

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

**Ing. Tomáš Hirner**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**Nerovnomerné kódovanie obrazov**

**na získanie** akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:** 5.2.15 Telekomunikácie

**Miesto a dátum:** Bratislava, Máj 2013

**Dizertačná práca bola vypracovaná** v externej forme doktorandského štúdia  
**na** Ústave telekomunikácií FEI v Bratislave

**Predkladateľ:** Ing. Tomáš Hirner  
Ústav telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Ilkovičova 3  
812 19 Bratislava

**Školiteľ:** prof. Ing. Jaroslav Polec, PhD.  
Ústav telekomunikácií  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Ilkovičova 3  
812 19 Bratislava

**Oponenti:** prof. Ing. Mária Franeková, PhD.  
EF ŽU v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina  
  
Ing. Tatiana Orgoníková, PhD.  
Jana Stanislava 47, 841 05 Bratislava

**Autoreferát bol rozoslaný:** .....

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná 28.08.2013 o 9:00 h.**

**na** FEI STU v Bratislave v zasadacej miestnosti Ústavu telekomunikácií  
FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava.

.....  
Dekan FEI STU v Bratislave  
doc. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.

## Obsah

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>4</b>
<b>2 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>5</b>
2.1 Nerovnomerné zabezpečenie prenášaných dát .....	5
2.2 ROI kódovanie .....	5
2.3 Zabezpečenie ROI v spojitosti s vybranými typmi waveletových kóderov .....	6
<b>3 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE .....</b>	<b>6</b>
<b>4 ZVOLENÉ METÓDY SPRACOVANIA .....</b>	<b>7</b>
4.1 Metóda adaptívneho kódovania so spätným kanálom pre prenos obrazu .....	7
4.2 Metóda UEP pre obrazy s ROI kódovaním .....	8
4.3 Návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov .....	8
<b>5 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A ICH VYHODNOTENIE .....</b>	<b>11</b>
5.1 Modifikácia metódy UEP pre obrazy s ROI kódovaním .....	11
5.2 Návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov .....	11
<b>6 PÔVODNÉ VEDECKÉ PRÍNOSY .....</b>	<b>15</b>
<b>7 KONKRÉTNE ZÁVERY PRE ĎALŠÍ ROZVOJ .....</b>	<b>16</b>
<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>17</b>
<b>ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA .....</b>	<b>18</b>
<b>RESUMÉ.....</b>	<b>20</b>

# 1 Úvod

Telekomunikácie sú nenahraditeľnou súčasťou modernej spoločnosti. Neustále rastie potreba prenášať stále väčšie množstvo dát, a tým rastie aj nutnosť zabezpečenia pred rušením zvonku. Každé z období technického rozvoja ľudskej spoločnosti má nové problémy, pričom úlohy vyriešené v predchádzajúcom období sa obyčajne využijú v nasledujúcej etape na vyššej úrovni. Súčasný rozvoj telekomunikácií je charakterizovaný snahou vytvárať podmienky a prostriedky na integrovaný a súčasný prenos viacerých informácií, čo umožňuje poskytovať nové telekomunikačné služby [1].

Prenos obrazu v počítačových a telekomunikačných sieťach je už niekoľko rokov neoddeliteľnou súčasťou každodenného života. Hoci sa v praxi využívajú prenosi medicínskych, meteorologických, vojenských a mnohých ďalších typov snímok, stále častejšie sa nejedná pri prenose obrazu o odborné obrázky, ale o obrázky slúžiace takpovediac pre zábavu používateľov. Spracovanie obrazu predstavuje manipuláciu s veľkým množstvom dát, ktoré reprezentujú daný obraz. To kladie zvýšené nároky na veľkosť pamäte a parametre prenosových kanálov, čo predstavuje aj veľké finančné požiadavky, prípadne nereálne požiadavky na realizáciu. V ostatnom období bolo vyvinutých mnoho metód a algoritmov pre spracovanie obrazu. V skratke spomenieme napríklad bezstratové kódy, predikčné metódy, transformačné kódovanie a rôzne kompresné algoritmy založené na waveletovej transformácii. Pod bezstratovým kódovaním si môžeme predstaviť Huffmanove kódovanie a aritmetické kódovanie. Pri predikčných metódach sa pre kódovanie obrazu používa DPCM. Pri transformačnom kódovaní si môžeme predstaviť diskretnú fourierovu transformáciu, diskretnú kosínusovú transformáciu, hadamardovu transformáciu a ďalšie. Pod kompresnými algoritmi založenými na waveletovej transformácii patria napríklad EZW (Embedded Zerotree Wavelet) alebo SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) algoritmus. Práve EZW algoritmus bude jeden zo základných blokov nášho návrhu. Chybovosť, resp. existencia chýb pri prenose obrazu je veľmi dôležitý faktor, keďže aj menšia chyba dokáže ovplyvniť výsledný obraz. Pri strate jedného paketu, prípadne skupiny paketov, vznikajú v obraze rôzne chyby obrazu, ktoré zhoršujú úroveň kvality. Vzhľadom na skutočnosť existencie straty paketov pri prenose obrazu je ochrana voči chybám a systémovým poruchám stále veľmi aktuálna. Niektoré metódy dokážu viac či menej zakryť obrazové chyby, ale nedokážu ich celkom odstrániť. Dobrým riešením je použitie samoopravných kódov (kódy kontrolujúce chyby), ktoré dokážu detekovať stratu paketu, prípadne viacerých paketov, a následne rekonštruovať jeho obsah z určitej redundantnej informácie poslanej spolu s pôvodnými paketmi. Samozrejme tieto kódy majú svoje obmedzenia dané množstvom redundantných dát a použitým algoritmom. Jedna z problematik v oblasti teórie samoopravných kódov sa zaoberá ich optimalizáciou. Sú snahy prispôsobiť vlastnosti takýchto kódov k druhu prenášanej informácie. V prípade prenosu obrazu sa využívajú rôzne kódovacie techniky.

Vo väčšine prípadov pri prenose dát so zabezpečením hovoríme o tzv. rovnomernom zabezpečení (EEP – Equal Error Protection) všetkých dát. Ale pri niektorých dôležitých aplikáciách (resp. pri niektorých oblastiach prenosu obrazu), určité časti informácií potrebujú vyššiu úroveň ochrany proti chybe než ostatné časti. Inými slovami, určitá časť obrazu je dôležitejšia než zvyšok obrazu. Táto dôležitejšia časť obrazu je definovaná ako oblasť záujmu (ROI – Region of Interest). Ako vhodná voľba je konštrukcia tzv. nerovnomerného zabezpečenia proti chybám (UEP – Unequal Error Protection).

Základný cieľ tejto práce je navrhnuť nový spôsob nerovnomerného zabezpečenia dát, za účelom zvýšenia schopnosti prenosu obrazu pri viac zašumenom kanále.

## 2 Súčasný stav riešenej problematiky

### 2.1 Nerovnomerné zabezpečenie prenášaných dát

Spôsob *nerovnomerného zabezpečenia* prenášaných dát spočíva v rozdielnom zabezpečení proti chybám vznikajúcim pri prenose cez kanál so šumom. Nerovnomernému zabezpečeniu sa už v minulosti venovala veľká pozornosť.

Masnick a Wolf prví uviedli koncept kódov s nerovnomerným zabezpečením v roku 1969 [2]. Štruktúra kódov s nerovnomerným zabezpečením sa značne líši od štandardného kódu. Na základe tejto myšlienky kódov s nerovnomerným zabezpečením sa princíp UEP začal využívať pomocou rôznych techník. Nevyhnutnosť nerovnomerného zabezpečenia sa ukázala hlavne v aplikáciách, kde prenášané dáta sú kódové signály typu reč, zvuk, obraz alebo video.

Nerovnomerná dôležitosť komunikačného prístupu pre spoľahlivú obrazovú komunikáciu v reálnom čase cez heterogénne siete a jeho aplikácia v mobilných komunikačných systémoch je opísaná v [3]. Obraz je v tomto prípade rozdelený do rozdielnych vrstiev dôležitosti: základná vrstva a vylepšená vrstva. Základná vrstva, ktorá môže byť silne chránená, je prenášaná cez robustný kanál s malou šírkou pásma podporujúci aplikácie citlivé na oneskorenie (napr. GSM sieť). Vylepšená vrstva je prenášaná cez veľkú šírku pásma a kanál s premenlivým oneskorením nepodporujúci aplikácie citlivé na oneskorenie (napr. WLAN).

V progresívnom prenose je rekonštrukcia kvality dôležitá nielen pri cieľovej prenosovej rýchlosti, ale aj pri stredných rýchlostiach. Adekvátne zvolená stratégia zabezpečenia pozostáva z optimalizácie priemerného výkonu cez skupinu stredných rýchlostí. Výkonnosť môže byť predikovaná podľa počtu správne dekódovaných zdrojových bitov. Tento spôsob nerovnomerného zabezpečenia pre efektívny progresívny prenos kódov vloženého obrazu cez kanál so šumom je opísaný v [4].

Cieľom [5] je opísanie efektívnej schémy na prenos komprimovaného digitálneho obrazu cez nefrekvenčný selektívny Rayleigho kanál. Navrhnutá schéma je založená na LAR (Locally Adaptive Resolution) algoritme. Ochrana proti chybám je zabezpečená pomocou RS kódov. Za účelom optimalizácie je v metóde použitá stratégia nerovnomerného zabezpečenia.

Oblasť rozdelenia obrazu na črty tváre sa objavila napr. v [6]. Využitie princípu nerovnomerného zabezpečenia na oblasť tváre pomocou ROI kódovacej techniky s využitím waveletového kódera je uvedené v [7]. Základom návrhu je posielanie dvoch bitových tokov do siete na základe rozdielových matíc.

Vyššie uvedený prehľad zdôrazňuje široký rozsah využitia spôsobu nerovnomerného zabezpečenia v rôznych metódach, resp. algoritmoch. Princíp nerovnomerného zabezpečenia je v súčasnosti využiteľný v rôznych oblastiach.

### 2.2 ROI kódovanie

Štandard JPEG 2000 kódovania obrazu definuje dva druhy kódovacích metód pre oblasť záujmu – GSB metóda a Maxshift metóda [8]. V [9] je navrhnutá BbBShift metóda (Bitplane-by-Bitplane Shift), ktorá podporuje ľubovoľný tvar ROI a ľubovoľnú hodnotu zmeny mierky. Zovšeobecnená BbBShift metóda sa nazýva GBbBShift metóda (Generalized Bitplane-by-Bitplane Shift) [10], ktorá poskytuje omnoho viac flexibility než Maxshift a BbBShift pre prispôbenie ROIs bez vplyvu na efektívnosť kódovania a výpočtovú zložitosť. Ďalšou inováciou obrazového kódovania ROI je metóda MSBShift (Most Significant Bitplane Shift) [11]. MSBShift metóda nielen podporuje ľubovoľný tvar ROI kódovania bez kódovania samotného tvaru, ale taktiež umožňuje flexibilné prispôbenie kvality kompresie v oblasti

záujmu a v pozadí. Navyše táto metóda umožňuje kódovanie rôznych oblastí záujmu s rôznymi prioritami v obraze.

V [12] je opísaná flexibilná dynamická ROI schéma, ktorá podporuje definíciu a postup pri určovaní ľubovoľného tvaru regiónov záujmu v JPEG 2000. Schéma podporuje dynamickú prioritizáciu nových alebo existujúcich oblastí záujmu v priebehu prenosu obrazu. V súvislosti s využitím oblasti záujmu je v [13] navrhnutý efektívny systém na vyhľadávanie obrazu založený na obsahu (CBIR – Content-Based Image Retrieval). Používateľ vyberie oblasť záujmu a systém bude prehľadávať všetky obrazy v databáze. Následne vyhľadá všetky podobné oblasti záujmu. Princípom tejto metódy je použitie DCT koeficientov.

V tejto časti prehľadu ROI kódovania boli uvedené rôzne spôsoby kódovania oblastí záujmu, ktorých výhody boli využité pre navrhovanú metódu.

### **2.3 Zabezpečenie ROI v spojitosti s vybranými typmi waveletových kóderov**

Vo všeobecnosti pri kompresii obrazu nie je samotná aplikácia 2D DWT a následná kompresia týchto dát pomocou napr. aritmetického kódovania príliš efektívna. Preto sa pre samotné zakódovanie koeficientov využíva metóda EZW. Autorom tejto metódy je Jerome M. Shapiro [15].

V [16] sa opisuje metóda s využitím ROI v spojitosti s SPIHT algoritmom. Návrh pozostáva z metódy na určenie ROI v súvislosti s DWT s možnosťou viacnásobných regiónov. Súčasťou návrhu je využitie ROI kódovacích techník.

Využitie oblastí záujmu v obraze, ktoré budú zabezpečené s vyššou dôležitosťou než pozadie obrazu, je opísané v [17]. Pre zlepšenie celkového návrhu je použitý SPIHT algoritmus. Oblasť záujmu je od zvyšku obrazu oddelená pomocou tiling metódy. Článok opisuje hlavne výhody prepojenia waveletovej transformácie spolu s tiling a lifting metódou.

Efektívna hybridná metóda kódovania obrazu na základe objektov je opísaná v [18]. Navrhovaná metóda je založená na použití DWT v spojení s DCT. Metóda používa kombináciu DCT a SPIHT algoritmu. Subpásmové obrazové dáta vo waveletovej doméne sú modifikované na základe DCT a klasifikáciou koeficientu v nízkofrekvenčnom obrazovom pásme (LL pásmo).

Z vyššie uvedených zdrojov je zjavné, že oblasť nerovnomerného zabezpečenia je aktuálna a veľmi prínosná pri riešení prenosu dát akéhokoľvek typu. Mnoho autorov sa zaoberalo rôznymi kombináciami waveletových techník, spôsobov modulácií, princípov zadefinovania oblastí záujmu, resp. využití vhodných kombinácií blokových zabezpečovacích kódov. Avšak v mnohých prípadoch je obraz vo veľkej miere náchylný na chyby v podobe zhlukov chýb. Iné princípy nedávali veľký dôraz na fotorealistiku prijatého rekonštruovaného obrazu z pohľadu používateľa. Na základe širokého prehľadu opísanej problematiky bola snaha nájsť kompromis pri návrhu metódy z pohľadu implementačnej a výpočtovej náročnosti, vhodného spôsobu zabezpečenia a praktického využitia. Ďalšie kapitoly sa budú venovať niektorým existujúcim metódam danej problematiky nerovnomerného zabezpečenia a opisu samotného návrhu metódy.

## **3 Ciele dizertačnej práce**

Na základe uvedeného prehľadu súčasného stavu riešenej problematiky je zrejmé, že oblasť nerovnomerného zabezpečenia s definovanými ROI pomocou rôznych metód založených na waveletoch je v súčasnosti veľmi aktuálna. Tento spôsob prenosu obrazu sa vyskytuje v rôznych oblastiach každodenného života. Hlavným cieľom práce je navrhnuť efektívny spôsob prenosu obrazovej informácie pomocou nerovnomerného zabezpečenia v rôznych úrovniach obrazu pomocou vybraných techník.

Na základe vyššie opísaných faktov a analýzy súčasného stavu riešenej problematiky definujeme nasledovné ciele dizertačnej práce:

- Návrh metódy nerovnomerného zabezpečenia obrazov kódovaného metódami používajúcimi subpásmovú dekompozíciu,
- Modifikácia navrhutej metódy pri použití regiónov záujmu (ROI).

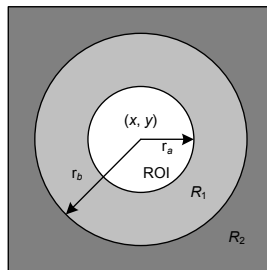
## 4 Zvolené metódy spracovania

Podstatou dizertačnej práce je návrh, realizácia a vyhodnotenie metódy nerovnomerného zabezpečenia obrazu prenášaného cez AWGN a Rayleigha kanál. Na základe analýzy súčasného stavu a navrhutej metódy sme získali nové výsledky v danej oblasti. Získané výsledky budú porovnávané s už existujúcou metódou rovnomerného a nerovnomerného zabezpečenia prenosu obrazu.

Nasledujúce kapitoly sa budú najskôr venovať existujúcim metódam zaoberajúcim sa nerovnomerným zabezpečením prenosu obrazu, následne bude opísaný návrh ich modifikácie a v závere tejto kapitoly bude opísaná základná myšlienka navrhutej metódy.

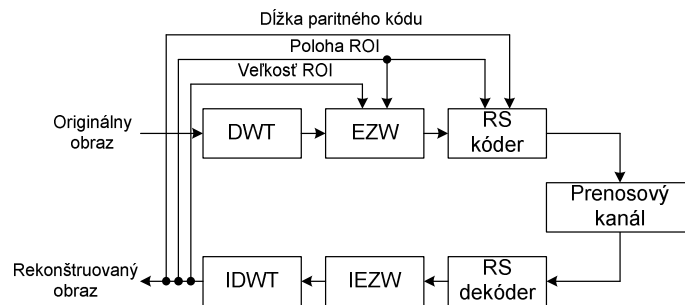
### 4.1 Metóda adaptívneho kódovania so spätným kanálom pre prenos obrazu

Podstata metódy adaptívneho kódovania zdroja kanála so spätným kanálom pre prenos medicínskych obrazov spočíva v rozdelení obrazu na niekoľko oblastí, ktoré sú rozdelené podľa dôležitosti [14]. Oblasti dôležitosti označíme ako ROI,  $R_1$ ,  $R_2$ , atď. ktoré sú centralizované v bode  $(x, y)$ . Presný náčrt zadeninovania troch oblastí záujmu je zobrazený na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 Zadeninovanie oblastí dôležitosti v obraze [14]

Hodnoty  $r_a$  a  $r_b$  sú zadeninované ako polomer ROI a  $R_1$ . Algoritmus metódy pozostáva v prvom kroku z waveletovej transformácie vstupného originálneho obrazu. Následne waveletové koeficienty vstupujú do EZW, po ktorom nasleduje bezstratové kódovanie. Výstupom je tok bitov, ktorý vo vhodnom tvare vstupuje do RS kódera. Výstup z RS kódera ďalej pokračuje cez prenosový kanál. Parametre ako veľkosť ROI, pozícia ROI a dĺžka paritného kódu prichádzajú spätným kanálom po bloku inverznej waveletovej transformácie. Bloková schéma navrhnutého systému je zobrazená na obrázku 4.2.



Obr. 4.2 Bloková schéma existujúcej metódy [13]

Z pohľadu zabezpečenia bitového toku je na jednotlivé záujmové oblasti použitý RS kód s pevne stanovenou dĺžkou kódového slova, ale s meniacou sa informačnou časťou. Na základe dĺžky informačného slova je určená sila zabezpečenia. Pre samotné ROI sa využíva najsilnejší RS kód s najvyššou nadbytočnosťou.

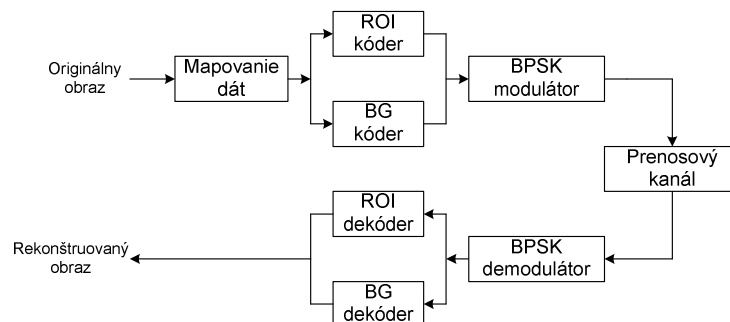
Existujúci návrh využíva Haarovu transformáciu po blokoch s rozdelením spektrálnych koeficientov vhodných pre algoritmus EZW. Z minulosti je známe, že tento typ transformácie nevedie k lepším výsledkom [21]. Návrh sa v prvom kroku na základe opisu v [14] vôbec nezaobera LL pásmom. V dôsledku toho po určitej hranici chybovosti kanála v prípade zabezpečenia ROI silnejším kódom samotné pozadie vypadne. Pozadie obrazu si je možné len opätovne vyžiadať cez spätný kanál. To isté platí aj pri strate ďalších ROI.

## 4.2 Metóda UEP pre obrazy s ROI kódovaním

Podstatou existujúcej metódy nerovnomerného zabezpečenia pre obrazy s ROI kódovaním je nerovnomerné zabezpečenie obrazu JPEG 2000 pomocou rôznych kódových techník [19]. Obraz je rozdelený na oblasť záujmu ROI a na pozadie obrazu. Nerovnomerné zabezpečenie spočíva vo využití silnejšieho samoopravného kódu pre definovanú oblasť záujmu, než pre pozadie obrazu. Blokovaná schéma navrhutej existujúcej metódy je na obrázku 4.3.

Samotná oblasť ROI analyzovaného obrazu je zabezpečená rozšíreným (24, 12) Golayovym kódom. Pozadie obrazu je zabezpečené rozšíreným (8, 4) Hammingovym kódom. Z výsledkov uvedených v [19] je zrejмый nedostatok tejto metódy. V prípade vyššej chybovosti prenosového kanála je prenášaná opäť len samotná oblasť záujmu obrazu. Pozadie obrazu sa vôbec neprenesie, užívateľ uvidí len čiastkovú informáciu.

Nedostatky vyššie opísaných metód rieši navrhnutá metóda nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov opísaná v nasledujúcej kapitole.



Obr. 4.3 Blokovaná schéma existujúcej metódy nerovnomerného zabezpečenia pre obrazy s ROI kódovaním cez kanály s únikmi [19]

## 4.3 Návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov

Základná myšlienka navrhutej metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov spočíva v nerovnomernom zabezpečení obrazu s určenými oblasťami záujmu pri prenose cez AWGN kanál a Rayleigho kanál. Tieto dva typy kanálov sú zvolené za účelom simulácie ideálneho a reálneho prostredia so šumom. Avšak z dôvodu stručnosti budú v nasledujúcich kapitolách uvedené len výsledky pre AWGN kanál, ktoré postačujú k pochopeniu metódy. Samotná realizácia metódy využíva existujúce techniky DPCM, EZW algoritmus a techniky blokového kódovania. V navrhovanej metóde je obraz rozdelený do štyroch úrovni:

- LL obraz
- ROI<sub>1</sub> (Oblasť záujmu – črty tváre),
- ROI<sub>2</sub> (Oblasť záujmu – tvár),
- BG (Pozadie).

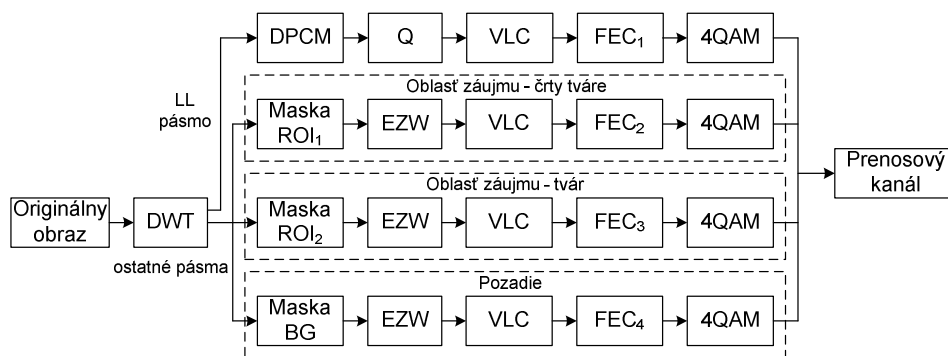


Jednotlivé úrovně sa líšia z pohľadu dôležitosti. Najvyššia priorita sa sústreďuje na obraz LL. Vysoká priorita na úrovne ROI<sub>1</sub> a ROI<sub>2</sub>. Najnižšia priorita pre pozadie BG.

Nerovnomerné zabezpečenie prenášaného obrazu je realizované pomocou kódovania LL pásma oddelene a využitia blokového kódovania pre zabezpečenie jednotlivých vrstiev oblastí záujmu a pozadia prenášaného obrazu. Ako je uvedené v kapitole 4.1, podobná metóda bola v minulosti navrhnutá. Taktiež sa zaoberá algoritmom EZW a zabezpečením dát blokovými kódmi. V tejto existujúcej metóde je použitý iný princíp konštrukcie blokových kódov a vôbec sa nezaobera samostatným zabezpečením LL pásma. Touto metódou, ako aj porovnaníu výsledkov s novým návrhom metódy sa bude zaoberať kapitola 5.

Navrhnutá metóda sa sústreďuje hlavne na prenos LL obrazu, črt tváre (oči, nos, ústa) a samotnú tvár. Pozadie prenášaného obrazu nesie v návrhu metódy najmenej dôležitú informáciu, avšak metóda čiastočne zabezpečuje aj prenos pozadia pri vyšších chybovostiach prenosového kanála. Bloková schéma navrhnutého systému je na obrázku 4.4.

Celý proces navrhutej metódy nerovnomerného zabezpečenia obrazu pozostáva z niekoľkých dôležitých krokov. Ako prvé je na analyzovaný obraz aplikovaná diskretná waveletová transformácia. Tento krok pozostáva z generovania waveletových koeficientov a usporiadania týchto koeficientov do maticového tvaru. Výstupom samotného bloku DWT je waveletová dekompozícia obrazu do definovaného počtu úrovní. Po tomto kroku sa návrh rozdeľuje do dvoch samostatných celkov.



Obr. 4.4 Bloková schéma navrhnutého systému

Najnižšie pásmo LL bude spracované samostatne, teda v tomto kroku algoritmu bude oddelené od ostatných pásiem. Na LL pásmo je aplikovaná dvojrozmerná diferenčná pulzná kódová modulácia (2D DPCM) a Max Lloydov kvantizátor. Samotný tok bitov LL pásma sa kóduje pomocou VLC (Variable Length Code) kódera (použitím Huffmanovho kódovania). Funkčnosť samoopravného kódovania prenášaného toku bitov je zabezpečená pomocou vhodnej techniky blokového kódovania FEC (Forward Error Correction). Pomocou samoopravných kódov je priradená k informačnej postupnosti bitov, resp. bajtov určitá nadbytočnosť za účelom detekcie a korekcie prípadných chýb. Posledným blokom prvej vetvy je modulácia 4QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Pomocou modulácie je upravený signál na tvar, ktorý je požadovaný pre prenos dát komunikačným kanálom. Výstup modulácie prechádza do prenosového kanála AWGN, resp. Rayleighho kanál.

V druhej vetve navrhnutého algoritmu sú prenášané všetky pásma okrem vyššie analyzovaného LL pásma. Prvý krok pozostáva zo zdefinovania oblastí záujmu a pozadia prenášaného obrazu. Na základe zdefinovania úrovní sú v navrhutej metóde vytvorené masky pre úrovne ROI<sub>1</sub>, ROI<sub>2</sub> a BG. Tieto masky sú aplikované do každého jedného prenášaného pásma waveletovej dekompozície. Ako je vidieť na blokovej schéme, vznikli tri paralelné vetvy (vetva oblasti záujmu pre črty tváre, oblasť záujmu tváre a vetva pozadia obrazu). Na jednotlivé prenášané waveletové koeficienty vetvy ROI a BG je implementovaná kompresná technika EZW. Výstup z algoritmu EZW je abeceda hodnôt  $P, N, Z, I$  a  $0,1$ . Tieto

hodnoty sú následne transformované na tok bitov pomocou VLC kódera (použitím Huffmanovho kódovania). Detekcia a korekcia chýb vzniknutých pri prenose toku bitov oblastí záujmu a pozadia obrazu cez prenosový kanál je zabezpečená pomocou samoopravných blokových kódov. Posledný blok v návrhu je 4QAM modulácia, ktorej výstup smeruje do definovaného prenosového kanála (AWGN, resp. Rayleigho kanál).

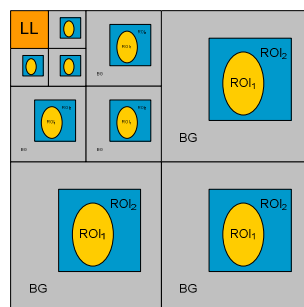
Metóda je navrhnutá spôsobom, aby v prípade nadmerného počtu chýb pre konkrétnu úroveň sa daná úroveň od určitej hodnoty chybovosti neprijíma vôbec. Zadefinovanie jednotlivých úrovní do desiatich pásiem trojúrovňovej dekompozície je na obrázku 4.5.

Jedným z najdôležitejších krokov návrhu je správne zadefinovanie zabezpečenia pre LL obraz, oblasť záujmu črt tváre, oblasť záujmu samotnej tváre a pozadia prenášaného obrazu. V návrhu budú pre zabezpečenia informačného toku implementované Reedove – Solomonove (RS) kódy. LL obraz a jednotlivé časti oblastí záujmu s dôležitejšími prenášanými bajtami budú zabezpečené silnejšími RS kódmi než pozadie obsahujúce menej dôležité bajty. Voľba RS kódov na zabezpečenie prenášaných informácií má viac dôvodov. Okrem vysokej schopnosti detekcie a opráv prenášaných dát, tieto kódy pracujú na úrovni bajtov, nie bitov. Touto vlastnosťou je dosiahnutá vysoká odolnosť voči zhlukom chýb pre "relatívne" krátke pakety. Výhoda RS kódov v porovnaní s inými silnými samoopravnými kódmi (napr. LDPC) je okrem iného, vyššia jednoduchosť pri návrhoch metód pomocou týchto kódov a nižšia výpočtová zložitosť simulácií. Konštrukcia samoopravných RS kódov spočíva v zadefinovaní pevnej dĺžky informačných bajtov. Dĺžka informačných bajtov je pevne nastavená na hodnotu 188. V telekomunikačnej technike je táto dĺžka paketov využívaná v rôznych štandardoch (napr. DVB-T). Vo všeobecnosti sa na prenos informácie využíva 187 bajtov. Jeden bajt je určený pre synchronizáciu. Z pohľadu navrhutej metódy, sila jednotlivých RS kódov je ovplyvnená pomocou zadefinovania rôznej nadbytočnosti prenášaných dát.

Principiálne je návrh podobný metóde popísanej v kapitole 4.1 [14], avšak v týchto návrhoch je veľa zásadných rozdielov. Jeden zo základných rozdielov je samostatné zabezpečenie LL pásma, ktorou sa navrhnutá metóda zaoberá. Navrhnutá metóda pozostáva z dyadickej štruktúry, ktorá je účinnejšia v porovnaní s Haarovým rozdelením po blokoch existujúcej metódy. Ďalší podstatný rozdiel návrhov je v konštrukcii samoopravných RS kódov. Nový návrh pozostáva z pevnej dĺžky informačnej časti kódového slova, oproti existujúcej metóde, ktorá sa zaoberá pevnou dĺžkou celkového kódového slova. Sila kódu je ovplyvňovaná rôznou veľkosťou informačnej časti kódového slova.

Dosiahnuté výsledky budú v ďalšej časti porovnávané s princípom rovnomerného zabezpečenia dát a s modifikáciou existujúcej metódy zaoberajúcou sa nerovnomerným zabezpečením (kap. 4.2).

Princíp rovnomerného zabezpečenia dát pozostáva z princípu uvedenom na blokovej schéme 4.4. Na obraz je aplikovaná WT. Následne pomocou algoritmu EZW a Huffmanovemu kódovaniu je získaný jeden tok bitov celého obrazu. Na tento tok bitov je implementovaný RS kód. V obraze nie sú definované žiadne oblasti záujmu.



Obr. 4.5 Zadefinovanie jednotlivých úrovní obrazu navrhutej metódy do 10-tich pásiem

## 5 Dosiahnuté výsledky a ich vyhodnotenie

V nasledujúcich riadkoch budú uvedené dosiahnuté výsledky a vyhodnotenie navrhovanej metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov v porovnaní s princípom rovnomerného zabezpečenia prenosu obrazu a s modifikovanou existujúcou metódou opísanou v kapitole 4.2. V tejto kapitole bude analyzované, za akých okolností je ešte možné prenášať obrazovú informáciu s definovanými oblasťami záujmu cez AWGN kanál.

Prvá časť kapitoly sa bude zaoberať existujúcou metódou nerovnomerného zabezpečenia pre obrazy s ROI kódovaním, ktorú bude pre korektné porovnanie s navrhnutou metódou modifikovaná. V druhej časti tejto kapitoly budú výsledky získané navrhnutou metódou nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov porovnávané s princípom rovnomerného zabezpečenia prenosu obrazu a s modifikáciou existujúcej metódy nerovnomerného zabezpečenia prenášaných dát.

Získané výsledky budú znázornené graficky v závislosti  $PSNR$  (Peak Signal – to – Noise Ratio) od  $E_b / N_0$  (pomer energie signálu k výkonu šumu) z dôvodu porovnania originálneho a rekonštruovaného obrazu. V prípade navrhutej metódy budú hlavné výsledky znázornené graficky aj v závislosti  $VQM$  (Video Quality Metric [22]) od  $E_b / N_0$ . Pre zjednodušenie bude vo všetkých grafoch hodnota  $PSNR$  pri  $RMSE$  väčšej ako 255 znázorňovaná ako 0 dB.

### 5.1 Modifikácia metódy UEP pre obrazy s ROI kódovaním

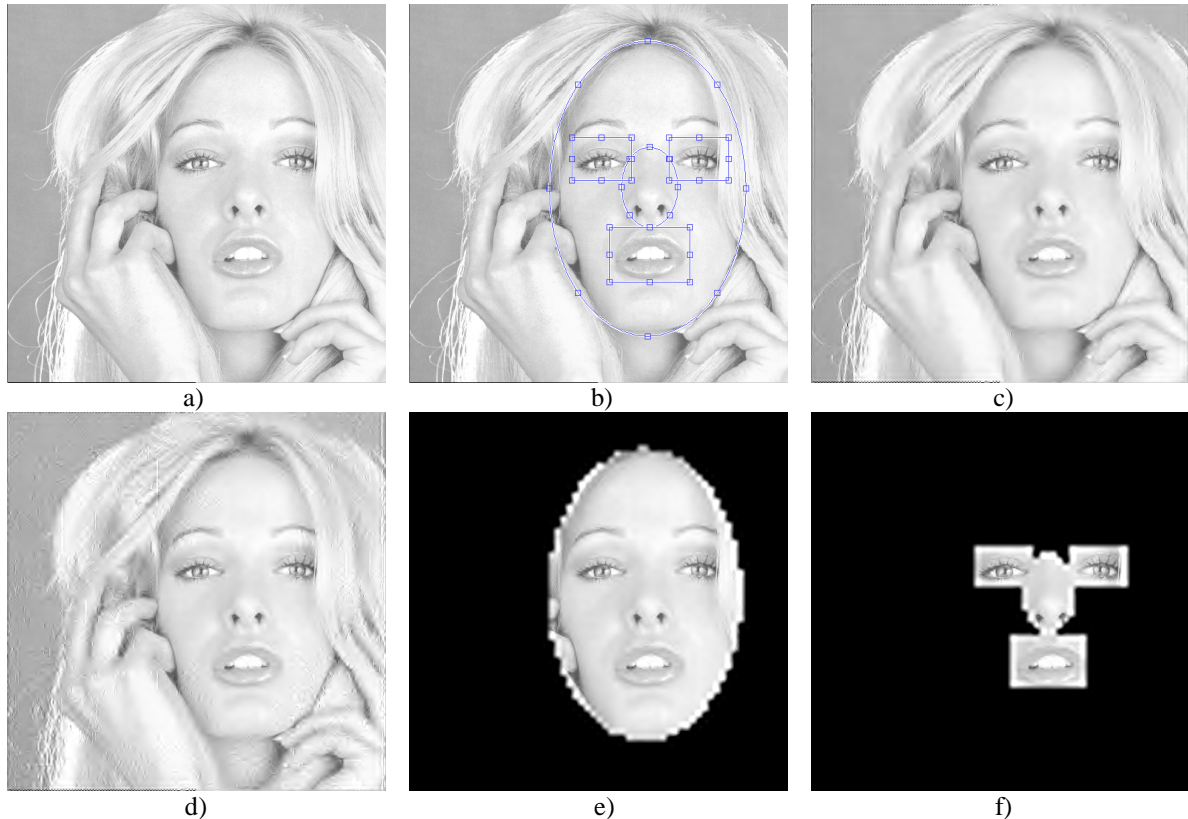
Základ tejto metódy pochádza z [19]. Metóda je stručne opísaná v kapitole 4.2. Z dôvodu korektnej porovnateľnosti analyzovaných metód bude existujúca metóda prispôbená novému návrhu. Zmena bude spočívať vo využití viacúrovňového zadefinovania oblastí záujmu a v zabezpečení dát pomocou RS kódov. V rámci bloku DWT bude obraz rozdelený na trojúrovňovú dekompozíciu. Bloková schéma existujúcej modifikovanej metódy je rovnaká ako v prípade navrhutej metódy v kapitole 4.3, avšak bez vetvy zaoberajúcej sa LL pásmom.

Oblasť  $ROI_1$  je zabezpečená kódom RS (246, 188),  $ROI_2$  kódom RS (236, 188) a pozadie obrazu kódom RS (198, 188). Originálny obraz, zadefinované oblasti záujmu  $ROI_1$  a  $ROI_2$  a rekonštruované obrazy po dekódovaní pre rôzne úrovne chybovosti modifikovanej existujúcej metódy sú uvedené na obrázku 5.1. Získané výsledky pomocou modifikácie existujúcej metódy na analyzovanom obraze „Tiffany“ budú graficky uvedené v kapitole 5.2 pri porovnaní s navrhovanou metódou.

Z pohľadu medicíny by si mohla táto existujúca metóda nájsť uplatnenie, avšak návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov sa nesústreďí len na medicínske účely, ale z fotorealistického pohľadu záleží na tom, aby prijímateľ aj vo viac zašumenom prostredí dostal aspoň čiastkovú informáciu o pozadí prenášaného obrazu. Napriek tomu stále platí, že najdôležitejšia informácia pre prijímateľa je sústredená v definovaných oblastiach záujmu.

### 5.2 Návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov

V nasledujúcej analýze sa pre obraz „Tiffany“ budú využívať nasledujúce RS kódy: RS (254, 188), RS (246, 188), RS (236, 188), RS (210, 188) a RS (202, 188). Na základe opisu metódy v kapitole 4.3, bude obraz rozdelený na LL pásmo a ostatné pásma pomocou trojúrovňovej waveletovej dekompozície.

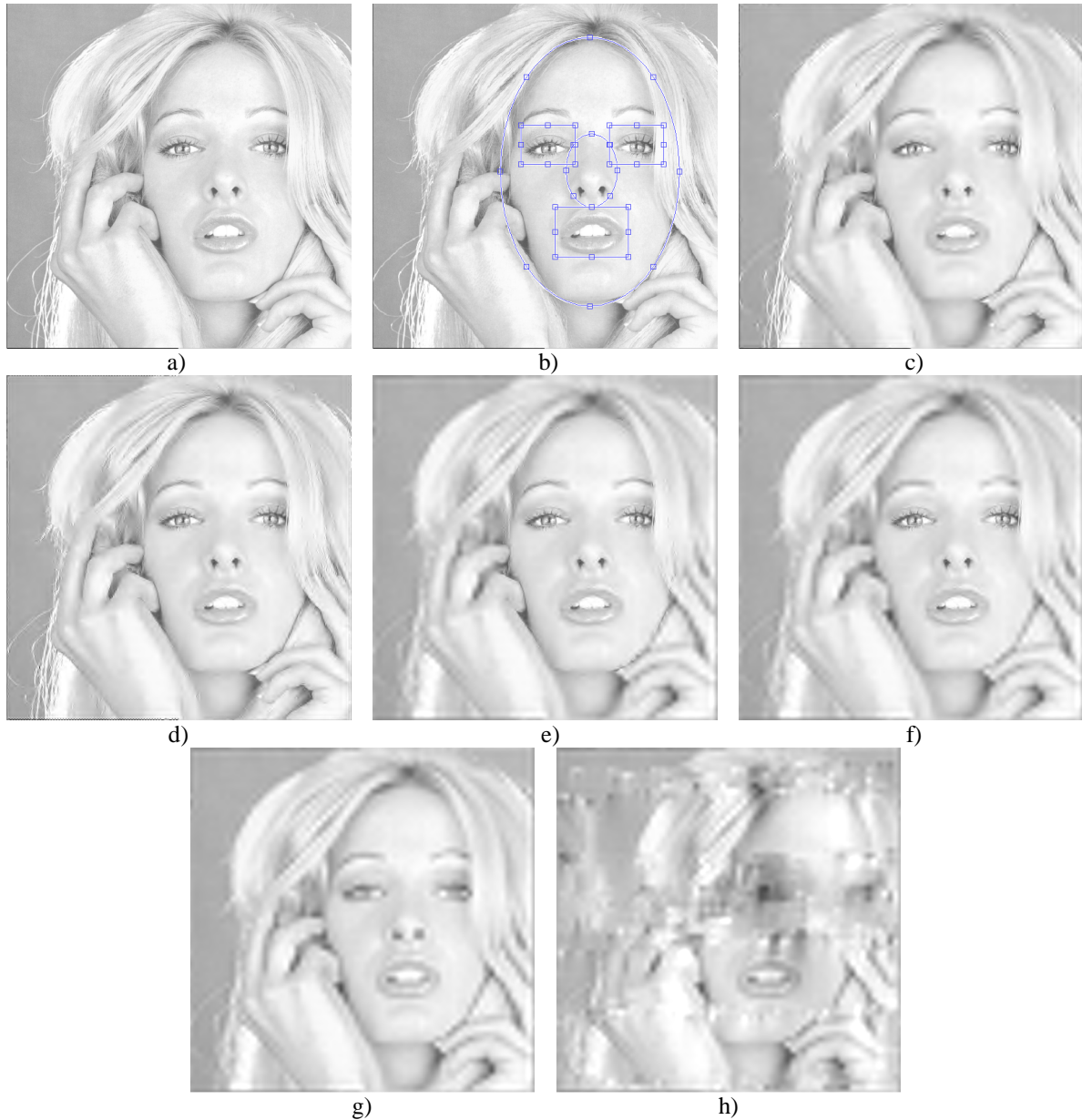


Obr. 5.1 Obraz „Tiffany“ veľkosti 512 x 512 prenášaný cez AWGN kanál: a) originálny obraz [20];  
b) zadefinovanie oblastí záujmu ROI<sub>1</sub> a ROI<sub>2</sub>

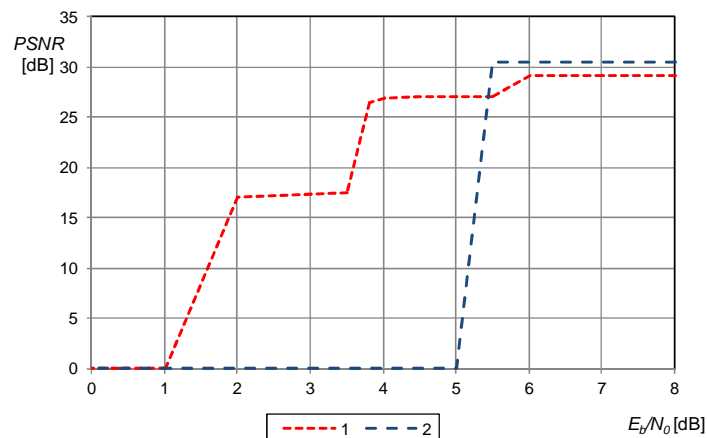
- c) obraz po dekódovaní s UEP, v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: ROI<sub>1</sub> – RS (246, 188), ROI<sub>2</sub> – RS (236, 188), BG – RS (198, 188), (0,400 bpp,  $PSNR = 29,14$  dB,  $E_b/N_0 \geq 7$  dB);  
d) obraz po dekódovaní s UEP, v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: ROI<sub>1</sub> – RS (246, 188), ROI<sub>2</sub> – RS (236, 188), BG – RS (198, 188), (0,400 bpp,  $PSNR = 27,17$  dB,  $E_b/N_0 = 6$  dB);  
e) obraz po dekódovaní s UEP, v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: ROI<sub>1</sub> – RS (246, 188), ROI<sub>2</sub> – RS (236, 188), BG – RS (198, 188), (0,400 bpp,  $PSNR = 3,32$  dB,  $4,5$  dB  $\leq E_b/N_0 < 6$  dB);  
f) obraz po dekódovaní s UEP, v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: ROI<sub>1</sub> – RS (246, 188), ROI<sub>2</sub> – RS (236, 188), BG – RS (198, 188), (0,400 bpp,  $PSNR = 1,93$  dB,  $E_b/N_0 = 4$  dB);

Na LL pásmo s vysokou prioritou dôležitosti bude implementovaný kód RS (254, 188). Na základe masiek ROI<sub>1</sub>, ROI<sub>2</sub> a BG implementovaných na ostatné pásma dostaneme jednotlivé úrovne oblasti záujmu pre črty tváre, oblasť záujmu samotnej tváre a pozadie obrazu. Oblasť ROI<sub>1</sub> bude zabezpečený kódom RS (246, 188), oblasť ROI<sub>2</sub> kódom RS (236, 188) a pozadie obrazu BG bude zabezpečený kódom RS (202, 188). Získané výsledky budú porovnávané s metódou založenou na prenose obrazov použitím EZW algoritmu pomocou rovnomerného zabezpečenia všetkých prenášaných dát a s výsledkami modifikovanej existujúcej metódy uvedenej v kapitole 5.1. Na dáta prenášané rovnomerným zabezpečením bude implementovaný kód RS (210, 188). Kombinácie kódov sú navrhnuté za účelom dosiahnutia porovnateľnej bitovej náročnosti analyzovaných obrazov.

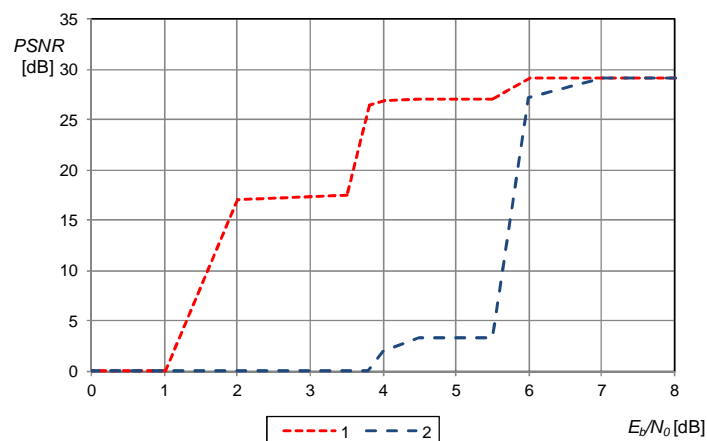
Originálny obraz „Tiffany“, zadefinované oblasti záujmu a analyzované obrazy po dekódovaní pre rôzne úrovne chybovosti sú zobrazené na obrázku 5.2 Grafické zobrazenie dosiahnutých výsledkov je uvedené v grafoch 5.1 a 5.2 závislosti  $PSNR$  od  $E_b/N_0$  pre AWGN kanál. V grafoch 5.3 a 5.4 sú získané výsledky závislosti  $VQM$  od  $E_b/N_0$  pre AWGN kanál. V grafoch 5.1 a 5.3 sú porovnávané výsledky získané navrhnutou metódou s výsledkami metódy rovnomerného zabezpečenia dát. V grafoch 5.2 a 5.4 sú porovnávané výsledky získané navrhnutou metódou s výsledkami pre modifikovanú existujúcu metódu.



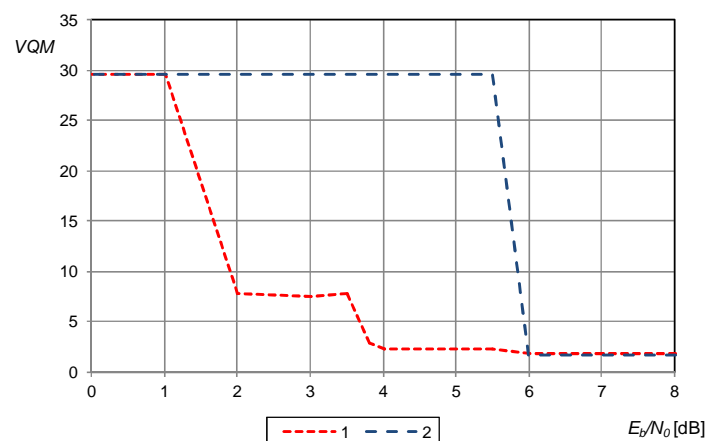
Obr. 5.2 Výsledky na testovanom obraze „Tiffany“ veľkosti 512 x 512 prenášaný cez AWGN kanál:  
a) originálny obraz [20]; b) zadenovanie oblastí záujmu  $ROI_1$  a  $ROI_2$ ;  
c) obraz po dekódovaní s EEP použitím RS (210,188), (0,400 bpp,  $PSNR = 30,44$  dB,  $E_b/N_0 \geq 5,5$  dB);  
d) obraz po dekódovaní s UEP v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: LL – RS (254, 188),  $ROI_1$  – RS (246, 188),  $ROI_2$  – RS (236, 188), BG – RS (202, 188), (0,399 bpp,  $PSNR = 29,14$  dB,  $E_b/N_0 \geq 6$  dB);  
e) obraz po dekódovaní s UEP v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: LL – RS (254, 188),  $ROI_1$  – RS (246, 188),  $ROI_2$  – RS (236, 188), BG – RS (202, 188), (0,399 bpp,  $PSNR = 27,04$  dB,  $4,5$  dB  $\leq E_b/N_0 < 6$  dB);  
f) obraz po dekódovaní s UEP v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: LL – RS (254, 188),  $ROI_1$  – RS (246, 188),  $ROI_2$  – RS (236, 188), BG – RS (202, 188), (0,399 bpp,  $PSNR = 26,83$  dB,  $E_b/N_0 = 4$  dB);  
g) obraz po dekódovaní s UEP v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: LL – RS (254, 188),  $ROI_1$  – RS (246, 188),  $ROI_2$  – RS (236, 188), BG – RS (202, 188), (0,399 bpp,  $PSNR = 26,42$  dB,  $E_b/N_0 = 3,8$  dB);  
h) obraz po dekódovaní s UEP v ktorom sú jednotlivé pásma zabezpečené nasledovne: LL – RS (254, 188),  $ROI_1$  – RS (246, 188),  $ROI_2$  – RS (236, 188), BG – RS (202, 188), (0,399 bpp,  $PSNR = 17,54$  dB,  $E_b/N_0 = 3,5$  dB)



Graf 5.1 Grafické zobrazenie  $PSNR$  v závislosti od  $E_b/N_0$  pre obraz „Tiffany“ prenášaný cez AWGN kanál  
 1 – UEP s definovanými oblasťami záujmu (Obr. 5.2/d, e, f, g, h); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovní pomocou RS kódov. (0,399 bpp);  
 2 – EEP bez definovania oblastí záujmu (Obr. 5.2/c); Obraz po dekódovaní so zabezpečením pomocou RS kódu. (0,400 bpp)

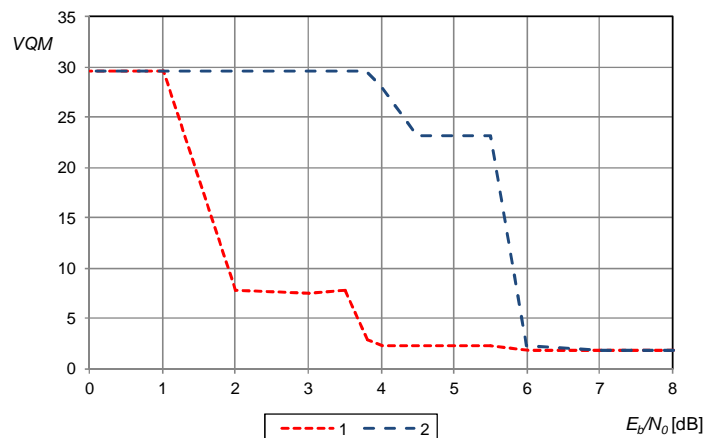


Graf 5.2 Grafické zobrazenie  $PSNR$  v závislosti od  $E_b/N_0$  pre obraz „Tiffany“ prenášaný cez AWGN kanál:  
 1 – UEP s definovanými oblasťami záujmu (Obr. 5.2/d, e, f, g, h); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovní pomocou RS kódov. (0,399 bpp);  
 2 – Modifikovaná existujúca metóda UEP pre obrázky s ROI kódovaním (Obr. 5.1/ c, d, e, f); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovní pomocou RS kódov. (0,400 bpp);



Graf 5.3 Grafické zobrazenie  $VQM$  v závislosti od  $E_b/N_0$  pre obraz „Tiffany“ prenášaný cez AWGN kanál:  
 1 – UEP s definovanými oblasťami záujmu (Obr. 5.2/d, e, f, g, h); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovní pomocou RS kódov. (0,399 bpp);  
 2 – EEP bez definovania oblastí záujmu (Obr. 5.2/c); Obraz po dekódovaní so zabezpečením pomocou RS kódu. (0,400 bpp)





Graf 5.4 Grafické zobrazenie  $VQM$  v závislosti od  $E_b/N_0$  pre obraz „Tiffany“ prenášaný cez AWGN kanál:  
 1 – UEP s definovanými oblasťami záujmu (Obr. 5.2/d, e, f, g, h); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovni pomocou RS kódov. (0,399 bpp);  
 2 – Modifikovaná existujúca metóda UEP pre obrázky s ROI kódovaním (Obr. 5.1/ c, d, e, f); Obraz po dekódovaní s rôznym zabezpečením jednotlivých úrovni pomocou RS kódov.. (0,400 bpp);

V grafoch 5.1 a 5.2 závislosti  $PSNR$  od  $E_b/N_0$ , krivka 1 zobrazuje prenos obrazu „Tiffany“ s nerovnomerným zabezpečením LL pásma, jednotlivých oblastí záujmu a samotného pozadia obrazu pre AWGN kanál. Z krivky 1 vyplýva, že obraz, resp. oblasť záujmu je možné rozpoznateľne prijať novým návrhom metódy už pri hodnote  $E_b/N_0 \geq 3,8$  dB. Krivka 2 v grafe 5.1 zobrazuje prenos obrazu s rovnomerným zabezpečením bez definovaných oblastí záujmu. Obraz je možné preniesť s hodnotou  $PSNR = 30,44$  dB pre  $E_b/N_0 \geq 5,5$  dB. V grafe 5.2 krivka 2 zobrazuje prenos analyzovaného obrazu modifikovanou existujúcou metódou nerovnomerného zabezpečenia dát. Z grafu vyplýva schopnosť čiastkového prenosu obrazu pre hodnotu  $E_b/N_0 \geq 4$  dB. Pod pojmom čiastkový prenos považujeme úspešný prenos aspoň črtou tváre prenášaného obrazu. Pozadie obrazu sa od určitej hodnoty chybovosti neprenáša vôbec.

Ako je vidieť z grafických zobrazení 5.1 a 5.2, po zabezpečení bajtov pripadajúcich k LL pásma a oblastiam záujmu silnejšími RS kódmi je návrhom metódy dosiahnutá schopnosť prenosu takto zabezpečeného obrazu aj pri viac zašumenom AWGN kanáli. To isté platí aj pre Rayleigho kanál, ktorého výsledky neboli v tomto dokumente uvedené. V navrhnutej metóde v prípade nadmerného počtu chýb pre konkrétnu úroveň sa daná úroveň od určitej hodnoty chybovosti neprenáša vôbec. V prípade poškodenia LL pásma to ovplyvňuje celkový výsledok (Obr. 5.2/h). Na grafických zobrazeniach 5.3. a 5.4 je ukázaný vzťah medzi originálnym a rekonštruovaným obrazom pomocou metriky  $VQM$ . Ako je vidieť na týchto grafoch, tendencia týchto závislostí má vysokú tzv. zápornú koreláciu a rozhodujúce zlomové body na  $x$ -ovej osi sú rovnaké.

Niektoré výsledky navrhnutej metódy sme publikovali v [23]. Obraz bol v tomto prípade rozdelený na oblasť záujmu a pozadie. Výsledky navrhnutej metódy, ktoré sa zaoberali oblasťou črt tváre sme publikovali v [26].

## 6 Pôvodné vedecké prínosy

Cieľom dizertačnej práce bola optimalizácia prenosu obrazu cez AWGN a Rayleigho kanál princípom nerovnomerného zabezpečenia pomocou techniky ROI, EZW algoritmu a blokového kódovania. Ide o návrh metódy, ktorá sa zaoberá vhodným rozdelením prenášaného obrazu na niekoľko úrovni s nasledovným zabezpečením blokovými kódmi.

Ako bolo ukázané vo výsledkoch v kapitole 5, implementáciou nerovnomerného zabezpečenia prenášaného obrazu bola dosiahnutá prenositeľnosť čiastkovej obrazovej informácie ku prijímateľovi aj pri viac zašumenom prenosovom kanáli. Súčasťou navrhutej metódy je pri viac zašumenom kanáli čiastočne prenášané aj pozadie z dôvodu zachovania fotorealistického pohľadu zo strany prijímateľa.

Za prínosy dizertačnej práce na základe preštudovanej literatúry a dosiahnutých výsledkov považujeme:

- Modifikácia metódy nerovnomerného zabezpečenia obrazu založenej na waveletovom kódovaní.
- Návrh spôsobu rozdelenia obrazu na viac úrovní za účelom efektívnej implementácie nerovnomerného zabezpečenia.
- Návrh a realizácia metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov.

## 7 Konkrétne závery pre ďalší rozvoj

Dizertačná práca podáva prehľad súčasných poznatkov danej problematiky o nerovnomernom zabezpečení, ROI kódovaní, waveletových kóderov a prináša nové pohľady na metódu nerovnomerného kódovania obrazov blokovými kódmi. Samotný návrh metódy nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia prenosu obrazov pozostáva z využitia techník WT, DPCM a EZW algoritmu. Princíp nerovnomerného zabezpečenia dát bol dosiahnutý rozdelením analyzovaného obrazu na niekoľko úrovní, ktoré boli následne zabezpečené RS kódmi s rôznou nadbytočnosťou. Z vyššie uvedených výsledkov vyplýva, že po zabezpečení dôležitých úrovní prenášaného obrazu silnejšími RS kódmi pri navrhutej metóde nerovnomerného 4-úrovňového zabezpečenia obrazov bola dosiahnutá schopnosť prenosu takto zabezpečeného obrazu aj vo viac zašumenom AWGN aj Rayleigho kanáli, než kódovaním existujúcou metódou a metódou rovnomerného zabezpečenia prenosu obrazu.

Ako kóder bola v návrhu zvolená metóda EZW. Z pohľadu využitia účinnejšieho a komplexnejšieho waveletového kódera sa samotný princíp navrhutej metódy nemení. Čím účinnejšiu kompresiu by sme využili v tomto kroku, tým účinnejšie zabezpečenie je potrebné implementovať na prenášané dáta. Za cenu vyššej kompresie sa pre dosiahnutie podobného výsledku zvýši zložitosť návrhu. Napriek tomu jeden z možných ďalších rozvojev v tejto časti návrhu je využitie často účinnejších druhov waveletových kóderov (SPIHT, WDR, ASWDR).

Z pohľadu definície oblastí záujmu boli v navrhutej metóde zvolené oblasti: črty tváre a samotná tvár prenášaného obrazu. Zo závislostí uvedených v kapitole 5 je vidieť, že hraničné hodnoty  $E_b / N_0$  pre  $ROI_1$  a  $ROI_2$  sú v získaných výsledkoch navrhutej metódy veľmi blízke. Je to najmä z dôvodu analyzovania obrazov menšej veľkosti (512 x 512). V prípade analýz štandardne používaných obrazov s vyšším rozlíšením bude táto výhoda zadefinovania viacerých oblastí záujmu efektívnejšia. V budúcom rozvoji by bolo prínosom sústrediť sa z pohľadu ROI techniky na obrazy s vyšším rozlíšením za účelom zdôraznenia efektívnosti tejto a podobných metód. Ďalší rozvoj navrhutej metódy by mohol postupovať zadefinovaním oblastí záujmu pre rôzne typy prenášaných obrazov, napr. kategorizácia textúr, zadefinovanie oblastí na satelitnej snímke, napr. konkrétnej budovy, vodnej plochy, vojenskej techniky, lesného porastu, atď.

Z pohľadu samoopravných kódov boli v návrhu metódy zvolené RS kódy. Jedna z mnohých výhod voľby tohto typu kódu je vysoká účinnosť na zhľuky chýb. Veľkosť informačnej časti prenášaných dát je v práci pevne zvolená na 188 bajtov. Táto dĺžka sa štandardne využíva v systémoch DVB so štandardom MPEG-2 a s takouto dĺžkou je paket mapovaný napr. aj do toku IPTV. V systéme DVB-T2 je veľkosť paketu definovaná na 8100 bajtov s využitím samoopravných kódov BCH. Voľba týchto kódov a dodržanie definovanej veľkosti paketu v prípade nášho návrhu by pre nízke priestorové rozlíšenia nebola vhodná.



Táto konštrukcia by azda bola zaujímavá až pre obrazy s rozlíšením "Ultra HD". Z pohľadu definovania možnosti samoopravných kódov pre ďalší rozvoj navrhutej metódy je preto vhodné sa sústrediť na prenos väčších obrazov s dodržaním veľkosti informačnej časti dát 8100 bajtov a využití kombinácie BCH a LDPC kódov. Pri prenose prostredníctvom menších paketov kanálmi s väčšou dĺžkou zhlukov by bolo vhodné analyzovať správanie kombinovaných alebo iných zaujímavých hybridných alebo kaskádnych techník, ako sú napr. RS+Hamming, RS+BCH.

Oblasť nerovnomerného zabezpečenia je veľmi rozsiahla a z pohľadu ďalšieho rozvoja je veľa možností. Využitie nerovnomerného zabezpečenia môže byť efektívne nielen pri prenose statických obrazov, ale napríklad aj pri prenose videa pre štandard MPEG-4 aj vo verzii Visual, kde sa predpokladajú video objekty, aj vo verzii AVC, kde je možnosť definovania rezov na sémantickom základe. Z pohľadu ďalšieho rozvoja navrhutej metódy je veľký priestor práve v tejto oblasti. Štandard MPEG-4 Visual je v oblasti aplikácií kódovania videa pre multimédiá založený na práci s obsahovo orientovanou reprezentáciou dát. Obrazové dáta nie sú opísané len po jednotlivých bodoch (alebo blokoch), ale na základe obsahu (objektov). Objektovo orientované kódovanie pristupuje k obrazu ako ku kompozícii video objektov. Objekt si môžeme predstaviť ako tvár, textúru, pozadie, atď. A práve v tejto oblasti video objektov je veľký priestor pre rozvoj aj z pohľadu nerovnomerného zabezpečenia prenosu videa.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] Pratt, W. K.: Digital Image Processing. John Wiley & Sons, New York, 2001. ISBN 0-471-22132-5
- [2] Masnick, B., Wolf, J.: On Linear Unequal Error Protection Codes. In: IEEE Trans, Inform, Theory, Vol. IT-13, pp. 600 – 607, 1967.
- [3] Malboubi, M., Bahai, A., Ergen, M., Varayia, P., Walrand, J.: Unequal Importance Image Communication over Heterogeneous Networks. In: Proc. 65th IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC '07-Spring), pp. 629-633, May 2007.
- [4] Stankovic, V. M., Hamzaoui, R., Charfi, Y., Xiong, Z.: Real-Time Unequal Error Protection Algorithms for Progressive Image Transmission. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 21, No. 10, pp. 1526-1535, Dec. 2003.
- [5] Hamidouche, W., Olivier, C., Babel, M., Deforges, O., Boeglen, H., Lorenz, P.: Lar Image Transmission Over Fading Channels: A Hierarchical Protection Solution. In: Proceedings of The Second International Conference on Communication Theory, Reliability, and Quality of Service, France, pp. 1-4, 2009.
- [6] Görgülü, S., Gerek, Ö. N.: A face detection, compression and archival system. In: International Conference on Electronics and Computer (IKECCO 2008), Bishkek, Kyrgyzstan, 2008.
- [7] Somasundaram, K., Palaniappan, N.: Adaptive low bit rate facial feature enhanced residual image coding method using SPIHT for compressing personal ID images. In: International Journal of Electronics nad Communications, No. 65, pp. 589-594, 2011.
- [8] Christopoulos, Ch., Askelöf, J., Larsson, M.: Efficient Methods for Encoding Regions of Interest in the Upcoming JPEG2000 Still Image Coding Standard. In: IEEE Signal Processing Letters, Vol. 7, No. 9, pp. 247-249, Sep. 2000.
- [9] Wang, Z., Bovik, A. C.: Bitplane-by-Bitplane Shift (BbBShift) - A Suggestion for JPEG2000 Region of Interest Image Coding. In: IEEE Signal Processing Letters, Vol. 9, No. 5, pp. 160-162, May 2002.

- [10] Wang, Z., Banerjee, S., Evans, B. L., Bovik, A. C.: Generalized Bitplane-by-Bitplane Shift Method for JPEG2000 ROI Coding. In: IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 81-84, Sep. 2002.
- [11] Liu, L., Fan, G.: A New Method for JPEG 2000 Region-of-Interest Image Coding: Most Significant Bitplanes Shift. In: Processing of the 45th IEEE Int. Midwest Symposium on Circuits and Systems, Vol. 2, pp. 176-179, Aug. 2002.
- [12] Rosenbaum, R., Schumann, H.: Flexible, dynamic and compliant region of interest coding in JPEG2000. In: IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 101-104, Rochester, New York, Sep. 2002.
- [13] Wu, Y. G.: Region of Interest Image Indexing System by DCT and Entropy. In: International Journal on Graphics, Vision and Image Processing, Vol. 6, No. 4, Dec. 2006.
- [14] Lo, J. L., Sanei, S., Nazarpour, K.: An Adaptive Source – Channel Coding with Feedback for Progressive Transmission of Medical Images. In: International Journal of Telemedicine and Applications, Vol. 2009, No. 519417, pp. 1 – 12, 2009.
- [15] Shapiro, J. M.: Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients. In: IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No. 3, pp. 3445-3462, 1993.
- [16] Chavez, R. F. L., Iano, Y., Higa, R. S., Arthur, R., Saotome, O.: Generalized region of interest coding applied to SPIHT. In: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), pp. 23-31, May 2012.
- [17] Rajkumar, T. M. P., Latte, M. V.: ROI Based Encoding of Medical Images: An Effective Scheme Using Lifting Wavelets and SPIHT for Telemedicine. In: International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 3, No. 3, June 2011.
- [18] Mohammed, U. S., Abd-elhafiez, W. M.: Image Coding Scheme Based on Object Extraction and Hybrid Transformation Technique. In: International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2, No. 5, pp. 1375-1383, 2010.
- [19] Yatawara, Y., Caldera, M., Kusuma, T. M., Zepernick, H. J.: Unequal Error Protection for ROI Coded Images over Fading Channels. In: IEEE Proceedings of the system Communications, pp. 111-115, Aug. 2005.
- [20] The USC-SIPI Image database, Signal and Image Processing Institute, [cit. 2013-05-21]. Dostupné na internete: <<http://sipi.usc.edu/database/database.php?volume=misc>>
- [21] Polec, J.: Blokové diskrétné ortogonálne transformácie pre kódovanie, interpoláciu a homomorfnú filtráciu obrazu, Habilitačná práca, FEI STU, Bratislava, 1997.
- [22] Xiao, F.: DCT - based Video Quality Evaluation. [cit. 2013-05-21]. Dostupné na internete: <[http://compression.ru/video/quality\\_measure/vqm.pdf](http://compression.ru/video/quality_measure/vqm.pdf)>

## **Zoznam publikácií autora**

### **Vedecké práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch**

- [23] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Error Protection for Region of Interest with Embedded Zerotree Wavelet. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, Iss. 67, pp. 506-511, 2012. ISSN 2010-376X
- [24] Krulikovská, L. [40%], Polec, J. [40%], Hirner, T. [20%]: Fast Algorithm of Shot Cut Detection. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, Iss. 67, pp. 395-398, 2012. ISSN 2010-376X
- [25] Polec, J. [70%], Krulikovská, L. [10%], Helešová, N. [10%], Hirner, T. [10%]: Face Image Coding using Face Prototyping. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, Iss. 69, pp. 918-954, 2012. ISSN 2010-376X

- [26] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Error Protection of Facial Features for Personal ID Images. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, 2013. – v tlači
- [27] Polec, J. [50%], Heribanová, P. [40%], Hirner, T. [10%]: Key Frames Extraction for Sign Language Video Analysis and Recognition. In: World Academy of Science, Engineering and Technology, 2013. – v tlači

### **Vedecké práce v domácich nekarentovaných časopisoch**

- [28] Hirner, T. [50%], Farkaš, P. [25%], Krile, S. [25%]: One Unequal Error Control Method for Telemetric Data Transmission. In: Journal of Electrical Engineering, Vol. 62, No. 3, pp. 158-163, 2011. ISSN 1335-3632

### **Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách**

- [29] Hirner, T. [50%], Farkaš, P. [50%]: Method for Unequal Error Control by Block Codes for Transmission of Telemetric Information in Wireless Sensor Networks. In: RTT 2006. Research in Telecommunication Technology: 7<sup>th</sup> International Conference. Nové Město na Moravě, Czech Republic, 11.-13.9.2006. Brno: Brno University of Technology, pp. 220-225, 2006. ISBN 80-214-3243-8

### **Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách**

- [30] Hirner, T. [50%], Farkaš, P. [50%]: Metóda nerovnomerného zabezpečenia blokovými kódmi pri prenose telemetrických informácií. In: ŠVOČ 2007. Zborník víťazných prác: Bratislava, Slovak Republic, 25.4.2007. - Bratislava: STU v Bratislave, 2007. - ISBN 978-80-227-2650-4. – CD-Rom
- [31] Hirner, T. [100%]: Method for Unequal Error Control of Telemetric Data. In: ELITECH '09: 11<sup>th</sup> Conference of Doctoral Students, Bratislava, Slovak Republic, 25.5.2009. Bratislava: STU v Bratislave, 2009. ISBN 978-80-227-3091-4. – CD-Rom
- [32] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Image Coding on Noisy Channels by Subband Coding. In: ELITECH '10: 12<sup>th</sup> Conference of Doctoral Students, Bratislava, Slovak Republic, 26.5.2010. Bratislava: Nakladateľstvo STU v Bratislave, 2010. ISBN 978-80-227-3303-8. – CD-Rom
- [33] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Error Control for Subband Image Coding. In: Redžúr 2010: 4<sup>th</sup> International Workshop on Speech and Signal Processing Conference, Bratislava, Slovak Republic, 14.5.2010. Bratislava: Nakladateľstvo STU v Bratislave, 16-20, 2010. ISBN 978-80-227-3296-3
- [34] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Image Coding by ROI. In: ELITECH '11: 13<sup>th</sup> Conference of Doctoral Students, Bratislava, Slovak Republic, 17.5.2011. Bratislava: Nakladateľstvo STU v Bratislave, pp. 1-6, 2011. ISBN 978-80-227-3500-1. – CD-Rom
- [35] Hirner, T. [70%], Polec, J. [30%]: Unequal Error Control for Image with ROI. In: Redžúr 2011: 5<sup>th</sup> International Workshop on Multimedia and Signal Processing, Bratislava, Slovak Republic, 12.5.2011. Bratislava: Nakladateľstvo STU v Bratislave, pp. 29-32, 2011. ISBN 978-80-227-3506-3
- [36] Hirner, T. [50%], Polec, J. [50%]: Unequal Error Protection of Image by EZW with Block Codes. In: ELITECH '12: 14<sup>th</sup> Conference of Doctoral Students, Bratislava, Slovak Republic, 22.5.2012. Bratislava: Nakladateľstvo STU v Bratislave, 2012. ISBN 978-80-227-3705-0. – CD-Rom

## Resumé

Title: Unequal Coding of Images

Keywords: EZW algorithm, Unequal Error Protection (UEP), Region Of Interest (ROI), Equal Error Protection (EEP), RS code

The thesis provides an overview of up-to-date knowledge in the area of the unequal error protection, ROI coding and wavelet coders. The methods of unequal coding of images with block codes are viewed from a new perspective. The design of implementation of unequal 4-level error protection of images consists of known algorithms for WT, DPCM and EZW. Based on proposal, the image is decomposed into several parts of different importance: LL image, ROI<sub>1</sub> (facial features), ROI<sub>2</sub> (face) and background. LL image and ROIs have a higher importance. In proposed method, principle of unequal error protection is represented by using RS codes with different redundancy for different regions. RS codes are constructed on constant length of information word (188 bytes). For noisy channel, the method proposes to transmit also (at least partially) background information to preserve photorealistic experience for the observer. The results imply, that after protection of important layers of transmitted image using stronger RS codes, proposed method of unequal 4-level error protection of images allows the transmission of image in more noisy AWGN and Rayleigh channel compared to coding with existing method or method of equal error protection.

Based on studied literature resources and obtained results, several contributions of this dissertation thesis may be formulated:

- Modification of unequal error protection method for image transmission based on wavelet coders.
- Recommendation of image decomposition into several levels to enable effective implementation of unequal error protection.
- Design and implementation of method for unequal 4-level error protection of images.

The domain of unequal error protection approaches is extensive and there are many valid directions for future development. Unequal error protection may be used very effectively not only for static image transmission, but also for transmission of video in MPEG-4 standard in version Visual, where image objects are recognized in the image, as well as in version AVC, where sections are defined based on semantics. Regarding further development of proposed method, there are many possibilities specifically in this area. Standard MPEG-4 Visual for video coding applications for multimedia is based on processing content oriented data representation. Image data are not described only in points and blocks but based on content (objects). Object oriented coding treats the image as a collection of video objects. The objects are face, texture, background and so on. The video objects present a great opportunity for development of unequal error protection methods for video transmission.