-augmented human vision: Exocentric control for drones exploring hidden areas,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, pp. 1437–1446, April 2018.
- [6] K. Cho, M. Cho, and J. Jeon, “Fly a drone safely: Evaluation of an embodied egocentric drone controller interface,” *Interacting with Computers*, vol. 29, no. 3, pp. 345–354, 2017.