

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
Květen 2022

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. 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. května 2022

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

1 Úvod	1	4.1.2 Požadavky na systém	20
2 Cíl práce	5	4.2 Testování	23
3 Analýza	7	4.3 Assety pro simulaci oblečení	25
3.1 Virtuální realita	7	4.3.1 Unity Cloth	26
3.2 Virtuální zrcadlo	8	4.3.2 Obi Cloth	27
3.3 Sledování lidského těla	9	4.3.3 Cloth Dynamics	28
3.3.1 Sledování	9	4.3.4 Magica Cloth	28
3.3.2 Přístroje	9	4.3.5 Radial Cloth	28
3.3.3 Hlubkový senzor	13	5 Implementace	35
3.4 Reprezentace 3D modelu	14	5.1 Zprovoznění přístroje	35
3.5 Kostra animace	15	5.2 Implementace	36
3.5.1 Kostra v Unity	16	5.2.1 Modely a Materiály	36
3.6 Animace oblečení	16	5.2.2 Program	36
4 Testy komponent	19	5.3 Spuštění programu a ovládání	38
4.1 Azure Kinect	19	5.3.1 Úprava sledování těla	38
4.1.1 O přístroji	19	5.3.2 Úprava Obi Cloth	39

6 Závěr	43
Literatura	45
A Přílohy	49
B Software třetích stran	51

Obrázky

1.1 Vpravo HTC Vive a vlevo Oculus Rift. Převzato z [33].....	2	3.11 Ukázka oblečení. Vpravo Cloth, vlevo ObiCloth. Převzato z [25][26]	17
1.2 Ukázka HUD v autě. Převzato z [8]	3	4.1 Schéma Azure Kinectu. Převzato z [36]	20
3.1 Ukázka LG ThinQ Fit. Převzato z []	8	4.2 Rychlost na třech sestavách. Převzato z [21]	22
3.2 Loga firem ART a Orbbec. Převzato z [13][14]	10	4.3 Test sledování těla v T-pose a pohled z částečného úhlu.	24
3.3 Kinect v2. Převzato z [17]	10	4.4 Sledování kostry zády k přístroji.	29
3.4 Azure Kinect. Převzato z [32] ..	11	4.5 Sledování kostry při sedu.	30
3.5 Vlevo kostra sledována Azure Kinectem, vlevo kostra Kinectu v.2 [30][31]	12	4.6 Sledování kostry při simulaci chybějících končetin	30
3.6 Zařízení od VicoVR. Převzato z [18]	12	4.7 Sledování kostry u malých dětí. .	31
3.7 Schéma ToF. Převzato z [34] ...	13	4.8 Poloha metr ve vzduchu, dva a půl metru od kinectu.....	31
3.8 Infračervené paprsky. Převzato z [22]	14	4.9 Poloha metr ve vzduchu, dva a půl metru od kinectu.....	32
3.9 Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Úzký mód. Převzato z [35]	14	4.10 NonManifold objekt. Z [39] ...	32
3.10 Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Široký mód. Převzato z [35]	15	4.11 Kolize koule a látky.	33
		4.12 Obi Cloth pružnost.....	33
		4.13 Obi Cloth ohebnost.	33
		4.14 Obi Cloth aerodynamika.	34

5.1 Modely	37
5.2 Kostra mužské postavy	40
5.3 Sešívání oblečení v Blenderu.	41
5.4 Oblečení na ženské postavě.	42

Tabulky

4.1 Testovací počítačové sestavy.	21
4.2 Věrohodnost kloubů.	23

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 [6]. 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 [7]. 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 obličej. 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 [9] s navigací a řidiči je reálný svět upraven o šipky a pruhy, kudy má jet [8].



Obrázek 1.1: Vpravo HTC Vive a vlevo Oculus Rift. Převzato z [33]

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. 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 [12]. 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 [8]



Kapitola 2

Cíl práce

Cílem mé práce je vytvořit aplikaci virtuálního zrcadlo. Představa do budoucna je taková, že se člověk postaví přes velkou televizi. Uživatel si z virtuálního šatníku vybere požadované oblečení, které se mu zobrazí na virtuálním panáčkovi, který bude napodobovat pohyby uživatele. Toto zadání je rozděleno do dvou 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. Otestovat dostupné assety, navrhnout hodnocení pro výběr a jeden vybrat a použít.

V implementační části by měl být program, který napodobuje zrcadlo a pohyby uživatele s oblečením. Pokud nebude dostupný přístroj pro sledování kostry, měl by program být schopný přehrát alespoň animaci postavičky s oblečením na sobě. Postavu by mělo být si prohlédnout ze všech stran.

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 Virtuální 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, stávají 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. Sensory 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 zabývají, nebo zabývaly firmy jako LG, Amazon, Google, nebo Cisco Technology, Inc.. LG představila v roce 2019 LG ThinQ Fit [10][11]. 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 líbily viz. obrázek 3.1. Jistě by se ale technologie dala použít i v obchodech.

Amazon si v roce 2018 zažádal o patent, označen jako US20160292917A1, na virtuální zrcadlo. Podle patentu je zrcadlo částečně reflexivní a částečně transmisivní [28]. Patent má platnost do 23.12.2035. Elektronika spolu se senzory a kamerami zaručí, že zrcadlo bude odrážet skutečné tělo bez oble-

čení, které bude nahrazeno jiným vybraným, z jakéhokoliv úhlu. Může také ponechat odraz určitých předmětů anebo jiné přidat, a dokáže také změnit pozadí.

Na své variantě virtuálního zrcadla se pokusila požádat o patent i společnost Cisco Technology, Inc. Využívali také sledování lidského těla a jeho přenosu do digitální podoby [29]. Podle patentu se měla osoba postavit na určené místo a zvednout ruce na určená místa pro kalibraci postavy a následné výpočty. Od patentu bylo upuštěno.

■ 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 a 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.

Firma ART nabízí 3 druhy produktů podle rozsahu sledování, složitosti a velikosti využití. Na těchto technologiích se stále pracuje, proto ani přesná



Obrázek 3.2: Loga firem ART a Orbbec. Převzato z [13][14]



Obrázek 3.3: Kinect v2. Převzato z [17]

funkčnost není známá. Orbbec nabízí 3D kamery spolu s Body Tracking SDK. Tyto kamery a program vypadají jako dobrá alternativa k Microsoftu a jeho kameře 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\$ [14][15].

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 [16]. Toto jde obejít pomocí knihovny libfreenect2 [15].

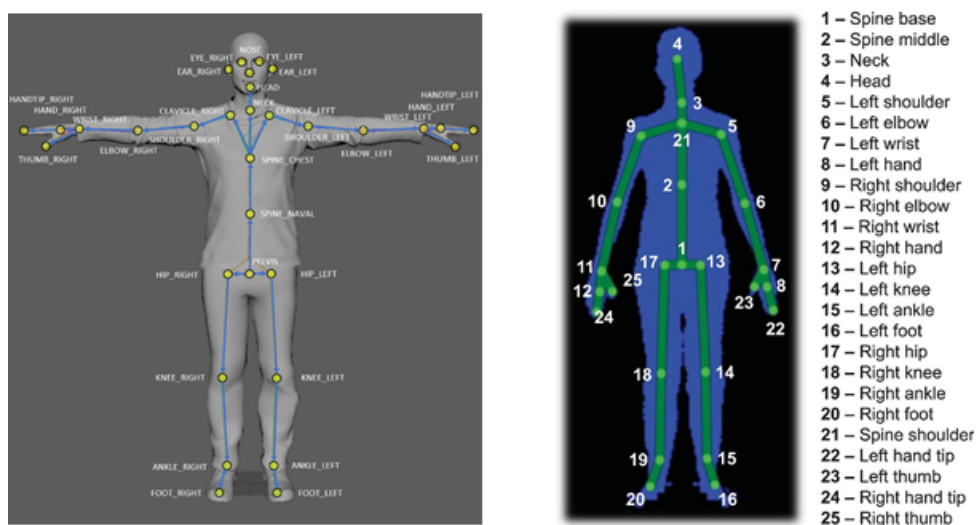


Obrázek 3.4: Azure Kinect. Převzato z [32]

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 porovnání vyhrává [15]. 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 kloubů 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 [15].

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



Obrázek 3.5: Vlevo kostra sledována Azure Kinectem, vlevo kostra Kinectu v.2 [30][31]

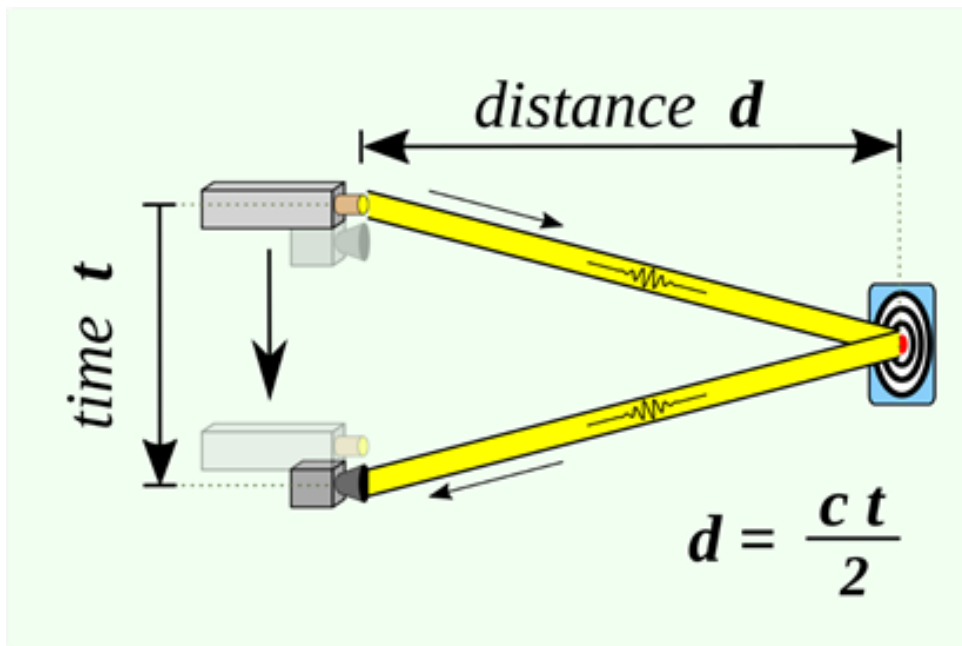


Obrázek 3.6: Zařízení od VicoVR. Převzato z [18]

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\$ [17] [18] .

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 [24], 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



Obrázek 3.7: Schéma ToF. Převzato z [34]

těla měly stejné výsledky.

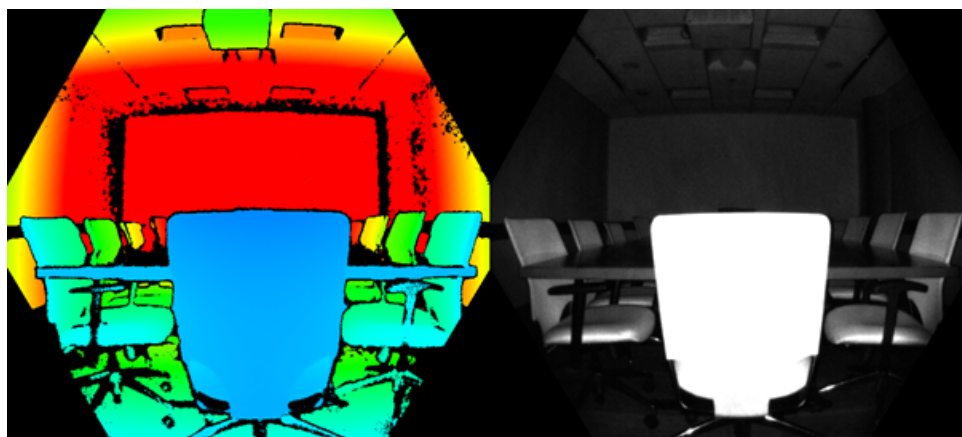
■ 3.3.3 Hloubkový senzor

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 [35].



Obrázek 3.8: Infračervené paprsky. Převzato z [22]

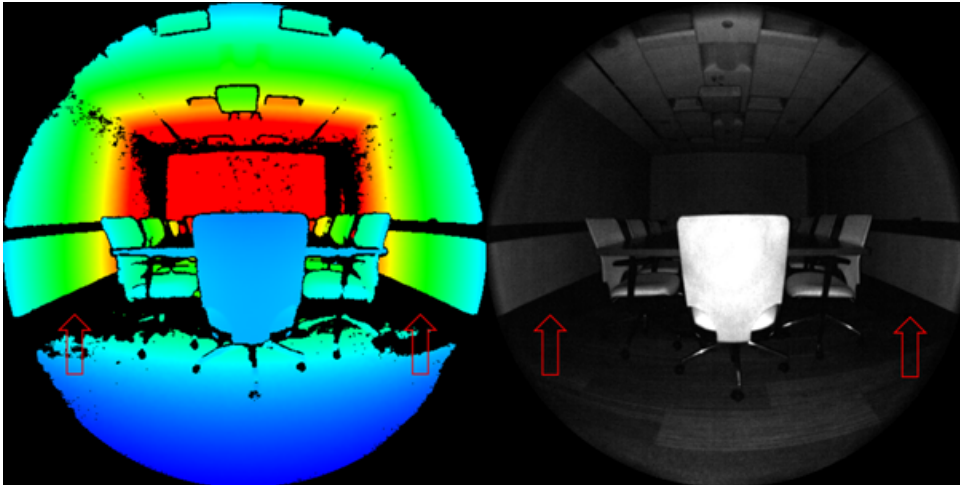


Obrázek 3.9: Vlevo hlubková mapa, vpravo infračervený obraz. Úzký mód. Převzato z [35]

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

3.4 Re prezentace 3D modelu

Ve 3D grafice můžeme objekty reprezentovat několika způsoby. V této práci využíváme pouze polygonovou síť. Objekt je reprezentován jako množina polygonů. Polygon je tvořen z vrcholů (vertex) v trojrozměrném prostoru.



Obrázek 3.10: Vlevo hloubková mapa, vpravo infračervený obraz. Široký mód. Převzato z [35]

Dva vrcholy spojuje hrana (edge). Plocha mezi množinou vrcholů je plocha (face). Každá plocha má svojí normálu, kolmou přímkou, která se používá pro určení orientace plochy. Nejčastěji je využíván trojúhelníkový polygon. Jelikož všechny vrcholy leží v jedno rovině, výpočty jsou optimalizovanější a rychlejší. Bežně se všechny komplexní tvary převádí interně na trojúhelníky.

3.5 Kostra animace

Animace nám říká, jak se objekt pohybuje v čase a prostoru. Při animaci nechceme složitě animovat individuální vrcholy objektu. Proto definujeme pro objekty kostru, kde jednotlivé části kostry mají k sobě přiřazeny plochy podle umístění a ty se následně pohybují jednotně.

Z pohledu animace kostry člověka jsou pro animátory dostupné pouze klouby viz. obrázek 3.5. Kostí v animacích nejsou potřeba, jsou reprezentovány cestou od kloubu k následníkovi. Klouby jsou na sebe navázané a tvoří hierarchickou stromovou strukturu. Změna polohy, či rotace kloubu předchůdce ovlivní i následovníka, tedy pokud otočím rameno, otočí se i paže, předloktí atd. Jeden kloub je vždy kořenový, tedy hlavní, nemá žádného předchůdce, ostatní klouby jsou jeho přímí či nepřímí následovníci. Nejčastěji je umístěn v oblasti pánve.

Podle počtu kloubů v modelu, můžeme hýbat jen předloktím, nebo i jedním článkem prstu. Pokud nepotřebujeme více páteřních kloubů, bude

nám stačit pánev a následně hrud. Pro každý kloub můžeme manuálně nastavit stupeň volnosti. Lidské klouby mají omezený pohyb, například koleno se může pohybovat jen ve směru jedné osy a jen necelých 180°.

■ 3.5.1 Kostra v Unity

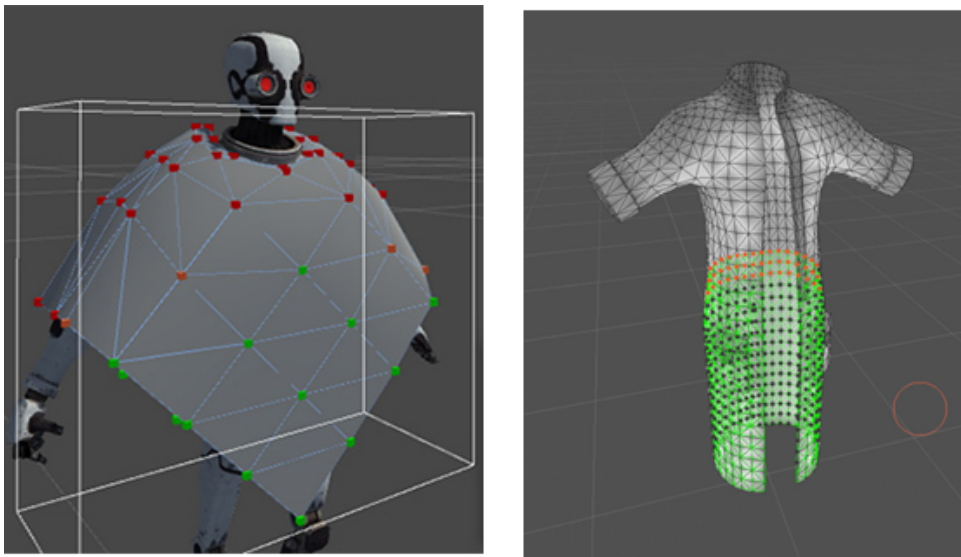
Do Unity nahráváme animovanou postavu s kostrou ve formátu fbx. Můžeme využít i jiný jako například blend nebo 3ds, ale Unity interně tyto formáty převede na fbx, a přitom hrozí, že budeme mít zbytečná data, které jsme nepotřebovali. Blender umí export modelu s animacemi v fbx. Unity obsahuje tři animační systémy. Legacy, který je z dřívějších verzí Unity a pro nové verze se nedoporučuje používat. Další je Generic, sloužící pro animaci koster, které nemají humanoidní kostru, pro kterou je třetí systém Humanoid. Importované postavy je nutné v Unity namapovat na tento systém. Pokud chceme využít automatického mapování kostry, musí naše kostra splňovat následující sktrukturu.

- kyčel -> páteř -> hrud' -> horní hrud' -> krk -> hlava
- kyčel -> horní noha -> spodní noha -> chodidlo -> prsty
- hrud' -> ramena -> paže -> předkloktí -> ruka
- ruka -> proximální -> střední -> distální

Můžeme mít i více kostí, ale tyto kosti nebudou následně v humanoid systému animovány. Pokud využíváme humanoid systém, pomocí "animation retargeting" můžeme využívat humanoidní animace na libovolných humanoidních postavách. Toho využívá i sledování kostry, který mapuje jednotlivé transformace, jak posun tak rotaci, jednotlivých kloubů na odpovídající klouby virtuální postavy.

■ 3.6 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



Obrázek 3.11: Ukázka oblečení. Vpravo Cloth, vlevo ObiCloth. Převzato z [25][26]

lepší alternativou pro nás bude simulovat fyzikální vlastnosti oblečení, které se následně bude pohybovat v závislosti na fyzikálních vlastnostech a pohybech postavy.

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 [25].

Oproti tomu placený doplněk Obi Cloth (za cenu 42€), nabízí pokročilejší ovládání a simulaci oblečení. Tento asset pochází od studia Virtual Method [26] 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.

Kapitola 4

Testy komponent

4.1 Azure Kinect

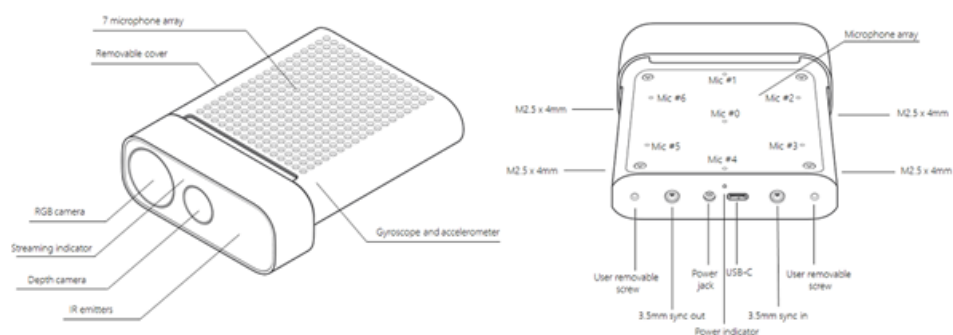
4.1.1 O přístroji

Azure Kinect byl představen na začátku roku 2019 v Barceloně na MWC. Oficiální datum vydání bylo v březnu roku 2020 [20]. 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 [15].

4. Testy komponent



Obrázek 4.1: Schéma Azure Kinectu. Převzato z [36]

4.1.2 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 4.1: 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 4.2: Rychlost na třech sestavách. Převzato z [21]

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 výkonější počítač. Na testování jsem využíval školní počítač, později jsem testy prováděl na osobním notebooku. Microsoft zveřejnil jejich výsledky na třech různých počítačích, obrázek 4.2, 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 [21].

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_num_bodies()`. 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()` [19]. Každý kloub má svou hodnotu `k4abt_joint_confidence_level_t`, která ukazuje věrohodnosti kloubů - Tabulka 4.2.

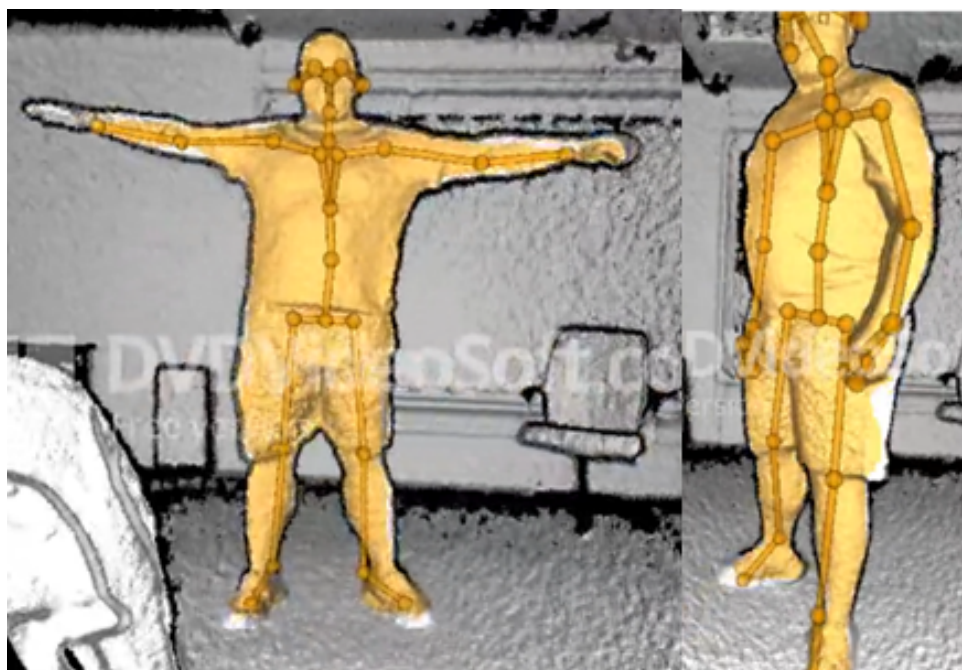
4.2 Testování

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 4.3. 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 4.3 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.

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 4.2: Věrohodnost kloubů.



Obrázek 4.3: Test sledování těla v T-pose a pohled z částečného úhlu.

Napadlo mě tedy, co by se stalo v momentě, když by náhodou před kamerou 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 4.6 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 nerozpoznala, mohlo to být také tím, že seděla na posteli a tedy splývala v jedno. Obrázek 4.7

Kinect vypočítává kostru pomocí infračerveného záření. Otestoval jsem

případy, kdy se v cestě vyskytne odrazlivý objekt jako zrcadlo. Infračervené paprsky se odrazí a kamera je v tom místě nezachytí, Kinect vypočítá že je tam vzdálenost delší než stihl paprsek se někde zarazit. I světelné podmínky nedělají žádný problém, vyzkoušel jsem světlo při 800 a při 0 lumenech, tedy při světle ze zářivky a v naprosté tmě. Umělé světlo, které neobsahuje infračervenou složku, nemá šanci ovlivnit výsledky pozorování. Pokud by to ale bylo například sluneční světlo, které obsahuje infračervenou složku, Kinect neví, které záření je jím vyzařováno, a které ne.

Ideální vzdálenost od Kinectu je minimálně dva a půl metru 4.8, a Kinect umístěn ve výšce jednoho metru a ve vodorovné pozici, v mírném úhlu k testovanému. V ten moment má nejlepší pohled na celé lidské tělo a všechny končetiny a tedy nejlehčí pro výpočet v momentě kdybychom chtěli sledovat hlavně ruce. Vyzkoušel jsem pozici na zemi a výše popsanou pozici v různých natočení 4.9. Více k pozici kamery v [38]

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 [21]. Sám Microsoft varuje před několika případy, kdy hloubková kamera neměří správnou vzdálenost. [35] 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.

4.3 Assety pro simulaci oblečení

Pro napodobení fyziky oblečení jsem otestoval 5 assetů pro Unity dostupných na Unity store. Navrhl jsem systém ohodnocení jednotlivých assetů pro vybrání assetu, pro implementaci. Assety se následně v komerčním využití nemusí znovu kupovat, platí, pokud si jednou asset koupíte, je váš.

Od nejhlavnějšího parametru hodnocení, bylo nejdůležitější, aby byla podporována kolize látek mezi sebou, aby například tričko neprocházelo skrze bundu a naopak. Následně reálnost simulace, tedy jak moc se fyzikální vlastnosti blíží realitě. Tato skutečnost byla ohodnocena subjektivně. Tyto dvě jsem vybral jako dvě nejdůležitější, aby simulace zrcadla byla důvěryhodná

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 akcelerovat a Damping, který tlumí pohyb látky [25].

■ 4.3.2 Obi Cloth

Obi Cloth je placený asset od vývojářského studia Virtual Method s cenou 42 euro. Podporuje kolizi látek mezi sebou i samostatnou kolizi látky. Reálnost simulace je na vyšší úrovni, nastavení šestnácti parametrů je trochu složitější, ale dá se dosáhnout nejlepších výsledků z testovaných.

Obi cloth s assetem dodává množství kolizních materiálů, které dokáží upravit tření objektů mezi sebou, tedy i z nakloněné plošiny, látka nesklouzne.

Nastavitelnými parametry přímo u látky jsou omezení pružnosti, omezení ohebnosti a aerodynamiky. O veškeré výpočty se stará Obi Solver, to je komponenta, která poskytuje více nastavitelných parametrů simulace. Obi Solverů může být ve scéně více, ale nebudou mezi sebou kolidovat, objekty musí být pod stejným Obi Solverem, aby spolu mohly kolidovat.

Nastavit se dá gravitace, která se dá nastavit jako vlastní nebo prostorová, při vlastní gravitaci směřuje gravitace tam, kam namíříme Obi Solver, při prostorové vždy dolů.

Dále lze nastavit kolize, působení světa na látku a hlavní nastavení všech dostupných omezení na látku. Pro každou látku musíme nejdříve vytvořit tzv. blueprint, který se dělí na klasické oblečení, trhatelné oblečení a skinned oblečení. U látky se dá nastavit maximální pohyb vrcholů objektu, tím se dá omezit nadbytečné natahování látky v určitých částech, kde by bylo nechtěné.

■ 4.3.3 Cloth Dynamics

Cloth Dynamics je od vývojáře Christian Kahler, s cenou 53.59 euro. Asset podporuje kolizi dvou látek i kolizi látky samotné. Podporuje všechny základní kolizní objekty Unity. Má podobné parametry jako předchozí assety, těmi jsou nastavení pružnosti, ohebnosti a stlačení. Asset nabízí i možnost vytvoření oblečení na postavě pomocí spojení dvou ploch a bezierových křivek. Dokumentace k assetu je pouze jedno PDF na Google Drive a není přehledné.

■ 4.3.4 Magica Cloth

Magica Cloth je od vývojáře Magica Soft, s cenou 22.33 eur. Dokumentace k assetu není nejlepší. U látky se pro každý vrchol dá nastavit maximální pohyb od originální polohy na všech hlavních osách. Kolize s ostatními látkami a sama se sebou chybí. Nastavit jde celkem 17 parametrů. Například vzdálenost kolize, třecí síla, simulace větru, ale také pružnost, ohebnost a další. Realnost simulace je podobná Cloth Assetu.

■ 4.3.5 Radial Cloth

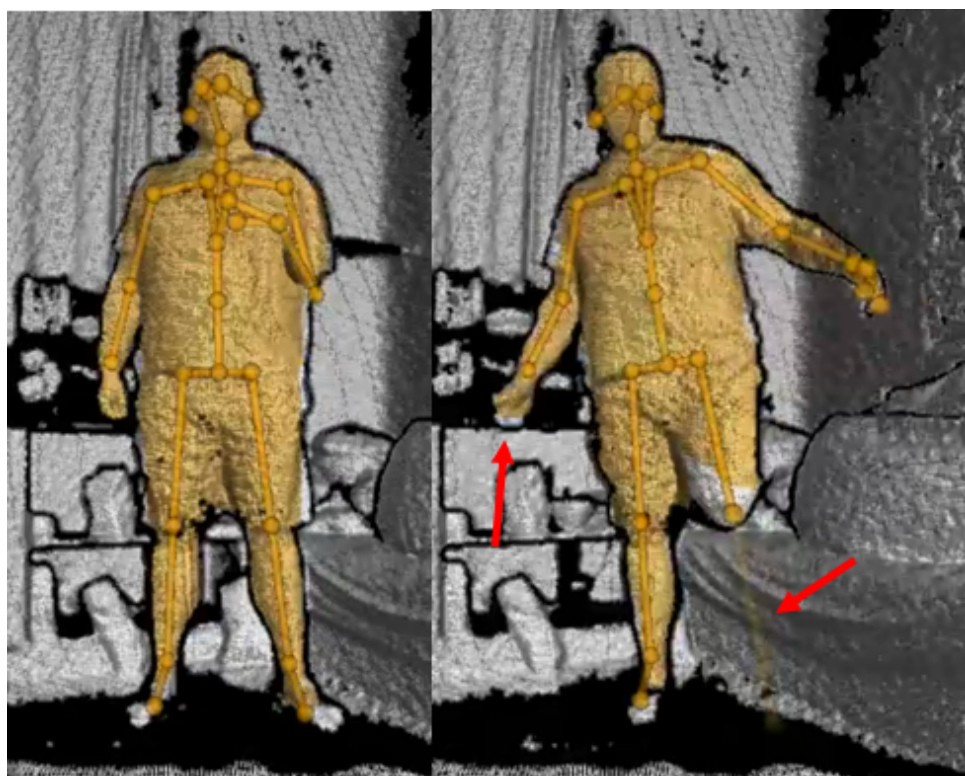
Radial Cloth jsem z rozsáhlejšího testování vyřadil. Autorem je Matt Sellers, který asset prodává za 44.67 eur. Matt ihned v popisu tvrdí, že asset je určen pro lowpoly objekty, tedy objekty s malou topologií. Chybí pořádná dokumentace a přehlednost assetu. Nepodporuje kolizi látek ani látky samotné.



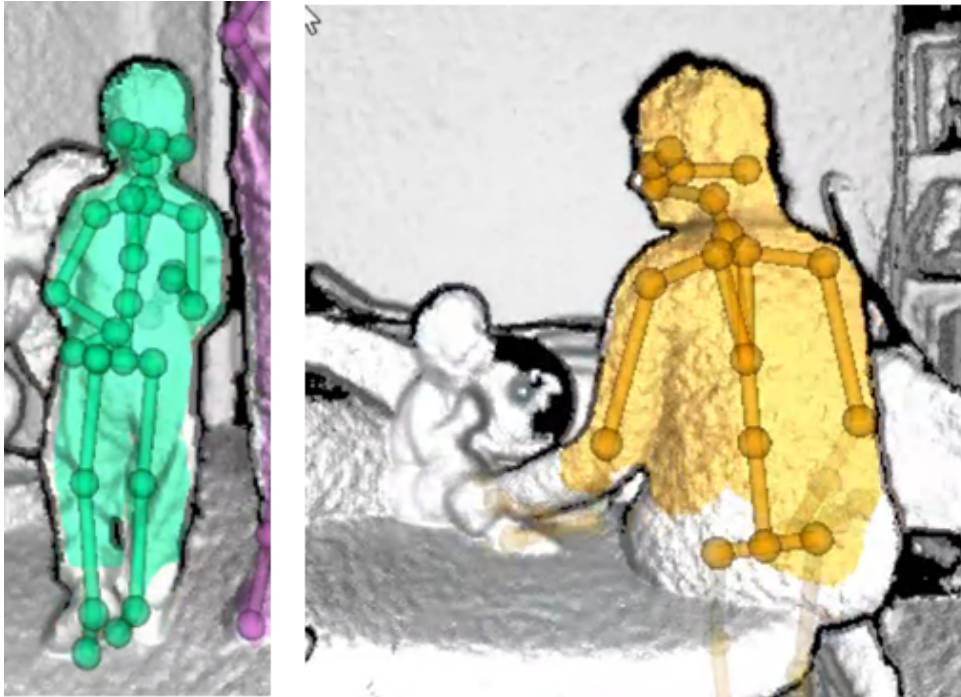
Obrázek 4.4: Sledování kostry zády k přístroji.



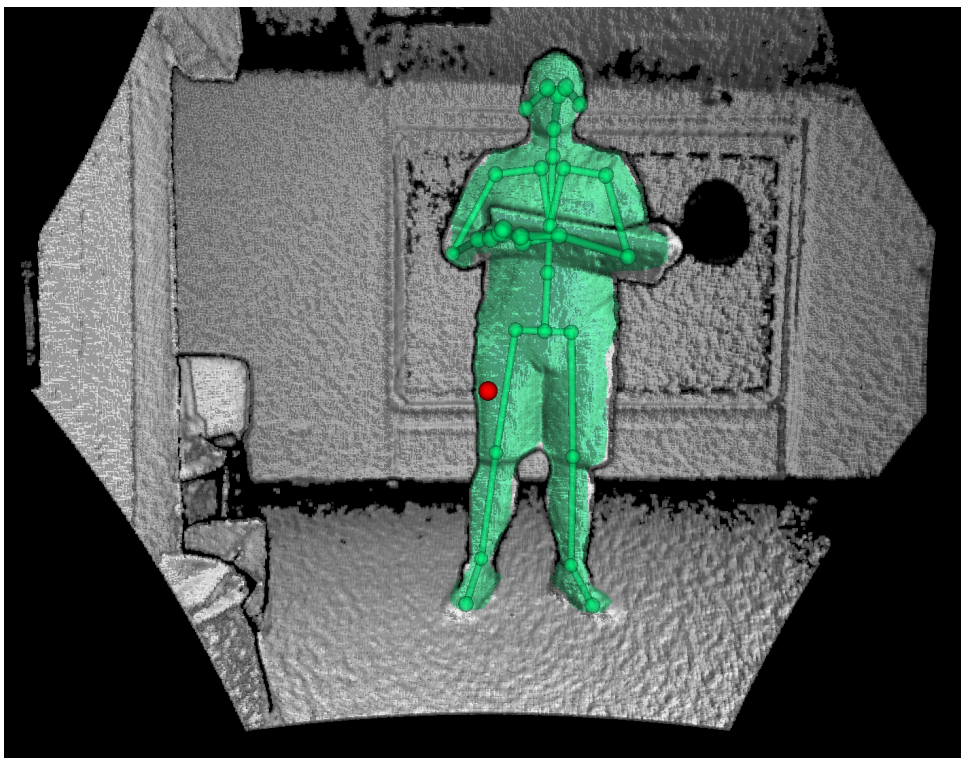
Obrázek 4.5: Sledování kostry při sedu.



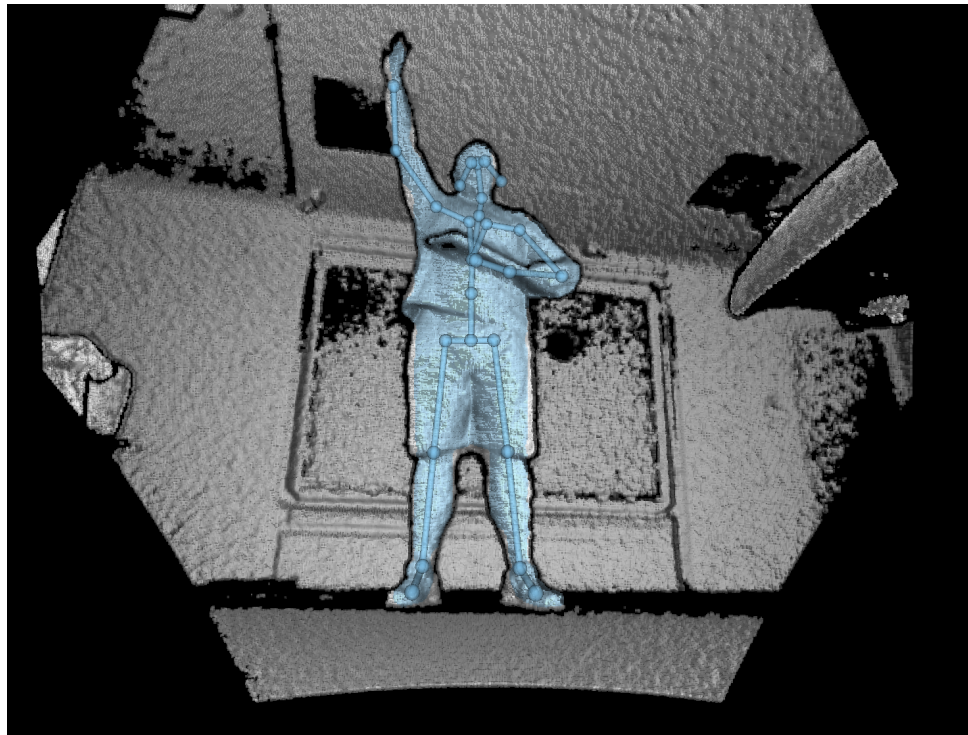
Obrázek 4.6: Sledování kostry při simulaci chybějících končetin



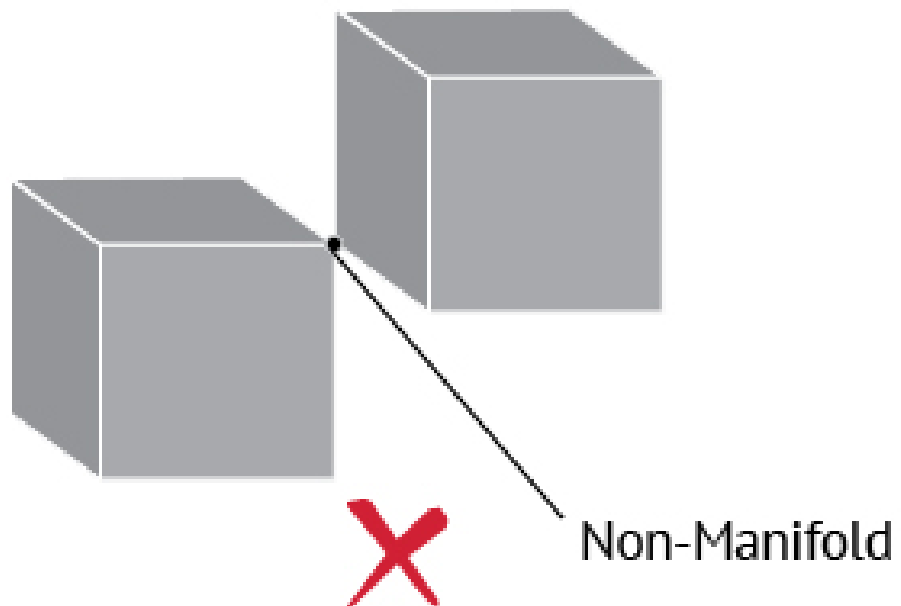
Obrázek 4.7: Sledování kostry u malých dětí.



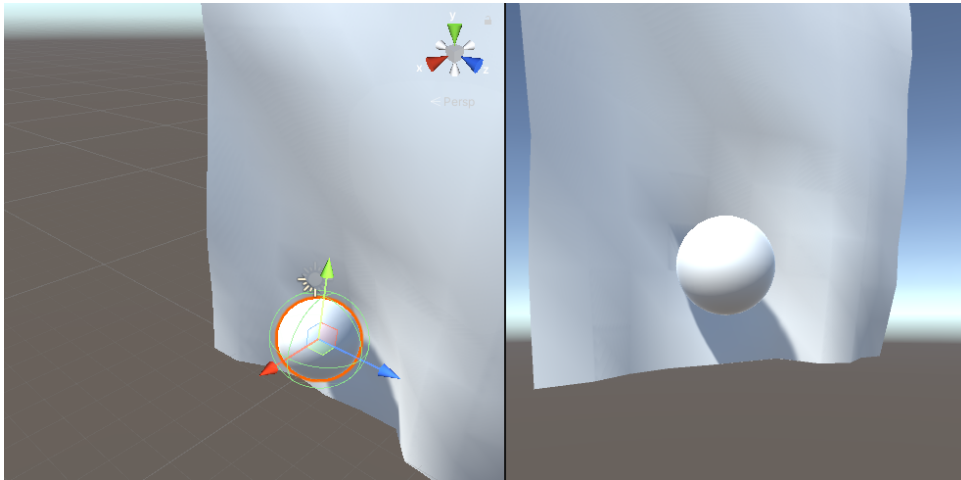
Obrázek 4.8: Poloha metr ve vzduchu, dva a půl metru od kinectů.



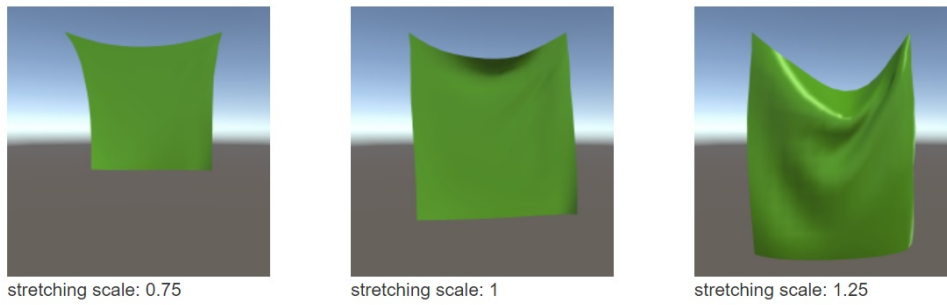
Obrázek 4.9: Poloha metr ve vzduchu, dva a půl metru od kinectu.



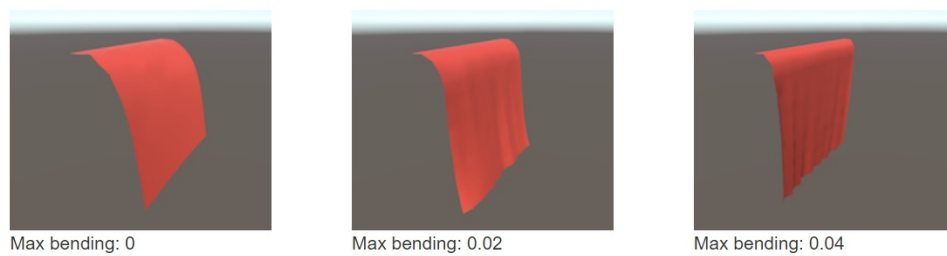
Obrázek 4.10: NonManifold objekt. Z [39]



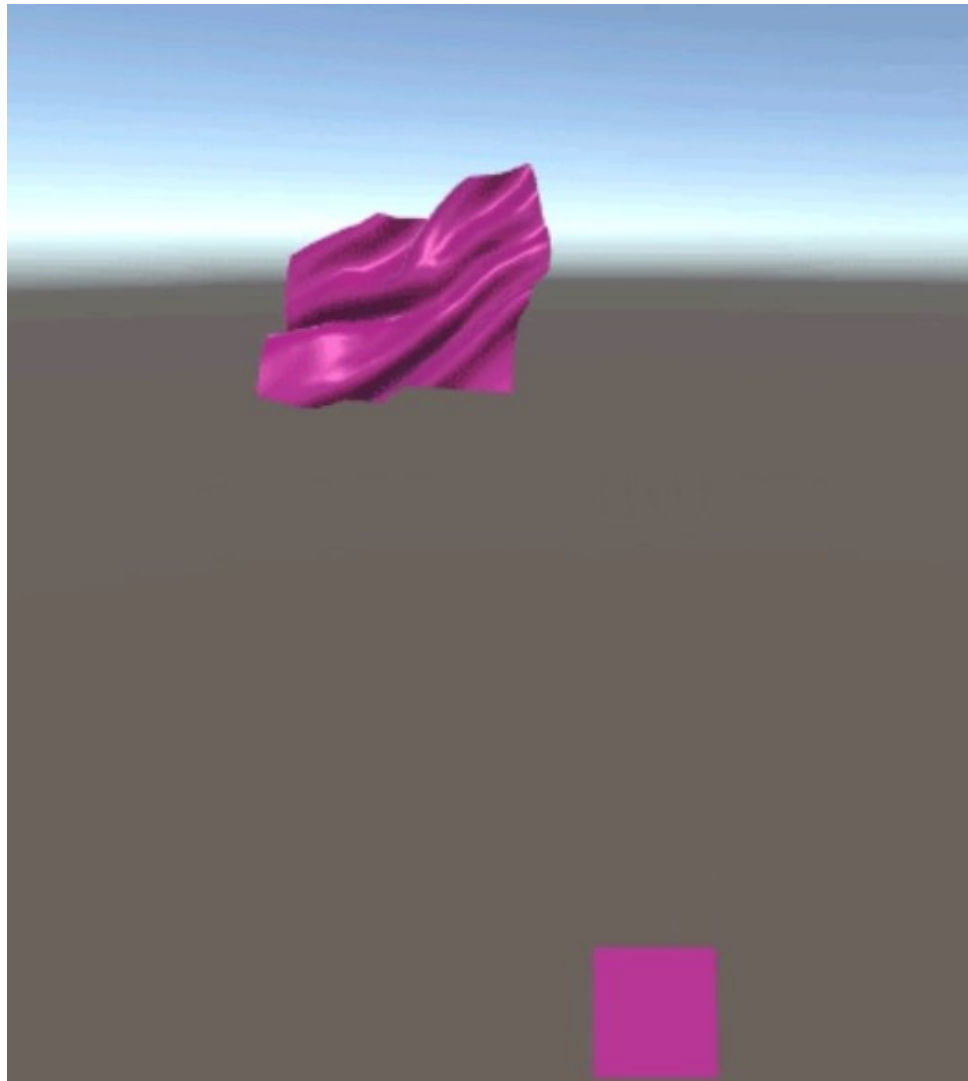
Obrázek 4.11: Kolize koule a látky.



Obrázek 4.12: Obi Cloth pružnost.



Obrázek 4.13: Obi Cloth ohebnost.



Obrázek 4.14: Obi Cloth aerodynamika.

Kapitola 5

Implementace

5.1 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 4.1, 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 [36].

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.

■ 5.2 Implementace

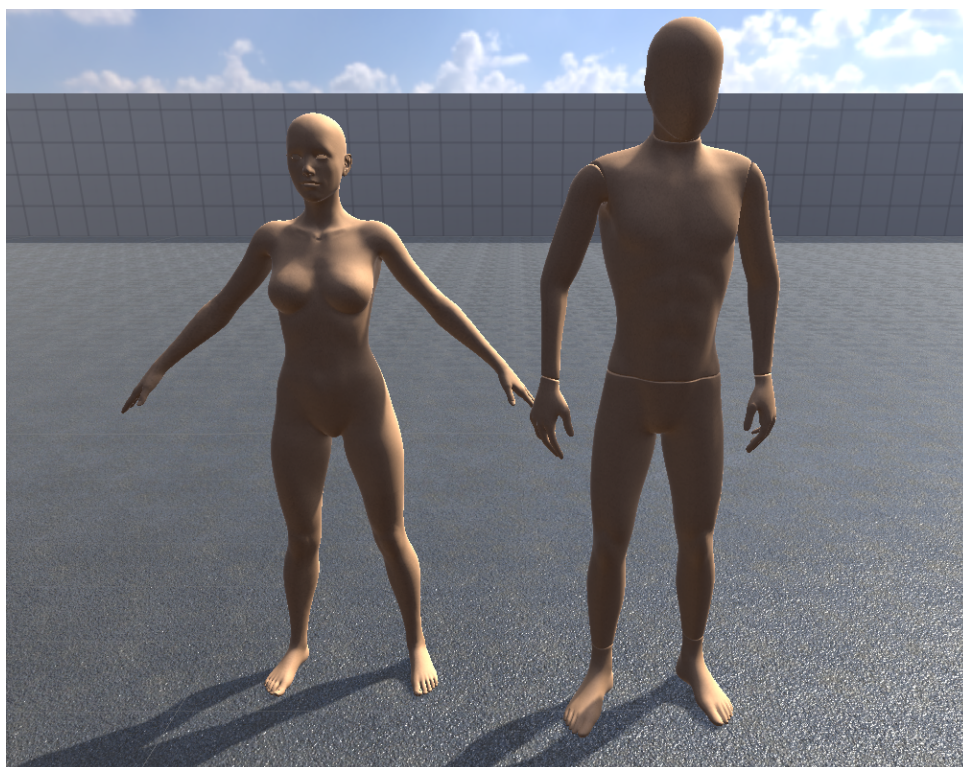
■ 5.2.1 Modely a Materiály

Jako avatary na animaci jsem využil postavy muže a ženy 5.1. Modely se skládají z 25 kloubů bez prstů viz. obrázek 5.2. Jako materiál jsem využil texturu lidské kůže.

Na modely jsem v Blenderu namodeloval dvě sady oblečení. Pro ženu jsem navrhl tričko s překrytím sukně, a s letním kloboukem 5.4. Na muže jsem vymodeloval klasický římský oděv. Na třetí kus oblečení jsem využil ukázkou z assetu Obi Cloth. Při modelování jsem využil funkce Blender, tzv. šití. Před postavou vytvoříme hrubý 2D model našeho oblečení. Na model postavy jsem použil funkci fyzického objektu pro kolize. Vyextrudoval jsem plochu za postavu a odstranil boční plochy spolu s nepotřebnými hranami, které procházely tělem. Na tento budoucí objekt oblečení jsem použil funkci cloth a zapnul animaci. Počkal jsem, až se plochy spojí přes hrany viz. obrázek 5.3. Uložil jsem pozici vrcholů a nastavil ji jako hlavní. Poté už zbývalo jen vyrovnat nerovnosti a fragmenty. Aplikoval jsem subdivision surface pro vyšší detaily.

■ 5.2.2 Program

Pro implementaci jsem využil Unity3D. 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



Obrázek 5.1: Modely

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 i při snaze vytvořit celý program sám od základu.

Později při hledání jsem objevil uživatele Rumena Filkova, který pracuje na programu sledování těla pomocí Azure Kinectu v Unity3D [37]. Napsal jsem mu tedy, zda by mi poskytl kódy pro sledování těla pro Bakalářskou práci. Následně mi zaslal Unity3d balíček, který jsem rozbil přímo do Unity3D. Obsahuje kódy a zkušební scény pro všechny možná využití sledování těla. Tato verze překvapivě fungovala a nevykazovala žádnou chybu.

První scéna obsahuje pouze pevnou animaci modelu s oblečením. Postava zamává a poté začne tančit. Přesvědčil jsem se, že je kostra modelu v humanoidní verzi. Stáhl jsem volně dostupné animace a vytvořil animační cyklus, který jsem aplikoval na postavu.

Druhou scénu jsem využil na ukázkou hotovou scénu od Obi Cloth, kde postavu lze ovládat a přidal svůj script na ovládání kamery.

Třetí scénou je napodobování reálných pohybů mužské postavy bez oblečení, pro zjištění správného sledování kostry. Využil jsem kódů z dostupného assetu pro sledování těla.

Ve čtvrté scéně je model s pláštěm, který má na sobě aplikovaný asset Obi Cloth. Tady jsem znovu využil kódů k sledování kostry.

■ 5.3 Spuštění programu a ovládání

Pokud máte správně nainstalované balíčky SDK, vyzkoušeli jste oba SDK programy a váš počítač splňuje minimální hardwarové požadavky pro sledování kostry, můžete spustit aplikaci Virtual Mirror. V menu si můžete vybrat ze tří možností. První je pouze animace, kdy vám postavička zamává a zatančí. Druhou scénou je ovládání postavy pomocí WASD a sledování oblečení za běhu. Třetí možností je vyzkoušení sledování těla a poslední sledování těla s oblečením.

Z každé scény jde odejít pomocí klávesy Escape. V první, druhé scéně jde otáčet kamera pomocí pravého tlačítka myši.

Pro úpravu programu a nastavení fyzikálních vlastností oblečení je nutné projekt spustit v Unity 3D verzi 2019.4.5f1. V části Projekt otevřete složku Scenes, kde můžete upravit jednotlivé využití scény. Kvůli datové velikosti jsou zdrojové kódy přiloženy k Bakalářské práci na flashdisku.

■ 5.3.1 Úprava sledování těla

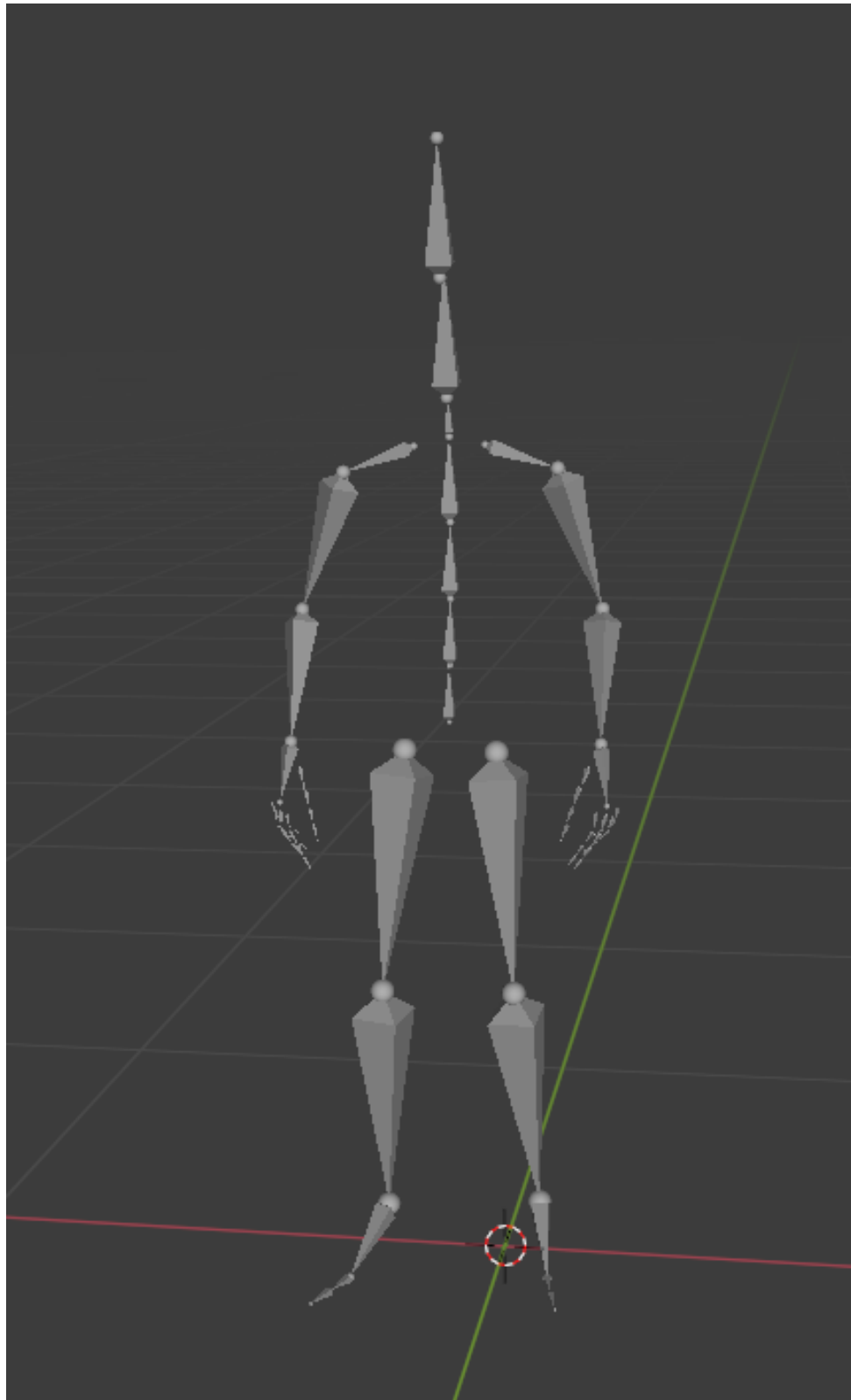
Scény pro sledování těla obsahují položku KinectController, ta se stará o spuštění přístroje pro sledování těla. Lze si vybrat z přístrojů Azure Kinect, Kinect v2 a RealSense. Script nejdříve najde připojené Kinecty, ze kterých vybere v pořadí takový, jaký určíme a ten spustí. Ve skriptu se dá přístroj nastavit, dá se změnit FOV, vzdálenost sledování, snímky za vteřinu atd.

Druhou součástí scén 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

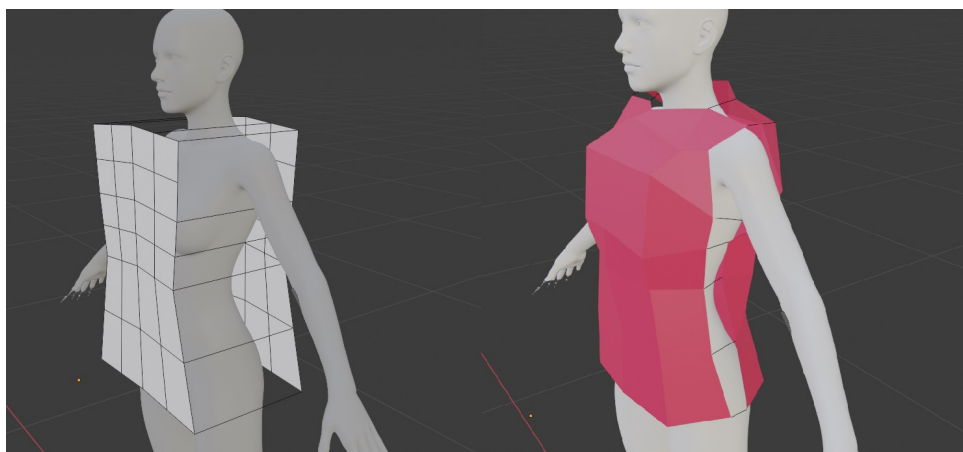
nějaký člověk nezmizel nebo případně nepříbyl. V těchto případech buď odstraní objekt sledovaného těla, nebo naopak přidá nový objekt těla s oblečením.

■ 5.3.2 Úprava Obi Cloth

Ve scénách s látkou je na modelu Man_trenchcoat objekt body_basemesh1, na kterém je aplikován asset Obi Cloth. Nastavení čtyř základních parametrů se nachází zde. Pro větší a složitější úpravy je nutné se podívat do Man_trenchcoat, který obsahuje komponentu Obi Solver, která poskytuje více možností simulace.



Obrázek 5.2: Kostra mužské postavy



Obrázek 5.3: Sešívání oblečení v Blenderu.



Obrázek 5.4: Oblečení na ženské postavě.

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.

Provedl jsem testy s umístěním kamery a s vnějšími vlivy. Největším problémem jsou chybějící končetiny nebo černé oblečení. Kamera pracuje na principu infračervených paprsků. Umělé infračervené paprsky tedy způsobí problémy s výpočty. Pro výpočty je nejlepší kamera umístěna ve výšce zhruba jednoho metru a uživatel stojí dva až tři metry od ní v mírném úhlu k uživateli.

Dále jsem prozkoumal možnosti animace oblečení v Unity3D v 5 dostupných assetech. Jedním přímo od Unity, další Obi Cloth, Cloth Dynamics, Magica Cloth a Radial Cloth. Navrhl jsem hodnocení pro výběr nejlepšího a nevhodnějšího.

Nakonec jsem našel řešení pro sledování kostry v Unity3D, namodeloval různé druhy oblečení a pokusil se je využít při testech a v programu. Bohužel mi simulace fyzikálního chování látky při aplikaci na sledování kostry nefungovala. Látka propadávala tělem a nechtěla s ním kolidovat ani při běžných kolizních objektech.

Pro finální program jsem využil funkčních scén, pro ukázkou funkcí. Pro vyzkoušení jednotlivých částí zadání. Nepovedlo se mi aplikovat moje vlastní

oblečení pro funkční verzi.



Literatura

- [1] SCHMALSTIEG, Dieter a Tobias HÖLLERER. Augmented reality: principles and practice. Addison Wesley: Boston, [2016]. ISBN 978-0-321-88357-5.
- [2] ADIKARI, Sasadara B., Naleen C. GANEGODA, Ravinda G. N. MEEGAMA a Indika L. WANNIARACHCHI, 2020. 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 [online]. 2020, 1314598. ISSN 1687-5893. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/ahci/2020/1314598/>
- [3] Blum, Tobias & Kleeberger, Valerie & Bichlmeier, Christoph & Navab, Nassir. (2012). Mirracle: An augmented reality magic mirror system for anatomy education. Proceedings - IEEE Virtual Reality. 115-116. 10.1109/VR.2012.6180909. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261308641_Mirracle_An_augmented_reality_magic_mirror_system_for_anatomy_education
- [4] Anon., [b.r.]. Unity Documentation. Unity Documentation [online] [vid. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://docs.unity.com/>
- [5] QM13, [b.r.]. Dokumentace k sadě Azure Kinect DK [online] [vid. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/cs-cz/azure/kinect-dk/>
- [6] 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>

- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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
- [10] 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>
- [11] 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>
- [12] 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/swivel-technology-closet-video_n_3790445
- [13] Anon., nedatováno. Startseite | Advanced Realtime Tracking GmbH & Co. KG [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://ar-tracking.com/en>
- [14] Anon., nedatováno. Orbbec – Intelligent computing for everyone everywhere [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://orbbec3d.com/>
- [15] Anon., nedatováno. Depth Sensors Comparison - iPi Docs [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: https://docs.ipisoft.com/Depth_Sensors_Comparison
- [16] Anon., nedatováno. Distributed Recording - iPi Docs [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: https://docs.ipisoft.com/Distributed_Recording
- [17] 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>

- [18] 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/>
- [19] 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/>
- [20] Anon., 2021. Azure Kinect [online]. [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Azure_Kinect&oldid=1023401076
- [21] Anon., [b.r.]. Skeletal Tracking on Azure Kinect. Microsoft Research [online]. [vid. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/skeletal-tracking-on-azure-kinect/>
- [22] 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>
- [23] 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/>
- [24] Albert JA, Owolabi V, Gebel A, Brahms CM, Granacher U, Arnrich B. 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)*. 2020;20(18):5104. Published 2020 Sep 8. doi:10.3390/s20185104
- [25] TECHNOLOGIES, Unity, nedatováno. Unity - Manual: Cloth [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Cloth.html>
- [26] 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>
- [27] Anon., nedatováno. Virtual Method Studio [online] [vid. 2021-05-17]. Dostupné z: <http://www.virtualmethodstudio.com/products.html>
- [28] 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>
- [29] 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>

- [30] 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>
- [31] 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
- [32] 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>
- [33] 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/>
- [34] 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
- [35] 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>
- [36] 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>
- [37] 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://protect.unhbox_VOIDB@protect_penalty@M_https://rfilekov.com/)
- [38] Cai, Laisi, Dongwei Liu, and Ye Ma. 2021. "Placement Recommendations for Single Kinect-Based Motion Capture System in Unilateral Dynamic Motion Analysis" *Healthcare* 9, no. 8: 1076. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/healthcare9081076>
- [39] Anon., [b.r.]. How to fix non-manifold geometry issues on 3D models. Sculpteo [online]. [vid. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/create-3d-file/fix-non-manifold-geometry/>
- [40] Anon., [b.r.]. 3D Models for Professionals: TurboSquid [online] [vid. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/>



Příloha A

Přílohy

1. Executable.rar
Spustitelný verze programu.
2. BuildTestBodyTracking 2022-05-20 12-02-55.mp4
Video funkce programu.
3. Source.rar (Přiloženo pouze ve fyzické podobě)
Zdrojové kódy pro Unity.

Příloha B

Software třetích stran

1. Kód pro sledování kostry postavy. Azure Kinect Examples for Untiy. Dostupné z: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/azure-kinect-examples-for-unity-149700>
2. Model ženy do Unity. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/female-character-3d-model-1699796>
3. Model muže do Unity. Dostupné z assetu Obi Cloth.
4. Animace kostry. Dostupné z: <https://www.mixamo.com/#/?page=1&type=Motion%2CMotionPack>
5. Texura kůže. Dostupné z: <https://www.sharetextures.com/textures/animals/human-skin-3/>
6. Textury oblečení. Dostupné z: <https://ambientcg.com/>