بررسی کارآیی یک روش نهان نگاری تصویر مبتنی بر چرخش در حوزه تبدیل موجک

عزیزاله جمشیدی[۱]، سجاد طباطبائی[۲]، محمدعلی اخائی[۳]
۱- مربی، گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، jamshidi801@gmail.com
۲- مربی، گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، sdtabatabee@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری برق، دانشگاه صنعتی شریف، akhaiee@yahoo.com

چکیده

در این مقاله یک روش جدید کور مبتنی‌بر چرخش برای پنهان نگاری در حوزه تبدیل موجک پیشنهاد شده است. مهمترین ویژگی این روش بهینه بودن گیرنده در حضور نویز سفید گوسی و نیز پایداری آن نسبت‌به حمله بهره می‌باشد. به این منظور یک متغیر پایدار در برابر بهره معرفی شده است و تابع توزیع آن بکمک ریاضی محاسبه گردیده است. با داشتن تابع توزیع تجمعی گیرنده بهینه در برابر نویز به‌کمک الگوریتم بیشینه همانندی طراحی و پیاده‌سازی شده است. عملکرد این گیرنده مورد تحلیل قرار گرفته و احتمال خطای آن به‌صورت دقیق محاسبه شده است. برای درج بیشترین مقدار نهان نگاره از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه استفاده شده است. به این منظور مصالحه مناسبی بین احتمال خطای الگوریتم و شفافیت نهان نگاره که توسط پارامتر اندیس کیفیت ارزیابی می‌شود بر قرار شده است. برای ارزیابی صحت مدل پیشنهادی و نیز احتمال خطای تحلیلی، روش بر روی سیگنال گوسی مصنوعی شبیه‌سازی شده است و سپس الگوریتم بر روی سیگنال‌های تصویر آزموده شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی بر روی سیگنال‌های مصنوعی حاکی از درستی روابط ریاضی منتج شده و صحت مدل بکار برده شده می‌باشد. همچنین نتایج تجربی بر روی تصاویر از مقاومت بسیار خوب الگوریتم نهان نگاری معرفی شده در برابر حملات متداول نظیر نویز، فشرده‌سازی JPEG، و بهره خبر می‌دهد. همچنین در شرایط برابر از نظر نرخ درج و شفافیت، روش پیشنهادی پایداری بهتری نسبت به روش‌های گذشته دارد.

واژه‌های کلیدی

نهان نگاری مبتنی بر چرخش، تبدیل موجک، گیرنده بیشینه همانندی، بهینه‌سازی چندهدفه، تحلیل عملکرد.

۱– مقدمه

با گسترش روزافزون اینترنت به‌عنوان محیطی برای انتقال سریع و آسان انواع اطلاعات (صوتی، تصویر، فیلم و غیره) این امکان برای افرادی که خواستار به اشتراک گذاشتن اطلاعات خود هستند به‌وجود آمده است. با وجود مزایای آن، این گونه انتقال اطلاعات می‌تواند مشکلات جدی برای مؤلفانی که نمی‌خواهند آثارشان بدون اجازه خودشان پخش شود ایجاد کند. به‌همین دلیل حفاظت از اطلاعات دارای حق کپی امری ضروری است. یکی از بهترین روش‌ها برای پاسخ گویی به مشکلات فوق نهان نگاری می‌باشد که دارای کاربردهای زیادی از جمله مخابرات مخفی، زمان‌بندی پخش

برنامه‌ها، اثبات مالکیت و غیره است [۱]-[۴]. نهان‌نگاری روشی است که در آن اطلاعات مالک (سیگنال الگو یا نهان‌شونده) به‌گونه‌ای نامحسوس در سیگنال اصلی یا میزبان نهان می‌شود و به این صورت سیگنال الگوگذاری شده یا نهان‌نگاری شده ایجاد می‌شود. این نهان کردن الگو نباید باعث کاهش کیفیت اطلاعات اصلی شود. به اقتضای کاربرد نهان نگاری به‌صورت‌های مقاوم، نیمه‌شکننده و شکننده انجام می‌پذیرد [۳]. در این میان کاربردهای روش‌های مقاوم از مابقی بیشتر است. همچنین از نقطه نظر آشکارسازی روش‌های نهان‌نگاری به سه گونه کور، نیمه‌کور و بینا تقسیم می‌شوند[۴]. در سیستم‌های کور نیازی به سیگنال تمیز برای آشکارسازی نیست درحالی‌که در نیمه‌کور و بینا به بخشی یا کل سیگنال تمیز احتیاج است.

یکی از مهمترین حملات که در کانال مخابراتی بوفور اتفاق می‌افتد حمله بهره است. در ساده‌ترین مدل‌های کانال این پدیده قابل مشاهده است. بسیاری از روش‌های متداول نظیر بیت کم‌ارزش (LSB) [۵]-[۶]، کوانتیزاسیون اندیس مدولاسیون (QIM) [۷]-[۹]، روش دو تکه (Patchwork) [۱۰]-[۱۱] و غیره در برابر این حمله ناتوانند. معرفی تبدیل یا حوزه‌ای که در برابر بهره بی‌تغییر باشد از چالش‌های مسأله نهان‌نگاری است که تاکنون بسیاری به بررسی آن پرداختند [۱۲]-[۱۷]. کلیه روش‌های پیشنهادی به چهار دسته مهم تقسیم می‌شوند. ۱- استفاده از پیشرو در سیگنال نهان نگاری شده [۱۲]. در این حالت در فواصل معین سیگنال‌های از پیش‌تعیین قرار داده می‌شوند و با بررسی آنها در گیرنده میزان بهره تخمین زده شده و جبران می‌گردد. ۲- استفاده از کدهای مخروطی [۱۳] با گیرنده‌های منطبق بر شباهت [۱۴]. در این حالت از کدهایی استفاده می‌گردد که بخاطر ساختار مخروطی که دارند نسبت به بهره با هر ضریبی ثابت هستند. ۳- استفاده از کوانیزاسیون زاویه‌ای (AQIM) [۱۵] –[۱۶]. در این حالت الگوریتم کوانتیزاسیون اندیس مدولاسیون بر روی زاویه حاصل از دو نمونه (مثلاً مجاور) در یک حوزه خاص صورت می‌پذیرد. ۴- معرفی یک تابع تقسیمی مبتنی‌بر تابع نرم p و اعمال روش‌های مبتنی‌بر کوانتیزاسیون بر روی این تابع. این روش به لرزش مدولاسیون تقسیمی معروف است (RDM) [۱۷].

راه حل اول امنیت الگوریتم را به‌شدت کاهش می دهد. اساس نهان‌نگاری این است که دشمن متوجه هیچ چیز مشکوکی در سیگنال ارسالی نشود. وجود سیگنال پیشرو شک دشمن را برمی‌انگیزد. اگرچه روش دوم و سوم امنیت را حفظ می‌کنند، اما پیچیدگی محاسباتی بالایی را به روش‌های مبتنی‌بر کوانتیزاسیون تحمیل می‌کنند به‌گونه‌ای که سادگی فرستنده و گیرنده در طرح QIM را زایل می‌کند. همچنین پایداری روش AQIM به‌خوبی QIM نمی‌باشد. روش RDM نواقص ذکر شده را تا حد خوبی مرتفع کرده است اما در روش آنها تابع نرم p به‌صورت دلخواه انتخاب شده است. این موضوع مقاومت الگوریتم را تا حدی تحت الشعاع قرار داده است. لذا ما به دنبال روشی هستیم که علاوه‌بر امنیت پایداری بالایی نیز داشته باشد و در برابر حمله بهره به‌طور کامل مقاوم باشد. تابع گیرنده نیز با توجه به نظریه بیشینه همانندی انتخاب گردد تا بیشترین پایداری نسبت‌به نویز سفید گوسی حاصل گردد.

در این مقاله ما یک روش کور برپایه روش [۱۸] در حوزه تبدیل موجک پیشنهاد می‌کنیم. روش ما در واقع بهبود و تعمیم روش [۱۸] می‌باشد. به این منظور تصویر به بلوک‌های غیرهمپوشان تقسیم شده و از هر بلوک تبدیل موجک گرفته می‌شود. نمونه‌های شامل فرکانس‌های پایین برمبنای یک کلید محرمانه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و هر چهار نمونه تشکیل یک پاره خط را می‌دهند. عمل درج نهان نگاره با عوض کردن شیب این پاره‌خط‌ها صورت می‌پذیرد. تابع توزیع شیب پاره خط محاسبه گردیده و به‌کمک گیرنده بیشینه شباهت عمل آشکارسازی صورت می‌پذیرد. یکی از کارهایی که به‌عنوان تعمیم روش [۱۸] صورت پذیرفته محاسبه احتمال خطای سیستم به‌صورت دقیق است که شبیه‌سازی‌ها بر روی سیگنال مصنوعی گوسی آن را تأیید می‌کند. همچنین به‌منظور رعایت مصالحه میان شفافیت نهان‌نگاره و پایداری آن در برابر حملات از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه استفاده شده است. این در حالی است که در روش [۱۸] اندازه زاویه یک مقدار ثابت انتخاب شده است. در این حالت میزان شفافیت به روش اندیس کیفیت تصویر [۱۹] به‌صورت خودکار محاسبه شده و پایداری نیز به‌کمک روابط احتمال خطای منتج شده محاسبه می‌گردد. با این کار روش معرفی شده مقاومت بسیار بالایی در برابر حملات متداول دارد.

بقیه مقاله به شرح زیر است. ابتدا مدل سیستم پیشنهادی در بخش دو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در بخش سوم به بررسی روش پیشنهادی می‌پردازیم و گیرنده آن را مورد بحث قرار می‌دهیم. عملکرد الگوریتم در بخش چهارم مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. در بخش پنجم مسدله بهینه‌سازی شفافیت و پایداری نهان‌نگاره را ارزیابی می‌کنیم. نتایج شبیه‌سازی هم بر روی سیگنال مصنوعی و هم بر روی تصاویر طبیعی در فصل ششم به نمایش در می‌آیند. فصل هفتم متعلق به نتیجه‌گیری و کارهای آینده است.

۲– مدل سیگنال پیشنهادی

در اینجا مدل سیستمی را که برای نهان‌نگاری مورد استفاده قرار می‌گیرد توضیح داده می‌شود. ما فرض می‌کنیم که یک سیگنال تصادفی گوسی با میانگین صفر و واریانس σ^2 داریم. در هر سناریو چهار نمونه از سیگنال مورد نظر (سیگنال میزبان) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این چهار نمونه به‌صورت u=[u1,u2,u3,u4] نمایش داده می‌شوند. ما این چهار نمونه را به دو زوج نمونه p=[u1,u2] و q=[u3,u4] در یک فضای دوبعدی تقسیم می‌کنیم. شیب خطی که این دو نقطه را بهم وصل می‌نند به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$c=\frac{u_4-u_2}{u_3-u_1} \qquad (۱)$$

اگر صورت و مخرج رابطه بالا را به‌صورت a و b نشان دهیم خواهیم داشت a, b ~ $N(0,2\sigma^2)$. برای حالتی که a و b مستقل هستند پارامتر c که حاصل تقسیم دو مولفه گوسی با میانگین صفر و مستقل از هم می‌باشد با توزیع گوسی به‌صورت زیر قابل بیان است:

$$f_c(c)=\frac{1}{\pi}\frac{\frac{\sigma_a}{\sigma_b}}{c^2+(\frac{\sigma_a}{\sigma_b})^2} \qquad (۲)$$

در حالتی‌که دو متغیر گوسی دارای همبستگی باشند تابع توزیع مشترک آن به‌صورت زیر است:

$$f_{ab}(a,b)=\frac{1}{2\pi\sigma_a\sigma_b\sqrt{1-r^2}}e^{-\frac{1}{2(1-r^2)}(\frac{a^2}{\sigma_a^2}-\frac{2rab}{\sigma_a\sigma_b}+\frac{b^2}{\sigma_b^2})} \qquad (۳)$$

بنابراین تابع توزیع تجمعی c به‌صورت:

$$\begin{aligned}F_C(c)&=P\{\frac{a}{b}\le c\}\\&=P\{a\le bc,b\ge 0\}\\&=\int_0^\infty\int_{-\infty}^{bc}f_{ab}(a,b)da\,db\\&+\int_{-\infty}^0\int_{bc}^\infty f_{ab}(a,b)da\,db\end{aligned} \qquad (۴)$$

بنابراین تابع چگالی احتمال آن به‌صورت:

$$f_c(c)=F_C'(c)=\int_{-\infty}^{+\infty}|b|f_{ab}(bc,b)db \qquad (۵)$$

با جایگزینی (۴) در (۵) و درنظرگرفتن این نکته که تابع $f_{ab}(a,b)$ نسبت‌به a و b زوج است داریم:

$$\begin{aligned}f_C(c)&=\frac{1}{2\pi\sigma_a\sigma_b\sqrt{1-r^2}}\int_0^\infty be^{-\frac{b^2}{2\sigma_0^2}}db\\&=\frac{\sigma_0^2}{\pi\sigma_a\sigma_b\sqrt{1-r^2}}\end{aligned} \qquad (۶)$$

که در آن $\sigma_0^2=\frac{1-r^2}{(c/\sigma_a)^2-(2rc/\sigma_a\sigma_b)+(1/\sigma_b^2)}$ است.

درنتیجه:

$$f_C(c)=\frac{1}{\pi}\frac{\sigma_a\sigma_b\sqrt{1-r^2}}{\sigma_b^2(c-\frac{r\sigma_a}{\sigma_b})^2+\sigma_a^2(1-r^2)} \qquad (۷)$$

همچنین تابع توزیع تجمعی آن به‌صورت زیر قابل محاسبه است.

$$F_C(c)=\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}\tan^{-1}\frac{\sigma_b c-r\sigma_a}{\sigma_a\sqrt{1-r^2}} \qquad (۸)$$

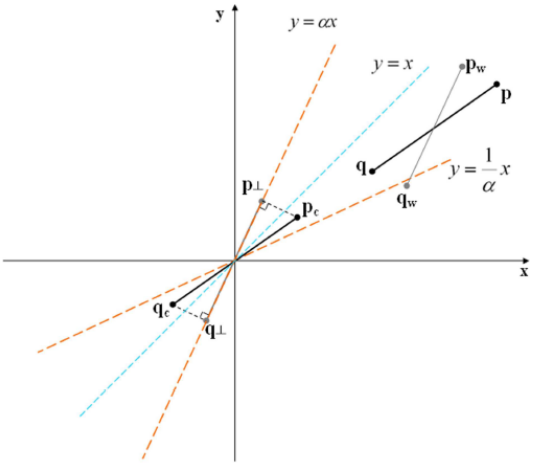
از این تابع توزیع تجمعی در ادامه برای بدست آوردن گیرنده بهینه و احتمال خطای آن استفاده خواهیم کرد.

۳– روش پیشنهادی مبتنی‌بر چرخش

۳–۱–درج نهان‌نگاره

برای درج نهان‌نگاره در تصویر، سیگنال میزبان به بلوک‌های مساوی و غیرهمپوشان تقسیم می‌گردد. در هر یک از این بلوک‌ها یک بیت پیغام مخفی نهان می‌گردد. در واقع هر یک از این بلوک‌ها حامل‌های ما در سیستم پنهان‌نگاری مذکور هستند. در هر بلوک ما چهار ضریب تقریب تبدیل موجک آنرا انتخاب می‌کنیم. به این منظور به هر بلوک تبدیل موجک دوبعدی اعمال می‌گردد. پس از بدست آوردن چهار ضریب تقریب اندیس آنها به‌صورت تصادفی انتخاب می‌گردد و به‌وسیله یک کانال امن به گیرنده ارسال می‌شود. این کار برای بالا بردن امنیت انجام شده است. به‌عبارت دیگر به چهار نمونه بدست آمده !۴ اندیس می‌توان اختصاص داد. به کمک کلید رمز در هر بلوک ما یکی از این ۲۴ حالت ممکن را انتخاب می‌کنیم.

حال فرض کنید اندیس‌ها اختصاص یافته و بردار $u=[u_1,u_2,u_3,u_4]$ انتخاب گردیده‌اند. همان‌طور که در مدل بیان شد $p=[u_1,u_2]$ و $q=[u_3,u_4]$ در فضای دوبعدی هستند. شکل (۱) این دو نقطه را بر خط فاصل بین آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر مراحل درج نهان نگاره بکمک چرخش نقاط

فرض می‌کنیم زاویه شیب این خط θ باشد. نقطه وسط این پاره‌خط در نقطه $\left[\frac{u_1+u_3}{2}+\frac{u_2+u_4}{2}\right]$ قرار دارد. اگر ما این پاره خط را به نقطه مبدأ منتقل کنیم به دو نقطه جدید p_c و q_c می‌رسیم. منظور از p_c و q_c نقاط مرکزی شده اند که به‌صورت زیر قابل بیان هستند.

$$p_c=\begin{pmatrix}u_1'\\u_2'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{u_1-u_3}{2}\\\frac{u_2-u_4}{2}\end{pmatrix},\ q_c=\begin{pmatrix}u_3'\\u_4'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{u_3-u_1}{2}\\\frac{u_4-u_2}{2}\end{pmatrix} \qquad (۹)$$

حال برای درج نهان‌نگاره ما این پاره خط را بر روی دو خط L_0 و L_1 تصویر می‌کنیم برحسب این‌که چه بیتی نهان شده باشد. درنتیجه پاره خط مرکزی شده بعد از درج صفر روی خط L_0 و بعد از درج یک روی خط L_1 تصویر می‌شود. شکل (۱) این فرایند را به‌طور ریز توضیح می‌دهد. ما به نقاط تصویر شده $p^\perp$ و $q^\perp$ می‌گوییم. شیب زاویه خط L_0 که متناظر با بیت پیام صفر است، مقدار α انتخاب می‌شود اگر θ (شب پاره خط متواصل بین p و q اولیه) مثبت باشد. درغیراین‌صورت $-\alpha$ انتخاب می‌گردد. به‌طور مشابه شیب خط L_1 یا $\frac{1}{\alpha}$ یا $-\frac{1}{\alpha}$ انتخاب می‌گردد.

محل نقطه تصویر شده $p^\perp$ در موقعی که بر روی یک خط دلخواه با شیب k تصویر می‌شود با تقاطع دو خط حاصل می‌شود. بدین منظور معادله زیر باید حل شود.

$$\begin{cases}y=kx\\ y-u_2'=-\frac{1}{k}(x-u_1')\end{cases} \qquad (۱۰)$$

و یک روند مشابه نیز برای $q^\perp$ صورت می‌پذیرد. بعد از ساده‌سازی راه حل به‌صورت زیر خلاصه می‌گردد.

$$p_\perp=\begin{pmatrix}\frac{u_1'+ku_2'}{k^2+1}\\\frac{ku_1'+k^2u_2'}{k^2+1}\end{pmatrix},\quad q_\perp=\begin{pmatrix}\frac{u_3'+ku_4'}{k^2+1}\\\frac{ku_3'+k^2u_4'}{k^2+1}\end{pmatrix} \qquad (۱۱)$$

در قدم آخر تنها کافی است تا ما پاره‌خط تصویر شده را به محل اولش انتقال دهیم. درنتیجه مجموعه نقاط جدید $p_w=[u''_1,u''_2]$ و $q_w=[u''_3,u''_4]$ بعد از انتقال حاصل می‌گردند.

$$p_w=\begin{pmatrix}u_1''\\u_2''\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{u_1'+ku_2'}{k^2+1}+\frac{u_1+u_3}{2}\\\frac{ku_1'+k^2u_2'}{k^2+1}+\frac{u_2+u_4}{2}\end{pmatrix}$$
$$q_w=\begin{pmatrix}u_3''\\u_4''\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\frac{u_3'+ku_4'}{k^2+1}+\frac{u_1+u_3}{2}\\\frac{ku_3'+k^2u_4'}{k^2+1}+\frac{u_2+u_4}{2}\end{pmatrix} \qquad (۱۲)$$

بنابراین با جای‌گذاری (۹) در (۱۲) کل روند به‌صورت زیر قابل بیان است. که در آن T(k) یک ماتریس تبدیل است.

$$\begin{pmatrix}u_1''\\u_2''\\u_3''\\u_4''\end{pmatrix}=\mathbf{T}(k)\begin{pmatrix}u_1\\u_2\\u_3\\u_4\end{pmatrix} \qquad (۱۳)$$

$$\mathbf{T}(k)=\frac{1}{2k^2+2}\times\begin{pmatrix}k^2+2 & k & k^2 & -k\\ k & 2k^2+1 & -k & 1\\ k^2 & -k & k^2+2 & k\\ -k & 1 & k & 2k^2+1\end{pmatrix} \qquad (۱۴)$$

که در آن

$$k=\begin{cases}\alpha & \text{for '1' embedding when } \theta\geq 0\\ \dfrac{1}{\alpha} & \text{for '0' embedding when } \theta\geq 0\\ -\alpha & \text{for '1' embedding when } \theta<0\\ -\dfrac{1}{\alpha} & \text{for '0' embedding when } \theta<0\end{cases} \qquad (۱۵)$$

بنابراین فرآیند درج نهان نگاره که در (۱۳) آمده است به‌راحتی قابل پیاده‌سازی است. در این تبدیل k براساس شیب اولیه پاره‌خط θ و بیت پیغام مخفی به‌صورت زیر انتخاب می‌شود، سپس از سیگنال نهان‌نگاری شده u"=[u"1,u"2,u"3,u"4]، بعد از آنکه اندیس آنها به حالت اول (به‌وسیله کلید رمز) درآمد، تبدیل معکوس موجک دوبعدی گرفته می‌شود.

۳-۲- استخراج نهان‌نگاره

برای استخراج نهان‌نگاره در هر بلوک ما از گیرنده بهینه استفاده می‌کنیم. فرض کنید y=[y1,y2,y3,y4] ضرایب تقریب با اندیس‌های مناسب باشند. این ضرایب آلوده به نویز جمع‌شونده سفیده شده‌اند. درنتیجه y=u"+n که $n\sim N(0,\sigma_n^2)$ می‌باشد. بدین معنی که متغیر تصادفی n یک متغیر تصادفی گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_n^2 می‌باشد.

همان‌طور که در [۲۰] نشان داده شده است ضرایب تقریب تصویر می‌توانند با دقت خوب با توزیع گوسی مدل شوند. ما از این مدل در تحلیل‌گیرنده بهینه خود بهره می‌بریم. همچنین فرض می‌کنیم نمونه‌ها مستقل با توزیع یکسان باشد.

ازآنجاکه اعمال ماتریس $T(k)$ یک عمل خطی است و این عملگر توزیع گوسی را گوسی نگه می‌دارد، همچنین نویز جمع‌شونده هم گوسی است، لذا سیگنال نهان‌نگاری شده بدست آمده هم گوسی خواهد بود. همچنین به‌دلیل استقلال نویز و نمونه‌های نهان‌نگاری شده، واریانس سیگنال دریافت شده به‌صورت $\sigma_y^2=\sigma_u^2+\sigma_n^2$ می‌باشد.

حال از مدل معرفی شده در قسمت قبل استفاده می‌کنیم. چهار ضریب بدست آمده از سیگنال دریافتی را با $p_r=[y_1,y_2]$ و $q_r=[y_3,y_4]$ در یک فضای دوبعدی انتخاب کرده و شیب خط واصل بین آنرا حساب می‌کنیم.

$$c=\frac{y_4-y_2}{y_3-y_1}=\frac{u_4''-u_2''+n_4-n_2}{u_3''-u_1''+n_3-n_1} \qquad (۱۶)$$

از آنجا که ما شیب نقاط سیگنال میزبان را بعد از اعمال نهان نگاری روی k ثابت کرده‌ایم طبق رابطه (۱۵) داریم:

$$k=\frac{u_4''-u_2''}{u_3''-u_1''}\Rightarrow u_4''-u_2''=k(u_3''-u'') \qquad (۱۷)$$

بنابراین اگر تعریف کنیم v= u"3 - u"1. می‌توان (۱۶) را به‌صورت زیر بازنویسی کرد.

$$c=\frac{kv+n_4-n_2}{v+n_3-n_1} \qquad (۱۸)$$

حال ما می‌خواهیم همبستگی بین صورت و مخرج را حساب کنیم. در واقع همان‌طور که دیده می‌شود در صورت و مخرج پارامتر v وجود دارد. لذا حتما یک همبستگی بالا بین صورت و مخرج موجود است. برای محاسبه ابتدا تابع توزیع v را باید محاسبه کنیم. با استفاده از (۱۴) و (۱۶) می‌توانیم بگوییم:

$$\begin{aligned}v&=u_3''-u''\\&=\frac{1}{k^2+1}(-u_1-ku_2+u_3+ku_4)\end{aligned} \qquad (۱۹)$$

از آنجا که سیگنال میزبان u گوی و مستقل است پارامتر v هم متغیر گوی با میانگین صفر و واریانس $\sigma_v^2=\frac{2}{1+k^2}\sigma_u^2$ می‌باشد. درنتیجه تابع توزیع در متغیر تصادفی a و b به‌صورت $a\sim N(0,k^2\sigma_v^2+2\sigma_n^2)$ و $b\sim N(0,\sigma_v^2+2\sigma_n^2)$ می‌باشد. ضریب همبستگی بین a و b مطابق رابطه زیر قابل بیان است:

$$r=\frac{k\sigma_v^2}{\sqrt{(k^2\sigma_v^2+2\sigma_n^2)(\sigma_v^2+2\sigma_n^2)}} \qquad (۲۰)$$

حال ما داریم $c=\frac{a}{b}$ که a و b دو متغیر گوسی وابسته با میانگین صفر است. مطابق بحث بخش قبل تابع توزیع متغیر c به‌صورت رابطه (۷) قابل بیان است.

با داشتن تابع توزیع متغیر شیب پاره خط، براحتی می توان گیرنده بهینه ML را برای آشکارسازی بکار برد.

$$\text{decision}=\begin{cases}1 & f_C(c\mid 1)-f_C(c\mid 0)>0\\ 0 & f_C(c\mid 1)-f_C(c\mid 0)<0\end{cases} \qquad (۲۱)$$

که $f_c(c|1)$ و $f_c(c|0)$ به‌ترتیب تابع توزیع متغیر c به شرط درج بیت یک و صفر می‌باشد. در اینجا بدون از دست دادن کلیت مساله فرض می‌کنیم که متغیر c مثبت است. خواهیم دید که بحث ما در مورد cهای منفی نیز درست خواهد بود. لذا داریم:

$$f_C(c)=\frac{1}{\pi}\frac{\sigma_{a|1}\sigma_{b|1}\sqrt{1-r_{|1}^2}}{\sigma_{b|1}^2(c-\frac{r_{|1}\sigma_{a|1}}{\sigma_{b|1}})^2+\sigma_{a|1}^2(1-r_{|1}^2)} \qquad (۲۲)$$

$$f_C(c)=\frac{1}{\pi}\frac{\sigma_{a|0}\sigma_{b|0}\sqrt{1-r_{|0}{}^2}}{\sigma_{b|0}^2(c-\frac{r_{|0}\sigma_{a|0}}{\sigma_{b|0}})^2+\sigma_{a|0}^2(1-r_{|0}{}^2)} \quad (۲۳)$$

که در آن

$$\sigma_{a|1}^2=\frac{2\alpha^2}{1+\alpha^2}\sigma_u^2+2\sigma_n^2,\ \sigma_{b|1}^2=\frac{2}{1+\alpha^2}\sigma_u^2+2\sigma_n^2,$$
$$\sigma_{a|0}^2=\frac{2}{1+\alpha^2}\sigma_u^2+2\sigma_n^2,\ \sigma_{b|0}^2=\frac{2\alpha^2}{1+\alpha^2}\sigma_u^2+2\sigma_n^2,$$
$$r_{|1}=r_{|0}=\frac{\alpha\sigma_u^2}{\sqrt{(\alpha^2\sigma_u^2+(1+\alpha^2)\sigma_n^2)(\sigma_u^2+(1+\alpha^2)\sigma_n^2)}}$$

این پارامترها با جایگزینی k (رابطه ۱۴) در واریانس‌های متغیرهای a و b نیز همبستگی بین آنها (u) بدست آمده‌اند. با قرار دادن (۲۳) و (۲۴) در رابطه (۲۱) و بعد از مقداری ساده‌سازی به راه ساده زیر می‌رسیم:

$$\text{decision}=\begin{cases}1 & c^2>1\\ 0 & c^2<1\end{cases} \quad (۲۴)$$

همانطور که دیده می شود آشکار ساز بهینه مستقل از α عمل می کند. همچنین واضح است که برای c های منفی نیز بحث به همین گونه است. (تنها می‌بایست علامت v_0 و v_1 عوض شود).

۴–تحلیل عملکرد

در اینجا می‌خواهیم احتمال خطای سیستم پیشنهادی را در حضور نویز بدست آوریم. خطا هنگامی رخ می‌دهد که بیت یک نهان کرده باشیم و صفر آشکار شده باشد و بالعکس. با توجه به تقارن موجود در این دو نوع خطا ما به بررسی یکی از آنها می‌پردازیم.

ابتدا به بررسی احتمال خطا هنگامی‌که شیب پاره خط واصل (p,q) مثبت است می‌پردازیم. لذا طبق رابطه (۲۴) احتمال خطا به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\begin{aligned}P_e^+&=\frac{1}{2}P(c^2<1\,|\,1)+\frac{1}{2}P(c^2<1\,|\,0)\\&=\frac{1}{2}P(-1<c<1\,|\,1)+\frac{1}{2}P(c<-1\ or\ c>1\,|\,0)\\&=\frac{1}{2}\{F_{C\,|\,1}(1)-F_{C\,|\,1}(-1)+1-F_{C\,|\,0}(1)\\&+F_{C\,|\,0}(-1)\}\end{aligned} \quad (۲۵)$$

با جایگزینی $F_c(r)$ در (۸) خواهیم داشت.

$$\begin{aligned}P_e^+=\frac{1}{2}+\Bigg[&\tan^{-1}\frac{\sigma_{b|1}-r\sigma_{a|1}}{\sigma_{a|1}\sqrt{1-r^2}}\\&-\tan^{-1}\frac{-\sigma_{b|1}-r\sigma_{a|1}}{\sigma_{a|1}\sqrt{1-r^2}}\\&-\tan^{-1}\frac{\sigma_{b|0}-r\sigma_{a|0}}{\sigma_{a|0}\sqrt{1-r^2}}\\&+\tan^{-1}\frac{-\sigma_{b|0}-r\sigma_{a|0}}{\sigma_{a|0}\sqrt{1-r^2}}\Bigg]\end{aligned} \quad (۲۶)$$

که $r=r_{|0}=r_{|1}$ همان‌طور که در (۲۳) آمده است. در رابطه مذکور داریم $\sigma_{a|1}=\sigma_{b|0}$ و $\sigma_{a|0}=\sigma_{b|1}$. بنابراین اگر تعریف کنیم $d=\frac{\sigma_{a|1}}{\sigma_{b|1}}$، رابطه (۲۶) به‌صورت زیر ساده می‌شود.

$$\begin{aligned}P_e^+=\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}(&\tan^{-1}\frac{d^{-1}-r}{\sqrt{1-r^2}}\\&+\tan^{-1}\frac{d^{-1}+r}{\sqrt{1-r^2}}-\tan^{-1}\frac{d+r}{\sqrt{1-r^2}}\\&-\tan^{-1}\frac{d-r}{\sqrt{1-r^2}})\end{aligned} \quad (۲۷)$$

با یک بحث مشابه می‌بینیم که احتمال خطا هنگامی‌که شیب پاره خط منفی است همانند P_e^+ محاسبه می‌گردد. به‌عبارت دیگر $P_e^-=P_e^+$. درنتیجه $P_e=\frac{1}{2}(P_e^+ +P_e^-)=P_e^+$ در شکل (۴) نتایج محاسبات تئوری با نتایج تجربی در σ_n=40 مقایسه شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود محاسبات با مشاهدات تطابق خوبی دارند. برای ارزیابی عملکرد ما از دو پارامتر نسبت توان نهان نگاره به توان نویز (WNR) و نسبت توان سیگنال میزبان به توان نهان‌نگاره (DWR) استفاده می‌کنیم. این پارامترها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$DWR=10\log\frac{E\{\|x_i\|^2\}}{E\{\|x_i'-x\|^2\}} \quad (۲۸)$$

$$WNR=10\log\frac{E\{\|x_i'-x\|^2\}}{E\{\|v_i-x_i'\|^2\}} \quad (۲۹)$$

در این روابط x سیگنال میزبان است و x' و v به ترتیب سیگنال نهان‌نگاری شده و دریافتی بعد از کانال می‌باشند.

۵–بهینه‌سازی زاویه چرخش

زاویه چرخش θ که در واقع شیب پاره‌خط را تعیین می‌کند، نقش اساسی در عملکرد الگوریتم پیشنهادی دارد. در واقع مقدار آن از دو دیدگاه قابل ارزیابی است. ۱- نامرئی بودن: با افزایش θ، اعوجاج بیشتری به سیگنال میزبان اعمال می‌گردد که ممکن است وجود نهان‌نگاره را محسوس سازد. ۲- مقاومت: با افزایش θ، الگوریتم در برابر حملات مختلف مقاوم‌تر خواهد بود. از آنجا که یک مصالحه بین نامرئی بودن و مقاومت وجود دارد، ما در اینجا از یک روش بهینه‌سازی چند هدفه برای تعیین مقدار مناسب θ استفاده خواهیم کرد.

به‌منظور نشان دادن تأثیر θ در میزان اعوجاج اعمالی در تصویر، ما از اندیس اندازه‌گیری کیفیت در تصویر که در [۱۹] و [۲۰] ارائه شده است بهره می‌بریم. در این رهیافت اندازه‌گیری کیفیت، هر گونه اعوجاج با درنظرگرفتن مدل بینایی انسان برحسب سه عامل. ۱- کاهش شباهت، ۲- اعوجاج روشنایی و ۳- اعوجاج وضوح، بیان می‌شود. این مدل ارزیابی کیفیت از تمام مدل‌های ارزیابی پیشین نظیر MSE، PSNR و غیره بهتر عمل می‌کند و تطابق بسیار خوبی با تست‌های دیداری دارد.

اگر تصویر اصلی و نهان‌نگاری شده با x و y نشان داده شوند. اندیس اندازه‌گیری کیفیت Q به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Q = \frac{(\hat{x}\hat{y} + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{[(\hat{x})^2 + (\hat{y})^2 + C_1](\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \qquad (۳۰)$$

که در آن $\hat{x}$, $\hat{y}$, σ_x^2 و σ_y^2 به‌ترتیب میانگین و پراش x و y هستند. پارامترهای C_1 و C_2 بر طبق زیرند:

$$C_1 = (K_1 L)^2, \quad C_2 = (K_2 L)^2$$

که L بازه دینامیکی تغییرات نمونه‌های تصویر است (۲۵۵ برای ۸ بیت) و $K_1, K_2 \ll 1$. بدین معنی که این پارامترها بسیار کوچک‌تر از یک هستند. (در این کار $K_1 = 0.01$ و $K_2 = 0.03$ لحاظ شده است). دامنه تغییرات Q بین [-۱،۱] است. مقدار یک تنها وقتی بدست می‌آید که مقادیر $y_i = x_i$ برای تمام i ها باشد.

از آنجا که تصویر به‌طور کلی یک سیگنال غیرایستان است و کیفیت آن در جاهای مختلف متفاوت است, این کار معقول است که اندازه‌گیری به‌صورت محلی صورت پذیرد و سپس به‌صورت آماری با هم جمع شود. در [۱۹] پیشنهاد شده است که اندازه‌گیری کیفیت در بلوک‌های جدا صورت پذیرد Q_j، و اندیس کیفیت نهایی از جمع حسابی Q_jها مطابق با (۳۱) صورت پذیرد.

$$Q = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} Q_j \qquad (۳۱)$$

با این حال از آنجا که قضاوت انسان عموماً بر روی بدترین بلوک‌ها صورت می‌پذیرد یا به بیان دیگر، چشم انسان کیفیت را از بلوک‌های خراب می‌فهمد، ما تصمیم گرفتیم که از میانگین هندسی بجای میانگین حسابی استفاده کنیم. بنابراین اندیس کیفیت نهایی مطابق زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \left(\prod_{j=1}^{M} Q_j\right)^{\frac{1}{M}} \qquad (۳۲)$$

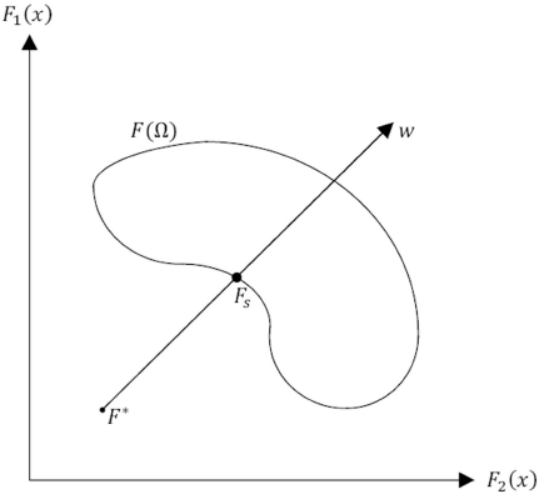
بنابراین با تعریف اندیس اندازه‌گیری کیفیت ما دو تابع هدف داریم: که $f_D(\theta)$ بیانگر نقش θ در مسیر اعوجاج است و به‌صورت $f_D(\theta) = 1 - D(\theta)$ تعریف می‌شود و $f_E(\theta)$، که بیانگر مقاومت الگوریتم است و از روی روابط احتمال خطا در (۲۷) محاسبه می‌گردد. تابع $f_D(\theta)$ یک تابع یکنوا و صعودی از θ است. در حالی که تابع $f_E(\theta)$ تابع نزولی اکید است. هدف ما در اینجا پیدا کردن θ بهینه برای کمینه‌کردن هر دو تابع هدف است. از آنجا که این دو تابع، ماهیتاً با هم تفاوت دارند ما نمی‌توانیم آنها را به‌صورت وزن‌دار جمع کنیم. برای این منظور از روش بهینه‌سازی چندهدفه کسب هدف Gembichi [۲۲] استفاده می‌کنیم. در این روش برای بهینه‌سازی m تابع که بین آنها مصالحه وجود دارد، یکسری هدف در نظر گرفته می‌شود $F^* = [F_1^*, F_2^*, ..., F_m^*]$ و با در نظر گرفتن یکسری وزن $w = [w_1, w_2, ..., w_m]$. نقطه یا ناحیه بهینه بدست می‌آید. روش کسب هدف بصورت زیر بیان می‌گردد.

$$\min_{\lambda \in \mathbb{R}} \text{ subject to } F_i(x) - w_i \lambda \le F_i^*, \quad i = 1, 2, ..., m, \quad x \in \Omega \qquad (۳۳)$$

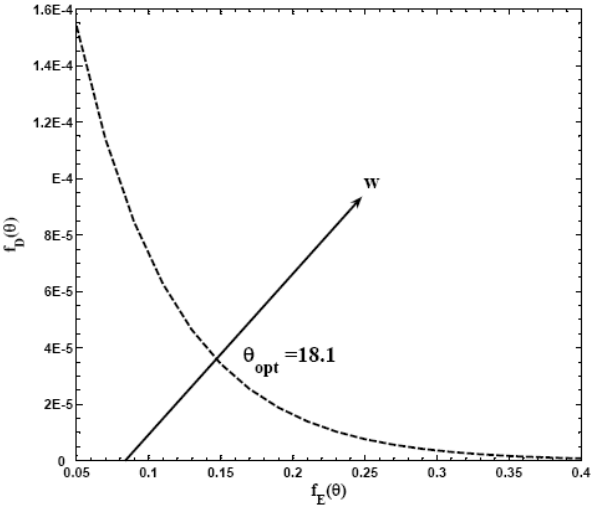
که در آن Ω ناحیه حصول در فضای پارامتر x و λ متغیر کمکی بدون علامت است. بردار وزن w در واقع طراح را قادر به برقراری مصالحه مناسب بین اهداف می‌گرداند. بعبارت دیگر اگر ما بتوانیم یک هدف را با مقادیر بیشتر تحمل کنیم, وزن کمتری را به آن تخصیص می‌دهیم و بالعکس.

شکل (۲) بصورت هندسی روش کسب هدف را برای دو تابع هدف نشان می‌دهد. در این شکل $F(\Omega)$ یک ناحیه قابل

دسترس در فضای توابع هدف است. کمترین مقدار λ در F_s رخ می‌دهد, جایی که بردار $F^*+w\lambda$ مرز پایینی فضای اهداف را قطع می‌کند.



شکل ۲- روش بهینه سازی کسب هدف

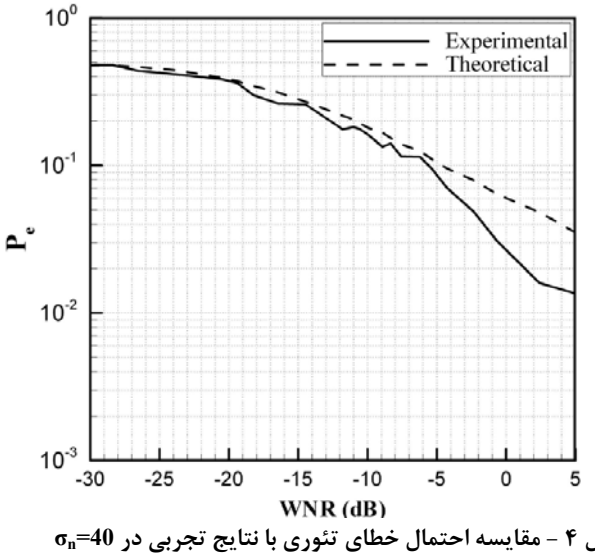


شکل ۳- پیاده سازی روش بهینه سازی کسب هدف برای بدست آوردن θ بهینه

در شکل (۳) روش کسب هدف بر روی تصویر باربارا نشان داده شده است. در این شکل مقدار $f_E(\theta)$ بر حسب $f_D(\theta)$ رسم شده است در حالی‌که پارامتر θ برحسب وزن تغییر می‌کند. با توجه به این شکل دیده می‌شود که با انتخاب بردار وزن به‌صورت [۰/۴ ۰/۶] برای $(f_D(\theta)\ ,\ f_E(\theta))$ ، نقطه بهینه θ =۱۸/۱ درجه بدست آمده است. روند مشابهی برای بدست آوردن θ بهینه برای هر تصویر طی شده است.

۶-نتایج تجربی

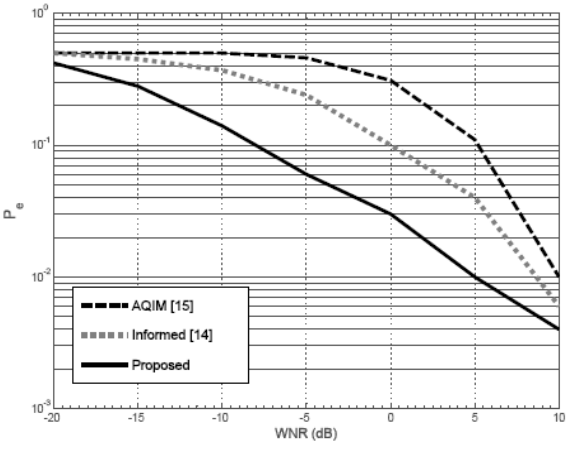
ما برای ارزیابی روش پیشنهادی خود آزمایش‌های بسیاری را روی تصاویر گوناگون انجام دادیم و عملکرد الگوریتم نهان‌نگاری را در برابر حملات متداول به بوته آزمایش گذاشتیم. در تجربه نخست برای تست صحت روش و نیز درستی روابط ریاضی استخراج شده، ما عملکرد روش را بر روی سیگنال مصنوعی گوسی (دقیقاً مدل فرض شده) در حضور نویز سفید گوسی آزمودیم. توان نهان نگاره با DWR اندازه‌گیری می‌شود ۲۲db می‌باشد. نتایج روش برای نویزهای متفاوت که با نسبت توان نهان‌نگاره به توان نویز (WNR) سنجیده می‌شود در شکل (۴) آمده است. همچنین نتایج با روش کوانیزاسیون زاویه ای که در [۱۵] آمده و نیز کدهای مخروطی در [۱۴] مقایسه شده است. همان‌طور که می‌بینیم نتایج روش پیشنهادی بهتر از AQIM می‌باشد. این موضوع بهبود عملکرد طرح دورانی را به کوانیزاسیون برداری به‌خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۴ - مقایسه احتمال خطای تئوری با نتایج تجربی در σ_n=40

حال شبیه‌سازی را برای تصاویر واقعی تصاویر انجام می‌دهیم. در این راستا از موجک با فیلترهای متقارن Daubechies استفاده می‌کنیم. درج نهان‌نگاره در سطح دوم ضرایب تقریب در هر بلوک صورت می‌پذیرد. نتایج با میانگین‌گیری روی ۵۰ اجرای متفاوت صورت پذیرفته است. به این منظور تصاویر زیادی نظیر هواپیما، دزد دریایی، قایق و پل با اندازه ۵۱۲×۵۱۲ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تصاویر پاک و نهان‌نگاری شده با بلوک‌های ۱۶×۱۶ که شامل مجموعاً ۱۳۸ بیت نهان‌نگاره هستند در شکل (۶) ,(۷) به نمایش درآمده‌اند. همچنین زاویه θ که در قبل معرفی شد بنا به تصویر بین

۱۶ تا۲۰ درجه انتخاب شده است. این مقادیر برحسب رابطه بهینه‌سازی (۳۳) بدست آمده‌اند؛ به‌گونه‌ای که هم‌پایداری خوبی در برابر حملات داشته باشد و هم شفافیت نهان‌نگاره حفظ شود. همان‌طور که در شکل (۶) هویدا است، نامحسوس بودن نهان‌نگاره به‌خوبی لحاظ شده است. پارامتر بیشینه نسبت سیگنال به نویز (PSNR) در تصاویر مربوط به‌ترتیب ۴۰/۴۰، ۴۰/۴۵، ۳۹/۹ و ۴۰/۸ می‌باشند.



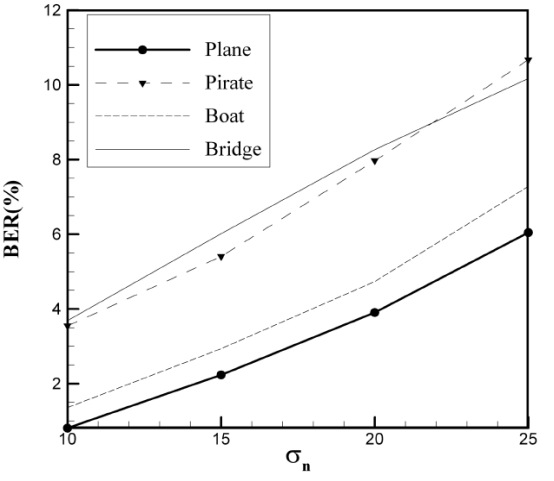
شکل ۵ – مقایسه احتمال خطای روش پیشنهادی با روش [۱۵] و [۱۴]

شکل ۶- چپ تصویر اصلی و راست تصویر نهان نگاری شده (تصاویر هواپیما و دزد دریایی)

اولین حمله‌ای که اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد نویز سفید گوسی است. شکل (۸) و (۹) نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که مشهود است الگوریتم دوران در مقابل نویز به‌شدت مقاوم است. مهمترین دلیل این مقاومت بهینه بودن الگوریتم آشکارسازی است. حمله دوم در اینجا بررسی می‌شود فشرده‌سازی به‌روش JPEG است. مقاومت بالا نسبت‌به این حمله در این نکته نهفته است که اطلاعات نهان‌نگاری در ضرایب تقریب نهفته شده‌اند. لذا الگوریتم JPEG که عموماً روی مؤلفه‌های فرکانس بالای تصویر کار می‌کند نمی‌تواند روش پیشنهادی را تخریب کند.

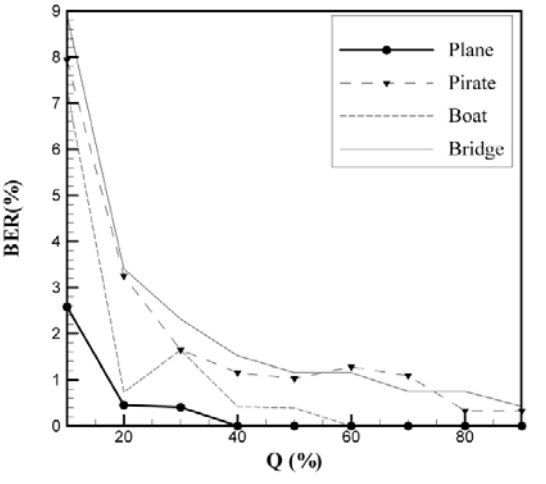
شکل ۷- چپ تصویر اصلی و راست تصویر نهان‌نگاری شده (تصاویر قایق و پل)



شکل ۸ – حمله نویز به‌ازای واریانس‌های متفاوت

در حمله سوم فیلتر میانه و فیلتر گوسی بر روی الگوریتم نهان‌نگاری اعمال شده‌اند. جدول (۱) درصد احتمال خطای بیت را نشان می‌دهد که نتایج حاصل نشان‌دهنده این است که روش ارائه

شده مقاومت بالایی نسبت‌به این نوع حملات دارد. دلیل این امر نیز نهان‌نگاری در ضرایب حاوی فرکانس پایین است.



شکل ۹- حمله فشرده‌سازی بازای ضریب کیفیت‌های گوناگون

جدول ۱- نتایج شبیه سازی بعد از فیلتر گوسی و میانه

تصویر	فیلتر میانه	فیلتر گوسی		
	۳×۳	۳×۳	۵×۵	۷×۷
هواپیما	۲/۶۹	۰/۳۹	۱/۱۹	۱/۱۹
دزد دریایی	۵/۲۳	۱/۶۶	۲/۴۱	۲/۷۷
قایق	۱۳/۱۳	۱/۷۳	۲/۳۱	۲/۶۹
پل	۱۳/۱۴	۱/۱۱	۲/۶۶	۲/۸۰

درنهایت ما روش پیشنهادی را با دو روش کور و جدید مقایسه نموده‌ایم [۱۵] و [۲۳]. همان‌طور که جدول (۲) و (۳) نمایش می‌دهد الگوریتم دوران بطور محسوس دارای عملکرد بهتر از این دو روش است.

جدول ۲- مقایسه روش پیشنهادی با [۱۵] در حضور نویز

روش	σ_n						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
[۱۵]	۱/۰	۲/۰	۳/۰	۴/۰	۱۵/۰	۲۵/۰	۴۴/۰
پیشنهادی	۰/۰	۰/۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۴۳	۱/۲۵	۱/۰۵

چنان‌که دیده می‌شود با افزایش نویز روش [۱۵] دچار شکست می‌گردد به‌عبارتی احتمال خطای بیت به‌سمت ۵۰ در صد میل می‌کند که این موضوع نشان‌دهنده‌ی شکست الگوریتم ارائه شده در [۱۵] در برابر این نوع حملات می‌باشد. درحالی‌که روش پیشنهادی مقاومت خود را حفظ می‌کند. در جدول (۳) نیز روش پیشنهادی با روش ارائه شده در [۲۳] مقایسه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهند که روش معرفی شده مقاومت بهتری نسبت‌به [۲۳] بعد از اعمال فیلتر میانه دارد.

جدول ۳- مقایسه روش پیشنهادی با [۲۳] بعد از اعمال فیلتر میانه ۳×۳

روش	تصویر			
	باربارا	میمون	فلفل	تپه طلا
[۲۲]	۲۴/۹۵	۳۱/۶۵	۲۹/۳۵	۲۵/۶۰
پیشنهادی	۸/۰	۱۰/۸۸	۴/۲۵	۱/۹۵

۷–نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش کور نهان‌نگاری مبتنی‌بر چرخش شیب پاره‌خط حاصل از چهار نمونه تصادفی از ضرایب تقریب بلوک‌های غیرهمپوشان تصویر معرفی گردید و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. با فرض گوسی بودن نمونه‌های تقریب تابع چگالی تجمعی و احتمال شیب پاره‌خط محاسبه گردید و گیرنده بهینه در حضور نویز برای آن طراحی شد. برای بهینه بودن توان نهان‌نگاره که وابسته به میزان چرخش شیب پاره‌خط داشت از روش بهینه‌سازی چندهدفه استفاده شد. برای ارضای شرط شفافیت از اندیس اندازه‌گیری کیفیت و برای مقاومت در برابر حملات روابط تحلیلی احتمال خطا مورد استفاده قرار گرفت. در نتیجه این بهینه‌سازی، درج نهان نگاره در ضرایب تقریب موجک و نیز بهینه‌بودن گیرنده روش بسیار مقاومی پدید آمد که بر روش‌های پیشین برتری دارد. نتایج شبیه‌سازی‌ها بهتر بودن عملکرد الگوریتم پیشنهادی را بر سایر روش‌ها تأیید می‌کند. همچنین بدلیل ماهیت شیب پاره‌خط که با تغییر ضریب بهره بدون تغییر باقی می‌ماند روش نسبت‌به حمله بهره نیز مقاوم است. کار آینده می‌تواند تعمیم عمل درج نهان‌نگاری به چندنشانه‌ای (M-array) به‌جای باینری باشد.

۸– مراجع

[1] Chun-Shien Lu; **Multimedia Security: Steganography and Digital Watermarking Techniques for Protection of Intellectual Property**, Idea Group Publishing, 1st ed., 2002

[2] F.A.P. Petitcolas, R.J. Anderson, M.G. Kuhn; "**Information Hiding—A Survey**", Proc. IEEE, Vol. 87, No. 7, pp. 1062–1078, 1999.

[3] I.J. Cox, M.L. Miller, J.A. Bloom; **Digital Watermarking** (1st Ed.). San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002.

[4] J. Seitz; **Digital Watermarking for Digital Media**, Information Science Publishing, 1st ed., 2005.

[5] A. Ker; **Improved Detection of LSB Steganography in Grayscale Images,** in Proc. Information Hiding Workshop 3200, Springer LNCS, pp. 97 – 115, 2004.

[6] J.Mielikainen, "**LSB Matching Revisited**", IEEE signal processing letters, Vol. 13, No. 5, pp. 285-287, May 2006.

[7] B. Chen, G. Wornell; **"Quantization Index Modulation: A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information Embedding",** IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. 47, No. 4, pp. 1423 - 1443, May 2001.

[8] J. J. Eggers, R. Bauml, R. Tzschoppe, B. Girod; "**Scalar Costa Scheme for Information Embedding**", IEEE Trans. Signal Process., Vol. 4, No. 51, pp. 1003 - 1019, Apr. 2003.

[9] Q. Zhang, N. Boston; "**Quantization Index Modulation Using E8 Lattice**", in Proc. 41th Annual Allerton Conf. on Communication, Control and Computing, Allerton, IL, USA, 2003.

[10] K. Yeo, H. J. Kim; **"Modified Patchwork Algorithm: A Novel Audio Watermarking Scheme",** IEEE Trans. Speech Audio Process., Vol. 11, No. 4, pp. 381 – 386, Jul 2003

[11] K. Yeo, H.J. Kim; "**Generalized Patchwork Algorithm for Image Watermarking**", Multimedia Syst. Vol. 9, No. 3, pp. 261 - 265, 2003

[12] J.J. Eggers, R. Bauml, B. Girod; "**Estimation of Amplitude Modifications Before SCS Watermark Detection**", in Proc. SPIE Security Multimedia Content P. W. Wong and E. J. Delp, Eds. San Jose, CA, Vol. 4675, No. 1, pp. 387 - 398, Jan 2002

[13] J.H. Conway, N.J.A. Sloane; **Sphere Packing, Lattices, and Groups**, New York: Springer-Verlag, 2nd ed.,1999

[14] M.L. Miller, G.J. Doerr, I. J. Cox; "**Applying Informed Coding and Embedding to Design Robust, High Capacity, Watermark**", IEEE Trans. Image Process., Vol. 13, No. 16, pp. 792 - 807, June 2004.

[15] C. Chen, X. Wu; "**An Angel QIM Watermarking Based on Watson Berceptual Model**," in Proc. International Conference on Image and Graphics, Chengdu, Sichuan, China, 2007.

[16] F. Ourique, F. Perez-Gonzalez; **"Angel QIM: A Novel Watermarking Embedding Scheme Robust Against Amplitude Scaling Distortion",** in Proc. ICASSP 2005, Vol.2, No. 1, pp. 797 - 800, 2005.

[17] F. Perz-Gonzalez, C. Mosquera, M. Barni, A. Abrado; "**Rational Dither Modulation: A High Rate Rata-Hiding Method Invariant to Gain Attacks**", IEEE Trams. Signal Process. Vol. 53, No. 10, pp. 3960 - 3975, Oct 2005.

[18] S.M.E. Saheaeian, M.A. Akhaee, F. Marvasti; "**Blind Image Watermarking Based on Sample Rotation with Optimal Detector**", Accepted in 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Glasgow, Scotland, UK, 2009.

[19] Z. Wang, A.C. Bovik; "**Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity**", IEEE Trans. on Image Process., Vol. 13, No. 4, pp. 600–612, 2004

[20] Z. Wang, A.C. Bovik; "**A Universal Image Quality Index**", IEEE Signal Processing Letters, Vol. 9, No. 3, pp. 81 – 84, 2002.

[21] M.A. Akhaee, S.M.E. Sahraeian, B. Sankur, F. Marvasti; "**Robust Scaling Based Image Watermarking Using Maximum Likelihood Decoder with Optimum Strength Factor**", IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 11, No.4, pp. 431 - 444, Aug 2009

[22] F. Gembicki , Y. Haimes; "**Approach to Performance and Sensitivity Multiob-Jective Optimization: The Goal Attainment Method**", IEEE Transactions on Automatic control, Vol. 20, No. 6, pp. 769 - 771, 1975.

[23] Y. Wang, J.F. Doherty, R.E. Van Dyck; "**A Wavelet-Based Watermarking Algorithm for Ownership Verification of Digital Images**", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 11, No. 2, pp. 77 – 88, 2002.