

معرفی یک طرح جدید نهان‌نگاری تصویر دیجیتال مقاوم در برابر برش و نویز فلفل و نمک با استفاده از سودوکو

شادی صانعی، علیرضا نقش

دانشکده مهندسی برق،

واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی،

نجف آباد، اصفهان، ایران

shadi.saneie@yahoo.com , naghsh_a@yahoo.com

واژه‌های کلیدی — نهان‌نگاری تصویر دیجیتال؛ سودوکو؛ حوزه مکان؛ حوزه تبدیلات؛ حملات برش؛ نویز فلفل و نمک

۱. مقدمه

امروزه انتقال اطلاعات ذخیره شده، سندها، تصاویر، فیلم و فایل‌های صوتی به فرمت دیجیتال، معمول و رایج هستند. برای بیشتر مردم انتقال دادن فایل‌های دیجیتال در اینترنت یک فعالیت روزانه است. بدلیل توسعه سریع تکنولوژی دیجیتال و استفاده گسترده از اینترنت، زندگی بطور قابل توجهی راحت‌تر از قبل است. اگرچه همراه با این راحتی مشکلاتی نیز ایجاد شده است. ایجاد کپی‌های نامحدود از اطلاعات و تغییر محتوای آنها و انتقال سریع کپی‌ها در اینترنت به سهولت انجام می‌گیرد. بنابراین حفاظت از حق تالیف، اثبات مالکیت و کشف مداخله در اطلاعات بسیار ضروری به نظر می‌رسد. یکی از راه‌ها برای این مشکل استفاده از تکنیک‌های نهان‌نگاری دیجیتال است. نهان‌نگاری به مفهوم گنجاندن اطلاعات به فرمت‌هایی نظیر صوت، تصویر، فیلم و غیره در داخل یک سیگنال میزبان است. سیگنال میزبان نیز می‌تواند صوت، تصویر یا هر سند دیجیتال دیگری باشد [۱]. در نهان‌نگاری تصویر، اطلاعات داخل تصویر بگونه‌ای جاسازی می‌شود که کیفیت بصری تصویر کاهش نیابد و اطلاعات به استفاده‌کننده نهایی ارسال شود. ما نمونه‌ای از نهان‌نگاری را در پول رایج، اسناد دولتی، تمبر و آشکارسازی اسناد یا مخابره اطلاعات می‌بینیم.

چکیده — با توسعه سریع تکنولوژی دیجیتال، حفاظت اطلاعات مانند حفاظت از حق تالیف^۱ و اثبات مالکیت محتوا اهمیت بیشتری یافته است. در نهان‌نگاری تصویر^۲، اطلاعات داخل تصویر به نحوی جاسازی می‌شود که کیفیت بصری تصویر کاهش نیابد و گیرنده بتواند اطلاعات مورد نظر را دریافت کند. برخی از حملات مانند برش تصویر و نویز فلفل و نمک، مقدار زیادی از اطلاعات نهان‌نگار را از بین می‌برند. در این مقاله یک طرح جدید نهان‌نگاری که در مقابل نویز فلفل و نمک^۳ و برش^۴ شدید مقاوم شده است، پیشنهاد می‌گردد. یک جدول سودوکو^۵ دارای ۹ ناحیه ۳×۳ است و هر سطر و ستون از جدول شامل اعداد متفاوت ۱ تا ۹ است. در طرح پیشنهادی از جدول سودوکو و هر دو روش نهان‌نگاری مبتنی بر حوزه مکان^۶ و حوزه تبدیلات^۷ استفاده شده است. مقاومت نهان‌نگاری در مقابل حملات برش ۸۶ درصد و نویز فلفل و نمک با چگالی نزدیک به ۷۵ درصد، بیانگر عملکرد خوب و موثر طرح پیشنهادی است.

1. Copyright
2. Image Watermarking
3. Salt & Pepper noise
4. Cropping
5. Sudoku
6. Spatial Domain
7. Transform Domain

مثالهایی از این حملات شامل تغییر مقیاس تصاویر برای یک وب سایت یا برش یک تصویر به منظور استخراج ناحیه مطلوب آن است. در برش یک حمله کننده بخش خاصی از ناحیه مطلوب تصویر را حذف می‌کند، در حالی که بخش‌های دیگر بدون تغییر باقی می‌ماند. به همان اندازه که میزان برش ناحیه افزایش می‌یابد، خرابی تصویر بزرگتر می‌شود و آشکارسازی و استخراج اطلاعات جاسازی شده دشوارتر می‌گردد. همچنین نویز فلفل و نمک که از نویزهای ضربه‌ای است با چگالیهای متفاوت، مقدار پیکسل برای تصویر خاکستری را به مقدار کمینه «۰» یا مقدار بیشینه «۲۵۵» تغییر می‌دهد.

در نتیجه محتوای اصلی تصویر در حوزه مکان و فرکانس تغییر می‌کند [۵]. تاکنون روشهای متفاوتی برای مقاوم سازی تصویر نهان‌نگاری شده در مقابل برش مورد استفاده قرار گرفته است. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که اطلاعات نهان‌نگاری شده، با میزان برش بین ۵۰ تا ۷۵ درصد در روشهای متفاوت قابل بازیابی هستند. در [۶] پنج مجموعه اطلاعات با حجم ۴ کیلو بایت در تصویر جاسازی شده که چهار مجموعه از این اطلاعات در گوشه‌ها و یک مجموعه از اطلاعات در مرکز تصویر جاسازی شده است. در این روش که با برش ۷۵ درصدی اطلاعات قابل بازیابی است، نیازمند تصویر مرجع هستیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور نمی‌باشد. در مقاله‌ای دیگر اطلاعاتی با حجم بزرگتر یعنی ۲۲ کیلو بایت، در اجزای رنگی تصویر جاسازی شده اما برش بیشتر از ۵۰ درصد را تحت پوشش قرار نداده و نیازمند تصویر مرجع برای استخراج اطلاعات هستیم [۷].

بنابراین تا اینجا هیچ کدام از طرحها نمی‌تواند برشی بیشتر از ۷۵ درصد را تحت پوشش قرارداده که در حجم اطلاعات جاسازی شده و هم در بحث تصادفی بودن برش محدودیت وجود دارد.

همچنین طرحهای متفاوتی برای مقاوم سازی تصویر نهان‌نگاری شده در مقابل نویز فلفل و نمک مطرح شده است. در [۸] اطلاعات در تصویر چندین بار جاسازی شده است. بازیابی نهان نگار در این روش بهبود یافته اما عملکرد این روش در مقابل نویز بالاتر از ۴۰ درصد افت پیدا کرده است.

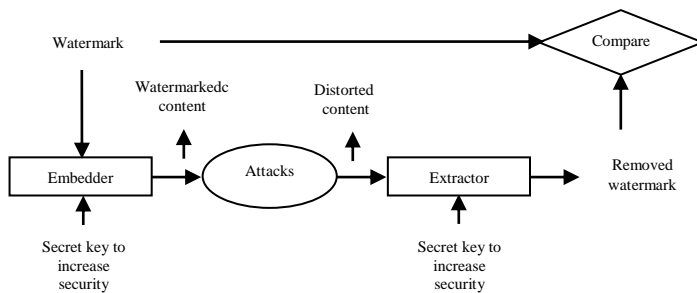
در [۹] هشت کپی تصادفی از اطلاعات در باندهای LH,HL تبدیل موجک گسسته^{۲۱} جاسازی شده که با نویز ۴۰ درصد اطلاعات قابل بازیابی است.

در [۱۰] یک الگوریتم نهان‌نگاری CDMA پیشنهاد شده که از تبدیل موجک دو سطحی^{۲۲} و تبدیل آرنولد^{۲۳} استفاده می‌کند. در این طرح پس از

21 . Discrete-wavelet Transform

22 . 2-level DWT

23 . Arnold Transform



شکل ۱: نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری

نهان‌نگاری سطحی از اطمینان را در مورد تأیید یا مالکیت اسناد فراهم می‌کند [۲]. هر الگوریتم نهان‌نگاری شامل دو مرحله اساسی درج^۸ و استخراج^۹ نهان‌نگار می‌باشد. در «شکل ۱» نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری نشان داده شده است. برای درج اطلاعات می‌توان از حوزه مکان یا تبدیلات و یا ترکیبی از هر دو حوزه استفاده نمود. استخراج نهان‌نگار نیز با استفاده از همبستگی نهان‌نگار با تصویر مرجع^{۱۰} و یا مستقل از آن و به صورت نهان‌نگاری کور^{۱۱} انجام می‌گیرد. نهان‌نگاری اطلاعات در حوزه مکان سریع و ساده هستند و ظرفیت^{۱۲} بالایی برای جاسازی اطلاعات دارند ولی در برابر نویز و حملات فشرده‌سازی JPEG مقاوم نیستند. نهان‌نگاری در حوزه تبدیلات ظرفیت پایین‌تری دارند اما در مقابل حملات، مقاومت بهتری از خود نشان می‌دهند. از خصوصیات یک سیستم نهان‌نگاری می‌توان به مقاومت^{۱۳}، امنیت^{۱۴}، وضوح^{۱۵}، ظرفیت اشاره نمود [۳] و [۴].

حفاظت از حق مالکیت، کنترل کپی برداری، تأیید هویت و یکپارچگی^{۱۶}، پنهان کردن داده‌های مختلف با امکان ردگیری^{۱۷} و برچسب زدن به تصاویر^{۱۸} از کاربردهای سیستم نهان‌نگاری است.

یکی از مسائل مهم در نهان‌نگاری، حملات^{۱۹} هستند که اطلاعات جاسازی شده را خراب می‌کنند. یکی از مهمترین حملات، حملات هندسی^{۲۰} است.

8 .Watermark Embedding

9 .Watermark Extraction

10 .Reference

11 .Blind Watermarking

12 .Capacity

13 .Robustness

14 .Security

15 .Perceptual Transparency

16 .Authentication and Integrity Verification

17 .Transactional Watermarks(Fingerprint)

18 .Indexing

19 .Attacks

20 .Geometrical Attacks

از پیکسل‌های تصویر پوشش را انتخاب می‌کنند و مقادیر روشنایی این پیکسل‌های انتخابی را با توجه به بیت‌های نهان‌نگاری که جاسازی می‌شوند تغییر می‌دهند. تصویر، حاوی این پیکسل‌های تغییر یافته است بنابراین تصویر از این پس اطلاعات نهان‌نگار را حمل می‌کند. برای استخراج یا آشکارسازی نهان‌نگار جاسازی شده معمولاً همان پیکسل‌های استفاده شده در مرحله جاسازی باید از تصویر نهان‌نگار شده انتخاب شوند. سپس بر اساس نوع روش، بیت حمل شده داخل هر پیکسل می‌تواند آشکار شود. با جمع‌آوری تمام بیت‌های استخراج شده یا تمام نتایج آشکار شده، نهان‌نگار مخفی شده بدست می‌آید.

این روشها سریع و ساده هستند و ظرفیت بالایی برای جاسازی نهان‌نگار فراهم می‌کنند. مزیت دیگر این روشها این است که یک نهان‌نگار کوچک می‌تواند چندین بار جاسازی شود به طوری که امکان حذف تمام نهان‌نگارها با هر نوع حمله خیلی پایین است. بنابراین حتی نهان‌نگارهای بازمانده تکی ممکن است نیازها را برآورده کند. با این حال روشهای حوزه مکان نمی‌توانند در مقابل نویز یا حملات فشرده سازی با اتلاف نجات یابند. یکی از روشهای حوزه مکان این است که نهان‌نگار داخل بیت‌های با ارزش کمتر^{۲۸} (LSB) از تصویر میزبان جاسازی شود. تصویر ورودی ابتدا با روش LSB باینری می‌شود. سپس بیت‌های سمت راست هر پیکسل با بیت‌های نهان‌نگار ورودی جایگزین می‌شوند و در پایان مقادیر پیکسل باینری تغییر یافته دوباره به مقادیر پیکسل دهدهی تبدیل می‌شوند[۴].

۲.۲. نهان‌نگاری در حوزه تبدیلات

در نهان‌نگاری حوزه تبدیلات، قبل از جاسازی نهان‌نگار تبدیلاتی مانند تبدیل فوریه گسسته^{۲۹}، تبدیل کسینوسی گسسته^{۳۰}، تبدیل موجک گسسته، تبدیل موجک پیچیده درختی دوتایی^{۳۱}، کانتورلت^{۳۲} و تبدیل تجزیه مقادیر تکی^{۳۳} در تصویر میزبان برای تولید ضرایب دامنه تبدیلات استفاده می‌شوند. تصویر نهان‌نگاری شده با تغییر این ضرایب تبدیلات بدست می‌آید. فاکتور مقاومت، با تغییر ضرایب به صورتی که سیستم بینایی انسان^{۳۴} حساسیت کمتری به آن داشته باشد، افزایش می‌یابد [۱۵]. در ادامه دو تبدیل کسینوسی

جاسازی اطلاعات و سپس اعمال نویز ۵۰ درصد، اطلاعات قابل بازیابی است. اما مشکل این است که در تصاویر با محتوای متفاوت، عملکرد این طرح تغییر می‌یابد. در [۱۱] با به کارگیری موجک سه سطحی^{۲۴} و منطق فازی^{۲۵} برای جاسازی اطلاعات، با اعمال نویز ۲۰ درصد اطلاعات قابل بازیابی بود. اما نسبت سیگنال به نویز^{۲۶} تا میزان ۲۰ دسیبل کاهش می‌یابد. روش دیگر که در [۱۲] ارائه شده با جاسازی چهار مجموعه تصادفی اطلاعات در چهار مکان ثابت و با اعمال نویز ۷۰ درصد، اطلاعات قابل بازیابی بود اما نهان‌نگاری کور نمی‌باشد. یعنی برای آشکارسازی اطلاعات، تصویر مرجع لازم است. در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده نهان‌نگاری تصویر نمی‌تواند در مقابل نویز فلفل و نمک با چگالی بیشتر از ۷۰ درصد حتی با وجود تصویر مرجع، مقاوم باشد.

در [۱۳] از سودوکو برای نهان‌نگاری اطلاعات استفاده شده است. با استفاده از سودوکوی ۹×۹ و ۹ کپی از تصویر نهان‌نگار، درصد برش برای بازیابی قسمتی از تصویر مخفی شده تا ۹۴ درصد افزایش یافته است. همچنین از همین روش برای مقاوم سازی در برابر نویز فلفل و نمک استفاده شده است که با میزان نویز ۷۸ درصد و جاسازی ۹ کپی از نهان‌نگار، قسمتی از اطلاعات قابل بازیابی هستند [۱۴].

یکی از محدودیت‌های طرح‌های [۱۳] و [۱۴] این است که با اعمال برش یا نویز فلفل و نمک، تنها قادر به بازیابی بخشی از اطلاعات جاسازی شده هستیم و تصویر نهان‌نگاری شده بصورت کامل قابل بازیابی نیست. همچنین محدودیت دیگر این است که جهت آشکارسازی اطلاعات، دانستن کد جدول سودوکو الزامی است.

در بخش دوم مقاله نهان‌نگاری در حوزه مکان و تبدیلات را بررسی خواهیم کرد. سپس در بخش سوم طرح پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی طرح پیشنهادی بررسی می‌گردد، در بخش پنجم نتیجه‌گیری و در نهایت در بخش ششم منابع مقاله ارائه خواهد شد.

۲. نهان‌نگاری در حوزه مکان و تبدیلات

۲.۱. نهان‌نگاری در حوزه مکان

جاسازی نهان‌نگاری در حوزه مکان در اجزای تصویر پوشش^{۲۷} یک روش سر راست است. معمولاً طرح‌های نهان‌نگاری مبتنی بر حوزه مکان تعدادی

28 . Least Significant Bits

29 . Discrete-Fourier Transform(DFT)

30 . Discrete-Cosine Transform(DCT)

31 . Dual tree complex wavelet transform (DTCWT)

32 . Contourlet Transform(CT)

33 . Singular Value Decomposition(SVD)

34 . Human Visual System(HVS)

24 . 3-level DWT

25 . Fuzzy logic

26 . Peak-Signal-to-Noise Ratio(PSNR)

27 . Cover

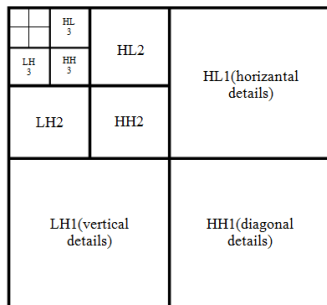
این است که اگر تصویر اصلی خراب شود حالت برگشت ناپذیری آن به گونه ای است که نمی‌توان اطلاعات را به دقت بازیابی کرد [۱۶].

گسسته و موجک گسسته که در طرح پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند بررسی می‌شود.

۲.۲.۲. تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک گسسته یک ابزار قدرتمند ریاضی است که در کاربردهای مختلفی از جمله پردازش و تجزیه تصویر بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. توانایی‌های چند مقیاسه از تبدیل موجک که ویژگیهای عمومی و محلی یک سیگنال را برجسته می‌کند، آن را به ابزار کارآمدی در پردازش تصویر و در نرم افزارهای نهان‌نگاری تبدیل کرده است.

تبدیل موجک، تصویر را به چهار باند از فرکانس مختلف تقسیم می‌کند. همانطور که در «شکل ۳» می‌بینیم این چهار باند به صورت بخش تقرب تصویر (LH_K)، جزئیات افقی (HL_K)، جزئیات عمودی (LH_K) و جزئیات مورب (HH_K) نشان داده شده است که در آنها K به سطح تجزیه می‌کند. این فرآیند را می‌توان بارها و بارها در بخش تقرب اعمال کرد.



شکل ۳: تجزیه تصویر با استفاده از تبدیل موجک

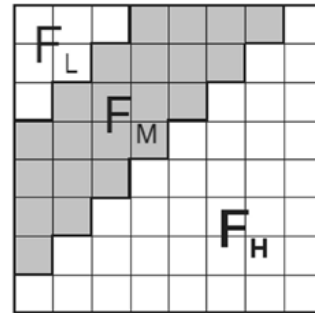
در کاربردهای نهان‌نگاری سطوح تجزیه پایین‌تر آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به تغییرات تصویر دارند چون انرژی پایین‌تری نسبت به سطوح تجزیه بالاتر دارند. انرژی (۴) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_K = \frac{1}{M_K N_K} \sum_i \sum_j |I_K(i, j)| \quad (4)$$

K سطح تجزیه است، I_K به ضرایب زیر باندهای مربوطه اشاره می‌کند و M_K و N_K ابعاد زیر باندها می‌باشد. با مقایسه انرژی زیرباندها در همان سطح به عنوان مثال (HH₃, LH₃, HL₃, LL₃) می‌توان دید که انباشت انرژی در ضرایب جزئیات افقی یا همان HL_K به طور قابل توجهی بیشتر از ضرایب عمودی و مورب است. بنابراین زیرباند افقی در مقابل تغییرات تصویر مقاوم‌تر است. به عبارت دیگر حتی اگر تقریب تصویر دارای بالاترین بخش از انرژی تصویر اصلی باشد با جاسازی نهان‌نگار در این بخش کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. بنابراین به منظور دستیابی به حفظ کیفیت تصویر، زیرباند افقی در هر سطح را می‌توان به عنوان بهترین منطقه برای

۲.۲.۱. تبدیل کسینوسی گسسته

روش مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته یک تکنیک مبتنی بر بلوک است. با استفاده از این تبدیل تصویر به سه باند فرکانسی تقسیم خواهد شد. نواحی فرکانس پایین (FL)، فرکانس متوسط (FM) و فرکانس بالا (FH) تبدیل کسینوسی گسسته در «شکل ۲» نشان داده شده است.



شکل ۲: نواحی تبدیل DCT

ضرایب در نواحی (FL) بخش بزرگی از انرژی تصویر تبدیل شده را حمل می‌کنند. در حالی که ضرایب در (FH) شامل حداقل مقدار انرژی هستند. معادله مستقیم و معکوس دو بعدی تبدیل کسینوسی گسسته در (۱) و (۲) به ترتیب آورده شده است.

$$G(u, v) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} g(x, y) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \quad (1)$$

$$g(x, y) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \sum_{u=0}^{m-1} \sum_{v=0}^{n-1} \alpha(u) \alpha(v) G(u, v) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \quad (2)$$

که در این معادلات g(x,y) مقادیر پیکسل دامنه مکان است و G(U,V) ضریب DCT است. سایز بلوک با ضرایب m و n و α به صورت زیر محاسبه شده است.

$$\alpha(u), \alpha(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{If } u, v=0 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

ضرایب میانی زیر باندها از تبدیل کسینوسی گسسته معمولاً برای جاسازی نهان‌نگار و اجتناب از تغییرات بخشهای بصری مهم تصویر که همان فرکانسهای پایین است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، سیستمهای نهان‌نگاری مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته مقاومت بیشتری در مقابل فشرده سازی دارند. اشکال روشهای مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته

۸	۶	۱	۳	۵	۷	۴	۲	۹
۲	۵	۳	۸	۹	۴	۱	۶	۷
۹	۴	۷	۲	۱	۶	۵	۸	۳
۱	۸	۴	۹	۷	۲	۳	۵	۶
۵	۳	۲	۱	۶	۸	۹	۷	۴
۷	۹	۶	۴	۳	۵	۲	۱	۸
۶	۲	۹	۷	۴	۱	۸	۳	۵
۴	۷	۸	۵	۲	۳	۶	۹	۱
۳	۱	۵	۶	۸	۹	۷	۴	۲

سلول ناحیه

شکل ۴: جدول سودوکوی انتخابی در طرح پیشنهادی و نمایش ناحیه و سلول در جدول سودوکو

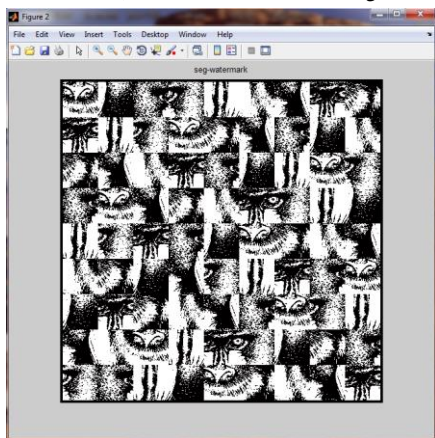
برای مشخص کردن اندازه نهان‌نگار از (۷) استفاده می‌کنیم که در آن w_{org} نهان‌نگار اصلی و w_t نهان‌نگار تغییر سایز یافته است.

$$w_t = \text{resize}(w_{org}, RS_{row}, RS_{column}) \quad (7)$$

بنابراین ابعاد هر ناحیه تصویر نهان‌نگار پس از اعمال فرمول تغییر سایز، ۱۶۸×۱۶۸ پیکسل و ابعاد هر سلول تصویر نهان‌نگار ۵۶×۵۶ پیکسل خواهد شد. هر سلول تصویر نهان‌نگار را مطابق با «شکل ۵» شماره‌گذاری می‌کنیم و سپس بر اساس جدول سودوکوی انتخابی هر سلول را در محل مربوط به خودش قرار می‌دهیم «شکل ۶».

۱	۲	۳
۴	۵	۶
۷	۸	۹

شکل ۵: نحوه شماره‌گذاری تصویر نهان‌نگار



شکل ۶: تصویر نهان‌نگار بهم ریخته بر اساس جدول سودوکو

جاسازی نهان‌نگار انتخاب کرد. از مزایای تبدیل موجک این است که سیستم بینایی انسان را بهتر از تبدیلات دیگر مدل می‌کند و استاندارد فشرده‌سازی تصویر بر پایه تبدیل موجک است [۴] و [۱۷].

۳. طرح نهان‌نگاری پیشنهادی

یک جدول سودوکو شامل یک شبکه سطری ستونی از سلولهاست که به N ناحیه N سلولی بخش بندی شده و با مجموعه ای از سمبلهای متمایز پر می‌شود. یکی از ویژگیهای جدول سودوکو این است که محدودیتهای سودوکو موجب پراکنده شدن سمبلها یا اعداد به صورت یکنواخت و عادلانه در سرتاسر جدول می‌شود. از ویژگیهای دیگر سودوکو راه حل منحصر بفرد آن است. در طرح پیشنهادی از جدول سودوکوی کلاسیک که یک جدول ۹×۹ است، استفاده شده است. مزیت این روش در این است که اطلاعات به طور متمرکز در یک ناحیه از تصویر ذخیره نمی‌شوند بلکه با توجه به نوع جدول سودوکو اطلاعات در تمام تصویر پراکنده می‌گردند.

در این طرح ما از تصویر فلفل با ابعاد ۵۱۲×۵۱۲ پیکسل که از تصاویر استاندارد در جعبه ابزار پردازش تصویر برنامه متلب می‌باشد به عنوان تصویر میزبان و از تصویر میمون به عنوان تصویر نهان‌نگار استفاده کردیم.

تصویر میزبان با ابعاد $m_c \times n_c$ و تصویر نهان‌نگار را نیز با ابعاد $m_w \times n_w$ را در نظر می‌گیریم که m و n به ترتیب ارتفاع و عرض تصاویر هستند. برای جاسازی تصویر نهان‌نگار در تصویر میزبان باید مطابق با راه حل انتخابی جدول سودوکو، تصویر نهان‌نگار در تصویر میزبان توزیع گردد. همانطور که در «شکل ۴» نشان داده شده، هر جدول سودوکو شامل ۹ ناحیه است و هر ناحیه شامل ۹ سلول می‌باشد بنابراین در جدول سودوکو ۸۱ سلول وجود دارد. اندازه سطر و ستون هر ناحیه مطابق با (۵) و (۶) بدست می‌آید [۱۳] و [۱۴].

$$RS_{row} = \frac{m_c}{m_w} \times \sqrt{N} \quad (5)$$

$$RS_{column} = \frac{n_c}{n_w} \times \sqrt{N} \quad (6)$$

۳,۱. فرآیند نهان‌نگاری با استفاده از تبدیل

کسینوسی گسسته دو بعدی در طرح پیشنهادی

در این قسمت با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته که در ۲,۲,۱ توضیح داده شد، طرح پیشنهادی اول را ارائه می‌دهیم. «شکل ۶» که از این پس آن را تصویر بخش بندی شده می‌نامیم، یک تصویر باینری است بنابراین در جدول سودوکو تمام اعداد را به صورت باینری پشت سر هم قرار داده و یک رشته باینری از اطلاعات ایجاد می‌کنیم. در مرحله جاسازی نهان‌نگار از تصویر بخش بندی شده تبدیل کسینوسی گسسته دو بعدی می‌گیریم و تصویر بدست آمده را به بلوکهای 8×8 تقسیم می‌کنیم و در هر بلوک یک بیت از رشته اطلاعات را قرار می‌دهیم. سپس تبدیل کسینوسی گسسته دو بعدی معکوس می‌گیریم. به دلیل تغییر در ضرایب، تصویر از حالت باینری خارج شده و به یک تصویر دو بیتی تبدیل می‌شود. سپس این اطلاعات را در بیت دوم و سوم تصویر میزبان و تصویر بخش بندی شده را در بیت اول تصویر میزبان قرار می‌دهیم.

در مرحله آشکارسازی نهان‌نگار، بیتهای دوم و سوم از تصویر نهان‌نگار شده را جدا کرده و تصویر بدست آمده از بیتهای دوم و سوم را به بلوکهای 8×8 تبدیل می‌کنیم. از هر بلوک تبدیل کسینوسی گسسته دوبعدی می‌گیریم و سپس اطلاعات را به صورت باینری جدا می‌کنیم. اطلاعات را از حالت باینری به جدول سودوکو باز می‌گردانیم و با کمک جدول سودوکوی بدست آمده و جداسازی بیت اول از تصویر نهان‌نگار شده، تصویر میمون را به صورت کامل بازیابی می‌کنیم. در این روش ما از تصویر مرجع در مرحله آشکارسازی استفاده نکردیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور می‌باشد. با توجه به اینکه در آشکارسازی ۹ تصویر میمون بدست می‌آید، چنانچه برش و یا نویز روی تصویر نهان‌نگار شده اعمال گردد می‌توان تصویر میمون را به صورت قابل قبولی استخراج نمود.

۳,۲. فرآیند نهان‌نگاری با استفاده از تبدیل

موجک گسسته دو بعدی در طرح پیشنهادی

در این قسمت با استفاده از تبدیل موجک گسسته که در ۲,۲,۲ توضیح داده شد، طرح پیشنهادی دوم را ارائه می‌دهیم. تصویر بخش بندی شده یک تصویر باینری است بنابراین در جدول سودوکو تمام اعداد را به صورت باینری پشت سر هم قرار داده و یک رشته باینری از اطلاعات ایجاد می‌کنیم در این طرح ۷ بیت از تصویر میزبان را جدا می‌کنیم و آن را تصویر میزبان

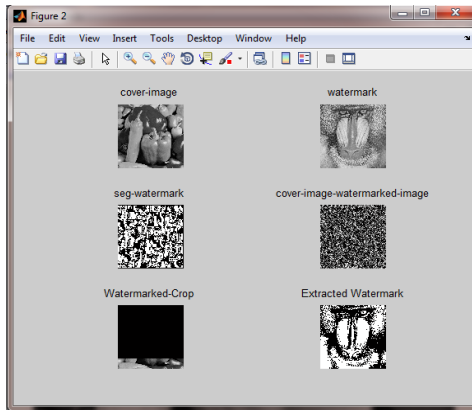
تغییر یافته می‌نامیم. سپس تصویر میزبان تغییر یافته را به 81×56 سلول پیکسلی تقسیم کرده و از هر سلول جداگانه تبدیل موجک گسسته می‌گیریم. عدد نسبت داده شده در جدول سودوکو به این سلول را به صورت باینری و با تکرار در زیرباند افقی تبدیل موجک قرار می‌دهیم. سپس از تصویر بدست آمده تبدیل موجک گسسته معکوس گرفته و تصویر بدست آمده را در محل خودش قرار می‌دهیم. این کار را برای هر 81 سلول تکرار می‌کنیم و سپس تصویر بخش بندی شده را در بیت کم ارزش تصویر میزبان قرار داده و تصویر نهان‌نگاری شده را بدست می‌آوریم.

در مرحله آشکارسازی ۷ بیت تصویر نهان‌نگاری شده را جدا کرده و به صورت بلوکهای 9×9 در می‌آوریم و دوباره از هر کدام تبدیل موجک می‌گیریم. از زیر باند افقی تبدیل موجک عدد سلول متناظر را استخراج کرده و جدول سودوکو را تا حد ممکن کامل می‌کنیم. با بدست آوردن جدول سودوکو و تصویر جداسازی شده از بیت یکم تصویر نهان‌نگاری شده ۹ تصویر میمون را جداسازی می‌کنیم. در این روش ما از تصویر مرجع در مرحله آشکارسازی استفاده نکردیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور می‌باشد. چنانچه جدول سودوکو به صورت کامل بدست آید در صورت اعمال نویز یا برش می‌توان از سلول‌های دیگر برای ترمیم تصویر نهان‌نگار استفاده کرد.

۴. نتایج شبیه سازی طرح پیشنهادی

جهت بررسی طرح پیشنهادی و ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده از معیارهای ارزیابی که در «جدول ۱» به آن اشاره شده استفاده می‌کنیم. در این معادلات $I(i,j)$ تصویر اصلی را معرفی می‌کند و Iw تصویر نهان نگاری شده و ابعاد تصویر $N \times M$ است. جهت اندازه‌گیری صحت نهان‌نگار استخراج شده از (۸) که نرخ خطای بیتی^{۳۵} نامیده می‌شود، استفاده می‌کنیم. در این معادله DB تعداد بیتهایی است که به صورت نادرست رمزگشایی شده و NB تعداد کل بیتهای نهان‌نگار اصلی است.

$$BER = \frac{DB}{NB} \quad (۸)$$



شکل ۸: مراحل اعمال برش ۸۳ درصدی و استخراج نهان‌نگار

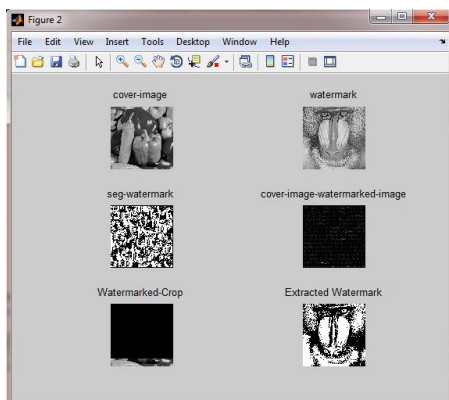
۴, ۲. نتایج شبیه سازی طرح نهان‌نگاری با

استفاده از تبدیل موجک گسسته

با استفاده از روشی که در ۳,۲ بیان شد نتایج طرح پیشنهادی با استفاده از تبدیل موجک گسسته در «جدول ۳» خلاصه شده است. شبیه سازی پس از اعمال برش روی تصویر، در «شکل ۹» نشان داده شده است.

جدول ۳: معیارهای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده

معیار ارزیابی	نتایج برای نویز فلفل و نمک با چگالی ۶۵ درصد	نتایج برای برش ۸۶ درصد
میانگین مربعات خطا (MSE)	۰,۱۵۸	۰
نسبت دامنه سیگنال به نویز (PSNR)	۳۱/۱۶ دسیبل	۳۱/۱۶ دسیبل
وفاداری (IF)	۰	۰
نرخ خطای بیتی (BER)	۰,۳	۰



شکل ۹: مراحل اعمال برش ۸۶ درصدی و استخراج نهان‌نگار

جدول ۱: ارزیابی کیفیت تصویر نهان‌نگاری شده

معیار ارزیابی	معادله
میانگین مربعات خطا ^{۳۶} (MSE)	$\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I(i, j) - I_w(i, j))^2$
نسبت دامنه سیگنال به نویز (PSNR)	$10 \times \log_{10} \frac{MAX_I^2}{MSE}$
وفاداری ^{۳۷} (IF)	$1 - \frac{\sum_{i,j} (I(i, j) - I_w(i, j))^2}{\sum_{i,j} (I(i, j))^2}$

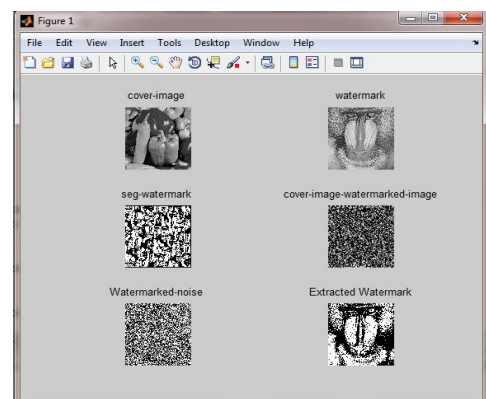
۴, ۱. نتایج شبیه سازی طرح نهان‌نگاری با

استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته

با استفاده از روشی که در ۳,۱ بیان شد تصاویر نهان‌نگاری پس از اعمال نویز فلفل و نمک و ایجاد برش روی تصویر، در «شکل ۷» و «شکل ۸» نشان داده شده و نتایج طرح پیشنهادی در «جدول ۲» خلاصه شده است.

جدول ۲: معیارهای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده

معیار ارزیابی	نتایج برای نویز فلفل و نمک با چگالی ۷۵ درصد	نتایج برای برش ۸۳ درصد
میانگین مربعات خطا (MSE)	۰,۰۵۹۶	۰
نسبت دامنه سیگنال به نویز (PSNR)	۳۶/۵۹ دسیبل	۳۶/۵۹ دسیبل
وفاداری (IF)	۰	۰
نرخ خطای بیتی (BER)	۰,۰۸۳۳	۰



شکل ۷: مراحل اعمال نویز فلفل و نمک با چگالی ۷۵ درصد و استخراج نهان‌نگار

36. Mean Square Error

37. Image Fidelity

نهان‌نگاری در حوزه تبدیلات مانند مقاومت در برابر حملات و اعمال نویز، به نتایج قابل قبولی در مقاوم سازی طرح نهان‌نگاری دست یافتیم.

۶. منابع

- [1] Vinita Gupta, Atul Barve, "A Review on Image Watermarking and Its Techniques", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 4, Issue 1, January 2014.
- [2] Sunesh, Harish Kumar, "Watermark Attacks And Applications in Watermarking", National Workshop-Cum-Conference on Recent Trends in Mathematics and Computing (RTMC) 2011.
- [3] Muralikrishna Nangedda, Reddy A Sudharsan, "Medical Image Steganography with Digital Water Marking", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 4, Issue 7, July 2014.
- [4] Seyed Mojtaba Mousavi, Alireza Naghsh, "Watermarking Techniques used in Medical Image: a survey", Journal of Digital Imaging, Volume 27, Issue 6, pp 714-729, December 2014.
- [5] Pianhui Wu, "Research on Digital Image Watermark Encryption Based on Hyperchaos", A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Business, Computing and Law University of Derby, May 2013.
- [6] Aggarwal, A. and Singla, M., "Robust watermarking of color image under noise and cropping attack in spatial domain", International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 2, No. 5, pp. 2036-2041, 2011.
- [7] Rawat, S. and Raman, B., "A new robust watermarking scheme for color images", Proceedings of the IEEE 2nd International Advance Computing Conference, pp. 206-209, 2010.
- [8] S. Rohith, K.N.H. Bhat, "A simple Robust Digital Image Watermarking against Salt and Pepper Noise using Repetition Codes", International Journal on Signal and Image Processing, vol. 3(1), pp. 47-54, 2012.
- [9] K. Pal, G. Ghosh, M. Bhattacharya, "Biomedical Image Watermarking in Wavelet Domain for Data Integrity Using Bit Majority Algorithm and Multiple Copies of Hidden Information", American Journal Of Biomedical Engineering, vol. 2(2), pp. 29-37, 2012.
- [10] M. Khalili, "A Novel Effective, Secure and Robust CDMA Digital Image Watermarking in YUV Color Space Using DWT2", International Journal of Computer Science Issues, vol. 8(3), pp. 70-78, 2011.
- [11] N. Ramamurthy, S. Varadarajan, "The Robust Digital Image Watermarking using quantization and Fuzzy Logic Approach in DWT Domain", International Journal of Computer Science and Network, vol. 1(5), pp. 13-19, 2012.
- [12] Empirical Mode Decomposition, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16(8), pp. 1956-1966, 2007.
- [13] Kamal Ahmad Khalid Shamsul, Mat Deris Mustafa, Malik Mohammad Kamaruddin, "Anti Cropping Digital Image Watermarking using Sudoku", International Journal of Grid and Utility Computing Volume 4 Issue 2/3, September 2013.
- [14] Kamal Ahmad Khalid Shamsul, Mat Deris Mustafa, Malik Mohammad Kamaruddin, "A Robust Digital Image Watermarking against Salt & Pepper using Sudoku", The Second International Conference on Informatics Engineering & Information Science (ICIEIS2013), 2013.
- [15] Gunjal BL, Mali SN, "ROI Based embedded watermarking of medical images for secured communication in telemedicine". Int J Comp Commun Eng pp 293-298, 2012
- [16] Ali M, Ahn CW, Pant M, "A robust image watermarking technique using SVD and differential evolution in DCT domain". Opt Int J Light Electron Opt 125(1):428-434, 2014.
- [17] Agreste S, Puccio L, "Wavelet-based watermarking algorithms theory, applications and critical aspects". Int J Comput Math 88(9):1885-1895, 2011.

در این طرح که از تبدیل موجک گسسته برای نهان‌نگاری استفاده کرده‌ایم اگرچه در مقابل برش ۸۶ درصد نتایج خوبی را نشان می‌دهد اما برای نویز فلفل و نمک نیازمند اعمال روش حذف نویز کارآمدتری می‌باشیم. اگرچه با اعمال نویز فلفل و نمک با چگالی نزدیک به ۶۵ درصد تصویر نهان‌نگار استخراج می‌شود، اما میزان نویز در آن زیاد است.

۳، ۴. تحلیل نتایج طرح‌های پیشنهادی

با مقایسه دو طرح پیشنهادی متوجه می‌شویم که میزان PSNR تصویر نهان‌نگاری شده با استفاده از تبدیل موجک گسسته افت پیدا کرده اما این طرح در مقابل برش بالاتر در مقایسه با طرح پیشنهادی که از تبدیل کسینوسی گسسته استفاده می‌کرد، عملکرد بهتری دارد. اما مقاوم بودن تبدیل کسینوسی گسسته در مقابل نویز فلفل و نمک با چگالی ۷۵ درصد نشان دهنده عملکرد بهتر این تبدیل مقابل نویز است. در «جدول ۴» مقایسه‌ای از طرح‌های نهان‌نگاری قبلی با طرح پیشنهادی آورده شده است.

جدول ۴: مقایسه عملکرد سایر طرح‌های نهان‌نگاری با طرح پیشنهادی در مقابله با حملات برش و نویز فلفل و نمک

نهان‌نگار کور و غیر کور	تعداد نهان‌نگار	میزان چگالی نویز فلفل و نمک	میزان برش	مقایسه عملکرد
ترکیب نهان نگار کور و غیر کور	۱ تا ۵ کپی از نهان‌نگار برای برش و ۱ تا ۸ کپی از نهان‌نگار برای نویز	۷۰٪-۱۰٪	۷۵٪-۵۰٪	سایر طرح‌های پیشنهادی
نهان‌نگار کور	۹ کپی از نهان نگار	۷۵٪	۸۶٪	طرح پیشنهادی

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله طرح جدیدی برای مقاوم سازی نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال با استفاده از جدول سودوکو در مقابل برش و نویز فلفل و نمک ارائه شد. با استفاده از ویژگی‌های سودوکو مانند پراکنده بودن اطلاعات در جدول و منحصربفرد بودن راه حل جدول سودوکو و همچنین بهره‌گیری از مزایای