



Dear

Mr. M.Saadatmand Tarzjan, Mr. H. Abrishami Moghadam, Mr. M. Shahram Moein
Thank you for selecting CIS2004 for submission of your paper. We are pleased to inform you that your submitted paper with the title

"بهبود روش همبسته نگار موجک در نمایه گذاری و بازیابی تصاویر"

has been accepted for an oral presentation in student section at the 6th Conference on Intelligent Systems (CIS 2004), which to be held in Kerman on 24th -25th Nov. 2004.

Please visit www.cis2004.info for the latest updates.

Looking forward to meeting you in Kerman.

Sincerely yours,

Dr. S. Saryazdi
Co-ordinator of
The 6th Conference
on Intelligent Systems (CIS)

بهبود روش همبسته‌نگار موجک در نمایه‌گذاری و بازیابی تصاویر

مهدی سعادت‌مند طرزجان

دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

811301003@ee.kntu.ac.ir

حمید ابریشمی مقدم

دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

moghadam@eetd.kntu.ac.ir

محمد شهرام معین

مرکز تحقیقات مخابرات ایران

چکیده: در این مقاله الگوریتم جدیدی برای نمایه‌گذاری و بازیابی تصاویر بر پایه روش همبسته‌نگار موجک ارائه شده است. در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم همبسته‌نگار موجک روش نمایه‌گذاری، سطوح چندی‌سازی و معیار شباهت بهبود یافته است. سرعت الگوریتم پیشنهادی با ساده‌سازی روش نمایه‌گذاری، تا چهار برابر افزایش یافته است. همچنین مقادیر آستانه چندی‌سازی بر اساس معیار ایجاد یکنواختی بین سطوح چندی‌سازی بهبود یافته‌اند. بعلاوه، در این مقاله معیار شباهت جدیدی معرفی شده و ضرایب آن با استفاده از یک الگوریتم ژنتیکی بهبود یافته است. شبیه‌سازی‌ها که بر روی یک پایگاه داده شامل ۱۰۰۰ تصویر انجام شده، بیانگر آن است که دقت متوسط الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش همبسته‌نگار موجک ۲/۵٪ بهبود داشته است.

کلمات کلیدی: نمایه‌گذاری و بازیابی تصاویر، روش همبسته‌نگار موجک، الگوریتم‌های ژنتیکی

۱- مقدمه

امروزه همزمان با پیشرفت فن‌آوری و توسعه شبکه‌های کامپیوتری، پایگاه‌های داده تصویری نیز به سرعت گسترش یافته‌اند. در هر روز ماهواره‌ها، سیستم‌های امنیتی، نظامی و پزشکی هزاران تصویر تولید می‌کنند. از اینرو ذخیره و بازیابی تصاویر در پایگاه‌های داده تصویری، به یک مسأله مهم و پراهمیت تبدیل شده است [۱]. برای این منظور روش‌های بازیابی تصاویر بر اساس محتوا^۱ (CBIR) ارائه گردیده‌اند. عبارت CBIR به روش‌هایی اطلاق می‌شود که قادرند با استفاده از مجموعه‌ای از ویژگی‌ها (که به صورت خودکار از تصاویر استخراج می‌شوند)، تصاویر مشابه و مرتبط از نظر مفهوم و محتوا را از یک پایگاه داده تصویری استخراج نمایند [۲]. به عبارت دیگر در اینگونه سیستم‌ها، در مرحله نمایه‌گذاری، به صورت خودکار از هر تصویر مجموعه‌ای از ویژگی‌ها در قالب یک بردار ویژگی، استخراج می‌شود [۳]. سپس در مرحله بازیابی، نمایه‌های تمام تصاویر پایگاه داده تصویری بر اساس یک معیار شباهت با نمایه تصویر پرس‌وجو مقایسه می‌شوند. هدف از این مرحله استخراج تصاویر مرتبط با تصویر پرس‌وجو از پایگاه داده است [۴]. در [۵] مروری بر سیستم‌های نمایه‌گذاری و بازیابی ارائه شده است. متداولترین بردارهای ویژگی در نمایه‌گذاری تصاویر،

^۱ Content-Based Image Retrieval (CBIR)

^۲ Query image

هیستوگرام‌های رنگ هستند [۶]، [۷]. هیستوگرام‌های رنگ از پیچیدگی محاسباتی کمی برخوردار هستند و به طور کلی به تغییرات کوچک دیدگاه چندان حساس نیستند. با وجود این، اطلاعات مکانی در آنها نادیده گرفته می‌شود و در نتیجه در برابر تغییرات ظاهری وسیع در تصویر روپاست نیستند. برای پرهیز از اشکالات فوق در نمایه‌گذاری تصاویر، روش‌هایی که از اطلاعات رنگی و مکانی به صورت توأم استفاده می‌کنند، پیشنهاد گردیده‌اند [۸]، [۹]. اخیراً Huang و همکارانش در [۱۰] روش همبسته‌نگار رنگ را ارائه نموده‌اند. در این شیوه، خود همبستگی بین پیکسل‌های هم‌رنگ در یک تصویر، به عنوان بردار ویژگی آن تصویر معرفی می‌شود (در بخش‌های بعدی درباره این روش بیشتر بحث خواهیم نمود). علیرغم بهبودهای بدست آمده نسبت به روش‌های اولیه، اما روش‌های اخیر معمولاً به تغییرات نور و رنگ حساس هستند [۱۱] و برای رفع این مشکل باید تمهیدات جداگانه‌ای در نظر گرفته شود. برای مطالعه بیشتر در این زمینه به [۱۲] مراجعه شود. خانواده دیگری از روش‌های نمایه‌گذاری، به شکل اشیاء موجود در تصویر توجه دارند. روش‌های مبتنی بر شکل به دو دسته تقسیم می‌شوند. در دسته اول تصویر بر اساس شباهت بین نواحی مختلف آن، به زیربخش‌هایی تقسیم شده و سپس بردار ویژگی تصویر بر اساس ویژگی‌های این زیربخش‌ها شکل می‌گیرد مانند روش آقای مختاریان و همکارانش در [۱۳]. در دسته دوم برخلاف دسته اول، بردار ویژگی تصویر متشکل از فاکتورهایی است که وابسته به شکل اشیاء موجود در تصویر هستند مانند روش EDH در [۱۴]. به هر حال، مشکل اصلی روش‌های مبتنی بر شکل حجم محاسبات بالای آنها است. در روش‌های فوق بردار ویژگی هر تصویر، براساس ویژگی‌های پیکسل‌های آن تصویر در حوزه مکان محاسبه می‌شود. اما روش دیگر استفاده از اطلاعات موجود در فضاهای تبدیل برای استخراج اطلاعات سطح بالاتر است. اخیراً برای نمایه‌گذاری تصاویر از تبدیل موجک استفاده شده است [۲]، [۱۵]. در حوزه تبدیل موجک، اطلاعات محلی وابسته به مکان نسبت به سایر روش‌ها، به شکل بسیار بهتری ارائه می‌شود. در روش SIMPLicity [۲] از موجک‌های Daubechies در نمایه‌گذاری تصاویر استفاده شده است. در [۱۵] نیز از هیستوگرام ضرایب موجک Daubechies در سه سطح، برای استخراج بردارهای ویژگی استفاده شده است. اخیراً در [۱] روشی جدید تحت عنوان همبسته‌نگار موجک ارائه گردیده است. در این روش همبستگی مکانی بین ضرایب موجک در سه مقیاس متوالی که با استفاده از روش خود همبسته‌نگار [۱۰] محاسبه می‌شود، به عنوان بردار ویژگی انتخاب شده است. در این مقاله روش همبسته‌نگار موجک با در نظر گرفتن تمهیداتی در روش نمایه‌سازی، سطوح چندی‌سازی و معیار شباهت بهبود یافته است. روش نمایه‌سازی در الگوریتم پیشنهادی ساده‌تر گردیده که این خود سبب کاهش حجم محاسباتی الگوریتم نیز گشته است. بعلاوه، سطوح چندی‌سازی نیز براساس معیار ایجاد یکنواختی بین تمام سطوح موجک بهبود یافته‌اند. و در نهایت، در این مقاله معیار شباهت جدیدی برای روش همبسته‌نگار موجک معرفی گردیده و مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مقاله در بخش بعدی روش همبسته‌نگار موجک معرفی خواهد شد. بخش سوم به بررسی روش پیشنهادی اختصاص یافته است. بخش چهارم شبیه‌سازی‌های انجام شده را شرح می‌دهد و در نهایت، بخش پنجم به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

۲- روش همبسته‌نگار موجک

همبسته‌نگار موجک، در حقیقت تبدیل موجک را با روش همبسته‌نگار یکدیگر ترکیب نموده است. به این ترتیب، این روش خواص چندمقیاسی و چند دقتی بودن را از تبدیل موجک و عدم وابستگی به دوران و جابجایی را از روش همبسته‌نگار به ارث می‌برد.

۲-۱- نمایه‌گذاری

³ Viewpoint position

⁴ Edge Direction Histogram (EDH)

⁵ Wavelet correlogram

⁶ Quantization

⁷ Multi-scale and multi-resolution properties

در شکل (۱) نمودار بلوکی روش نمایه‌گذاری تصویر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید، این الگوریتم از سه بخش مجزا تشکیل شده است: تبدیل موجک، چندی‌ساز و خود همبسته‌نگار. برای محاسبه بردار ویژگی، در ابتدا تبدیل موجک تصویر در سه مقیاس محاسبه می‌شود. در این الگوریتم از موجک‌های Daubechies (از نوع سوم) به خاطر حجم کم محاسباتی آن و خواصی چون متعامد بودن، تفکیک‌پذیری و منظم و فشرده بودن استفاده شده است. همانطور که در شکل (۱) نیز نشان داده شده است، به منظور عدم وابستگی ضرایب موجک به جابجایی، قبل از چندی‌سازی ضرایب موجک، با استفاده از درون‌یابی خطی، ماتریس ضرایب موجک به ابعاد تصویر اصلی، تغییر اندازه داده می‌شود. سطوح چندی‌سازی مورد استفاده در روش همبسته‌نگار موجک، به تفکیک سطوح موجک در شکل (۲) نشان داده شده است. پس از چندی‌سازی ضرایب، در هر سطح موجک، خود همبسته‌نگار افقی و عمودی ضرایب در به ترتیب ماتریس‌های LH و HL مطابق معادله (۱) محاسبه می‌شود.

$$\alpha(i, k) = \gamma(i, i, k) = \frac{|\{p_1, p_2 \in I_{c_i} \mid |p_1 - p_2| = k\}|}{2|I_{c_i}|}, \quad i=1,2,3,4 \quad (1)$$

که در آن p_1 و p_2 دو پیکسل از تصویر، I_{c_i} مجموعه همه پیکسل‌های تصویر با سطح خاکستری c_i و $|I_{c_i}|$ تعداد آنها است. سطوح خاکستری c_i ، همان برچسب‌های سطوح چندی‌سازی هستند که به ترتیب عبارتند از 0.5، 0.75 و 1.0. معادله (۱) در حقیقت احتمال وجود دو پیکسل با سطح خاکستری c_i ، در فاصله k از یکدیگر را محاسبه می‌کند. در الگوریتم همبسته‌نگار موجک، خودهمبستگی برای چهار فاصله $k=1,2,3,4$ محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه هر ماتریس ضرایب موجک به چهار سطح چندی‌سازی می‌شود و در هر سطح، تابع خود همبستگی برای چهار فاصله محاسبه می‌شود، لذا از هر ماتریس ۱۶ ضریب بدست می‌آید. از آنجا که در مجموع، تابع خود همبستگی در $3 \times 2 = 6$ ماتریس (در هر یک از سه مقیاس تبدیل موجک، دو ماتریس LH و HL) محاسبه می‌شود، بنابراین بردار ویژگی نهایی متشکل از $4 \times 4 \times 2 \times 3 = 96$ ضریب است.

۲-۲- بازیابی

روش کار در بازیابی تصاویر چنین است که در ابتدا بردار ویژگی تصویر پرس‌وجوی ورودی محاسبه و یا در صورت وجود از پایگاه داده تصویری استخراج می‌شود. سپس با استفاده از معیار شباهت L_1 ، میزان شباهت بین بردار ویژگی تصویر پرس‌وجو و تمام تصاویر موجود در پایگاه داده تصویری محاسبه می‌شود. در نهایت N تصویر که دارای بیشترین شباهت هستند، انتخاب و به کاربر نشان داده می‌شوند. N که توسط کاربر تعیین می‌شود، بیانگر تعداد تصاویری است که باید از پایگاه داده بازیابی شده و نمایش داده شود.

۳- روش پیشنهادی

در [۱] نشان داده شد که الگوریتم همبسته‌نگار موجک در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های نمایه‌گذاری و بازیابی تصاویر، از عملکرد مناسبی برخوردار است. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با در نظر گرفتن تمهیداتی چون حذف بخش Upsampling، تصحیح مقادیر آستانه چندی‌سازی و انتخاب معیار شباهت مناسب می‌توان عملکرد این الگوریتم را بهبود بخشید که در ادامه هر یک به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۳-۱- ساده‌سازی روش نمایه‌گذاری

همانطور که گفته شد در روش همبسته‌نگار موجک، قبل از چندی‌سازی، ماتریس‌های ضرایب موجک به ابعاد تصویر اصلی تغییر اندازه داده می‌شوند. با این شیوه ضرایب موجک حاصل مستقل از انتقال خواهند بود اما در عمل، روش فوق سبب بروز دو اشکال عمده می‌شود: (۱) با تغییر اندازه ماتریس‌های ضرایب موجک به ابعاد تصویر اولیه، حداقل

نصف ضرایب در هر ماتریس، حاصل فرآیند درون‌یابی هستند. در این حالت، محاسبه خود همبسته‌نگار در این ماتریس‌ها ممکن است سبب بروز نتایج غیرواقعی گردد؛ ۲) فرآیند افزایش ابعاد ماتریس‌های ضرایب موجک، بشدت سبب افزایش حجم محاسباتی الگوریتم می‌شود.

باید توجه داشت که اولاً الگوریتم همبسته‌نگار خود مستقل از انتقال است [۱۰]، و ثانیاً ضرایب موجک پس از چندی‌سازی در چهار سطح مورد پردازش‌های بعدی قرار می‌گیرند. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که انتقال‌های نه چندان بزرگ سبب بروز تغییرات شدید در مقادیر بردار ویژگی تصویر شود. از اینرو تصمیم گرفتیم بخش Upsampling را از الگوریتم همبسته‌نگار موجک حذف کنیم. شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با ساده‌سازی فوق، زمان محاسباتی الگوریتم نمایه‌گذاری به طور متوسط به 1/4 کاهش یافته است.

۳-۲- بهبود سطوح آستانه

سطوح آستانه چندی‌سازی (که در شکل ۲ نشان داده شده است) باید چنان انتخاب شده باشند که به طور متوسط، تعداد پیکسل‌های موجود در تمام سطوح چندی‌سازی یکسان باشد [۱۱]. در شکل (۳) احتمال وجود پیکسل در سطوح اول و دوم چندی‌سازی به تفکیک سه مقیاس تبدیل موجک، برای ۱۰۰۰ تصویر متفاوت، نشان داده شده است. باید توجه داشت که به دلیل تقارن مقادیر آستانه، احتمال وجود پیکسل در سطوح سوم و چهارم چندی‌سازی بسیار شبیه به سطوح اول و دوم است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، با استفاده از آستانه‌های شکل (۲)، احتمال وجود پیکسل در سطوح چندی‌سازی مختلف، دارای تفاوت فاحشی با یکدیگر است. شاید به نظر برسد که یک راه مناسب برای یکسان نمودن احتمال وجود پیکسل در سطوح چندی‌سازی، استفاده از الگوریتم‌های تطبیقی انتخاب آستانه از قبیل روش‌های مبتنی بر هیستوگرام مانند p-tile است. اما باید به این نکته توجه داشت که در حقیقت، سطوح آستانه ثابت خود معیاری برای ایجاد تمایز بین تصاویر مختلف هستند و استفاده از چنین الگوریتم‌هایی سبب ایجاد یکنواختی کاذب بین تصاویر متفاوت خواهد شد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با استفاده از اینگونه الگوریتم‌ها، از دقت الگوریتم بازیابی کاسته شود. نکته‌ای که شبیه‌سازی‌ها نیز آن را تأیید نموده‌اند. ما با آزمایش و خطا، سطوح آستانه چندی‌سازی را چنان تنظیم نمودیم که اولاً برای کلیه تصاویر (۱۰۰۰ تصویر) یک پایگاه داده (که در بخش‌های بعدی معرفی خواهد شد)، احتمال وجود پیکسل در تمام سطوح چندی‌سازی به طور متوسط، یکسان باشد و ثانیاً دقت متوسط بازیابی الگوریتم بیشینه گردد. سطوح آستانه نهایی در شکل (۴) نشان داده شده است. در شکل (۵) احتمال وجود پیکسل در سطوح اول و دوم چندی‌سازی به تفکیک مقیاس‌های تبدیل موجک، برای کلیه تصاویر پایگاه داده مذکور نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با استفاده از مقادیر آستانه بهبودیافته، تقریباً به طور متوسط احتمال وجود پیکسل در تمام سطوح چندی‌سازی برابر است.

۳-۳- بهبود معیار شباهت

همانطور که قبلاً بیان گردید، در روش همبسته‌نگار موجک از معیار شباهت L_1 که برای دو بردار ویژگی $X_p = [x_{pj}]_{j=1}^{p6}$ و $X_q = [x_{qj}]_{j=1}^{q6}$ به صورت ذیل تعریف می‌شود، در بازیابی تصاویر استفاده شده است.

$$L_1(X_p, X_q) = \lambda_1 \sum_{j=1}^{32} |x_{pj} - x_{qj}| + \lambda_2 \sum_{j=33}^{64} |x_{pj} - x_{qj}| + \lambda_3 \sum_{j=65}^{96} |x_{pj} - x_{qj}| \quad (2)$$

در الگوریتم پیشنهادی معیار شباهت ذیل جایگزین L_1 شده است.

$$d_\mu(p, q) = \lambda_1 \sum_{j=1}^{32} w_j \left| \frac{x_{pj} - x_{qj}}{\mu + x_{pj} + x_{qj}} \right| + \lambda_2 \sum_{j=33}^{64} w_j \left| \frac{x_{pj} - x_{qj}}{\mu + x_{pj} + x_{qj}} \right| + \lambda_3 \sum_{j=65}^{96} w_j \left| \frac{x_{pj} - x_{qj}}{\mu + x_{pj} + x_{qj}} \right| \quad (3)$$

که در آن ضرایب w_i ($i = 1, 2, \dots, 96$) وزن‌های مؤلفه‌های بردار ویژگی بوده و بیانگر اهمیت هر مؤلفه نسبت به مؤلفه‌های دیگر است. با توجه به اینکه در بردار ویژگی ۳۲ ضریب اول، دوم و سوم به ترتیب مربوط به مقیاس‌های اول،

دوم و سوم موجک است، ضرایب λ_i ($i=1,2,3$) بیانگر اهمیت ضرایب یک مقیاس موجک نسبت به دیگر مقیاس‌ها است. در [۱۰]، ادعا گردیده است که فاصله نسبی برای محاسبه شباهت بین دو بردار ویژگی در روش همبسته‌نگار مناسبتر است لذا در این مقاله از معیار d_{μ} استفاده شده است. پارامتر μ عددی مثبت و غیرصفر است که برای پرهیز از صفر شدن مخرج و تضعیف اثر ضرایب کوچک مورد استفاده قرار گرفته است. ما بر اساس مشاهدات تجربی برای این پارامتر مقدار یک را انتخاب نموده‌ایم. ضرایب λ_i برخلاف w_i توسط کاربر تعیین می‌شوند. مقدار پیش‌فرض ضرایب λ_i ، یک است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که دقت پاسخ‌های الگوریتم همبسته‌نگار وابسته به نوع تصویر پرس‌وجو است. ضرایب λ_i نیز به همین جهت در نظر گرفته شده‌اند تا کاربر بتواند با تنظیم آنها به پاسخ مناسب دست یابد. روش دیگر برای این منظور استفاده از الگوریتم‌هایی چون Relevance Feedback [۱۶] است که موضوع کارهای آینده ما خواهد بود است. ضرایب w_i با فرض λ_i ($i=1,2,3$) و با استفاده از یک الگوریتم ژنتیکی بهینه‌سازی شده‌اند. الگوریتم ژنتیکی پیشنهادی در آینده نزدیک، در مقاله دیگری به تفصیل شرح داده خواهد شد. ضرایب بهینه حاصل در شکل (۶) نشان داده شده است.

۴- شبیه‌سازی

۴-۱- پایگاه تصاویر

در شبیه‌سازی‌ها از یک زیرمجموعه از پایگاه تصاویر COREL که شامل ۱۰۰۰ تصویر در ۱۰ دسته صدتایی است، استفاده شده است [۱]، [۲]. تصاویر هر دسته از نظر مفهومی بایکدیگر مشابه هستند. دسته‌های موجود در این زیرمجموعه به ترتیب عبارتند از: Flowers, Elephants, Dinosaurs, Buses, Buildings, Beaches, Africans, Food و Mountains, Horses.

۴-۲- شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم همبسته‌نگار موجک، از معیار دقت متوسط استفاده شده است. برای تصویر پرس‌وجوی Q معیار دقت^۸ مطابق معادله (۵) تعریف می‌شود.

$$Y(Q) = \left| \{I_i | Rank(I_i) < N, I_i \in A\} \right| \quad (۴)$$

$$P(Q) = \frac{Y(Q)}{N} \quad (۵)$$

که در آن $Y(Q)$ تعداد تصاویر بازیابی شده مرتبط با Q است. معیار دقت متوسط کل بیانگر عملکرد کلی الگوریتم بر روی کل پایگاه داده است، مطابق معادله (۶) تعریف می‌شود.

$$P = \frac{1}{N_D} \sum_{k=0}^{N_D-1} P(I_k) \quad (۶)$$

$$STD(P) = \sqrt{\frac{1}{N_D-1} \sum_{k=0}^{N_D-1} (P(I_k) - P)^2} \quad (۷)$$

که در آن $N_D = 1000$ تعداد کل تصاویر پایگاه داده و I_k تصویر k -ام است. ما در شبیه‌سازی‌ها تعداد تصاویری که در هر مرحله بازیابی می‌شوند را $N=10$ در نظر گرفته‌ایم. در جدول (۱) نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم همبسته‌نگار موجک نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دقت متوسط الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش همبسته‌نگار موجک بیش از ۲/۵٪ بهبود یافته است.

⁸ Precision

در شبیه‌سازی‌های فوق $\lambda_i = 1$ ($i = 1, 2, 3$) در نظر گرفته شده است. همانطور که قبلاً اشاره گردید، ضرایب λ_i توسط کاربر تعیین می‌شود. برای بررسی اثر تنظیم ضرایب λ_i بر دقت الگوریتم، پاسخ‌های هر دو الگوریتم را برای ۵۰ تصویر (از هر دسته ۵ تصویر) که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، بدست آمد. به این ترتیب که برای هر تصویر، در ابتدا پاسخ هر الگوریتم به ازای هر یک از چهار مجموعه مقادیر ذیل بدست آمده و سپس بهترین پاسخ، به عنوان پاسخ آن الگوریتم ثبت می‌گردد.

$$\text{Set 1: } \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 1$$

$$\text{Set 2: } \lambda_1 = 1, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = 0$$

$$\text{Set 3: } \lambda_1 = 0, \lambda_2 = 1, \lambda_3 = 0$$

$$\text{Set 4: } \lambda_1 = 0, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = 1$$

نتایج حاصل در جدول (۲) نشان داده شده است. در این جدول پاسخ‌های الگوریتم پیشنهادی با رنگ خاکستری نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تنظیم ضرایب λ_i می‌تواند به شکل مؤثری سبب بهبود دقت الگوریتم پیشنهادی شود. در اینجا نیز دقت الگوریتم پیشنهادی در حدود ۲٪ بیشتر از الگوریتم همبسته‌نگار موجک است. در شکل (۷) پاسخ الگوریتم پیشنهادی برای دو تصویر نمونه نشان داده شده است.

جدول (۱): ارزیابی عملکرد الگوریتم همبسته‌نگار موجک اصلی.

Category	Waveletcorrelogram Mean of Precision (%)	Proposed Algorithm Mean of Precision (%)
Africans	47.5	57.2
Beaches	44.4	52.1
Buildings	53.0	48.0
Buses	90.1	87.3
Dinosaurs	97.0	77.9
Elephants	38.1	57.0
Flowers	89.9	82.5
Horses	65.0	77.2
Mountains	43.8	42.4
Food	42.9	55.2
Total	61.17	63.68

جدول (۲): پاسخ الگوریتم پیشنهادی (خانه‌های خاکستری) و همبسته‌نگار موجک (خانه‌های سفید) برای ۵۰ تصویر نمونه.

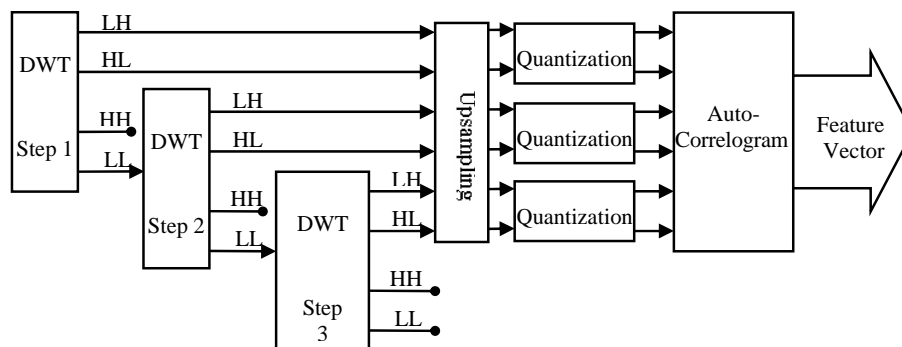
Category	Q1 (%)	Q2 (%)	Q3 (%)	Q4 (%)	Q5 (%)	Ave. (%)
Africans	90	90	70	90	60	82
	Q=0	25	47	62	87	
Beaches	40	80	90	20	40	74
	101	102	109	113	166	
Buildings	90	60	60	70	80	72
	209	210	215	251	288	
Buses	80	40	100	50	90	74
	301	321	340	359	397	
Dinosaurs	100	60	70	90	100	82
	404	422	431	452	492	
Elephants	50	80	60	80	70	70
	503	521	560	575	596	
Flowers	60	70	100	100	80	80
	605	637	661	677	685	
Horses	80	30	80	90	90	80
	708	718	734	766	789	
Mountains	50	40	50	30	50	50
	817	832	842	865	883	
Food	40	90	60	70	30	64
	910	933	952	980	998	
Total						73

۵- نتیجه گیری

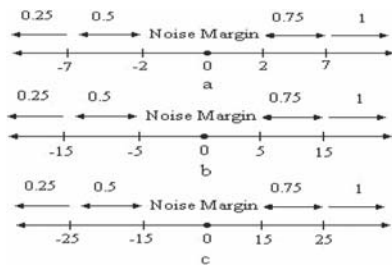
در این مقاله، روش همبسته‌نگار موجک با در نظر گرفتن تمهیداتی در روش نمایه‌گذاری و سطوح چندی‌سازی و معیار شباهت بهبود یافته است. در الگوریتم پیشنهادی با حذف بخش Upsampling در روش همبسته‌نگار موجک عملاً بر سرعت الگوریتم تا چهار برابر (به طور متوسط) افزوده شده است. همچنین مقادیر آستانه چندی‌سازی بر اساس معیار ایجاد یکنواختی بیشتر بین سطوح چندی‌سازی بهبود یافته است. همچنین در این مقاله معیار شباهت جدیدی برای الگوریتم بازیابی معرفی گردید که ضرایب آن با استفاده از یک الگوریتم ژنتیکی بهینه شده است. شبیه‌سازی‌ها بیانگر آن است که دقت متوسط الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش همبسته‌نگار موجک بیش از ۲/۵٪ بهبود یافته است. تحقیقات آینده ما بر روی روش‌های بازیابی بهینه‌تر مانند روش‌های مبتنی بر Relevance Feedback است.

مراجع

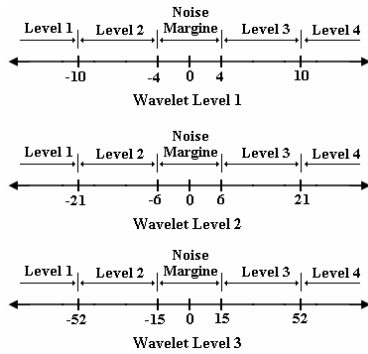
- [1] H. Abrishami-Moghadam, T. Taghizadeh-Khajoie, A. H. Rouhi, "Wavelet Correlogram: a new approach for image indexing and retrieval," *2nd Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing*, 2003.
- [2] J. Z. Wang, J. Li, and G. Wiederhold, "SIMPLcity: Semantics-Sensitive Integrated Matching for Picture Libraries," *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(9):947-963, 2001.
- [3] A. W. M. Smeulders, M. Worring, S. Santini, A. Gupta, and R. Jain, "Content-based image retrieval at the end of early years," *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 2000.
- [4] V. N. Gudivada, J. V. Raghavan, "Special issues on content-based image retrieval systems," *IEEE Computer Magazine*, 28(9):18-22, 1995.
- [5] Content-based image retrieval systems, *IEEE Computer*, 28(9), 1995.
- [6] V. Ogle and M. Stonebraker, "Chabot: Retrieval from a relational database of images," *IEEE Computer*, 28(9):40-48, 1995.
- [7] A. Pentland, R. Picard, and S. Sclaroff, "Photobook: Content-based manipulation of image databases," *International Journal of Computer Vision*, 18(3):223-254, 1996.
- [8] J. Haung, S. R. Kumar, M. Mitra, W. J. Zhu, R. Zabih, "Spatial color indexing and applications," *International Journal on Computer Vision*, 35(3):245-268, 1999.
- [9] A. Del Bimbo, M. Mugnaini, P. Pala, F. Turco, "Visual querying by color perceptible regions," *Pattern recognition*, 31:1241-1253, 1998.
- [10] J. Huang, S. Ravi Kumar, M. Mitra, W.-J. Zhu, R. Zabih, "Image indexing using color correlograms," *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 762-768, 1997.
- [11] F. Mahmoudi, J. Shanbehzadeh, A.-M. Eftekhari-Moghadam, H. Soltanian-Zadeh, "Image retrieval based on shape similarity by edge orientation autocorrelogram," *Pattern Recognition*, 31:1725-1736, 2003.
- [12] R. Schettini, G. Ciocca, and S. Zuffi, "A Survey on methods for color image indexing and retrieval in image databases," *Proc. Image and Video Content-Based Retrieval*, 2001.
- [13] S. Abbasi, F. Mokhtarian, J. Kittler, "Curvature scale space in shape similarity retrieval," *Multimedia Systems*, 7(6):467-476, 1999.
- [14] A. K. Jain, A. Vailaya, "Shape-based retrieval: a case study with trademark image database," *Pattern recognition*, 31(9):1369-1390, 1998.
- [15] M. K. Mandal, S. Panchanatan, and T. Aboulnasr, "Fast wavelet histogram techniques for image indexing," *Journal of Computer Vision and Image Understanding*, 75(1/2):99-110, 1999.
- [16] G.-D. Guo, A. K. Jain, W.-Y. Ma, H.-J. Zhang, "Learning similarity measure for natural image retrieval with relevance feedback," *IEEE Trans. Neural Network*, 13(4):811-820, 2002.



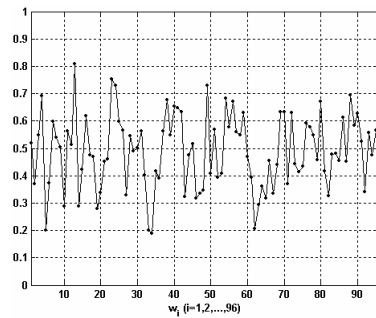
شکل (۱): نمودار بلوکی روش همبسته‌نگار موجک.



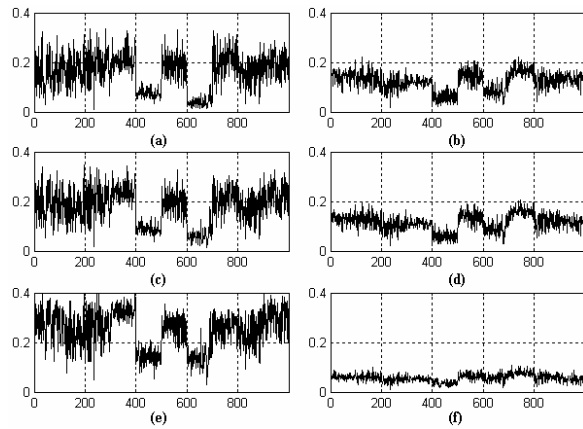
شکل (۲): مقادیر آستانه چندی سازی در روش همبسته نگار موجک به تفکیک سطوح موجک.



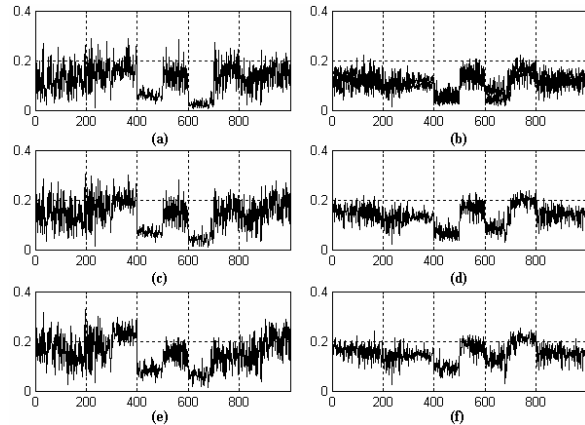
شکل (۴): مقادیر آستانه بهبود یافته به تفکیک سطوح موجک.



شکل (۶): ضرایب بهینه w_i برای معیار d_1 .



شکل (۳): احتمال وجود پیکسل در سطوح اول (ستون سمت چپ) و دوم (ستون سمت راست) چندی سازی با استفاده از مقادیر آستانه نشان داده شده در شکل (۲). نمودار نشان داده شده در هر ردیف متناظر با همان مقیاس موجک است. توجه شود که محور افقی بیانگر شماره تصاویر و محور عمودی بیانگر احتمال وجود پیکسل در سطوح چندی سازی آن تصویر است.



شکل (۵): احتمال وجود پیکسل در سطوح اول (ستون سمت چپ) و دوم (ستون سمت راست) چندی سازی با استفاده از مقادیر آستانه بهبود یافته که در شکل (۴) نشان داده شده است. نمودار نشان داده شده در هر ردیف متناظر با همان مقیاس موجک است.

شکل (۷): پاسخ الگوریتم پیشنهادی به دو تصویر نمونه.