

ČISTÝ LIST

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra radioelektroniky K13137

Počítačové modely pro aplikaci pohybových dat

květen 2014

Bakalant: Jan Dolejš

Vedoucí práce: Ing. Martin Bernas, CSc.

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.

Datum: 22. 5. 2014

.....

Podpis bakalanta

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Bernasovi, CSc. a Ing. Petru Zatloukalovi za cenné rady a odborné vedení při zpracovávání bakalářské práce.

Zde zadání

Abstrakt

Cílem bakalářské práce bylo nalézt vhodnou metodu pro animaci modelu obličeje mluvčího znakového jazyka. Popsal jsem a vyzkoušel dvě nejrozšířenější metody animace modelu – blend shapes a clustery.

Základ práce tvořil model obličeje, na který byly aplikovaný v prostředí Autodesk Maya obě metody deformace modelu. Vznikly tak dva modely, které byly následně v prostředí Autodesk MotionBuilder rozpohybovány pomocí dat ze systému na sledování pohybu (Motion Capture).

Obě metody byly podrobeny subjektivnímu testování, na jehož základě byla zvolena metoda blend shapes jako vhodnější pro syntézu znakového jazyka. Tento závěr podpořily i některé další výhody této metody.

Klíčová slova

blend shapes, cluster, animace, modelování, znakový jazyk, Autodesk Maya, Autodesk MotionBuilder, motion capture, mocap

Abstract

This bachelor thesis was aimed to find a suitable method for sign language speaker's face animation. I have described and tried two most widely spread methods of the model animation – blend shapes and cluster.

The base of this thesis was a face model on which both methods of the model deformation in program Autodesk Maya were used. So it formed two models, which were made to move in Autodesk MotionBuilder with the use of data from system of recording the movement (Motion Capture).

Both methods were subjectively tested and as a result I have chosen the blend shapes as a more suitable method for sign language synthesis. This result was supported by any other advantages of this method.

Keywords

blend shapes, cluster, animation, modeling, sign language, Autodesk Maya, Autodesk MotionBuilder, motion capture, mocap

Obsah

Úvod.....	9
1 Obličej mluvího znakového jazyka	10
1.1 Lidský obličej ve znakovém jazyce.....	10
1.1.1 Znakový jazyk	10
1.1.2 Význam obličeje pro znakový jazyk	10
1.2 Počítačový 3D model a jeho deformace	10
1.2.1 Polygonální modelování.....	11
1.2.2 NURBS objekty.....	12
1.2.3 Členěné povrchy.....	13
1.2.4 Deformace modelu	13
1.3 Systém Motion Capture	14
1.3.1 Výhody a nevýhody systému MoCap	15
1.3.2 Optické systémy snímání pohybu	16
2 Metoda clusterů	18
2.1 Princip clusterů	18
2.2 Tvorba clusterů v prostředí Autodesk Maya	19
2.3 Váhování.....	20
2.4 Pohyb clusterů a vliv na model.....	21
2.5 Dodatečná úprava váhování.....	22
2.6 Finální rozmístění clusterů	23
3 Metoda blend shapes	24
3.1 Princip metody blend shapes	24
3.2 Tvorba blend shapes v prostředí Autodesk Maya	24
3.2.1 Tvorba cílových podob modelu.....	24
3.2.2 Tvorba blend shapes	27
3.3 Váhování.....	27
3.4 Drobné opravy geometrie	28
3.5 Zrcadlení cílových objektů	30
3.6 Využití clusterů při tvorbě blend shapes	31
3.7 Porovnání metod blend shapes a cluster	31
4 Animace obličeje a hodnocení jednotlivých metod	32

4.1	Příprava modelu.....	32
4.1.1	Definování výrazů obličeje pomocí clusterů.....	32
4.1.2	Definování výrazů obličeje pomocí blend shapes.....	33
4.2	Animace modelu.....	33
4.2.1	Aplikace pohybových dat.....	33
4.2.2	Export a komprese videosekvencí.....	35
4.3	Metoda hodnocení videosekvencí	35
4.4	Vyhodnocení testovaných videosekvencí.....	36
4.4.1	Realizace testu.....	36
4.4.2	Vyhodnocení kvality	37
4.5	Srovnání syntézy znakového jazyka s reálným obličejem	38
	Závěr.....	40
	Seznam použité literatury.....	42
	Seznam obrázků.....	44
	Seznam tabulek.....	45
	Seznam zkratk.....	46
	Přílohy.....	47

Úvod

Tématem bakalářské práce je analýza metod animací počítačového modelu obličeje pro použití v oblasti znakového jazyka. Počítačový model by mohl za několik let nahradit herce v televizním vysílání, což by ušetřilo čas a finanční prostředky televizním společnostem. Celý proces by měl být díky speciálnímu jazyku plně automatický – textový projev v televizi bude automaticky převeden na animaci počítačového modelu. Touto problematikou se zástupci katedry radioelektroniky na Fakultě elektrotechnické ČVUT zabývají již delší dobu.

Práce nejprve rozebírá obličej mluvčího znakového jazyka, na kterém je důležité si ujasnit, které prvky jsou pro přenos znaků důležité. Tyto poznatky jsou přeneseny na počítačový model obličeje a jeho následnou deformaci (animaci) pomocí pohybových dat ze systému Motion Capture.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na metody *clusterů* a *blend shapes*, které se pro animaci obličeje používají v celosvětovém měřítku nejčastěji. Obě metody byly aplikovány na stejný model a pomocí dat ze systému Motion Capture rozpohybovány. Výsledné videosekvence byly podrobeny subjektivním testům, které vyhodnotily vhodnější metodu pro animaci znakového jazyka.

1 Obličej mluvího znakového jazyka

1.1 Lidský obličej ve znakovém jazyce

1.1.1 Znakový jazyk

Jazyk obecně (znakový jazyk nevyjímaje) se dá chápat jako systém jednotek a pravidel jejich spojování. Zatímco mluvené jazyky jsou vnímány sluchem a opírají se o zvuk (jinak také vokální jazyky), znakový jazyk je vnímán zrakem a je tvořen tvary, pozicemi a pohyby rukou (skupina nevokálních jazyků). Znakové jazyky jsou též označovány jako jazyky vizuálněmotorické [1].

1.1.2 Význam obličej pro znakový jazyk

Hlavní část znakového jazyka tvoří pohyby rukou (manuální nosiče), které jsou navíc doplněny nemanuální aktivitou – mimikou, pohybem hlavy a pohybem horní části trupu. Neodmyslitelně sem patří také orální komponent, tedy obraz, který vytváří obličej při produkci znaku. Právě orální komponent představuje velmi častou a neodmyslitelnou část mnoha znaků ve znakovém jazyce. Je tvořen například široce otevřenými ústy, staženými koutky, pevně uzavřenými ústy, vibrujícími rty, vyceněnými zuby či vypláznutým jazykem [2]. Těmto pohybům a podobám úst by měla být v případě syntézy znakového jazyka věnována velká pozornost.

Nemanuální složka může být součástí samotného znaku, funguje ovšem rovněž jako prostředek gramatické vazby (rozlišuje například otázky zjišťovací a doplňovací, rozděluje příslovečná určení atp.). Mimika tváře a animace výrazů obličej, kterou se tato práce zabývá, jsou proto pro syntézu znakového jazyka nesmírně důležité [3].

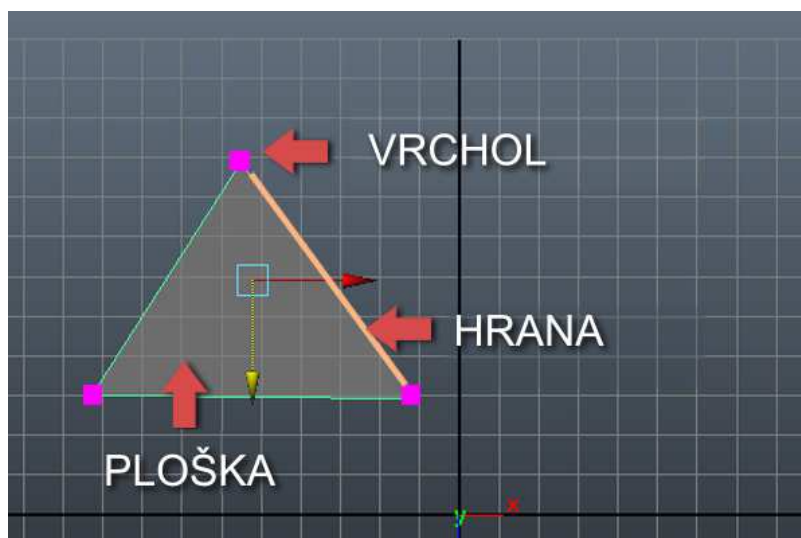
1.2 Počítačový 3D model a jeho deformace

Všechny předměty okolo nás jsou složeny z mnoha menších tvarů (primitiv), čehož se využívá také u 3D modelování. Prostředí Autodesk Maya v sobě ukrývá tři základní typy primitiv – *NURBS* (Non-Uniform Rational Basis-Splines) [4 str. 115], *polygony* a *členěné povrchy* (subdivision surfaces) [5 str. 66]. Práce s *polygony* skýtá jen několik omezení, díky čemuž je při tvorbě modelů velmi oblíbená [4 str. 109]. Modelování *NURBS objektů* potřebuje k tvorbě modelů výrazně méně řídicích bodů než u *polygonů* a je vždy dosaženo velmi hladkých povrchů [6]. Obě metody se vzájemně nevylučují –

při tvorbě lze využívat obě metody a čerpat z jejich výhod [4 str. 109]. Třetí typ představuje metoda *členěných povrchů*, kterou si lze představit jako hybridní systém z *polygonů* a *objektů NURBS* [4 str. 109].

1.2.1 Polygonální modelování

Síť polygonů může být použita k tvorbě povrchů s nízkým rozlišením (tzv. low-poly modelů), ale zároveň umožní vytvořit hladké a detailní modely. Dobře vypadající model lze vytvořit pouze z několika vhodně umístěných polygonů, čehož využívají především tvůrci her, kde je kladen nárok na vykreslování modelů v reálném čase [5 str. 169].

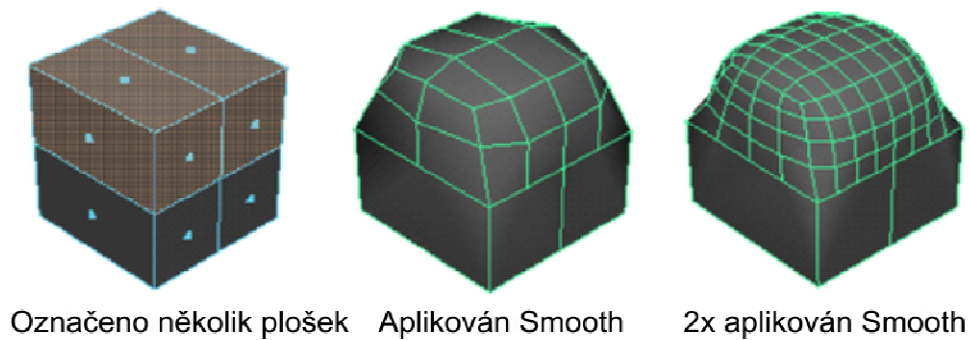


Obrázek 1 - Ploška polygonu a její části

(zdroj: http://m5designstudio.com/wp-content/uploads/2011/10/maya_polygon.jpg)

Polygony jsou složeny z *plošek* (faces), *hran* (edges) a *vrcholů* (vertices) (Obrázek 1) [5 str. 77]. Jednotlivé *plošky* jsou tvořeny třemi či více *hranami*, které jsou definovány *vrcholy*. Jeden polygon je složen z minimálně tří hran a tří vrcholů [4 str. 109]. Kombinace těchto komponent umožní definovat tvar polygonálního předmětu, navíc lze s každou částí pohybovat ručně a detailně tak určovat tvary modelu [5 str. 77].

Polygony jsou vytvářeny jeden po druhém, jejich přidáváním je postupně tvořen finální model. Lze tak začít s jedním velkým polygonem, který je následně postupně upravován a jsou přidávány další polygony [5 str. 77]. Zvýšení hladkosti povrchu zajišťuje příkaz *Smooth* [5 str. 77] (Obrázek 2), který zčtyřnásobí počet *plošek* a zaoblí hrany té části modelu, na který je příkaz aplikován [4 str. 110].

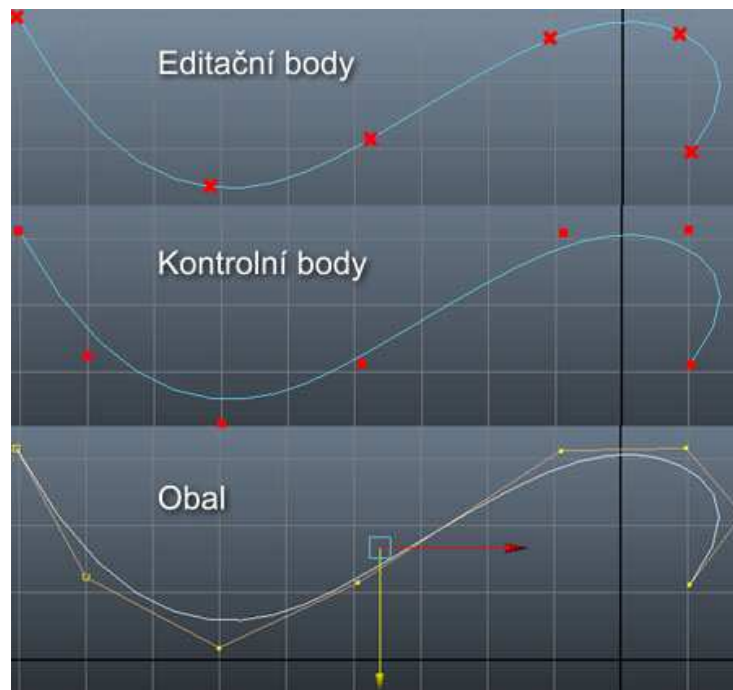


Obrázek 2 - Použití příkazu Smooth

(zdroj: http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/images/comp_poly_smoothdivisiondefeg1.png)

1.2.2 NURBS objekty

V dřívější historii 3D modelování byly *objekty NURBS* používány k tvorbě organických povrchů a dokonce i postav. V současnosti se již pro tvorbu těchto druhů modelů používají spíše *polygonové modely* či *členěné povrchy*. *Objekty NURBS* se hodí pro tvorbu předmětů z pevných materiálů; jako například částí automobilů, zařízení či jiných komerčních produktů, které jsou tvořeny hladkými tvary, v jejichž tvorbě *NURBS* vynikají [4 str. 115]. *NURBS objekty* lze převést na *polygony* či *členěné povrchy*, opačný proces již není možný.



Obrázek 3 - Komponenty objektu NURBS

(zdroj: http://www.grafika.cz/old-idif/grafika/images7/maya_nurbs_1_01.jpg)

Všechny NURBS objekty jsou při renderování automaticky převedeny na trojúhelníky, [4 str. 115] jejichž počet a tedy i jemnost modelů určuje *tesselace* (NURBS Tesselation) [7]. Hodnotu *tesselace* lze volitelně měnit během renderování, stejné objekty mohou být převedeny na rozdílný počet trojúhelníků. Typicky vzdálenější objekty na kameře jsou konvertovány na menší počet trojúhelníků než předměty v blízkosti pohledu diváka [4 str. 115].

Objekty NURBS se skládají z několika komponent – *kontrolních bodů* (control vertices), *editačních bodů* (edit points) a *obalů* (hulls). Manipulace s jednotlivými komponenty (nebo se všemi najednou) přímo určuje výslednou podobu povrchu a modelu (Obrázek 3) [5 str. 68].

K tvorbě modelů touto metodou lze přistupovat dvěma způsoby: [6]

- Do projektu je přidán standardní *NURBS objekt* z nabídky softwaru Autodesk Maya, který je změnou tvaru a přidáváním dalších řídicích bodů přetvořen do kýžené podoby.
- Ručně jsou vytvořeny *NURBS křivky*, které definují základní tvar objektu a je na ně natažen *NURBS povrch*.

1.2.3 Členěné povrchy

Třetí metoda sdružuje výhody polygonového modelování a NURBS objektů a tvoří jakýsi hybridní systém. Stejně jako v případě NURBS objektů lze vytvořit hladké tvary pouze několika *řídicími body* a zároveň umožní členěné povrchy aplikovat stejné nástroje jako u *polygonálního modelování* [8].

Prostředí Autodesk Maya nabízí dva režimy – standardní a polygonální. V případě polygonálního režimu jsou všechny komponenty modelu a ovládací prvky totožné s klasickými polygony. Lze tedy ručně upravovat pozici *plošek*, *hran* a *vrcholů*. Ve standardním režimu se model skládá ze čtyř typů komponent: *plošek*, *vrcholů*, *UV* (bodů, které se používají při texturování) a *hran*. Vrcholy se v tomto případě chovají podobně jako řídicí body u NURBS objektů [5 str. 193].

1.2.4 Deformace modelu

Deformaci modelu u výše popsaných metod lze provádět ovládním a úpravami jednotlivých komponent modelu. Tyto úpravy se ovšem v praxi používají pouze pro

vytvoření modelu či jeho trvalé úpravy, ale ne pro jeho animaci, neboť by ruční úprava byla velmi složitá a časově náročná. Ruční deformace navíc nepodporuje použití pohybových dat ze systému Motion Capture (více v kapitole 1.3). Prostředí Autodesk MotionBuilder, které bylo pro animaci modelu použito, podporuje zejména dvě metody deformace:

- *cluster* (kapitola 2);
- *blend shapes* (kapitola 3).

Obě metody jsou rozebrány v samostatných kapitolách, aplikovány na model a použity v prostředí programu Autodesk MotionBuilder, kde dojde k použití pohybových dat ze systému Motion Capture. Model obličej, který byl použit pro otestování metod, je volně dostupný na internetu a je definován *polygony* [9].

1.3 Systém Motion Capture

Nedílnou součástí této bakalářské práce tvoří také data ze systému Motion Capture, pomocí kterých byly rozpohybovány vytvořené modely obličej. Samotné počítačové 3D modely mohou být animovány (deformovány) přímou úpravou ve specializovaném softwaru, použití systému Motion Capture (dále již MoCap) je ovšem vhodnější. Ruční animace je časově náročná a k vytvoření realistického pohybu předmětů a osob je potřeba rovněž zkušeného animátora, protože lidské vnímání je na chyby v dynamice pohybu velmi citlivé a ihned pozná nějakou nepřesnost [10]. Při použití systému pro snímání pohybu odpadá práce s vypočítáváním pohybu modelů a jejich ruční animací, navíc je díky získaným datům zajištěn velmi přirozený pohyb [11].

Data získaná systémem MoCap jsou od nositele pohybu, který může představovat jak lidská, tak i jakákoliv jiná postava či objekt [12], extrahována a dále jsou již zpracovávána samostatně. Získané informace jsou převedeny do digitální podoby pro počítače, kde dochází k dalším úpravám a následně aplikaci na vybrané počítačové 3D modely (v případě této bakalářské práce model obličej mluvího znakového jazyka [9]).

I když je systém MoCap hojně využíván v mnoha odvětvích, největšího nasazení dosáhl ve filmovém a herním průmyslu [12]. Právě zde je totiž kladen důraz na realistické pohyby vytvořených objektů [10]. Důležitou roli zde hraje snímání pohybů člověka, které je následně aplikováno na počítačem vytvořené postavy a jiné objekty. MoCap si

poradí se snímáním pohybu celého těla (všech končetin), ale dokáže zachytit rovněž lidské výrazy (pohyb mimických svalů) [13]. Typickým příkladem může být postava Gluma z Pána Prstenů (Obrázek 4), jejíž věrné ztělesnění a pohyby vznikly právě díky systému MoCap a lidskému herci, pomocí něhož byla pohybová data vytvořena [10].



Obrázek 4 - Ukázka použití systému MoCap v praxi ve filmu Pán Prstenů
(zdroj: http://wardomatic.blogspot.cz/2004/12/polar-express-virtual-train-wreck_18.html)

1.3.1 Výhody a nevýhody systému MoCap

Systém MoCap je dnes v mnoha ohledech nezastupitelný a jeho hlavní výhody (rychlost a přesnost snímání pohybu) předčí většinu nevýhod. Některé z nich lze jmenovat [11]:

- Ke snímání pohybových dat je nezbytný speciální hardware i software, jehož pořizovací cena je velmi vysoká a menší studia si většinou nemohou tento systém dovolit.
- Systém MoCap je rovněž velmi náročný na prostor, ve kterém jsou pohybová data snímána.
- Pokud se při snímání vyskytnou problémy (překrytí markerů atp.), je často jednodušší celou scénu natočit znovu, než se pokoušet o rekonstrukci. Jen některé systémy jsou schopné zobrazovat ukázkou v reálném čase.

- Současné technologie bývají za pár let zastaralé a je potřeba je nahradit novějšími, což je opět velmi nákladné.

System MoCap pak vyniká především v těchto bodech [11]:

- S pomocí získaných dat lze vytvořit přirozené pohyby za výrazně kratší čas než u ruční animace.
- Jeden herec může zaznamenat data pro několik postav ve filmu.
- Získaná data lze aplikovat opakovaně.
- Se systémem MoCap je dosaženo snímání komplexních realistických pohybů.

1.3.2 Optické systémy snímání pohybu

Pohybová data k animaci modelu obličeje mluvěcího znakového jazyka byla získána zařízením Vicon typ Bonita B10, umístěným na Katedře biomedicínské informatiky Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT.

Toto zařízení využívá ke snímání pohybu optický systém, který je hojně používán především díky svým neodmyslitelným výhodám [14 stránky 20-21]:

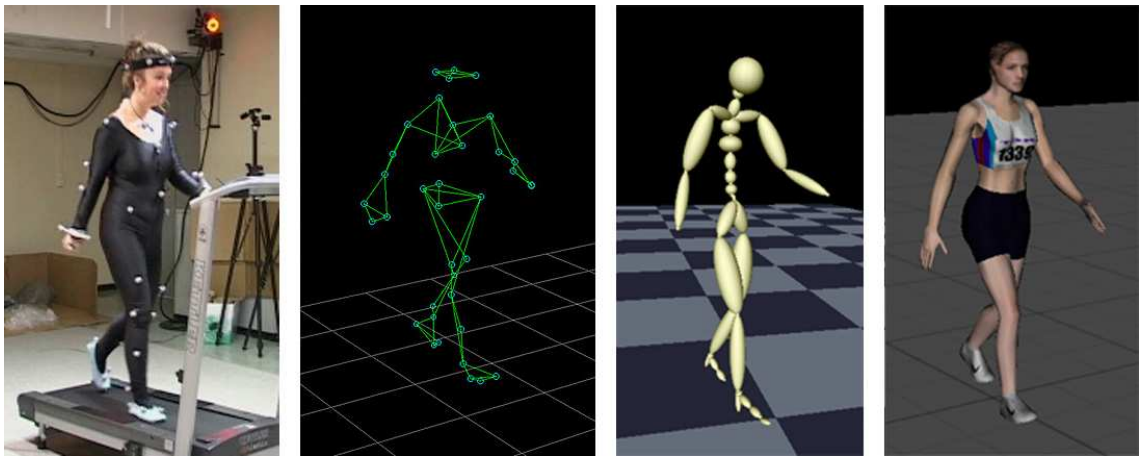
- Vyniká přesností sledovaného předmětu.
- Lze sledovat velké množství bodů na objektu.
- Konfiguraci bodů lze velmi snadno měnit.
- Herci, na nichž se senzory nacházejí, nejsou omezeni kabely.
- Oblasti, ve kterých se může herec pohybovat, jsou větší než u ostatních systémů.
- Optické systémy umožní snímat pohyby s vysokou snímkovací frekvencí.

Základ těchto systémů tvoří sada kamer a zákaznický hardware, který snímá a analyzuje získaný obraz. Informace o pohybu předmětu jsou odvozeny z pohybů tzv. markerů, které jsou umístěny na sledovacím objektu [13].

Optické systémy se dělí na *aktivní* a *pasivní*. V případě pasivního systému jsou markery tvořeny pouze značkami z reflexních materiálů a neobsahují žádnou elektroniku. Zdroj světla, které na vysoce reflexní materiál markerů dopadá, je umístěn kolem objektivu kamery. Tvoří jej pole LED diod (tzv. stroby), která blikají takovou frekvencí, aby si systém sám dokázal synchronizovat čtení dat z jednotlivých kamer [13].

U aktivních systémů produkují světlo samotné markery, které musí být napájeny. Výhodou těchto systémů je možnost barevně odlišit skupiny markerů, které patří například k určité části těla [13].

U obou systémů jsou používány průmyslové kamery, které disponují většinou CCD nebo CMOS snímači s vysokou snímkovou frekvencí (od 120 Hz až po jednotky kHz). Optické systémy nedokážou zaznamenat na hardwarové úrovni informace o rotaci předmětu – tyto údaje jsou vypočítávány až po zpracování informací na základě pohybu dvojic či obecně n-tic markerů [13].



Obrázek 5 - Optický systém Motion Capture při snímání pohybu

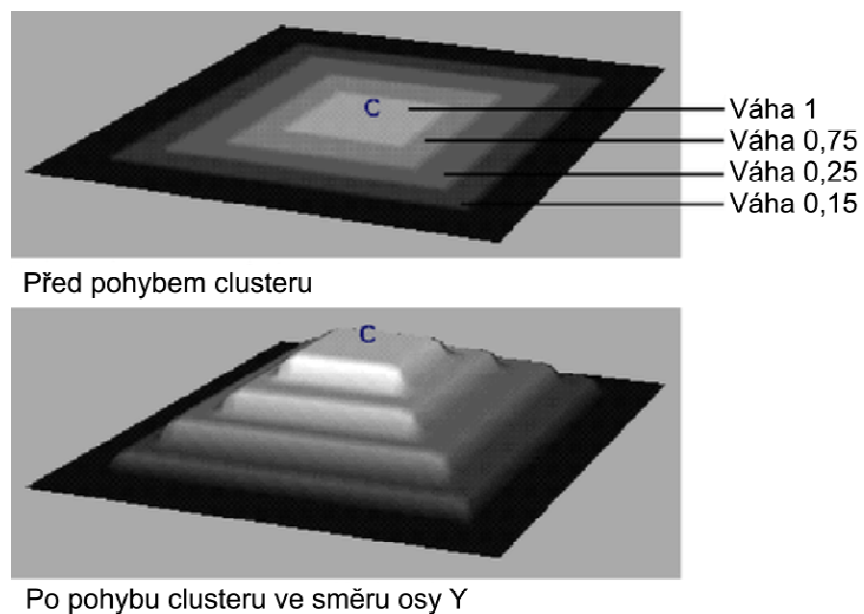
(zdroj:http://cta-diderot.brucity.be/wp-content/uploads/2013/03/OK_mocap_01_optical.jpeg)

2 Metoda clusterů

2.1 Princip clusterů

Metodou *clusterů* lze ovládat sérii bodů modelu (kontrolní body NURBS objektů, vrcholy polygonů) [15] s definovanou váhou. V praxi to znamená, že se každý bod obsažený ve vytvořeném *clusteru* bude posouvat s jinou intenzitou, čímž bude docíleno věrohodného pohybu mimických svalů a jejich vliv na obličej. Touto metodou je tedy vytvořen vztažný bod, ke kterému jsou přiřazeny jednotlivé vrcholy modelu, jež ovlivňuje [16]. Použitý model obličeje [9] je vytvořen z polygonů, proto *cluster* ovládá v tomto případě jeho vrcholy (vertices).

Pokud je *cluster*, který ovlivňuje 4 skupiny bodů (vrcholů), posunut o vzdálenost z , jsou dané skupiny posunuty o vzdálenost, která se rovná násobku vzdálenosti z a hodnotě váhy. V případě vah 1; 0,75; 0,25 a 0,15 budou jednotlivé body posunuty ve stejném směru jako *cluster* o hodnotu z ; $0,75z$; $0,25z$ a $0,15z$ (Obrázek 6). Stejný princip váhování je aplikován i na další druhy pohybu – rotaci a změnu měřítka [15].



Obrázek 6 - Ukázka pohybů bodů v clusteru při rozdílné váze

(zdroj: http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/images/comp_5weights1.png)

2.2 Tvorba clusterů v prostředí Autodesk Maya

V první řadě je třeba definovat, které body bude *cluster* obsahovat a zároveň ovlivňovat. Ke každému *clusteru* lze přiřadit libovolný počet vrcholů modelu. Výhodnější je vždy přidat více vrcholů, neboť nepotřebné body mohou být později vyřazeny váhováním – nastaví se hodnota 0 a příslušné body nebudou *clusterem* nijak ovlivněny (viz kapitola 2.2). Body, které se do *clusteru* přidají později, mohou způsobit problémy – po přidání je jim přidělena hodnota váhy 1, což může porušit již nastavené váhování okolních bodů.

Po vytvoření *clusteru* je automaticky všem vrcholům přiřazena největší hodnota deformace (Obrázek 8), což znamená, že jsou posouvány stejným směrem a intenzitou jako samotný *cluster*. V tomto momentě nepřináší metoda *cluster* žádný užitek, neboť je docíleno stejného efektu, jako kdyby bylo se všemi body pohybováno současně pomocí standardních modifikací (posun, rotace a změna měřítka). Při vytvoření *clusteru* např. v oblasti úst modelu by to znamenalo, že se všechny příslušné body posouvají se stejnou intenzitou a směrem, což u člověka zdaleka neplatí (viz Obrázek 7).

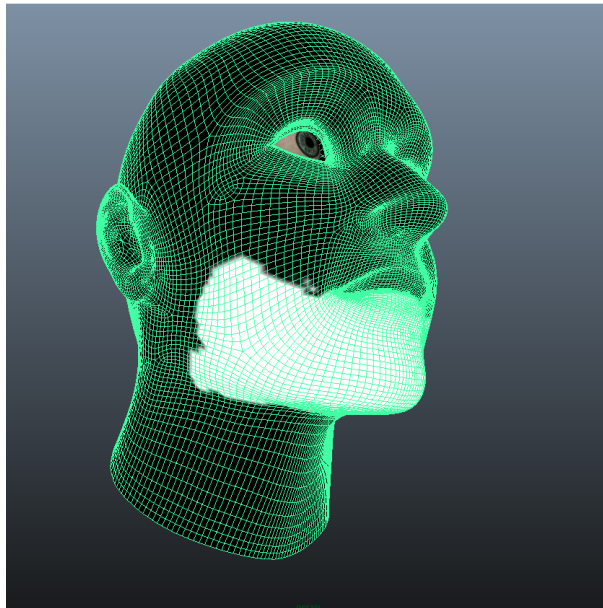


Obrázek 7 - Deformace modelu bez definovaného váhování
(zdroj: autor)

Velmi důležité je tedy určit, jakým způsobem budou vrcholy obsažené v *clusteru* ovlivněny a s jakou intenzitou se budou deformovat (pohybovat). Prostředí Autodesk Maya nepoznává, o jakou část obličeje se jedná, a proto musí být váhování definováno ručně.

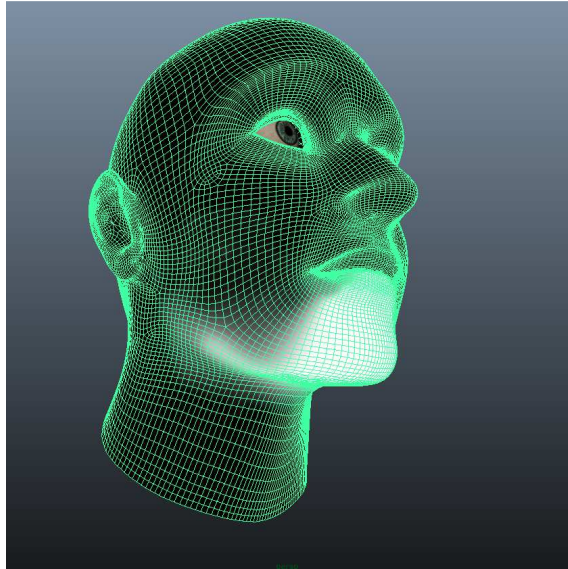
2.3 Váhování

Prostředí Autodesk Maya váhy jednotlivých vrcholů zobrazí skrze barevné odstíny – bílá barva určuje 100% deformaci, síla postupně ustupuje v podobě změny k šedé až černé barvě. Oblast černé barvy značí *clusters*, které mají nulovou váhu – deformace je žádným způsobem neovlivní. Tímto způsobem jsou zobrazeny nejen body, které mají nulovou váhu, ale i body, které nejsou součástí *clusteru*. Váha lze definovat pouze u vrcholů, které jsou přiřazeny ke *clusteru*.



Obrázek 8 - Jednotlivé body mají zpočátku nejvyšší váhu
(zdroj: autor)

Nástrojem *Paint Cluster Weight Tool* lze docílit plynulé změny vah jednotlivých bodů dle našich požadavků. Změna je prováděna štětcem, u kterého je určen poloměr a intenzita, na kterou jednotlivé body či oblast přetvoří. V případě pohybu úst je největší váha na bodech v oblasti brady a čelistí, vzdálenější body pak svou intenzitu ztrácejí. Správné nastavení vah pro danou část obličeje znázorňuje (Obrázek 9).



Obrázek 9 - Nastavení vah pro cluster v oblasti úst
(zdroj: autor)

2.4 Pohyb clusterů a vliv na model

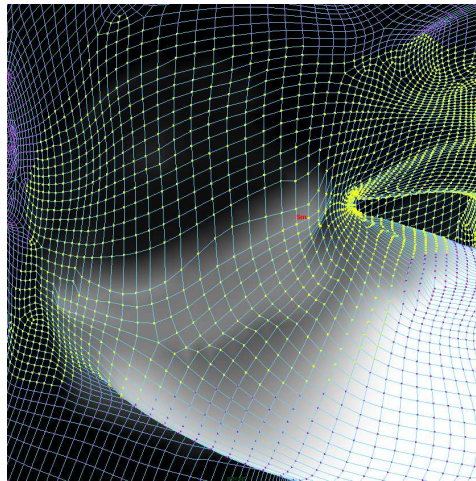
Cluster představuje bod v modelu, na který lze aplikovat základní možnosti pohybu – posun do všech os či rotace. Při změně polohy *clusteru* se mění poloha všech bodů (způsobem popsáním v kapitole 2.1), které jsou ke *clusteru* přidány a mají nastavenou váhu větší než 0. Právě vlivem váhování je docíleno věrohodného pohybu daných částí obličeje. Deformaci modelu při posunu *clusteru* a správném nastavení váhování prezentuje Obrázek 10.



Obrázek 10 - Vliv posuvu clusteru na model
(zdroj: autor)

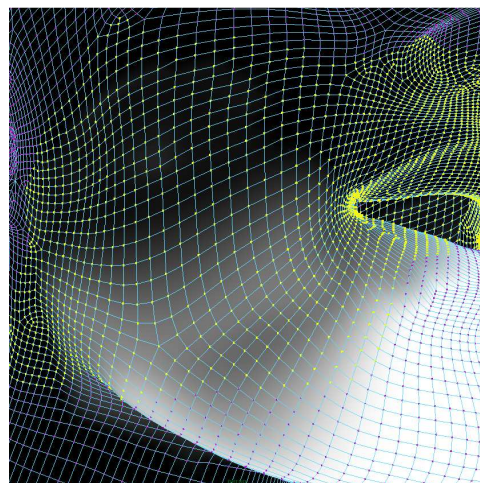
2.5 Dodatečná úprava váhování

V momentě, kdy je *cluster* ve výchozí poloze, není možné předem určit, zda bude výsledná deformace při jeho pohybu uspokojivá. Posun *clusteru* může prozradit chybné nastavení váhování v určitých oblastech – body modelu se nepohybují podle zamýšleného směru, což lze pozorovat i na síťovém modelu obličejě (viz Obrázek 11). Tyto chyby vznikají zpravidla v místech, kde sousedí body s definovanou a nedefinovanou (nulovou) váhou.



Obrázek 11 - Drobné chyby váhování při pohybu clusteru
(zdroj: autor)

Pro dodatečnou úpravu není podmínkou, aby byl *cluster* ve výchozí poloze. Výhodnější je naopak upravovat váhování po posunu *clusteru*, neboť jsou změny pozic jednotlivých bodů ihned patrné. Chybná váha může být změněna ručním přepsáním hodnoty, což je ovšem časově náročné, neboť není snadné rychle určit správnou hodnotu.



Obrázek 12 - Model po opravě váhování
(zdroj: autor)

K rychlé opravě slouží nástroj *Smooth*. Hodnota váhy bodu, na který je nástroj *Smooth* aplikován, je určena průměrováním vah okolních bodů – tím je docíleno rychlého a relativně přesného nalezení hodnoty váhy a úpravy samotného váhování v modelu (Obrázek 12) [17].

2.6 Finální rozmístění clusterů

Každý z jednotlivých *clusterů* ovládá určitou část obličeje, proto je nemožné, aby byla mimika vytvořena pouze jedním *clusterem*. Jednotlivé *cluster*y by svou pozicí a deformací obličeje měly co nejvíce napodobovat lidské svaly v obličeji a pokrýt co nejvíce jednotlivých výrazů člověka.

Jednotlivých výrazů obličeje na počítačovém modelu docílíme kombinací posunu jednotlivých *clusterů*. Například pro široký úsměv je zapotřebí jedním *clusterem* otevřít ústa a dvěma po stranách roztáhnout koutky.

V prostředí Autodesk Maya není v naší práci cílem vytvořit jednotlivé výrazy, ale jen připravit model tak, aby bylo možné s jednotlivými *cluster*y hýbat v prostředí Autodesk MotionBuilder. Tento nástroj poslouží k definování jednotlivých výrazů obličeje a následné aplikaci pohybových dat, díky čemuž získá počítačový model reálné pohyby tváře skutečného člověka. Finální rozmístění *clusterů* ukazuje Obrázek 13.



Obrázek 13 - Finální rozmístění clusterů
(zdroj: autor)

3 Metoda blend shapes

3.1 Princip metody blend shapes

Již samotný překlad metody nastíní funkci. *Blend shapes* neboli *míchání tvarů* představuje kombinaci několika variant geometrických tvarů. Jinak řečeno, *blend shapes* interpolují a plynule transformují mezi více podobami stejného modelu. Tato metoda bývá nejčastěji používána právě pro tvorbu jednotlivých výrazů modelu obličeje [18 str. 309]. *Blend shapes* ve svém principu potřebují jeden či více dalších objektů, do kterých se bude transformovat. Tyto objekty se označují jako *targets shapes* (cílové objekty) [18 str. 309]. Jediným požadavkem při tvorbě cílů zůstává, že musí obsahovat stejný počet *hran* (či *řídících bodů* v případě NURBS) [19].

Prostředí Autodesk Maya ovládá jednotlivé podoby modelu prostřednictvím posuvníku, kde při změně hodnoty mezi intervalem $<0;1>$ dochází k interpolaci změn a plynulému "přechodu" mezi originální (výchozí) podobou modelu (*base shape*) [19] a cílovou (*target shape*). Důležitý poznatek spočívá v tom, že jednotlivé body modelu se v případě transformace *blend shapes* přesouvají od původní k cílové pozici přímou cestou (po přímce). Tento fakt může v určitých situacích způsobit problémy – například pohyb očního víčka neprobíhá lineárně, ale po kružnici, takže při přechodu mezi otevřenými a zavřenými očima může oční víčko v určité poloze vstupovat do oka [18 str. 310]. Tento neduh lze vyřešit skriptem, pomocí kterého jsou jednotlivé body posouvány po kružnici a ne po přímce, což je v tomto případě žádoucí [20].

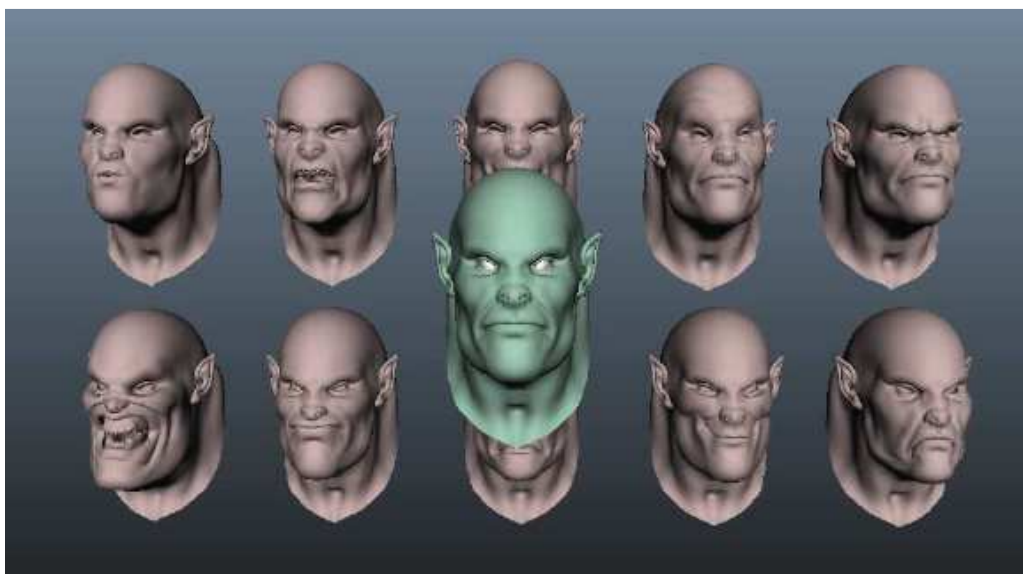
3.2 Tvorba blend shapes v prostředí Autodesk Maya

3.2.1 Tvorba cílových podob modelu

Jako cílová podoba modelu (*targets shapes*) je zpravidla použita kopie základního modelu, jež je upravena. V případě tvorby výrazů lidské tváře je tedy zkopírována základní geometrie obličeje (tedy bez očí, jazyka, zubů atp.) a vytvořen libovolný počet kopií. Každá z kopií je následně pomocí základních úprav transformována na určitý výraz. Jelikož byl model po úpravě exportován do prostředí MotionBuilder, byly vytvořeny podoby obličeje z tohoto prostředí (kapitola 4.1.1). Při úpravě cílových objektů jsou zpravidla jednotlivé kopie základního modelu (*base shape*) přesunuty

v libovolné ose mimo základní geometrii. Pro samotnou tvorbu není tento požadavek důležitý, usnadní ovšem orientaci mezi jednotlivými *blend shapes* (viz Obrázek 14).

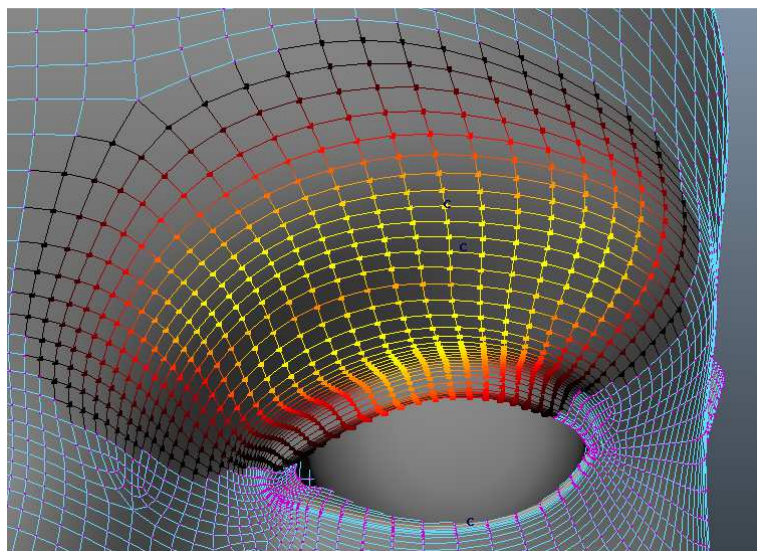
K úpravě jednotlivých cílových objektů (*targets shapes*) lze využít stejné nástroje jako při tvorbě a úpravě modelu. Záleží tedy na tom, zda je model vytvořen z polygonů, nebo metodou NURBS. Model lidské tváře v této práci [9] vznikl polygonovým modelováním (kapitola 1.2.1), takže další část kapitoly se bude věnovat právě úpravám polygonů. Model, který by byl vytvořen pomocí NURBS objektů, lze konvertovat na polygony, nebo používat nástroje pro úpravu NURBS objektů.



Obrázek 14 - Ukázka základního modelu (uprostřed) a cílových objektů okolo

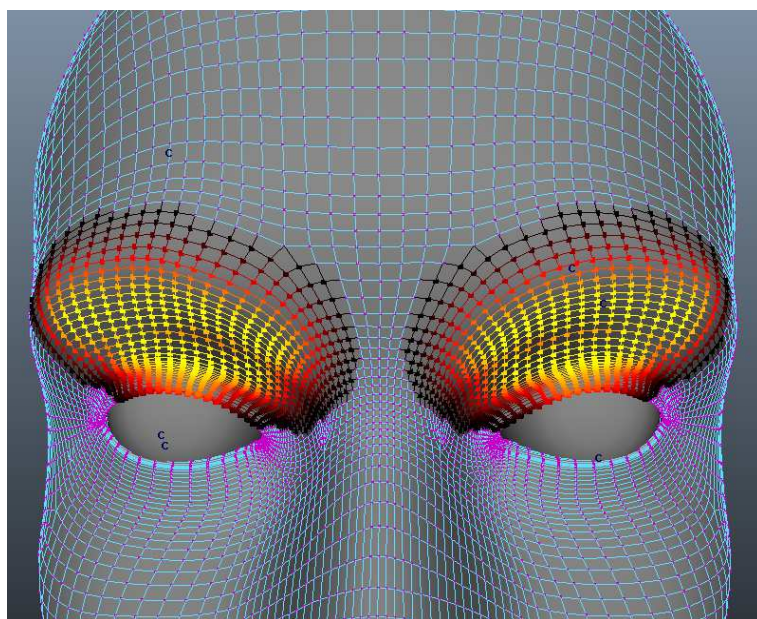
(zdroj: <http://cgterminal.com/wp-content/uploads/2011/10/Maya-Blend-Shape-Tips-and-Tricks-by-Steven-Roselle.jpg>)

V případě polygonového modelování lze tvořit jednotlivé výrazy obličeje ruční úpravou *vrcholů* (vertices), *hran* (edges) či *plošek* (faces). Úprava touto metodou se může zdát časově velmi náročná, ale prostředí Autodesk Maya v sobě obsahuje několik nástrojů, které tvorbu mimik výrazně usnadní. V první řadě se jedná o nástroj *Soft Selection*, pomocí kterého lze označit více bodů modelu s různou vahou. To znamená, že pokud je na takto označené body použita deformace (posuv či rotace), budou se jednotlivé vrcholy měnit rozdílně podle výběru. Charakter výběru lze definovat – intenzita, se kterou se budou body deformovat, je přehledně znázorněna pomocí barev (viz Obrázek 15). Žlutá barva signalizuje 100% deformaci, síla postupně ustupuje v podobě změny k červené až černé barvě. Princip posunu bodů při váhování je velmi podobný metodě *clusterů* (kapitola 2.1).



Obrázek 15 - Použit nástroje Soft Selection v prostředí Autodesk Maya
(zdroj: autor)

Pokud je potřeba editovat části obličeje na obou stranách zároveň, nabízí se funkce *Reflection*, která aplikované úpravy automaticky provádí i na opačné straně obličeje (viz Obrázek 16). Ani výběr bodů nemusí probíhat pouze vybráním jednoho bodu (a jeho okolí díky *Soft Selection*), ale lze držet klávesu Shift a přidávat další volitelné body včetně okolí. K označení více bodů poslouží i nástroj *Paint Selection Tool*, který umožní tahem myši označit více bodů zároveň. V kombinaci se *Soft Selection* tak lze detailněji označit určitou část obličeje včetně síly deformace.



Obrázek 16 - Použit nástroje Reflection v prostředí Autodesk Maya
(zdroj: autor)

Označené body jsou následně vhodně deformovány pomocí funkcí *Move*, *Rotate* či *Scale*. Kombinací předchozích nástrojů lze docílit relativně snadného a dobrého výsledku při modelování kýžených podob obličejů. Zde hraje největší roli čas, trpělivost a preciznost. Dokonalého výsledku nelze docílit za několik minut.

3.2.2 Tvorba blend shapes

Každý model, který je upraven do plánované podoby obličeje, musí být přidán jako součást základního modelu pomocí nástroje *blend shapes*. Pro aplikaci je nutné označit za držení klávesy *Shift* všechny další podoby, které budou do *blend shapes* přidány, s tím, že jako poslední je nutno označit *base shape*, a provést volbu *Create*.

K ovládání jednotlivých podob obličeje slouží okno *Blend shapes*, ve kterém je znázorněn každý cílový objekt a změnou posuvníku lze pozorovat proměnu základního modelu právě do této podoby. Změna probíhá plynule.

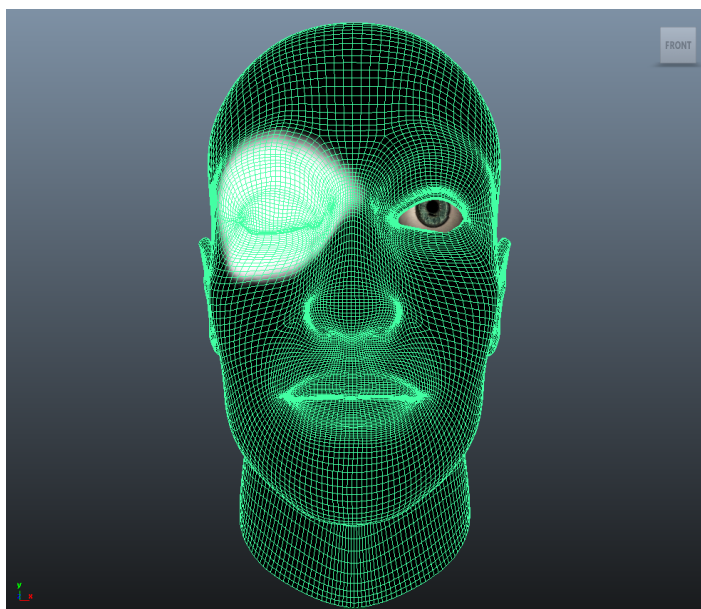


Obrázek 17 - Ukázka kombinace několik cílových modelů
(zdroj: autor)

3.3 Váhování

Váhování bylo již vysvětleno a aplikováno v metodě *cluster* (kapitola 2.3), u metody *blend shapes* funguje obdobně, ale využívá se k jinému účelu. Stejně jako u *clusterů* definuje váhování stupeň, se kterým se určitá část modelu deformuje. Jelikož je ale většinou již vytvořen cílový objekt tak, jak bude finálně vypadat, ztrácí používání váhování při běžné deformaci modelu trochu smysl. Dá se ale využít při tvorbě

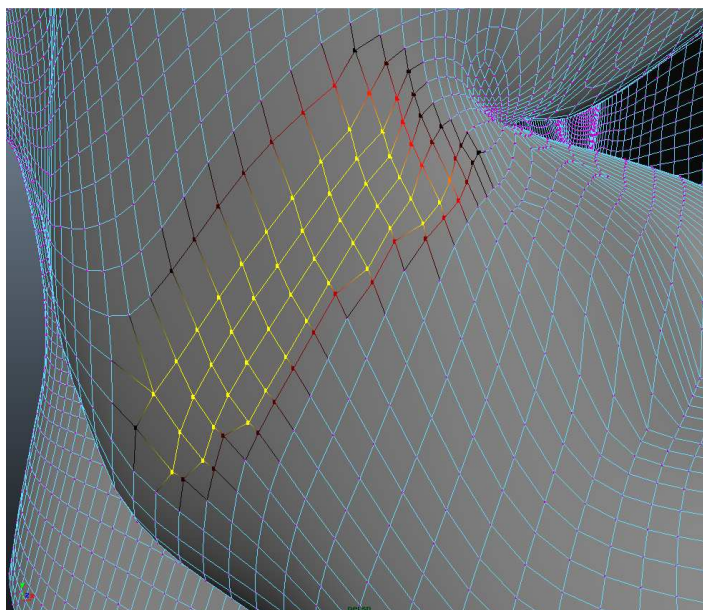
symetrických cílových objektů, které chceme rozdělit do dvou různých objektů [18 stránky 318-320]. Typicky části obličeje by měly být zpracovány symetricky, ale pro použití v prostředí Autodesk MotionBuilder zároveň odděleny. Například pohyb očních víček se přímo vybízí vytvářet na obou stranách obličeje zároveň, aby byl zajištěn stejný pohyb na obou stranách obličeje. Poté, co je pomocí ručních úprav a nástroje *Reflection* (kapitola 3.2.1) vytvořen cílový objekt s pohybem obou očních víček, je tato podoba duplikována a aplikováno váhování. U prvního objektu je pomocí váhování označena pouze levá část obličeje, u druhého obdobným způsobem pouze pravá. Právě tímto způsobem je docíleno dokonalého zpracování obou stran obličeje zároveň, přitom jsou vytvořeny dva objekty, se kterými lze pracovat separátně. Podobného výsledku lze docílit i přímým zrcadlením geometrie (více v kapitole 3.5).



Obrázek 18 - Váhování může použito k zrcadlení cílového objektu
(zdroj: autor)

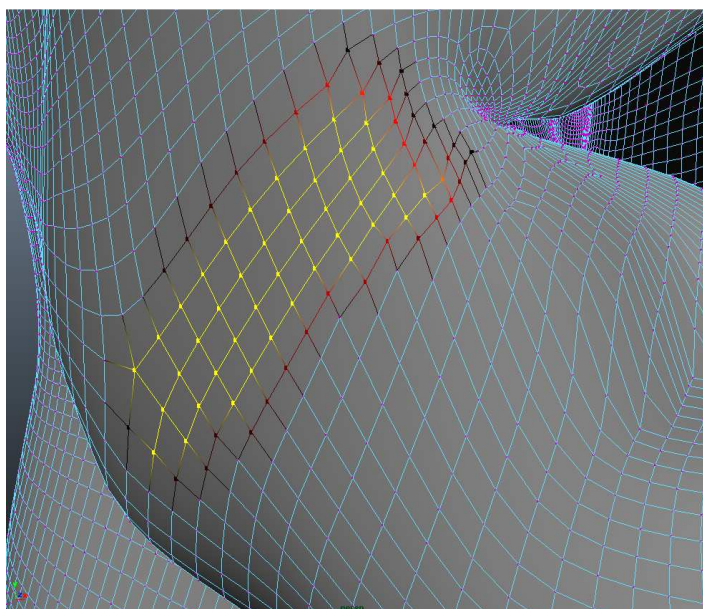
3.4 Drobné opravy geometrie

Při ruční úpravě vrcholů modelu mohou vzniknout menší chyby, které projeví na finálním modelu neplynulými přechody geometrie, ostrými hranami, vyčnívajícemi částmi atp. Tento problém vzniká především v místech, kde pohyb vrcholů začíná.



Obrázek 19 - Chyby, které vznikají posunem vrcholů při tvorbě cílových objektů
(zdroj: autor)

V případě polygonového modelování nabízí Maya nástroj *Average Vertices*, který funguje na podobném principu jako *Smooth* u metody *clusterů* (kapitola 2.5) – pozice označených bodů jsou průměrovány s okolními body. Tímto způsobem lze během několika okamžiků opravit menší nedostatky geometrie.



Obrázek 20 - Snadná oprava chyb průměrováním pozic okolních vrcholů
(zdroj: autor)

3.5 Zrcadlení cílových objektů

Při tvorbě *blend shapes* je upravována kopie celého modelu a poté označena jako cílový objekt. Přímo se tedy vybízí při tvorbě symetrických částí těla celou geometrii zrcadlit, což výrazně zjednoduší a zkvalitní výslednou animaci obličeje. Příklad – jako cílový objekt je vytvořena podoba obličeje se zavřeným levým okem. Stejným způsobem sice může být vytvořena i podoba se zavřeným pravým okem, ale to zabere nějaký čas a výsledek nikdy nebude 100% symetrický. Autodesk Maya v sobě obsahuje několik základních nástrojů pro zrcadlení geometrie, ty však použít nelze.

V případě použití funkce *Mirror* (změna měřítka v příslušné ose na hodnotu -1) se sice v náhledu zdá, že je objekt zrcadlen, ale ve skutečnosti se geometrie nezměnila, jen ji tak Maya zobrazuje. Z těchto důvodů nelze při tvorbě cílových objektů tento způsob použít [21].



Obrázek 21 - Ukázka zrcadlení cílových objektů pomocí skriptu
(zdroj: autor)

Tento problém lze obejít nástrojem *Wrap Deformer*, při němž je vždy vytvořen dočasný objekt se změnou měřítka na -1 a přetransformován touto funkcí na zrcadlenou geometrii. Tento způsob je ovšem o něco časově náročnější a nejlepším způsobem je využít některého ze skriptů, které byly napsány nezávislými autory. K zrcadlení *blend shapes* v této práci posloužil skript *scMirrorBlend*, který je k dispozici zdarma [22].

3.6 Využití clusterů při tvorbě blend shapes

Tvorba cílových objektů metodou *blend shapes* probíhá skrze ruční úpravy modelu (s využitím dalších nástrojů viz kapitola 3.2.2), což může být časově náročnější. Naopak metodou *clusterů* lze díky váhování docílit přibližné podoby obličeje za kratší čas. Této vlastnosti a výhody se dá využít i v metodě *blend shapes*. Jednoduše je přibližná podoba cílového objektu vytvořena pomocí *clusterů*, dále detailněji upravena pomocí ručních úprav modelu a uložena jako *blend shapes*. Právě díky této kombinaci metod je dosaženo velmi dobrého výsledku za kratší čas, než kdyby byl cílový objekt vytvořen pouze ruční úpravou modelu.

3.7 Porovnání metod blend shapes a cluster

Při tvorbě animovaného modelu lze pomocí obou metod docílit velice podobné výstupní kvality. V případě *clusterů* vyhrává jednoznačně možnost pohybovat s částmi modelu dle definovaného váhování, díky čemuž lze velice rychle docílit přibližné podoby finálního výrazu obličeje. Na druhou stranu je poměrně těžké docílit uspokojivé podoby, hlavně pak u menších detailů. Při tvorbě animace modelů pomocí metody *blend shapes* probíhají úpravy modelu ručně (změna pozic vrcholů), což je na jednu stranu časově náročnější, ale je díky tomu docíleno úplné kontroly nad finální podobou objektu. Vzájemné porovnání obou metod prezentuje Tabulka 1.

Tabulka 1 - Porovnání metod cluster a blend shapes
(zdroj: autor)

	Cluster	Blend Shapes
Výhody	<ul style="list-style-type: none">• Relativně rychle lze docílit přibližné podoby modelu.• Snadná tvorba.• Práce pouze s jedním modelem.• Pro základní podoby animace časově přívětivější.	<ul style="list-style-type: none">• Úplná kontrola nad finální podobou modelu.• Možnost zrcadlení geometrie.• Možnost tvorby detailů (vrásek atp.).• Snadný náhled cílových objektů přímo v prostředí Autodesk Maya.• Při tvorbě lze využívat clustery.
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none">• Nelze docílit detailního výsledku (vrásky atp.).• Jednotlivé clustery nelze snadno zrcadlit.	<ul style="list-style-type: none">• Tvorba je zpravidla časově náročnější.• Soubor s projektem je znatelně větší.

4 Animace obličeje a hodnocení jednotlivých metod

4.1 Příprava modelu

Počítačový model obličeje byl upraven pomocí metod *cluster* a *blend shapes* tak, aby pokrýval veškeré generické výrazy v prostředí Autodesk MotionBuilder (viz kapitola 4.1.1). Vznikly tak dva rozdílné modely, které byly exportovány do souboru ve formátu fbx pro import do prostředí MotionBuilder.

Na importovaný model byl použit nejprve nástroj *Character face*, kterým byly postupně definovány jednotlivé podoby obličeje. Prostředí Autodesk MotionBuilder obsahuje přímo v sobě generické výrazy, které byly použity. Lze ovšem definovat i výrazy vlastní, což se hodí při tvorbě netypických obličejů.

4.1.1 Definování výrazů obličeje pomocí clusterů

U metody *clusterů* je třeba všechny výrazy definovat ručním posunem jednotlivých *clusterů* přímo v prostředí Autodesk MotionBuilder. Slouží k tomu záložka *Cluster Shapes Creation*, kde jsou vypsány důležité části obličeje. Pro každou z mimik je nejprve nutné přidat příslušné *cluster*, které ovládají danou část obličeje. Pak následuje posun *clusterů* do příslušné pozice, aby vytvořily kýženou podobu obličeje. Všechny potřebné výrazy jsou uvedeny v záložce *Generic*:

- **Ústa (zavřená)**
 - otevřená;
 - našpulené rty;
 - pravý koutek nahoru;
 - levý koutek nahoru;
 - pravý koutek dolů;
 - levý koutek dolů;
- **Levé obočí (neutrální poloha)**
 - nahoru;
 - dolů;
- **Pravé obočí (neutrální poloha)**
 - nahoru;
 - dolů;

- **Levé oko (otevřené)**
 - zavřené;
 - šilhání;
 - široce otevřené;
- **Pravé oko (otevřené)**
 - zavřené;
 - šilhání;
 - široce otevřené;
- **Levá tvář (neutrální poloha)**
 - dovnitř;
 - ven;
- **Pravá tvář (neutrální poloha)**
 - dovnitř;
 - ven;
- **Levá nosní dírka (neutrální poloha)**
 - nahoru;
- **Pravá nosní dírka (neutrální poloha)**
 - nahoru;

Druhý krok spočívá ve finální definici výrazů obličeje na záložce *Shapes mapping*. Zde stačí ke každému výrazu přidat již vytvořené podoby z předchozího kroku; posun clusteru je udáván v procentech (typicky 100 %). Pokud by se později ukázalo, že jsou některé extrémní meze výrazu nepřirozené, lze hodnotu ručně upravit.

4.1.2 Definování výrazů obličeje pomocí blend shapes

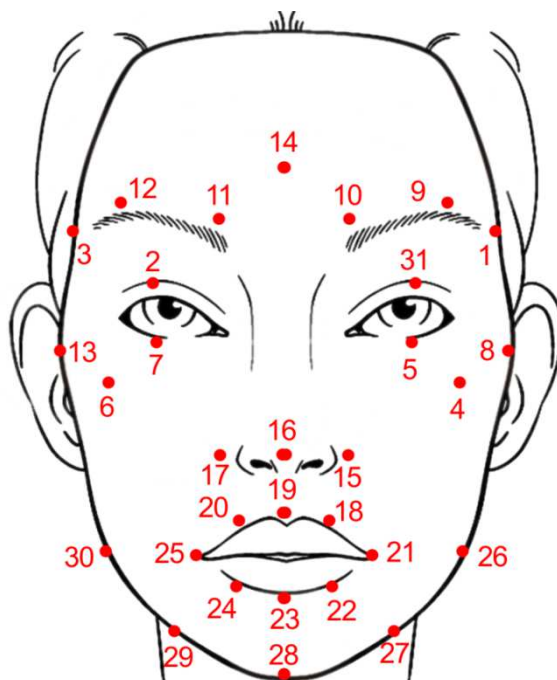
Značně jednodušší je to u modelu s *blend shapes*, kde byly jednotlivé výrazy obličeje vytvořeny již v prostředí Autodesk Maya. Stačí tedy jen přiřadit příslušné cílové objekty k připraveným výrazům obličeje v záložce *Shapes mapping* obdobným způsobem jako v kapitole 4.1.1.

4.2 Animace modelu

4.2.1 Aplikace pohybových dat

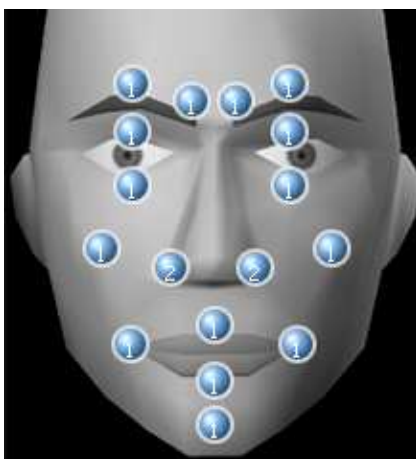
Pohybová data byla získána systémem Vicon. Po importu do prostředí Autodesk MotionBuilder se data jeví jako jednotlivé body, které se pohybují podle pohybů obličeje

herce. Tyto body je potřeba přiřadit ke správným částem obličeje funkce *Actor face* (dále AF), kterou je nutno aplikovat na model hlavy. Polohy bodů zobrazuje Obrázek 22.



Obrázek 22 - Body obličeje, které byly snímány systémem Vicon
(zdroj: autor)

Důležité je nejprve určit 4 referenční body, pomocí kterých MotionBuilder detekuje rotaci hlavy a jednotlivé markery na obličeji jsou potom brány ve vztahu k obličeji (bez této rotace) [23]. Přidány byly všechny markery, které odpovídaly získaným bodům ze systému Vicon (Obrázek 23).



Obrázek 23 - Actor face – přiřazení jednotlivých markerů
(zdroj: autor)

4.2.2 Export a komprese videosekvencí

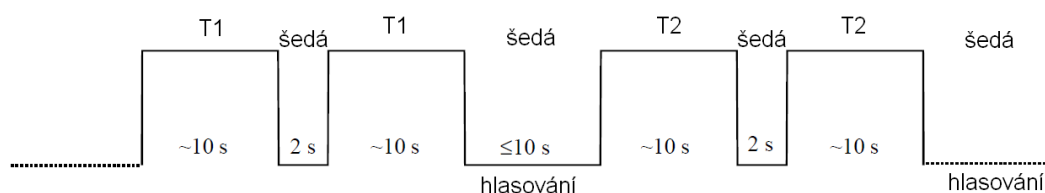
Model, který byl rozpořhybován pomocí pohybových dat, byl znovu exportován do prostředí Autodesk Maya, kde byla scéna obohacena o pozadí a světlo okolí (*Ambient light*) [5 str. 289].

Celá scéna byla následně exportována jako krátká videosekvence v případě *clusterů* i *blend shapes*. Renderování snímků probíhalo v kodéru MPEG-4 AVC (x.264) s průměrným datovým tokem 10 Mbit/s a rozlišením 1920 x 1080 pixelů. Takto vysoký datový tok byl zvolen proto, aby pozdější výsledky nebyly zkresleny artefakty a jinými neduhy při nízkém datovém toku. Vznikly tedy dvě rozdílné videosekvence, které byly podrobeny subjektivnímu testování.

4.3 Metoda hodnocení videosekvencí

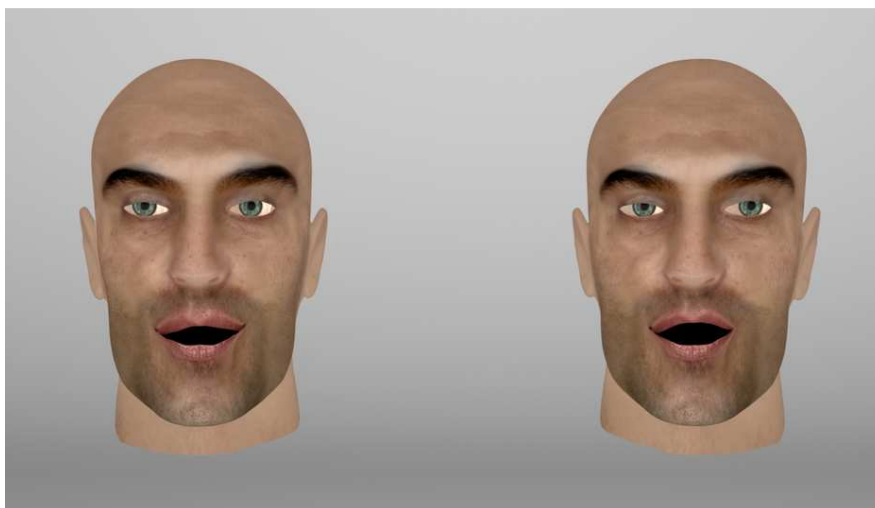
Pro hodnocení obou videosekvencí byla použita subjektivní metoda PC (Pair Comparison method), která je definována v normě ITU-T P.910 [24]. Obě vytvořené sekvence byly přehrávány současně na jednom televizoru a po skončení promítání pozorovatelé zvolili lepší metodu. Zkoumána byla především stránka přirozenosti – lepších výsledků dosahuje ta metoda, která se více blíží přirozeným pohybům skutečného člověka.

Schéma testovací sekvence bylo podle normy ITU-T P.910 následující:



Obrázek 24 - Schéma testovací sekvence při hodnocení metod
(zdroj: autor)

T1 představuje sekvenci, v níž jsou na jednom monitoru zobrazeny modely s *clustery* a *blend shapes* vedle sebe (Obrázek 25) a interpretují první větu. Po skončení T1 následuje dvousekundový úsek s šedým pozadím a opakování sekvence T1. První část (syntézu první věty) ukončuje desetisekundový úsek s šedým pozadím, během kterého pozorovatelé označí lepší metodu. Celkově bylo ohodnoceno 10 vět.



Obrázek 25 – Zobrazení obou metod vedle sebe
(zdroj: autor)

Pozice modelů s *blend shapes* a *clustery* byla zvolena náhodně a v průběhu interpretace jednotlivých vět se měnila. Pozice modelů nebyla pozorovatelům prozrazena. Pro účely testování byl připraven záznamový arch, který obdržel každý pozorovatel. U každé věty bylo možné označit pouze jednu možnost (označit první, nebo druhou metodu).

Testování se uskutečnilo v nahrávacím studiu katedry radioelektroniky na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. Obraz byl promítán na televizi Sony Bravia KDL-40EX500 s výškou obrazu 50 cm a rozlišením 1920 x 1080 pixelů, jako zdroj byl použit netbook značky Lenovo, který byl s televizorem propojen HDMI kabelem.

Vzdálenost pozorovatelů od televizoru činila 2 a 3 metry. Norma udává vzdálenost $8H$ (v našem případě 4 metry), což je s ohledem na schopnost porovnat rozdíly v detailech nevyhovující. Dle normy byly splněny všechny další podmínky pro testování (zadní osvětlení, správný maximální pozorovací úhel atp.) [24].

4.4 Vyhodnocení testovaných videosekvencí

4.4.1 Realizace testu

Spolu s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že subjektivní kvalitu sekvencí mohou hodnotit pozorovatelé, kteří vadou sluchu netrpí. Celkem bylo za účelem testu osloveno 25 dobrovolníků, kteří – podle svých slov – netrpí žádnou vadou zraku nebo je tato vada korigována brýlemi. Každý ze subjektů zhlédl vytvořenou videosekvenci a ohodnotil (viz kapitola 4.3).

4.4.2 Vyhodnocení kvality

Celkem 25 pozorovatelů dostalo za úkol označit videosekvenci s přirozenějšími pohyby. Hodnoceno bylo postupně 10 vět a celkem tak vzniklo 250 dílčích hodnocení.

Pozice modelů s příslušnými metodami a rozdělení hlasů podle pozorovatelů ukazuje Tabulka 2. Čísla reprezentují počet studentů, kteří danou metodu označili jako lepší v příslušné větě.

Tabulka 2 - Pozice jednotlivých metod v testovací sekvenci
(zdroj: autor)

	Levá strana	Pravá strana
Věta 1	cluster – 7	blend shapes – 18
Věta 2	blend shapes – 19	cluster – 6
Věta 3	blend shapes – 17	cluster – 8
Věta 4	cluster – 10	blend shapes – 15
Věta 5	blend shapes – 19	cluster – 9
Věta 6	cluster – 6	blend shapes – 19
Věta 7	cluster – 6	blend shapes – 19
Věta 8	blend shapes – 17	cluster – 8
Věta 9	blend shapes – 22	cluster – 3
Věta 10	cluster – 13	blend shapes – 12

V 9 z 10 větách byla metoda *blend shapes* označena pozorovateli jako lepší, pouze v případě věty číslo 10 byly výsledky srovnatelné. Celkově 174 z celkových 250 hlasů patřilo metodě *blend shapes*, což je 69,6 %. Z těchto výsledků je patrné, že metoda *blend shapes* působí přirozeněji a z tohoto pohledu se pro syntézu znakového jazyka hodí více.

Tabulka 3 - Celkové zhodnocení obou metod
(zdroj: autor)

	cluster	blend Shapes
Lepší	76	174

4.5 Srovnání syntézy znakového jazyka s reálným obličejem

V průběhu tvorby modelu a jeho následné animace bylo zjištěno několik nedostatků, kvůli kterým se podoba syntézy znakového jazyka a reálného mluvčího více či méně rozchází. Aby bylo dosaženo co nejuvěrnější podoby modelu, musí být jeho přípravě věnováno velké množství času. Tvorba modelu se všemi detaily (zuby, jazykem, vráskami, vadami na kůži atp.), který by měl být nasazen do reálného vysílání, je časově velice náročná a překračuje časový rozsah této práce.

Velkou roli při srovnání syntézy znakového jazyka a reálného mluvčího sehrály také textury (barva pleti, vlasy, oči atp.), které byly – jak se později ukázalo – u použitého modelu nedostačující. Při animaci modelu se textury na několika místech nepřírozně deformovaly, což působilo pro pozorovatele rušivě. Správná volba a úprava textur pro pozdější animaci modelu by mohly být dobrým námětem pro další práci.



Obrázek 26 - Porovnání skutečného mluvčího a animovaného modelu
(zdroj: autor)

Menší nedostatky se týkaly samotné aplikace pohybových dat na oba modely, protože pozice jednotlivých markerů přímo neodpovídala pozicím na AF. Kvůli tomu, že nebyla k dispozici dokumentace, jak přesně přiřazování a vypočítávání pozic markerů v prostředí Autodesk MotionBuilder funguje, nebylo možné správně rozhodnout, jak všechny markery na AF umístit. Kvůli tomu vzniklo několik nepřesností při pohybu modelu. Ani pozice markerů umístěných na herci nebyla stoprocentní – například v případě očních víček byl každý marker umístěn trochu jinak, což se v prostředí

Autodesk MotionBuilder projevilo nesouměrným zavíráním očí. Tento nedostatek byl odstraněn ručním nastavením prahové hodnoty při pohybu očních víček.

Při zpracovávání práce a úpravě modelu nebyl nalezen způsob, jak řídit rotaci hlavy modelu. V testovací sekvenci se model hlavy nehýbal, což jej od interpretace živého mluvčího odlišovalo. Tuto situaci by vyřešil model celého těla.

Závěr

V bakalářské práci byl popsán význam obličej ve znakovém jazyce, princip počítačového modelování a systém pro sledování pohybu. Tvorba a animace počítačového modelu je pro syntézu znakového jazyka klíčová, stejně tak použití dat ze systému Motion Capture, díky kterému bylo docíleno přirozených pohybů všech důležitých částí obličej. Pro aplikaci pohybových dat bylo potřeba upravit model obličej pomocí metod pro animaci modelů. Tato práce popisuje metody *blend shapes* a *clustery*.

Obě metody byly detailně rozebrány a postupně aplikovány na počítačový model obličej mluvčího znakového jazyka. Každá z metod má svůj specifický způsob tvorby a je postavena na jiném principu. V průběhu tvorby bylo zjištěno, že obě metody mají několik společných rysů (průměrování vrcholů, váhování) a je dosaženo velmi podobných výsledků při závěrečné tvorbě modelu. Metodu *clusterů* lze dokonce použít při tvorbě cílových podob *blend shapes*, a tak využít výhod obou metod. Tento způsob urychlí úpravy modelu a přitom zajistí finální podobu s velmi detailními úpravami.

Již při aplikování metody *blend shapes* se zdálo, že bude tato metoda pro tvorbu mimiky výhodnější, neboť na rozdíl od *clusterů* nabízí úplnou kontrolu nad finální podobou jednotlivých výrazů obličej. Jednotlivé výrazy byly vytvořeny již v prostředí Autodesk Maya, zatímco u metody *clusterů* až v prostředí Autodesk MotionBuilder, které není pro tento účel tak přehledné a přesné jako Autodesk Maya. Při definici výrazů tak mohly snadno vzniknout chyby.

Aplikací metod *blend shapes* a *clusterů* vznikly dva modely, které byly pomocí dat ze systému Motion Capture a prostředí Autodesk MotionBuilder rozpohybovány. Pro účely subjektivního testování byla vytvořena videosekvence pro test PC (Pair Comparison method), která je definována v normě ITU-T P.910. Pozorovatelé výrazně lépe hodnotili model obličej, který byl vytvořen metodou *blend shapes*, a potvrdili, že tato metoda je pro syntézu znakového jazyka vhodnější.

Počítačový model, který byl zvolen pro porovnání obou metod animace, neobsahoval některé důležité části obličeje (jazyk, zuby). Rovněž pohyb a deformace textur se rozcházela s deformací kůže u reálného mluvčího. Tato problematika by mohla posloužit jako námět pro další práci.

Seznam použité literatury

1. **Macurová, Alena.** Poznáváme český znakový jazyk I. *Ruce.cz.* [Online] [Citace: 24. duben 2014.] <http://ruce.cz/clanky/8-poznavame-cesky-znakovy-jazyk-i>.
2. —. Poznáváme český znakový jazyk V. - Specifické znaky. *Ruce.cz.* [Online] [Citace: 24. duben 2014.] <http://ruce.cz/clanky/189-poznavame-cesky-znakovy-jazyk-v-specificke-znaky>.
3. —. Gesta a mimika - a dorozumívání neslyšících. *Ruce.cz.* [Online] [Citace: 24. duben 2014.] <http://ruce.cz/clanky/12-gesta-a-mimika-a-dorozumivani-neslysicich>.
4. **Palamar, Todd.** *Mastering Autodesk Maya 2013.* místo neznámé : Sybex, 2012. 1118130588.
5. **Ridell, Danny.** *MAYA 5 pro Windows a Macintosh: Názorný průvodce.* místo neznámé : Computer Press, 2004. 8072269569.
6. Autodesk Maya: modelujeme telefon s pomocí NURBS (1.). *Grafika: Vše o počítačové grafice.* [Online] 5. říjen 2010. [Citace: 23. duben 2014.] <http://www.grafika.cz/rubriky/design/autodesk-maya-modelujeme-telefon-s-pomoci-nurbs-1--138069cz>.
7. **Autodesk.** Set NURBS Tessellation. *Autodesk Maya 2014 User's Guide.* [Online] Autodesk. [Citace: 23. duben 2014.] http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/index.html?url=files/Render_Set_NURBS_Tessellation.htm,topicNumber=d30e697330.
8. —. Subdivision Surface Modeling - Autodesk. *Autodesk.com.* [Online] [Citace: 23. duben 2014.] <http://download.autodesk.com/us/support/files/subds.pdf>.
9. **HeidyCurbelo.** Male Face. *TurboSquid.* [Online] <http://www.turbosquid.com/3d-models/male-head-3d-model/357993>.
10. **Sovák, Jan.** Gyroskopický Motion Capture systém v Praze. *Pixel.* Únor 2008, 134, stránky 60-63.
11. **The Ant, A Motion Capture Assistant of InnerEsteem Motion capture Studios.** Advantages Disadvantages and Applications of Motion Capture. *Articles Base.* [Online] 20. září 2007. [Citace: 22. duben 2014.] <http://www.articlesbase.com/technology-articles/advantages-disadvantages-and-applications-of-motion-capture-217465.html>.
12. **Furniss, Maureen.** Motion capture. *MIT communications forum.* [Online] 1999. [Citace: 22. duben 2014.] <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>.
13. **Hovora, Jan.** Motion Capture - teorie i praxe. *Pixel.* Březen 2008, 135, stránky 26-29.

14. **Menache, Alberto.** *Understanding motion capture for computer animation.* Burlington : Morgan Kaufmann, 2011. 0123814960.
15. **Autodesk.** Editing cluster deformation effects. *Autodesk Maya 2014 User's Guide.* [Online] Autodesk. [Citace: 18. duben 2014.] http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/index.html?url=files/Cluster_deformer_Editing_cluster_deformation_effects.htm,topicNumber=d30e348879.
16. —. Cluster deformer. *Autodesk Maya 2014 User's Guide.* [Online] Autodesk, 2014. [Citace: 18. duben 2014.] http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/index.html?url=files/Cluster_deformer_Editing_cluster_deformation_effects.htm,topicNumber=d30e348879.
17. —. Paint Cluster Weights Tool. *Autodesk Maya 2014 User's Guide.* [Online] Autodesk. [Citace: 18. duben 2014.] http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/index.html?url=files/Skinning_Painting_smooth_skin_point_weights.htm,topicNumber=d30e307989.
18. **Keller, Eric.** *Mastering Autodesk Maya 2011.* Indianapolis : Wiley Publishing, 2010. 0470639350.
19. **Autodesk.** What are blend shapes? *Autodesk Maya 2014 User's Guide.* [Online] Autodesk. [Citace: 26. duben 2014.] http://download.autodesk.com/global/docs/maya2013/en_us/index.html?url=files/Blend_Shape_deformer_Set_blend_shape_deformers.htm,topicNumber=d30e325371.
20. **Dominici, Paolo.** ZV Radial Blend Shape 1.0. *Paolo Dominici - Animation Tools and Rigging Stuff.* [Online] [Citace: 12. květen 2014.] <http://www.paolodominici.com/products/zvradialblendshape/>.
21. **Rooden, Bastiaan van.** mirroring blend shapes – impossible? *On/Off.* [Online] [Citace: 29. duben 2014.] <http://www.onoff.ch/2008/03/08/mirroring-blend-shapes-impossible/>.
22. **underearth.** scMirrorBlend.mel 1.0.0 (maya script). *CreativeCrash.* [Online] [Citace: 28. duben 2014.] <http://www.creativecrash.com/maya/script/scmirrorblend-mel>.
23. Mapping Mocap Data to an Actor Face. *The University of Texas at Dallas.* [Online] [Citace: 28. duben 2014.] http://atec.utdallas.edu/midori/Handouts/MB_tutor/T54_Actor_Face_Mocap.pdf.
24. **Union, International Telecommunication.** ITU-T P.910. *International Telecommunication Union.* [Online] duben 2008. [Citace: 17. květen 2014.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.910/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-P.910-200804-I>.
25. **Mareš, Jindřich.** *ORÁLNÍ KOMPONENTY V ČESKÉM ZNAKOVÉM JAZYCE.* 2011.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ploška polygonu a její části.....	11
Obrázek 2 - Použití příkazu Smooth.....	12
Obrázek 3 - Komponenty objektu NURBS	12
Obrázek 4 - Ukázka použití systému MoCap v praxi ve filmu Pán Prstenů	15
Obrázek 5 - Optický systém Motion Capture při snímání pohybu	17
Obrázek 6 - Ukázka pohybů bodů v clusteru při rozdílné váze.....	18
Obrázek 7 - Deformace modelu bez definovaného váhování.....	19
Obrázek 8 - Jednotlivé body mají zpočátku nejvyšší váhu.....	20
Obrázek 9 - Nastavení vah pro cluster v oblasti úst	21
Obrázek 10 - Vliv posuvu clusteru na model	21
Obrázek 11 - Drobné chyby váhování při pohybu clusteru	22
Obrázek 12 - Model po opravě váhování.....	22
Obrázek 13 - Finální rozmístění clusterů.....	23
Obrázek 14 - Ukázka základního modelu (uprostřed) a cílových objektů okolo	25
Obrázek 15 - Použit nástroje Soft Selection v prostředí Autodesk Maya	26
Obrázek 16 - Použit nástroje Reflection v prostředí Autodesk Maya	26
Obrázek 17 - Ukázka kombinace několik cílových modelů	27
Obrázek 18 - Váhování může použito k zrcadlení cílového objektu.....	28
Obrázek 19 - Chyby, které vznikají posunem vrcholů při tvorbě cílových objektů.....	29
Obrázek 20 - Snadná oprava chyb průměrováním pozic okolních vrcholů.....	29
Obrázek 21 - Ukázka zrcadlení cílových objektů pomocí skriptu.....	30
Obrázek 22 - Body obličeje, které byly snímány systémem Vicon.....	34
Obrázek 23 - Actor face – přiřazení jednotlivých markerů	34
Obrázek 24 - Schéma testovací sekvence při hodnocení metod.....	35
Obrázek 25 - Zobrazení obou metod vedle sebe.....	36
Obrázek 26 - Porovnání skutečného mluvčího a animovaného modelu.....	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání metod cluster a blend shapes.....	31
Tabulka 2 - Pozice jednotlivých metod v testovací sekvenci	37
Tabulka 3 - Celkové zhodnocení obou metod	37

Seznam zkratk

MoCap	Motion Capture
AF	Actor Face
NURBS	Non-Uniform Rational Basis-Splines

Přílohy

Na přiloženém CD se nachází:

- práce ve formátu PDF;
- model animovaného mluvího znakového jazyka vytvořený metodou *clusterů*;
- model animovaného mluvího znakového jazyka vytvořený metodou *blend shapes*;
- komprimovaná videosekvence srovnání obou metod;

ČISTÝ LIST