مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات

جلد ۶، شماره ۱، بهار سال ۱۳۹۶ شاپا: ۱۰۰۶-۲۳۸۳

رنگی‌سازی خودکار تصاویر با استفاده از قطعه‌بندی بر اساس پیکسون و تئوری منطق فازی

طیبه عسکری جواران[۱] ، حمید حسن پور *[۲]

۱- مجتمع آموزش عالی بم، بم، ایران.

۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

[1]t.askari@bam.ac.ir, [2]h.hassanpour@shahroodut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۰ بهمن ۱۳۹۵ تاریخ بازنگری: ۲۳ فروردین ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۶

* نشانی نویسنده مسئول: حمید حسن‌پور، شاهرود، بلوار دانشگاه، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات.

چکیده- رنگی‌سازی، فرآیند تخصیص رنگ به تصاویر و یا فیلم‌های خاکستری می‌باشد. از آنجایی که رنگ‌های زیادی دارای سطح روشنایی یکسانی می‌باشند، تبدیل تصویر سطح خاکستری به رنگی، راه حل واحد و اتوماتیک نداشته و انسان نقش اساسی در فرآیند رنگی‌سازی دارد. از طرفی، در یک تصویر سطح خاکستری، اطلاعات پیکسل‌های همجوار در تعیین رنگ آن پیکسل مؤثر می‌باشند. در این مقاله یک ایده جدید برای رنگی‌سازی تصاویر سطح خاکستری بر اساس قطعه‌بندی تصویر و با حداقل دخالت انسان پیشنهاد شده است. در اینجا روشی برای رنگی‌سازی تصویر تست بر اساس مجموعه‌ای از تصاویر مرجع ارائه می‌گردد. تصاویر مرجع، شامل دسته‌هایی از تصاویر طبیعی رنگی می‌باشد. هر دسته، شامل تصاویر ساده طبیعی و عمومی از جمله تصاویر کوه، درخت، انسان، دریا، گل و از این قبیل می‌باشد. زمانی که یک تصویر سطح خاکستری توسط کاربر برای رنگ‌آمیزی، به الگوریتم داده می شود، نوع (دسته) آن نیز توسط کاربر مشخص می‌گردد. کاربر می‌تواند به ازای یک تصویر، نوع‌های مختلفی انتخاب نماید. مجموعه تصاویر مربوط به نوع(های) انتخاب شده توسط کاربر، به عنوان تصاویر مرجع جهت رنگی‌سازی تصویر تست انتخاب می‌شوند. سپس تصویر تست قطعه‌بندی شده و برای هر قطعه آن، شبیه‌ترین قطعه در تصاویر مرجع مربوطه، مشخص می‌گردد. این قطعه از تصویر تست با استفاده از تئوری فازی بر اساس قطعه انتخاب شده از تصویر مرجع رنگ‌آمیزی می‌شود. این کار برای تمامی قطعات تصویر تست انجام شده و در نتیجه، یک تصویر رنگی‌شده حاصل می‌گردد. در انتها، برای هماهنگ کردن رنگها در نقاط مرزی قطعات، یک پس‌پردازش روی تصویر حاصل صورت می‌گیرد. برتری این روش نسبت به روش‌های مشابه دخالت حداقل انسان و استفاده از اطلاعات پیکسل‌های همجوار در رنگ یک پیکسل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رنگی‌سازی، قطعه‌بندی، خوشه‌بندی فازی، پیکسون.

Automatic image colorization using segmentation based on pixon and fuzzy logic theory

Taiebeh Askari Javaran[1], and Hamid Hassanpour[2*]

1- Higher education complex of Bam, Bam, Iran.

2- Image Processing and Data Mining (IPDM) Research Lab, Faculty of Computer Engineering and Information Technology, University of Shahrood, Shahrood, Iran.

[1]t.askari@bam.ac.ir, and [2]h.hassanpour@shahroodut.ac.ir

Abstract- Colorization is the process of color allocation into grayscale images or films. Since several colors are the same level of illumination, the colorization of a grayscale image into a colorized one has not a unique and automatic solution, and the human has a cardinal role in the colorization process. In other hand, in a grayscale image, the information of the neighbor pixels of a pixel are effective in its color. In this paper, a novel idea has been proposed for colorization of a grayscale image based on image segmentation, with minimum human interference. The proposed method use a collection of reference images consist of some classes of natural color images. Some example of classes are tree, mountain, jungle, sea, human flower and etc. As soon as the user import a test grayscale image into the algorithm, its type (class) is selected by the user. The user can select more than one class for a test image. The reference images of the selected class are used as the reference images in the colorization process. On the other hand, the test image is segmented, and for each segment, the most similar segment in the set of the segments of the selected reference images is specified. The segment of the grayscale test image is colorized using the fuzzy theory based on the specified segment of the reference image. This process is done for all the segments of the test image. Finally, a post process is applied to match the color of the neighbor pixels. The minimum human interference and the use of the information of the neighbor pixels are the most important advantages of the propose method.

Keywords- Colorization, Segmentation, Fuzzy clustering, Pixon.

۱- مقدمه

رنگی‌سازی، فرآیند تخصیص رنگ به تصاویر و یا فیلم‌های خاکستری می‌باشد [۱]. هدف این فرآیند، جایگزینی میزان روشنایی ذخیره شده در هر پیکسل تصویر سطح خاکستری با یک بردار در فضای رنگ سه بعدی (به عنوان مثال بردار سه بعدی قرمز، سبز و آبی در فضای رنگ RGB) می‌باشد. مقادیر روشنایی هر پیکسل با استفاده از ترکیب خطی مقادیر RGB آن محاسبه می‌گردد (رابطه ۱). در رابطه ۱، L مقدار سطح روشنایی پیکسل در تصویر سطح خاکستری و R، G و B به ترتیب مقادیر رنگی قرمز، سبز و آبی پیکسل در تصویر رنگی می‌باشد.

$$L = .59*R + .30*G + .11*B \qquad (۱)$$

از آنجایی که رنگ‌های متفاوت زیادی دارای سطح روشنایی یکسانی می‌باشند، تبدیل تصویر سطح خاکستری به تصویر رنگی ذاتاً دارای راه حل واحدی نمی‌باشد. براساس ابهام ذکر شده، انسان نقش اساسی در فرآیند رنگی‌سازی دارد [۲]. بنابراین روش‌های بر پایه کمک کاربر انسانی به صورت نیمه اتوماتیک ارائه گردید. انواع روش‌های نیمه اتوماتیک برای رنگی‌سازی به شرح زیر می‌باشد:

در [۳] از یک جدول تبدیل بین مقادیر خاکستری و رنگی به عنوان ایده‌ی اتوماتیک برای رنگی‌سازی استفاده شده است، اما ساختن جدول تبدیل نیز به تصمیم انسان بستگی دارد. این روش در بسیاری از سیستم‌های تجاری قدیمی برای رنگی‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. محدودیت این روش این است که برای سطح روشنایی یکسان نمی‌تواند رنگ‌های متفاوت تولید کند. گرچه این محدودیت با در نظر گرفتن ناحیه‌های متفاوت در تصویر و سپس استفاده از جدول تبدیل قابل حل می‌باشد ولی این فرایند خیلی سخت و خسته کننده می‌باشد.

در [۴] ابتدا تصویر قطعه‌بندی شده و سپس از رنگ‌های مطلوب برای رنگ کردن نواحی استفاده شده است. از آنجایی که روش‌های قطعه‌بندی موجود در آن زمان نمی‌توانست تصویر را به نواحی معنا-داری تقسیم نماید، رنگی‌سازی به این شیوه خروجی رنگی طبیعی تولید نمی‌کرد. در [۵] روشی برای رنگی‌سازی تصاویر کارتونی با استفاده از قطعه‌بندی بدون ناظر ارائه شده است. تصاویر کارتونی عموماً دارای دو لایه پس‌زمینه و پیش‌زمینه می‌باشند. لایه پیش-زمینه شامل نواحی یکنواخت که توسط خطوط محصور شده‌اند، می‌باشد. لایه پس‌زمینه در طول انیمیشن ثابت می‌ماند. با استفاده از این دو مزیت، تصویر سطح خاکستری می‌تواند به نواحی تقسیم-بندی گردد و رنگی شود. این روش عموماً نمی‌تواند نتیجه مطلوبی برای انواع دیگر تصاویر تولید نماید.

یک روش نیمه اتوماتیک، از توزیع روشنایی محلی به عنوان اطلاعات بافت تصویر استفاده کرده و رنگ‌ها را از یک تصویر رنگی مبدا به تصویر سیاه و سفید هدف که مشابه تصویر مبدا است، منتقل می‌نماید [۶]. این شیوه از روش‌های ارائه شده در [۷] و [۸] الهام گرفته است. این روش برای صحنه‌های طبیعی موفقیت‌آمیز بوده است.

در [۹] قطعه‌بندی بیزی بافت تصویر برای رنگی‌سازی تصاویر سطح خاکستری معرفی شده است. این روش بعضی از معایب ارائه شده در منبع [۶] را رفع نمود اما برای تبدیل تصاویر ماهواره‌ای به تصاویر رنگی کاربرد دارد.

بسیاری از روش‌های رنگی‌سازی از نقطه‌های رنگی که توسط کاربر بوسیله خطوط رنگی روی تصویر اصلی سطح خاکستری قرار داده می‌شود، جهت رنگی‌سازی استفاده می‌نمایند. در [۱۰] رنگ‌ها با مینیمم کردن اختلاف بین چهار همسایه هر پیکسل، روی پیکسل ها پخش می‌گردد. رنگ ابتدایی توسط کاربر به پیکسل ها داده می-شود.

در [۱۱] با استفاده از خطوط رنگی ایجاد شده توسط کاربر و با توجه به مسئله بهینه‌سازی، کار رنگی‌سازی تصاویر انجام می‌گردد. روش ارائه شده در [۱۱] روشی مؤثر بوده ولی بسیار زمان‌بر می-باشد. در [۱۲] نیز روشی با استفاده از قطعه‌بندی تصاویر با توجه به خطوط رنگی قرار داده شده بر تصویر ارائه شده است. در این روش، رنگ هر ناحیه توسط خطوط قرار داده شده بر تصویر سیاه و سفید و قطعه‌بندی مشخص می‌گردد.

بسیاری از محققین به سراغ روش‌های مبتنی بر نمونه[۱] رفته‌اند. در این روش‌ها، یک یا چند تصویر رنگی نمونه به عنوان تصاویر مرجع انتخاب می‌گردد. سپس رنگی‌سازی یک تصویر تست، بر اساس آن تصویر (تصاویر) مرجع انجام می‌گردد. تا کنون تحقیقات زیادی برای رنگی‌سازی تصاویر خاکستری به کمک روش‌های مبتنی بر نمونه ارائه گردیده است که اکثر آنها نیاز به دخالت مستقیم انسان به وسیله انتخاب تصاویر مرجع و یا رنگی‌سازی دستی بخشی از تصویر تست دارند [۱۳] و [۱۴].

در این روش‌ها نیاز است یک کاربر انسانی در رنگی‌سازی یک تصویر تست کمک کند. در بعضی از این روش‌ها، نیاز است کاربر یک تصویر مرجع شبیه به تصویر تست را مشخص نماید [۱۳]،

[۱۵]، [۱۶] و [۱۷]. در برخی دیگر، نیاز است تا انسان نواحی از یک تصویر مرجع را مشابه با نواحی از تصویر تست مشخص نماید [۱۴].

در [۱۵] روشی برای رنگی‌سازی تصویر تست بر اساس یک تصویر مرجع انتخاب شده توسط کاربر ارائه گردیده است. در این روش، هم تصویر رنگی مرجع و هم تصویر خاکستری به فضای $L\alpha\beta$ برده شده و سپس تصاویر در این فضا، به پنجره‌های کوچکی با اندازه یکسان تقسیم می‌شوند. بر اساس یک معیار تعریف شده، به ازای هر پنجره از تصویر تست، شبیه‌ترین پنجره از تصویر مرجع، انتخاب می‌گردد. در انتها، پنجره تصویر تست طبق پنجره مشخص شده از تصویر مرجع، رنگی‌سازی می‌شود.

در [۱۶] و [۱۸] نیز رنگی‌سازی تصویر تست بر اساس یک تصویر مرجع انتخاب شده توسط کاربر انجام گرفته است. در این روش‌ها، به شرط انتخاب درست تصویر مرجع، نتایج خوبی حاصل گردیده است.

بنابراین در این روش‌ها دخالت کاربر انسانی مستقیم و مؤثر است. در این مقاله، یک روش مبتنی بر نمونه برای رنگی‌سازی یک تصویر تست به کار گرفته می‌شود که در آن دخالت کاربر انسانی به حداقل رسیده، به طوریکه، کافی است کاربر نوع تصویر تست (نوع اشیاء درون تصویر) را مشخص نماید. از طرف دیگر، از آنجایی که در یک تصویر سطح خاکستری، اطلاعات پیکسل‌های همجوار و پیکسل‌های درون قطعه حاوی یک پیکسون (ناحیه‌ای از تصویر که پیکسل‌های آن از لحاظ روشنایی شبیه یکدیگر هستند) در تعیین رنگ آن پیکسل مؤثر می‌باشند، در این مقاله، رنگی‌سازی تصاویر با استفاده از قطعه‌بندی آنها و سپس رنگی‌سازی هر قطعه بر اساس یک قطعه از یک تصویر مرجع انجام می‌گردد. در این مقاله از چندین مجموعه از تصاویر مرجع استفاده شده است. هر تصویر مرجع، یک تصویر با کیفیت مناسب و ساده از انواع مختلف تصاویر طبیعی مانند کوه، دریا، جنگل، انسان و نظیر آنها می‌باشد، یعنی در هر تصویر مرجع فقط یکی از عناصر طبیعی (کوه ، دریا، درخت، انسان و نظیر آن) وجود دارد. هر کدام از این تصاویر دارای یک نوع یا برچسب هستند. به عنوان مثال، تمامی تصاویری که نشان دهنده جنگل (درخت) هستند، برچسب "جنگل" دارند. تمامی تصاویر مرجع، قطعه بندی‌شده و قطعات به همراه نوع (برچسب) آنها در یک پایگاه داده ذخیره می‌گردد. هر تصویر تست، پس از مشخص شدن نوع (برچسب) آن توسط کاربر انسانی، قطعه‌بندی می‌شود. اطلاعات یک قطعه، در تعیین رنگ پیکسل-های درون آن مؤثر می‌باشد. بنابراین در این مقاله، قطعه‌بندی تصویر و سپس رنگی‌سازی هر قطعه پیشنهاد گردیده است. روش قطعه‌بندی استفاده شده در این مقاله، قطعه‌بندی بر اساس مفهوم پیکسون و استفاده از معیار بافت می‌باشد. یک پیکسون، مجموعه-ای از پیکسل‌های همجوار است که به یکدیگر شبیه هستند. معیار شباهت برای تشکیل یک پیکسون، هر معیاری می‌تواند باشد، اما در این مقاله، از معیار شباهت بافت استفاده شده است. یعنی پیکسل‌های همجوار که دارای بافت یکسان هستند، یک پیکسون را تشکیل می‌دهند. پس از قطعه‌بندی تصویر تست، به ازای هر قطعه آن، شبیه‌ترین قطعه از تصاویر مرجع مربوط به دسته مشخص شده توسط انسان (مثلا دسته تصاویر جنگل)، انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از یک الگوریتم خوشه‌بندی فازی، عمل رنگی‌سازی آن قطعه صورت می‌پذیرد. پس از رنگی‌سازی تمام قطعات تصویر تست، یک سری عملیات پس پردازش بر روی تصویر رنگی شده اعمال می‌گردد.

ساختار این مقاله به این صورت می‌باشد که در بخش دوم روش پیشنهادی برای رنگی‌سازی تصویر تست شرح داده شده است. در بخش سوم نیز نمونه‌هایی از نتایج خوشه‌بندی تصاویر تست با استفاده از روش پیشنهادی و نتیجه‌گیری آورده شده است.

۲- روش پیشنهادی جهت رنگی‌سازی

در این روش، ابتدا مجموعه‌ای از تصاویر به عنوان تصاویر مرجع انتخاب می‌شوند. این تصاویر شامل انواع مختلف از جمله تصاویر طبیعت (جنگل، گل، دریا، آسمان و نظیر آنها)، تصاویر انسان، تصاویر انواع مختلف میوه‌ها و دیگر تصاویری است که به عنوان تصاویر عمومی شناخته می‌شوند. مجموعه تمام این تصاویر، قطعه-بندی شده و قطعات آنها به همراه برچسب نوع آنها در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند. روش قطعه‌بندی مورد استفاده در این مقاله، قطعه‌بندی با استفاده از مفهوم فازی و ساختار پیکسونی می‌باشد. معیار شباهت استفاده شده برای تشکیل پیکسون‌ها، یک معیار بافت می‌باشد. برای رنگی‌سازی تصویر تست، ابتدا نوع آن توسط یک کاربر انسانی مشخص می‌شود. سپس این تصویر، قطعه‌بندی می‌گردد. تعداد قطعات نیز توسط کاربر مشخص می‌گردد. به ازای هر قطعه این تصویر، در مجموعه قطعات مربوط به تصاویر با برچسب مشابه با تصویر تست، شبیه‌ترین قطعه انتخاب می‌شود. طریقه بررسی این شباهت طبق یک معیار ترکیبی وزن‌دار از پنج معیار مختلف می‌باشد (این معیارها در بخش ۲-۲ بیان می شوند). سپس به وسیله الگوریتم فازی و به صورت کاملاً خودکار، این قطعه از تصویر تست بر طبق قطعه انتخاب شده از یک تصویر مرجع، رنگ‌آمیزی می‌شود. این کار برای تمام قطعات تصویر تست

انجام شده و قطعات رنگی‌شده در کنار هم، یک تصویر رنگی شده را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که رنگ نقاط مرزی در قطعات، با یکدیگر متفاوت بوده و ممکن است باعث شود تا رنگ‌های مصنوعی در تصویر دیده شود، یک پس‌پردازش روی این تصویر انجام می‌شود. این پس‌پردازش شامل اعمال فیلتر میانگین روی باندهای رنگ و اشباع در فضای رنگی HSV می‌باشد. بنابراین الگوریتم روش پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد:

- قطعه‌بندی تصاویر مرجع، ذخیره‌سازی قطعات به همراه برچسب تصاویر
- دریافت تصویر تست به همراه برچسب آن و تعیین تعداد قطعات توسط کاربر
- قطعه‌بندی تصویر تست دریافت شده
- به ازای هر قطعه تصویر تست
  - مشخص کردن شبیه‌ترین قطعه از قطعات مرجع با برچسب یکسان با تصویر تست
  - رنگی‌سازی قطعه تست بر اساس قطعه مرجع انتخاب شده
- پس‌پردازش تصویر رنگ شده

در ادامه به تشریح مراحل مختلف ذکر شده می‌پردازیم.

۲-۱- قطعه‌بندی تصویر

در روش قطعه‌بندی استفاده شده در این مقاله، به منظور کاهش اثر نویز و هموارسازی مختصر تصویر، ابتدا تکنیک آستانه‌گذاری موجک بر روی تصویر اعمال می‌شود [۱۹]. در این روش، ضرایب موجک تصویر که از یک حد آستانه کوچکتر هستند، صفر شده و بقیه ضرایب نگه داشته می‌شوند. با این عمل، جزئیات غیر ضروری تصویر حذف شده، در نتیجه، تعداد پیکسون کاهش و کارایی آن افزایش می‌یابد. در حقیقت، این عمل مانع از این می گردد که تصویر بیش از حد قطعه‌بندی شود. سپس تصویر پیش پردازش شده به یک تصویر پیکسونی مدل می‌شود و به جای اینکه پیکسل‌های تصویر در قطعه‌بندی مورد ارزیابی قرار گیرند، تنها پیکسون‌های آن به الگوریتم خوشه‌بندی وارد می‌شوند. الگوریتم مورد استفاده برای خوشه‌بندی پیکسون‌های تصویر، الگوریتم فازی C-Means می‌باشد.

روش استخراج پیکسون‌های تصویر، همان روش پیشنهاد شده در [۱۷] است، با این تفاوت که معیار شباهت یک نقطه با یک پیکسون در حال ساخت، معیار واریانس است. از آنجایی که برای بررسی الحاق یا عدم الحاق یک پیکسل به یک پیکسون، از یک معیار شباهت استفاده می‌شود، در روش استفاده شده در این مقاله، اختلاف واریانس به عنوان معیار شباهت در نظر گرفته شده است. بنابراین واریانس ناحیه (پیکسون) به همراه پیکسل الحاق شده با واریانس پیکسون بدون پیکسل مورد نظر، مقایسه شده، اگر تفاوت این دو واریانس از حدی کوچکتر باشد (این دو واریانس به یکدیگر نزدیک باشند)، پیکسل مورد نظر به پیکسون جاری الحاق می‌گردد (مقدار آستانه به صورت سعی و خطا تنظیم می گردد). در غیر اینصورت شروع به ساختن پیکسون جدید می‌نماید. پس از مشخص شدن پیکسون‌های تصویر، کار خوشه‌بندی آنها بر اساس الگوریتم فازی C-Means انجام می‌شود [۱۸].

۲-۲- انتخاب شبیه‌ترین قطعه

برای انتخاب یک قطعه از قطعات تصاویر مرجع (با برچسب مشابه با تصویر تست)، به عنوان شبیه‌ترین قطعه به قطعه مورد نظر از تصویر تست، از ترکیبی از معیارها استفاده شده است. در انتخاب شبیه ترین قطعه از تصاویر مرجع به یک قطعه از تصویر تست، اطلاعات روشنایی، بافت و هیستوگرام پیکسلهای آن قطعه تأثیر داده شده است. بنابراین این معیارها شامل موارد زیر می‌باشد:

- اختلاف میانگین سطح خاکستری دو قطعه
- اختلاف واریانس دو قطعه
- اختلاف میانگین آماری هیستوگرام دو قطعه
- اختلاف میانگین مجموع ضرایب باند جزئیات تبدیل ویولت دو قطعه
- معیار زیر که از هیستوگرام دو قطعه استخراج می شود:

$$1-\sqrt{1-\sum\sqrt{H1(i)H2(i)}}$$

که در آن H1 و H2 به ترتیب هیستوگرام دو قطعه مرجع و تست (پس از نرمال شدن و انتقال به بازه [0,1]) را نشان می‌دهد.

- فاصله جنسن هیستوگرام‌های دو قطعه (فاصله جنسن یک معیار شباهت بین دو بردار ورودی است که میزان شباهت را بر اساس توزیع احتمالات ورودی محاسبه می‌کند [۲۰]).

تمامی معیارهای فوق پس از نرمال‌سازی مقادیر پیکسل‌های تصویر و انتقال آنها به بازه [0,1] محاسبه می‌شوند. معیار نهایی استفاده شده، ترکیب وزن‌دار معیارهای مذکور می‌باشد. یعنی:

$$d(S_{Ri}, S_{Tj}) = a_1 d_1(S_{Ri}, S_{Tj}) + a_2 d_2(S_{Ri}, S_{Tj}) + a_3 d_3(S_{Ri}, S_{Tj}) + a_4 d_4(S_{Ri}, S_{Tj}) + a_5 d_5(S_{Ri}, S_{Tj}) + a_6 d_6(S_{Ri}, S_{Tj}) \quad (۲)$$

که S_{Ri} قطعه مرجع و S_{Tj} قطعه تست و $d_k(S_{Ri}, S_{Tj})$، هر یک از معیارهای مذکور و a_k ضریب (وزن) معیار مورد نظر است. وزن‌های استفاده شده در این الگوریتم، با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با آزمایش بر روی تعدادی تصویر تست از هر برچسب (نوع) به دست آمده است. بنابراین برای اینکه شبیه‌ترین قطعه از تصاویر مرجع، به قطعه مورد نظر از تصویر تست مشخص شود، مقدار d برای تمام قطعات تصاویر با برچسب انتخاب شده توسط کاربر و قطعه تست مورد نظر محاسبه گردیده و قطعه ای که کمترین d را دارد به عنوان شبیه‌ترین قطعه (S_R) انتخاب می‌گردد.

$$S_R = \arg\min_{SRi} d(S_{Ri}, S_{Tj}) \quad (۳)$$

۲-۳- رنگی‌سازی یک قطعه

پس از انتخاب شبیه‌ترین قطعه مرجع به قطعه مورد نظر، بر اساس رنگ‌های بکار رفته در قطعه رنگی مرجع، رنگی‌سازی قطعه مورد نظر انجام می‌شود. برای این کار، ابتدا پیکسل‌های قطعه مرجع بر اساس روش خوشه‌بندی فازی دسته‌بندی می‌شوند.

برای دسته‌بندی پیکسل‌های قطعه مرجع بر اساس الگوریتم فازی C-Means، باید برای هر پیکسل یک بردار ویژگی در نظر گرفته شود. بردار ویژگی مورد استفاده در این روش، به صورت روشنایی پیکسل و هشت همسایه آن در نظر گرفته شده است.

تعداد خوشه‌ها بر اساس تنوع رنگ‌های موجود در بردار حاوی نقاط رنگی قطعه مرجع تعیین می‌گردد. ابتدا روشنایی نقاط رنگی محاسبه شده و تعداد خوشه ها برابر با تعداد سطوح روشنایی پیکسلهای قطعه رنگی خواهد شد. بنابراین حداکثر تعداد خوشه‌ها ۲۵۶ خواهد بود.

پس از دسته‌بندی پیکسل‌های قطعه مرجع، بر اساس میزان عضویت یک پیکسل از قطعه تست (بردار ویژگی پیکسل مورد نظر) در خوشه‌های تشکیل شده، خوشه با بیشترین عضویت انتخاب می‌گردد. رنگ آن پیکسل برابر میانگین رنگ خوشه انتخاب شده، قرار می‌گیرد. این کار برای تمام پیکسل‌های قطعه تست تکرار شده تا کل قطعه تست رنگی گردد.

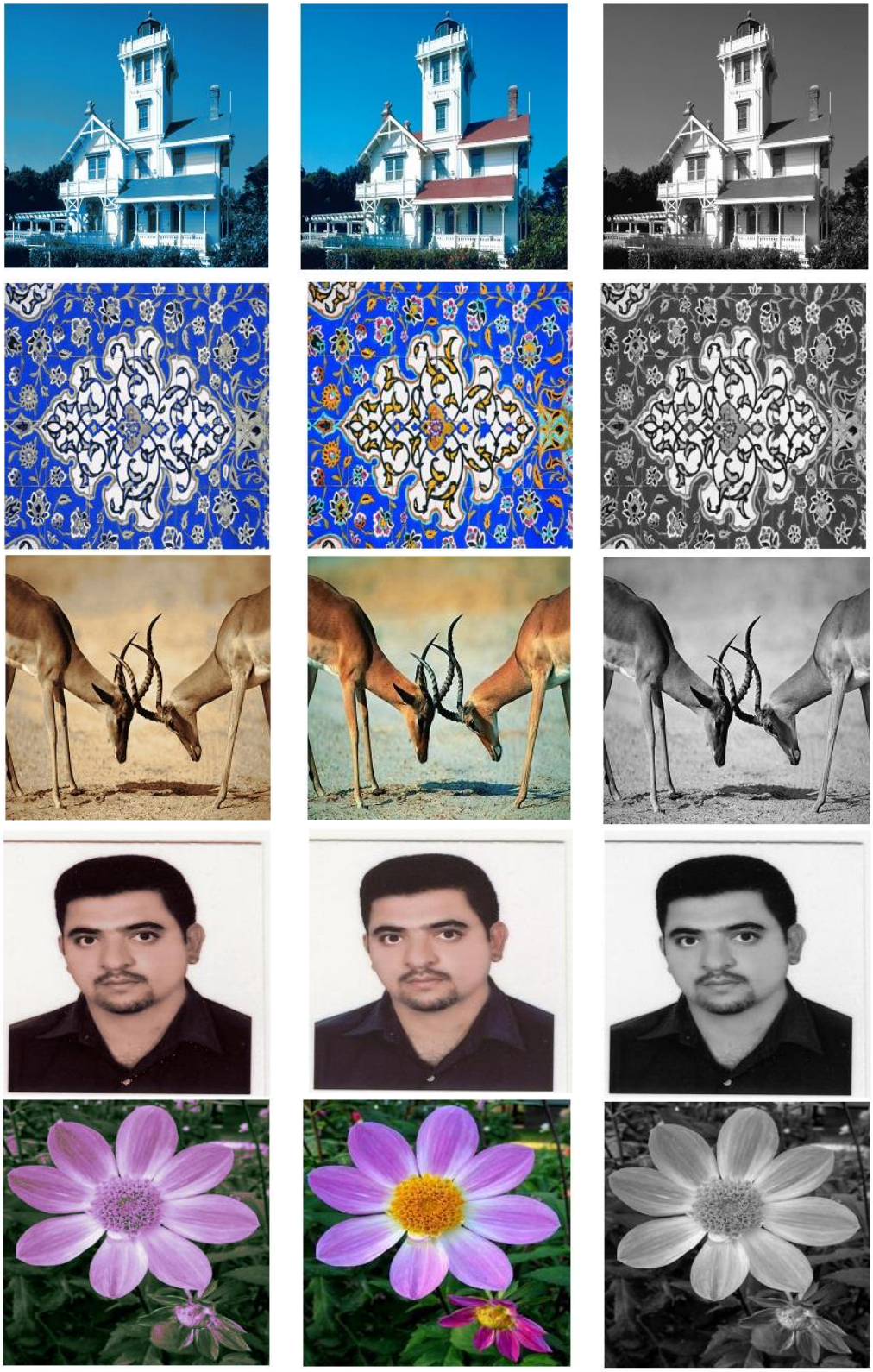
۲-۴- پس‌پردازش تصویر رنگی شده

پس از رنگی‌سازی تمام قطعات تصویر تست، این قطعات در کنار هم، یک تصویر رنگی شده را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که رنگ نقاط مرزی در قطعات، با یکدیگر متفاوت بوده و ممکن است باعث شود تا رنگ‌های مصنوعی در تصویر دیده شود، یک پس‌پردازش روی این تصویر انجام می‌شود. پس‌پردازش شامل اعمال یک فیلتر میانگین روی کانال‌های رنگ[۲] و اشباع[۳] مد HSV[۴] تصویر رنگی شده می‌باشد. فیلتر میانگین روی کانالهای رنگ و اشباع از مد رنگی HSV اعمال می‌گردد زیرا کافی است فقط رنگ پیکسل‌های مرزی بهبود یابد و نیاز نیست روشنایی آنها تغییر نماید. در حالی‌که اعمال این فیلتر روی کانال رنگ RGB باعث ایجاد رنگ-های مصنوعی در تصویر می‌شود.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای رنگی‌سازی تصاویر سطح خاکستری بر اساس قطعه‌بندی تصویر و با حداقل دخالت انسان پیشنهاد شده است. ابتدا یک تصویر غیر رنگی، توسط کاربر انسانی مشخص می‌گردد. سپس نوع یا برچسب آن (توسط کاربر) انتخاب می‌شود. کاربر می تواند چند برچسب را انتخاب نماید زیرا ممکن است یک تصویر تست، شامل مجموعه‌ای از عناصر مختلف باشد. به عنوان مثال تصویری داشته باشیم که در آن جنگل، آسمان و گل وجود داشته باشد. سپس تصویر مورد نظر، رنگ‌آمیزی شده و به کاربر نمایش داده می‌شود. در شکل ۱ چند تصویر غیر رنگی و تصویر رنگی شده معادل آن نشان داده شده است.

رنگی‌سازی یک تصویر، بدون دخالت انسان کار بسیار مشکلی است. اما به حداقل رساندن دخالت انسان هدف اصلی این مقاله می‌باشد. در این مقاله، یک روش برای رنگی‌سازی تصویر ارائه گردید که در آن دخالت کاربر فقط به مشخص نمودن نوع (برچسب) تصویر، محدود می‌شود. در این روش، انتخاب تعداد قطعات تصویر تست نیز بر عهده کاربر گذاشته شده است. اگر تصویر تست انتخاب شده توسط کاربر، دارای اشیاء موجود در مجموعه تصاویر مرجع باشد، رنگی‌سازی با کیفیت مطلوبی صورت می‌گیرد. به عنوان مثال، اگر تصویر تست شامل مجموعه‌ای از میوه‌ها باشد که در تصاویر مرجع با برچسب میوه وجود داشته باشد، رنگی‌سازی با موفقیت صورت می پذیرد، اما همانطور که می‌دانیم تنوع میوه‌ها در جهان، بسیار زیاد است. استفاده از تمام انواع میوه‌ها در تصاویر مرجع، امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین کارایی این روش، ارتباط مستقیم با تصاویر مرجع انتخاب شده دارد.



(ج) (ب) (الف)

شکل ۱- چند تصویر رنگی شده توسط روش پیشنهادی، (الف) تصویر خاکستری. (ب) تصویر رنگی اصلی. (ج) تصویر خروجی روش پیشنهادی.

مراجع

[1] W. Markle, "The development and application of colorization", *Society of Motion Picture & Television Engineers (SMPTE) Journal*, Vol. 93, no. 7, pp.632-635, 1984.

[2] T. Welsh, M. Ashikhmin and K. Mueller, "Transferring color to grayscale images", *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 21, no. 3, pp. 277-280, 2002.

[3] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, "Digital Image Processing," 2nd Edition, Prentice Hall, pp. 315-326, 2002.

[4] J. Shi and J. Malik, "Normalized cuts and image segmentation", *In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 731-737, 1997.

[5] D. Sykora, J. Burianek and J. Zara, "Segmentation of black and white cartoons", *In Proceedings of Spring Conference on Computer Graphics*, pp. 245-254, 2003.

[6] T. Welsh, M. Ashikhmin and K. Mueller, "Transferring color to grayscale images", *In ACM SIGGRAPH 2002 Conference Proceedings*, pp. 277-280, 2002.

[7] E. Reinhard, M. Ashikhmin and B. Gooch, "Color transfer between images" *IEEE Trans. Comput. Graph. Appl*. Vol. 21, no. 5, pp. 34-41, 2001.

[8] A. Hertzmann, C.E. Jacobs and N. Oliver, "Image analogies", *In SIGGRAPH 2001 Conference Proceedings*, pp.327–340, 2001.

[9] U. Lipowezky,"Grayscale aerial and space image colorization using texture classification", *Pattern Recognition Lett*. Vol. 27, no. 4, pp. 275-286, 2006.

[10] T. Horiuchi and S. Hirano, "Colorization algorithm for grayscale image by propagating seed pixels", *In Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP2003)*, pp. 457-460, 2003.

[11] A. Levin., D. Lischinski and Y. Weiss, "Colorization using optimization", *In SIGGRAPH 2004 Conference Proceedings*, pp. 689-694, 2004.

[12] V.G Jacob and S. Gupta, "Colorization algorithm for grayscale image and video using a semiautomatic approach", *IEEE Conference on Digital Object Identifier*, pp. 1653-1656, 2009.

[13] J. Li, P. Hao, and C. Zhang. "Transferring colors to grayscale images by locally linear embedding," *Proc. British Machine Vision Conf.(BMVC), Leeds, UK*, pp. 835–844, 2008.

[14] V. Karthikeyani, K. Duraiswamy, and P. Kamalakkannan, "Conversion of gray-scale image to color image with and without texture synthesis", *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, Vol.7 no.4, April 2007.

[15] S. Kumar and D. Singh, "Colorization of gray image in Lαβ color space using texture mapping and luminance mapping", *International Journal of Computational Engineering Research*, Vol. 2 Issue. 5, 2012.

[16] A. Bugeau, V. Ta, and N. Papadakis, "Variational exemplar-based image colorization", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 23, no. 1, 2014.

[17] H. Hassanpour and H. Yousefian, "An improved pixon-based approach for image segmentation", *International Journal of (IJE) Transactions A: Basics*, Vol. 24, No. 1, pp. 24-35, 2011.

[۱۸] ح. دهقان ج. غلامپور، "رنگی‌سازی خودکار تصاویر و فیلم‌های سیاه و سفید با استفاده از تئوری منطق فازی"، *سیزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران*، ۲۶ شهریور ۱۳۸۹.

[19] S.G. Chang, B. Yu and M. Vetterli, "Adaptive Wavelet thresholding for image denoising and compression", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 9, pp. 1532-1545, 2000.

[20] D. M. Endres and J. E. Schindelin, "A new metric for probability distributions". IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. 49, no. 7, pp. 1858–1860, 2003.

زیرنویس‌ها

[1] Example-Based Approaches

[2] Hue

[3] Saturation

[4] Hue- Saturation - Value