

4.4. 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.

4.4.1. Diskrétna waveletová transformácia

Tak, ako pri iných transformáciách napríklad DCT, [51], [52], 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 básových funkcií. Takto vyjadrený signál v DWT [53], [54] priestore je možno zapísať takto

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \varphi_{j,k}(t) + \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(t) \quad (68)$$

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \varphi(2^j t - k) \quad (69)$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \quad (70)$$

kde $\varphi(t)$ bude predstavovať materskú mierkovú funkciu $\varphi_{j,k}(t)$ 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 $\psi_{j,k}(t)$ subpriestoru W_j je možné vyjadriť pomocou subpriestoru V_{j+1} . Potom tieto funkcie budú mať tvar

$$\varphi_{j,k} = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n-2k) \varphi_{j+1,n}(t) \quad (71)$$

$$\psi_{j,k} = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n-2k) \psi_{j+1,n}(t) \quad (72)$$

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

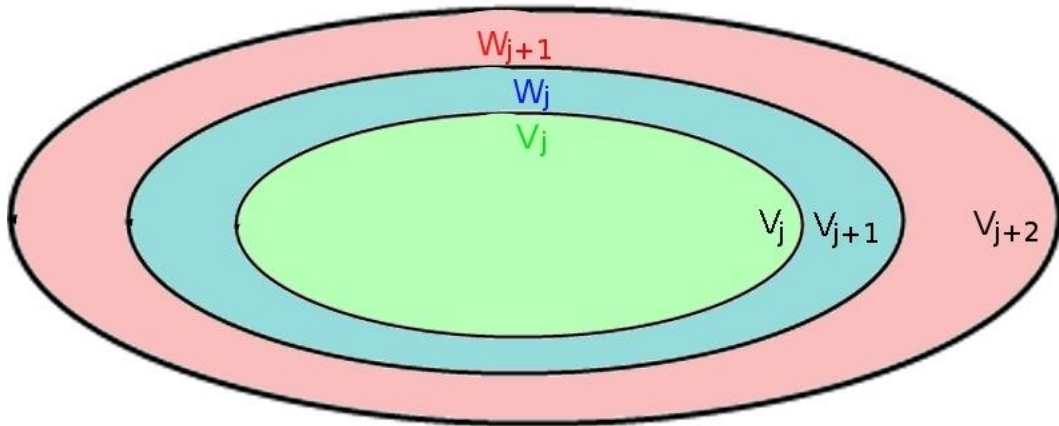
$$\begin{aligned} c_j(k) &= \langle f(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n-2k) \langle f(t), \varphi_{j+1,n}(t) \rangle \\ &= \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_0(n-2k) c_{j+1}(n) = \sqrt{2} \tilde{g}_0(-n) * c_{j+1}(n) \Big|_{2k} \end{aligned} \quad (73)$$

$$\begin{aligned} d_j(k) &= \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n-2k) \langle f(t), \psi_{j+1,n}(t) \rangle \\ &= \sqrt{2} \sum_n \tilde{g}_1(n-2k) d_{j+1}(n) = \sqrt{2} \tilde{g}_1(-n) * d_{j+1}(n) \Big|_{2k} \end{aligned} \quad (74)$$

kde zátvorka $\langle \rangle$ reprezentuje skalárny súčin, operácia $*$ predstavuje konvolúciu a $x(n) \Big|_{2k}$ 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 (73) a (74) budú mať tvar:

$$c_j(k) = g_0(n) * c_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (75)$$

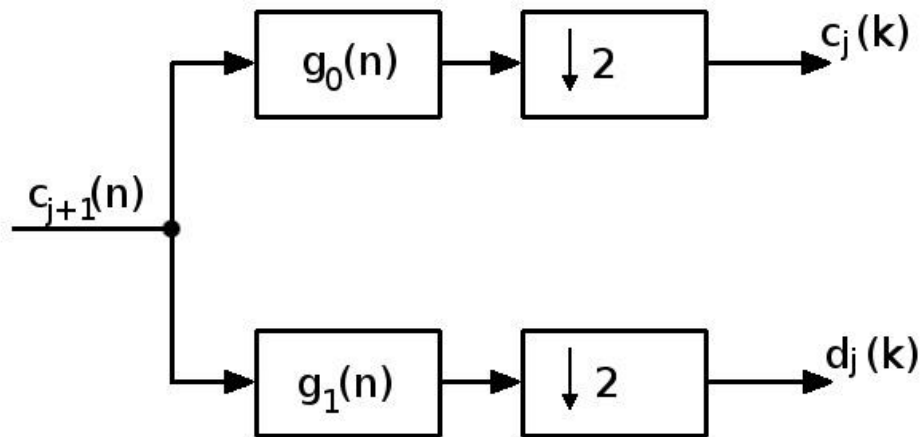
$$d_j(k) = g_1(n) * d_{j+1}(n) \Big|_{2k} \quad (76)$$



Obr. 66 Reprezentácia priestoru pomocou subpriestorov.

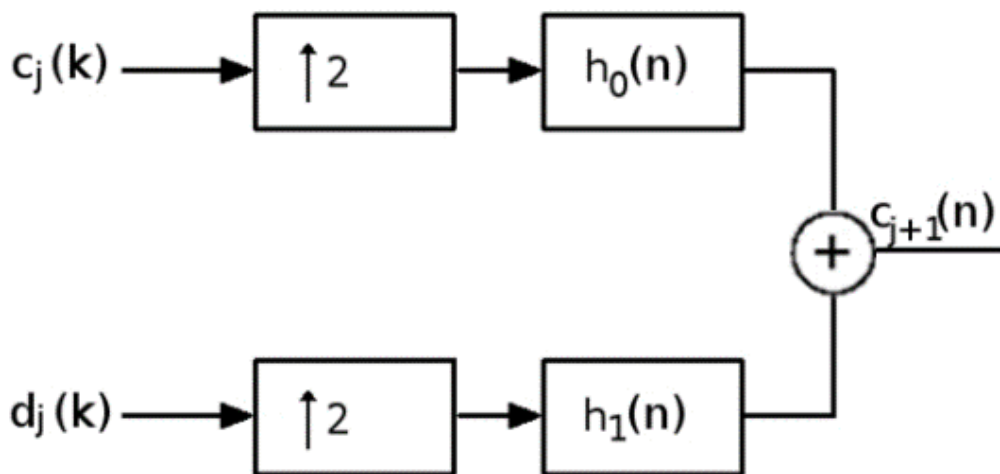
Ako bolo uvedené vyššie, subpriestor V_j a subpriestor W_j sú súčasťou subpriestoru V_{j+1} . Z Obr. 66 je zrejmé, že ak vezmeme iba najvnútornejšiu (zelenú) časť subpriestoru V_{j+1} , získame subpriestor V_j , ktorý obsahuje koeficienty $c_j(k)$. Toto je možné realizovať dolnopriepustným filtrom s 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. 67.



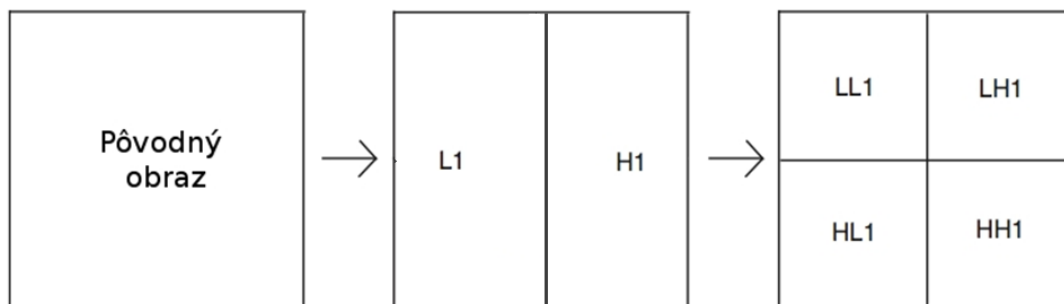
Obr. 67 Rozkladový stupeň, stupeň analýzy DWT.

Zapojením n takýchto stupňov do kaskády je možné získať jednorozmernú DWT (1RDWT) n -tého stupňa. 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. 68.

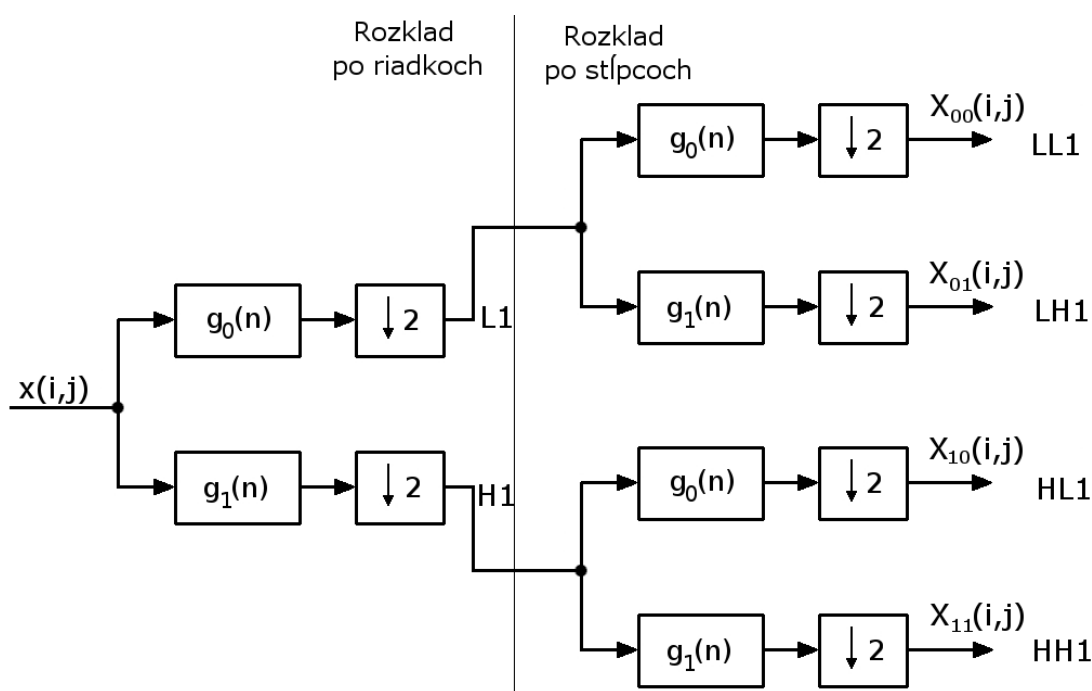


Obr. 68 Stupeň syntézy DWT.

Z Obr. 68 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 [55] už subobrazov získame 2RDWT. Toto je znázornené na Obr. 69 a bloková schéma jedného stupňa analýzy je na Obr. 70.



Obr. 69 Rozklad obrazu na jeho subobpásma v priestore 2RDWT



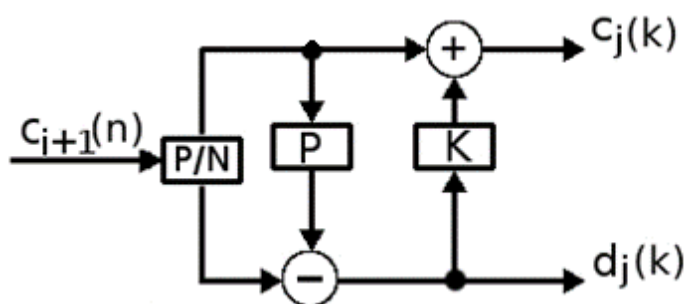
Obr. 70 Bloková schéma jedného stupňa analýzy 2RDWT.

4.4.1.1. Celočíslná 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 [56].

4.4.1.2. Lifting metóda DWT (LIDWT)

Táto metóda je taktiež označovaná ako rýchla DWT [49] [56] [57]. 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 operácií 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) [58], [59], [60] BF(5,3), ktorej impulzné charakteristiky filtrov majú nepárnu dĺžku a líšia sa o 2. Jeden rozkladový stupeň 1RDWT s takouto bankou filtrov potom možno nahradiť jej lifting implementáciou na Obr. 71.



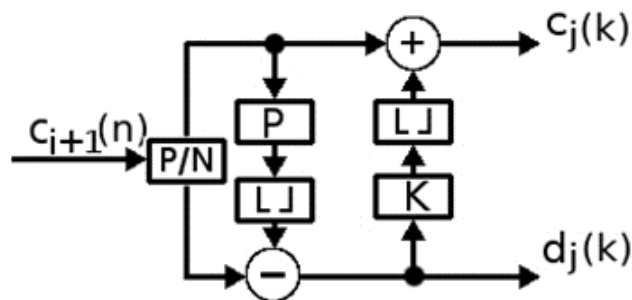
Obr. 71 Rozkladový stupeň LIDWT.

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

$$d_j(k) = b_{j+1}(k) - \frac{1}{2} [a_{j+1}(k) + a_{j+1}(k+1)] \quad (77)$$

$$c_j(k) = a_{j+1}(k) + \frac{1}{4} [d_j(k-1) + d_j(k)] \quad (78)$$

Takáto implementácia stále neposkytuje celočíselný výstup. Modifikáciou zapojenia z Obr. 71 je možné získať na jeho výstupe celé čísla tak, že výstupy korektora aj prediktora budú zaokrúhlené. Modifikovaná bloková schéma reprezentujúca celočíselnú LIDWT (LICDWT), je na Obr. 72.



Obr. 72 Rozkladový stupeň LICDWT.

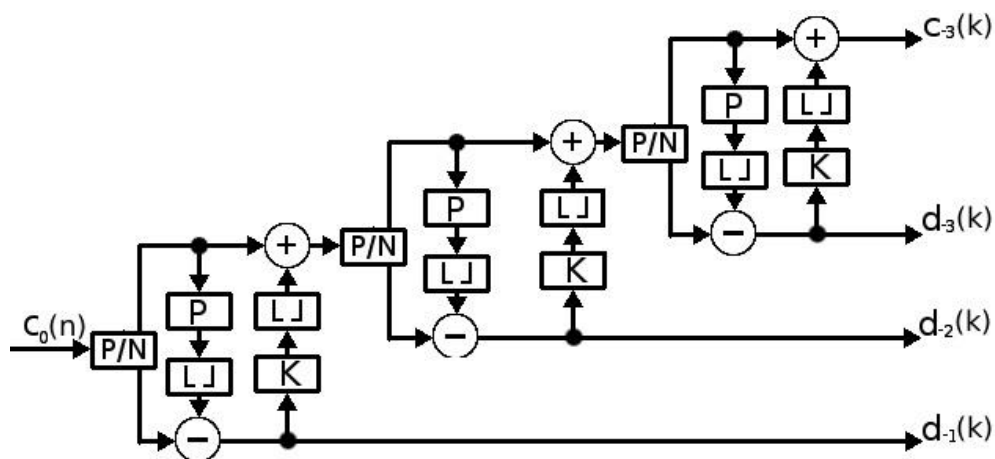
Vzťahy (77) a (78) potom budú mať tvar

$$d_j(k) = b_{j+1}(k) - \left\lfloor \frac{1}{2} [a_{j+1}(k) + a_{j+1}(k+1)] \right\rfloor \quad (79)$$

$$c_j(k) = a_{j+1}(k) + \left\lfloor \frac{1}{4} [d_j(k-1) + d_j(k)] \right\rfloor \quad (80)$$

kde operácia $\lfloor * \rfloor$ predstavuje zaokrúhlenie na najbližšie celé číslo.

Zapojenie tohto stupňa do kaskády trikrát potom bude predstavovať LICDWT s rozkladom na tri úrovne. Toto je ilustrované na Obr. 73.



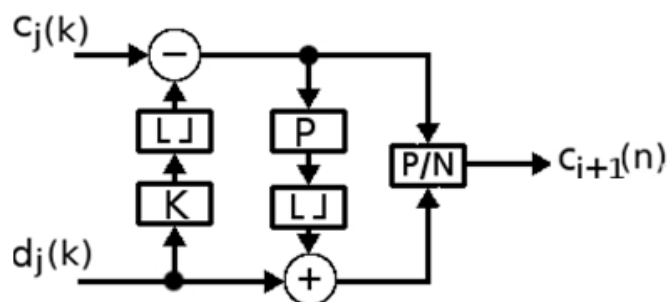
Obr. 73 Kaskádové zapojenie stupňa LICDWT.

Aplikáciou rozkladu na riadky a stĺpce obrazu, tak ako bolo popísané v predchádzajúcej podkapitole, získame obraz dekomponovaný do troch úrovní, ilustrovaný na Obr. 74.



Obr. 74 Vyhladená textúra rozložená pomocou LICDWT na 3 úrovne.

Na Obr. 75 je bloková schéma jedného stupňa spätnej LICDWT.



Obr. 75 Stupeň spätnej LICDWT.

Z Obr. 75 je vidieť, že implementácia spätnej transformácie 1RLICDWT, teda rekonštrukcie pôvodného signálu, sa od priamej líši iba zamenou operácie sčítania a odčítania a zmenou poradia korekcie a predikcie. Výstup korektora a prediktora je opäť zaokrúhlený, a teda na ich výstupe sú tie isté hodnoty ako v stupni analýzy. Z toho vyplýva, že výsledná postupnosť c_{i+1} bude rovnaká ako bol pôvodný signál, a teda môžeme konštatovať, že rozklad je bezstratový.

4.4.2. Rozklad obrazu na bitové roviny

Vo všeobecnosti, každý viacúrovňový obraz je [61] [62] vyjadrený pomocou číselných op s N bitmi. Každý op je možné vyjadriť nasledovne

$$op = p_0 2^0 + p_1 2^1 + p_2 2^2 + \dots + p_{N-1} 2^{N-1} \quad (81)$$