

یک طرح جدید پنهان‌نگاری تصویر مبتنی بر تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقدار تکین

سپیده معمارباشی، سید حامد فتاحی

موسسه آموزش عالی صنعتی مراغه
مسئول مکاتبات: سپیده معمارباشی

چکیده

در این مقاله یک روش جدید مخفی‌سازی تصویر مبتنی بر تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقدار تکین پیشنهاد شده است. در این روش، تبدیل موجک گسسته برای تبدیل هر دو تصویر پوشانه و محرمانه از حوزه مکان به حوزه تبدیل به کار گرفته شده است و تجزیه مقدار تکین برای فشرده‌سازی زیرباند HH و جاسازی تصویر محرمانه در این زیرباند استفاده می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که ترکیب تبدیل موجک گسسته و فشرده‌سازی مبتنی بر تجزیه مقدار تکین کارایی روش پنهان‌نگاری را برحسب مقدار PSNR بهبود می‌دهد و تصویر گنجانده کیفیت بسیار بالایی دارد همچنین مقدار SSIM تصویر گنجانده بسیار نزدیک به یک است که بیانگر شباهت ساختاری زیاد تصویر با نسخه اصلی‌اش می‌باشد.

کلمات کلیدی: مخفی‌سازی اطلاعات، پنهان‌نگاری، مخفی‌سازی تصویر، تبدیل موجک گسسته، تجزیه مقدار تکین.

مقدمه

حفظ امنیت اطلاعات دیجیتال در یک بستر ارتباطی از مسائل چالش برانگیز سال‌های اخیر است. پنهان‌نگاری^۱ یکی از شاخه‌های علم مخفی‌سازی اطلاعات^۲ است و هنر پنهان کردن اطلاعات در یک رسانه میزبان مانند صوت، تصویر، ویدیو یا متن است بدون اینکه تخریب^۳ قابل درکی^۴ در رسانه میزبان پدید آید. با استفاده از روش‌های پنهان‌نگاری می‌توان اطلاعات محرمانه را در قالب داده‌های دیگری که مورد توجه دیگران قرار نمی‌گیرد، مخفی نمود. تصاویر مهم‌ترین رسانه‌ی پوششی مورد استفاده در پنهان‌نگاری هستند چون درک تصویری انسان از تغییرات در تصاویر، محدود است. در پنهان‌نگاری تصویر، اطلاعات در یک تصویر مخفی می‌شوند که تصویر پوشانه^۵ نامیده می‌شود. تصویر پوشانه را بعد از جاسازی تصویر محرمانه، تصویر گنجانده^۶ می‌نامند (Abdelwahab & Hassaan, 2008).

یک روش پنهان‌نگاری ایده‌آل معمولاً از نظر کیفیت تصویر و ظرفیت جاسازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد به عبارت دیگر یک طرح پنهان‌نگاری کارا نباید سبب هرگونه تخریب محسوس شود و باید ظرفیت جاسازی بالایی فراهم کند. روش‌های پنهان‌نگاری با توجه به حوزه‌ای که جایگذاری داده در آن انجام می‌شود به دو دسته تقسیم می‌شوند: حوزه مکان^۷ و حوزه تبدیل^۸. در روش‌های حوزه مکان برای مخفی کردن داده، مقادیر پیکسل‌ها به‌طور مستقیم دستکاری می‌شود. این روش‌ها ساده هستند و معمولاً ظرفیت بیشتری فراهم می‌کنند اما در مقابل حملات مختلف آسیب‌پذیر هستند. در حالی که در روش‌های پنهان-نگاری حوزه تبدیل، ابتدا تصویر را به حوزه تبدیل انتقال می‌دهند. این تبدیل ممکن است تبدیل کسینوسی گسسته^۹ (DCT)، تبدیل فوریه گسسته^{۱۰} (DFT) یا تبدیل موجک گسسته^{۱۱} (DWT) باشد. سپس پیام در ضرایب تبدیل جایگذاری می‌شود و در نهایت با معکوس تبدیل، تصویر به حوزه

1 Steganography
2 Data hiding
3 Distortion
4 Imperceptible
5 Cover
6 Stego
7 Spatial Domain
8 Transform Domain
9 Discrete Cosine Transform
10 Discrete Fourier Transform
11 Discrete Wavelet Transform

مکان بازگردانده می‌شود. بنابراین امروزه بکارگیری روش‌های پنهان‌نگاری در حوزه مکانی تصویر با توجه به حملات موجود امن نمی‌باشد و روش‌های حوزه تبدیل در دستیابی به الگوریتم‌های پنهان‌نگاری از لحاظ نامحسوس بودن^۱ بهتر می‌باشند (Kumar, 2010a ; Abdelwahab & Hassaan, 2008). در میان تبدیلات حوزه تبدیل، تبدیل موجک گسسته به خاطر خصوصیت تفکیک‌پذیری چندگانه و محلی کردن مطلوب تصویر که تطابق بیشتری با سیستم بینایی انسان^۲ دارد، بیشتر مورد توجه می‌باشد. بنابراین پنهان‌نگاری مبتنی بر تبدیل موجک گسسته یکی از روش‌های مدرن پنهان‌نگاری است که در این روش، نامحسوس بودن و تخریب تصویر قابل قبول است و آن در برابر حملات متعدد مقاوم است (Abdelwahab & Hassaan, 2008). DWT ساده‌ترین نوع DWT است که در این مقاله برای تبدیل تصویر از حوزه مکان به حوزه تبدیل استفاده شده است که به علت کارایی محاسباتی و سادگی پیاده‌سازی سخت‌افزاری برای مخفی‌سازی داده مناسب‌تر است (Bazaj et al., 2010). همچنین تجزیه مقدار تکین (SVD)^۳ در نقش‌های متعددی در مخفی‌سازی داده به ویژه در واترمارکینگ^۴ و پنهان‌نگاری ظاهر شده است. یکی از کاربردهای تجزیه مقدار تکین در فشرده‌سازی تصاویر است. مفهوم اساسی روش SVD برای فشرده‌سازی تصویر، استفاده از تعداد رتبه‌های کمتری برای تقریب زدن ماتریس اصلی می‌باشد (Shih et al., 2012). چانگ و همکارانش (۲۰۰۱) یک طرح مخفی‌کردن تصویر مبتنی بر VQ^۵ و SVD برای مخفی‌سازی تصویر ارائه کرده‌اند که SVD برای تقریب ماتریس با یک ماتریس رتبه پایین استفاده می‌شود. ترکیب VQ و SVD منجر به نرخ فشرده‌سازی خوب و کیفیت تصویر رضایت بخش در تصویر گنجانده و تصویر محرمانه می‌شود (Chung et al, 2001). در طرح پیشنهادی ما سعی شده است با بکارگیری این روش فشرده‌سازی SVD، در حوزه تبدیل موجک گسسته یک روش پنهان‌نگاری طراحی شود تا از مزایای هر دو روش بهره‌مند گردد که بررسی‌های ما نشان می‌دهد که تاکنون ترکیب تبدیل موجک گسسته با فشرده‌سازی مبتنی بر تجزیه مقدار تکین در زمینه پنهان‌نگاری بکار گرفته نشده است.

همچنین عبدالوهاب و حسن (۲۰۰۸) نیز یک روش پنهان‌نگاری مبتنی بر تبدیل موجک گسسته را پیشنهاد کرده‌اند که DWT سطح اول، روی هر دو تصویر پوشانه و محرمانه انجام شده و به چهار زیرباند تجزیه می‌شوند سپس به بلوک‌های غیرهمپوشانی تقسیم می‌شوند. تفاوت بین بلوک‌ها برای جاسازی استفاده می‌شود. عیب روش آنها این است که کیفیت تصویر گنجانده به قدر کافی قابل قبول نیست. همچنین تصویر محرمانه استخراج شده نیز کیفیت تصویر پایینی دارد (Abdelwahab & Hassaan, 2008). پس از آنها کومار (۲۰۱۰) یک طرح پنهان‌نگاری جدید پیشنهاد کرده است که تبدیل موجک گسسته و تبدیل کسینوسی گسسته را ترکیب می‌کند. این طرح ابتدا ضرایب DCT را از تصویر محرمانه با بکارگیری تبدیل کسینوسی گسسته استخراج می‌کند. سپس DWT را بر روی هر دو تصویر پوشانه و ضرایب DCT اعمال می‌کند. نتایج تجربی ثابت می‌کند که کارایی این روش بر حسب مقدار PSNR بهتر از روش عبدالوهاب و حسن (۲۰۰۸) است که DWT را به تنهایی بکار گرفته بود همچنین تصویر استخراج شده نیز کیفیت خوبی دارد (Kumar, 2010a). اخیراً نیز یک روش پنهان‌نگاری جدید مبتنی بر IWT و الگوریتم تخصیص Munkres^۶ پیشنهاد شده است که IWT برای تبدیل هر دو تصویر پوشانه و محرمانه از حوزه مکان به حوزه تبدیل استفاده شده است و الگوریتم تخصیص، برای یافتن بهترین تطبیق بین بلوک‌ها به منظور جاسازی به کار گرفته شده است. در این روش، تصویر گنجانده بصری بالایی دارد و بسیار مشابه با نسخه اصلی‌اش می‌باشد (Raftari & Moghadam, 2012). بقیه ساختار مقاله به این ترتیب است که ابتدا تبدیل موجک گسسته و فشرده‌سازی SVD را به‌طور خلاصه معرفی می‌کنیم سپس طرح پیشنهادی مطرح می‌شود. در ادامه نتایج پیاده‌سازی این روش ارائه می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری آورده شده است.

تبدیل موجک گسسته و فشرده‌سازی مبتنی بر SVD

در این بخش به‌طور خلاصه پیش‌زمینه‌ای از تبدیل موجک گسسته و فشرده‌سازی مبتنی بر SVD را توصیف می‌کنیم.

تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک گسسته یکی از مهم‌ترین روش‌های تبدیل یک تصویر از حوزه مکان به حوزه تبدیل است. بکارگیری DWT بر روی تصویر، تصویر را به یک تصویر تقریبی با رزولوشن پایین یا زیرباند LL و همچنین جزئیات افقی (HL)، عمودی (LH) و قطری (HH) تفکیک می‌کند. با DWT بخش مهم تصویر در زیرباند تقریبی (LL) بوجود می‌آید که شامل ضرایب موجک فرکانس پایین است و لبه‌ها و جزئیات معمولاً در زیرباندهای فرکانس بالا یعنی زیرباندهای HL، HH، LH قرار می‌گیرند.

ایده اصلی مخفی‌کردن اطلاعات با استفاده از DWT جاسازی اطلاعات در ضرایب فرکانس بالای حاصل از تبدیل موجک گسسته است و ضرایب در زیرباند فرکانس پایین برای بهبود کیفیت تصویر بدون هیچ تغییری حفظ می‌شوند. زیرا چشم‌های انسان به تغییرات کوچک در لبه‌ها و جزئیات یک تصویر حساس نیستند که این امکان جاسازی تصویر/پیام محرمانه را در زیرباندهای فرکانس بالا می‌دهد بدون اینکه توسط چشم‌های انسان تشخیص داده

¹ Imperceptible

² Human Visual System

³ Haar Discrete Wavelet Transform

⁴ Singular Value Decomposition

⁵ Watermarking

⁶ Vector Quantization

⁷ Munkres' assignment algorithm

شود (Nag et al., 2011). بنابراین در طرح پیشنهادی از زیرباند HH برای جاسازی تصویر محرمانه استفاده کرده‌ایم زیرا برطبق گزارشات وقتی جاسازی داده در زیرباند HH انجام می‌گیرد تصویر گنجانده مقدار PSNR بالاتری نسبت به جاسازی در زیرباندهای HL و LH دارد. (Raftari & Moghadam, 2010b; 2012)



شکل ۱- الف) تصویر اصلی ب) نتایج بعد از انجام DWT هار

فشرده‌سازی SVD

تجزیه مقدار تکین نه تنها قویترین ابزار برای پیدا کردن مقادیر ویژه است بلکه برای فشرده‌سازی تصویر و کاهش نویز استفاده می‌شود. مفهوم اساسی طرح فشرده‌سازی تصویر مبتنی بر SVD انتخاب یک تعداد مناسب از مقادیر تکین برای نمایش تصویر اصلی است (Shih et al., 2012).

فرض کنید ماتریس تصویر A یک ماتریس $N \times N$ با رتبه r و $r \leq N$ است. ماتریس A به صورت رابطه (۱) است:

$$A = UDV^T = [u_1, \dots, u_N] \begin{bmatrix} \sigma_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_N \end{bmatrix} [v_1, \dots, v_N]^T = \sum_{i=1}^r \sigma_i u_i v_i^T \quad (1)$$

که U و V ماتریس‌های متعامد $N \times N$ هستند و D یک ماتریس قطری $N \times N$ با مقادیر تکین σ_i که در رابطه (۲) صدق می‌کنند:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_N = 0 \quad (2)$$

فکتورگیری UDV^T تجزیه مقدار تکین A نامیده می‌شود. رتبه A برابر تعداد مقادیر تکین غیر صفر است. به‌طور کلی ماتریس A دارای تعدادی مقادیر تکین کوچکتر است، بنابراین ماتریس A می‌تواند با یک ماتریس رتبه کمتر تقریب زده شود که این منجر به فشرده‌سازی ماتریس A می‌شود (Chung et al., 2001). فرض کنید $k \leq r$ ، پس ماتریس تقریبی A با رابطه (۳) بیان شده است:

$$\hat{A}_k = \sum_{i=1}^k \sigma_i u_i v_i^T \quad (3)$$

که k بیانگر تعداد مقادیر تکین بدون تغییر حفظ شده در هر سه ماتریس U, D, V است. اگر k بزرگ باشد پس نرخ فشرده‌سازی کوچک خواهد بود و اگر k کوچک باشد نرخ فشرده‌سازی بزرگ خواهد بود پس تعداد زیادی اطلاعات از دست خواهند رفت. بنابراین پیدا کردن یک k مناسب، یک موضوع مهم برای کیفیت تصویر گنجانده و تصویر محرمانه پس از استخراج است (Shih et al., 2012).

طرح پیشنهادی

در این مقاله یک روش پنهان‌نگاری مبتنی بر تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقدار تکین برای مخفی‌سازی یک تصویر محرمانه در یک تصویر پوشانه پیشنهاد شده است.

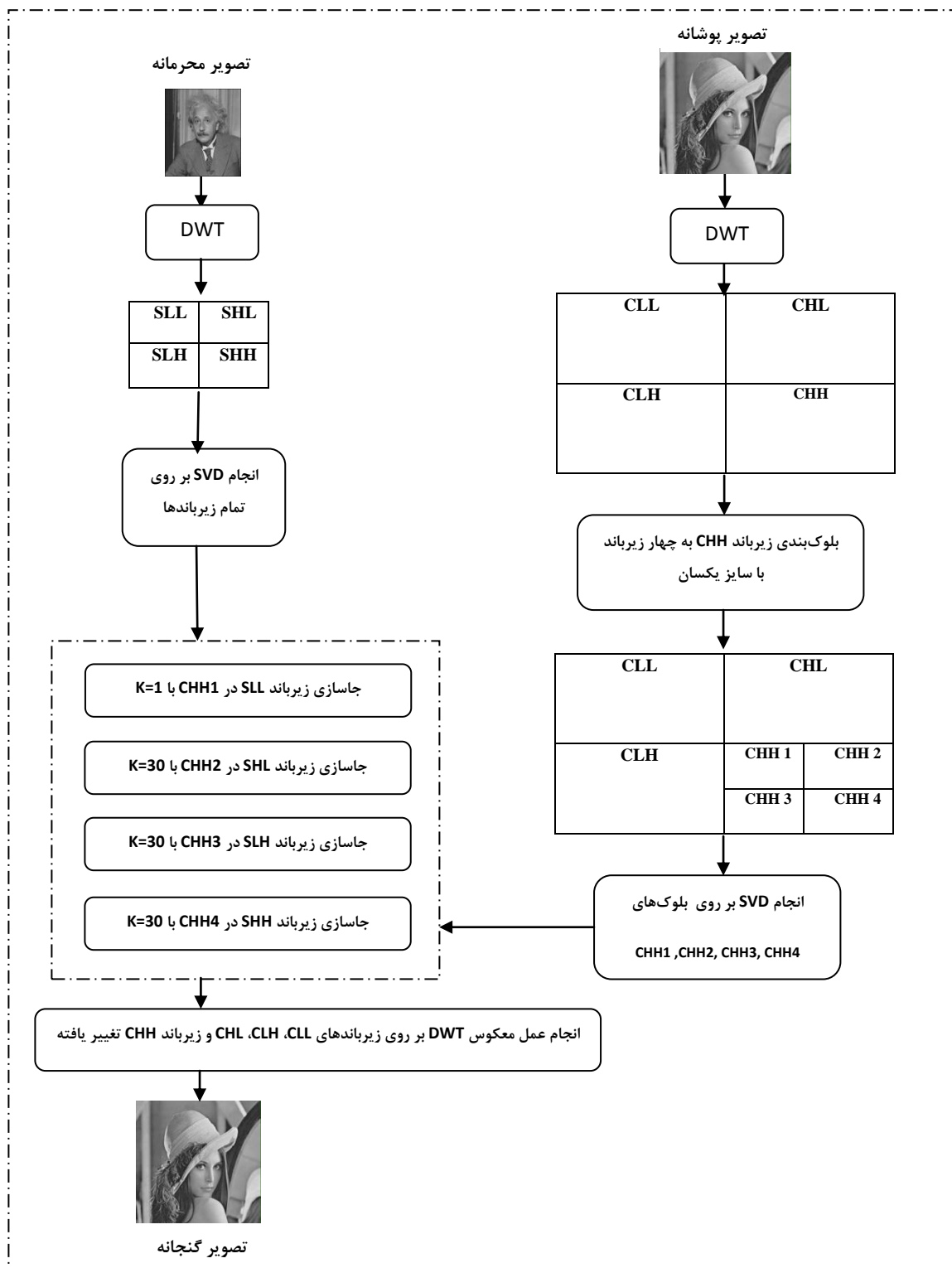
فاز جاسازی

فرض کنید C و S به ترتیب تصویر پوشانه و تصویر محرمانه باشند. تصویر گنجانده G با استفاده از مراحل زیر به وجود می‌آید که فلوچارت فرایند جاسازی در شکل (۲) نشان داده شده است.

مرحله ۱: تصویر پوشانه C و تصویر محرمانه S با استفاده از تبدیل DWT به ترتیب به چهار زیرباند CLL, CHL, CLH, CHH و SLL, SHL, SLH, SHH تقسیم می‌شوند.

مرحله ۲: زیرباند CHH به ۴ بلوک CHH1, CHH2, CHH3, CHH4 با سایز یکسان بلوک‌بندی می‌شود.

مرحله ۳: چهار بلوک CHH1, CHH2, CHH3, CHH4 و چهار زیرباند SLL, SHL, SLH, SHH تصویر محرمانه با استفاده از تجزیه SVD به ترتیب به سه ماتریس U, S, V تبدیل می‌شوند.



شکل ۲- فلوچارت فاز جاسازی

مرحله ۴: k ستون از ماتریس های U, S, V برای حفظ کیفیت تصویر، بدون تغییر باقی می ماند و در بقیه ستون های ماتریس های U, S, V با توجه به مراحل زیر، ستون های ماتریس های U_S, S_S, V_S جایگزین می شود و برای حفظ نزولی بودن مقادیر تکین، در ماتریس S مقادیر تکین جاسازی شده بر 1500 تقسیم می شوند (این عدد به صورت تجربی حاصل شده است).

(الف) زیرباند SLL با $k=1$ در بلوک CHH1 جاسازی می شود.

(ب) زیرباند SHL با $k=30$ در بلوک CHH2 جاسازی می شود.

(ج) زیرباند SLH با $k=30$ در بلوک CHH3 جاسازی می شود.

(د) زیرباند SHH با $k=30$ در بلوک CHH4 جاسازی می شود.

مرحله ۵: برای بازسازی بلوک ها پس از جاسازی، با استفاده از ماتریس های تغییر یافته U, S, V حاصل ضرب زیر انجام می شود:

$$B' = U \times S \times V^T$$

(۴)

که B' زیربلوک بازسازی شده CHH1, CHH2, CHH3, CHH4 است.

مرحله ۶: برای ایجاد تصویر گنجانده بر روی زیرباندهای CHL, CLH, CLL و زیرباند CHH تغییر یافته، عمل معکوس DWT انجام می شود.

فاز استخراج

فرایند استخراج تصویر محرمانه شامل مراحل زیر است:

مرحله ۱: تصویر گنجانده G با استفاده از DWT به ۴ زیرباند GLL, GHL, GLH, GHH تبدیل می شود.

مرحله ۲: زیرباند GHH به چهار بلوک GHH1, GHH2, GHH3, GHH4 با سایز یکسان تقسیم بندی می شود.

مرحله ۳: هر بلوک GHH1, GHH2, GHH3, GHH4 با بکارگیری SVD به سه ماتریس U_G, S_G, V_G تبدیل می شود.

مرحله ۴: از ستون های $k+1$ تا ستون آخر از هر سه ماتریس U_G, S_G, V_G استخراج می شود و به جای مقادیری از هر سه ماتریس که وجود ندارد صفر جایگزین می کنیم. همچنین مقادیر تکین S در عدد 1500 ضرب می شود. به طوری که:

(الف) زیرباند SLL با $k=1$ از بلوک GHH1 استخراج می شود.

(ب) زیرباند SHL با $k=30$ از بلوک GHH2 استخراج می شود.

(ج) زیرباند SLH با $k=30$ از بلوک GHH3 استخراج می شود.

(د) زیرباند SHH با $k=30$ از بلوک GHH4 استخراج می شود.

مرحله ۵: برای بدست آوردن تصویر محرمانه استخراج شده، عمل معکوس DWT را بر روی زیرباندهای استخراج شده SLL, SHL, SLH, SHH انجام می دهیم.

نتایج پیاده سازی

الگوریتم پیشنهادی با استفاده از MATLAB پیاده سازی شده است. به منظور آزمایش طرح پیشنهادی تعدادی تصویر خاکستری با سایز 512×512 به عنوان تصویر پوشانه و تعدادی تصویر خاکستری با سایز 256×256 به عنوان تصویر محرمانه از پایگاه داده تصویر^۱ CVG-UGR انتخاب شده است.



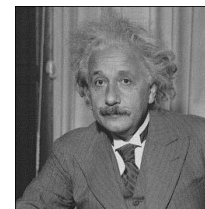
Airplane



Peppers



Lena



Einstein



Boat



Gold



Cameraman



Couple

شکل 3- تصاویر آزمایشی

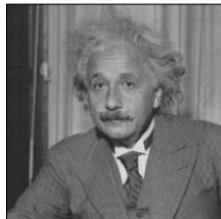
¹ <http://decsai.ugr.es/cvg/dbimagenes/>

آزمایش ۱ و نتایج

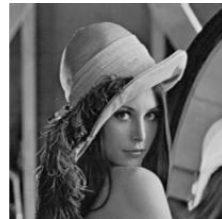
در این آزمایش تصویر Lena و Einstein به ترتیب به عنوان تصویر پوشانه و محرمانه انتخاب شده‌اند. هدف از این آزمایش، بررسی کیفیت تصویر پوشانه پس از جاسازی و کیفیت تصویر محرمانه استخراج شده بر اساس مقدار k مختلف است که k بیانگر تعداد مقادیر تکین بدون تغییر حفظ شده در هر سه ماتریس U , D , V بلوک‌های زیرباند HH است. مقدار k انتخاب شده برای هر بلوک تأثیر زیادی در کیفیت تصویر گنجانده و تصویر محرمانه استخراج شده دارد. با توجه به اینکه در بلوک CHH1، زیرباند LL تصویر محرمانه که شامل اطلاعات مهم تصویر است جاسازی می‌شود، مقدار k در این بلوک بر اساس نتایج آزمایشات پیشنهاد می‌شود مقدار ثابت ۱ در نظر گرفته شود. چون با انتخاب مقدار k بیشتر، اطلاعات مهم کمتری از تصویر محرمانه جاسازی می‌شود در نتیجه تصویر محرمانه استخراج شده کیفیت تصویر پایینی خواهد داشت. شکل (۴) و (۵- الف) این روند را با k های مختلف برای بلوک CHH1 نشان می‌دهد در حالی که مقدار K برای سایر بلوک‌ها ۱ در نظر گرفته شده است.



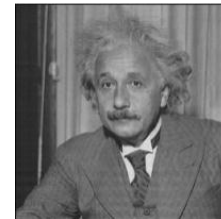
تصویر گنجانده با $K=1$
PSNR=۵۳/۹۸



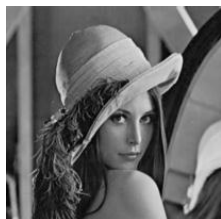
تصویر محرمانه استخراجی با $K=1$
PSNR=۴۰/۸۸



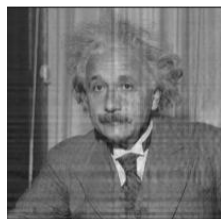
تصویر گنجانده با $K=2$
PSNR=۵۴/۰۵



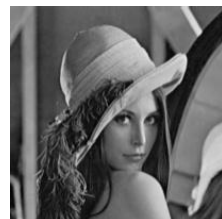
تصویر محرمانه استخراجی با $K=2$
PSNR=۳۸/۳۲



تصویر گنجانده با $K=8$
PSNR=۵۴/۳۳



تصویر محرمانه استخراجی با $K=8$
PSNR=۲۹/۶۹

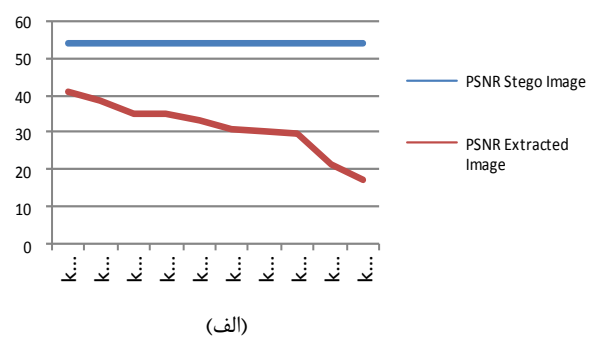
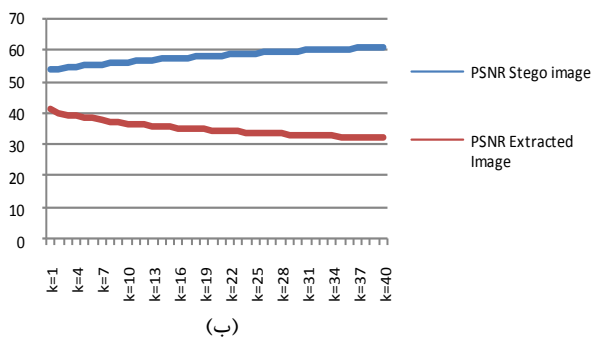


تصویر گنجانده با $K=9$
PSNR=۶۱/۰۱



تصویر محرمانه استخراجی با $K=9$
PSNR=۲۱/۰۴

شکل ۴- کیفیت تصویر گنجانده و محرمانه استخراج شده برحسب PSNR با مقدار k های مختلف برای بلوک CHH1 و $K=1$ برای سایر بلوک‌ها



شکل ۵- الف) کیفیت تصویر گنجانده و محرمانه استخراج شده برحسب PSNR با مقدار k های مختلف برای بلوک CHH1 و $K=1$ برای سایر بلوک‌ها

شکل ۵- ب) کیفیت تصویر گنجانده و محرمانه استخراج شده برحسب PSNR با $K=1$ برای بلوک CHH1 و مقدار k های مختلف برای سایر بلوک‌ها

اما چون در بلوک‌های CHH2، CHH3، CHH4 جزئیات تصویر محرمانه جاسازی می‌شود، برای افزایش کیفیت تصویر گنجانده می‌توانیم مقدار k را بزرگتر نیز انتخاب کنیم که به این ترتیب کیفیت تصویر گنجانده افزایش خواهد یافت ولی مقدار PSNR تصویر محرمانه استخراج شده خیلی جزئی کاهش می‌یابد. شکل (۵- ب) این روند را با k های مختلف نشان می‌دهد.

آزمایش ۲ و نتایج

در این آزمایش ۴ تصویر Gold, Lena, Peppers و Airplane با سایز ۵۱۲×۵۱۲ به عنوان تصویر پوشانه و ۳ تصویر Einstein, Couple و Cameraman با سایز ۲۵۶×۲۵۶ به عنوان تصویر محرمانه انتخاب شده‌اند. کیفیت تصویر گنجانده طرح پیشنهادی بر حسب معیار PSNR در جدول (۱) و کیفیت تصویر محرمانه استخراج شده در جدول (۲) نشان داده شده است. در این آزمایش مقدار k برای همه بلوک‌ها برابر ۱ انتخاب شده است، که هر دو تصویر گنجانده و محرمانه استخراج شده کیفیت تصویر بالایی دارند.

جدول ۱- کیفیت تصویر محرمانه پس از استخراج بر حسب PSNR

تصویر گنجانده ۵۱۲×۵۱۲	تصویر محرمانه استخراج شده با سایز ۲۵۶×۲۵۶		
	Einstein	Couple	Cameraman
Peppers	۳۲/۹۰	۳۳/۷۷	۳۰/۹۳
Lena	۴۰/۸۸	۳۶/۸۵	۳۷/۳۳
Gold	۳۹/۵۱	۳۰/۱۷	۳۲/۲۹
Airplane	۴۰/۸۷	۳۴/۱۸	۳۴/۰۲

جدول ۱- کیفیت تصویر گنجانده بر حسب مقدار PSNR

تصویر پوشانه ۵۱۲×۵۱۲	تصویر محرمانه با سایز ۲۵۶×۲۵۶		
	Einstein	Couple	Cameraman
Peppers	۵۵/۹۴	۵۵/۹۲	۵۵/۹۲
Lena	۵۳/۹۸	۵۳/۹۷	۵۳/۹۷
Gold	۵۴/۵۳	۵۴/۵۲	۵۴/۵۲
Airplane	۵۳/۵۲	۵۳/۵۱	۵۳/۵۲

آزمایش ۳ و نتایج

با توجه به مشکلات و محدودیت‌های معیارهایی نظیر MSE, PSNR شاخص جدیدی برای ارزیابی کیفیت تصویر مبتنی بر شباهت ساختاری بین دو تصویر معرفی گردیده است. این معیار، شاخص شباهت ساختاری (SSIM)^۱ نامیده می‌شود و به معیارهای کمی سنتی مثل MSE, PSNR برتری دارد. در این آزمایش، ما معیار شاخص شباهت ساختاری (SSIM) را برای ارزیابی کیفیت تصویر گنجانده F نسبت به تصویر اصلی E استفاده می‌کنیم:

$$SSIM(E, F) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (5)$$

که $\mu_x, \mu_y, \sigma_x, \sigma_y$ و σ_{xy} پارامترهای آماری محلی دو تصویر E و F هستند و C_1, C_2 ثابت‌های به کار رفته برای جلوگیری از تقسیم بر صفر هستند. جدول (۳) مقادیر SSIM بین تصویر پوشانه و گنجانده را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر SSIM بین تصویر پوشانه و گنجانده برای ارزیابی شباهت ساختاری دو تصویر

تصویر تصویر ۲۵۶×۲۵۶	تصویر گنجانده ۵۱۲×۵۱۲ محرمانه	Lena	Peppers	Boat	Airplane
		Einstein	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۸
Cameraman	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۵	

معیار SSIM برای سنجش شباهت بین دو تصویر E و F همچنین مقایسه روشنایی^۲، کنتراست^۳ و ساختار دو تصویر به کار می‌رود. معیار شاخص شباهت ساختاری در بازه [-1, 1] تغییر می‌کند و حداکثر مقدار آن برابر یک است و تنها در صورتی محقق می‌شود که دو تصویر E و F دقیقاً مشابه باشند. مقادیر SSIM جدول (۳) که شباهت ساختاری بین تصاویر گنجانده و پوشانه‌ی مختلف را نشان می‌دهد، همگی بسیار نزدیک به یک هستند پس با توجه به این مقادیر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تصویر گنجانده علاوه بر اینکه از لحاظ بصری کاملاً مشابه با تصویر اصلی است از لحاظ ساختاری نیز بسیار شبیه تصویر اصلی می‌باشد.

آزمایش ۴ و نتایج

¹ Structural Similarity Index Measure

² Luminance

³ Contrast

در این آزمایش ۴ تصویر Lena, Peppers, Gold و Boat دارای سایز ۵۱۲×۵۱۲ به عنوان تصویر پوشانه برای جاسازی تصویر محرمانه Einstein با سایز ۲۵۶×۲۵۶ در نظر گرفته شده‌اند. در این آزمایش مقدار K برای بلوک CHH1 برابر ۱ و برای سایر بلوک‌ها برابر ۳۰ در نظر گرفته شده است و طرح پیشنهادی با روش‌های "عبدالوهاب و حسن" و "رفتاری و مقدم" مقایسه شده است. همان‌طور که از جدول (۴) واضح است کیفیت تصویر گنجانه در طرح پیشنهادی بهتر از دیگر روش‌ها است.

جدول ۴- مقایسه کیفیت تصویر طرح پیشنهادی با روش‌های "عبدالوهاب و حسن" و "رفتاری و مقدم"

تصویر پوشانه با سایز ۵۱۲×۵۱۲	Abdelwahab & (Hassaan, 2008)	Raftari & (Moghadam, 2012)	طرح پیشنهادی
Peppers	۵۴ / ۵۵	۵۸ / ۸۶	۵۹ / ۸۱
Lena	۵۴ / ۴۵	۵۸ / ۳۳	۵۹ / ۴۷
Gold	۵۲ / ۴۹	۵۷ / ۷۹	۵۸ / ۰۱
Boat	۵۴ / ۲۱	۵۹ / ۱۲	۶۰ / ۳۸

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش پنهان‌نگاری جدید مبتنی بر تبدیل موجک گسسته و فشرده‌سازی SVD برای مخفی‌سازی تصویر محرمانه پیشنهاد شد. بکارگیری تبدیل موجک گسسته که تطابق بیشتری با سیستم بینایی انسان دارد موجب نامحسوس‌تر بودن و افزایش کیفیت تصویر می‌شود و از تجزیه مقدار تکین برای فشرده‌سازی جزئیات تصویر میزبان و جاسازی تصویر محرمانه در آن استفاده می‌شود. مزیت طرح پیشنهادی این است که با توجه به نیازمندی به نامحسوس بودن و کیفیت بالای تصویر گنجانه یا نیاز به استخراج تصویر محرمانه با کیفیت بالا می‌توان مقدار پارامتر k را تنظیم کرد که البته با تنظیم بهینه این مقدار برای هر بلوک، می‌تواند هر دو هدف همزمان برآورده شود. نتایج تجربی ثابت می‌کند که تصویر گنجانه دارای مقدار PSNR بالایی است و علاوه بر شباهت ظاهری از لحاظ ساختاری نیز بسیار مشابه با تصویر اصلی است که این امر موجب عدم جلب توجه دیگران نسبت به وجود تصویر محرمانه جاسازی شده می‌شود. همچنین برای استخراج تصویر محرمانه نیازی به تصویر پوشانه اصلی نیست و تصویر محرمانه استخراج شده نیز کیفیت قابل قبولی دارد.

منابع مورد استفاده:

- Abdelwahab, A. A., & Hassaan, L. A. (2008). A discrete wavelet transform based technique for image data hiding. Paper presented at the Radio Science Conference, 2008. NRSC 2008. National.
- Bazaj, S., Modi, S., Mohan, A., & Singh, S. P. (2010). An Improved Algorithm for Data Hiding Using HH-subband Haar Wavelet Coefficients. *Int. J. Adv. Comp. Techn.*, 2(2), 109-116.
- Chung, K.-L., Shen, C.-H., & Chang, L.-C. (2001). A novel SVD-and VQ-based image hiding scheme. *Pattern Recognition Letters*, 22(9), 1051-1058.
- Kumar, V., & Kumar, D. (2010a). Digital Image Steganography Based on Combination of DCT and DWT. Paper presented at the Information and Communication Technologies.
- Kumar, V., & Kumar, D. (2010b). Performance evaluation of dwt based image steganography. Paper presented at the Advance Computing Conference (IACC), 2010 IEEE 2nd International.
- INag, A., Biswas, S., Sarkar, D., & Sarkar, P. P. (2011). A novel technique for image steganography based on DWT and huffman encoding. *International Journal of Computer Science and Security*, 4(6), 561-570.
- Raftari, N., & Moghadam, A. M. E. (2012). Digital Image Steganography Based on Integer Wavelet Transform and Assignment Algorithm. Paper presented at the Modelling Symposium (AMS), 2012 Sixth Asia.
- Shih, Y.-T., Chien, C.-S., & Chuang, C.-Y. (2012). An adaptive parameterized block-based singular value decomposition for image de-noising and compression. *Applied Mathematics and Computation*, 218(21), 10370-10385.