

**VYSOKÁ ŠKOLA
KREATIVNÍ KOMUNIKACE**

Katedra vizuální tvorby

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technologie Motion capture, Face capture a jejich využití v počítačových animacích

2021

SEBASTIAN JAROLÍN



VYSOKÁ ŠKOLA
KREATIVNÍ KOMUNIKACE

Katedra vizuální tvorby
Animace a vizuální efekty

**Technologie Motion capture, Face capture a jejich
využití v počítačových animacích**

Teoretická část: Technologie Motion capture se zaměřením na
Face capture a následné adaptaci na 3D modelu pomocí technologie mocapX

Praktická část: Tvorba krátkometrážního filmu s využitím technologie Facial
Capture

Autor: Sebastian Jarolín
Vedoucí práce: MgA. Michal Nárovec

2021

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 tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu MgA. Michalovi Nárovcovi za jeho odborné vedení a věcné postřehy k této práci. Dále bych rád poděkoval panu MgA. Martinovi Hovorkovi za uskutečnění přednášky, která se mi byla nápomocná při zkoumání technologie MocapX. Speciální poděkování patří také všem, kteří mi dodávali motivaci pro psaní této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje moderním technologiím snímání pohybu používaných při tvorbě počítačových animací. Konkrétně se tato práce zaměřuje na technologii *Motion capture* a její užší zaměření na obličejovou část (Face Capture). Zmíněný systém snímání pohybu je v současné době hojně užívaný v mnoha zahraničních i tuzemských studiích. Předkládaná práce se ve své první části zabývá historickým vývojem zmíněných technologií od jejich počátků až po současnost a následně se zaměřuje na moderní a standardní typy řešení obličejových animací. Bakalářská práce v neposlední řadě pojednává o dostupné komerční technologii MocapX. V závěru práce je provedena komparace této komerční technologie s dalšími typy řešení v rámci animace obličeje. Výsledkem praktické části práce je vytvoření animace obličejů v krátkém filmu, ve kterém každý model využívá jiný typ řešení obličejové animace.

Klíčová slova

Motion Capture, historie MoCap, Facial Motion capture, 3D, True Depth Kamera, MocapX, animace.

Abstract

The bachelor's thesis deals with modern motion capture technology used in the computer generated animations. Specifically, this work focuses on Motion capture technology with closer look on the facial part. (Face Capture) The mentioned system of motion capture is currently widely used in many foreign and domestic studies. In the first part, the presented work deals with the historical development of the mentioned technologies from their beginnings to the present. It also focuses on modern and standard types of facial animation solutions. Last but not least the bachelor's thesis deals with the available commercial technology MocapX. At the end of the work, a comparison of this commercial technology with other types of solutions within the face animation is made. The result of the practical part of the work is the creation of face animation in a short film, where each model uses a different type of facial animation solution.

Key words

Motion Capture, history of MoCap, Facial Motion capture, 3D, True Depth camera, MocapX, animation.

Obsah

1	ÚVOD	3
2	CÍL PRÁCE A METODIKA ZKOUMÁNÍ	4
3	DEFINICE MOTION CAPTURE A PERFORMANCE CAPTURE	5
3.1	MOTION CAPTURE	5
3.2	PERFORMANCE CAPTURE	5
4	HISTORIE	6
4.1	POČÁTKY	6
4.1.1	Zoopraxiskop.....	6
4.2	ROTOSKOPIE	7
4.3	WALT DISNEY	7
4.4	ANIMACE	8
4.5	POČÁTKY 70. LET 20. STOLETÍ	8
4.6	BRILIANCE	9
4.7	PACIFIC DATA IMAGES.....	10
4.7.1	Exoskelet	10
4.8	DEGRAF/WAHRMAN.....	10
4.8.1	Rozdělení.....	11
4.9	PRVNÍ HERNÍ VYUŽITÍ	11
4.10	PŘELOM TISÍCILETÍ.....	11
4.11	SOUČASNOST	12
4.12	BUDOUCNOST	13
5	TYPY SYSTÉMŮ	13
5.1	PARAMETRY.....	14
5.2	OPTICKÉ SYSTÉMY	14
5.2.1	Systemy bez značek.....	17
5.3	MECHANICKÉ SYSTÉMY.....	17
5.3.1	Armatury	19
5.3.2	Stavba Armatur.....	19
5.4	MAGNETICKÉ (ELEKTROMAGNETICKÉ) SYSTÉMY	20
5.5	INERČNÍ SYSTÉMY	21
5.6	AKUSTICKÉ SNÍMÁNÍ	22
6	FACIAL MOTION CAPTURE (FACE CAPTURE)	22
6.1	ANATOMIE	23
6.2	FACS	24

6.3	MODELY	25
6.3.1	Modely pracující se svaly	26
6.4	SYSTÉM VYUŽÍVAJÍCÍ ZNAČKY	26
6.4.1	Markery	27
6.5	BEZZNAČKOVÉ SYSTÉMY	27
6.5.1	Simulátory kůže a obličeje	28
6.5.2	Blend shapes	28
6.5.3	Fotogrammetrie	29
6.6	SLEDOVÁNÍ OČÍ.....	30
6.7	LIPS SYNCHRONIZATION	31
6.7.1	Fonémy	31
6.8	DEEPFAKE.....	32
6.9	KOMERČNÍ DOSTUPNOST	33
7	AKTIVNÍ POUŽITÍ MOCAPX A KOMPARACE S RUČNÍ ANIMACÍ	34
7.1	POPIS PŘÍPRAVY.....	34
7.2	APLIKACE MOCAPX	34
7.3	SNÍMÁNÍ DAT	35
7.4	ZPRACOVÁNÍ.....	35
7.5	PŘÍPRAVA MODELU	36
7.6	APLIKACE	36
7.7	POROVNÁNÍ.....	37
8	BAKALÁŘSKÝ FILM.....	39
9	ZÁVĚR	39
10	TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK.....	40
11	SEZNAM LITERATURY	41
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	44

1 ÚVOD

Předložená bakalářská práce se zabývá rapidně se rozšiřující technologií, která se zaměřuje na snímání pohybu *Motion capture* (dále také „MoCap“). MoCap je široký pojem, který zahrnuje mnoho aplikací v široké škále oborů. V rámci MoCap se realizuje snímání a přenos dat žádoucího pohybu z reálného prostředí do počítačové sféry. Tato práce se zaměřuje na historii a typy dostupných systémů s užší specializací na technologii pro snímání obličeje, tzv. *Facial Motion Capture* (dále také „Face capture“).

Rychlý technologický pokrok v Průmyslu 4.0 otevřel dveře novým technologiím, mezi které patří i *Motion capture*. Důsledkem tvorby nových vysoko - rozpočtových filmů a narůstání výpočetního výkonu v počítačovém průmyslu se daná řešení stávají populárnějšími než v minulosti. Poptávka po realistickém ztvárnění animační sekvence exponenciálně roste a implementace se rapidně šíří do široké škály studií po celém světě. Se snahou přinášet nové technologie zákazníkům a miniaturizací moderních komponent se tato technologie dostala i do mobilních telefonů. Řada masově rozšířených aplikací v dnešní době využívá Face capture, z důvodu sledování mimických svalů pro implementaci nových funkcí. Příkladem je aplikace Facebook, která při videohovoru přináší možnost umístění vybraného předmětu na hlavu uživatele.

Tato práce je rozdělena na dvě části. V první části se zaměřuje na celkovou technologii Motion capture v animované tvorbě. Dále práce zkoumá dostupnou komerční technologii MocapX, která je v závěru práce porovnána s dalším typem obličejové animace.

Důvodem pro výběr výše uvedené problematiky, je osobní zájem autora této práce o technologii samotnou a její principy. S technologií Facial Motion capture se autor poprvé setkal při zpracovávání projektu, který se zabýval animací obličeje. Animace byla sestavena z tzv. Blend shapes a kosterního systému ze softwaru Maya od společnosti Autodesk. Při ručním zpracování jednotlivých póz došel autor k závěru, že existuje jednodušší způsob vyjádření emocí a pohybu ve tváři, než výše zmíněné možnosti. Po zkoumání autor narazil na komerční technologii MocapX, která využívá TrueDepth senzory, které se nacházejí v telefonech iPhone a tabletech iPad Pro z roku 2017 a v jejich novějších verzích. Danou technologii pak autor využil a společně s rozšiřujícím pluginem Advanced skeleton byla vytvořena adekvátní animace obličeje pro zmíněný projekt. Pro efektní řešení se autor rozhodl zvolit technologii MoCap za téma své bakalářské práce.

2 CÍL PRÁCE A METODIKA ZKOUMÁNÍ

Cílem předkládané bakalářské práce je v první řadě uvedení do dané technologie, které se zabývá systémy pro snímání pohybu Motion capture a Facial Motion capture. Následně je práce orientovaná na vývoj, s vytyčením historických milníků, charakteristiku a různorodost výše zmíněné technologie, s důrazem na zohlednění výhod a nevýhod. V neposlední řadě přináší vlastní pohled na využívání dostupné technologie MocapX v porovnání s dalším typem řešení. V rámci této práce bude proveden výzkum zaměřený na samotnou animaci, která bude zaznamenána na obličejích daných charakterů, kdy každý z nich bude animován jiným typem řešení. Po provedeném výzkumu budou zjištěná data analyzována a následně vyhodnocena.

Teoretická část práce je zpracována na základě metody literární rešerše a studia relevantních zdrojů, týkajících se zmíněné problematiky. Následně je s využitím aplikace MocapX a moderních senzorů, které se nachází v mobilních telefonech od společnosti Apple, provedena komparace technologie Face capture s tradiční klíčovou animací v rámci animace obličeje, kdy mezi kritéria pro porovnání těchto dvou technologií patří rychlost, efektivita, plynulost, počet klíčových snímků a kreativita.

Praktickou část předkládané bakalářské práce představuje krátkometrážní animovaný film.

3 DEFINICE MOTION CAPTURE A PERFORMANCE CAPTURE

3.1 Motion capture

Motion capture (častěji je využívána zkratka MoCap), je systém zachycující pohyb lidí nebo určeného objektu (lidí, zvířat, atd...) v reálném prostředí. Tyto pohyby jsou v prostoru snímány, následně převedeny na souřadnice v prostoru a odeslány do specializovaného 3D programu, kde dochází k postprodukčním úpravám. Jinými slovy, jedná se o technologii pro transformaci živého vystoupení do digitální scény. Jedná se čistě o aktivní využití pohybu lidského těla. Implementace daného řešení je dnes velmi populární v herním průmyslu pro tvorbu složitějších animací. Za pomoci MoCap jsou vytvářeny bojové systémy nebo vítězné taneční pohyby.

Technologie Motion capture je stále více využívána i ve filmovém průmyslu, kde herci i kaskadéři nosí specializované obleky za cílem vytvořit potřebné pohyby pro filmové zpracování. Příkladem je filmové ztvárnění komiksových hrdinů Avengers. V souvislosti se zmíněnou technologií je často termín MoCap zaměňován za termín PCap.¹

3.2 Performance capture

Performance capture nebo zkráceně PCap, je záznam pohybového výkonu herce, který je zachycený včetně nejjemnějších detailů hercovy mimiky a jeho hlasu. Jednotlivé emoce a výrazy v obličeji jsou snímány pomocí řady miniaturních reflexivních značek, které odráží nebo emitují světlo. Herec při natáčení využívá specializovaný oblek pro snímání pohybu a zpravidla helmu s připevněnou kamerou. Daná kamera nebo série kamer zaznamenávají i nejjemnější pohyby ve tváři aktéra. Technologie Face capture je dnes ve filmovém průmyslu extrémně populární. Herci spolu mohou interagovat před klíčovacím plátnem a jejich projevy jsou přenášeny do počítače, který vytváří náhled scény ve 3D. Snímání v oblasti obličeje je jednou z nejdynamičtěji se měnící technologií současnosti. V dnešním světě je řešení pro záznam mimiky dostupné i široké veřejnosti.²

V roce 2017 společnost Apple představila nejnovější chytrý telefon iPhone X, představila s ním po boku i technologii Face ID. Tento identifikační faktor zajišťuje platby a jednotlivá

1 From Motion Capture to Performance Capture – Sampling Movement in the Real World into the Digital Space, 2016. *Digital Worlds – Distorted Reality*. Dostupné z: <https://digitalworlds.wordpress.com/2016/09/07/from-motion-capture-to-performance-capture-sampling-movement-in-the-real-world-into-the-digital-space/>.

2 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION – SECOND EDITION*. 2011th ed. Elsevier, 2011, ISBN 978-0-12-381496-8.

přihlášení za pomoci tváře uživatele. Tuto technologii rapidně adaptovali vývojáři a přinesli nové aplikace, které jsou schopny rozpoznat desítky akčních jednotek v obličeji.³

4 HISTORIE

4.1 Počátky

Historie zmíněné technologie je více než sto let stará. První záznamy o technologii pro zaznamenání pohybu lze datovat již v 19. století. Konkrétně lze poukázat na okamžik, kdy byl z důvodu sázky požádán anglický fotograf Eadweard Muybridge o prokázání skutečnosti, zda všechna kopyta koně při běhu opouští půdu současně, či nikoli. V sázce se jednalo o výhru 25 000 dolarů. Pro zjištění potřebných údajů využil zmíněný fotograf desítek fotoaparátů, které snímaly pohyb koně. Po 6 letech prokázal skutečnost, že všechna kopyta se v jeden moment nachází nad zemí.

4.1.1 Zoopraxiskop

Zoopraxiskop byl jeden z prvních vynálezů, který v rychlém sledu promítal nasnímané obrazy. Tento systém pracuje na principu kotouče, na kterém jsou nalepené pořázené fotografie. Kotouč se následně roztáčí a za pomoci objektivů a světelného zdroje promítá pohybující obraz na plátno. Muybridge za pomoci aplikace této technologie publikoval několik děl. Jednalo se například o díla: *Animals in motion* (1899), *The Human Figures in Motion*(1901) a další.⁴



[1] Zoopraxiskop

3 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 1-2. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

4 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 2. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

4.2 Rotoskopie

Další kapitola se začala psát roku 1915, když americký animátor Max Fleischer vyvinul techniku zvanou rotoskopie. Účelem bylo zautomatizovat výrobu kreslených filmů. Tato technika byla i téhož roku patentována. Rotoskopie pracovala na principu promítání filmového záznamu, jakožto reference, na průhledné sklo. Pohyb herce byl promítnut a kreslíři obkreslovali snímek po snímku. Pomocí zmíněného výrobního procesu, byly animátoři schopni přenést do kreslených snímků dynamiku a realistické pohyby. Zmíněnou technikou byla poprvé oživena postavička klauna Koko. Pro svou časovou náročnost však nebyla využívána ve velkém měřítku.⁵

4.3 Walt Disney

V prosinci roku 1937 byl v kinech uveden 83 - minutový snímek Sněhurka a sedm trpaslíků (ang.: Snow White and the Seven Dwarfs). Jednalo se o první celovečerní film ze studia Walt Disney. Při výrobě daného filmu byla použita rotoskopie z důvodu přenesení lidského pohybu do určitých scén.⁶ Příkladem zpracování dané techniky je taneční scéna s trpaslíky. Tento časově a finančně náročný proces se však vyplatil a snímek se stal velmi úspěšný. Černé tečky, které nalezneme na šatech herečky se mohou jevit jako ekvivalent značek používaných u současných systémů.⁷



[2] Marge Champion jako představitelka Sněhurka

5 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. 2011th ed. Elsevier, ISBN 978-0-12-381496-8. s. 8-9

6 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 24.03.2008. s. 6 Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

7 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. 2011th ed. Elsevier, ISBN 978-0-12-381496-8. s. 9

4.4 Animace

O obohacení počítačové animace se na začátku 60. let zasloužil vynálezce Lee Harrison III. Jeho systém využívající katodových trubic a analogových obvodů předběhl dobu a po vybavení kombinézy potenciometry, vytvořil první funkční zařízení pro zaznamenání pohybu (Motion capture). Zařízení bylo schopné zobrazovat na monitoru animace postavy v reálném čase. Pomocí tohoto systému vytvořil několik krátkometrážních filmů Animac. Jako příklad lze uvést snímek *The Stick man* z roku 1967.⁸



[3] Plakát zachycující ANIMAC

4.5 Počátky 70. let 20. století

Na konci 70. a počátku 80. let 20. století se technologie zaměřující se na zaznamenání pohybu začala více rozšiřovat v podobě projektů na zahraničních školách (např. Simon Fraser University, Massachusetts Institute of Technology, and New York Institute of Technology).⁹

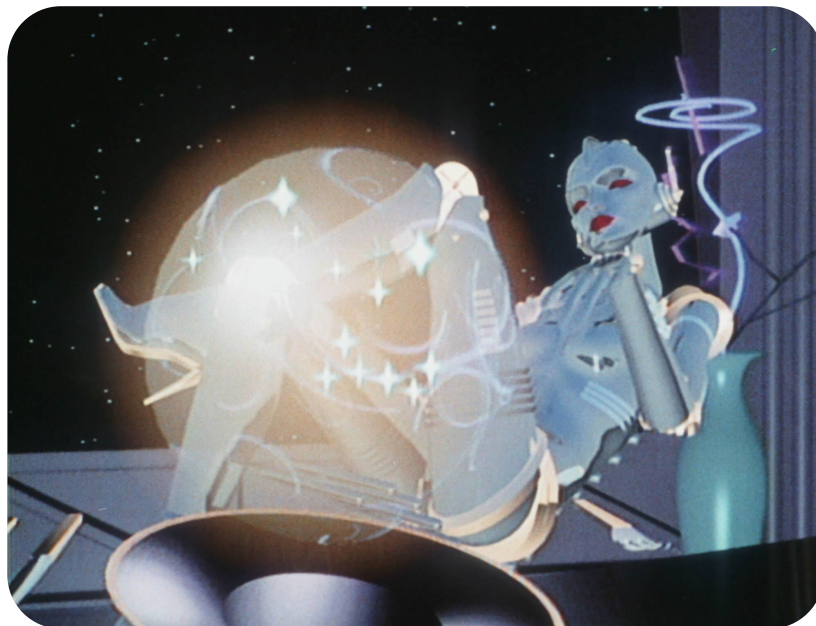
8 CARLSON, W. E. *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview* [online]. The Ohio State University, 2017 s. 371. Dostupné z: <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/>.

9 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 10, ISBN 978-0-12-381496-8.

4.6 Briliance

Jednou z prvních úspěšných implementací systému Motion capture do komerční sféry, byl krátký TV spot Brilliance z roku 1985.¹⁰ Klienti cítili, že je třeba vydat silné prohlášení, a tak se obrátili na Roberta Abela s tím, že chtějí vytvořit něco unikátního. Jednalo se o reklamu, ve které robotická žena (android) je mluvčí Národní rady pro informace o konzervovaných potravinách. Pro tento spot bylo třeba vytvořit realistické pohyby na počítačem generované postavě. Na roli androida byla obsazena žena, která měla při produkci na těle připevněných 18 bodů (tzv. Markerů) a každý její pohyb byl snímán z vícero úhlů. Za pomoci získaných materiálů bylo následně možné virtuální postavu animovat.¹¹

Spot Brilliance byl velmi úspěšným použitím technologie Motion Capture. Prvním neúspěšným pokusem o implementaci této technologie v celovečerním snímku se stal film Total Recall. Společnost Metrolight studios byla pověřena výrobou VFX prvků do filmu. Ve společnosti padlo rozhodnutí využít technologie MoCap pro animace koster ve scéně, kdy hlavní hrdina (Arnold Schwarzeneger) prochází rentgenovým zabezpečovacím zařízením.¹²



[4] Robot z televizní reklamy Brilliance (1985)

10 FISCHER, R. The History and Current State of motion capture. [online]. s. 1. Dostupné z: <http://www.motioncapturesociety.com/resources/industry-history>.

11 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 12, ISBN 978-0-12-381496-8.

12 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 7. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

4.7 Pacific data Images

Roku 1980 vznikla na americkém pobřeží nová firma Pacific data Images. Animátoři v průběhu let používali variaci různých systémů. Technologii vždy volili podle potřeb jednotlivých projektů. Sami o sobě uváděli: *"Nejsme společnost s jednou technikou; naším cílem není být pánem v jedné věci, prostě být dobrý v mnoha z nich."* ¹³

V průběhu let navázala firma spolupráci s americkým loutkohercem Jimem Hensonem. Společně si vzali za cíl vytvořit počítačem generovanou postavu pro televizní projekt The Jim Henson Hour. Spolupráce vedla k vytvoření digitální postavy jménem Waldo C. Graphic.

4.7.1 Exoskelet

Roku 1988 se PDI (Pacific data Images) zasadila o vznik mechanického exoskeletu. Do tohoto prvního obleku byl navlečený herec a jeho pohyby byly přenášeny do počítače. Zařízení se opíralo o technologii optických potenciometrů, které se nacházely na každém kloubu. Vznikly dva exoskeletární typy. Na rozdíl od první verze, která měla analogové části, se druhý skelet lišil digitálními komponenty. Byl speciálně použit pro filmový snímek Barryho Lavinsona Hračky (org.: Toys) z roku 1992. Pohyb hraček byl vytvořen aplikací této technologie.

14

4.8 DeGraf/Wahrman

Společnost DeGraf/Wahrman vznikla po odkoupení firmy Digital Production, kde pracovali Brad DeGraf a Michael Wahrman. Dva zmínění přátelé spolu založili novou společnost. V roce 1988 byli poptáni, aby vytvořili pro firmu Silicon Graphics ukázkou jejich nových 4D modelů. Animace, která vznikla, byla nazvána „Mike The Talking Head.“ Jednalo se o animaci obličeje. O pohyb ve tváři se staral loutkař. Renderování probíhalo velmi rychle, proto byla postava schopná komunikovat s publikem v reálném čase. Jednalo se o první použití Face capture.

13 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 16, ISBN 978-0-12-381496-8.

14 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 16, ISBN 978-0-12-381496-8.

4.8.1 Rozdělení

Po rozdělení obou zakladatelů se Brad připojil ke konkurenčnímu studiu a dále se věnoval animaci. V roce 1993 vytvořil postavu Moxy pro televizní kanál Cartoon network.

O rok později založil novou společnost pod názvem Protozoa se zaměřením na software a performance animation v reálném čase. Software s názvem ALIVE, který daná společnost vytvořila, dokázal pracovat s množstvím připojených periférií a zároveň podporoval variaci formátů včetně živého přenosu.¹⁵

4.9 První herní využití

V 90. letech 20. století se technologie Motion Capture dále vyvíjela a začala se více využívat v herním průmyslu. Účelem bylo napodobení realistických pohybů u herních postav a současně měla přinést větší dynamiku do předem připravených scén. (Cutscene)¹⁶

Jednou z prvních her, která využívala při vývoji hry technologii Motion capture, byla hra FX Fighter z roku 1995.¹⁷

4.10 Přelom tisíciletí

V 90. letech 20. století se technologie MoCap v hollywoodských filmech příliš nevyužívala. Následně při přípravách na natáčení triologie Pán prstenů (org.: Lord of the Rings), se filmaři rozhodli použít tuto techniku pro vytvoření počítačem generované postavy Gluma (ang.: Gollum) za spolupráce herce Andy Serkise. Roli Gluma chtěli filmaři ztvárnit přímo na place. Serkis vzpomíná: „*Postava se projeví jako CG. Ale chceme, aby tu někdo hrál roli, aby herci nemuseli jednat proti tenisovému míčku a držet se.*“¹⁸ Tato postava se volbou režie stala jednou z prvních, kdy byl v postprodukční fázi kompletně nahrazen živý herec digitální postavou.¹⁹

15 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 17-18, ISBN 978-0-12-381496-8.

16 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 10, ISBN 978-0-12-381496-8.

17 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 8. ISBN 9780080877945. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

18 LEE, Ch. Andy Serkis on His Most Groundbreaking Motion-Capture Performances. *VULTURE* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.vulture.com/2018/12/andy-serkis-on-his-breakthrough-motion-capture-performances.html>

19 LEE, Ch. Andy Serkis on His Most Groundbreaking Motion-Capture Performances. *VULTURE* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.vulture.com/2018/12/andy-serkis-on-his-breakthrough-motion-capture-performances.html>

V další letech následovala celá řada rolí, kde Andy Serkis ztvárnil nejrůznější charaktery postav (např. King Kong (King Kong), Ceasar (Rise of the Planet of the Apes, Dawn of the Planet of the Apes a War for the Planet of the Apes aj.).²⁰



[5] Herec Andy Serkis jako Glum ve filmové triologii Pán prstenů

4.11 Současnost

V posledních letech se technologie velmi razantně vyvíjí a stále se pracuje na dalším zdokonalení zmíněných systémů. Vytvořily se specializované části jakožto Face capture, Beard capture nebo Finger capture. Razantní nárůst výpočetního výkonu u moderních počítačů, ke kterému došlo zejména v souvislosti s příchodem silnějších grafických karet, vedl a stále vede technologické společnosti k implementování stále novějších funkcí do současných systémů. (zpracování dat probíhá rychleji na grafické kartě než na procesoru). V návaznosti na tuto skutečnost, se MoCap zároveň stává komerčně dostupnějším řešením i pro menší studia.

Technologie pro snímání obličeje se dostala i do vlajkových telefonů různých značek. Když dorazil na pulty obchodů iPhone X v roce 2017, obsahoval v horním výřezu nad zobrazovacím panelem řadu senzorů pro mapování obličeje. Tyto senzory slouží k odemykání a placení telefonem. Technologie byla brzy adaptována vývojáři, kteří s pomocí kamery TrueDepth byli schopni vytvořit aplikaci založenou na snímání mimických svalů přímo v telefonu.²¹ Příkladem je aplikace mocapX, která bude v této práci dále popsána.

20 ANDY SERKIS. *IMDb* [online]. Dostupné z: <https://www.imdb.com/name/nm0785227/>

21 Informace o vyspělé technologii Face ID. *APPLE* [online]. 2020. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT208108>.

V neposlední řadě se při představení nových herních titulů poslední dekády, prezentují i pokročilé možnosti adaptace v herních enginech. Animace hlavních postav jsou renderované v reálném čase při představování na pódiu. Příkladem jsou tituly: *Hell Blade* (2016), *Siren* (2018).²²

S příchodem vyspělejšího herního engine Unreal engine 5 se technologie dále posouvá a animace jsou stále více realističtější.²³

4.12 Budoucnost

O další významný milník ve vývoji této technologie se časem postará přechod na kvantové počítače, které budou schopny vypočítat řádově mnohem větší množství dat než novodobé počítače založené na křemíku.

I přes skutečnost, že se tato technologie rychle rozšiřuje, nikdy úplně nenahradí ruční animaci. Systém Motion Capture je rychlejší řešení než ruční animace. Přesto existují studia, která využívání této technologie omezila, neboť zaznamenávání pohybu herce omezuje animátora samotného.²⁴

5 Typy systémů

Současná technologická řešení, které se komerčně využívají, jsou klasifikovány do několika základních systémů. Tato kapitola je zaměřena právě na různorodost této technologie. Jedná se o optické systémy, mechanické systémy, systémy magnetické aj. Každá technologie má vlastní silné a slabé stránky. Neexistuje jediné řešení, které by bylo ideální pro každé použití.

22 CONDITT, J. 100 years of motion-capture technology. *Engadget* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2018-05-25-motion-capture-history-video-vicon-siren.html>.

23 EPIC GAMES A first look at Unreal Engine 5. *Unreal Engine* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/a-first-look-at-unreal-engine-5>

24 HRUBOŠ, P. MOTION CAPTURE - VÝVOJ A VLIV. *PifPaf* [online]. 2009. Dostupné z: <http://www.pifpaf.cz/cs/motion-capture-vyvoj-a-vliv>.

5.1 Parametry

U zmíněných řešení jsou zohledňovány parametry jako:

Latence – tento pojem označuje zpoždění mezi změnou orientace nebo pohybu sledovaného objektu a zaregistrováním této změny. Systémy operující v reálném čase a mají velmi nízkou latenci.

Přesnost – Pojem přesnost zahrnuje maximální možnou chybu, která vzniká při zaznamenávání polohy nebo rotace.

Obnovovací frekvence – Zaznamenává počet změřených souřadnic snímaného objektu za jednu vteřinu. Obecně platí, že vyšší frekvence je výhodnější. Pohyby jsou poté viditelně plynulejší.

Rozptyl – Tento termín určuje odchylku kolísajících hodnot na výstupu snímacího zařízení pro objekt, který není v pohybu. Příliš velký rozptyl způsobuje chvění a pohyb je znatelně ovlivněný.²⁵

5.2 Optické systémy

Optické systémy jsou systémy s velmi přesným měřením. Pro tuto skutečnost jsou silně využívány pro lékařské aplikace. Většina těchto systémů není schopna zpracovávat data v reálném čase.²⁶ S rapidním vývojem v oblasti výpočetního výkonu dnešního hardwaru jsou některé systémy schopny zpracovat méně složité pohyby v reálném čase. Získaná data mohou následně vyžadovat rozsáhlé postprodukční zpracování.²⁷

Zpravidla se tyto systémy skládají z kontrolního počítače, který koriguje 4-32 digitálních kamer (CCD) citlivých na světlo. CCD je zkratka pro označení Charge Coupled Device (zpravidla se využívá nejméně 8 kamer). Tyto kamery používají pro zachycení světla řadu fotoelektrických buněk, které jsou v novodobém světě známé jako pixely. U kamer tohoto typu převládá pojem megapixely (1 milion pixelu = 1 megapixel). Obecně platí, že čím vyšší rozlišení tím

25 Vlastnosti systémů pro snímání pohybu. *WikiSkripta* [online]. 2009. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Motion_Capture.

26 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 8. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

27 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 23, ISBN 978-0-12-381496-8.

lepší kvalita, avšak existují i další parametry jako jsou velikost senzoru, světelnost a další, které určují výslednou kvalitu obrazu. Dalším parametrem, který se pojí s kamerami je snímková frekvence (FPS – Frames per second). Tato frekvence značí počet snímků pořízených za jednu vteřinu záznamu. Tento počet musí být dostatečný pro zachycení velmi rychlých pohybů.

Snímače v optickém systému zaznamenávají světlo rychlostí 30 až 2000 snímků za jednu vteřinu.²⁸ U valné většiny systémů má aktér na sobě připevněné značky tzv. Markery. U těchto značek, hovoříme o dvou typech – aktivní a pasivní značky (Markery). Počet značek je přímo úměrný době zpracování dat.²⁹



[6] zaznamenání pohybu zvířete při použití pasivních značek

Osvětlení při práci s optickým systémem je klíčové. Zpravidla musí být řádně kontrolováno, aby v prostředí natáčení nedocházelo ke zkreslování dat při výstupu. Zmíněná kontrola je o poznání důležitější při natáčení s pasivními značkami, neboť u nejnovějších systémů s aktivními značkami je již možnost natáčení v přirozeně osvětleném prostředí.

Pasivní značky jsou vyrobeny z reflexních materiálů a jsou převážně oblé. (kruhové, sférické). Ke sledovanému objektu se připevňují za pomoci suchého zipu. V případě částí těla, jako jsou obličej nebo ruce, se využívají mnohem menší značky, které jsou upevněné přímo na

28 VINKLER, M. *Snímání a rekonstrukce pohybu postavy*. BP, MASARYKOVA UNIVERZITA, 2009, Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/n4i18/>

29 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 23-24, ISBN 978-0-12-381496-8.

kůži daného subjektu. Rozměry daných značek jsou závislé na jednotlivém rozlišení kamer a upevnění na objektu.

Při používání pasivních značek jsou kamery vybaveny LED diodami, které emitují světlo³⁰. Pro správné určení polohy je žádoucí, aby každá značka byla viditelná nejméně dvojicí kamer najednou.³¹ Při hereckém výkonu se stává, že některá ze značek nečekaně odpadne. Pokud se jedná jen o jednu značku, tak to pro většinu algoritmů není problém polohu dopočítat. Pokud se stane, že je současně zakryto větší množství značek, které systém sleduje, dochází ke ztrátě dat. Příkladem je aktér, který leží na zemi.

Druhým typem jsou značky aktivní. Jedná se o značky, které světlo emitují. V dnešním světě se nachází systémy, které pracují s konceptem osvětlování jen jedné diody najednou. Tímto způsobem mizí potřeba identifikace každé značky jednotlivě. Na druhou stranu existují i takové, které osvětlují všechny značky najednou.³²

Prvním komerčně využívaným systémem byl Vicon 8. Systém od stejnojmenné společnosti je dodnes jedním z nejkvalitnějších v oboru.³³

Mezi výhody optického řešení patří: přesnost dat, rychlost snímání, využití velkého množství značek, konfigurace zmíněných značek nebo například generování přesných kosterních dat. K nevýhodám tohoto systému patří: následné postprodukční zpracování dat, při zakrytí většího počtu značek může dojít ke ztrátě informací, nutnost korigovat osvětlení studia, cenová náročnost, rychlá únava materiálu nebo omezená možnost snímání v reálném čase.³⁴

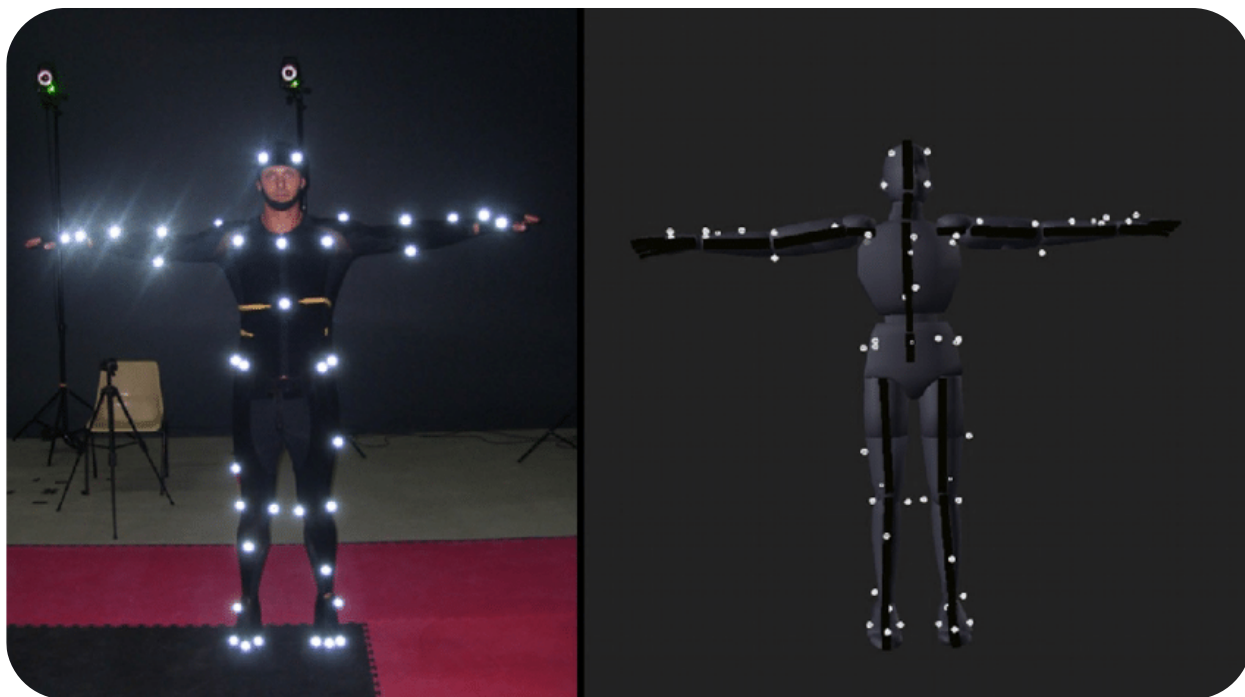
30 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 8. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

31 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 25, ISBN 978-0-12-381496-8.

32 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 8. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

33 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 24, ISBN 978-0-12-381496-8.

34 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 26-27, ISBN 978-0-12-381496-8.



[7] Herec oblečený ve specializovaném obleku a přenos dat na 3D model

5.2.1 Systémy bez značek

Vývoj této technologie vedl k tzv. bez-značkovým systémům Motion capture. Zmíněné řešení nevyžaduje, aby byly k subjektu připevněné jakékoliv značky ani dráty.³⁵ V případě tohoto řešení jsou základem pokročilé algoritmy, které automaticky detekují jednotlivé části lidského těla z optického vstupu. U řady systémů není potřebné využít ani specializovaný oblek. Existují však i systémy, které pro relevantní snímání potřebují barevné odlišení končetin. Hlavním cílem bez-značkového řešení je reprodukce zaznamenaného výkonu za použití konvenčních kamer bez nutnosti použití speciálního vybavení.³⁶

5.3 Mechanické systémy

Do kapitoly mechanických systémů řadíme exo-skeletární obleky. Obleky jako takové existují již řadu let a vyžadují, aby měl na sobě snímáný objekt vnější kosterní systém. Pracují

35 VINKLER, M. *Snímání a rekonstrukce pohybu postavy*. BP, MASARYKOVA UNIVERZITA, 2009, s. 11, Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/n4i18/>

36 DAVIDSON, J. A.; DEUTSCHER, J.; REID, I. D. *Markerless Motion Capture of Complex Full-Body Movement for Character Animation*, University of Oxford, 2001 s. 01. Dostupné z: <https://media.adelaide.edu.au/acvt/Publications/2001/2001-Markerless%20Motion%20Capture%20of%20Complex%20Full-Body%20Movement%20for%20Character%20Animation.pdf>.

na principu kosterních struktur. Tyče, které jsou propojené měřicími zařízeními, jako jsou potenciometry nebo gyroskopy, se při pohybu pohybují jako kosti. Zmíněná zařízení jsou určena k měření úhlů, které mezi sebou dané tyče svírají a jejich pozice. Tudiž jsou umístěna v místech rotace a pohybu spojů. U těchto řešení jsou spoje poměrně jednoduché. Důsledkem této skutečnosti je omezenost pohybu v kloubech.³⁷ "

Mezi typy mechanických systémů patří exo-skelety, datové rukavice nebo digitální armatury. Technologie tohoto typu nabízí relativně levné řešení s možností přenosu dat v reálném čase. Největší omezení těchto kosterních systémů je jejich neschopnost měřit globální pozici. Závěrem toho je výsledné klouzání po povrchu, když nohy opouštějí podlahu.

Jako další příklad tohoto jevu je chůze po schodech. V případě, kdy hraná postava kráčí po schodech, vzniká posun souřadnic, který nikdy nevstoupí do vzduchu a zůstává na počátečním bodě. Postava v ten moment vypadá, jako by přešlapovala na místě. Řešením daného problému bylo přidání elektromagnetických nebo ultrazvukových senzorů.³⁸ Mezi výhody tohoto řešení patří velký dosah snímání, žádné magnetické nebo elektrické rušení, přenos dat v reálném čase nebo nižší pořizovací náklady, než u předchozího řešení. Nespornou výhodou je, že senzory nikdy nejsou zakryté, což je problémem v optickém řešení. Nevýhody čítají neschopnost snímání globálních souřadnic, opravitelnost v případě poruchy nebo nízká frekvence přenosu informací.



[8] Ukázka Mechanického systému

37 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 35, ISBN 978-0-12-381496-8.

38 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 11. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

5.3.1 Armatury

Speciálním řešením jsou digitální armatury. Přestože složení je velmi podobné mechanickému obleku, nedá se o tomto řešení uvažovat jako o zařízení Motion capture.

Podstatou všech systémů je účinkující herec, který v tomto případě chybí. Na místo herce animátor pracuje s loutkou, která je spojena s počítačem. Ručně připravuje pózy mechanické loutky a vytváří animační klíč. Specializovaný program se zaznamenanými postoji pracuje jako s běžnými klíči, které jsou potřebné k tvorbě plynulých animací.³⁹



[9] Armatura dinosaura

5.3.2 Stavba Armatur

Jedná se o systém propojení pevných modulů, které jsou spojené jednoduchými klouby. Následný pohyb je měřen stejnými analogovými senzory jako u mechanického obleku. Následně jsou data převedena do digitální formy. Armatury můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. První skupinou jsou armatury, které se podobají stop-motion figurínám. Druhou skupinou jsou loutkařské armatury, které lze animovat v reálném čase.⁴⁰

39 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 36, ISBN 978-0-12-381496-8.

40 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 37, ISBN 978-0-12-381496-8.

5.4 Magnetické (elektromagnetické) systémy

Též známé jako magnetické sledovače (Trackery). Tyto systémy byly odvozeny z technologie používané ve vojenské sféře. Senzory sledovaly pohyb a orientaci pilotovy hlavy kvůli použití namontované obrazovky na helmě (HMD).

Magnetický MoCap systém je rozlišen do dvou tříd. V první třídě jsou systémy, které ke svému provozu používají stejnosměrný proud (DC). Druhá třída zahrnuje následně ty, které používají střídavý proud (AC).⁴¹

Zpravidla se zmíněné řešení skládá z 11–20 senzorů umístěných na daném subjektu, vysílače, softwaru a elektronické řídicí jednotky. Počet 20 senzorů však není hraniční. Nejmodernější systémy zvládnou použití až 90 senzorů najednou.⁴²

Řešení zmíněného typu pracuje na principu generování nízkofrekvenčního elektromagnetického pole, které je zaznamenáváno přijímačem. Přijímač, který je spojený s elektronickou řídicí jednotkou, + pole filtruje a zesiluje. Následně počítačový software použije triangulaci ke zjištění souřadnic ze zmíněných dat. Protože všechny senzory odesílají vlastní data, redukuje se proces následného dopočítávání souřadnic pro každý ze senzorů. Dané řešení je vhodné pro použití v reálném čase. Největším problémem zmíněných systémů jsou interference. Každá ze tříd je citlivá na určité kovy v okolí. Systémy, které pracují se střídavým proudem (AC) jsou náchylné na kovy, jako jsou měď, hliník nebo uhlíková ocel. Na druhou stranu jsou méně citlivé na klasickou ocel nebo typické železo. V případě řešení používající stejnosměrný proud se jedná o vyšší citlivost na kovy jako je železo a na druhou stranu jsou méně citlivé na přítomnost mědi nebo hliníku.

Výše zmíněné problémy vychází z problému tzv. vířivých proudů. Jedná se o jev, při kterém se indukcí elektrického proudu vytváří nová elektromagnetická pole, která narušují sféry vyzařované sledovačem (Trackerem).

Na minimalizování zkreslení dat pracují přidané algoritmy, které pracují s předem definovanými konstrukcemi. Příkladem je kovová konstrukce uvnitř budov. Mezi další nevýhody

41 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 10. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

42 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 33, ISBN 978-0-12-381496-8.

patří baterie, které se musí po několika hodinách používání znovu dobít. Předností magnetického systému je jednoznačně pořizovací cena. Dále také aplikace v reálném čase či absence problému se zakrytými značkami.⁴³



[10] Systém společnosti Xsens

5.5 inerční systémy

Jedná se o jeden z nejjednodušších systémů.⁴⁴ Základ tvoří dva druhy senzorů. Jedná se o gyroskopy, které zaznamenávají změny rotace objektu a akcelerometry, které detekují pohybovou rychlost. V některých případech jsou v systémech zakomponované i magnetometry. Tyto senzory měří dané magnetické pole. Pro relevantní zaznamenávání pohybu je třeba mít výchozí pozici senzorů.⁴⁵

Výhodou zmíněného řešení je absence kamer nebo oproti optickému řešení absence generátorů magnetického pole. Přínosem jsou faktory jako nízká latence a ztráta nutnosti korekce okolního osvětlení. Na druhou stranu zásadní nevýhodou je přesnost. Odchylka mezi naměřenými a skutečnými hodnotami se může lišit.⁴⁶

43 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 10. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

44 STRACHOŇOVÁ, H. *Technologie motion capture a její využití v umění a populární kultuře: BP. MASARYKOVA UNIVERZITA*, 2015, Dostupné z: https://is.muni.cz/th/z7quq/Technologie_motion_capture_a_její_využití_v_umění_a_popularní_kultuře.pdf

45 Motion capture. *Wikipedia* [online]. s. 1–1. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture.

46 Optical vs. Inertial Motion Capture. *Gearssports* [online]. s. 1–1. Dostupné z: <https://www.gearssports.com/optical-vs-inertial-motion-capture/>

5.6 Akustické snímání

Jedná se o systém, který determinuje pozici bodů v prostoru za pomoci vlastnosti zvuku.⁴⁷ Systém pracuje s konstantní rychlostí šíření signálu ve vzduchu. Za pomoci tohoto jevu je počítač schopen vypočítat absolutní vzdálenost zvukového signálu podle jeho opoždění.

48

6 Facial motion capture (Face capture)

Jak z názvu vyplývá, tak Face capture se zaměřuje na sledování obličeje, který je základem vzhledu každého jedince. Jedná se o proces převodu reálných mimických pohybů na CGI (Computer Generated image) charakter. Vytvoření realistické animace ve tváři je jeden z nejtěžších požadavků. Mimořádně náročné je následně vytvoření animace úst při mluvení (též známe jako tzv. lipsing). V rámci pohybu rtů platí, že animace musí být přesně synchronizovaná s dodaným zvukem.⁴⁹ Pro snímání obličeje jsou využívány především optické systémy, a to z důvodu přesného měření, které je klíčové. Zachycení pohybu v obličeji je násobně těžší než sledování pohybu celého těla. Existuje však několik řešení. Prvním z nich jsou systémy bez-značkové a druhým jsou systémy využívající značky.⁵⁰ V prvním případě je žádoucí zaznamenání póz ve stabilní poloze. Výsledkem je eliminace nežádoucí rotace hlavy na minimum a detailní zaznamenání jednotlivých pohybů. V druhém případě se zaznamenává přímo na scéně. Daná skutečnost je více známá pod pojmem Performance capture.⁵¹

47 STRACHOŇOVÁ, H. *Technologie motion capture a její využití v umění a populární kultuře: BP. MASARYKOVA UNIVERZITA*, 2015. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/z7quq/Technologie_motion_capture_a_jeji_vyu_ziti_v_umeni_a_popularni_kulture.pdf

48 VOLNÁ, E.; KOTYRBA, M.; JARUŠEK, R. *Acoustic signal processing via neural network towards motion capture systems*, www.semanticscholar.org. 2013, Dostupné z: <http://worldcomp-proceedings.com/proc/p2013/IPC7173.pdf>

49 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 317. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>. ISBN 9780124159730.

50 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 37, ISBN 978-0-12-381496-8.

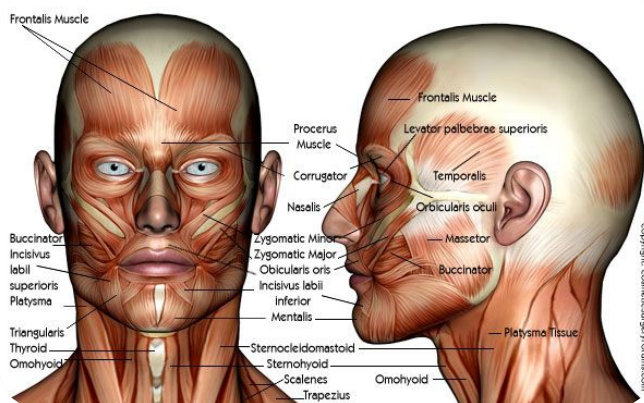
51 KLÍMA, M. *Technologie performance capture. 25Fps* [online]. 2009. Dostupné z: <http://25fps.cz/2009/technologie-performance-capture/#sdfootnote2sym>.

Prvním filmem, který je spojován s označením PCap je Polární expres z roku 2004, kde herec Tom Hanks ztvárnil rovnou 5 postav.⁵² Technologie se dále rozvinula při natáčení filmu Avatar z roku 2007.

6.1 Anatomie

Lidský obličej je z hlediska anatomie tvořen ze svalů, lebky a čelisti. Lebka je pokryta svalstvem, které stahováním a povolováním vytváří mimiku.⁵³ Svaly na tváři jsou velmi pružné a vytváří velkou variaci možných posuvů a stahování. Za pomoci zmíněných pohybů jsou rozpoznávány jednotlivé výrazy a emoce.⁵⁴

V rámci anatomie je nutné zmínit i krk, který pohybem a rotací napomáhá celkovému pocitu realističnosti. Jedná se o spojnici mezi hlavou a trupem těla. Tvar krku se u každé osoby liší. Při vyjadřování emoci je pro člověka přirozené využívat pohyb hlavy k podpoření psychického rozpoložení. Při podpoře se kůže na krku pohybuje a na povrch vychází žíly a svaly, které předtím nebyly znatelné. Nejdůležitější části je však rotace a translace. Přirozené pohyby hlavy sebou přináší jemné náklony a tiky, které při animaci napomáhají celkovému vizuálu. V rámci MoCap je pro adekvátní animaci často žádoucí využití manuálního doladění.⁵⁵



[11] Struktura obličejových svalů

52 FARINHOLT, L. The Polar Express and the Era od Motion Capture. *The Byrd Theatre* [online]. 2019. Dostupné z: <https://byrdtheatre.org/news/2019/12/the-polar-express-and-the-era-of-motion-capture/>.

53 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s. 151. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

54 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 317. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>. ISBN 9780124159730.

55 SHEARER, J. *Persuasive Interactive Non-Verbal Behaviour in Embodied Conversational Agents: DP*. Newcastle University, 2008. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/29176189.pdf>

6.2 FACS

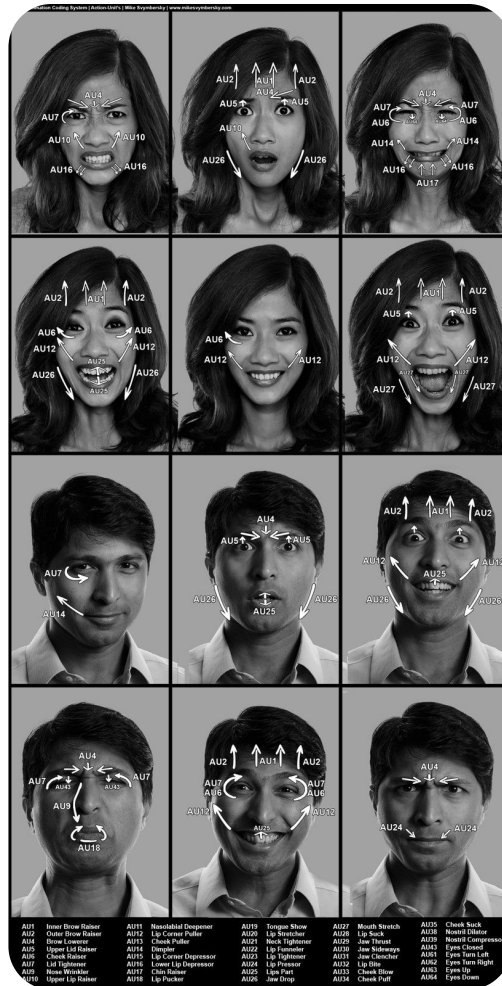
System kódování obličeje (FACS) označuje soubor pohybů obličejových svalů, které odpovídají zobrazené emoci.⁵⁶ Výzkum původně provedl Carl-Herman Hjortsjö v roce 1970. Následný vývoj byl převzat Paulem Ekmanem a Wallaceem Friesenem, kteří roku 1978 publikovali výzkum, jak je známý dnes. V roce 2002 byla provedena značná aktualizace. FACS byl původně navržen jako řešení, aby psychologové porozuměli výrazu a chování obličeje u pacientů. S nástupem technologie CGI byl výzkum implementován i do dalšího odvětví.⁵⁷ Systém pracuje na principu akčních jednotek (AU - Action Units). Dané jednotky lze kombinovat a využít je k popisu všech výrazů tváře.⁵⁸ Paul Ekman et al. roztřídili výrazy obličeje na hlavních 46 AU. Jednotlivé akční jednotky reprezentují svalovou aktivitu, jednoho svalu nebo skupiny, která má za následek deformaci obličeje. Jednotky jsou závislé na anatomii subjektu a lze je dále rozdělit na levou a pravou stranu tváře. „Nastavením proměnné pro každou AU může uživatel generovat všechny výrazy obličeje analyzované Ekmanem a Friesenem.“⁵⁹

56 FARNSWORTH, B. Facial Action Coding System (FACS) – A Visual Guidebook. *iMotions* [online]. 2019. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/facial-action-coding-system/>

57 VILLAGRASA, S.; SUSIN, A. FACe! 3D Facial Animation System based on FACS, 2009. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/>. <https://core.ac.uk/download/pdf/41758972.pdf>.

58 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 319. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>. ISBN 9780124159730.

59 VILLAGRASA, S.; SUSIN, A. FACe! 3D Facial Animation System based on FACS, 2009. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/>. <https://core.ac.uk/download/pdf/41758972.pdf>



[12] FACS

6.3 Modely

Pro animaci obličeje je důležité mít připravený model podle způsobu daného použití. Už při počátku modelace je žádoucí znát účel modelu. Jednotlivým způsobům využití se následně podřizuje složitost a topologie připravované tváře. Při modelaci stylizovaného charakteru není potřeba využívat velké množství polygonů a následovat anatomii hlavy v poměru 1:1. V daném případě mohou být některé části obličeje vytvořeny za pomoci textury.⁶⁰ Při tvorbě realistického modelu je třeba brát v úvahu komplexnost topologie. V návaznosti na tuto skutečnost je žádoucí, aby topologie vycházela z proporcí skutečné tváře. Tyto modely mohou být Low poly nebo High poly. Určování je rozlišováno podle hustoty polygonů. Hladkost povrchu objektu je

⁶⁰ PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 320-321. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>. ISBN 9780124159730.

přímo úměrná složitosti topologie. Vyšší počet polygonů zajistí vyšší množství detailů při dynamice pohybu. U vytváření obličejových struktur je třeba znát referenci. Referencí může být řada snímků hlavy, případně předem připravený 3D sculpt, který však není možné využít k animaci kvůli absenci konkrétní topologie. Jedná se o prototyp vizuálu. Přetvoření daného vizuálu se nazývá retopologie. Modelář napodobuje vizuální podobu charakteru s ohledem na potřebnou geometrii. Stejný princip je aplikován při práci se 3D skeny.

6.3.1 Modely pracující se svaly

Pro dané modely platí, že pracují se třemi typy svalů. Specificky se jedná o svaly ploché, lineární a svěrače. Pro ploché svaly platí, že jednají jako paralelní řada tenkých svalů.⁶¹ Svalstvo pracuje na principu napínání a povolování. U lineárních svalů je vždy jeden z bodů přitahován nebo oddalován od druhého. Svěrač označuje kruhový sval, který se stahuje podél obvodu.⁶²

6.4 Systém využívající značky

V prvním případě systém pracuje s miniaturními značkami o velikosti 2-3 mm, které jsou přilepené k danému subjektu. Zmiňované řešení je preferované z důvodu dostatečného zachycení jemnosti.⁶³ Pokud se jedná o systém, který má k dispozici dostatečný počet kamer s vysokým rozlišením je schopen zaznamenat pohyb těla i výrazy v obličejí současně. Vznikl tak pojem Performance Capture. (PCap)⁶⁴

V současnosti se nejvíce používaným řešením stala kamera či řada kamer snímající zmíněné reflexní značky. Snímající zařízení jsou připevněná ke struktuře helmy v dostatečné vzdálenosti, aby hercům nebylo bráněno ve výkonu a zároveň aby měly možnost zaznamenat i nejmenší pohyby ve tváři. V případě jedné kamery systém snímá tvář pouze v jedné rovině (2D).

61 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 329. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>. ISBN 9780124159730.

62 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38, ISBN 978-0-12-381496-8.

63 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s.151 . Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945

64 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38, ISBN 978-0-12-381496-8.

Dané řešení s sebou přináší neschopnost zachytit určité jemné pohyby, jako je například zvrásnění rtů. Z výše uvedeného důvodu se proto začalo využívat dvou a více kamer. Za pomoci dvou kamer je již software schopen vypočítat trojrozměrná data. Řešení daného typu s sebou přináší výhody v oblasti mobility a interakce herce.⁶⁵

6.4.1 Markery

Počet Markerů není standardizovaný a liší se v závislosti na komplexnosti projektu. Obecně platí, že se využívá větší množství značek, než je potřebné. Následně je žádoucí, aby nebyly dva sledované Markery blízko sebe. V případě blízké pozice mohou být brány jako jeden. Pro adekvátní data je doporučeno užívat dva druhy značek. První typ se stará o posuvy pokožky a druhý typ sleduje pohyby hlavy. Značným problémem v oblasti sledování obličeje je práce s očními víčky.⁶⁶

6.5 Beznačkové systémy

S příchodem vyspělejších algoritmů a nárůstem výpočetního výkonu jsou na trhu systémy, které nepotřebují ke svému fungování značky připevněné k subjektu. Zmíněná řešení pracují na principu analýzy optického toku a počítačového algoritmu. Příkladem daného řešení je systém od společnosti Disney Research s názvem Medusa. Medusa je současně nejpokročilejší systém pro zachycení pohybu ve tváři.⁶⁷ Obsahuje vlastní software, který dokáže rekonstruovat pohyb tváře bez použití tradičních bodů. „Medusa přináší 3D tváře s vysokým rozlišením, se schopností sledovat jednotlivé póry a vrásky v průběhu času a dokáže obnovit dynamický vzhled jednotlivých snímků (průtok krve a lesk pokožky) a poskytuje velmi realistickou virtuální tvář, která je ideální pro vytváření digitálních vizuálních efektů.“⁶⁸

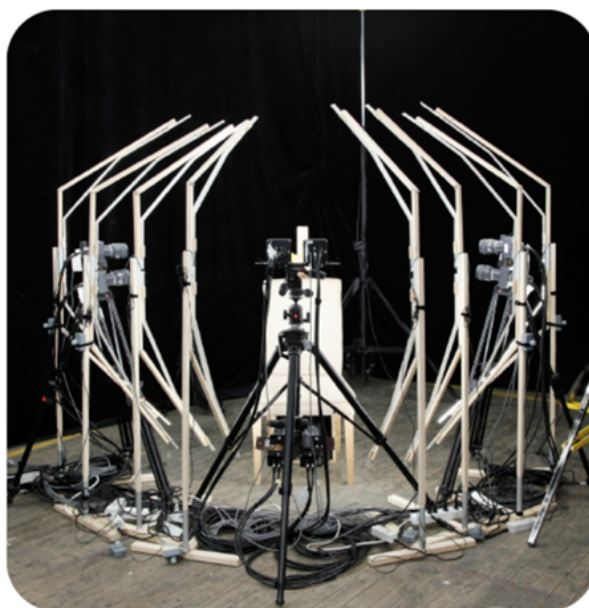
Existuje několik typů algoritmů pro zpracování optických dat. Daná řešení se mohou kombinovat. Jedná se hlavně o svalové a kožní simulátory, dynamické Blend shapes a Fotogrammetrii.

65 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38, ISBN 978-0-12-381496-8.

66 KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 s.159 Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

67 OLIVA, P. *Motion capture a jeho využití v indie herním průmyslu: BP*. Vysoká škola Kreativní Komunikace, 2020.

68 Medusa Facial Capture System. Disney Reserach. Dostupné z: www.studios.disneyresearch.com/medusa/.



[13] Medusa systém

6.5.1 Simulátory kůže a obličeje

Jedná se o algoritmy, které analyzují data z optického toku na základě lidské anatomie. Získané informace jsou aplikovány na předem připravený model hlavy, který má jasně definovanou vnitřní strukturu. Toto složení je rozloženo na lebku, čelist a svaly. Pro správné proporční rozložení je vytvořena tzv. tréninková sada, kdy je aktér požádán, aby předvedl řadu výrazů. Ze získaných výsledků se koriguje svalová poloha a pohyb. Za pomoci proprietárních softwarů se zpracovávají data na základě anatomických limitů.⁶⁹

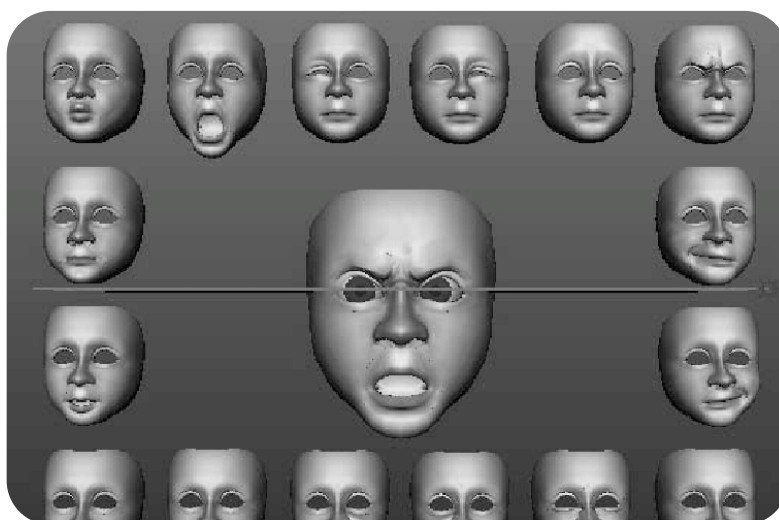
6.5.2 Blend shapes

Blend shapes je jednou z nejoblíbenějších metod animace obličeje. Jedná se o postup, při kterém je zapotřebí vytvořit řadu klíčových pozic modelů uvažované hlavy.⁷⁰ Modely jsou upraveny tak, aby každý z nich zobrazoval odlišné výrazy ve tváři nebo posuvy dané obličejové části. Výsledkem je variace modelů, ze kterých animátor vybírá určité části nebo celky v závis-

69 MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38, ISBN 978-0-12-381496-8.

70 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 327. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336> ISBN 9780124159730.

losti na požadovaných výsledcích. Vybrané části je možné kombinovat a třídit pomocí posuvníků. Animace je provedena výběrem výchozí pozice vertexů a požadované nové pozice těchto bodů. Pohybu je dosaženo interpolací mezi zvolenými vertexy. Výrazy mohou být řazeny podle systému kódování obličeje FACS (Facial Action Coding System) Pro implementaci je nutné vytvořit datovou sadu s každým z výrazů, které jsou zapotřebí. Využívá se podobný princip, jako je zmíněn u tréninkové sady pro simulaci kůže a svalů.⁷¹ Algoritmus musí následně převést analyzovaný výkon na nejvhodnější kombinaci z připravených výrazů, které se nejlépe podobají skutečnosti.⁷²



[14] Blend shapes

6.5.3 Fotogrammetrie

Jedná se o způsob vytvoření geometrie, která je založena na vyfocených snímcích. Pro zachycení pohybů ve tváři byla daná technologie nahrazena videogrammetrií. Místo jednotlivých fotek využívá sadu videoobrazů. Dané řešení bylo použito například pro snímek *The Incredible Hulk*.⁷³

⁷¹ MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38, ISBN 978-0-12-381496-8.

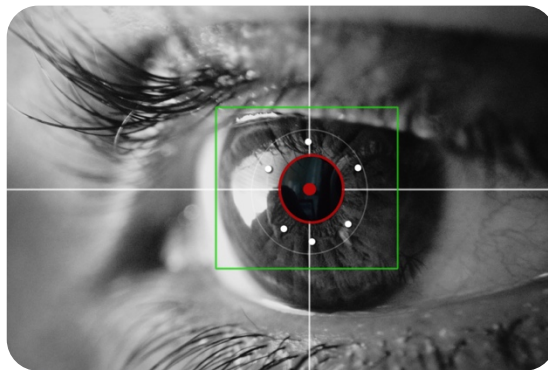
⁷² Learn everything you need to know about MocapX. MocapX. Dostupné z: <https://www.mocapx.com/learn/>.

⁷³ MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. Elsevier, 2011 s. 38-39, ISBN 978-0-12-381496-8.

6.6 Sledování očí

Sledování očí označuje proces měření, kam daný subjekt hledí. Tato metodika pomáhá porozumět vizuální pozornosti.⁷⁴ Polohu očí měří tzv. sledovač očí. Metody sledování jsou klasifikované do čtyř kategorií. Jedná se o sledování bez kontaktu s okem, měření objektu připojeného k oku a měření elektrického potenciálu snímaného skupinou elektrod umístěných kolem očí a analýzy z datového toku.⁷⁵ V prvním případě se jedná o specializovanou čočku, které je připevněná na oko. Druhým typem je systém PCCR (pupil center corneal reflection).⁷⁶ Na zmíněnou metodu v dnešní době spoléhá většina systémů.⁷⁷ Pracuje na principu odrazu, pro lidské oko neviditelného spektra paprsků. Infračervené světlo nezpůsobuje žádné nechtěné rozptýlení. Z důvodu nedostatečného kontrastu a vypovídající hodnoty, které poskytují běžné zdroje světla, se využívá infračervených paprsků, které jsou soustředěné do středu sledovaných očí a za pomoci odrazů, které snímá infračervená kamera v rohovce a zornici, je vypočítáván pohyb. Oproti zmíněným řešením existuje i třetí typ, který má výhodu sledování očí i v zavřeném stavu. Tento typ je však využíván především pro vědecké účely.

V současné době se nejvíce využívanou metodou stalo generování pohybu z optického toku. Systémy jsou využívány ve velké škále vědních oborů, ale i v zábavním průmyslu.



[15] Zaměření na zornici

74 BERGSTROM, J. R., SCHALL, A. *Eye Tracking in User Experience Design* [online]. 2014. s. 06-08 Elsevier Science & Technology, Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=1651794>. ISBN 9780124167094.

75 *Eye tracking*. Wikipedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking.

76 FARNSWORTH, B. *What is Eye Tracking and How Does it Work?*, 2019. iMotions. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/eye-tracking-work/>.

77 BERGSTROM, J. R., SCHALL, A. *Eye Tracking in User Experience Design* [online]. 2014. s. 06-08: Elsevier Science & Technology, Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=1651794>. ISBN 9780124167094.

6.7 Lips synchronization

Animace a synchronizace rtů je velmi náročný a složitý proces. Je důležitou součástí při tvorbě jak stylizovaných, tak i realistických animací.⁷⁸ Na produkci řeči se podílejí plíce, hlasivky a ústní dutina. Plíce zajišťují proudění vzduchu, který je modifikovaný vibracemi, které vytváří hlasivky a dále upravován za pomoci ústní dutiny a jazyka. Výsledkem je projev variací základního zvuku, který je závislý na konfiguraci všech zmíněných částí a proudění vzduchu.⁷⁹ Při produkci je základním článkem hlasový výstup herce nebo dabéra. Zvuk a animace musí být přesně synchronizovány. Termín synchronizace rtů označuje vzájemné sladění animace rtů a dodaného zvuku.⁸⁰ V závislosti na adekvátním užití, publikum přehledně rozezná, zda zvuk odpovídá pohybům úst. Animaci úst je možné provést ručně nebo za pomoci specializovaných algoritmů.

6.7.1 Fonémy

Pro animaci řeči jsou využívány tzv. fonémy. Fonémy jsou jednoduchou sadou základních zvukových segmentů, které člověk produkuje. Počet jednotlivých fonémů je proměnlivý, ale všeobecně uvažovaný počet je 42.⁸¹ Odpovídající pózy na obličejích, které produkují tyto zvuky se označují jako vizuály.⁸² Dané vizuály pracují na principu blend shapes a jedná se o ekvivalent pozic pro ústa. Specializované algoritmy automaticky kombinují jeden nebo vyšší počet zmíněných blend shapes najednou. Každému z těchto blend shapes se přisuzuje procentuální zastoupení v dané pozici tváře a úst. Produkované zvuky jsou však mnohem složitější a nelze je jednoduše vyjádřit interpolací mezi statickými pózami. Jedním ze zásadních faktorů při tvorbě realistické animace je korelace mezi sousedními fonémy. Spojení sousedních fonémů

78 PARENT, R.; KING, S.; FUJIMURA, O. Issues with lip sync animation: can you read my lips?. IEEEExplore. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1017500>, ISBN:0-7695-1594-0.

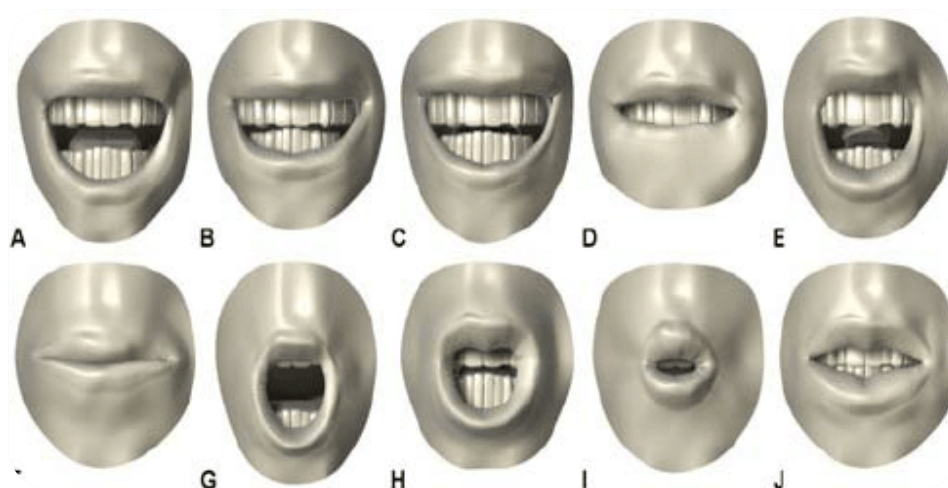
79 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 352. ISBN 9780124159730. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>

80 JUNGSUNG, Ch. Research on Animation Lip synchronization technology, 2013. Dostupné z: http://adada.info/journals/no1703_01.pdf.

81 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 352-353. ISBN 9780124159730. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>

82 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 352. ISBN 9780124159730. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>

má za následek odlišný pohyb řečových artikulátorů. Následný jev je známý jako alofon fonému a je definován jako koartikulace. Nedostatek zmíněné koartikulace má za následek nereálnou synchronizaci mezi zvukem a pohyby úst při využití blend shapes.⁸³ Technologie v dnešní době dovolila vzniku specializovaných souprav, které zaznamenávají pohyb úst i se zvukem a zajišťují automaticky jejich synchronizaci.



[16] Jednotlivé pózy úst

6.8 Deepfake

V posledních letech se rychle rozšiřuje termín deepfake. Jedná se o proces, který je za využití strojového učení schopen nahradit skutečnou tvář ve videu za obličej cílené osoby.⁸⁴ Do nedávné doby byla deepfake videa poměrně snadno rozeznatelná z důvodu nízkého stupně realističnosti.⁸⁵ V současnosti se velmi snížily nároky na vytvoření zmíněných videí. Z uvedeného důvodu se dnes deepfake objevuje po celém internetu. Valná většina si bere za cíl poškození známé osoby, vytváření poplašných zpráv nebo podvodů. Systémy dnešního typu spoléhají na strojové učení a umělou inteligenci. Dané algoritmy zpracovávají stovky a více fotografií,

83 PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 371. ISBN 9780124159730. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendeluebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>.

84 MAHMUD, B. U.; SHARMIN, A. *Deep Insights of Deepfake Technology : A Review*, 2020. ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349310113_Deep_Insights_of_Deepfake_Technology_A_Review.

85 LI, Y.; LYU, S. *Exposing DeepFake Videos By Detecting Face Warping Artifacts*, 2018. ResearchGAt. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328736629_Exposing_DeepFake_Videos_By_Detecting_Face_Warping_Artifacts.

ve kterých mapují cílený obličej a vytváří jeho digitální kopii. Využívané technologie jsou například GAN nebo autoencondéry. Systém GAN pracuje s duem neurálních sítí. První ze sítí se stará o vytvoření podvrhu a druhá je pověřena jeho detekcí. Tento princip se několikrát opakuje ve smyčkách, což vede ke stále věrohodnějšímu podvrhu.⁸⁶



[17] Deepfake

6.9 Komerční dostupnost

Technologie pro snímání obličeje se v posledních letech rozšířila i do nízkorozpočtových produkcí. Byly vytvořeny dostupné mobilní aplikace, které spolupracují se specializovanými 3D programy. Jedná se o aplikace MocapX nebo Face Cap. Dané programy využívají pro zachycení hereckého výkonu technologii TrueDepth ve spolupráci s ARKitem, poskytovaným společností Apple inc. Kamera se nachází v mobilním telefonu iPhone X, iPad Pro a Air nebo v jejich novějších aktualizacích. „TrueDepth kamera promítá a analyzuje přes 30 000 neviditelných teček, vytváří z nich hloubkovou mapu vaší tváře a zároveň váš obličej snímá infračerveným světlem.“⁸⁷ Za pomoci přední kamery a senzorů umístěných v horním výřezu obrazovky získává velmi přesné údaje o pohybu svalů v obličeji. Ve spojení s touto technologií, společnost představila i animovanou variantu emotikonů pojmenovanou Animoji. Rozpohybování emotikonů je prováděno právě za pomoci zmíněné technologie. AR kit pomocí údajů ze senzorů rozpozná nepatrné změny v obličeji a podle systému FACS je kategorizuje. ARKit je proprietární nadstavba pro usnadnění vytváření aplikací pro rozšířenou realitu a práci s True

86 SCIENCE & TECH SPOTLIGHT: DEEPAKES, 2020. Gao. Dostupné z: <https://www.gao.gov/assets/gao-20-379sp.pdf>.

87 Informace o vyspělé technologii Face ID. APPLE [online]. 2020. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT208108>.

Depth technologií.⁸⁸ Oproti snímání jen z jedné kamery, má již zmíněná aplikace výhodu použití více senzorů. Tato skutečnost napomáhá k přesnějšímu rozpoznávání výrazů. Přesto se však nejedná o systém, který dokáže konkurovat řešením, které využívají produkce při tvorbě vysoko-rozpočtových snímků. Dokáže přesto produkovat dostatečnou kvalitu pro animaci stylizované postavy nebo může sloužit jako předloha pro animátory.⁸⁹

7 Aktivní použití MocapX a komparace s ruční animací

7.1 Popis přípravy

Proces přípravy začíná při modelaci ústředních charakterů. Prvním z nich je kotě kočky domácí. Tento charakter byl vymodelován od základu v 3D programu Maya od společnosti Autodesk. V první části bylo podstatné vytvoření hlavní struktury těla zvířete. Bylo zapotřebí brát v úvahu možnosti pohybu a ohybu jednotlivých částí. Klíčovým procesem bylo vytvoření adekvátní topologické výstavby kočičího obličeje. Modelace obličeje musí mít určité zákonitosti pro správný pohyb při pózování.

Druhý charakter byl zprvu vytvořen, jako scuplt model v programu Zbrush a následně po exportování zasazen do virtuálního prostředí 3D programu, kde byla provedena retopologie. Následný proces rigování charakterů byl proveden za pomoci pluginu Advanced Skeleton. Tento plugin je dostupný pro nekomerční účely zcela zdarma a pro komerční využití je zpoplatněn cenou 3000 amerických dolarů za licenci.

Zmíněné řešení bylo vybráno z důvodu adekvátní a efektivní tvorby kosterních soustav a dobré interakci s aplikací MocapX. Program je schopný přizpůsobit se modelu a nabízí možnosti tvorby kosterních soustav, a to jak pro lidské modely, tak i pro zvířecí.

7.2 Aplikace MocapX

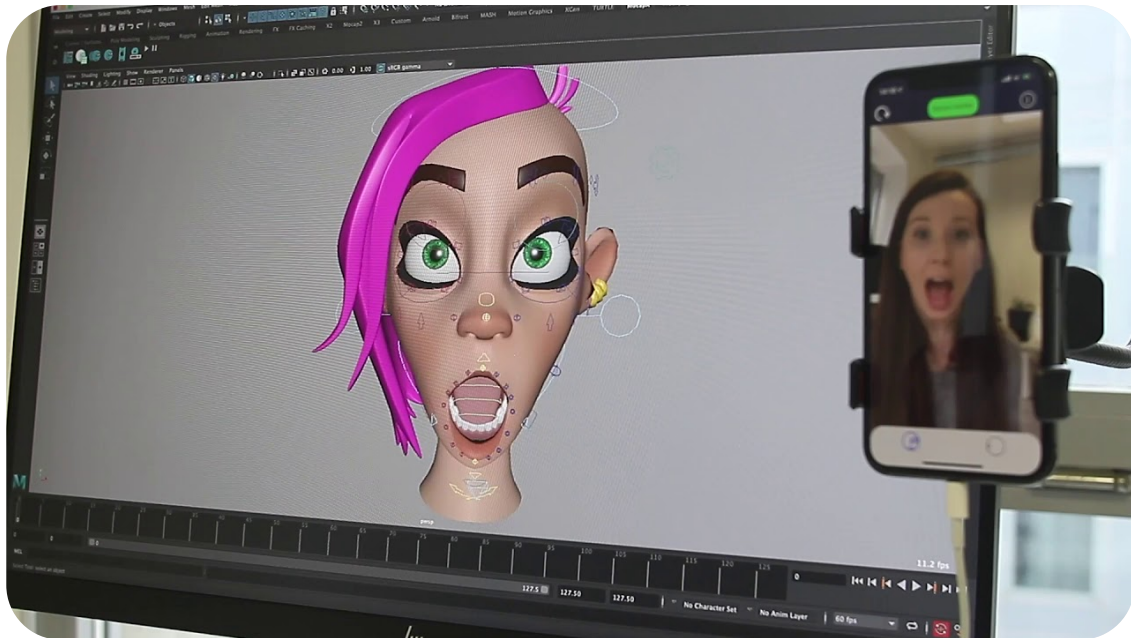
Po přípravě modelů na animaci bylo podstatné vyzkoušet osobní interakci s danou aplikací. Všechny aplikace, které se na operačních systémech iOS vyskytují, pochází z obchodu App Store, který je spravován společností Apple.⁹⁰ Zde bylo velmi snadné vyhledat zmíněnou aplikaci a provést její instalaci. Po otevření a povolení určitých opatření je vizuál aplikace velmi

88 Informace o vyspělé technologii Face ID. APPLE [online]. 2020. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT208108>.

89 MOU, T. Y. Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation, 2018. ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328490280_Keyframe_or_Motion_Capture_Reflections_on_Education_of_Character_Animation.

90 Learn everything you need to know about MocapX. MocapX. Dostupné z: <https://www.mocapx.com/learn/>.

jednoduchý. Nachází se zde jen několik tlačítek, z kterých jsou ty nejdůležitější umístěny v dolním stavovém řádku. Je zde na výběr screening, recording a settings. Téměř celý zbytek obrazovky promítá obraz z přední kamery. Ihned po spuštění aplikace je snímán obličej a v reálném čase jsou vidět pohyby mimiky obličeje na předem připraveném modelu dívky.



[18] Animace obličeje pomocí aplikace MocapX

7.3 Snímání dat

Snímání dat probíhá v reálném čase anebo na základě natočeného materiálu. V trial verzi je práce omezena pouze na nahrávání, a proto bude tato metoda zde zmíněna. Po stisknutí tlačítka recording se přepne uživatelské rozhraní a nově je v horní části zřetelně vyobrazen zbývající čas, který je dostupný k požadovanému použití. Existuje zde možnost zakoupení času navíc v podobě 5, 10 a 30 minut. Stiskem středového tlačítka je spuštěno nahrávání a čas se začíná odpočítávat. Po zaznamenání požadovaného pohybu je nutné uložení záznamu v lokální složce.

7.4 Zpracování

Dalším krokem je převod a přesun natočeného materiálu do programu. Přenos je možný s použitím kabelu nebo bezdrátově. Při zvolení druhé varianty obsahují operační systémy od společnosti Apple funkci Airdrop, která se zabývá přenosem souborů mezi příbuznými softwary.

Před spuštěním programu Maya je nutné provést instalaci dodatečného pluginu do softwaru Maya. Podpora pro software Maya je rozsáhlá. Plugin je možné nainstalovat do programu od verze z roku 2016. Instalace je závislá na operačním systému, který je používán. Návody, jak provést instalaci jsou dostupné na internetových stránkách vývojáře s podporou pro macOS a Windows. Pro zmíněnou práci byl vybrán operační systém od společnosti Apple z důvodu lepší interakce s mobilními telefony iPhone.

Korektně provedená instalace rozšíří horní lištu v programu Maya o složku s nápisem MocapX.

7.5 Příprava modelu

Dalším krokem je příprava charakteru pro práci s pořízenými daty. Předem připravený model byl narigován za pomoci pluginu Advanced skeleton. Zmíněný program nabízí intuitivní práci s ovladači pro vytváření jednotlivých póz, které jsou pro práci klíčové. Po rozkliknutí horní složky MocapX se zobrazí nabídka možností pro práci s pluginem. Je klíčové začít s vytvářením jednotlivých póz charakteru. Pro relevantní blend shapes je žádoucí mít základní pozici tváře. Z dané pozice vychází jednotlivé pózy. Ze začátku je podstatné vytvořit AttributeCollection. Daný pojem je potřebný pro vytvoření kolekce všech blend shapes. Jejich seznam se zobrazí po stisknutí tlačítka Poselip. V diagramu jsou zaznamenány všechny vytvořené pózy a jejich hodnota je určována pomocí posuvníku. Počet póz a jejich atributy je možné nastavit podle animátora nebo se řídit strukturovanou nápovědou.

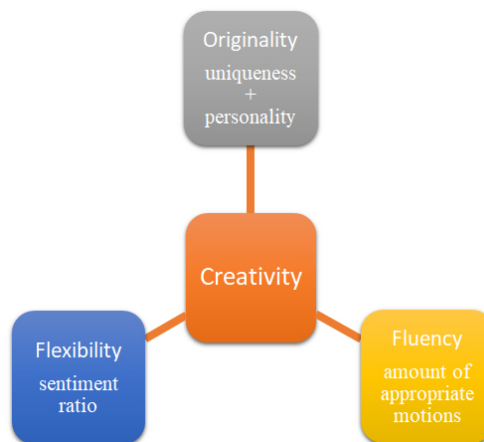
7.6 Aplikace

Po vytvoření všech pozic je model připravený pro práci s natočeným materiálem. Stiskem ikony iPhone se zobrazí attribute editor, ve kterém jsou ovladače pro animaci v reálném čase nebo animaci ze záznamu. V rámci převodu dat mezi zařízeními v reálném čase je možnost sdílení informací formou kabelu nebo bezdrátové sítě. Pod záložkou MocapX se nachází funkce ClipReader. Jejím aktivováním se zobrazí tabulka, ve které je možnost přepínat mezi jednotlivými funkcemi aplikace. Funkce ClipReader obsahuje ikonu složky, kdy po jejím stisknutí máme možnost nahrát připravený materiál. Pořízená data se zobrazí na časové ose. Pro přidání pohybu hlavy je zapotřebí otevřít Connection Editor, který je v základním nastavení programu k nalezení pod záložkou Windows. Po zobrazení tabulky je žádoucí nahrát do levé části funkci ClipReader a do pravé ovladač odpovědný za pohyb hlavy. Propojením jednotlivých rotací a

translací je docíleno požadovaného pohybu hlavy. V případě nedostačující animace má animátor možnost upravit jednotlivé pózy přidáním procentuální hodnoty na posuvníku dané Pózy. V případě finální animace je klíčové tzv. zapéct animaci, aby nedošlo k nežádoucím změnám.

7.7 Porovnání

Pro porovnání byla zvolena stávající metoda Blend shapes v kooperaci se systémem ovladačů, který je generovaný programem Advanced Skeleton. Následující porovnání se zaměřuje na rychlost, efektivitu, plynulost, počet klíčových snímků a kreativitu.



[19] Graf vztahu mezi kreativitou a animačním designem

Základní premisou byla výroba deseti vteřinové animace, která představuje radost vybraného charakteru. Vytvoření krátké animace za použití MocapX bylo poměrně snadné. Jak je zmíněno v předešlé kapitole, charakter musel projít přípravnou fází, kdy bylo zapotřebí vytvořit požadované pózy pro aplikaci pohybových dat z telefonu. Zkráceně se jedná o obdobu blend shapes. V další fázi bylo zásadní zajistit pohyb hlav, který je současně zmíněn v předešlé kapitole. Po dokončení příprav a aplikaci natočených dat bylo již možné vidět celou animaci. Celková animace je z mého hlediska nedostatečně plynulá a je zapotřebí začištění výsledných dat. Potřebné změny je zásadní provést před tzv. zapečením animace.

Oproti ruční animaci proběhl náhled animace rychle a efektivně. Na druhou stranu výsledná animace není dokonalá a jsou vyžadovány dodatečné úpravy, které mohou být zdoluhavé. Případě rychlého jednání je tato možnost efektivním řešením pro zjištění, zda scéna a pohyby fungují korektně. Výhodou je značné usnadnění práce. Data však požadují dodatečné úpravy, případně využití.

Příprava pro práci s ovladači čítala předkreslení emocí a pohybů ve tváři. Kresba požadovaných póz a pohybů je klíčová pro efektivní práci a představu animátora. Práce začíná vytvořením základních rysů animace, které jsou vytvářeny za pomoci klíčů na časovém diagramu. Tyto rysy jsou v průběhu zdokonalovány úpravami v křivkovém editoru, dokud nevznikne cílená animace. Výsledkem je pohybová struktura, která je tvořena z křivek v daném editoru. Tyto křivky je značně jednodušší upravit v případě potřeby než data z aplikace. Zde se liší tyto procesy, neboť výsledná animace z MocapX si žádá vytvoření klíče na každém snímku. U ruční animace je pohyb složen jen z několika klíčů.

Ztvárnění použitelné animace při ručním animování je oproti technice MoCap složitější. Žádá si čas, zkušenosti, načasování, znalost herectví, estetiku pohybu, anatomii, cit pro detaily a kreativitu. V daném ohledu je efektivnější a jednodušší způsob využití možností záznamu pohybu. Při zkoumání obou metod lze dojít k závěru, že obě možnosti mají své výhody i nevýhody. Při srovnání obou možností animace je ruční zpracování lepší z hlediska kreativity a projevu osobitosti. Zvláště znatelné je to při tvorbě tzv. cartoon charakterů. Dané řešení dokáže přesáhnout limity lidské anatomie a vytvořit adekvátní pohybovou strukturu pro cílený charakter. Na druhou stranu animátor nedokáže vždy vytvořit realistický pohyb, který je potřebný pro zasazení do hraného filmu. Oproti zmíněné skutečnosti stojí práce algoritmů a především hereckých výkonů.

Pro využití v celovečerních hraných snímcích, se lze domnívat, že využití zmíněné technologie je adekvátním řešením, z hlediska efektivnosti a vizualizace potřebných pohybů. Je žádoucí, aby pohyby byly velice reálné a uvěřitelné. Důrazně je dbáno na tuto skutečnost při produkci hraných vysoko-rozpočtových snímků. Kde zmíněné řešení ztrácí, je při tvorbě nerealistických pohybů a v kreativě. Důvodem je, že technologie pro snímání pohybu je závislá na adekvátně provedené práci aktérů. Jak je zmíněno v níže uvedené citaci. Je otázka kolik kreativity a práce zbývá na animátorech. To ostatně potvrzuje Pavel Hruboš, který uvádí: „Vzhledem k tomu, že se tato technologie omezuje na herecké schopnosti, nabízí se tu otázka, nakolik lze ještě hovořit o animaci...“⁹¹

Při práci se zmíněnými procesy lze dojít k názoru, že v rámci cartoon charakterů je ruční animace nenahraditelná a v budoucnosti pro ni bude na trhu stále místo.

Lze však uzavřít, že nejlepším řešením je kombinace obou způsobů animace. Důležité je však rozpoznat, pro jakou práci je dané řešení adekvátní.

91 HRUBOŠ, P. MOTION CAPTURE - VÝVOJ A VLIV. *PifPaf* [online]. 2009. Dostupné z: <http://www.pif-paf.cz/cs/motion-capture-vyvoj-a-vliv> .

8 Bakalářský film

Praktickou částí předkládané bakalářské práce je krátkometrážní animovaný film. Jedná se o archetypální příběh starého člověka, který s sebou nese zášť k okolnímu světu. Náhled na život se mu změní až po krizové situaci, kterou si projde. Jako prostředí pro zasazení děje byl vybrán prostorný dům amerického stylu. Valná většina objektů byla vymodelována specificky pro daný snímek. Ústřední postavy jsou dvě. Jendou z nich je zmiňovaný člověk a druhou je kočka domácí. Celý projekt je vytvářen na dvou platformách – Maya a Blender. Charaktery pro daný film jsou rovněž vytvořené specificky pro tento snímek. Jejich příprava, která je uvedena ve výše zmíněných kapitolách, čítala časovou náročnost, která se vyplatila při přípravách na animaci. Animování probíhalo na základě referencí pohybů lidí i zvířete.

9 Závěr

Jedním z cílů předkládané práce bylo obeznámení s problematikou a přiblížení historického vývoje technologie Motion capture, s důrazem na vytyčení výhod a nevýhod jednotlivých systémů. Lze se domnívat, že, zmíněný cíl byl zpracován na adekvátní úrovni a byl přínosný.

Další dílčí cíl představovalo detailní prozkoumání specializace pro snímání obličejové části. Daná technologie byla popsána v jednotlivých kapitolách a řádně představena. Bylo bráno v úvahu několik systémů a rozebrány funkce a principy, na kterých jsou dnešní řešení vystavěná. Posledním cílem bakalářské práce byla komparace komerční aplikace pro snímání obličeje MocapX a metody blend shapes v kooperaci se systémem ovladačů. Zmíněný cíl byl splněn a byly vyvozeny výše zmíněné závěry. Technologii pro snímání pohybů si v dnešní době našla své místo a v určitých případech se stala nepostradatelnou. Produkce mají nyní možnost pre - vizualizace scény, vytváření kolosálních filmů s monstry, digitální nahrazení herce nebo experimentování s výměnou rolí ve filmu. Důsledkem jsou nyní vyšší nároky na herecké vystoupení (PCap). Umění pohybu se stalo velmi žádoucím. Zobrazuje originálního přístup herců k rolím, kdy je žádoucí doslovné převtělení v daný charakter.

10 Terminologický slovník

MoCap -Proces nahrávání pohybu skutečného objektu a převedení na digitální

PCap – Proces záznamu vystoupení herce s mimikou a hlasem

3D – Trojrozměrné

2D – Dvourozměrné

Vertex – Jedná se o bod v 3D prostoru, který v případě jíce vertexů vytváří obrazce

FACS – Soubor pohybů obličejových svalů, které odpovídají zobrazené emoci

TrueDepth – kamera, která vytváří hloubkovou mapu tváře

Armatura – Mechanická loutka, která je spojena s počítačem a je využívána k animaci.

CGI – Obraz generovaný počítačem

Rigging – Proces vytváření kosterních struktur v modelu

Topology – Geometrické tvary, které společně vytvoří geometrický obrazec.

Deepfake – Snímek, ve kterém je skutečná tvář subjektu nahrazena cílovou tváří

Lip-sync - Synchronizace rtů s adekvátním zvukem.

PCCR – Technika, která využívá reflexe rohovky a zornice

Blendshapes – Řada upravených modelů uvažovaného objektu se stejnou topologií

Pixel – Jeden barevně svítící bod na monitoru

Cutscene – Sekvence ve videohráčích, kdy hráč se aktivně nezapojí do děje

Plugin – Modul, který nepracuje samostatně

Software - Program

Retopologie – Proces převodu velmi detailního modelu na méně detailní

CCD kamera – Kamera citliví na světlo

AR Kit – Nadstavba pro vývojáře umožňující rychlejší vývoj aplikace

Markery – Značky, které jsou sledované systémy MoCap

11 Seznam Literatúry

- ANDY SERKIS. *IMDb* [online]. Dostupné z: <https://www.imdb.com/name/nm0785227/>
- BERGSTROM, J. R., SCHALL, A. Eye Tracking in User Experience Design [online]. 2014: Elsevier Science & Technology, Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=1651794>. ISBN 9780124167094.
- CARLSON, W. E. *Computer Graphics and Computer Animation: A Retrospective Overview* [online]. The Ohio State University, 2017. Dostupné z: <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/>.
- CONDITT, J. 100 years of motion-capture technology. *Engadget* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2018-05-25-motion-capture-history-video-vicon-siren.html> .
- DAVIDSON, J. A.; DEUTSCHER, J.; REID, I. D. *Markerless Motion Capture of Complex Full-Body Movement for Character Animation, University of Oxford*, 2001 s. 01. Dostupné z <https://media.adelaide.edu.au/acvt/Publications/2001/2001-Markerless%20Motion%20Capture%20of%20Complex%20Full-Body%20Movement%20for%20Character%20Animation.pdf> .
- EPIC GAMES A first look at Unreal Engine 5. *Unreal Engine* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/a-first-look-at-unreal-engine-5>
- Eye tracking. Wikipedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking .
- FARINHOLT, L. The Polar Express and the Era of Motion Capture. *The Byrd Theatre* [online]. 2019. Dostupné z: <https://byrdtheatre.org/news/2019/12/the-polar-express-and-the-era-of-motion-capture/> .
- FARNSWORTH, B. Facial Action Coding System (FACS) – A Visual Guidebook. *iMotions* [online]. 2019. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/facial-action-coding-system/>
- FARNSWORTH, B. What is Eye Tracking and How Does it Work?, 2019. iMotions. Dostupné z: <https://imotions.com/blog/eye-tracking-work/> .
- FISCHER, R. The History and Current State of motion capture. [online]. s. 1. Dostupné z: <http://www.motioncapturesociety.com/resources/industry-history> .
- From Motion Capture to Performance Capture – Sampling Movement in the Real World into the Digital Space, 2016. Digital Worlds – Distorted Reality. Dostupné z: <https://digitalworlds.wordpress.com/2016/09/07/from-motion-capture-to-performance-capture-sampling-movement-in-the-real-world-into-the-digital-space/> .
- HRUBOŠ, P. MOTION CAPTURE - VÝVOJ A VLIV. *PifPaf* [online]. 2009. Dostupné z: <http://www.pifpaf.cz/cs/motion-capture-vyvoj-a-vliv> .
- Informace o vyspělé technologii Face ID. *APPLE* [online]. 2020. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT208108> .

JUNGSUNG, Ch. Research on Animation Lip synchronization technology, 2013. Dostupné z: http://adada.info/journals/no1703_01.pdf .

KITAGAWA, M., WINDSOR, B. *MoCap for Artists : Workflow and Techniques for Motion Capture* [online]. CRC Press LLC, 2008 Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/detail.action?docID=343614>. ISBN 9780080877945.

KLÍMA, M. Technologie performance capture. *25Fps* [online]. 2009. Dostupné z: <http://25fps.cz/2009/technologie-performance-capture/#sdfootnote2sym> .

Learn everything you need to know about MocapX. MocapX. Dostupné z: <https://www.mocapx.com/learn/> .

LEE, Ch. Andy Serkis on His Most Groundbreaking Motion-Capture Performances. *VULTURE* [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.vulture.com/2018/12/andy-serkis-on-his-breakthrough-motion-capture-performances.html>

LI, Y.; LYU, S. Exposing DeepFake Videos By Detecting Face Warping Artifacts, 2018. ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328736629_Exposing_DeepFake_Videos_By_Detecting_Face_Warping_Artifacts .

MAHMUD, B. U.; SHARMIN, A. Deep Insights of Deepfake Technology : A Review, 2020. ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/349310113_Deep_Insights_of_Deepfake_Technology_A_Review .

Medusa Facial Capture System. Disney Reserach. Dostupné z: www.studios.disneyresearch.com/medusa/

MENACHE, A. *UNDERSTANDING MOTION CAPTURE FOR COMPUTER ANIMATION — SECOND EDITION*. 2011th ed. Elsevier, 2011, ISBN 978-0-12-381496-8.

Motion capture. *Wikipedia* [online]. s. 1–1 . Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture .

MOU, T. Y. Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation, 2018. ResearchGate. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328490280_Keyframe_or_Motion_Capture_Reflections_on_Education_of_Character_Animation .

OLIVA, P. *Motion capture a jeho využití v indie herním průmyslu: BP*. Vysoká škola Kreativní Komunikace, 2020.

Optical vs. Inertial Motion Capture. *Gearssports* [online]. s. 1–1. Dostupné z: <https://www.gearssports.com/optical-vs-inertial-motion-capture/>

PARENT, R. *Computer Animation : Algorithms and Techniques* [online]. 2012th ed. Elsevier Science & Technology, 2012 s. 371. ISBN 9780124159730. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/mendelu-ebooks/reader.action?docID=1016497&ppg=336>.

PARENT, R.; KING, S.; FUJIMURA, O. Issues with lip sync animation: can you read my lips?. IEEEXplore. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1017500> , ISBN:0-7695-1594-0.

SCIENCE & TECH SPOTLIGHT: DEEPFAKES, 2020. Gao. Dostupné z: <https://www.gao.gov/assets/gao-20-379sp.pdf> .

SHEARER, J. *Persuasive Interactive Non-Verbal Behaviour in Embodied Conversational Agents: DP*. Newcastle University, 2008. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/29176189.pdf>

STRACHOŇOVÁ, H. *Technologie motion capture a její využití v umění a populární kultuře: BP*. MASARYKOVA UNIVERZITA, 2015, Dostupné z: https://is.muni.cz/th/z7quq/Technologie_motion_capture_a_jeji_vyuziti_v_umeni_a_popularni_kulture.pdf

VILLAGRASA, S.; SUSIN, A. FACe! 3D Facial Animation System based on FACS, 2009. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/>. <https://core.ac.uk/download/pdf/41758972.pdf> .

VINKLER, M. *Snímání a rekonstrukce pohybu postavy. BP*, MASARYKOVA UNIVERZITA, 2009, Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/n4i18/>

Vlastnosti systémů pro snímání pohybu. *WikiSkripta* [online]. 2009. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Motion_Capture .

VOLNÁ, E.; KORYTBA, M.; JARUŠEK, R. *Acoustic signal processing via neural network towards motion capture systems*, www.semanticscholar.org. 2013, dostupné z: <http://world-comp-proceedings.com/proc/p2013/IPC7173.pdf>

12 Seznam obrázků

- [1] Zoopraxiskop [foto]. [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zoopraxiskop>
- [2] Marge Champion as live-action reference model for "Snow White" [foto]. [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <https://imgur.com/gallery/IZkSR>
- [3] Article in Audio-Visual Communications magazine discusses ANIMAC *motion capture* [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://ohiostate.pressbooks.pub/graphicshistory/chapter/12-2-animac-scanimate/>
- [4] The sexy robot from the Brilliance (1985) TV commercial produced by Robert Abel Associates [foto]. [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <https://www.skwigly.co.uk/cg-book-reviews-moving-innovation-a-history-of-computer-animation-the-cg-story-computer-generated-animation-and-special-effects/>
- [5] (Left) Actor Andy Serkis performs in a motion capture suit, animating the CG character Gollum (right) [foto]. [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <http://blog.castac.org/2019/03/out-of-body-workspaces-andy-serkis-and-motion-capture-technologies/>
- [6] *The researchers developed their new motion capture tech by first training it on a range of dogs wearing motion capture suits* [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://newatlas.com/computers/motion-capture-animals-no-suit-single-camera/>
- [7] *Actor wearing suit adjusted for optical motion capture on the left. Virtual model obtained using marker position data on the right* [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Actor-wearing-suit-adjusted-for-optical-motion-capture-on-the-left-Virtual-model_fig1_283152771
- [8] From left to right and top to bottom: Optical [© (Phasespace 2005)], magnetic [© (Ascension 2004)], mechanical [© (DoMotion 2004)] and inertial [© (XSens 2007)] marker-based motion capture systems. [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/From-left-to-right-and-top-to-bottom-Optical-C-Phasespace-2005-magnetic-C_fig1_45222614
- [9] *Tyrannosaurus rex* Dinosaur Input Device for *Jurassic Park* (1993). Photos by Joshua White/JW Pictures [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://www.academymuseum.org/en/collection/collection-highlights/jurassic-park-dinosaur-input-device>
- [10] Xsens MVN Animate [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <http://en.souvr.com/Item/1.aspx>
- [11] Muscle anatomy of the face and neck Face anatomy, Facial anatomy, Aesthetic medicine [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://line.17qq.com/articles/kwmwknky_p6.html

- [12] FACS Action Units Exercise [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://www.artstation.com/artwork/23z9e>
- [13] Medusa performance capture systém [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://www.ibt.org/interviews/derek-bradley-facing-the-future-of-motion-capture/880.article>
- [14] Blendshape in Autodesk Maya. The centre is the target blendshape animation, while around him are forming weights in expression variation. [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Blendshape-in-Autodesk-Maya-The-centre-is-the-target-blendshape-animation-while-around_fig5_320472350
- [15] Andrew Beall [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://www.worldviz.com/post/is-now-the-time-to-buy-a-vr-headset-with-built-in-eye-tracking>
- [16] Edwin Blake [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/The-Preston-Blair-phoneme-series-Each-visual-representation-viseme-represents-one-or_fig1_215721080
- [17] Deepfake [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://itigic.com/cs/what-is-deepfake-why-dangerous/>
- [18] MocapX [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <https://www.mocapx.com/>
- [19] The corresponding relationship between creativity and character animation design [foto]. [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/4153541_Keyframe_animation_and_motion_capture_for_creating_animation_a_survey_and_perception_from_industry_people