

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Pavel Bakovský



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky**

Zpracování výrazů obličeje českého znakového jazyka

Processing of facial expressions in Czech sign language

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Multimediální technika

Vedoucí práce: Ing. Martin Bernas, CSc.

Pavel Bakovský

Praha 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze, 23. 5. 2014

.....

Pavel Bakovský

Poděkování

Děkuji panu Ing. Martinovi Bernasovi, CSc., vedoucímu bakalářské práce, za trpělivost a cenné rady, jimiž mi ochotně pomáhat během vypracování bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Petrovi Zatloukalovi za jeho pomoc při snímání a zpracovávání dat v programu Vicon Nexus a cenné rady a pomoc poskytovaných během práce. Také děkuji Fakultě biomedicínského inženýrství, konkrétně pak panu Ing. Zoltánovi Szabó, Ph.D a Mgr. Radimovi Krupičkovi, Ph.D. za poskytnutí prostor, optického systému pro sledování pohybu a za cenné rady poskytované při práci s tímto systémem. A v neposlední řadě děkuji Milanovi Fritzovi, neslyšícímu, který nám byl modelem a pomáhal nám při snímání, dále také lidem z Filozofické fakulty za poskytnutí rad a pomoci při výběru vhodných znaků ke snímání a poskytnutí materiálů týkajících se českého znakového jazyka. Mé poděkování patří i dalším lidem, kteří zde nebyli vyjmenováni, avšak jejich pomoc mi byla velmi užitečná.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra radioelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Pavel Bakovský**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Zpracování výrazů obličeje českého znakového jazyka**

Pokyny pro vypracování:

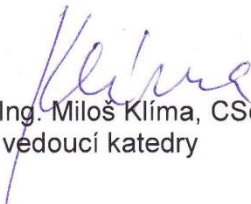
Prostudujte charakter nemanuální složky českého znakového jazyka. Zaznamenejte kamerou a systémem pro sledování pohybu základní expresivní výrazy obličeje. Použijte různý počet markerů pro animaci počítačového modelu obličeje tlumočníka a výsledky experimentálně vyhodnoťte.

Seznam odborné literatury:


Kitagawa, M.; Winsdor, B.: MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture. Focal Press 2008 Elsevier.

Vedoucí: Ing. Martin Bernas, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


Prof. Ing. Miloš Klíma, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 10. 2. 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou nemanuální složky českého znakového jazyka. Snímání této komponenty českého znakového jazyka je provedeno pomocí optického systému pro sledování pohybu Vicon Nexus, ve kterém jsou data rovněž zrekonstruována. Animace lidské hlavy (resp. obličeje) pomocí získaných dat je provedena v prostředí programu MotionBuilder od firmy Autodesk. Součástí práce je také zkoumání závislosti kvality animace na počtu použitých markerů.

Klíčová slova: znakový jazyk, nemanuální složka, animace lidského obličeje, systém pro snímání pohybu, MPEG-4 standard

Abstract

This bachelor's thesis deals with the non-manual component of the Czech sign language. The scanning of the Czech sign language component is conducted with an optical system to study the Vicon Nexus movement, in which simultaneously data are being constructed. The animation of the human head (face) is reconstructed from the received data in MotionBuilder – Autodesk. The thesis is enriched with the testing of the quality of the animation compared to the amount of used markers.

Key words: sign language, non-manual component, human face animation, motion capture systems, MPEG-4 standard

Obsah

Obsah.....	7
1. Úvod	8
2. Znakový jazyk a jeho notace.....	9
2.1. Co je znakový jazyk?	9
2.2. Český znakový jazyk.....	10
2.3. Notace manuální i nemanuální složky českého znakového jazyka.....	11
3. 3D modely lidské postavy.....	16
3.1. Web3D H-Anim Standard	16
3.2. MPEG-4 Standard	18
3.3. AFX nastavba k MPEG-4.....	21
3.1. Model firmy Autodesk	22
4. Systémy pro sledování pohybu	23
4.1. Co jsou systémy pro sledování pohybu (motion capture systems)?	23
4.2. Typy systémů motion capture.....	24
5. Animace obličeje pomocí pohybových dat.....	29
5.1. Snímání nemanuální složky znakového jazyka	29
5.2. Rekonstrukce dat.....	34
5.3. Export a následná animace modelu.....	38
6. Závěr	40
7. Seznam použité literatury a zdrojů informací	41
8. Přílohy.....	44
8.1. Varianty použití markerů při testování na modelu v MotionBuilder	44
8.2. Statistika testovaných sekvencí.....	49
8.3. Obsah přiloženého CD disku	49

1. Úvod

V současné době se ve vyspělých zemích stále více prosazuje snaha zjednodušit handicapovaným osobám začlenění do běžného společenského života. V České republice žije přibližně 10 000 neslyšících spoluobčanů, jejichž mateřským jazykem je český znakový jazyk. Pro tuto komunitu je obtížné se bez tlumočnicka domluvit na úřadech či obchodech, nebo jen sledovat televizní vysílání.

Do budoucnosti by jim zde měl pomoci animovaný tlumočnick, k jehož vývoji má tato bakalářská práce alespoň trochu přispět. Bakalářská práce je věnována snímání nemanuální složky českého znakového jazyka a využití nasnímaných dat na rozpohybování obličeje tak, aby výsledný animovaný obraz byl co nejpřirozenější. Jelikož se některé znaky liší v drobné změně nemanuální složky, je třeba, aby interpretované pohyby byly co nejméně zkreslené a tedy co nejvíce rozeznatelné.

2. Znakový jazyk a jeho notace

2.1. Co je znakový jazyk?

Znakový jazyk je komunikační systém vytvořený z vizuálně-pohybových součástí a liší se tak od mluveného jazyka, který je „audio-orální“. Tento komunikační systém slouží ke komunikaci mezi neslyšícími či mezi neslyšícím a slyšícím, a je vnímán zrakem. V současné době sice neexistuje jednotná forma znakového jazyka pro všechny národy na světě a tak má každý národ svůj vlastní znakový jazyk, který se od ostatních národních znakových jazyků odlišuje. I přesto ale mají tyto národní jazyky některé společné rysy.

Základní jednotkou každého znakového jazyka je znak. Veškeré tyto znaky se provádějí (resp. znakuji) ve vymezeném prostoru (tzv. znakovací prostor), který je určen temenem hlavy nahoře, linií vedenou pod žaludkem dole a rozpaženými lokty po stranách. Každý tento znak je složen ze dvou komponent – manuální složky a nemanuální složky.

Manuální složka znaku

Manuální složka znaku je vyjádřena tvarem ruky/rukou, jejich postavením vůči sobě a také jejich pohyby.

Nemanuální složka znaku

Nemanuální složka znaku nese gramatický význam daného znaku. Velmi často se stává, že manuální složka dvou znaků různého gramatického významu je shodná a tento význam se rozlišuje pouze podle nemanuální složky. Mezi nemanuální složku se řadí mimika obličeje, gestikulace, poloha a pohyby hlavy a horní části trupu a rovněž poloha těla.

2.2. Český znakový jazyk

V České republice je používán český znakový jazyk, který je definován zákonem o komunikačních systémech neslyšících a hluchoslepých osob takto: „Český znakový jazyk je základním komunikačním systémem těch neslyšících osob v České republice, které jej samy považují za hlavní formu své komunikace. Český znakový jazyk je přirozený a plnohodnotný komunikační systém tvořený specifickými vizuálně-pohybovými prostředky, tj. tvary rukou, jejich postavením a pohyby, mimikou, pozicemi hlavy a horní části trupu. Český znakový jazyk má základní atributy jazyka, tj. znakovost, systémovost, dvojí členění, produktivnost, svébytnost a historický rozměr, a je ustálen po stránce lexikální i gramatické.“ (Zákon o komunikačních systémech neslyšících a hluchoslepých osob, č. 155/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů 384/2008 Sb. a 423/2008 Sb.) Poprvé se český znakový jazyk objevil pravděpodobně v roce 1786, kdy vznikala první česká škola pro neslyšící. Ani český znakový jazyk však nemá v celé České republice jednotný systém, některé znaky se tak v různých oblastech země liší, stejně jako je tomu u různých nářečí. I přesto jsou ale neslyšící schopni se díky velké podobnosti jednotlivých mutací českého znakového jazyka dorozumět.

Autorky P. Slánská Bímová, L. Okrouhlíková uvádějí ve své publikaci z roku 2008 následující základní rysy českého znakového jazyka:

- Český znakový jazyk není soustavou gest a pantomim, velký rozdíl je například v tom, že v pantomimě není vymezen tzv. „znakovací prostor“, znakový jazyk má také další pravidla, kterými se řídí
- Český znakový jazyk není čeština převedená do znaků. Ve znakované češtině jsou ukazovány jednotlivé znaky z českého jazyka, přičemž může být i bezhlasně artikulována.
- Český znakový jazyk je přirozený systém, což znamená, že stejně jako v českém mluveném jazyce existují nářečí a kromě toho se mohou znakované symboly lišit podle věku znakovajícího, pohlaví znakovajícího či podle toho, zda je znakovající rodilý mluvčí nebo se znakový jazyk učil později.
- Český znakový jazyk je na rozdíl od češtiny simultánní, což znamená, že je možné provádět několik jednotek znakového jazyka ve shodném čase a je ikonický – tedy existuje podobnost mezi nosičem a objektem.

2.3. Notace manuální i nemanuální složky českého znakového jazyka

V současné době neexistuje metoda notace českého znakového jazyka, avšak využívá se jiných notačních systémů. Každý notační systém rozlišuje jednotlivé součásti nemanuální složky trochu odlišně. V této práci uvedu čtyři základní notační systémy, se kterými se můžeme nejčastěji setkat a které se velmi hojně užívají. Notační systém je důležitý také při snímání nemanuální složky, neboť nám udává, na které věci se máme zaměřovat a jak máme jednotlivé části vnímat.

Stokoeho notační systém

Ze Stokoeho notačního systému vychází všechny další notační systémy, kterými se v této práci zabývám. Tento notační systém vznikl již v roce 1960 a byl představen americkým lingvistou Williamem Stokoem ve studii *Sign Language Structure*, ve které dokázal, že každý znak je nositelem významu a je srovnatelný se slovem v mluveném jazyce. Rovněž dokázal, že každý znak je možné rozdělit na jednotky, které jsou schopny rozlišit význam:

1. místo artiklace, tedy místo, kde je znak artikulován (značeno „TAB“)
2. tvar ruky, která artikuluje/tvary rukou, které artikulují (značeno „DEZ“)
3. pohyb ruky/pohyby rukou (značeno „SIG“)

Všechny tyto tři jednotky (komponenty) jsou vykonávány ve shodném čase a nelze je od sebe časově oddělit. Především se však zaznamenává manuální složky znakového jazyka.

Zápis komponent pak vypadá takto:

TAB DEZ^{SIG}

(příklad zápisu znaku, kdy je aktivní pouze jedna ruka)

Tyto komponenty mají v každém znakovém jazyce přesně danou podobu a je jich určitý počet. Stokoeho notační systém obsahoval 12 symbolů pro TAB, 19 symbolů pro DEZ a 24 symbolů pro SIG.

Později byly k těmto komponentám přidány ještě další 3 komponenty, a to:

- Kontakt (CON)
- Orientace dlaně a prstů (OR1, OR2)
- Vzájemná poloha rukou (HA)

I přesto, že již v této době byla zmíněna důležitá funkce mimiky a pohybů hlavy a těla (a tedy nemanuální složky znakového jazyka), nebyla jim věnována dostatečná pozornost a výzkumy v této oblasti byly zaměřeny především na manuální složku. Tento systém tedy nedefinuje zápis složky nemanuální.

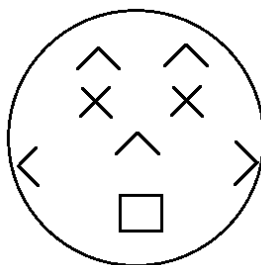
Edinburský nemanuální notační systém (ENCS)

Edinburský nemanuální notační systém slouží k zaznamenávání nemanuální složky znakového jazyka. Byl vytvořen v roce 1982 britským výzkumným týmem, jehož členy byli Martin D. Collville, Maureen Denmarková, Clive Mason, Clark Denmark a Mary Brennanová. Poprvé se začínala podrobněji zkoumat nemanuální složka znakového jazyka, která byla do té doby považována za pouhé vyjádření emocí.

Bylo zjištěno, že nemanuální část znaku může fungovat na dvou základních úrovních:

1. na úrovni jednotlivých znaků jako povinná součást znaku či jako výběrový modifikátor významu znaku
2. na úrovni celých vět, kdy vyjadřuje negaci, otázku, rozkaz, zdůraznění tématu či výměnu rolí apod.

ENCS vychází především se Stokoeho notačního systému (z něhož převzal symboly) a ze SignWrittingu (z něhož převzal formu zápisu). V ENCS je obličej reprezentován kruhem, do něhož se zakreslují jednotlivé symboly. Systém je velmi snadný k naučení, pokud již člověk ovládá Stokoeho notační systém, neboť jako takový obsahuje velmi malé množství symbolů a pozic. Později přibyl pouze jeden nový symbol, byla změněna orientace jednoho symbolu a význam některých symbolů byl pozměněn, jinak však tento notační systém zůstává stejný.



Obrázek 1: Zápis znaku v ENCS; Obočí nahoru, zavřené oči, nos nahoru, nafouknuté tváře, otevřená ústa

V Tab. 1 jsou uvedeny symboly užívané v ENCS a také jejich význam:

Tabulka 1: Symboly užívané v ENCS (Zdroj: [1])

^	Nahoru	□	otevřený	stav nebo finální pozice
∨	dolů	×	zavřený	
~	nahoru a dolů	=	zúžený	
>	vpravo	÷	otevírání	proces (pohyb)
<	vlevo	#	zavírání	
↘	ze strany na stranu	⋈	zuzování	
⌈	dopředu	ω	kroucení	
⌋	dozadu	η	kývání	
I	dopředu a dozadu	‡	vzadu	

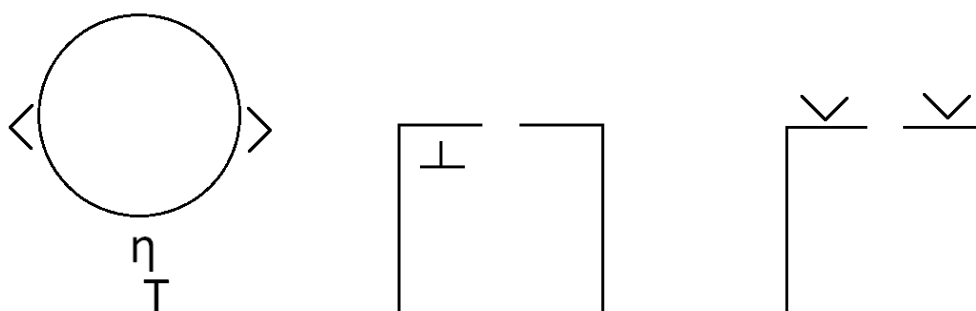
Pro zpřesnění je pak možné přidat ještě dodatkové symboly (viz Tab. 2)

Tabulka 2: Dodatkové symboly užívané v ENCS (Zdroj: [1])

•	tečka nad symbolem značí rychlý pohyb
◦	kroužek nad symbolem značí krátký pohyb
•	tečka za symbolem značí, že pohyb se jednou opakuje
••	dvě tečky za symbolem značí, že pohyb je opakován vícekrát

Manuální část znaku zapíšeme dle Stokoeho notačního systému a nad ni umístíme kruh znázorňující obličej se zapsanou nemanuální složkou. Tato notace však neumožňuje zaznamenat mluvní či orální komponenty a je proto třeba připojit speciální poznámku.

Kombinace symbolů bývá nejčastěji na pozici úst, některé kombinace symbolů jsou však redundantní a proto se nepoužívají. Co je zapsáno vpravo, to je vpravo i při produkci. To znamená, že symboly jsou zapisovány z pohledu reproduktora.



Obrázek 2: Zápis značky blízko kruhu (vyjádření pohybu na pozici tváří a krku), uvnitř symbolů pro trup a ramena a vně symbolů pro trup a ramena

Hamburský notační systém

Systém byl vytvořen roku 1987 německým výzkumníkem Siegmundem Prilwitzem a jeho týmem. Je to mezinárodní transkripční systém, založený na principech Stokoeho notačního systému, kladl si však za cíl stát se mezinárodním notačním systémem. V současnosti se již používá verze 2.0, 3.0 a 4.0 a je spolu se Stokoeho notačním systémem ve světě nejvyužívanějším notačním systémem. HamNoSys je koncipován tak, aby mohl být použit pro jakýkoliv mezinárodní znakový jazyk a je snaha o to, aby užívané symboly byly co nejvíce transparentní a ikonické tak, aby vztah mezi nimi a tím, co zastupují, byl co nejzřetelnější.

Nemanuální složka je složena ze dvou částí:

- * pohybů hlavy a horní části těla
- * mimiky

Bohužel však systém zápisu nemanuálních komponentů není dostatečně rozpracován. Jiné pohyby než pohyby rukou jsou zapisovány pomocí symbolů pro místo artikulace (tedy která část se hýbe) a symbolu pro pohyb (jakým způsobem se hýbe).

SignWriting

Notační systém, který vznikl v Dánsku v roce 1974. Jeho základem se stal systém pro zápis baletního tance, který o rok dříve vydala Valerie Suttonová. Na žádost Larse von der Lietha a jeho týmu pak vytvořila systém pro zápis znakového jazyka. Na rozdíl od ostatních systémů je reprezentován jako přímo psaná podoba znakového jazyka. V tomto systému se zakreslujeme jednotlivé součásti znaku (manuální i nemanuální součást) do obrázků, které symbolizují jednotlivé části těla. Symboly jsou zakreslovány z pohledu produktora.

Výhodou tohoto systému je především to, že najednou zapisujeme jak manuální, tak také nemanuální složku, a jeho symboly jsou ikonické a lze je navzájem odvodit.

Nemanuální složka je zapisována do kruhu, který znázorňuje obličej a následně:

a) obočí - dvě vodorovné čáry, které mohou zaujímat různou pozici kopírující skutečnou pozici obočí

b) oči - symboly pro oči znázorňují to, jakým způsobem jsou otevřeny či zavřeny

c) směr pohledu - rozlišujeme dva typy směru: směr pohledu vertikální (paralelní se stěnami) označujeme:

- jednoduchou šipkou s dvojitou základnou, směr pohledu horizontální označujeme
- jednoduchou šipkou s jednoduchou základnou

d) tváře - symboly pro pohyby tváří zapisujeme po stranách kruhu znázorňujícího hlavu

e) proud vzduchu

f) nos

g) mluvní komponent - pohyby úst odvozené z mluveného jazyka

h) orální komponent - pohyby úst neodvozené z mluveného jazyka

i) emoce - pokud chceme zapsat silnou emociální reakci, olemujeme kruh zubatou čarou

j) pohyby hlavy - dva typy pohybů

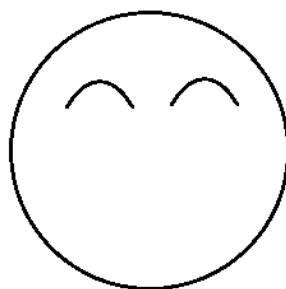
1. vertikální, jednoduchá šipka s dvojitou základnou

2. horizontální, jednoduchá šipka s jednoduchou základnou

- směr šipky ukazuje směr pohybu nosu



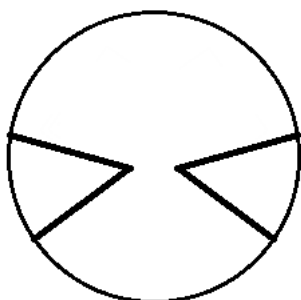
a) Obočí (vytažené nahoru)



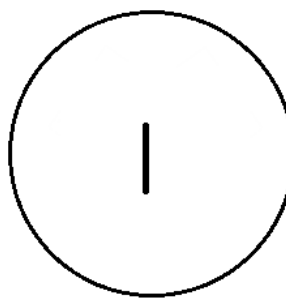
b) oči (otevřené)



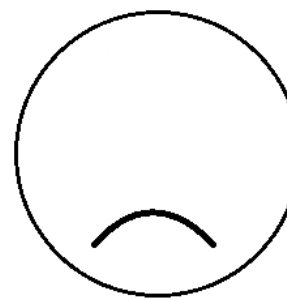
c) směr pohledu (nahoru doprava)



d) tváře (vcucnuté)



e) nos (neutrální)



f) emoce (negativní)

Obrázek 3: Zobrazení některých nemanuálních složek v systému SignWriting

3. 3D modely lidské postavy

3D model lidské postavy, z něhož ve své práci využívám pro analýzu a následnou animaci především obličej a ruce, je definován v několika standardech. V této práci zmíním alespoň některé z těchto standardů.

3.1. Web3D H-Anim Standard

S vývojem 3D grafiky v posledních desetiletích se začala objevovat potřeba softwaru, který by byl schopný vytvořit a animovat 3D lidskou postavu. V tomto období se také začínají vyvíjet první systémy pro sledování pohybu lidské postavy. Bylo však třeba vytvořit jednotný standard, díky kterému by se mohla nasnímaná data z libovolného systému snadno přenést do jakéhokoliv softwaru pro modelování lidské postavy. V roce 1999 byl vytvořený skupinou Web3D H-anim první standard označovaný H-anim 1.0. Od té doby vznikly ještě další 2 standardy (H-anim 2.0 a H-anim 2001).

Postavy v H-Anim jsou popsány pomocí těchto objektů:

- Humanoid (jednotlivá H-anim postava).
- Klouby (pozice postavy, kde může dojít k artikulaci/pohybu).
- Segmenty (části postavy, které reprezentují její geometrii a vzhled).
- Umístění (umístění zájmu v rámci postavy).
- Displacer (specifikace omezení pohybu postavy).

Humanoid – Hlavní část postavy, který poskytuje pracovní rámec pro ostatní části postavy.

Geometrie, která specifikuje tělo postavy, může být popsána dvěma různými způsoby:

- Kosterní (tato metoda popisuje tělo jako separované geometrické části)
- Kožní (tato metoda popisuje tělo jako jeden geometrický objekt)

Klouby – Kloubový objekt je používán jako stavební kámen pro popis artikulace/pohybu postavy. Každá artikulace postavy humanoidu je reprezentována pomocí kloubového objektu. Tyto objekty jsou organizovány do hierarchie, která přiřazuje vztah rodič-dítě všech kloubových objektů kostry.

Segmenty – Každá část těla (například předloktí, lýtko apod.) lidské postavy je reprezentována pomocí segmentu. Tyto segmenty jsou organizovány v kloubových objektech kosterní hierarchie.

Umístění – Objekt umístění může být použit pro tři různé účely:

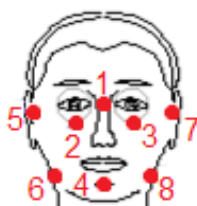
1. K definování lokace „koncového efektoru“, který může být použit inverzním kinematickým systémem
2. K definování přípevňovacího bodu pro příslušenství, jako jsou šperky nebo oblečení.
3. K definování lokace pro virtuální kameru v referenčním rámu segmentu (obdobně jako je pohled očima daného humanoida)

Obličej v H-Anim

Mnoho implementací humanoida využilo spojovaných obličejových struktur k simulaci obličejových výrazů. Samotná norma poté specifikuje 8 základních bodů v obličejí, které jsou potřebné pro popis obličejí.

Tabulka 3: Názvy a pozice funkčních bodů v H-Anim

Název funkčního bodu	Pozice
Sellion	1
Rt. Infraorbitale	2
Lt. Infraorbitale	3
Supramenton	4
Rt. Tragion	5
Rt. Gonion	6
Lt. Tragion	7
Lt. Gonion	8



Obrázek 4: Rozložení bodů v obličejí dle H-Anim

(Zdroj: <http://h-anim.org/Specifications/H-Anim1.1/appendices.html>)

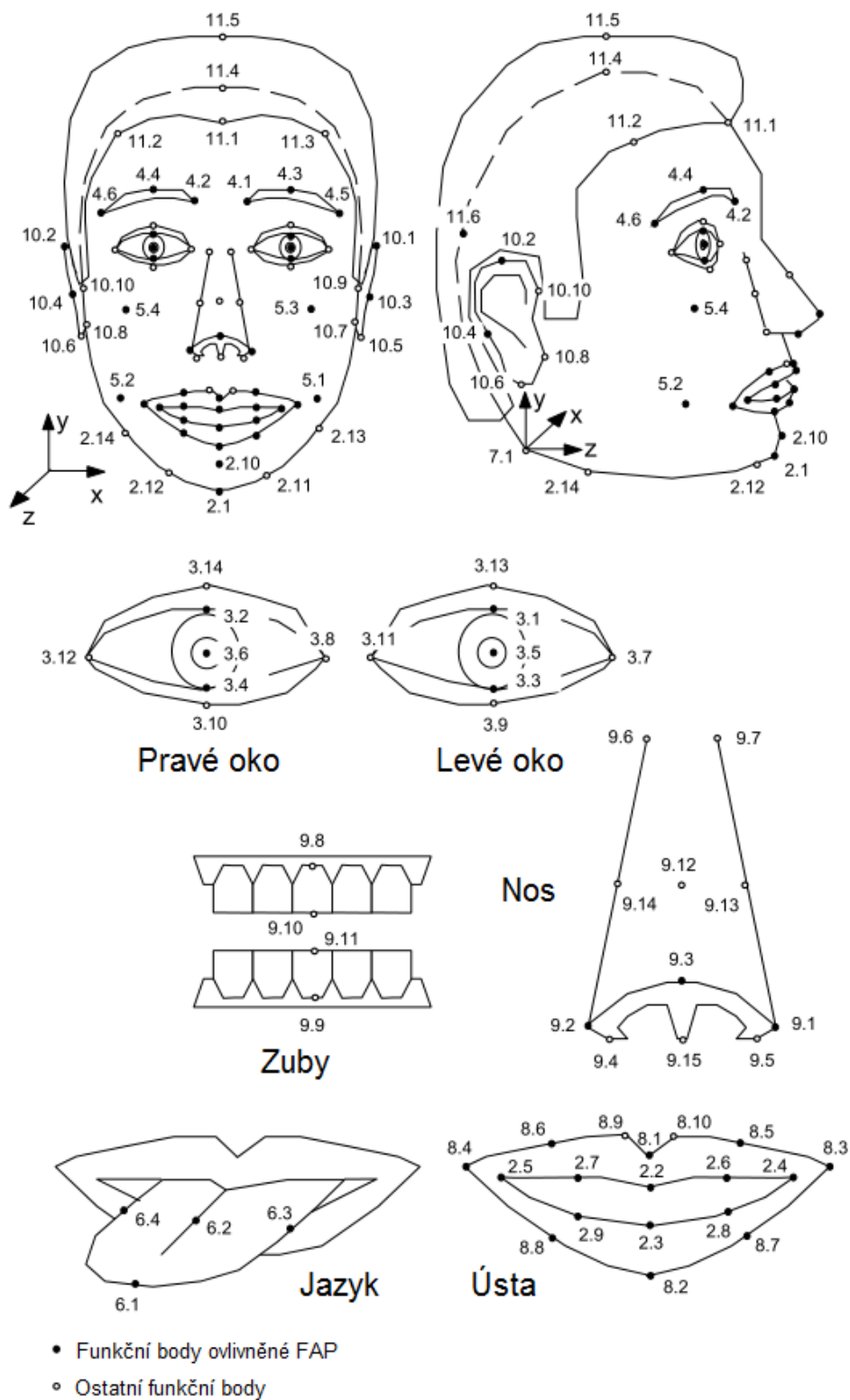
3.2. MPEG-4 Standard

MPEG neboli „Moving Picture Coding Experts Group“ byla založena v roce 1988 k vytvoření standardu pro přenos video a audio signálu.

Po vývoji standardu MPEG-1 a MPEG-2 byly v roce 1993 započaty práce na standardu MPEG-. MPEG-4 se věnuje především definici efektivního systému pro kódování Audio-vizuálních objektů (AVO) a to jak přírodních, tak také umělých.

Animací obličeje a těla se věnuje MPEG-4 Face and Body Animation (MPEG-4 FBA), který je součástí Mezinárodního standardu ISO14496. V tomto standardu jsou definovány tři různé skupiny parametrů:

1. FAP (Facial Animation Parameters) – tyto parametry jsou zodpovědné za popis pohybu obličeje, jak na nízké úrovni (posunutí jediného určitého bodu v obličejí) tak na vysoké úrovni (reprodukce výrazu obličeje). Celkem standard definuje 68 těchto parametrů. Dva (nízkoúrovňové) parametry, které specifikují visemes a výrazy a zbylých 66 (vysokoúrovňových) parametrů definuje posunutí a rotaci jednotlivých funkčních bodů umístěných na hlavě, jazyku, očích, puse a uších, z neutrální pozice obličeje (viz dále).
2. FDP (Facial Definition Parameters) – parametry zodpovědné za definování zobrazení obličeje. Tyto parametry mohou být použity buď pro úpravu (i když s různými úrovněmi věrnosti) tvaru a vzhledu obličejového modelu dostupného už na dekodéru, nebo k zakódování nezbytné informace k přenosu kompletního modelu společně s kritérii, která musí být aplikována k animaci. Tyto parametry definují vzdálenosti mezi důležitými místy v obličejí a reprezentují také strukturu obličeje. Jsou odpovědné také za přeměnu obecného obličeje do určité tváře – určitého tvaru a textury. FDP parametry jsou použity vždy pouze tehdy, když je spuštěna nová relace.



Obrázek 5: Zobrazení funkčních bodů ovlivněných FAP a ostatních funkčních bodů ve standardu MPEG-4

(Zdroj: http://www.visagetechologies.com/uploads/2012/08/mpeg-4_fba.png)

Neutrální obličej

Základem pro animaci a kalibraci obličeje je „Neutrální obličej“. Každý model dostupný v dekodéru musí být v neutrální pozici a všechny FDP parametry používané pro kalibraci jsou nastaveny na neutrální obličej.

Neutrální obličej je definován takto:

- Souřadnicový systém je pravotočivý.
- Osa hlavy je paralelně k sobě země.
- Všechny obličejové svaly jsou uvolněné.
- Oční víčka jsou tečně k duhovce.
- Průměr zornice je 1/3 průměru duhovky.
- Rty se dotýkají, linie rtů je horizontální a ve stejné výšce jako koutky úst.
- Jazyk je plochý, vodorovný se špičkou jazyka, dotýká se hranice mezi horními a spodními zuby.

FAP skupiny

V následující tabulce je seznam skupin FAP a také odpovídající počet parametrů, které jsou pro tuto skupinu definovány.

Tabulka 4: Skupiny a počet FAP v MPEG-4

Skupina	Počet FAP
1: výrazy	2
2: čelisti, brada, vnitřní spodní ret, koutky úst, střed rtů	16
3: oční bulvy, víčka, pupila	12
4: obočí	8
5: tváře	4
6: jazyk	5
7: rotace hlavy	3
8: pozice vnějšího rtu	10
9: nos	4
10: uši	4

Šablony deformace úst a očí

Tyto šablony deformace označené T_{eye} a T_{mouth} jsou přizpůsobeny na oči a ústa. Geometrie těchto šablon je navržena v souladu s novým MPEG-4, verze 1, mezinárodního standardu, který již poskytuje kompletní a normalizovaný popis tváře a obličejových částí.

3.3. AFX nástavba k MPEG-4

Nový „Humanoid Animation Framework“ (Framework animace humanoida) definovaný standardem MPEG-4 SNHC (Preda, 2002) je definován jako biomechanický model v AFX (Animation Framework eXtension) a je založený na neohebné kostře. Kostra je složena z kostí, což jsou neohebné objekty, které mohou být transformované (mohou rotovat kolem specifického kloubu), ale nedeformovatelné. Dále je zde definovaný model kůže, který je připojený ke kostře a plynule následuje každý pohyb kostry.

Přesněji řečeno definuje model kůže, který zahrnuje specifikace svých statických a dynamických (animačních) vlastností. Z geometrického hlediska pohledu sestává model kůže z jednotlivých vrcholů spojených do indexované obličejové sady. Všechny tvary, které formují kůži, sdílejí stejný seznam vrcholů, čímž se zabrání vytváření spojů kůže během animace. Nicméně, každý aspekt kůže může obsahovat svojí vlastní sadu barev, textur a materiálových atributů.

Dynamické vlastnosti modelu kůže jsou definované pomocí kostry a jejích vlastností. Kostra je hierarchická struktura konstruované z kostí, přičemž každá z nich má vliv na vzhled povrchu kůže. Když se změní orientace nebo poloha kosti, jsou ovlivněny specifické vrcholy kůže. Pohybem kosti se změní seznam ovlivněných vrcholů danou kostí a hodnota zatížení. Faktor zatížení může být specifikován také explicitně pro každý vrchol nebo více kompaktně pomocí definování dvou ovlivněných oblastí (vnitřní a vnější) okolo kosti. Nová poloha každého vrcholu se vypočítá podle vlivu každé kosti s odpovídajícím váhovaným faktorem. BAP (Body Animation parameters) jsou poté aplikovány na klouby kostí a nová 3D pozice každého bodu v bezešvé síti je vypočítána jako váhovaná kombinace pohybů příbuzných kostí.

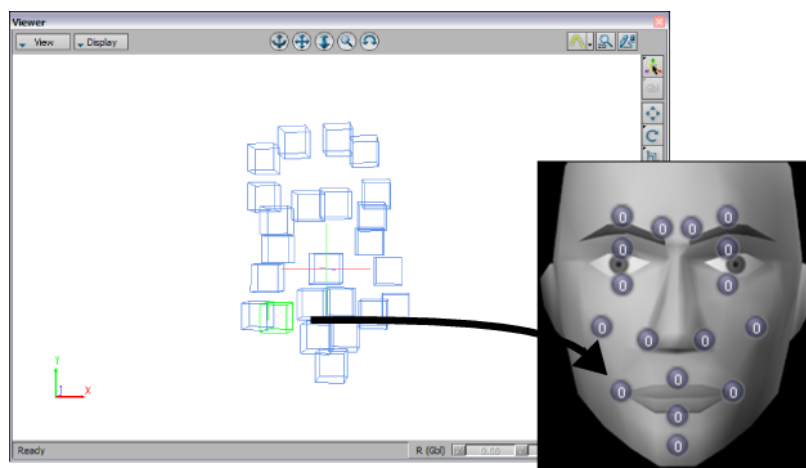
Definice modelu kůže může být obohacena o získaná data. Poté se mohou polohy kostí stanovit pouze pomocí tzv. end faktoru, např. pomocí 3D bodu na povrchu modelu kůže.

3.1. Model firmy Autodesk

Model obličej, resp. lidské hlavy, nabízí také samotný program MotionBuilder od firmy Autodesk. Ten na hlavě definuje celkem 17 markerů:

- 4 markery na obočí
- 4 markery na oči
- 2 markery na nos
- 2 markery na tváře
- 4 markery na ústa
- 1 marker na bradu

Tyto základní markery označují oblasti pohybu v obličej. Je však možné k animaci použít více markerů, které jsme získali snímáním člověka. Tyto markery, které máme navíc, můžeme přiřadit do oblasti, která je nejbližší definovanému markeru v obličej a který nejvíce ovlivňuje. Tím, že do markerů v modelu umístí další nasnímané markery, lze dosáhnout většího zpřesnění pohybu. Máme-li tedy například nasnímané 2 markery pro horní část rtu, je možné přidat oba tyto markery do modelu, což zaručí větší přesnost pohybu v této oblasti.



Obrázek 7: Ukázka nasnímaných markerů přiřazovaných do modelu v MotionBuilder
(Zdroj: http://download.autodesk.com/global/docs/motionbuilder2012/en_us/index.html?url=files/Actor_Face_asset_Creating_a_facial_Marker_set_.htm,topicNumber=d28e99913)

4. Systémy pro sledování pohybu

4.1. Co jsou systémy pro sledování pohybu (motion capture systems)?

V roce 1995 definují pojem „motion capture“ („mocap“) v článku „Motion Capture White Paper“ Scott Dyer, Jeff Martin a John Zulauf takto:

„Motion capture zahrnuje měření polohy a orientace objektů ve fyzickém prostoru a následné nahrání této informace do digitální podoby. Objekt zájmu zahrnuje lidská i nelidská těla, obličejové výrazy, pozice kamery nebo světla a další součásti scény.“

Jakmile jsou data nahrána do digitální podoby, mohou je animátoři použít ke kontrole objektů v počítačem generované scéně.

Motion capture může být dvojího typu:

1. **Real-time:** Zařízení pracující v reálném čase jsou schopna využít data interaktivně (s minimálním přenosovým zpožděním) k poskytnutí zpětné vazby o charakteru a kvalitě zachycených dat v reálném čase.)
2. **Non real-time:** Zařízení nepracující v reálném čase vyžadují následné zpracování dat, aby mohla být použita při animaci, nebo vyžadují grafický display či zachycují pouze data, která pouze informují o měřených objektech.

Rozdíl mezi syntetickou animací a animací pomocí motion capture je především v tom, že při syntetické animaci ovládá animátor (koncový uživatel) cesty a atributy prvků scény explicitně (například přes klíčové snímky) nebo pomocí numerických simulačních technik. Animace založená na motion capture používá nahrané pohyby k rozšíření procesu syntetické animace tím, že jí poskytuje základní informace o cestách k objektům, načasování nebo ovládacích prvcích.

Animace, která je založená čistě na motion capture používá zaznamenané polohy a orientace reálných objektů k vytvoření cest pomocí syntetických objektů v počítačově generované scéně. Nicméně vzhledem k tomu, že získaná data nejsou většinou dostatečně kvalitní, je animace velmi zřídka čistě na bázi motion capture.

4.2. Typy systémů motion capture

Mechanické systémy

Mechanické motion capture systémy přímo sledují úhly mezi klouby na tělech a často jsou označovány jako exo-skeleton systémy díky způsobu, jakým jsou senzory připevněny k tělu. Mohou však fungovat také na principu vychýlení gyroskopu, snímání akcelerometrů či na principu změny napětí/odporu při ohybu torza.

Osoba, jejíž pohyb snímáme, si na tělo připevní strukturu podobnou kostře, která je tvořená pevnými částmi (kovovými či plastovými) odpovídajícím jednotlivým končetinám, které jsou propojené s potenciometry, a tyto části jsou spojeny navzájem klouby. Jak se osoba pohybuje, pohybují se také mechanické části a měří se relativní pohyb dané osoby. Tyto systémy pracují v reálném čase, mají relativně nízké náklady a jsou bezdrátové (neupoutané) a mají neomezený objem snímání. Systémy se často používají v kombinaci s jiným typem systémů, především magnetickými či optoelektrickými.

Kromě toho se používají i mechanické systémy se zpětnou vazbou (tzv. heptikou). Díky heptice je tak možné snímat například u datových rukavic kromě silové zpětné vazby také navození pocitu doteku, rozeznání povrchové struktury dotekem či třeba snímání teploty.

Výhody: a) žádné rušení ze světelných nebo magnetických polí.

Nevýhody: a) technologie nebere v úvahu zem, není možné tedy snímat například skákání,

b) snímaná osoba je omezena v pohybu,

c) zařízení musí být často kalibrována,

d) pokud je na místě i jiný typ senzoru, systém neví, kterou cestou má snímat,

e) nejsou známy absolutní pozice, ale jsou vypočteny z rotací,

f) lze snímat pouze lidské tělo, nikoliv zvířata či předměty.

Magnetické systémy

Magnetické systémy se používají pouze tehdy, kdy není možné využít optické systémy například kvůli velkému světelnému rušení. Fungují na základě vypočítávání polohy a orientace pomocí relativního magnetického toku tří na sebe kolmých cívek, které jsou umístěny na vysílači i na každém přijímači. Senzory jsou umístěny na snímané osobě a jsou připojeny k řídicí jednotce, nejčastěji pomocí kabelů.

Magnetické pole generované cívkami může být buď alternující (AC systémy) či pulsující (DC systémy). Přijímač je v případě AC systému složen ze tří malých ortogonálních cívek, v případě DC systému je přijímač složen ze tří magnetometrů. Řídicí jednotka pak umí na základě měření napětí generovaného elektromagnetickou indukci v senzorech určit relativní pozici a orientaci přijímače vůči vysílači. Tato data jsou následně předána počítači k dalšímu zpracování.

Jelikož lidská tkáň ani kovové předměty nebrání v šíření elektromagnetického pole, nevzniká tu shodný problém jako u optických systémů a to problém se zakrytím některého senzoru – nedojde tu tak k přerušení sledování pozice a orientace daného objektu.

Výhody:

- a) poloha je absolutní, rotace jsou také měřeny absolutně a orientace v prostoru může být stanovena,
- b) je potřeba minimální kalibrace zařízení, neboť je vzdálenost i rotace měřena vzhledem ke zdroji (tedy k jedinému objektu),
- c) pracují v reálném čase, což umožňuje okamžité vysílání,
- d) jsou levnější než optické systémy.

Nevýhody:

- a) se zvýšením vzdálenosti dochází k magnetickému zkreslení,
- b) železné předměty v okolí způsobují rušení (například železo v betonu v podlahách),
- c) omezený prostor pro pohyb kvůli propojení sledované osoby pomocí kabelů ke zdroji,
- d) příliš malá frekvence vzorkování na většinu sportovních pohybů (frekvence se pohybuje mezi 30 až 60 Hz),
- e) maximální efektivní dosah těchto zařízení je podstatně menší, než maximální možný pro optické systémy.

Optické systémy

Optické systémy využívají ke zjištění pozice a orientace snímaného objektu kamery.

Kamery jsou u většiny těchto systémů umístěny ve fixních pozicích a snímaný objekt se pohybuje uvnitř prostoru pokrytého zorným úhlem všech kamer. Počet kamer není přesně dán, lze použít typicky od čtyř po desítky kamer (záleží na situaci či velikosti snímaného prostoru). Kamery jsou rozestavěny tak, aby každá zabírala snímaný objekt z jiné perspektivy. Výsledné souřadnice markerů se vypočítají triangulací jejich relativních poloh.

Markery (snímané značky) mohou být dvojího typu:

1. Aktivní

Nejčastěji se používají LED diody, které se připevní na snímaný objekt. Tyto markery jsou napájeny a vyzařují své vlastní světlo, ke snímání tak nejsou potřeba kamery, které vyzařují infračervené světlo. K určení relativní pozice těchto markerů se používá obdobný systém, který se používá také při navigaci podle hvězd.

2. Pasivní

Na snímaný objekt se připevní odrazové kuličky, tzv. retroflexivní markery, které mají většinou velikost v řádech milimetrů až centimetrů) a jsou pokryty odrazovou páskou z fólie poseté mikroskopickými skleněnými kuličkami. Polohu těchto bodů pak snímají červené nebo infračervené kamery. Funguje to tak, že od markeru se odrazí světlo z kamery a vrací se zpátky do zdroje, čímž se zjistí jeho poloha vůči kameře. Pro určení polohy markeru je třeba, aby byl v zorném poli nejméně dvou kamer.

Před každým snímáním je třeba provést kalibraci, během níž se určí přesná poloha a natočení každé kamery. Při snímání snímá každá z kamer obraz scény snímkovací frekvencí 30 až 2000 snímků za sekundu. V těchto obrazech je následně určena 2D pozice každého ze snímaných markerů a tyto souřadnice, které jsou různé pro každý obraz, jsou v kombinaci se znalostí přesného umístění dané kamery v prostoru použity k výpočtu 3D souřadnic snímaných bodů.

Jestliže kromě pozice chceme sledovat také rotaci, je třeba definovat rovinu v prostoru alespoň třemi body a z nich vytvořit skupinu značek, která je následně sledována jako celek.

Výhody:

- a) snímající osoba se může volně pohybovat, neboť k systému není připojena pomocí kabelů,
- b) je možné snímat větší množství objektů či postav,
- c) data jsou čistá bez šumu, jsou velmi detailní,
- d) vysoká frekvence snímání vhodná pro většinu sportovních pohybů (frekvence snímání se pohybuje mezi 120 a 250 Hz),
- e) v závislosti na použitém systému a požadované přesnosti může být snímaná oblast libovolně veliká.

Nevýhody:

- a) vysoká cena – tyto systémy jsou jedny z nejdražších,
- b) systém je velmi náchylný na světelné rušení,
- c) citlivé na odrazy (například od mokrých či lesklých povrchů), díky čemuž může být marker špatně vyhodnocený,
- d) snímané body mohou být zakryty snímanou osobou nebo nějakým předmětem a my tak ztratíme data o těchto bodech,
- e) rotace částí těla nejsou absolutní,
- f) snímaná osoba na sobě musí mít oblek s markery, případně musí mít markery připevněné na těle,
- g) informace musí projít postprocessingem či trackováním před tím, než je zobrazena,
- h) trackování trvá mnohem déle, než vlastní snímání,
- i) před každým snímáním je nutná kalibrace.

Triangulace

Optický systém pro sledování pohybu využívá pro výpočet souřadnic markerů v prostoru triangulaci. K získání těchto souřadnic je zapotřebí snímat každý tento marker minimálně dvěma kamerami, jelikož nám kamery poskytují pouze 2D obraz. S vyšším počtem kamer se zvyšuje přesnost výpočtu souřadnic a snižuje se chyba měření. V této teoretické části se budu zabývat pouze případem, kdy jsou pro výpočet použity dvě kamery, při použití více kamer je postup shodný, narůstá však počet rovnic.

Jestliže máme projekční souřadnice markeru v obrázku z kamery, lze tvrdit, že daný marker leží na dané epipolární přímce. Uvažujeme-li dvě kamery, máme tedy dvě přímky a tento marker musí ležet na každé z nich, z čehož vyplývá, že je třeba nalézt průsečík těchto dvou přímek v prostoru. S ohledem na šum a různé poruchy při získávání dat, se tyto přímky nikdy neprotnou a tak je třeba najít takové řešení, které bude minimalizovat chybu.

Vydeme-li z lineární triangulace, pak bude rovnice vypadat takto:

$$w(u, v, 1)^T = Px$$

Kde w je neznámý faktor měřítka, $(u, v, 1)^T$ jsou homogenní řešení souřadnice markeru v obraze, P je projekční matice a x jsou souřadnice v reálném prostoru. Pokud označíme j -tý řádek matice P jako P_j , získáme rovnice:

$$wu = P_1^T x, \quad wv = P_2^T x, \quad w = P_3^T x$$

Následně použijeme k eliminaci neznámé w třetí rovnici a získáme:

$$uP_3^T x = P_1^T x, \quad vP_3^T x = P_2^T x$$

Ze dvou kamer tedy získáme čtyři lineární rovnice, které můžeme psát ve tvaru $Ax = 0$ a které definují x . Zašuměná data však nemají přesné řešení a je tedy třeba nalézt co nejlepší možné řešení, například pomocí metody nejmenších čtverců. Jestliže neleží hledaný bod v nekonečnu, můžeme zavést $x = (x, y, z, 1)^T$ a tím získáme soustavu čtyř rovnic o třech neznámých. Pro určení řešení je pak možné využít metodu nejmenších čtverců.

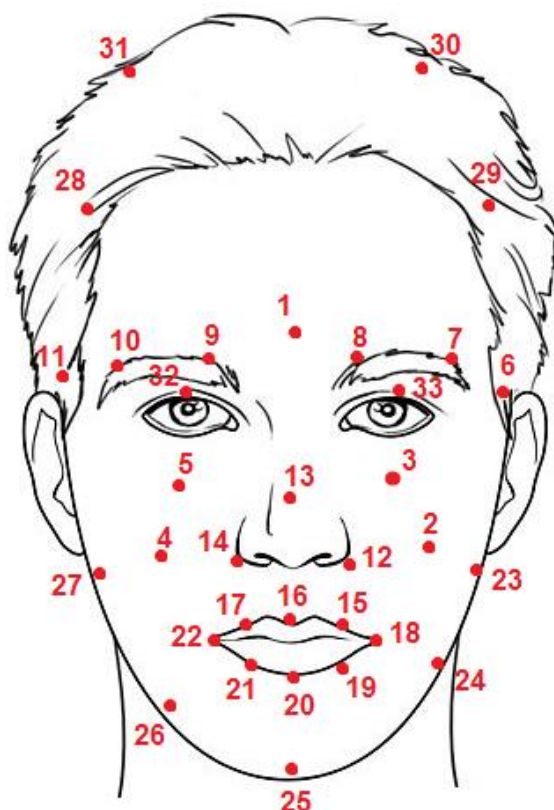
Tato triangulace však není příliš přesná a tak se kromě jiného používá například iterativní přístup, kdy se jednotlivé rovnice váhují.

5. Animace obličeje pomocí pohybových dat

V této části bakalářské práce je vysvětlen praktický postup, jakým byla snímána nemanuální složka českého znakového jazyka, způsob, jakým byla data rekonstruována a aplikována na lidský model. Snímání i následná rekonstrukce byla provedena pomocí programu Vicon Nexus 1.8.5 na katedře biomedicínské informatiky, FBMI, ČVUT.

5.1. Snímání nemanuální složky znakového jazyka

Prvním úkolem bylo získat samotná data, která později budou sloužit k rozpořbování modelu. Ke snímání bylo použito optického systému pro sledování pohybu s pasivními markery, které byly nalepeny na lidský model dle schématu a tabulky, ve které je uvedeno, kam mají být markery nalepeny. Použité schéma vychází ze standardu MPEG-4, některé markery však byly s ohledem na zaměření snímání změněny či přidány tak, aby vyhovovaly našim potřebám.

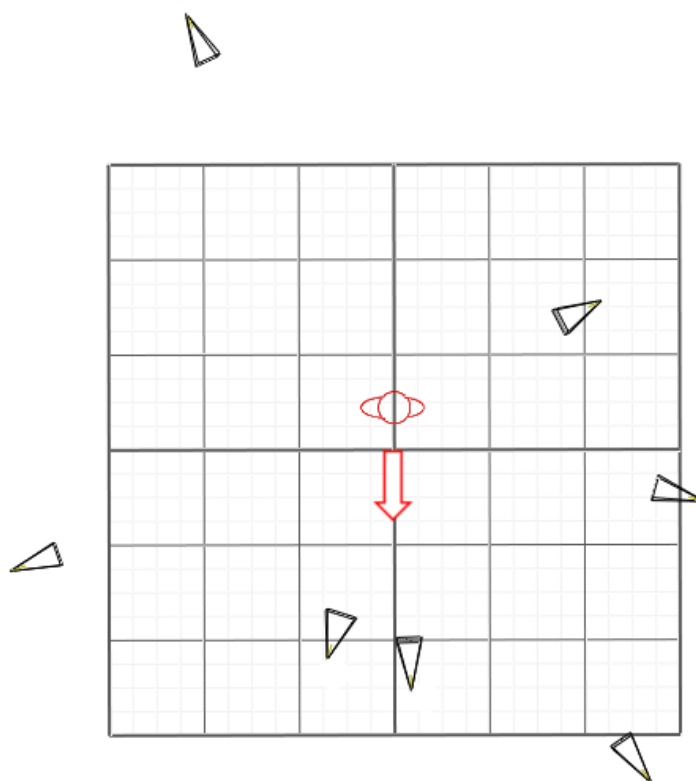


Obrázek 8: Umístění markerů na snímané osobě (modelu)

Tabulka 5: Seznam použitých markerů, jejich označení a umístění na těle snímaného člověka (z pohledu snímané osoby)

Číslo markeru	Označení markeru	Umístění na těle člověka
1	UpperHead	Čelo hlavy
2	LLice	Levá líce
3	LPodOkem	Pod levým okem
4	Rlice	Pravá líce
5	RPodOkem	Pod pravým okem
6	LSpanek	Levý spánek
7	LBrow2	Obočí nad levým okem; začátek (vlevo)
8	LBrow1	Obočí nad levým okem; konec (vpravo)
9	RBrow1	Obočí nad pravým okem; začátek (vlevo)
10	RBrow2	Obočí nad pravým okem; konec (vpravo)
11	RSpanek	Pravý spánek
12	LNose	Levý kořen nosu
13	TopNose	Vršek nosu
14	RNose	Pravý kořen nosu
15	LUpperPusa	Ústa vlevo nahoře
16	MidPusa	Ústa nahoře uprostřed
17	RUpperPusa	Ústa vpravo nahoře
18	LPusa	Levý koutek úst
19	LBottomPusa	Ústa vlevo dole
20	BottomPusa	Ústa dole uprostřed
21	RBottomPusa	Ústa vpravo dole
22	RPusa	Pravý koutek úst
23	LUJaw	Levá horní čelist
24	LBJaw	Levá dolní čelist
25	Chin	Brada
26	RBJaw	Pravá dolní čelist
27	RUJaw	Pravá horní čelist
28	RFHD	Temeno hlavy vepředu vpravo
29	LFHD	Temeno hlavy vepředu vlevo
30	LBHD	Temeno hlavy vzadu vlevo
31	RBHD	Temeno hlavy vzadu vpravo
32	REye	Víčko pravého oka
33	LEye	Víčko levého oka

Při snímání bylo k dispozici celkem 7 kamer, které byly rozestavěny dle nákresu:



Obrázek 9: Vyznačení rozestavění kamer, místa, kde stál model, a směr jeho pohledu)

Ve schématu je vyznačeno i místo, na kterém stál model a směr jeho pohledu.

Před samotným snímáním bylo třeba kamery z kalibrovat, aby si software dopočítal vzdálenosti jednotlivých kamer a jejich pozice v prostoru a také vymaskovat místa na jednotlivých kamerách, která by nám mohla ovlivňovat správnost dat.

Kalibrace a maskování

Kalibrace je pravděpodobně jeden z nejdůležitějších kroků přípravného procesu pro snímání. Tento úkon umožňuje softwaru vypočítat relativní umístění a orientaci všech použitých kamer. Po zaznamenání pohybů jsou tato měření využita pro výpočet přesného pohybu markerků v prostoru.

Existují dva hlavní kroky kalibrace systému:

1) Statická kalibrace

Při statické kalibraci je softwarem spočítán střed snímaného prostoru a určuje orientaci 3D prostoru. Při této kalibraci byla pomocí kalibrační hůlky vytvořena referenční rovina, kterou software umístil na shodné Y-souřadnice, jako byla umístěna kalibrační hůlka ve snímaném prostoru. V našem případě byla využita kalibrační hůlka s pěti markery.

2) Dynamická kalibrace

Dynamická kalibrace zahrnuje pohyb kalibrační hůlky celým snímaným prostorem a softwaru umožňuje vypočítat relativní pozice a orientace použitých kamer. Rovněž má tato kalibrace snahu linearizovat kamery.

Jakmile je kalibrace dokončena a systém propočítá veškerá potřebná data (veškeré potřebné polohy a umístění kamer apod.) je třeba vytvořit masky na kamerách. To zajistí to, že se nám na výsledných datech neprojeví nežádoucí odrazy, kamery, které mohou být v záběru jiných kamer či odlesky od oken, lesklých předmětů apod., které není možné odstranit z dosahu kamer.

Při maskování software přidá masky na zmíněné odlesky či jiné kamery, tedy nám již nebudou ovlivňovat snímaná data.

Snímání dat

Prvním snímanou sekvencí byla „setup“ sekvence, nebo-li T-pózy, což je sekvence, ve které snímání osoba (model) stojí vzpřímeně a má ruce rozpažené. Takto zůstane bez pohybu po celou dobu této sekvence. V tomto případě stál model vzpřímeně, ruce podél těla tak, aby se nedotýkaly těla, neutrální obličej. Takto bylo nasnímáno 280 snímků. Důležité bylo, aby se model co nejméně hýbal. Tato „setup“ sekvence byla použita při rekonstrukci dat jako referenční sekvence, na kterou se aplikovaly a upravovaly modely.

Po nasnímání „setup“ sekvence se již přikročilo k snímání jednotlivých sekvencí, resp. jednotlivých znaků a vět českého znakového jazyka.

Snímané znaky a věty byly vybrány z CD „Specifické znaky“ (Petr Vysuček, Jitka Motejzíková; Praha 2003), na kterém jsou uvedeny a na příkladech ukázány kromě jiného také znaky, které mají shodnou manuální složku znaku, avšak liší se v nemanuální složce znaku. Tyto znaky byly vybrány především proto, že je pak možné snadno otestovat kvalitu snímání nemanuální složky neslyšícími.

Seznam vybraných znaků i se zápisem dle Stokoeho notačního systému je uveden v příloze. Vždy byl nasnímán nejprve jednotlivý specifický znak, a následně byla jako nová sekvence nasnímána celá znakovaná věta, ve které byl daný specifický znak použit.

Celkem bylo nasnímáno 70 sekvencí:

- 1) 2 „setup“ sekvence
- 2) 28 jednotlivých specifických znaků
- 3) 30 celých znakovaných vět s použitím daných specifických znaků (2 specifické znaky byly použity ve dvou větách)
- 4) 5 sekvencí s jednotlivými orálními komponenty
- 5) 2 sekvence s použitím specifický znaků, které nejsou uvedeny na CD „Specifické znaky“
- 6) 1 sekvence, ve které byla modelem znakována věta, jež není uvedena na CD „Specifické znaky“



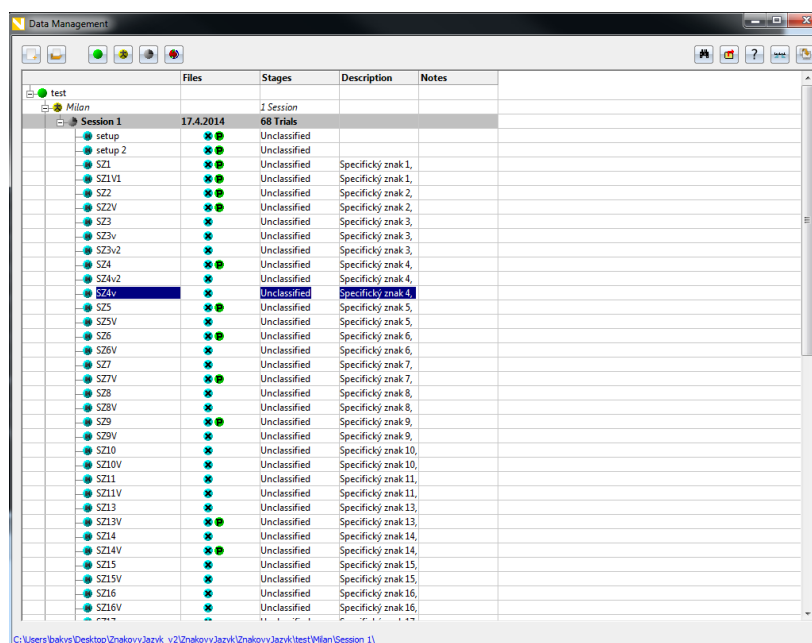
Obrázek 11: Umístění markerů na snímané osobě (modelu)

5.2. Rekonstrukce dat

Získaná data byla poté rekonstruována v programu Vicon Nexus verze 1.8.5.

Postup při rekonstrukci:

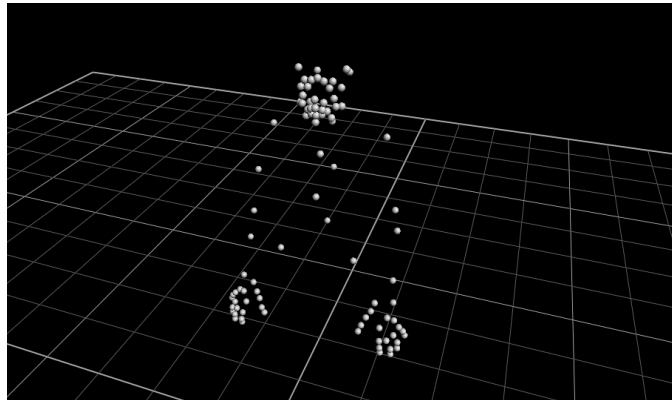
- 1) Nejprve je třeba načíst databázi s našimi nasnímanými sekvencemi.



Obrázek 12: Ukázka načtené databáze našich sekvencí

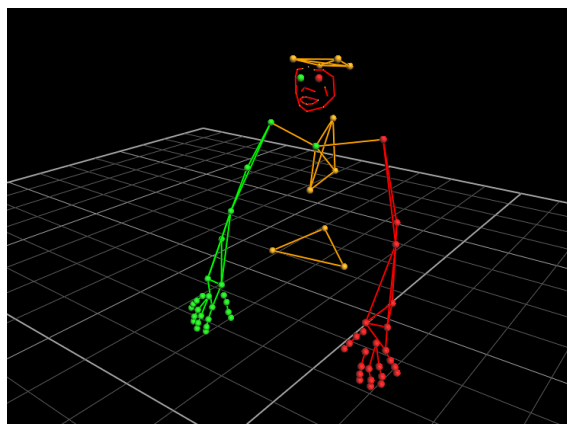
- 2) Zvolíme „setup“ sekvenci.

- 3) Použitím nástroje pro rekonstrukci dat získáme pomocí souboru s uloženou kalibrací dopočítané souřadnice a orientaci markerů v této sekvenci.



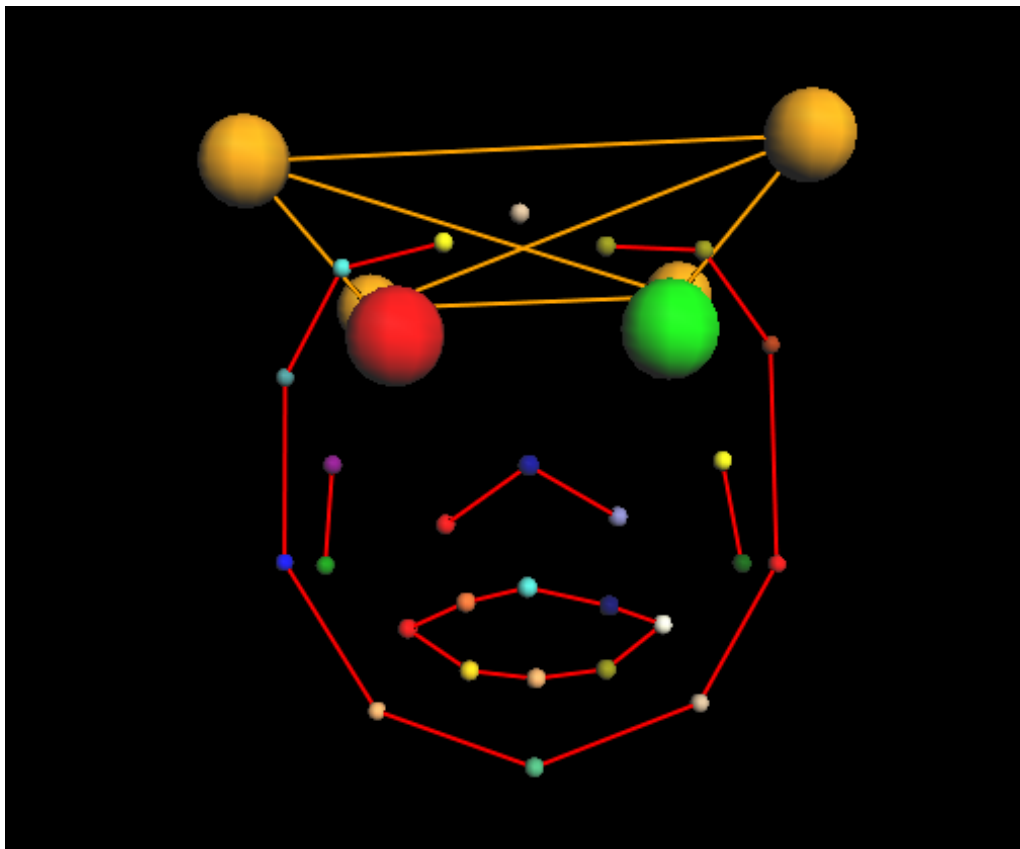
Obrázek 13: Ukázka snímku po rekonstrukci dat

- 4) Nyní je třeba projít celou sekvenci a odstranit nežádoucí chybné markery (tj. markery, které při snímání nebyly použity, ale kamery zachytili například odlesk od nějakého předmětu a při snímání dat tento odlesk vyhodnotili jako další marker. Právě tyto chybné markery je třeba odstranit.
- 5) Dalším krokem je vytvoření subjektů. V tomto případě byl vytvořen jeden subjekt, který pokryl markery všechny markery vyjma obličeje, avšak pokryl také markery na očích. Druhý subjekt pokryl markery umístěné na obličeji vyjma markerů na očích.
- 6) Následně je třeba vytvořit segmenty, což jsou pevné součásti (nejčastěji kosti). Markery v segmentech nemění svou vzdálenost vůči ostatním markerům ve shodném segmentu.



Obrázek 14: Ukázka aplikace subjektů a vytvoření segmentů

- 7) Vytvořené segmenty je vhodné pojmenovat po částech těla, které představují tak, abychom se v tom snadno vyznali. Jednotlivé markery je rovněž vhodné pojmenovat dle svého umístění na těle, což nám zaručí jednodušší orientaci při dalších úkonech.
- 8) Segmenty je poté třeba pospojovat pomocí kloubů, resp. „joint“ vazeb. Jestliže mají dva segmenty společný marker, pak je vhodné použít „ball joint“ (kulový kloub), který nám poskytne 3 stupně volnosti. Jestliže dva segmenty nemají společný marker, je vhodné použít „free joint“ (bez kloubu), což nám poskytne 6 stupňů volnosti pohybu těchto dvou segmentů vůči sobě. Mezi dva segmenty, u kterých je třeba použít vazbu „free joint“ patří například segment hlavy a segment pánve.
- 9) Na obličej byl v našem případě aplikován již hotový, avšak upravený, model třiceti markerů, který byl vytvořen podle standardu MPEG-4 s drobnými změnami a úpravami v některých markerech.



Obrázek 15: Obličej po rekonstrukci

Rekonstrukce dalších sekvencí

Další sekvence byly rekonstruovány dle stejného postupu uvedeného výše, avšak s vynecháním bodů, ve kterých je popisováno vytvoření subjektů, neboť již používáme vytvořené subjekty, které pouze aplikujeme na další sekvence.

Vždy je třeba sekvenci nejprve projít a odstranit nežádoucí či chybné markery. To uděláme snadno tak, že v daném místě, kde se nežádoucí „marker“ objeví, jej smažeme.

V „setup“ sekvenci jsou po celou dobu vidět všechny markery, neboť se model nepohybuje. Na rozdíl od toho v dalších sekvencích se některé markery ztrácejí, protože byly překryty jinou částí těla.

Při přiřazování markerů z vytvořených subjektů na nasnímané markery je třeba projít celou sekvenci a v případě, že se nějaký marker na chvíli ztratil, je třeba jej označit před výpadkem i po výpadku. Je tedy důležité, aby po celou dobu sekvence byly přiřazeny nasnímaným markerům správné markery ze subjektu.

Nyní je třeba u markerů, které se v sekvenci ztrácejí, doplnit chybějící trajektorii. To můžeme provést pomocí funkce, kterou již software obsahuje. Po označení daného markeru si můžeme ve 3D prostoru prohlédnout trajektorii tohoto markeru ve 3D prostoru, případně po kliknutí na Graf je možné si prohlédnout křivku pohybu v jednotlivých souřadnicích kartézského souřadnicového systému.

K doplnění chybějící části trajektorie je možné použít funkci, která trajektorii doplní dopočítáním dle dostupných údajů, resp. částí křivek pohybu, nebo je možné použít funkci, při které zvolíme referenční marker, nejlépe takový, jenž po celou dobu nezmění vzdálenost vůči upravovanému markeru. V případě této funkce software dopočítá trajektorii markeru s ohledem na zvolený referenční marker. Tato funkce je vhodná například při dopočítávání trajektorie u markeru oka, neboť platí, že levé a pravé oko mezi sebou po celou dobu nemění vzdálenost a jejich pohyb všemi směry je na sobě závislý (tj. nemůže se jedno oko v lidském obličejí pohybovat dolů a druhé ve stejném čase nahoru).

Tímto způsobem byly zrekonstruovány některé sekvence v závislosti na tom, jak kvalitní byla nasnímaná data. V některých sekvencích se totiž objevovalo mnoho „parazitních“ markerů či nasnímané markery „mizely“ na relativně dlouhou dobu, a tak by jejich rekonstrukce byla nepřesná.

5.3. Export a následná animace modelu

Tímto způsobem byly zrekonstruovány všechny nasnímané frekvence a následně byla tato data vyexportována ve formátu c3d, které je možné následně použít v programu MotionBuilder od firmy Autodesk.

V programu MotionBuilder byl vybrán model hlavy a následně do něj byly naimportována data, která jsme získali z programu Vicon Nexus. V rozbalovacím menu se nám následně objevily všechny naměřené markery.

Nejprve bylo třeba definovat referenční markery, které se přidaly do shodně pojmenované skupiny markerů na tomto modelu. Jako referenční byly v našem případě použity markery na hlavě (RFHD, LFHD, LBHD, RBHD), které se vůči ostatním tolik nehýbou. Poté byly do modelu přetahovány různé markery v různých kombinacích. Celkem bylo vyzkoušeno 9 variant počtu markerů umístěných do modelu.

Tabulka 6: Vytvořené varianty s počtem použitých nasnímaných markerů

Varianta	Počet použitých markerů¹
A	17
B	22
C	23
D	29
E	21
F	24
G	22
H	13
I	11

Referenční variantou byla zvolena varianta A, neboť v této variantě byl každému markeru v modelu hlavy přiřazen právě jeden daný marker z nasnímaných dat.

V ostatních sekvencích byly markery do modelu přidávány nebo z modelu ubírány. Celkem bylo vytvořeno devět variant, které byly následně porovnávány a hodnoceny.

Hodnocení variant

Výsledné porovnávání bylo provedeno podle normy ITU-R BT.500-13 článku 6.2. „Stimulus-comparison methods“. Byl vybrán náhodný vzorek 13 osob, které se testování účastnily.

Celkem byly testovány 2 sekvence (resp. 2 věty z rekonstruovaných dat), přičemž se na obrazovce vždy objevila vlevo referenční varianta dané sekvence (tzn. varianta A, kdy je každému markeru v modelu přiřazen právě jeden daný marker z nasnímaných dat) a vpravo byla varianta té samé sekvence, kterou měli testovaní porovnat s referencí (varianta B – I).

Z teoretického hlediska by měly být varianty G, H a I hodnoceny hůře než referenční varianta, a varianty B, E, F, C a D by měly být hodnoceny lépe než reference.

Výsledky praktického testování je možné si prohlédnout v Tab. 7, ve které jsou sečteny hodnocení pro první i druhou sekvenci.

Tabulka 7: Celkové zhodnocení testování (zde sečteny obě testovací sekvence)

	Horší než reference	Stejně	Lepší než reference
Varianta I	13	6	7
Varianta H	5	16	5
Varianta G	7	14	5
Varianta B	3	16	7
Varianta E	12	9	5
Varianta F	8	10	8
Varianta C	8	16	2
Varianta D	5	17	4

6. Závěr

Jak lze vypořádat z naměřených dat, v případě varianty I rozpoznala většina pozorovatelů, že tato varianta je horší než referenční, což odpovídá teoretickým předpokladům, neboť obsahuje výrazně méně markerů. U variant G a B, které se liší od referenční hodnoty jen o malý počet markerů, není rozdíl mezi modely patrný.

Varianty F, C a D byly nejčastěji hodnoceny jako stejné s referencí, resp. rozdíl těchto variant a reference nebyl rozpoznatelný.

Test ukázal, že zvyšování počtu markerů nevede ke zvyšování kvality a přirozenosti pohybu vytvořeného modelu. V současné době nemáme k dispozici algoritmy, podle kterých prostředí MotionBuilderu upravuje animaci clusterů při zvyšování počtu použitých markerů. Studium této problematiky by mohlo být námětem pro další práci.

7. Seznam použité literatury a zdrojů informací

- [1] OKROUHLÍKOVÁ, Lenka. *Notace – zápis českého znakového jazyka*. Praha: UK 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta. Oddělení pro vědeckou činnost. Dostupné z WWW: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/123164/>.
- [2] SARRIS, Nikos. *3D modeling and animation: synthesis and analysis techniques for the human body*. Vyd. 1. London: IRM Press, 2005, 395 s. ISBN 15-914-0299-9.
- [3] ISO/IEC FCD 19774:200x -- *Humanoid animation index*. Dostupné z WWW: http://h-anim.org/Specifications/H-Anim200x/ISO_IEC_FCD_19774/
- [4] AMBROSINI, Loris, COSTA Maurizio, LAVAGETTO Fabio a POCKAJ Roberto. *3D Head Model Calibration based on MPEG-4 Parameters*. [online]. s. 8 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z WWW: <http://homepages.thm.de/~hg10013/Lehre/MMS/WS0102/transform/misk/3dmodelcallibration.pdf>
- [5] KIRÁL', Lukáš. *Odhad polohy pohybujícího se předmětu z obrazových bodů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Katedra kybernetiky. Dostupné z WWW: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/10436/bakalarska_prace.pdf?sequence=1
- [6] *Visage Technologies MPEG-4 Face & Body Animation » Visage Technologies*. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.visagetechnologies.com/technology/mpeg-4-face-and-body-animation/>
- [7] POSPÍŠIL, Jiří. *Aplikace systému pro snímání pohybu ve fyzioterapii*. České vysoké učení technické v Praze, 2010. 53 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.

- [8] KITAGAWA, Midori. WINDSOR, Brian. *MoCap for Artists: Workflow and Techniques for Motion Capture*. Elsevier Inc., 2008. ISBN 978-0-240-81000-3.
- [9] MALCIU, Marius. PRÊTEUX Françoise. *Tracking facial features in video sequences using a deformable model-based approach*. Institut National des Télécommunications Dostupné z WWW: <http://www.visicast.cmp.uea.ac.uk/Papers/spie-sandiego00-4121-07.pdf>
- [10] DYER, Scott. MARTIN, Jeff. ZULAUF, John. *Motion Capture White Paper*, 12. prosince 1995. [online]. [cit. 2014-05-21] Dostupné z WWW: ftp://ftp.sgi.com/sgi/A|W/jam/mocap/MoCapWP_v2.0.html#HDR4
- [11] BAILEY, Brenton. *Real Time 3D motion tracking for interactive computer simulations*. Červen 2007. [online]. [cit. 2014-05-21] Dostupné z WWW: <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/20673697.PDF>
- [12] FURNISS, Mauree. *Motion Capture* [online]. [cit. 2014-05-21] Dostupné z WWW: <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>
- [13] BŘEZINA, Pavel. *Motion Capture*. [online]. [cit. 2014-05-21] Dostupné z WWW: <http://pavka.shotzone.cz/motioncapture/motioncapture.html>
- [14] MATÚŠ, Repka. *Motion capture - řešení pro zrychlení animace*. [online]. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: http://www.spafi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=457%3Amotion-capture--solution-to-boost-up-animation&catid=37%3Ageneral-animation&Itemid=60&lang=cs
- [15] VINKLER, Michal. *Snímání a rekonstrukce pohybu postavy*. Brno: Masarykova univerzita 2009. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Dostupné z WWW: https://is.muni.cz/th/208036/fi_b/bc.pdf

- [16] Vicon Motion systems: Preparation. [online]. [cit. 2014-05-21] Dostupné z WWW: http://www.udel.edu/PT/Research/MAL/preparation_v1_2.pdf
- [17] VYSUČEK, Petr. *Specifické znaky*. Praha: UK 2009. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, Ústav českého jazyka a teorie komunikace. Dostupné z WWW: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/68881/>

8. Přílohy

8.1. Varianty použití markerů při testování na modelu v MotionBuilder

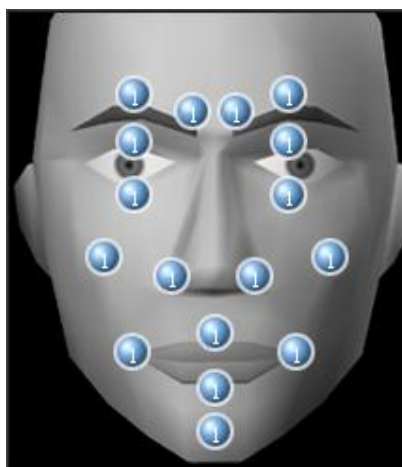
Zde je seznam variant s počtem a seznamem použitých markerů přiřazovaných do modelu. V seznamech jsou vynechány referenční markery, které byly shodné ve všech případech RFHD, LFHD, LBHD a RBHD, a nejsou započítávány ani do počtu použitých markerů. Na obrázcích s jednotlivými variantami je v modrých bodech číslo, které udává, kolik nasnímaných markerů bylo danému markeru v modelu přiřazeno.

Varianta A

Počet použitých markerů: 17

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, RLice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, Chin

Poznámka: Tato varianta byla použita jako referenční, neboť je zde každému markeru v modelu přiřazen právě jeden daný marker z nasnímaných dat. Právě s touto variantou byly porovnávány ostatní varianty, u kterých byly některé markery přidávány nebo naopak ubírány.

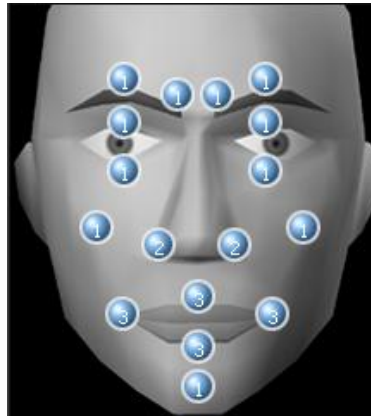


Obrázek 16: Varianta A

Varianta B

Počet použitých markerů: 22

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, Rlice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, TopNose, LUpperPusa, RUpperPusa, LBottomPusa, RBottomPusa, Chin

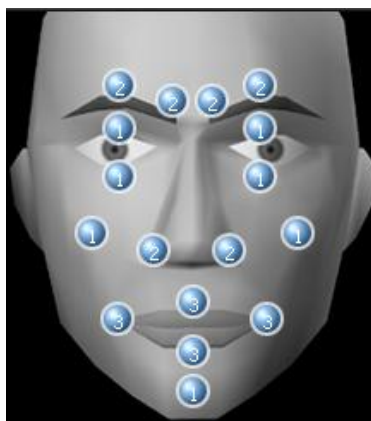


Obrázek 17: Varianta B

Varianta C

Počet použitých markerů: 23

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, Rlice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, TopNose, LUpperPusa, RUpperPusa, LBottomPusa, RBottomPusa, UpperHead, Chin

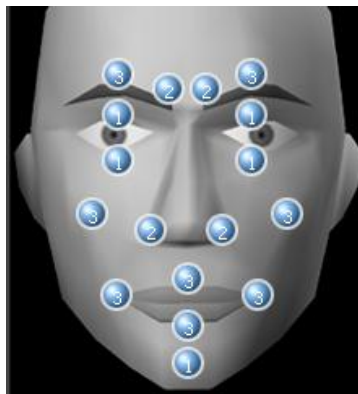


Obrázek 18: Varianta C

Varianta D

Počet použitých markerů: 29

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, Rlice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, TopNose, LUpperPusa, RUpperPusa, LBottomPusa, RBottomPusa, LLice, Rlice, LSpanek, RSpanek, LUJaw, LBJaw, RBJaw, RUJaw, Chin

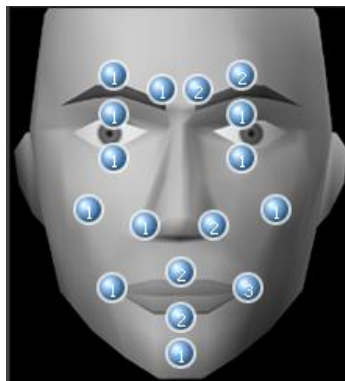


Obrázek 19: Varianta D

Varianta E

Počet použitých markerů: 21

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, Rlice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, TopNose, LUpperPusa, LBottomPusa, UpperHead, Chin

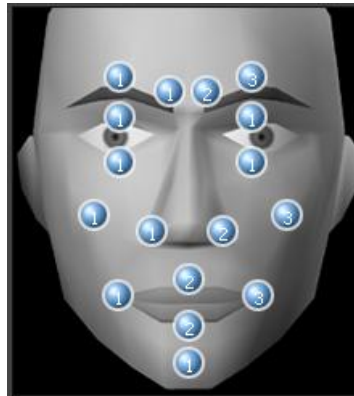


Obrázek 20: Varianta E

Varianta F

Počet použitých markerů: 24

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, RLice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, RPusa, TopNose, LUpperPusa, LBottomPusa, LUJaw, LBJaw, LSpanek, UpperHead, Chin

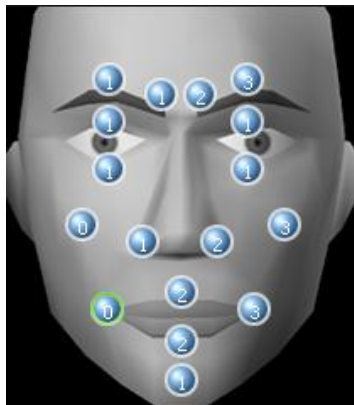


Obrázek 21: Varianta F

Varianta G

Počet použitých markerů: 22

Seznam použitých markerů: LBrow2, LBrow1, RBrow1, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, LNose, RNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, TopNose, LUpperPusa, LBottomPusa, RBottomPusa, UpperHead, Chin, UpperHead, LSpanek

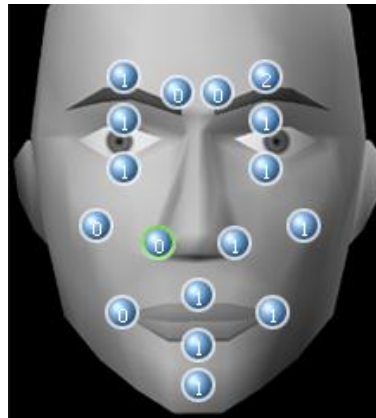


Obrázek 22: Varianta G

Varianta H

Počet použitých markerů: 13

Seznam použitých markerů: LBrow2, RBrow2, REye, LEye, LPodOkem, RPodOkem, LLice, LNose, MidPusa, LPusa, BottomPusa, Chin, UpperHead

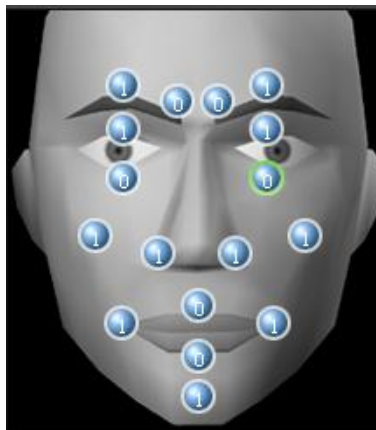


Obrázek 23: Varianta H

Varianta I

Počet použitých markerů: 11

Seznam použitých markerů: LBrow2, RBrow2, REye, LEye, LLice, Rlice, LNose, RNose, LPusa, RPusa, Chin



Obrázek 24: Varianta I

8.2. Statistika testovaných sekvencí

Tabulka 8: Zhodnocení testování (sekvence 1)

	Horší než reference	Stejně	Lepší než reference
Varianta I	5	5	3
Varianta H	4	6	3
Varianta G	4	8	1
Varianta B	3	5	5
Varianta E	7	5	1
Varianta F	7	3	3
Varianta C	4	8	1
Varianta D	3	8	2

Tabulka 9: Zhodnocení testování (sekvence 2)

	Horší než reference	Stejně	Lepší než reference
Varianta I	8	1	4
Varianta H	1	10	2
Varianta G	3	6	4
Varianta B	0	11	2
Varianta E	5	4	4
Varianta F	1	7	5
Varianta C	4	8	1
Varianta D	2	9	2

8.3. Obsah přiloženého CD disku

Přiložený CD disk obsahuje:

- 1) Text práce ve formátu MS Word 2010
- 2) Text práce ve formátu PDF
- 3) Databázi nasnímaných a rekonstruovaných dat
- 4) Videá získaná aplikací markerů na model (2 věty; 9 variant)