

تاریخ دریافت مقاله:
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۲/۰۳

تنظیم قوت ته‌نقش در ته‌نقش‌گذاری وفقی تصاویر دیجیتال با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی

سعید ابراهیم‌زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران
saeed1@yahoo.com

علی محمد لطیف*

دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
alatif@yazd.ac.ir

زینب مهرنهاد

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی کامپیوتر، پردیس فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
z-mehrnahad@stu.yazd.ac.ir

چکیده:

سامانه‌های ته‌نقش‌گذاری^۱ تصویر در هر کاربرد به ویژگی‌های خاصی نیاز دارند. از مهم‌ترین ویژگی‌های مشترک این سامانه‌ها شفافیت و مقاومت است. شفافیت و مقاومت به ضروری به نام قوت ته‌نقش^۲ وابسته است. در اثر افزایش قوت ته‌نقش مقاومت افزایش و شفافیت کاهش می‌یابد و لذا داشتن دو ویژگی مقاومت و شفافیت به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر نیست و باید با انتخاب قوت ته‌نقش مناسب، مصالحه‌ای بین این دو ویژگی برقرار کرد. در این مقاله با استفاده از اتوماتای سلولی یادگیر، الگوریتمی ارائه شده است که تابع برازندگی پیشنهادی را افزایش داده و قوت ته‌نقش مناسب را جست‌وجو می‌کند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی جواب‌های مناسبی را

در مقایسه با روش ژنتیک تولید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ته‌نقش‌گذاری، اتوماتای یادگیر سلولی، قوت ته‌نقش.

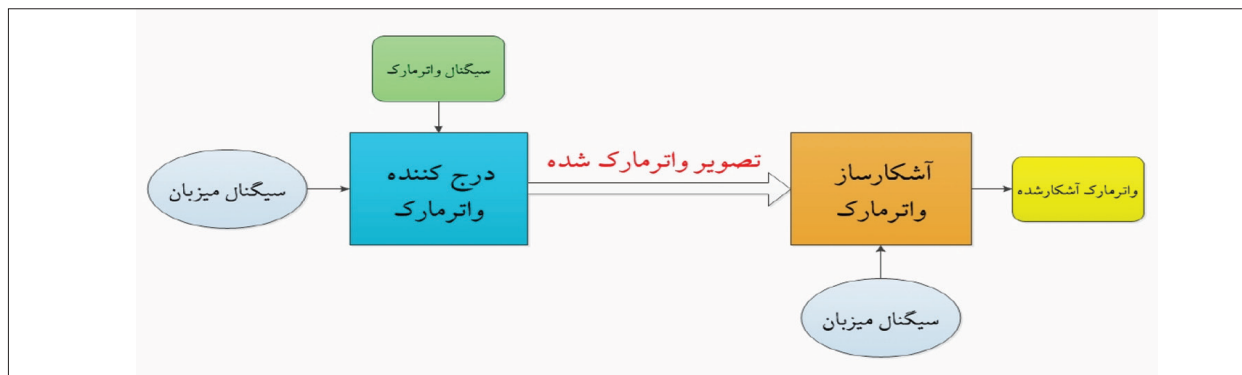
۱- مقدمه

مالکیت تصاویر دیجیتالی مورد توجه هنرمندان و صاحبان اثرهای دیجیتالی است. هنرمندان و صاحبان اثرهای دیجیتالی خواهان آن هستند که آثار هنری خود را در مقابل نسخه‌های غیرمجاز محفوظ نگه‌داشته و کلیه حقوق نشر و تکثیر، متعلق به آن‌ها باقی بماند. برای حل این مشکل از ته‌نقش‌گذاری استفاده شده است.

ته‌نقش‌گذاری هنر پنهان کردن داده در یک داده میزبان است؛ به‌گونه‌ای که با چشم قابل تشخیص نباشد و در طی پردازش‌های اعمال‌شده روی تصویر از بین نرود و فقط

* نویسنده مسئول

1- watermarking
2- watermark



شکل ۱: سامانه ته‌نقش‌گذاری

ندارد و استخراج بدون استفاده از آن صورت می‌گیرد. به این روش‌ها، روش‌های کور یا عمومی گفته می‌شود [۵].

۱-۱- ویژگی‌های ته‌نقش‌گذاری

سامانه‌های ته‌نقش‌گذاری در کاربردهای متفاوت دارای ویژگی‌های مختلفی هستند؛ دسته‌ای از ویژگی‌ها در اغلب کاربردها به صورت مشترک وجود دارند. برگشت‌پذیر بودن، شفافیت، مقاومت، امنیت، کم‌هزینه بودن، نوع اطلاعات قابل درج، میزان اطلاعات قابل درج و نحوه بازیابی اطلاعات درج‌شده از جمله ویژگی‌های ته‌نقش‌گذاری می‌توان نام برد [۶].

شفافیت به معنای عدم تشخیص ته‌نقش در تصویر توسط انسان است. منظور از مقاومت آن است که ته‌نقش در مقابل پردازش‌های تصویری از قبیل فشرده‌سازی، چرخش، بهبود تباین، برش و پالایش مقاوم باشد [۷-۸].

۲-۱ انواع ته‌نقش‌گذاری

ته‌نقش‌گذاری در دو حوزه مکان و فرکانس صورت می‌گیرد. از روش‌های ته‌نقش‌گذاری در حوزه مکان می‌توان به روش LSB^۲ اشاره نمود که اطلاعات ته‌نقش روی بیت‌های کم‌ارزش سیگنال میزبان درج می‌شوند. از خصوصیت‌های روش LSB می‌توان به شفافیت بالا، مقاومت کم و الگوریتم ساده اشاره نمود [۹].

در روش‌های ته‌نقش‌گذاری حوزه فرکانس، ابتدا تصویر به حوزه فرکانس برده می‌شود و سپس اطلاعات ته‌نقش به آن افزوده و در پایان به حوزه مکان برگردانده

افراد مجاز قادر به استخراج داده باشند [۱-۲].

ته‌نقش‌گذاری اولین بار در ایتالیا با عنوان ته‌نقش کاغذی مطرح شد. برای درج ته‌نقش کاغذی، در مرحله تولید کاغذ از شبکه‌های سیمی به صورت علائم خاص، در خمیرکاغذ استفاده می‌شود. همچنین از ته‌نقش برای نشان دادن علائم تجاری سازنده کاغذ و در بعضی موارد برای زیبایی می‌توان استفاده کرد [۳].

یک سامانه ته‌نقش‌گذاری رقمی از دو بخش درج‌کننده و آشکارساز ته‌نقش تشکیل شده است. اجزای این سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است [۴].

سیگنال ته‌نقش با الگویی مناسب در بخش درج‌کننده ته‌نقش در سیگنال میزبان درج می‌گردد و سیگنال ته‌نقش‌گذاری شده برای ذخیره‌سازی یا ارسال تهیه می‌شود. سیگنال ته‌نقش‌گذاری شده در هنگام ارسال ممکن است مورد حمله یا تحت تأثیر نوفه قرار گیرد که منجر به عدم تطابق ته‌نقش آشکارشده با ته‌نقش اصلی می‌شود. در بخش آشکارساز ته‌نقش، سیگنال ارسال شده دریافت می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم مناسب ته‌نقش استخراج و اصالت ته‌نقش بررسی می‌گردد.

در بعضی از کاربردهای ته‌نقش‌گذاری در مرحله آشکارسازی ته‌نقش دسترسی به سیگنال میزبان وجود دارد، به طوری که از آن می‌توان در استخراج ته‌نقش استفاده کرد. این روش به ته‌نقش‌گذاری غیرکور یا خصوصی معروف است. در بعضی دیگر از کاربردها در مرحله آشکارسازی به سیگنال میزبان دسترسی وجود

3- Least Significant Bit

می‌شود. یکی از تبدیل‌ها در این حوزه تبدیل کسینوسی گسسته (DCT)^۴ است [۹].

۳-۱ کاربردهای ته‌نقش‌گذاری

کاربردهای ته‌نقش‌گذاری براساس اطلاعاتی که به عنوان ته‌نقش در سیگنال میزبان درج می‌شود، به سه گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند.

الف) کنترل حق تألیف: در این گروه هدف از ته‌نقش، درج اطلاعاتی در مورد مالکیت محصول است. به عبارتی در صورت استخراج صحیح ته‌نقش می‌توان صاحب اثر را شناسایی نمود. از کاربردهای این گروه می‌توان به تعیین هویت مالک^۵، اثبات مالکیت^۶، کنترل نسخه‌برداری^۷ و اثر انگشت^۸ اشاره نمود.

ب) اعتبارسنجی محتوا: در این گروه هدف از ته‌نقش‌گذاری، آشکارسازی هرگونه تغییر و جعل محتوا است. بعد از استخراج ته‌نقش می‌توان تعیین نمود که آیا اطلاعات سیگنال میزبان تغییراتی داشته است یا خیر؟ در این گروه می‌توان کاربرد تصدیق داده^۹ و اثبات جعل را نام برد. پ) مخفی‌سازی داده: در این گروه هدف انتقال اطلاعات به صورت جانبی است که این اطلاعات به صورت نامحسوس در سیگنال میزبان درج می‌شود. از این گروه می‌توان به نظارت بر پخش^{۱۰} و کنترل دستگاه^{۱۱} اشاره نمود [۱۰].

ویژگی شفافیت و مقاومت در تضاد با هم هستند یعنی با افزایش شفافیت مقاومت کاهش می‌یابد و با افزایش مقاومت، شفافیت کاهش می‌یابد. قوت ته‌نقش، شدت درج تصویر ته‌نقش در تصویر اصلی است. لذا با انتخاب قوت ته‌نقش مناسب، می‌توان مصالحه‌ای بین دو ویژگی شفافیت و مقاومت ایجاد نمود.

در سال ۲۰۰۹ میلادی اسلنتس و همکاران [۱۰] برای

- 4- Discrete Cosine Transform
- 5- Owner Identification
- 6- Proof of Ownership
- 7- Copy Control
- 8- Fingerprinting
- 9- Data Identification
- 10- Broadcast Monitoring
- 11- Device Control

به‌دست آوردن بالاترین مقدار دو ویژگی شفافیت و مقاومت از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب وفقی ضرایب باند میانی تبدیل گسسته کسینوسی استفاده کردند. در روش‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین قوت ته‌نقش به دلیل بزرگ بودن فضای جستجو، زمان اجرای الگوریتم زیاد است.

در این مقاله قوت ته‌نقش توسط اتوماتای یادگیر سلولی و با استفاده از یک تابع برازندگی مناسب تعیین می‌گردد. اتوماتای یادگیر سلولی کار خود را به صورت تصادفی از یک نقطه شروع می‌کند و با استفاده از الگوریتم یادگیری سعی می‌نماید که تابع برازندگی را افزایش دهد و قوت ته‌نقش مناسب را جستجو کند.

در ادامه مقاله در بخش دوم اتوماتای یادگیر سلولی مطرح خواهد گردید. در بخش سوم نحوه درج و استخراج ته‌نقش و بخش چهارم روش پیشنهادی شرح داده می‌شود و در بخش پنجم نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- اتوماتای یادگیر سلولی

اتوماتای سلولی مدلی است که برای سیستم‌هایی به کار می‌رود که از اجزاء ساده تشکیل شده‌اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگان و تجربه‌های گذشته آن تعیین می‌گردد [۱۲-۱۱]. اتوماتای یادگیر سلولی همان اتوماتای سلولی است که به هر سلول آن یادگیری افزوده شده است. همسایگی در اتوماتای یادگیر سلولی دارای ابعاد متفاوت از ۱ تا n می‌باشد، اما ابعاد یک و دو مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند [۱۳-۱۱].

در اتوماتای سلولی وضعیت سلول در زمان $t+1$ یعنی $a_i^{(t+1)}$ طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود، که در این رابطه ϕ قانون اتوماتا و r شعاع همسایگی است [۱۴].

$$a_i^{(t+1)} = \phi(a_{i-r}^{(t)}, \dots, a_i^{(t)}, \dots, a_{i+r}^{(t)}) \quad (1)$$

این رابطه نشان می‌دهد که وضعیت یک سلول در هر لحظه وابسته به وضعیت همان سلول و همسایه‌های آن در لحظه پیش است.

۲-۱ عملکرد اتوماتای یادگیر سلولی

اتوماتای یادگیر سلولی در هر لحظه یک عمل از مجموعه اعمال تعریف شده را برمی‌گزیند. این عمل می‌تواند براساس تجربه‌های گذشته و یا به صورت تصادفی انتخاب گردد. سپس عمل انتخاب شده به سیستم اعمال می‌شود و با توجه به نتیجه خود و نتیجه همسایگان خود، آن عمل پاداش یا جریمه دریافت می‌کند. این پاداش یا جریمه منجر به تصحیح رفتار اتوماتا می‌شود.

فرآیند انتخاب عمل و دریافت پاداش یا جریمه تا زمانی ادامه دارد که اتوماتا به یک حالت پایدار و یا به یک معیار از قبل تعیین شده برسد [۱۵-۱۴].

در اتوماتای یادگیر سلولی از الگوریتم‌هایی جهت پاداش دادن و جریمه شدن استفاده می‌شود. الگوریتم زیر نمونه‌ای از الگوریتم‌های یادگیر خطی در اتوماتا است که جهت پاداش دادن به پاسخ مطلوب، رابطه ۲ و جهت جریمه به پاسخ نامطلوب، رابطه ۳ استفاده می‌شود [۱۸-۱۶].

$$p_i(n+1) = p_i(n) + [1 - p_i(n)] \quad (2)$$

$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$$

$$p_j(n+1) = \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \quad (3)$$

در این روابط p_i احتمال انتخاب عملی است که در مرحله n منجر به پاسخ مطلوب شده و p_j احتمال انتخاب سایر عمل‌ها است. a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشد.

الگوریتم فوق روی احتمال انتخاب عمل تأثیر گذار است و احتمال عملی که رفتار اتوماتا را بهبود داده است افزایش می‌دهد و احتمال دیگر عمل‌ها را به تناسب کاهش خواهد داد. جهت اطلاعات بیشتر در مورد اتوماتای یادگیر سلولی و کاربردهای آن می‌توان به مراجع [۲۵-۱۲] مراجعه نمود.

۳- الگوریتم ته‌نقش‌گذاری

در این بخش یک الگوریتم ته‌نقش‌گذاری وفقی در حوزه تبدیل کسینوسی گسسته ارائه می‌گردد. الگوریتم درج و استخراج ته‌نقش به ترتیب در ادامه ارائه می‌گردند.

۳-۱ الگوریتم درج ته‌نقش

تصویر میزبان I با ابعاد $M \times N$ و تصویر دودویی ته‌نقش با ابعاد $M_w \times N_w$ است. برای درج ته‌نقش در تصویر میزبان، تصویر I را به بلوک‌های غیرهم‌پوشان 8×8 تقسیم کرده و از هر یک از بلوک‌ها تبدیل کسینوسی گسسته گرفته می‌شود. تعداد کل بلوک‌های تصویر با T_i نشان داده می‌شود و طبق رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$T_i = [M \times N][8 \times 8] \quad (4)$$

به ضریب اول هر بلوک مقدار DC آن بلوک و به سایر ضرایب مقادیر AC بلوک گفته می‌شود.

در مرحله بعد جدول مرجعی مطابق با نسبت ضرایب AC و DC هر بلوک به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R(i) = \frac{Z_1^i}{DC_1} + \frac{Z_2^i}{DC_2} + \dots + \frac{Z_{T_i}^i}{DC_{T_i}} \quad (5)$$

در رابطه ۵ DC_{T_i} به ضریب DC بلوک T_i ام $Z_{T_i}^i$ به مقدار ضریب i ام از بلوک T_i ام اشاره می‌کند.

برای افزایش امنیت سامانه ته‌نقش‌گذاری، از دو کلید key_1 و key_2 برای تعیین مکان درج ته‌نقش استفاده می‌شود. ابتدا بلوک‌هایی توسط key_1 به صورت تصادفی انتخاب شده که با B_{k_1} نشان داده می‌شوند. سپس برای تصادفی نمودن عملیات درج ته‌نقش، انتخاب ضرایب در یک بلوک خاص با استفاده از key_2 و از میان ضرایب باند میانی صورت می‌گیرد. ضریب انتخاب شده در بلوک B_{k_1} با Co_{k_2} نشان داده می‌شود. در نتیجه عبارت $EB'_{k_1}(Co_{k_2})$ نشان دهنده بلوک انتخابی توسط کلید key_1 و ضریب انتخاب شده متناظر با بلوک B_{k_1} توسط کلید key_2 می‌باشد.

پس از انتخاب بلوک (یا فرمول $(B_{k_1}(Co_{k_2}))$) و ضرایب متناظر با استفاده از جدول مرجع آن‌ها $R(Co_{k_2})$ طبق فرمول ۵، مقدار تقریبی متناظر با ضریب انتخاب شده در هر بلوک محاسبه می‌گردد. مقدار تقریبی با $EB_{k_1}(Co_{k_2})$ نشان داده می‌شود و با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$EB_{k_1}(Co_{k_2}) = B_{k_1}(Co_{k_2}) \times R(Co_{k_2}) \quad (۶)$$

این پارامتر محاسبه شده، مرجع استفاده در درج و استخراج ته‌نقش می‌باشد. ته‌نقش طبق رابطه ۷ در تصویر میزبان درج می‌گردد.

$$BW_{k_1}(Co_{k_2}) = \begin{cases} \min(B_{k_1}(Co_{k_2}), EB_{k_1}(Co_{k_2}) - \alpha_k) & \text{if } W(B) = 0 \\ \max(B_{k_1}(Co_{k_2}), EB_{k_1}(Co_{k_2}) + \alpha_k) & \text{if } W(B) = 1 \end{cases} \quad (۷)$$

در این رابطه α_k قوت ته‌نقش بلوک B_{k_1} و $W(B)$ بیت B ام تصویر ته‌نقش می‌باشد. در پایان معکوس تبدیل کسینوسی گسسته تصویر ته‌نقش‌گذاری شده محاسبه می‌گردد و تصویر ته‌نقش‌گذاری شده I' حاصل می‌شود [۶].

۳-۲ الگوریتم استخراج ته‌نقش

تصویر ته‌نقش‌گذاری شده I' پس از ارسال ممکن است مورد حمله قرار گرفته و تغییراتی در بیت‌های آن صورت گرفته باشد؛ لذا تصویر دریافت شده در گیرنده با I''_W نشان داده می‌شود. الگوریتم استخراج مشابه الگوریتم درج می‌باشد.

ابتدا تصویر به بلوک‌های غیر هم‌پوشان 8×8 تقسیم می‌گردد، سپس تبدیل کسینوسی گسسته بلوک‌ها محاسبه می‌گردد و جدول مرجع طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود. با استفاده از key_1 بلوک‌های حامل ته‌نقش که با B'_{k_1} نشان داده می‌شود، مشخص می‌شوند. با استفاده از key_2 ضرایب انتخابی هر بلوک یعنی Co_{k_2} مشخص می‌شوند. سپس با توجه به رابطه ۸ مقدار $B'_{k_1}(Co_{k_2})$ که به‌عنوان تقریبی از $B'_{k_1}(Co_{k_2})$ محاسبه می‌شود.

$$EB'_{k_1}(Co_{k_2}) = B'_{k_1}(Co_{k_2}) \times R(Co_{k_2}) \quad (۸)$$

ته‌نقش مطابق رابطه ۹ استخراج می‌گردد.

$$V'(B) = \begin{cases} 1 & \text{if } EB'_{k_1}(Co_{k_2}) \leq B'_{k_1}(Co_{k_2}) \\ 0 & \text{if } EB'_{k_1}(Co_{k_2}) > B'_{k_1}(Co_{k_2}) \end{cases} \quad (۹)$$

به دلیل این که ته‌نقش در ضرایب باند میانی صورت گرفته است، در مقادیر DC بلوک‌ها تغییری ایجاد نمی‌شود و از آن جا که مقادیر جدول‌های مرجع با متوسط‌گیری از همه بلوک‌ها محاسبه می‌گردد، جدول مرجع در مرحله درج با جدول مرجع در مرحله استخراج به صورت تقریبی همسان و تفاوت چشم‌گیری با هم نخواهند داشت [۲۶].

۴- تعیین قوت ته‌نقش

جهت تعیین قوت ته‌نقش در ته‌نقش‌گذاری رقمی، معیاری برای ارزیابی معرفی می‌شود، سپس با استفاده از این معیار و اتوماتای یادگیر سلولی قوت مناسب حاصل می‌گردد. با توجه به این که اطلاعات ته‌نقش در این مقاله به یک تصویر اضافه می‌شود، تصویر ته‌نقش‌گذاری شده باید شفافیت و مقاومت بالایی در مقابل حمله‌ها داشته باشد.

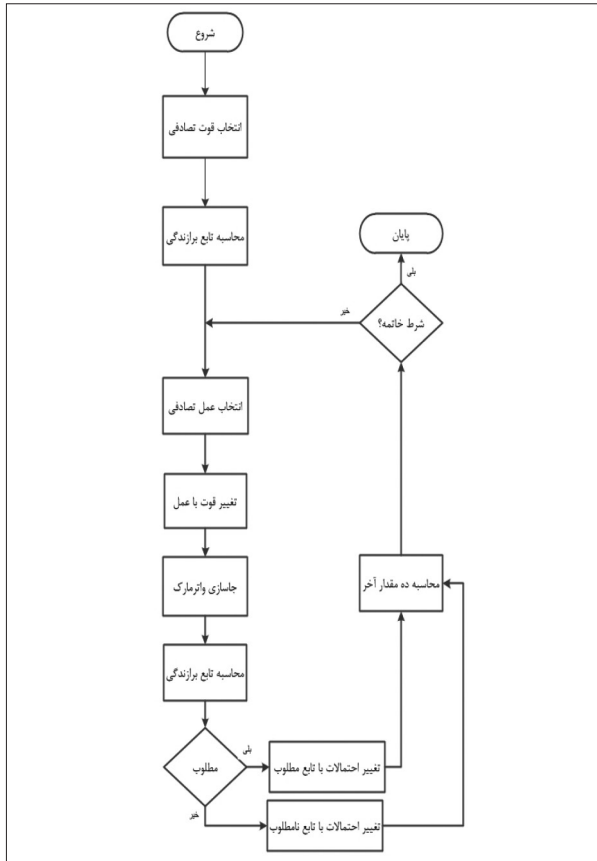
پرکاربردترین معیارهای سنجش شباهت MSE^{12} و $PSNR^{13}$ هستند که علت آن محاسبه ساده است [۹]. معیار شباهت ساختاری برای تشخیص شباهت بین دو تصویر I و I' ، روشنایی، تباین و ساختار دو تصویر را مقایسه می‌کند و این مقایسه به صورت محلی در بلوک‌های متناظر در تصویر صورت می‌گیرد. تابع مقایسه روشنایی $Q(I, I')$ ، تابع مقایسه تباین $c(I, I')$ و تابع مقایسه ساختار $s(I, I')$ به صورت زیر تعریف می‌گردند [۹].

$$Q(I, I') = \frac{2\mu_I\mu_{I'} + c_1}{\mu_I^2 + \mu_{I'}^2 + c_1} \quad (۱۰)$$

$$c(I, I') = \frac{2\sigma_I\sigma_{I'} + c_2}{\sigma_I^2 + \sigma_{I'}^2 + c_2} \quad (۱۱)$$

12- Mean Square Error

13- Peak To Signal Ratio



شکل ۲: روندنمای تعیین قوت ته‌نقش

و فشرده‌سازی JPEG با ضریب کیفیت ۴۰ برای ارزیابی تابع برازندگی استفاده می‌شود، در نتیجه $P=3$ در نظر گرفته می‌شود.

اتوماتای یادگیر سلولی پیشنهادی دارای چهار عمل است که این عمل‌ها طوری انتخاب شده‌اند که بتوان قوت ته‌نقش را محاسبه کرد. در ابتدای کار، احتمال انتخاب تمامی عمل‌ها یکسان است.

الف. عمل افزایش: این عمل مقدار ضریب را یک دهم واحد افزایش می‌دهد.

ب. عمل افزایش مضاعف: این عمل مقدار ضریب را پنج دهم واحد افزایش می‌دهد.

ج. عمل کاهش: این عمل مقدار ضریب را یک دهم واحد کاهش می‌دهد.

د. عمل کاهش مضاعف: این عمل مقدار ضریب را پنج دهم واحد کاهش می‌دهد.

در شکل ۲ مراحل تعیین قوت ته‌نقش نمایش داده شده

$$s(I, I') = \frac{\sigma_{II'} + c_3}{\sigma_I \sigma_{I'} + c_3} \quad (12)$$

c_1 و c_2 و c_3 مقادیر ثابتی هستند که جهت جلوگیری از ناپایداری رابطه‌ها، هنگامی که مخرج کسر مقدار کوچکی است، استفاده شده‌اند. μ_I و $\mu_{I'}$ مقادیر متوسط در بلوک‌های I و I' هستند. σ_I^2 و $\sigma_{I'}^2$ نمایانگر مقادیر واریانس و $\sigma_{II'}$ کواریانس بین I و I' را نشان می‌دهد. شاخص شباهت ساختاری بین دو تصویر I و I' از حاصل ضرب سه رابطه ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ محاسبه می‌شود که با فرض $c_3 = c_2/2$ از رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

$$SSIM(I, I') = \frac{(2\mu_I \mu_{I'} + c_1)(2\sigma_{II'} + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{I'}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{I'}^2 + c_2)} \quad (13)$$

پس از ارزیابی میزان شفافیت ته‌نقش‌گذاری، برای ارزیابی مقاومت ته‌نقش، تعدادی حمله روی تصویر ته‌نقش شده صورت می‌گیرد، سپس ته‌نقش از تصاویر مورد حمله استخراج می‌شود و شاخص BCR^{14} بین ته‌نقش اصلی و ته‌نقش استخراج شده طبق رابطه ۱۴ محاسبه می‌گردد [۷].

$$BCR(w, w') = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N XOR[w(i, j), w'(i, j)]}{M \times N} \quad (14)$$

حداکثر مقدار BCR یک است و تنها در صورتی که ته‌نقش اصلی و ته‌نقش استخراج شده با هم برابر باشند، این مقدار حاصل می‌شود. از آن جایی که شاخص SSIM و BCR محدوده تغییر برابری دارند، نیازی به وزندهی به تابع برازندگی نخواهد بود. تابع برازندگی طبق رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود [۲۶].

$$Fitness(s) = SSIM(I, I') + \frac{1}{P} \sum_{K=1}^P BCR_K(w, w') \quad (15)$$

در رابطه ۱۵، I تصویر میزبان و I' تصویر ته‌نقش شده است. P تعداد حمله‌های اعمال شده روی تصویر I' و w ته‌نقش اصلی و w' ته‌نقش استخراج شده می‌باشد. در این مقاله سه حمله پالایه میانگین، پالایه میانه

جدول ۱: نتایج حاصل از روش پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک

تصویر	ماکزیمم مقدار برازندگی برای هر تصویر	الگوریتم ژنتیک			روش پیشنهادی		
		قوت ته‌نقش تعیین شده	مقدار برازندگی	اختلاف با مقدار ماکزیمم	قوت ته‌نقش تعیین شده	مقدار برازندگی	اختلاف با مقدار ماکزیمم
Pepper	۱/۹۷	۲۳/۳۶	۱/۹۶۵۹	۰/۰۰۴۱	۲۸/۲۶۹۹	۱/۹۶۹۳	۰/۰۰۰۷
Baboon	۱/۹۶۲	۲۲/۹۱	۱/۹۰۸۶	۰/۰۵۳۴	۵۰/۳۵۰۱	۱/۹۵۹۵	۰/۰۰۲۵
Cameraman	۱/۹۶۱	۲۱/۷۳	۱/۹۵۵۱	۰/۰۰۵۹	۲۴/۳۵۰۱	۱/۹۵۹۸	۰/۰۰۱۲

مورد قیاس قرار می‌گیرد و تابع احتمال به‌روز می‌گردد. جدول ۱ نتایج آزمایش‌ها روی تصاویر مختلف را نشان می‌دهد که در آن مقادیر قوت ته‌نقش و پاسخ تابع برازندگی را برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک، برای تصاویر مختلف است. همان‌گونه که ذکر شد، مقدار تابع برازندگی بین صفر و دو است، پس هر چه مقدار تابع برازندگی بزرگ‌تر باشد، قوت بهتری تعیین شده است. مقدار برازندگی بیشینه از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پیشنهادی کم شده و در ستون اختلاف برازندگی جدول مشخص شده است. این ستون نشان می‌دهد در هر سه تصویر آزمایش شده، الگوریتم پیشنهادی بهتر عمل کرده است.

در شکل ۳ نمودار توابع برازندگی برای تصاویر مختلف به‌دست آمده و قوت تعیین شده توسط دو الگوریتم ژنتیک و پیشنهادی روی آن‌ها نمایش داده شده است.

برای آزمایش روش پیشنهادی بر روی سیستمی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک جداگانه اجرا شده است. مقادیر الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک بر روی نمودارها مشخص شده است. نمودارها تابع برازندگی را از صفر تا ۱۰۰ و با دقت ۰/۵ نمایش می‌دهند. ماکزیمم برازندگی به‌دست آمده در تصاویر مختلف برای الگوریتم پیشنهادی با علامت ستاره قرمز و الگوریتم ژنتیک با علامت جمع سبز مشخص شده‌اند. خط‌چین نیز ماکزیمم نقطه در نمودار را نشان می‌دهد. با توجه به آن‌ها استنتاج می‌شود که قوت ته‌نقش مشخص شده در تصاویر برای الگوریتم پیشنهادی به بیشینه نمودار نزدیک است؛ در حالی که برای الگوریتم ژنتیک در برخی مواقع قوت کم‌تر از

است. ابتدا به صورت تصادفی یک قوت ته‌نقش انتخاب می‌شود و با قوت ته‌نقش انتخابی عمل درج و استخراج ته‌نقش انجام می‌شود و سپس برازندگی محاسبه می‌گردد. یک عمل به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و قوت ته‌نقش برای مرحله بعد تولید می‌شود. با قوت ته‌نقش جدید عمل درج و استخراج انجام می‌شود و برازندگی محاسبه می‌گردد. خروجی تابع برازندگی دو مرحله با هم مقایسه می‌شوند. بیشینه مقدار تابع برازندگی هدف نهایی است. پس در صورتی که مقدار دوم از مقدار اول بزرگ‌تر بود، پاسخ مطلوب در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که کوچک‌تر و یا برابر مقدار قبل بود، پاسخ نامطلوب خواهد بود. با توجه به مطلوب بودن و نامطلوب بودن پاسخ، بردار احتمال عمل‌ها به‌روز می‌شود و به صورت تصادفی عمل دیگر برای مرحله بعد انتخاب می‌شود.

شرط خاتمه اتوماتای یادگیر سلولی طبق رابطه ۱۶ است.

$$|Fitness(i) - f| < 0.0001 \quad (16)$$

در رابطه ۱۶ مقدار f میانگین ده پاسخ آخر تابع برازندگی و $Fitness(i)$ پاسخ تابع برازندگی در مرحله i ام است. رابطه ۱۶ به این صورت تفسیر می‌گردد که اگر مقدار تابع برازندگی در آخرین مرحله محاسبه شده تا سه رقم اعشار با مقدار میانگین ده پاسخ آخر تابع برازندگی به صورت تقریبی برابر بود، دیگر عمل جدید انتخاب نشود. در این اتوماتای یادگیر سلولی نوع همسایگی یک بعدی است و شعاع همسایگی یک است، زیرا مقدار تابع برازندگی در هر مرحله فقط با مقدار تابع برازندگی در مرحله قبل

پیشنهادی عملکرد مطلوبی نسبت به ژنتیک دارد.

شکل ۴ تصاویر آزمایشی برای درج ته‌نقش را نشان می‌دهد. از قوت‌های تعیین شده توسط اتوماتای یادگیر سلولی برای درج ته‌نقش استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تصویرهای ته‌نقش‌گذاری شده از شفافیت بالایی برخوردار هستند و تفاوت‌های آن‌ها با تصویر اصلی توسط انسان قابل تشخیص نیست.

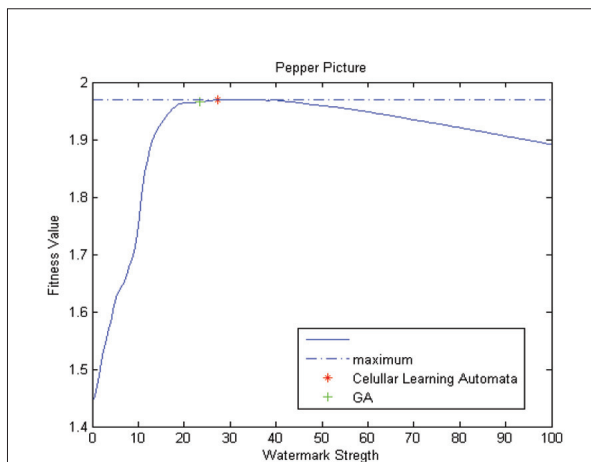
شکل ۵ تصاویر ته‌نقش آشکار شده بعد از حمله‌ها را نشان می‌دهد. در زیر هر تصویر مقدار BCR آن درج شده که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، یعنی ته‌نقش استخراج شده به ته‌نقش درج شده شباهت بیشتری دارد. ستون اول در شکل ۵ نام تصویر و ستون دوم تا پنجم به ترتیب ته‌نقش آشکار شده را بدون حمله، حمله فیلتر عدد میانه، حمله میانگین و حمله فشرده‌سازی JPEG ۴۰ را نشان می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

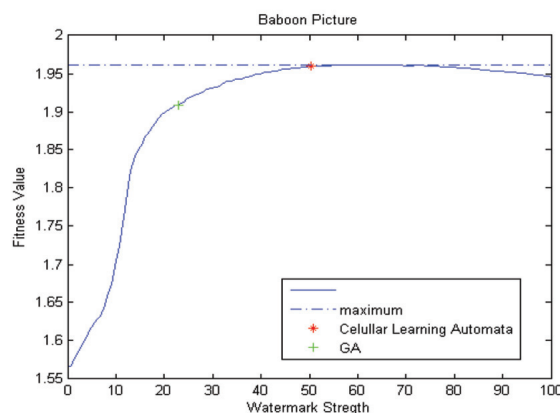
تعیین قوت ته‌نقش یکی از مسائل حوزه ته‌نقش‌گذاری تصاویر رقمی است که تاکنون به روش الگوریتم ژنتیک این کار صورت گرفته است. در این مقاله با استفاده از اتوماتای یادگیر سلولی قوت ته‌نقش در ته‌نقش‌گذاری رقمی تعیین شد و با الگوریتم ژنتیک مقایسه شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که روش پیشنهادی از دقت بالاتری در تعیین قوت برخوردار است.

۶- مراجع

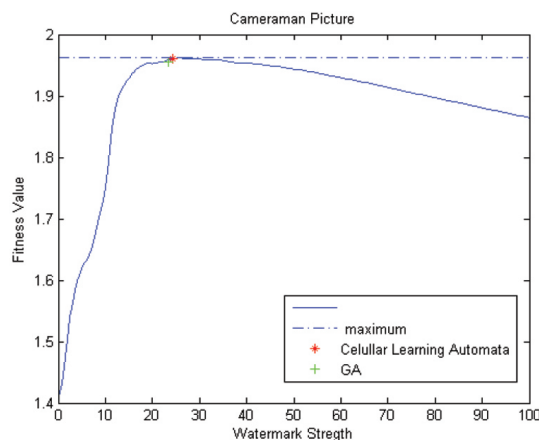
1. J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Ruohe, "Adaptive image watermarking based on block classification," Journal of Image and Graphics, vol. 4, no. 8, pp. 640-643, 1999.
2. Y. H. Chen, and H. C. Huang, "Coevolutionary genetic watermarking for owner identification," Neural Computing and Applications, vol. 26, no. 2, pp. 291-298, 2015.
3. Z. lu, S. Jiang, and H. Dong, "Adaptive watermarking algorithm based on human visual system," Journal of Harbin Institute of Technology, vol. 35, no. 2, pp. 138-141, 2003.
4. I. Cox, M. Miller, J. Bloom and T. Kalker, "Digital watermarking and steganography," Morgan Kauffman, 2007.
5. G. Ting, B. Goi, and S. Heng, "Attack on a semi-blind watermarking scheme based on singular value decompo-



الف) نمودار تابع برازندگی تصویر Pepper



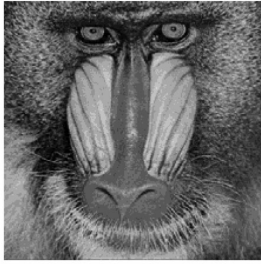
ب) نمودار تابع برازندگی تصویر Baboon



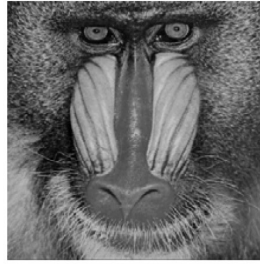
پ) نمودار تابع برازندگی تصویر Cameraman

شکل ۳: نمودارهای تابع برازندگی برای تصاویر

مقدار بیشینه است. در نتیجه می‌توان دریافت که الگوریتم



ت) تصویر ته‌نقش‌گذاری شده Baboon



پ) تصویر Baboon



ب) تصویر ته‌نقش‌گذاری شده Pepper



الف) تصویر Pepper



خ) تصویر ته‌نقش‌گذاری شده Boats



ج) تصویر Boats



ج) تصویر ته‌نقش‌گذاری شده Cameraman



ث) تصویر Cameraman

شکل ۴: تصاویر میزبان و ته‌نقش‌گذاری شده با استفاده از قوت محاسبه شده پیشنهادی

تصویر	بدون حمله	ته‌نقش آشکار شده بعد از حمله پالایه میانه	ته‌نقش آشکار شده بعد از حمله پالایه میانگین	ته‌نقش آشکار شده بعد از حمله JPEG۴۰ فشرده‌سازی
Pepper	Copyright BCR=۱	Copyright BCR=۰٫۹۷۵۷	Copyright BCR=۰٫۹۶۹۲	Copyright BCR=۱
Baboon	Copyright BCR=۱	Copyright BCR=۰٫۸۸۵۷	Copyright BCR=۰٫۹۰۵	Copyright BCR=۱
Cameraman	Copyright BCR=۰٫۹۹۹۲	Copyright BCR=۰٫۹۴۵۷	Copyright BCR=۰٫۹۰۰۷	Copyright BCR=۰٫۹۸۷۸

شکل ۵- ته‌نقش آشکار شده برای تصاویر حمله شده

- compressed video data," Ph.D. thesis, Delft University of Technology, 2000.
- S. Wolfram, "Theory and applications of cellular automata," World scientific, Vol. 1, 1986.
 - S. Wolfram, "Statistical mechanics of cellular automata," Reviews of modern physics, vol. 55, no. 3, pp.601, 1983.
 - S. Wolfram, "Computation theory of cellular automata," Communications in Mathematical Physics, vol. 96, no. 1, pp. 15-57, 1984.
 - A. Latif, A. R. Naghsh-Nilchi, and S. A. Monadjemi. "A parametric slant-Hadamard system for robust image watermarking," Journal of Circuits, Systems, and Computers, vol. 19, no. 02, pp. 451-477, 2010.
 - P. Mars, J. R. Chen, R. Nambiar, J. K. Fidler, "Learning Algorithms: Theory and Applications in Signal Processing," CRC Press, Inc., 1996.
 - A. Tefas, N. Nikolaidis, and I. Pitas. "Image watermarking: techniques and applications," The Essential Guide to Image Processing, pp. 597-648, 2009.
 - V. Potdar, S. Han, and E. Chang. "A survey of digital image watermarking techniques," 3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics, pp. 709-716, 2005.
 - M. M. Xiao, L. X. Yu, and C. J. Liu, "A comparative research of robustness for image watermarking," International Conference on Computer Science and Software Engineering, vol. 3, 2008.
 - F. Y. Shih, and S. Y. Wu. "Combinational image watermarking in the spatial and frequency domains," Pattern Recognition, vol. 36, no. 4, pp. 969-975, 2003.
 - G. C. Langelaar, "Real-time watermarking techniques for

- automata-based algorithms for finding minimum weakly connected dominating set in stochastic graphs,” International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. 18, no. 06, pp. 721-758, 2010.
23. M. Esnaashari, and M. R. Meybodi. “Dynamic point coverage problem in wireless sensor networks: a cellular learning automata approach,” Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, vol. 10, no. 2-3, pp. 193-234, 2010.
 24. M. R. Meybodi, “A new vertex coloring algorithm based on variable action-set learning automata.”
 25. Y. T. Liow, “A contour tracing algorithm that preserves common boundaries between regions,” CVGIP: Image Understanding, vol. 53, no. 3, pp. 313-321, 1991.
 ۲۶. نفیسی فرد و همکاران، «تہ نقش گذاری وفقی مبتنی بر یادگیری ماشینی»، سیستم‌های هوشمند در مهندسی برق، شماره ۴، صفحات ۴۷-۶۴، ۱۳۹۰.
 27. A. Latif, and A. R. Naghsh-Nilchi, "Digital image watermarking based on parameters amelioration of parametric Slant-Hadamard transform using genetic algorithm," Int J Innov Comput Inf Control, vol. 8, pp. 1205-1220, 2012.
 16. R. Raštegari, and M. R. Meybodi, “A new evolutionary computing model based on cellular learning automata,” IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Vol. 1, 2004.
 17. M. Thathachar, and P. S. Sastry, “Varieties of learning automata: an overview,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 32, no. 6, pp. 711-722, 2002.
 18. M. R. Meybodi, H. Beigy, and M. Taherkhani, “Cellular learning automata and its applications,” Sharif Journal of Science and Technology, vol. 19, no. 25, pp. 54-77, 2003.
 19. M. Taherkhani, “Proposing and studying cellular learning automata as a tool for modeling systems,” MA thesis, Amirkabir University of Technology, Iran, 2000.
 20. M. R. Meybodi, and M. R. Kharazmi, “Cellular learning automata and its application to image processing,” Journal of Amirkabir, vol. 14, no. 56A, pp. 1101-1126, 2004.
 21. J. Akbari Torkestani, and M. R. Meybodi, “Mobility-based multicast routing algorithm for wireless mobile Ad-hoc networks: A learning automata approach.” Computer Communications, vol. 33, no.6, pp. 721-735, 2010.
 22. J. Akbari Torkestani, and M. R. Meybodi, “Learning

جدیدترین کتاب از انتشارات انجمن انفورماتیک ایران منتشر شد!

کار عمیق

برای تهیه کتاب با دفتر انجمن انفورماتیک ایران

تماس بگیرید ۶۶۴۱۲۸۶۱

چاپ پنجم

