

Tvarovanie 3R modelu ľudskej hlavy pomocou stereoskopického snímania

Shapping of 3D model of human head with stereoscopic
scanning

Ondrej Kovac, Jan Mihalik

ondrej.kovac@tuke.sk

Technical University of Košice

DOI: -

Abstract: In the paper techniques of 3D human head model shaping are described. The paper is mainly focused on mathematical description of parallel stereoscopic system and its implementation in estimation of human head coordinates issues. There are also analyzed issues of geometric camera calibration and homographic correction of stereoscopic camera system errors. Depth coordinates in general of arbitrary points of visual scene are result of estimation. In case of human head estimation these points correspond with facial definition points defined in MPEG-4/SNHC standard. The resulting coordinates after standardization into unitary space represent shaped 3D model. In conclusion achieved results are evaluated and possibility of using DMS approximation in process of 3D human head model surface smoothing is suggested too.

Tvarovanie 3R modelu ľudskej hlavy pomocou stereoskopického snímania

Ondrej Kováč¹, Ján Mihalík²

¹Katedra technológií v elektronike, ²Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, TU Košice.
Email: {ondrej.kovac, jan.mihalik}@tuke.sk

Abstrakt – V článku sú popísané techniky tvarovania 3R modlu ľudskej hlavy. Dôraz je kladený na matematický popis súosového stereoskopického kamerového systému a jeho implementácie v estimácii priestorových súradníc objektu ľudskej hlavy. V článku je tiež analyzovaná problematika geometrickej kalibrácie kamery ako aj homografická korekcia chýb stereoskopického kamerového systému. Výsledkom estimácie sú hĺbkové súradnice vo všeobecnosti ľubovoľne vyznačených bodov scény. V prípade estimácie súradníc ľudskej hlavy tieto body korešponujú s príznakovými bodmi definovanými štandardom MPEG-4/SNHC. Výsledné súradnice po normovaní do jednotkového priestoru budú potom predstavovať tvarovaný 3R model. V závere sú zhodnotené dosiahnuté výsledky a naznačená možnosť využitia DMS aproximácie v procese vyhladzovania povrchu 3R modelu ľudskej hlavy.

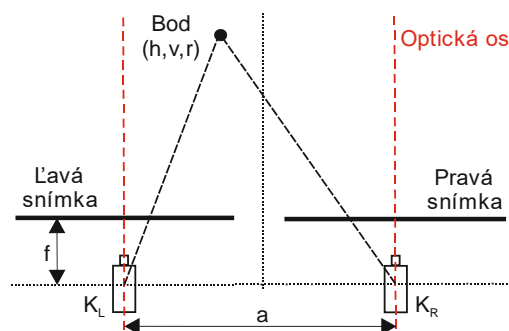
1 Úvod

V dnešnej dobe sa vo vzájomnej komunikácii ľudí čoraz viac dostáva do popredia komunikácia prostredníctvom sociálnych sietí a dokonca aj virtuálnej reality. Preto je nevyhnutné zaoberať sa problematikou generovania a kódovania virtuálnych postáv ľudí. Tieto postavy sú vyjadrené pomocou trojrozmerného (3R) modelu a textúry. V tomto článku sa budeme zaoberať 3R modelom ľudskej hlavy. Hoci je známe, že prenosové rýchlosti prístupových sietí rastú, nesmieme opomenúť dôležitosť kompresie zdrojového kódéra. V problematike modelového kódovania sú na rozdiel od konvenčnej videokompresie kódované iba zmeny parametrov 3R modelov. Textúra sa prenáša iba raz a to na začiatku samotného prenosu. Takýmto prístupom je možné dosiahnuť veľmi vysokú kompresiu. Ako už bolo uvedené, postava alebo v našom prípade hlava človeka je nahradená jej 3R reprezentáciou. K tomu je potrebné zistiť rozmery objektov a vytvoriť ich 3R modely. Najjednoduchšou ale z časového hľadiska neefektívnou technikou je vytvoriť pre každý objekt vlastný model. Rozumnejšie je použiť štandardný alebo všeobecný model, ktorý aspoň čiastočne zodpovedá objektu a tvarovať ho pomocou najmenej dvoch ortogonálnych pohľadov [1] [2]. Taktiež je možné použiť laserový skener. Nevýhodou tohto prístupu je ale finančná náročnosť. Celý koncept je zamýšľaný pre konečného používateľa. V článku ukážeme, že tvarovanie základného 3R modelu je možné aj na základe stereoskopického snímania objektu [3]. Ako tento objekt posluží 3R polystyrénový model ľudskej hlavy (ďalej len ľudská hlava). Na základe estimácie priestorových súradníc príznakových bodov jej povrchu budeme tvarovať tvárovú časť

3R modelu ľudskej hlavy. V článku popíšeme problémy, ktoré vznikajú pri návrhu a zhotovení súosového stereoskopického kamerového systému (SSKS). Taktiež navrhne riešenia, ktorých účinnosť aj experimentálne overíme. V poslednej kapitole výsledný tvarovaný model budeme textúrovať pomocou textúry získanej z čelného pohľadu na ľudskú hlavu.

2 Stereoskopická estimácia priestorových súradníc

Z obrázku 1 je zjavné, že SSKS pozostáva z dvoch kamier ktoré sú od seba v horizontálnom smere vzdialené o vzdialenosť „a“. Stred tohto kamerového systému je v polovici tejto vzdialenosti. Pri snímaní 3R vizuálnej scény (3RVS) je tento bod na jednej priamke so začiatkom jej súradnicového systému, ktorá je kolmá na totožné roviny tvorené osami x_L , y_L a x_R , y_R súradnicových systémov kamier [3].



Obrázok 1: Usporiadanie kamier SSKS

Ľavú (K_L) a pravú (K_R) kameru môžeme nahradiť ich modelmi popísanými pomocou perspektívnej projekcie. Potom pre kameru K_L budú platiť rovnice

$$i_L = -f_y \frac{v}{d-r} + i_0 \quad (1)$$

$$j_L = f_x \frac{h + \frac{a}{2}}{d-r} + j_0 \quad (2)$$

a podobne pre kameru K_R

$$i_R = i_L \quad (3)$$

$$j_R = f_x \frac{h - \frac{a}{2}}{d-r} + j_0 \quad (4)$$

kde i je riadok a j je stĺpec rastra snímky, f_x a f_y sú ohniskové vzdialenosti kamier (h, v, r) sú súradnice snímaného bodu scény,

bod so súradnicou i_0 j_0 predstavuje stred snímok a d je vzdialenosť kamerového systému od začiatku súradnicového systému 3R vizuálnej scény.

Hĺbkovú súradnicu „r“ je možné získať riešením sústavy rovníc (2) a (4) nasledovne

$$r = \frac{d(j_L - j_R) - 2f_x \frac{a}{2}}{(j_L - j_R)} = \frac{dD - f_x a}{D} = d - \frac{f_x a}{D} \quad (5)$$

kde D je horizontálna disparita (rozdielnosť, odlišnosť), ktorá predstavuje rozdiel horizontálnych súradníc priemetov rovnakých bodov v ľavej a pravej stereoskopickú snímke. Z rovnice (5) vyplýva, že hodnota hĺbkovej súradnice bude s rastúcou disparitou narastať. Pre estimáciu horizontálnej a vertikálnej súradnice možno odvodiť vzťahy

$$h = \frac{a}{2D}(j_L + j_R - 2j_0) \quad (6)$$

$$v = \frac{f_x a}{-2Df_y}(i_L + i_R - 2i_0) \quad (7)$$

Horizontálnu a vertikálnu súradnicu je možné získať výpočtom z disparít tak ako bolo vyššie uvedené ale nakoľko je snímaný objekt blízko kamerového systému je možné pre účely tvarovania prevziať súradnice z jednej stereoskopickú snímky. Zhotovený SSKS s pomocou ktorého budeme robiť experimentálnu časť príspevku je na obrázku 2. Kamery tohto systému sú od seba vzdialené 41mm.



Obrázok 2: Zhotovený súosový stereoskopický kamerový systém

2.1 Geometrická kalibrácia kamery

Ako bolo vyššie uvedené pomocou stereoskopického snímania je možné získať priestorové súradnice objektov umiestnených v 3R vizuálnej scény. V predchádzajúcej kapitole sme však predpokladali ideálne kamery. Reálne kamery nemusia mať známe parametre ako sú napríklad ohniskové vzdialenosti, ktoré sú pre estimáciu nevyhnutné. Odhad parametrov kamery alebo kalibrácia je pomerne zložitý problém popísaný v mnohých publikáciách [4], [5], [6]. Jednoduchá kalibrácia ohniskových vzdialenosti však môže byť exaktným výpočtom pre jednu dvojicu korešpondujúcich bodov dosiahnutá nasledovne

$$\begin{bmatrix} -f_y v \\ f_x h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -d(i - i_0) \\ d(j - j_0) \end{bmatrix} = \vec{0} \quad (8)$$

V praxi je vhodné riešenie pre viac ako jednu dvojicu korešpondujúcich bodov [7]. Preto ak tieto rovnice prepíšeme do maticového tvaru v zmysle riešenia s minimalizáciou strednej kvadratickej chyby dostávame

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = -(C^T C)^{-1} C^T B \quad (9)$$

kde pre n korešpondujúcich dvojíc matice C a B budú mať nasledovný tvar

$$C = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & Y_1 \\ \vdots & \vdots \\ X_n & 0 \\ 0 & Y_n \end{bmatrix}, \quad B = d \begin{bmatrix} j_0 - j_1 \\ i_1 - i_0 \\ \vdots \\ j_0 - j_n \\ i_n - i_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

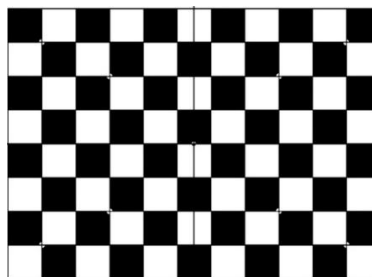
Je zrejme, že pri takejto estimácii je nutná znalosť vzdialenosti d , v ktorej je kalibračný obrazec od kamery. Ďalej je zrejme, že stred snímky nemusí byť uprostred rastra ale bude ním bod, do ktorého sa premietne stred kalibračného obrazca. Nie je problém tento bod odčítať z obrazu. Kvadratickú chybu môžeme pre jednotlivé korešpondencie vypočítať nasledovne

$$\begin{bmatrix} e_y \\ e_x \end{bmatrix} = \left\| \begin{bmatrix} f_y v \\ f_x h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -d(i - i_0) \\ d(j - j_0) \end{bmatrix} \right\|^2 \quad (11)$$

Pre celkovú kvadratickú chybu bude platiť

$$e = e_y + e_x \quad (12)$$

Na obrázku 3 je kalibračný obrazec použitý pri kalibrácii stereoskopického systému. Nevýhodou a obmedzením presnosti tejto metódy je to, že je nutné mať presne určené súradnice bodov v 3RVS. Najzložitejšou úlohou je pritom určiť počiatkový bod súradnicového systému kamery (CCD snímač) a následne odmerať vzdialenosť kalibračného obrazca od tohto bodu. Ďalej je nutné zabezpečiť aby roviny kamier boli paralelné s rovinou kalibračného obrazca. V kalibračnom obrazení potom nie je problém určiť polohu bodov.



Obrázok 3: Kalibračný obrazec

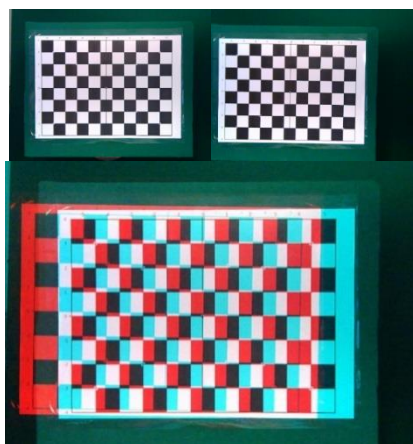
Uvedený kalibračný obrazec bol nasnímaný pri štyroch vzdialenostiach v rozsahu od 500 do 800 mm s krokom 100mm. V tabuľke 1 sú uvedené odhadnuté ohniskové vzdialenosti pre obe kamery SSKS. V tabuľke je taktiež uvedená vzdialenosť v bodoch pričom uvažujeme mierku bodu $m_x = 0.2465$ mm/bod.

Tabuľka 1: Odhad ohniskových vzdialenosti v závislosti od vzdialenosti medzi SSKS a 3RVS

Vzdialenosť [mm]	Vzdialenosť [op]	Ľavá kamera		Pravá kamera	
		f_x [op]	f_y [op]	f_x [op]	f_y [op]
500	2028	955	954	957	954
600	2434	959	954	959	955
700	2840	949	948	950	946
800	3245	956	950	957	952
Stredná hodnota		954	952	956	952
Stredná hodnota celková		954			

2.2 Homografická korekcia a zarovnanie snímok

Ako už bolo uvedené pri reálnom stereoskopickom systéme je ťažké zabezpečiť aby optické osi kamier boli naozaj paralelné a aby kamery ležali v jednej rovine. Tieto nedostatky vyplývajú jednak z toho, že dve kamery nikdy nebudú konštrukčne vyhotovené identicky a taktiež statív na ktorom sú umiestnené nemusí spĺňať požiadavky presnosti. Na obrázku 4 sú zobrazené pohľady na scénu z ľavej, pravej kamery a anaglyf [8] vytvorený z týchto pohľadov.



Obrázok 4: Kalibračný obrazec nasnímaný ľavou a pravou kamerou a anaglyf vytvorený z týchto pohľadov

Pretože korešpondujúce body musia v oboch snímkach ležať v tom istom riadku, je z obrázku 4 zrejmé, že z takého stereoskopického záznamu nie je možné určiť priestorové súradnice. Tento nedostatok je možné odstrániť s využitím homografie. Uplatňujeme tu tzv. rektifikáciu [9], [6] nasnímanej snímky vzhľadom na kalibračný obrazec. Takáto operácia je nevyhnutná napr. pri meraniach, kde je dôležité, aby oblasť merania bola pravouhlá a jej rovina bola rovnobežná s rovinou kamery. Takéto umiestnenie kamery môže byť problematické a navyše samotný kamerový systém vnáša skreslenia a zakrivenia. Tento krok je tiež nevyhnutný pri tvorbe panoramatických záberov [10]. Homografiu [9] z korešpondencie bodov je možné vypočítať pomocou vzťahu (13). K jej výpočtu je nutné poznať aspoň 4 korešpondujúce dvojice bodov minimálne v dvoch snímkach. Pre referenčnú snímku bude využitý originál kalibračného obrazu a druhá snímka potom bude kalibračný obrazec nasnímaný kamerou.

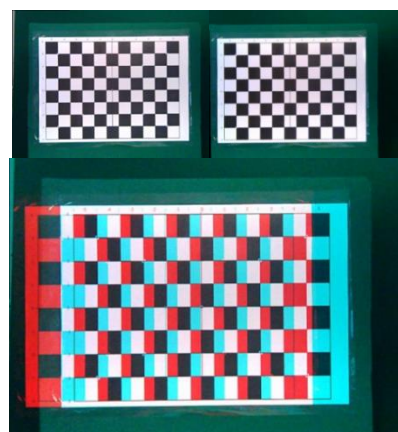
$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1\hat{x}_1 & -y_1\hat{y}_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1\hat{y}_1 & -y_1\hat{x}_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4\hat{x}_4 & -y_4\hat{y}_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4\hat{y}_4 & -y_4\hat{x}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ \vdots \\ h_{31} \\ h_{32} \end{bmatrix} = \quad (13)$$

$$= [\hat{x}_1 \ \hat{y}_1 \ \dots \ \hat{x}_4 \ \hat{y}_4]^T = \mathbf{KH} = \bar{\mathbf{b}}$$

kde body so súradnicami x_i a y_i predstavujú zvolené body v prvej snímke a body so súradnicami \hat{x}_i \hat{y}_i sú tie isté body, ale v druhej snímke. Index i je poradové číslo bodu snímky. Maticu homografie je možné získať pomocou vzťahu

$$\mathbf{H} = \mathbf{K}^{-1}\bar{\mathbf{b}} \quad (14)$$

Opačným postupom s využitím matice homografie možno prepočítať súradnice všetkých op obrazu. Na obrázku 5 sú zobrazené rektifikované snímky kamier a z nich po vertikálnom zarovnaní vytvorený anaglyf.



Obrázok 5: Rektifikované snímky kalibračného obrazca nasnímané ľavou a pravou kamerou a anaglyf vytvorený z týchto pohľadov

2.3 Kompenzácia chýb estimácie vzdialenosti

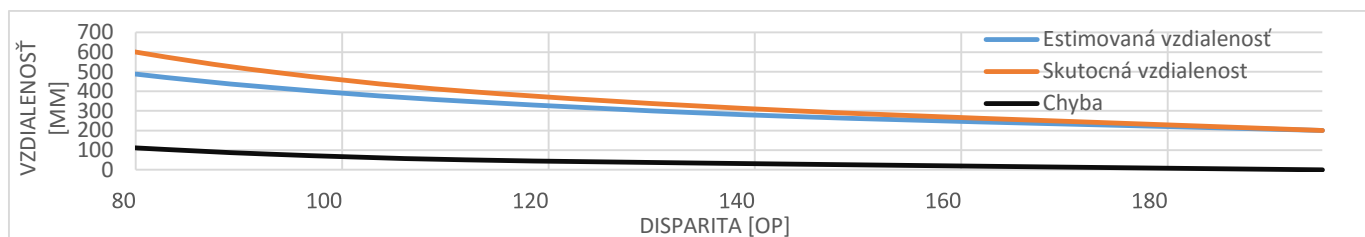
Aj po úspešnej kalibrácii a homografickej korekcii stále estimácia vzdialenosti alebo hĺbkových súradníc nie je úplne presná. Túto nepresnosť môže spôsobovať rad skreslení a nedokonalosti kamier ako aj celého systému. Preto je nutné vykonať korekciu estimovaných súradníc. Experimentálne bolo potvrdené, že chyba nemá lineárny charakter. Preto je nutné urobiť niekoľko meraní pri známej vzdialenosti objektu od kamery a porovnať estimovanú a skutočnú hodnotu vzdialenosti objektu. Tieto merania sú znázornené v tabuľke 2 a v grafe na obrázku. 6. Pre aproximáciu chyby nášho SSKS je najvhodnejšia polynomiálna funkcia piateho rádu v tvare

$$f(x) = -4,35 \cdot 10^{-8}x^5 + 3,1 \cdot 10^{-5}x^4 - 8,56 \cdot 10^{-3}x^3 + 1,2x^2 - 84,21x + 2472,42 \quad (15)$$

kde $f(x)$ predstavuje aproximáciu chyby a x je hodnota nameranej disparity. Disparita je meraná s pol-prvkovou presnosťou. Funkcia $f(x)$ je spojitá a na intervale $\langle 80, 195 \rangle$ aproximuje chybu. Z uvedeného vyplýva, že je možné ju použiť pre všetky hodnoty disparity v uvedenom intervale. V tabuľke 2 sú tiež uvedené touto funkciou korigované hodnoty vzdialenosti, ktoré sú rovné súčtu aproximačnej chyby a estimovanej hodnoty vzdialenosti. Taktiež uvádzame chybu po tejto korekcii.

Tabuľka 2: Závislosť vzdialenosti od disparity

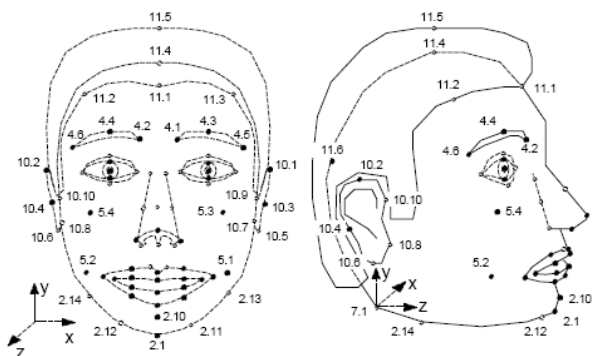
Disparita[op]	Skutočná vzdialenosť [mm]	Estimovaná vzdialenosť [mm]	Chyba [mm]	Aproximácia chyby [mm]	Korigovaná Vzdialenosť [mm]	Výsledná chyba [mm]
195	200	200	0	0	200	0
144	300	272	28	29	301	1
112	400	349	51	52	401	1
93	500	421	79	77	498	2
80	600	489	111	111	600	0



Obrázok 6: Závislosť estimovanej vzdialenosti od disparity

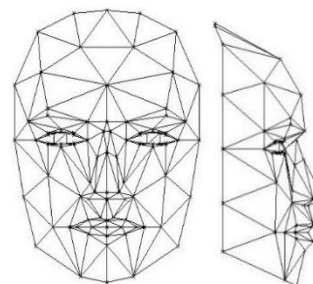
3 Tvarovania 3R modelu ľudskej hlavy

Každý človek má jedinečnú stavbu tela a výnimkou nie je ani jeho hlava. V štandarde MPEG-4 je definovaných 84 príznakových bodov, ktoré sú na ľudskej hlave rozmiestnené približne tak ako je vidieť na obrázku 7.



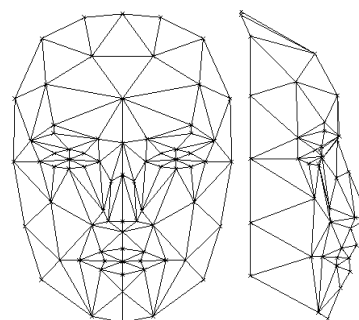
Obrázok 7: Príklad zobrazenia príznakových bodov na čelnom a profilovom pohľade ľudskej hlavy

Tieto sú usporiadané do skupín vzťahujúce sa na určité časti ľudskej hlavy ako sú ústa, nos, oči atď. Pomocou príznakových bodov [11] na reálnej ľudskej hlave možno potom tvarovať vybraný geometrický 3R model vo východnom stave tak, aby jeho príznakové body boli súlade s tými na reálnej ľudskej hlave. Súradnice príznakových bodov reálnej ľudskej hlavy predstavujú FDP (facial definition parameters) a v najjednoduchšom prípade ich možno priamo získať z výstupu 3R skeneru. Pretože 3R skenery sú málo dostupné, tieto FDP sa môžu vypočítať aj pomocou jej stereoskopických snímok. Na základe znalosti FDP možno vykonať úpravu základného geometrického 3R modelu, aby sa prispôbil jeho geometrický tvar k reálnej ľudskej hlave. Na obrázku 8 je zobrazený 3R poloortvorený model CANDIDE, ktorý môže byť základným modelom ľudskej hlavy v štandarde MPEG-4. Jeho posledná verzia obsahuje 113 bodov.



Obrázok 8: Čelný a profilový pohľad na základný model

Pre potreby tvarovania však nie je potrebných 113 bodov, postačuje menší počet. Nadbytočné body sa nachádzajú hlavne v oblasti oči, nosa a úst. Tieto body boli odstránené a model sa zredukoval na 76 bodov. Experimentálne sme určili, že 56 príznakových bodov je postačujúcich a model so 76 bodmi je možné tvarovať s 56 bodmi za predpokladu, že polohu okrajových bodov okrem bodov na brade, nebudeme estimovať. Na obrázku 9 je zobrazený zjednodušený 3R model.



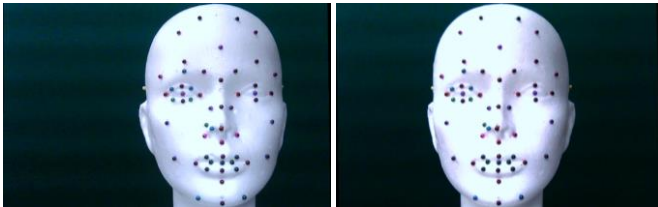
Obrázok 9: Čelný a profilový pohľad na zjednodušený model

V tvarovaní je tiež možné využiť istú mieru symetrie ľudskej hlavy a pre zjednodušenie určovania príznakových bodov je možné ich počet zredukovať približne na 3/4. Na obrázku 10 je zobrazená maketa ľudskej hlavy s vyznačenými príznakovými bodmi.



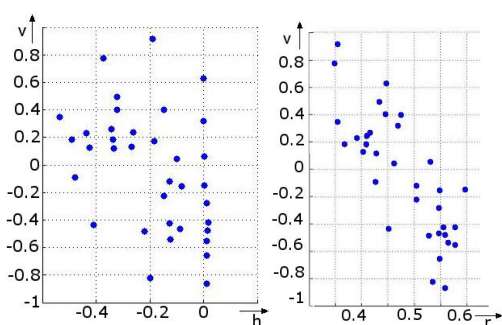
Obrázok 10: Maketa ľudskej hlavy s vyznačenými príznakovými bodmi

Na obrázku 11 sú zobrazené stereoskopické snímky tejto hlavy.



Obrázok 11: Ľavá a pravá stereoskopická snímka ľudskej hlavy

Treba podotknúť, že pre účely estimácie využívajúc symetriu ľudskej hlavy sa použije iba centrálna a ľavá časť príznakových bodov. Príznakové body z pravej časti slúžia iba na kontrolu. Na obrázku 12 pohľad na hv, rv rovinu pre normovanú estimáciu súradníc príznakových bodov.

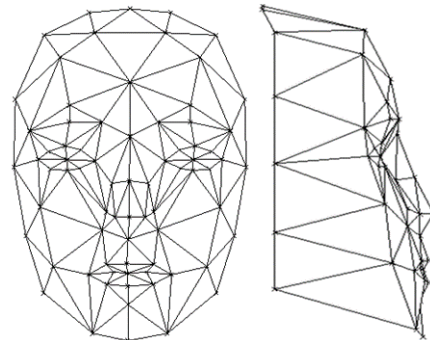


Obrázok 12: Normovaná estimácia súradníc príznakových bodov

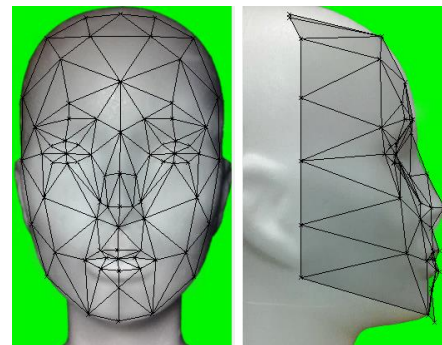
Normovanie súradníc je vykonané na základe vzťahu (16)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} [n_x \quad n_y \quad n_z]^{-1} = \bar{p}\bar{n} \quad (16)$$

kde \bar{n} je vektor normovacích členov a \bar{p} sú estimované súradnice bodu 3RVS udané v metrickej miere alebo v bodoch. Na obrázku 13 je zobrazený tvarovaný zjednodušený 3R model z čelného a profilového pohľadu a na obrázku 14 zasa tento 3R model preložený cez čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu.

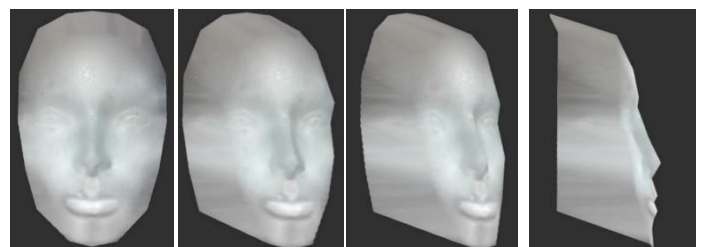


Obrázok 13 Čelný a profilový pohľad na tvarovaný zjednodušený model



Obrázok 14: Čelný a profilový pohľad na tvarovaný zjednodušený model preložený ortogonálnymi pohľadmi na ľudskú hlavu

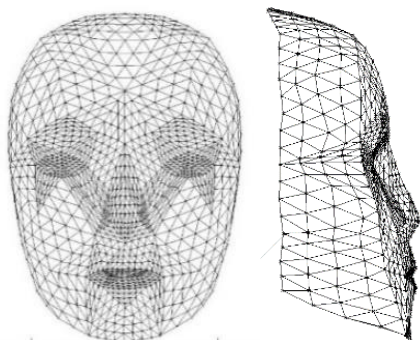
Tvarovaný model bol následne textúrovaný textúrou [2] [12] získanou z čelného pohľadu na ľudskú hlavu. Textúru je možné vo všeobecnosti získať aj priamo zo stereoskopických snímok. Tento postup sme však nezvolili, pretože maketa ľudskej hlavy, ktorá poslúžila pre experiment, už obsahovala vyznačené príznakové body. Štyri pohľady na tvarovaný a textúrovaný 3R model sú na obrázku 15.



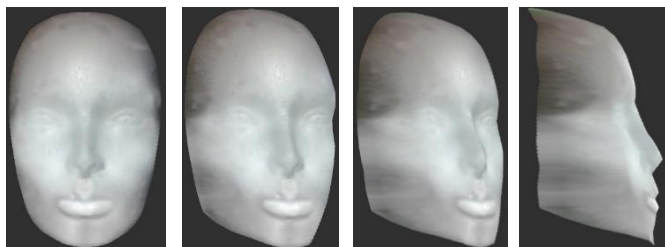
Obrázok 15: Rotácia o 90° tvarovaného textúrovaného 3R modelu zachytená na štyroch snímkach

Na obrázku 15 sú viditeľné ostré hrany ktoré pôsobia rušivo. Tieto hrany sú spôsobené nedostatočným počtom vrcholov pre dobrú reprezentáciu povrchu. Ako bolo uvedené počet vrcholov

je pre potreby estimácie priestorových súradníc redukovaný. Pre odstránenie toho nedostatku je vhodná DMS aproximácia povrchu [13], [14], [15] [16]. Tvarovaný model aproximovaný pomocou DMS je zobrazený na obrázku 16 a textúrovaný na obrázku 17.



Obrázok 16: Čelný a profilový pohľad na tvarovaný DMS aproximovaný model



Obrázok 17: Rotácia o 90° textúrovaného a DMS aproximovaného modelu zachytená na štyroch snímkach

Záver

V článku sme teoreticky analyzovali návrh súosového stereoskopického kamerového systému. Na základe tejto analýzy bol zhotovený jednoduchý stereoskopický systém pozostávajúci z dvoch web kamier. Tieto kamery nepatria do profesionálnej triedy a preto vnášajú do obrazu skreslenia a taktiež ich výrobca neuvádza hodnotu ohniskových vzdialeností. Samotný statív je taktiež vyhotovený s nedostatočnou presnosťou. Preto je nutné tieto nedostatky odstrániť softwarovými postupmi. Navrhli sme zjednodušený postup odhadu ohniskových vzdialeností a na základe merania sme odhadli ich hodnotu pre obidve kamery. Nedokonalosti v zarovnaní kamier a čiastočne aj nedokonalosti ich optických systémov sme redukovali pomocou výpočtu homografie a následnou korekciou výstupných snímkov. Pre výsledné zvýšenie presnosti estimácie sme zaviedli korekčnú funkciu, odvodenú z chybovej postupnosti estimácie vzdialenosti. Na základe estimácie súradníc príznakových bodov na hlave umiestnenej v 3RVS sme tvarovali základný 3R model ľudskej hlavy, ktorý bol následne textúrovaný prirodzenou textúrou získanou z čelného pohľadu na ľudskú hlavu. Tento základný model ale neobsahuje dostatočný počet vrcholov pre dostatočnú aproximáciu povrchu ľudskej hlavy. Preto na tento model bola aplikovaná DMS aproximácia, ktorou sa docielilo zvýšenie priestorového rozlíšenia 3R základného modelu.

Literatúra

- [1] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Estimácia priestorových súradníc modelu ľudskej hlavy na báze dvoch ortogonálnych pohľadov," in *Electrical Engineering and Informatics 4*, Košice, 2013.
- [2] J. MIHALÍK, O. KOVÁČ, Číslicové spracovanie textúr ľudskej hlavy, Košice: LDIPV, FEI TU Košice, 2014.
- [3] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Estimation of spatial coordinates of 3D objects by stereoscopic scanning,," *Acta Electrotechnica et informatica*, vol. 14, no. 3, pp. 43-48, 2014..
- [4] Z. ZHANG, "Camera calibration," in *Computer vision*, Springer US., 2014.
- [5] Z. ZHANG, "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations,," in *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on. IEEE*, 1999.
- [6] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Teoretická analýza geometrickej kalibrácie kamery,," *Posterus.sk*, vol. 7, no. 7, pp. 1-9, 2014.
- [7] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Kalibrácia ohniskových vzdialeností kamery,," in *Electrical Engineering and Informatics 5*, Košice, 2014.
- [8] J. KRÍŽENSKÝ, "stereofotograf.eu," [Online]. Available: <http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/>.
- [9] C. LOOP, Z. ZHANG, "Computing rectifying homographies for stereo vision,," in *Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on. IEEE*, 1999.
- [10] M. JETHWA, A. ZISSERMAN, A. W. FITZGIBBON, "Real-time Panoramic Mosaics and Augmented Reality,," in *BMVC*, 1998.
- [11] A. OTHMAN, O. EL GHOUL, "A novel approach for 3D head segmentation and facial feature points extraction,," in *Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA)*, 2013.
- [12] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Vyhladzovanie textúr 3R modelu ľudskej hlavy,," in *Electrical Engineering and Informatics III*, Košice, 2012.
- [13] O. KOVÁČ, J. MIHALÍK, "Modelovanie ľudskej Hlavy,," *Elektrorevue*, vol. 17, no. 2, 2015.
- [14] J. MIHALÍK, "Generation of Knot Net for Calculation Quadratic Triangular B-Spline Surface of Human Head,," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 62, no. 5, pp. 274-279, 2011.
- [15] J. MIHALÍK, "Modeling of Human Head Surface by Using Triangular Splines,," *Radioengineering*, vol. 19, no. 1, pp. 56-60, 2010.
- [16] H. YING, H. QIN, "Surface Reconstruction With Triangular B-Splines,," in *Geometric Modeling and Processing*, 2004.