



VYSOKÁ ŠKOLA KREATIVNÍ KOMUNIKACE

Katedra vizuální tvorby
Animace a vizuální efekty

Studijní program
B-VLU Vizuální a literární umění

Motion capture a jeho využití v indie herním průmyslu

Praktická část: Tvorba motion capture v indie podmínkách

Teoretická část: Shrnutí technologie motion capture

Autor: Pavel Oliva

Vedoucí práce: MgA. Pavel Hruboš

2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal. Souhlasím s tím, aby práce byla zpřístupněna veřejnosti pro účely studia a výzkumu.

V Praze dne.....

Podpis autora:

Poděkování

Na úvod bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Pavlovi Hrubošovi za odborné vedení všem lidem, se kterými jsem tuto práci mohl konzultovat a všem ostatním, kteří mi poskytli svoje knowhow, týkající se této technologie.

Abstrakt

Tato práce se zabývá technikou záznamu pohybu a jeho využitím v zejména zábavním průmyslu. Práce se snaží zmapovat historický vývoj, aktuální stav a předpokládaný vývoj této technologie. Práce nahlíží na některé hardwarové a softwarové řešení motion capture. Podstatnou část práce tvoří realizace motion capture systému v nízkonákladových podmínkách.

Klíčová slova

Motion capture, analýza pohybu, MS Kinect, mocap, animace, herní vývoj, 3D, počítačová grafika.

Abstract

This document deals with the technique of motion capture and its use in an entertainment industry. The work tries to map the historical development, current state and expected development of this technology. The work looks at a hardware and software motion capture solutions. A substantial part of the work is the implementation of the system in indie development conditions.

Key words

Motion capture, motion analysis, MS Kinect, mocap, animation, game development, 3D, computer graphics.

Obsah

1. Pojem Motion Capture.....	6
1.1. Úvod.....	6
1.2. Cíle práce.....	6
1.3. Definice pojmu Motion Capture.....	6
1.4. Výhody a nevýhody motion capture.....	7
2. Historie motion capture.....	7
3. Hardware.....	10
3.1. Optický systém.....	10
3.1.1. Optické systémy s pasivní značkou.....	11
3.1.2. Optické systémy s aktivní značkou.....	12
3.1.3. Umístění značek.....	12
3.2. Magnetický systém.....	12
3.3. Mechanický systém.....	13
3.3.1. Elektromechanické obleky.....	13
3.3.2. Digitální armatury.....	14
3.4. Rádiové systémy.....	15
3.4.1. Globální polohovací systémy (GPS).....	15
3.4.2. Lokální polohovací systémy (LPS).....	16
3.5. Depth systémy.....	16
3.6. Hybridní systémy.....	17
3.7. Snímání pohybu v oblasti hlavy.....	18
3.7.1. Dynamic blend shapes a wrinkle maps.....	20
3.8. Snímání pohybu prstů.....	21
4. Software.....	22
4.1. Komerční software.....	22
4.1.1. Motion capture software.....	22
4.1.2. Animační software.....	22
4.2. Nekomerční (open source/DIY).....	23
4.3. Formáty a jejich konverze.....	23
4.3.1. C3D.....	24
4.3.2. ASF/AMC.....	24
4.3.3. BVH/BVA.....	25

4.3.4. FBX.....	25
5. Analýza současného stavu trhu.....	26
5.1. Předpokládaný vývoj technologie.....	27
6. Realizace motion capture systému v indie podmínkách.....	29
6.1. Motivace.....	29
6.2. Preprodukce.....	29
6.2.1. Pořizovací náklady.....	30
6.2.2. Kinect.....	30
6.2.3. Výběr oblečení.....	31
6.2.4. Oblast snímání pohybu a sestavení systému.....	32
6.2.5. Instalace driverů pro MS Kinect.....	33
6.3. Produkce.....	34
6.3.1. iPi Recorder a iPi Mocap Studio.....	34
6.3.2. Blender.....	38
7. Závěr.....	42
8. Terminologický slovník.....	43
9. Bibliografie.....	44
10. Obrázkové reference.....	45

1. Pojem Motion Capture

1. 1. Úvod

S rychlým vývojem technologií se v dnešní době plné digitalizace stále více uplatňuje technologie motion capture. Tento fenomén zaznamenávání a zpracování pohybu má nespočet využití ve spoustě oblastí od zábavního průmyslu, kde se tato technologie využívá při tvorbě filmů či počítačových her, přes zoologii, až po zdravotnictví.

1. 2. Cíle práce

Cílem mé bakalářské práce je nahlédnout do historie a vývoje motion capture technologií z historického hlediska, shrnout aktuální dostupné technologie a způsoby nahrávání pohybu a pokusit se vyvodit možné budoucí využití, vyplývající z této technologie. Dále bych se chtěl zaměřit na použití motion capture v rámci herního vývoje (zejména v rámci indie herního vývoje) a realizaci motion capture systému s využitím zařízení Kinect a dalších nízkonákladových prostředků a následnou praktickou aplikaci získaných dat.

Bakalářskou prací bych chtěl navázat na můj vedlejší herní projekt, na kterém budu zkoušet motion capture v praxi (nejen zaznamenávání, zpracování a export dat, ale také konstrukci samotného motion capture systému). Dále bych chtěl provést analýzu vývoje této technologie a případně přijít s novými možnostmi jejího využití zejména v zábavním průmyslu. Dále bude provedena komparace technologií a prostředků, které používají velká studia oproti malým studiím, využívající skromnější prostředky.

1. 3. Definice pojmu Motion Capture

Motion capture je proces snímání pohybu reálného objektu a získávání dat pomocí matematických operací, sledováním několika klíčových bodů v prostoru a čase a následná kombinace těchto dat, která umožňuje reprezentovat pohyb tohoto objektu v

3D prostoru. Zkráceně je to technologie, která umožňuje přenést živou akci do digitální podoby.¹

1. 4. Výhody a nevýhody motion capture

Zde je výčet některých výhod a nevýhod této technologie motion capture vůči klasické klíčované animaci.

Výhody

- Přináší velmi rychlé výsledky, v často i v reálném čase
- Umožňuje realističtější výsledky komplexních pohybů
- S délkou animace se nezvyšuje časová náročnost na její tvorbu

Nevýhody

- Nelze použít pro stylizovanou animaci
- Větší pořizovací náklady, zejména na hardware
- Časová náročnost v rámci preprodukce z hlediska přípravy hardwaru a kalibrace senzorů či kamer
- Prostorově náročné
- Limitace fyzikálními vlastnostmi a schopnostmi herce či snímaného subjektu
- Momentálně neexistují motion capture systémy pro snímání pohybu hmyzu, ptáků a mnoha dalších živočišných druhů

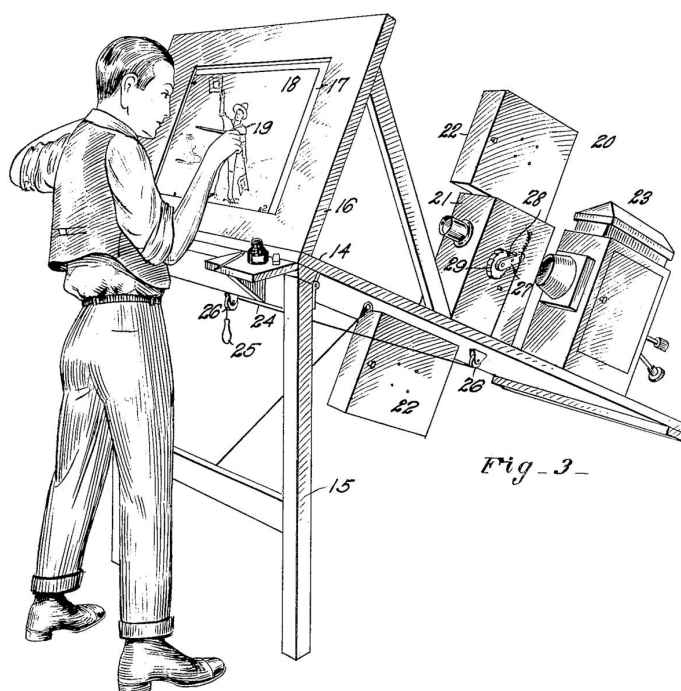
2. Historie motion capture

Motion capture v zábavním průmyslu je potomkem techniky rotoskopie, což je technika, kterou některé tradiční animační studia stále používají k přenesení realistického pohybu z filmového záběru na kreslené objekty, patentovaný Maxem Fleischerem v roce 1915, se záměrem automatizovat výrobu kreslených filmů. Zařízení promítalo natočený film snímek po snímku na skleněný panel, což umožnilo animátorům věrně obkreslovat jednotlivé snímky, a tím docílit realističtějších pohybů v animaci. První kreslená postavička, která byla kdy rotoskopována, byl klaun Koko.

¹ Menache 2011, s. 2.

Fleischer chtěl použít jeho krátký animovaný film *Klaun Koko*, k přesvědčení velkých studií, aby nový princip animace použili pro své další projekty.

Díky své časové náročnosti se technika rotoskopie nepoužívá v masové produkci. I přesto studio Walt Disney použilo v roce 1937 rotoskopii k vytvoření pohybu lidské postavy v animovaném filmu *Sněhurka a sedm trpaslíků*. Rozhodnutí použít techniku rotoskopie nebylo věcí nákladů, nýbrž snahou o vyobrazení realistického lidského pohybu.²



Obr. 1 - Patentovaná kresba originálního rotoskopu Maxe Fleischera.

S příchodem 3D technologie bylo potřeba vymyslet způsob, jak přenést pohyby do třetí dimenze. První úspěšný motion capture, použitý pro animaci trojrozměrného charakteru byl použit v roce 1985 pro reklamní spot *Brilliance*. V tomto reklamní spotu byla jako hlavní motiv robotická žena, pro kterou bylo potřeba vytvořit realistické lidské pohyby, pro lepší vyjádření emocí, které měl reklamní spot sdělovat. Poté, co na modelu bylo nakresleno 18 ztěžejních bodů, které byly klíčové k dosažení požadovaného výsledku animace, byla herečka nasnímána z několika úhlů. Ze získaných záběrů bylo možné vypočítat vzdálenosti mezi jednotlivými klouby a pomocí algoritmů byla virtuální postava následně animována.³

² Parent 2010, s. 72 - 73.

³ Menache 2011, s. 4.

Na začátku 90. let začalo několik společností nabízet služby spojené s technologií motion capture produkčním společností. Jedny z prvních těchto společností byly Biovision a TSi. Většina používaného softwaru pro výpočet pohybových dat byl privátní, protože společnosti, které poskytovaly vybavení pro optický motion capture, nevlastnily řešení, které by umělo zpracovat data použitelná pro animaci, vhodné do jakéhokoli ze současných programů pro 3D animaci. Zábavní průmysl byl tehdy zcela nový subjekt na trhu. Do té doby tyto společnosti poskytovaly motion capture převážně společností, zabývajících se humanitními vědami.⁴

Zatímco Brilliance byla první úspěšnou aplikací této technologie v CGI, film Total Recall (1990) byl prvním neúspěšným pokusem použít motion capture v celovečerním filmu. Metrolight Studios byla jednou z produkčních společností, která poskytovala řešení výroby vizuálních efektů pro tento film. Pro film padlo rozhodnutí použít motion capture k vytvoření animační sekvence pohyblivých koster pro scénu, ve které Arnold Schwarzenegger prochází rentgenovým zabezpečovacím zařízením na letišti, spolu s dalšími lidmi a psem.⁵

Společnost Pacific Data Images vytvořila exoskeletální motion capture robotické zařízení, které fungovalo na základě optických potenciometrů použité pro jednotlivé klouby. Toto zařízení bylo použito pro animaci některých charakterů ve filmu Hračky (1992), jehož režisérem je Barry Levinson. Jedná se o první celovečerní film, kde bylo úspěšně využito snímání pohybu pro animované charaktery.⁶

V roce 1995 byla zveřejněna první bojová počítačová hra s 3D postavami a 3D prostředím, nazvaná FX Fighter. Je to jedna z prvních videoher, která pomocí snímání pohybu napomohla realismu pohybů postav. Herní postavy jsou animovány v reálném čase vstupem uživatele pomocí sady akcí nasnímaných motion capture technologií, jako například běh, chůze či výkopy. Jednotlivé akce jsou interpolovány tak, že si hráč nevšimne přechodu z jedné akce na druhou. Úspěch hry povzbudil jiné herní společnosti, aby ve svých projektech používaly tuto technologii.⁷

⁴ Ibid, s. 16.

⁵ Kitagawa, 2008, s. 7.

⁶ Parent 2010, s. 78 - 79.

⁷ Kitagawa, 2008, s. 8.

3. Hardware

Typy motion capture systémů se dají rozdělit do čtyř základních skupin.

Pojmenování těchto skupin vychází ze způsobu, kde jsou umístěny senzory, které snímají pohybová data.

- Outside-in systémy využívají externí senzory pro sběr dat ze zdrojů připevněných přímo na těle herce. Do této skupiny patří například optické systémy, využívající kamery, ke sledování pasivních či aktivních značek.
- Inside-out systémy využívají senzory umístěné na těle herce, které posílají data externím přijímačům. Například elektromagnetické systémy, jejichž senzory se pohybují v elektromagnetickém poli, patří do této skupiny.
- Inside-in systémy mají své vlastní senzory a přijímače přímo na těle herce. Příkladem těchto systémů jsou elektromechanické nebo intertní (setrvační) obleky, ve kterých jsou senzory v podobě potenciometrů, poháněných goniometrů či akcelerometrů a přijímači jsou klouby exoskeletu.
- Depth systémy využívají time-of-flight kamery, vysílají signál směrem ke snímanému subjektu, který se od něj odrazí a na základě délky odezvy rekonstruuje subjekt ve virtuálním 3D prostoru.

3. 1. Optický systém

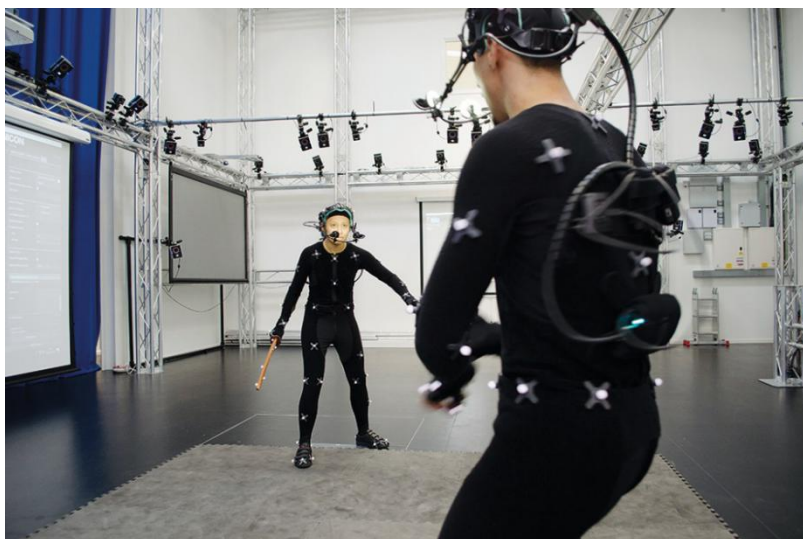
Optické motion capture systémy nabízejí velmi přesné datové výstupy. Jejich nevýhoda spočívá v nutnosti daná data nejdříve zpracovat v externím softwaru, avšak dnešní technologie už umožňuje zobrazovat tato data v reálném čase. Vizuální zpětná vazba je většinou reprezentována do tzv. aktorů, či zobrazovaná v programech třetích stran jako je například MotionBuilder. Získaná data tímto způsobem mohou vyžadovat rozsáhlé následné zpracování, tudíž provozní náklady mohou být vysoké.⁸

⁸ Kitagawa, 2008, s. 8.

„Typický optický systém se skládá z několika kamer a počítače, který tyto kamery ovládá. Tyto kamery snímají reflektivní (pasivní) či světlo vyzařující (aktivní) značky.“⁹ Pořízená data z jednotlivých bodů jsou následně triangulována na základě nasnímaných dat a díky tomu je možné reprezentovat jednotlivé značky v 3D prostoru.

Nejméně dvě kamery musí být schopny snímat značku ve stejný okamžik, jinak není možné tuto značku správně triangulovat a dochází tak ke ztrátě dat. Tahle situace může nastat, pokud je značka zakryt snímaným subjektem¹⁰ nebo rekvizitou.

Pro tyto problémy existují nástroje pro úpravu dat, které dokáží interpolovat chybějící data. Pokud ale chybí data pro příliš mnoho značek najednou nebo je interval ztráty dat příliš dlouhý, není možné problém vyřešit jinak, než klasickou animací. Velkou výhodou těchto systémů je možnost změny konfigurace značek, a tedy se dají použít například i pro snímání pohybu zvířat a rekvizit.



Obr 2. - Herci snímání optickým systémem Vicon

3. 1. 1. Optické systémy s pasivní značkou

Tyto značky jsou vyrobeny z reflektivního materiálu a zpravidla mají kulovitý tvar. Jejich velikost závisí na rozlišení kamer a na velikosti snímaného objektu. Tedy například malé značky se používají na komplexních objektech, či rukou herce, aby mu

⁹ Ibid, s. 8.

¹⁰ např. značka umístěná na hrudi subjektu v momentě, kdy si subjekt lehne břichem k zemi.

nepřekážely. Pasivní značky jsou připevněny přímo na kůži snímaného subjektu nebo přilepeny pomocí stuhového uzávěru k motion capture obleku.¹¹

Kamerový systém využívající pasivních značek je vybaven LED diodami, které vyzařují světlo směrem na snímaný subjekt. Toto světlo se dále odráží od reflektivní plochy pasivní značky zpět do jednotlivých kamer. Nevýhodou těchto značek je rychlá únava materiálu, například jeho poškrábání a ztráta jeho reflektivních schopností a proto je nutné tyto značky často měnit za nové.

3. 1. 2. Optické systémy s aktivní značkou

Aktivní značkou je myšlena značka, která obsahuje světlo vyzařující LED diodu. Některé systémy využívající aktivní značky, osvětlují vždy jednu LED diodu ve stejný čas, což vylučuje potřebu identifikace každé jednotlivé značky. Jiné zase osvětlují všechny LED diody najednou, přičemž modulace amplitudy nebo frekvence každé diody umožňuje těmto systémům jednoznačně identifikovat tyto značky.

Nejnovější systémy, které využívají aktivní značky jsou schopny snímat data v přirozených světelných podmínkách, což umožňuje nahrávat data na různých lokacích venku, mimo studio. Nicméně světelné podmínky musí být pečlivě kontrolovány pro většinu optických systémů, zejména pro systémy s pasivní reflektivní značkou.¹²

3. 1. 3. Umístění značek

Správné umístění značek na tělo snímaného subjektu hraje klíčovou roli. Zpravidla se značky umísťují na nejvíce pohyblivé části těla. Tedy například na lokty, zápěstí, kolena, pánev a další části těla. Čím více značek je umístěných na snímaném subjektu, tím lepší výsledky dat můžeme očekávat. To ale neznamená, že by měl být subjekt obsypán značkami. Více značek také znamená delší čas, který software vyžaduje na zpracování snímaných dat.

3. 2. Magnetický systém

U magnetického mocap systému je na snímaném subjektu umístěno 12 až 20 senzorů pro měření prostorového vztahu mezi senzorem a magnetickým vysílačem.

¹¹ Celotělový oblek vyrobený z pružných materiálů, jako je např. spandex.

¹² Kitagawa, 2008, s. 8.

Trackovací senzory vysílají údaje o své pozici i orientaci v prostoru, a proto pro výpočet rotací není potřeba žádného postprocesu. Díky tomu je možné využít magnetické systémy pro snímání pohybu v reálném čase.

Při trackování senzorů nedochází k jejich okluzi ostatními předměty nebo rekvizitami, vyrobenými z nekovových materiálů, což je výhoda oproti optickým systémům. Jsou však náchylné na magnetické a elektrické rušení, způsobené kovovými předměty a elektronikou v okolí. Toto rušení může mít za následek zkreslená výstupní data. Také kabely a baterie pro trackovací senzory mohou omezit pohyb snímaných subjektů. Baterie trackovacích senzorů musí být navíc dobíjeny každých pár hodin.¹³

3. 3. Mechanický systém

3. 3. 1. Elektromechanické obleky

Starší mechanické (exoskeletální) mocap systémy měřily úhly kloubů snímaného subjektu, který nesl kloubové zařízení, skládající se z přímých tyčí a potenciometrů. Přímé tyče byly spojeny s potenciometry v kloubech exoskeletu, které byly určeny k měření úhlu jednotlivých kloubů při pohybu snímaného objektu. Další typy mechanických systémů zahrnují inerční rukavice a digitální armatury.

Mechanické systémy umožňují přenos dat v reálném čase, jejich pořizovací náklady jsou levnější, než u ostatních systémů, nedochází k okluzi senzorů a magnetickému či elektrickému rušení. Další jejich velkou výhodou je, že mechanické motion capture systémy lehce přenositelné z místa na místo a velikost oblasti snímání dat je prakticky neomezená.

Slabinou mechanických systémů je to, že neměří globální pozici v prostoru. Globální pozice se měří pomocí akcelerometrů, což má za následek, že výsledná data mohou „prokluzovat“. Další nevýhodou jsou zkreslená data v případě, kdy noha snímaného objektu opustí zem. Pokud snímaný subjekt vyskočí, senzory nesledují skok a výsledná data tak zůstanou na podlaze. Pokud postava jde po schodech nahoru, zaznamenaná data nikdy nezmění pozici směrem nahoru, ale vypadají, jako by postava kráčela na místě. A proto se mechanické systémy často kombinují s jinými systémy.

¹³ Kitagawa, 2008, s. 8.

Magnetické senzory jsou často přidávány do mechanických systémů, aby tento problém napravily.



Obr. 3 - Elektromechanický oblek společnosti Xsens

Novější elektromechanické systémy jako je například ShapeWrap, vyvinutý společností Measurand, používá flexibilní pásky z optických vláken a je odolnější, než rigidní exoskeletální systémy.¹⁴ Využití optických vláken se stalo standardem pro dnešní inerciální obleky, díky jimž mají herci mnohem větší možnosti pohybu.

3. 3. 2. Digitální armatury

Digitální armatury lze rozdělit do dvou typů. Prvním z nich jsou armatury podobné těm, které využívají stop-motion figuríny. Druhým typem jsou armatury animované v reálném čase, tedy loutkové armatury. Stejně jako u mechanického obleku se oba typy skládají z řady pevných modulů spojených klouby, jejichž rotace se měří potenciometry nebo úhlovými senzory. Senzory jsou obvykle analogová zařízení, která výsledné hodnoty převádějí do digitální podoby.

Základním konceptem digitálních armatur je, že postava v animačním softwaru je synchronizována s mechanickou armaturou. Stisknutím klávesy animátor zaznamená pozice jednotlivých částí armatury do digitálního 3D prostoru pro konkrétní snímek v animaci. Jakmile jsou všechny klíčové pozice zaznamenány, software s nimi zachází jako s běžnými klíčovými snímky, které by mohly být vytvořeny v samotném softwaru.

¹⁴ Kitagawa, 2008, s. 10.

Tyto armatury jsou obvykle modulární, aby vyhovovaly charakterům s odlišným typem těla.

Ačkoli stopmotion nelze považovat za způsob motion capture, je potřeba tuto problematiku zde zmínit, protože většinu těchto komerčně dostupných armatur lze použít k záznamu pohybu také v reálném čase. Tento způsob animace byl použit k animaci některých digitálních dinosaurů ve filmu Jurassic Park. Později bylo zařízení použito k animování některých živočichů ve filmu Starship Troopers.



Obr. 4 - Dinosaur Input Device, použitý pro animaci ve filmu Jurassic Park

3. 4. Rádiové systémy

3. 4. 1. Globální polohovací systémy (GPS)

Nejlepším příkladem radiofrekvenčních systémů, je globální polohovací systém. GPS byl původně vyvinut americkým ministerstvem obrany v 70. letech 20. století jako nástroj, pomáhající při lokalizaci balistických raket ponorek.

Snímané subjekty pomocí GPS přijímají signály ze satelitů a používají je k výpočtu jejich polohy vzhledem k souřadnicovému systému. Souřadnicový systém se liší podle poskytovatele jednotlivých GPS systémů, ale obvykle je založen na zeměpisné šířce a délce.

Tato technologie momentálně není dostatečně přesná a nemá dostatečnou snímkovou frekvenci, a tudíž není vhodná jako nástroj pro snímání pohybu, ale jiné

systemy založené na podobné technologii by mohly dosáhnout požadované přesnosti a frekvence. Jinými slovy, místo satelitů vysílajících signály atmosférou by se použili místní vysílače v uzavřeném prostředí a přijímače umístěné na samotném subjektu.¹⁵

3. 4. 2. Lokální polohovací systémy (LPS)

Narozdíl od GPS, LPS systémy fungují na principu, kdy zachycený objekt vysílá signály místo jejich přijímání. V oblasti, kde je potřeba snímat pohybová data je nezbytné umístit několik antén. Snímané objekty jsou vybaveny malými vysílači, posílající signály anténám, které je přijímají a posílají je do jednotky pro zpracování signálu, která vypočítává polohu snímaného subjektu, porovnáváním doby odezvy signálu, mezi všemi anténami v systému a vysílačem.¹⁶

Výhodou LPS systémů je velikost snímané plochy, která je mnohonásobně větší, než u jiných systémů a také možnost snímat větší počet subjektů najednou, aniž by docházelo k okluzi. Vzhledem k tomu, že LPS systémy jsou poměrně experimentální technologie, tak jejich velkou nevýhodou je jejich schopnost snímání dat, která je omezena pouze na snímání pozice jednotlivých subjektů.

3. 5. Depth systémy

Tyto systémy motion capture pracují na principu trojrozměrné analýzy subjektu ze sekvence vícerozměrových obrázků získaných z kamer, které umí zapisovat hloubkovou (depth) informaci o prostoru, který snímají. K získání této informace používají IR¹⁷ senzor, vysílající infračervený signál, který se odráží zpět a na základě doby zpoždění se zapíše pro každý pixel ve snímku daná hloubková informace.

S představením zařízení Kinect pro Xbox 360 v roce 2010¹⁸, připoutala tato technologie značnou pozornost, díky možnosti snímání lidského pohybu v reálném čase. Tato původní verze tohoto zařízení ještě plně nevyužívala technologii time-of-flight kamer, nýbrž vysílala záření blízké infračervenému záření, které bylo snímáno infračerveným senzorem. O tři roky později byl představen Kinect pro Xbox One, který plně využíval time-of-flight měření. Zařízení Kinect bylo použito pro mnoho

¹⁵ Menache, 2011, s. 22-23.

¹⁶ Ibid, s. 23.

¹⁷ Infrared, infračervené záření.

¹⁸ *Kinect*. Wikipedia [online]. [cit. 10. 4. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>>.

komerčních počítačových her, z důvodu jeho cenové dostupnosti pro běžné uživatele.

Na základě současně zachycených barevných snímků a hloubkových údajů tento typ senzoru rekonstruuje pohyb uživatele v reálném čase, což umožňuje interakci s herním obsahem využitím pohybu těla uživatele.¹⁹

3. 6. Hybridní systémy

V posledních letech vznikají hybridní systémy, které jsou kombinací optických a inerčních systémů. Tyto systémy si zachovávají výhody z obou systémů, přičemž se snaží minimalizovat nedostatky druhého typu systému. Hybridní systém k snímání pohybu využívá tzv. pucks, což jsou samostatná přenosná zařízení. Zařízení jsou tak pojmenována z důvodu jejich velikosti, která je podobná jako puk v ledním hokeji. Tato zařízení mohou být umístěna na statickém místě nebo připojena k motion capture obleku, rekvizitě či kameře. Puck umí sledovat setrvačnost pohybu, být snímán optickým systémem či obojí najednou, v závislosti na provedení zařízení. Existují dva hlavní typy hybridních systémů.

U prvního typu hybridních systémů dochází k hybridizaci v rámci samotného zařízení. Senzor využívá nejen optické snímání pozice a orientace, ale také používá setrvační senzory ke zvýšení přesnosti snímání pohybu a zábraně ztráty dat v momentě, kdy dochází k okluzi značek. Setrvační senzor poskytuje data o zrychlení a rychlosti, která lze použít k predikci dráhy pohybu, pokud dochází k okluzi značek. Díky tomu je možné použít méně kamer, než kolik se používá pro typický optický systém, což snižuje celkové pořizovací náklady.



Obr. 5 - Active Puck výrobce OptiTrack

Druhý typ hybridního systému je na úrovni samotného systému. Příkladem by mohl být plně funkční inerciální oblek, poskytující snímaná data v kombinaci s použitím jedné nebo více optických značek pro přidání dalších polohových dat, která mohou být využita k potlačení prokluzu inerciálního systému.²⁰ Dalším takovým příkladem může být motion capture rukavice Manus OptiTrack Hybrid Glove, která obsahuje optické značky i inerciální senzory pro lepší snímání pohybu prstů.²¹



Obr. 6 - Manus OptiTrack Hybrid Glove kombinující inerciální senzory a optické značky

3. 7. Snímání pohybu v oblasti hlavy

Snímání pohybu obličeje je mnohem náročnější kvůli vyšším požadavkům na rozlišení kamer, díky kterým je možné snímat i ty nejjemnější změny výrazů a pohyby očí a očních víček. Tyto pohyby jsou často menší než několik milimetrů a vyžadují ještě větší rozlišení a přesnost filtračních technik, než jaké se obvykle používají pro snímání pohybu celého těla.

Současný stav v snímání pohybu obličeje je založen na kombinaci optického snímání hlavní rysů obličeje, které jsou následně zpracovány softwarovými algoritmy.

²⁰ *Choosing a performance capture system for real-time mocap.* Unreal Engine [online]. [cit. 16.5. 2020]. Dostupné z: <https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fperformance-capture-whitepaper-final%2FUnreal-Engine_performance-capture-whitepaper_LPC_Whitepaper_final-7f4163190d9926a15142eafcca15e8da5f4d0701.pdf>.

²¹ *OptiTrack Motion Capture Gloves.* Manus VR [online]. [cit. 16.5. 2020]. Dostupné z: <<https://manus-vr.com/optitrack-motion-capture-gloves/>>.

Jedná se o kameru či sérii kamer, které jsou umístěny na konstrukci připevněné k hlavě subjektu. Dříve zařízení zachycovalo pohyb malých značek, umístěných na klíčových částech obličeje. V začátcích se používala jen jedna kamera, která nebyla schopna zachytit určité pohyby, jako například vyšpulení rtů, takže data byla pouze v jedné rovině, což nepůsobilo příliš realisticky.

Trojrozměrná data pohybu obličeje mohou být zachycena pomocí optického systému, využívající dvou nebo více kamer, což přináší mnohem lepší výsledky. Existují také novější optické systémy, které nevyžadují značky, nýbrž jsou založeny na analýze optického toku. Takový systém byl použit pro zachycení výkonů obličeje pro film Avatar.²²

S představením zařízení iPhone X v roce 2017²³ některé společnosti poskytující motion capture vybavení, zakomponovali technologii TrueDepth²⁴, jako další řešení snímání pohybu v oblasti hlavy pro jejich systémy díky přídavným pluginům.

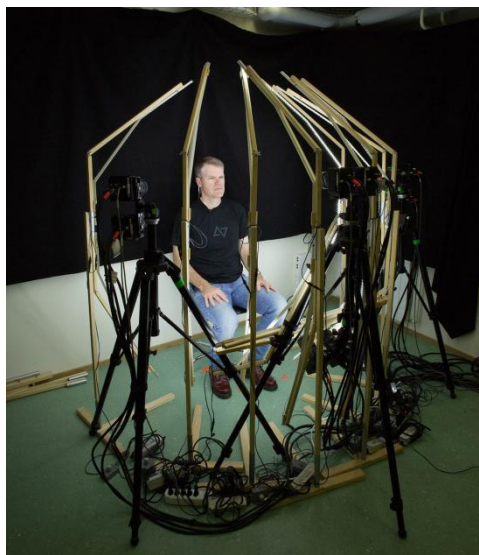
Systém Medusa Facial Capture vyvinutý společností Disney Research v Curychu je aktuálně jedním z nejlepších systémů pro snímání obličeje. „Skládá se z mobilní kamerové soupravy a světél, spojených s patentovaným softwarem, který dokáže rekonstruovat 3D tváře herce bez nutnosti použití značek. Medusa dokáže generovat dynamickou geometrii tváře s vysokým rozlišením, se schopností sledovat jednotlivé póry a vrásky pro jednotlivé snímky v záběru.”²⁵

²² Menache 2011, s. 32.

²³ *iPhone X*. Wikipedia [online]. [cit. 14.5. 2020]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/iPhone_X>.

²⁴ Snímání hloubkových dat pomocí IR kamery dostupná pro iPhone X a novější verze iPhone.

²⁵ *Medusa Performance Capture*. Disney Research Studios [online]. [cit. 16.5. 2020]. Dostupné z: <<https://studios.disneyresearch.com/medusa/>>.



Obr. 7 - Zařízení Medusa Facial Capture system

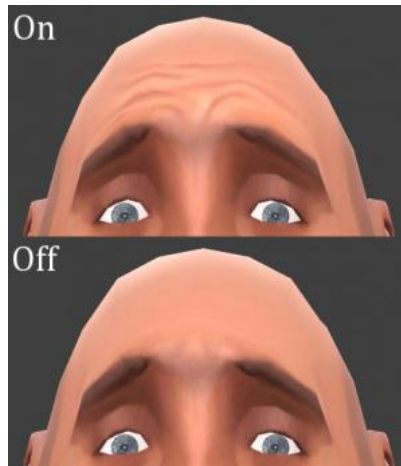
3. 7. 1. Dynamic blend shapes a wrinkle maps

Motion capture v oblasti hlavy je mnohem složitější také kvůli svalům, které se nacházejí v oblasti lidské lebky, protože při jejich pohybu dochází k velmi flexibilním pohybům, které deformují její povrch. Díky kombinaci deformací různých částí obličeje jsou lidé schopni vyjadřovat emoce.

K docílení přirozenějších deformací se často vytváří blend shapes. Blend shapes je definovaná sada klíčových pozic jednotlivých vertexů v 3D modelu. Pro vytvoření této sady je potřeba vycházet z 3D modelu s neutrální mimikou. Tuto deformaci lze aplikovat pro celý obličej najednou, nebo jen pro některé jeho části, jako například zavření očních víček, či deformace kůže na čele, která se děje při zvednutí obočí.

Tyto blend shapes lze aktivovat či deaktivovat pomocí pozice jednotlivých značek na obličej, nasnímaných technologií motion capture, v závislosti na jejich pozici v prostoru. Animace následně probíhá na základě interpolací vertexů mezi pozicí stanovenou danou blend shape konfigurací a pozicí vertexů v neutrálním stavu.

V počítačových hrách se namísto blend shapes používají z důvodu menšího počtu polygonů tzv. wrinkle maps, což jsou specifické textury, které nedeformují geometrii, nýbrž ovlivňují způsob, jakým model interaguje se světlem.



Obr. 8 - wrinkle map, použitá na charakteru z počítačové hry

3. 8. Snímání pohybu prstů

S většinou motion capture systémů, lze získat poměrně dobrý stupeň přesnosti pro základní pohyby a rotaci zápěstí, což je často dostačující pro jednoduché aktivity, jako je například chůze, mluvení, nebo některé animace ve videohrách. Snímání pohybu jednotlivých prstů je však obvykle náročnější. Pokud projekt vyžaduje interakci herce s prostředím, rekvizitami, nebo jakoukoli gestikulaci prstů je potřeba zvážit pořízení systému pro trackování prstů. V opačném případě jsou v některých případech animace prstů ručně animovány zpětně.

Některé systémy snímání pohybu těla nepodporují snímání pohybu prstů přímo, a proto existuje řada samostatných systémů, které lze použít spolu primárním motion capture systémem. Tyto samostatné systémy mají obvykle podobu rukavice, obsahující setrvační senzory, které měří rozpětí a sevření prstů. Získaná data se poté dají skombinovat s rotačními daty zápěstí, pocházející z primárního motion capture systému.

Jedny z prvních komerčně použitelných rukavic byly rukavice VPL DataGlove od společnosti VPL Research, která byla jedna z prvních společností, zabývajících se vývojem a prodejem produktů pro virtuální realitu. Rukavice byly uvedeny na trh v roce 1987.²⁶

²⁶ E. Lowood, Henry. *Virtual reality*. Encyclopedia Britannica [online]. [cit. 21. 2. 2020]. Dostupné z: <<https://www.britannica.com/technology/virtual-reality/Entertainment#ref884340>>.



Obr. 9 - zařízení VPL DataGlove

4. Software

4. 1. *Komerční software*

4. 1. 1. **Motion capture software**

Tato podkapitola pojednává o programech určených k přímé obsluze motion capture systému. Tento software bývá ve většině případech poskytován přímo výrobcem systému. Společnosti vyrábějící hardware pro motion capture systémy se stále více snaží dodávat komplexní řešení, tedy i se samotným softwarem, který je často dedikovaný pouze pro jejich systém.

Mezi některé tyto programy patří například MVN Animate poskytovaný společností Xsens, Motive společnosti OptiTrack nebo Expression (pro snímání obličeje) či programy Nexus, Blade, Pegasus a Shōgun společnosti Vicon.

Tyto programy často nabízí nástroje pro základní vyčištění dat a pro export do některého z formátů, vhodných pro další zpracování. Více těmto formátům se věnuje podkapitola 4.3.

4. 1. 2. **Animační software**

Software určený k dalšímu zpracování dat. Vstupem bývají již vyčištěná či částečně vyčištěná data například ve formátu c3d. Příkladem takového software je MotionBuilder či Maya od společnosti Autodesk, Cinema 4D od společnosti Maxon

Computer GmbH nebo iClone společnosti Reallusion. V těchto programech se získaná data dále dočišťují, pokud je to potřeba. Pokud získané animace jsou určeny pro videohru, probíhá v těchto programech zacyklovávání animačních klipů či úprava přechodných pozic, aby animace působila plynule. Dalším důležitým aspektem těchto programů je uložení dat do formátu, vhodného pro import do daného enginu.

4. 2. Nekomerční (open source/DIY)

S vyšší dostupností kvalitních videokamer, technologickému rozvoji a zařízením jako je MS Kinect, se začíná technologii motion capture věnovat i spousta amatérů a nadšenců, kteří sdílejí své poznatky a software či pluginy pod některou z licencí k volnému použití. Avšak některá komplexnější řešení mívají ujednání o zpoplatnění pro případ komerčního užití.

Mezi tyto opensource programy patří například program Blender od stejnojmenné společnosti, ve kterém je možné čistit a dále upravovat získaná data. Dále pak existuje veřejná OpenCV knihovna pro detekci hlavních rysů obličeje, která se pomocí pluginů může využít ve některých animačních programech či herních enginech.

Mezi některé nízkonákladové motion capture programy patří iPi Recorder a iPi Mocap Studio či některý z programů Brekel Face, Brekel Hands a Brekel Body.

4. 3. Formáty a jejich konverze

Existují dva typy dat, získávané motion capture systémy. Toto dělení je na základě způsobu, jakým jsou daná data získávána. Prvním typem jsou translační data, která jsou typická pro optické systémy, či snímání dat z obličeje. Druhým typem jsou rotační data, typická pro mechanické systémy. Translační data jsou vhodná pro zobrazení výstupu v reálném čase a také pro řízení vlivu jednotlivých „blend shapes“, využívaných pro animaci obličeje. Rotační data jsou zase vhodná pro animaci jednotlivých kostí, tedy k animaci celého těla. Některé softwary, jako např. Motionbuilder, dokáží přepočítat translační na rotační data.

V dalších podkapitolách následuje seznam nejvíce používaných souborových formátů, používaných v rámci motion capture.

4. 3. 1. C3D

Souborový formát C3D je binární formát vyvinutý v polovině osmdesátých let. Ukládá informace o 3D souřadnicích, analogových datech a souvisejících informacích používaných při snímání pohybových dat. Se zavedením a přijetím formátu souboru C3D všemi významnými společnostmi, pracujícími v tomto odvětví, mohou být všechna potřebná data bezproblémově přenášena mezi vědci a laboratoři, bez ohledu na hardware nebo prostředí použité ke sběru dat.

C3D formáty umožňují ukládat spoustu dat jako jsou informace o prostoru, ve kterém byl subjekt snímán (informace o sadách značek), informace o záznamu (snímková frekvence), informace o snímaném subjektu (věk či fyzické parametry) a analýzu vyhodnocenou z nasnímaných dat (jako jsou informace o načasování a cyklu chůze). Další výhodou tohoto formátu je jeho rozšiřitelnost. Formát C3D umožňuje ukládat nové informace, aniž by byla starší data zastaralá.

Před zavedením formátu souboru C3D bylo potřeba pro každý specifický souborový formát vytvořit specifický software na analýzu pohybu. V důsledku toho se vědci a kliničtí pracovníci omezili na psaní vlastního analytického softwaru nebo na použití softwaru dodávaného s jejich systémem pro snímání dat.

Formát C3D, na rozdíl od většiny ostatních, není založen na hierarchii armatury.²⁷

4. 3. 2. ASF/AMC

Tento formát byl vyvinut společností Acclaim Games Incorporated. Formát Acclaim se skládá ze dvou různých souborů, jeden pro údaje spojené s armaturou charakteru a druhý pro pohybová data. Oddělení mezi těmito dvěma typy bylo provedeno z důvodu, že stejná armatura se často používá pro vícero odlišných pohybových záznamů. Soubor obsahující popis armatury je uložený v souboru ASF (Acclaim Skeleton File) a soubor obsahující pohybová data je uložen v souboru AMC (Acclaim Motion Capture).²⁸

²⁷ *List of motion and gesture file formats*. Wikipedia [online]. [cit. 23. 2. 2020]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_motion_and_gesture_file_formats>.

²⁸ *Ibid.*

4. 3. 3. BVH/BVA

Souborový formát BioVision Hierarchical (BVH) byl původně vyvinut společností BioVision. Formát BVH je častěji používán než formát BVA, tedy starší a jednodušší formát BioVision. Formát BVA neobsahuje žádnou hierarchii armatury, ale pouze pohybová data s pevným pořadím hierarchie kostí.

BVH formát je binární soubor, který obsahuje jak data o armatuře, tak translační data a umožňuje každé kosti armatury mít vlastní pořadí transformace. Nevýhodou formátu BVH je, že postrádá definici výchozí pozice (zpravidla to bývá tzv. T-pozice). Další nevýhodou tohoto formátu je, že kosti získávají svůj translační offset z kostí v hierarchii nad nimi. Navíc formát BVH je často implementován různými způsoby v různých softwarech. Tudíž reprezentace dat v jedné aplikaci se může zobrazovat bez problému a v jiné může být zobrazení problematické. I přesto je v současnosti BVH formát jedním z nejpoužívanějších formátů v rámci motion capture.

BVH data jsou rozdělena na dvě části. První část obsahuje informace o armatuře a její hierarchii a druhá část obsahuje data o počtu snímků v animačním klipu, rychlost snímkové frekvence a číselný záznam pro každý transformační kanál ve stejném pořadí, jako je pořadí kostí v hierarchii armatury.²⁹

4. 3. 4. FBX

Zatímco předchozí datové formáty, byly vyvinuty speciálně pro motion capture, formát FBX nebyl primárně určený pro tuto technologii. FBX byl původně vyvinut společností Kaydara pro svůj 3D animační program FilmBox, ze kterého později vznikl program MotionBuilder. Formát FBX je navržen tak, aby popisoval kompletní scény a je podporován mnoha 3D animačními programy. Formát FBX může obsahovat geometrie, textury, kamery, světla, body, armatury a animační data. Soubor FBX je psaný pomocí ASCII znaků nebo binární a celý soubor je formátován vnořenými závorkami jako C kód. Soubor je rozdělen do sekcí a každá část začíná klíčovým slovem a dvojtečkou. Každá sekce má podsekce, které začínají také klíčovými slovy a dvojtečkou. Topologické vztahy mezi segmenty v hierarchii jsou uloženy v sekci „Connections” a translační data (data o pozicích bodů) jsou uložena v sekci „Relations”.

²⁹ Kitagawa, 2008, s. 182.

Rotační data (rotační úhly kloubů v armatuře) jsou uloženy jako animační klíče v sekci „Takes”.³⁰

5. Analýza současného stavu trhu

Aktuálně je trh s motion capture systémy velmi roztržitý. Existuje spousta způsobů, jakými se dají snímat lidské pohyby, které se liší jak hardwarem, tak softwarem. Na trhu aktuálně neexistuje žádný monopol, a díky tomu se technologie rozvíjí spousty směry.

Zde je seznam některých motion capture řešení, zahrnující komerční i experimentální systémy. Ceny jsou aktuální k datu 16.3. 2020.

Motion capture obleky:

- Xsens (\$12 000 - \$32 000) (\$7600 pro indie vývojáře)

Jeden z předních výrobců motion capture obleků a inerčních systémů na trhu. Jedná se o obleky použité ve velkých produkcích na projektech jako například Thor Ragnarok, Avengers: Infinity War, Black Panther, Just Cause 3 či Fifa 16.³¹

- Nansence (\$6,299)

Výrobce inerčních obleků střední cenové kategorie. Společnost nabízí možnost trackování rukou po přikoupení trackovacích rukavic o hodnotě \$5,799.

- Perception Neuron (\$1499 - \$5999)

Další výrobce inerčních obleků střední cenové kategorie. Je možné dokoupit trackovací rukavice o hodnotě \$1499. Tento motion capture systém byl použit pro animaci oceňovaného krátkého filmu, renderovaném reálném čase v enginu Unity pod názvem Adam.³² Nedávno byla představena druhá verze obleku, která s jeho cenou začíná na 1499 dolarech.

- Rokoko (\$2495)

Rococo Electronics je jedna z nejmladších společností na trhu, nabízející cenově velmi dostupné řešení motion capture obleků, které je oblíbené zejména mezi indie vývojáři a malými studii.

- Chordata Motion (\$346 - \$1600)

³⁰ Kitagawa, 2008, s. 183.

³¹ Xsens. Wikipedia [online]. [cit. 18.5. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Xsens>>.

³² Adam-short film with Unity. In Perception Neuron [online]. [cit. 18.5. 2020]. Dostupné z: <<https://neuronmocap.com/portfolio/adam-short-film-unity>>.

Ambiciozní projekt, který umožňuje postavit si vlastní motion capture systém z jednotlivých komponentů dle poskytnutého manuálu. Celý projekt je plně open source a dle vývojářů by měl být plně flexibilní natolik, aby se dal použít i pro snímání subjektů jiných, než jsou lidé. Tento systém by se měl dostat na trh na začátku roku 2021.³³

Optické systémy:

- OptiTrack (\$7,858 - \$589,980 hardware)
- Vicon (cena se liší podle specifických požadavků)
- PhaseSpace (cena se liší podle specifických požadavků)

Aktuálně nejrychlejší motion capture systém snímající data v reálném čase.

Depth systémy snímající celé tělo:

- iPi Motion Capture™ (\$695 - \$1995 - pořizovací cena software; \$103 - \$1 663 - pořizovací cena hardware)

Nejoblíbenější motion capture systém mezi indie vývojáři, zejména díky poměru nízké pořizovací ceny a poměrně kvalitnímu výstupu dat (můj subjektivní názor).

- Brekel (\$79 - \$139)

Motion capture řešení velmi podobné systému iPi Soft.

5. 1. Předpokládaný vývoj technologie

Současný filmový průmysl je vysoce závislý na technologii motion capture díky trendu směrem k efektivním způsobům animace a plně CGI filmům. V roce 2019 vydalo studio Marvel Studios nejdražší film v historii Avengers: Endgame, který měl rozpočet 356 milionu dolarů, ve kterém byla spousta CGI charakterů animována technologií motion capture. Tato velká cena naznačuje, o jak velký fenomén se jedná.³⁴

V současné době jsou tyto trendy ve vývoj této technologie:

Zpětná vazba v reálném čase - s klesající cenou motion capture zařízení se tato technologie dostává i mezi širokou veřejnost, kde je nejvíce zastoupena jako způsob

³³ Chordata Motion coming soon on Kickstarter! | The open-source motion capture system. YouTube [online]. [cit. 18.5. 2020]. Dostupné z:

<https://www.youtube.com/watch?time_continue=66&v=itYOmWZWtQs&feature=emb_logo>.

³⁴ 3D motion capture market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025). Mordor Intelligence [online]. [cit. 15.5. 2020]. Dostupné z:

<<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-motion-capture-market>>.

vstupního zařízení pro ovládání videoher, kde je potřeba zpětné vazby v reálném čase. Například videohra VR Chat³⁵ využívá některých VR headsetů a pohybových ovladačů k tomu, aby hráč mohl interagovat s obsahem videohry.

Snímání dat bez použití značek (tzv. markerless motion capture) - s příchodem zařízení, které jsou schopny snímat pohyb bez použití značek, jako je zařízení Kinect, preference spotřebitelů se přesouvají právě na tuto technologii, díky její cenové dostupnosti, snadnému použití a nepřítomnosti těžkopádných obleků a značek.³⁶ Díky tomu ji může využívat prakticky kdokoliv s minimální přípravou.

Snížení pořizovacích nákladů, snaha o rozšíření se veřejnosti - v dnešní době je možné sestavit funkční motion capture systém za poměrně nízkých pořizovacích nákladů. To bylo umožněno uvedením zařízení Kinect na trh. Více o tomto tématu se zmiňuji v praktické části této bakalářské práce.

Zvětšení snímací plochy - v srpnu 2019 společnost Xsens představila novou verzi inerního motion capture obleku, který umožňuje dálkově snímat pohybová data pomocí GPS. „Tato nová verze umožňuje synchronní snímání až 25 zařízení, což umožňuje zaznamenat například celé fotbalové hřiště s 22 hráči.“³⁷

Zvýšení přesnosti snímání pohybu - novější technologie umožňují získávat přesnější data s menším šumem, což šetří čas při zpětném čištění těchto dat. Například systém „PhaseSpace Impulse X2E dokáže snímat pohyb o snímkové frekvenci 920 FPS a rozlišení 36000×36000px.“³⁸

Po provedení analýzy průmyslu zabývající se motion capture technologií mnoho osob jemu zasvěcených očekává, že mezi lety 2018-2023 dojde k celkovému ročnímu nárůstu financí spojených s touto technologií o 9,8 %. Toto číslo však bylo aktualizováno pro období 2019-2024 na 12,12 %. Ve skutečnosti se očekává, že za pět let dosáhne motion capture průmysl v hodnotu 252,8 milionu dolarů. Jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících tento růst je poptávka po realistických 3D animacích. Kromě toho se očekává, že Severní Amerika bude největším hráčem na trhu

³⁵ Více informací na <https://www.vrchat.com/>.

³⁶ *3D motion capture market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025)*. Mordor Intelligence [online]. [cit. 15.5. 2020]. Dostupné z: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-motion-capture-market>.

³⁷ *Xsens' Latest Update Takes Outdoor Motion Capture To The Next Level*. Xsens [online]. [cit. 15.5. 2020]. Dostupné z: <https://www.xsens.com/press-releases/xsens-latest-update-takes-outdoor-motion-capture-to-the-next-level>.

³⁸ *Experience the Active Marker Advantage*. Phase Space [online]. [cit. 17.5. 2020]. Dostupné z: <https://www.phasespace.com/x2e-motion-capture/t>.

s motion capture díky velké popotávce v zábavním průmyslu, sportu a medicíně. Přesněji řečeno se předpokládá, že snímání pohybu spojené s léčbou sportovců poroste, protože ve Spojených státech jsou stále více trendem kontaktní sporty, při nichž není velké riziko zranění, jako je fotbal a hokej.³⁹

Praktická část

6. Realizace motion capture systému v indie podmínkách

6. 1. Motivace

V praktické části bakalářské práce se budu věnovat zařízení vlastního mocap systému, který bych chtěl využít v herním vývoji, tedy na mém vedlejším projektu, na kterém pracuji s několika dalšími lidmi. Tuto možnost způsobu animace jsme zvolili z časových důvodů, protože chceme mít v počítačové hře emote animace a taneční animace, které budou moct hráči kupovat a následně je ve hře používat. Taneční animace jsou zpravidla dost časově náročné, pokud se animují klasickou animací a jejich výsledek nemusí být vždy dostatečně reálný.

Dále bude tento motion capture systém využit pro tvorbu některých animací v mém závěrečném bakalářském filmu.

6. 2. Preprodukce

Pořizovací náklady hráli ve výběru systému velkou roli. Proto jsem zvolil depth systém, s použitím dvou MS Kinect 360 zařízení, které se dají snadno sehnat za přívětivou cenu.

Motion capture systém by se dal realizovat i za použití jednoho zařízení MS Kinect, ale v tom případě by nebylo možné provádět některé složitější pohyby, protože

³⁹ Watson, Tracy. *Fast growing motion capture industry - prediction and analysis*. Skywell software [online]. [cit. 15.5. 2020]. Dostupné z: <<https://skywell.software/blog/fast-growing-motion-capture-industry-predictions-and-analysis/t>>.

by mohlo docházet k okluzi některých končetin. Například při otáčení herce kolem své osy by v určitý moment mohlo dojít k zakrytí jedné ruky. Tento problém však eliminuje využití více snímačů, které jsou rozmístěny kolem zóny snímání pohybu. Více o rozmístění kamer v mém systému se budu zmiňovat v podkapitole 6.2.4.

Po delším průzkumu trhu jsem jako software na zpracování zvolil iPi Motion Capture^{TM40}, který je rozdělený do dvou aplikací iPi Recorder, pro záznam dat a iPi Mocap Studio pro částečné zpracování dat. Slovo částečně píše proto, protože tato aplikace umí pořádkem skeletální data z pořízeného point cloudu a případně vyfiltrovat nechtěný šum u rotací jednotlivých kostí. Další procesy jako inverzní kinematiku, zacyklení animací, pokročilejší čištění animačních křivek, provádím v open source programu Blender⁴¹.

6. 2. 1. Pořizovací náklady

Zde je seznam položek, ze kterých jsem vycházel, během realizace motion capture. Některé položky jsou čistě dobrovolné, pro získání lepší dat, tudíž nejsou nezbytné pro realizaci. Ceny jsou pouze orientační a aktuální k datu 6.2. 2020. Upozorňuji, že cena všech těchto položek se může postupem času změnit.

- 2x Kinect pro Xbox 360 999Kč/kus
- 2x Adapteré pro připojení zařízení MS Kinect k počítači 179Kč/kus
- Prodlužovací kabel USB 3.0 185Kč
- IpiSoft Basic Edition (licence softwaru na 3 měsíce) 3 816Kč

6. 2. 2. Kinect

Kinect je zařízení pro snímání hloubky scény a pohybu, relativně k jejímu umístění v prostoru. První verze tohoto zařízení, tedy Kinect pro Xbox 360 k tomu používá strukturované světlo. Jednotka vysílá infračervený vzor promítaný přes prostor před Kinectem, zatímco infračervený senzor zachycuje tento světelný vzor. Tento vzor je deformován relativní vzáleností objektů před ním. Zatímco předchozí technologie snímání hloubky světla využívaly více vzorů, Kinect pro Xbox 360 používá jen jeden, aby bylo dosaženo rychlosti snímání hloubky 30 snímků za sekundu.

⁴⁰ Více informací na <http://ipisoft.com/>.

⁴¹ Více informací na <https://www.blender.org/>.



Obr. 10 - zařízení Kinect pro Xbox 360

Kinect pro Xbox One používá měření času doby letu světla. Infračervený projektor v zařízení Kinect vysílá infračervené světlo, které je poté snímáno senzorem. Infračervené světlo odrážející se od blízkých objektů, má kratší dobu letu než světlo, odrážející se od vzdálenějších objektů. Infračervené čidlo zachycuje, jak moc se modulační vzorec deformoval během doby letu, pro každý jednotlivý pixel v obraze. Jakmile má Kinect hloubkovou informaci pro všechny pixely, detekuje okraje jednotlivých objektů v záběru, přičemž zahrnuje RGB informace z běžné kamery. Nadále software trackuje veškeré pohybující se objekty, tedy pixely měnící svoji hloubkovou hodnotu pro každý snímek, protože se předpokládá, že v obraze se pohybují pouze lidé a izoluje tyto části od zbytku obrazu. Software podporovaný umělou inteligencí, nadále provádí segmentaci tvarů, aby se pokusil identifikovat konkrétní části lidského těla, jako je hlava, paže a ruce, a tyto segmenty poté sleduje jednotlivě. Tyto segmenty se používají ke konstrukci 20-bodové kostry lidského těla, kterou lze pak pomocí jiného softwaru použít k určení akcí, které daná osoba provedla.⁴²

6. 2. 3. Výběr oblečení

Přestože iPi Mocap Studio si umí poměrně dobře poradit s predikcí polohy jednotlivých kostí armatury, volba vhodného oblečení může takto získaná data ještě více zpřesnit. Zejména u depth systémů je nutné používat uplé oblečení, které co nejlépe kopíruje siluetu snímané postavy. Toto oblečení by nemělo být z reflektivních materiálů, aby při snímání depth dat nedocházelo k errorům, tedy k místům, kde nejsou žádné hloubkové informace.

⁴²Kinect. Wikipedia [online]. [cit. 1.5. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>>.

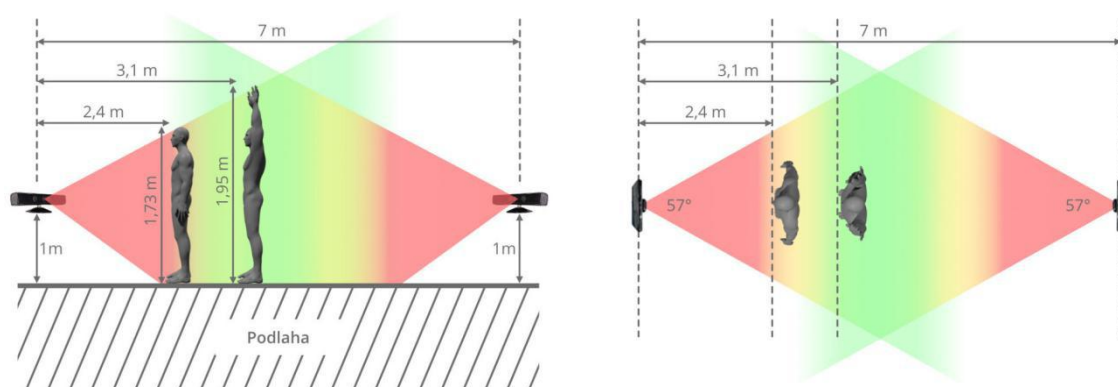
Já osobně mám delší vlasy, a proto používám čepici, protože vlasy jsou velkým zdrojem šumu a tedy bez čepice je trackování hlavy velmi nepřesné.

Co se týče barev oblečení, ty nemají žádný vliv na záznam dat, protože iPi Mocap Studio nepoužívá RGB data pro rekonstrukci pohybu.

6. 2. 4. Oblast snímání pohybu a sestavení systému

Motion capture systém s použitím dvou Kinect 360 kamer se může sestavit dvěma způsoby. Prvním z nich je rozmístit kamery ve vzdálenosti zhruba 4 metry od sebe tak, aby mezi sebou svíraly úhel 60 až 90 stupňů. Výhodou tohoto rozmístění kamer je fakt, že některé hloubkové informace se budou překrývat z více úhlů, a tedy data budou přesnější za cenu, že u některých pohybů může docházet k okluzi některých částí herce. Například když se herec otočí zády k senzorům, tak nemusí být vidět jeho ruce.

A proto jsem zvolil jinou možnost, a tedy rozmístění kamer ve vzdálenosti 7 metrů tak, aby svíraly úhel zhruba 180 stupňů. Podrobnější schéma rozestavení kamer najdete na obrázku č. 11. Nevýhodou tohoto rozmístění kamer je menší počet překrývajících se hloubkových bodů, tedy méně přesná pořízená data. Naopak výhodou je, že za použití takto umístěných kamer se herec může volně otáčet a provádět složitější pohyby bez obavy, že nějaká jeho část těla bude podléhat okluzi.



Obr. 11 - oblast snímání pohybu

Jak lze vidět na schématu oblasti, pro snímání pohybu, neoptimálnější je umístit MS Kinect do výšky zhruba jednoho metru až jednoho a půl metru. Já osobně mám obě kamery postavené na poličkách, obě zafixované lepicí páskou, ale je také plně dostačující pouhé položení kamery na obyčejnou židli.

Co se týče hardwarových požadavků, pro připojení MS Kinectu k PC je potřeba USB 3.0 vstup, aby Kinect fungoval na plný výkon. Při připojení Kinectu za použití USB 2.0 dochází ke ztrátě snímkové frekvence zhruba o 30%. Další podmínkou je, že pro každý Kinect je potřeba mít vlastní USB vstup. Tedy nelze připojit více kamer pomocí USB rozbočovače do jednoho USB vstupu, protože v tom případě počítač nerozpozná více, jak jedno zařízení.

Při prvních testech jsem používal prodlužovací 5 metrů dlouhý USB 3.0 kabel, který propojoval vzdálenější Kinect s počítačem, což mělo za následek ztráty jednoho až dvou snímků za sekundu. Nyní používám tzv. distribuované nahrávání⁴³, které umožňuje iPi Recorder. Jedná se o synchronizované snímání dat z více počítačů souběžně. Nasnímaná data se po ukončení nahrávání pošlou po síti z tzv. „slave“ počítačů (takto je nazývají vývojáři programu) do hlavního počítače, kde se musí spojit do jednoho iPiVideo formátu, pro který má iPi Recorder vlastní nástroj. Díky této funkci jsem byl schopen zvětšit oblast snímání pohybu o 2 metry, protože nyní můžu mít jeden Kinect zapojený do stolního počítače na jedné straně místnosti a druhý Kinect zapojený do notebooku na opačné straně místnosti.

6. 2. 5. Instalace driverů pro MS Kinect

Před zapojením Kinectu k počítači je nutné nainstalovat Kinect pro Windows SDK⁴⁴, aby mohl operační systém dané zařízení rozpoznat a aby zařízení fungovalo tak, jak má. Při instalaci je potřeba dát si pozor na verzi software development kitu, protože Kinect pro Xbox 360, Kinect pro Windows a Kinect pro Xbox one jsou kompatibilní pouze s verzí 1.8, kterou je možné stáhnout na této webové adrese⁴⁵. Naopak zařízení Kinect 2 pro Windows je kompatibilní pouze s verzí SDK 2.0, kterou je možné stáhnout na této webové adrese⁴⁶. Kinect pro Windows SDK dále umožňuje vývojářům vytvářet aplikace, které využívají lidské pohyby a rozpoznávání lidské řeči, za použití zařízení Kinect technologie na počítačích s operačním systémem Windows. Samotná instalace je velmi jednoduchá, jelikož se stačí řídit pokyny instalačního manažeru.

⁴³ *Distributed recording*. iPi Docs [online]. [cit. 8.5. 2020]. Dostupné z: <http://docs.ipisoft.com/Distributed_Recording>.

⁴⁴ Software development kit.

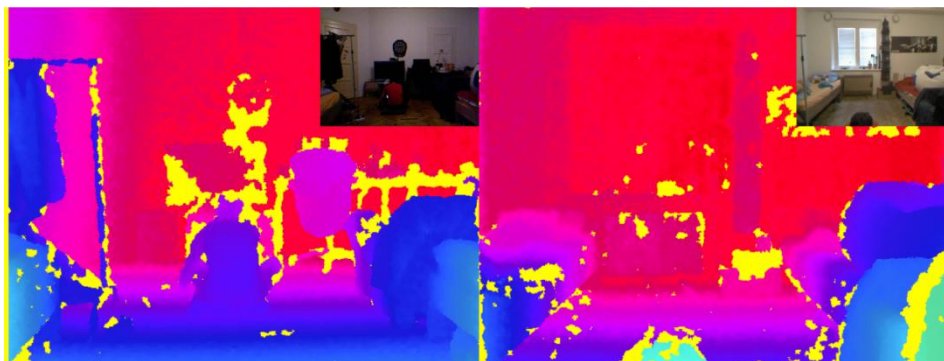
⁴⁵ Kinect SDK v1.8 - <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40278>.

⁴⁶ Kinect SDK v2.0 - <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561>.

6. 3. Produkce

6. 3. 1. iPi Recorder a iPi Mocap Studio

Na obrázku č. 12 je zobrazena vizualizace hloubkových dat v programech iPi Recorder. Žlutá místa jsou pixely, pro které chybí hloubková informace. Což znamená, že čím více žlutých míst je v náhledu, tím horší výsledek dat můžeme očekávat. K těmto prázdným místům dochází zpravidla ze dvou důvodů. Prvním důvodem jsou objekty v záběru kamer, vyrobené z reflektivních materiálů, od kterých se infračervené záření neodráží zpět do kamery. Toto lze jednoduše vyřešit odstraněním těchto objektů ze záběru. Jedná-li se o větší předměty, jako například nábytek, nejjednodušší cestou je zakrýt je například dekou, či prostěradlem. Druhým důvodem těchto žlutých míst je malý úhel, mezi povrchem objektů v záběru a kamerou, kdy se infračervené záření odráží od těchto objektů směrem od kamery, namísto zpět k ní. K tomu nejčastěji dochází u podlahy, pokud je MS Kinect umístěn příliš nízko. Jediný způsob, jak tomuto předejít, je umístit kameru o něco výš.



Obr. 12 - reprezentace hloubkových dat v programu iPi Recorder

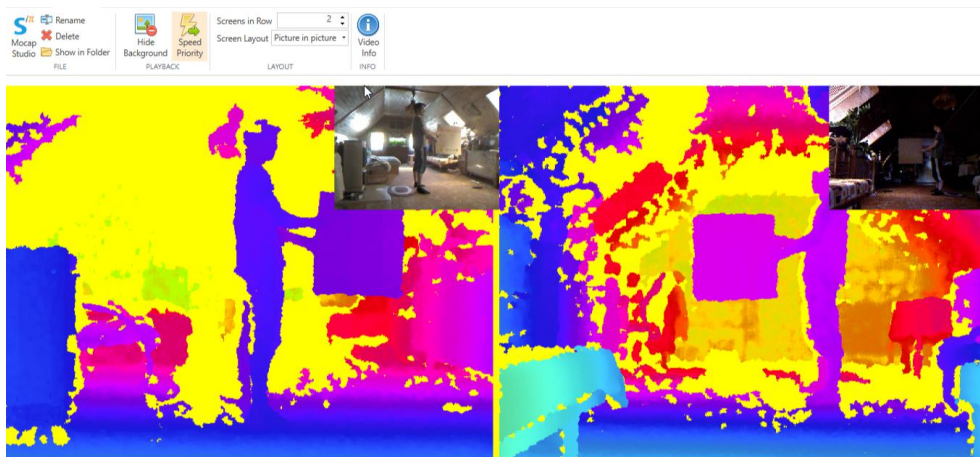
Kalibrace

Při použití dvou a více Kinectů je potřeba kalibrovat scénu. To znamená nejen určit polohu a rotaci všech kamer ve virtuálním 3D prostoru v softwaru a synchronizovat ji s polohou a rotací v reálném prostoru, ale také synchronizovat jednotlivé kamery mezi sebou. Kalibrace kamer se provádí přímo v programu iPi Recorder. Po spuštění programu je potřeba vybrat veškeré zařízení, která se budou pro snímání používat.

Po stisknutí tlačítka „Record video“ se zobrazí vizualizace hloubky scény ze všech použitých kamer, podobná jako na obrázku č. 12. Nyní je potřeba uložit snímek pozadí, podle kterého bude iPi Mocap Studio substrakční metodou oddělovat pozadí od všech pohyblivých objektů, na základě změny hodnoty hloubkové informace pixelů. Je nutné, aby během vyhodnocování snímku nebyl v záběru kamer nikdo přítomen, a také aby se po pořízení snímku ve scéně nehýbalo s objekty, které nejsou součástí hereckého výkonu. V opačném případě je potřeba provést vyhodnocení pozadí znovu. To platí i pro případ, kdy z jakéhokoliv důvodu jakákoliv kamera změní svoji pozici, či rotaci. Vyhodnocování pozadí probíhá několik vteřin. Čím delší časomíra je nastavena, tím lepší kvalitu bude pořízený snímek mít.

Po vyhodnocení pozadí se tedy dostáváme k samotné kalibraci kamer. Kalibrace tohoto systému funguje tak, že se nasnímá několik sekund dlouhý záběr (z vlastní zkušenosti mi vždy 8 sekund záběru stačilo), který je potřeba uložit ve stejném formátu, jako později všechny ostatní záběry s hranou akcí, tedy ve formátu iPiVideo. Tento soubor bude později použit jako kalibrační soubor v programu iPi Mocap Studio. Během snímání toho záběru je potřeba provést jednu z následujících činností (iPi Mocap Studio umožňuje dva způsoby kalibrace). Prvním z nich je kalibrace pomocí světelné značky, stejně tak, jako u optických systémů. V tomto případě budou použity RGB senzory, které jsou součástí zařízení Kinect. K tomu může posloužit například jakákoliv elektronická kapesní svítilna, u které lze odstranit horní reflektivní část nebo Sony PlayStation Move, který používám na trackování rekvizit. S touto svítilnou je nutné pohybovat prostorem v oblasti snímání pohybu tak, aby světelný bod byl v záběru obou kamer najednou.

Já osobně využívám druhý způsob kalibrace, a tedy kalibraci s využitím 3D plochy. K tomu je nutné použít přibližně 1×1 m velký objekt s úzkým profilem ve tvaru čtverce či obdélníku, například kus kartonové bedny. Čtyři vrcholy této plochy budou použity v programu iPi Mocap Studio pro kalibraci kamer. Během natáčení záběru je potřeba mírně pohybovat s objektem od jedné kamery k druhé a otáčet ji pod úhlem asi 20 stupňů ve všech směrech.



Obr. 13 - kalibrace pomocí 3D plochy

Jakmile je kalibrační záběr nasnímaný a uložený v počítači, můžeme přejít na samotné nahrávání pohybů. Pokud je pohnuto s jakoukoli kamerou, která je pro snímání pohybu využita, je potřeba provést celý proces kalibrace znovu.

Snímání dat

Proces snímání dat v programu iPi Recorder prakticky stejný, jako proces kalibrace s tím rozdílem, že není potřeba provádět kalibrační akci. Po stisknutí tlačítka record a uplynutí časomíry, kterou si můžeme nastavit, aby bylo možné se rychle dostat od počítače do oblasti snímání pohybu je vhodné se na několik sekund postavit do T-pozice. To později urychlí polohování armatury do vygenerovaného point cloudu, který bude použit pro triangulaci pozic kloubů armatury v závislosti na změně pozice těchto bodů.

Poté je čas pro samotné provedení pohybů. Po provedení pohybů je nutné ukončit snímání. To je možné stiskem tlačítka v rozhraní programu a nebo namířením pohybového ovladače směrem k hlavnímu zařízení Kinect.⁴⁷ Jakmile je snímání ukončeno, data ze všech „slave” počítačů jsou odeslána do hlavního počítače a sloučena do jednoho souboru. Já daný herecký výkon provádím vždy několikrát po sobě v závislosti na komplexnosti pohybu vždy do jednoho klipu, aby bylo možné vybrat ten nejlepší pohyb, se kterým se bude dál pracovat.

⁴⁷ Priorita zařízení je dána pořadím, v jakém bylo toto zařízení připojeno k počítači.

Zpracování dat

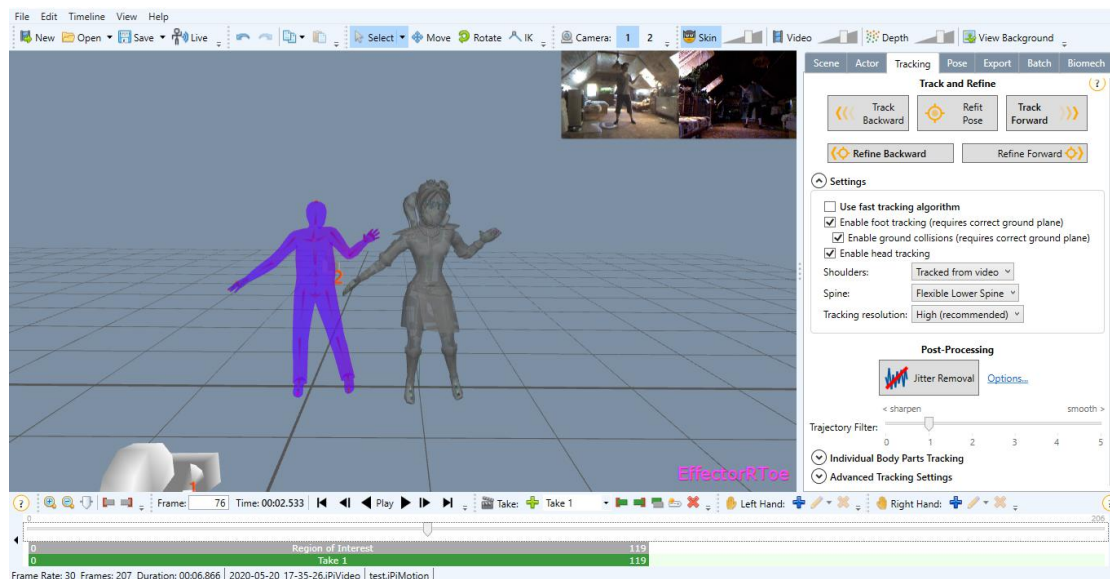
Zpracování získaných dat je prováděno v programu iPi Mocap Studio. Jako první krok je nutné naimportovat kalibrační soubor, který byl vytvořen dříve. Po provedení importu a výběru možnosti „kalibrační soubor“ je nutné nechat program data zpracovat. IPi Mocap Studio umožňuje vybrat tzv. oblast zájmu.⁴⁸ Ta je vhodná zejména pro odstranění části klipu, během které vypínáme snímání dat.

Po úspěšné kalibraci je možné importovat do programu animační soubor s nasnímaným pohybem. Při prvním použití programu je nutné nastavit rozměry virtuální reprezentace herce (tzv. actor) tak, aby přibližně odpovídala rozměrům herce. Poté je potřeba vyrovnat její pozici tak, aby přibližně odpovídala siluetě vygenerovaného point cloudu. K tomu slouží několik nástrojů pro rotaci a translaci kostí armatury a také ovladače inverzní kinematiky. Jakmile póza aktora přibližně odpovídá siluetě point cloudu, stačí kliknout na tlačítko „track forward“ a program provede trackování pro všechny snímky v oblasti zájmu.

Může se stát, že v některých případech trackování selže. To může nastat z důvodů, kdy se herec ocitne mimo zónu snímání pohybu, nebo kdy některá z končetin splyne s jinou končetinou nebo trupem subjektu kvůli okluzi. Dalším důvodem je například rychlý pohyb, který zapříčiní velký rozdíl pozicí bodů v point cloudu z důvodu nízké snímkové frekvence. Pokud je počet snímků v datové mezeře⁴⁹ malý, nejjednodušší způsob je opravit tuto mezeru v programu Blender, kde je možné interpolovat jednotlivé klíčovací snímky v křivkovém editoru. V opačném případě je nutné v programu iPi Mocap Studio přejít na první snímek následující po datové mezeře, kde je trackování v pořádku, kliknout na tlačítko „refit pose“ a vytrackovat chybné snímky znovu. Pokud ani v tomhle případě trackování nefunguje tak jak má, je nutné napozicovat kosti manuálně, aby odpovídaly pohybu subjektu.

⁴⁸ Všechna data mimo tuto oblast nebudou použita pro výpočet.

⁴⁹ Příklad datové mezery na obrázku č. 16.



Obr. 14 - uživatelské rozhraní programu iPi Mocap Studio

Po úspěšném trackování lze v programu redukovat šum pohybových dat pomocí nástroje na odstranění šumu. Redukci šumu lze aplikovat pro jednotlivé končetiny, hlavu a tělo. Nejvíce se mi osvědčilo používat pro končetiny filtrování šumu o hodnotě 1 až 2. Filtrování šumu v oblasti těla napoužívám, protože pohyb působí nerealisticky a postava vypadá, jako by se vznášela v prostoru bez gravitace.

V iPi Mocap Studiu je také možné v záložce „export” provést retargetování⁵⁰ armatur. Já osobně provádím retargetování v programu Blender, o kterém se budu více zmiňovat v následující podkapitole. Nicméně je to rychlý způsob, jak získat alespoň částečnou vizualizaci animace v motion capture programu přímo na charakteru.

Posledním krokem je v iPi Mocap studiu je vyexportování animace v některém z formátů, které umí program vyexportovat. Mně se nejvíce osvědčil formát FBX.

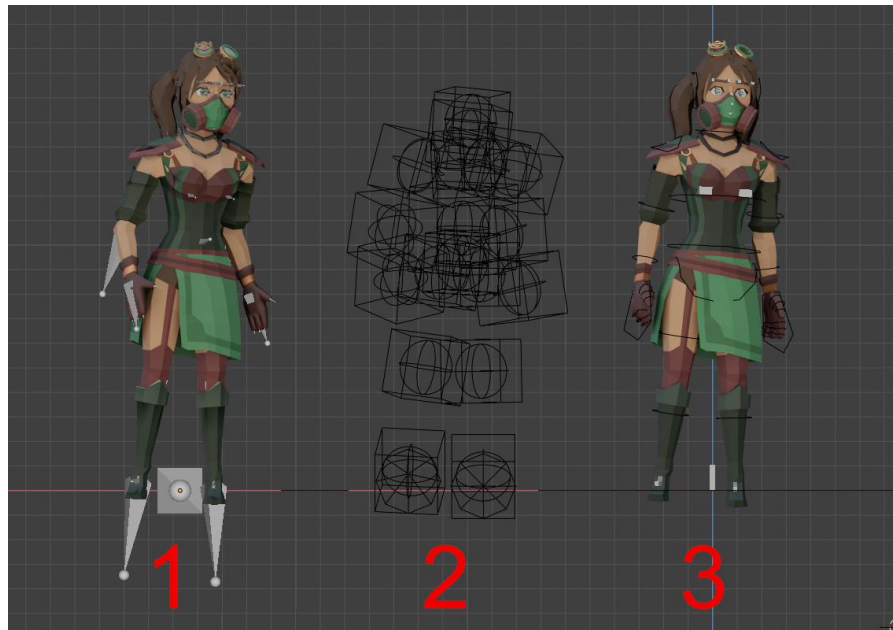
6. 3. 2. Blender

Prvním krokem je potřeba importovat animaci v FBX formátu do projektu. To se dá jednoduše provést kliknutím na tlačítko “import” a poté zvolit možnost FBX. Poté jen stačí vybrat soubor uložený v počítači.

Čištění dat

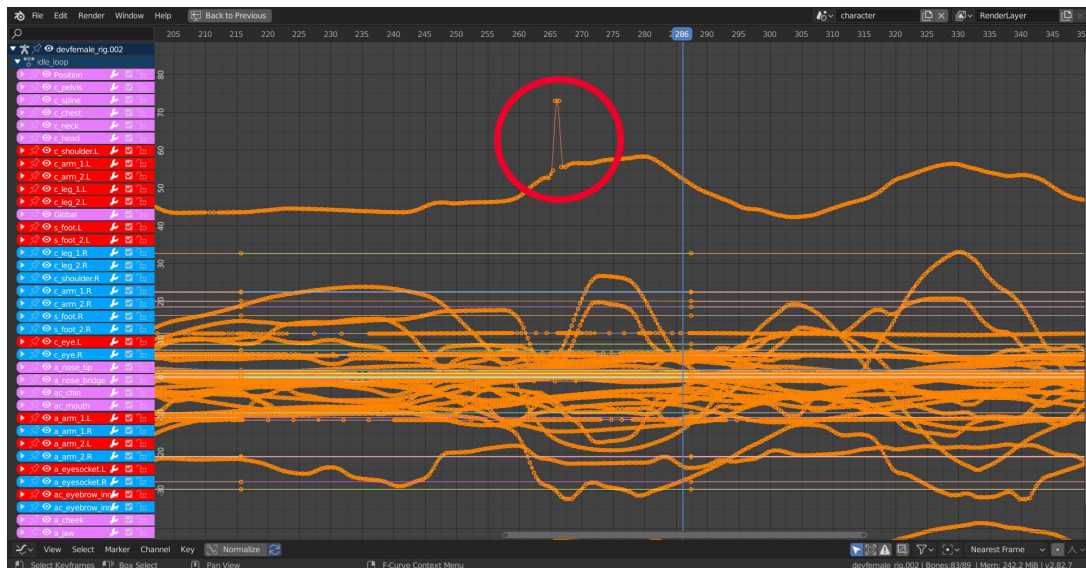
Po importu animace pracuji při čištění dat v programu Blender se třemi armaturami zobrazenými na obrázku č. 15.

⁵⁰ Transfer animací z jedné armatury na druhou, kdy každá z nich má jiné uspořádání kostí.



Obr. 15 - retargetování animací v programu Blender

První armatura na obrázku č. 15 je obsahuje animační data importovaná z programu iPi Mocap Studio. Pokud došlo během snímání dat k selhání snímání dat pro některé snímky, vyberu si dané kosti, u kterých došlo k selhání, a v křivkovém editoru je upravím buď automatickou interpolací pro vybrané klíče a nebo manuální úpravou pozic těchto klíčů.



Obr. 16 - špatně vytrackovaný klíčovací snímek, reprezentovaný v křivkovém editoru v programu Blender

Druhá armatura na obrázku č. 15 je složená z jednotlivých bodů (tzv. empty). Jednotlivé empty (vizualizované koule) sdílejí stejnou rotaci a translaci jednotlivých kostí první armatury. Na tyto body jsou navázány další body (vizualizované krychle), které od nich přejímají rotaci a translaci. Tato armatura mi umožňuje nedestruktivně upravovat animaci bez nutnosti zasahovat do nasnímané animace první armatury. Toho je možné docílit díky změně rotací bodů vizualizovaných jako krychle, které je možné dle potřeby klíčovat. To je vhodné například pro doladění některých pohybů. Já osobně toho využívám zejména pro úpravu animace hlavy, kdy se mi v některých případech stává, že hlava je po celou dobu animace mírně předkloněná. Dalším využitím této armatury je fixace chodidel v případě, že prokluzují na místě. Toho je docíleno pomocí inverzní kinematiky, která je aplikovaná na kosti v armatuře číslo jedna. Armatura číslo dva obsahuje přepínač, který mi umožňuje zapínat a vypínat inverzní kinematiku dle potřeby pro každou nohu zvlášť. Nevýhodou této fixace je, že je nutné ručně animovat pozici, kde má být noha zafixována na místě.

Třetí armatura sdílí rotaci bodů vizualizovaných jako krychle a pozici krychle připojené na pánevní kost. Pánevní kost reprezentuje v mé armatuře hlavní kost, která pohybuje celým charakterem. Na této armatuře animuji prsty, protože tento motion capture systém z důvodu nízkého rozlišení zařízení Kinect pro Xbox 360 není schopen snímat potřebný detail pro trackování prstů.

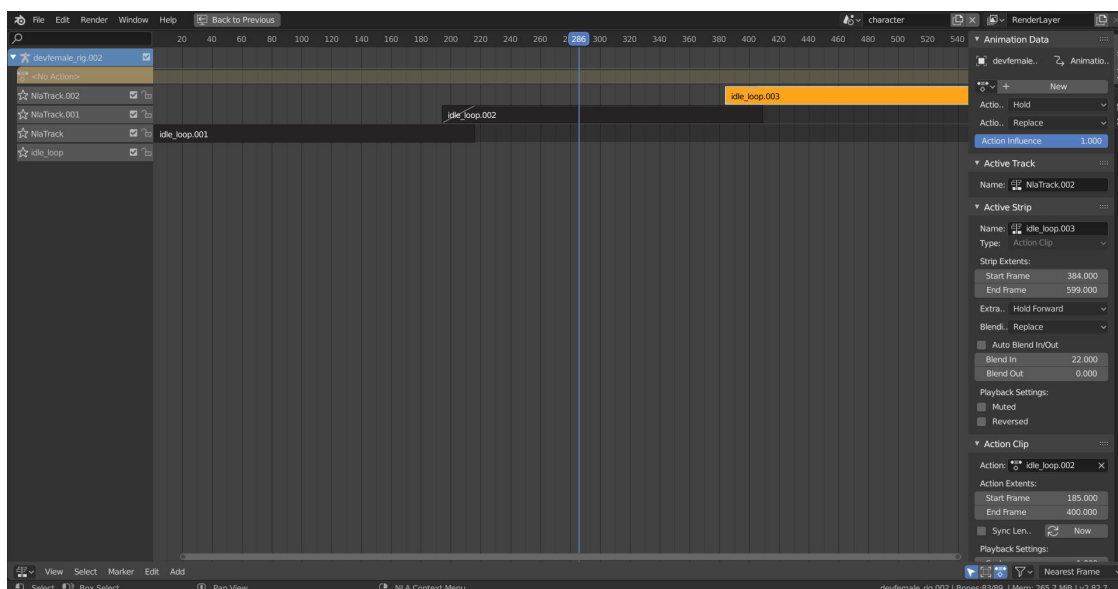
Pro animaci vlasů a některých částí oblečení používám addon Jiggle armature, který simuluje sekundární pohyb vybraných kostí, bez nutnosti jejich ruční animace. Tento addon v programu Blender používám čistě pro vizualizaci těchto pohybů, protože pro animaci určenou do herního enginu není potřeba z důvodu, že přímo v enginu máme nástroj na tuto simulaci.

Jakmile jsem s animací spokojen, je potřeba tuto animaci zapéct.⁵¹ To se provádí v tzv. „pose mode“, ve kterém je nutné vybrat všechny kosti a v záložce „animation“ přejít na „bake animation“. Po zapečení animace je nutné vypnout všechny vazby, které dědí animaci z druhé armatury, protože tyto vazby mají větší prioritu, než samotné animační klíče a z tohoto důvodu by zapečená animace nebyla zobrazována.

⁵¹ Uložit pozici a rotaci pro jednotlivé kosti do jednotlivých snímků animace.

Cyklení dat

Animace určené do videoher je nutné navrhnout tak, aby se mohly mezi sebou plynule prolýnat, aby působily jako jeden plynulý pohyb. Některé animace se mohou opakovat víckrát po sobě, a proto je nutné u těch to animací, aby charakter začínal a končil pohyb ve stejné póze. Toho lze docílit pomocí NLA⁵² editoru. Nejprve je nutné zabezpečou animace je nutné uložit⁵³ v NLA editoru od animačního klipu, který je v programu Blender nazván „action“. Jakmile je akce takto uložená, můžeme s ní pracovat podobně, jako například s video sekvencí uvnitř některého video editoru. K docílení plynulého přechodu je nutné sestavit jednotlivé akce tak, jako na obrázku č. 17, kdy jednotlivé animace se prolýnají.



Obr. 17 - kombinace animačních klipů v NLA editoru

Během prolnutí dochází k interpolaci mezi hodnotami rotací a translací jednotlivých kostí. Jakmile je výsledek vyhovující, je potřeba znovu tuto animaci zapéct pro všechny snímky odpovídající délce prostředního klipu. Takto vznikne nový zacyklený animační klip, který můžeme použít ve videohře.

⁵² Non-linear animation.

⁵³ Pomocí tlačítka „Push down“.

Export dat

V momentě, kdy jsou všechny animační klipy připraveny, je čas vyexportovat model i s animací do herního enginu. Pro export stačí vybrat třetí armaturu (tedy finální armaturu) včetně 3D geometrie a vyexportovat ve formátu FBX do herního enginu⁵⁴.

7. Závěr

Cílem práce bylo zmapovat nahlédnout na historický vývoj motion capture a zmapovat aktuální stav a potenciální vývoj této technologie, což se domnívám, že se povedlo.

Praktickou částí této práce bylo nasnímat pohybová data zařízením MS Kinect a zpracovat je, aby byla použitelná pro animaci charakteru vhodnou do videohry. Před splněním cíle, bylo nutné zanalyzovat celou tuto problematiku a zjistit, jaké jsou dosavadní možnosti. Díky prozkoumání problematiky se cíl podařilo splnit. Podařilo se realizovat celý motion capture systém, nasnímat data, upravit je a uložit tak, aby byla použitelná pro animaci charakterů ve videohře. Během snímání dat nastaly některé problémy z důvodu nepřesnosti snímání, což by se dalo zlepšit použitím novější verze zařízení MS Kinect 2 nebo Azure Kinect a nebo použitím většího počtu těchto zařízení. Dalším problémem byla poměrně malá oblast snímání pohybu. Tento problém by se dal vyřešit stejným způsobem jako ten předchozí. Některé pohyby, zejména pohyby směrem ke kameře nejsou rozpoznány tak dobře. To je způsobeno horší hloubkovou přesností, a malým počtem snímacích zařízení, což by šlo vylepšit pořízením více snímacích zařízení. To by ale popřelo smysl praktické části, kde jde o realizaci motion capture systému s co nejmenšími pořizovacími náklady.

⁵⁴ Pozn. je nutné zaškrtnout „export selected objects only“, abychom předešli exportu ostatních objektů ve scéně, které nejsou součástí animace.

8. Terminologický slovník

MoCap - Motion Capture, technologie zaznamenávání pohybu

3D - trojrozměrný

Triangulace - způsob zjišťování souřadnic a vzdáleností, prováděný trigonometrickým výpočtem

Interpolace - nalezení přibližné hodnoty funkce v nějakém intervalu, jejíž hodnota je známa jen v některých jiných bodech tohoto intervalu

Okluze - přerušování snímání senzoru z důvodu překrytí vizuálního toku

Translace - pohyb v 3D prostoru

Indie herní vývoj - vývoj počítačových her v malém, nezávislém prostředí

DIY - do it yourself

Public domain - autorské dílo, jehož majetková autorská práva nejsou chráněna

MS - Microsoft

SDK - Software development kit

Vertex - základních primitiv ve 3D grafice, ze kterého se skládají všechny ostatní primitivní objekty

Textura - 2D reprezentace povrchu 3D modelu

Plugin - software, rozšiřující jiný software

T-pozice - stoj vzpažený

VR - virtuální realita

CGI - computer generated images

FPS - frames per second

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

Point cloud - sada vygenerovaných bodů v prostoru

NLA - non-linear animation

Armatura - hierarchie kostí, deformující geometrii

9. Bibliografie

3D motion capture market - growth, trends, and forecast (2020 - 2025). Mordor Intelligence [online]. [cit. 15.5. 2020]. Dostupné z: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/3d-motion-capture-market>>

Distributed recording. iPi Docs [online]. [cit. 8.5. 2020]. Dostupné z: <http://docs.ipisoft.com/Distributed_Recording>

Lowood, Henry. *Virtual reality*. Encyclopedia Britannica [online]. [cit. 21. 2. 2020]. Dostupné z: <<https://www.britannica.com/technology/virtual-reality/Entertainment#ref884340>>

Field, Matthew – Pan, Zengxi – Stirling, David – et al. *Human motion capture sensors and analysis in robotics*. ResearchGate [online]. [cit. 19. 2. 2020]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/233546055_Human_motion_capture_sensors_and_analysis_in_robotics>

Kitagawa, Midori – Windsor, Brian. *MoCap for Artists*. Oxford : Taylor & Francis Ltd, 2008.

Kim Yejin – Baek Seongmin – Bae Byung-Chull. *Motion Capture of the Human Body Using Multiple Depth Sensors*. Wiley Online Library [online]. [cit. 7. 4. 2020]. Dostupné z: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.4218/etrij.17.2816.0045>>

Kinect. Wikipedia [online]. [cit. 10. 4. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Kinect>>

List of motion and gesture file formats. Wikipedia [online]. [cit. 23. 2. 2020]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_motion_and_gesture_file_formats>

Menache, Alberto. *Understanding Motion Capture for Computer Animation - 2nd edition*. Burlington : Morgan Kaufmann, 2011

Nansense. Nansense [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://www.nansense.com/>>

Notion Hi5. Notion Hi5 [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://hi5vrglove.com/>>

OptiTrack. OptiTrack [online]. [cit. 21. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://www.optitrack.com/>>

Parent, Rick. *Computer Animation Complete: All-in-One: Learn Motion Capture, Characteristic, Point-Based, and Maya Winning Techniques - 1st Edition*. Burlington : Morgan Kaufmann, 2010.

Perception Neutron. Perception Neutron [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://neuronmocap.com/>>

Shadow. Shadown [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://www.motionshadow.com/>>

Smartsuit Pro. Rokoko [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://www.rokoko.com/en/products/smartsuit-pro>>

StretchSense. StretchSense [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://stretchsense.com/>>

Vicon. Vicon [online]. [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <<https://www.vicon.com/>>

Vlasic, Daniel – Adelsberger, Rolf – Vannucci, Giovanni – et al. *Practical Motion Capture in Everyday Surroundings*. Mitsubishi Electric Research Laboratories [online]. [cit. 19. 2. 2020]. Dostupné z: <<https://www.merl.com/publications/TR2007-111>>.

10. Obrázkové reference

Obr. 1 - Patent drawing for Max Fleischer's original rotoscope. [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Rotoscoping>>

Obr. 2 - Performers wearing Vicon's motion-capture suits act out a scene in a capture volume. [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://www.vfxvoice.com/what-mocap-suit-suits-you/>>

Obr. 3 - MVN Awinda bezdrátové senzory a oblek MVN Link [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://mocap.reallusion.com/iclone-motion-live-mocap/xsens.html>>

Obr. 4 - Mechtley, Matt. Raptor DID [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://vfxblog.com/dinosaurinputdevice/>>

Obr. 5 - Active puck [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://optitrack.com/products/active-components/>>

Obr. 6 - OptiTrack Motion Capture Gloves [foto]. [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <<https://manus-vr.com/optitrack-motion-capture-gloves/>>

Obr. 7 - Medusa rig – this rig is both portable and lightweight. (fxguide's Mike Seymour seen being scanned). [foto]. [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <<https://www.fxguide.com/xfeatured/scitech-awards-medusa-capturing-disneys-characters/>>

Obr. 8 - Wrinkle maps add fine detail to the forehead [foto]. [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <https://developer.valvesoftware.com/wiki/Wrinkle_maps>

Obr. 9 - Baler, Olivier. VPL DataGlove [foto]. [cit. 13.05.2020]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/Le-Dataglove-de-VPL_fig6_288977556>

Obr. 10 - zařízení Kinect pro Xbox 360 [vlastní foto]

Obr. 11 - oblast snímání pohybu [vlastní foto]

Obr. 12 - reprezentace hloubkových dat v programu iPi Recorder [vlastní foto]

Obr. 13 - kalibrace pomocí 3D plochy [vlastní foto]

Obr. 14 - uživatelské rozhraní programu iPi Mocap Studio [vlastní foto]

Obr. 15 - retargetování animací v programu Blender [vlastní foto]

Obr. 16 - špatně vytrackovaný klíčovací snímek, reprezentovaný v křivkovém editoru v programu Blender [vlastní foto]

Obr. 17 - kombinace animačních klipů v NLA editoru [vlastní foto]