

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra počítačové grafiky a interakce

## Virtuální zrcadlo

**Pavel Sillinger**

Vedoucí: prof. Ing. Žára Jiří CSc.  
Obor: Otevřená informatika  
Studijní program: Počítačové hry a grafika  
Srpen 2021



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sillinger** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **474537**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačové grafiky a interakce**  
Studijní program: **Otevřená informatika**  
Studijní obor: **Počítačové hry a grafika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Virtuální zrcadlo**

Název bakalářské práce anglicky:

**Virtual Mirror**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a implementujte prototyp systému, který bude v reálném čase zobrazovat digitální postavu a pohyby podle skutečného uživatele. Na postavě bude umístěno virtuální oblečení, které si uživatel předem vybere z virtuálního šatníku.

- 1) Pro snímání pohybu uživatele využijte kameru s hloubkovým snímačem. Ověřte, ve kterých situacích podsystém na hledání kostry selhává a navrhněte softwarová zlepšení.
- 2) Zobrazování řešte pomocí Unity 3D. Proveďte rešerši existujících nástrojů pro animování oblečení na postavách s ohledem na rychlost výpočtů i fyzikální chování látek (kolize, deformace) a pokuste se je využít, případně upravit a vylepšit.
- 3) Připravte nejméně tři odlišné sady oblečení do virtuálního šatníku (kalhoty či sukni, košili, kabát, pokrývku hlavy) a proveďte s nimi uživatelské testy zaměřené na vizuální věrnost pohybu postavy a oblečení ve virtuálním zrcadle. Definujte kategorie vnějších podmínek experimentů (např. osvětlení, rozměry uživatele, složitost a rychlost pohybů, přítomnost dalších osob) a podle nich vyhodnoťte spolehlivost vašeho řešení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) D. Schmalstieg, T. Hollerer. Augmented Reality: Principles and Practice (Usability), Addison Wesley, 2016.
- 2) S.B. Adikari, N. C. Ganegoda, R. G.N. Meegama, I. L. Wanniarachchi. Applicability of a Single Depth Sensor in Real-Time 3D Clothes Simulation: Augmented Reality Virtual Dressing Room Using Kinect Sensor. Advances in Human-Computer Interaction. 2020. 1-10.
- 3) T. Blum, V. Kleeberger, C. Bichlmeier and N. Navab, 'mirracle: An augmented reality magic mirror system for anatomy education,' 2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW), Costa Mesa, CA, 2012, pp. 115-116.
- 4) programátorské příručky k Unity 3D
- 5) Azure Kinect DK

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Jiří Žára, CSc., katedra počítačové grafiky a interakce FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.03.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2023**

prof. Ing. Jiří Žára, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi s tímto projektem pomohli. Hlavně svému vedoucímu za zpětnou vazbu a pomoc s bakalářskou prací. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu a pomoc při studiu a práci na mé bakalářské práci. Také panu Sedláčkovi a škole za poskytnutí Azure Kinectu. A zároveň bych chtěl tímto poděkovat panu Rumen Filkovovi za poskytnutí ukázkových kódů a názorných použití Azure Kinectu v Unity 3D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu a zdroje.

V Praze, 20. srpna 2021

## Abstrakt

Tento dokument obsahuje výsledky zkoumání v rámci Bakalářské práce na ČVUT. V této práci je popsána analýza možných technologií k sledování lidské postavy, převodu těchto informací do počítače a následné zobrazení v programu. Také se zde budeme zabývat možnostmi fyzikální simulace oblečení pro Unity 3D.

**Klíčová slova:** Unity3D, Azure Kinect, Oblečení, Animace, Cloth

**Vedoucí:** prof. Ing. Žára Jiří CSc.  
Karlovo náměstí 13, Praha 2

## Abstract

This document contains results of my research within my Bachelor's Thesis at Czech Technical University. This work describes the analysis of possible technologies for monitoring the human figure, transferring this information to a computer and then displaying in the program. We will also deal with the possibilities of physical simulation of clothing for Unity 3D.

**Keywords:** Unity3D, Azure Kinect, Cloth, Animation

**Title translation:** Virtual Mirror

## Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	5.1.1 O přístroji .....	23
<b>2 Cíl práce</b>	<b>5</b>	5.1.2 Požadavky na systém .....	24
<b>3 Analýza</b>	<b>7</b>	5.2 Testování .....	27
3.1 Virtuální realita .....	7	5.3 Oblečení .....	29
3.2 Virutální zrcadlo .....	8	5.3.1 Unity Cloth .....	29
3.3 Sledování lidského těla .....	9	5.3.2 Testování .....	30
3.3.1 Sledování .....	9	<b>6 Závěr</b>	<b>37</b>
3.3.2 Přístroje .....	9	<b>Literatura</b>	<b>39</b>
3.3.3 Hlubkový senzor .....	13	<b>A Přílohy</b>	<b>43</b>
3.4 Animace oblečení .....	14		
<b>4 Implementace</b>	<b>17</b>		
4.1 Zprovoznění přístroje .....	17		
4.2 Implementace .....	18		
4.3 Spuštění programu a ovládání ..	19		
<b>5 Testy</b>	<b>23</b>		
5.1 Azure Kinect .....	23		

## Obrázky

1.1 Vpravo HTC Vive a vlevo Oculus Rift. Převezato z [28] . . . . .	2	3.11 Ukázka oblečení. Vpravo Cloth, vlevo ObiCloth. Převezato z [20][21]	16
1.2 Ukázka HUD v autě. Převezato z [3]	3	4.1 Ukázka šatů v přimžené poloze. .	20
3.1 Ukázka LG ThinQ Fit. Převezato z [ ] . . . . .	8	4.2 Ukázka šatů v skrčené poloze. . .	21
3.2 Loga firem ART a Orbbec. Převezato z [8][9] . . . . .	9	4.3 Ukázka cylindru. . . . .	22
3.3 Kinect v2. Převezato z [12] . . . . .	10	5.1 Schéma Azure Kinectu. Převezato z [31] . . . . .	24
3.4 Azure Kinect. Převezato z [27] . .	11	5.2 Rychlost na třech sestavách. Převezato z [16] . . . . .	26
3.5 Vlevo kostra sledována Azure Kinectem, vlevo kostra Kinectu v.2 [25][26] . . . . .	12	5.3 Test sledování těla v T-pose a pohled z částečného úhlu. . . . .	28
3.6 Zařízení od VicoVR. Převezato z [13] . . . . .	12	5.4 Sledování kostry zády k přístroji.	32
3.7 Schéma ToF. Převezato z [29] . . .	13	5.5 Sledování kostry při sedu. . . . .	33
3.8 Infračervené paprsky. Převezato z [17] . . . . .	14	5.6 Sledování kostry při simulaci chybějících končetin . . . . .	33
3.9 Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Úzký mód. Převezato z [30] . . . . .	14	5.7 Sledování kostry u malých dětí. .	34
3.10 Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Široký mód. Převezato z [30] . . . . .	15	5.8 Kolize koule a látky. . . . .	34
		5.9 Kolizní objekty uvnitř těla. . . . .	35



## Tabulky

5.1 Testovací počítačové sestavy. . . . . 25

5.2 Věrohodnost kloubů. . . . . 27



# Kapitola 1

## Úvod

V posledních desetiletích se velmi rozmohl vývoj nových technologií, s tím přišlo velké navýšení výkonu grafických karet i procesorů, které umožnily obnovení vývoje virtuální reality a její zapojení do života běžných lidí a jejich přístrojů. Virtuální i rozšířená realita se dnes dá v podstatě spustit na jakémkoliv moderním chytrém telefonu s kartónovým držákem. Začalo to okolo roku 2016, tehdy forma Oculus VR představila jejich první dostupný headset pro virtuální realitu s názvem Oculus Rift a firma VIVE představila HTC Vive viz. obrázek 1.1. [1] Spolu s dostatečně výkonným počítačem otevřely mnoha lidem nový svět, virtuální svět, ve kterém v dnešní době existuje stovky, ne-li tisíce her.

Od té doby se firmy po celém světě věnují i tomu, jak využít tyto jiné reality v jejich odvětví. V mobilním průmyslu se začaly objevovat hry jako Pokémon GO, která využívá rozšířené reality, kdy na displeji vidíme své okolí skrze kameru, kde je poté vložen digitální obsah v podobě Pokémonů. Nebo hra BeatSaber, která dostala ocenění za nejlepší VR hru roku 2019.[2] Za zmínku určitě také stojí aplikace, které na vaši fotce dokázaly změnit účes a jeho barvu, člověk si tedy mohl vyzkoušet jiné sestřihy, aniž by si musel nechat od kadeřníka takto nenávratně upravit vlasy. To byl ale pouze začátek a v dnešní době už existují v každém chytrém telefonu aplikace, které dokážou vložit do jiných fotek, videí či gifů váš obličej z pouhé fotky vašeho obličeje. Skvělé využití těchto technologií je Head Up Display 1.2, který se využívá v autech. Základní informace, jako je rychlost, se zobrazí řidiči na předním skle, a když se chce podívat na rychlost, nemusí spustit oči ze silnice ale stále ji má v zorném poli. Nová auta už dokonce spojují HUD [4] s navigací a řidiči je reálný svět upraven o šipky a pruhy, kudy má jet. [3]



**Obrázek 1.1:** Vpravo HTC Vive a vlevo Oculus Rift. Převzato z [28]

VR a AR by mohla prospět ale i obchodnímu průmyslu. Díky přístupu většiny lidí k internetu se stalo online nakupování více populárním a s příchodem covidu-19 nezbyla jiná možnost, než nakupovat oblečení a další věci přes internet. S tím přichází ale i stinná stránka, kdy velikosti, které jsme si objednali, nám úplně nesedí a přichází na řadu znovu cesta na poštu a odeslání balíčku zpátky na výměnu za jinou velikost. Nebo když si konečně zboží doma vyzkoušíme, zjistíme, že se nám ve skutečnosti nelíbí tak jako na obrázku na internetu. WWWWW Nebo přímo v obchodě, kdy musíme věc najít, odejít s ní do kabinek a tam si ji vyzkoušet a nakonec zjistit, že nám nesedí nebo vypadá jinak, než jsme předpokládali. A proto by se do budoucnosti hodily virtuální šatníky nebo zrcadla. Jedna z prvních vyvinutých aplikací pro virtuální oblečení je Swivel [7]. Ta vaši postavu dokáže obléct do vybraného oblečení. Toto oblečení je statické a nemá aplikované fyzikální zákony. Ale k použití vám stačí obyčejná kamera k počítači. V současnosti už ale existují i nové kamery, senzory a programy, které by se daly využít pro spolehlivější sledování lidského těla a zobrazení vybraných kusů oblečení společně s aplikovanou fyzikou.



**Obrázek 1.2:** Ukázka HUD v autě. Převzato z [3]





## Kapitola 2

### Cíl práce

Cílem mé práce je vytvořit virtuální zrcadlo. Představa je taková, že se člověk postaví přes velkou televizi. Uživatel si z virtuálního šatníku vybere požadované oblečení, které se mu zobrazí na virtuálním panáčkoví, který bude napodobovat pohyby uživatele. Toto zadání je rozděleno do tří nezávislých úloh, které se spojí v implementační části.

První částí je zanalyzovat možnosti sledování lidského těla a kostry, převodu těchto pohybů do počítače, a to hloubkovým senzorem. A dále vybrat přístroj a ten otestovat a zjistit, při kterých případech sledování těla selhává, a navrhnout řešení těchto problémů.

Další částí je prozkoumat možnosti animace oblečení v programu Unity3D. A ve finále spojit tyto dvě věci do programu a ten otestovat, zda a jak dobře funguje.





## Kapitola 3

### Analýza

#### 3.1 Virtuální realita

Virtuální realita je technologie, která se snaží nahradit základní lidský vjem, jako je například zrak, upravenou nebo kompletně odlišnou scénou, než by oko vidělo. Nebo můžete pomocí sluchátek nasimulovat odlišné prostředí, místo hlučného velkoměsta se ocitnete na osamělé pláži a posloucháte šumění moře. Můžete si vzít do rukou ovladače, které vám simulují, že něco držíte, pomocí vibrační odezvy například při virtuální střelbě. Ale zároveň se nabízí i interakce se skutečnými předměty převedenými do virtuálního světa. Virtuální realita je nahrazení celé naší reality jinou. Může využívat jen pár přístrojů, ale zároveň jich mohou být desítky. Pro základní hraní stačí brýle, ovladače a sluchátka, ale nedivil bych se, kdyby se časem staly populární celé místnosti, které by simulovaly i vítr, déšť, vůně a mnoho dalšího. Rozšířená realita je podobná normální realitě, kterou pozorujeme každý den, jen je rozšířena nebo upravena. Buď vidíme něco navíc, nebo jsou některé objekty zvýrazněny. Tyto úpravy nám mohou pomoci v každodenních činnostech, například usnadnit práci, nebo opravu něčeho tím, že pomocí speciálních brýlí uvidíme, kde se nachází komponenta, ke které se musíme dostat a kterou musíme vyměnit nebo šrouby, které musíme vyšroubovat.



Obrázek 3.1: Ukázka LG ThinQ Fit. Převzato z []

## 3.2 Virutální zrcadlo

Na technologii virtuálního zrcadla, někde také nazývaného virtuální šatník, se pracuje již dlouhou dobu. S pokročením technologií se způsoby, jak sledovat lidské tělo a zobrazit na něm oblečení, které se fyzicky na osobě nenachází, stává více a více jednodušší. Možnost vyzkoušet si triko, které si chci koupit, bez toho, abych si ho musel oblékat, což může být například v létě značně nehygienické, ušetří dost času i problémů. Přesto je samozřejmě nutnost brát ohled na to, že každý kus oblečení může být trochu jiný. Největší přínos bych viděl v tom, že by nemuselo být potřeba obcházet všechny regály a věšáky, ale z displeje bychom si zvolili trička, která se nám na nás nejvíce líbí, a ta by nám mohla být přinesena na reálné vyzkoušení. Senzory a kamery už umí vypočítat přibližné rozměry těla, a proto bychom se mohli vyhnout problémům se špatnou velikostí, kdy se vracíme k věšáku klidně třikrát, abychom měli správnou velikost. Tímto se zabírají, nebo zabírali firmy jako LG, Amazon, nebo Google. LG představila v roce 2019 LG ThinQ Fit [5][6]. Měl by být zabudován do skříně, kde budete mít uložené oblečení které vlastníte a podle toho si můžete sestavit oblečení, které k sobě ladí, aniž byste si ho museli zkoušet. Přístroj vás naskenuje, vypočítá tělesné proporce a vytvoří statickou virtuální postavičku, na které poté lze měnit oblečení a vybrat si styl a kombinaci, který by se vám nejvíce líbil viz. obrázek 3.1. Jistě by se ale technologie dala použít i v obchodech.

Amazon si v roce 2018 zažádal o patent na virtuální zrcadlo. Podle patentu je zrcadlo částečně reflexivní a částečně transmisivní. Vše důležité je schované uvnitř zrcadla, to by vás mělo nejdříve oskenovat, vygenerovat vaši virtuální postavu, na které si můžete následně zkoušet oblečení. Postava napodobuje



**Obrázek 3.2:** Loga firem ART a Orbbec. Převzato z [8][9]

vaše pohyby v reálném čase. [23]

I Google pracoval na své variantě virtuálního zrcadla a pokusil se zažádat o patent. Využíval také sledování lidského těla a jeho přenosu do digitální podoby. [24]

## ■ 3.3 Sledování lidského těla

### ■ 3.3.1 Sledování

Sledování lidského těla se dá rozdělit do několika skupin podle způsobu sledování. Do první nejzákladnější skupiny bych rozdělil použití dvou a více kamer, které zaznamenávají obraz a podle změn scény a rozpoznání pohybu dokážou vypočítat souřadnice lidského těla a převést je do souřadnic v programu.

Druhá skupina obsahuje sledování těla pomocí specializovaného obleku s přesně danými body, kdy se osoba v tomto obleku natáčí kamerou a počítač díky bodům na obleku dokáže rozpoznat pozici, natočení osoby. Do poslední skupiny bych zařadil kamery, které využívají hloubkový senzor. Ten spolu s dalšími senzory jako je například kamera dokáže zmapovat lidské tělo a odvodit přibližnou kostru člověka. U všech možností funguje stejný princip, kde data jsou následně zpracována algoritmy a výsledkem jsou 3D souřadnice částí těla převážně přímo kloubů.

### ■ 3.3.2 Přístroje

Na technologii sledování lidského těla pracuje řada firem, například společnosti ART, Orbbec, Intel, nebo Microsoft.



**Obrázek 3.3:** Kinect v2. Převzato z [12]

Firma ART nabízí 3 druhy produktů podle rozsahu sledování, složitosti a velikosti využití. Na těchto technologiích se stále pracuje, proto ani přesná funkčnost není známá. Orbecc nabízí 3D kamery spolu s Body Tracking SDK. Tyto kamery a program vypadají jako dobrá alternativa k Microsoftu a jeho kamerě Kinect v2, o které se zmíním níže. S jednou kamerou a SDK lze sledovat lidskou kostru, tedy něco podobného, co nabízí Kinect v2. Z videí a dostupných informací se zdá, že to není doladěno tak jako stejné sledování od Microsoftu. Cena tohoto zařízení se pohybuje kolem 160\$. [9][10]

Microsoft vydal společně s X-Boxem první zařízení Kinect v1, také známý jako Microsoft Xbox 360 Kinect Sensor, využívající hloubkový senzor. Při práci s více Kinecty je potřeba pro každý z nich samostatný USB Controller. Kinect v1 byl později nahrazen Kinectem v2, také známým jako XBOX One Kinect, k tomu Microsoft vydal Microsoft SDK v2, který ale znemožňoval připojení více Kinectů k jednomu počítači. Ke každému musel být samostatný počítač, kde výsledky jsou zpracovány přes Distributed Recording [11]. Toto jde obejít pomocí knihovny libfreenect2 [10].

První verze Kinectu dokáže vypočítat polohu a orientaci 20 kloubů a druhá verze díky vylepšenému hloubkovému senzoru má přesnější sledování a je schopna vypočítat až 25 kloubů. Cena Kinectu v2 se pohybuje kolem 160\$. Cena je podobná zařízení od Orbbecu, ale Kinect v porovnáních vyhrává.

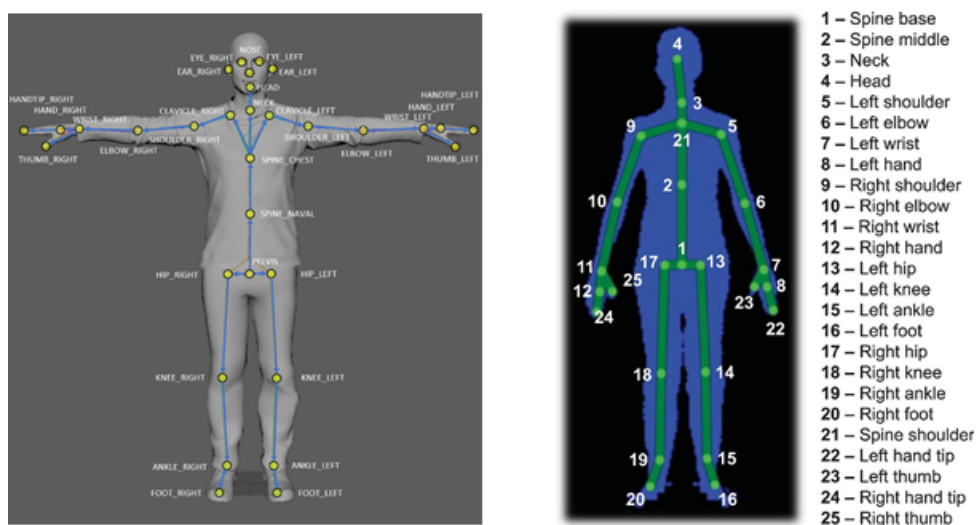


**Obrázek 3.4:** Azure Kinect. Převzato z [27]

[10] Kinect v2 obsahuje RGB kameru s rozlišením 1920x1080 px, IR kameru s 512\*424 px a tři IR projektory. Hloubkový senzor funguje na ToF principu, o tom v části hloubkový senzor. K datům ze zařízení se dá přistoupit pomocí Kinect for Windows SDK 2.0, ten umožňuje sledování až šesti osob najednou, každou s 25 klouby a důležitými body těla. Nejmodernějším senzorem je Azure Kinect od Microsoftu s cenou 400\$. Prozatím nejvýkonnější zařízení na dostupném trhu. Na stránkách je označován jako nejlepší senzor pro sledování lidského těla v současnosti. Microsoft na svých stránkách uvádí, že výpočet kostry je zprostředkován přes výpočet neuronových sítí a díky tomu je ve sledování lepší než jeho předchůdce. Toto zařízení jde zatím zakoupit jen v Americe, Číně, ale dá se sehnat i v Německu nebo Japonsku. [10]

Obsahuje RGB kameru s rozlišením 3840x2160 px při 30 FPS, a IR kameru s 1024x1024 px. Funguje také na principu ToF jako předchozí Kinect v2. IR kamera má lepší uzávěrku, která vede k lepším výsledkům na slunečním světle. Navíc obsahuje gyroskop a akcelerometr pro určení své pozice v prostoru, což může být následně použito pro případ, že by kamera byla vzhůru nohama, pro otočení obrazu nebo upravení souřadnic jednotlivých kloubů, kterých dokáže sledovat až 32 u neomezeného počtu lidí, kteří se vejdou do záběru.

Dalším zařízením je například VicoVR, který míří převážně na mobilní trh a hlavně na mobilní virtuální realitu. Nabízí vlastní SDK s podporou sledování těla. Data o vzdálenosti a tělu se dají poslat přes Bluetooth do mobilu s Androidem a iOS. Bohužel tento přenos není úplně nejrychlejší, a tak rychlejší pohyby nebo náročné situace mohou zabrat čas na přenos a následně zobrazení. Cena je 399\$. [12] [13]



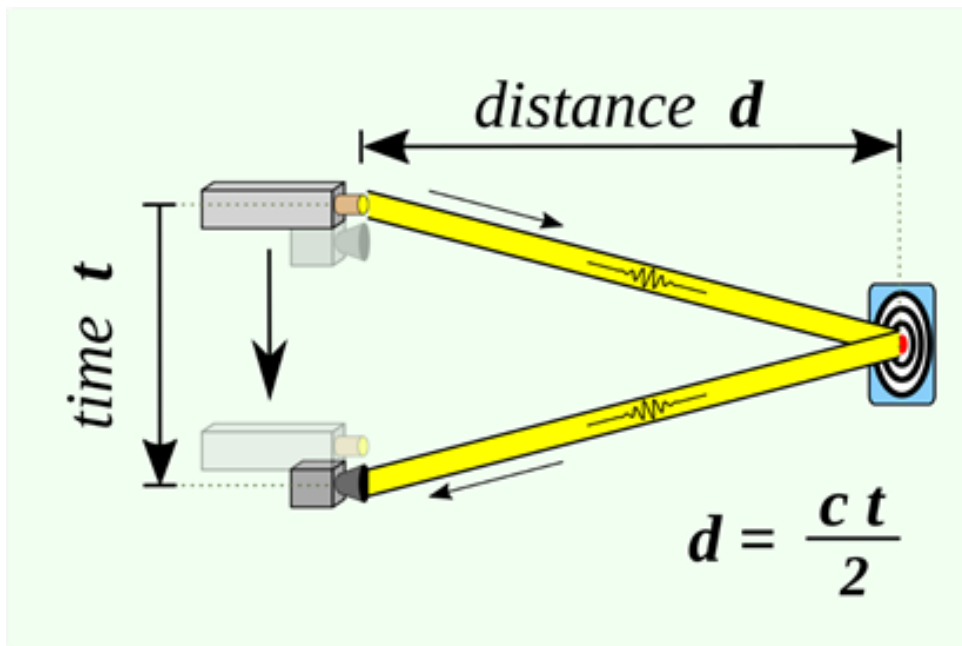
**Obrázek 3.5:** Vlevo kostra sledována Azure Kinectem, vlevo kostra Kinectu v.2 [25][26]



**Obrázek 3.6:** Zařízení od VicoVR. Převzato z [13]

Pro implementaci a testování jsem zvolil kameru Azure Kinect od Microsoftu, jednak kvůli nejmodernější a nejvýkonnější kameře s hloubkovým senzorem a také kvůli možnosti jejího zapůjčení na naší škole.

Našel jsem i studii [19], při které porovnávali Azure Kinect s jeho předchůdcem Kinect v2, s více kamerovým zaznamenáváním pohybu. Otestovali pět zdravých osob, které kráčely na běhacím páse, a přitom je nahrávali současně všemi kamerami. Jejich výsledkem bylo, že Azure Kinect vykazoval znatelně přesnější výsledky oproti Kinectu v2 v oblasti dolních končetin, horní části těla měly stejné výsledky.



Obrázek 3.7: Schéma ToF. Převzato z [29]

### 3.3.3 Hloubkový senzor

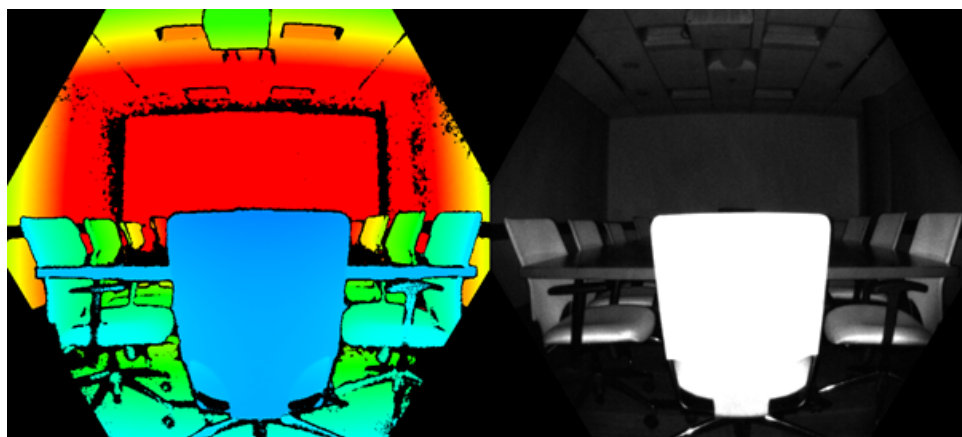
Hloubkový senzor u většiny funguje na principu ToF, time-of-flight, česky délka letu. Můžeme si to představit jako radar. Infračervený projektor vysílá paprsky, které lidské oko není schopno vidět. Ty jsou následně zachycovány infračervenou kamerou. Proto každý přístroj pro měření hloubky bude obsahovat infračervený projektor i kameru. Hloubkový senzor u Azure Kinectu umí i jen čistě pasivní mód, kde místo vysílání infračerveného záření je zaznamenáváno z okolí. Vzdálenost je vypočtena jako vzorec  $d = (c * t) / 2$ , kde  $t$  je čas od vyslání paprsku k jeho návratu a  $c$  je konstanta rychlosti světla.

Projektor vysílá infračervené paprsky v určitém schématu, které dopadnou na předměty, osoby a další překážky v cestě. Kamera následně zaznamená pár stovek pikosekund scény. Toto zachycení se nazývá čistý IR obraz, ten je převeden do počítače, kde je přepočten do hloubkové mapy. Schéma paprsků ve scéně je upraveno podle vzdálenosti objektů. Na bližších objektech je schéma více rozšířené, zatímco na vzdálenějších objektech je pokrytí hustší, při projekci je schéma pravidelné. Vzdálenost objektů je vypočítána pro každý pixel obrázku na jednotky milimetrů. [30]

Na Azure Kinectu se nachází dvě infračervené kamery lišící se ve FoV. První je úzký FoV 3.9, ten se hodí pro scény, kde máme užší záběr, ale rádi bychom pozorovali objekty dál od nás, zatímco druhý široký FoV 3.10 je pro



**Obrázek 3.8:** Infračervené paprsky. Převzato z [17]



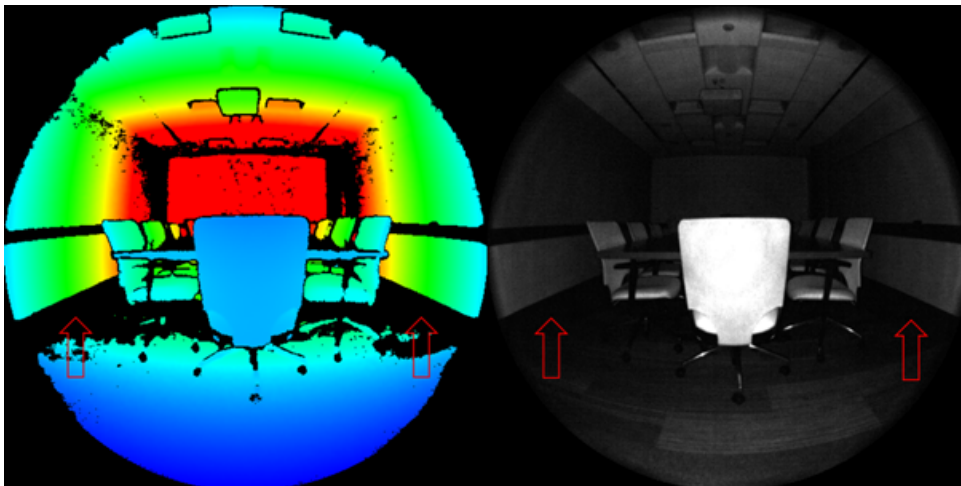
**Obrázek 3.9:** Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Úzký mód. Převzato z [30]

bližší scénu, ale zase širší a vyšší. Více v části testování přístroje.

### 3.4 Animace oblečení

Animace oblečení může být dosažena dvěma způsoby. Jednou z nich je statická animace, kdy bude přesně nastavena i pro pohyby s avatarem, ale to by se při snaze napodobovat pohyby člověka před kamerou nedalo použít. Mnohem lepší alternativou pro nás bude simulovat fyzikální vlastnosti oblečení, které se následně bude pohybovat v závislosti na fyzikálních vlastnostech a pohybech postavy.



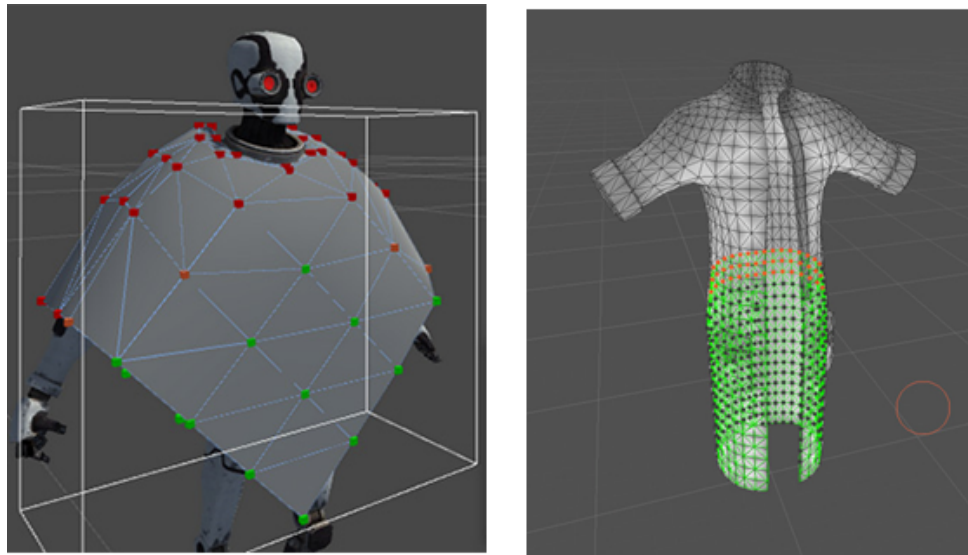


**Obrázek 3.10:** Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Široký mód. Převzato z [30]

Fyzika oblečení je důležitou součástí hlavně v herním odvětví, ale v případě virtuálních šatníků nebo zrcadel by se také hodila pro věrohodnější pocit skutečného zrcadla. Unity obsahuje svoje zabudované assety nebo je možnost využít Asset store. To je součást Unity a je zde možnost aktivovat či zakoupit assety naprogramované uživateli či firmami. Ty jsou většinou specifitější pro určité využití.

Unity Cloth poskytuje pouze základní možnosti fyzikální simulace oblečení s objekty. Látka se dá natahovat, ohýbat, vystavit působení gravitace, tření a další. Velkou nevýhodou je, že objekt s aktivovanou komponentou Cloth umí reagovat na kolizi sám se sebou, nebo jen s koulí, elipsoidem. To jsou neviditelné útvary, které se vloží do objektu nebo na místo, kde nechceme, aby látka prošla skrz. Proto se toto nehodí na útvary, které jsou hranaté. [20]

Oproti tomu placený doplněk Obi Cloth (za cenu 42€), nabízí pokročilejší ovládání a simulaci oblečení. Tento asset pochází od studia Virtual Method [21] a nabízí také doplňky na simulaci například kapalin nebo lan. Látka dokáže interagovat se všemi základními objekty z Unity, dokáže kolidovat i sama se sebou. Může se trhat a poskytuje i aerodynamické vlastnosti. Autoři na ní stále pracují a stále ji vylepšují.



**Obrázek 3.11:** Ukázka oblečení. Vpravo Cloth, vlevo ObiCloth. Převzato z [20][21]

## Kapitola 4

### Implementace

#### 4.1 Zprovoznění přístroje

Prvním krokem je zapojení přístroje. Balení přístroje nabízí jednu možnost, a to připojit kabel z USB-C do USB 3.1 a síťový kabel do elektrické zásuvky, nebo můžete využít zapojení USB-C do USB-C, který podporuje přenos dat i napájení alespoň 1,5A. Ten ale není součástí balení a musí být dodatečně přikoupen. Pokud bude pasivní, musí být kratší než 1,5 metru.

Pro kontrolu správného připojení se podívejte na zadní stranu přístroje 5.1, kde by měla svítit bílá dioda. Pokud bliká, zařízení je napájeno, ale není připojeno správně k počítači k přenosu dat. A pokud nesvítí, je nesprávně napájeno a zkontrolujte síťový kabel. [31]

Dalším krokem je stažení Azure Kinect SDK ze stránek <https://github.com/microsoft/Azure-Kinect-Sensor-SDK/blob/develop/docs/usage.md>. Zde stáhněte nejnovější verzi (nyní v1.4.1) a nainstalujte.

Spusťte nainstalovaný program Azure Kinect Viewer, klikněte na Open Device a následně Start. Měli byste vidět infračervený obraz, hloubkový obraz a obraz normální kamery.

Následně musíte stáhnout a nainstalovat Azure Kinect Body Tracking

SDK ze stránek <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/kinect-dk/body-sdk-download>. (nyní v1.1.0)

Pro ověření správného nainstalování a fungování spusťte právě nainstalovaný program Azure Kinect Body Tracking Viewer. Pokud vše správně funguje, tak je Body Tracking SDK správně nainstalován. Nyní máme počítač správně nakonfigurován pro Azure Kinect a můžeme spustit program.

Pro spuštění těchto dvou balíčků, nemusí váš počítač splňovat minimální hardwarové požadavky.

## 4.2 Implementace

Pro implementaci jsem využil Unity3D, které je zdarma pro osobní použití. Při hledání informací o Azure Kinectu jsem narazil na ukázkové kódy přímo od Microsoftu, které poskytují zdarma na GitHubu. Tyto kódy jsem ovšem nedokázal úspěšně spustit, kdy program vykazoval chybu "catching exception for background thread result = *K4A\_RESULT\_FAILED*", kde se mi nepodařilo tuto chybu opravit. Nejspíš při nejnovější aplikaci se objevila chyba a pracuji na její opravě. Tato stejná chyba se mi zobrazovala při snaze vytvořit celý program sám od základu.

Později při hledání jsem objevil uživatele Rumen Filkov, který pracuje na programu sledování těla pomocí Azure Kinectu v Unity3D. [32] Napsal jsem mu tedy, zda by mi poskytl kódy pro sledování těla pro Bakalářskou práci. Následně mi zaslal Unity3d balíček, který jsem rozbalil přímo do Unity3D. Obsahuje kódy a zkušební scény pro všechny možná využití sledování těla. Tato verze překvapivě fungovala a nevykazovala žádnou chybu.

Pro napodobování pohybů těla jsem využil model robota poskytnutý spolu s ukázkovými kódy, na který jsem vymodeloval v programu Blender cylindr, mikinu, kalhoty, šaty, sukni a poncho. Následně jsem vytvořil menu, kde jsem napsal scripty na spuštění jednotlivých scén a sledování kláves na počítači.

Scény obsahují položku KinectController, ta se stará o spuštění přístroje pro sledování těla. Ukázkové kódy podporují Azure Kinect, Kinect v2 a RealSense. Script nejdříve najde připojené Kinecty, ze kterých vybere v pořadí takový jaký určíme a ten spustí. U Kinectu se dá nastavit FOV, vzdálenost sledování, snímky za vteřinu atd.

Druhou součástí je AvatarMatcher, který využívá předem otevřený Kinect. Zjistí počet lidí před kamerou a sleduje pouze maximální povolený počet, který jsme předem nastavili. Při každém snímku zkontroluje, jestli nějaký člověk nezmizel nebo případně nepříbyl. V těchto případech buď odstraní objekt sledovaného těla, nebo naopak přidá nový objekt těla s oblečením.

## ■ 4.3 Spuštění programu a ovládání

Pokud máte správně nainstalované balíčky SDK, vyzkoušeli oba programy a váš počítač splňuje minimální hardwarové požadavky pro sledování kostry, otevřete projekt BachelorSillipav v Unity 3D, ve verzi 2019.4.10. V části Projekt otevřete složku MyScene a spustte scénu MainMenu. V Menu si můžete vybrat tři druhy oblečení, šaty, sukni nebo cylindr.

Pokud vše správně funguje, měla by se vám otevřít vybraná scéna a pokud funguje Kinect, měl by se vám zobrazit avatar v podobě robota s vybranou částí oděvu. Pomocí backspace se vrátíte zpět do menu a pomocí klávesy R restartujete scénu.



**Obrázek 4.1:** Ukázka šatů v přiměné poloze.



**Obrázek 4.2:** Ukázka šatů v skrčené poloze.



**Obrázek 4.3:** Ukázka cylindru.



# Kapitola 5

## Testy

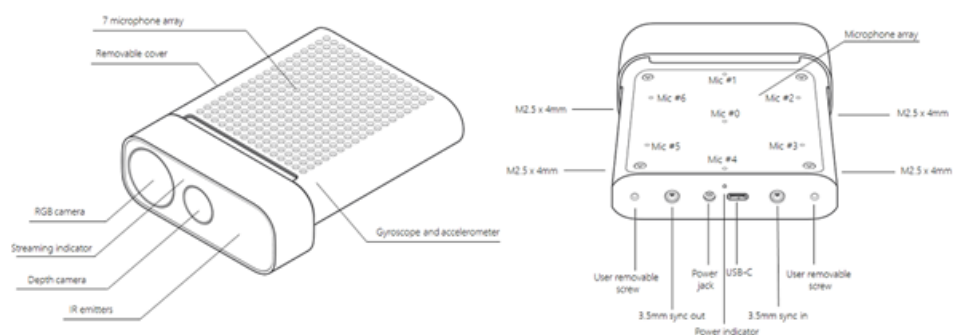
### 5.1 Azure Kinect

#### 5.1.1 O přístroji

Azure Kinect byl představen na začátku roku 2019 v Barceloně na MWC. Oficiální datum vydání bylo v březnu roku 2020. [15] Nabízí sadu prostorových a výpočetních funkcí pro vývojáře k počítačovému zpracování obrazu a řeči pomocí pokročilých AI funkcí. Společnosti toto mohou využít v oblasti výroby, maloobchodu, zdravotní péče i médií.

Tento přístroj pro sledování a vypočítávání lidské kostry jsem zvolil z důvodu, že je nejvýkonnějším zařízením s hloubkovým senzorem a také kvůli možnosti zapůjčení v naší škole. Další výhodou je jeho výpočet kostry přes neuronové sítě, které zajistí lepší výsledky než ostatní kamery.

Azure Kinect obsahuje dvanácti megapixelovou RGB kameru pro případy využití záběru klasické kamery, jedno megapixelový senzor hloubky s dvěma možnostmi nastavení FOV, 360° pole sedmi mikrofonů pro případ nahrávání zvuků, akcelerometr a gyroskop pro zjištění orientace senzoru. Tento přístroj se přes USB 3.1 připojí k počítači, spolu s napájecím kabelem do zásuvky. [10]



**Obrázek 5.1:** Schéma Azure Kinectu. Převzato z [31]

### 5.1.2 Požadavky na systém

Výkon zařízení je závislý na počítači, ke kterému je připojeno. Tedy pokud bychom chtěli sledovat deset osob, různě se pohybujících, nebude nám stačit sestava splňující minimální požadavky na systém. Těmi jsou alespoň sedmá generace Intel Core i3, 4GB RAM paměti, USB3 port, grafické drivery podporující OPENGL 4.4 nebo DirectX 11.0. Ty jsou nutné alespoň pro využití senzoru hloubky.

Minimální požadavky – senzor hloubky	Minimální požadavky – body tracking	Školní testovací sestava	Osobní testovací notebook
Intel Core i3 – 7. generace 4 GB RAM	Intel Core i5 – 7. generace 4 GB RAM	Intel Core i7 – 1. generace 12 GB RAM	Intel Core i5 - 7. generace 8GB RAM
OpenGL 4.4 nebo DirectX 11.0	NVIDIA GeForce 1070	NVIDIA GeForce 1080 Ti	NVIDIA GeForce 1050

**Tabulka 5.1:** Testovací počítačové sestavy.

## Runtime Speed

Hardware	CPU	GPU	Depth Speed (ms)	DNN Speed (ms)	Model Fitting Speed[1 person] (ms)	SDK Framerate (FPS)
Z440	Xeon(R) CPU E5-1660 v4 @ 3.20GHz 3.20 GHz	GTX 1080Ti	3.0	19.2	2.9	50
Z420	Xeon(R) CPU E5-1620 0 @ 3.60GHz 3.60 GHz	GTX 1070	4.0	30.2	3.3	30
Surface Book	i7-8650U CPU @ 1.90GHz 2.11 GHz	GTX 1060M	6.2	47.1	3.6	17

**Obrázek 5.2:** Rychlost na třech sestavách. Převzato z [16]

Aby bylo možné využít body tracking na plných 30FPS, jsou doporučenými komponenty alespoň sedmá generace Intel Core i5, 4GB RAM, NVIDIA GeForce 1070 nebo lepší a USB3 port.

Sestava však může být i slabší, záleží hlavně na rozsahu využití. Na testování jsem v první fázi využíval školní počítač, později jsem testy prováděl na osobním notebooku. Microsoft zveřejnil jejich výsledky na třech různých počítačích (Obr .x), kde uvádí, jak rychle rozpoznali jednu osobu a při jakých FPS fungovalo sledování kostry.

Aby bylo možné využít body tracking na plných 30FPS, jsou doporučenými komponenty alespoň sedmá generace Intel Core i5, 4GB RAM, NVIDIA GeForce 1070 nebo lepší a USB3 port.

Sestava může být i slabší, záleží hlavně na rozsahu využití. Na použití SDK od Microsoftu může být počítač slabší, ale na naprogramování nebo spuštění programu je potřeba použít výkonnější počítač. Na testování jsem využíval školní počítač, později jsem testy prováděl na osobním notebooku. Microsoft zveřejnil jejich výsledky na třech různých počítačích, obrázek 5.2, kde uvádí, jak rychle jejich SDK rozpoznali jednu osobu a při jakých FPS fungovalo sledování kostry.

Microsoft se při vývoji zaměřil na tři hlavní odvětví. Prvním je analýza lidských pohybů neboli rozpoznávání a hodnocení pohybu a postojů – což se dá využít například při rehabilitaci, fitness cvičení, monitorování pacientů, detekci pádů nebo může pomoci při sportech. Dalším odvětvím je porozumění člověku, například pochopení chování lidí při nakupování, rozpoznávání lidí a odhad jejich počtu. Poslední odvětví je lidská interakce - například interaktivní muzea a přehlídky, bezpečnost práce lidí se stroji nebo informační cedule. [16]

Azure Kinect dokáže sledovat 32 kloubů a částí těla, což by mělo znamenat přesnější kostru těla než při předchůdci Kinectu v2. Programování je multiplatformní pro Windows a Linux, probíhá v C nebo C++ a do budoucna se plánuje podpora C#.

Azure Kinect zjistí počet osob stojících před kamerou, každé přiřadí unikátní ID, přes které se dá v SDK přistoupit k souřadnicím kloubů a jejich orientaci reprezentované quaterniony. Kamera zaznamenává v 30FPS. V každém zaznamenání lze zjistit počet viditelných těl pomocí funkce `k4abt_frame_get_numbodies()`. Z té se dá pomocí funkce `k4abt_frame_get_bodies_d()` zjistit přiřazené identifikační číslo těla, pro přístup k pozici a orientaci kloubů využijeme funkci `k4abt_frame_get_bodies_skeleton()`. [14] Každý kloub má svou hodnotu `k4abt_joint_confidence_level_t`, která ukazuje věrohodnosti kloubů - Tabulka 5.2.

## 5.2 Testování

Testování Azure Kinectu proběhlo v několika fázích. V první fázi bylo nutné zjistit, zda mě kamera skutečně zaznamená a vypočte přibližnou kostru. S tím kamera neměla problém viz. obrázek 5.3. Kamera byla tedy dobře spárována s počítačem a díky tomu jsem mohl pokračovat v testování. Zkusil jsem rychlejší pohyby, skákání, překopávání, rychlé mávání rukama a jejich vzájemné proplétání. S tím neměl Kinect žádný problém a dokonce si poradil, i když byla ruka schovaná za tělem a byla vidět pouze část od zápěstí k prstům. Viz. obrázek 5.3 Kostra ruky je vcelku věrohodně zobrazena, není stoprocentní, ale přesto k potřebám postačující.

Problém, který jsem odhalil, je při sedavé poloze – zdá se, že Kinect má problém rozeznat, co je ještě tělo a co už židle. Je to pochopitelné, z fungování hloubkové kamery je těžké rozeznat, zda například přes kamerou nestojí asymetrická osoba nebo co ze čtyř nohou dolů je skutečná lidská noha a co už ne. Taky si nedokáže poradit s nohama ve vzduchu směrem ke kameře.

Napadlo mě tedy, co by se stalo v momentě, když by náhodou před kamerou

None	Kloub je mimo dosah hloubkové kamery
Low	Kloub není viditelný, přibližná pozice
Medium	Současné maximum pro věrohodnost
High	Prozatím nedostupné, později v SDK

**Tabulka 5.2:** Věrohodnost kloubů.



**Obrázek 5.3:** Test sledování těla v T-pose a pohled z částečného úhlu.

stála osoba bez nohy, chodící o berlích, nebo bez ruky. Rozhodl jsem se tyto pozice vyzkoušet, bohužel neznám nikoho s těmito hendikepy, ale mohu to zkusit sám schováním nohy nebo ruky pod oblečení.

Software kamery si s tím nedokáže pořádně poradit, na obrázku 5.6 můžeme vidět, že například pravá ruka nemá zobrazené klouby v oblasti zápěstí, zatímco u levé ruky, přesto že ji nevidí, se snaží odhadnout i klouby pod zápěstím. Levou nohou vůbec nezaznamenává, ale pamatuje si její předchozí pozici a tak ji průhledně odhadem zobrazí. Hendikepovaní lidé budou mít tedy s použitím Kinectu problém, kdy při přenášení pohybu kloubů by mohly končetiny divně přeskakovat. Řešením by bylo předem zjistit informace o chybějících končetinách a ty následně nepozorovat, nebo při nenajití končetiny ji vůbec nezobrazovat.

Malé postavy, například děti, by mohly také někdy využít Kinect. Rozhodl jsem se tedy zjistit, jak se výpočet kostry zachová u malých dětí – využil jsem na to své mladší sourozence. Tříletého bratra s výškou necelého jednoho metru kamera zachytila bez problémů a zobrazila kostru jeho těla. Ovšem problém mohl být s ještě mladšími - roční sestru kamera nerozeznala, mohlo to být také tím, že seděla na posteli a tedy splývala v jedno. Obrázek 5.7

Otestoval jsem také případy, kdy se v cestě vyskytne velmi odrazlivý objekt jako zrcadlo. S tím si Kinect bez problémů poradil, dokud objekt nezakrýval

většinu těla. I světelné podmínky nedělají žádný problém, vyzkoušel jsem světlo při 800 a při 0 lumenech, tedy při světle ze zářivky a v naprosté tmě. Jelikož přístroj funguje na infračervené záření, umělé světlo neovlivní výsledek sledování

Ideální vzdálenost od Kinectu jsou dva až čtyři metry, a Kinect umístěn ve výšce jednoho metru a ve vodorovné pozici, v ten moment má nejlepší pohled na celé lidské tělo a tedy nejlehčí podmínky pro to zachytit lidské tělo. Také se doporučuje nenosit tmavé oblečení, jelikož černá dokonale neodráží infračervené paprsky, paprsek se tedy nevrátí zpět do kamery a může to být vyhodnoceno, že v cestě nic není. [16] Sám Microsoft varuje před několika případy, kdy hloubková kamera neměří správnou vzdálenost. [30] Na obrázcích z testování si můžete všimnout černých míst, to jsou černé pixely, které jsou neplatné, tudíž u nich nebyla správně změřena hloubka, neboli vzdálenost od kamery. To se může stát, pokud jsou mimo FoV kamery, to jsou místa u obrázku 3.10, co leží mimo kruh, u obrázku 3.9 mimo hexagon. Pixely bez hloubky uvnitř FOV, jsou z důsledku buď překrývajících se infračervených signálů, které se odrazí například v rozích a nebo u kterých nebyl dostatečně silný infračervený signál, tedy odrazová plocha je moc daleko.

## ■ 5.3 Oblečení

### ■ 5.3.1 Unity Cloth

Oblečení v Unity3D jsem řešil pomocí již zabudovaného assetu Cloth. Ten měl být pro naši jednoduchou scénu s jednou osobou vhodnou volbou. Pokud bychom brali více osob a aby například jejich oblečení kolidovalo mezi sebou, bylo by lepší použít Obi Cloth díky podpoře interakce s větším množstvím útvarů.

Cloth asset se aktivuje po přidání komponenty na zadaný objekt. Pokud má objekt jiný Mesh než Skinned Mesh, Unity3D automaticky odebere předchozí Mesh a nahradí ho Skinned Meshem.

Cloth nabízí spoustu možností na nastavení fyziky látek. Nejhlavnější je nastavení kolizí mezi objekty. Využít lze jen kruhový nebo kapsulový kolizní objekt, který není pro kameru viditelný, ale rozezná přiřazený objekt s komponentou Cloth. Reakce je pořád jednosměrná, objekt ovlivní pouze látku, ne naopak. Tyto kolizní objekty musíme u každé látky přiřadit. Ovšem velké

množství může znamenat velké množství výpočtů a zpomalení programu, až jeho pád.

Mezi další nejdůležitější patří použití Gravitace. Na látku bude aplikovaná umělá gravitace, díky které, oblečení nebude samovolně létat nebo stát na místě, ale bude přitahována k zemi, k tomu patří hlavně i nastavení omezení pro pohyb látky. Ta povoluje látce pohnout se určitou vzdálenost od svého středu a původního místa. Určité body se musí nastavit na zákaz pohybu, aby látka nepadla přímo na zem, například z pasu nebo ramen. Pokud tedy přiřadíme část oblečení jako následovníka určité části těla, kam se pohne tělo, se pohne i celá látka, což zajistí možnost procházení po scéně bez toho, aby určité části látky zůstávaly na stejném místě ve scéně. Tudíž látka se pohybuje ze svého místa vzhledem k tělu. Sféry lze vidět na 3.11. Červená barva znamená zakázaný jakýkoliv pohyb, u zelené je povolený volnější pohyb a u černé je bez přiřazení.

Dále můžeme nastavit tuhost protahování, tuhost ohýbání. Za zmínku stojí také položka Random Acceleration, která náhodně aktivuje určité části látky. Díky tomu můžeme simulovat například vítr. A posledními jsou World Velocity Scale, která určuje jak moc ovlivní pohyb postavy oblečení, World Acceleration Scale, jak moc bude při pohybu oblečení akcelarovat a Damping, který tlumí pohyb látky. [20]

### ■ 5.3.2 Testování

Pro test kolize jsem si vytvořil scénu, kde jsem měl jen kuličku a jednoduchou látku, na kterou jsem aplikoval komponent Cloth. Testoval jsem jednotlivé možnosti nastavení, abych porozumněl co nejvíce jednotlivým funkcím. Při těchto testech vše funguje, jak má, a objekt s látkou spolu skvěle kolidují. Obrázek 5.8

Chyby nastávají u kolizí při sledování těla. Látka se chová nekontrolovatelně, dostává se zkrze jednotlivé kolizní objekty a nebo se protáhne mezi nimi. Mohlo by to souviset s tím, že počítač nezvládá výpočet všech kolizí spolu se sledováním těla, který vyžaduje vyšší výkon počítače.

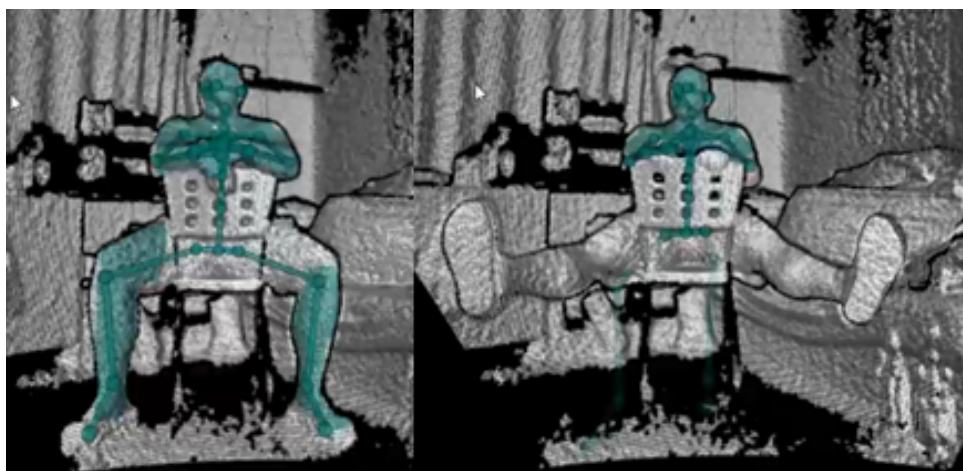
Oblečení se jinak pohybuje spolu s tělem, při střetu se oblečení pohne a vytvaruje podle předem ložených kolizních objektů. Ty jsou vloženy do určitých kloubů těla, kde se následně natáčejí spolu s částí těla, ke které jsou přiřazeny.



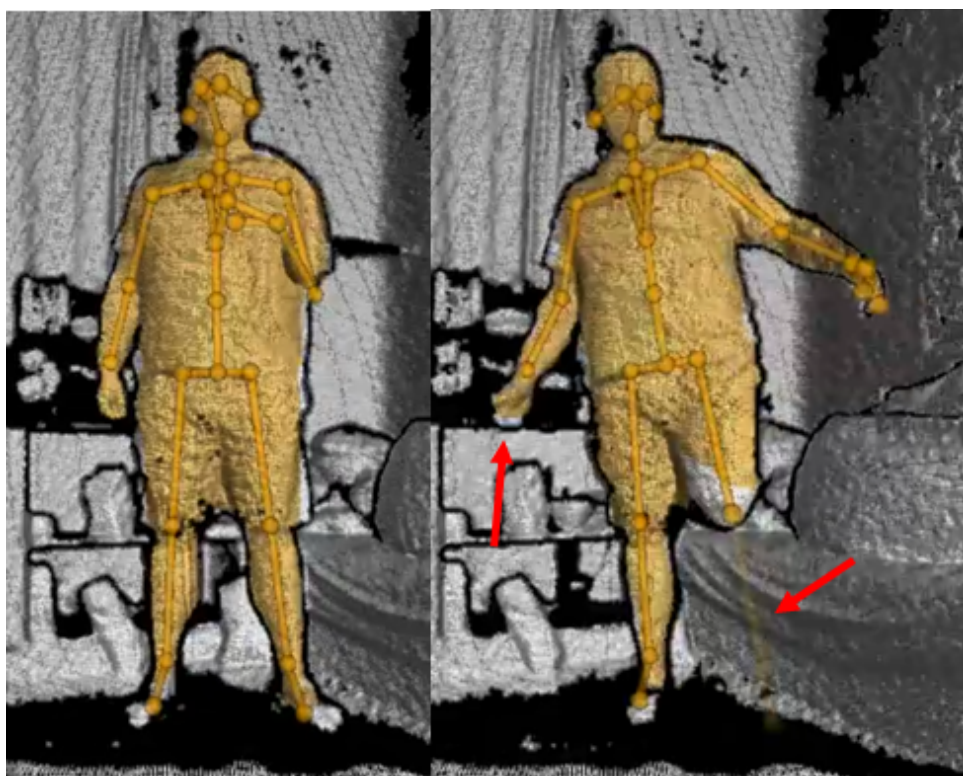
Problémy nastávají hlavně při rychlých pohybech, také sledování těla se občas zasekne a potom se oblečení někde protne. Také obnovování nebo načítání scény se občas nepovede správně, to souvisí s tím že tělo je hned vykreslováno, když Kinect rozpozná osobu před kamerou. Mohlo by pomoci nejdříve vykreslit objekt a dát mu čas se vykreslit a až poté opakovat pohyby. Je ale možné, že na silnějších sestavách by program bežel spolehlivěji.



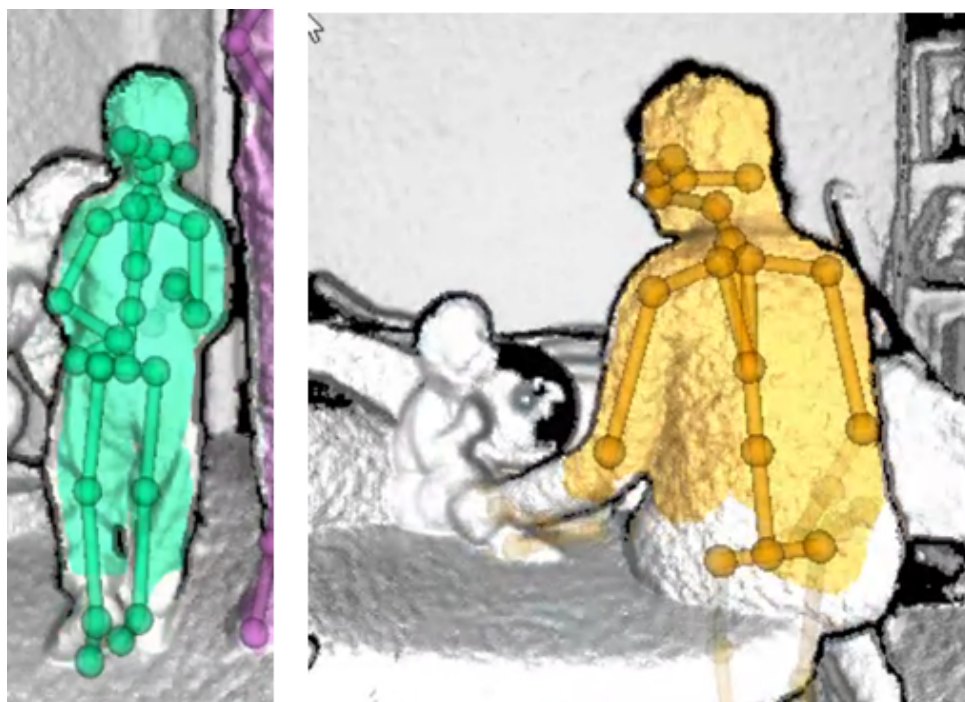
**Obrázek 5.4:** Sledování kostry zády k přístroji.



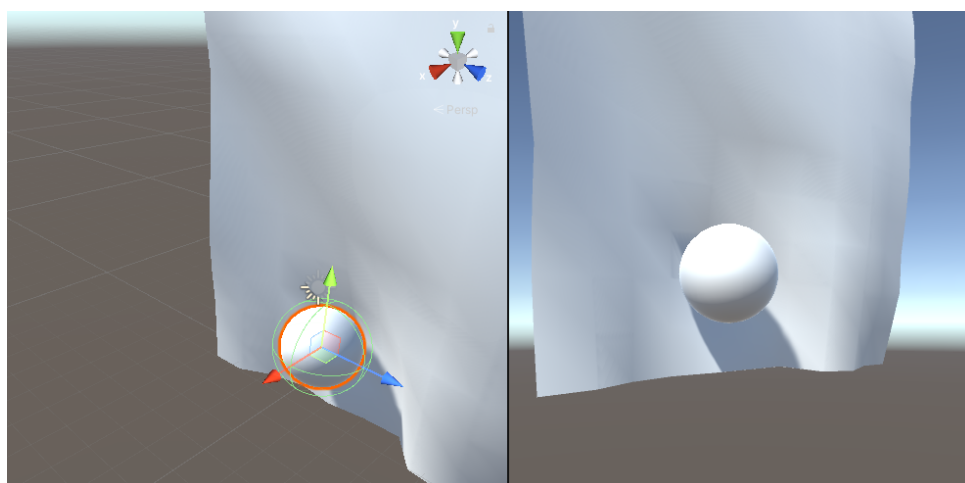
Obrázek 5.5: Sledování kostry při sedu.



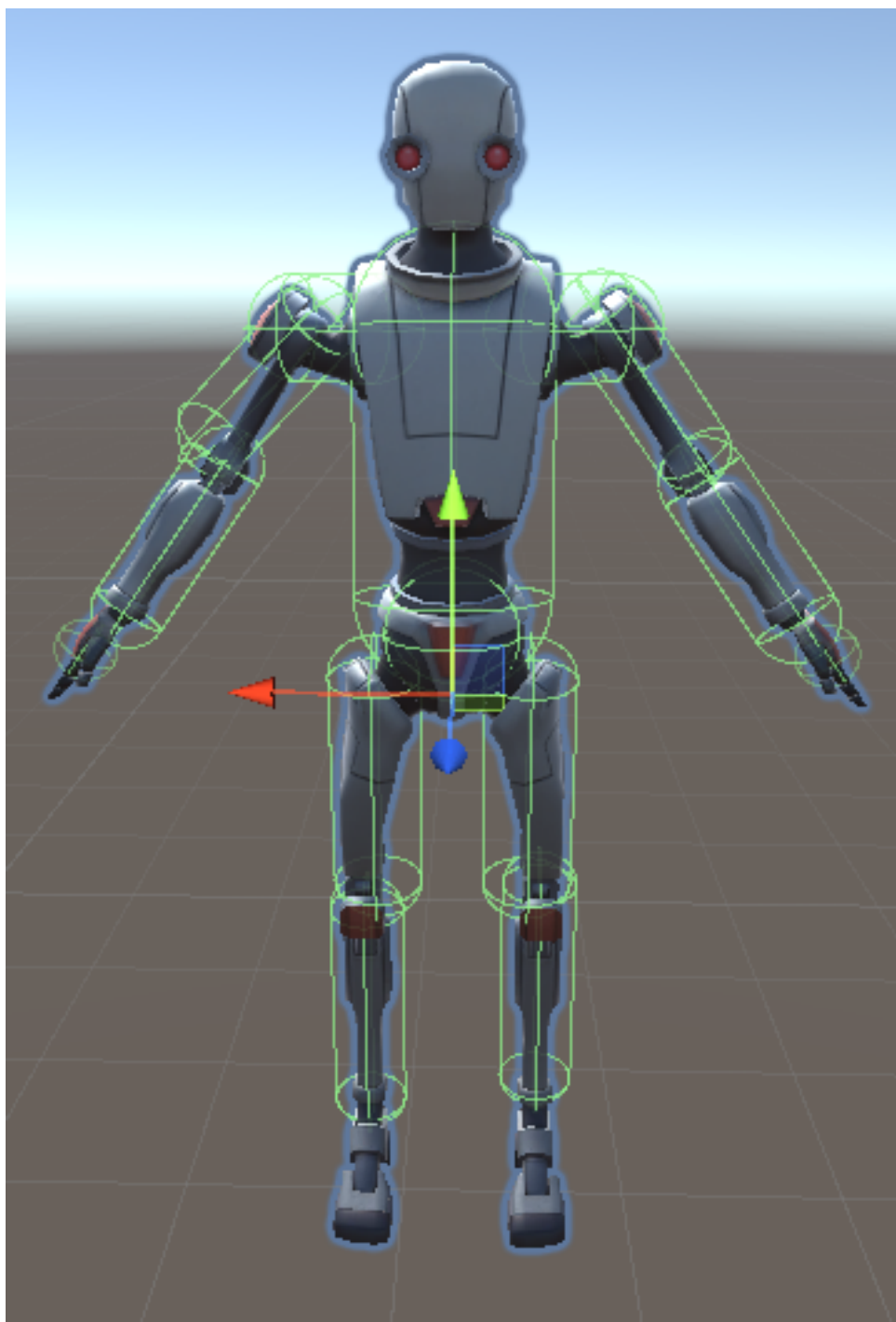
Obrázek 5.6: Sledování kostry při simulaci chybějících končetin



Obrázek 5.7: Sledování kostry u malých dětí.



Obrázek 5.8: Kolize koule a látky.



**Obrázek 5.9:** Kolizní objekty uvnitř těla.



## Kapitola 6

### Závěr

Ve své práci jsem prozkoumal možnosti sledování lidského těla a popsal nejlepší kamery od různých výrobců. Porovnal jejich ceny, základní funkce a využití. Otestoval jsem kdy nejnovější a nejmodernější přístroj Azure Kinect funguje a kdy naopak selhává ve výpočtech lidské kostry. Dále jsem prozkoumal možnosti animace oblečení v Unity3D, kde se jevil Cloth jako dostačující.

Dále jsem našel řešení pro sledování kostry v Unity3D, namodeloval různé druhy oblečení a pokusil se je využít při testech. Bohužel simulace fyzikálního chování látky, není nejlepší při kombinaci s pohyby při sledování lidského těla. Možná by placený doplněk UniCloth mohl být lepší alternativou.

Kvůli covidové situaci nebylo možné jednoduše uskutečnit uživatelské testy, proto jsem testování ve finále provedl sám.

Provedl jsem testy s umístěním kamery, a vnějšími vlivy. Kdy největším problémem, jsou chybějící končetiny, nebo černé oblečení. Kamera pracuje na infračervených paprscích. Umělé infračervené paprsky způsobí problémy s výpočty. Kamera je nejlépe umístěná ve výšce zhruba jednoho metru a uživatel stojí dva až čtyři metry od ní.

Nepovedlo se mi zprovoznit úspěšnou kombinaci sledování těla spolu s animací oblečení.







## Literatura

- [1] Anon., nedatováno. TÉMA - Stručná historie VR: její vstup, pád a další vzestup [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://cdr.cz/clanek/vzestup-pad-vzestup-ambiciozni-technologie-aneb-strucna-historie-vr>
- [2] Anon., 2021. The Game Awards 2019 [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The\\_Game\\_Awards\\_2019&oldid=1012978908](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Game_Awards_2019&oldid=1012978908)
- [3] INFO@SABRE.CZ, Sabre, www sabre cz, e-mail:, nedatováno. Volkswageny i Škody dostanou head-up displej s rozšířenou realitou | Automobil Revue [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/volkswageny-i-skody-dostanou-head-up-displej-s-rozsirenou-realitou\\_48329.html](https://www.automobilrevue.cz/rubriky/testy/predstavujeme/volkswageny-i-skody-dostanou-head-up-displej-s-rozsirenou-realitou_48329.html)
- [4] Anon., 2021. Průhledový displej [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pr%C5%AFhledov%C3%BD\\_displej&oldid=19882072](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pr%C5%AFhledov%C3%BD_displej&oldid=19882072)
- [5] S.R.O, 24net, nedatováno. LG ThinQ Fit vás virtuálně obleče. Tedy, pokud vás i dobře změří. fZone.cz [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://fzone.cz/clanky/lg-thinq-fit-vas-virtualne-oblece-tedy-pokud-vas-i-dobre-zmeri-963>
- [6] Anon., nedatováno. IFA 2019: nejlepší nové produkty LG | LG MAGAZÍN [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.lg.com/cz/lg-magazin/pribeh-znacky/ifa-prehled-2019>
- [7] Anon., 2013. Technology Finally Brings Cher's Epic „Clueless" Closet To Life. HuffPost [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.huffpost.com/entry/cher-clueless-closet>

[//www.huffpost.com/entry/swivel-technology-closet-video\\_n\\_3790445](https://www.huffpost.com/entry/swivel-technology-closet-video_n_3790445)

- [8] Anon., nedatováno. Startseite | Advanced Realtime Tracking GmbH & Co. KG [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://ar-tracking.com/en>
- [9] Anon., nedatováno. Orbbec – Intelligent computing for everyone everywhere [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://orbbec3d.com/>
- [10] Anon., nedatováno. Depth Sensors Comparison - iPi Docs [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://docs.ipisoft.com/Depth\\_Sensors\\_Comparison](https://docs.ipisoft.com/Depth_Sensors_Comparison)
- [11] Anon., nedatováno. Distributed Recording - iPi Docs [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://docs.ipisoft.com/Distributed\\_Recording](https://docs.ipisoft.com/Distributed_Recording)
- [12] Anon., nedatováno. Kinect for Windows v2 sensor sales end, developers can use Xbox One version instead | Windows Central [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.windowscentral.com/kinect-windows-v2-sensor-sales-end-developers-can-use-xbox-one-version>
- [13] Anon., nedatováno. Full body, positional tracking and gesture recognition for Samsung Gear VR, Cardboard, Android HMD, Apple TV, iOS HMD [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://vicovr.com/>
- [14] PTERNEAS, Vangos, 2017. The Best Body Tracking Depth Sensors (2017). LightBuzz [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://lightbuzz.com/body-tracking-sensors-2017/>
- [15] Anon., 2021. Azure Kinect [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Azure\\_Kinect&oldid=1023401076](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Azure_Kinect&oldid=1023401076)
- [16] LIU, Zicheng, nedatováno. 3D Skeletal Tracking on Azure Kinect. 36.
- [17] Anon., nedatováno. Azure Kinect Body Tracking SDK: Welcome [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://microsoft.github.io/Azure-Kinect-Body-Tracking/release/1.x.x/index.html>
- [18] MCWILLIAMS, Andrew, nedatováno. How a Depth Sensor Works - in 5 Minutes | Andrew McWilliams [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://jahya.net/blog/how-depth-sensor-works-in-5-minutes/>
- [19] ALBERT, Justin Amadeus, Victor OWOLABI, Arnd GEBEL, Clemens Markus BRAHMS, Urs GRANACHER a Bert ARNRICH, 2020. Evaluation of the Pose Tracking Performance of the Azure Kinect and Kinect v2 for Gait Analysis in Comparison with a Gold Standard: A Pilot Study. Sensors (Basel, Switzerland) [online]. 20(18) [vid. 2021-05-17]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s20185104

- [20] TECHNOLOGIES, Unity, nedatováno. Unity - Manual: Cloth [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Cloth.html>
- [21] Anon., nedatováno. Obi Cloth | Physics | Unity Asset Store [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/obi-cloth-81333>
- [22] Anon., nedatováno. Virtual Method Studio [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <http://www.virtualmethodstudio.com/products.html>
- [23] Anon., nedatováno. Patent Images [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://pdfpiw.uspto.gov/.piw?PageNum=0&docid=09858719&IDKey=&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpdfpiw.uspto.gov%2F>
- [24] FRETWELL, Lisa a Clive GRINYER, 2013. Virtual fashion mirror system [online]. US20130182005A1. [vid. 2021-05-17]. 18. červenec 2013. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US20130182005/en#patentCitations>
- [25] QM13, nedatováno. Azure Kinect body tracking joints [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/kinect-dk/body-joints>
- [26] Anon., 2018. Body joints tracked by the Kinect v2. figshare [online]. B.m.: PLOS ONE [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [doi:10.1371/journal.pone.0201728.g003](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201728.g003)
- [27] Anon., nedatováno. Amazon.com: Azure Kinect DK Developer Kit: Computers & Accessories [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Azure-Kinect-Developer-Kit-PC-Linux/dp/B07WRV7T2G>
- [28] Anon., 2018. Oculus Rift vs HTC Vive: our impressions. Titan Deep Space Company [online]. [vid. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://titandscompany.com/2018/06/27/oculus-rift-vs-htc-vive-our-impressions/>
- [29] Anon., 2021. Time of flight [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time\\_of\\_flight&oldid=1003815026](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time_of_flight&oldid=1003815026)
- [30] TESYCH, nedatováno. Hloubka kamery Azure Kinect DK [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/cs-cz/azure/kinect-dk/depth-camera>
- [31] QM13, nedatováno. Azure Kinect DK hardware specifications [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/kinect-dk/hardware-specification>

- [32] Anon., nedatováno. RF Solutions - Technology, Health and More. RF Solutions - Technology, Health and More [online] [vid. 2021-08-13]. Dostupné z: [\protect\unhbox\voidb@x\protect\penalty\@M\https://rfilekov.com/](https://rfilekov.com/)



## Příloha A

### Přílohy

1. SillipavUnity3D.rar
2. Tests.mp4
3. AzureTracking.mp4