

ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱՅԻ ԵՎ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈԲԼԵՄՆԵՐԻ
ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՄԵԶԴԻ ԽԱԼԻԼԻ

ԵՐԿՉԱՓԱՆԻ ՎԵՅՎԼԵՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՈՒՄԱՄԲ
ԳՈՒՆԱՅԻՆ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ ԹՎԱՅՆԱՅՎԱԾ
ՊԱՏԿԵՐԻ ՋՐԱՆՇՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ե.13.05 – «Մաթեմատիկական մոդելավորում, թվային մեթոդներ
և ծրագրային համալիրներ» մասնագիտությամբ տեխնիկական
գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման
ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ 2012

INSTITUTE FOR INFORMATICS AND AUTOMATION
PROBLEMS OF NAS RA

MEHDI KHALILI

AN INVESTIGATION ON DIGITAL IMAGE
WATERMARKING IN COLOR SPACES
USING DWT2

AUTHOR'S ABSTRACT

For obtaining candidate degree in technical sciences in specialty 05.13.05

“Mathematical modeling, numerical methods and program complexes”

YEREVAN 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացված պրոբլեմների ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝	տ.գ.դ.	Դ.Գ. Ասատրյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տ.գ.դ.	Գ.Հ. Խաչատրյան
	տ.գ.թ.	Գ.Բ. Մարգարով

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-Ռուսական (Սլավոնական) Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է՝ 2012 թ. հունիսի 15-ին, ժ. 15-00-ին, 037 «Ինֆորմատիկա և հաշվողական համակարգեր» մասնագիտական խորհրդի նիստում, ՀՀ ԳԱԱ Ինֆորմատիկայի և ավտոմատացված պրոբլեմների ինստիտուտում (հասցեն՝ 0014, Երևան, Պ. Սևակի փ. 1)

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ինստիտուտի գրադարանում

Սեղմագիրն առաքված է 2012 թ. մայիսի 15-ին

037 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, ֆ.-մ.գ. դ.,



Հ.Գ. Սարուխանյան

The subject of the dissertation has been approved in the Institute for Informatics and Automation Problems of NAS RA

Scientific Advisor:	Dr.of Tech.Sci.	D.G. Asatryan
Official opponents:	Dr.of Tech.Sci.	G.H. Khachatryan
	Cand. of Tech.Sci.	G.I. Margarov

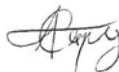
Leading organization: Russian-Armenian (Slavonic) University

The defence will take place on June 15th 2012, at 15⁰⁰ in the Institute of Informatics and Automation Problems of NAS RA, during the session of the 037 “Informatics and computer systems” special council (address: 1 P. Sevak Str. 0014, Yerevan).

The dissertation is available at the library of the institute.

Author’s abstract is sent on May 15th of 2012.

Scientific secretary of the specialized council 037
Dr. of Phys. and Math. Sci.,



H.G. Sarukhanyan

1. GENERAL CHARACTERIZATION OF THESIS

Actuality of the subject

In the recent years, rapid growth of the internet field, quick advances in digital technology, and also increasing development information technology, specially, the vast use of Personal Computers that are connected to the internet have provided the easy access to the digitalized media like audio, image, and photography media (pictures, images and etc). This increasing use of digital multimedia service has made new problems related to this technology. Beside many advantages like high quality of digital technology that has made it popularity and usage among people, there are also some problems in these digital services like the capability of copying a great number of original version without any decrease in quality and ability of manipulation or malicious changing the information content. Although digital data have many advantages in comparing with analogue data, because of these problems, service providers often do not prefer to present their services in digital format. The main reason is their worries about nonexistence of the copyright protection.

Because of some possible problems of copyright, digital registered products must be reasonably protected. Hence, some activities are required for developing security systems and protection of digital data. Besides, it seems finding a way for solving the mentioned problems should be considered as the important problems in the communication filed, especially in signal processing.

Watermarking is an effective method for reaching these goals; so that with adding invisible information into a product, its security is guarantied against the copying, content alteration, and etc.

It is well known that major properties of a desired watermarking scheme include security, imperceptibility and robustness to different attacks.

In most of the watermarking applications, the watermarked data is expected to be probably processed in some way, before it reaches to the watermark receiver. However, it is possible that the watermarked data before that, has affected by some attack. For example, it can be compressed, cropped, noised and etc.

High imperceptibility means the amount of quality degradation that is caused by the watermark embedding into the original image, be insensible with the human visual system (HVS). However, in most applications increasing the robustness by embedding a more powerful watermark signal may cause loss of imperceptibility. In this case, a trade-off must be made between imperceptibility and robustness. This fact is the most important problem which must be solved for developing of any watermarking algorithm.

The analysis of scientific works shows that there are some problems in the area of watermarking of color images, which are not yet comprehensively investigated. The properties of the images, represented in the concrete color spaces are important for many technical applications and for HVS perception as well. Many investigations are made which are devoted to the watermarking problems for certain color spaces. But comprehensive and comparative analysis is not yet done. Hence this problem is still topical.

Many watermarking methods are described and investigated in the scientific literature, but there are notable methods based on wavelet-analysis, because it is the most flexible and compact representation of the signals and images. Therefore it is no wonder that the wavelet-analysis is the widely used mathematical technique in the watermarking area.

The most applications of wavelet-analysis to the watermarking problems originate in well-known investigations of Dugad and Inoue. So that Dugad describes a watermarking technique that inserts the watermark in the most significant coefficients in the DWT domain and does not require the original image in the detection process. However, Dugad's technique does not embed the watermark into many coefficients of the image, and also its retrieval algorithm can tell only if the watermark is present or absent but it cannot recover the actual watermark. Also, Inoue describes a watermarking technique that inserts watermark into the detailed coefficients at the coarsest scales in the DWT domain and like the Dugad algorithm, the watermark is embedded in the perceptually significant coefficients, but it requires a file to be saved detailing the locations where the watermark bits are embedded. Thus, direct using of these two algorithms does not allow

the effective manipulations between different color spaces and needs to be solved and improved.

This thesis is devoted to the problem of creating of methodology, algorithms and program system for effective watermarking of the images, represented in different color spaces, and the comprehensive and comparative investigation of their properties.

Objectives and Tasks

The main goal of this thesis is development of a watermarking procedure to reach the best watermarking requirements in different color spaces by means of creating and investigation of effective complex of algorithms and programs using discrete wavelet-analysis technique.

To reach the specified goal following tasks were solved:

- Creating appropriate mathematical model for watermarking procedure based on wavelet-analysis and solving Dugad and Inoue algorithms problems by improving them;
- Study and concretizing the color space representations and relations between them, taking into account the simulation possibilities of MATLAB system, creating the necessary program system in MATLAB environment;
- Investigation of imperceptibility, robustness and error rate properties of the watermarking procedure in different color spaces under widespread types of attacks.

Methods and resources of research

- Theory and technique of image processing;
- Methodology of application of discrete wavelet-analysis to image properties investigation;
- Basics of mathematical and computer modeling;
- MATLAB language.

Scientific novelty

- Created wavelet-based watermarking methodology based on improved Dugad and Inoue algorithms.
- Scheme for experiments and comparative analysis of watermarking procedure properties for every color space are proposed.
- Numerical results of comparative analysis of robustness, imperceptibility and error bit rate for every color space are obtained. The dependence of the watermark extracting error on various attacks parameters is obtained.
- Recommendations on the color space choosing to reach the best watermarking requirements, subject to the human visual system perception are given.

The following topics are presented to the defence

- Methodology for development of an image watermarking algorithm by using of wavelet-analysis subject to properties of various color models under widespread types of attacks;
- Results of experimental investigations for robustness and imperceptibility of the proposed watermarking algorithms to attacks;
- Results of comparative analysis in different color spaces and recommendations on the color space choosing to reach the best watermarking requirements.
- MATLAB software system to realize the proposed watermarking procedure.

Practical significance

- Program system in the MATLAB environment is created. It is usable for wide range of areas including business, education, copyright protection, ownership identification etc.
- Concrete recommendations for using the proposed procedure of image protection in different color spaces to reach the best results, are made.
- The created program tools can be easily changed and adapted for other purposes related to an image processing.

Approbation

The results of the dissertation have been presented at:

- Computer Science and Information Technologies conferences (CSIT 2009, CSIT 2011), Yerevan, Armenia.
- Workshop PNU University, Ray branch, January, 2010, Tehran, Iran.
- Scientific seminar of Institute for Informatics and Automation Problems, National Academy of Science, December 15, 2011, Yerevan, Armenia.

Practical Implementation

Proposed Watermarking procedure design has been presented and tested successfully, to guarantee the ownership and image authentication of documents of Panda Security Company.

Publications

Material results of this thesis which is included 150 pages, 68 tables and also 73 figures, were published in 9 scientific publications which are listed in the end of the abstract.

2. THE MAIN CONTENT OF THESIS

In **Introduction**, we explain the actuality of watermarking; so that, after explaining of some possible problems in copyright protection and ownership of the products, we have a brief look on the major properties of a desired watermarking scheme. Then, we note that there are some problems to be solved in the area of color image protection related to the properties of different color spaces.

We also explain the causes of choosing DWT for solving the existing problems in watermarking. Afterwards, we explore the main goals of the thesis and tasks of reaching these goals. Then we have a look on investigation methods, scientific novelties and also

statements which are presented for defense, practical significance of results and other general characterizations of thesis.

In **Chapter 1**, some general points about digital watermarking are presented completely and this subject is analyzed; so that after introducing a general theory about digital watermarking and then reviewing some data hiding words, we explain different kinds of watermarks and their applications, completely. In the next section, we analyze the most important watermarks characteristics and then explain related problems with the probable attacks on watermarks. Then, we review some digital watermarking techniques based on correlation and non correlation in spatial and frequency domains.

In **Chapter 2**, we see, according to processing domain, the watermarking techniques can be broadly classified in two categories: spatial domain and frequency domain. So with a brief considering on different domain properties, we find out that in frequency-domain techniques we can embed more bits of watermarks. Moreover, it is very robust against attacks involving image compression and noising because the watermark is actually spread through out the image, not just operating on an individual pixel. Thus, we explore which domain is most effective to solve the existing problems in watermarking; so that, we explain DCT-based methods are easy to implement, have been wildly employed for multimedia compression, and are suitable to embed pseudo random numbers as watermarks, it is weak to claim the ownership of intellectual property; moreover, watermark embedded in DCT coefficients seems easily lost. In the other hand, it is well known that the wavelet transformation has the excellent properties to minimize the data loss in the frequency transformation of images, to reduce noise and bias generation in images, and to provide extra robustness against irregular attacks. This cause makes us to choose this domain to reach our goal in this thesis. Thus, we concentrate on this transformation domain and for more familiarity with this kind of transformation, we discuss more detailed on it; so that after an introduction of wavelets, we discuss about tow dimensional wavelet transform, briefly. So that, we point that in a DWT of 2-D signal (image), signal firstly decomposes into the one approximation subband (LL1) and three details subbands (HL1, LH1, HH1) by cascading the signal horizontally and vertically with critically subsampled filter banks. Then, the approximation subband LL1

decomposes again for obtaining the coarser-scaled wavelet coefficients. At last, we refer to some watermarking schemes based on wavelet transformation in recent years.

In **Chapter 3**, we propose a novel image watermarking algorithm which satisfies imperceptibility and robustness more than similar works, simultaneously. The watermarking embedding process in proposed scheme is by Least Significant Bit (LSB) insertion as a watermarking technique based on non correlation. Figure 2 illustrates the block diagram of proposed algorithm to implement on six famous original images shown in Figure 1. In this algorithm, in RGB color space, a host image is decomposed into wavelet coefficients; then after quantization of approximation coefficients, and creating a sign matrix, coarsest coefficients which have smallest quantization error are selected to embed the watermark image which is scrambled with Arnold transform algorithm, with LSB insertion method as a representative of non correlation based watermarking techniques. In the other color spaces, after conversion of RGB color space to other color spaces using equations shown in Table 1, quantization of approximation coefficients and also creating a sign matrix, the scrambled watermark image is embedded into coarsest approximation coefficients of wavelet decomposition of first channel which have smallest quantization error with the same method.

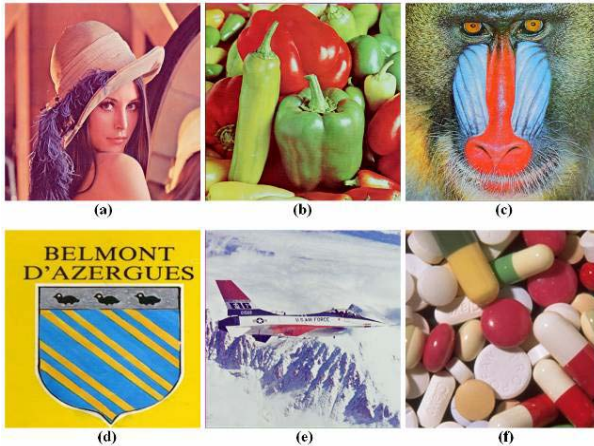


Figure 1. Original Host images; (a) Lena, (b) Peppers, (c) Baboon, (d) Arm, (e) F16 and (f) Pills

After implementation of aforementioned algorithm in RGB color space the proposed algorithm is implemented into seven other color spaces: YCbCr, JPEG-YCbCr, YIQ, YUV, HSV, HSI and CIELab in the similar conditions and improved YCbCr color space called JPEG-YCbCr to compare color spaces effects on image watermarking and reach the best results of based non correlations watermarking properties. The related summarized results are shown in Table 2.

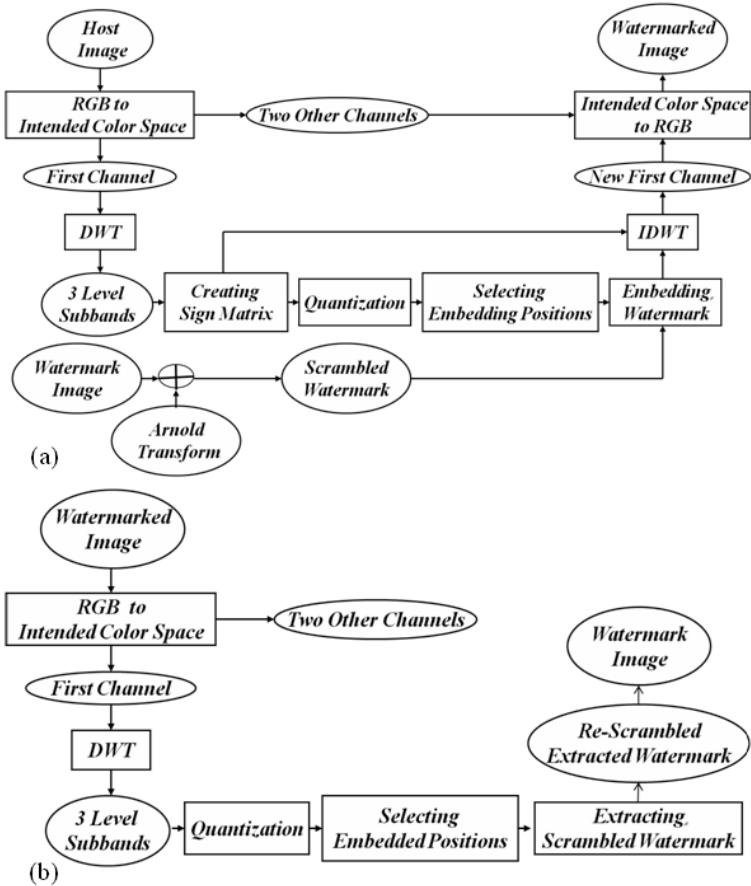


Figure 2. Block diagram of the proposed method as a representative of watermarking techniques based on non correlation;
 (a) watermark embedding and (b) watermark extraction

Table 1. The conversion algorithms of RGB color space to the other color spaces

$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.29890 & 0.58660 & 0.11450 \\ -0.16874 & -0.33126 & 0.50000 \\ 0.50000 & -0.41869 & -0.8131 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">YCbCr:</p>	$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.37 \\ 0.37 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.29890 & 0.58660 & 0.11450 \\ -0.16874 & -0.33126 & 0.50000 \\ 0.50000 & -0.41869 & -0.8131 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">JPEG-YCbCr:</p>
$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">YIQ:</p>	$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$ <p style="text-align: center;">YUV:</p>
<p>HSI:</p> $H = \begin{cases} \text{Undefined,} & \text{if Max} = \text{Min} \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{Max} - \text{Min}} + 0, & \text{if Max} = R \text{ and } G \geq B \\ 60 \times \frac{G - B}{\text{Max} - \text{Min}} + 360, & \text{if Max} = R \text{ and } G < B \\ 60 \times \frac{B - R}{\text{Max} - \text{Min}} + 120, & \text{if Max} = G \\ 60 \times \frac{R - G}{\text{Max} - \text{Min}} + 240, & \text{if Max} = B \end{cases}$ $S = \begin{cases} 0, & \text{if Max} = 0 \\ 1 - \frac{\text{Min}}{\text{Max}}, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad V = \text{Max}$	
<p>HSV:</p> $I = \frac{1}{3}(R + G + B)$ $S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)]$ $\theta = \arccos \left(\frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right)$ $H = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 2\pi - \theta, & B > G \end{cases}$	
<p style="text-align: center;">CIELab:</p> $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.412391 & 0.357584 & 0.180481 \\ 0.212639 & 0.715169 & 0.072192 \\ 0.019331 & 0.119195 & 0.950532 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \rightarrow \begin{cases} L^* = 116 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* = 500 \left(f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right) \\ b^* = 200 \left(f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right) \\ f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & t > 0.008856 \\ 7.787t + \frac{16}{116} & t < 0.008856 \end{cases} \end{cases}, \begin{cases} X_n = 0.950456 \\ Y_n = 1.0 \\ Z_n = 1.089058 \end{cases}$	

Table 2. The summarized results of proposed scheme

Color Space	Imperceptibility			Wavelet Compression under Threshold 12.0			Max. Error Bit in Cropping %		
	Min. PSNR (db)	Min. NC	Max. Error Bit %	Min. PSNR (db)	Min. NC	Max. Error Bit %	Area 1	Area 2	Area 3
RGB	49.55	0.9998	0	21.19	0.4636	25.78	46.91	47.87	46.50
YCbCr	49.02	0.9996	0	21.09	0.5054	23.86	46.50	48.28	45.40
JPEG-YCbCr	49.47	0.9997	0	21.18	0.5230	23.18	47.32	47.46	46.22
YIQ	49.71	0.9997	0	21.16	0.5135	23.59	47.18	47.32	45.67
YUV	49.71	0.9997	0	21.16	0.5135	23.59	47.18	47.32	45.67
HSV	49.69	0.9999	0	21.30	0.6156	18.38	48.55	47.87	47.05
HSI	49.79	0.9999	0	21.30	0.6156	18.38	47.32	47.18	47.05
CIELab	49.34	0.9992	0	22.59	0.4614	25.92	46.63	46.63	45.67

In **Chapter 4**, after a brief explaining about Code Division Multi Access (CDMA), as a representative of watermarking techniques based on correlation, we propose a novel effective, imperceptible and robust CDMA image watermarking algorithm, for solving Dugad and Inoue problems. The proposed algorithm for embedding watermark is described as follows:

Step 1: The watermark W is converted to a sequence and then a random binary sequence R of size n is adapted to W , where n is the size of the watermark image. Then, the new watermark sequence $W1$ is generated by a pseudo-random number generator to determine the pixel to be used on a given key.

Step 2: Decompose the host image into a one-level structure with four *DWT* subbands, $F(H)$. The coarsest coefficient of subbands HL and LH are taken as the target for embedding the watermark. In the other color spaces, after converting the host image from RGB color space into the intended color space, *DWT* will be performed on the first channel of selected color space.

Step3: Take absolute values on coefficients of all *LH* and *HL*, and record their signs in sign matrices.

Step 4: Quantize absolute values of selection coefficients.

Step 5: Embed watermark *W1* into the coarsest coefficient of subbands *HL* and *LH* by the watermark embedding strategy as follows:

$$I_{W_{x,y}}(u, v) = \begin{cases} I_{x,y} + k * W_i & \text{if } W = 0 \\ I_{x,y} * W_i & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

where *k* denotes a gain factor for completely controlling the imperceptibility of watermarked images and the robustness of watermarks and also *IW* is the resulting watermarked image.

Step 6: Effect sign matrices into the embedded coefficients.

Step 7: A watermarked image *I'* is then generated by inverse DWT with all changed and unchanged DWT coefficients. In the other color spaces the watermarked image will be generated after re-converting the intended color space into RGB color space.

Step 8: Record the pseudo-random noise generator algorithm and the key.

The embedded watermark in details subbands coefficients of the host image is extracted using the same pseudo-random noise generator algorithm which is seeded with the same key and computation of the correlation between the noise pattern and possible watermarked image as follows:

Step 1: Decompose the watermarked image into four DWT subbands. In the other color space, DWT will be performed on the first channel of considered color space after converting watermarked image from RGB color space into intended color space.

Step 2: Seeding the recorded key using the recorded pseudo-random noise generator algorithm.

Step 3: Quantize absolute values of *HL* and *LH* subbands.

Step 4: Computation of threshold *T* as follows:

$$T = \frac{Correlation(HL) + Correlation(LH)}{2} \quad (2.2)$$

Step 5: Computation of the threshold *T* and each embedded coefficient correlation, separately.

Step 6: The sequence watermark is extracted as follows:

$$\begin{cases} W_i = 0 & \text{if } C_i > T \\ W_i = 1 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

Step 8: The image watermark is produced by reconvertng the extracted sequence watermark.

It is necessary to note that these two proposed approaches have no need of the original host image to extract the watermarks.

After explaining the embedding and extracting processes we perform the proposed scheme on the same famous host images shown in Figure 1 and the same color spaces under similar conditions to compare the effects of different color spaces on correlation based watermarking techniques and reaching the best. Then we test imperceptibility and robustness of proposed algorithm against JPEG compression and Gaussian and salt & pepper noises. We will see that the proposed scheme reaches to suitable watermark extraction under aforementioned attacks, as it is shown for Baboon in Table 3 for quality factor of JPEG compression Q=15, Gaussian Noise V=0.9 and noise density of Salt & Pepper N.D=0.5. In the end of this chapter, after comparing with the earlier works we summarize the obtained results in all color spaces like it is shown in Figures 3, 4, and 5 for k=1.

Table 3. The extracted watermark from Baboon with k=1; Q=15, V=0.9 and N.D=0.5

Color Space	Extracted Watermarks		
	Q=15	V=0.9	N.D=0.5
RGB	MEHDI	MEHDI	MEHDI
YCbCr	MEHDI	MEHDI	MEHDI
JPEG-YCbCr	MEHDI	MEHDI	MEHDI
YIQ	MEHDI	MEHDI	MEHDI
YUV	MEHDI	MEHDI	MEHDI
CIELab	MEHDI	MEHDI	MEHDI

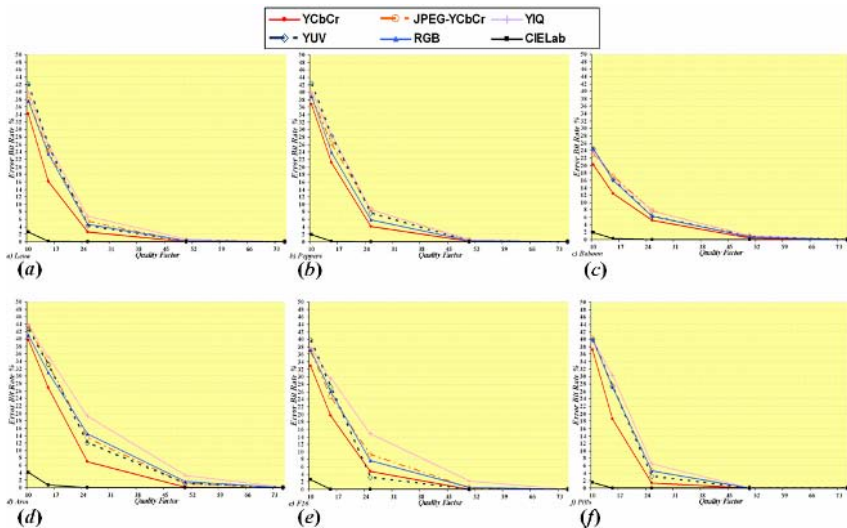


Figure 3. The percentage of error bit rate of extracted watermarks for different color spaces under JPEG compression with $k=1$; (a) Lena, (b) Peppers, (c) Baboon, (d) Arm, (e) F16 and (f) Pills

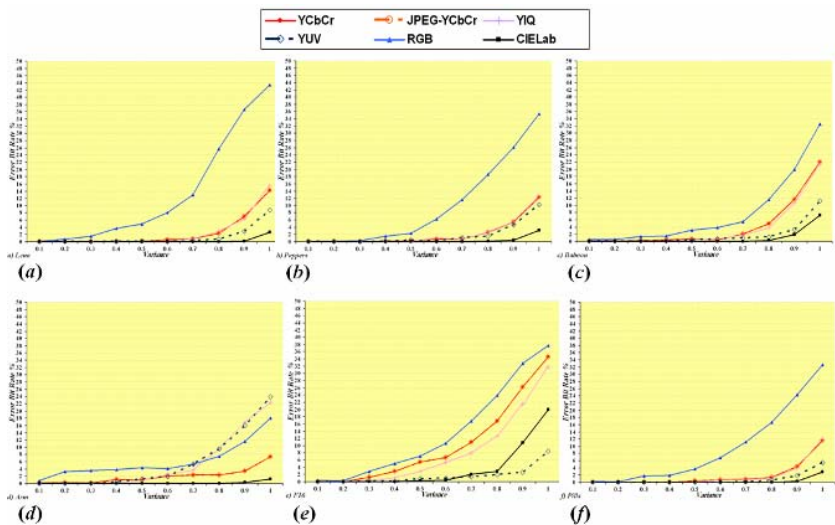


Figure 4. The percentage of error bit rate of extracted watermarks for different color spaces under Gaussian noise with $k=1$; (a) Lena, (b) Peppers, (c) Baboon, (d) Arm, (e) F16 and (f) Pills

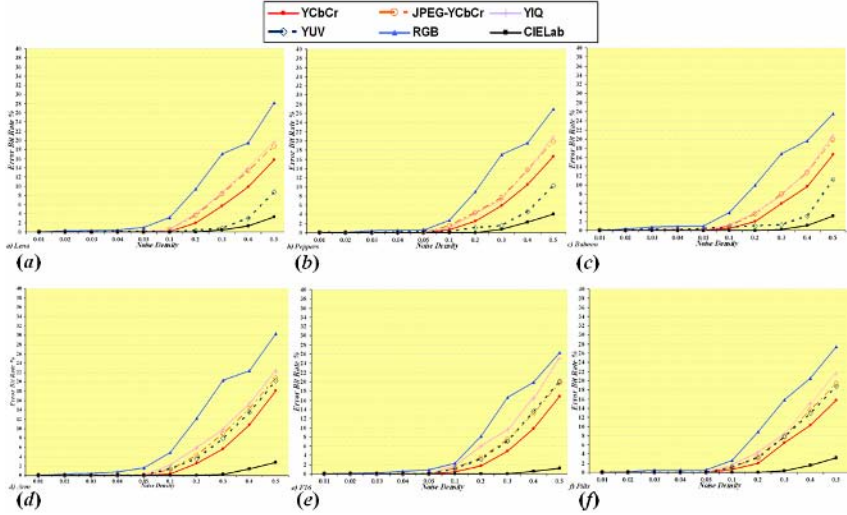


Figure 5. The percentage of error bit rate of extracted watermarks for different color spaces under salt & pepper noise with $k=1$; (a) Lena, (b) Peppers, (c) Baboon, (d) Arm, (e) F16 and (f) Pills

Besides increasing imperceptibility and robustness against different attacks in comparing similar methods, from proposed scheme, we can see that in JPEG compression, YIQ color space has the greatest error bit rate values; while after that, respectively, JPEG-YCbCr, YUV, RGB, YCbCr and CIELab color spaces have the greatest values. It means, performing the proposed method on CIELab color space and after that, respectively, YCbCr, RGB, YUV, JPEG-YCbCr and YIQ color spaces lead to the most robustness against JPEG compression. In addition, except Pills under Gaussian noise of 0.6%, 0.7% and 0.8% with gain factor 0.5, in all cases; YCbCr and JPEG-YCbCr color spaces have the same robustness against Gaussian noise attack. The percentage of error bit rate values in RGB color spaces are greatest comparing the other color spaces; while after that, respectively, YCbCr & JPEG-YCbCr, YIQ, YUV and CIELab color spaces have the greatest values. It means, performing the proposed scheme on CIELab color space and after that respectively, YUV, YIQ, YCbCr & JPEG-YCbCr and RGB color spaces lead to the most robustness against Gaussian noise attack. Also, it can be found that, in salt & pepper noise attacks, RGB color space has the greatest error

bit values rates comparing the other color spaces; while after that respectively, YIQ, JPEG-YCbCr, YCbCr, YUV and CIELab color spaces have the greatest values. It means that performing the proposed scheme on CIELab color space and after that respectively, YUV, YCbCr, JPEG-YCbCr, YIQ and RGB color spaces lead to the most robustness against salt & pepper noise attack.

3. THE MAIN RESULTS OBTAINED IN THE THESIS

The main obtained results in the thesis can be summarized as follows:

- An effective wavelet-based watermarking methodology based on improved Dugad and Inoue algorithms is created [2];
- Scheme for experiments and comparative analysis of watermarking procedure properties for every color space is proposed [3-5];
- Numerical results of comparative analysis of robustness, imperceptibility and error bit rate for every color space are obtained. The dependences of the watermark extracting error on various attacks parameters are obtained [3-5];
- The new formula for improved YCbCr color space called JPEG-YCbCr which enhances the properties of this color space is proposed [6,7];
- The novel JPEG-YCbCr color space to improve YCbCr color space properties is proposed [6,7];
- In correlation based watermarking techniques, watermark imperceptibility is increased more than the other color spaces using proposed JPEG-YCbCr color space formula [6-8].
- Recommendations on the color space choosing to reach the best watermarking requirements, subject to the human visual system perception are given [1].
- MATLAB software system to realize the proposed watermarking procedure is created [1,9].
- The imperceptibility and robustness properties, satisfied simultaneously, in proposed schemes.

List of Publications

1. M. Khalili, "A Comparison between Digital Images Watermarking in Two Different Color Spaces Using DWT²", CSIT, Proceedings of the 7th International Conference on Computer Science and Information Technologies, Yerevan, Armenia, pp. 158-162, 2009.
2. Mehdi Khalili and David Asatryan, "Effective Digital Image Watermarking in YCbCr Color Space Accompanied by Presenting a Novel Technique Using DWT", The Journal of Mathematical Problems of Computer Science 33, Armenia, pp.150-161, 2010.
3. Mehdi Khalili and David Asatryan, "An Effective, Secure and Robust CDMA Algorithm for Digital Image Watermarking using Discrete Wavelet Transform", The Journal of Mathematical Problems of Computer Science 35, Armenia, pp.116-127, 2011.
4. Mehdi Khalili, "A Novel Effective, Secure and Robust CDMA Digital Image Watermarking in YUV Color Space Using DWT²", The International Journal of Computer Science (IJCSI), Mauritius, Vol. 8, Issue 3, No. 2, pp. 70-78, May 2011.
5. Mehdi Khalili, "A Secure and Robust CDMA Digital Image Watermarking Algorithm Based on DWT², YIQ Color Space and Arnold Transform", Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ), India, Vol.2, No.2, pp. 131-147, June 2011.
6. Mehdi Khalili, "A Novel Secure, Imperceptible and Robust CDMA Digital Image Watermarking in JPEG-YCbCr Channel Using DWT²", The International Journal of Enterprise Computing and Business Systems (IJECBS), India, Vol.1, No.2, July 2011.
7. Mehdi Khalili and David Asatryan, "Improved DWT Based Watermarking Using JPEG-YCbCr", CSIT, Proceedings of the 8th International Conference on Computer Science and Information Technologies, Yerevan, Armenia, pp. 213-216, 2011.

8. M. Khalili and D. Asatryan, "A Novel Threshold-Based Image watermarking Algorithm using DWT²", Herald of RAU Journal, Armenia, pp. 33-46, 2011.
9. Atefeh Elahian, Mehdi Khalili, Shahriar Baradaran Shokouhi, "Improved Robust DWT-Watermarking in YCbCr Color Space", The Global Journal of Computer Application and Technology (GJCAT), India, Vol. 1, No.3, pp. 300-304, 2011.

**ԵՐԿՉԱՓԱՆԻ ՎԵՅՎԼԵՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՍԲ ԳՈՒՆԱՅԻՆ ՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՒՄ
ԹՎԱՅՆԱՑՎԱԾ ՊԱՏԿԵՐԻ ԶՐԱՆՇՄԱՆ ԱԼ ԳՈՐԻԹՄՆԵՐԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ
(Ամփոփում)**

ՄԵՀԳԻ ԽԱԼԻԼԻ

Արդիականությունը: Վերջին տարիներս Համացանցի տիրույթի արագ աճը, թվային տեխնոլոգիաների արագ զարգացումը և կիրառության բնագավառների ընդլայնումը, Համացանցին միացված անհատական կոմպյուտերների համատարած օգտագործումը հնարավորություն տվեցին հեշտությամբ օգտվելու թվայնացված ինֆորմացիայից (աուդիո, պատկեր և այլն): Ուստի հեղինակային իրավունքը և թվայնացված ինֆորմացիան չարտոնված օգտագործումից պաշտպանելու մեթոդների ստեղծման խնդիր է առաջանում:

Նշված խնդրի լուծման արդյունավետ եղանակ է թվայնացված ինֆորմացիայի ջրանշման մեթոդը, որը պաշտպանվող ինֆորմացիայի մեջ ներմուծում է անտեսանելի նիշեր, որոնք օգնում են պարզել տվյալ նյութի հեղինակային պատկանելությունը, ինչպես նաև դրա ամբողջականությունը, չարամիտ ներգործությունը և այլն:

Ինչպես հայտնի է, ջրանշման սխեմայի ցանկալի հատկությունները ներառում են գաղտնիությունը, անտեսանելիությունը, կայունությունը հարձակումների նկատմամբ և սխեմայի կարողությունը՝ հայտնաբերելու ջրանիշը:

Զրանշման կիրառություններում, որպես կանոն, ենթադրվում է, որ ջրանշմած տվյալները հասնում են ընդունիչին այն տեսքով, ինչ տեսքով որ հաղորդվել էին: Մակայն հնարավոր է, որ այդ տվյալները ենթարկված լինեն հարձակման, ինչի հետևանքով ներմուծված ինֆորմացիան կարող է անհետանալ: Որպես հարձակում կարող են դիտվել ինֆորմացիայի սեղմումը, կտրատումը, աղմկահարումը և այլն: Ուստի կարևոր է, որ ջրանշման ալգորիթմը կայուն լինի նման հարձակումների նկատմամբ:

Բարձր անտեսանելիությունը նշանակում է, որ ջրանշման հետևանքով առաջացած աղավաղումները աննկատ են մարդու տեսողական համակարգի համար (USՀ): Մակայն ջրանիշի կայունության բարձրացումը կարող է հանգեցնել անտեսանելիության մվազեցմանը, ուստի ջրանշման մեթոդի ընտրությունը բերում է նշված հատկությունների համապատասխան փոխզիջման:

Գիտական գրականության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ գունավոր պատկերների ջրանշման բնագավառում կան խնդիրներ, որոնք դեռևս համակողմանիորեն ուսումնասիրված չեն: Մասնավորապես, հայտնի է, որ պատկերների մշակման բնագավառում կիրառվում են տարբեր գունային մոդելներ, որոնց հատկությունները կարևոր են ոչ միայն տեխնիկական մշակումների առումով, այլև USՀ ընկալման տեսանկյունից: Կատարվել են բազմաթիվ ուսումնասիրություններ, որոնք նվիրված են այս կամ այն գունային տարածության մեջ տրվող պատկերների ջրանշման հարցերին: Մակայն դրանց հատկությունների համեմատական և համակողմանի վերլուծություն չի կատարված:

Մույն ատենախոսությունը նվիրված է տարբեր գունային մոդելներով ներկայացվող պատկերների արդյունավետ ջրանշման մեթոդաբանության, ալգորիթմների և ծրագրային համակարգի ստեղծմանը, ինչպես նաև դրանց հատկությունների համակողմանի ուսումնասիրությանը:

Նպատակները և խնդիրները

Ատենախոսության **նպատակն է՝** ընդհատ վեյվլետ-վերլուծության օգտագործմամբ ալգորիթմների ու ծրագրային միջոցների արդյունավետ համալիրի ստեղծման միջոցով տարբեր գունային տարածություններում լավագույն ջրանշման արդյունքներ ստանալու ջրանշման մեթոդիկայի մշակումը:

Ատենախոսության մեջ լուծվել են հետևյալ **խնդիրները.**

- Ջրանշման ընթացակարգի համար ստեղծել վեյվլետ-վերլուծության վրա հիմնված համապատասխան մաթեմատիկական մոդել՝ Դուգադի և Ինոուի ալգորիթմների կիրառմամբ՝ վերջիններիս կատարելագործման միջոցով:
- Ուսումնասիրել և կոնկրետացնել գունային տարածությունների ներկայացումը և դրանց միջև փոխադարձ կապերը, հաշվի առնելով MATLAB համակարգի մոդելավորման հնարավորությունները, MATLAB միջավայրում ստեղծել ծրագրային համակարգ:
- Ուսումնասիրել ջրանշման ընթացակարգի անտեսանելիության, կայունության և սխալանքի հատկությունները տարբեր գունային մոդելների համար՝ հարձակումների լայնորեն տարածված տեսակների առկայության պարագայում:

Ստացվել են հետևյալ արդյունքները, որոնք բնորոշվում են նորությով

- Մշակվել է վեյվլետների կիրառմամբ ջրանշման մեթոդաբանություն, որը հիմնված է Դուգադի և Ինոուի կատարելագործված ալգորիթմների վրա:
- Մշակվել է տարբեր գունային տարածություններում ջրանշման ընթացակարգի հատկությունների ուսումնասիրության գիտափորձերի և համեմատական վերլուծության սխեմա:
- Ստացվել են ջրանշման ընթացակարգի անտեսանելիության, կայունության և սխալանքի համեմատական վերլուծության թվային արդյունքներ յուրաքանչյուր գունային տարածության համար:
- Մշակվել են հանձնարարականներ՝ մարդու տեսողական համակարգի տեսանկյունից վավագույն ջրանշման արդյունքներ ապահովող գունային տարածության ընտրության վերաբերյալ:

Պաշտպանության ներկայացվող դրույթներ

- Տարբեր գունային տարածություններում վեյվլետ-վերլուծության կիրառմամբ պատկերի ջրանշման ընթացակարգի մշակման մեթոդաբանություն՝ տարբեր գունային մոդելների համար և հարձակումների առկայության պարագայում:
- Առաջարկված ջրանշման ընթացակարգի անտեսանելիության և հարձակումների նկատմամբ կայունության և սխալանքի էքսպերիմենտալ հետազոտության թվային արդյունքներ:
- Տարբեր գունային տարածություններում տրվող պատկերի պաշտպանության առաջարկված ալգորիթմների հատկությունների համեմատական վերլուծության արդյունքներ և լավագույն հատկություններ ապահովող գունային տարածությունների ընտրության վերաբերյալ հանձնարարականներ:
- Մշակված ջրանշման ընթացակարգերը իրացնող ծրագրային համակարգ Matlab միջավայրում;

Ստացված արդյունքների կիրառական նշանակությունը

- Մշակվել է Matlab միջավայրում գործող ծրագրային համակարգ: Այն կիրառելի է օգտագործողների լայն շրջանակներում, ներառյալ բիզնեսը, կրթությունը, հեղինակային իրավունքի պաշտպանությունը, սեփականատիրության հավաստումը և այլն:
- Տրվել են տարբեր գունային տարածություններում տրվող պատկերի պաշտպանության և գունային տարածության ընտրության կոնկրետ հանձնարարականներ, որոնք լավագույնս բավարարում են ջրանշման պահանջներին:
- Մշակված ծրագրային համակարգը կարող է հեշտությամբ հարմարեցվել պատկերների մշակման այլ խնդիրներ լուծելու համար, որոնք առնչվում են պատկերների թվային մշակմանը:

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЗ-АЛГОРИТМОВ ЗАЩИТЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЦВЕТОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУМЕРНОГО ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

РЕЗЮМЕ

Мехди Халили

Актуальность. В последние годы бурное развитие Интернета и цифровых технологий, расширение областей их применения, повсеместное применение компьютеров, подключенных к Интернету создали возможности доступа к цифровой информации (аудио, видео и др.). Поэтому возникает задача создания методов защиты цифровой информации и авторских прав от несанкционированного использования.

Эффективным методом решения указанной задачи является встраивание в материал невидимых цифровых водяных знаков (ЦВЗ), которые помогают выявить авторскую принадлежность данного материала, а также его целостность, злонамеренное воздействие и т.д.

Как известно, желаемые свойства ЦВЗ-методов включают секретность, устойчивость к атакам и способность схемы обнаруживать ЦВЗ.

Анализ научной литературы показывает, что в области ЦВЗ-методов есть задачи, которые все еще не исследованы всесторонне. В частности известно, что в области обработки изображений применяются различные цветовые модели, свойства которых важны не только в технических приложениях, но и с точки зрения визуального восприятия человека. Были выполнены многочисленные исследования, посвященные вопросам создания ЦВЗ-методов для изображений, задаваемых в тех или иных цветовых пространствах. Однако всесторонний и сравнительный анализ свойств этих методов не был проведен.

Данная диссертация посвящена созданию эффективной методологии, комплекса алгоритмов и программ для ЦВЗ-защиты изображений, задаваемых в различных цветовых пространствах, а также всестороннему исследованию их свойств.

Целью работы является разработка ЦВЗ-методики для получения наилучших результатов в различных цветовых пространствах, путем создания эффективного комплекса алгоритмов и программ с применением дискретного вейвлет-анализа.

В диссертации решены следующие задачи:

- Создать математическую модель, основанную на вейвлет-анализе с применением алгоритмов Иноу и Дугада, совершенствуя последние;
- Исследовать и конкретизировать представления цветовых пространств и связи между ними, учитывая возможности моделирования в среде MATLAB, создать программную систему в среде MATLAB;

- Исследовать свойства необнаруживаемости, устойчивости и возникающие ошибки для различных цветовых пространств в присутствии атак наиболее распространенных типов;

Получены следующие результаты, отличающиеся новизной:

- Разработана ЦВЗ-методика с применением вейвлет-анализа, основанная на усовершенствованных алгоритмах Иноу и Дугада;
- Разработана схема экспериментов и сравнительного анализа свойств ЦВЗ-процесса в различных цветовых пространствах;
- Получены численные результаты степени необнаруживаемости, устойчивости к атакам и возникающих ошибок предложенных ЦВЗ-процедур для каждого цветового пространства;
- Разработаны рекомендации по выбору цветового пространства, в котором достигаются наилучшие результаты с точки зрения визуальной системы человека.

Положения, предъявляемые к защите:

- Методология разработки ЦВЗ-процедур с применением вейвлет-анализа для различных цветовых пространств при наличии атаки;
- Численные результаты экспериментального исследования необнаруживаемости, устойчивости и ошибок предложенной ЦВЗ-процедуры;
- Результаты сравнительного анализа свойств предложенной ЦВЗ-процедуры в различных цветовых пространствах, а также рекомендации по выбору цветового пространства, обеспечивающего наилучшие свойства;
- Программная система, разработанная в среде MATLAB, реализующая разработанную ЦВЗ-процедуру.

Практическое значение полученных результатов:

- Разработана программная система, действующая в среде MATLAB. Она может применяться широким кругом пользователей, включая бизнес, образование, защита авторских прав и др.
- Даны конкретные рекомендации по защите изображений, задаваемых в различных цветовых пространствах, а также по выбору пространства, наилучшим образом удовлетворяющего требованиям ЦВЗ-методов;
- Разработанная программная система может быть с легкостью адаптирована к другим задачам цифровой обработки изображений.

