

012-88-1001 089
02.07.2025

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност „Теоретични основи на комуникационната техника“

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Стоян

Кушлев

Автор на рецензията: доц. д-р инж. Иво
ТУ-София

Драганов, катедра РКВТ, ФТК,

Тема на дисертационния труд: „МЕТОДИ И АЛГОРИТМИ ЗА ВОДНО
МАРКИРАНЕ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ“

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем

Водното маркиране на цифрови изображения намира изключително широко приложение. Съществуват три основни направления на неговото използване – защита на авторски права, защита на съдържание и скриване на информация. При защитата на авторски права се използват, както видими, така и невидими водни знаци с експлицитната цел те да бъдат извличани от маркираните ресурси, които са със спорно авторство и то да бъде недвусмислено проверено. При защитата на съдържание водните знаци по принцип са невидими и целта на тяхното прилагане е да се установи в приемната страна, дали съдържанието по време на комуникация е било променяно. Основно при това приложение се използват чупливи знаци. Невидими са и знаците, използвани при скриването на информация. При този вид приложение полезните данни се пренасят от самия воден знак като таен остава алгоритъма за неговото извличане. Съществува огромно разнообразие от алгоритми за вмъкване на водни знаци, независимо от целта на тяхното използване. Би могло да се направи условно разделяне на групите алгоритми в зависимост от областта на манипулация на приемника – в пространствена, в честотна и във фазова област. Манипулиране на съдържание се извършва, както върху аудио сигнали, така и върху изображения и видео. Много често масово предлагани цифрови ресурси за крайния потребител, записвани на Audio CD, DVD, Blue Ray или поточно предавани в радио канали, TV, WebTV или IPTV биват маркирани с водни знаци. С все по-масовото навлизане на цифровото водно маркиране се появяват опити за злонамерено премахване или манипулиране на съдържанието на съответните водни знаци. Тези манипулации се наричат атаки и те налагат алгоритмите за влагане на водни знаци да бъдат все по-ефективни като самият воден знак бъде защитен все по-надеждно. Това води до използването на комбинирани техники за влагане, при които могат да се използват две или повече преобразувания на оригиналното съдържание, напр. два вида честотни трансформации.

В представения дисертационен труд се предлагат два метода за водно маркиране на цифрови изображения като първият от тях е именно комбинирано честотно преобразуване, а при втория се използва комплексно честотно преобразуване – нови техники за по-надеждно вмъкване на водния знак, който да бъде по-устойчив на външни за маркираното изображение промени и така да се осъществи основната цел за неговото използване – защита

на авторски права. Представените два метода могат да бъдат използвани и при защитата на аудио и видео сигнали – нещо, на което докторантът е обърнал внимание като насока за бъдеща работа, което прави приложимостта на разработката по-широка в тази съвременна област от обработката на мултимедийна информация.

2. Степен на познаване на състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

Докторантът е извършил широк анализ на методите за водно маркиране в своя дисертационен труд. Първоначално са представени подходите за добавяне и маркиране на допълнителна информация към предавани съобщения. Описан е процесът на водно маркиране с типичните за него реализации и особености. Разгледани са характеристиките на водните знаци – ефективност, прозрачност, големина на маркираната информация, информирано и неинформирано откриване, устойчивост и защита срещу модификации, както и криптиране на водния знак, а също така и модифицирането и използването на повече водни знаци, заедно със съпътстващата всички тези процеси икономическа оценка. Обърнато е внимание на методите за водно маркиране – контрол на излъчваното съдържание, информиране и доказване на авторски права, следене на предаваната информация, доказване на достоверността на съдържанието, контрол при копиране и контрол при работа върху крайни четящи устройства. След направения по този начин анализ са дадени препоръки за подобряване на съществуващите системи. Не са подминати и критериите за оценка на качеството и устойчивостта на маркираните изображения, които са представени чрез съответните им математически дефиниции, а по-късно са използвани на етапа на експериментално тестване на разработените алгоритми в дисертационния труд. В края на аналитичния обзор са направени важни изводи за насоките, в които могат да се предприемат нови изследвания и разработка на методи и алгоритми за водно маркиране. Всички те се базират на вече съществуващи подходи, които са намерили широко приложение в практиката и са детайлно описани в свързаните с тях литературни източници.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Избраната методика на изследване напълно съответства на поставената цел в дисертационния труд и свързаните с нея задачи за изпълнение. Докторантът умело използва техники от честотния анализ на двумерни сигнали като свободно прилага двумерно дискретно уейвлетно преобразуване и дискретно косинус преобразуване. Манипулация на отделни честотни съставлящи на база информационни критерии залягат в основата на въвеждането на цифров воден знак след неговото предварително подготвяне. Аналогични честотни преобразувания се използват и при извличане на воден знак – докторантът свободно борава с декомпозиране на двумерни масиви от стойности. Предварителни обработки на изображението-приемник са също детайлно описани в изследванията, което говори за способност за прилагане на линейни и нелинейни трансформации върху визуални данни. В отделна част на практическата разработка се прилага двумерно комплексно преобразуване на Адамар като внимание е обърнато върху критериите за въвеждане на воден знак във фазова област. Отчетени са предимствата, до които това преобразуване води

на фона на други подходи, които използват комбинирано прилагане на повече от една трансформация. На етапа на експериментално тестване на разработените алгоритми са приложени ред статистически параметри за оценка на ефективността от внедряване на водния знак в изображенията приемници. Това позволява получените резултати да бъдат сравнени с разработки на други автори и да се направи информиран избор за конкретно приложение на представените алгоритми.

4. Характеристики на дисертационния труд

Дисертационният труд е с обем 175 страници. Той съдържа 56 таблици, 123 фигури и 55 математически израза. Използваната литература е оформена в списък със 181 заглавия на научни публикации като всички те са на английски език.

Съдържанието на дисертационния труд включва увод, 4 глави, насоки за бъдеща дейност, списък с приносите на докторанта, списък с публикации, списък с използвани съкращения и библиография. В Първа глава е направен обширен анализ на подходите за добавяне на допълнителна информация в предавани съобщения с цел водно маркиране. Разгледани са особеностите и реализациите на редица широко използвани в практиката алгоритми за маркиране на цифрови изображения. Обърнато е внимание на характеристиките на водните знаци – ефективност, прозрачност, обем, информирано и неинформирано откриване, грешки при откриване, устойчивост, способности за защита, криптиране, възможни атаки и икономическа оценка от приложението им. Анализирани са контрола на излъчване на маркираното съдържание, доказване на авторски права, следене на съдържанието, доказване на достоверност на хоста, контрол при копиране и функционалностите на възпроизвеждащи устройства. На база на направения анализ са отчетени насоки за подобряване на съществуващите системи. Изготвен е списък с количествените мерки за оценка на качеството и устойчивостта на маркираните изображения. Представени са изводи, които служат за дефиниране на целта и задачите на дисертационния труд. Във Втора глава е предложен метод за водно маркиране на изображения чрез комбинирано честотно преобразуване. Приложено е декомпозиране на хост чрез дискретно уейвлетно преобразуване като са описани стъпките за предварителна подготовка на водния знак. Използвано е и дискретно косинус преобразуване като алгоритмично са описани вмъкването и отделянето на водния знак от хоста, както и условията, при които тези обработки могат да се приложат, свързани с предварителна обработка на последния. В Трета глава е разработен метод за водно маркиране на изображения чрез комплексно честотно преобразуване на Адамар. И тук предварителната обработка на хоста и водния знак са описани преди същинското вмъкване на знака, което е представено от отделен алгоритъм. Отделянето на знака и възстановяването на маркираното изображение са описани в отделни части на главата. Следва описание на обработка за оценка на качеството на извлечения воден знак. Описани са схеми за симулационно моделиране на система за водно маркиране и извличане на знака. В Четвърта глава са представени резултатите от голям брой експерименти по вмъкване и извличане на воден знак в изображения по двата предложени метода от предходните две глави. Извличането се прави, както от оригиналния хост, така и след прилагане на редица атаки – запущаване с бял Гаусов шум, със шум от тип „сол-пипер“, медианна филтрация и др. Получените резултати свидетелстват за приложимостта на предложените два подхода.

5. Приноси в дисертационния труд

Докторантът е заявил 2 научни приноса, свързани с разработката на два метода за водно маркиране на цифрови изображения, 4 научно-приложни приноса – свързани с разработени алгоритми и симулационни модели за практическо приложение на двата метода и 4 приложни приноса – свързани с експерименталното изследване разработените алгоритми. Всички посочени приноси са коректно дефинирани и се подкрепят от отделните групи теоретични представяния и експериментални резултати от Глави 2, 3 и 4.

6. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Разработените алгоритми и получените от тестването им експериментални резултати са докладвани в 5 научни публикации. И петте са доклади от международни научни конференции като 1 е индексирани в базите данни SCOPUS и Web of Science. Основните резултати от работата на докторанта по темата са намерили изчерпателно разпространение, за което свидетелства и наличието на 10 цитирания на един от неговите трудове.

7. Оценка на автореферата на дисертацията

Авторефератът съдържа основните теоретични и експериментални резултати, които са представени в дисертационния труд. Неговият обем и съдържание отговарят на формалните изисквания за оформление.

8. Препоръки и критични забележки

В предварителен разговор с докторанта изложих основните си забележки към съдържанието и стилово оформление на дисертационния труд. Докторантът направи необходимите корекции и към настоящия момент нямам забележки по същество по дисертацията.

Препоръчвам на докторанта да продължи своите изследвания в областта като разшири вече разработените алгоритми, както и нови такива, с цел не само защита на авторски права, но и защита на съдържание и скриване на информация. Налице е висок потенциал за разработки в тази насока.

9. Заключение

Дисертационният труд на маг. инж. Стоян Кушлев на тема „МЕТОДИ И АЛГОРИТМИ ЗА ВОДНО МАРКИРАНЕ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ“ съдържа достатъчни по обем оригинални експериментални резултати и теоретични модели, които подкрепят заявената теза чрез поставената цел и съответстват на решението на поставените задачи за изпълнение. Изпълнени са основните изисквания на ЗРАСРБ, правилника за неговото приложение и ПУРПНС на ТУ-София за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, което ми дава основание да подкрепя придобиването на последната от маг. инж. Стоян Димитров Кушлев.

02.07.2025 г.

гр. София

Изготвил:.....

(доц. д-р Иво Драганов)

011288- HC1-089
02-04-2025

REVIEW

on the dissertation for the acquisition of the educational and scientific degree "Doctor"
in the professional field **5.3 Communication and Computer Engineering**
in the scientific specialty "Theoretical Foundations of Communication Engineering"

Author of the dissertation: M.Eng. Stoyan Kushlev

Author of the review: Assoc. Prof. Dr. Eng. Ivo Draganov, Department of Radio Communications and Video Technologies, Faculty of Telecommunications, Technical University of Sofia

Topic of the dissertation: "METHODS AND ALGORITHMS FOR WATERMARKING IMAGES"

1. Relevance of the problem developed in the dissertation

Watermarking of digital images is extremely widely used. There are three main areas of its use - copyright protection, content protection and information hiding. In copyright protection, both visible and invisible watermarks are used with the explicit purpose of extracting them from marked resources that are of disputed authorship and having it unambiguously verified. In content protection, watermarks are generally invisible and the purpose of their application is to establish at the receiving end whether the content has been modified during communication. Fragile characters are mainly used in this application. The characters used to hide information are also invisible. In this type of application, the useful data is carried by the watermark itself, while the algorithm for its extraction remains secret. There is a huge variety of algorithms for inserting watermarks, regardless of the purpose of their use. A conditional division of the groups of algorithms could be made depending on the area of manipulation of the receiver - in the spatial, frequency and phase domains. Content manipulation is performed on both audio signals and images and video. Very often, digital resources offered to the end user on a mass scale, whether recorded on Audio CD, DVD, Blue Ray or streamed on radio channels, TV, WebTV or IPTV, are watermarked. With the increasing penetration of digital watermarking, attempts to maliciously remove or manipulate the content of the respective watermarks appear. These manipulations are called attacks and they require the algorithms for embedding watermarks to be increasingly efficient, while the watermark itself is protected increasingly reliably. This leads to the use of combined embedding techniques, in which two or more transformations of the original content can be used, e.g. two types of frequency transformations.

The presented dissertation proposes two methods for watermarking digital images, the first of which is combined frequency conversion, and the second uses complex frequency conversion - new techniques for more reliable insertion of the watermark, which will be more resistant to external changes to the marked image and thus achieve the main goal of its use - copyright protection. The two presented methods can also be used in the protection of audio and video signals - something that the doctoral student has drawn attention to as a direction for future work, which

makes the applicability of the development broader in this modern area of multimedia information processing.

2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literary material

The doctoral student has carried out an extensive analysis of watermarking methods in his dissertation. Initially, the approaches for adding and marking additional information to transmitted messages are presented. The watermarking process is described with its typical implementations and features. The characteristics of watermarks are considered - efficiency, transparency, size of the marked information, informed and uninformed detection, resistance and protection against modifications, as well as encryption of the watermark, as well as the modification and use of more watermarks, together with the economic assessment accompanying all these processes. Attention is paid to the methods of watermarking - control of the broadcast content, information and proof of copyright, monitoring of the transmitted information, proof of the authenticity of the content, control during copying and control when working on end-user reading devices. After the analysis made in this way, recommendations are given for improving the existing systems. The criteria for assessing the quality and resistance of the marked images, which are presented through their respective mathematical definitions, and later used at the stage of experimental testing of the developed algorithms in the dissertation work, are not overlooked. At the end of the analytical review, important conclusions are made about the directions in which new research and development of methods and algorithms for watermarking can be undertaken. All of them are based on already existing approaches that have found wide application in practice and are described in detail in the related literature sources.

3. Compliance of the selected research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work

The selected research methodology fully corresponds to the set goal in the dissertation work and the tasks related to it. The doctoral student skillfully uses techniques from the frequency analysis of two-dimensional signals by freely applying two-dimensional discrete wavelet transform and discrete cosine transform. Manipulation of individual frequency components based on information criteria underlie the introduction of a digital watermark after its preliminary preparation. Analogous frequency transformations are also used in watermark extraction - the doctoral student freely handles the decomposition of two-dimensional arrays of values. Pre-processing of the host image is also described in detail in the research, which speaks of the ability to apply linear and nonlinear transformations to visual data. In a separate part of the practical work, a two-dimensional complex Hadamard transform is applied, as attention is paid to the criteria for introducing a watermark in the phase domain. The advantages that this transformation leads to compared to other approaches that use combined application of more than one transformation are considered. At the stage of experimental testing of the developed algorithms, a number of statistical parameters were applied to assess the effectiveness of implementing the watermark in the host images. This allows the obtained results to be compared with developments by other authors and to make an informed choice for a specific application of the presented algorithms.

4. Characteristics of the dissertation work

The dissertation work has a volume of 175 pages. It contains 56 tables, 123 figures and 55 mathematical expressions. The literature used is presented in a list of 181 titles of scientific publications, all of which are in English.

The content of the dissertation work includes an introduction, 4 chapters, directions for future work, a list of the doctoral student's contributions, a list of publications, a list of abbreviations used and a bibliography. In the First Chapter, an extensive analysis of the approaches for adding additional information to transmitted messages for the purpose of watermarking is made. The features and implementations of a number of widely used algorithms for marking digital images in practice are examined. Attention is paid to the characteristics of watermarks - efficiency, transparency, volume, informed and uninformed detection, detection errors, stability, protection methods, encryption, possible attacks and economic assessment of their application. Control of broadcasting of marked content, proof of copyright, content monitoring, proof of host authenticity, copy control and the functionalities of playback devices are analyzed. Based on the analysis, guidelines for improving existing systems are reported. A list of quantitative measures for assessing the quality and stability of marked images is prepared. Conclusions are presented that serve to define the purpose and tasks of the dissertation work. In the Second Chapter, a method for watermarking images using combined frequency conversion is proposed. Host decomposition by discrete wavelet transform is applied, and the steps for preliminary preparation of the watermark are described. Discrete cosine transform is also used, and the insertion and separation of the watermark from the host are algorithmically described, as well as the conditions under which these treatments can be applied, related to pre-processing of the latter. In the third chapter, a method for watermarking images by complex frequency Hadamard transformation is developed. Here, too, the pre-processing of the host and the watermark are described before the actual insertion of the sign, which is represented by a separate algorithm. The separation of the sign and the restoration of the marked image are described in separate parts of the chapter. Next, a description of processing for assessing the quality of the extracted watermark is given. Schemes for simulation modeling of a watermarking and sign extraction system are described. Chapter Four presents the results of a large number of experiments on inserting and extracting watermarks in images using the two proposed methods from the previous two chapters. The extraction is done both from the original host and after applying a number of attacks - white Gaussian noise, salt-and-pepper noise, median filtration, etc. The results obtained demonstrate the applicability of the two proposed approaches.

5. Contributions to the dissertation

The doctoral student has declared 2 scientific contributions related to the development of two methods for watermarking digital images, 4 scientific and applied contributions - related to developed algorithms and simulation models for practical application of the two methods and 4 applied contributions - related to the experimental study of the developed algorithms. All of the indicated contributions are correctly defined and are supported by the separate groups of theoretical presentations and experimental results from Chapters 2, 3 and 4.

6. Assessment of publications on the dissertation

The developed algorithms and the experimental results obtained from their testing have been reported in 5 scientific publications. All five are reports from international scientific conferences, with 1 indexed in the SCOPUS and Web of Science databases. The main results of the doctoral student's work on the topic have found extensive distribution, as evidenced by the presence of 10 citations to one of his works.

7. Evaluation of the dissertation abstract

The dissertation abstract contains the main theoretical and experimental results presented in the dissertation. Its volume and content meet the formal requirements for layout.

8. Recommendations and critical remarks

In a preliminary conversation with the doctoral student, I presented my main remarks on the content and style of the dissertation. The doctoral student made the necessary corrections and at the moment I have no remarks on the substance of the dissertation.

I recommend that the doctoral student continue his research in the field by expanding the already developed algorithms, as well as new ones, with the aim not only of copyright protection, but also of content protection and information hiding. There is a high potential for developments in this direction.

9. Conclusion

The dissertation of MEng. Stoyan Dimitrov Kushlev on the topic "METHODS AND ALGORITHMS FOR WATERMARKING IMAGES" contains sufficient original experimental results and theoretical models in volume that support the stated thesis through the set goal and correspond to the solution of the tasks set for implementation. The main requirements of the ZRASRB, the regulations for its application and the PURPNS of TU-Sofia for the acquisition of the educational and scientific degree "**Doctor**" have been met, which gives me reason to support the acquisition of the latter by MEng. Stoyan / Kushlev.

02.07.2025

Sofia, Bulgaria

Prepared by:.....

(Assoc. Prof. Dr. Ivo Draganov)