

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

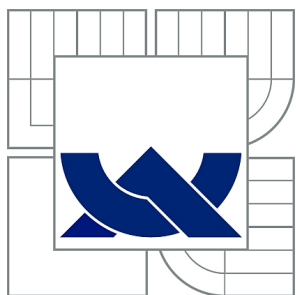
POKROČILÉ METODY PRO ZABEZPEČENÍ MULTIMEDIÁLNÍCH DAT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

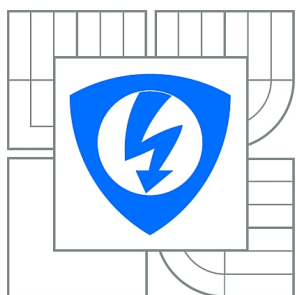
Bc. ONDŘEJ MIKULČÍK

BRNO 2014



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

POKROČILÉ METODY PRO ZABEZPEČENÍ MULTIMEDIÁLNÍCH DAT

ADVANCED METHODS TO MULTIMEDIA DATA PROTECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ MIKULČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR ČÍKA, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Ondřej Mikulčík

ID: 120930

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Pokročilé metody pro zabezpečení multimediálních dat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte, jaké jsou v současné době možnosti pro zabezpečení multimediálních dat proti zneužití. Zaměřte se na techniky vodoznačení digitálního obrazu. Navrhněte alespoň tři techniky pro zabezpečení digitálních obrazů, implementujte je a otestujte a výsledky porovnejte se současným stavem poznání. K návrhu můžete využít již známé techniky, které obohatte a zdokonalte. Výstupem práce bude mimo navržených technik i porovnání se současnými známými technikami. K porovnání použijte PSNR a NCC.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] LU, Chun-Shien. Multimedia security: steganography and digital watermarking techniques for protection of intellectual property. Hershey PA: Idea Group Publishing, c2005, viii, 255 p. ISBN 15-914-0193-3.

[2] COX, Ingemar J. Digital watermarking. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2002, 542 s. ISBN 15-586-0714-5.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Petr Číka, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Za účelem ochrany autorských práv multimediálních děl byly vyvinuty vodoznačící techniky, které vkládají neviditelný vodoznak do originálních dat. Cílem této diplomové práce bylo prozkoumat moderní techniky vodoznačení, vybrat tři a ty realizovat. Dále je otestovat, zhodnotit jejich vlastnosti a ty případně vylepšit. Všechny metody vkládají vodoznak do jasové složky barevného původního obrazu a pracují s binárním, nebo šedotónovým vodoznakem. Také všechny pracují ve frekvenční oblasti za použití diskrétní vlnkové transformace. Pro realizaci metod vznikl software „Vodoznačení“, který byl naprogramován v jazyku JAVA verze 7.

V první kapitole jsou popsány typy vodoznaků, obecný proces jejich vkládání a extrakce, systémy vodoznaků a důležité požadavky na vlastnosti vložených vodoznaků. Dále jsou zmíněny kvalitativní metody k jejich porovnávání a testování. Kapitola také obsahuje teoretický popis používaných transformací a funkcí. V druhé kapitole je popsáno uživatelské rozhraní vzniklého programu „Vodoznačení“. Kapitoly tři a čtyři obsahují teoretický popis realizovaných metod a postup realizace procesů vložení a vytažení vodoznaku. Také jsou zde rozebrány přesné postupy při testování, ukázka použitých dat a v neposlední řadě výsledky přehledně zobrazené v tabulkách. V páté kapitole jsou podrobně diskutovány výsledky dosažené při testování robustnosti vodoznaku za využití programu StirMark. V závěru práce jsou poté zhodnoceny výhody a nevýhody metod i parametrů kvality.

KLÍČOVÁ SLOVA

vodoznačení, vodoznak, DWT, SVD, útok, JAVA, StirMark, PSNR, NCC, SSIM

ABSTRACT

To protect the the copyright of multimedia works have been developed watermarking techniques, that insert an invisible watermark to the original data. The aim of this thesis was to explore modern watermarking techniques, choose three of them and realize them. Also test them, evaluate their properties and possibly improve them. All methods insert a watermark into luminance component of the original image, and work with binary or black and white watermark. All techniques work in the frequency domain using discrete wavelet transform. For the implementation of methods, have been developed software named "Watermarking" that has been programmed in JAVA Version 7.

The first chapter describes the types of watermarks, the general process of insertion and extraction, watermarking systems and important feature requests of embedded watermarks. In addition, qualitative methods are mentioned for their comparisons and testing. The chapter also contains a theoretical description of the used transformations and functions. In the second chapter is described the user interface of the software "Watermarking". Chapters three and four contain a theoretical description of the implemented methods and description of implementation of insertion and extraction processes of the watermark. Also there are discussed the exact procedures for testing, the sample data, and the results which are clearly displayed in the tables. The fifth chapter discusses in detail the results obtained in testing the robustness of the watermark, using the software StirMark. In the conclusion are evaluated the advantages and disadvantages of methods and quality parameters.

KEYWORDS

watermarking, watermark, DWT, SVD, attack, JAVA, StirMark, PSNR, NCC, SSIM

MIKULČÍK, Ondřej *Pokročilé metody pro zabezpečení multimediálních dat*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013. 79 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Číka, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Pokročilé metody pro zabezpečení multimediálních dat“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Číkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Technická 12, CZ-61600 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

1	Techniky vodoznačení obrazových dat	14
1.1	Úvod	14
1.2	Typy vodoznaků	14
1.3	Formální přepis vodoznačících procesů	15
1.4	Obecný proces vkládání a extrakce vodoznaku	16
1.5	Systémy vodoznaků	17
1.6	Požadavky na digitální vodoznak	18
1.7	Oblasti vhodné k vložení vodoznaku	19
1.8	Typy útoků na vodoznak	20
1.9	Kvalitativní hodnocení vodoznačených dat	21
1.10	Diskrétní vlnková transformace	23
1.11	Singulární dekompozice	25
1.12	Arnoldova transformace	27
1.13	Funkce XOR	27
1.14	Možnosti testování robustnosti vodoznaku	28
2	Praktická realizace	29
2.1	Použití programu Vodoznačení	30
2.2	Popis struktury programu	32
3	Metody pro vkládání binárních vodoznaků	33
3.1	Teoretický popis metody BIN-DWT-LSB	33
3.1.1	Proces vložení vodoznaku	33
3.1.2	Proces extrakce vodoznaku	35
3.2	Testování metody BIN-DWT-LSB	36
3.3	Teoretický popis metody BIN-DWT	40
3.3.1	Proces vložení vodoznaku	40
3.3.2	Proces extrakce vodoznaku	41
3.4	Testování metody BIN-DWT	42
3.5	Teoretický popis metody BIN-DWT-SVD	44
3.5.1	Proces vložení vodoznaku	44
3.5.2	Proces extrakce vodoznaku	45
3.6	Testování metody BIN-DWT-SVD	46
4	Metody pro vkládání šedotónových vodoznaků	49
4.1	Teoretický popis metody SHARE-DWT	49
4.1.1	Proces vložení vodoznaku	49

4.1.2	Proces extrakce vodoznaku	51
4.2	Testování metody SHARE-DWT	52
4.3	Teoretický popis metody SHARE-DWT-SVD	56
4.3.1	Proces vložení vodoznaku	56
4.3.2	Proces extrakce vodoznaku	57
4.4	Testování metody SHARE-DWT-SVD	58
4.5	Teoretický popis metody COEFF-DWT	61
4.5.1	Proces vložení vodoznaku	61
4.5.2	Proces extrakce vodoznaku	63
4.6	Testování metody COEFF-DWT	64
4.7	Teoretický popis metody COEFF-DWT-SVD	68
4.7.1	Proces vložení vodoznaku	68
4.7.2	Proces extrakce vodoznaku	69
4.8	Testování metody COEFF-DWT-SVD	70
5	Diskuze dosažených výsledků	73
6	Závěr	75
	Literatura	77
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	79

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Obecný proces vložení vodoznaku	16
1.2	Obecný proces extrakce vodoznaku	16
1.3	Základní požadavky na digitální vodoznak	19
1.4	Vhodné oblasti pro vložení vodoznaku	19
1.5	Typy útoků na vodoznaky	21
1.6	Stupňová banka filtrů	24
1.7	Příklad tří-stupňové dekompozice	25
1.8	Iterace zleva: 0, 1, 2, 6, 15, 19, 32	27
2.1	Uživatelské rozhraní programu Vodoznačení	29
2.2	Načtení dat a nastavení programu Vodoznačení	30
2.3	Vypočtené hodnoty kvality v programu Vodoznačení	31
2.4	Dávkové porovnání kvality programu Vodoznačení	31
3.1	Vložení vodoznaku BIN-DWT-LSB	33
3.2	Zleva: orig. vodoznak, Cat map, binární Lena, po aplikaci XOR	34
3.3	Zleva: jasová složka Y , komponent C_b , komponent C_r	34
3.4	Tří-stupňová DWT jasové složky	35
3.5	Extrakce vodoznaku BIN-DWT-LSB	36
3.6	Testovací data pro metody BIN	37
3.7	Příklady vytažených vodoznaků metod BIN	37
3.8	Vodoznačený obraz BIN-DWT-LSB	38
3.9	Vložení vodoznaku BIN-DWT	40
3.10	Extrakce vodoznaku BIN-DWT	41
3.11	Vodoznačený obraz BIN-DWT	42
3.12	Vložení vodoznaku BIN-DWT-SVD	44
3.13	Extrakce vodoznaku BIN-DWT-SVD	46
3.14	Vodoznačený obraz BIN-DWT-SVD	47
4.1	Vložení vodoznaku SHARE-DWT	50
4.2	Rozdělení na díly a horizontální sloučení	51
4.3	Extrakce vodoznaku SHARE-DWT	52
4.4	Testovací data SHARE-DWT	53
4.5	Příklad extrahovaných vodoznaků SHARE-DWT	53
4.6	Příklad vodoznačeného obrazu SHARE-DWT	54
4.7	Vložení vodoznaku SHARE-DWT-SVD	56
4.8	Vytažení vodoznaku SHARE-DWT-SVD	58
4.9	Příklad vodoznačeného obrazu SHARE-DWT-SVD	59
4.10	Vložení vodoznaku COEFF-DWT	61
4.11	Rozšíření vodoznaku	62

4.12	Vytažení vodoznaku COEFF-DWT	64
4.13	Testovací data pro COEFF-DWT	65
4.14	Příklad extrahovaných vodoznaků SHARE-DWT	65
4.15	Příklad vodoznačeného obrazu COEFF-DWT	66
4.16	Vložení vodoznaku COEFF-DWT-SVD	68
4.17	Vytažení vodoznaku COEFF-DWT-SVD	70
4.18	Příklad vodoznačeného obrazu COEFF-DWT-SVD	71

SEZNAM TABULEK

1.1	Pravdivostní tabulka XOR	28
3.1	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT-LSB	38
3.2	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT-LSB	39
3.3	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT	42
3.4	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT	43
3.5	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT-SVD	47
3.6	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT-SVD	48
4.1	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro SHARE-DWT	54
4.2	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro SHARE-DWT	55
4.3	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro SHARE-DWT-SVD	59
4.4	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro SHARE-DWT-SVD	60
4.5	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro COEFF-DWT	66
4.6	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro COEFF-DWT	67
4.7	Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro COEFF-DWT-SVD	71
4.8	Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro COEFF-DWT-SVD	72

ÚVOD

Během posledních několika desítek let došlo k velkému rozšíření použití multimediálních digitálních dat. S nástupem sítě internet se stalo jejich šíření snadnější než kdy předtím, a to bez ztráty kvality jednotlivých děl. Díky těmto skutečnostem dochází na celém světě k masivnímu porušování autorských práv. Proto vznikla ze strany autorů velmi silná poptávka po metodách k jejich zabezpečení a tím k ochraně duševního vlastnictví. U hudebních a filmových dat lze autora určit rychle a přesně, avšak u fotografií ve většině případů dochází k problému. Proto se začaly vyvíjet techniky, které jasně, rychle a bezpečně určí autora používaných děl. V současné době jsou nejrozšířenější metody, které vkládají do obrazových dat viditelnou nebo neviditelnou značku. Tato oblast se zabývá *technikami vodoznačení* a bude hlavním tématem této diplomové práce.

1 TECHNIKY VODOZNAČENÍ OBRAZOVÝCH DAT

1.1 Úvod

Jak v analogovém, tak i v digitálním přenosu informací byla vždy vyvíjena snaha o přenos skrytého či vloženého prvku spolu se signálem originálním. Tomuto tématu se věnují dvě odvětví. Steganografie klade důraz na přenos a šifrování skryté informace. Pokud třetí strana neočekává její přenos, je pro ni velice obtížné ji objevit. Tyto metody nejsou nadále mnoho rozšířené, už jen proto, že skrytou informaci lze velmi snadno odstranit manipulací přenášeného signálu (pokud je přenos skryté informace očekáván) [10].

Tato práce se ale bude zabývat technikami digitálního vodoznačení, které mají přímo opačné vlastnosti než metody steganografické. Ideální vodoznačící metoda by měla zajistit, aby pro třetí stranu bylo téměř nemožné vodoznak extrahovat, nebo jakkoliv poškodit a dosáhnout tak jeho nečitelnosti. A to i přesto, že je útočník o skrytém vodoznaku obeznámen, nebo je dokonce postup vložení vodoznaku obecně znám. Následující podkapitola se bude věnovat typovým rozdělením vodoznaků.

1.2 Typy vodoznaků

Existuje několik základních rozdělení vodoznaků. *Viditelné vodoznaky*, jak už z názvu vypovídá, jsou často využívány k viditelnému označení obrazových dat. Často se využívají například ve webových obrázkových databázích, kdy autor chce dát jasně najevo, že s obrázkem nelze nakládat bez jeho souhlasu. Dalším příkladem je vložení loga komerční televize do vysílaného filmu či pořadu [5].

Neviditelné vodoznaky naopak uživatel pouhým okem nerozpozná. Tyto vodoznaky se dále dělí na robustní a křehké. *Křehké vodoznaky* jsou svými vlastnostmi srovnatelné se steganografickými metodami, tedy sebemenší manipulací s obrazovým signálem lze vodoznak poškodit, nebo dokonce zničit [2].

Robustní vodoznaky jsou naopak vyvíjeny k co nejvyšší odolnosti proti obrazovým útokům, životnost vodoznaku by tedy měla být co nejvyšší. K vložení vodoznaku do originálních dat většina metod využívá klíč. Podle toho, zdali je tento klíč veřejně známý nebo nikoli, existují další dva typy vodoznaků [2].

Veřejný vodoznak je zakódován pomocí veřejně dostupného klíče, a k extrakci tedy nejsou potřebná originální data. *Privátní vodoznak*, nazývaný také soukromý, naopak využívá veřejně nedostupný klíč. Extrakce vodoznaku tedy nelze dosáhnout bez užití originálních dat [2].

Každý typ vodoznaku může být použit k jinému účelu. I když by se mohlo zdát, že skrytý křehký vodoznak nemá velké využití, opak je pravdou. Tento typ může být využit k ověřování pravosti dat. Díky křehkosti vodoznaku i sebemenší manipulace s nimi poškodí vodoznak, a tím je prokázána neoriginalita. Nejčastěji se však vodoznaky používají k ochraně autorských práv. Lze využít jak viditelný, tak skrytý vodoznak. U viditelného však dojde k poškození zdroje, což je často nežádoucí. Proto se v této oblasti nejčastěji používají robustní skryté vodoznaky [2].

1.3 Formální přepis vodoznačících procesů

Základním principem symetrických kryptografických systémů je používání stejného klíče pro zakódování i dekodování skryté zprávy. Stejného principu se využívá při vkládání vodoznaku. Každý vodoznačící systém se tedy skládá ze dvou částí [2]:

- Algoritmus pro vložení vodoznaku.
- Algoritmus pro extrakci vodoznaku.

Takový systém může být popsán množinou $(O, W, K, E_K, D_K, C_\tau)$, kde O označuje originální data, W představuje vodoznak, K je šifrovací klíč. E_K značí proces vložení vodoznaku, D_K proces extrakce vodoznaku a C_τ je porovnávací funkce [2].

Proces vkládání a extrakce vodoznaku popisují následující funkce [2]:

$$E_K : O \times W \times K \longrightarrow O, \quad (1.1)$$

$$D_K : O \times K \longrightarrow W. \quad (1.2)$$

Porovnávací funkce poté vypadá následovně [2]:

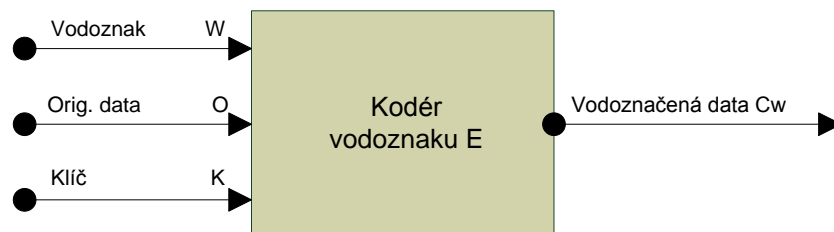
$$C_\tau : W^2 \longrightarrow \{0, 1\}. \quad (1.3)$$

Porovnávací funkce slouží k porovnání kvality originálního vodoznaku před vložením s vodoznakem extrahovaným. K tomuto účelu se obvykle používají koeficienty Peak signal-to-noise ratio (PSNR), Mean squared error (MSE) a v neposlední řadě

Normalized cross-correlation (NCC) [5]. Další možností je poměrně nedávno vyvinutý index SSIM, který narozdíl od předchozích, bere v potaz psychovizuální model vnímání člověka [13].

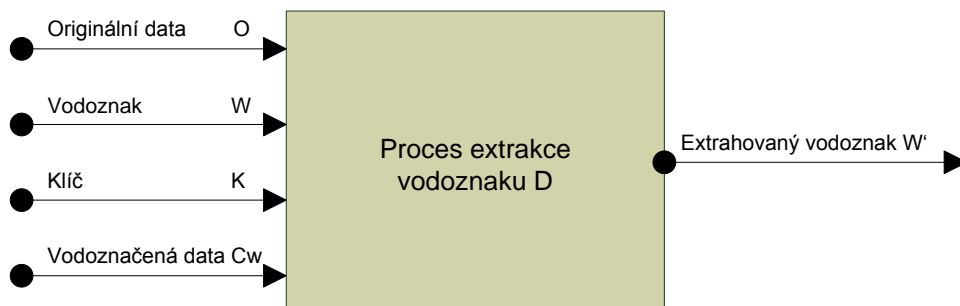
1.4 Obecný proces vkládání a extrakce vodoznaku

Obecný proces vložení vodoznaku je vidět na obrázku 1.1. Při procesu vkládání E_K jsou použity přinejmenším tři signály: O jsou originální data, W je vodoznak a K představuje veřejný nebo privátní klíč. Výstupní signál je C_W , což značí vodoznačená data [5].



Obr. 1.1: Obecný proces vložení vodoznaku

Obecný proces extrakce vodoznaku zobrazuje obrázek 1.2. Vstupní signály jsou následující: O označuje originální data, W vodoznak, K veřejný nebo privátní klíč a C_W vodoznačená data. Výstupní signál z dekodéru je W' , což představuje extrahovaný vodoznak [2].



1.5 Systémy vodoznaků

Pokud je skrytý vodoznak využívající privátní klíč použit pro ochranu autorských práv, existuje výběr ze dvou systémů. První, který nepotřebuje k extrakci původní vodoznak a druhý, který jej potřebuje.

Typ I Tento systém porovná originální data s vodoznačenými daty a zjistí přítomnost vodoznaku. Je reprezentován rovnicí

$$D_k(C_w, O) = W'. \quad (1.4)$$

Typ II Tento systém využívá k extrakci navíc originální vodoznak. Je reprezentován rovnicemi

$$D_k(C_w, O, W) = W' \quad a \quad C_\tau(W', W) = \begin{cases} 1 \text{ pro } C \geq \tau \\ 0 \text{ pro } C < \tau \end{cases}. \quad (1.5)$$

Dále zde spadají tzv. polo-privátní systémy, které už nepotřebují k extrakci vodoznaku originální data. Ty se chovají podle rovnic

$$D_k(C_w, W) = W' \quad a \quad C_\tau(W', W) = \begin{cases} 1 \text{ pro } C \geq \tau \\ 0 \text{ pro } C < \tau \end{cases}. \quad (1.6)$$

Polo-privátní systémy se nejvíce využívají tam, kde není možný přístup k originálním datům. Jsou tedy vhodné k ochraně autorských práv, či kontrole kopírování.

Kromě privátních klíčů mohou systémy využívat i klíče veřejné. Ty nepotřebují k extrakci vodoznaku originální data, ani originální vodoznak. Vývoj těchto metod je nejobtížnější, ale i nejefektivnější cestou ke zdařilému cíli. Rovnice

$$D_k(C_w) = W' \quad (1.7)$$

ukazuje, že je k extrakci nezbytně nutné načíst n bitů z označených C_w dat. Tyto metody jsou rozšířené zejména v oblasti identifikací nelegálně distribuovaných dat [2].

1.6 Požadavky na digitální vodoznak

V této podkapitole budou rozebrány některé požadavky na digitální vodoznak. Existuje jich hned několik. I když si některé mohou odporovat, je důležité věnovat všem stejnou pozornost a volit mezi nimi odpovídající kompromis. Jak ukazuje obrázek 1.3, mezi nejzákladnější patří:

- Robustnost
- Nevnímatelnost
- Bezpečnost

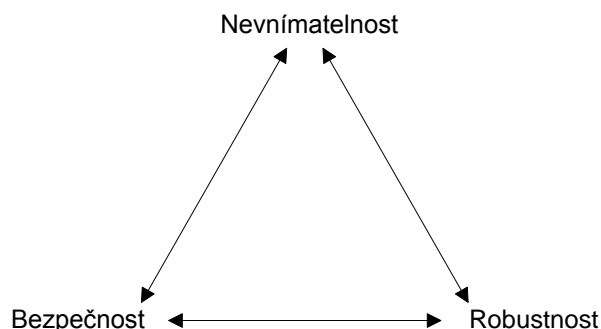
Robustnost je vlastnost vodoznaku, která určuje odolnost vložených dat proti nejrůznějším manipulacím s vodoznačenými daty, díky nimž by mohl být vložený vodoznak poškozen. Pokud je taková manipulace s obrazem záměrná, nazýváme ji útok na vodoznak. Útočník se tedy snaží vložený vodoznak znehodnotit co možná nejvíce [3]. Nejčastější příklady útoků:

1. Ztrátová komprese (např. kodeky JPEG, h.263, MPEG-2)
2. Signální zvětšení (změna kontrastu, ostření)
3. Aditivní šum (Gaussův, RGB)
4. Transformace (rotace, škálování, ořezání)

Nevnímatelnost je další důležitou vlastností vodoznaku, která určuje jeho průhlednost. Při vkládajícím procesu je důležité neznehodnotit původní dílo. Proto je nutné využít vlastnosti lidského vizuálního systému tak, aby byl vodoznak pro lidské oko nepostřehnutelný [5].

Posledním ze základních požadavků je *bezpečnost*. Ta se zajišťuje použitím jednoho nebo více privátních klíčů. Někdy je požadavek na bezpečnost jen takový, že neautorizovaný uživatel je obeznámen s přítomností vodoznaku, ale bez klíče jej nemůže rozkódovat. Vyšší stupeň zabezpečení poté znemožňuje pouhé rozpoznání, zda-li obraz skrytý vodoznak obsahuje [5].

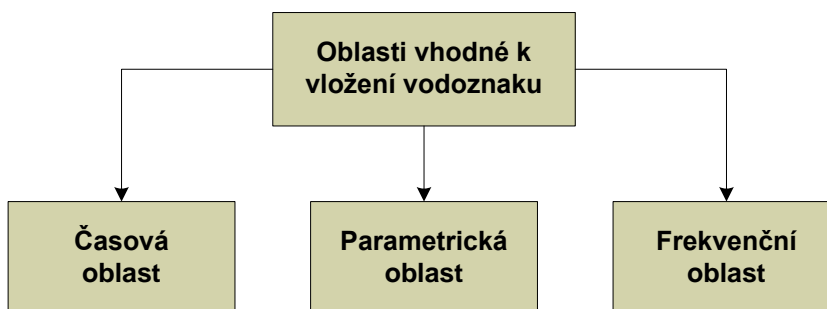
Mezi další požadavky patří např. *složitost*, která určuje čas, jaký útočník potřebuje k rozkódování vodoznaku. *Kapacita* udává maximální možný objem nadbytečných dat, které mohou být do originálních dat vloženy a *spolehlivost detekce* uvádí, jak silný důkaz o vlastnictví původního díla vložený vodoznak představuje [5].



Obr. 1.3: Základní požadavky na digitální vodoznak

1.7 Oblasti vhodné k vložení vodoznaku

Existují tři základní oblasti, kam je vhodné vodoznak vložit. Na výběru oblasti z obrázku 1.4 závisí následné vlastnosti chování vložených vodoznačících dat.



Obr. 1.4: Vhodné oblasti pro vložení vodoznaku

První možnou volbou pro vložení vodoznaku je *oblast časová*. Metody, které využívají tuto oblast, jsou jedny z prvních a nejjednodušších. Klade se u nich důraz na využití nedokonalosti lidského zobrazovacího systému. Lidské oko je schopno rozeznat pouze 90 přechodů jasových úrovní [5], při vyšším počtu tedy v těchto přechodech není schopno zpozorovat nepatrné změny. Příkladem může být metoda využívající vkládání vodoznaku do tzv. Least significant bit (LSB). Tyto nejméně významné bity jsou nahrazovány bity vodoznaku. Metoda je velmi jednoduchá a rychlá, avšak málo používaná pro svou velmi nízkou odolnost proti útokům.

Další možností je *oblast parametrická*, kdy před vložení vodoznaku je nutné provést převod originálních dat do této oblasti. Poté je možná úprava jednotlivých

parametrů tak, aby byla nadbytečná data úspěšně vložena. Upravovat se dají například parametry matice barevné palety RGB (sytost barvy), nebo parametry jasu a kontrastu (tzv. fraktátové kódování). Poslední zmíněné metody jsou odolné zejména proti kompresi známými kompresními kodeky jako je například JPEG [5].

Tato práce se bude zabývat metodami, které vkládají vodoznak do *frekvenční oblasti*. Takovéto metody jsou v dnešní době nejpoužívanější díky své robustnosti a zároveň nepostřehnutelnosti lidským okem. K docílení transformace dat do frekvenční oblasti lze využít hned několik metod, mezi nejznámější patří [5]:

- Discrete cosine transform (DCT)
- Discrete wavelet transform (DWT)
- Walsh–Hadamard transform (WHT)
- Singular value decomposition (SVD)

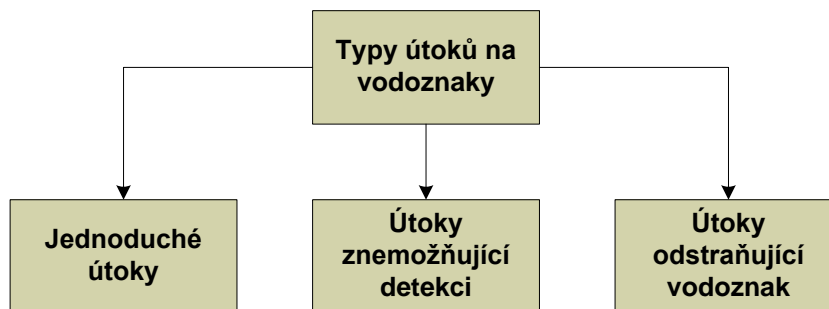
Tyto metody lze využít jak na celý obraz, tak jen na části. Podle typu vkládacího procesu je můžeme použít na originální obrázek, či vodoznak. Zpětnou transformací vždy dostaneme původní data.

1.8 Typy útoků na vodoznak

Jedním z největších ohrožení vloženého vodoznaku je manipulace s vodoznačenými daty. Takové činy se nazývají útoky na vodoznak a můžeme je rozdělit do dvou základních skupin. *Přátelské* útoky jsou takové, které nejsou používány za cíleným poškozením vodoznaku. Mohou to být konvenční manipulace s obrazem jako oříznutí, nebo škálování. Uživatel nemá nejmenší potuchy o skrytém vodoznaku a neúmyslně jej může poškodit. Přesným opakem jsou útoky *zákeřné*. Ty můžeme dále dělit do skupin, které zobrazuje obrázek 1.5 [8].

Jednoduché útoky jsou prováděny za pomoci manipulace s celkovým vodoznačeným obrazem s cílem odstranit, nebo znemožnit extrakci vodoznaku. Není prováděna izolace ani identifikace specifických informací o vodoznaku. Příkladem může být lineární (dolní nebo horní propustí), či nelineární filtrování (A/D nebo D/A konverze, vzorkování). Útok je úspěšný, pokud po jeho provedení nelze vodoznak extrahovat a zároveň nedojde k poškození originálních dat [8].

Útoky znemožňující detekci obvykle využívají geometrické transformace vodoznačených dat. Změna velikosti obrazu, ořezání, či rotace mohou vodoznak poškodit



Obr. 1.5: Typy útoků na vodoznaky

natolik, že nebude nadále detekovatelný. Velmi účinný nástroj pro takovéto útoky je program StirMark, který bude používán dále v tomto semestrálním projektu [8].

Snahou *útoků odstraňující vodoznak* je detekovat vodoznak a snažit se odhalit proces vložení vodoznaku, aby jej mohly extrahovat a odstranit. Aplikace používané pro tyto útoky analyzují zdrojová data [8].

1.9 Kvalitativní hodnocení vodoznačených dat

Existují dvě metody, jak vyhodnotit kvalitu vodoznačených dat. První metoda se nazývá subjektivní, zatímco druhá objektivní.

Subjektivní metoda je založena na porovnání kvality lidským okem. Tato metoda má výhodu v odhalení případných rušivých vlivů na originální data, avšak je nákladná a zdlouhavá. Vypovídající hodnota není dále směrodatná, jelikož obrazový vjem v lidském mozku závisí na podnětu nelineárně [8].

Objektivní metody využívají koeficienty MSE, PSNR, NCC a SSIM.

1. MSE (Střední kvadratická chyba)

$$MSE = \left(\frac{1}{VO \times \mathring{S}O} \right) \sum_{i=1}^{VO} \sum_{j=1}^{\mathring{S}O} (x_{ij} - x'_{ij})^2, \quad (1.8)$$

kde VO definuje výšku obrazu, $\mathring{S}O$ šířku obrazu, x hodnotu originálního obrazu a x' obrazu upraveného. Tento koeficient se dále používá k určení koeficientu PSNR [8].

2. PSNR (Špičkový poměr signálu k šumu)

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad [dB], \quad (1.9)$$

kde 255 představuje maximální hodnotu každého pixelu. PSNR se používá k vyhodnocení obrazové kvality mezi originálními daty a daty vodoznačenými. Čím větší je hodnota PSNR, tím větší je výsledná kvalita [8].

3. NCC (Normalizovaná křížová korelace)

$$NCC = \frac{\sum_{i=1}^{VV-1} \sum_{j=1}^{VŠ-1} x_{ij} x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{VV-1} \sum_{j=1}^{VŠ-1} (x_{ij})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{VV-1} \sum_{j=1}^{VŠ-1} (x'_{ij})^2}}, \quad (1.10)$$

kde VV reprezentuje výšku vodoznaku, $VŠ$ šířku vodoznaku, x originální pixel vodoznaku a x' pixel extrahovaného vodoznaku. NCC se nejčastěji používá pro porovnání shody mezi originálním a extrahovaným vodoznakem. Výstup z funkce představují hodnoty v rozmezí 0 a 1 [12].

4. SSIM (Structural similarity index)

SSIM narozdíl od ostatních objektivních metod pracuje se strukturálním rozpoštěním měřených dat. Vyjádřená podobnost by tedy měla odpovídat tomu, jak rozdíl vnímá lidské oko. Metoda pracuje s předpokladem, že jas na povrchu objektu je produktem osvětlení a odrazu, ale struktura objektů je na jas nezávislá. Snahou tvůrců této metody je odstranit vlivy osvětlení na výsledky měření podobnosti. SSIM index dosahuje hodnot od -1 do 1, je počítán jen pro jasové složky a je vyjádřen rovnicí

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}, \quad (1.11)$$

kde x a y představují originální a upravená data, μ průměr jasových hodnot, σ střední kvadratickou odchylku, σ_{xy} kovarianci a konstanty C_1 , C_2 stabilizují výpočet, pokud se jmenovatel příliš blíží k nule [13].

Pro výpočet μ_x , σ_x a σ_{xy} jsou využity rovnice:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (1.12)$$

$$\sigma_x = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.13)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y), \quad (1.14)$$

kde N představuje počet pixelů, x_i, y_i jsou hodnoty pixelů a μ_x, μ_y vypočítané průměrné hodnoty jasových koeficientů [13].

Hodnoty konstant C_1 a C_2 jsou určeny za pomoci rovnic:

$$C_1 = (K_1 L)^2, \quad (1.15)$$

$$C_2 = (K_2 L)^2, \quad (1.16)$$

kde L představuje dynamický rozsah hodnot jednotlivých pixelů (při 8-bitovém zobrazení je rovna 255). Konstanty K_1 a K_2 musí odpovídat hodnotám mnohem menším než 1. Jsou proto voleny následovně: $K_1 = 0,01$, $K_2 = 0,03$ [13].

Index SSIM je možné vypočítat pro porovnání dvou celistvých jasových složek. Autoři tento postup ale nedoporučují, navrhují oba obrazové signály rozdělit na pole o velikosti 8x8 px a SSIM index spočítat pro každé dvě odpovídající si pole zvlášť. Aritmetickým průměrem těchto údajů je možné vypočíst střední hodnotu MSSIM (Mean SSIM) dle rovnice:

$$MSSIM(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j), \quad (1.17)$$

kde M představuje počet vypočtených dílčích indexů SSIM a $SSIM(x_j, y_j)$ jsou hodnoty těchto indexů [13].

1.10 Diskrétní vlnková transformace

Pro úspěšný rozklad signálu x pomocí DWT musí zmiňovaný signál projít skrze sérii filtrů. Nejprve je použita dolní propust s impulzivní odezvou g , vyplývající z konvoluce [7]

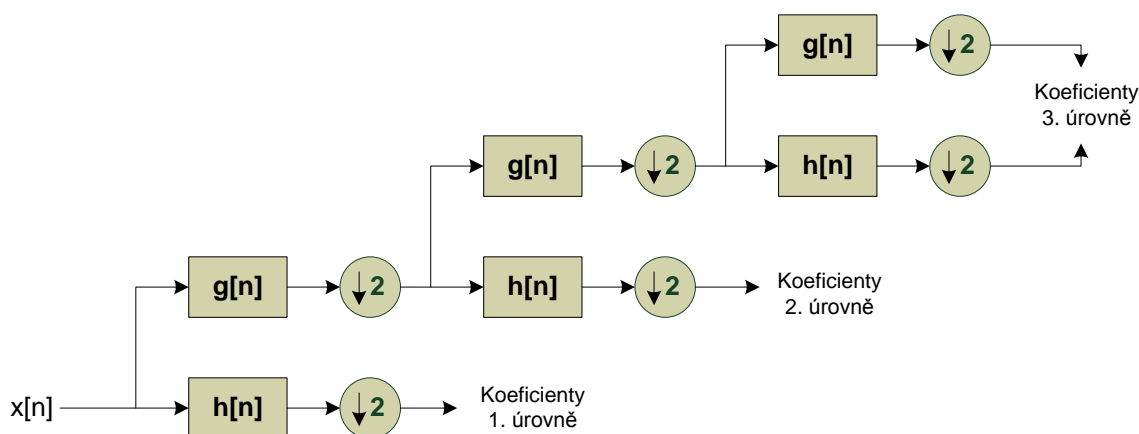
$$y[n] = (x \times g) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[n-k]. \quad (1.18)$$

Signál je zároveň dekomponován horní propustí h . Na výstupu horní propusti dostaneme koeficienty podrobné, zatímco na výstupu dolní propusti se objeví koeficienty přibližné. Důležitá je vzájemná souvislost obou filtrů. Po odebrání první poloviny frekvencí signálu, může být díky *Nyquistovu pravidlu* druhá půlka frekvencí zahozena. Dále je signál vzorkován za pomoci [7]:

$$y_{low}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]g[2n - k], \quad (1.19)$$

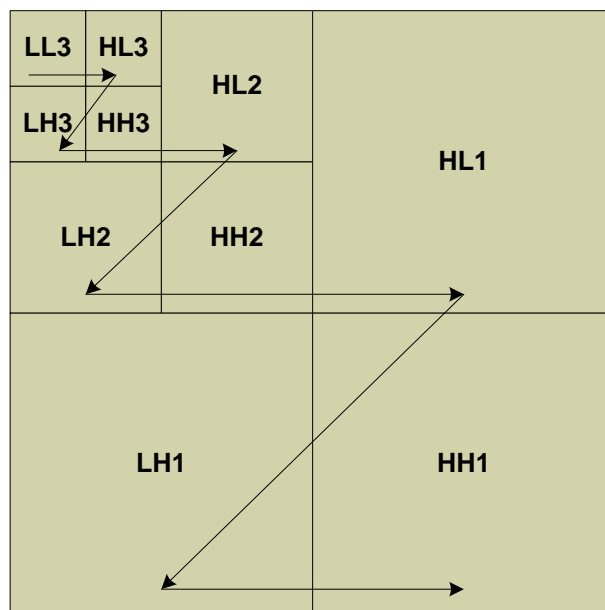
$$y_{high}[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k]h[2n - k]. \quad (1.20)$$

K dalšímu zvýšení frekvenčního rozlišení je používána dekompozice pomocí *Kaskádování a banky filtrů*. Je reprezentována jako binární strom s uzly představujícími podprostor s rozdílným umístěním frekvence a času, jak ukazuje obrázek 1.6 [7].



Obr. 1.6: Stupňová banka filtrů

Obr. 1.7 ukazuje příklad dekompozice třetího stupně. Na každém stupni dekompozice je signál rozložen do nízkých a vysokých frekvencí. Vstupní signál je vždy násobkem 2^n , kde n představuje počet stupňů dekompozice. Nejnižší frekvence jsou vždy situovány do levého horního rohu, na obrázku 1.7 pole LL3. Výhoda vkládání vodoznaku do tohoto pole tkví v odolnosti vloženého vodoznaku proti šumu [7].



Obr. 1.7: Příklad tří-stupňové dekompozice

1.11 Singulární dekompozice

Singular Value Decomposition (SVD) je matematická operace, která je aplikovatelná na jakoukoliv reálnou matici čísel. Je hojně využita při redukci dat a má nespočet praktických i teoretických využití. Mějme matici A o velikosti $N \times N$, singulární dekompozice lze vyjádřit vztahem [1]:

$$A = USV^T, \quad (1.21)$$

kde A představuje původní matici, S diagonální matici singulárních hodnot, ortogonální matice U obsahuje levé singulární vektory a V uchovává pravé singulární vektory. Singulární hodnoty diagonální matice S splňují podmínku [1]

$$s_1 \geq s_2 \geq s_3 \cdots \geq s_n, \quad (1.22)$$

která má tvar

$$S = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_n \end{bmatrix}.$$

Největší výhodou představené dekompozice je fakt, že pokud k singulárním hodnotám přičteme malé interferenční hodnoty (v tomto případě vodoznak), výsledná matice se příliš nemění oproti původní. Tato skutečnost bude prezentována v následujícím příkladu. Jestliže původní matice je rovna [1]

$$A = \begin{bmatrix} 10 & 15 & 5 & 8 \\ 6 & 2 & 3 & 9 \\ 3 & 5 & 7 & 5 \\ 18 & 20 & 1 & 5 \end{bmatrix},$$

rozklad pomocí SVD definuje následující 3 matice

$$U = \begin{bmatrix} 0,5660 & 0,2082 & -0,3393 & -0,7219 \\ 0,2383 & 0,6273 & 0,7412 & 0,0194 \\ 0,2294 & 0,5422 & -0,5482 & 0,5940 \\ 0,7551 & -0,5188 & 0,1870 & 0,3545 \end{bmatrix},$$

$$S = \begin{bmatrix} 35,5231 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10,3877 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5,3745 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,8213 \end{bmatrix},$$

$$V = \begin{bmatrix} 0,6016 & -0,1796 & 0,5163 & 0,5824 \\ 0,7099 & -0,3164 & -0,4854 & -0,4005 \\ 0,1663 & 0,5968 & -0,5812 & 0,5276 \\ 0,3264 & 0,7151 & 0,4000 & -0,4712 \end{bmatrix}.$$

Pro demonstraci příkladu byly pozměněny singulární hodnoty matice S podle

$$S' = \begin{bmatrix} 36,5231 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9,3877 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,7745 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,3564 \end{bmatrix},$$

a zpětným provedením SVD a zaokrouhlením hodnot vznikne

$$A' = \begin{bmatrix} 10 & 16 & 5 & 8 \\ 6 & 3 & 3 & 8 \\ 4 & 5 & 7 & 5 \\ 18 & 20 & 2 & 5 \end{bmatrix}.$$

Po porovnání matic A a A' je patrné, že se jejich hodnoty příliš neliší. Tímto příkladem byly ověřeny vlastnosti singulární dekompozice.

1.12 Arnoldova transformace

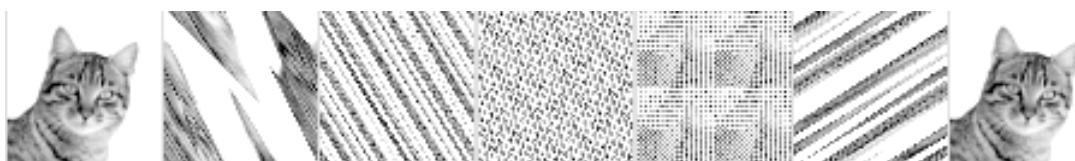
Nazývaná také *Arnold's cat map* byla publikována Vladimírem Arnoldem v šedesátých letech 20. století. Statická obrazová data mohou být považována jako dualistická funkce v rovině popsána rovnicí [6]

$$G = f(x, y), \quad (x, y) \in R. \quad (1.23)$$

kde R značí dvourozměrný obdélník a každý bod na souřadnicích (x, y) obsahuje informaci o obrazu, jako je např. intenzita šedé barvy. Statický obrázek tedy můžeme považovat za určitý druh matice. Nechť horizontální a vertikální pixely digitálního obrázku náleží množině $x, y \in \{1, 2, \dots, N\}$. Arnoldova transformace popsána pomocí matic pak bude [6]

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{2}. \quad (1.24)$$

Pomocí této transformace tedy dochází k promíchání pixelů statického obrázku, v závislosti na počtu iterací, a pro člověka se transformovaný obraz stává pouhým šumem. Pro vodoznačící proces je to ale velmi výhodné, protože se transformovaný vodoznak bude do originálních dat vkládat náhodně a rovnoměrně. Arnoldova mapa je transformací periodickou, tzn. po určitém počtu iterací v závislosti na velikosti vkládaných dat se vodoznak vrátí do původního stavu, jak je vidět na obr. 1.8 [6].



Obr. 1.8: Iterace zleva: 0, 1, 2, 6, 15, 32

1.13 Funkce XOR

Exkluzivní disjunkce je logická operace, jež nabývá hodnoty pravda, právě když každá vstupní hodnota je unikátní (v porovnání s ostatními vstupy). Bitová funkce XOR se často používá právě v kryptografii. Lze použít k zakódování binárního vodoznaku

privátním klíčem. Původní vodoznak je rozkódován, pokud je na zakódovaný vodoznak znovu aplikován XOR s privátním klíčem na vstupu. Pravdivostní tabulka exkluzivní disjunkce je uvedena v tabulce 1.1 [6].

Tab. 1.1: Pravdivostní tabulka XOR

B	A	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

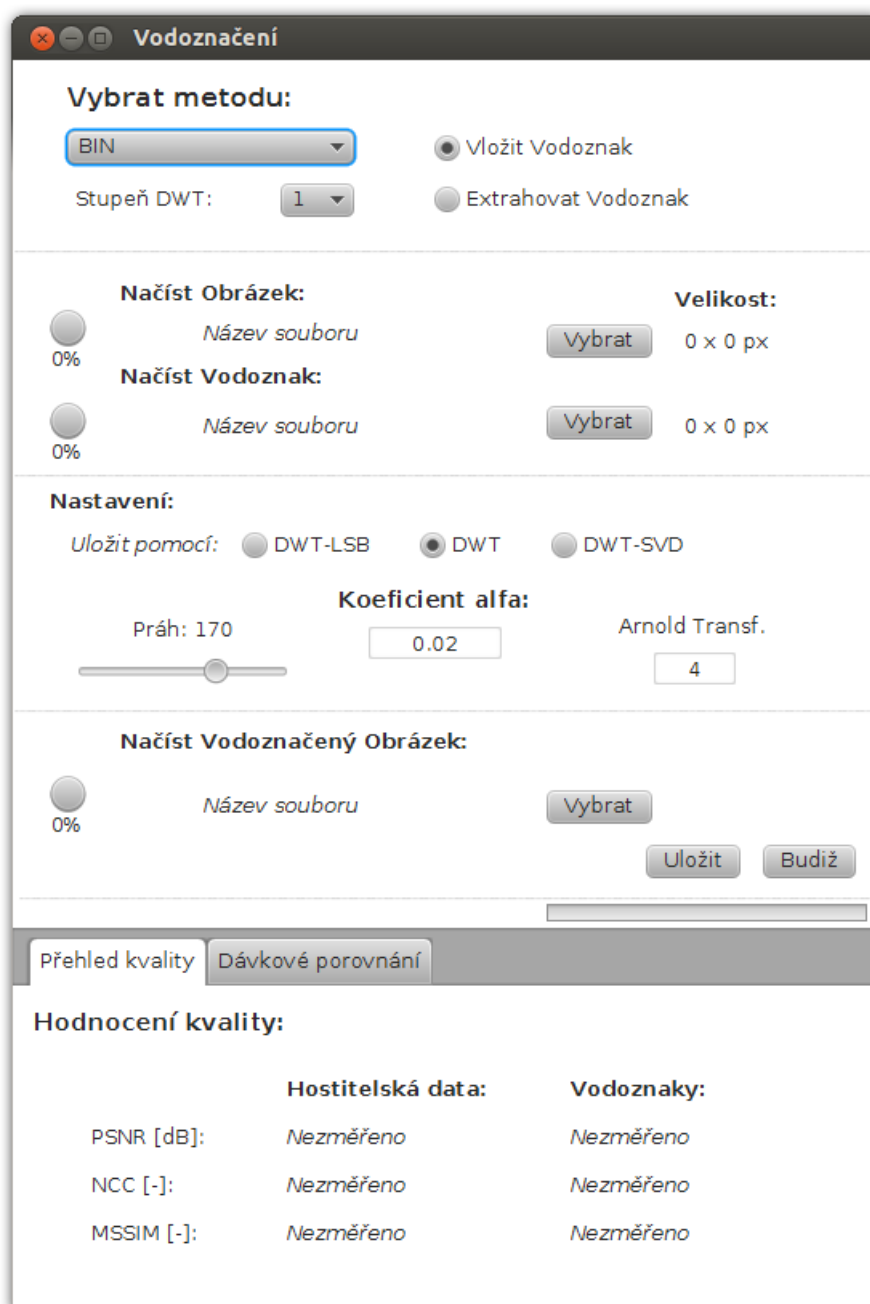
1.14 Možnosti testování robustnosti vodoznaku

K testování lze využít grafické programy a ručně provést všemožné typy útoků. Existuje ale i mnoho typů softwaru, které vykonají tyto útoky dávkově a během několika sekund. Jedním z nich je program *StirMark*. První verze tohoto programu byla vytvořena již v roce 1997 pro testování robustnosti vodoznačených dat velkou škálou útoků uvedených níže. Použití *StirMarku* je pro výzkumné účely zcela legální [9].

- *Row and col removed*: Odstranění určitého počtu řádků a sloupců.
- *Median Filter*: Aplikace nelineárního mediánového filtru.
- *Cropping*: Ořezání obrazu.
- *Gaussian filtering*: Rozmazání Gaussovým filtrem..
- *JPEG*: Útok pomocí JPEG komprese.
- *Linear*: Lineární geometrická transformace.
- *Ratio*: Změna poměru stran.
- *Rotation*: Rotace obrazu.
- *Scale*: Škálování a navrácení obrazu do původní velikosti.
- *Sharpening*: Zvýšení ostrosti.
- *Shearing*: Zkosení obrazu.
- *Flip*: Zrcadlové převrácení.
- *Reduce color*: Redukce barev.
- *Random bend*: Pixely jsou lokálně posunuty, škálovány nebo otáčeny bez většího viditelného dopadu.

2 PRAKTICKÁ REALIZACE

Pro praktickou realizaci vodoznačících metod vznikl program „Vodoznačení“. Byl naprogramován v jazyku JAVA verze 7 a testován na systému Ubuntu 13.10. Uživatelské rozhraní programu je vidět na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Uživatelské rozhraní programu Vodoznačení

2.1 Použití programu Vodoznačení

Nejdříve je nutné vybrat typ metody, která bude použita pro samotný proces vkládání. Základní volba představuje:

- **BIN**: Obsahuje metody BIN-DWT-LSB, BIN-DWT, BIN-DWT-SVD.
- **SHARE**: Obsahuje metody SHARE-DWT, SHARE-DWT-SVD.
- **COEFF**: Obsahuje metody COEFF-DWT, COEFF-DWT-SVD.

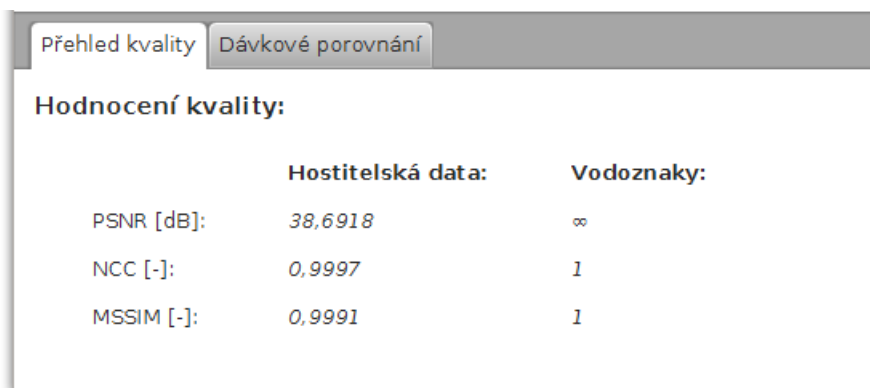
Dále je nezbytné vybrat hostitelská data a zvolit stupeň DWT. Po jejich načtení je vypočítána požadovaná velikost vodoznaku a zobrazena v dolní části programu. Jsou podporovány formáty obrazu *.bmp, *.jpg a *.png. Dalším krokem je načtení vodoznaku a nastavení parametrů důležitých pro vložení. Kromě metody BIN-DWT-LSB všechny metody využívají koeficient α . U metod **BIN** je možnost nastavit práh binarizace zmenšeného originálního obrazu a počet iterací Arnoldovy transformace. Bližší význam těchto koeficientů bude vysvětlen v teoretickém popisu jednotlivých metod. Každá základní metoda si udržuje v paměti vlastní načtená data. V jednu chvíli tedy může být z pevného disku načteno až devět obrazových dat (originální obraz, vodoznak, vodoznačený obraz). Příklad na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Načtení dat a nastavení programu Vodoznačení

Po nastavení všech požadovaných parametrů je možné spustit vodoznačící proces tlačítkem *Budiž*. Vodoznačená data jsou dále zobrazena v okně, tlačítkem *Uložit* je možné je zapsat kamkoliv na disk. Vodoznačený obraz je nadále uchovávan v paměti a je přemazán až dalším procesem vkládání. Vypočtené hodnoty kvality jsou ihned zobrazeny v dolní části programu. Pro extrakci vodoznaku je nutné načíst uložený

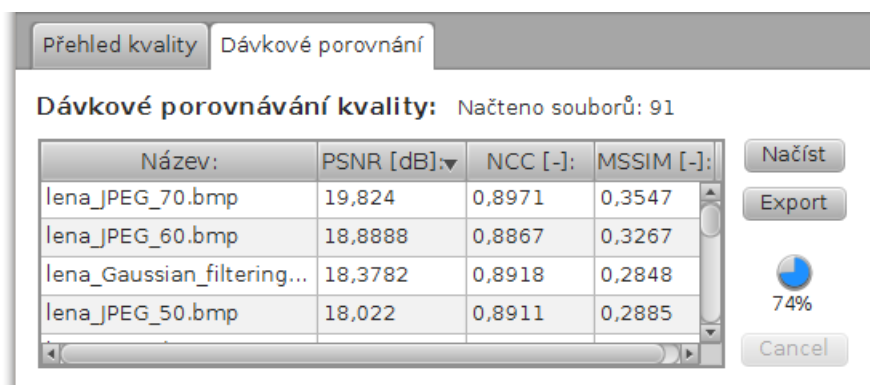
vodoznačený obraz z disku. Přepnutím do módu extrakce a opětovným stiskem *Bu-diž* proběhne vytažení vodoznaku a jeho zobrazení v okně. Hodnoty kvality mezi vodoznaky jsou ihned zobrazeny v dolní části programu. Příklad vypočtených indexů kvality na obr. 2.3.



	Hostitelská data:	Vodoznaky:
PSNR [dB]:	38,6918	∞
NCC [-]:	0,9997	1
MSSIM [-]:	0,9991	1

Obr. 2.3: Vypočtené hodnoty kvality v programu Vodoznačení

Další funkcí je dávkové porovnání kvality mezi originálním a extrahovanými vodoznaky. Pro porovnání je nutné načíst jeden a více vodoznačených obrazů. Výsledky jsou poté zapisovány do tabulky, která umožňuje řazení podle jména nebo naměřených hodnot. Tlačítkem *Cancel* je možné proces kdykoliv ukončit, tlačítkem *Export* exportovat do tabulkového dokumentu *.xls. Příklad na obr. 2.4.



Název:	PSNR [dB]:	NCC [-]:	MSSIM [-]:
lena_JPEG_70.bmp	19,824	0,8971	0,3547
lena_JPEG_60.bmp	18,8888	0,8867	0,3267
lena_Gaussian_filtering...	18,3782	0,8918	0,2848
lena_JPEG_50.bmp	18,022	0,8911	0,2885

Obr. 2.4: Dávkové porovnání kvality programu Vodoznačení

2.2 Popis struktury programu

V této podkapitole budou alespoň zevrubně popsány vlastnosti a účel vytvořených a použitých tříd vzniklých v jazyku JAVA. Při spuštění programu je nejdříve vytvořena instance třídy `Main`, která ze souboru `Gui.fxml` vytvoří grafické uživatelské prostředí. To bylo naprogramováno za pomoci JavaFX verze 2.2 a softwaru Scene Builder, který je určen pro vytváření GUI. Třída, která se stará o ovládání GUI, se jmenuje `Process` a obsahuje metody pro ovládání všech grafických prvků, jako jsou tlačítka, textová okna, slidery atd.

Konstruktor třídy `Process` vytvoří objekty z důležitých tříd `FragileInsert`, `SharingWatermark` a `WaveletCoefficients`. Tyto třídy obsahují metody jednotlivých technik vodoznačení. Každá také obsahuje minimálně tři privátní instance tříd `PictureTransform`, ve kterých jsou uchovány načtené obrazy. Metody v této třídě jsou určeny pro práci s nimi, tzn. převod obrazu z RGB do YCbCr, zobrazení obrazu apod. Další objekty jsou inicializovány podle potřeb jednotlivých metod a vznikají ze tříd jmenovitě: `Quality` (obsahuje metody pro výpočet kvalitativních koeficientů), `Dwt` (obsahuje metody pro výpočet DWT) a `ArnoldsCatMap` (obsahuje metody pro výpočet Arnoldovy transformace).

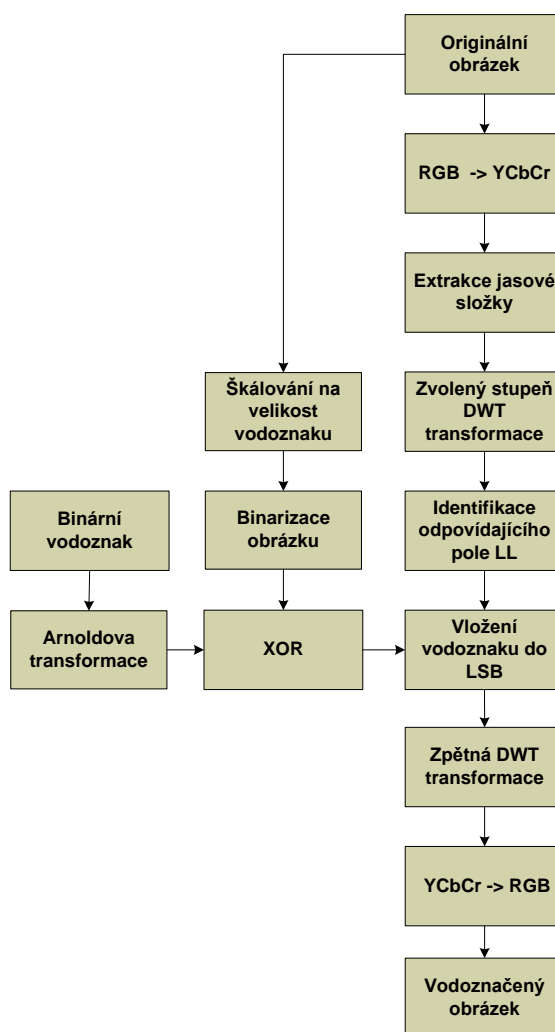
Z různých důvodů byly použity knihovny, které nejsou standardně dostupné v jazyku JAVA. Knihovna `ImageJ` je použita pro vytvoření objektu `ImagePlus` z obrazových dat. Pro převod obrazu z `ImagePlus` do matic je použita knihovna `Jama`. Ta obsahuje mnoho metod, díky kterým je výhodnější používat právě matice, místo dvourozměrných polí. `Jama` dále obsahuje metody pro výpočet SVD. Pro hlášení některých chybových stavů ve vyskakovacím okně byla použita knihovna `JfxMessageBox`. Poslední nestandardní knihovnou je `JXL` (Java Excel API), pomocí které je proveden export dat do tabulkového dokumentu. Všechny použité nestandardní knihovny jsou dostupné zdarma.

3 METODY PRO VKLÁDÁNÍ BINÁRNÍCH VO- DOZNAKŮ

3.1 Teoretický popis metody BIN-DWT-LSB

Pro potřeby vkládání binárních vodoznaků byla zvolena metoda, která se inspiruje v článku [6]. Je založena na nahrazování nejméně významných bitů (LSB) frekvenčních koeficientů v poli LL (vzniklém za pomoci DWT) za bity vodoznaku. Dále metoda využívá Arnoldovu transformaci a funkci XOR. Nevýhodou je, že Arnoldova transformace pracuje jen s daty, které jsou čtvercové.

3.1.1 Proces vložení vodoznaku



Obr. 3.1: Vložení vodoznaku BIN-DWT-LSB

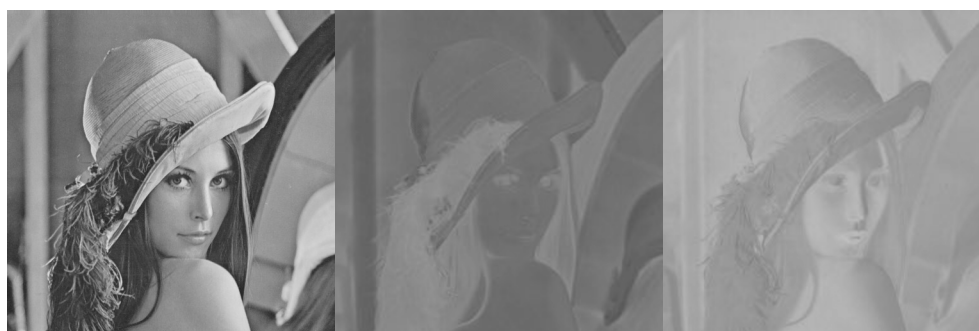
Diagram celého procesu je vidět na obr. 3.1. Na vstupu je barevný statický obrázek, do nějž bude vkládán binární vodoznak. Velikost vodoznaku se odvíjí podle zvoleného stupně DWT. Vodoznak bude vždy menší 2^n -krát, kde n je stupeň DWT. Při velikosti originálních dat 512 x 512 px a zvoleném 3. stupni, bude vkládán vodoznak o velikosti 64 x 64 px. Vodoznačící proces probíhá v následujících krocích:

Krok 1: Na binární vodoznak je nejprve uplatněna Arnoldova transformace o iteraci x . To zajišťuje rovnoměrnější vložení vodoznaku a je zajištěna jeho lepší průhlednost. Necht' je iterace $x = 10$. Vodoznak bude po aplikaci transformace vypadat jako na obr. 3.2 [6]. Poté jsou originální data škálována na stejnou velikost jako vodoznak a binarizována pomocí vhodného prahu. Na výstupní data z předchozích dvou úkonů je aplikována operace XOR, čímž vznikne plně připravený vodoznak pro vložení do frekvenční oblasti originálního obrazu. Příklad na obr. 3.2 [6].



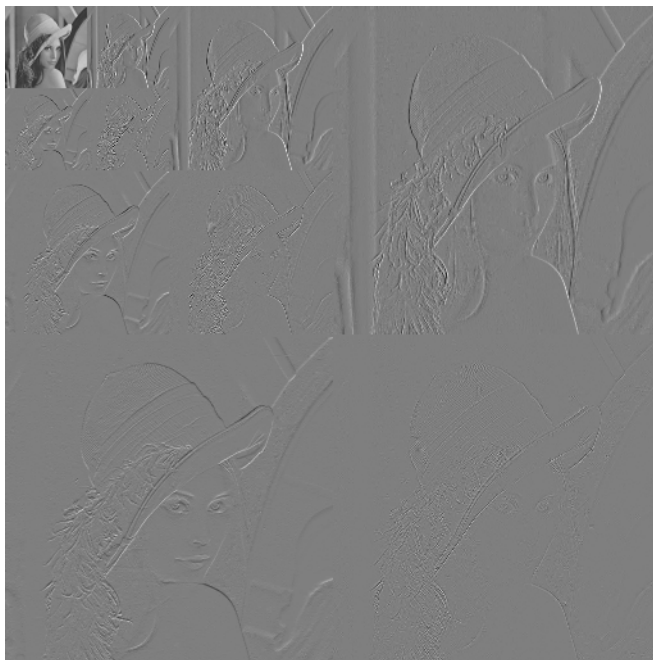
Obr. 3.2: Zleva: orig. vodoznak, Cat map, binární Lena, po aplikaci XOR

Krok 2: Zde je originální obraz převeden z obrazového vyjádření RGB do jiné obrazové rodiny, a to YCbCr. Ta se skládá z jasové složky Y a chrominančních komponentů Cb a Cr , jak je vidět na obr. 3.3. Pro vložení vodoznaku se bude dále používat jen jasová složka Y [6].



Obr. 3.3: Zleva: jasová složka Y , komponent Cb , komponent Cr

Krok 3: Na jasovou složku Y je aplikována diskrétní vlnková transformace. Oblast LL pro vložení vodoznaku se vždy nachází v levém horním rohu. Právě zde jsou odstraněny LSB všech koeficientů a jsou nahrazeny bity vodoznaku. Příklad třístupňové transformace na obr. 3.4 [6].



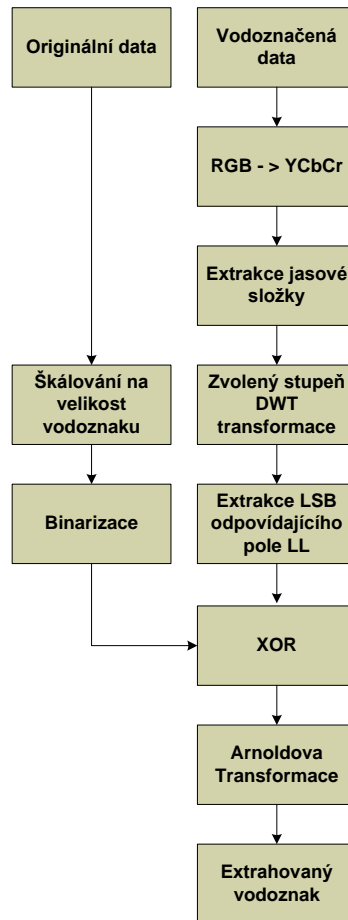
Obr. 3.4: Tří-stupňová DWT jasové složky

Krok 4: Na vodoznačená data je aplikována inverzní DWT, po které vznikne vodoznačená jasová složka Y_w , ke které jsou přiřazeny chrominanční koeficienty Cb a Cr . Poté je obraz převeden zpět do zobrazení RGB. [6].

3.1.2 Proces extrakce vodoznaku

Nejprve jsou originální data škálována na velikost vodoznaku a binarizována podle stejného prahu jako při vkládání. Vodoznačená data jsou převedena do zobrazení $YCbCr$ a dále je extrahována jasová složka Y_w . Po provedení DWT jsou přečteny nejméně významné bity všech bytů ve zvolené frekvenční oblasti LL. Ty jsou spolu s binarizovaným originálním obrazem na vstupu funkce XOR, a na jejím výstupu se nachází extrahovaný vodoznak. Posledním krokem je inverzní Arnoldova transformace, která sestaví vodoznak do původního stavu. Diagram celého procesu je k dispozici na obr. 3.5 [6].

Tato metoda na vstupu nezbytně nepotřebuje originální data, jelikož ke škálování



Obr. 3.5: Extrakce vodoznaku BIN-DWT-LSB

a binarizaci je možno použít data vodoznačená (v tomto případě může docházet k nepřesnostem). Důležité informace jsou ovšem práh binarizace a počet iterací Arnoldovy transformace.

3.2 Testování metody BIN-DWT-LSB

Testování bude probíhat na hostitelských datech *Lena* (512 x 512 px), do kterých budou vkládány tři různě velké vodoznaky, podle zvoleného stupně DWT. Nechť iterace Arnoldovy transformace $x = 10$. Ukázka testovacích dat na obr. 3.6.

Pro určení čitelnosti extrahovaného vodoznaku z naměřených výsledků je nutné určit hranici koeficientů PSNR, NCC a MSSIM. Při testování zpravidla platilo, že pokud hodnota PSNR klesla pod 10 dB a zároveň hodnota NCC klesla pod 0,8, byl vodoznak nečitelný. Příklad je zobrazen na obr. 3.7, kde jsou vidět extrahované

vodoznaky s různou kvalitou. Naměřené hodnoty byly zleva:

- PSNR: ∞ NCC: 1, MSSIM: 1
- PSNR: 13,621 dB NCC: 0,9164, MSSIM: 0,3202
- PSNR: 9,661 dB NCC: 0,7791, MSSIM: 0,1186
- PSNR: 7,1576 dB NCC: 0,5659, MSSIM: -0,0646



Obr. 3.6: Testovací data pro metody BIN

Pro index MSSIM je vhodné určit rozsahy hodnot. V rozsahu od 1 - 0,8 byl vodoznak velmi podobný, od 0,8 - 0,3 byl podobný, 0,3 - 0,15 rozpoznatelný. Pokud MSSIM index klesl pod hranici 0,15, byl vodoznak nečitelný.



Obr. 3.7: Příklady vytažených vodoznaků metod BIN

V tabulce 3.1 jsou zaznamenány hodnoty naměřené mezi originálními a vodoznačenými hostitelskými daty. Z výsledků je zřejmé, že vodoznačící proces viditelně ovlivnil tato data jen velmi málo. Tato skutečnost je velkou výhodou, příklad na obr. 3.8. Testování robustnosti bylo provedeno za pomoci programu StirMark, který dávkově provede sérii útoků na vodoznačený obraz. V tabulce 3.2 jsou k dispozici naměřené hodnoty mezi originálním vodoznakem a extrahovanými vodoznaky.

Tab. 3.1: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT-LSB

DWT	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
1. stupeň	53,8735	1	0,9972
2. stupeň	53,8146	1	0,9977
3. stupeň	53,8303	1	1



Obr. 3.8: Vodoznačený obraz BIN-DWT-LSB

Z výsledků je zřejmé, že robustnost metody je velmi nízká. Extrahované vodoznaky s dostatečnou kvalitou jsou zvýrazněny tučně. Při vkládání vodoznaku do oblasti LL1 došlo k úspěšnému vytažení vodoznaku jen v jednom případě, a to při JPEG kompresi vodoznačeného obrazu o kvalitě 100. Při vkládání menšího vodoznaku do LL2 došlo k mírnému vylepšení. Nejlepších výsledků dosahovala metoda pokud byl zvolen 3. stupeň DWT. Vodoznak bylo možné extrahovat až do komprese JPEG při kvalitě 70, a také ve dvou případech testu škálování.

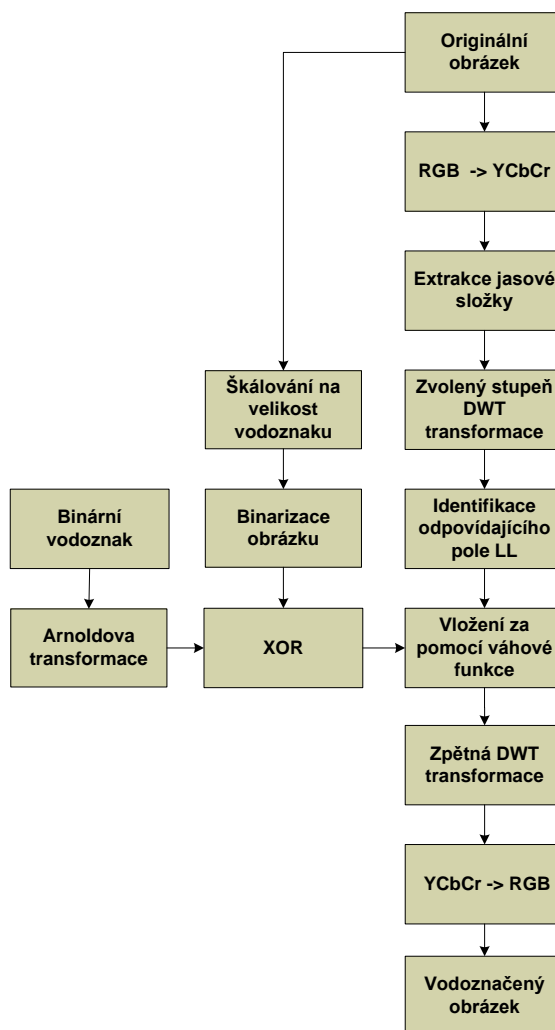
Tab. 3.2: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT-LSB

Soubor	1. stupeň			2. stupeň			3. stupeň		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	7,802	0,6481	0,0031	7,925	0,6564	0,01	7,9665	0,6544	0,0124
<i>1_row_5_col_removed</i>	7,8056	0,6483	0,0016	7,816	0,6451	0,0043	7,8731	0,6442	0,009
<i>5_row_1_col_removed</i>	7,8171	0,6497	0,0023	7,9017	0,6544	0,0048	8,1757	0,6728	0,0377
<i>5_row_17_col_removed</i>	7,7995	0,6479	0,0036	7,8065	0,6445	0,0009	7,0159	0,5459	-0,0633
<i>17_row_5_col_removed</i>	7,8048	0,6486	0,0024	7,8235	0,6461	0,0068	7,9229	0,6504	0,0044
<i>2x2_median_filter</i>	7,8328	0,6511	0,0039	8,0547	0,6678	0,011	7,8474	0,6426	0,0002
<i>3x3_median_filter</i>	7,8117	0,6494	0,0015	7,4031	0,602	-0,0245	7,8968	0,6475	0,006
<i>4x4_median_filter</i>	7,8662	0,6545	0,0011	7,8517	0,6492	0,0022	7,8176	0,6398	-0,0057
<i>cropping_1</i>	7,8229	0,6502	0,0033	7,832	0,647	0,0031	7,8603	0,6423	-0,0034
<i>cropping_2</i>	7,8261	0,6502	0,0037	7,8742	0,6515	0,0033	7,8092	0,6394	-0,011
<i>cropping_5</i>	7,8551	0,6533	0,004	7,8538	0,6494	0,0033	7,9185	0,648	0,0154
<i>cropping_10</i>	7,8259	0,6509	0,0026	7,7497	0,6388	0,0017	7,7986	0,6359	0,0044
<i>cropping_15</i>	7,7899	0,647	0,0016	7,807	0,6449	0	7,8731	0,6439	0,0247
<i>cropping_20</i>	7,8213	0,6501	0,0019	7,7759	0,6424	0,0008	7,7944	0,6367	0,0014
<i>cropping_25</i>	7,8074	0,6486	0,0035	7,807	0,6458	0,0003	7,8219	0,6403	0,001
<i>cropping_50</i>	7,8092	0,649	0,0018	7,8464	0,6481	0,0087	7,8925	0,6472	0,0037
<i>cropping_75</i>	7,8225	0,6501	0,0048	7,7891	0,6428	0,0035	7,8904	0,6456	0,0123
<i>flip</i>	7,8058	0,6486	0,0005	7,9348	0,6579	0,0039	7,9142	0,6502	0,0006
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	7,8796	0,6557	0,0057	8,3138	0,6895	0,0312	8,5912	0,7058	0,0885
<i>JPEG_10</i>	7,8158	0,6495	0,0027	7,8909	0,6536	-0,0004	8,1344	0,6711	0,015
<i>JPEG_15</i>	7,9909	0,6679	0,0019	7,9974	0,6651	0,0012	8,215	0,679	0,0161
<i>JPEG_20</i>	7,7867	0,6464	0,0009	7,8012	0,6439	0,0033	8,0218	0,6583	0,0151
<i>JPEG_25</i>	7,8687	0,656	0,0018	7,8882	0,653	0,0065	7,2348	0,5739	-0,0424
<i>JPEG_30</i>	7,8114	0,6491	0,0017	7,7571	0,639	0,004	7,1576	0,5659	-0,0646
<i>JPEG_35</i>	7,8129	0,6491	0,0034	7,7765	0,6415	-0,0025	7,1703	0,5648	-0,0444
<i>JPEG_40</i>	7,8908	0,6574	0,0033	7,8812	0,6528	0,0067	7,6348	0,6216	-0,0206
<i>JPEG_50</i>	7,8445	0,6529	0,001	7,9446	0,6584	0,006	8,4761	0,6995	0,0465
<i>JPEG_60</i>	7,8275	0,6509	-0,0002	8,2052	0,682	0,0201	9,661	0,7791	0,1186
<i>JPEG_70</i>	7,8392	0,652	0,0035	8,7036	0,7219	0,0428	10,9332	0,8396	0,2057
<i>JPEG_80</i>	7,9004	0,6579	0,0032	10,2303	0,8124	0,0971	13,621	0,9164	0,3202
<i>JPEG_90</i>	8,3454	0,697	0,0147	13,0031	0,9051	0,1782	18,6243	0,9743	0,4471
<i>JPEG_100</i>	17,4592	0,9673	0,1616	27,5542	0,9968	0,8003	∞	1	1
<i>linear_1</i>	7,8008	0,6483	0,0012	7,899	0,654	0,0058	8,1803	0,6727	0,0436
<i>linear_2</i>	7,8276	0,6508	0,0018	7,8941	0,6532	0,0124	8,0062	0,6567	0,0185
<i>linear_3</i>	7,847	0,6528	0,003	7,9381	0,6568	0,0104	8,1596	0,6713	0,0257
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	7,8314	0,6511	0,001	7,8113	0,6453	0	7,8861	0,6456	-0,0031
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	7,7826	0,6465	0,002	7,8394	0,6484	0,0008	7,9687	0,6543	0,0059
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	7,8486	0,6526	0,0034	7,9142	0,6555	0,0085	8,0935	0,6657	0,0208
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	7,8061	0,6487	0,0037	7,9267	0,6571	0,0056	8,1026	0,6669	0,0204
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	7,8306	0,6509	0,0024	7,9985	0,6633	0,015	8,3305	0,6868	0,0474
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	7,8413	0,6522	0,0024	7,977	0,6613	0,0091	8,0262	0,6606	0,0074
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	7,82	0,65	0,0031	7,8474	0,6488	0,0073	7,9012	0,6476	0,0067
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	7,8082	0,6488	0,0019	7,8426	0,6482	0,0083	7,8581	0,6434	-0,0071
<i>reduce_colour</i>	7,7387	0,6415	0,0019	7,6757	0,6303	-0,0046	7,7377	0,6307	-0,0081
<i>rotation_0.25</i>	7,8272	0,6508	0,0023	7,8882	0,6528	0,0032	7,9185	0,6486	0,0082
<i>rotation_0.50</i>	7,8176	0,6497	0,004	7,833	0,6479	0,0044	7,8731	0,6445	-0,0006
<i>rotation_0.75</i>	7,8277	0,6508	0,0028	7,8855	0,6532	0,0016	7,841	0,6406	0,0134
<i>rotation_1.00</i>	7,8155	0,6496	0,0027	7,8044	0,6442	0,0054	7,8283	0,6391	0,0058
<i>rotation_2.00</i>	7,8187	0,6498	0,0034	7,8501	0,6485	0,0063	7,8304	0,6409	-0,0016
<i>rotation_5.00</i>	7,822	0,6503	0,0014	7,8909	0,6536	0,0125	7,871	0,6449	-0,0049
<i>rotation_10.00</i>	7,828	0,6508	0,0041	7,8097	0,6451	-0,0014	7,8581	0,6423	0,0052
<i>rotation_15.00</i>	7,829	0,651	0,0032	7,8325	0,6473	0,0049	7,8092	0,6369	0,0062
<i>rotation_30.00</i>	7,7934	0,6474	0,0009	7,8054	0,6442	0,0034	7,8796	0,6437	0,0103
<i>rotation_45.00</i>	7,8105	0,649	0,0036	7,8219	0,6465	0,0007	7,7986	0,6374	0,0021
<i>rotation_90.00</i>	7,8923	0,658	0,0007	8,4916	0,7127	-0,0026	8,7566	0,7304	0,0054
<i>rotation_-0.25</i>	7,8212	0,6501	0,0028	7,8171	0,6466	-0,0033	8,0351	0,6603	0,0184
<i>rotation_-0.50</i>	7,8109	0,6491	0,0026	7,8309	0,6472	0,0042	7,8517	0,6429	0,0095
<i>rotation_-0.75</i>	7,8188	0,6498	0,0034	7,841	0,6479	0,005	7,719	0,6292	-0,0085
<i>rotation_-1.00</i>	7,8016	0,648	0,0035	7,8394	0,6483	-0,004	7,8538	0,6424	0,0021
<i>rotation_-2.00</i>	7,8434	0,6524	0,0042	7,9272	0,6567	0,0089	7,8925	0,6464	0,0103
<i>scale_0.50</i>	7,7975	0,6478	0,0007	7,9142	0,6554	0,0038	8,3305	0,6868	0,0361
<i>scale_0.75</i>	7,8284	0,6508	0,002	7,9348	0,6578	0,0041	7,9534	0,6534	0,0079
<i>scale_0.90</i>	7,8215	0,6502	0,0002	7,8812	0,6524	0,0046	7,9294	0,6519	-0,0054
<i>scale_1.10</i>	7,8935	0,6572	0,0036	8,6744	0,7191	0,0412	9,3694	0,7613	0,1142
<i>scale_1.50</i>	9,0615	0,7497	0,0298	12,3359	0,8884	0,1645	15,294	0,9438	0,3653
<i>scale_2.00</i>	10,405	0,8226	0,0561	13,6351	0,9185	0,1904	16,8976	0,9615	0,4159
<i>Sharpening_3_3</i>	7,8328	0,6512	0,0022	7,8017	0,6435	0,003	7,8049	0,6374	-0,0017
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	7,8183	0,6497	0,004	7,8496	0,649	0,006	7,841	0,642	0,0022
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	7,8396	0,6517	0,0026	7,8362	0,6473	0,0038	7,788	0,6349	0,0033
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	7,7917	0,6469	0,0024	7,8947	0,654	0,0079	7,9359	0,65	0,0182
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	7,8006	0,6482	0,004	7,7744	0,6421	-0,0038	7,7398	0,6304	-0,0105
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	7,7758	0,6455	0,0009	7,8715	0,6516	0,0008	7,7691	0,6352	-0,0066
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	7,8072	0,6489	0,0022	7,8597	0,6502	0,0004	7,7149	0,6278	0,0056
<i>stirmark_random_bend</i>	7,8441	0,6524	0,0027	7,8245	0,6455	0,008	7,8368	0,6425	-0,0082

3.3 Teoretický popis metody BIN-DWT

Kvůli velmi nízké robustnosti bylo nutné přistoupit k vylepšení metody. Jako jednoduché, ale účinné vylepšení se jevílo změnit způsob vkládání vodoznaku. Tato metoda opět vkládá vodoznak do oblastí LL, ale využívá přitom váhovou funkci.

3.3.1 Proces vložení vodoznaku



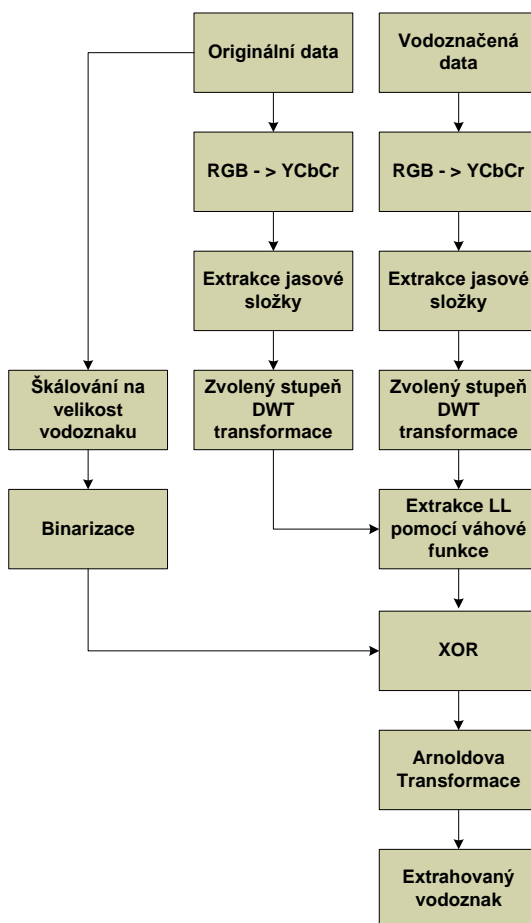
Obr. 3.9: Vložení vodoznaku BIN-DWT

Z diagramu 3.9 je zřejmé, že ke změně došlo jen v jednom bodu. Místo vkládání vodoznaku do LSB, byla využita váhová funkce

$$Y_w(i) = Y_0(i) + \alpha W(i), \quad (3.1)$$

kde Y_w je vodoznačená jasová složka, Y_0 jasová složka originálních dat, W vodoznak a α představuje váhový koeficient.

3.3.2 Proces extrakce vodoznaku



Obr. 3.10: Extrakce vodoznaku BIN-DWT

K vytažení vodoznaku jsou potřeba originální i vodoznačené obrazy, diagram celého procesu obsahuje obr. 3.10. Pro extrakci vodoznaku je použita váhová funkce

$$W(i) = \frac{Y_w(i) - Y_0(i)}{\alpha}, \quad (3.2)$$

kde W je extrahovaný vodoznak, Y_w vodoznačená jasová složka, Y_0 originální jasová složka a α představuje váhový koeficient.

3.4 Testování metody BIN-DWT

Testování bude probíhat obdobně jako v předchozím případě. Necht iterace Arnoldovy transformace je $x = 10$ a váhový koeficient $\alpha = 0,02$. Výsledky mezi originálními a vodoznačenými hostitelskými obrazy jsou v tabulce 3.3. Proti předchozím výsledkům hodnota PSNR klesla z necelých 54 dB na hodnoty blíží se 39 dB. To znamená, že vodoznačená data se lišila od originálu více. Na obr. 3.11 je příklad vodoznačeného obrazu pomocí 3. stupně DWT. Při použití koeficientu $\alpha > 0,02$ metoda viditelně ovlivnila vzezření vodoznačeného obrazu oproti originálu.

Tab. 3.3: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT

DWT	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
1. stupeň	38,5786	0,9996	0,9728
2. stupeň	38,628	0,9996	0,9767
3. stupeň	38,6918	0,9997	0,9991



Obr. 3.11: Vodoznačený obraz BIN-DWT

Naměřené hodnoty kvality mezi extrahovanými vodoznaky obsahuje tabulka 3.4. Z výsledků vyplývá, že došlo k velmi výraznému vylepšení robustnosti. Nejlepších výsledků bylo opět dosaženo při výběru 3. stupně DWT. Největší problémy způsobovaly metodě útoky geometrického charakteru (ořez, rotace a zkosení). Úspěšně extrahované vodoznaky jsou zvýrazněny tučně.

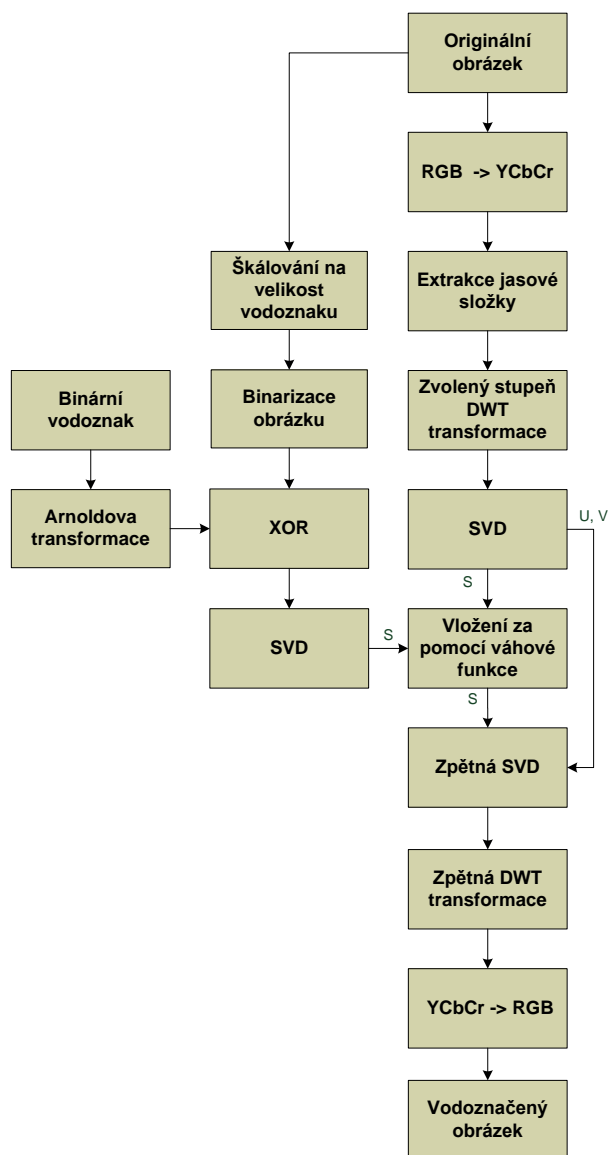
Tab. 3.4: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT

Soubor	1. stupeň			2. stupeň			3. stupeň		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	11,2039	0,855	0,0665	12,9148	0,9029	0,177	14,2918	0,9286	0,3553
<i>1_row_5_col_removed</i>	11,0894	0,8509	0,0633	12,8131	0,9005	0,1737	14,1619	0,9263	0,3545
<i>5_row_1_col_removed</i>	11,1441	0,8528	0,0654	12,7169	0,8982	0,1714	14,3487	0,9296	0,348
<i>5_row_17_col_removed</i>	10,9356	0,8453	0,0614	12,6021	0,8953	0,1701	14,0535	0,9244	0,342
<i>17_row_5_col_removed</i>	10,9419	0,8455	0,0604	12,7548	0,8992	0,1706	14,416	0,9307	0,3532
<i>2x2_median_filter</i>	11,6038	0,8719	0,0488	13,3872	0,9142	0,1615	14,8222	0,9374	0,35
<i>3x3_median_filter</i>	11,8403	0,8752	0,0912	12,6133	0,8951	0,2088	11,8871	0,8719	0,292
<i>4x4_median_filter</i>	8,995	0,7482	0,0165	9,8204	0,7911	0,0996	10,4173	0,8151	0,2186
<i>cropping_1</i>	8,84	0,7407	0,0079	9,7083	0,7894	0,0574	10,8301	0,8352	0,2075
<i>cropping_2</i>	8,5955	0,7229	0,0033	8,8076	0,735	0,0222	9,3151	0,761	0,0909
<i>cropping_5</i>	8,5095	0,7162	0,0007	8,5115	0,7135	0,0002	8,4076	0,7008	-0,007
<i>cropping_10</i>	8,5327	0,7181	0,0027	8,4984	0,7124	-0,0015	8,3568	0,6967	-0,0039
<i>cropping_15</i>	8,5109	0,7162	0,0001	8,4823	0,7108	0,0049	8,3592	0,6955	0,0098
<i>cropping_20</i>	8,3979	0,7062	0,002	8,3634	0,6999	0,0054	8,3043	0,6884	0,0131
<i>cropping_25</i>	8,307	0,6985	-0,0002	8,2553	0,6906	0,0008	8,2127	0,68	-0,0024
<i>cropping_50</i>	8,5628	0,7204	0,0016	8,4823	0,7114	0,0014	8,3043	0,6915	-0,0139
<i>cropping_75</i>	8,6044	0,724	0,001	8,5034	0,7136	-0,0057	8,5109	0,7082	0,0136
<i>flip</i>	8,5775	0,7216	0,0017	8,5102	0,7136	0,001	8,4173	0,7011	-0,0101
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	13,3312	0,9173	0,0763	17,7482	0,9692	0,2831	20,0298	0,9814	0,477
<i>JPEG_10</i>	9,0365	0,7535	0,0145	10,1054	0,8089	0,0704	11,8601	0,8722	0,2507
<i>JPEG_15</i>	9,6964	0,7938	0,0205	11,8789	0,8771	0,1233	18,2337	0,9719	0,4904
<i>JPEG_20</i>	10,1606	0,817	0,0276	13,9067	0,9242	0,1724	36,1576	0,9996	0,984
<i>JPEG_25</i>	10,759	0,8427	0,0368	16,4417	0,9583	0,2261	40,9288	0,9999	0,9994
<i>JPEG_30</i>	11,2248	0,8592	0,048	18,8136	0,976	0,3243	40,9288	0,9999	0,9991
<i>JPEG_35</i>	11,8406	0,8785	0,0582	21,8172	0,988	0,5376	40,9288	0,9999	0,9852
<i>JPEG_40</i>	12,3314	0,8921	0,0671	24,7746	0,994	0,7419	∞	1	1
<i>JPEG_50</i>	13,5579	0,9193	0,0879	31,6346	0,9988	0,9296	∞	1	1
<i>JPEG_60</i>	14,9211	0,9415	0,1191	35,81	0,9995	0,9688	∞	1	1
<i>JPEG_70</i>	17,3793	0,967	0,2036	43,9391	0,9999	0,9926	∞	1	1
<i>JPEG_80</i>	21,8742	0,9883	0,4702	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_90</i>	35,4881	0,9995	0,9626	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_100</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>linear_1</i>	9,3525	0,7728	0,0189	9,9597	0,803	0,0615	10,6881	0,8314	0,155
<i>linear_2</i>	9,2267	0,7647	0,017	9,6781	0,7882	0,0508	10,3143	0,8147	0,1367
<i>linear_3</i>	9,5572	0,7848	0,0229	10,2711	0,818	0,0706	11,0656	0,8468	0,1737
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	11,6606	0,8702	0,075	13,5075	0,9157	0,1983	14,8758	0,9378	0,3768
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	11,5471	0,8667	0,0713	13,3359	0,9122	0,1895	14,8974	0,9381	0,3752
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	12,1648	0,8853	0,083	14,3463	0,9311	0,21	15,8502	0,9506	0,397
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	11,7679	0,8737	0,0754	13,6311	0,9182	0,1939	15,2703	0,9434	0,3887
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	12,9778	0,9057	0,0954	15,0968	0,9423	0,2208	16,7293	0,9599	0,419
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	12,6245	0,8973	0,0907	14,3678	0,9314	0,2113	16,2899	0,9555	0,4042
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	12,1519	0,8847	0,0841	13,775	0,921	0,2056	14,9409	0,9388	0,3738
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	12,0537	0,8819	0,0827	13,4878	0,9153	0,1972	15,0182	0,9399	0,378
<i>reduce_colour</i>	6,0098	0,3249	0,0018	6,0588	0,3239	-0,0003	6,1216	0,3158	-0,002
<i>rotation_0.25</i>	9,8185	0,7978	0,0304	11,5876	0,8667	0,1295	13,0189	0,9032	0,307
<i>rotation_0.50</i>	8,9046	0,7458	0,0095	9,7495	0,7918	0,0556	10,9245	0,8394	0,2009
<i>rotation_0.75</i>	8,7538	0,7352	0,0048	9,0374	0,7512	0,0244	9,7329	0,7847	0,1146
<i>rotation_1.00</i>	8,6541	0,7276	0,0033	8,7389	0,7309	0,0114	9,1104	0,7487	0,0641
<i>rotation_2.00</i>	8,5308	0,7179	0,0009	8,5071	0,7132	-0,0024	8,4712	0,7045	0,0095
<i>rotation_5.00</i>	8,5105	0,7163	0,0005	8,509	0,7129	0,0037	8,2665	0,6874	-0,0039
<i>rotation_10.00</i>	8,5474	0,7191	0,0018	8,4362	0,7073	0,0006	8,3376	0,6929	-0,011
<i>rotation_15.00</i>	8,4814	0,7136	0,0026	8,3586	0,7008	-0,0001	8,2337	0,6834	-0,0088
<i>rotation_30.00</i>	8,495	0,7147	0,0025	8,4003	0,7039	0	8,2736	0,6869	-0,0029
<i>rotation_45.00</i>	8,422	0,7085	0,0014	8,3311	0,6982	-0,0011	8,2996	0,6883	0,0052
<i>rotation_90.00</i>	8,513	0,7162	0,0028	8,4368	0,7071	0,0004	8,3209	0,6919	0,0067
<i>rotation_-0.25</i>	9,9214	0,8029	0,0317	11,6244	0,8677	0,1331	13,1401	0,9059	0,3199
<i>rotation_-0.50</i>	8,9951	0,7517	0,0086	9,8865	0,799	0,0605	11,3051	0,8538	0,226
<i>rotation_-0.75</i>	8,7624	0,7356	0,0035	9,0819	0,7539	0,0289	10,0404	0,8014	0,1383
<i>rotation_-1.00</i>	8,684	0,7299	0,0013	8,8357	0,738	0,0165	9,3876	0,767	0,0837
<i>rotation_-2.00</i>	8,5147	0,7163	0,0025	8,5115	0,7131	0,0024	8,5233	0,7087	0,0181
<i>scale_0.50</i>	10,3206	0,8221	0,0377	13,0933	0,9071	0,1785	14,8758	0,9378	0,3722
<i>scale_0.75</i>	10,7572	0,8389	0,053	13,2277	0,9099	0,1878	14,7904	0,9365	0,3753
<i>scale_0.90</i>	11,7755	0,8741	0,0744	13,868	0,9227	0,204	15,513	0,9465	0,3955
<i>scale_1.10</i>	13,5653	0,919	0,0881	15,6172	0,9493	0,2232	16,2601	0,9555	0,3756
<i>scale_1.50</i>	22,1818	0,9891	0,4062	31,2674	0,9986	0,909	∞	1	1
<i>scale_2.00</i>	28,8876	0,9977	0,8226	43,9391	0,9999	0,9962	∞	1	1
<i>Sharpening_3_3</i>	12,5569	0,8952	0,1004	15,6784	0,9498	0,2292	19,139	0,9773	0,5234
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	9,4145	0,7762	0,0239	10,5916	0,8306	0,0881	12,0639	0,8783	0,2667
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	8,6997	0,7301	0,0049	8,8842	0,7398	0,0218	9,1766	0,7536	0,0654
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	9,5247	0,7819	0,0224	10,1999	0,8132	0,0793	11,1745	0,8489	0,2108
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	8,8184	0,7399	0,0056	9,4366	0,7747	0,0425	10,375	0,8166	0,1585
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	8,7815	0,7364	0,0044	8,87	0,7397	0,0117	9,0143	0,7433	0,0438
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	8,53	0,7177	0,0025	8,5931	0,7189	0,0069	8,6345	0,7158	0,0353
<i>stirmark_random_bend</i>	8,9246	0,7484	0,0025	9,1412	0,7599	0,0128	9,6094	0,783	0,0683

3.5 Teoretický popis metody BIN-DWT-SVD

Předchozí úprava metody přinesla příznivé vylepšení robustnosti, ale některé útoky vodoznak úspěšně odstranily. Proto byla navržena obdobná metoda využívající singulární dekompozici. Od této změny bylo očekáváno další zlepšení robustnosti, ale i neviditelnosti vloženého vodoznaku.

3.5.1 Proces vložení vodoznaku



Obr. 3.12: Vložení vodoznaku BIN-DWT-SVD

Obr. 3.12 obsahuje diagram nově navržené metody, která opět využívá váhovou funkci. K singulárním hodnotám jasové složky hostitelského obrazu jsou připočteny

singulární hodnoty šedotónového vodoznaku. Proces vložení vodoznaku může být vyjádřen rovnicí

$$S_{Y_w}(i) = S_{Y_0}(i) + \alpha S_w(i), \quad (3.3)$$

kde S_{Y_w} jsou singulární hodnoty jasové složky vodoznačeného obrazu, S_{Y_0} singulární hodnoty jasové složky originálních dat a S_w singulární hodnoty vodoznaku. Dalším krokem je sestavení jasové složky vodoznačeného obrazu, za pomoci matic U a V vzniklých při SVD dekompozici originální jasové složky, podle

$$Y_w = U_{Y_0} S_{Y_w} V_{Y_0}^T, \quad (3.4)$$

kde Y_w představuje vodoznačená data, U_{Y_0} , V_{Y_0} jsou ortogonální matice originálního obrazu a S_{Y_w} je upravená diagonální matice vzniklá při procesu vložení vodoznaku. Následné kroky jsou shodné s předchozími metodami.

3.5.2 Proces extrakce vodoznaku

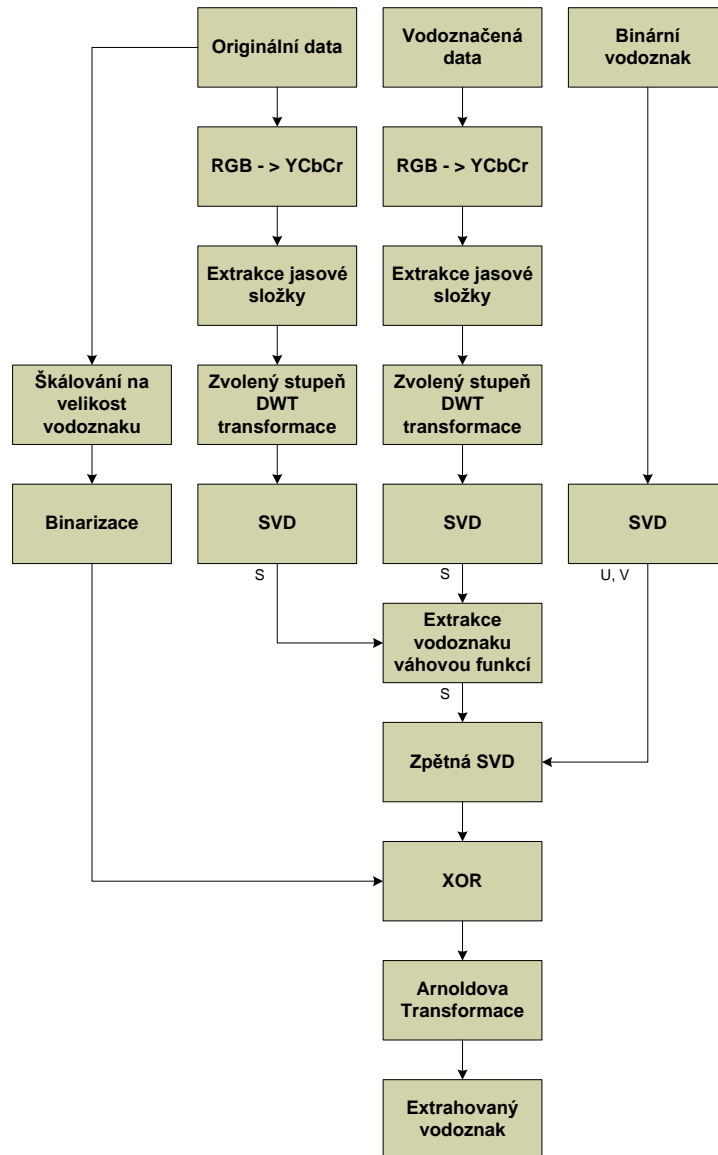
K vytažení vodoznaku potřebuje tato metoda kromě originálních dat a vodoznačených dat také originální vodoznak. Po výpočtu všech potřebných diagonálních matic S dochází k extrakci singulárních hodnot extrahovaného vodoznaku podle rovnice

$$S_w(i) = \frac{S_{Y_w}(i) - S_{Y_0}(i)}{\alpha}, \quad (3.5)$$

kde S_w je diagonální matice vytaženého vodoznaku, S_{Y_w} diagonální matice jasové složky vodoznačených dat a S_{Y_0} diagonální matice jasové složky originálních dat. Následné sestavení vodoznaku lze popsat jako

$$W = U_{w0} S_w V_{w0}^T, \quad (3.6)$$

kde W je extrahovaný šedotónový vodoznak, U_{w0} a V_{w0} jsou ortogonální matice vzniklé při SVD originálního vodoznaku a S_w jsou extrahované singulární hodnoty vodoznaku. Další kroky jsou stejné jako u předchozích metod. Diagram celého procesu extrakce je vidět na obr. 3.13.



Obr. 3.13: Extrakce vodoznaku BIN-DWT-SVD

3.6 Testování metody BIN-DWT-SVD

Testování proběhne za použití stejných dat, nechť iterace Arnoldovy transformace je $x = 10$ a koeficient $\alpha = 0,02$. Pak naměřené hodnoty mezi originálními a vodoznačenými obrazy budou odpovídat hodnotám v tabulce 3.5. Z výsledků je patrné, že hodnoty kvality se od metody BIN-DWT mnoho neliší. Průhlednost vodoznaku je tedy při použití stejného koeficientu obdobná. Díky SVD je možné využít hlubší vložení vodoznaku při minimálním ovlivnění podobnosti vodoznačených dat od originálu, a to zhruba až do hodnoty $\alpha = 0,06$. Pro lepší porovnání obou metod byl zvolen stejný váhový koeficient. Příklad vodoznačeného obrazu při použití 3. stupně

DWT je na obr. 3.14.

Tab. 3.5: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro BIN-DWT-SVD

DWT	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1. stupeň</i>	38,6912	0,9999	0,9951
<i>2. stupeň</i>	38,7501	0,9999	0,9968
<i>3. stupeň</i>	38,812	0,9999	0,9995



Obr. 3.14: Vodoznačený obraz BIN-DWT-SVD

Tato metoda dosahovala při vkládání do pole LL3 zdaleka nejlepších výsledků. Z tabulky 3.6 vyplývá, že vytažení vodoznaku bylo ve většině případů úspěšné. Pouze dva případy ořezání a útok reduce color způsobily neúspěšnou extrakci. Tučné hodnoty znázorňují úspěšné případy vytažení vodoznaku.

Tab. 3.6: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro BIN-DWT-SVD

Soubor	1. stupeň			2. stupeň			3. stupeň		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>1_row_5_col_removed</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>5_row_1_col_removed</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>5_row_17_col_removed</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>17_row_5_col_removed</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>2x2_median_filter</i>	19,3603	0,9796	0,6639	37,9185	0,9997	0,9944	∞	1	1
<i>3x3_median_filter</i>	11,2786	0,8566	0,0658	13,6029	0,9176	0,1939	17,5046	0,9665	0,4428
<i>4x4_median_filter</i>	13,2624	0,9119	0,1874	14,2009	0,9287	0,2331	22,0079	0,9883	0,7376
<i>cropping_1</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>cropping_2</i>	∞	1	1	∞	1	1	36,1576	0,9996	0,9983
<i>cropping_5</i>	42,1782	0,9999	0,9933	35,81	0,9995	0,9761	37,9185	0,9997	0,999
<i>cropping_10</i>	22,2438	0,9893	0,4847	19,8652	0,9811	0,3786	18,7804	0,9753	0,4804
<i>cropping_15</i>	18,2733	0,973	0,2775	17,5046	0,9672	0,284	17,4263	0,9661	0,4097
<i>cropping_20</i>	12,2619	0,8872	0,1632	12,1393	0,8822	0,203	11,3575	0,8538	0,2908
<i>cropping_25</i>	8,2953	0,6852	0,081	8,1476	0,6665	0,1002	7,788	0,6196	0,116
<i>cropping_50</i>	10,6857	0,8358	0,0406	12,0456	0,8799	0,1548	11,4545	0,8586	0,2327
<i>cropping_75</i>	10,1438	0,8279	-0,0203	10,337	0,8344	-0,0218	11,0656	0,8596	0,0482
<i>flip</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	11,6063	0,8808	0,0397	22,7664	0,9905	0,7809	∞	1	1
<i>JPEG_10</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_15</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_20</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_25</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_30</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_35</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_40</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_50</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_60</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_70</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_80</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_90</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>JPEG_100</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>linear_1</i>	13,3629	0,9137	0,1269	13,8065	0,9214	0,2422	10,356	0,8116	0,2869
<i>linear_2</i>	11,8665	0,8757	0,1018	11,4459	0,8602	0,2051	9,5174	0,7655	0,2418
<i>linear_3</i>	15,0196	0,9419	0,1571	16,275	0,9563	0,2796	11,8708	0,8713	0,3494
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>reduce_colour</i>	5,9875	0,3182	0,0017	6,0391	0,3178	-0,003	6,1187	0,3149	-0,002
<i>rotation_0.25</i>	42,1782	0,9999	0,9922	∞	1	1	∞	1	1
<i>rotation_0.50</i>	26,1486	0,9956	0,7442	27,5542	0,9968	0,846	27,5046	0,9967	0,8939
<i>rotation_0.75</i>	19,2649	0,9786	0,2765	19,3151	0,9786	0,3682	18,9148	0,9759	0,4601
<i>rotation_1.00</i>	16,4062	0,9583	0,1455	16,465	0,9583	0,2434	16,6475	0,9592	0,41
<i>rotation_2.00</i>	13,7365	0,9215	0,0956	14,0669	0,9264	0,1884	14,0624	0,925	0,3216
<i>rotation_5.00</i>	14,0725	0,9282	0,119	14,5891	0,9351	0,1917	14,6449	0,935	0,3326
<i>rotation_10.00</i>	12,3056	0,8899	0,0872	12,2482	0,8862	0,169	12,0809	0,879	0,2547
<i>rotation_15.00</i>	13,0128	0,9068	0,1364	13,4179	0,9143	0,2167	12,5152	0,8908	0,2706
<i>rotation_30.00</i>	11,9525	0,8797	0,0696	12,7714	0,8994	0,1608	13,0049	0,9029	0,2809
<i>rotation_45.00</i>	10,128	0,821	0,02	10,2861	0,826	0,0424	9,9458	0,8032	0,0701
<i>rotation_90.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>rotation_-0.25</i>	37,0594	0,9996	0,9849	∞	1	1	∞	1	1
<i>rotation_-0.50</i>	28,5452	0,9975	0,9114	31,5087	0,9987	0,9643	40,9288	0,9999	0,9989
<i>rotation_-0.75</i>	24,0546	0,993	0,7782	26,821	0,9962	0,8867	36,1576	0,9996	0,9977
<i>rotation_-1.00</i>	20,9153	0,9855	0,5691	21,3503	0,9867	0,5782	26,9494	0,9963	0,8763
<i>rotation_-2.00</i>	15,7363	0,9514	0,2129	15,7568	0,9509	0,2148	16,0433	0,9529	0,3847
<i>scale_0.50</i>	20,704	0,9848	0,6783	∞	1	1	∞	1	1
<i>scale_0.75</i>	44,519	0,9999	0,9969	∞	1	1	∞	1	1
<i>scale_0.90</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>scale_1.10</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>scale_1.50</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>scale_2.00</i>	∞	1	1	∞	1	1	∞	1	1
<i>Sharpening_3_3</i>	19,0167	0,9773	0,4662	26,7791	0,9962	0,7859	32,4778	0,999	0,9391
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	52,97	1	0,9991	∞	1	1	∞	1	1
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	28,4216	0,9974	0,8772	28,4368	0,9974	0,8713	24,5941	0,9936	0,8368
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	28,6887	0,9976	0,8289	28,6243	0,9975	0,8293	26,0152	0,9954	0,7788
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	30,2054	0,9983	0,8858	31,1516	0,9986	0,912	27,5046	0,9967	0,9146
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	13,6301	0,9192	0,1106	13,7834	0,921	0,2	13,5968	0,916	0,315
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	12,6013	0,8967	0,087	12,564	0,8941	0,167	12,3374	0,8868	0,2497
<i>stirmark_random_bend</i>	18,3776	0,9747	0,7046	18,2454	0,9732	0,4654	23,2945	0,9914	0,8294

4 METODY PRO VKLÁDÁNÍ ŠEDOTÓNOVÝCH VODOZNAKŮ

Pro vkládání šedotónových vodoznaků byly vybrány dvě rozdílné metody. První je založena na rozdělení hostitelských dat na dva díly a následné vkládání vodoznaku pouze do LL oblasti jednoho z nich. Tento přístup je inspirován článkem [11]. Druhá operuje se škálováním 8-bitových DWT koeficientů do 24-bitového zobrazení, jejich následné rozdělení a vkládání do celého hostitelského obrazu. Metoda je blíže popsána v článku [4].

4.1 Teoretický popis metody SHARE-DWT

Originální metoda z článku [11] pro vložení vodoznaku rozdělí jasovou složku originálního obrazu na dva díly. Jeden díl je poté tzv. horizontálně sloučen, a na takto připravený obraz je aplikován 1. stupeň DWT. Vodoznak je za použití váhové funkce vložen do pole LL1, poté je provedena inverzní DWT a vodoznačená hostitelská data jsou zpětně sestavena [11].

4.1.1 Proces vložení vodoznaku

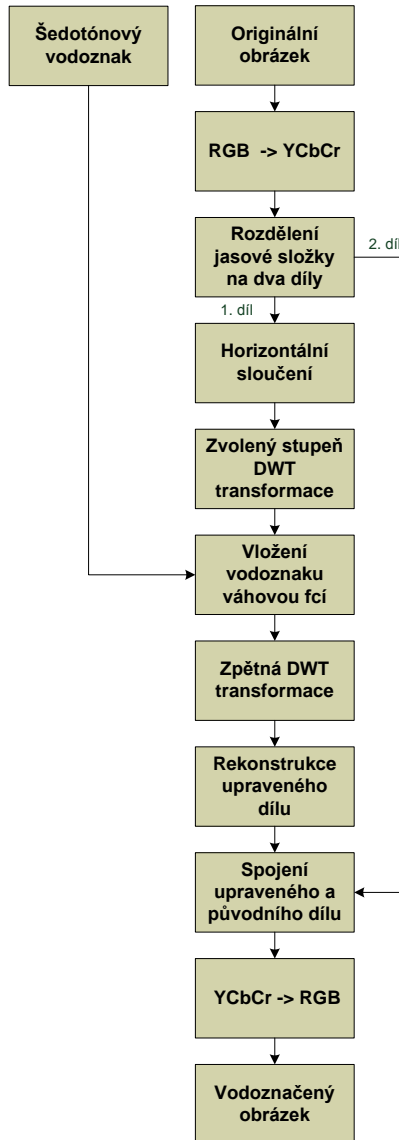
Na obr. 4.1 je k dispozici diagram celého procesu vkládání vodoznaku. Jeho velikost se opět odvíjí od zvoleného stupně DWT. Následující kroky popisují přesný postup vložení vodoznaku do hostitelských dat:

Krok 1: Originální obraz je převeden ze zobrazení RGB do YCbCr. Jasová složka je poté rozdělena na dva díly. Pro příklad mějme matici A , která představuje originální jasovou složku

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 10 & 11 & 12 \\ 13 & 14 & 15 & 16 \end{bmatrix},$$

poté matice B , C představují požadované díly [11]:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 8 \\ 9 & 0 & 11 & 0 \\ 0 & 14 & 0 & 16 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 4 \\ 5 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 12 \\ 13 & 0 & 15 & 0 \end{bmatrix}.$$

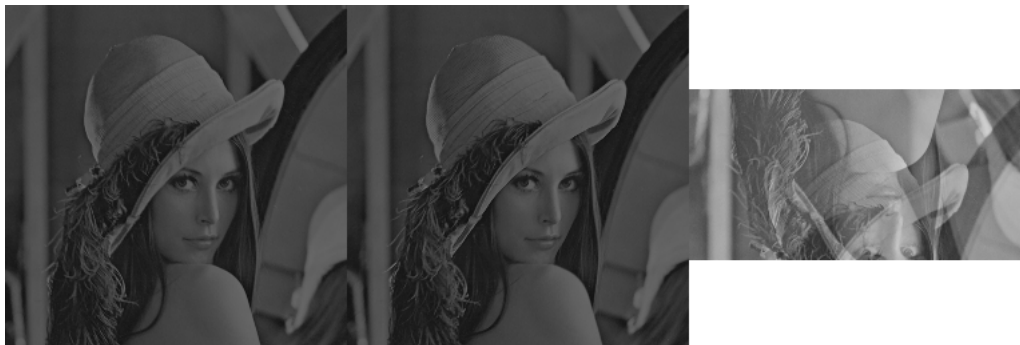


Obr. 4.1: Vložení vodoznaku SHARE-DWT

Krok 2: Dále je vybrán 1. díl, a právě na něj je aplikováno horizontální sloučení. Pokud matice B představuje 1. díl, bude horizontálně sloučený obraz odpovídat matici

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 14 & 3 & 16 \\ 9 & 6 & 11 & 8 \end{bmatrix}.$$

Příklady obrazů po rozdělení a horizontálním sloučení jsou vidět na obr. 4.2, zleva: 1. díl, 2. díl, horizontální sloučení [11].



Obr. 4.2: Rozdělení na díly a horizontální sloučení

Krok 3: Na horizontálně sloučený obraz je aplikován zvolený stupeň DWT. Za předpokladu, že hostitelská data mají rozměry 512 x 512 px a je zvolen první stupeň DWT, rozměry vodoznaku budou 128 x 256 px. Tento vodoznak poté bude vložen do oblasti LL1, za pomoci váhové funkce popsané rovnicí

$$M_w(i) = M_0(i) + \alpha W(i), \quad (4.1)$$

kde M_w je upravený horizontálně sloučený obraz, M_0 originální horizontálně sloučený obraz, W vodoznak a α představuje váhový koeficient [11].

Krok 4: Dále je provedena iDWT a upravený horizontálně sloučený obraz je rozveden do původního formátu. Sloučením vodoznačeného rekonstruovaného dílu a 2. dílu z prvního kroku je složena upravená jasová složka. K ní jsou přidány chrominanci složky Cr a Cb , obraz je převeden zpět do zobrazení RGB a vzniká vodoznačený obraz C_w [11].

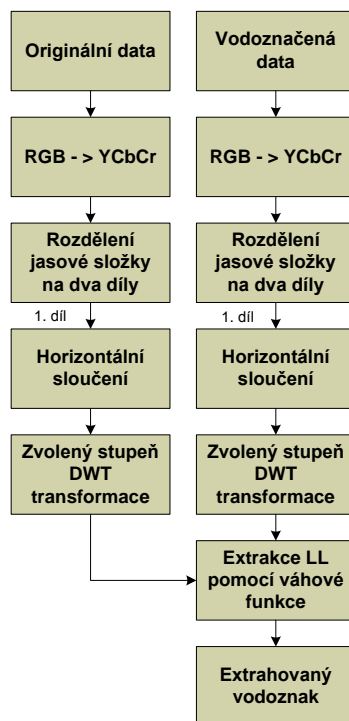
4.1.2 Proces extrakce vodoznaku

K extrahování vodoznaku jsou potřebné originální i vodoznačené hostitelské obrazy. Ty jsou převedeny do zobrazení YCbCr a rozděleny na dva díly. Následně je vybrán upravený díl z vodoznačených dat a také jemu odpovídající díl z dat originálních. Po provedení horizontálních sloučení a DWT obou dílů proběhne extrakce vodoznaku za pomoci váhové funkce

$$W(i) = \frac{M_w(i) - M_0(i)}{\alpha}, \quad (4.2)$$

kde W je extrahovaný vodoznak, M_w jsou upravená horizontálně sloučená data, M_0

jsou originální horizontálně sloučená data a α představuje váhový koeficient. Diagram celého procesu je k dispozici na obr. 4.3 [11].

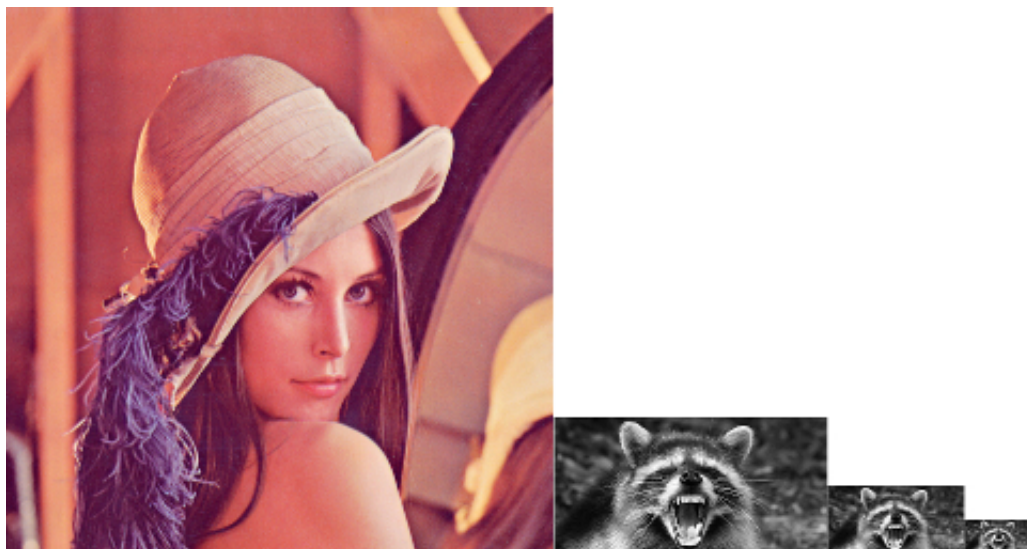


Obr. 4.3: Extrakce vodoznaku SHARE-DWT

4.2 Testování metody SHARE-DWT

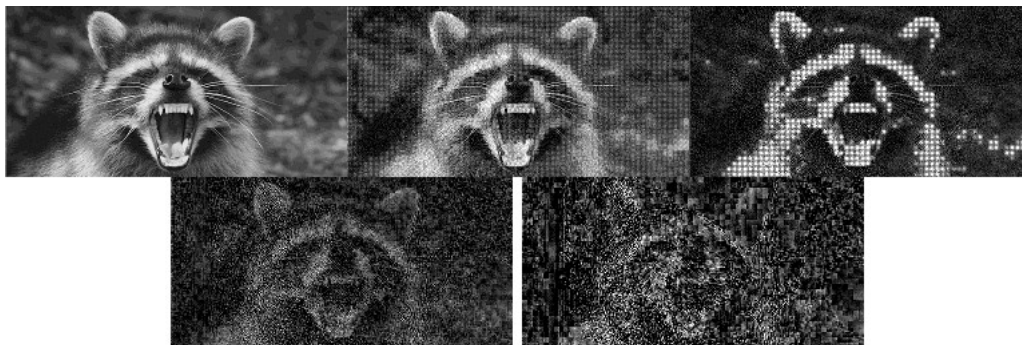
Pro testování budou použita hostitelská data *Lena* 512 x 512 px a vodoznak *Coon* o třech rozměrech (128 x 256px, 64 x 128 px, 32 x 64 px). Ukázka na obr. 4.4. Pro určení úspěšnosti vytažení vodoznaku je nutné určit hranici indexů kvality. Příklad je zobrazen na obr. 4.5, kde jsou vidět extrahované vodoznaky s různou kvalitou. Naměřené hodnoty byly zleva:

- PSNR: 39,6122 dB NCC: 0,9990, MSSIM: 0,9534
- PSNR: 25,4021 dB NCC: 0,9723, MSSIM: 0,5243
- PSNR: 19,8240 dB NCC: 0,8971, MSSIM: 0,3541
- PSNR: 17,4461 dB NCC: 0,8460, MSSIM: 0,2166
- PSNR: 16,4032 dB NCC: 0,7517, MSSIM: 0,1048



Obr. 4.4: Testovací data SHARE-DWT

Hranice určující úspěšně extrahovaný vodoznak byly na základě poznatků určeny: PSNR: 17 dB, NCC: 0,8 a MSSIM 0,2. Nejlepší představu o kvalitě extrahovaného vodoznaku prezentuje index MSSIM. V rozsahu od 1 - 0,6 byl vodoznak velmi podobný, od 0,6 - 0,4 byl podobný, 0,3 - 0,2 rozpoznatelný. Pokud MSSIM index klesl pod hranici 0,2, byl vodoznak nečitelný.



Obr. 4.5: Příklad extrahovaných vodoznaků SHARE-DWT

Tabulka 4.1 obsahuje hodnoty kvality mezi originálními a vodoznačenými obrazy. Z výsledků vyplývá, že při použití váhového koeficientu $\alpha = 0,06$ byl originální obraz ovlivněn jen minimálně. Hodnoty se velmi podobají měřením u předchozích metod. Použitím většího váhového koeficientu bylo docíleno k viditelnému rozdílu vodoznačených dat od originálních. Ukázkou vodoznačených dat obsahuje obr. 4.6.

Tab. 4.1: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro SHARE-DWT

DWT	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
1. stupeň	38,9234	0,9995	0,9383
2. stupeň	38,9821	0,9995	0,9399
3. stupeň	39,0230	0,9995	0,9420



Obr. 4.6: Příklad vodoznačeného obrazu SHARE-DWT

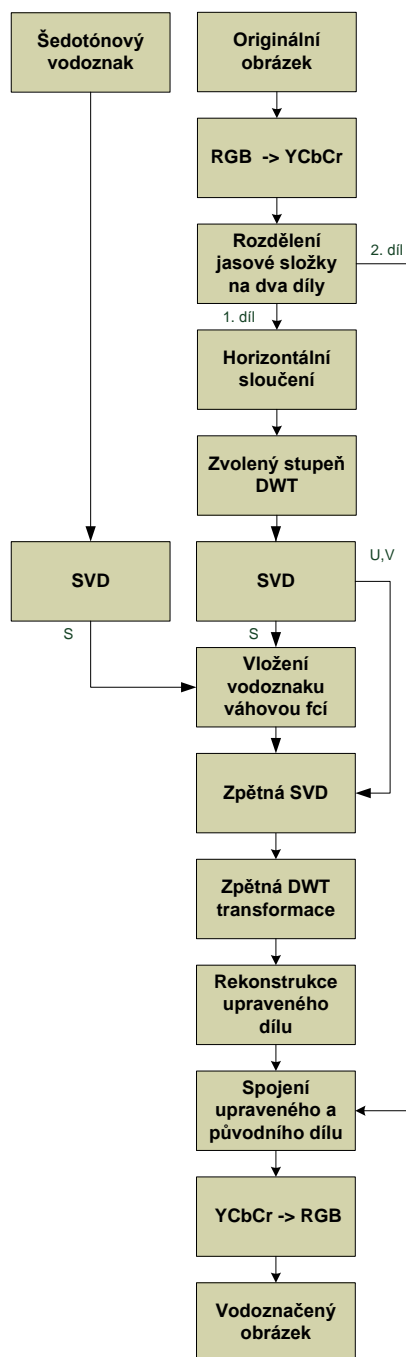
Výsledky měření mezi vodoznaky obsahuje tabulka 4.2. Nejlepších výsledků bylo opět dosaženo při vkládání vodoznaku do pole LL3. Zajímavé je, že hodnoty PSNR a NCC jsou u některých výsledků nižší než hranice pro rozeznání, zatímco MSSIM vykazuje dostatečnou podobnost. Jelikož index MSSIM bere v potaz vnímání lidského oka, byla mu dána v rozhodování o podobnosti přednost. Geometrické útoky byly nejčastější příčinou neúspěchu vytažení vodoznaku.

Tab. 4.2: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro SHARE-DWT

Soubor	1. stupeň			2. stupeň			3. stupeň		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	15,9646	0,7207	0,1736	16,5460	0,7817	0,2588	17,0266	0,8584	0,3358
<i>1_row_5_col_removed</i>	15,9567	0,7201	0,1728	16,5445	0,7816	0,2593	16,9977	0,8561	0,3364
<i>5_row_1_col_removed</i>	15,8388	0,7099	0,1781	16,4013	0,7613	0,2592	16,9926	0,8383	0,3338
<i>5_row_17_col_removed</i>	15,7779	0,7050	0,1731	16,3512	0,7563	0,2544	16,9522	0,8342	0,3288
<i>17_row_5_col_removed</i>	15,9217	0,7169	0,1720	16,4870	0,7734	0,2507	16,9985	0,8493	0,3332
<i>2x2_median_filter</i>	16,9658	0,7878	0,2147	18,0758	0,8379	0,3096	19,4308	0,8962	0,4245
<i>3x3_median_filter</i>	16,9214	0,8509	0,2613	17,0118	0,8922	0,3887	16,9626	0,9023	0,4608
<i>4x4_median_filter</i>	14,7362	0,6629	0,1021	15,3406	0,6845	0,1875	16,0563	0,7215	0,2705
<i>cropping_1</i>	14,1533	0,6206	0,0758	14,6677	0,6371	0,1412	15,1582	0,6564	0,1941
<i>cropping_2</i>	13,0837	0,5903	0,0449	13,3909	0,5921	0,0783	13,7447	0,5961	0,1036
<i>cropping_5</i>	12,0656	0,5854	0,0215	12,2613	0,5882	0,0355	12,4870	0,5905	0,0537
<i>cropping_10</i>	11,2326	0,5816	0,0091	11,3206	0,5857	0,0056	11,5312	0,5839	0,0106
<i>cropping_15</i>	10,8222	0,5842	0,0043	10,9273	0,5883	-0,0048	11,0110	0,5901	-0,0053
<i>cropping_20</i>	10,7408	0,5866	0,0091	10,7896	0,5887	-0,0046	10,9439	0,5994	0,0077
<i>cropping_25</i>	10,7641	0,5974	0,0243	10,7889	0,5988	0,0160	10,8735	0,5963	0,0091
<i>cropping_50</i>	10,3351	0,5955	0,0215	10,3691	0,5964	0,0026	10,4007	0,5913	-0,0118
<i>cropping_75</i>	10,5178	0,6501	0,0322	10,5617	0,6535	0,0135	10,6142	0,6545	0,0087
<i>flip</i>	10,4189	0,6310	0,0270	10,4437	0,6347	0,0159	10,4872	0,6361	-0,0036
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	18,3782	0,8918	0,2848	19,2286	0,9614	0,4756	19,3798	0,9777	0,5505
<i>JPEG_10</i>	16,4032	0,7517	0,1048	17,3132	0,8282	0,2437	17,8593	0,8872	0,3983
<i>JPEG_15</i>	16,9475	0,7961	0,1507	17,8274	0,8831	0,3226	18,3238	0,9351	0,4858
<i>JPEG_20</i>	17,2176	0,8240	0,1792	18,0883	0,9167	0,3728	18,5451	0,9602	0,5385
<i>JPEG_25</i>	17,4461	0,8460	0,2166	18,2957	0,9362	0,4173	18,6694	0,9715	0,5628
<i>JPEG_30</i>	17,6005	0,8619	0,2346	18,3878	0,9480	0,4424	18,6747	0,9774	0,5721
<i>JPEG_35</i>	17,6877	0,8727	0,2532	18,4804	0,9575	0,4702	18,7374	0,9821	0,5747
<i>JPEG_40</i>	17,8092	0,8822	0,2597	18,5602	0,9635	0,4836	18,8454	0,9861	0,6063
<i>JPEG_50</i>	18,0220	0,8911	0,2885	18,7898	0,9571	0,5278	19,1266	0,9626	0,6370
<i>JPEG_60</i>	18,8888	0,8867	0,3267	19,8393	0,9252	0,5740	20,2550	0,9326	0,6951
<i>JPEG_70</i>	19,8240	0,8971	0,3547	21,8231	0,9441	0,6514	22,3567	0,9511	0,7771
<i>JPEG_80</i>	21,3103	0,9272	0,3918	24,6285	0,9718	0,7408	25,4766	0,9776	0,8515
<i>JPEG_90</i>	25,4021	0,9723	0,5243	30,6373	0,9919	0,8559	32,8377	0,9951	0,9397
<i>JPEG_100</i>	39,6122	0,9990	0,9534	40,4306	0,9991	0,9758	40,6980	0,9992	0,9855
<i>linear_1</i>	14,6234	0,6577	0,0766	15,1294	0,6740	0,1281	15,6743	0,6973	0,1713
<i>linear_2</i>	14,3076	0,6469	0,0708	14,8208	0,6618	0,1184	15,2471	0,6754	0,1558
<i>linear_3</i>	14,9639	0,6727	0,0934	15,5141	0,6947	0,1467	16,0808	0,7228	0,2041
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	16,3079	0,7547	0,1975	16,8327	0,8212	0,2899	17,2174	0,8872	0,3709
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	16,2807	0,7508	0,1958	16,7967	0,8117	0,2838	17,2248	0,8799	0,3593
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	16,5593	0,7847	0,2151	17,0328	0,8566	0,3225	17,3060	0,9158	0,3918
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	16,4125	0,7651	0,2053	16,9085	0,8292	0,2955	17,2948	0,8970	0,3740
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	16,7394	0,8078	0,2250	17,1606	0,8760	0,3361	17,4045	0,9283	0,4131
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	16,5881	0,7918	0,2105	17,0205	0,8578	0,3097	17,3426	0,9195	0,3980
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	16,3722	0,7604	0,2068	16,8746	0,8248	0,2974	17,2578	0,8905	0,3806
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	16,3491	0,7586	0,2043	16,8251	0,8194	0,2905	17,2279	0,8871	0,3730
<i>reduce_colour</i>	12,7936	0,0000	0,0005	12,8485	0,0000	0,0003	12,8931	0,0000	0,0001
<i>rotation_0.25</i>	15,4553	0,6816	0,1370	15,9859	0,7181	0,2242	16,3386	0,7507	0,2870
<i>rotation_0.50</i>	14,2685	0,6257	0,0778	14,7377	0,6385	0,1399	15,2053	0,6563	0,1906
<i>rotation_0.75</i>	13,5947	0,6097	0,0571	13,9876	0,6157	0,1053	14,3799	0,6174	0,1404
<i>rotation_1.00</i>	13,1818	0,6034	0,0468	13,4793	0,6062	0,0828	13,9305	0,6070	0,1126
<i>rotation_2.00</i>	12,1960	0,5937	0,0244	12,4395	0,5965	0,0398	12,7412	0,5976	0,0552
<i>rotation_5.00</i>	11,0786	0,5882	0,0129	11,1879	0,5926	0,0038	11,2457	0,5896	0,0176
<i>rotation_10.00</i>	10,6733	0,6016	0,0193	10,7380	0,6036	0,0034	10,7895	0,6056	0,0109
<i>rotation_15.00</i>	10,6603	0,5941	0,0223	10,6990	0,5948	0,0137	10,8240	0,5961	-0,0007
<i>rotation_30.00</i>	10,3764	0,5918	0,0267	10,4132	0,5923	0,0033	10,5022	0,5962	-0,0333
<i>rotation_45.00</i>	10,3637	0,6284	0,0378	10,3849	0,6321	0,0351	10,4477	0,6368	0,0249
<i>rotation_90.00</i>	10,5590	0,5998	0,0151	10,5850	0,6036	0,0031	10,6699	0,6045	-0,0042
<i>rotation_-0.25</i>	15,4280	0,6793	0,1445	15,9698	0,7167	0,2181	16,5943	0,7762	0,2971
<i>rotation_-0.50</i>	14,5646	0,6335	0,0957	15,0516	0,6535	0,1495	15,6767	0,6900	0,2227
<i>rotation_-0.75</i>	13,9495	0,6128	0,0706	14,3517	0,6232	0,1118	14,8906	0,6449	0,1764
<i>rotation_-1.00</i>	13,5050	0,6020	0,0550	13,8531	0,6085	0,0873	14,3751	0,6255	0,1468
<i>rotation_-2.00</i>	12,5524	0,5894	0,0255	12,7657	0,5919	0,0468	13,1391	0,6061	0,0874
<i>scale_0.50</i>	16,3668	0,7510	0,1792	17,0527	0,8121	0,2807	17,6694	0,8831	0,3708
<i>scale_0.75</i>	16,2233	0,7424	0,1809	16,8025	0,8013	0,2820	17,3226	0,8738	0,3553
<i>scale_0.90</i>	16,5194	0,7776	0,2126	17,0123	0,8449	0,3117	17,3725	0,9083	0,3947
<i>scale_1.10</i>	17,5201	0,8364	0,2613	18,0449	0,8864	0,3748	18,3111	0,9227	0,4681
<i>scale_1.50</i>	19,5505	0,9640	0,4948	19,8676	0,9843	0,6354	19,9860	0,9930	0,7033
<i>scale_2.00</i>	20,8123	0,9845	0,6419	21,0405	0,9934	0,7475	21,1414	0,9965	0,7903
<i>Sharpening_3_3</i>	9,2801	0,9018	0,1486	9,0019	0,9085	0,1894	8,8709	0,9109	0,2268
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	14,8656	0,6476	0,1044	15,3908	0,6731	0,1696	16,1142	0,7262	0,2321
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	13,2542	0,6073	0,0327	13,4945	0,6088	0,0521	13,8838	0,6193	0,0836
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	14,1297	0,6235	0,0889	14,5905	0,6341	0,1470	14,9909	0,6458	0,2000
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	13,9228	0,6307	0,0715	14,3789	0,6425	0,1267	14,9137	0,6579	0,1674
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	12,1088	0,6000	0,0274	12,3145	0,6026	0,0353	12,4466	0,6051	0,0477
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	12,1296	0,5977	0,0221	12,3330	0,5995	0,0370	12,5206	0,6060	0,0658
<i>stirmark_random_bend</i>	12,4428	0,6305	0,0329	12,7359	0,6544	0,0557	13,0549	0,6430	0,0941

4.3 Teoretický popis metody SHARE-DWT-SVD

4.3.1 Proces vložení vodoznaku



Obr. 4.7: Vložení vodoznaku SHARE-DWT-SVD

Využití SVD přináší v procesu vkládání jen nepatrné změny, diagram je k dispozici na obr. 4.7. Do provedení DWT je průběh naprosto stejný. Poté je proveden

výpočet SVD koeficientů vodoznaku i předzpracovaných originálních dat. Singulární hodnoty vodoznaku jsou následně přičteny k singulárním hodnotám jasové složky hostitelského obrazu podle rovnice

$$S_{Y_w}(i) = S_{Y_0}(i) + \alpha S_w(i), \quad (4.3)$$

kde S_{Y_w} jsou singulární hodnoty jasové složky vodoznačeného obrazu, S_{Y_0} singulární hodnoty jasové složky originálních dat a S_w singulární hodnoty šedotónového vodoznaku. Dalším krokem je sestavení vodoznačeného obrazu, za pomoci matic U a V vzniklých při SVD dekompozici originální jasové složky, podle

$$Y_w = U_{Y_0} S_{Y_w} V_{Y_0}^T, \quad (4.4)$$

kde Y_w představuje vodoznačenou jasovou složku, U_{Y_0}, V_{Y_0} jsou ortogonální matice originálního jasové složky a S_{Y_w} je upravená diagonální matice vzniklá při procesu vložení vodoznaku. Dále metoda zůstává stejná.

4.3.2 Proces extrakce vodoznaku

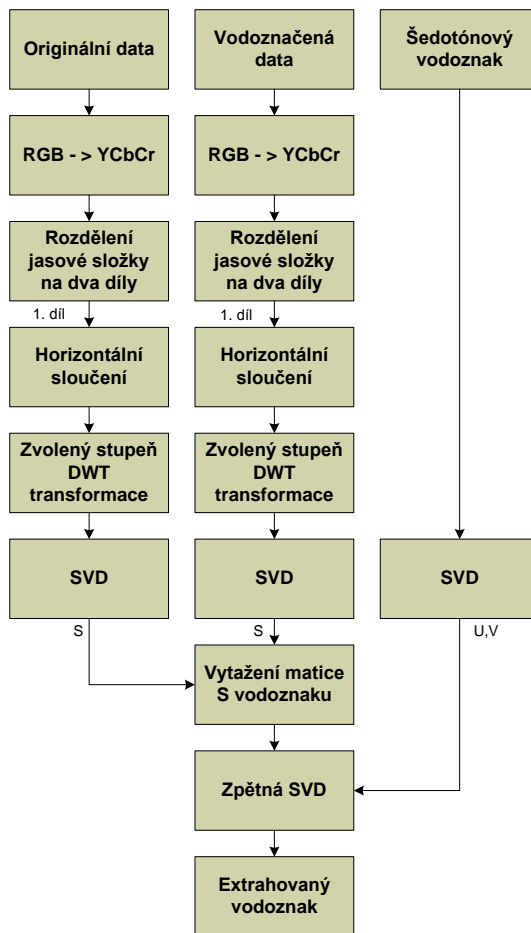
Pro extrahování vodoznaku jsou potřebná originální data, vodoznačená data a originální vodoznak. Po provedení singulární dekompozice na všechny obrazy bude z vodoznačeného obrazu vytažena diagonální matice S_w za pomoci

$$S_w(i) = \frac{S_{Y_w}(i) - S_{Y_0}(i)}{\alpha}, \quad (4.5)$$

kde S_w je diagonální matice vytaženého vodoznaku, S_{Y_w} diagonální matice vodoznačené jasové složky a S_{Y_0} diagonální matice originální jasové složky. Následné sestavení vodoznaku lze popsat jako

$$W = U_{w0} S_w V_{w0}^T, \quad (4.6)$$

kde W je extrahovaný vodoznak, U_{w0} a V_{w0} jsou ortogonální matice vzniklé při SVD originálního vodoznaku a S_w jsou extrahované singulární hodnoty vodoznaku. Další kroky jsou stejné jako u předchozí metody. Diagram celého procesu extrakce je vidět na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Vytažení vodoznaku SHARE-DWT-SVD

4.4 Testování metody SHARE-DWT-SVD

Pro testování byla použita stejná data jako u metody SHARE-DWT a váhový koeficient byl zvolen $\alpha = 0,06$. Tabulka 4.3 obsahuje výsledky měření mezi originálními a vodoznačenými obrazy. Hodnoty se příliš nelišily od předchozí metody. Příklad vodoznačených dat je zobrazen na obr. 4.9.

Tabulka 4.4 obsahuje výsledky měření mezi vodoznaky, tučně jsou zvýrazněny úspěšně vytažené. Použití SVD přineslo vylepšení robustnosti, především proti útokům založeným na geometrických transformacích. Na rozdíl od předchozích metod jsou naměřené hodnoty pro všechny stupně DWT velmi podobné. To znamená, že tato volba nemá velký vliv na kvalitu extrahovaného vodoznaku. Neúspěšné vytažení vodoznaku nejčastěji způsobily útoky *ořez a rotace*.

Tab. 4.3: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro SHARE-DWT-SVD

DWT	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1. stupeň</i>	38,9473	0,9996	0,9328
<i>2. stupeň</i>	38,9991	0,9996	0,9336
<i>3. stupeň</i>	39,0382	0,9996	0,9344



Obr. 4.9: Příklad vodoznačeného obrazu SHARE-DWT-SVD

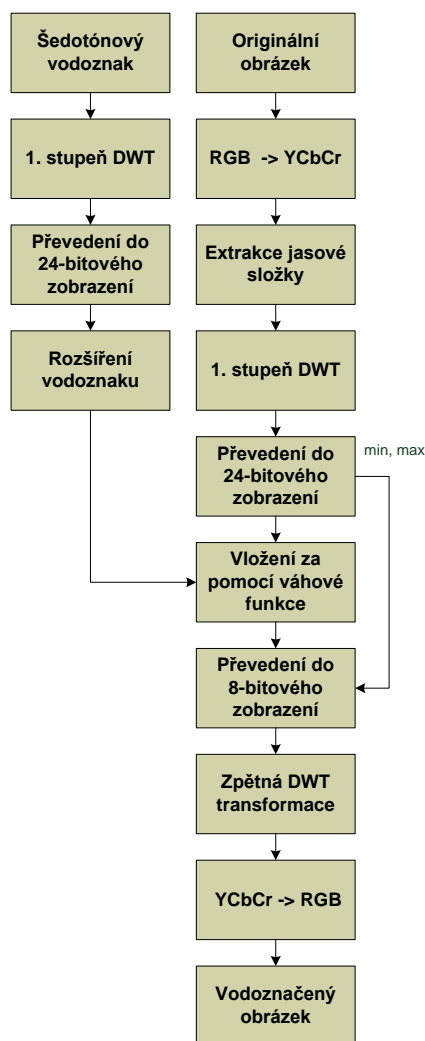
Tab. 4.4: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro SHARE-DWT-SVD

Soubor	1. stupeň			2. stupeň			3. stupeň		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	17,5532	0,9949	0,5748	17,5851	0,9946	0,5572	17,5766	0,9952	0,5347
<i>1_row_5_col_removed</i>	17,5482	0,9939	0,5735	17,5846	0,9941	0,5571	17,5969	0,9953	0,542
<i>5_row_1_col_removed</i>	17,79	0,9966	0,5993	17,8226	0,9967	0,5775	17,8032	0,9972	0,5469
<i>5_row_17_col_removed</i>	17,7442	0,9954	0,5934	17,7742	0,9961	0,5723	17,7658	0,9965	0,5496
<i>17_row_5_col_removed</i>	17,5896	0,9919	0,5764	17,5971	0,9928	0,5474	17,6188	0,9948	0,536
<i>2x2_median_filter</i>	21,66	0,988	0,6603	22,0147	0,9927	0,7471	22,115	0,9929	0,7492
<i>3x3_median_filter</i>	16,9485	0,9539	0,4445	17,0697	0,9564	0,4929	17,1896	0,9531	0,553
<i>4x4_median_filter</i>	17,7422	0,9634	0,483	17,7629	0,9657	0,5424	17,8058	0,9655	0,5918
<i>cropping_1</i>	17,9117	0,9901	0,6018	17,8691	0,992	0,5605	17,8967	0,989	0,5297
<i>cropping_2</i>	18,0683	0,9741	0,5828	18,0554	0,9738	0,563	18,0141	0,9711	0,5268
<i>cropping_5</i>	18,2461	0,9397	0,5879	18,1963	0,9366	0,5395	18,1285	0,9349	0,4873
<i>cropping_10</i>	17,0352	0,8031	0,4336	16,9216	0,7919	0,3392	16,8515	0,7853	0,2587
<i>cropping_15</i>	16,3134	0,7568	0,3374	16,2022	0,743	0,2409	16,1277	0,7314	0,1646
<i>cropping_20</i>	14,3287	0,5518	0,075	14,294	0,5364	-0,029	14,1217	0,4971	-0,1273
<i>cropping_25</i>	13,6473	0,4232	0,0219	13,6629	0,415	-0,0463	13,6023	0,3919	-0,1066
<i>cropping_50</i>	13,7088	0,5681	-0,0566	13,8081	0,575	-0,0651	13,7561	0,5677	-0,0762
<i>cropping_75</i>	10,61	0,6653	-0,0221	10,7184	0,6773	-0,0027	10,7855	0,6881	0,0106
<i>flip</i>	11,1859	0,6608	0,079	11,2126	0,6643	0,0931	11,2159	0,6667	0,1323
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	18,0156	0,9213	0,1179	18,8688	0,9821	0,479	19,2024	0,995	0,5976
<i>JPEG_10</i>	18,4465	0,9935	0,5928	18,5872	0,9946	0,6487	18,657	0,9945	0,647
<i>JPEG_15</i>	18,6868	0,9959	0,6121	18,8517	0,9979	0,6545	18,9299	0,997	0,6536
<i>JPEG_20</i>	18,6498	0,997	0,6098	18,7649	0,9987	0,6472	18,795	0,9982	0,6435
<i>JPEG_25</i>	18,701	0,9974	0,6164	18,792	0,9992	0,6524	18,8975	0,9993	0,6471
<i>JPEG_30</i>	18,7065	0,9972	0,6151	18,8328	0,9993	0,6517	18,877	0,9992	0,6471
<i>JPEG_35</i>	18,7275	0,9977	0,6301	18,8469	0,9993	0,6608	18,8906	0,9993	0,6544
<i>JPEG_40</i>	18,7208	0,9975	0,621	18,8199	0,9993	0,6469	18,8843	0,9996	0,645
<i>JPEG_50</i>	18,952	0,9959	0,6359	19,0342	0,9974	0,666	19,1101	0,9976	0,6717
<i>JPEG_60</i>	19,3298	0,993	0,6712	19,4057	0,9947	0,6973	19,6003	0,9924	0,7216
<i>JPEG_70</i>	23,1266	0,9878	0,8366	23,1462	0,9885	0,873	23,4644	0,9845	0,8988
<i>JPEG_80</i>	30,5012	0,9967	0,947	30,81	0,9972	0,9696	30,8856	0,9961	0,977
<i>JPEG_90</i>	37,0179	0,9994	0,9865	37,0363	0,9994	0,9892	38,2181	0,9993	0,995
<i>JPEG_100</i>	52,5137	1	0,9992	52,4784	1	0,9991	51,8549	0,9999	0,9992
<i>linear_1</i>	15,1607	0,9172	0,214	15,0422	0,9173	0,2221	14,59	0,8564	0,1653
<i>linear_2</i>	14,9998	0,8929	0,1877	14,8828	0,8958	0,1931	14,4594	0,8279	0,1465
<i>linear_3</i>	15,4615	0,9472	0,2576	15,3089	0,9472	0,2627	14,8703	0,9114	0,2003
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	17,6454	0,9928	0,5957	17,6687	0,9934	0,5762	17,6682	0,9958	0,554
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	17,7426	0,9942	0,601	17,7555	0,9943	0,5808	17,7626	0,9961	0,558
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	17,597	0,9952	0,58	17,6349	0,9952	0,5653	17,6469	0,9967	0,5486
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	17,6904	0,9962	0,5868	17,738	0,9955	0,5716	17,7462	0,9966	0,5534
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	17,5922	0,9961	0,5761	17,6291	0,9959	0,561	17,6523	0,9971	0,5507
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	17,5878	0,9964	0,5755	17,625	0,9961	0,559	17,6455	0,9969	0,5475
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	17,6089	0,9936	0,5897	17,6226	0,9935	0,5712	17,6349	0,9956	0,5537
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	17,6036	0,9939	0,5881	17,6371	0,9937	0,571	17,6418	0,9956	0,5514
<i>reduce_colour</i>	12,7936	0	0,0005	12,8485	0	0,0003	12,8931	0	0,0001
<i>rotation_0.25</i>	17,6941	0,9886	0,5066	17,7808	0,9904	0,5425	17,8249	0,9889	0,5331
<i>rotation_0.50</i>	17,8211	0,9773	0,4938	17,9206	0,9786	0,5231	17,9314	0,9768	0,5073
<i>rotation_0.75</i>	17,9026	0,9621	0,4634	17,9934	0,9642	0,4876	18,0468	0,9639	0,4847
<i>rotation_1.00</i>	17,8647	0,9466	0,4396	17,9796	0,95	0,4652	18,0666	0,9504	0,4703
<i>rotation_2.00</i>	17,1603	0,8444	0,3281	17,2924	0,8489	0,3288	17,456	0,8545	0,3383
<i>rotation_5.00</i>	14,8361	0,6285	0,1155	14,9028	0,6306	0,0909	14,919	0,6291	0,0534
<i>rotation_10.00</i>	13,7935	0,5748	0,0193	13,8571	0,5782	-0,0387	13,8361	0,574	-0,1122
<i>rotation_15.00</i>	13,4762	0,5109	-0,0072	13,5439	0,5146	-0,0477	13,5728	0,5161	-0,1281
<i>rotation_30.00</i>	13,5671	0,5509	0,067	13,6563	0,5584	0,0681	13,6546	0,5559	0,0506
<i>rotation_45.00</i>	13,2028	0,6035	0,0889	13,2778	0,6099	0,1042	13,3092	0,61	0,1087
<i>rotation_90.00</i>	15,162	0,6829	0,2529	15,189	0,6827	0,2679	15,2024	0,68	0,297
<i>rotation_-0.25</i>	17,4147	0,991	0,4734	17,5187	0,9944	0,508	17,5726	0,9924	0,5087
<i>rotation_-0.50</i>	17,3001	0,9843	0,4347	17,3995	0,9878	0,4631	17,4762	0,9879	0,4768
<i>rotation_-0.75</i>	17,2035	0,9789	0,4018	17,3185	0,9829	0,4354	17,4134	0,9873	0,4587
<i>rotation_-1.00</i>	17,0177	0,9642	0,3498	17,1316	0,969	0,3854	17,2561	0,9801	0,4216
<i>rotation_-2.00</i>	16,5291	0,9012	0,2034	16,604	0,9031	0,2065	16,7705	0,9127	0,249
<i>scale_0.50</i>	18,012	0,9711	0,3763	18,3889	0,9977	0,603	18,4575	0,9976	0,5987
<i>scale_0.75</i>	17,897	0,9968	0,5678	18,0499	0,9957	0,6058	18,031	0,9967	0,5816
<i>scale_0.90</i>	17,6516	0,9966	0,5517	17,7344	0,9963	0,5666	17,7318	0,9969	0,5526
<i>scale_1.10</i>	18,0248	0,9899	0,5147	18,1211	0,9933	0,573	18,1885	0,9937	0,5826
<i>scale_1.50</i>	19,557	0,9959	0,6473	19,7337	0,9991	0,7153	19,7938	0,9994	0,7226
<i>scale_2.00</i>	20,8745	0,9989	0,7721	21,0227	0,9997	0,8028	21,0824	0,9996	0,8062
<i>Sharpening_3_3</i>	9,3046	0,909	0,2276	8,9638	0,9094	0,2142	8,8212	0,9101	0,2214
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	17,6134	0,9905	0,5462	17,6723	0,9918	0,5494	17,6868	0,995	0,5444
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	17,5025	0,9519	0,4063	17,5822	0,9534	0,4033	17,492	0,9437	0,3781
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	18,036	0,9796	0,5646	18,0834	0,9792	0,5547	18,0622	0,9731	0,5079
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	18,7408	0,9828	0,5595	18,8524	0,985	0,6017	18,8594	0,9811	0,5713
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	16,4735	0,7877	0,2872	16,5257	0,7858	0,231	16,5607	0,7824	0,175
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	16,497	0,7986	0,2314	16,5819	0,7994	0,1782	16,5416	0,7905	0,0759
<i>stirmark_random_bend</i>	20,3314	0,9519	0,4595	20,4695	0,9417	0,5121	21,3288	0,9784	0,6847

4.5 Teoretický popis metody COEFF-DWT

Článek [4] pojednává o metodě pracující se škálováním rozsahu hodnot waveletových koeficientů hostitelských dat i vodoznaku. Originální metoda pracuje jen se šedotónovými obrazy, a testy publikované v článku vykazují dostatečnou robustnost. Její nevýhodou je snížená průhlednost vodoznaku, a tedy větší ovlivnění hostitelských dat vodoznačením [4].

4.5.1 Proces vložení vodoznaku



Obr. 4.10: Vložení vodoznaku COEFF-DWT

Diagram vodoznačícího procesu je k dispozici na obr. 4.10. Vstupními daty jsou barevný hostitelský obraz a šedotónový vodoznak. Jelikož metoda pracuje jen s 1. stupněm DWT, bude rozměrově vodoznak vždy dvakrát menší, než hostitelská data.

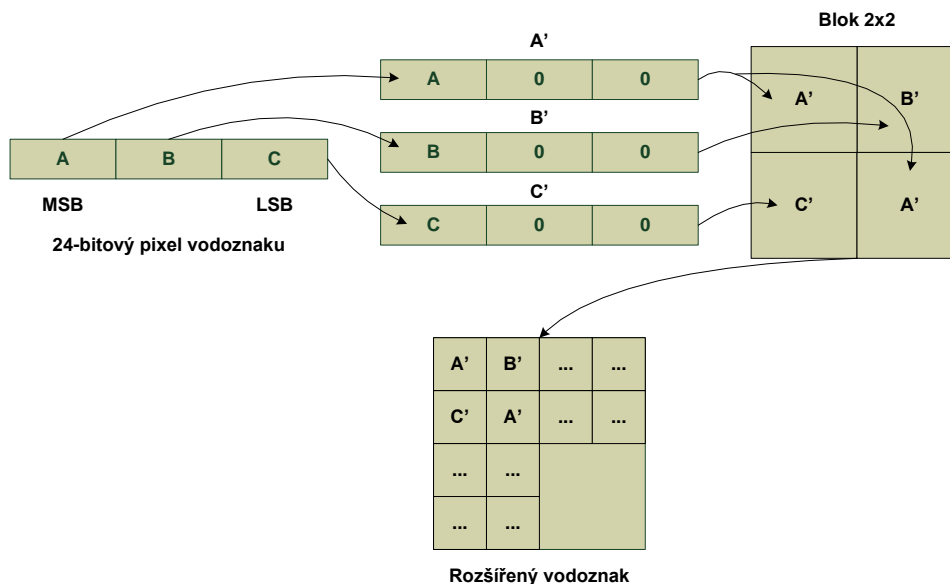
Postup vložení vodoznaku probíhá v následujících krocích: [4]

Krok 1: Šedotónový vodoznak je převeden do frekvenční oblasti za pomoci 1. stupně DWT. Tím vzniknou čtyři oblasti: LL, LH, HL a HH. Ta jsou poté každá zvlášť převedena z 8-bitového zobrazení do 24-bitového rozsahu pomocí rovnice

$$f(x) = (x - d_0)/(d_1 - d_0) * (r_1 - r_0) + r_0, \quad (4.7)$$

kde x je škálovaná hodnota, $[d_0, d_1]$ je originální rozsah hodnot a $[r_0, r_1]$ představuje nový rozsah hodnot [4].

Krok 2: Rozšířením vodoznaku na stejnou velikost jako jsou hostitelská data je vytvořen tzv. rozšířený vodoznak, který bude vkládán do originálního obrazu. Každý 24-bitový pixel vodoznaku v binárním zobrazení je rozdělen na tři části A, B, C . A představuje nejvíce důležitý byte, B střední byte a C je nejméně důležitý byte. Tyto tři byty jsou použity jako nejvíce důležité byty nově vytvořených 24-bitových koeficientů A', B', C' a zbylých 16 bitů je doplněno nulami. Těmito koeficienty je vyplněn blok 2x2, kdy A' je zde vložen dvakrát. Tento proces se opakuje pro všechny pixely vodoznaku a z bloků 2x2 je sestaven rozšířený vodoznak. Postup je zobrazen na obr. 4.11 [4].



Obr. 4.11: Rozšíření vodoznaku

Krok 3: Na jasovou složku originálního obrazu je také aplikován 1. stupeň DWT. Oblasti LL, LH, HL a HH jsou rozšířeny do 24-bitového zobrazení. Minimální a maximální hodnoty jednotlivých oblastí budou použity při zpětném převodu pixelů do 8-bitových hodnot. Rozšířený vodoznak je následně vkládán do hostitelských dat pomocí váhové funkce popsané rovnicí [4]

$$Y_w(i) = \alpha Y_0(i) + W(i), \quad (4.8)$$

kde Y_w jsou vodoznačená data, Y_0 jasová složka originálních dat, W vodoznak a α představuje váhový koeficient [4].

Krok 4: Pomocí minimálních a maximálních hodnot z kroku 2 jsou pole LL, LH, HL a HH převedeny zpět do 8-bitového zobrazení [4]. Následuje inverzní DWT, převedení z YCbCr do RGB a vzniká vodoznačený barevný obraz.

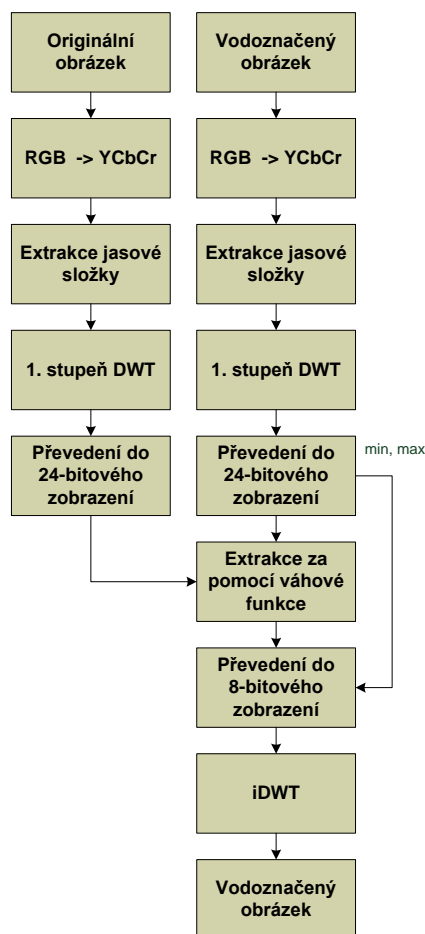
4.5.2 Proces extrakce vodoznaku

Diagram je na obr. 4.12. K extrakci vodoznaku jsou nezbytná originální a vodoznačená hostitelská data, která jsou po DWT převedena do 24-bitového zobrazení. Pro lepší výsledky je vhodné uchovat si minimální a maximální rozsahy oblastí vodoznačeného obrazu získané při procesu vkládání. Poté proběhne extrakce koeficientů vodoznaku váhovou funkcí podle rovnice

$$W(i) = Y_w(i) - \alpha Y_0(i), \quad (4.9)$$

kde Y_w jsou vodoznačená data, Y_0 jasová složka originálních dat, W vodoznak a α představuje váhový koeficient [4].

Váhovou funkcí jsou extrahovány hodnoty, ze kterých vznikají bloky 2x2, obsahující koeficienty A' , B' , C' . Z nich jsou vyjmuty nejdůležitější byty a je sestaven 24-bitový pixel vodoznaku. Koeficient A' je z bloku získán dvakrát, je proto zprůměrován a pro sestavení je použit tento průměr. V dalším kroku je nutné vytažené koeficienty vrátit do 8-bitového zobrazení a provést inverzní DWT, čímž vzniká extrahovaný vodoznak. Diagram procesu extrakce je na obr. 4.12.

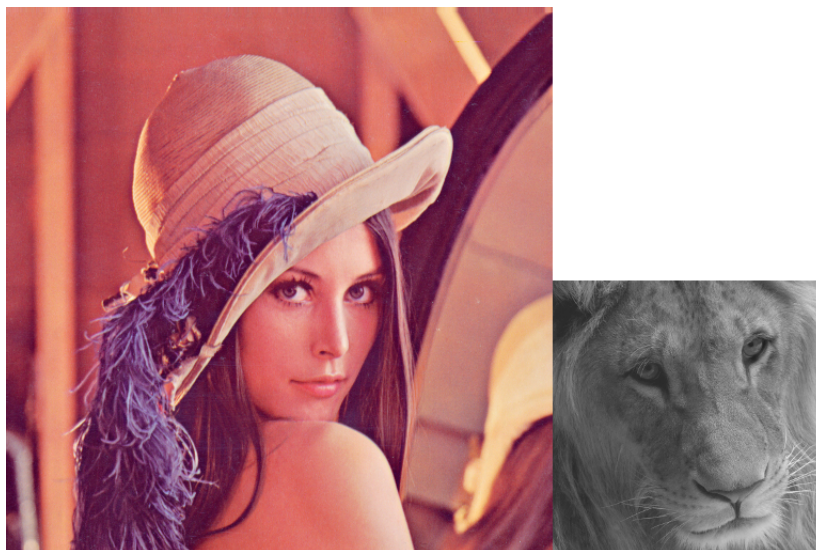


Obr. 4.12: Vytažení vodoznaku COEFF-DWT

4.6 Testování metody COEFF-DWT

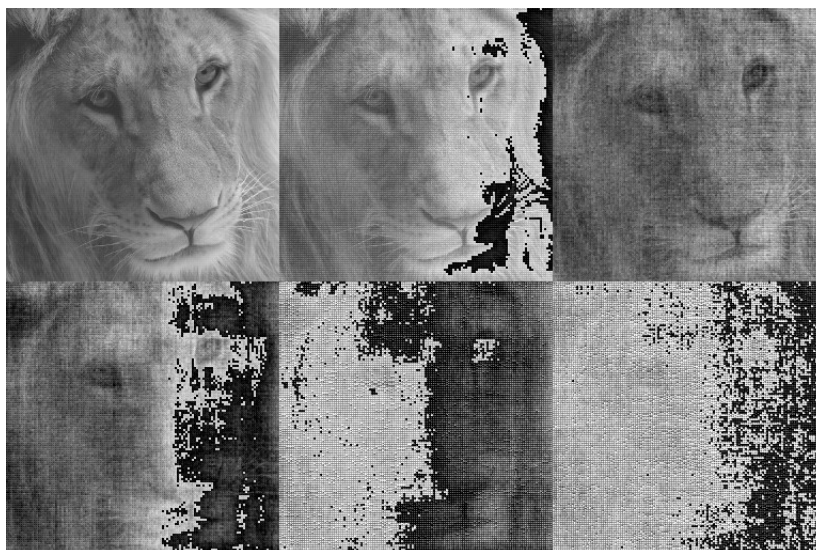
Pro testování budou použita hostitelská data *Lena* 512 x 512 px a vodoznak *Lion* 256 x 256 px. Metoda využívá pouze 1. stupeň DWT, proto bude testování probíhat pro tři hodnoty váhového koeficientu: $\alpha = 5, 7, 11$. Testovací data jsou k dispozici na obr. 4.13. Úspěšnost vytažení vodoznaku určují stanovené hranice indexů kvality. Příklad je zobrazen na obr. 4.14, kde jsou vidět extrahované vodoznaky s různou kvalitou. Naměřené hodnoty byly zleva:

- PSNR: 31,5567 dB NCC: 0,9987, MSSIM: 0,9771
- PSNR: 17,4533 dB NCC: 0,9090, MSSIM: 0,3792
- PSNR: 26,1079 dB NCC: 0,9866, MSSIM: 0,4651
- PSNR: 23,5885 dB NCC: 0,9754, MSSIM: 0,2496
- PSNR: 12,9142 dB NCC: 0,7242, MSSIM: 0,0168
- PSNR: 12,7058 dB NCC: 0,7798, MSSIM: 0,0036



Obr. 4.13: Testovací data pro COEFF-DWT

Hranice pro určení rozeznatelnosti extrahovaného vodoznaku byly určeny: PSNR: 19 dB, NCC: 0,93 a MSSIM 0,1. Nejlepší představu o kvalitě extrahovaného vodoznaku prezentuje index MSSIM. V rozsahu od 1 - 0,6 byl vodoznak velmi podobný, od 0,6 - 0,4 byl podobný, 0,3 - 0,1 rozpoznatelný. Pokud MSSIM index klesl pod hranici 0,1, byl vodoznak nečitelný.



Obr. 4.14: Příklad extrahovaných vodoznaků SHARE-DWT

Tato metoda ovlivnila originální data po vložení vodoznaku zdaleka nejvíce. V tabulce 4.5 jsou k dispozici naměřené hodnoty mezi originálními a vodoznačenými obrazy. Na obr. 4.15 je pro ukázkou vodoznačený obraz *Lena* při zvoleném koeficientu $\alpha = 5$.

Tab. 4.5: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro COEFF-DWT

α	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
5	29,3995	0,9937	0,5851
7	31,6288	0,9965	0,7015
11	34,3475	0,9984	0,8320



Obr. 4.15: Příklad vodoznačeného obrazu COEFF-DWT

Z výsledků v tabulce 4.6 vyplývá, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při zvolení váhového koeficientu $\alpha = 5$. Při volbě větších hodnot klesala robustnost, ale stoupala průhlednost vkládaného vodoznaku. Vodoznak odolával jen útokům komprese JPEG, změně poměru stran a odstranění řádků a sloupců.

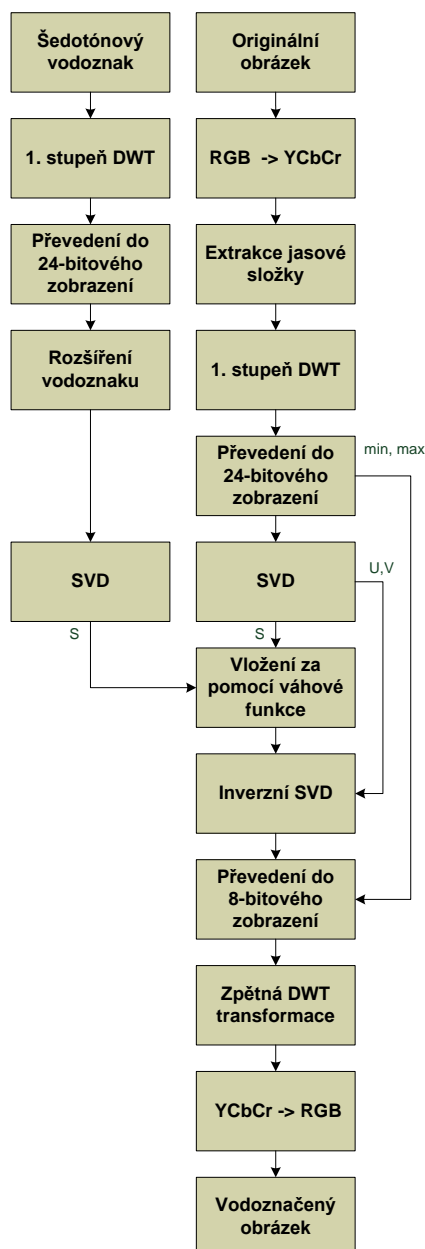
Tab. 4.6: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro COEFF-DWT

Soubor	$\alpha = 5$			$\alpha = 7$			$\alpha = 11$		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	19,9818	0,9448	0,1089	19,3398	0,9354	0,0955	18,8450	0,9215	0,0911
<i>1_row_5_col_removed</i>	20,4547	0,9431	0,1291	19,5965	0,9352	0,1035	18,3122	0,9147	0,0716
<i>5_row_1_col_removed</i>	19,3568	0,9412	0,1011	18,7386	0,9313	0,0851	18,1007	0,9143	0,0664
<i>5_row_17_col_removed</i>	19,8583	0,9371	0,1069	19,7739	0,9342	0,1128	18,7012	0,9156	0,0787
<i>17_row_5_col_removed</i>	20,0960	0,9414	0,1036	19,3539	0,9314	0,0880	18,1167	0,9094	0,0631
<i>2x2_median_filter</i>	18,6969	0,9358	0,0747	18,3606	0,9294	0,0677	17,0483	0,9009	0,0440
<i>3x3_median_filter</i>	24,9480	0,9807	0,2989	21,7387	0,9606	0,1540	20,9861	0,9530	0,1513
<i>4x4_median_filter</i>	16,3939	0,8670	0,0246	16,0558	0,8559	0,0208	15,6791	0,8393	0,0193
<i>cropping_1</i>	17,2623	0,8904	0,0498	16,8766	0,8769	0,0439	16,2292	0,8516	0,0396
<i>cropping_2</i>	16,6355	0,8589	0,0427	16,1891	0,8438	0,0404	15,5225	0,8184	0,0316
<i>cropping_5</i>	15,9415	0,8339	0,0294	15,4243	0,8102	0,0257	14,8478	0,7792	0,0251
<i>cropping_10</i>	15,0334	0,7899	0,0229	14,6054	0,7646	0,0208	14,1548	0,7306	0,0215
<i>cropping_15</i>	14,5299	0,7565	0,0236	14,1829	0,7323	0,0208	13,8145	0,7046	0,0193
<i>cropping_20</i>	14,1979	0,7326	0,0201	13,8814	0,7093	0,0191	13,5908	0,6815	0,0194
<i>cropping_25</i>	13,8716	0,7068	0,0193	13,6703	0,6886	0,0207	13,4281	0,6659	0,0179
<i>cropping_50</i>	13,6162	0,6871	0,0164	13,5380	0,6789	0,0154	13,3913	0,6650	0,0145
<i>cropping_75</i>	13,9130	0,7075	0,0181	13,9080	0,7085	0,0184	13,7642	0,6964	0,0183
<i>flip</i>	13,3092	0,6618	0,0189	13,1779	0,6483	0,0205	13,0831	0,6396	0,0194
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	21,9509	0,9716	0,1773	21,4414	0,9663	0,1503	20,0207	0,9534	0,1080
<i>JPEG_10</i>	19,7030	0,9321	0,0802	17,7761	0,8929	0,0672	15,3647	0,8032	0,0378
<i>JPEG_15</i>	21,0257	0,9499	0,1134	19,0646	0,9205	0,0715	18,0332	0,9032	0,0477
<i>JPEG_20</i>	20,9397	0,9502	0,1286	20,5468	0,9460	0,1009	19,0625	0,9257	0,0654
<i>JPEG_25</i>	20,5318	0,9467	0,0991	19,5908	0,9336	0,1037	19,4058	0,9262	0,0840
<i>JPEG_30</i>	22,2241	0,9633	0,1404	20,5799	0,9467	0,0982	18,1391	0,9086	0,0543
<i>JPEG_35</i>	22,9657	0,9714	0,1754	20,8291	0,9485	0,1109	19,9198	0,9349	0,0921
<i>JPEG_40</i>	22,8373	0,9698	0,1699	22,1075	0,9612	0,1475	19,4105	0,9280	0,0800
<i>JPEG_50</i>	21,8795	0,9635	0,1495	20,7757	0,9502	0,1097	19,6312	0,9420	0,0854
<i>JPEG_60</i>	21,3020	0,9556	0,1374	22,2148	0,9644	0,1528	22,0947	0,9617	0,1454
<i>JPEG_70</i>	22,3713	0,9646	0,1721	20,2010	0,9503	0,1211	20,6202	0,9542	0,1156
<i>JPEG_80</i>	20,2383	0,9492	0,1258	21,2973	0,9573	0,1454	19,8996	0,9428	0,1059
<i>JPEG_90</i>	23,6211	0,9758	0,2423	21,6597	0,9634	0,1680	22,8836	0,9690	0,2000
<i>JPEG_100</i>	26,4332	0,9865	0,3701	25,2138	0,9823	0,3145	24,3702	0,9781	0,2608
<i>linear_1</i>	18,4235	0,9115	0,0774	17,2154	0,8853	0,0481	16,2953	0,8562	0,0350
<i>linear_2</i>	17,3198	0,8888	0,0509	16,8453	0,8691	0,0417	15,9626	0,8436	0,0295
<i>linear_3</i>	17,6398	0,8974	0,0551	17,0590	0,8785	0,0444	16,6144	0,8700	0,0456
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	21,8121	0,9587	0,1527	20,9018	0,9498	0,1277	19,3545	0,9293	0,0919
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	20,6319	0,9502	0,1181	20,3113	0,9456	0,1166	19,1727	0,9281	0,0904
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	21,1699	0,9568	0,1305	19,8903	0,9375	0,0958	18,6613	0,9208	0,0725
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	20,9109	0,9577	0,1324	19,9224	0,9449	0,1056	18,2598	0,9183	0,0662
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	20,7474	0,9545	0,1234	20,0647	0,9465	0,1049	18,8714	0,9305	0,0800
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	20,9254	0,9569	0,1325	20,3208	0,9492	0,1140	19,2560	0,9344	0,0922
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	21,9720	0,9622	0,1664	20,7669	0,9513	0,1301	19,4370	0,9319	0,0975
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	21,2887	0,9590	0,1502	21,3570	0,9561	0,1543	19,4927	0,9353	0,1070
<i>reduce_colour</i>	13,3181	0,6813	0,0682	16,3762	0,8465	0,1432	15,4743	0,8413	0,0688
<i>rotation_0.25</i>	18,4671	0,9119	0,0670	17,8875	0,9005	0,0581	17,0133	0,8758	0,0454
<i>rotation_0.50</i>	17,9084	0,9056	0,0568	17,2779	0,8879	0,0474	16,2940	0,8565	0,0345
<i>rotation_0.75</i>	17,5056	0,8902	0,0520	16,8100	0,8689	0,0403	15,9373	0,8362	0,0310
<i>rotation_1.00</i>	17,0224	0,8768	0,0461	16,5370	0,8589	0,0414	15,6045	0,8207	0,0308
<i>rotation_2.00</i>	16,1316	0,8454	0,0315	15,5677	0,8213	0,0284	14,9054	0,7832	0,0245
<i>rotation_5.00</i>	14,9885	0,7881	0,0252	14,6327	0,7655	0,0223	14,2370	0,7372	0,0226
<i>rotation_10.00</i>	14,2540	0,7376	0,0215	13,9368	0,7137	0,0196	13,7158	0,6934	0,0196
<i>rotation_15.00</i>	13,9838	0,7161	0,0194	13,6804	0,6895	0,0184	13,5535	0,6775	0,0176
<i>rotation_30.00</i>	13,7440	0,6941	0,0236	13,5816	0,6800	0,0177	13,4578	0,6678	0,0214
<i>rotation_45.00</i>	13,7275	0,6923	0,0165	13,6058	0,6834	0,0168	13,4502	0,6680	0,0172
<i>rotation_90.00</i>	13,4527	0,6715	0,0166	13,2540	0,6506	0,0158	13,1697	0,6417	0,0138
<i>rotation_-0.25</i>	18,2003	0,9118	0,0838	17,8585	0,9050	0,0744	16,9823	0,8869	0,0585
<i>rotation_-0.50</i>	18,2229	0,9082	0,0660	17,3866	0,8916	0,0517	16,6540	0,8611	0,0432
<i>rotation_-0.75</i>	17,5662	0,8954	0,0578	16,9256	0,8739	0,0462	15,9661	0,8382	0,0348
<i>rotation_-1.00</i>	17,1596	0,8809	0,0455	16,5252	0,8637	0,0395	15,7378	0,8324	0,0323
<i>rotation_-2.00</i>	16,0271	0,8459	0,0295	15,4499	0,8183	0,0235	14,8478	0,7857	0,0178
<i>scale_0.50</i>	20,2111	0,9462	0,0939	19,4359	0,9332	0,0788	18,2232	0,9124	0,0598
<i>scale_0.75</i>	20,0855	0,9447	0,0981	19,0162	0,9249	0,0757	18,4773	0,9130	0,0726
<i>scale_0.90</i>	21,2406	0,9585	0,1353	20,3695	0,9491	0,1145	19,3812	0,9351	0,0942
<i>scale_1.10</i>	17,5925	0,9038	0,0526	17,2289	0,8921	0,0488	16,9062	0,8828	0,0459
<i>scale_1.50</i>	24,8533	0,9822	0,2771	23,5664	0,9752	0,2135	22,6132	0,9691	0,1753
<i>scale_2.00</i>	25,6232	0,9849	0,3186	23,5450	0,9771	0,2255	22,4208	0,9718	0,1831
<i>Sharpening_3_3</i>	15,8617	0,8243	0,0797	15,6640	0,8152	0,0746	15,2977	0,7963	0,0660
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	18,2313	0,9091	0,0718	17,4553	0,8905	0,0571	16,5330	0,8643	0,0411
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	17,0399	0,8752	0,0438	16,6379	0,8606	0,0395	15,8681	0,8323	0,0310
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	17,9338	0,9029	0,0682	17,2500	0,8870	0,0561	16,2560	0,8499	0,0418
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	16,9058	0,8692	0,0391	16,2860	0,8501	0,0324	15,5490	0,8144	0,0288
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	16,3006	0,8509	0,0396	15,5740	0,8253	0,0307	14,8563	0,7872	0,0235
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	16,0728	0,8432	0,0284	15,5187	0,8176	0,0256	14,9385	0,7855	0,0217
<i>stirmark_random_bend</i>	16,6369	0,8682	0,0330	16,1698	0,8526	0,0341	15,7000	0,8309	0,0338

4.7 Teoretický popis metody COEFF-DWT-SVD

Předchozí metoda v porovnání s ostatními zaostávala především velmi malou průhledností vloženého vodoznaku. Použitím SVD by mělo dojít k vylepšení jak průhlednosti, tak robustnosti.

4.7.1 Proces vložení vodoznaku



Obr. 4.16: Vložení vodoznaku COEFF-DWT-SVD

Průběh vložení vodoznaku je podobný s předchozí metodou a je zobrazen na obr. 4.16. Za pomoci váhové funkce budou vkládány singulární hodnoty jasové složky vypočtené z rozšířeného vodoznaku do singulárních hodnot jasové složky hostitelského obrazu podle rovnice

$$S_{Y_w}(i) = \alpha S_{Y_0}(i) + S_W(i), \quad (4.10)$$

kde S_{Y_w} jsou singulární hodnoty jasové složky vodoznačeného obrazu, S_{Y_0} singulární hodnoty jasové složky originálních dat a S_W singulární hodnoty šedotónového vodoznaku. Dalším krokem je sestavení upravené jasové složky, za pomoci matic U a V vzniklých při SVD dekompozici originálního obrazu, podle

$$Y_W = U_0 S_{Y_w} V_0^T, \quad (4.11)$$

kde Y_W představuje vodoznačenou jasovou složku, U_0, V_0 jsou ortogonální matice originálního obrazu a S_{C_w} je upravená diagonální matice vzniklá při procesu vložení vodoznaku. Dále metoda zůstává stejná.

4.7.2 Proces extrakce vodoznaku

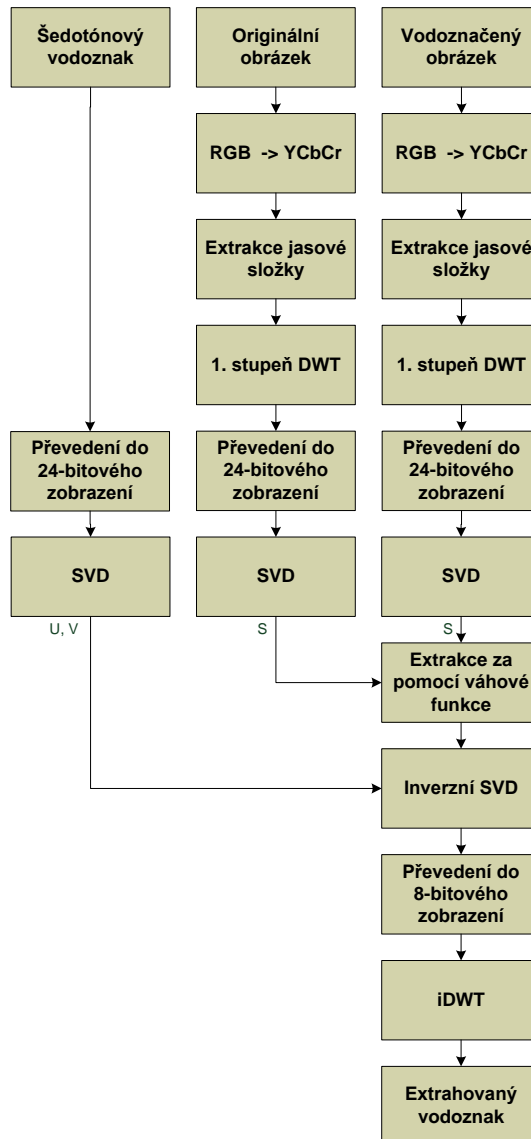
Proces extrakce se bude od předchozí metody lišit jen málo. Pro extrahování vodoznaku jsou nezbytná originální data, vodoznačená data a originální vodoznak. Po provedení singulární dekompozice na všechny potřebné obrazy bude vytažena diagonální matice S_w z vodoznačené jasové složky za pomoci

$$S_W(i) = S_{Y_w}(i) - \alpha S_{Y_0}(i), \quad (4.12)$$

kde S_W je diagonální matice vytaženého vodoznaku, S_{Y_w} diagonální matice vodoznačené jasové složky a S_{Y_0} diagonální matice originální jasové složky. Následné sestavení vodoznaku lze popsat jako

$$W = U_{w0} S_w V_{w0}^T, \quad (4.13)$$

kde W je extrahovaný vodoznak, U_{w0} a V_{w0} jsou ortogonální matice vzniklé při SVD orig. vodoznaku a S_w jsou extrahované singulární hodnoty vodoznaku. Další kroky jsou stejné jako u předchozí metody. Diagram celého procesu extrakce je vidět na obr. 4.17



Obr. 4.17: Vytažení vodoznaku COEFF-DWT-SVD

4.8 Testování metody COEFF-DWT-SVD

Pro testování byla použita stejná vstupní data, jako u předchozí metody. V tabulce 4.7 jsou výsledky měření mezi originálními a vodoznačenými obrazy. Proti metodě COEFF-DWT byly naměřené hodnoty PSNR sice menší, ale hodnoty MSSIM se zvětšily. To potvrzuje vylepšení průhlednosti vloženého obrazu. Příklad vodoznačených dat při zvoleném váhovém koeficientu $\alpha = 5$ je na obr. 4.18. Předchozí hranice indexů kvality pro porovnání úspěšnosti vytažení vodoznaku neodpovídaly předpokladům, a proto vznikly nové. Pokud hodnota PSNR klesla pod 14 dB a NCC pod 0,79, byl vodoznak většinou nečitelný. Přednost opět dostal index MSSIM, jehož

minimální hodnota nesměla klesnout pod 0,1. Rozsahy pro MSSIM zůstaly stejné jako při předchozím testování. Naměřené hodnoty mezi originálním a extrahovanými vodoznaky obsahuje tabulka 4.8.

Tab. 4.7: Naměřené hodnoty mezi hostitelskými daty pro COEFF-DWT-SVD

α	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
5	26,2821	0,9954	0,7411
7	28,4179	0,9973	0,8090
11	31,5567	0,9987	0,8865



Obr. 4.18: Příklad vodoznačeného obrazu COEFF-DWT-SVD

Použitím SVD bylo opět dosaženo vylepšení robustnosti vloženého vodoznaku. Úspěšnost vytažení sahala k 90 % a nejlepších výsledků bylo dosaženo při zvolení váhového koeficientu $\alpha = 5$.

Tab. 4.8: Naměřené hodnoty mezi vodoznaky pro COEFF-DWT-SVD

Soubor	$\alpha = 5$			$\alpha = 7$			$\alpha = 11$		
	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]	PSNR [dB]	NCC [-]	MSSIM [-]
<i>1_row_1_col_removed</i>	15,6279	0,8129	0,2718	18,5333	0,909	0,3261	15,5713	0,8104	0,1764
<i>1_row_5_col_removed</i>	16,8218	0,912	0,2231	19,7245	0,963	0,279	19,2231	0,9447	0,3974
<i>5_row_1_col_removed</i>	32,8879	0,997	0,7031	30,269	0,9942	0,6466	29,7645	0,9934	0,5959
<i>5_row_17_col_removed</i>	23,4685	0,9859	0,3475	19,2847	0,9689	0,1788	11,9902	0,7227	-0,0156
<i>17_row_5_col_removed</i>	13,0682	0,7517	0,0392	13,8666	0,8163	0,0576	13,782	0,7915	0,0677
<i>2x2_median_filter</i>	16,0474	0,8379	0,1604	15,0487	0,783	0,1582	14,3269	0,7371	0,0758
<i>3x3_median_filter</i>	15,8604	0,824	0,2929	23,48	0,9733	0,5067	15,3934	0,8014	0,1187
<i>4x4_median_filter</i>	14,3001	0,7346	0,0773	14,2522	0,7317	0,0515	15,7157	0,8378	0,0819
<i>cropping_1</i>	33,029	0,9971	0,7567	32,2101	0,9968	0,7539	23,7268	0,9866	0,619
<i>cropping_2</i>	15,5482	0,8113	0,2157	15,9173	0,8314	0,1992	16,7803	0,8626	0,1653
<i>cropping_5</i>	15,6322	0,8133	0,3301	20,7294	0,9462	0,5149	16,2958	0,871	0,2493
<i>cropping_10</i>	26,641	0,9949	0,7123	21,4821	0,9796	0,4823	15,8147	0,884	0,1985
<i>cropping_15</i>	18,9398	0,9199	0,5139	22,6495	0,9665	0,6221	15,7364	0,8182	0,2768
<i>cropping_20</i>	21,8427	0,9764	0,4264	19,3131	0,9533	0,3153	14,3522	0,8145	0,1422
<i>cropping_25</i>	17,0911	0,8716	0,324	18,865	0,919	0,459	24,006	0,9783	0,4513
<i>cropping_50</i>	16,288	0,8426	0,2415	15,7381	0,8181	0,1555	15,2271	0,7925	0,0926
<i>cropping_75</i>	15,7092	0,8168	0,0804	14,7273	0,7637	0,0568	14,9875	0,7806	0,0467
<i>flip</i>	23,6231	0,9857	0,4002	27,7121	0,9901	0,6115	29,5529	0,9977	0,9488
<i>Gaussian_filtering_3_3</i>	17,2666	0,876	0,2195	17,6883	0,8891	0,1632	17,1714	0,8791	0,092
<i>JPEG_10</i>	15,269	0,8845	0,0799	12,292	0,6629	0,0049	12,7058	0,7798	0,0036
<i>JPEG_15</i>	24,5577	0,9848	0,3351	16,5308	0,9149	0,1127	16,0593	0,9175	0,0589
<i>JPEG_20</i>	14,7037	0,858	0,0707	18,0849	0,9418	0,1601	15,1124	0,8024	0,0994
<i>JPEG_25</i>	14,2648	0,7957	0,1075	13,47	0,766	0,0515	14,2325	0,7712	0,0963
<i>JPEG_30</i>	16,898	0,8684	0,392	12,2587	0,6897	-0,0108	12,9142	0,7242	0,0168
<i>JPEG_35</i>	17,4337	0,8813	0,2696	15,677	0,8154	0,2563	14,7756	0,7855	0,1447
<i>JPEG_40</i>	19,4183	0,9365	0,4529	17,4283	0,8814	0,2919	15,5885	0,8137	0,2496
<i>JPEG_50</i>	29,2621	0,9948	0,72	19,0459	0,9262	0,4599	26,7611	0,9875	0,5646
<i>JPEG_60</i>	30,7291	0,9955	0,6657	29,3633	0,9946	0,6083	16,7983	0,8673	0,3022
<i>JPEG_70</i>	30,312	0,9944	0,8008	28,7459	0,9959	0,7306	26,1079	0,9866	0,4651
<i>JPEG_80</i>	15,5594	0,8101	0,2675	15,3498	0,8014	0,1782	16,0884	0,8357	0,2383
<i>JPEG_90</i>	16,508	0,8601	0,516	16,2187	0,8559	0,4416	17,4533	0,909	0,3792
<i>JPEG_100</i>	30,0676	0,9944	0,9683	37,588	0,9991	0,9716	45,9935	0,9999	0,9946
<i>linear_1</i>	14,4356	0,8146	0,0933	12,9931	0,721	0,0118	13,6204	0,7504	0,0249
<i>linear_2</i>	16,0188	0,8307	0,2528	16,1748	0,8377	0,2259	15,9655	0,8325	0,1083
<i>linear_3</i>	19,0604	0,9372	0,3433	16,6981	0,8787	0,2818	19,2022	0,93	0,3025
<i>ratio_x_0.80_y_1.00</i>	13,3897	0,7568	0,0583	13,369	0,7365	0,0336	14,2497	0,8087	0,0208
<i>ratio_x_0.90_y_1.00</i>	20,8942	0,9704	0,316	17,3071	0,915	0,2546	16,473	0,8902	0,2025
<i>ratio_x_1.00_y_0.80</i>	17,2635	0,8785	0,4084	19,5737	0,9292	0,4102	15,6073	0,8122	0,232
<i>ratio_x_1.00_y_0.90</i>	24,0702	0,9754	0,6611	17,4072	0,882	0,3647	15,9097	0,8265	0,203
<i>ratio_x_1.00_y_1.10</i>	16,4636	0,8738	0,3316	15,2618	0,7981	0,2498	15,7887	0,8244	0,3044
<i>ratio_x_1.00_y_1.20</i>	17,7121	0,8923	0,4751	16,6568	0,86	0,4055	18,4395	0,9126	0,4376
<i>ratio_x_1.10_y_1.00</i>	14,092	0,7628	0,1361	14,6666	0,823	0,1315	16,2181	0,8678	0,0675
<i>ratio_x_1.20_y_1.00</i>	23,1713	0,9747	0,6956	22,3451	0,9654	0,6703	17,1015	0,8816	0,4155
<i>reduce_colour</i>	17,6466	0,8923	0,1445	14,0044	0,7513	0,1129	14,7736	0,8065	0,0406
<i>rotation_0.25</i>	24,5095	0,98	0,5663	20,6186	0,9465	0,3673	18,0497	0,8981	0,3269
<i>rotation_0.50</i>	15,5824	0,8108	0,1055	14,605	0,7569	0,0912	14,7221	0,7647	0,0659
<i>rotation_0.75</i>	17,0705	0,8813	0,3901	15,753	0,8191	0,2575	15,9198	0,8282	0,2089
<i>rotation_1.00</i>	18,1551	0,9097	0,4647	17,9015	0,9076	0,3941	23,8614	0,9815	0,4748
<i>rotation_2.00</i>	15,7382	0,8209	0,1921	17,3829	0,8801	0,1609	17,2743	0,8773	0,1594
<i>rotation_5.00</i>	15,74	0,8183	0,2942	15,6223	0,8126	0,2024	16,612	0,8547	0,1653
<i>rotation_10.00</i>	17,1532	0,8733	0,1967	17,3092	0,8795	0,1571	16,1939	0,856	0,0652
<i>rotation_15.00</i>	17,884	0,8948	0,3618	17,4844	0,8827	0,2458	15,8534	0,8247	0,2424
<i>rotation_30.00</i>	14,9653	0,7953	0,0765	15,5389	0,822	0,1248	15,9671	0,8466	0,1292
<i>rotation_45.00</i>	15,3974	0,8168	0,1782	17,3573	0,8842	0,2678	16,1477	0,8384	0,224
<i>rotation_90.00</i>	20,5228	0,9659	0,385	15,8924	0,8983	0,1518	12,1488	0,6894	-0,0148
<i>rotation_-0.25</i>	17,8898	0,8936	0,2023	17,8561	0,8929	0,1945	17,4144	0,8814	0,1815
<i>rotation_-0.50</i>	15,3549	0,7994	0,1837	15,452	0,8095	0,1326	15,4097	0,8047	0,1525
<i>rotation_-0.75</i>	18,228	0,9024	0,3552	15,5297	0,8084	0,1988	15,3298	0,7988	0,1544
<i>rotation_-1.00</i>	26,1942	0,985	0,6519	24,661	0,9906	0,6055	23,9891	0,9879	0,5168
<i>rotation_-2.00</i>	15,6093	0,8174	0,13	16,532	0,8539	0,1346	17,0476	0,8692	0,116
<i>scale_0.50</i>	21,5113	0,9738	0,394	20,0867	0,9621	0,3229	16,873	0,9048	0,1756
<i>scale_0.75</i>	16,012	0,8375	0,3581	18,7497	0,9148	0,3988	20,3043	0,9405	0,3624
<i>scale_0.90</i>	33,1466	0,9971	0,7187	25,6393	0,9843	0,6181	21,0415	0,9562	0,4217
<i>scale_1.10</i>	14,6808	0,7617	0,0595	14,6185	0,7568	0,0444	14,6942	0,7616	0,0368
<i>scale_1.50</i>	15,526	0,8231	0,3331	15,0661	0,798	0,2753	15,3375	0,804	0,2144
<i>scale_2.00</i>	15,9748	0,8422	0,413	15,178	0,7972	0,3118	15,2193	0,798	0,2554
<i>Sharpening_3_3</i>	17,5726	0,915	0,2357	15,6471	0,8684	0,1867	14,5972	0,8187	0,1566
<i>shearing_x_0.00_y_1.00</i>	15,916	0,827	0,2856	15,6197	0,8125	0,2769	16,726	0,8602	0,1311
<i>shearing_x_0.00_y_5.00</i>	15,774	0,8336	0,3208	15,1944	0,8011	0,2478	15,6474	0,8147	0,2589
<i>shearing_x_1.00_y_0.00</i>	27,9649	0,9918	0,5691	28,1222	0,9904	0,6018	25,5362	0,9897	0,5474
<i>shearing_x_1.00_y_1.00</i>	22,6108	0,9656	0,5978	23,7717	0,9737	0,6074	21,5866	0,9561	0,4761
<i>shearing_x_5.00_y_0.00</i>	21,7863	0,9588	0,5589	19,4298	0,9282	0,4412	24,0498	0,9783	0,4024
<i>shearing_x_5.00_y_5.00</i>	16,5835	0,8559	0,3237	15,7575	0,8209	0,2787	16,761	0,8601	0,1757
<i>stirmark_random_bend</i>	20,1814	0,9614	0,3605	16,0282	0,8313	0,2216	16,0636	0,8332	0,0884

5 DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

V této kapitole budou diskutovány výsledky dosažené při testování jednotlivých metod.

Metoda **BIN-DWT-LSB** vkládá binární vodoznak do nejméně významných bitů hostitelských dat. Test robustnosti na vodoznačená data prokázal, že pomocí základních kompresních a geometrických operací lze vložená data velmi jednoduše odstranit. Vodoznak se tedy dá označit jako křehký. Největší výhodou je minimální dopad procesu vložení vodoznaku na originální obraz. Proto ji lze využít pro ověření originality původního obrazu. Pro vylepšení robustnosti bylo přistoupeno k vkládání vodoznaku za pomoci váhové funkce. Vznikla metoda **BIN-DWT**, která mnohem výrazněji ovlivnila původní obraz, ale mnohonásobně vylepšila robustnost. Vodoznak nebyl úspěšně extrahován pouze při geometrických operacích *oříznutí*, *rotace a zkosení*. Obě předchozí metody nepotřebují k extrakci originální vodoznak. Dalším krokem bylo využití SVD a vznikla metoda **BIN-DWT-SVD**, která opět vylepšila robustnost, ale i průhlednost vodoznaku. Ten byl úspěšně extrahován téměř ve 100 procentech případů. Největší nevýhodou je nepostradatelnost originálního vodoznaku při procesu vytažení. Při použití většího stupně DWT dosahovala úspěšnost extrakce vždy lepších výsledků, a to u všech předchozích metod.

Pro vkládání šedotónových vodoznaků vznikly čtyři metody. První, založená na dělení hostujícího obrazu, byla nazvána **SHARE-DWT**. Geometrické úpravy vodoznačeného obrazu *oříznutí*, *rotace a zkosení* většinou vodoznak úspěšně poškodily. Úspěšnost extrakce se použitím vyššího stupně DWT opět zvýšila, ale ne tak markantně jako u předchozích metod. Přidáním singulární dekompozice do procesu vkládání vznikla metoda **SHARE-DWT-SVD**. Zde k neúspěšné extrakci došlo jen v 6 případech útoku ořezání a rotace. Zvolený stupeň DWT měl tentokrát minimální vliv na počet úspěšně extrahovaných vodoznaků.

Jiný přístup byl zvolen u metody **COEFF-DWT**, která je založena na škálování DWT koeficientů do 24-bitového zobrazení a je využíváno pouze 1. stupně DWT. Největší nevýhodou je průhlednost vodoznaku, která je nedostačující. Robustnost vodoznaku také neodpovídala předpokladům. Extrakce se nepovedla u všech typů geometrických útoků. Vytažené vodoznaky měly vždy horší kvalitu, index MSSIM nikdy nepřekročil hodnotu 0,4, což je nedostačující. Metoda **COEFF-DWT-SVD** přinesla zlepšení ve všech směrech. Extrakce vodoznaku se nepovedla jen v několika případech a jejich kvalita byla výrazně lepší.

U všech metod využívajících SVD může v některých případech docházet k mylné extrakci vodoznaku z dat, ve kterých je vložený vodoznak jiný. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že se singulární hodnoty extrahovaného vodoznaku mohou mnohem snadněji podobat singulárním hodnotám vodoznaku jiného. Určení, jak často k tomuto jevu dojde, je předmětem dalšího testování SVD na různorodých datech.

Nejlepší informaci o podobě extrahovaného vodoznaku nebo vodoznačených dat představoval index MSSIM. V některých případech parametry PSNR a NCC klesly pod stanovenou hranici, ale MSSIM vykazoval shodu a naopak. Po porovnání vodoznaku okem byl v 99 % blíže k pravdě právě MSSIM. Při jeho výpočtu je brán ohled ke struktuře porovnávaných obrazů a tento přístup se zdá být velmi efektivní. Proto výsledky MSSIM vždy dostaly přednost před špičkovým poměrem signálu k šumu PSNR a normálovou křížovou korelací NCC.

6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo prozkoumat moderní typy vodoznačících systémů pro zabezpečení digitálních obrazů, vybrat tři techniky, realizovat je, a porovnat se současným stavem poznání. Po prozkoumání velkého počtu přístupů, byla vybrána jedna metoda pro vkládání binárních vodoznaků a dvě metody pro vkládání šedotónových vodoznaků. Následná realizace probíhala v jazyku JAVA verze 7 za použití vývojového prostředí Eclipse. Vývoj probíhal na počítači s operačním systémem Ubuntu ve verzi 13.10 *Saucy Salamander*, s procesorem Core 2 Duo 2,10 GHz a operační pamětí 3 GB. Vznikl program s grafickým uživatelským prostředím nazvaný *Vodoznačení*. Každá metoda byla nejméně jednou vylepšena, testována, a porovnána s ostatními. Všechny techniky vkládají vodoznak do barevného obrazu a využívají diskrétní vlnkou transformaci DWT.

Rodina metod pro vkládání binárních vodoznaků **BIN** obsahuje tři techniky. **BIN-DWT-LSB** využívá nahrazování nejméně významných bitů LSB. Vkládaný vodoznak je svými vlastnostmi označován jako *křehký*. Její výhodou je minimální ovlivnění originálního obrazu a lze využít k ověření jeho pravosti. Metoda **BIN-DWT** využívá váhovou funkci a výrazně vylepšuje robustnost za cenu snížené průhlednosti vodoznaku. Technika není příliš odolná proti geometrickým útokům. **BIN-DWT-SVD** využívá navíc singulární dekompozici SVD a dále vylepšuje robustnost i průhlednost vložených obrazových dat. Nevýhodou těchto metod je kvůli využití Arnoldovy transformace možnost vložení pouze čtvercových vodoznaků.

Metody pro vkládání šedotónových vodoznaků vycházely ze dvou rozdílných technik. První patřící do skupiny **SHARE** pracují s rozdělením původního obrazu na dva díly. Do jednoho dílu je poté vkládán obraz. Tímto se zajišťuje dobrá průhlednost vodoznaku. Metoda **SHARE-DWT** měla výraznější potíže jen s útoky geometrického typu. Pro vylepšení robustnosti bylo přistoupeno k využití SVD. **SHARE-DWT-SVD** opět vylepšuje jak robustnost, tak průhlednost.

Poslední technika nazvaná **COEFF** využívá lineární škálování z 8-bitového do 24-bitového zobrazení. Výsledky metody **COEFF-DWT** byly víceméně zklamáním. Nedostatečná průhlednost a nad očekávání nízká robustnost vůči této technice vyvolávají rozpaky. Metoda **COEFF-DWT-SVD** ale oba předchozí neduhy značně vylepšují. Pro reálné využití je proto doporučeno využívat tento přístup jen za použití SVD.

Všechny techniky, které pracují jen s váhovou funkcí, potřebují pro extrakci pouze

originální data a vodoznačený obraz. Metody využívající SVD potřebují k vytažení vodoznaku i vodoznak originální. Rychlost procesu vložení a vytažení při velikosti hostitelských dat 512 x 512 px a výše zmíněné počítačové sestavě bylo v řádu sekund. Pouze u poslední metody byl čas výpočtů až 15x větší. Je to kvůli výpočtům SVD matic obsahující 24-bitové hodnoty. O rozdílu kvality porovnávaných obrazů nejlépe vypovídal kvalitativní index SSIM, přesněji jeho střední hodnota MSSIM. Je to proto, že tato metoda bere v potaz psychovizuální model lidského vidění, narozdíl od PSNR a NCC.

Na přiloženém DVD je k dispozici spustitelný program „Vodoznačení“ v souboru *.jar, jeho zdrojový kód ve formě projektu vývojového prostředí Eclipse, testovací sada obrazů a tato práce ve formátu *.pdf.

LITERATURA

- [1] ABRAHAMSEN, A.; RICHARDS, D.: Image compression using singular value decomposition. *Linear algebra applications*, 2001: s. 1–14.
- [2] ARNOLD, M.; SCHMUCKER, M.; WOLTHUSEN, S.: *Techniques and Applications of Digital Watermarking and Content Protection*. Artech House computer security series, Artech House, 2003, ISBN 1-58053-111-3.
- [3] BARNI, M.; BARTOLINI, F.: *Watermarking Systems Engineering: Enabling Digital Assets Security and Other Applications*. Signal Processing and Communications, Taylor & Francis, 2004, ISBN 0-8247-4806-9.
- [4] CHAE, J. J.; MANJUNATH, B. S.: Robust embedded data from wavelet coefficients. 1997, s. 308–317, doi:10.1117/12.298463.
- [5] HOŠEK, J.: Vodoznačení Video Obsahu. *Elektrorevue*, 2007: str. 20, ISSN 1213-1539.
- [6] HUA, Y.; WANG, A.; WU, B.: An Algorithm for Image Authentication Based on Fragile Watermarking. In *Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS), 2010 3rd International Conference on*, listopad 2010, s. 52–55, doi: 10.1109/ICINIS.2010.116.
- [7] JUIFEN, L.; DAREN, H.; JIWU, H.: *A DWT - based image watermarking algorithm*. 2001, ISBN 0-7695-1198-8, 80 s.
- [8] KATZENBEISSER, S. A.; PETITCOLAS, F.: *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*. Boston: Artech House, 2000, ISBN 1-58053-035-4, 220 s.
- [9] PETITCOLAS, F.; ANDERSON, R. J.; KUHN, M. G.: Attacks on Copyright Marking Systems. In *Proceedings of the Second International Workshop on Information Hiding*, 1998, ISBN 3-540-65386-4, s. 218–238.
- [10] SEITZ, J.: *Digital Watermarking for Digital Media*. Information Science Pub., 2005, ISBN 1-59140-520-3.
- [11] SRIDHAR, B.; ARUN, C.: A wavelet based image watermarking technique using image sharing method. In *Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2013 International Conference on*, únor 2013, s. 629–633, doi:10.1109/ICICES.2013.6508179.

- [12] WANG, N.; KIM, C.-H.: Tamper detection and self-recovery algorithm of color image based on robust embedding of dual visual watermarks using DWT-SVD. In *Communications and Information Technology, 2009. ISCIT 2009. 9th International Symposium on*, září 2009, s. 157–162, doi:10.1109/ISCIT.2009.5341268.
- [13] WANG, Z.; BOVIK, A. C.; SHEIKH, H. R.; aj.: Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, ročník 13, č. 4, 2004: s. 600–612.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

PSNR Peak signal-to-noise ratio

MSE Mean squared error

NCC Normalized cross-correlation

LSB Least significant bit

DCT Discrete cosine transform

DWT Discrete wavelet transform

WHT Walsh–Hadamard transform

SVD Singular value decomposition

SSIM Structural similarity index

MSSIM Mean structural similarity index

GUI Graphical user interface