

# Telepresence v Microsoft HoloLens

Ondřej Šebesta\*



## Abstrakt

Digitalizace světa umožnila mnoha lidem pracovat pohodlně z domova. Nepříznivý vývoj epidemie koronaviru a s ním spojené restrikce zapříčinily nárůst počtu takto pracujících lidí, což způsobilo zvýšený zájem o nástroje umožňující vzdálenou komunikaci. Tato práce se zabývá dalším potencionálním stupněm vzdálené komunikace – telepresencí. Článek popisuje navržený systém telepresence v rozšířené realitě. Osoba, účastnící se vzdálené komunikace, je snímána zařízením Azure Kinect, který obrazová data převádí kabelem do počítače. V počítači jsou data zpracována a odeslána vzdáleně přes WebRTC do druhého počítače. Druhý počítač data vykresluje a pomocí funkcionality *Holographic Remoting* zrcadlí výsledek přes lokální síť do brýl Microsoft Hololens 2.

**Klíčová slova:** Telepresence — Microsoft HoloLens — Rozšířená realita — Azure Kinect

**Připojené materiály:** N/A

\*xsebes22@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně

## 1. Úvod

Globalizace spolu s rozvojem informačních technologií umožnily lidem pracovat vzdáleně. Důležitou součástí pracovního života se staly nástroje pro vzdálenou komunikaci, jakými jsou například Zoom<sup>1</sup>, FaceTime<sup>2</sup> nebo Skype<sup>3</sup>. Epidemie koronaviru COVID-19 a s ní spojená protiepidemiologická opatření způsobila ne-

bývalý nárůst lidí pracujících z domova a poptávka po těchto nástrojích tak vzrostla ještě více.

Kombinací zařízení umožňujícího snímat hloubková a barevná obrazová data se zařízením, které využívá trojrozměrný prostor pro vizualizaci volumetrických obrazů lze posunout hranice telekomunikace o stupeň dále. Výsledkem této práce je vzdálený přenos obrazových dat, snímaných zařízením Azure Kinect, skrze počítačovou síť a jejich následné zobrazení v brýlích Microsoft HoloLens při zachování snímkovací frekvence

<sup>1</sup><https://zoom.us/>

<sup>2</sup><https://support.apple.com/cs-cz/HT204380>

<sup>3</sup><https://www.skype.com/cs/>

blížící se třiceti snímkům za vteřinu, což je maximální snímkovací frekvence zařízení Azure Kinect. S vyšší snímkovací frekvencí roste kvalita uživatelského zážitku. Vytvořený systém telepresence v rozšířené realitě lze využít jako demonstrátor na prezentacích akcí a výsledky experimentů mohou posloužit jako odrazový bod při implementaci podobného řešení.

## 2. Existující řešení

Telepresence je definována jako zážitek přítomnosti v prostředí prostřednictvím komunikačního média [1]. V kontextu této práce je cíleno na vzdálený přenos snímané osoby tak, aby se uživateli v brýlích HoloLens jevíla tato osoba jako fyzicky přítomná v jeho prostředí, čehož je dosaženo prostřednictvím rozšířené reality.

Maimone a Fuchs [2] publikovali v roce 2011 svůj koncept telepresence. Pro záznam obrazu reálného prostředí využívají 6 strategicky rozmístěných zařízení Microsoft Kinect. Obraz z těchto zařízení slučují pomocí vlastního algoritmu a výsledek zobrazují na obrazovce. Práce byla publikována v době, kdy zařízení Microsoft HoloLens ještě neexistovalo. Za přínos této práce lze považovat algoritmus pro sloučení obrazů z několika zařízení Microsoft Kinect.

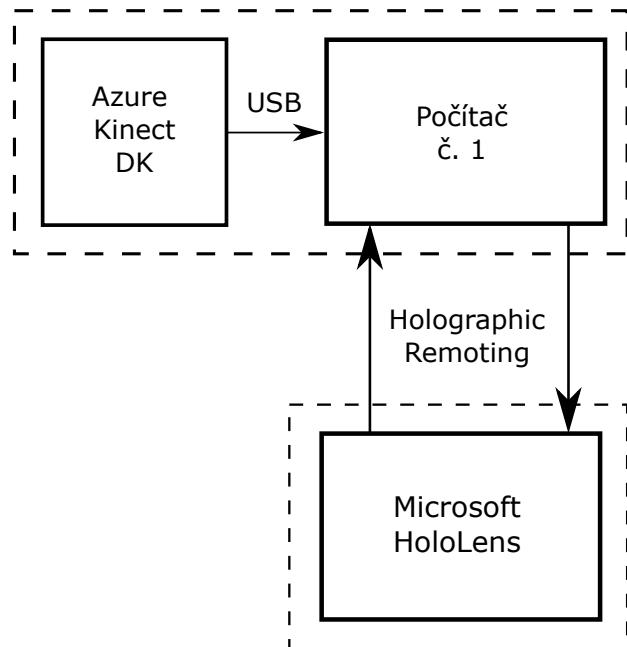
Young a spol. [3] představili ve své publikaci telepresenční systém pro mobilní zařízení. Pro získávání obrazových dat využívají přístup, který spočívá v kombinaci hloubkové kamery s panoramatickou barevnou kamerou. Data mezi uživateli jsou sdílena pomocí WebRTC. Slabinou řešení je nízké ponoréní uživatele do rozšířené reality.

Lisa Jamhoury [4] ve svém projektu pracuje s WebRTC API za účelem přenosu hloubkových a barevných dat v reálném čase. Její řešení prezentuje možnosti streamování volumetrického obsahu mezi prohlížeči. Silné stránky jejího řešení spočívají v testování několika možností reprezentace a komprese dat. Výsledná komunikace funguje v lokální i internetové síti. Za slabinu řešení považuji realizaci zobrazení obsahu v prohlížeči počítače. Zobrazení v zařízení, které umí pracovat s rozšířenou nebo virtuální realitou by dodalo práci zcela jiný rozměr.

## 3. Návrh architektury systému

Cílem mého řešení bylo vhodným způsobem propojit Azure Kinect DK<sup>4</sup> a Microsoft HoloLens 2 tak, aby se v brýlích HoloLens zobrazovala data ze zařízení Azure Kinect.

<sup>4</sup>Azure Kinect Development Kit je celý název pro zařízení Azure Kinect



Obrázek 1. Schéma architektury systému pro telepresenci.

Návrh systému telepresence je zobrazen na obrázku 1. Zařízení Azure Kinect je připojeno pomocí USB k počítači, kde jsou obrazová data zpracována. Zpracovaná data jsou následně v Unity vykreslena a přes síť pomocí funkcionality *Holographic Remoting* přenesena do brýlí Microsoft HoloLens, kde jsou v aplikaci *Holographic Remoting Player* vizualizována.

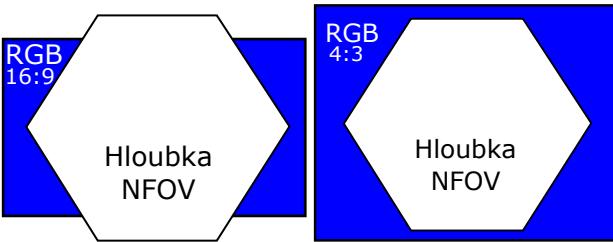
Zařízení Azure Kinect není samonosné, a proto musí být připojeno k počítači. Tento počítač je v návrhu architektury uveden jako *počítač č. 1*. Pro zachytávání obrazů ze zařízení využívám knihovnu *Sensor SDK*<sup>5</sup>, která slouží pro přístup k jednotlivým senzorům zařízení Azure Kinect. Knihovnu lze použít výhradně na systémech Windows 10 x64 anebo Linux Ubuntu [5].

## 4. Zpracování obrazových dat

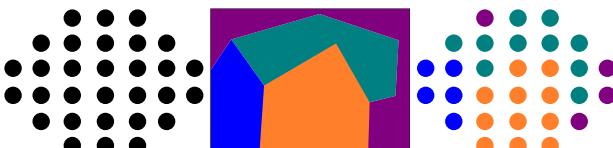
Jak již bylo zmíněno v návrhu řešení, pro získávání obrazových a hloubkových dat využívám zařízení Azure Kinect. Hloubkový senzor i barevnou kameru jsem nastavil na maximální snímkovací frekvenci třiceti snímků za vteřinu. Barevná kamera je nastavena na rozlišení 1280x720px a formát obrazu je nastaven na BGRA [6]. Hloubkový senzor jsem nastavil do režimu úzkého zorného pole *NFOV*<sup>6</sup>, které má rozlišení 640x576px a operační rozsah 0,5 – 3,86 m. Jak je vidět na obrázku 2, barevný obraz s poměrem stran 4:3 má lepší překrytí s hloubkovým obrazem v režimu *NFOV* než barevný obraz s poměrem stran

<sup>5</sup><https://docs.microsoft.com/cs-cz/azure/kinect-dk/sensor-sdk-download>

<sup>6</sup>NFOV, Narrow Field Of View, je zkratka pro úzké zorné pole



**Obrázek 2.** Na levé straně je překrytí obrazů hloubkové kamery v režimu *NFOV* s obrazem RGB kamery s poměrem stran 16:9. Na pravé straně je překrytí obrazu hloubkové kamery ve stejném režimu s obrazem RGB kamery s poměrem stran 4:3 [6]



**Obrázek 3.** Na levé straně je reprezentace obrazu z hloubkové kamery. Uprostřed je obraz z barevné kamery. Na pravé straně je výsledek spojení těchto dvou obrazů.

16:9. Z výkonnostních důvodů, uvedených v kapitole 7 je však pro splnění cíle této práce použit obraz s rozlišením 1280x720px.

Pro získání obrazů z obou kamer a jejich základní transformace využívám oficiální knihovnu *Sensor SDK*. Knihovnu *Sensor SDK* vyvinula společnost Microsoft pro komunikaci počítače s jednotlivými senzory zařízení *Azure Kinect*. Po získání obrazu barevné a hloubkové kamery je díky znalosti kalibrace zařízení provedena transformace a registrace obou obrazů (viz obrázek 3).

Hloubkový obraz je poté rekonstruován pomocí funkce z knihovny *Sensor SDK* na mračno bodů. Toto mračno je hloubkově segmentováno, kdy cokoli za hodnotou prahu 2500 milimetrů je zahozeno. Tato hodnota prahu byla stanovena na základě vizuálního porovnání různých prahových hodnot a jejich vlivu na výsledný obraz.

## 5. Bezdrátový přenos dat

Pro komunikaci mezi počítačem a brýlemi HoloLens využívám aplikační rozhraní *OpenXR*<sup>7</sup> a funkcionalitu *Holographic Remoting*<sup>8</sup>. Komunikace mezi počítačem a brýlemi HoloLens je znázorněna na obrázku 5. Původním účelem funkcionality Holographic Remoting bylo efektivní testování a odhalování chyb při vývoji aplikací určených pro brýle Microsoft HoloLens. Efektivní, protože Holographic Remoting umožňuje testování



**Obrázek 4.** Vizuální výstup zařízení *Azure Kinect* bez hloubkové segmentace.



**Obrázek 5.** Detail komunikace brýlí HoloLens a počítače skrze *Holographic Remoting*.

aplikací bez nutnosti jejich sestavení, což urychluje vývoj. Druhým účelem této funkcionality je přenesení výpočetní zátěže z brýlí na výkonnější zařízení, například při vykreslování složitých 3D objektů. *Holographic Remoting* využívá pro komunikaci s brýlemi Wi-Fi a funguje pouze v lokální síti. Kounikace mezi počítačem a brýlemi je obousměrná. Zatímco Unity aplikace odesílá vykreslené grafické informace do brýlí HoloLens, brýle odesílají do Unity uživatelův vstup (gesta, hlasové příkazy), prostorové mapování a uživatelsou pozici v prostoru. V této práci je funkcionalita využita pro přenesení výpočetní zátěže z brýlí do počítače. [7].

## 6. Vizualizace v Microsoft HoloLens

Vizualizace hologramu v brýlích Microsoft HoloLens je rozdělena do následujících kroků:

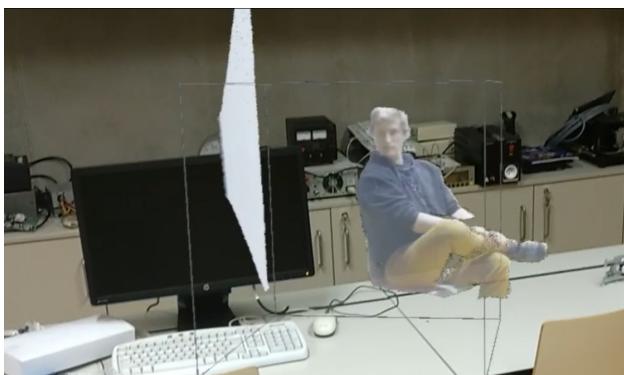
1. Zobrazení 3D mapy prostoru a virtuálního objektu.
2. Umístění virtuálního objektu na místo vybrané uživatelem.
3. Zahájení přenosu hologramu a jeho vizualizace.
4. (volitelné) Změna velikosti hologramu a rotace hologramu.
5. Ukončení přenosu.

<sup>7</sup><https://www.khronos.org/openxr/>

<sup>8</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/native/holographic-remoting-create-remote-openxr>



**Obrázek 6.** Vizualizace 3D trojúhelníkové sítě vytvořené pomocí prostorového mapování. Pohled z první osoby z brýlí Microsoft HoloLens.



**Obrázek 7.** Zobrazení hologramu po jeho umístění na stole.

Pro přesnou registraci hologramu v reálném prostředí je potřeba mít možnost přistupovat k informacím o fyzickém okolí, ve kterém se uživatel nachází. Brýle HoloLens mají pro práci s reálným prostředím speciální funkcionality – prostorové mapování. Prostorové mapování vytváří v pravidelných intervalech 3D mapu okolního prostředí, která je reprezentována jako 3D trojúhelníková síť **6** (viz obrázek **6**). V mé řešení je tato síť viditelná pouze během umisťování hologramu, protože vizualizace sítě narušuje uživatelu vnímání rozšířené reality ve fyzickém prostoru. Vizualizace sítě uživateli je užitečná k pochopení, v jaké míře brýle HoloLens rozumí okolnímu reálnému prostředí.

Před samotnou vizualizací obrazových dat je uživatel vyzván pomocí uživatelského rozhraní k umístění výchozího virtuálního objektu, který bude později doplněn hologramem. Výchozí objekt následuje pohyb hlavy uživatele a díky funkci prostorového mapování interaguje okolím. Po potvrzení pozice objektu gestem jsou data ze zařízení Azure Kinect vizualizována nad tento objekt.

Vykreslování mračna bodů v Unity vychází z práce Takashihho Yoshinagy <sup>9</sup>. Mračno bodů je po převedení na metry namapováno na jeden *Mesh* objekt v herním

<sup>9</sup><https://github.com/TakashiYoshinaga/Azure-Kinect-Sample-for-Unity>

enginu Unity<sup>10</sup>. Tento objekt je instancí třídy *Mesh*, která je nativně součástí Unity. *Mesh* objekt má nastavenou topologii *MeshTopology.Points*, která namísto trojúhelníkové sítě reprezentuje pouze 3D body v prostoru. Každý přijatý bod včetně jeho barvy je v cyklu namapován do struktur třídy *Mesh*, konkrétně XYZ složka bodu je namapována na *Mesh.vertices* a barevná složka BGRA je namapována na *Mesh.colors*. Při vykreslování barvy objektu vychází Unity z materiálu, který je objektu přiřazen, a proto je materiál s nastavením *shaderu*, který umožní vypnutí výchozí ambientní a difúzní složky. Při vykreslování se tak použije barva nastavená přímo ve struktuře *Mesh.colors*. S vykresleným hologramem může uživatel po jeho umístění dále manipulovat pomocí gest a pohybu svých rukou.

## 7. Experimenty a testování

Z počátku vývoje probíhalo testování na počítači v programu *HoloLens 2 emulator*<sup>11</sup>. Tento program vytváří virtuální prostředí, ve kterém běží stejný operační systém jako v brýlích HoloLens druhé generace. Virtuální prostředí se ukázalo jako vhodné pro testování úspěšnosti přenosu a vizualizace obrazových dat zařízení Azure Kinect. Naopak nevhodným se ukázalo pro experimenty s uživatelským rozhraním a interakcí s ním, a proto bylo testování uživatelského rozhraní provedeno na fyzickém zařízení Microsoft HoloLens.

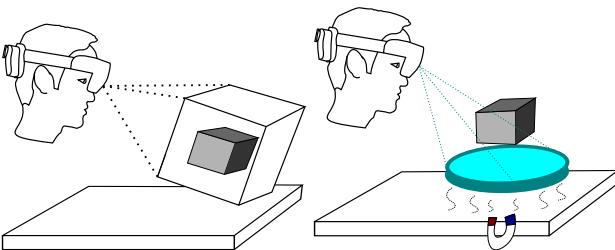
Vyjma testování funkčnosti bylo testováno také uživatelské rozhraní a uživatelská přívětivost výsledného řešení. Byla pozvána skupina pěti technicky zdatných uživatelů, kteří zvládali ovládat počítač, ale s brýlemi Microsoft HoloLens ještě zkušenosť neměli. Tito uživatelé měli za úkol provést umístění hologramu v prostoru na místo dle svého výběru. Dále měli za úkol rotovat hologram a měnit jeho velikost.

Během testování bylo zjištěno obtížné umístění hologramu vodorovně s podložkou. Na obrázku **8** je zobrazena situace, kdy hologram následuje pohyb hlavy uživatele včetně jejího naklonění, což po potvrzení pozice hologramu způsobilo, že nebyl zarovnán se zemí a bylo uživatelsky obtížné jej manuálně zarovnat. Na základě tohoto upozornění jsem uživatelské rozhraní přepracoval a problém vyřešil pomocí funkcionality *Surface magnetism*<sup>12</sup>, která umožňuje virtuálním objektům, aby se přichytávaly k detekovaným povrchům.

<sup>10</sup><https://unity.com/>

<sup>11</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/develop/advanced-concepts/using-the-hololens-emulator>

<sup>12</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/design/surface-magnetism>



**Obrázek 8.** Vlevo je vyobrazen hologram, který se při umisťování řídí pozicí a náklonem hlavy uživatele a s reálným povrchem neinteraguje. Napravo je řešení tohoto problému, kde uživatel místo hologramu pokládá virtuální podložku, která je k detekovanému povrchu přichytávána.

Rozlišení obrazu	Latence
720p	274.25ms
1080p	463.22ms
1536p	676.55ms

**Tabulka 1.** Tabulka obsahuje naměřenou latenci při provádění transformace z rozlišení barevné kamery na rozlišení hloubkové kamery v režimu *NFOV unbinned*.

Při experimentování a měření transformace rozlišení barevného obrazu na rozlišení obrazu hloubkového byly naměřeny hodnoty uvedené v tabulce 1. Naměřené hodnoty ukazují, že ačkoli barevný obraz s rozlišením 1536p překrývá největší plochu s hloubkovým obrazem, latence je větší téměř 2.5krát oproti transformaci barevného obrazu s rozlišením 720p. Pro transformaci byla využita funkce z knihovny Sensor SDK.

Řešení je schopno přenášet vykreslené mračno bodů po lokální síti s frekvencí až dvacet osmi snímků za sekundu a latencí pohybující se mezi 30ms a 55ms. Tyto hodnoty byly naměřeny, když kromě brýlí HoloLens a počítače s připojeným zařízením Azure Kinect nebylo do sítě připojeno žádné jiné zařízení.

## 8. Závěr

Práce popsaná v tomto článku se zabývá návrhem a implementací vzdáleného přenosu osoby snímané Azure Kinectem s následnou vizualizací v brýlích Microsoft HoloLens. Byl představen návrh a realizace telepresence přes lokální síť pomocí funkcionality *Holographic Remoting*. Bylo navrženo a implementováno uživatelské rozhraní pro rozšířenou realitu, které využívá možnosti interakce s hologramem poskytované brýlemi Microsoft HoloLens druhé generace.

Řešení může být rozšířeno o komunikaci přes internet. Dále může být řešení rozšířeno o obousměrnou komunikaci mezi uživateli, kdy oba účastníci komunikace budou mít na sobě brýle Microsoft HoloLens a každého zvlášť bude snímat zařízení Azure Kinect.

Dalším potencionálním rozšířením práce je spojení obrazových dat z více zařízení Azure Kinect. Spojení obrazových dat zvýší realističnost hologramu, ale současně dojde ke zvýšení nároků na síťový přenos.

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu Ing. Danielovi Bambuškovi za jeho odborné rady a trpělivý přístup při vedení této práce. Také bych chtěl poděkovat ústavu počítačové grafiky a multimédií za zapůjčení potřebného vybavení k vývoji a otestování výsledného systému.

## Literatura

- [1] Jonathan Steuer. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4):73–93, 1992.
- [2] Andrew Maimone and Henry Fuchs. Encumbrance-free telepresence system with real-time 3d capture and display using commodity depth cameras. In *2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pages 137–146, 2011.
- [3] Jacob Young, Tobias Langlotz, Steven Mills, and Holger Regenbrecht. Mobileportation: Nomadic telepresence for mobile devices. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 4(2):1–16, 2020.
- [4] Lisa Jamhoury. Streaming volumetric images online, Červenec 2018. <https://lisajamhoury.medium.com/streaming-volumetric-images-online-a04d68>
- [5] Azure kinect sensor sdk system requirements, Říjen 2021. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/kinect-dk/system-requirements>.
- [6] Azure kinect dk hardware specifications, Říjen 2021. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/kinect-dk/hardware-specification>.
- [7] Holographic remoting, 2021. <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/features/tools/holographic-remoting?view=mrtkunity-2021-05>.