

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

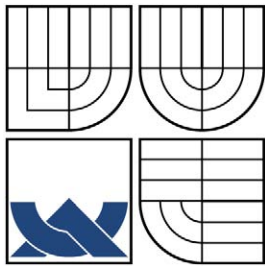
VODOZNAČENÍ OBRAZOVÝCH DAT VE FREKVENČNÍ
OBLASTI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

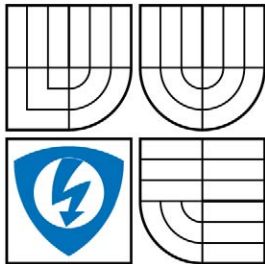
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TATIANA ŠTRBÍKOVÁ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VODOZNAČENÍ OBRAZOVÝCH DAT VE FREKVENČNÍ OBLASTI

IMAGE WATERMARKING IN FREQUENCY DOMAIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

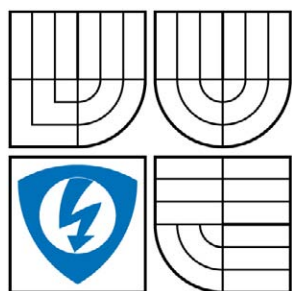
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TATIANA ŠTRBÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PETR ČÍKA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Studentko: Štrbíková Tatiana

ID: 78435

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Vodoznačení obrazových dat ve frekvenční oblasti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se základními postupy a technikami pro vodoznačení statických obrazů. Zaměřte se na vodoznačení ve frekvenční oblasti za použití DCT i DWT. Navrhněte alespoň dvě metody, které navzájem porovnejte pomocí nástrojů pro zjišťování odolnosti vodoznaků Stirmark, Optimark, nebo CheckMark.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CHUN-SHIEN, L. Multimedia Security: Steganography and Digital Watermarking Techniques for Protection of Intellectual Property. Hershey: Idea Group Publishing, 2004. ISBN: 1-59140-275-1
- [2] ARNOLD, M., SCHMUCKER, M., WOLTHUSEN, D. S. Techniques and Applications of Digital Watermarking and Content Protection. Boston: Artech House Publishers, 2003. ISBN: 1-58053-111-3

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 4.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Petr Fíka

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Tatiana Štrbíková
Bytem: Gogo ova 4, 03601, Martin
Narozen/a (datum a místo): 6.10.1986, Martin

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Vodoznačení obrazových dat ve frekvenční oblasti

Vedoucí/školicitel VŠKP: Ing. Petr Fíka

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné form - počet exemplářů 1
- elektronické form - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčíinností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a nepodpíší souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

lánek 2
Ud lení licen ního oprávn ní

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávn ní (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýd le n užit, archivovat a zp ístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným ú el m v etn po izování výpis , opis a rozmnožením.
2. Licence je poskytována celosv tov , pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zve ejn ním díla v databázi p ístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzav ení této smlouvy
 - 1 rok po uzav ení této smlouvy
 - 3 roky po uzav ení této smlouvy
 - 5 let po uzav ení této smlouvy
 - 10 let po uzav ení této smlouvy(z d vodu utajení v n m obsažených informací)
4. Nevýd le né zve ej ování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona . 111/1998 Sb., v platném zn ní, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k n mu povinen a oprávn n ze zákona.

lánek 3
Záv re ná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve t ech vyhotoveních s platností originálu, p i emž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se ídí autorským zákonem, ob anským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném zn ní a pop . dalšími právními p edpisy.
3. Licen ní smlouva byla uzav ena na základ svobodné a pravé v le smluvních stran, s plným porozum ním jejímu textu i d sledk m, nikoliv v tísní a za nápadn nevýhodných podmínek.
4. Licen ní smlouva nabývá platnosti a ú innosti dnem jejího podpisu ob ma smluvními stranami.

V Brn dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá digitálnym vodoznačením. Najprv je táto problematika rozobraná teoreticky. V ďalšej časti nájdeme popis možností vodoznačenia, teda rôzne spôsoby vodoznačenia. Vodoznačiť môžeme vo viacerých oblastiach, ako je frekvenčná, časová a parametrická. Podrobne je skúmané vodoznačenie práve vo frekvenčnej oblasti. Porovnáваме dve metódy, ktoré využívajú rôzne transformácie. Prvá s metód využíva DWT (diskrétnu vlnkovú transformáciu) a druhá DCT (diskrétnu kosínusovú transformáciu). Spoločným pre obe metódy je používanie SVD, teda rozklad na singulárne hodnoty. V závere sú tieto dve metódy zhodnotené a je vybraná metóda, ktorá sa zdá byť lepšia.

KĹÚČOVÉ SLOVÁ

obrázok, vodoznak, vodoznačenie, diskrétna kosínusová transformácia, diskrétna vlnková transformácia

ABSTRACT

This thesis analyze digital watermarking. At first we can read about watermarking in generally. Secondly, it considers about possibilities of watermarking, therefore about different ways of watermarking. Methods of digital watermarking we can divide into three main categories: spatial domain watermarking, frequency domain watermarking and spread spectrum watermarking. In detail there is described frequency domain watermarking. Two metohds are compared. First method, which use DCT (Discrete cosine transformation) and second metohd, which use DWT (Discrete wavelet transformation). Finally we can find out, which method seems to be better.

KEYWORDS

image, watermark, watermarking, discrete cosine transformation, discrete wavelet transformation

ŠTRBÍKOVÁ T. *Vodoznačení obrazových dat ve frekvenční oblasti*. Brno: Vysoké učení technické. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2008. 55 s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce byl Ing. Petr Číka.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému „Vodoznačení obrazových dat ve frekvenční oblasti“ som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestne právnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

V úvode tejto práce by som rada poďakovala Ing. Petrovi Číkovi za jeho odborné konzultácie, pripomienky a námet k bakalárskej práci a ďalej za poskytnutý materiál a podklady, ktoré mi pre účely bakalárskej práce obstaral.

V Brne dňa

.....
(podpis autora)

OBSAH

Úvod	15
1 Digitálne vodoznačenie všeobecne	16
1.1 Terminológia	16
1.2 Digitálny vodoznak	16
1.2.1 Kritériá digitálneho vodoznačenia	17
1.3 Základné princípy vodoznačenia	18
1.3.1 Blok vodoznačenia	19
1.3.2 Blok detekcie	19
1.4 Použitie digitálneho vodoznačenia	22
2 Základné Metódy digitálneho vodoznačenia	25
2.1 Rozdelenie metód digitálneho vodoznačenia	25
2.1.1 Časová oblasť	25
2.1.2 Parametrická oblasť	26
2.1.3 Frekvenčná oblasť	27
3 Hodnotenie kvality vytiahnutého vodoznaku	31
4 Popis vybraných metód vodoznačenia	32
4.1 Metóda digitálneho vodoznačenia využívajúca DWT a SVD	32
4.1.1 Postup vkladania vodoznaku	32
4.1.2 Postup vytiahnutia vodoznaku	33
4.2 Metóda digitálneho vodoznačenia využívajúca DCT a SVD	34
4.2.1 Postup vkladania vodoznaku	35
4.2.2 Postup vytiahnutia vodoznaku	37
5 Dosiahnuté výsledky	39
5.1 Prevedené útoky	39
5.2 Nameraná NCC u metódy DWT-SVD	40
5.3 Nameraná NCC u metódy DCT-SVD	41
5.4 Zhrnutie výsledkov	42
6 Záver	44
Literatúra	45
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	46

Zoznam príloh	47
A Prvá príloha	48
B Druhá príloha	52

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Vennov diagram požiadaviek pre digitálne vodoznačenie [4]	19
1.2	Blok vodoznačenia digitálnych dát (E_k)	20
1.3	Blok detekcie vodoznaku v tajnom systéme použitím typu I	21
1.4	Blok detekcie vodoznaku v tajnom systéme použitím typu II	21
1.5	Detekcia vodoznaku vo verejnom systéme	22
1.6	Blok detekcie v zmiešanom systéme	22
2.1	Delenie metód digitálneho vodoznačenia podľa oblasti vkladania vodoznaku	26
2.2	Postup vodoznačenia obrázku vo frekvenčnej oblasti	27
2.3	Postup extrahovania/vytiahnutia vodoznaku z obrázku označeného vo frekvenčnej oblasti	28
2.4	Rozklad obrázku pri použití DWT transformácie	29
4.1	Spôsob rozdelenia obrázku na 4 subpásma	36
5.1	Útok prahovania	43
5.2	Vytiahnuté vodoznaky z tohoto obrázku	43
5.3	Pôvodný obrázok	43
5.4	Vodoznačený obrázok	43
A.1	Rozptýlenie	48
A.2	dpr 1	48
A.3	dpr 2	48
A.4	dprcorr 1	48
A.5	dprcorr 2	48
A.6	gaussian 1	48
A.7	gaussian 2	48
A.8	hardthresh 1	48
A.9	hardthresh 2	48
A.10	JPEG 10	49
A.11	JPEG 15	49
A.12	JPEG 25	49
A.13	JPEG 30	49
A.14	JPEG 40	49
A.15	JPEG 50	49
A.16	JPEG 60	49
A.17	JPEG 75	49
A.18	JPEG 80	49
A.19	JPEG 85	49
A.20	JPEG 90	49

A.21 JPEG 100	49
A.22 medfilt 1	50
A.23 medfilt 2	50
A.24 medfilt 3	50
A.25 midpoint 1	50
A.26 midpoint 2	50
A.27 sampleDU 1	50
A.28 smapleDU 2	50
A.29 HP1	50
A.30 soft thresh 1	50
A.31 softthresh 2	50
A.32 thresh	50
A.33 trimMEAN 1	50
A.34 trimMEAN 2	51
A.35 wavelet 10	51
A.36 wavelet 20	51
A.37 wavelet 30	51
A.38 wavelet 40	51
A.39 wavelet 50	51
A.40 wavelet 60	51
A.41 wavelet 80	51
A.42 wavelet 150	51
A.43 wavelet 350	51
A.44 wavelet 800	51
A.45 Wiener1	51
B.1 Rozptýlenie	52
B.2 dpr 1	52
B.3 dpr 2	52
B.4 dprcorr 1	52
B.5 dprcorr 2	52
B.6 gaussian 1	52
B.7 gaussian 2	52
B.8 hardthresh 1	52
B.9 hardthresh 2	52
B.10 JPEG 10	53
B.11 JPEG 15	53
B.12 JPEG 25	53
B.13 JPEG 30	53
B.14 JPEG 40	53

B.15 JPEG 50	53
B.16 JPEG 60	53
B.17 JPEG 75	53
B.18 JPEG 80	53
B.19 JPEG 85	53
B.20 JPEG 90	53
B.21 JPEG 100	53
B.22 medfilt 1	54
B.23 medfilt 2	54
B.24 medfilt 3	54
B.25 midpoint 1	54
B.26 midpoint 2	54
B.27 sampleDU 1	54
B.28 smapleDU 2	54
B.29 HP1	54
B.30 soft thresh 1	54
B.31 softthresh 2	54
B.32 thresh	54
B.33 trimMEAN 1	54
B.34 trimMEAN 2	55
B.35 wavelet 10	55
B.36 wavelet 20	55
B.37 wavelet 30	55
B.38 wavelet 40	55
B.39 wavelet 50	55
B.40 wavelet 60	55
B.41 wavelet 80	55
B.42 wavelet 150	55
B.43 wavelet 350	55
B.44 wavelet 800	55
B.45 Wiener1	55

ZOZNAM TABULIEK

5.1	Výsledné hodnoty NCC u metódy DWT-SVD.	40
5.2	Výsledné hodnoty NCC u metódy DCT-SVD.	41

ÚVOD

Vznik Internetu znamenal pre ľudstvo veľa nových príležitostí. Pre mnohých je to prostriedok pre získavanie množstva informácií, iný v ňom zas vidia priestor pre zábavu. S Internetom neprišli iba klady, ale aj niekoľko záporov. Pre mnohých nás je to možnosť sťahovania a zdieľania dát. Týmto spôsobom sa začali šíriť nelegálne kópie obrázkov, hudby či videa. Dochádzalo k porušovaniu autorských práv, čo viedlo k zabezpečeniu digitálnych dát. Jednou z metód zabezpečenia je samozrejme aj digitálne vodoznačenie, ktorá je predmetom tejto práce. Vodoznačenie je tu rozbierané všeobecne a samozrejme ako z názvu vyplýva tak je táto práca zameraná na vodoznačenie vo frekvenčnej oblasti, kde sú dôležité dve metódy a to metóda využívajúca diskretnú kosínusovú transformáciu a metóda používajúca diskretnú vlnkovú transformáciu. Získané teoretické poznatky sú overené praktickou realizáciou vodoznačenia pomocou programu Matlab a programu Checkmark, ktorý vykonával útoky na tieto obrázky.

1 DIGITÁLNE VODOZNAČENIE VŠEOBECNE

1.1 Terminológia

Steganografia (Steganography)

Veda, ktorá sa zaoberá utajovaním pomocou ukrytia správy. Správa je ukryvaná spôsobom, ktorý zabezpečí, že pozorovateľ nespozoruje prebiehanie komunikácie. Zachytenie komunikácie je nazývané prelomenie steganografie.

Vodoznačenie (Watermarking)

Označuje vloženie nadbytočnej informácie do multimedialných dát, tak, aby bola voľným okom nepostrehnuteľná, za účelom ochrany autorských práv.

Skrývanie a vkladanie dát (Data hiding & Data embedding)

Tieto termíny sú rôzne používané, ale najpoužívanejším vysvetlením je aplikácia medzi steganografiou a vodoznačením – aplikácia, pri ktorej sú vložené dáta známe a nemusia byť zabezpečené.

Ochrana pred kopírovaním (Copy protection)

Je to pokus nájsť všetky spôsoby ako zabrániť kopírovaniu alebo sprístupneniu kopírovateľných súborov.

Ochrana autorských práv (Copyright protection)

Zakladá sa na vložení autorských práv do digitálnych dát bez zničenia kvality. Je tiež možné zakódovať do digitálnych dát informáciu o držiteľovi autorských práv a o kupujúcom, čím je možné vystopovať ilegálne kopírovanie.

1.2 Digitálny vodoznak

Digitálny vodoznak môže byť rozdelený podľa niekoľkých základných vlastností a charakteristík, ktoré závisia na type zvolenej aplikácie. Tieto charakteristiky a vlastnosti zahŕňujú napríklad zložitosť obrazu, zachovanie pôvodného obrazu, odolnosť, veľkosť bitovej informácie, koexistencia s ostatnými vodoznakmi, zložitosť vodoznačenia a iné. Podľa nich sa vytvorili kritériá, ktoré musí daný vodoznak spĺňať:

- Odolnosť (robustness).

- Nepostrehnuteľnosť (nonperceptibility).
- Nedetekovateľnosť (nondetectability).
- Bezpečnosť (security).
- Spoľahlivosť (complexity).
- Kapacita (capacity).

1.2.1 Kritériá digitálneho vodoznačenia

Odolnosť (robustness)

Digitálny vodoznak je nemožné bez tajného kľúča, alebo bez znalosti postupu kódovania odstrániť alebo ho akokoľvek poškodiť, či znemožniť prečítanie. Vodoznak je vkladany do originálnych dát a pri ich vodoznačení sa uvažuje aj nad možnosťou ďalšej úpravy užívateľom. Vodoznak nesmie byť menený pri rôznych úpravách, ako napríklad pri rotácií, kompresii, upravovaní kontrastu a iných. Odolnosť vodoznaku sa nevzťahuje na útoky keď je známy kľúč, postup kódovania alebo sú tieto informácie dostupné.

Nepostrehnuteľnosť (nonperceptibility)

Dáta, ktoré sú označené sa nijak neodlišujú od dát originálnych. Na tomto tvrdení je založená nepostehnutelnosť. Schopnosť rozoznať vodoznak je určená dvomi kritériami a nimi sú: systém ľudského videnia a systém ľudského sluchu. Ak sú označené dáta pre ľudské oko rovnaké ako dáta originálne, vtedy môžeme povedať, že digitálny vodoznak je nepostrehnuteľný.

Nedetekovateľnosť (nondetectability)

Označené dáta sú pokladané za nedetekovateľné pokiaľ sa zhodujú s dátami originálnymi. Môže sa zdať, že toto kritérium je rovnaké ako kritérium nepostrehnuteľnosti. Opak je však pravdou. Nepostrehnuteľnosť je založená na vnímaní ľudí, respektíve na vnímaní ľudskými zmyslami, zatiaľ čo nedetekovateľnosť je založená na porovnávaní označených a pôvodných dát na úrovni zdrojových informácií. Opisuje zhodnosť označených dát s dátami originálnymi.

Bezpečnosť (security)

Bezpečnosť je založená na predpoklade, že útočník ovláda princípy digitálneho vodoznačenia, aj keď tajný šifrovací kľúč by nemal zistiť. I tak sa ale útočníci pokúšajú

zničiť vodoznak alebo tlačia a skenujú obrázky znovu a znovu, aby získali originálny obrázok bez ochrannej známky. Pre zvýšenie bezpečnosti sa používa šifrovací kľúč, ktorý je dostatočne dlhý na to, aby odradil prípadných útočníkov od jeho detekcie. Pre určitých ľudí, ale tento kľúč musí byť detekovateľný, preto jeho dĺžka nesmie byť až príliš veľká.

Spôľahlivosť (complexity)

Spôľahlivosť opisuje námahu vynaloženú na detekciu a rozkódovanie informácie o vodoznaku. Odporúča sa používať vodoznačenie a algoritmus tak spôľahlivý ako to len ide. Takto sa môžeme vyhnúť útokom, nazývaným „trial-and-error“.

Kapacita (capacity)

Kapacita sa vzťahuje k množstvu informácie, ktorá môže byť uložená v zdrojových dátach. Kapacita o veľkosti 1 bitu sa môže zdať dostačujúca, ale na druhej strane je potrebné v zdrojových dátach uložiť dôležité informácie o autorovi, obmedzení, ISBN (International Standard Book Number), ISRC (International Standard Recording Code) a iné. Preto je kapacita väčšia ako spomínaný 1 bit [4].

Splniť všetky tieto kritériá je veľmi náročné a žiadna z doteraz známych techník digitálneho vodoznačenia to nedokáže. Poznáme však 3 najdôležitejšie z týchto kritérií: odolnosť, nepostrehnuteľnosť a bezpečnosť. Tieto 3 požiadavky sú na sebe závislé a môžeme ich zobraziť vo Vennovom diagrame požiadaviek na vodoznačenie (obr. 1.1), ktorý ukazuje na poznatok, že žiadna z týchto troch požiadaviek nesmie prevažovať, inak sú ďalšie dve oslabené.

1.3 Základné princípy vodoznačenia

V tejto kapitole je dôležité spomenúť dva základné pojmy súvisiace s princípmi vodoznačenia.

- Extrakcia vodoznaku: vytiahnutie vodoznaku za účelom porovnania s pôvodným, teda vloženým vodoznakom.
- Detekcia vodoznaku: rozhodovanie, ktorého výsledkom je zistenie, či dané dáta boli označené vodoznakom alebo nie.

Všetky techniky digitálneho vodoznačenia sú založené na rovnakom princípe a používajú dva bloky: blok vodoznačenia a blok detekcie vodoznaku alebo inak nazvaný blok obnovenia.



Obr. 1.1: Vennov diagram požiadaviek pre digitálne vodoznačenie [4]

1.3.1 Blok vodoznačenia

Vstupom do prvého bloku (obr. 1.2), bloku vodoznačenia (E_k), sú samozrejme originálne dáta, ktoré je potrebné označiť, ďalej vodoznak, ktorý môže byť v podobe obrázku textu, alebo číslíc a tajný kľúč, ktorý je dôležitý pre ochranu pred znehodnotením digitálneho vodoznaku za účelom kopírovania dát. Kľúč v digitálnom vodoznačení sa väčšinou používa jeden, ale pre zvýšenie bezpečnosti sa môže použiť kľúčov niekoľko. Výstupom tohto bloku sú označené dáta. Tento poznatok opisuje aj funkcia

$$E_k(I, W) = I', \quad (1.1)$$

ktorá bola odvodená z rovnice 1.3.

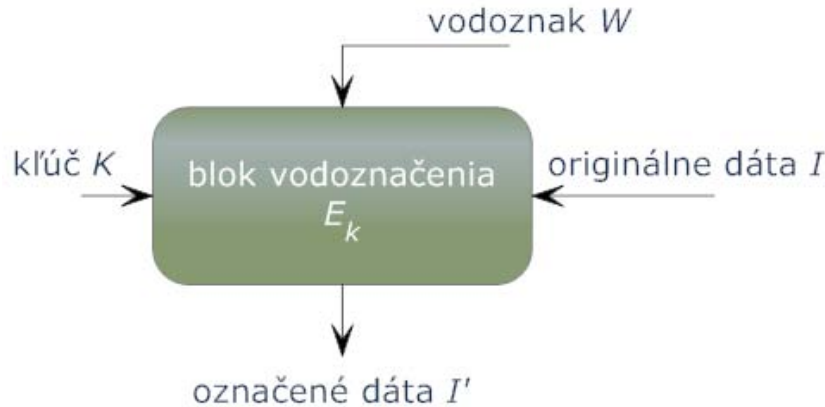
1.3.2 Blok detekcie

Pre detekciu vodoznaku je veľmi dôležitá porovnávací funkcia

$$C_\tau = W' \rightarrow \{0, 1\}, \quad (1.2)$$

ktorá porovnáva pomocou prahu τ detekovaný vodoznak spolu s vodoznakom vloženým.

Výsledkom by mal byť poznatok dostačujúci na zhodnotenie, či sa jedná o pravý vodoznak. Blok detekcie môže mať rôzne podoby v závislosti na systéme, v ktorom bola detekcia prevedená. Tieto systémy sú tri:



Obr. 1.2: Blok vodoznačenia digitálnych dát (E_k)

- Tajný systém.
- Verejný systém.
- Zmiešaný systém.

Ako vstup do druhého bloku, bloku detekcie alebo vytiahnutia vodoznaku, sa (v závislosti na systéme vodoznačenia) používajú dáta, ktoré chceme testovať, tzn. označené dáta, originálne dáta, originálny vodoznak a kľúč, ktorý bol použitý pri vodoznačení. Výstupom je vodoznak, ktorý by mal byť zhodný z vodoznakom originálnym. Teda výstupom z bloku je aj výsledok detekcie vodoznaku (miera zhodnosti originálneho a detekovaného vodoznaku).

Tajný systém

Tento systém, tiež nazývaný ako nečitateľné vodoznačenie, vyžaduje pre detekciu prinajmenšom originálne dáta. Poznáme dva typy tohto systému:

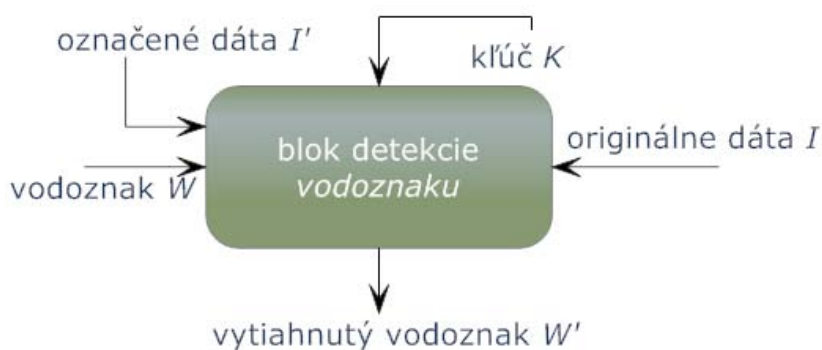
1. Typ I: pri detekcii vyberá vodoznak W z označených dát a používa originálne dáta pre zistenie polohy vodoznaku W v obrázku (obr. 1.3).
2. Typ II: detekcia vyžaduje aj vložený vodoznak W , pre zistenie, či sa v skúmaných dátach nachádza vodoznak, alebo nie. Tento typ sa ale veľmi nepoužíva, pretože vyžaduje veľmi veľa informácií a nepodáva skoro žiadne zistenia (obr. 1.4). Rovnica [5]

$$I' \times I \times K \times W \rightarrow \{0, 1\}, \quad (1.3)$$

z ktorej boli odvodené aj ostatné rovnice, je matematickým zápisom nečitateľného vodoznačenia druhého typu.



Obr. 1.3: Blok detekcie vodoznaku v tajnom systéme použitím typu I



Obr. 1.4: Blok detekcie vodoznaku v tajnom systéme použitím typu II

Verejný systém

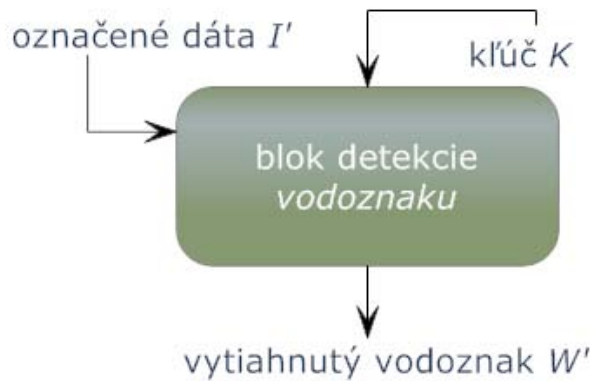
Verejný systém k detekcii nepoužíva ani originálne dáta I , ani vodoznak W . V skutočnosti sa jedná o výber n -bitovej informácie z označených dát, teda detekciu vodoznaku za použitia kľúča K . Preto môžeme povedať, že má jeho detekcia najjednoduchšiu schému (obr. 1.5) a vyjadruje ju rovnica

$$I' \times K \rightarrow W. \quad (1.4)$$

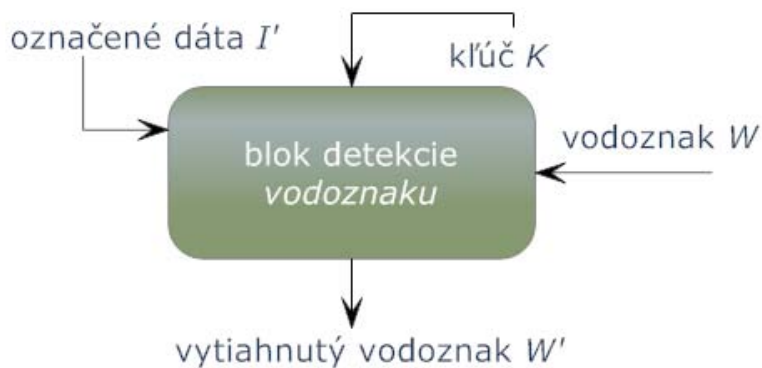
Zmiešaný systém

Tento druh systému k detekcii vodoznaku nepoužíva originálne dáta I , ale odpovedá na rovnakú otázku ako tajný systém, teda na otázku či označené dáta I' obsahujú vodoznak W , alebo nie. Tajný a zmiešaný systém sa často používa v súdnych sporoch pre overenie autorských práv. Rovnako ako v predchádzajúcich systémoch, aj v zmiešanom systéme môžeme detekciu zapísať rovnicou 1.5 a vystihuje ju bloková schéma (obr. 1.6).

$$I' \times K \times W \rightarrow \{0, 1\} \quad (1.5)$$



Obr. 1.5: Detekcia vodoznaku vo verejnom systéme



Obr. 1.6: Blok detekcie v zmiešanom systéme

1.4 Použitie digitálneho vodoznačenia

Rôzne typy použitia majú rozdielne požiadavky na spôsob vodoznačenia. Neexistuje žiadny systém vodoznačenia, ktorý by bol univerzálny pre všetky druhy použití. Aj keď má vodoznačenie vo všeobecnosti požiadavku odolnosti, v jednotlivých druhoch použitia sa úroveň líši. Použitie digitálneho vodoznačenia:

- Ochrana autorských práv.
- Fingerprinting.
- Ochrana pred kopírovaním.
- Overenie pravosti obrázku.

Ochrana autorských práv

Vodoznak sa najčastejšie používa práve pre ochranu autorských práv. Vodoznak sa tu používa pre spravodlivé rozhodnutie o vlastníctve práv na dané obrázky, videa, atď. Preto toto použitie vyžaduje veľmi vysokú úroveň odolnosti. To, čo poháňa ochranu autorských práv, je Internet, kde je možné zdieľať a sťahovať obrázky, ktoré sú na Internete voľne dostupné. Autori preto chcú svoje diela chrániť, teda ich vodoznačiť. Vodoznak musí byť jednoznačný a v prípade, že niekto pridá ďalší vodoznak, musí spravodlivo určiť vlastníka práv.

Fingerprinting

Tento typ použitia digitálneho vodoznačenia je veľmi podobný typickému označovaniu softwaru pomocou sériových čísel. Ide tu vlastne o monitorovanie a vysledovanie ilegálne vytvorenej kópie dát, ktoré môžu byť voľne dostupné na Internete. Preto je každá distribuovaná kópia označená špeciálnym vodoznakom, ktorý sa z kópie na kópiu líši. Pre niektoré fingerprinting aplikácie je nutné, aby vyťahovanie vodoznaku bolo jednoduchšie a s nízkou zložitosťou vodoznaku. Používa sa to napríklad vo WWW, kde ľudia zvaný „Web crawlers“ hľadajú pirátske vodoznačené obrázky. Vodoznak pri tomto type použitia vyžaduje vysokú odolnosť pred zákernými útokmi.

Ochrana pred kopírovaním

Hlavnou požiadavkou v distribúcií médií je existencia systému, ktorý dostatočne ochráni dáta. Ochrana dát pred kopírovaním je veľmi náročná požiadavka, ale nie nerealizovateľná. V každom systéme je možné používať vodoznak, ktorý obsahuje informáciu o kopírovateľnosti dát. Napríklad ak DVD nosič obsahuje vodoznak typu „copy never“, tak dáta, ktoré sú kopírované žiadny DVD prehrávač neprehrá. Ďalším podobným typom vodoznaku je typ „copy once“, ktorý je benevolentnejší. V tomto prípade DVD prehrávač, prehrá aj kopírované dáta, ale tieto musia byť skopírované z originálneho nosiča. Ak je nosič kopírovaný z kopírovaného nosiča, tak dáta nebudú prehraté žiadnym DVD prehrávačom.

Overenie pravosti obrázku

Úlohou tohto použitia je zistiť všetky zmeny, ktoré nastali v obrázku. Vodoznak, ktorý sa nazýva „fragile watermark“, teda v slovenčine niečo ako krehký vodoznak, má len nízku odolnosť pri niektorých aplikáciách ako je napríklad kompresia obrázku, tzn., že obrázok zostáva okrem veľkosti nezmenený, ale pri iných aplikáciách narúša pôvodné informácie o obrázku (mení ho). Odolnosť u tohto použitia sa môže meniť a

to v závislosti na type aplikácie, aj keď u všetkých vodoznakov pre overenie pravosti obrázku je odolnosť nízka.

2 ZÁKLADNÉ METÓDY DIGITÁLNEHO VO- DOZNAČENIA

2.1 Rozdelenie metód digitálneho vodoznačenia

Digitálne vodoznačenie je celkom nová výskumná oblasť, ktorá v sebe kombinuje mnoho ďalších oblastí, ako je napríklad spracovanie signálu, kryptografia a iné. Rozličné metódy vodoznačenia boli dlho skúmané. Každá metóda reagovala na útok inak. Jedna z jednoduchých metód prispôsobuje modrý kanál obrázku na špecifickú hodnotu. Táto metóda je založená na možnosti vnímania ľudského oka, keď ľudské oko vníma iba minimálne zmeny v spektre modrej farby [4]. Ďalšou jednoduchou metódou je LSB (Last Significant Bit) metóda, kde sa využíva šum, ktorý je obsiahnutý v zdrojových dátach. Tento šum sa využíva ako nosný signál pre informáciu vodoznaku [5]. Iné metódy zas používajú moduláciu v rozšírenom spektre, ďalšie metódy sú založené na aktuálnej kompresii a multimediálne metódy ako kosínusová transformácia (DCT), vlnková transformácia (DWT) a napríklad aj rýchla fourierová transformácia (FFT). Vo všeobecnosti môžeme digitálne vodoznačenie podľa použiteľnosti korelácie rozdeliť do dvoch skupín [5]:

1. Metódy používajúce koreláciu: založené na vkladaní vodoznaku pomocou pseudonáhodného šumu do obrázku, ktorý je detekovaný koreláciou šumu a súčasťami obrázku.
2. Metódy nepoužívajúce koreláciu: je možné rozdeliť do ďalších dvoch pod kategórií:
 - LSB (Last Significant Bit)
 - využívajúce geometrickú závislosť

Ďalším dôležitým delením je delenie podľa oblasti vkladania vodoznaku. Toto delenie najlepšie vystihuje obr. 2.1

2.1.1 Časová oblasť

Vkladanie vodoznaku prebieha v časovej, alebo inak nazývanej obrazovej oblasti. Táto oblasť využíva nedokonalosť ľudského zraku. Človek je schopný rozoznať určitý počet prechodov jasových úrovní. Ak je počet prechodov vyšší, ľudské oko nevníma zmeny v týchto úrovniach. Túto oblasť vkladania vodoznaku využíva aj LSB metóda.



Obr. 2.1: Delenie metód digitálneho vodoznačenia podľa oblasti vkladania vodoznaku

LSB metóda

Metóda LSB využíva priame začleňovanie vodoznaku do obrázku, teda využíva obrazovú oblasť. LSB je používané u obrázkov v stupni šedi. U týchto obrázkov sa hodnoty pixelov rozdelia podľa dôležitosti na významné a irelevantné. Významné hodnoty pixelov natoľko reprezentujú šum, že sú používané pre vodoznačenie. Za použitia zvolených hodnôt pixelov, kľúča, šumu a algoritmu je vodoznak jednoducho vložený do obrázku. Táto metóda sa ale nepokladá za najbezpečnejšiu a to z dôvodu, že vodoznak je jednoducho zničiteľný [4].

2.1.2 Parametrická oblasť

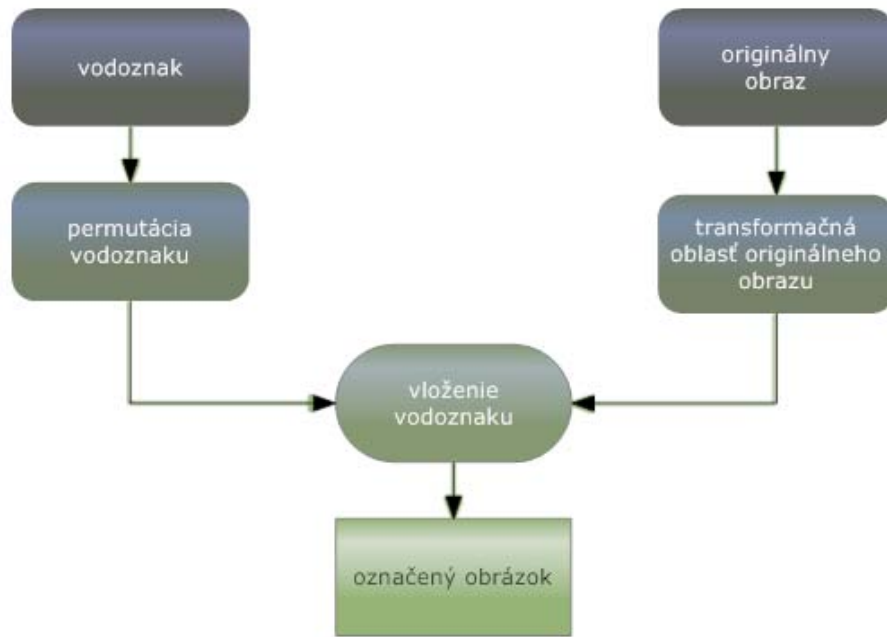
Transformáciou pôvodného signálu sa dostaneme do parametrickej oblasti, kde sú možné modifikácie niektorých parametrov obrázku. Jedna z techník používaná v tejto oblasti, je metóda vkladania založená na fraktálovom popise obrazu, tzn. je upravovaný jas alebo kontrast. Ďalšia z techník je úprava matice farebnej palety RGB, touto technikou sa upravuje parameter sýtosti farby. Ďalšou metódou je tiež zmena jasů v hodnotách pixelov, keď sa do týchto hodnôt pridáva šum, ktorý pozostáva z troch hodnôt: čiernej (1), bielej (−1) a neutrálnej hodnoty (0). Vo všeobecnosti môžeme povedať, že vodoznak $W(x, y)$ je vložený do obrázku $I(x, y)$ s koeficientom k , ktorý upravuje zosilňovanie hodnôt pre získanie najlepšieho výsledku. Rovnica [4]

$$I_w(x, y) = I(x, y) + k \cdot W(x, y) \quad (2.1)$$

vystihuje tento spôsob vkladania.

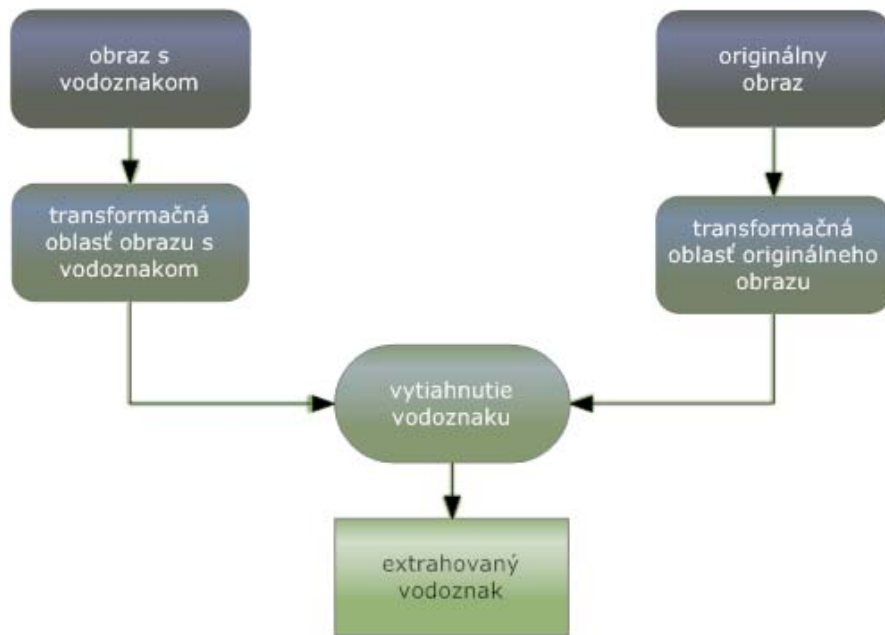
2.1.3 Frekvenčná oblasť

Do frekvenčnej oblasti transformujeme obrázok za pomoci diskkrétnej kosínusovej transformácie, diskkrétnej fourierovej transformácie, prípadne vlnkovej transformácie, ktoré sa ako také používajú aj pri kompresii. Po prevedení obrázku do frekvenčnej oblasti sa realizuje vloženie vodoznaku a následná spätná transformácia. Celý tento postup je daný všeobecne, v jednotlivých prípadoch sa líši iba v spôsobe transformácie obrázku do frekvenčnej oblasti a ukazuje ho obr. 2.2 [2].



Obr. 2.2: Postup vodoznačenia obrázku vo frekvenčnej oblasti

Pri vodoznačení vo frekvenčnej oblasti je veľmi dôležité nájsť frekvenčné koeficienty, ktoré budú najmenej náchylné na rôzne útoky. Pre toto použitie sa najlepšie zdajú stredné hodnoty koeficientov. Pri rôznych výskumoch sa prišlo na to, že vysoké hodnoty týchto koeficientov, sú ľahko náchylné na rôzne druhy kompresíí a vkladanie šumu. Nízke hodnoty zas pri útokoch vytvárali rôzne obrazce. Pri vyťahovaní vodoznaku je potrebný originálny obraz, obraz s vodoznakom a šifrovací kľúč ak bol pri vodoznačení použitý. Tento postup znázorňuje obr. 2.3 [2].



Obr. 2.3: Postup extrahovania/vytiahnutia vodoznaku z obrázku označeného vo frekvenčnej oblasti

Metódy využívajúce DCT (diskrétu kosínusovú transformáciu)

Metódy využívajúce DCT sa používajú veľmi často a to vďaka tomu, že diskretná kosínusová transformácia (ďalej už len DCT) je využívaná v štandardných kompresných technikách, ako je JPEG a MPEG. Z toho potom vyplýva, že vodoznak je viac odolný voči JPEG a MPEG kompresiam. Pri procese vodoznačenia sa používa dvojdimenzionálna transformácia, teda 2D DCT, ktorú definuje vzťah

$$S(u, v) = \frac{2}{N} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} S(x, y) \cos a \cos b, \quad (2.2)$$

kde $S(u, v)$ je diskretná obrazová funkcia vo frekvenčnej oblasti, $S(x, y)$ je diskretná obrazová funkcia v priestorovej oblasti. Premenné u, v sú súradnice bodu (vzorku) vo frekvenčnej oblasti a premenné x, y v priestorovej oblasti. Platia podmienky:

$$C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & , u = 0 \\ 1 & , u \neq 0 \end{cases}. \quad (2.3)$$

Pre lepšiu prehľadnosť je použitá substitúcia

$$a = \left(\frac{\pi u (2x + 1)}{2N} \right) \quad (2.4)$$

a

$$b = \left(\frac{\pi v (2y + 1)}{2N} \right). \quad (2.5)$$

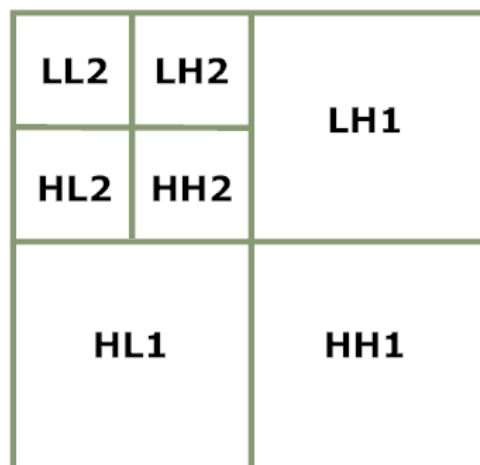
Po transformovaní blokov o veľkosti 8×8 pixelov, teda po transformácii do frekvenčnej oblasti, je do obrázku vložený vodoznak na základe istého kľúča. Nemali by sme zabudnúť aké je dôležité vybrať správne frekvenčné koeficienty pre vloženie vodoznaku. Po vložení vodoznaku je potrebná spätná 2D DCT transformácia (vzťah 2.6).

$$s(x, y) = \frac{2}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} C(u)C(v)S(u, v) \cos a \cos b. \quad (2.6)$$

Po dokončení celého tohto postupu môžeme obrázok považovať za označený. Rovnice z tejto podkapitoly boli čerpané z literatúry [5, 1].

Metódy využívajúce DWT (diskrétnu vlnkovú transformáciu)

Metódy využívajúce diskrétnu vlnkovú transformáciu (ďalej už len DWT) sa stávajú kľúčovou technikou pri kompresnom štandarde JPEG 2000. Tak ako je DCT veľmi výhodná vďaka svojej odolnosti voči JPEG a MPEG kompresiam, tak je DWT výhodná pre odolnosť a nevnímateľnosť vkladanej informácie. Táto metóda pozostáva z priestorovo-frekvenčného rozkladu obrazu. Delí obrázok na časti aproximované na nižšie rozlíšenie (LL) rovnako ako na horizontálne (HL), vertikálne (LH) a diagonálne (HH) detailné časti obrázku. Tento proces môže byť opakovaný pre výpočet viacnásobného váhového vlnkového rozloženia (obr. 2.4).



Obr. 2.4: Rozklad obrázku pri použití DWT transformácie

Jednou z možností realizácie tohto rozloženia obrázku je dvojkanálová banka filtrov s použitím hornej a dolnej priepusti (vzťah 2.7, 2.8). Tieto banky sú rozložené ortogonálne.

$$H(\omega) = \sum_k h_k^{(-jk\omega)} \text{ pre hornú priepusť.} \quad (2.7)$$

$$G(\omega) = \sum_k g_k^{(-jk\omega)} \text{ pre dolnú priepusť.} \quad (2.8)$$

Iteračný proces rozkladu obrázku je potom daný ako

$$c_{j-1,k} = \sum_n h_{n-2kc_{j,n}} \quad (2.9)$$

$$d_{j-1,k} = \sum_n g_{n-2kd_{j,n}}, \quad (2.10)$$

zatiaľ čo iteračný proces následnej rekonštrukcie obrázku je definovaný vzťahom

$$c_{j,n} = \sum_k h_{n-2kc_{j-1,k}} + \sum_k g_{n-2kd_{j-1,k}}. \quad (2.11)$$

Proces vytiahnutia vodoznaku spočíva v rozklade prijatého a originálneho obrázku za použitia DWT do 4 pásiem (LL, HH, LH, HL). V prvom kroku detekcie vodoznaku sa porovnávajú vodoznak vložený do pásma HH a koeficienty DWT v pásme HH. Ak nedôjde k nájdeniu vodoznaku, pokračuje sa v rovnakom postupe aj u ďalších pásiem (LH, HL). Ak vodoznak stále nie je detekovaný, tak sa DWT opakuje a celý ďalší postup tiež, až kým nedôjde k nájdeniu vodoznaku. Všetky vzorce boli použité z literatúry [5].

Metódy využívajúce SVD (Singular Value Decomposition)

Táto metóda je založená na jednoduchom rozklade matice na tri submatice. Tento poznatok je možné zapísať podľa nasledujúceho vzťahu [7]

$$A_{n \times p} = U_{n \times n} \cdot S_{n \times p} \cdot V_{p \times p}^T, \quad (2.12)$$

kde A je pôvodná matica, U a V sú ortogonálne matice a S je diagonálna matica. Hodnoty tejto matice sa nazývajú singulárne hodnoty matice A, hodnoty matice V sa nazývajú pravé singulárne vektory a hodnoty matice U ľavé singulárne vektory. Táto matematická operácia je využívaná u oboch metód vodoznačenia. Matica S je využitá priamo na vodoznačenie a matice U a V iba na spätné zloženie matice A.

3 HODNOTENIE KVALITY VYTIAHNUTÉHO VODOZNAKU

Pre hodnotenie kvality vytiahnutého vodoznaku, prípadne označeného obrázku poznáme niekoľko vzťahov, ktoré sú uvedené nižšie [5].

Priemerná absolútna odlišnosť (average absolute difference):

$$AD = \frac{1}{XY} \sum_{x,y} |p_{x,y} \tilde{p}_{x,y}|. \quad (3.1)$$

Priemerná kvadratická chyba (mean squared error):

$$MSE = \frac{1}{XY} \sum_{x,y} (p_{x,y} \tilde{p}_{x,y})^2. \quad (3.2)$$

Odstup signálu od šumu (signal-to-noise ratio):

$$SNR = \sum_{x,y} \frac{p_{x,y}^2}{\sum_{x,y} (p_{x,y} \tilde{p}_{x,y})^2}. \quad (3.3)$$

Najvyšší odstup signálu od šumu (peak signal-to-noise ratio):

$$PSNR = \frac{XY \max_{x,y} p_{x,y}^2}{\sum_{x,y} (p_{x,y} \tilde{p}_{x,y})^2}. \quad (3.4)$$

Vo všetkých týchto rovniciach je $p_{x,y}$ hodnota pôvodného pixelu a $\tilde{p}_{x,y}$ hodnota zmeneného pixelu.

Medzi najpoužívanejšie hodnotenia kvality, patrí vypočítanie MSE a PSNR. MSE reprezentuje priemernú druhú mocninu rozdielov, medzi pôvodným a vybratým vodoznakom. PSNR na rozdiel od MSE, vyjadruje pomer medzi najvyššou hodnotou signálu voči priemernej druhej odmocnine šumu zisteného medzi pôvodným a vybratým vodoznakom. PSNR sa spolu so SNR vyjadruje v decibeloch, na ktoré sa výsledok prepočíta pomocou jednoduchého vzťahu

$$(P)SNR [dB] = 10 \log((P)SNR). \quad (3.5)$$

Pre overenie výsledného vytiahnutého vodoznaku je v tejto práci použitý výpočet normalizovanej kros korelácie (ďalej len NCC - normalized cross-correlation), ktorej vzťah je

$$NCC = \frac{\sum p_{x,y} \tilde{p}_{x,y}}{\sum p_{x,y}^2}. \quad (3.6)$$

Všetky tieto metódy merania odlišnosti vodoznakov nie sú ekvivalentné k ľudskému metrickému systému. Preto sa v súčasnosti veľa výskumov zameriava na vylepšovanie týchto metód a možno sa v budúcnosti dočkáme dokonalého metrického systému porovnateľného s tým ľudským [5].

4 POPIS VYBRANÝCH METÓD VODOZNAČENIA

V tejto práci sú rozoberané dve metódy vodoznačenia, ktoré sú navzájom porovnávané. Ako už bolo povedané sú to metódy, ktoré používajú DCT a DWT a spoločné pre obe je použitie SVD. V ďalších kapitolách je vysvetlený postup jednotlivých metód.

4.1 Métóda digitálneho vodoznačenia využívajúca DWT a SVD

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcich kapitolách, 2D DWT, teda dvojdimenzionálna diskretná vlnková transformácia rozdelí obrázok na 4 subpásma – LL, HL, LH a HH (obr. 2.4). Pri používaní čisto DWT vodoznačenia dochádza k zmene koeficientov iba v subpásmach HL, LH a HH. Pri použití čisto SVD metódy je vložený vodoznak do celého obrázku. Je dôležité vedieť, že pri SVD vodoznačení singularne hodnoty špecifikujú jas v obrázku, zatiaľ čo odpovedajúce páry singularných hodnôt špecifikujú symetriu obrázku. Najdôležitejšou vlastnosťou SVD vodoznačenia je predpoklad, že takto vytvorené vodoznaky sú veľmi odolné. Spojenie týchto dvoch metód preto predpokladá veľmi odolný spôsob vodoznačenia.

4.1.1 Postup vkladania vodoznaku

Postup vkladania vodoznaku môžeme zhrnúť v pár bodoch [3] (Pod každým bodom je napísaný použitý príkaz v programe Matlab [9]):

1. Rozklad obrázku na 4 subpásma pomocou 2D DWT, vznik subpásmami CA, CH, CV, CD.

```
[CA,CH,CV,CD] = dwt2(a1,'db1');
```

2. Rozklad vzniknutej matice pomocou SVD v každom subpásme.

```
[U,S,V] = svd(CA,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(CH,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(CV,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(CD,'econ');
```

3. Rozklad matice vodoznaku pomocou SVD.

```
[U,S,V] = svd(wm1,'econ');
```

4. Modifikácia singulárnych hodnôt v matici S označovaného obrázku pomocou vzorca

$$\lambda_i^{*k} = \lambda_i^k + \alpha \lambda_{wi}, \quad (4.1)$$

kde

λ sú koeficienty matice S, $i = 1, \dots, n$ a $k = 1, 2, 3, 4$

v závislosti na zvolenom subpásme.

```
k=0.05; //koeficient  $\lambda$  v subpásme CA  
l=0.005; //koeficient  $\lambda$  v ostatných subpásmach
```

```
S1mod=S1+k*Sw;  
S2mod=S2+l*Sw;  
S3mod=S3+l*Sw;  
S4mod=S4+l*Sw;
```

5. Spätná SVD, teda spätne zloženie pôvodného obrázku so zmenenými koeficientami λ_i^{*k} .

```
CAvysled=U1*S1mod*V1';  
CHvysled=U2*S2mod*V2';  
CVvysled=U3*S3mod*V3';  
CDvysled=U4*S4mod*V4';
```

6. Inverzná DWT modifikovaného, teda označeného obrázku.

```
vysledna = idwt2(CAvysled,CHvysled,CVvysled,CDvysled,'db1');
```

4.1.2 Postup vytiahnutia vodoznaku

1. Rozklad označeného obrázku na 4 subpásma pomocou 2D DWT.

```
[CAoznac,CHoznac,CVoznac,CDoznac] = dwt2(a1,'db1');
```

2. Rozklad vzniknutej matice pomocu SVD v každom subpásme.

```
[U,S,V] = svd(CAoznac,'econ');  
[U,S,V] = svd(CHoznac,'econ');  
[U,S,V] = svd(CVoznac,'econ');  
[U,S,V] = svd(CDoznac,'econ');
```

3. Extrakcia singulárnych hodnôt z každého subpásma vzorcom

$$\lambda_w^{*k} = (\lambda_i^{*k} - \lambda_i^k) / \alpha_k, \quad (4.2)$$

kde

$$i = 1, \dots, n \text{ a } k = 1, 2, 3, 4$$

v závislosti na zvolenom subpásme.

```
k=0.05;  
l=0.005; //rovnačé hodnoty ako pri vkladani vodoznaku
```

```
Swe1=(S1oznac-S1)/k;  
Swe2=(S2oznac-S2)/l;  
Swe3=(S3oznac-S3)/l;  
Swe4=(S4oznac-S4)/l;
```

4. Spätná konštrukcia 4 vodoznakov z každého pásma pomocou spätnej SVD.

```
CAvysledw1=Uw*Swe1*Vw';  
CHvysledw1=Uw*Swe2*Vw';  
CVvysledw1=Uw*Swe3*Vw';  
CDvysledw1=Uw*Swe4*Vw';
```

4.2 Metóda digitálneho vodoznačenia využívajúca DCT a SVD

Metóda, ktorá bude v tejto podkapitole rozoberaná je odvodená z metódy DWT-SVD, ale namiesto DWT je použitá DCT transformácia. Pri použití DCT vo vodoznačení, je obrázok rozdelený na bloky 8×8 pixelov a na týchto blokoch je prevedená 2D DCT. V takýchto typoch vodoznačenia sa koeficienty získané po 2D DCT menia na základe istej podmienky, napr. vymenenie niektorých koeficientov ako to je u

metódy Koch & Zao. V našom prípade, sa ale 2D DCT bude aplikovať na celý vodoznačený obrázok. Aby sa zachovala myšlienka rozdelenia do 4 subpásiem, ako je to u DWT-SVD, tak je takto označený obrázok rozdelený na 4 časti (bližšie v postupe vkladania vodoznaku). Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcej časti, je SVD metóda veľmi odolná a preto aj v metóde DCT-SVD môžeme očakávať vynikajúce výsledky. Všetky vzorce v tejto kapitole boli prevzaté z [6].

4.2.1 Postup vkladania vodoznaku

1. Aplikácia 2D DCT do celého obrázku.

```
B=dct2(a);
```

2. Rozklad koeficientov na 4 subpásma podľa obrázku 4.1.

```
C=zigzag(B);
```

```
B1=C(1:65536);
```

```
B2=C(65537:131072);
```

```
B3=C(131073:196608);
```

```
B4=C(196609:262144);
```

3. Rozklad matice 4 subpásiem pomocou SVD.

```
[U,S,V] = svd(matak1,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matak2,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matak3,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matak4,'econ');
```

4. Aplikácia 2D DCT do vodoznaku.

```
wm1=dct2(wm);
```

5. Aplikácia SVD na koeficienty vzniknuté po 2D DCT vodoznaku.

```
[U,S,V] = svd(wm1,'econ');
```

6. Modifikácia singulárnych hodnôt v matici S označovaného obrázku pomocou vzorca

$$\lambda_i^{*k} = \lambda_i^k + \alpha \lambda_{wi}, \quad (4.3)$$

kde

λ sú koeficienty matice S , $i = 1, \dots, n$ a $k = 1, 2, 3, 4$

v závislosti na zvolenom subpásme.

```
m=0.25;  
n=0.01; // koeficienty, ktoré sú potrebné pre modifikáciu  
  
mod1=S1+m*Cw;  
mod2=S2+n*Cw;  
mod3=S3+n*Cw;  
mod4=S4+n*Cw;
```

7. Inverzná SVD modifikovaných subpásiem.

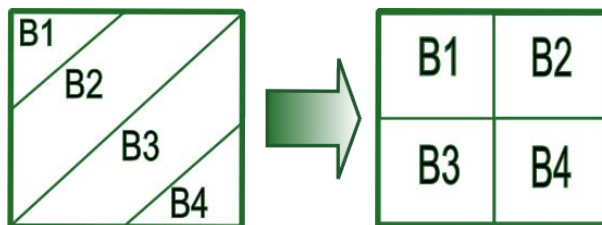
```
B1w=U1*mod1*V1';  
B2w=U2*mod2*V2';  
B3w=U3*mod3*V3';  
B4w=U4*mod4*V4';
```

8. Spätne poskladanie DCT koeficientov na ich pôvodné miesta.

```
Bwdct=[B1wdct B2wdct B3wdct B4wdct];  
kondct=izigzag(Bwdct,512,512);
```

9. Inverzná 2D DCT \Rightarrow vznik označeného obrázku.

```
kon=idct2(kondct);
```



Obr. 4.1: Spôsob rozdelenia obrázku na 4 subpásma

4.2.2 Postup vytiahnutia vodoznaku

1. Aplikácia 2D DCT označeného obrázku.

```
E=dct2(vyslednaDCT);
```

2. Rozklad na 4 subpásma ako v predchádzajúcom prípade.

```
Ez=zigzag(E);
```

```
E1=Ez(1:65536);
```

```
E2=Ez(65537:131072);
```

```
E3=Ez(131073:196608);
```

```
E4=Ez(196609:262144);
```

3. Aplikácia SVD na každý kvadrant (subpásma).

```
[U,S,V] = svd(matakW1,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matakW2,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matakW3,'econ');
```

```
[U,S,V] = svd(matakW4,'econ');
```

4. Extrakcia singulárnych hodnôt z každého subpásma vzorcom

$$\lambda_w^{*k} i = (\lambda_i^{*k} - \lambda_i^k) / \alpha_k, \quad (4.4)$$

kde

$$i = 1, \dots, n \text{ a } k = 1, 2, 3, 4$$

v závislosti na zvolenom subpásme.

```
m=0.25;
```

```
n=0.01; // koeficienty, ktoré sú potrebné pre modifikáciu
```

```
CEw1=(SE1-S1)/m;
```

```
CEw2=(SE2-S2)/n;
```

```
CEw3=(SE3-S3)/n;
```

```
CEw4=(SE4-S4)/n;
```

5. Inverzná 2D DCT \Rightarrow vytiahnutie 4 vodoznakov (v každom subpásme jeden vodoznak).

$$F1=Uw*CEw1*Vw';$$

$$F2=Uw*CEw2*Vw';$$

$$F3=Uw*CEw3*Vw';$$

$$F4=Uw*CEw4*Vw';$$

$$W1=idct2(F1);$$

$$W2=idct2(F2);$$

$$W3=idct2(F3);$$

$$W4=idct2(F4);$$

5 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

5.1 Prevedené útoky

Aby sme zistili, či je daná metóda vodoznačenia vyhovujúca, alebo postačujúca na naše nároky, prevedieme na danom obrázku bežné útoky pomocou programu Checkmark [8]. Útoky v tomto programe môžeme rozdeliť do niekoľkých kategórií:

- Denoising (odšumovanie):
 - Wienerov filter.
 - Prahovanie.
 - Gausovské rozostrenie.
 - Median, midpoint a trimmed mean filtrovanie.

Wienerov filter, tvrdé a mäkké prahovanie, sú považované za MAP (Maximum a posteriori) odhad odpovedajúci Gaussovému a Laplacovému obrázku. Prahovanie spôsobuje, že obrázok je konvertovaný zo stupňov šedi na čierno-biely obrázok. Oproti tomu stojí median, midpoint a trimmed mean filtrovanie, ktoré je považované za ML (Maximum likelihood) odhad.

- Denoising and remodulation (odšumovanie a remodulácia):
 - DPR útoky.

DPR útoky prevádzajú odšumenie a remoduláciu s predpokladom korelovaného vodoznaku.

- Kompresné útoky:
 - JPEG.
 - Vlnková transformácia.

5.2 Nameraná NCC u metódy DWT-SVD

Hodnoty sú priemerom NCC 4 rôznych obrázkov, do ktorých bol vložený rovnaký vodoznak.

Tab. 5.1: Výsledné hodnoty NCC u metódy DWT-SVD.

útok	NCC	útok	NCC
rozptýlenie	0,03	median filter3	0,71
dpr1	0,82	midpoint1	0,53
dpr2	0,61	midpoint2	0,21
dprcorr1	0,85	sample down up1	0,88
dprcorr2	0,65	sample down up2	0,75
gaussian1	0,99	horná priepusť	0,22
gaussian2	0,99	mäkké prahovanie1	0,70
tvrdé prahovanie1	0,88	mäkké prahovanie2	0,63
tvrdé prahovanie 2	0,70	prahovanie	0,03
JPEG10	0,93	trimmed mean filter1	0,80
JPEG15	0,96	trimmed mean filter2	0,38
JPEG25	0,94	wavelet10	0,59
JPEG30	0,98	wavelet20	0,75
JPEG40	0,98	wavelet30	0,85
JPEG50	0,93	wavelet40	0,85
JPEG60	0,97	wavelet50	0,90
JPEG75	0,99	wavelet60	0,91
JPEG80	0,99	wavelet80	0,93
JPEG85	0,99	wavelet150	0,98
JPEG90	0,99	wavelet350	0,99
JPEG100	0,99	wavelet800	0,99
median filter1	0,94	wiener1	0,92
median filter2	0,88	wiener2	0,74

5.3 Nameraná NCC u metódy DCT-SVD

Rovnako ako v predchádzajúcej tabulke aj v tejto sú hodnoty priemerom 4 vodoznačených obrázkov.

Tab. 5.2: Výsledné hodnoty NCC u metódy DCT-SVD.

útok	NCC	útok	NCC
rozptýlenie	0,73	median filter3	0,96
dpr1	0,99	midpoint1	0,93
dpr2	0,96	midpoint2	0,83
dprcorr1	1,00	sample down up1	1,00
dprcorr2	0,96	sample down up2	1,00
gaussian1	1,00	horná priepusť	0,66
gaussian2	1,00	mäkké prahovanie1	0,98
tvrdé prahovanie1	1,00	mäkké prahovanie2	0,97
tvrdé prahovanie 2	0,98	prahovanie	0,24
JPEG10	0,99	trimmed mean filter1	0,98
JPEG15	1,00	trimmed mean filter2	0,88
JPEG25	0,99	wavelet10	0,91
JPEG30	1,00	wavelet20	0,95
JPEG40	1,00	wavelet30	0,97
JPEG50	0,99	wavelet40	0,97
JPEG60	1,00	wavelet50	0,97
JPEG75	1,00	wavelet60	0,98
JPEG80	1,00	wavelet80	0,98
JPEG85	1,00	wavelet150	0,99
JPEG90	1,00	wavelet350	1,00
JPEG100	1,00	wavelet800	1,00
median filter1	1,00	wiener1	1,00
median filter2	0,99	wiener2	0,98

5.4 Zhrnutie výsledkov

Na vodoznačených obrázkoch boli prevedené útoky popísané v kapitole 5.1. Pre lepší výsledok boli útoky prevedené na 4 rôznych obrázkoch, do ktorých bol vložený rovnaký vodoznak. Ukážku týchto útokov môžeme vidieť v prílohe. Po prevedení útokov bol extrahovaný vodoznak porovnávaný s vodoznakom vkladávaným pomocou NCC (normalized cross correlation), ktorá bola počítana iba v subpásme B1, kvôli zlej viditeľnosti vodoznakov v ostatných subpásmach, teda tieto vodoznaky boli zničené. Z toho dôvodu je podľa môjho názoru vhodné vkladať obrázok iba do tohoto subpásma. Hodnota tejto NCC by mala byť z intervalu $< 0, 1 >$, pričom číslo 1 značí zhodu pixelov. Vypočítame ju ako podiel sumy násobenia pixelu pôvodného vodoznaku a vytiahnutého vodoznaku a sumy kvadrátu pixelu pôvodného vodoznaku (vzťah vid' kapitolu 3). V niektorých prípadoch môže toto číslo presahovať hodnotu 1, čo ale nie je správne. Vysvetlenie je jednoduché. Pokiaľ máme napríklad pôvodný pixel čierny, čo je číslo 1 a po útoku sa zmení na biely, čo je číslo 255, tak výsledný vzťah bude

$$\text{NCC} = \frac{1 \cdot 255}{1^2} = 255, \quad (5.1)$$

čo je číslo väčšie ako 1. Takýto príklad ukazuje obrázok 5.2 po útoku (obr. 5.1). Pre odstránenie tohoto javu je dôležité oba porovnávané obrázky dostať do rovnakej energetickej hladiny. To môžeme uskutočniť podľa vzorca

$$X = \frac{E_x}{E'_x}, \quad (5.2)$$

kde E_x je energia pôvodného vodoznaku, E'_x je energia vytiahnutého vodoznaku a X je konštanta, pomocou ktorej dané obrázky dostaneme do rovnakej energetickej hladiny. Jednotlivé energie sú vypočítané podľa vzorca

$$E_x = \sum p_{x,y}^2. \quad (5.3)$$

Po vypočítaní energií a konštanty X prevedieme vytiahnutý vodoznak do rovnakej energetickej hladiny ako vodoznak vkladávaný, vynásobením jednotlivých pixelov hodnotou konštanty X .

Ako sme predpokladali u metódy DWT-SVD vložený vodoznak bol veľmi odolný. Hranicu NCC, kedy môžeme vodoznak ešte pokladať za čitateľný, teda je zaručená odolnosť vodoznaku, ako prvá vlastnosť z troch v obrázku 1.1, bola zvolená na číslo 0,75. Túto hranicu spĺňa 32 zo 46 vytiahnutých vodoznakov. Najviac odolné vodoznaky boli pri útokoch JPEG kompresiou a vlnkovou transformáciou, naopak najmenej odolné boli vodoznaky pri útokoch rozptýlením a prahovaním, teda odolnosť vyšla podľa predpokladov.



Obr. 5.1: Útok prahovania



Obr. 5.2: Vytiahnuté vodoznaky z tohoto obrázku

U metódy DCT-SVD boli výsledky o niečo lepšie. U tohoto typu vodoznačenia pri rovnakej hranici, spĺňalo túto hodnotu až 44 zo 46 vytiahnutých vodoznakov. Hodnota menšia tejto hranici vyšla iba v prípade rozptýlenia a prahovania. Aj v týchto prípadoch bol vodoznak čitateľný ale s väčšími problémami.

Môžeme teda povedať, že lepšou metódou je jednoznačne DCT-SVD, ktorá mala hodnoty NCC podobné tým z metódy DWT-SVD, ale posunuté na prijateľnejšiu hranicu.

Ďalšou podmienkou z Vennovho diagramu je nepostrehnuteľnosť. Tá bola splnená stopercentne. Ukazuje to aj nasledujúci obrázok.



Obr. 5.3: Pôvodný obrázok



Obr. 5.4: Vodoznačený obrázok

Poslednou podmienkou z Vennovho diagramu bola bezpečnosť a myslím, že náročnosť algoritmu potvrdzuje aj túto poslednú podmienku.

Tým, že boli splnené všetky tri podmienky, je jasné, že obe metódy vkladania vodoznaku sú algoritmami pre vkladanie kvalitného vodoznaku.

6 ZÁVER

Témou tejto práce je digitálne vodoznačenie. Práca je rozdelená na tri hlavné časti. V prvej časti je teoreticky rozobraté digitálne vodoznačenie spolu s niekoľkými termínmi. V ďalšej časti nájdeme popis rôznych metód vodoznačenia, ktoré je možné rozdeliť podľa rôznych kritérií. Jedným z nich je aj rozdelenie podľa oblastí vkladania vodoznaku, ktoré môžu byť: parametrická, frekvenčná a časová. Keďže témou tejto práce je vodoznačenie vo frekvenčnej oblasti, tak v ďalších častiach práce je popis už iba metód vodoznačenia v tejto oblasti. V praktickej a teda poslednej časti práce su porovnavané dve metódy vodoznačenia a to metóda využívajúca DWT (vlnková transformácia) a metóda využívajúca DCT (kosínusová transformácia). Spoločným znakom pre obe metódy je použitie SVD (rozklad na singulárne hodnoty). Výsledok tohoto porovnávanía vyšiel približne podľa predpokladov a teda, metóda DWT-SVD má postačujúce výsledky v 32 prípadoch zo 46. Vodoznak bol odolný hlavne pri útokoch kompresiou JPEG a vlnkovou transformáciou. Druhá z metód, teda DCT-SVD má ešte lepšie výsledky. Vodoznaky vložené touto metódou boli odolné v 42 zo 46 zaútočených obrázkoch. Vodoznak vo zvyšných dvoch bol taktiež rozpoznateľný ale s menšími problémami. Vďaka týmto výsledkom je možné povedať, že jednoznačne lepšou metódou vodoznačenia je DCT-SVD.

LITERATÚRA

- [1] BARNI, M., BARTOLINI, F. *Watermarking Systems Engineering: Enabling Digital Assets Security and Other Applications*. New York: Marcel Dekker, 2004. ISBN: 0-8247-4806-9.
- [2] ČANDÍK, M. *Bezpečnosť informačných systémov, steganografia a digitálna vodotlač*. Ostrava: s. n., 2005. ISBN: 80-239-5662-X.
- [3] GANIC, E., ESKICIOGLU A. M. *Robust DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data in All Frequencies*.
- [4] CHUN-SHIEN, L. *Multimedia Security: Steganography and Digital Watermarking Techniques for Protection of Intellectual Property*. Hershey: Idea Group Publishing, 2004. ISBN: 1-59140-275-1.
- [5] KATZENBEISSER, S., PETITCOLAS, F. A. P. *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*. Boston: Artech House Publishers, 2000. ISBN: 1-58053-111-3.
- [6] SVERDLOV, A., DEXTER, S., ESKICIOGLU A. M. *Robust DCT-SVD domain image watermarking for copyright protection: Embedding data in all frequencies*.
- [7] *Singular Value Decomposition(SVD) tutorial* [online].
Dostupné z: http://web.mit.edu/be.400/www/SVD/Singular_Value_Decomposition.htm.
- [8] VOLOSHYNOVSKIY, S., PEREIRA, S. *Second generation benchmarking and application oriented evaluation In Information Hiding Workshop* [počítačový program]. Ver. 1.2. [USA], 2001.
Dostupné z: <http://watermarking.unige.ch/Checkmark/>.
- [9] The MathWorks, Inc. *Matlab* [počítačový program]. Ver. R2006a. [USA], 2005.
Dostupné z: <http://www.mathworks.com/>.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

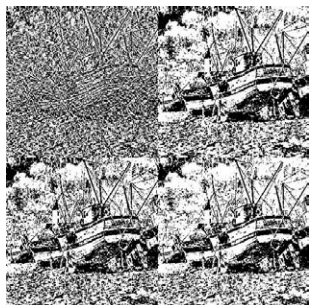
- AD priemerná absolútna odlišnosť - Average Absolute Difference
- DCT diskretná kosínusová transformácia - Discrete Cosine Transformation
- dpr útok - denoising followed by perceptual remodulation
- dprcorr útok - denoising and remodulation assuminng correlated watermark
- DWT diskretná vlnková transformácia - Discrete Wavelet Transformation
- E_k blok vodoznačenia
- hardthresh tvrdé prahovanie
- HP1 horná priepusť
- JPEG Joint Photographic Experts Group
- LSB Last Significient Bit
- MAP odhad pravdepodobnosti - Maximum a posteriori
- ML odhad pravdepodobnosti - Maximum likelihood
- MPEG Motion Picture Experts Group
- MSE priemerná kvadratická chyba - Mean Squared Error
- NCC normalizovaná kros korelácia - Normalized Cross-Correlation
- PSNR maximálny odstup signálu od šumu - Peak Signal-to-Noise Ratio
- sampleDU podvzorkovanie a nadvzorkovanie - sample down up
- SNR odstup signálu od šumu - Signal-to-Noise Ratio
- soft thresh mäkké prahovanie - soft thresh soft thresh
- SVD rozklad na singulárne hodnoty - Singular Value Decomposition
- thresh prahovanie - thresh

ZOZNAM PRÍLOH

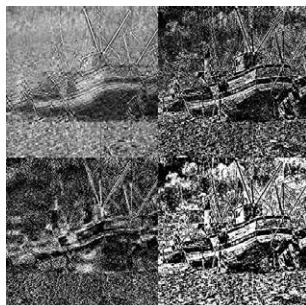
A Prvá príloha	48
B Druhá príloha	52

A PRVÁ PRÍLOHA

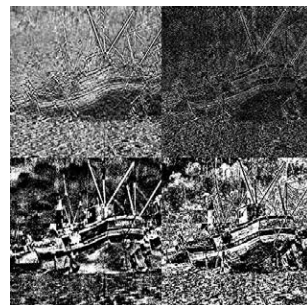
V prvej prílohe sú vytiahnuté vodoznaky po metóde DWT-SVD. Názvy obrázkov sú zhodné s názvami útokov. Úplný komplet obrázkov je na priloženom CD.



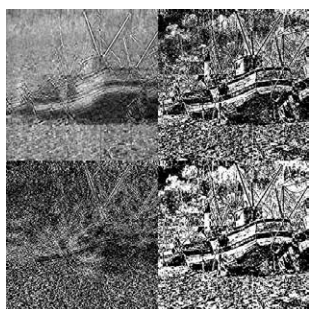
Obr. A.1: Rozptýlenie



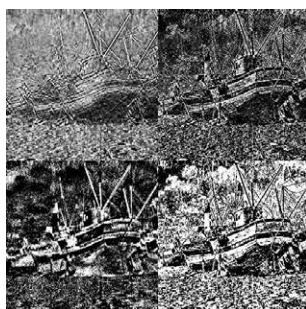
Obr. A.2: dpr 1



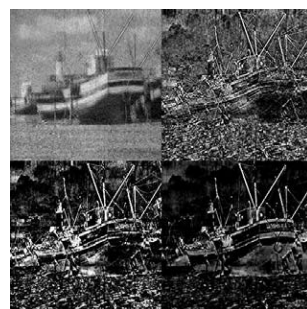
Obr. A.3: dpr 2



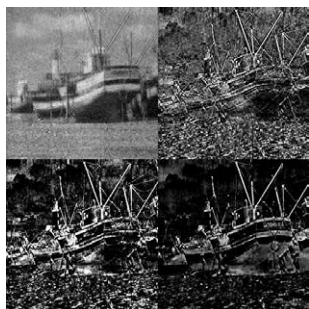
Obr. A.4: dprcorr 1



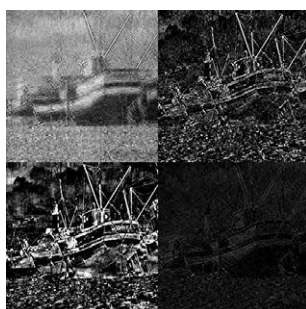
Obr. A.5: dprcorr 2



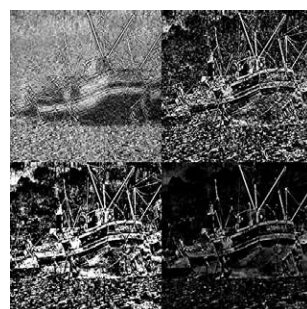
Obr. A.6: gaussian 1



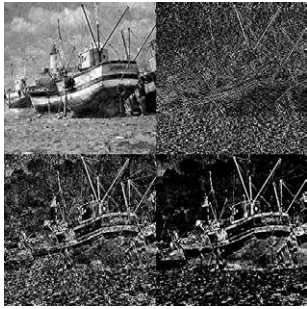
Obr. A.7: gaussian 2



Obr. A.8: hardthresh 1



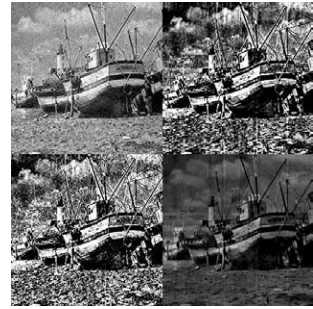
Obr. A.9: hardthresh 2



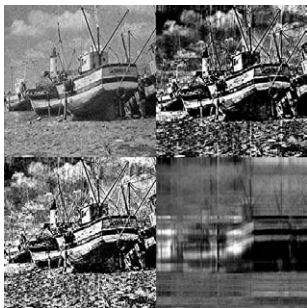
Obr. A.10: JPEG 10



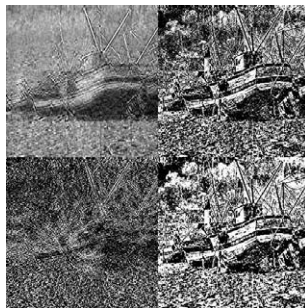
Obr. A.11: JPEG 15



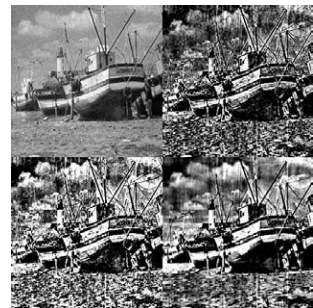
Obr. A.12: JPEG 25



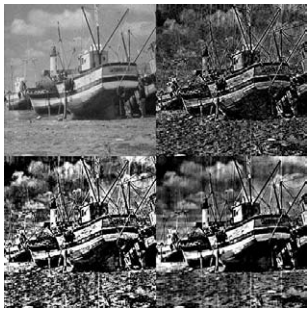
Obr. A.13: JPEG 30



Obr. A.14: JPEG 40



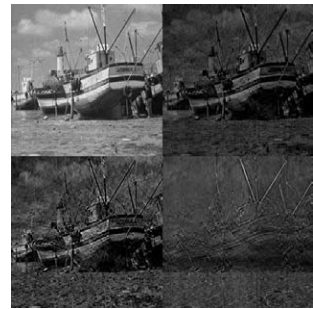
Obr. A.15: JPEG 50



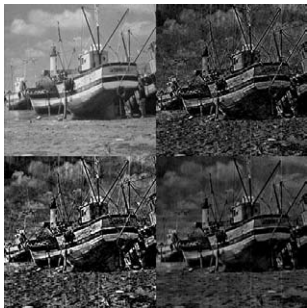
Obr. A.16: JPEG 60



Obr. A.17: JPEG 75



Obr. A.18: JPEG 80



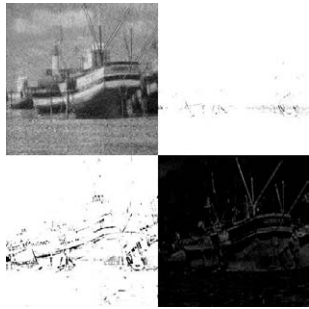
Obr. A.19: JPEG 85



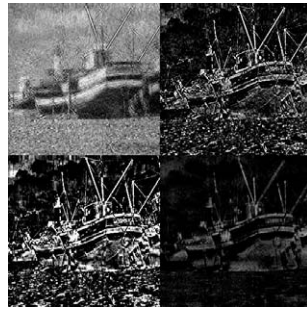
Obr. A.20: JPEG 90



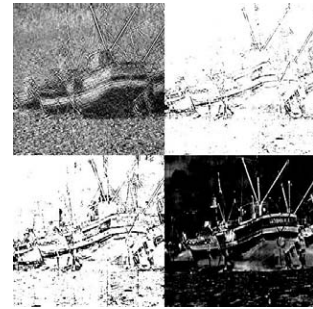
Obr. A.21: JPEG 100



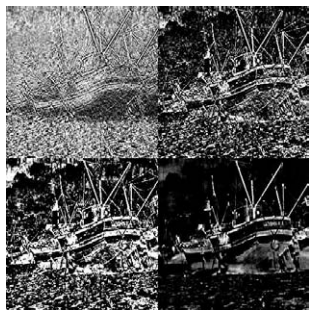
Obr. A.22: medfilt 1



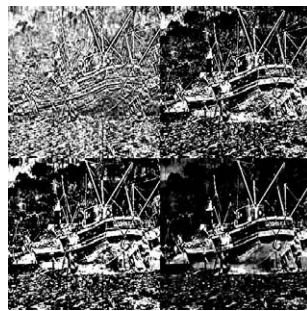
Obr. A.23: medfilt 2



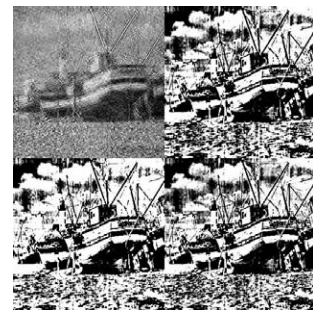
Obr. A.24: medfilt 3



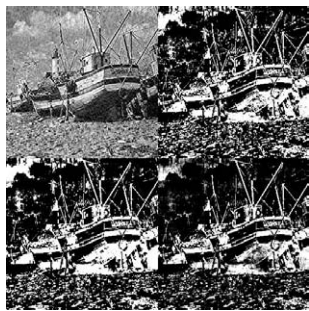
Obr. A.25: midpoint 1



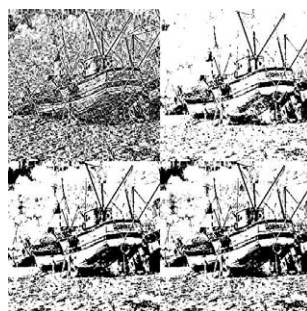
Obr. A.26: midpoint 2



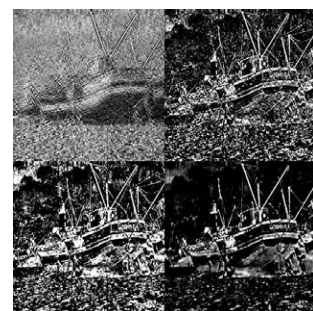
Obr. A.27: sampleDU 1



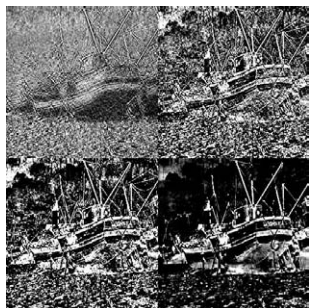
Obr. A.28: smapleDU 2



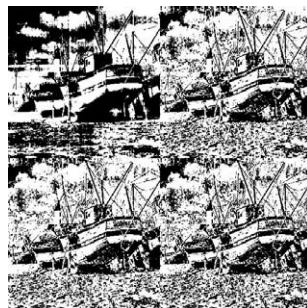
Obr. A.29: HP1



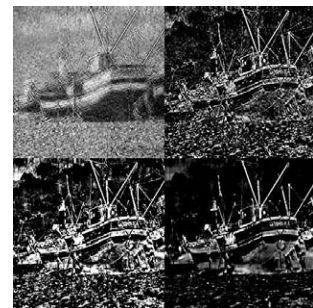
Obr. A.30: soft thresh 1



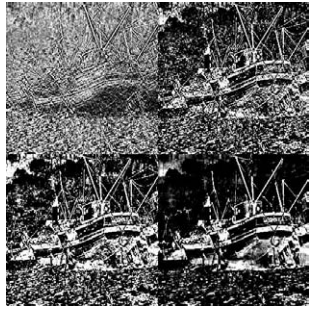
Obr. A.31: softthresh 2



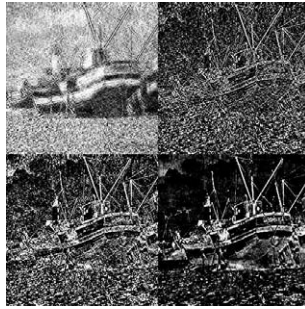
Obr. A.32: thresh



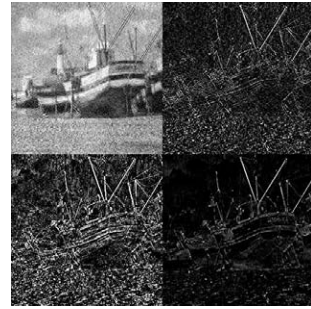
Obr. A.33: trimMEAN 1



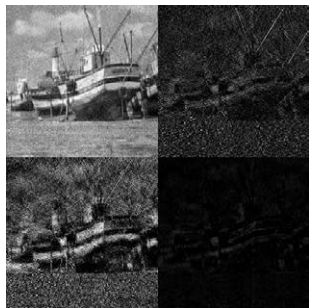
Obr. A.34: trimMEAN 2



Obr. A.35: wavelet 10



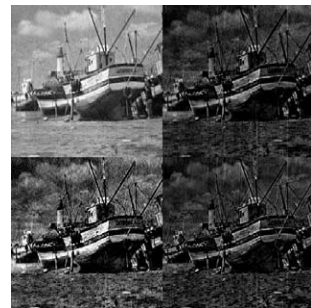
Obr. A.36: wavelet 20



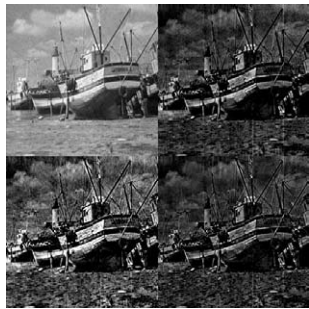
Obr. A.37: wavelet 30



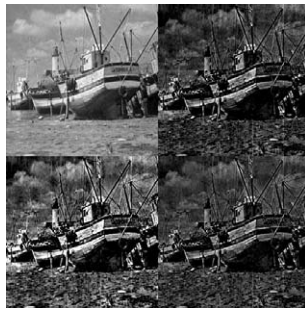
Obr. A.38: wavelet 40



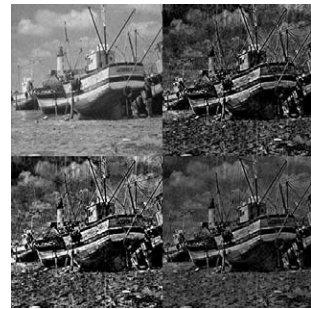
Obr. A.39: wavelet 50



Obr. A.40: wavelet 60



Obr. A.41: wavelet 80



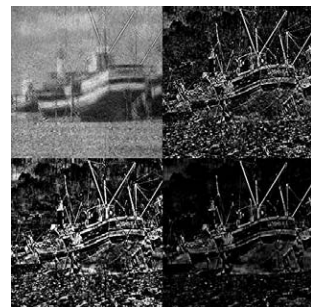
Obr. A.42: wavelet 150



Obr. A.43: wavelet 350



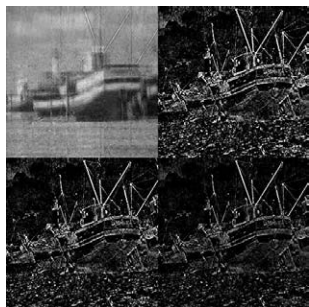
Obr. A.44: wavelet 800



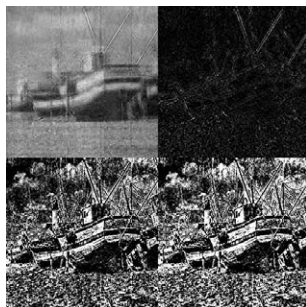
Obr. A.45: Wiener1

B DRUHÁ PRÍLOHA

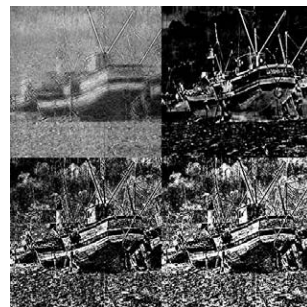
V druhej prílohe sú priložené vytiahnuté vodoznaky po metóde DCT-SVD. Názvy obrázkov sú rovnaké ako v prvej kapitole. Všetky obrázky sú opäť na priloženom CD.



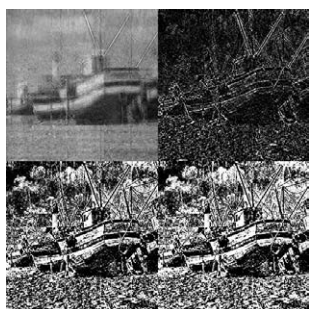
Obr. B.1: Rozptýlenie



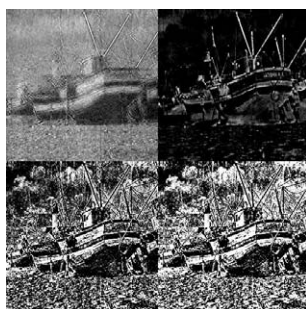
Obr. B.2: dpr 1



Obr. B.3: dpr 2



Obr. B.4: dprcorr 1



Obr. B.5: dprcorr 2



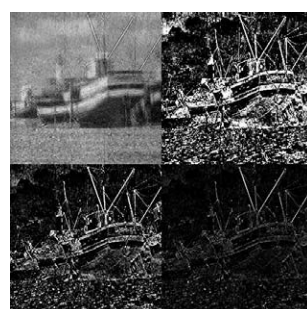
Obr. B.6: gaussian 1



Obr. B.7: gaussian 2



Obr. B.8: hardthresh 1



Obr. B.9: hardthresh 2



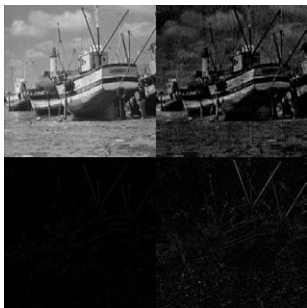
Obr. B.10: JPEG 10



Obr. B.11: JPEG 15



Obr. B.12: JPEG 25



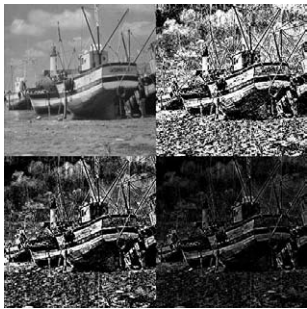
Obr. B.13: JPEG 30



Obr. B.14: JPEG 40



Obr. B.15: JPEG 50



Obr. B.16: JPEG 60



Obr. B.17: JPEG 75



Obr. B.18: JPEG 80



Obr. B.19: JPEG 85



Obr. B.20: JPEG 90



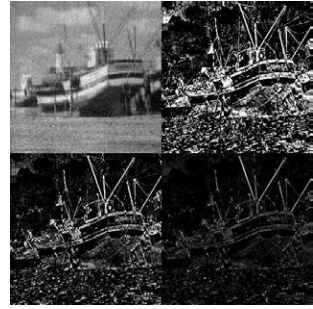
Obr. B.21: JPEG 100



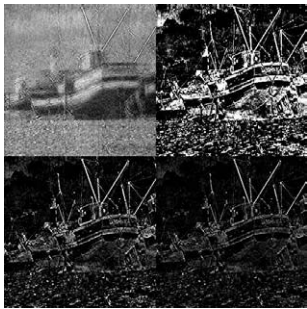
Obr. B.22: medfilt 1



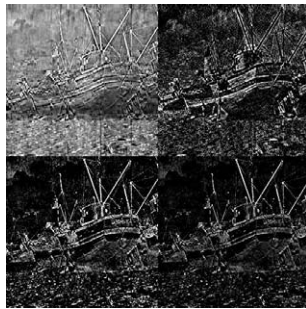
Obr. B.23: medfilt 2



Obr. B.24: medfilt 3



Obr. B.25: midpoint 1



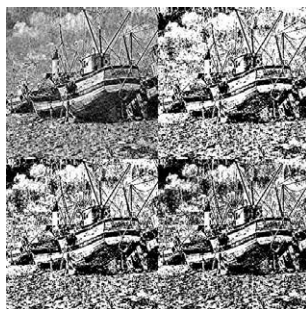
Obr. B.26: midpoint 2



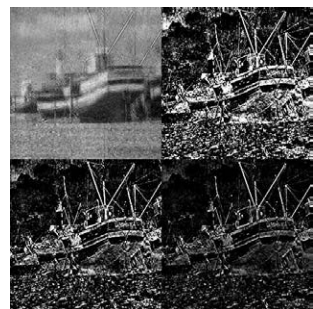
Obr. B.27: sampleDU 1



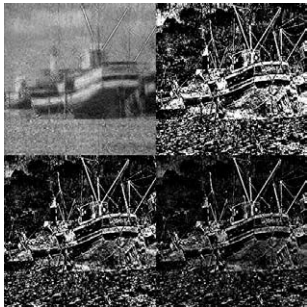
Obr. B.28: smapleDU 2



Obr. B.29: HP1



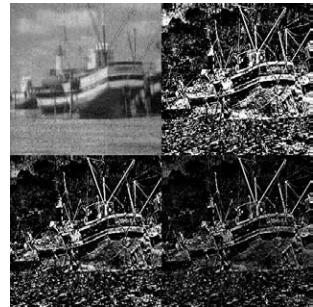
Obr. B.30: soft thresh 1



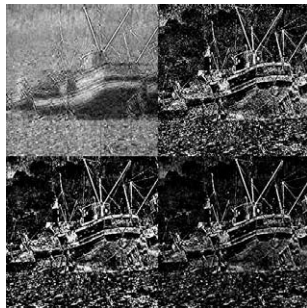
Obr. B.31: softthresh 2



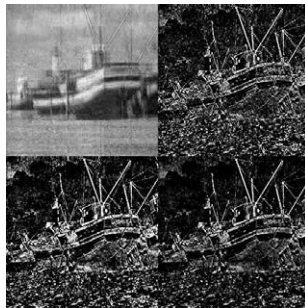
Obr. B.32: thresh



Obr. B.33: trimMEAN 1



Obr. B.34: trimMEAN 2



Obr. B.35: wavelet 10



Obr. B.36: wavelet 20



Obr. B.37: wavelet 30



Obr. B.38: wavelet 40



Obr. B.39: wavelet 50



Obr. B.40: wavelet 60



Obr. B.41: wavelet 80



Obr. B.42: wavelet 150



Obr. B.43: wavelet 350



Obr. B.44: wavelet 800



Obr. B.45: Wiener1