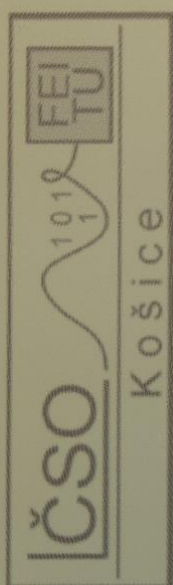


ČÍSLICOVÉ SPRACOVANIE
TEXTÚR ĽUDSKEJ HLAVY



ISBN: 978-80-553-1730-4

Prof. Ing. Ján Mihalík, PhD.
Ing. Ondrej Kováč

ČÍSLICOVÉ SPRACOVANIE TEXTÚR ĽUDSKEJ HLAVY

Prof. Ing. Ján Mihalík, PhD.
Ing. Ondrej Kováč

Laboratórium číslicového spracovania obrazov a videokomunikácií
Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií
Fakulta elektrotechniky a informatiky, TU Košice



Recenzenti: Prof.Ing. Jozef Šurianský, CSc.
Doc.Ing. Ľubomír Antoška, CSc.

Žiadná časť tejto publikácie nesmie byť reprodukováná v písomnej, elektronickej alebo inej forme bez písomného súhlasu autorov.

Neprešlo jazykovou úpravou

Copyright©2014, Prof.Ing.Ján Mihalík,PhD., Ing. Ondrej Kováč

ISBN: 978-80-553-1730-4

OBSAH

REDHOVOR.....	1
1 PRINCÍP MODELOVÉHO KÓDOVANIA ĽUDSKEJ HLAVY	2
2 TVAROVANIE 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY	3
2.1. Estimácia priestorových súradníc na základe dvoch ortogonálnych pohľadov.....	3
2.2. Estimácia priestorových súradníc na základe stereoskopického snímania .	9
2.2.1. Perspektívna projekcia.....	9
2.2.2. Súosový stereoskopický kamerový systém	11
2.2.3. Nesúosový stereoskopický kamerový systém	13
2.3. Geometrická kalibrácia kamery	16
2.3.1. Kalibrácia pomocou korešpondencie bodov v 3R priestore.....	17
2.3.2. Tvarovanie 3R modelu ľudskej hlavy na báze príznakových bodov	21
3 GENEROVANIE TEXTÚR 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY	22
3.1. Transformácia 3R modelu do textúrovej roviny.....	23
3.1.1. Kubická transformácia.....	23
3.1.2. Uzatvorená transformácia.....	24
3.2. Identifikácia textúr.....	26
3.3. Algoritmus riadkového rozkladu	26
3.4. Výpočet barycentrických súradníc.....	28
3.5. Generovanie textúr na základe dvoch ortogonálnych pohľadov na ľudskú hlavu.	29
4 SPÁJANIE A VYHLADZOVANIE TEXTÚR.....	31
4.1. Vyhladzovanie metódou váhovania.....	32
4.2. Vyhladzovanie metódou prekrývania.....	33
4.3. Metóda s využitím Laplaceovej pyramídy	33
4.3.1. Pyramídová reprezentácia obrazu.....	34
4.3.2. Spájanie obrazu s vyhladením prechodu	35

5	KÓDOVANIE TEXTÚR 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY	38
5.1.	Diskrétna waveletová transformácia.....	38
5.1.1.	Celočíselná diskretná waveletová transformácia.....	41
5.1.2.	Lifting metóda DWT	42
5.2.	Rozklad obrazu na bitové roviny	45
5.2.1.	Rozklad obrazu na BR v priestore CDWT	46
5.2.1.1.	Rozklad obrazu na absolútne bitové roviny	46
5.2.1.2.	Rozklad obrazu na reálne bitové roviny	47
5.3.	Stavové binárne aritmetické kódovanie textúr	49
5.3.1.	Aproximácia pravdepodobnosti obrazových prvkov	49
5.3.2.	Zostavenie modelu obrazu.....	50
5.3.3.	Kódovanie.....	53
5.3.4.	Dekódovanie	53
5.4.	Vyhodnotenie účinnosti kódovania	54
6	ZOBRAZOVANIE TEXTÚR NA 3R MODEL ĽUDSKEJ HLAVY	57
6.1.	Rovinné textúrovanie	57
6.2.	Priestorové textúrovanie	58
6.3.	Globálny pohyb.....	59
6.3.1.	Rotácia	59
6.3.2.	Posunutie.....	60
6.4.	Projekcia modelu	60
6.4.1.	Viditeľnosť polygónov modelu	60
	LITERATÚRA	62

REDHOVOR

Predkladaná vedecká monografia vznikla v Laboratóriu číslicového spracovania obrazov a videokomunikácií, Katedry elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, FEI TU v Košiciach na základe vedeckej činnosti autorov v danej oblasti. Je určená pre študentov graduálneho a postgraduálneho štúdia hlavne v odboroch elektroniky, telekomunikácií a informatiky, ale aj iných odborov, využívajúcich techniky modelovania 3R objektov a číslicového spracovania ich textúr.

Text je rozdelený do šiestich hlavných kapitol v ktorých prinášame teoretické poznatky a experimentálne výsledky. V prvej kapitole je čitateľ oboznámený s princípom modelového kódovania 3R objektu ľudskej hlavy.

V druhej kapitole je podrobne analyzovaná problematika tvarovania 3R modelu. Toto tvarovanie môže byť uskutočnené na základe ortogonálnych pohľadov na 3R objekt alebo na základe stereoskopického snímania 3R objektu. V prípade stereoskopického snímania je možné uvažovať stereoskopický kamerový systém s paralelnými optickými osami alebo zložitejší stereoskopický systém, ktorého kamery majú optické osi v definovanom bode prekrížené. V problematike stereoskopického snímania je veľmi dôležitou súčasťou aj kalibrácia kamier a hlavne estimácia ich ohniskových vzdialenosti. Táto problematika je tiež súčasťou tejto kapitoly.

V tretej kapitole je rozpracovaná teória generovania textúr 3R objektu ľudskej hlavy. Pri generovaní textúr je nevyhnutné model transformovať z 3R priestoru do 2R priestoru snímok. Na to je možné využiť kubickú - otvorenú alebo cyklickú - uzatvorenú transformáciu. Dôležitým úkonom pri generovaní textúr je ich identifikácia v zdrojových snímkach a následný prenos do textúrovej roviny. Na tento účel slúži algoritmus riadkového rozkladu a určovanie polohy obrazových prvkov pomocou barycentrických súradníc.

V štvrtej kapitole sa pojednáva o spájaní vygenerovaných textúr do jednej tak, aby tá neobsahovala nežiaduce rušivé prechody v oblastiach spojenia čiastkových textúr. Popisujeme niekoľko techník, ale dôraz kladieme na techniku spájania s využitím Laplaceovej pyramídy, ktorou je možné docieľiť uspokojivých výsledkov.

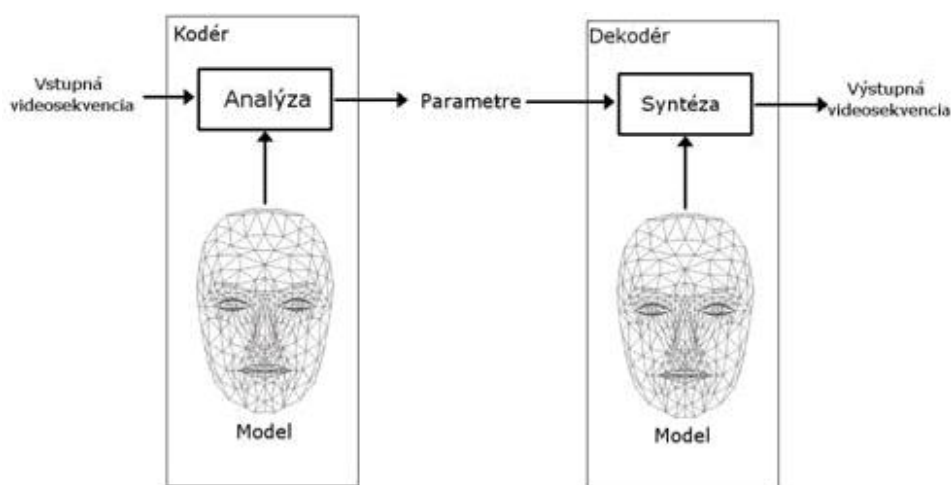
Piata kapitola pozostáva z teoretického analýzy rozkladu textúr pomocou diskkrétnej waveletovej transformácie (DWT). V procese tohto rozkladu sa do popredia dostávajú techniky založené na jednoducho hardwarovo uskutočniteľných matematických operáciách, ako je násobenie, sčítanie a odčítanie diskkrétnych signálov. Takýmto požiadavkám zodpovedá lifting implementácia DWT. Tatko transformované a de Korelované textúry sú následne rozložené do ich bitových rovín a kódované pomocou stavového binárneho aritmetického kódu (SBAK).

Posledná kapitola je venovaná samotnému textúrovaniu a zobrazeniu textúr na 3R modeloch ľudskej hlavy, kde sa zaoberáme problematikou viditeľnosti textúr, globálnym pohybom ako aj rôznym modifikáciam textúrovania.

Autori

1 PRINCÍP MODELOVÉHO KÓDOVANIA ĽUDSKEJ HLAVY

Klasický prístup ku kompresii obrazových údajov spočíva v odstránení redundancie, ktorá je dôsledkom vzájomnej korelovanosti obrazových prvkov (op) [1 - 3]. Táto korelácia môže byť vnútrosnímková, kedy sú vzájomne korelované iba op danej snímky alebo medzissímková, kde dochádza ku korelácii op daných snímok v čase. Účinnosť kódovania je možné zvýšiť pomocou modelovania objektov [4]. Tento proces pozostáva z identifikácie objektu v obraze a následnej analýzy, tak ako je zobrazené na obr.1.1



Obr.1.1 Bloková schéma modelového kódovania a dekódovania obrazu

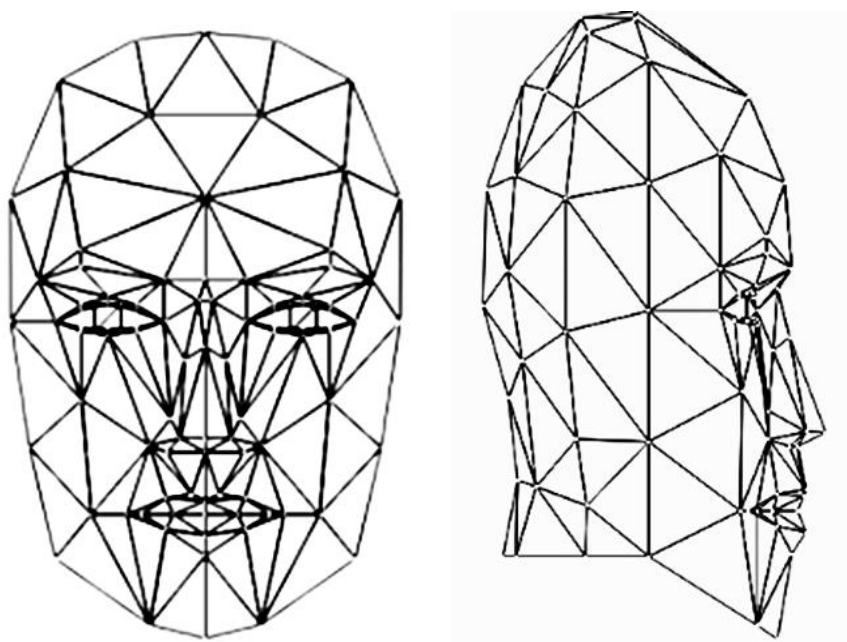
Modely vstupujúce do analýzy môžu byť špecifické alebo všeobecné. Pod pojmom špecifický model budeme rozumieť taký model, ktorý má jasne určenú štruktúru. Táto štruktúra je daná v priestore pomocou vzájomne prepojených vrcholov. Toto prepojenie pozostáva najmenej z troch vrcholov. Takto vzniknutú mriežku budeme nazývať triangulárna sústava. Výhodou popisovania modelu pomocou trojuholníkov je to, že trojuholník v priestore vždy predstavuje rovinu. Je zrejmé, že textúry je jednoduchšie prenášať na rovinu ako na iný druh plochy, ktorá vznikne napr. pri použití štyroch vrcholov. Výsledkom analýzy potom budú parametre, ktoré budú hovoriť o škále modelu, jeho rotácii, pohybe a podobne. Tieto parametre budú privedené na vstup dekodéra, ktorý na základe týchto parametrov vykoná syntézu objektov snímky. Výhodou tohto systému je, že obrazové údaje v tvare textúr stačí poslať iba raz, napríklad v prvej snímke. Potom sa už posielajú iba parametre modelov. Výsledná prenosová rýchlosť je potom omnoho menšia ako pri posielaní kompletnej videosekvencie.

2 TVAROVANIE 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY

Keďže anatómia ľudskej hlavy je u každého človeka odlišná, je potrebné mať k dispozícii rôzne modely, ktoré sú prispôsobené na človeka, ktorého klon tvoríme. K vytvoreniu klonu je potrebný základný model ľudskej hlavy, ktorý sa upraví na základe anatomických črt daného človeka a textúra, ktorá reprezentuje výzor človeka. Existuje niekoľko techník ako získať informáciu o anatomickej stavbe hlavy človeka. Ide napríklad o estimáciu priestorových súradníc na základe laserového snímania alebo technika priemetu známeho obrazca na ľudskú hlavu a na základe jeho deformácie je možné určiť hĺbkové súradnice. V nasledujúcich podkapitolách popíšeme estimáciu priestorových súradníc na základe dvoch ortogonálnych pohľadov na ľudskú hlavu a taktiež estimáciu pomocou stereoskopického snímania ľudskej hlavy.

2.1.Estimácia priestorových súradníc na základe dvoch ortogonálnych pohľadov

Na obr.2.1 je zobrazený základný model z čelného a profilového pohľadu [4, 5]. Na obr.2.2 sú zobrazené ortogonálne pohľady na ľudskú hlavu.



Obr.2.1 Čelný a profilový pohľad na základný 3R model



Obr.2.2 Čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu

Pred premietnutím základného modelu do roviny snímok je nutné konvertovať polohu vrcholov jednotlivých polygónov daných trojicami súradníc do priestoru zdrojovej snímky [5]. Táto konverzia sa vykonáva pre každý vrchol zvlášť a je daná vzťahmi (2.1 – 2.3). V praxi ide o ortografickú projekciu [6, 7].

$$\tilde{h}_i = Nh_i + h_{pos} \quad (2.1)$$

$$\tilde{v}_i = -Nv_i + v_{pos} \quad (2.2)$$

$$\tilde{r}_i = Nr_i + r_{pos} \quad (2.3)$$

Toto je možné zapísať nasledovne

$$\bar{V}_i = \begin{bmatrix} \tilde{h}_i \\ \tilde{v}_i \\ \tilde{r}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{pos} \\ v_{pos} \\ r_{pos} \end{bmatrix} = N \begin{bmatrix} h_i \\ -v_i \\ r_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{pos} \\ v_{pos} \\ r_{pos} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

kde \bar{V}_i je stĺpcový vektor predstavujúci horizontálnu, vertikálnu a hĺbkovú súradnicu vrcholu konvertovaného do priestoru zdrojovej snímky. Konštanta N predstavuje lineárne zväčšenie a h_i , v_i , r_i sú pôvodné súradnice vrcholu v 3R priestore modelu. Index i predstavuje poradové číslo vrcholu. Konštanty h_{pos} , v_{pos} a r_{pos} predstavujú posun. Tieto konštanty sú rovnaké pre celý model.

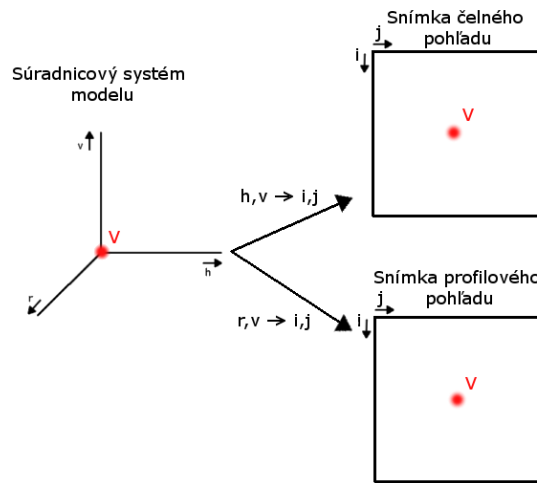
Je zrejmé, že pri transformácii súradníc 3R priestoru do dvoch ortogonálnych 2R priestorov reprezentovaných dvoma snímkami budeme

transformovať dvojicu súradníc $h, v \rightarrow i, j$ pre čelný pohľad a $r, v \rightarrow i, j$ pre profilový pohľad. Z uvedeného vyplýva, že horizontálna a hĺbková súradnica vrcholu po transformácii bude v rovine snímok reprezentovaná stĺpcom rastra a vertikálna súradnica bude reprezentovaná jeho riadkom. Toto je ilustrované na obr.2.3, pričom uvažujeme, že

$$h_{pos} = r_{pos} = \frac{j_{max}}{2} \quad (2.5)$$

$$v_{pos} = \frac{i_{max}}{2} \quad (2.6)$$

kde j_{max} predstavuje horizontálny rozmer rastra a i_{max} predstavuje vertikálny rozmer rastra snímky. Zo vzťahov (2.5) a (2.6) je potom zrejmé, že obrazový prvok (op) so súradnicou (h_{pos}, v_{pos}) bude stredom snímky čelného pohľadu a op so súradnicou (r_{pos}, v_{pos}) bude stredom snímky profilového pohľadu.

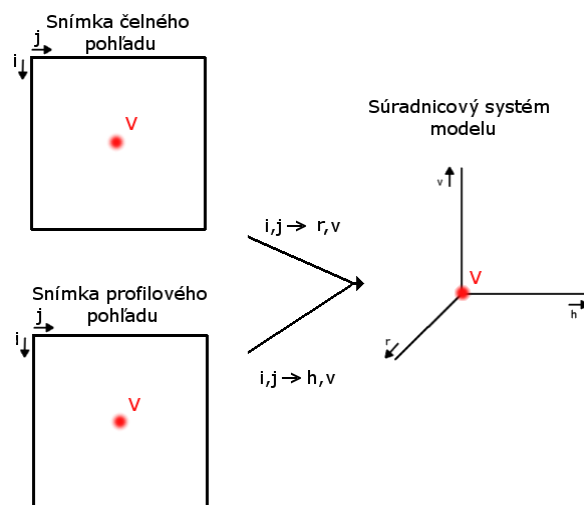


Obr.2.3 Transformácia 3R priestoru do dvoch ortogonálnych rovín

Pre spätnú transformáciu bude platiť vzťah 2.7.

$$\begin{bmatrix} h_i \\ v_i \\ r_i \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} \tilde{h}_i - h_{pos} \\ -\tilde{v}_i + v_{pos} \\ \tilde{r}_i - r_{pos} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Spätná transformácia je znázornená na obr.2.4

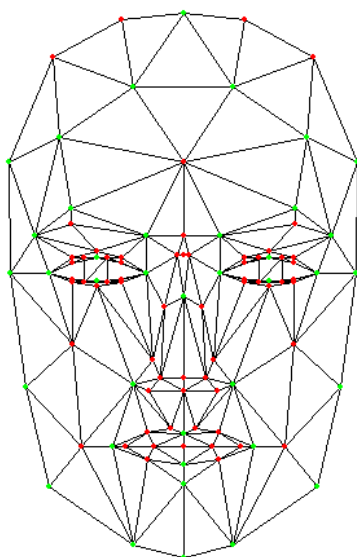


Obr.2.4 Transformácia dvoch ortogonálnych rovín do 3R priestoru

Tvarovanie základného modelu pozostáva z nasledujúcich operácií

- Transformácia súradnicového systému modelu do súradnicových systémov snímok.
- Priemet transformovaného modelu do zdrojových snímok.
- Hrubá aproximácia zdrojových snímok modelom a úprava parametra N a parametrov posunutia.
- Modifikácia príznakových bodov.
- Spätná transformácia modelu z rovín snímok do 3R priestoru modelu.

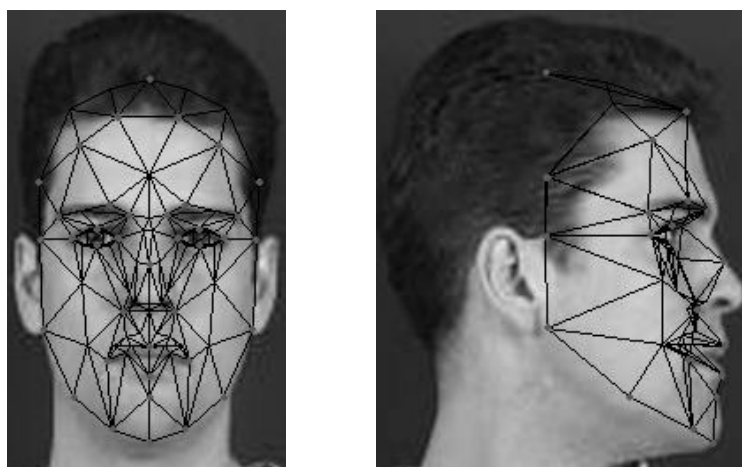
Na obr.2.5 je zobrazený priemet základného modelu a v ňom je zelenou farbou vyznačených 38 príznakových bodov. V štandarde MPEG-4 sa tieto príznakové body nazývajú facial definition parameters (FDP), čo v doslovnom preklade znamená definičné parametre tváre [8,9]. Na obr.2.6 sú tieto body vyznačené v zdrojových snímkach. Na základe týchto bodov bude základný model, ktorý bol premietnutý do zdrojových snímok, tvarovaný. Na obr.2.7 je tvarovaný model premietnutý do zdrojových snímok. Takisto na obr.2.8 je zobrazený priemet základného modelu a v ňom je vyznačených 66 príznakových bodov. Na obr.2.9 sú tieto body vyznačené v zdrojových snímkach. Na obr.2.10 je tvarovaný model premietnutý do zdrojových snímok. Pre jednoduchosť ukážeme tvarovanie tvárovej časti hlavy.



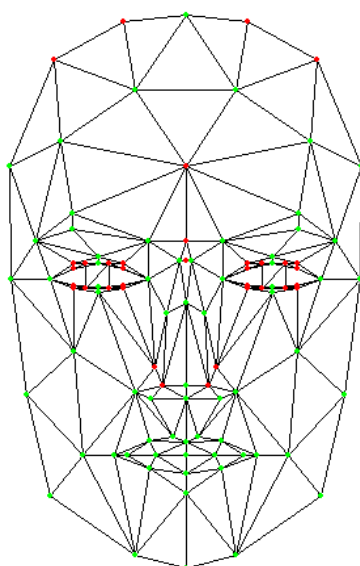
Obr.2.5 Čelný pohľad na model ľudskej hlavy s 38 príznakovými bodmi



Obr.2.6 Čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu s vyznačenými 32 príznakovými bodmi



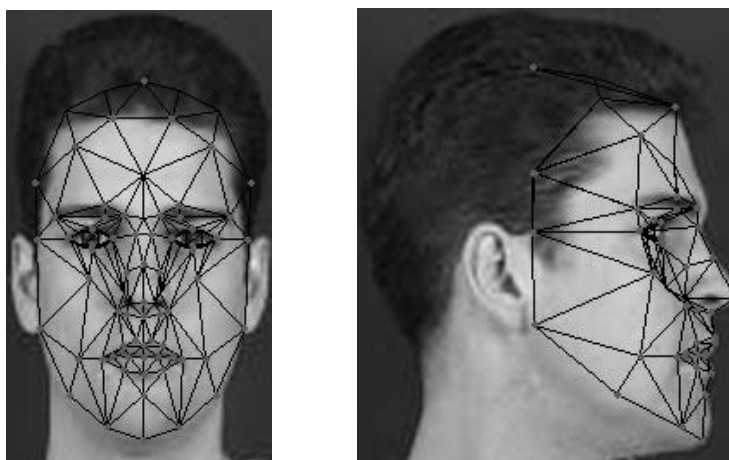
Obr.2.7 Čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu preložený tvarovaným modelom



Obr.2.8 Čelný pohľad na model ľudskej hlavy s 66 príznakovými bodmi



Obr.2.9 Čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu s vyznačenými 66 príznakovými bodmi



Obr.2.10 Čelný a profilový pohľad na ľudskú hlavu preložený tvarovaným modelom

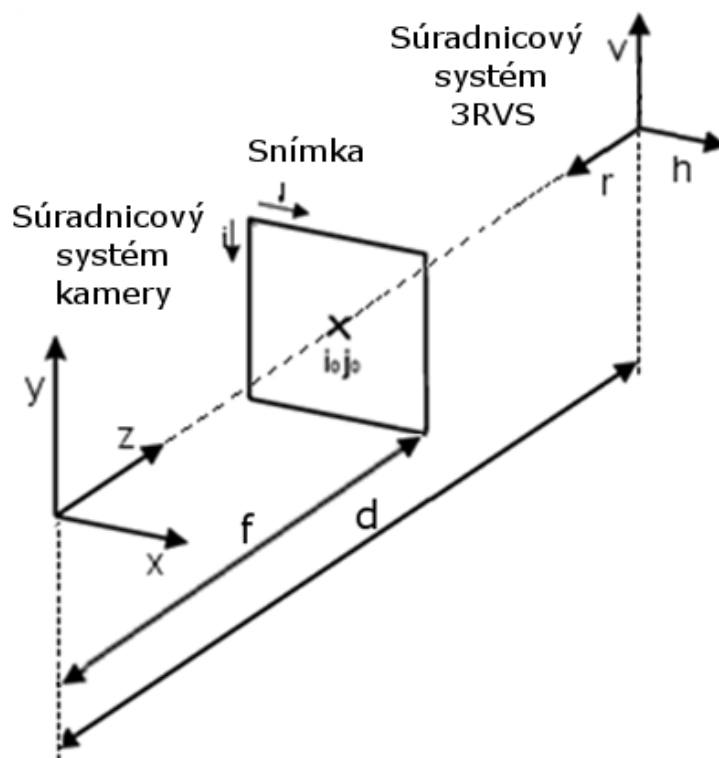
Z obr.2.7 je zrejmé, že 32 príznakových bodov nepostačuje k tvarovaniu základného modelu. Na preloženom modeli sú zjavné deformácie. Na obr.2.10 je vidieť, že pri použití 66 príznakových bodov je model kontúram hlavy prispôsobený dostatočne. Ako potvrdzujú dosiahnuté výsledky, pomocou tejto techniky je pomerne jednoduché dosiahnuť požadovaný tvar modelu. Nevýhodou daného prístupu k tvarovaniu je, že k aproximácii je potrebné modifikovať pomerne veľký počet vrcholov – príznakových bodov. Ako sme ukázali k aproximácii postačuje 66 bodov. Tento nedostatok je možné odstrániť použitím DMS aproximácie[10, 11], pri ktorej sa popisovanou metódou modifikuje iba obmedzený počet vrcholov. Na základe ich zmenenej polohy sa poloha ostatných vrcholov, ktoré sú priľahlé vypočíta ich DMS aproximácia. Ďalším nedostatkom je to, že ak nie sú k dispozícii ortogonálne pohľady na ľudskú hlavu, nie je možné tento prístup aplikovať. Túto nevýhodu nie je možné odstrániť modifikáciou tejto metódy. Tento problém je možné vyriešiť použitím stereoskopického snímania ľudskej hlavy.

2.2.Estimácia priestorových súradníc na základe stereoskopického snímania

Stereoskopické snímanie je jednou z techník estimácie hĺbkovej súradnice pre ktoré existujú dva konfigurácie. Prvá je, že osi kamier stereoskopického kamerového systému (SKS) sú rovnobežné. Tento systém budeme nazývať súosový SKS (SSKS). Druhou konfiguráciou je, ak sú kamery natočené k sebe a ich osi sa pretínajú v definovanom bode. Tento systém budeme nazývať nesúosový SKS (NSKS) [12, 13].

2.2.1. Perspektívna projekcia

Na obr.2.11 je zobrazené zjednodušené usporiadanie súradnicového systému kamery a 3R vizuálnej scény (VS). Fyzickú kameru je možné popísať matematickým modelom perspektívnej projekcie. Pri tejto projekcii [10] sú všetky body 3RVS premietnuté do roviny snímky cez ohnisko systému.



Obr.2.11 Zjednodušený model kamery.

Pred výpočtom priemetu bodu 3RVS do roviny snímky je potrebná transformácia [6, 14] súradnicového systému 3RVS do súradnicového systému kamery takto

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h \\ v \\ d - r \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

kde d je vzdialenosť medzi začiatkami súradnicových systémov. Samotná perspektívna projekcia bodu so súradnicami (x, y, z) v 3RVS do bodu snímky so súradnicami (i, j) je definovaná nasledovne

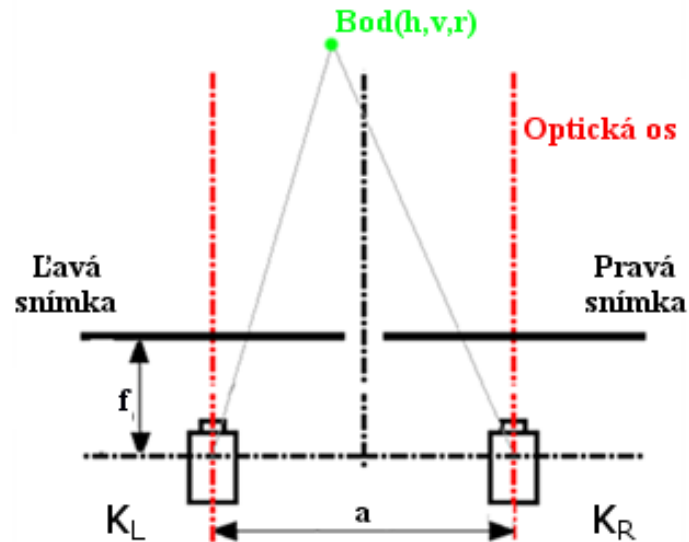
$$i = -f_y \frac{y}{z} + i_0 \quad (2.9)$$

$$j = f_x \frac{x}{z} + j_0 \quad (2.10)$$

kde $f_x = m_x f$ a $f_y = m_y f$ predstavujú ohniskovú vzdialenosť f kamery lineárne upravenú mierkou m_x a m_y škálovania. Bod so súradnicami (i_0, j_0) predstavuje stred snímky.

2.2.2. Súosový stereoskopický kamerový systém

Z obr.2.12 je zrejmé, že SSKS pozostáva z dvoch identických kamier ktoré sú od seba v horizontálnom smere vzdialené o vzdialenosť „ a “. Stred tohto kamerového systému je v polovici tejto vzdialenosti. Pri snímaní 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.



Obr.2.12 Usporiadanie kamier súosového kamerového systému.

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

$$i_L = -f_y \frac{v}{d-r} + i_0 \quad (2.11)$$

$$j_L = f_x \frac{h + \frac{a}{2}}{d-r} + j_0 \quad (2.12)$$

a podobne pre kameru K_R

$$i_R = i_L \quad (2.13)$$

$$j_R = f_x \frac{h - \frac{a}{2}}{d - r} + j_0 \quad (2.14)$$

Hĺbkovú súradnicu „r“ je možné získať riešením sústavy rov. (2.12) a (2.14) nasledovne

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

Dosadením h do rov.(2.14) dostaneme

$$j_R = \frac{(j_L - j_0)(d - r) - 2f_x \frac{a}{2}}{d - r} + j_0 \quad (2.15)$$

Vyjadrením neznámej r z rov.(2.15) získavame

$$r = \frac{d(j_L - j_R) - 2f_x \frac{a}{2}}{(j_L - j_R)} \quad (2.16)$$

a substitúciou $D = (j_L - j_R)$ získavame výsledný vzťah pre hĺbkovú súradnicu.

$$r = \frac{dD - f_x a}{D} = d - \frac{f_x a}{D} \quad (2.17)$$

kde D je horizontálna disparita (rozdielnosť, odlišnosť) [15], ktorá predstavuje rozdiel horizontálnych súradníc priemetov rovnakých bodov v ľavej a pravej stereoskopicknej snímke. Z rov.(2.17) vyplýva, že hodnota hĺbkovej súradnice bude s rastúcou disparitou narastať. Pre estimáciu horizontálnej a vertikálnej súradnice možno odvodiť vzťahy

$$h = \frac{a}{2D} (j_L + j_R - 2j_0) \quad (2.18)$$

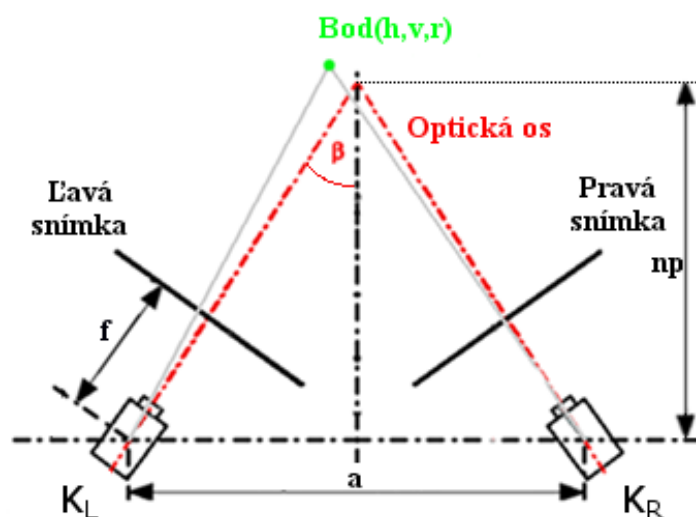
$$v = \frac{f_x a}{-2Df_y} (i_L + i_R - 2i_0) \quad (2.19)$$

2.2.3. Nesúosový stereoskopický kamerový systém

Na rozdiel od predchádzajúceho stereoskopického kamerového systému optické osi kamier NSKS nie sú rovnobežné ale v definovanom bode sa pretínajú. Z obr.2.13 je zrejmé, že kamery sú k sebe natočené. V bode kde sa optické osi pretínajú, zvierajú uhol 2β . Vzďialenosť „np“ medzi začiatkom SKS a priesečníkom optických osi budeme nazývať nulová paralaxa (zeroparalax) a vypočítame ju takto

$$np = \frac{a}{2 \tan(\beta)} \quad (2.20)$$

kde „a“ je vzájomná horizontálna vzdialenosť kamier a β je uhol natočenia kamier.



Obr.2.13. Usporiadanie kamier nesúosového kamerového systému.

Transformácia súradnicového systému 3RVS do súradnicových systémov kamier je definovaná nasledovne:

$$\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(h + \frac{a}{2}\right) \cos(\beta) - (d-r) \sin(\beta) \\ v \\ (d-r) \cos(\beta) + \left(h + \frac{a}{2}\right) \sin(\beta) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(h - \frac{a}{2}\right) \cos(\beta) - (d-r) \sin(\beta) \\ v \\ (d-r) \cos(\beta) + \left(h - \frac{a}{2}\right) \sin(\beta) \end{bmatrix}$$

Po perspektívnej projekcii sa body 3RVS premietnu do jednotlivých snímok takto

$$\begin{bmatrix} i_L \\ j_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_y \frac{y_L}{z_L} + i_0 \\ f_x \frac{x_L}{z_L} + j_0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} i_R \\ j_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_y \frac{y_R}{z_R} + i_0 \\ f_x \frac{x_R}{z_R} + j_0 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Nevýhodou tejto metódy je zložitý výpočet sústavy rovníc (2.21) a (2.22), pre estimáciu hĺbkovej súradnice. Ďalšou jej nevýhodou je to, že okrem horizontálnej disparity vzniká aj vertikálna disparita [16]. Podobne ako horizontálna disparita je i vertikálna definovaná ako rozdiel vertikálnych súradníc priemetu rovnakých bodov 3RVS v rovine ľavej a pravej snímky. Taktiež s nárastom horizontálnej súradnice bodov 3RVS sa zväčšuje aj vertikálna disparita, čo spôsobuje chybu pri estimácii priestorových súradníc. Estimáciu hĺbkovej súradnice je možné vypočítať takto

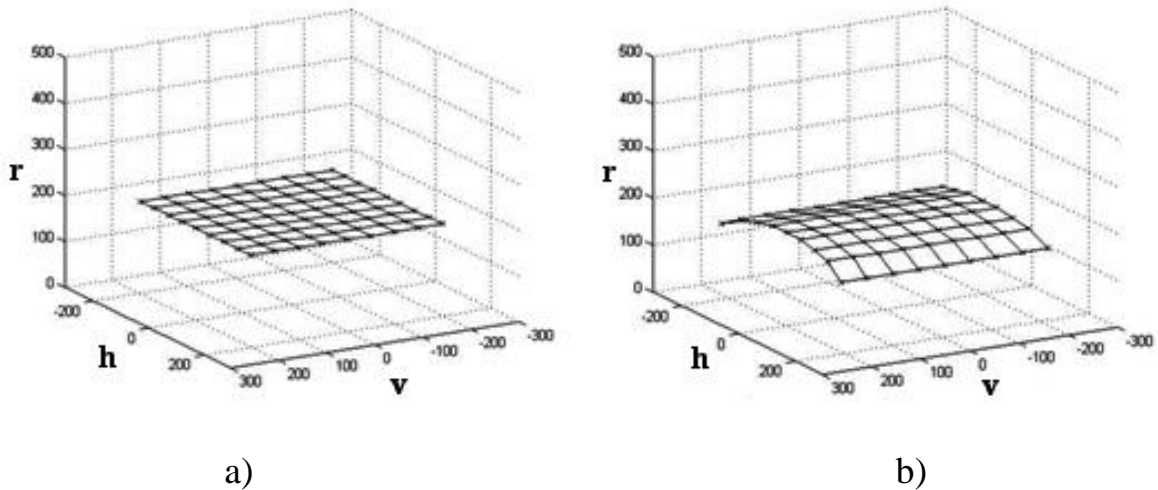
$$r = d - \frac{af_x}{a \frac{f_x}{n_p} + D} = d - \frac{af_x}{2f_x \tan(\beta) + D} \quad (2.23)$$

Z rov.(2.23) je zrejmé, že ak hodnota uhlu β bude nulová potom sa táto rovnica zmení na rov.(2.17) čo dokazuje, že SSKS je špeciálnym prípadom NSKS. Pre estimáciu horizontálnej a vertikálnej súradnice možno odvodiť vzťahy

$$h = \frac{a(j_L + j_R - 2j_0)}{2(a\frac{f_x}{n_p} + D)} = \frac{a(j_L + j_R - 2j_0)}{2(2f_x \tan(\beta) + D)} \quad (2.24)$$

$$v = \frac{af_x (i_L + i_R - 2i_0)}{-2f_y(a\frac{f_x}{n_p} + D)} = \frac{af_x (i_L + i_R - 2i_0)}{-2f_y(2f_x \tan(\beta) + D)} \quad (2.25)$$

Z rov.(2.23) je zřejmé, že pre estimáciu hĺbkovej súradnice je ako pri SSKS nutná znalosť vzdialenosti SKS od 3RVS, vzájomná vzdialenosť kamier a navyše uhol β . Dá sa ukázať, že ak $n_p = d$ potom pre body, ktoré sú od SKS vo vzdialenosti „d“ bude horizontálna disparita nulová. Ako bolo už uvedené pri NSKS vzniká okrem horizontálnej aj vertikálna disparita. To vedie k zlej estimácii hĺbkovej súradnice bodov 3RVS horizontálne posunutých od stredu súradnicového systému 3RVS. Pre SSKS k takejto chybe nedochádza. Vertikálna disparita, ako je z obr.2.14, zrejme spôsobuje v hĺbkovej rovine zakrivenie rekonštruovanej 3RVS. Na obr.2.14.a je zobrazená ortogonálna mriežka umiestnená nad rovinu h, v a na obr.2.14.b jej rekonštrukcia pomocou NSKS. Body 3RVS horizontálne posunuté od stredu súradnicového systému 3RVS sa po rekonštrukcii dostávajú pod ideálnu hĺbkovú rovinu. Preto je potrebné objekty 3RVS umiestniť v oblasti okolo stredu jej súradnicového systému.



Obr.2.14 a) 2R ortogonálna mriežka b) rekonštrukcia 2R ortogonálnej mriežky pomocou NSKS.

Z vyššie uvedených vzťahov je zřejmé, že pre estimáciu priestorových súradníc je nevyhnutné poznať parametre kamery a to hlavne ohniskové vzdialenosti a vzájomnú separáciu kamier. V nasledujúcom texte popíšeme postup kalibrácie kamery za účelom získania jej ohniskových vzdialenosti.

2.3. Geometrická kalibrácia kamery

Kalibrácia kamerového systému (KS) je nevyhnutným krokom v 3R počítačovej grafike za účelom extrakcie informácie o rozmeroch z 2R snímok. Znalosť vonkajších, extrinzičných a vnútorných, intrinzičných parametrov je nevyhnutná pre aplikáciu rekonštrukcie 3R vizuálnej scény (VS) pomocou stereoskopického KS (SKS). Kalibrácia sa taktiež využíva pri tvorbe panoramatických fotografií kde je nevyhnutné odstrániť vplyvy rotácie a prípadného posunutia KS voči snímanej 3RVS. Pomocou kalibrácie je možné zistiť, aké optické deformácie a nepresnosti KS pri snímaní 3RVS vnáša do výslednej snímky a tieto chyby optiky kompenzovať. Techniky kalibrácie je možné rozdeliť do dvoch základných skupín [17]. Sú to tradičné techniky, ktoré využívajú kalibračný obrazec a moderné autokalibračné techniky. V tradičných metódach využívajúcich kalibračný obrazec je presnosť kalibrácie závislá od presnosti merania kalibračného obrazcu, teda je nutná presná extrakcia súradníc bodov kalibračného obrazcu [18]. Tradičné techniky je možné rozdeliť na také, ktoré využívajú korešpondenciu súradníc bodov v 3R priestore a im zodpovedajúcich bodov v rovine snímky a techniky, pri ktorých sa využíva korešpondencia bodov umiestnených v rovine umiestnenej v 3R priestore [19]. Kalibráciou je možné získať ohniskové vzdialenosti, vektor posunutia s rotáciou KS. V nami navrhovanej metóde popíšeme techniku kalibrácie ohniskových vzdialeností kamery. Kalibrácia je docielená pozorovaním kalibračného objektu ktorého geometrické parametre v 3R priestore sú s vysokou presnosťou známe. Kalibráciu je možné dosiahnuť veľmi efektívne [20]. Kalibračný objekt zvyčajne pozostáva z dvoch alebo troch ortogonálnych rovín. Niekedy je využitá iba jedna rovina, ktorá sa posúva v hĺbkovej súradnici [21] čím je možné dosiahnuť 3R referenciu.

V ďalšej časti budeme uvažovať bod v súradnicovom systéme kamery. Nech bod \mathbf{M} má súradnicu $[x, y, z]$ a jeho priemet v rovine snímky je $\mathbf{m} = [j, i]$. Vzťah medzi súradnicou bodu \mathbf{M} v 3R priestore a jeho priemetom v rovine snímky je:

$$\mathbf{m} = \mathbf{A}[\mathbf{R} \quad \bar{\mathbf{t}}]\mathbf{M} = \mathbf{P}\mathbf{M} \quad (2.26)$$

kde \mathbf{A} je matica vnútorných parametrov kamery

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & j_0 \\ 0 & -f_y & i_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

kde f_x a f_y sú ohniskové vzdialenosti a i_0 a j_0 je bod predstavujúci stred snímky a matica $[\mathbf{R} \ \bar{\mathbf{t}}]$ sú vonkajšie parametre kamery, reprezentujúce rotáciu a posunutie kamerového systému.

$$[\mathbf{R} \ \bar{\mathbf{t}}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Potom matica \mathbf{P} bude projekčná matica kamery.

2.3.1. Kalibrácia pomocou korešpondencie bodov v 3R priestore

Klasické metódy sú výpočtovo náročné a niekedy nie je nutné estimovať všetky parametre kamery. Nami navrhovaná metóda je vhodná pre estimáciu ohniskových vzdialenosti [5, 6]. Budeme vychádzať z modelu perspektívnej projekcie a z predpokladu, že snímaná rovina je umiestnená v rovine hv 3R vizuálnej scény, to znamená, že súradnica r bude mať nulovú hodnotu. Pre perspektívnu projekciu platí vzťah (2.26). Budeme uvažovať prípad, kedy sa rotácia \mathbf{R} a posunutie $\bar{\mathbf{t}}$ neuplatňujú a teda môžeme písať, že

$$\mathbf{m} = \mathbf{A}\mathbf{M} \quad (2.29)$$

Čo nepredstavuje nič iné ako perspektívnu projekciu popísanú v podkapitole 2.2.1. Je zrejmé, že ak sú známe súradnice bodu v priestore a v snímke, potom exaktné riešenie dosiahneme vyjadrením f_x a f_y z rovníc (2.9, 2.10). Pre ďalšie operácie prepíšeme vzťahy (2.9, 2.10) s ohľadom na to, že $r = 0$ do maticovej formy nasledovne:

$$\begin{bmatrix} -f_y v \\ f_x h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -d(i - i_0) \\ d(j - j_0) \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{0}} \quad (2.30)$$

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

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = -(\mathbf{C}^T \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^T \mathbf{B} \quad (2.31)$$

kde pre n korešpondujúcich dvojíc matice \mathbf{C} a \mathbf{B} budú mať nasledovný tvar:

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

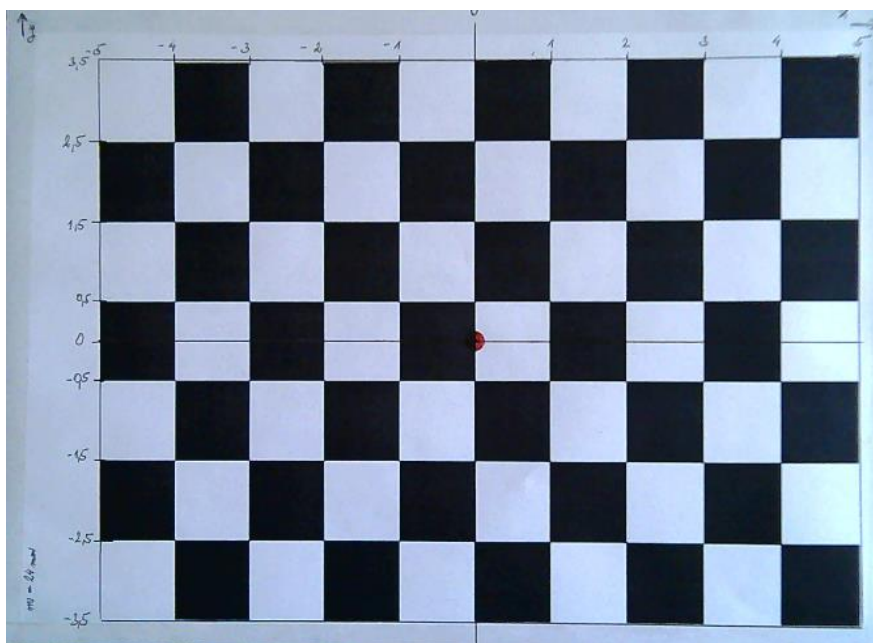
Je zrejmé, že pri takejto estimácii je nutná znalosť vzdialenosti d , v ktorej je kalibračný obrazec od kamery. Ďalej je zrejmé, že stred snímky nemusí byť uprostred rastra ale bude ním bod, do ktorého sa premietne stred kalibračného obrazca. Tento bod nie je problém odčítať z obrazu. Kvadratickú chybu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

$$\begin{bmatrix} e_y \\ e_x \end{bmatrix} = \left\| \begin{bmatrix} f_y v \\ f_x h \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -d(i - i_0) \\ d(j - j_0) \end{bmatrix} \right\|^2 \quad (2.31)$$

Pre celkovú kvadratickú chybu bude platiť :

$$e = e_y + e_x \quad (2.32)$$

Stredná kvadratická chyba \tilde{e} potom bude stredná hodnota všetkých kvadratických chýb. Na obr.2.15 Je zobrazený kalibračný obrazec nasnímaný zo vzdialenosti 400mm, čo pri mierke 0,25mm/bod predstavuje 1600 bodov.



Obr. 2.15 Kalibračný obrazec nasnímaný zo vzdialenosti 400mm

V tab3.1 sú uvedené získané ohniskové vzdialenosti pre jednu, 4 a 8 korešpondujúcich dvojíc bodov pre vzdialenosti 400, 600, 800, 1000 mm . Pre kalibráciu budeme využívať body šachovnice so súradnicami :

$$96 \begin{bmatrix} -4 & 2.5 \\ 4 & 2.5 \\ -2 & 1.5 \\ 2 & 1.5 \\ -2 & -1.5 \\ 2 & -1.5 \\ -4 & -2.5 \\ -4 & 2.5 \end{bmatrix}$$

Uvedené súradnice sú prepočítané pomocou bodovej mierky $m_b = 0.25$ na body. Za stred kalibračného obrazca považujeme bod so súradnicou $[0 \ 0]$.

Tab. 3.1. Ohniskové vzdialenosti vypočítané pomocou jednej, štyroch a ôsmich korešpondencií

4 dvojice bodov

d [mm]	d[op]	f_x	f_y	m_{bx}	m_{by}	\tilde{e}	l_0	J_0
400	1600	966,74	1024,47	0,25	0,25	11013721953	262,5	449,8
600	2400	944,72	999,87	0,25	0,25	18692282836	281,3	494,1
800	3200	935,28	993,16	0,25	0,25	8489383006	285,4	478,6
1000	4000	934,93	989,8	0,25	0,25	8781077	298,8	449,1

Stredná
hodnota: 945,4175 1001,825

8 dvojíc bodov

400	1600	964,92	1025,33	0,25	0,25	11131079946	261,875	449,1
600	2400	941,99	1000,66	0,25	0,25	18565565036	282	494,7
800	3200	938,36	992,76	0,25	0,25	8047323623	284,7	477,96
1000	4000	933,18	987,25	0,25	0,25	8334076	299,5	449,8

Stredná
hodnota: 944,6125 1001,5

1 dvojica bodov - exaktný výpočet

400	1600	957,5	1023,33	0,25	0,25	-	262,5	449,8
600	2400	925,625	1003	0,25	0,25	-	281,3	494,1
800	3200	938,3	992	0,25	0,25	-	285,4	478,6
1000	4000	917,7	996,7	0,25	0,25	-	298,8	449,1

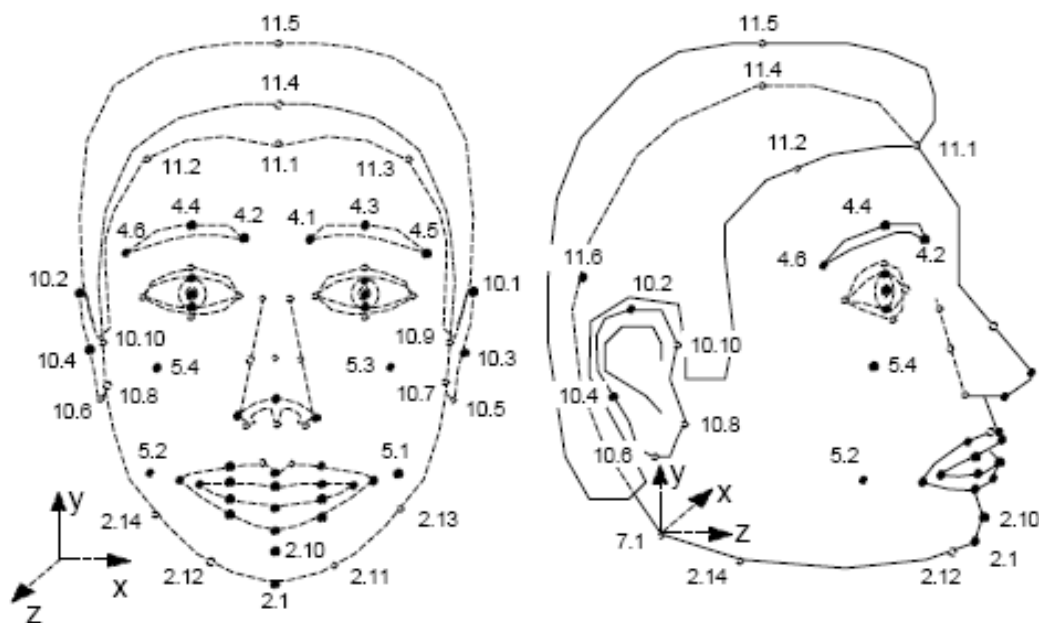
Stredná
hodnota: 934,7813 103,758

Z tab.3.1 je zrejmé, že ohniskové vzdialenosti sa so vzdialenosťou menia. V skutočnosti takáto zmena nie je možná. Možná by bola iba v prípade, že kamera automatiky zaostruje. V našom prípade však kamera má nastavenú

pevnú hĺbku ostrosti ako aj ohniskovú vzdialenosť. Preto usudzujeme, že zmena ohniskových vzdialeností je spôsobená šumom, ktorý je zavedený kamerou pri snímaní kalibračného obrazu a následne nepresnou voľbou bodov kalibračného obrazca v rovine snímky. Ďalej túto zmenu môže spôsobovať aj skreslenie zavedené optickým systémom kamery. Taktiež chybu je možné zaviesť aj nepresným určením vzdialenosti medzi kamerou a snímaným kalibračným obrazcom. Preto za výslednú hodnotu ohniskovej vzdialenosti budeme považovať strednú hodnotu meraní pri použití 8 korešpondencií.

2.3.2. Tvarovanie 3R modelu ľudskej hlavy na báze príznakových bodov

Analýza aj syntéza ľudskej hlavy vo videokodeku MPEG-4 SNHC používa jej geometrické modely z počítačovej grafiky. Pritom MPEG-4 SNHC špecifikuje pre tieto modely ich neutrálny (východzí) stav a zároveň maximálne 84 príznakových bodov ako to vidno na obr.2.16.



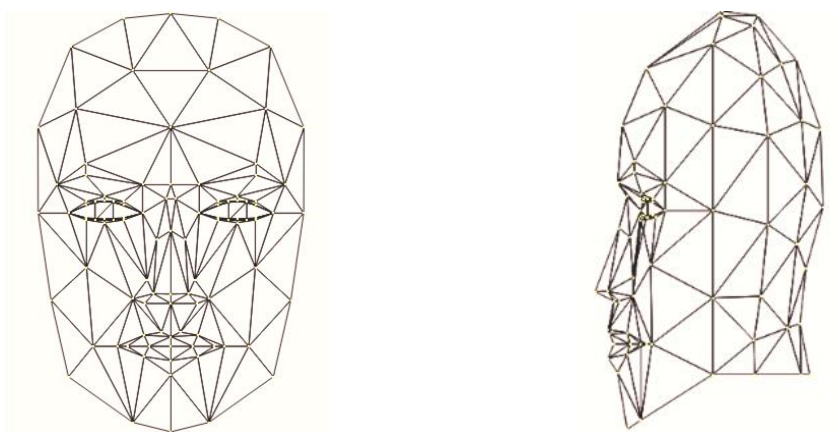
Obr.2.16. Príklad zobrazenia príznakových bodov na čelnom a profilovom pohľade ľudskej hlavy.

Tieto sú usporiadané do skupín vzťahujúce sa na určité časti ľudskej hlavy ako sú ústa, nos, oči atď. Pomocou príznakových bodov na reálnej ľudskej hlave možno potom tvarovať vybraný geometrický model vo východzom stave tak, aby jeho príznakové body boli s súlade s tými na reálnej ľudskej hlave. Súradnice príznakových bodov reálnej ľudskej hlavy predstavujú FDP (facial

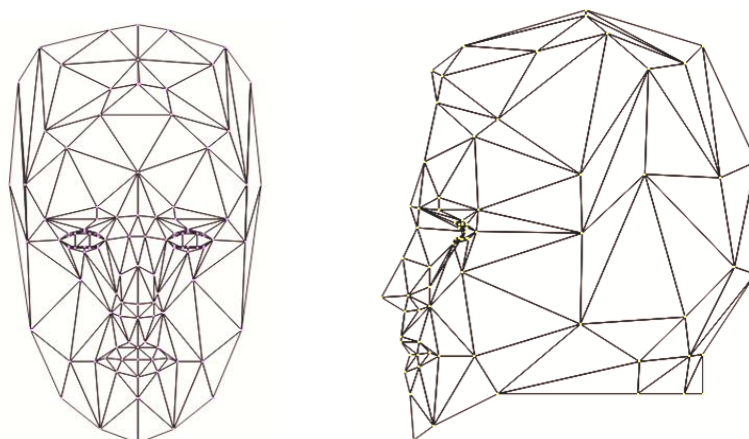
definition parameters) a v najjednoduchšom prípade ich možno priamo získať z výstupu 3R scaneru. Pretože 3R scanery sú málo dostupné tieto FDP sa môžu vypočítať aj pomocou jej stereoskopických snímok. Na základe znalosti FDP možno vykonať úpravu základného geometrického modelu, aby sa prispôbil jeho geometrický tvar k reálnej ľudskej hlave.

3 GENEROVANIE TEXTÚR 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY

Textúrovanie v problematike [5, 6] kódovania obrazu ľudskej hlavy na báze modelovania, dáva jej tvarovanému modelu konečnú a prirodzenú podobu. Textúra teda predstavuje jasové úrovne op, ktoré sú výsledkom spojenia dvoch a viac referenčných snímok. Najčastejšie ide o čelný a profilový pohľad. Textúrou teda dosahujeme vyššiu mieru podobnosti vygenerovaného klonu a jeho predlohy. Samotné textúrovanie 3R modelu ľudskej hlavy je teda procesom prenášania textúrovej hodnoty op na už prispôbený model. Výhodou textúry v modelovom kódovaní je to, že textúra sa nemení tak, ako sa nemení vzhľad človeka, ale menia sa iba podmienky prostredia. Z toho vyplýva, že v procese videosekvencie postačuje, ak je textúra vyslaná na prijímaciu stranu iba raz. Keďže anatómia ľudskej hlavy je u každého človeka odlišná, je potrebné mať k dispozícii rôzne modely, ktoré sú prispôbené na človeka, ktorého klon tvoríme. Problematike prispôbenia teda tvarovania 3R modelu je venovaná kapitola 2. Na obr.3.1 je zobrazený základný model a na obr.3.2 model tvarovaný pre hlavu konkrétneho človeka.



Obr. 3.1 Čelný a profilový pohľad na základný model



Obr. 3.2 Čelný a profilový pohľad na tvarovaný model

3.1. Transformácia 3R modelu do textúrovej roviny

Každý model je definovaný pomocou vrcholov a ich vzájomného prepojenia. Na aproximovanie povrchu uzatvorených triangulácií je potrebná vhodná transformácia súradníc, aby sa neovplyvnili príspevky polygónov, ktoré sú po priemetě do h v (v anglosaskej literatúre u v) roviny vzájomne prekryté, ale nie sú susedné [6]. Transformáciu je možné vykonať pomocou otvorenej transformácie, pri ktorej je pred samotnou transformáciou nutné model v jeho zadnej časti rozpojiť. Taktiež je možné využiť uzatvorenú transformáciu pri ktorej sa model transformuje bez predošlej úpravy.

3.1.1. Kubická transformácia

Kubická transformácia súradníc $(h, v, r) \rightarrow (h_N, v_N)$ patrí medzi takzvané otvorené transformácie. Ako už bolo uvedené vyššie, pri tejto transformácii pred samotným aplikovaním algoritmu transformácie na model, je potrebné tento model rozpojiť. Pri modeloch ľudskej hlavy je najvýhodnejšie toto rozpojenie aplikovať v jeho zadnej časti, nakoľko táto časť sa v syntetizovanej snímke vyskytuje najmenej, a teda prípadné chyby vzniknuté pri opätovnom spájaní modelu neovplyvňujú kvalitu. Transformácia je definovaná pomocou vzťahov (3.1) a (3.2).

$$h_N = \begin{cases} h + m_1 \left[m_2 \left(1 - \frac{r - r_{min}}{|r_{max} - r_{min}|} \right) \right]^3 & h > 0 \\ h - m_1 \left[m_2 \left(1 - \frac{r - r_{min}}{|r_{max} - r_{min}|} \right) \right]^3 & h < 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$v_N = m_3 v \quad (3.2)$$

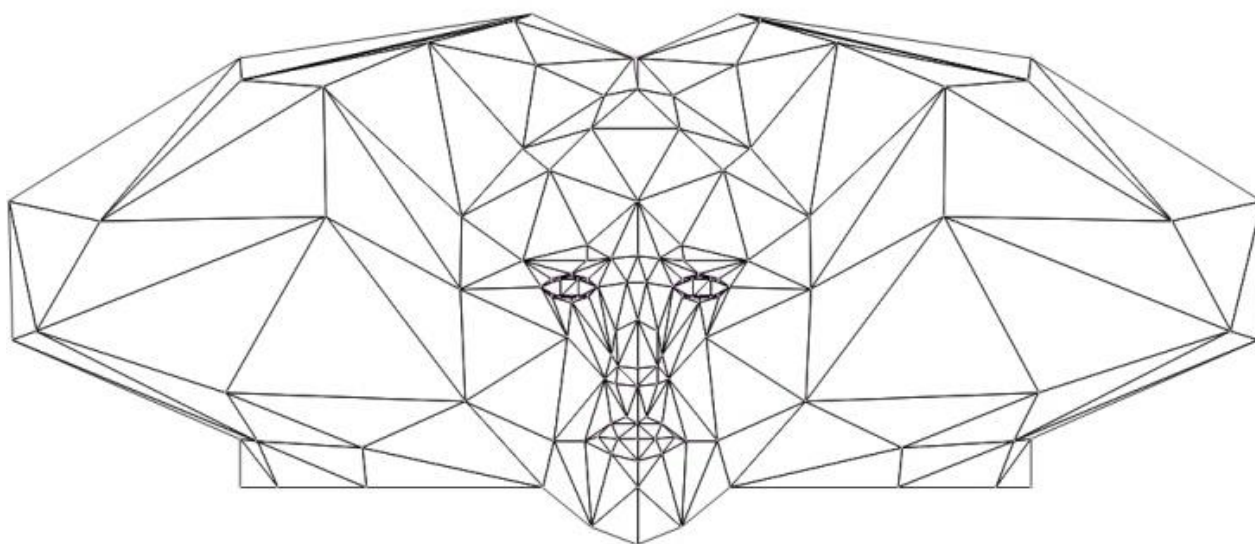
kde konštanty m_1 , m_2 , m_3 slúžia na nastavenie parametrov transformácie, r_{\min} , r_{\max} sú minimálna a maximálna hodnota súradnice r v triangulácii.

Zo vzťahov je zrejmé, že funkcia tretej mocniny, po ktorej táto transformácia nesie meno je aplikovaná len na horizontálnu súradnicu. Vertikálna súradnica je lineárne zväčšená konštantou m_3 . Ak by sme vertikálne súradnice nechali nezmenené bolo by možné túto transformáciu využiť, ale vplyvom prílišnej deformácie by dochádzalo ku skresleniam textúry. Ďalej je zrejmé, že transformáciu nie je nutné vykonávať pre všetky vrcholy. Oblasť tváre je vhodné z transformácie vynechať a iba ju lineárne zväčšiť konštantou m_3 . Potom pre oblasť tváre budú platiť vzťahy (3.3) a (3.4) a pre ostatné oblasti vzťahy (3.1) a (3.2).

$$h_N = m_3 h \quad (3.3)$$

$$v_N = m_3 v \quad (3.4)$$

Transformovaný tvarovaný model potom bude mať tvar ako je na obr.3.3



Obr. 3.3 Tvarovaný model transformovaný kubickou transformáciou

3.1.2. Uzatvorená transformácia

Táto transformácia v anglosaskej literatúre nazývaná cycle, alebo tiež aj transformácia pomocou uzatvorených kriviek sa zaradzuje medzi uzatvorené transformácie. Z uvedeného je zrejmé, že pred samotnou aplikáciou algoritmu transformácie sa na modeloch nevykonáva rozpojenie. Toto prináša istú výhodu

oproti otvorenej transformácii, pretože odpadá hľadanie koncových vrcholov modelu. Táto transformácia súradníc $(h,v,r) \rightarrow (h_N, v_N)$ je definovaná nasledovne:

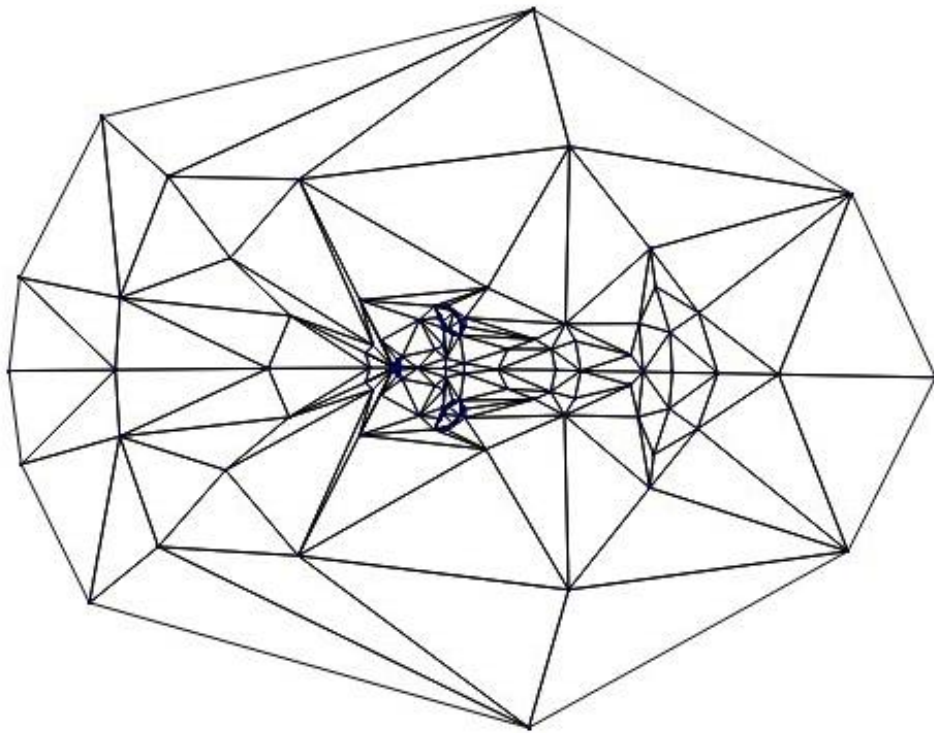
$$h_n = k_1 \left(k_2 h + \frac{p}{m} h \right) \quad (3.5)$$

$$v_n = k_1 \left(k_2 r + \frac{p}{m} (r + r_{ofs}) \right) \quad (3.6)$$

Pričom :

$$p = \left[k_3 \left(1 - \frac{v - v_{min}}{|v_{max} - v_{min}|} \right) \right]^3, \quad m = \sqrt{h^2 + (r + r_{ofs})^2}$$

kde k_1, k_2, k_3 sú konštanty nastavujúce parametre, transformáciu a v_{min}, v_{max} sú minimálna a maximálna súradnica v v triangulácii. r_{ofs} je ofset r -súradnice. Na obr. 3.4 je znázornený tvarovaný model po cyklickej transformácii.

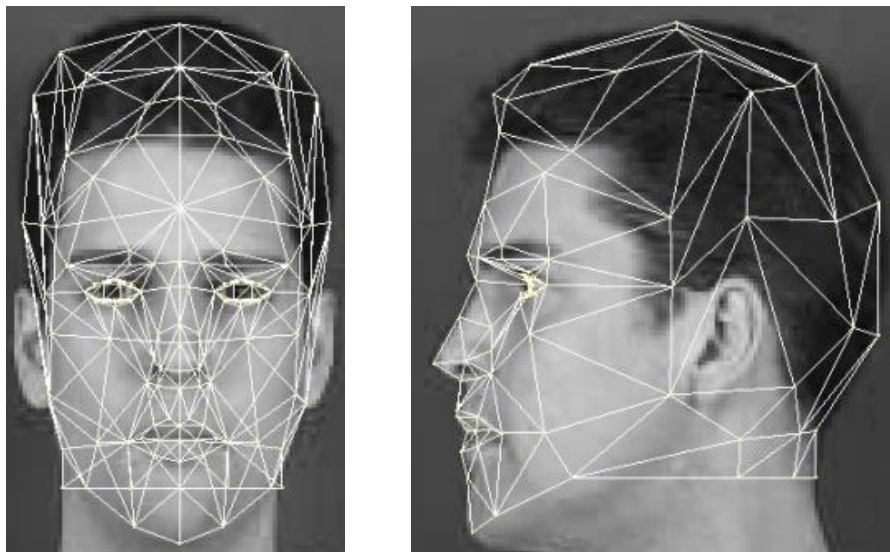


Obr. 3.4 Tvarovaný model transformovaný uzatvorenou transformáciou

Z obrázku je zrejmé, že vo vrchnej časti modelu dochádza k značnému zhusteniu triangulácie, čo pri prenose textúry na model bude spôsobovať skreslenie.

3.2. Identifikácia textúr

Ako pri generovaní textúr, tak i pri samotnom prenose textúr na 3R model je nutné identifikovať op, vzhľadom na ich polohu v danom polygóne modelu a transformovaného modelu. Ako bolo uvedené vyššie, každý model je definovaný pomocou vrcholov a ich prepojenia. Táto identifikácia sa vykoná priemetom modelu do zdrojových snímok tak, ako je zobrazené na obr.3.5. Postup priemetu modelu do roviny snímky sme popísali v kapitole 2 rovnicou (2.4)

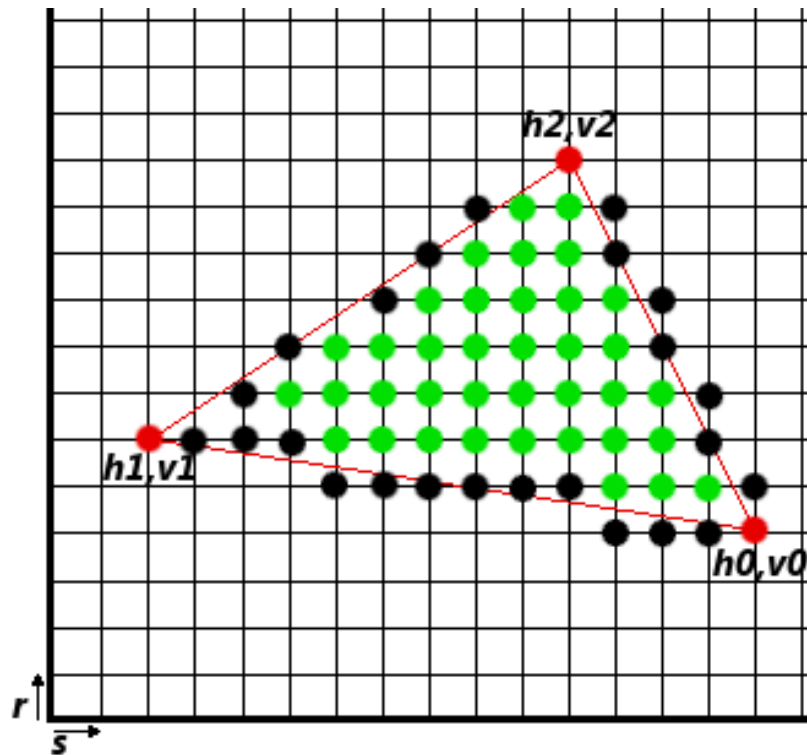


Obr. 3.5 Čelný a profilový priemet tvarovaného modelu do textúrovej roviny

3.3. Algoritmus riadkového rozkladu

Z predchádzajúcej podkapitoly je zrejmé, že konverziou získame iba polohu vrcholov jednotlivých triangulácií v priestore zdrojovej snímky. Predpokladajme, že vrcholy premietnuté do textúrovej roviny korešpondujú so skutočnou polohou hlavy v referenčnej čelnej a profilovej snímke. Potom k identifikácii op patriacich jednotlivým polygónom je potrebné vypočítať strany polygómov v triangulácii [6].

Nech trojuholník zobrazený na obr.3.6 predstavuje ľubovoľný polygón modelu premietnutý do textúrovej roviny, ktorá je v danom prípade reprezentovaná mriežkou. Polygón pozostáva z vrcholových (červených) bodov (h_1, v_1) , (h_2, v_2) a (h_3, v_3) , ktoré sú dané vektormi \vec{V} . Súradnica h bude horizontálna súradnica, bude teda predstavovať riadky textúrovej roviny a súradnica v je vertikálna súradnica a predstavuje stĺpce rastra textúry. Priesečníky mriežky, ktoré sú najbližšie k spojniciam vrcholových bodov budú predstavovať hraničné (čierne) body daného polygónu. Body vo vnútri polygónu znázornené zelenou farbou budú potom vnútornými bodmi.



Obr.3.6 Priemet triangulácie do textúrovej roviny

Spojnice medzi vrcholovými bodmi je možné vypočítať postupnou iteráciou podľa vzťahov :

$$s_{i,j}(r_{i,j} + 1) = s_{i,j}(r_{i,j}) + k_{i,j}, \quad i < j \quad (3.11)$$

$$s_{i,j}(r_{i,j} - 1) = s_{i,j}(r_{i,j}) + k_{i,j}, \quad i > j \quad (3.12)$$

$$k_{i,j} = \frac{v_i - v_j}{|h_i - h_j|} \quad \text{kde } i = 0,1,2 \quad h_i \neq h_j \quad (3.13)$$

$$j = (i + 1) \bmod 3 \quad (3.14)$$

kde s je stĺpcom, r je riadkom rastra textúry a indexy i, j určujú medzi ktorými bodmi rátame iteračnú konštantu k . Z uvedeného vyplýva, že postupná iterácia pre prvú spojnicu teda pre body (h_0, v_0) a (h_1, v_1) bude vyzeráť nasledovne:

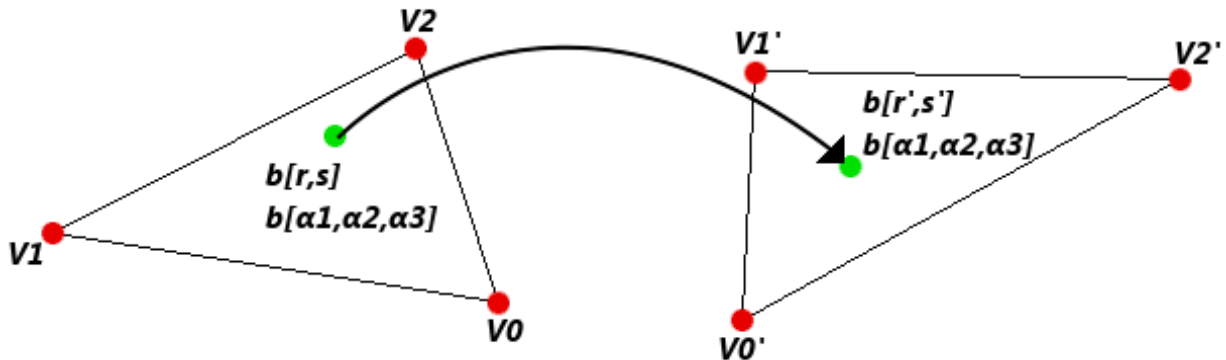
$$\begin{aligned} s_{0,1}(h_0 + 1) &= s_{0,1}(h_0) + k_{0,1} \\ s_{0,1}(h_0 + 2) &= s_{0,1}(h_0 + 1) + k_{0,1} \\ &\vdots \\ s_{0,1}(h_1) &= s_{0,1}(h_1 - 1) + k_{0,1} \end{aligned}$$

Analogickým spôsobom sa vyrátajú spojnice aj pre ostatné dvojice bodov. Je zrejmé, že $s_{i,j}(r_{i,j} \pm 1)$ je z množiny reálnych čísel, pretože inkrementačná

konštanta k má tiež reálnu hodnotu. Súradnice bodu v rastrí sú však celé kladné čísla, preto $s_{i,j}(r_{i,j} \pm 1)$ je potrebné zaokrúhliť na najbližšie celé číslo. Je zrejmé, že zaokrúhľovať sa bude až po ukončení iteračného procesu. V opačnom prípade, by mohla nastať situácia, že posledný bod iterácie by nemal súradnice vrcholového bodu.

3.4. Výpočet barycentrických súradníc

Pri priestorovej transformácii nevyhnutne dochádza k deformácii jednotlivých polygónov. V princípe môže nastať posunutie vrcholov a zmena veľkosti triangulácie, čo znamená, že i súradnice vnútorných bodov transformovanej triangulácie budú iné [23]. Treba si však uvedomiť, že aj po posunutí a deformovaní polygónu musí existovať závislosť vnútorných bodov polygónu od jeho vrcholov. Táto závislosť je najlepšie popísaná pomocou barycentrických súradníc [24], ktoré určujú polohu bodu na základe súradníc vrcholov. Potom, ak túto myšlienku rozvineme, je nutnou podmienkou, aby barycentrické súradnice vnútorného bodu boli aj po deformácii polygónu rovnaké. Toto je ilustrované na obr.3.7



Obr. 3.7 Určenie polohy bodu na základe jeho barycentrických súradníc

Ako je z obr.3.7 zrejmé bod b je op s priestorovou súradnicou $[r,s]$ a je vnútorným bodom triangulácie s vrcholmi V_0, V_1, V_2 . Súradnica r predstavuje riadok a súradnica s stĺpec rastra do ktorého je triangulácia premietnutá. Bod b má barycentrické súradnice $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$. V triangulácii danej vrcholmi V_0', V_1', V_2' musí existovať bod, ktorý má také isté barycentrické súradnice. Potom, ak poznáme polohu vrcholov V_0', V_1', V_2' , môžeme na základe vrcholov triangulácie a známej barycentrickej súradnice získanej pomocou vzťahov (3.15 – 3.17), vypočítať pomocou vzťahov (3.18) a (3.19) súradnice $[r',s']$ a priradiť im hodnotu op so súradnicami $[r,s]$.

$$\alpha_1 = \frac{(s_1 - s_2)(r - r_2) + (r_2 - r_1)(s - s_2)}{(s_1 - s_2)(r_0 - r_2) + (r_2 - r_1)(s_0 - s_2)} \quad (3.15)$$

$$\alpha_2 = \frac{(s_2-s_0)(r-r_2)+(r_0-r_2)(s-s_2)}{(s_1-s_2)(r_0-r_2)+(r_2-r_1)(s_0-s_2)} \quad (3.16)$$

$$\alpha_3 = 1 - \alpha_1 - \alpha_2 \quad (3.17)$$

kde s_i je súradnica stĺpca, r_i je súradnica riadku i -teho vrcholu triangulácie a r , s sú súradnice bodu b , ktorého barycentrické súradnice hľadáme.

$$r' = r_0\alpha_1 + r_1\alpha_2 + r_2\alpha_3 \quad (3.18)$$

$$s' = s_0\alpha_1 + s_1\alpha_2 + s_2\alpha_3 \quad (3.19)$$

Ďalej platí, že pokiaľ hociktorá z barycentrických súradníc nepatrí do intervalu $(0,1)$, bod s takýmito barycentrickými súradnicami nie je vnútorným bodom polygónu. Taktiež sa dá ukázať, že pokiaľ niektorá zo súradníc je rovná nule, tak bod bude hraničným bodom polygónu. V mieste kde jedná súradnica je rovná 1 a ostatné sú rovne nule je niektorý z vrcholov polygónu.

3.5. Generovanie textúr na základe dvoch ortogonálnych pohľadov na ľudskú hlavu.

V predchádzajúcich podkapitolách sme ukázali identifikáciu op, ktoré patria triangulácii a spôsob ich prenosu do textúrovej roviny, ktorú získame na základe transformovaného modelu. Hoci by v princípe bolo klon možné textúrovať priamo zo zdrojových snímok (pohľadov na ľudskú hlavu), znamenalo by to nutnosť spracovávať dve textúry a taktiež, by bolo potrebné na stranu syntézy posielat' aj informáciu pre ktoré polygóny je použitý čelný a pre ktoré profilový pohľad. Pri takomto textúrovaní by zasa odpadla nutnosť transformovať model do 2R textúrovej roviny. Pri generovaní textúry pomocou dvoch ortogonálnych snímok vzniknú dve textúry. Prvá bude pozostávať iba z op patriacich čelnému a druhá bude pozostávať iba z op patriacich profilovému pohľadu. Tieto textúry sú znázornené na obr.3.8 a obr.3.9



Obr.3.8 Textúra získaná z čelného pohľadu na ľudskú hlavu

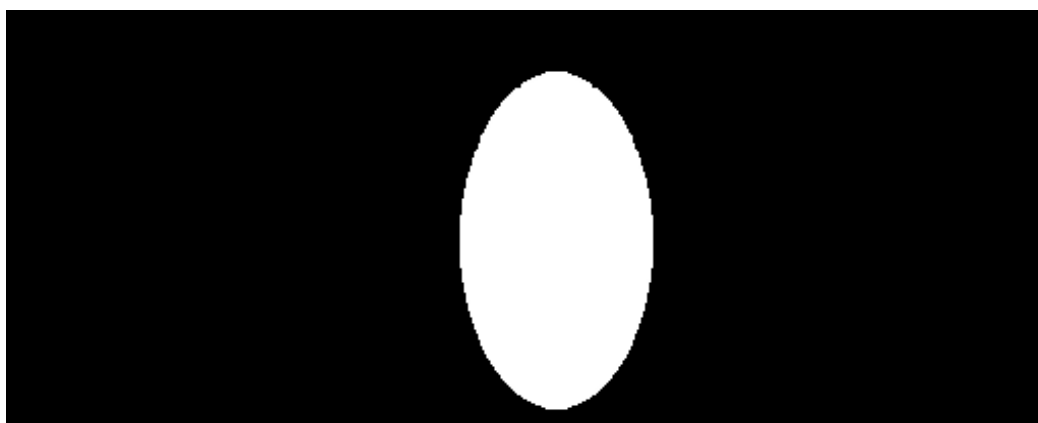


Obr.3.9 Textúra získaná z profilového pohľadu na ľudskú hlavu

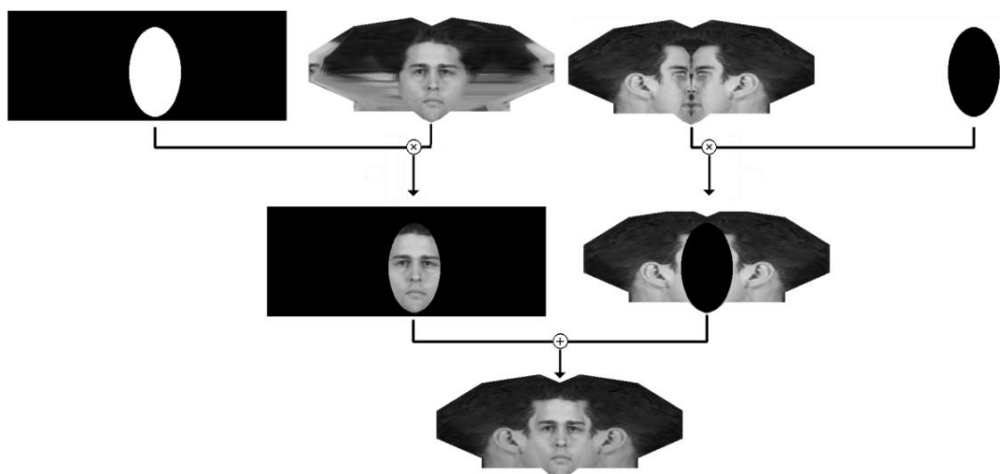
Je zrejmé, že takéto textúry nie sú vhodné pre textúrovanie modelu a musia sa spojiť do jedinej výslednej textúry. Postup spájania a vyhladzovania textúr ukážeme v nasledujúcich kapitolách

4 SPÁJANIE A VYHLADZOVANIE TEXTÚR

V predchádzajúcej kapitole sme načrtli problém spájania dvoch textúr do jednej, ktorý pri generovaní textúr vzniká. Ako je zrejmé z oboch textúr je potrebné použiť iba istú časť. V našom prípade už textúry vygenerované sú, k vytvoreniu jednej textúry je teda najvýhodnejšie použiť binárnu masku obr.4.1. Experimentálne bolo overené, že najvýhodnejší tvar masky je oválneho tvaru. Maska oválneho tvaru sa výhodne prispôsobuje tvárovej časti hlavy. Prvú textúru touto maskou vynásobíme a druhú textúru musíme vynásobiť inverznou hodnotou tejto masky [4]. Obe textúry sú potom sčítané. Tento postup je ilustrovaný na obr.4.2 a popísaný vzťahom (4.1).



Obr. 4.1 Príklad binárnej masky



Obr. 4.2 Postup zlúčenia profilovej a čelnej textúry do jednej textúry

$$I = M I_a + (1 - M)I_b \quad (4.1)$$

kde I je výsledná textúra, M je maska I_a , je textúra čelného pohľadu a I_b , je textúra profilového pohľadu. Zo vzťahu (4.1) je zrejmé, že výraz $(1 - M)$ predstavuje negáciu masky. Výsledná textúra získaná takýmto jednoduchým spôsobom je zobrazená na obr.4.3.

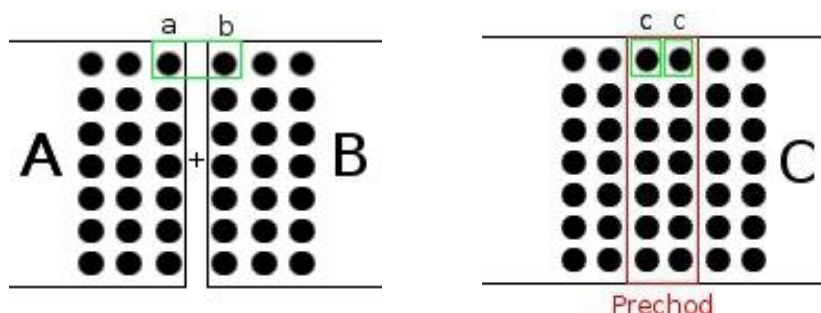


Obr. 4.3 Textúra s viditeľným prechodom

Z obr.4.3 je zrejmé, že textúra v časti spojenia obsahuje skreslenie, ktoré by sa pri textúrovaní prejavilo. Existuje niekoľko metód [26 - 28] ako spájať niekoľko obrazov s minimalizáciou skreslenia v mieste spojenia. V nasledujúcich podkapitolách popíšeme dve základné metódy a metódu využívajúcu rozklad obrazu na Laplaceove subpásma, ktorá problém skreslenia na rozhraní spájaných textúr odstraňuje.

4.1. Vyhladzovanie metódou váhovania

Ide o najjednoduchšiu techniku vyhladzovania pri ktorej sa hraničné obrazové prvky (rušivé prvky) výsledného obrazu nahradia hodnotou získanou z posledných nenulových prvkov spájaných obrazov pomocou vzťahu (4.2), tak ako je zobrazené na obr.4.4.



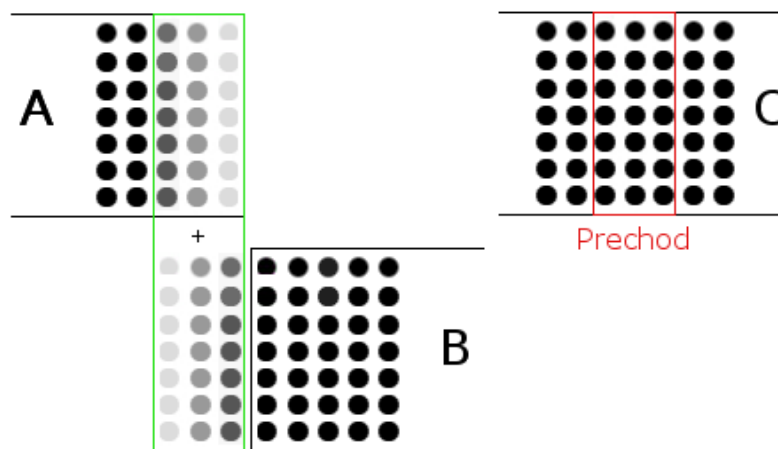
Obr.4.4 Princíp vyhladzovania metódou váhovania

$$c = \frac{a+b}{k} \quad (4.2)$$

kde c je hodnota prvkov tvoriacich prechod v danom riadku, a, b sú hodnoty op spájaných obrazov A a B, k je reálna konštanta z intervalu $\langle 1;2 \rangle$. Konštanta k zabezpečuje prispôsobenie parametrov pre výpočet hodnoty prvkov prechodu pre každý riadok. Je teda zrejmé, že konštanta k sa bude meniť vzhľadom k jasovým zmenám v riadkoch.

4.2. Vyhladzovanie metódou prekrývania

Pri tejto technike sa vstupné obrazy upravujú nasledovne: Obrazu A sa v cieľovej oblasti prechodu lineárne znižuje hodnota jasu obrazových prvkov. Keďže obrazu A sa nezmenila veľkosť rastra a má dôjsť k prekrytiu oboch obrazov, je potrebné obrazu B doplniť obrazové prvky. Týchto prvkov bude práve toľko, koľko je potrebné na oblasť prechodu. Dopĺňame hodnotu posledného obrazového prvku obrazu B ktorej hodnoty postupne lineárne znižujeme. Toto je ilustrované na obr .4.5



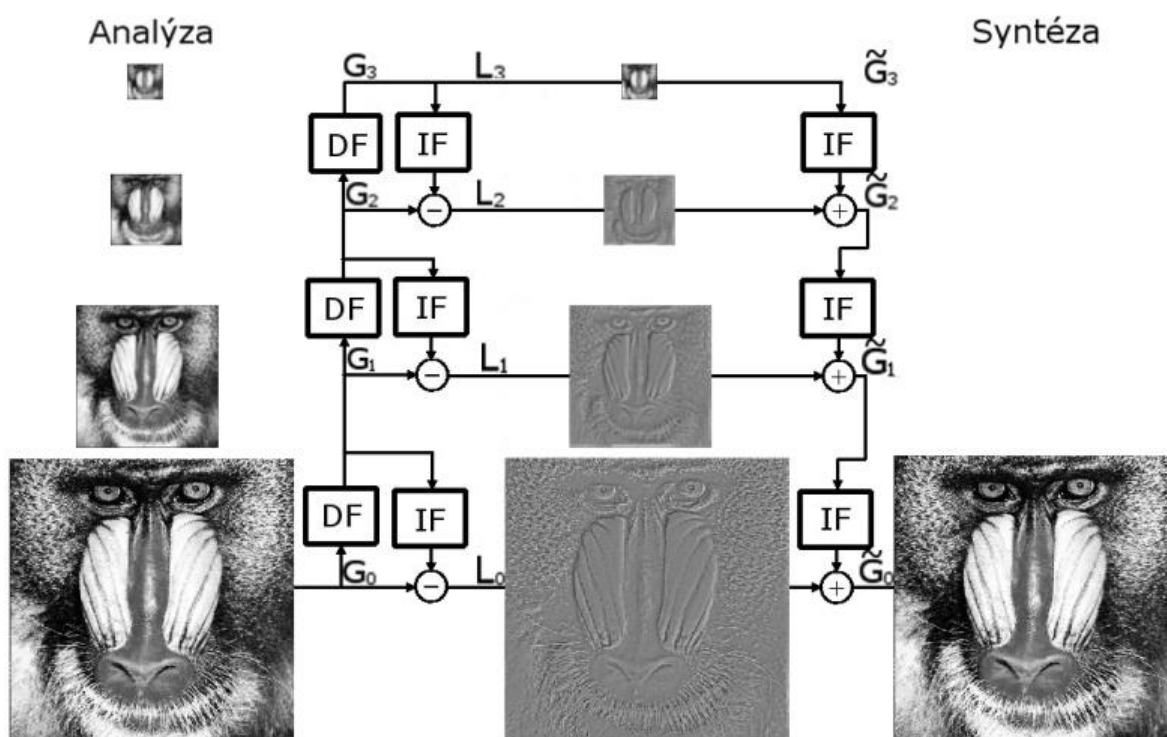
Obr.4.5 Princíp vyhladzovania metódou prekrývania

4.3. Metóda s využitím Laplaceovej pyramídy

Pri tejto metóde sú spájané textúry najprv rozložené do ich pyramídových reprezentácií [10]. Potom sa jednotlivé úrovne sčítavajú, čo vedie k vzniku jednej pyramídovej reprezentácii spojeného obrazu. Nakoniec sa syntézou získa výsledná spojená a vyhladená textúra.

4.3.1. Pyramídová reprezentácia obrazu

Pyramídová reprezentácia obrazu patrí medzi hierarchické reprezentácie obrazu. Takáto reprezentácia obrazu umožňuje vyjadriť obraz v jednotlivých úrovniach, ktoré majú rôzne priestorové rozlíšenie [29, 30]. Na obr.4.6 je bloková schéma hierarchickej reprezentácie obrazu pomocou pyramídovej analýzy a syntézy. Ako je z obr.4.6 zrejmé, pyramídová analýza i syntéza vychádza z rozkladu vstupného obrazu do Gaussovej pyramídy, ktorá predstavuje nízko-frekvenčnú alebo aproximačnú časť [27]. Jednotlivé Gaussové obrazy budeme označovať $G_0, G_1, G_2, \dots, G_n$. Ako bolo uvedené vyššie, pri hierarchickej reprezentácii obrazu získavame obraz vo viacerých úrovniach s iným priestorovým rozlíšením. Potom G_0 bude reprezentovať úroveň s najväčším priestorovým rozlíšením a G_n úroveň s najmenším priestorovým rozlíšením.



Obr. 4.6 Bloková schéma 4 úrovňovej pyramídovej analýzy a syntézy

Z obr.4.6 vyplýva, že priestorové rozlíšenie vstupného obrazu sa znižuje s mocninou čísla 2. Ak vstupný obraz mal rozlíšenie $J \times J$ potom 1.úroveň bude mať rozlíšenie $\frac{J}{2^1} \times \frac{J}{2^1}$ na 2.úrovni bude mať rozlíšenie $\frac{J}{2^2} \times \frac{J}{2^2}$, potom zovšeobecnene môžeme zapísať, že i -ta úroveň bude mať rozlíšenie $\frac{J}{2^i} \times \frac{J}{2^i}$. Znižovanie priestorového rozlíšenia a odfiltrovanie vysokých frekvencií

zabezpečujú decimačné filtre (DF) s faktorom decimácie rovným dvom [27,31,32]. Toto vieme zapísať takto:

$$G_i = Df_2(G_{i-1}) \quad (4.3)$$

kde $Df_2(G_{i-1})$ predstavuje operáciu decimačnej filtrácie s faktorom 2. Laplaceová pyramída bude pri takejto reprezentácii predstavovať vysokofrekvenčnú (detailovú) časť obrazu [28]. Jednotlivé Laplaceove obrazy budeme označovať $L_0, L_1, L_2, \dots, L_n$. Potom i -tá úroveň Laplaceovej pyramídy L_i bude, predstavovať rozdiel medzi Gaussovým obrazom G_i a interpolovaným Gaussovým obrazom G_{i+1} , čo vieme zapísať takto:

$$L_i = G_i - If_2(G_{i+1}) \quad (4.4)$$

kde $If_2(G_{i+1})$ predstavuje operáciu interpolačného filtrovania s faktorom 2. Pri rekonštrukcii vstupného obrazu sa postupuje tak, že najprv sa na základe Laplaceových obrazov vytvorí Gaussova pyramída, ktorej úroveň s najvyšším priestorovým rozlíšením predstavuje výstupný rekonštruovaný obraz. Vo všeobecnosti možno písať:

$$\tilde{G}_i = L_i + If_2(\tilde{G}_{(i+1)}) \quad (4.5)$$

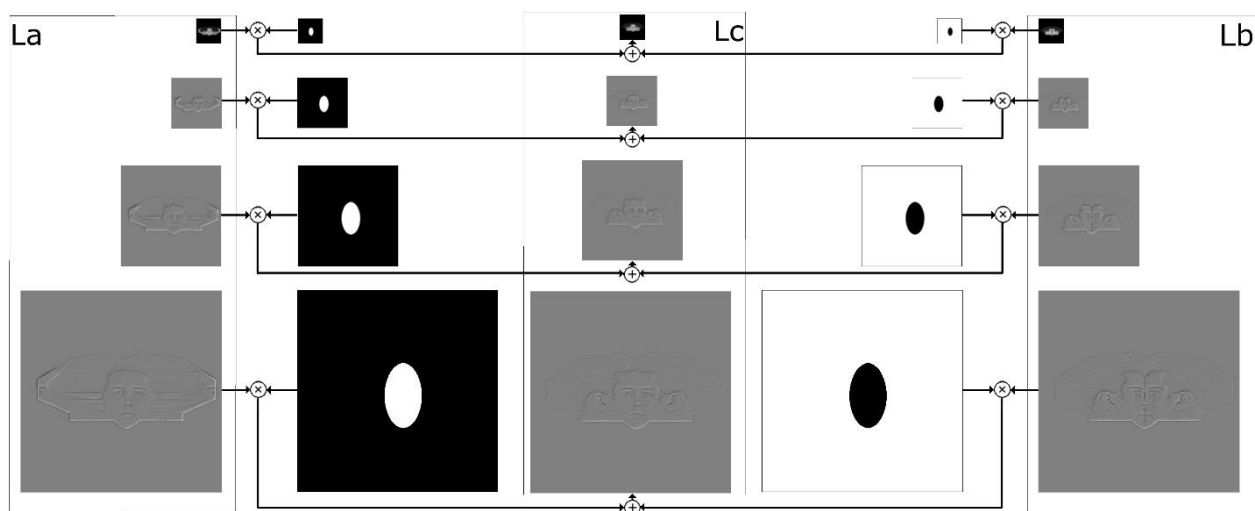
V procese interpolácie zväčšujeme raster vkladáním nulových riadkov a stĺpcov [31, 33], čo vedie k štvornásobnému zníženiu energie interpolovaného obrazu v porovnaní s pôvodným Gaussovým obrazom.

4.3.2. Spájanie obrazu s vyhladením prechodu

Proces vyhladzovania prechodu pozostáva z piatich krokov[34]:

- Rozklad vstupných obrazov do Laplaceovej pyramídy
- Vyhodenie masky
- Rozklad masky do Gaussovej pyramídy
- Zlúčenie obrazov na jednotlivých úrovniach pyramíd
- Spätná rekonštrukcia obrazu z kombinovanej pyramídy

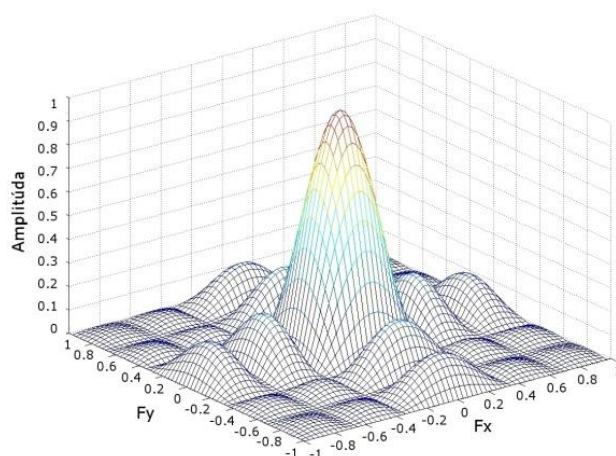
Postup zlúčenia jednotlivých Laplaceových obrazov do kombinovanej pyramídy je ilustrovaný na obr.4.5 a všeobecne popísaný pomocou vzťahu (4.6). Na obr.4.6 je amplitúdová frekvenčná charakteristika použitého filtra, ktorý mal rozmer okna 6x6.



Obr. 4.5 Postup zlúčenia Laplaceových pyramíd

$$Lc_{k;(i,j)} = M_{k;(i,j)} La_{k;(i,j)} + (1 - M_{k;(i,j)})Lb_{k;(i,j)} \quad (4.6)$$

kde Lc predstavuje výslednú kombinovanú Laplaceovu pyramídu, M Gaussovu pyramídu masky a La, Lb sú Laplaceove pyramídy vstupných obrazov. Index k reprezentuje úroveň pyramíd a indexy i, j predstavujú pozíciu obrazového prvku v rastrí daného obrazu.



Obr. 4.6 Amplitúdová frekvenčná charakteristika Gaussovho filtra s rozmerom okna 6x6

Jednotlivé úrovně takto vzniknutej Laplaceovej pyramidy potom môžeme zlúčiť tak ako bolo popísané. Na obr. 4.7 je výsledná vyhladená textúra a na obr.4.8 zasa rozdielový obraz medzi textúrou získanou jednoduchým spojením textúr, ako je ukázané na začiatku tejto kapitoly a textúrou vyhladenou pomocou Laplaceovej pyramidy. Rozdielový obraz je pre zvýraznenie invertovaný.



Obr. 4.7 Výsledná textúra



Obr. 4.8 Rozdielový obraz

5 KÓDOVANIE TEXTÚR 3R MODELU ĽUDSKEJ HLAVY

Kódovanie v procese kompresie údajov nepredstavuje iba nahrádzanie jednej postupnosti symbolov inou. Proces kódovania treba chápať ako postupnosť krokov, ktoré v konečnom dôsledku vedú ku kompresii údajov. Táto kompresia je vykonaná odstránením redundancie a irelevancie vhodnou transformáciou obrazových dát do priestoru spektrálnych, rozkladových alebo predikčných koeficientov. Následne takáto reprezentácia obrazu je kódovaná niektorým z kódov. Kódy môžu byť entropické to znamená, že pri kódovaní sa zohľadňuje aj štatistická závislosť vstupných dát alebo rovnomerné, ktoré nezohľadňujú štatistické vlastnosti kódovaných dát a teda neodstraňujú žiadnu redundanciu. Takéto kódovanie je potom bezstratové. Pri stratovom kódovaní sa do procesu zavádza aj kvantizátor, ktorý vnáša kvantizačný šum do kódovaného obrazu a teda po dekódovaní už nezískame rovnaký obraz ako bol na vstupe. V nasledujúcich podkapitolách popíšeme bezstratové kódovanie na základe diskretnej waveletovej transformácie a stavového binárneho aritmetického kódu.

5.1. Diskrétna waveletová transformácia

Tak, ako pri iných transformáciách ako je napríklad DCT, [33, 35], aj pri diskretnej waveletovej transformácii (DWT) je cieľom rozložiť vstupný signál na jeho reprezentáciu v transformovanom priestore. Potom tento signál bude reprezentovaný pomocou rozkladových koeficientov im prislúchajúcich báзовých funkcií. Takto vyjadrený signál v DWT [36, 37] priestore je možno zapísať takto:

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \varphi_{j,k}(t) + \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(t) \quad (5.1)$$

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \varphi(2^j t - k) \quad (5.2)$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \quad (5.3)$$

kde $\varphi(t)$ bude predstavovať materskú mierkovú funkciu a $\varphi_{j,k}(t)$ bude táto funkcia po šírkovvej a výškovej dilatácii a $\psi(t)$ bude materský wavelet. Analogicky $\psi_{j,k}(t)$ bude táto funkcia po šírkovvej a výškovej dilatácii. Funkcie $\varphi_{j,k}(t)$ subpriestoru V_j a $\psi_{j,k}(t)$ a subpriestoru W_j je možné vyjadriť pomocou subpriestoru V_{j+1} . Potom tieto funkcie budú mať tvar:

$$\varphi_{j,k} = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n - 2k) \varphi_{j+1,n}(t) \quad (5.4)$$

$$\psi_{j,k} = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n - 2k) \psi_{j+1,n}(t) \quad (5.5)$$

Koeficienty $d_j(k)$ a $c_j(k)$, za predpokladu, že $f(t)$ je zo subpriestoru V_{j+1} vypočítame ako skalárny súčin pomocou vzťahu (5.6) a (5.7):

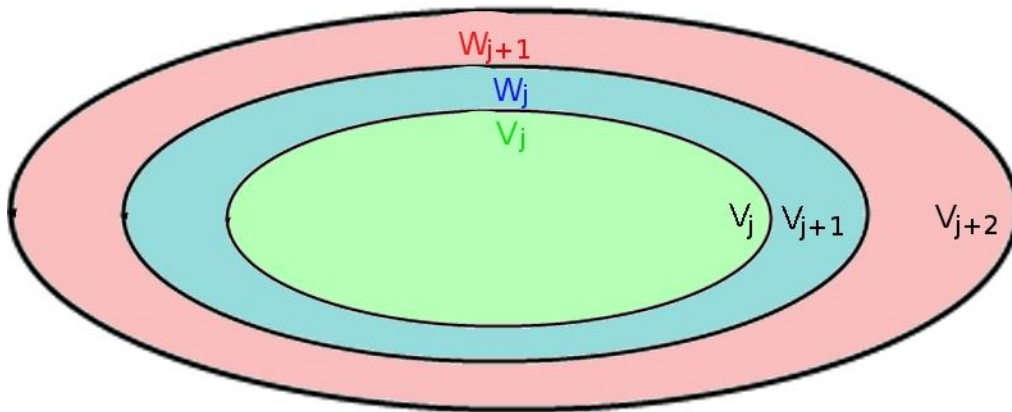
$$c_j(k) = \langle f(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n-2k) \langle f(t), \varphi_{j+1,n}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n-2k) c_{j+1}(n) = \sqrt{2} \tilde{g}_0(-n) * c_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (5.6)$$

$$d_j(k) = \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n-2k) \langle f(t), \psi_{j+1,n}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n-2k) d_{j+1}(n) = \sqrt{2} \tilde{g}_1(-n) * d_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (5.7)$$

kde zátvorka $\langle \rangle$ reprezentuje skalárny súčin, operácia $*$ predstavuje konvolúciu a $x(n)|_2$ operáciu decimácie s faktorom 2. Potom po substitúcii $\sqrt{2} \tilde{g}_0(-n) = g_0(n)$ a $\sqrt{2} \tilde{g}_1(-n) = g_1(n)$ vzťahy (5.6) a (5.7) budú mať tvar:

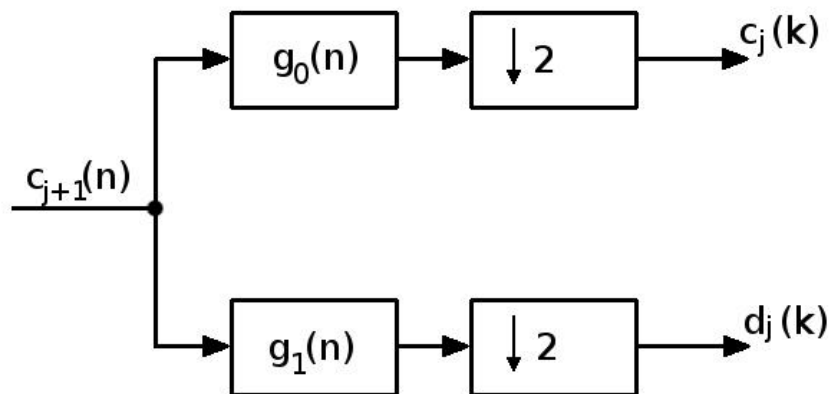
$$c_j(k) = g_0(n) * c_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (5.8)$$

$$d_j(k) = g_1(n) * d_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (5.9)$$



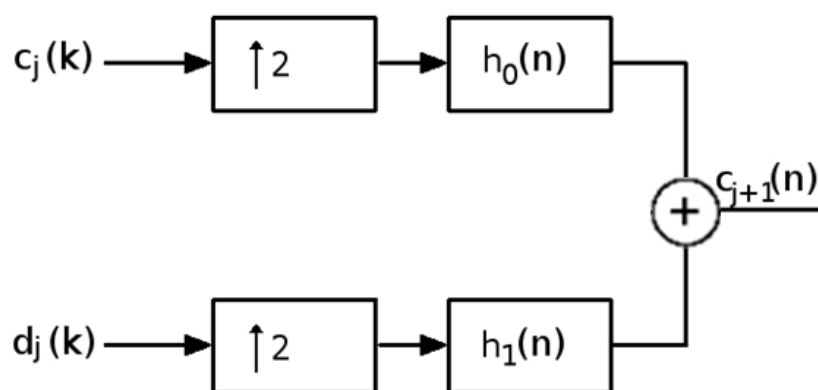
Obr.5.1 Reprezentácia priestoru pomocou subpriestorov

Ako bolo uvedené vyššie, subpriestor V_j a subpriestor W_j sú súčasťou subpriestoru V_{j+1} . Z obr.5.1 je zrejmé, že ak vezmeme iba najvnútornejšiu (zelenú) časť subpriestoru V_{j+1} získame subpriestor V_j , ktorý obsahuje koeficienty $c_j(k)$. Toto je možné realizovať dolnopriepustným filtrom s impulznou charakteristikou $g_0(n)$ aplikovaným na koeficienty priestoru V_{j+1} [30]. Analogicky, zvyšok priestoru (modrá) reprezentovaný subpriestorom W_j je možné získať hornopriepustným filtrom s impulznou charakteristikou $g_1(n)$ aplikovaným na koeficienty priestoru V_{j+1} . Bloková schéma jedného rozkladového stupňa je na obr.5.2.



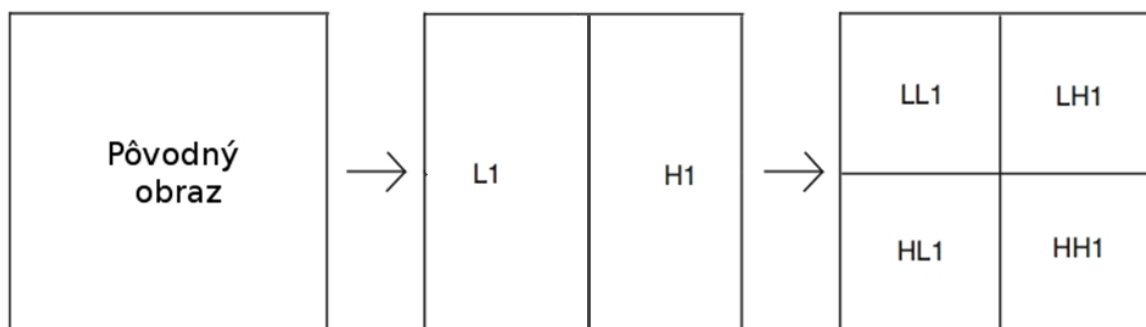
Obr.5.2 Rozkladový stupeň, stupeň analýzy DWT

Zapojením n takýchto stupňov do kaskády je možné získať jedno rozmernú DWT (1RDWT) n -tého stupňa. Je zrejmé, že rozkladať sa bude vždy aproximačná časť tvorená koeficientmi $c_j(k)$ a výstupné postupnosti $c_j(k)$ a $d_j(k)$ budú mať polovičné priestorové rozlíšenie oproti postupnosti $c_{j+1}(n)$. Bloková schéma stupňa syntézy je na obr.5.3

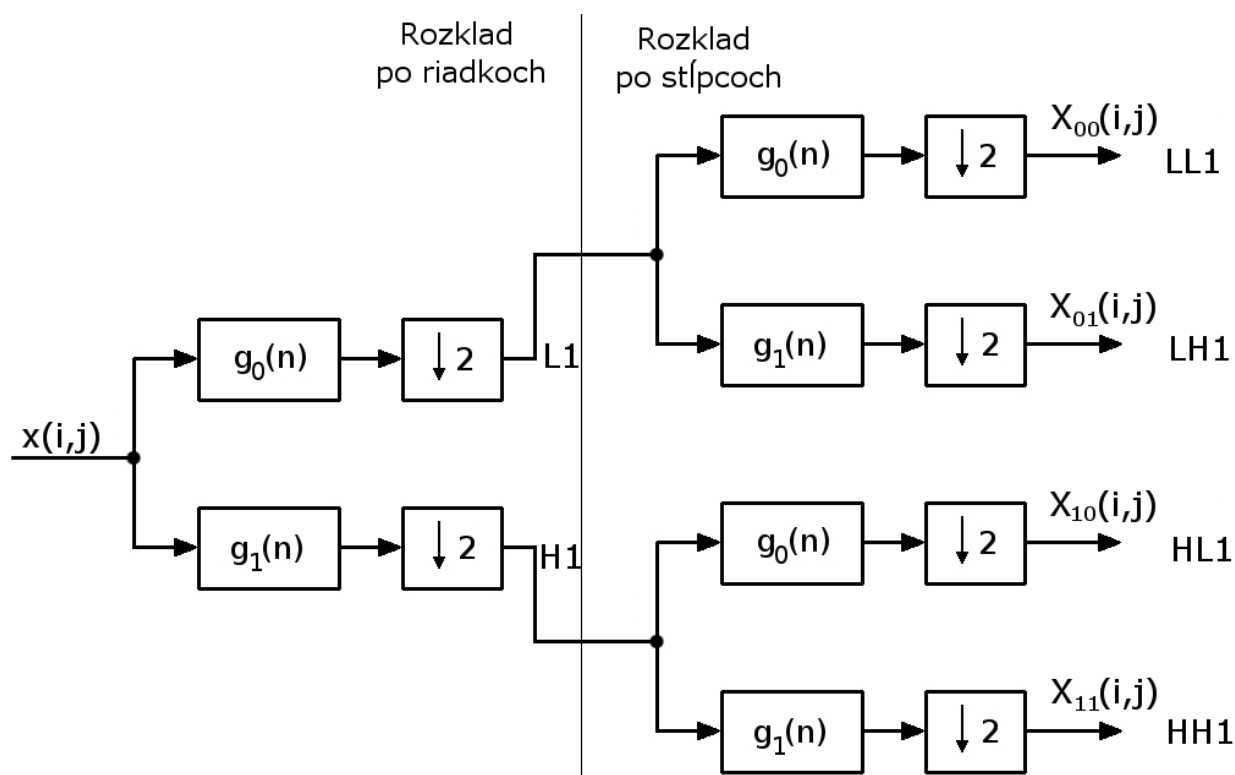


Obr.5.3 Stupeň syntézy DWT

Z obr.5.3 vyplýva, že vstupné rozkladové koeficienty sú interpolované faktorom 2. Postupnosti, ktoré takto vzniknú sú filtrované a zlúčené do postupnosti $c_{j+1}(n)$. Aplikovaním 1RDWT najprv na stĺpce pôvodného obrazu a potom na riadky [29, 38] už subobrazov získame 2RDWT. Toto je znázornené na obr.5.4 a bloková schéma jedného stupňa analýzy je na obr.5.5



Obr.5.4 Rozklad obrazu na jeho subobpásma v priestore 2RDWT



Obr.5.5 Bloková schéma jedného stupňa analýzy 2RDWT

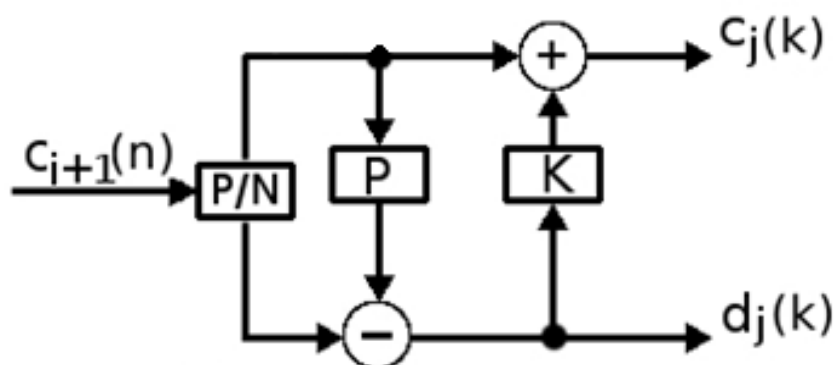
5.1.1. Celočíselná diskretná waveletová transformácia

Nevýhodou DWT popísanej vyššie je to, že rozkladové koeficienty sú reálne čísla. V spracovaní diskretného signálu je výhodnejšie použiť celé čísla. Pri výpočte rozkladových koeficientov je použitá operácia konvolúcie vstupného diskretného signálu a impulznej charakteristiky použitých filtrov. Z toho pramení predĺženie výstupnej postupnosti, čo je nutné pri ďalšom spracovaní ošetriť. Takáto implementácia je taktiež časovo i výpočtovo náročná. Tieto nedostatky DWT rieši lifting metóda [39].

5.1.2. Lifting metóda DWT

Táto metóda je taktiež označovaná ako rýchla DWT [30, 39]. Pri tejto metóde nedochádza k predlžovaniu postupnosti, preto je možné vstupný signál nahradiť priamo jeho DWT reprezentáciou. Spätnú transformáciu je možné získať priamo z priamej, zmenou poradia operácii a zmenou znamienok. Má jednoduchú implementáciu a možno ju využiť pri bezstratovej kompresii. Touto metódou je možné získať DWT s akýmkoľvek waveletom.

Predpokladajme biortogonálnu banku filtrov (BF) [40-42] BF(5,3), ktorej impulzné charakteristiky filtrov, majú nepárnu dĺžku a líšia sa o 2 [27]. Jeden rozkladový stupeň 1RDWT s takouto bankou filtrov potom možno nahradiť jej lifting implementáciou na obr.5.6.



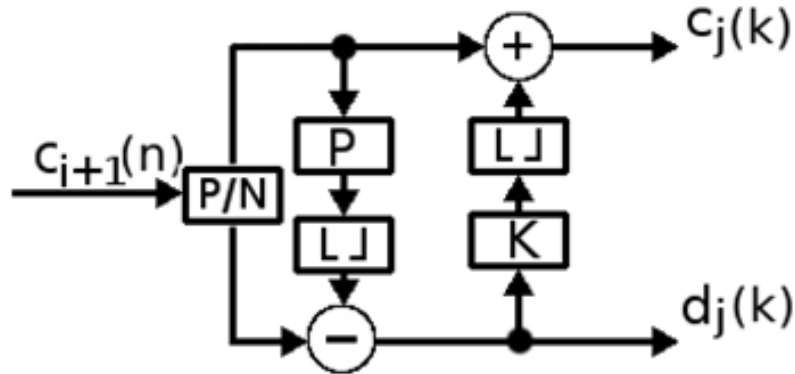
Obr.5.6 Rozkladový stupeň LIDWT

Predpokladajme vstupnú postupnosť $c_{j+1}(n)$. Táto postupnosť sa rozdelí do dvoch vetiev. Spodná vetva obsahuje nepárne vzorky $b_{j+1}(k)$ a horná párne vzorky $a_{j+1}(k)$ vstupnej postupnosti. Podstatou tejto metódy je to, že na základe postupnosti párnych vzoriek sa prediktorom P predikujú nepárne vzorky. V odčítačke sa odčíta predikovaná hodnota od skutočnej a výsledná chybová postupnosť bude predstavovať detailové rozkladové koeficienty $d_j(k)$. K párnym vzorkám sa potom pripočíta hodnota z výstupu korektora K . Táto korekcia sa robí preto, aby výstupná postupnosť aproximácie $c_j(k)$, čo najlepšie odzrkadľovala vlastnosti postupnosti $c_{j+1}(n)$. Vlastnosti použitého prediktora a korektora vo všeobecnosti závisia od lifting implementácie (LI) banky filtrov. Výstup tohto rozkladového stupňa pre BF(5,3) je možné zapísať pomocou vzťahov (5.10) a (5.11)

$$d_j(k) = b_{j+1}(k) - \frac{1}{2} [a_{j+1}(k) + a_{j+1}(k+1)] \quad (5.10)$$

$$c_j(k) = a_{j+1}(k) + \frac{1}{4} [d_j(k-1) + d_j(k)] \quad (5.11)$$

Je zrejmé, že takáto implementácia stále neposkytuje celočíselný výstup. Modifikáciou zapojenia z obr.5.6 je možné získať na jeho výstupe celé čísla tak, že výstupy korektora i prediktora budú zaokrúhlené. Modifikovaná bloková schéma reprezentujúca celočíselnú LIDWT (LICDWT), je na obr.5.7.



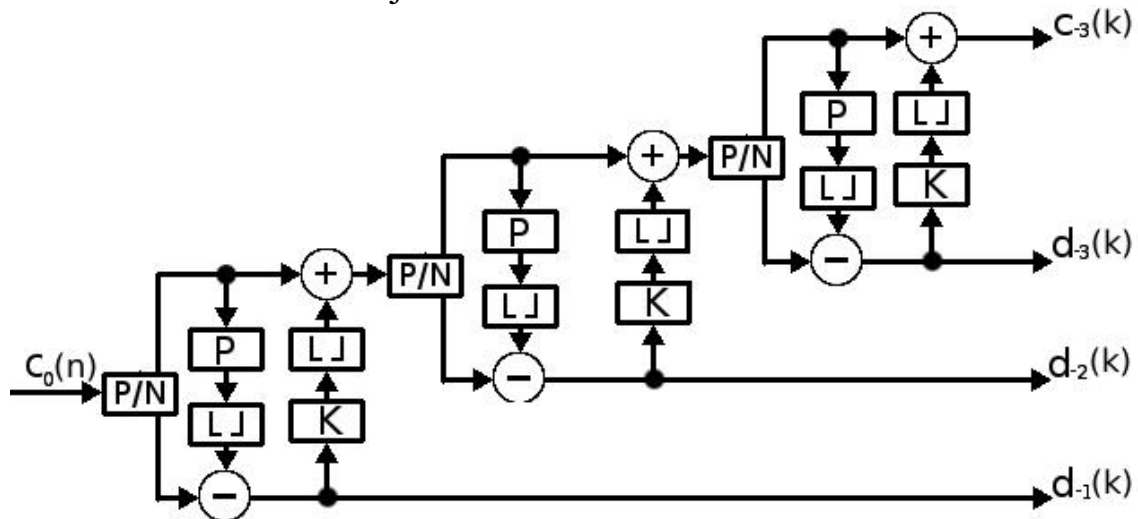
Obr.5.7 Rozkladový stupeň LICDWT

Vzťahy (5.10) a (5.11) potom budú mať tvar:

$$d_j(k) = b_{j+1}(k) - \left\lfloor \frac{1}{2} [a_{j+1}(k) + a_{j+1}(k+1)] \right\rfloor \quad (5.12)$$

$$c_j(k) = a_{j+1}(k) + \left\lfloor \frac{1}{4} [d_j(k-1) + d_j(k)] \right\rfloor \quad (5.13)$$

Zapojenie tohto stupňa do kaskády trikrát potom bude predstavovať LICDWT rozklad na tri úrovne. Toto je ilustrované na obr.5.8



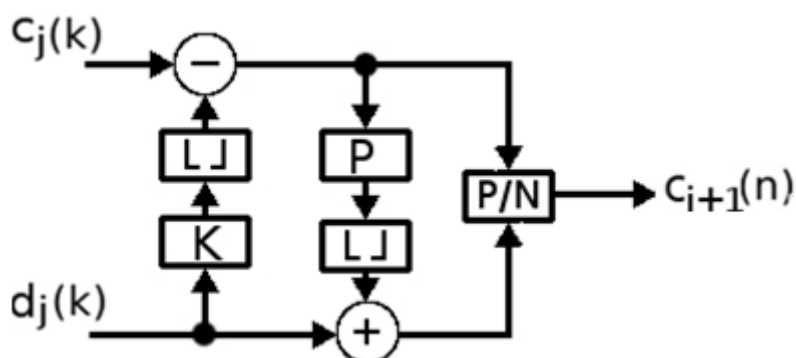
Obr.5.8 Kaskádové zapojenie stupňa LICDWT

Aplikáciou rozkladu na riadky a stĺpce obrazu, tak ako bolo popísané v predchádzajúcej podkapitole získame obraz dekomponovaný do troch úrovní, ilustrovaný na obr.5.9.



Obr.5.9 Vyhladená textúra rozložená pomocou LICDWT na 3 úrovne

Na Obr.5.10 je bloková schéma jedného stupňa spätnej LICDWT.



Obr.5.10 Stupeň spätnej LICDWT

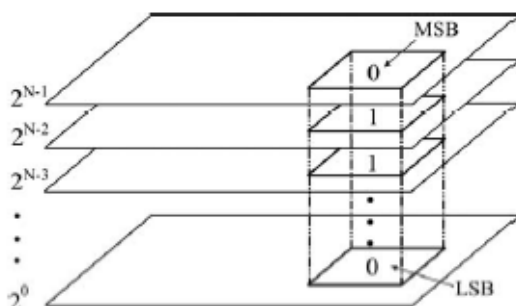
Z obr.5.10 je vidieť, že implementácia spätnej transformácie 1RLICDWT, teda rekonštrukcie pôvodného signálu sa od priamej líši iba zámenou operácie sčítania a odčítania a zmenou poradia korekcie a predikcie. Ako je zrejmé, výstup korektora a prediktora je opäť zaokrúhlený, a teda na ich výstupe sú v tie isté hodnoty ako v stupni analýzy. Z toho vyplýva, že výsledná postupnosť c_{j+1} bude rovnaká ako bol pôvodný signál, a teda môžeme konštatovať, že rozklad je bezstratový.

5.2. Rozklad obrazu na bitové roviny

Vo všeobecnosti, každý viacúrovňový obraz je [43, 44] vyjadrený pomocou číselných op s N bitmi. Každý op je možné vyjadriť nasledovne:

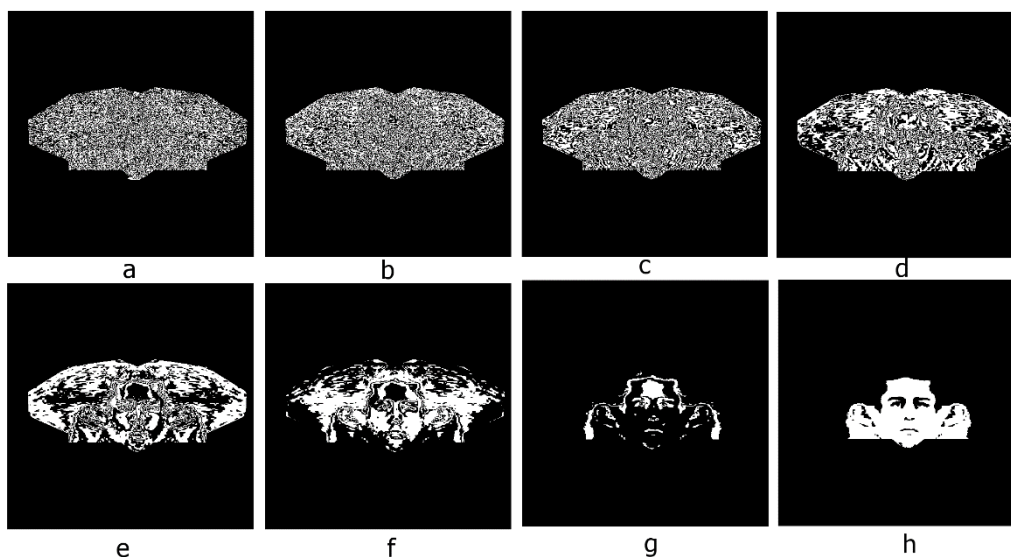
$$op = p_0 2^0 + p_1 2^1 + p_2 2^2 + \dots + p_{N-1} 2^{N-1} \quad (5.14)$$

Kde p_i sú jednotlivé bity zodpovedajúce príslušným váham 2^i pre $i = 0, 1, \dots, N-1$. Pre získanie 0-tej bitovej roviny (BR_0) z takto popísaných op celého viacúrovňového obrazu, vyberieme iba bity p_0 . Pre získanie ostatných bitových rovín je postup analogický. Názorné získanie bitovej roviny určitej váhy je znázornené na obr.5.11, kde MSB je bit s najväčšou váhou a LSB je bit s najnižšou váhou kódového slova op. Výsledkom takéhoto rozkladu je N binárnych obrazov.



Obr.5.11 Reprezentácia obrazu pomocou bitových rovín

Tento postup rozkladu platí pre obrazy, ktorých hodnoty op sú kladné čísla. Na obr.5.12 je zobrazená textúra ľudskej hlavy rozložená do ôsmich bitových rovín. Kde obr.5.12.a zobrazuje BR_0 obr.5.12.b BR_1 ... a obr.5.12.h BR_7 .



Obr.5.12 Vyhladená textúra rozložená na BR_0 až BR_7

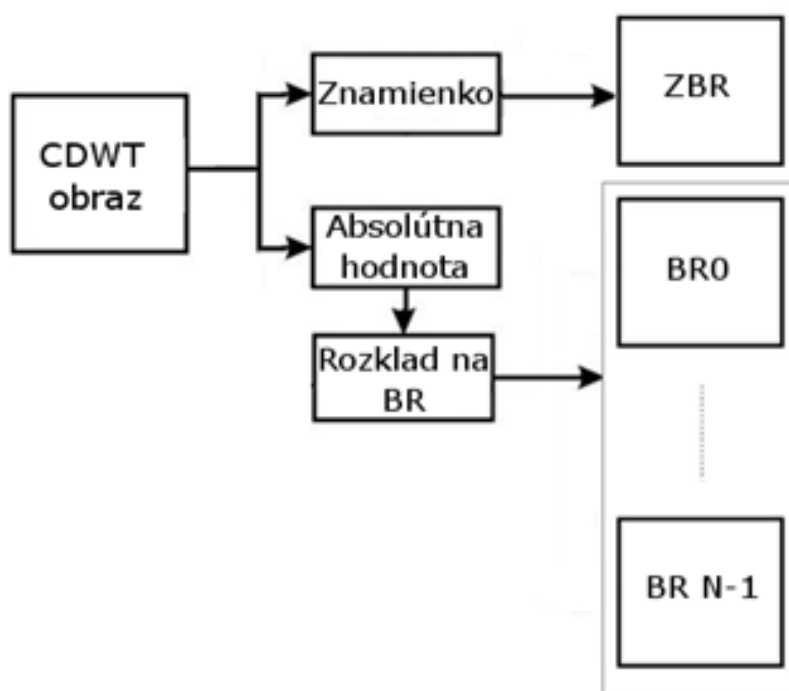
V prípade obrazu transformovaného niektorou transformáciou už nie je možné hovoriť o obrazových prvkoch. Takýto obraz potom pozostáva zo spektrálnych alebo rozkladových koeficientov. Z teórie je zrejmé, že spektrálne koeficienty nemusia byť kladné čísla. Riešenie problému záporných hodnôt spektrálnych koeficientov popíšeme v nasledujúcej podkapitole.

5.2.1. Rozklad obrazu na BR v priestore CDWT

Ako už bolo v predchádzajúcej časti práce ukázané, pri transformácii obrazu do jeho spektrálnej oblasti vznikajú aj spektrálne koeficienty so zápornou hodnotou. Preto je nutné algoritmus rozkladu na BR doplniť o riešenie tohto problému. Problém záporných spektrálnych koeficientov môže byť vyriešený dvojakým spôsobom.

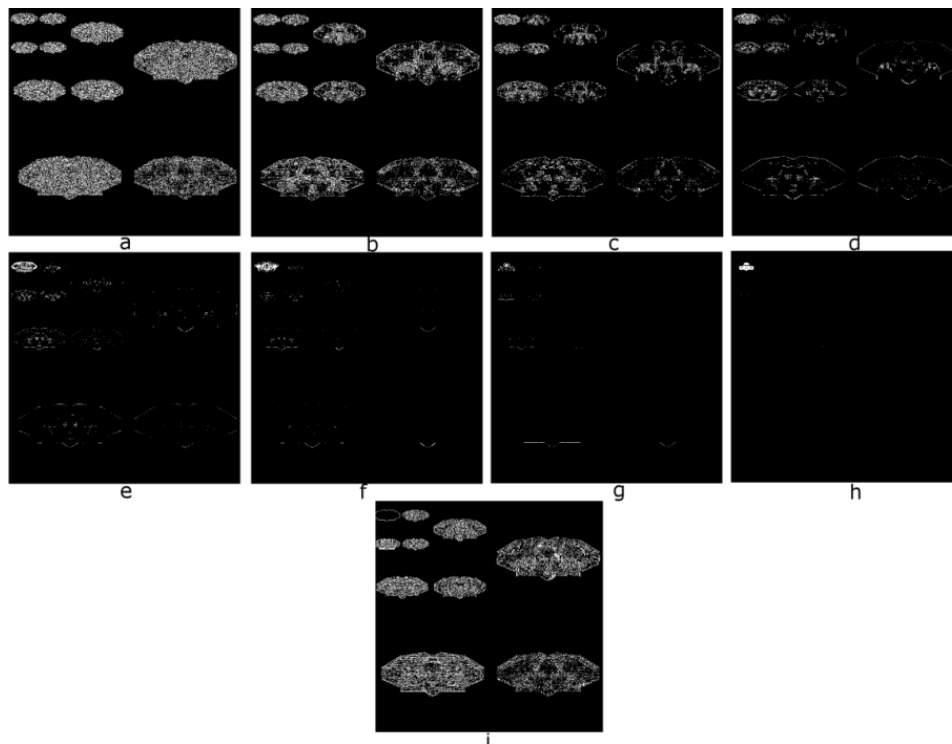
5.2.1.1. Rozklad obrazu na absolútne bitové roviny (ABR)

Pri tomto spôsobe sa vytvorí bitová rovina ktorá bude hovoriť iba o tom či na súradnici daného spektrálneho koeficientu bola jeho hodnota kladná alebo záporná. Takáto rovina bude mať názov „znamienková“ (BR_z). Potom ak máme vytvorenú túto rovinu, je možné vytvoriť absolútnu hodnotu všetkých spektrálnych koeficientov a tieto rozložiť tak ako bolo popísané vyššie. Tento postup je znázornený blokovou schémou na obr.5.13.



Obr.5.13 Bloková schéma rozkladu na ABR

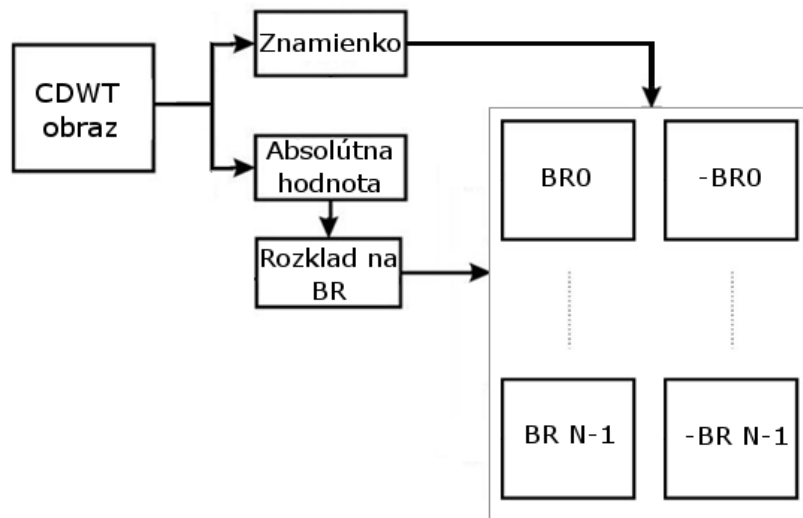
Na obr.5.14 je zobrazená textúra ľudskej hlavy, transformovaná pomocou celočíselnej diskkrétnej waveletovej transformácie, rozložená na ABR. Kde obr.5.14.a zobrazuje BR_0 , obr.5.14.b BR_1 , ... a obr.5.14.i BR_z .



Obr.5.14 CDWT reprezentácia vyhladenej textúry rozložená na BR_0 až BR_z

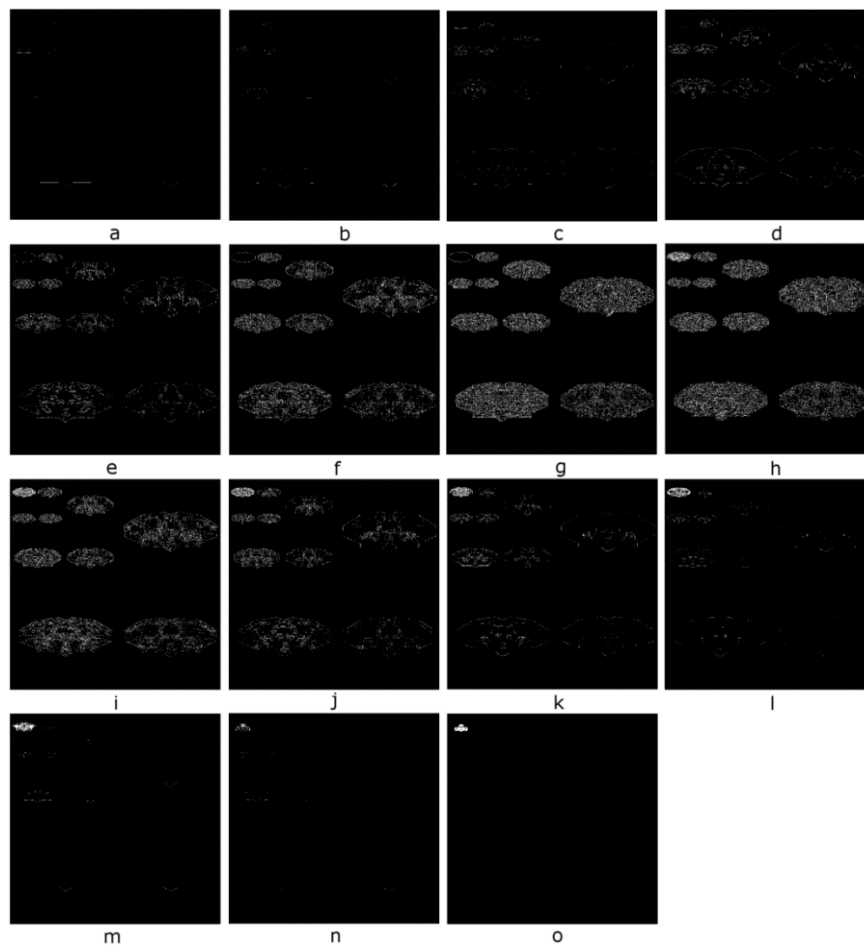
5.2.1.2. Rozklad obrazu na reálne bitové roviny (RBR)

Pri tomto spôsobe taktiež ako v predošlom prípade budeme zohľadňovať znamienko daného spektrálneho koeficientu ale nebudeme vytvárať špeciálnu rovinu. Rozklad prebieha tak, ako v predošlom prípade. Rozklad sa aplikuje na absolútne hodnoty spektrálnych koeficientov vstupného transformovaného obrazu. A znamienko na súradniciach daného spektrálneho koeficientu určí či sa vytvorí kladná alebo záporná bitová rovina. Bloková schéma rozkladu je znázornená na obr.5.15.



Obr.5.15 Bloková schéma rozkladu na RBR

Na obr.5.16 je zobrazená textúra ľudskej hlavy, transformovaná pomocou celočíselnej diskretnéj waveletovej transformácie, rozložená na RBR. Kde obr.5.16.a zobrazuje BR_{-6} , obr.5.16.b BR_{-5} , ... obr.5.16.g BR_{-0} obr.5.16.h BR_{+0} , a obr.5.16.o BR_7 .



Obr.5.16 CDWT reprezentácia vyhladenej textúry rozložená na BR_{-6} až BR_7

5.3. Stavové binárne aritmetické kódovanie textúr (SBAK)

Konvenčne používané zdrojové kódy, ako sú napríklad Huffmanov a Shannon-Fanov kód, síce výrazne redukujú redundanciu ale stále sú odkázané na celočíselný kód každého symbolu zdrojovej abecedy. Teda, ak na kódovanie znaku postačuje 3,1 bitu, tak je nutné tento znak kódovať kódovým slovom dĺžky 4 bity. Tieto nedostatky odstraňuje aritmetické kódovanie [44-47].

5.3.1. Aproximácia pravdepodobnosti obrazových prvkov

Pravdepodobnosť budeme aproximovať hodnotou 2^{-Q} . Čo znamená nájdenie takej lineárnej lomenej funkcie $L(p)$ s definičným oborom $Df(L(p))$, ktorá bude, čo najlepšie aproximovať funkciu entropie $H(p)$ tak, aby každá hodnota 2^{-Q} ležala v inom intervale danom lineárnou časťou funkcie $L(p)$. Funkciu $L(p)$ je možné zapísať takto:

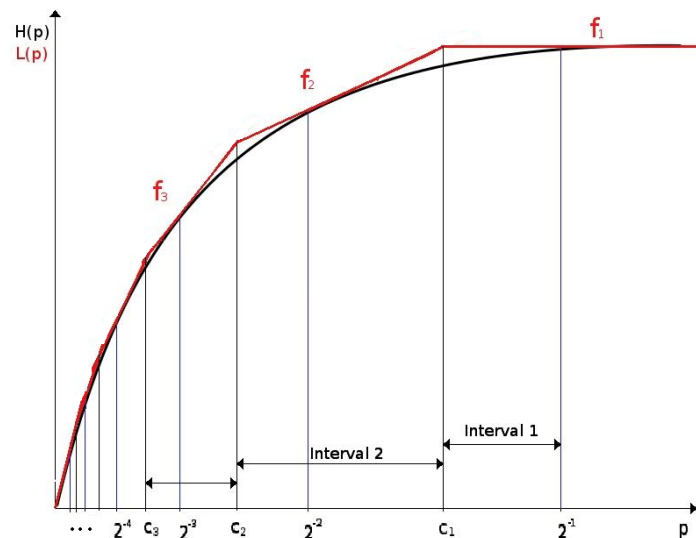
$$L(p) = \begin{cases} f_1(p), & p \in (c_1, \infty > \\ f_2(p), & p \in (c_2, c_1 > \\ f_3(p), & p \in (c_3, c_2 > \\ \vdots & \\ f_k(p), & p \in (0, c_k > \end{cases} \quad (5.15)$$

Pre definičný obor funkcie $L(p)$ môžeme potom písať:

$$Df(L(p)) = \bigcup_{i=1}^k Df(f_i(p)) ; p \in (c_{i+1}, c_i > \quad (5.16)$$

kde f sú lineárne funkcie a operátor U je zjednotenie ich definičných oborov. Konštanta k je počet subintervalov. Lineárne časti funkcie $L(p)$ sú dané priesečníkmi, funkcií $f(p)$, tak ako je zobrazené na obr.5.17. Toto sa dá zapísať takto:

$$f_{i+1}(c_{i+1}) = \lim_{p \rightarrow c_i} f_i(p) => c_i$$

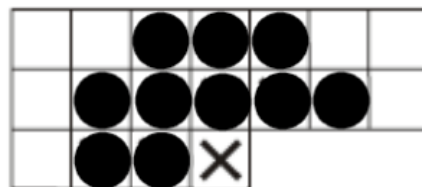


Obr.5.17 Aproximácia entropie $H(p)$ funkciou $L(P)$

Z obr.5.17 je zrejmé, že napríklad hodnota 2^{-2} bude spadať do intervalu $(c_2, c_1>$, 2^{-3} bude z intervalu $(c_3, c_2> \dots$.

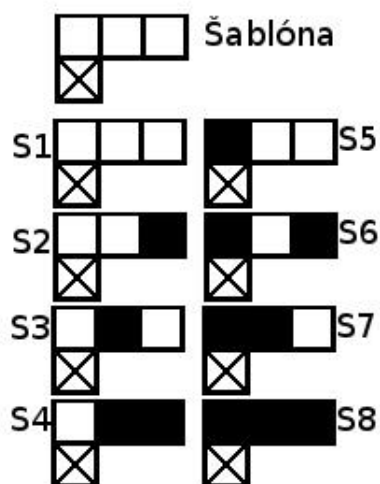
5.3.2. Zostavenie modelu obrazu

Aritmetický kód pracuje tak, že tok vstupných symbolov nahrádza desatinným číslom z intervalu $(0,1)$. V aritmetickom kódovacom systéme kodér i dekodér má okrem vstupnej postupnosti symbolov aj model obrazu, ktorý poskytuje informáciu o pravdepodobnosti [44]. Pre binárne obrazy je model popísaný šablónou, ktorá určuje rozloženie jednotlivých bodov obrazu voči aktuálnemu bodu. Na obr.5.18 je príklad 10 bodovej šablóny pre JBIG algoritmus. Aktuálny bod je označený krížikom, body šablóny sú označené čiernym bodom a ostatné body sa nezohľadňujú.



Obr.5.18 10 bodová šablóna pre JBIG algoritmus

Model binárneho obrazu získame tak, že vytvoríme všetky kombinácie stavov „1“ a „0“ aké môže šablóna v obraze nadobudnúť. Toto je ilustrované na obr.5.19. Hodnota „1“ bude predstavovať bielu a „0“ čiernu farbu.



Obr.5.19 Grafické znázornenie stavov šablóny

Jednotlivé stavy modelu sú potom vyjadrené číselne pomocou vzťahu 5.17

$$S_i = \sum_{n=1}^k c_n 2^{n-1} \quad (5.17)$$

kde i je index stavu, k je počet bodov šablóny a c_n predstavuje binárny stav bodu šablóny. Potom napríklad pre stav S_6 môžeme potom vzťah prepísať takto

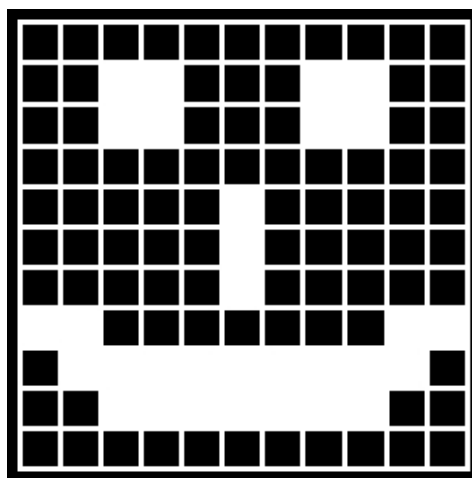
$$S_6 = \sum_{n=1}^3 c_n 2^{n-1} = 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 = 2 \quad (5.18)$$

Ak máme takto definovaný model, je možné určiť aké stavy, koľkokrát sa v kódovanom binárnom obraze vyskytli a či na poslednom bode šablóny bola „1“ alebo „0“. Z takejto analýzy je potom možné určiť podmienenú pravdepodobnosť daného stavu od aktuálnej hodnoty op podľa vzťahu (5.19)

$$p(c = v | S_k) = p(S_{v,k}) = \frac{n_{v,k}}{n_k} \quad (5.19)$$

kde $v = \{0,1\}$ je hodnota aktuálneho prvku, S_k je aktuálny stav, $S_{v,k}$ potom bude predstavovať hodnotu stavu vzhľadom na hodnotu aktuálneho prvku k a n_k je celkový počet výskytov stavu S_k . Je zrejmé, že hodnota člena n_k vzťahu (5.19) môže nadobúdať aj nulovú hodnotu, preto v prípade ak $n_k=0$ definujeme $p(S_{v,k})=0$. V prípade hraničných prvkov rastra obrazu, časť šablóny leží mimo

rastra [48]. V takomto prípade tieto prvky šablóny budeme považovať za nulové. Majme pokusný binárny obraz ako je na obr.5.20.



Obr.5.20 Príklad binárneho obrazu

V tab.5.1 je zobrazená analýza stavov pokusného obrazu na obr.5.20 pomocou modelu na obr.5.19, predpokladajme, že pre Q platí $0 \leq Q \leq 15$.

Tab. 5.1 Štatistická analýza stavov

Stav		Výskyt		Podmienená pravdepodobnosť		v	Q
		Čierna	Biela	Čierna	Biela		
S_1	71	57	14	0.80	0.20	1	2
S_2	9	8	1	0.89	0.11	1	3
S_3	3	3	0	1.00	0.00	1	15
S_4	7	6	1	0.86	0.14	1	3
S_5	11	6	5	0.55	0.45	1	1
S_6	0	0	0	0	0	1	15
S_7	8	4	4	0.50	0.50	1	1
S_8	12	6	6	0.50	0.50	1	1

Do kodéra potom budú vstupovať dvojice $[v,Q]$, ktoré budú predstavovať výsledný model obrazu.

5.3.3. Kódovanie

V predchádzajúcej časti sme ukázali štatistiku analýzy kódovaného obrazu. Výsledný aritmetický kód [44] postupnosti op sa zostavuje rekurzívne pre každý op pomocou vzťahov (5.20 – 5.23)

$$A(sk) = A(s)2^{-Q} \quad (5.20)$$

$$A(sm) = \lfloor A(s) - A(sk) \rfloor \quad (5.21)$$

$$C(sm) = C(s) \quad (5.22)$$

$$C(sk) = C(s) + A(sm) \quad (5.23)$$

Operácia 2^{-Q} predstavuje posunutie o Q bitov v pravo a zároveň predstavuje aproximáciu pravdepodobnosti nepravdepodobnejšieho op. $A(s)$ predstavuje veľkosť subintervalu pravdepodobnosti, $A(sm)$ je potom veľkosť tohto subintervalu pre pravdepodobnejší op a $A(sk)$ pre nepravdepodobnejší op. Operácia $\lfloor a \rfloor$ symbolizuje operáciu orezania najmenej významových bitov. $C(s)$ bude predstavovať dolnú hranicu subintervalu pravdepodobnosti. $C(sm)$ a $C(sk)$ budú dolné hranice subintervalu pravdepodobnosti pre viac a menej pravdepodobné op. Postupným kódovaním sa získavajú hodnoty $A(s)$ a $C(s)$ a výsledný kód potom bude binárna premenná z intervalu $[C(s), C(s) + A(s))$

5.3.4. Dekódovanie

Dekódovanie bude taktiež pozostávať z rekurzívneho využitia vzťahov (5.24–5.27)

$$A(sk) = A(s)2^{-Q} \quad (5.24)$$

$$A(sm) = \lfloor A(s) - A(sk) \rfloor \quad (5.25)$$

$$C(s) < A(sm) \Rightarrow y = k; C(sy) = C(s) \quad (5.26)$$

$$C(s) \geq A(sm) \Rightarrow y = m; C(sy) = C(s) - A(sm) \quad (5.27)$$

V prípade platnosti nerovnice (5.27) bude dekodovaný viac pravdepodobný op, v opačnom prípade bude platiť nerovnica (5.26) a bude sa dekodovať menej pravdepodobný op. Premenná $C(sy)$ bude použitá v ďalšej iterácii ako $C(s)$. Dekódovanie sa ukončí po dekodovaní posledného symbolu [29].

5.4. Vyhodnotenie účinnosti kódovania

Na výslednú vyhladenú textúru s bitovou hĺbkou 8b a rastrom 512x512 op sme v obrazovom priestore aplikovali rozklad na bitové roviny a následne sme tieto roviny zakódovali pomocou SBAK. V tab.5.2 sú uvedené stredné dĺžky kódových slov (KS) pre každú rovinu.

Tab. 5.2 Stredná dĺžka kódových slov po aplikácii SBAK na BR textúry

Celková dĺžka obrazu			Stredná dĺžka KS	
BR	BIN	SBAK	BIN	SBAK
8	262144	3030	1	0.011559
7	262144	5242	1	0.019997
6	262144	19147	1	0.07304
5	262144	28743	1	0.109646
4	262144	42401	1	0.161747
3	262144	55445	1	0.211506
2	262144	60356	1	0.23024
1	262144	61658	1	0.235207
Suma			8	1.05294

Z tab.5.2 je zrejmé, že oproti strednej dĺžke kódového slova 8b je po rozklade a aplikácii SBAK stredná dĺžka kódového slova 1.05294, čo predstavuje kompresiu o 86.84 %. Takisto sme na BR rozložili i LICDWT reprezentáciu vyhladenej textúry a aplikáciou SBAK sme dosiahli výsledky uvedené v tab.5.3 pre rozklad na ABR v tab.5.4 pre rozklad na RBR. V tab.5.5 sú porovnané stredné dĺžky kódových slov a miera kompresie.

Tab. 5.3 Stredná dĺžka kódových slov po aplikácii SBAK na ABR LICDWT reprezentácie textúry

Celková dĺžka obrazu			Stredná dĺžka KS	
BR	BIN	SBAK	BIN	SBAK
z	262144	62611	1	0.238842
8	262144	285	1	0.001087
7	262144	1255	1	0.004787
6	262144	2768	1	0.010559
5	262144	7728	1	0.02948
4	262144	17237	1	0.065754
3	262144	32441	1	0.123753
2	262144	56682	1	0.216225
1	262144	69906	1	0.26667
Suma			9	0.957157

Tab. 5.4 Stredná dĺžka kódových slov po aplikácii SBAK na RBR LICDWT reprezentácie textúry

Celková dĺžka obrazu			Stredná dĺžka KS	
BR	BIN	SBAK	BIN	SBAK
8	262144	285	1	0.001087
7	262144	952	1	0.003632
6	262144	2068	1	0.007889
5	262144	5208	1	0.019867
4	262144	12113	1	0.046207
3	262144	22973	1	0.087635
2	262144	41269	1	0.157429
1	262144	56151	1	0.214199

Celková dĺžka obrazu			Stredná dĺžka KS	
BR	BIN	SBAK	BIN	SBAK
-1	262144	55101	1	0.210194
-2	262144	40996	1	0.156387
-3	262144	21839	1	0.083309
-4	262144	11059	1	0.042187
-5	262144	4615	1	0.017605
-6	262144	1368	1	0.005219
-7	262144	522	1	0.001991
Suma			15	1.054836

Tab. 5.5 Vyhodnotenie účinnosti SBAK vzhľadom na typ rozkladu

Typ rozkladu	Priestor	Počet BR	Stredná dĺžka KS [bit/op]	Redukovaná redundancia [bit/op]	Kompresia [%]
Bez rozkladu	Obrazový	-	8	0	0.000
BR	Obrazový	8	1.05294	6.94706	86.838
RBR	LICDWT	15	1.054836	6.945164	86.815
ABR	LICDWT	9	0.957157	7.042843	88.036

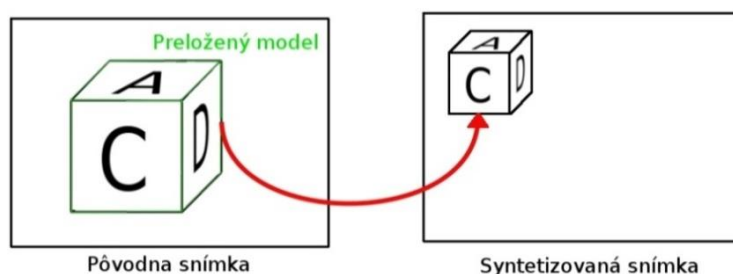
Z tab.5.5 vyplýva, že rozkladom CDWT reprezentácie textúry na RBR je dosiahnutá menšia kompresia ako pri rozklade na ABR alebo BR. Ďalej z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že SBAK dosahuje pomerne vysokú účinnosť vo všetkých prípadoch. Z výsledkov je zrejmé, že v prípade transformácie textúry do CDWT priestoru a aplikáciou SBAK na ABR je dosiahnutá najvyššia miera kompresie. Keďže je táto kompresia výraznejšia iba o 0.0968 bit/op, čo v percentách predstavuje 1,2% zlepšenie oproti SBAK aplikovaného na BR obrazového priestoru. Je nutné zvážiť výhodnosť LICDWT v tejto aplikácii vzhľadom na veľkosť obrazu. Pretože je zrejmé, že pri obrazoch s väčším priestorovým rozlíšením sa zvýšenie kompresie o 1,2% môže javiť, ako výhodnejšie hoci i na úkor zvýšenia náročnosti implementácie systému.

6 ZOBRAZOVANIE TEXTÚR NA 3R MODEL ĽUDSKEJ HLAVY

Ako už bolo v kapitole 3 uvedené, textúrovanie dáva jej tvarovanému modelu konečnú a prirodzenú podobu. V tejto kapitole popíšeme postupy a problémy spojené s prenosom textúry do syntetizovanej snímky.

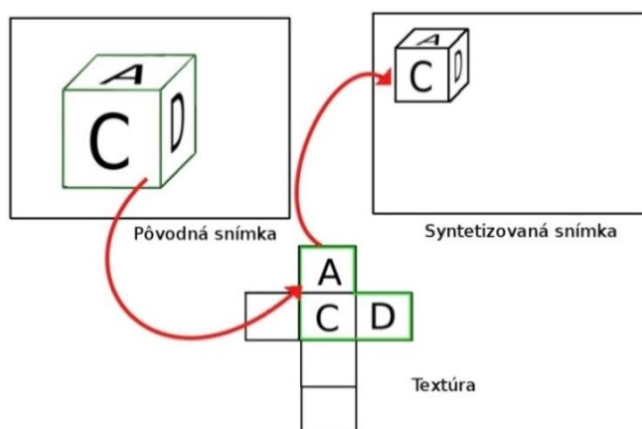
6.1. Rovinné textúrovanie

Pri tomto type textúrovania je model premietnutý do syntetizovanej snímky a textúrovaný priamo v 2R priestore. Preto i názov tohto typu textúrovania je rovinné textúrovanie [49 - 52]. Vo všeobecnosti je rovinné textúrovanie možné vykonať bez toho, aby sme vytvárali textúru. Stačí, ak je na textúrovanie použitá aktuálna snímka. Tak, ako to ilustruje obr.6.1



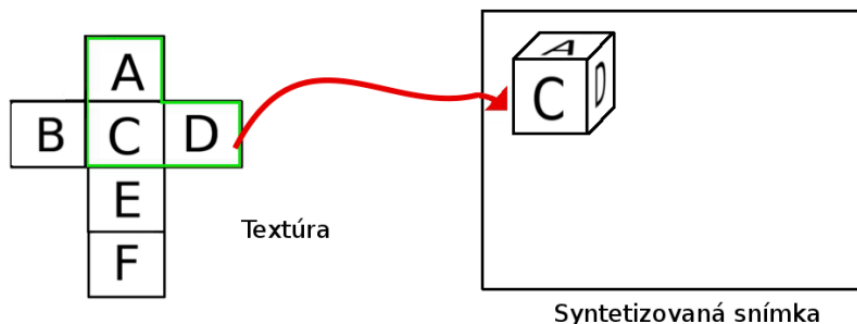
Obr. 6.1 Prenos textúry z aktuálnej snímky do syntetizovanej snímky

Z obr.6.1 je zrejmé, že aktuálna snímka sa preloží rotovaným a posunutým modelom. Potom sa textúry získané pomocou algoritmu riadkového rozkladu a barycentrických súradníc prenesú na syntetizovanú snímku. Tento postup je možné doplniť o tvorbu textúry, ktorá sa bude aktualizovať a až tá sa použije pri syntéze. Toto je ilustrované na obr.6.2



Obr. 6.2 Postupná tvorba textúry a prenos takto vytvorenej textúry do syntetizovanej snímky

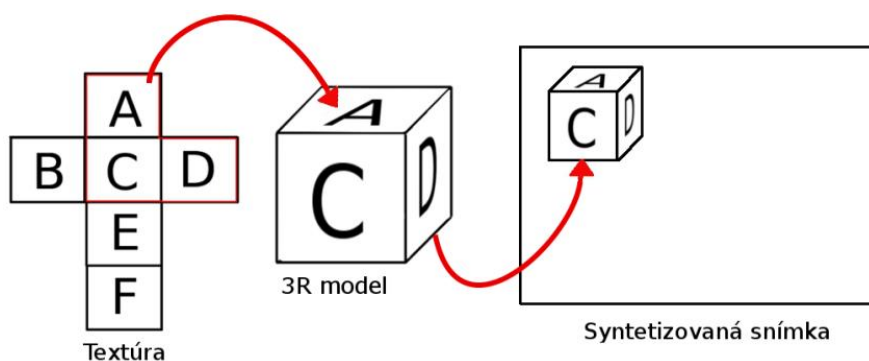
Je zrejmé, že z jednej snímky nie je možné získať informáciu o textúre celého objektu, ale pri pohybe predlohy a pri neustálej aktualizácii sa táto textúra vytvorí. Ďalšou z možností rovinného textúrovania je textúrovať model vopred vytvorenou textúrou, tak ako je ilustrované na obr.6.3



Obr.6.3 Prenos vopred vytvorenej textúry do syntetizovanej snímky

6.2. Priestorové textúrovanie

Ide o také textúrovanie, pri ktorom sa textúry na základe transformovaného modelu prenášajú z 2R textúrovej roviny na model v 3R priestore [5, 6] a ten sa následne premietne do syntetizovanej snímky. Z uvedeného vyplýva, že textúra bude stále tá istá a vygenerovaná na základe princípov popísaných v predošlých kapitolách. Pri prenose textúr bude znova využitý algoritmus riadkového rozkladu, a taktiež sa využijú aj barycentrické súradnice. Priestorové textúrovanie je ilustrované na obr.6.4.



Obr.6.4 Prenos textúry z textúrovej roviny na 3R model a následná projekcia modelu do syntetizovanej snímky

Syntetizovaný model môže byť vplyvom animácie deformovaný a jeho poloha a uhol natočenia v syntetizovanej snímke môžu byť ľubovoľné, pričom textúra bude stále tá istá. Problematikou globálneho pohybu, rotácie

a viditeľnosťou povrchu modelu sa budeme zberať v nasledujúcich podkapitolách

6.3. Globálny pohyb

Pod pojmom globálny pohyb budeme rozumieť takú priestorovú zmenu modelu, ktorá ovplyvní každý jeden polygón modelu. Pod takouto priestorovou zmenou si môžeme predstaviť posun alebo rotáciu modelu v jednom alebo viacerých smeroch súčasne.

6.3.1. Rotácia

Rotácia sa vykoná pre každý vrchol modelu[49, 53, 54]. Rotovaný vrchol modelu je definovaný pomocou rotačnej matice takto:

$$\bar{V}_{rot} = \begin{bmatrix} h_{rot} \\ v_{rot} \\ r_{rot} \end{bmatrix} = \underline{R} \bar{V} = \underline{R} \begin{bmatrix} h \\ v \\ r \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

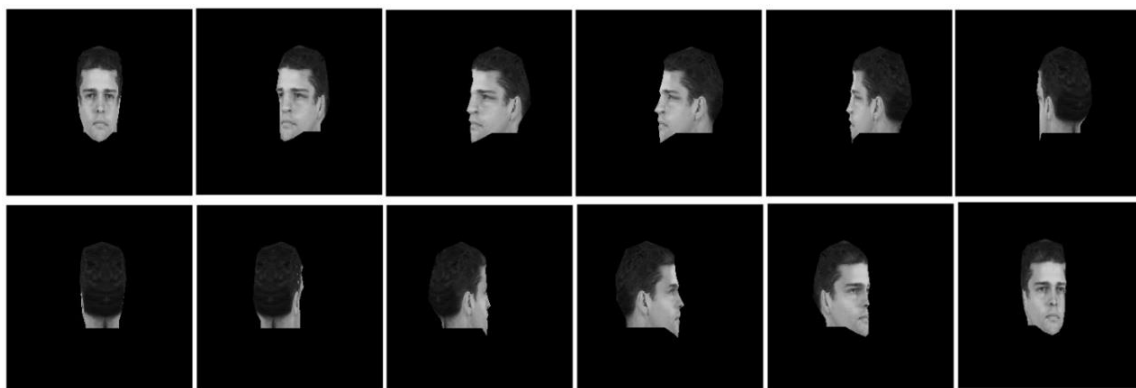
kde R je rotačná matica, definovaná nasledovne:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & -\sin \theta_r & 0 \\ \sin \theta_r & \cos \theta_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_v & 0 & \sin \theta_v \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_v & 0 & \cos \theta_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_h & -\sin \theta_h \\ 0 & \sin \theta_h & \cos \theta_h \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

kde θ je Eulerov rotačný uhol a indexy h, v, r určujú os rotácie. V prípade, že $\theta \ll 1$ je možné maticu R prepísať do nasledovného tvaru:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\theta_r & \theta_v \\ \theta_r & 1 & -\theta_h \\ -\theta_v & \theta_h & 1 \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

Pri takto definovanej rotačnej matici je možné model rotovať iteračným spôsobom. V prípade nedodržania podmienky $\theta \ll 1$, sa každou iteráciou do rotácie vnáša chyba. Príklad rotácie okolo vertikálnej osi je zobrazený pomocou 12 snímok na obr.6.5.



Obr.6.5 Textúrovaný 3R model ľudskej hlavy rotovaný okolo vertikálnej osi

6.3.2. Posunutie

Pod pojmom posunutie budeme rozumieť posun modelu, resp. zmenu jeho polohy. Tak, ako platí pre rotáciu i posunutie sa aplikuje na každý vrchol modelu a je definované pomocou vektora posunutia[49, 51] nasledovne:

$$\bar{V}_{trans} = \begin{bmatrix} h_{trans} \\ v_{trans} \\ r_{trans} \end{bmatrix} = \bar{T} + \bar{V} = \begin{bmatrix} \Delta_h \\ \Delta_v \\ \Delta_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h \\ v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h + \Delta_h \\ v + \Delta_v \\ r + \Delta_r \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

kde vektor \bar{T} pozostávajúci z prvkov Δ_h , Δ_v , Δ_r je vektor posunutia a jeho prvky definujú zmenu danej súradnice.

6.4.Projekcia modelu

V tejto podkapitole popíšeme problematiku zobrazenia modelu vo výslednej syntetizovanej snímke.

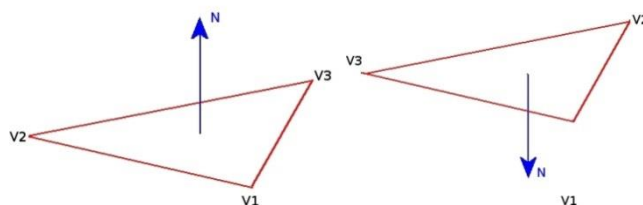
6.4.1. Viditeľnosť polygónov modelu

V predchádzajúcich podkapitolách sme hovorili o priemete viditeľnej časti modelu na syntetizovanú snímku. Nastáva však problém, určenia, kedy je ktorý polygón viditeľný. Dokonca je niekedy potrebné vykresliť len časť polygónu, pretože je čiastočne prekrytý iným polygónom[51, 54, 56]. Jedným z riešení je spolu s modelom prenášať aj informáciu o tom, ktoré polygóny sú viditeľné pri určitom uhle rotácie. Tento prístup by však znamenal ďalšie dáta navyše a zároveň by komplikoval realizáciu. Elegantnejším riešením bude ak sa zo samotného modelu určí, ktoré polygóny viditeľné sú a, ktoré nie.

V predchádzajúcich kapitolách bolo uvedené, že každý model je definovaný pomocou vrcholov, ktoré sa združujú do polygónov. V našom prípade sú to trojuholníky. Potom, ak uvažujeme, že 3 vrcholy určujú plochu medzi nimi, je možné pre túto plochu pomocou vzťahu (6.5) napísať rovnicu normály takto:

$$\overline{N} = \begin{bmatrix} h_2 - h_1 \\ v_2 - v_1 \\ r_2 - r_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} h_3 - h_1 \\ v_3 - v_1 \\ r_3 - r_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_h \\ n_v \\ n_r \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

kde h_i , v_i , r_i sú súradnice vrcholov a i predstavuje poradie vrcholu daného trojuholníka. Ako je zo vzťahu 6.5 zrejmé, ide o vektorový súčin, teda bude záležať na tom, v akom poradí vrcholy budú zaznamenané. Preto platí, že pre celý model musí byť dodržané poradie vrcholov. Existujú dve možnosti radenia vrcholov, a to po smere alebo protismeru hodinových ručičiek. Čo je znázornené na obr.6.6



Obr.6.6 Vplyv zoradenia vrcholov triangulácie na smer normály

Výsledný vektor bude v priestore na základe normály a jej prvku n_r ukazovať buď ku pozorovateľovi, alebo od neho. Teda jednoznačne určujú, ktoré polygóny nie je vidieť. Ukazuje sa však, že tento postup problém viditeľnosti polygónov nerieši komplexne, ale je využiteľný pri predspracovaní modelu, pretože pre polygóny ktoré nie je vidno, nie je potrebné počítať riadkový rozklad ani barycentrické súradnice. Problém vykresľovania polygónov, ktoré sú z časti prekryté, je riešený tak, že v procese vykreslenia sa zoradia polygóny v poradí tak, že tie, čo sú ďalej budú vykreslené skôr ako tie, čo sú bližšie[56]. Takto docielime to, že ak sa polygóny prekryjú, tak budú vykreslené iba tie op, ktoré sú naozaj viditeľné. Toto zoradenie je možné urobiť napríklad pomocou strednej hodnoty súradnice r v danom polygóne. Je zrejmé, že polygóny ďalej od pozorovateľa budú mať hodnotu tejto strednej hodnoty menšiu ako tie čo sú bližšie.

LITERATÚRA

- [1] WATSON, A.: Image Compression Using the Discrete Cosine Transform *Mathematica Journal*, 4(1), 1994, p. 81-88.
- [2] PONOMARENKO, N. , LUKIN, V. , EGI AZARIAN, K., ASTOLA, J.: DCT based high quality image compression, in *Proceedings of the 14th Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA'05)*, vol. 3540 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 1177–1185, Joensuu, Finland, June 2005.
- [3] AMES. G.: Image compression, *International Journal of advancements in computing Technology*, vol.1, no.2, pp. 205-220,2002
- [4] KOVÁČ,O., MIHALÍK,J.: Vyhľadovanie textúr 3R modelu ľudskej hlavy. In: *Electrical Engineering and Informatics III: Proc. of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice*,sept. 2012, p.355-360. ISBN 978-80-553-0890-6.
- [5] MIHALÍK,J., MICHALČIN,V.: 3D Motion Estimation of Human Head by Using Optical Flow. *Radioengineering*, Vol.15, No.2, 2006, p.37- 44, ISSN 1210-2512.
- [6] MIHALÍK,J., MICHALČIN,V.: 3D Motion Estimation and Texturing of Human Head Model. *Radioengineering*, Vol.13, No.1, 2004, p.26- 31, ISSN 1210-2512.
- [7] KOVÁČ,O., MIHALÍK,J.: Estimácia priestorových súradníc modelu ľudskej hlavy na báze dvoch ortogonálnych pohľadov. In: *Electrical Engineering and Informatics 4, Proc. of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice. FEI TU*, 2013, s. 401- 405. - ISBN 978-80-553-1440-2
- [8] LEE,W., ESCHER, M., SANNIER, G., MAGNENAT-THALMANN, N.: MPEG-4 Compatible Faces from Orthogonal Photos, *Proc. International Conference on Computer Animation (CA '99)*, pp. 186-194, May 1999.
- [9] MIHALÍK,J.: Štandardný videokodek MPEG-4. *Slaboproudý obzor*, roč. 60, č.2, 2003, s.7-11, ISSN 0037-668X.
- [10] MIHALÍK,J.: Modeling of Human Head Surface by Using Triangular B-Splines. *Radioengineering*, Vol.19, No.1, 2010, p.39- 45, ISSN 1210-2512.
- [11] MIHALÍK,J.: Generation of Knot Net for Calculation Quadratic Triangular B-Spline Surface of Human Head. *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 62, No. 5, 2011, 274-279, ISSN 1335 - 3632.
- [12] YAMANOUE H.: *The differences between toed-in camera configurations and parallel camera configurations in shooting stereoscopic images*. *Int. Conf. on Multimedia and Expo*, 2006, p. 1701-1704.
- [13] WOODS, A. - DOCHERTY, T. - KOCH, R.: *Image Distortions in Stereoscopic Video Systems*. *Proc. of the SPIE Vol. 1915, Stereoscopic Displays and Applications IV*, San Jose, California, February 1993.

- [14] LANMAN, D. - TAUBIN, G.: *Build your own 3D scanner: 3D photography for beginners*. ACM SIGGRAPH 2009 Courses, New Orleans, Louisiana, p.1-94.
- [15] LANG, M. - HORNUNG, A. - WANG O. - POULAKOS, S. - SMOLIC, A. - GROSS, M.: *Nonlinear Disparity Mapping for Stereoscopic 3D*. Proc. of ACM SIGGRAPH vol. 29, no. 3, 2010.
- [16] ALLISON, R.S.: *An analysis of the influence of vertical disparities arising in toed-in stereoscopic cameras*. Journal of Imaging Science and Technology, 51(4), 2007, 317-327.
- [17] ZHANG, Z.: Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations, Computer Vision, 1999. *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on. IEEE*, 1999.
- [18] KIM, J. S., KIM, H. W., KWEON, I. S.: A camera calibration method using concentric circles for vision applications. *ACCV2002*, Melbourne, Australia, 2002.
- [19] ZHANG, Z.: Camera calibration with one-dimensional objects. Pattern Analysis and Machine Intelligence, *IEEE Transactions*, 2004.
- [20] ZHANG, Z.: Camera Calibration, Chapter 2, in G. Medioni and S.B. Kang, eds., *Emerging Topics in Computer Vision*, Prentice Hall Professional Technical Reference, 2004.
- [21] FAUGERAS, O.: Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint, *MIT Press*, 1993.
- [22] FRATARCANGELI, Marco; SCHAERF, Marco; FORCHHEIMER, Robert. Facial motion cloning with radial basis functions in MPEG-4 FBA. *Graphical Models*, 2007, 69.2: 106-118
- [23] NEWELL, E., NEWELL G., SANCHAL, L., A New Approach to the Shaded Picture Problem, Proc ACM National Conf. 1972
- [24] ABEL, Z., Barycentric coordinates, dostupná na internete: 10.1.2013,
- [25] GONZALES, R.C., WOODS, R.E.: *Digital Image Processing*, 2-nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [26] AGARWALA, A., DONTCHEVA, M., AGRAWALA, M., DRUCKER, S., COLBURN, A., CURLESS, B., SALESIN, D., COHEN, M.: Interactive Digital Photomontage, Proc. of ACM SIGGRAPH 2004.
- [27] OGDEN, J. ADELSON, E. BERGEN, J., BURT, J.: Pyramid-based computer graphics, *RCA Engineer*, 30-5, 1985.
- [28] KOVÁČ, O., MIHALÍK, J.: Spájanie obrazov s vyhladzovaním prechodu pomocou Laplaceovej pyramídy, *Elektrorevue*, 2013.
- [29] MIHALÍK, J.: Kódovanie obrazu vo videokomunikáciach, Mercury-Smékal, Košice, 2001, ISBN 80-89061-47-8.
- [30] MIHALÍK, J., ZAVACKÝ, J.: Diskrétné spracovanie signálov, LČSOV FEI TU, Košice, 2012, ISBN 978-80-553-0730-5.

- [31] CROCHIERE,R., RABINER,L.: Interpolation and a Decimation of Digital Signals-Tutorial, Review proceedings of the IEEE, Vol. 69, no. 3, 1981.
- [32] BURT, J., ADELSON, J.: The laplacian pyramid as a compact image code. IEEE Transactions on Communication, 1983.
- [33] MIHALÍK, J.: Číslíkové spracovanie signálov. *Alfa* Bratislava, 1987, (223 strán). ISBN: 80-05-00786-8.
- [34] RANKOV,V., LOCKE, R., EDENS, R., BARBER,P., VOJNOVIC,B.: An algorithm for image stitching and blending, Proceedings of SPIE, Vol. 5701, 2005.
- [35] MIHALÍK, J.: Efektívne kódovanie obrazov. LČSOV FEI TU Košice, 2013, ISBN 978-80-553-1373-3.
- [36] OLKKONEN, H., Discrete Wavelet Transforms: Algorithms and Applications, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia
- [37] LINDSAY, R., PERCIVAL, D., ROTHROCK, D.: The Discrete Wavelet Transform and the Scale Analysis of the Surface Properties of Sea Ice, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 34, no. 3, 1996
- [38] ZAVACKÝ, J.,MIHALÍK, J., GLADIŠOVÁ, I.: Implementácia diskkrétnej waveletovej transformácie v štandarde JPEG-2000. Slaboproudý obzor,roč. 63, č.3-4, 2007, s.5-9, ISSN 0037-668X.
- [39] ZAVACKÝ,J.: Celočíselná diskrétna waveletová transformácia. In: Electrical Engineering and Informatics III: Proc. of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Technical University of Košice, sept. 2012, p.560-564.ISBN 978-80-553-0890-6.
- [40] MIHALÍK J., ZAVACKÝ, J., DZIVÝ, J.: Perfect Reconstruction 2DQMF Bank for Subband Coding. Journal Electrical, Engineering, Vol. 47, No. 7-8, 1996, pp. 195-201.
- [41] SWELDENS W.: The Lifting Schneme: A New Philosophy in Biorthogonal Wavelet Constructions. Proc.SPIE 2569,1995, pp. 68-79.
- [42] ZAVACKÝ,J. - MIHALÍK,J.: Banky filtrov pre mnohokanálové diskkrétne sústavy. Slaboproudý obzor, roč.69, č.2, 2013, str.P1-P12, ISSN 0037-668X.
- [43] GLADIŠOVÁ, I., MIHALÍK, J., ZAVACKÝ, J.: Bezstratová kompresia obrazu pomocou stavového binárneho aritmetického kódovania jeho bitových rovín. Slaboproudý obzor, roč. 62, č.1-2, 2006, s.18-21, ISSN 0037-668X.
- [44] GLADIŠOVÁ, I., MIHALÍK, J.: Stavové aritmetické kódovanie binárnych obrazov. Acta Electrotechnica et Informatica, Vol.3, No.3, Košice, 2003, p.36-44, ISSN 1335-8243
- [45] HOWARD, P., VITTER, J.: Analysis of Arithmetic Coding for Data Compression. Communication of the ACM, Vol.28, No. 6, November 1992.

- [46] LANGDON, G., RISSANEN, J.: Compression of Black – White Images with Arithmetic Coding. IEEE Transaction on Communications, Vol.29, No. 6, 1981.
- [47] Kováč, O. - Valiska, J.: Lossless image encoding in space of integer discrete wavelet transform. Proc. 13th Scientific Conference of Young Researchers, Herlany, Slovakia, TU - Košice, May 2013, s.355-358. - ISBN 978-80-553-1422-8.
- [48] GLADIŠOVÁ,I.-MIHALÍK,J.-ZAVACKÝ,J.: Obrysová reprezentácia a kódovanie binárneho tvaru vizuálneho objektu. Slaboproudý obzor, roč. 66, č.3, 2010, str.14-18, ISSN 0037-668X.
- [49] MIHALÍK,J., MICHALČIN,V.: 3D Motion Tracking of Human Head. Proc. 13th Intl. Czech - Slovak Scien. Conf. "Radioelektronika 2003, Brno, Czech, 2003.
- [50] MICHALČIN,V.: 3D Global Motion Estimation of Human Head by Using Optical Flow. Zborník IV. Doktorandskej konferencie a ŠVOS, FEI TU Košice, 2004, ISBN 80-968395-9-4.
- [51] WATT, A.: Watt Fundamentals of Three-dimensional Computer Graphics, Addison Wesley,1989
- [52] MIHALÍK,J.-MICHALČIN,V.: Texturing of Surface of 3D Human Head Model. Radioengineering, Vol.13, No.4, 2004, p.44- 47, ISSN 1210-2512.
- [53] MARQUEZ, J.: Canonical 3D Geometric Transformations in Matrix Notation, ccadet unam 2011
- [54] MICHALČIN,V.: Estimácia 3D pohybu a textúrovanie modelu ľudskej hlavy. Dizertačná práca FEI TU Košice, 2005.
- [55] HUMPHREYS, G.: Hidden Surface Removal, University of Virginia, Fall 2004
- [56] GREENE, N., KASS, M., MILLER, G.: Hierarchical Z-buffer visibility. In Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH '93, ACM, New York, NY, USA, 231-238.