ارائه روشی برای خواندن خودکار نقشه چاپی فرش و مقایسه آن با روش خوشه‌یابی C – میانگین

احمد ایزدی‌پور و احسان‌اله کبیر

چکیده: خواندن خودکار نقشه چاپی فرش به دو مرحله تقسیم می‌شود: آشکارسازی خطوط نقشه، شامل خطوط باریک و خطوط ضخیم؛ کاهش رنگ پیکسل‌های تصویر به رنگ‌های پالت. برای شناسایی خطوط نقشه الگوریتمی پیشنهاد شده است. در این الگوریتم ابتدا فاصله خطوط باریک محاسبه می‌شود. پس از شناسایی اولین خط باریک، خطوط باریک بعدی به‌ترتیب رسم می‌شوند. برای شناسایی اولین خط ضخیم از الگوریتم شانه‌گذاری استفاده شده است. مشکل عمده در شناسایی خطوط، خطای نمونه‌برداری ناشی از اسکنر است. این خطا غیر قابل اجتناب است. برای اصلاح این خطا در مراحل مختلف شناسایی و ترسیم خطوط راه حل‌هایی پیشنهاد شده است. پس از شناسایی خطوط، کاهش رنگ انجام می‌شود. هدف این است که رنگ پیکسل‌های درون چهارخانه‌های نقشه – که از تلاقی خطوط باریک حاصل می‌شوند – به رنگ‌های پالت، نگاشت شوند. سه روش برای کاهش رنگ ارائه شده است. در روش اول کاربر برای هر رنگ نقشه، دو پیکسل انتخاب می‌کند. پالت رنگ، با پردازش مناسب بر روی رنگ‌های انتخابی کاربر به‌دست می‌آید. برای تعیین رنگ یک چهارخانه، رنگ پیکسل‌های میانی آن بر اساس این پالت نگاشت می‌شود و فراوان‌ترین رنگ به‌دست می‌آید. سپس چهارخانه مربوطه با این رنگ پر می‌شود. این الگوریتم کاهش رنگ به همراه یک مرحله پس‌پردازش روی چند تصویر نمونه اعمال شد. میزان خطا برای تصاویر پایگاه داده از ۰/۰۷ درصد تا ۰/۵ درصد بود. به‌منظور بررسی امکان کاهش دخالت کاربر از روش C – میانگین به دو صورت استفاده شده است. مراکز خوشه‌های اولیه یک بار با دخالت کاربر و بار دیگر به‌طور تصادفی تعیین می‌شوند. نتایج این سه روش مورد مقایسه و بحث قرار می‌گیرد.

کلید واژه: **کاهش رنگ، نقشه فرش، طبقه‌بندی رنگ، خوشه‌بندی رنگ، الگوریتم C – میانگین.**

۱- مقدمه

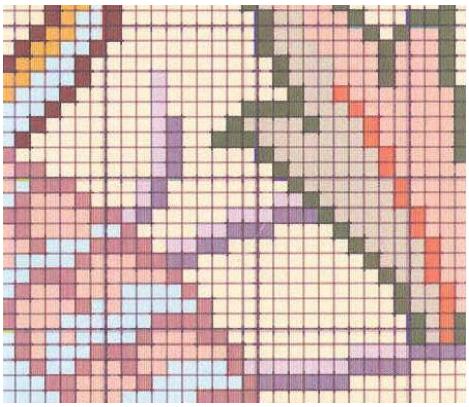
فرش یکی از یادگارهای فرهنگ و هنر ایران است که امروزه به یک صنعت بزرگ تبدیل شده است. برای زنده و پویاماندن این صنعت، لازم است کار طراحی نقشه فرش هر چه بیشتر تسهیل شود. امروزه طراحی نقشه فرش به‌وسیله رایانه به‌جای طراحی دستی (روش سنتی) متداول است.

گاه لازم است نقشه‌هایی که قبلاً به‌صورت دستی ترسیم شده‌اند دوباره بازسازی شوند. می‌توان این کار را به‌صورت دستی به‌وسیله طراح ماهر انجام داد ولی این کار دشوار و زمان‌بر است. اگر بتوان این مهم را به‌وسیله رایانه انجام داد گام بزرگی در احیای نقشه‌های زیبای سنتی و

این مقاله در تاریخ ۱۳ تیر ماه ۱۳۸۷ دریافت و در تاریخ ۲۸ شهریور ماه ۱۳۸۸ بازنگری شد.

احمد ایزدی‌پور، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، (email: izadipour@modares.ac.ir).

احسان‌اله کبیر، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، (email: kabir@modares.ac.ir).



شکل ۱: تصویر قسمتی از نقشه فرش که با درجه تفکیک dpi ۲۰۰ اسکن شده است.

قدیمی برداشته شده است. برای رسیدن به این هدف باید ابتدا نقشه فرش به تصویری قابل پردازش توسط رایانه تبدیل شود. به‌علاوه اگر نقشه فرش به رایانه شناسانده شود می‌توان کتابخانه‌ای از طرح‌ها و نقش‌ها تهیه نمود که این کار روند طراحی به‌وسیله رایانه را ساده‌تر می‌کند.

برای رسیدن به این افق بلند در ساده‌ترین حالت تصاویری که توسط چاپگر تهیه شده‌اند، توسط رایانه شناسایی می‌شوند. این تصاویر توسط اسکنر، اسکن می‌شوند و کلیه مراحل پردازش روی این تصاویر اعمال می‌شود. در نهایت پس از شناسایی توسط رایانه، هر یک از پیکسل‌های تصویر، همان رنگ صحیح درون نقشه را دارند. در صورت موفقیت در این گام می‌توان در مراحل بعدی نقشه‌های دستی را پردازش نمود.

در این مقاله هدف این است که گام اول این مقصود یعنی خواندن خودکار نقشه چاپی فرش توسط رایانه انجام شود. برای این منظور نقشه‌هایی که به‌وسیله چاپگر یا دستگاه چاپ تهیه شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این نقشه‌ها به‌وسیله اسکنر با درجه تفکیک dpi ۲۰۰ و به‌صورت میلیون رنگ اسکن شده است (شکل ۱). در این تحقیق فرض شده است که تصویر اسکن‌شده تمیز و بدون لکه و بدون کجی است. بنابراین احتیاج به پیش‌پردازش‌هایی چون چرخش یا حذف نویز ندارد.

آنچه در تمام نقشه‌های فرش مشاهده می‌شود، خطوط باریک و ضخیمی است که به‌صورت خط‌های راست افقی و عمودی وجود دارند که از تلاقی این خطوط چهارخانه‌هایی با اندازه‌های یکسان به‌وجود می‌آیند. به‌عنوان مثال شکل ۱ برش قسمتی از نقشه فرش است که ۲۷ خط باریک عمودی و ۳ خط ضخیم عمودی در آن وجود دارد. اندازه چهارخانه‌ها در نقشه‌های مختلف، با توجه به رجِ آن نقشه‌ها متفاوت است. در نقشه‌های فرش، پیکسل‌های درون هر چهارخانه همرنگ هستند. برای قالیباف، هر چهارخانه‌ی نقشه فرش (هر مربع شکل ۱) معادل یک گره فرش می‌باشد. به‌عبارت دیگر قالیباف رنگ گره را با توجه به رنگ چهارخانه متناظر انتخاب می‌نماید.

تعداد رنگ‌های استفاده‌شده در فرش‌ها محدود است (به‌عنوان مثال در شکل ۱ یازده رنگ وجود دارد). بنابراین باید رنگ‌های موجود در تصاویر

Archive of SID

www.SID.ir

اسکن‌شده، به‌وسیله روش‌های کاهش رنگ به تعداد محدودی کاهش یابد تا برای نقشه فرش مناسب باشد.

این مقاله استخراج‌شده از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان خواندن خودکار نقشه چاپی فرش است [۱]. در رابطه با این موضوع، در میان پایان‌نامه‌ها و پروژه‌های دانشگاهی کاری مشاهده نشده است و از این نظر کاری نو به‌شمار می‌آید. از لحاظ صنعتی در بازار ایران، نرم‌افزارهای بوریا [۲] و نقش‌ساز [۳] و طوبی [۴] مهم‌ترین نرم‌افزارهای طراحی نقشه فرش هستند. این نرم‌افزارها توانسته‌اند کاهش به ۲۵۶ رنگ را انجام دهند و برای کاهش به تعداد کمتر دچار خطای زیادی می‌شوند که باید کاربر آنها را برطرف کند که کاری زمان‌بر است.

خواندن خودکار نقشه چاپی فرش را به دو مرحله تقسیم کرده‌ایم: آشکارسازی خطوط نقشه، شامل خطوط باریک و خطوط ضخیم [۵]؛ کاهش رنگ پیکسل‌های تصویر به رنگ‌های پالت [۶].

در بخش دوم الگوریتم شناسایی خطوط تصویر توضیح داده می‌شود. به‌عبارت دیگر در این قسمت مرز چهارخانه‌ها مشخص خواهد شد.

آنچه در تصاویر اسکن‌شده مشاهده می‌شود این است که پیکسل‌های درون چهارخانه‌ها همرنگ نیستند. به‌عبارت دقیق‌تر پیکسل‌ها، مؤلفه‌های رنگ[۱] یکسان ندارند؛ پس لازم است تعداد رنگ‌های تصویر اسکن‌شده، با استفاده از روش‌های کاهش رنگ به تعداد رنگ معین در نقشه کاهش یابند. در ادامه مروری بر روش‌های کاهش رنگ خواهیم داشت.

۱-۱ مرور بر روش‌های کاهش رنگ

کاهش رنگ شامل دو مرحله است؛ تشکیل پالت و نگاشت رنگ پیکسل‌ها به رنگ‌های پالت (رنگ‌های پالت رنگ‌هایی هستند که تصویر به‌وسیله آنها رنگ می‌شود)، به‌طوری که اختلاف بین تصویر اصلی و تصویر کوانتیزه‌شده (کاهش رنگ یافته) کمینه شود [۷] و [۸].

دو نوع پالت رنگ وجود دارد:

الف) پالت رنگ ثابت[۲] با تعداد و نوع رنگ مشخص. در بعضی مقالات از آن با عنوان کوانتیزه‌کردن یکنواخت[۳] یاد شده است. این روش نمی‌تواند توزیع رنگ را کنترل نماید، یعنی ممکن است برخی از سلول‌ها خالی بمانند و از آنها استفاده‌ای نشود. بنابراین استفاده از این روش معمولاً نتایج غیر قابل قبولی خواهد داشت مگر این که تکنیک هاف‌تونینگ[۴] [۹] در آن به‌کار رود [۸].

ب) پالت وابسته به تصویر. در برخی مقالات از آن با عنوان کوانتیزه‌کردن تطبیقی[۵] یاد شده است. در این روش جستجویی برای یافتن بهترین مجموعه رنگ از رنگ‌های موجود انجام می‌گیرد. این روش زمان‌بر است ولی نتایج بهتری دارد. اگر روش‌های تشکیل پالت تطبیقی را مرور کنیم می‌توان آنها را به سه دسته تقسیم نماییم [۸]:

۱) روش‌های سلسله مراتبی[۶] (پیش از خوشه‌یابی[۷]): که دو گونه هستند:

الف) روش‌های تراکمی[۸]: این روش‌ها با خوشه‌های تک‌نقطه‌ای شروع می‌کند و با ادغام خوشه‌ها به تعداد خوشه مطلوب می‌رسد.

ب) روش‌های تجزیه‌ای[۹]: در این روش‌ها خوشه اولیه شامل تمام نقاط تصویر است و با برش و تقسیم خوشه‌ها به خوشه‌های کوچک‌تر به تعداد خوشه مطلوب می‌رسد. معیار ادغام یا تجزیه خوشه‌ها و محل برش یا ادغام در الگوریتم‌های مختلف، متفاوت است. برای ذکر نمونه‌هایی از روش‌های تجزیه‌ای می‌توان به روش‌های الگوریتم عمومیت[۱۰]، الگوریتم برش میانه[۱۱]، الگوریتم برش مرکزی[۱۲]، الگوریتم حداقل‌کردن واریانس[۱۳] و الگوریتم Octree اشاره نمود.

۲) روش‌های تکراری[۱۴] (پس از خوشه‌یابی[۱۵]): این روش‌ها با یک پالت اولیه شروع می‌شوند و با تکرارهای پشت سر هم، پالت اصلاح می‌شود تا خطای مجذور میانگین[۱۶] (MSE) کمینه گردد. این روش‌ها به بهای افزایش زمان محاسبه ممکن است ما را به پاسخ بهینه برسانند ولی این روش‌ها به‌شدت وابسته به شرایط اولیه هستند. بنابراین در عمل، پالت اولیه با استفاده از یکی از روش‌های پیش از خوشه‌یابی ساخته می‌شود و با استفاده از روش‌های تکراری بهینه می‌گردد. به‌عنوان نمونه می‌توان به روش C – میانگین اشاره نمود.

۳) روش‌های کوانتیزاسیون عددی[۱۷]: این روش‌ها در برابر روش‌های کوانتیزاسیون برداری[۱۸] مطرح می‌شوند. در دو روش گذشته کوانتیزاسیون به‌صورت برداری انجام می‌شود. کوانتیزاسیون برداری حجم محاسبات بالایی به همراه دارد [۱۰].

بیشتر تکنیک‌های کاهش رنگ از اطلاعات مکانی پیکسل‌های تصویر چشم‌پوشی می‌کنند و تنها به رنگ‌های آنها اهمیت می‌دهند. روش‌هایی معرفی شده‌اند که اطلاعات رنگ و اطلاعات مکانی پیکسل‌ها را توأماً در نظر می‌گیرند. الگوریتم ACR[۱۹] از ترکیب روش SOM[۲۰] و PCA[۲۱] پیشنهاد شده است. در این الگوریتم، یک شبکه عصبی خود سامان به کار گرفته شده که از خوشه‌یابی درختی به همراه اطلاعات مربوط به رنگ و همسایگی محلی استفاده می‌کند تا یک روش وفقی برای کاهش رنگ بسازد. در این رویکرد، مؤلفه‌های رنگ هر پیکسل وابسته به خصوصیات مکانی محلی است [۱۱].

به‌طور کلی سه راه برای تشکیل پالت رنگ وجود دارد که استفاده از آنها به کاربرد بستگی دارد [۷] و [۸].

۱) پیداکردن بهترین پالت رنگ بدون پیش‌فرض تعداد رنگ‌ها.

۲) پیداکردن بهترین پالت رنگ با تعداد رنگ از پیش تعیین شده.

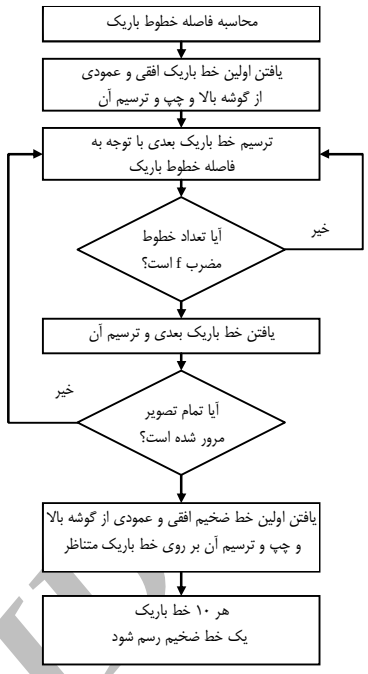
۳) تشکیل پالت با استفاده از رنگ‌های انتخابی کاربر.

در بخش سوم این مقاله، ابتدا روش پیشنهادی برای کاهش رنگ توضیح داده می‌شود. در این روش هدف این است که پیکسل‌های درون

۱. در این پژوهش از فضای رنگ RGB استفاده شده است.

2. Fix or Universal Palette
3. Uniform Quantization
4. Half Toning
5. Adaptive Quantization
6. Hierarchical Schemes
7. Pre-Clustering
8. Agglomerative (Bottom-Up) Techniques
9. Divisive (Top-Down) Techniques
10. Popularity Algorithm
11. Median Cut Algorithm
12. Center Cut Algorithm
13. Variance Minimization Algorithm
14. Iterative Schemes
15. Post-Clustering
16. Mean Square Error
17. Scalar Quantization
18. Vector Quantization
19. Adaptive Color Reduction
20. Self Organizing Map
21. Principal Component Analysis

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲: الگوریتم شناسایی خطوط تصویر.

چهارخانه‌ها به رنگ‌های پالتی که کاربر در تشکیل آن دخالت دارد، نگاشت شوند. سپس به‌منظور بررسی امکان کاهش دخالت کاربر از روش خوشه‌یابی C – میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه تصادفی استفاده می‌شود. همچنین به‌منظور مقایسه با روش پیشنهادی از روش خوشه‌یابی C – میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه به انتخاب کاربر استفاده می‌شود.

۲- شناسایی خطوط تصویر

شکل ۲ فلوچارت کلی الگوریتم شناسایی خطوط را نشان می‌دهد. در ادامه هر مرحله جداگانه توضیح داده می‌شود.

۲-۱ محاسبه فاصله خطوط باریک (M)

برای این منظور یک پنجره (۲۵×۲۵)،۱۰ بار بر روی تصویر در موقعیت‌های تصادفی قرار داده می‌شود. در هر بار فاصله خطوط باریک بر اساس الگوریتمی که در بخش ۲-۲ آمده است، محاسبه می‌شود. سپس فراوان‌ترین فاصله به‌عنوان فاصله خطوط باریک (M) در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر محاسبه فراوان‌ترین فاصله، نمودار فراوانی را برای تمام فواصل رسم می‌کنیم. از این نمودار برای یافتن خطوط ضخیم استفاده می‌شود که در بخش ۲-۵ توضیح داده خواهد شد.

از آنجا که تصاویر پایگاه داده از طریق اسکن با درجه تفکیک ۲۰۰ dpi حاصل شده‌اند، فاصله هر دو خط باریک مجاور هم حداکثر ۱۸ پیکسل است. در نتیجه حداقل ابعاد پنجره که با کمترین محاسبات کمینه‌های نسبی مطلوب حاصل شود، ۲۵ پیکسل است. اگر بُعد پنجره محاسبه M از ۲۵ پیکسل بیشتر باشد، تعداد کمینه‌های نسبی بیشتری به‌دست می‌آید. این امر باعث افزایش زمان اجرای برنامه می‌شود.

عدم تطابق درجه تفکیک اسکنر با فاصله خطوط در نقشه، باعث ایجاد خطای نمونه‌برداری در تصویر می‌شود. در نتیجه فاصله خطوط در قسمت‌های مختلف تصویر ممکن است متفاوت به‌دست آید. این مشکل همان‌طور که بیان شد با قراردادن پنجره مذکور در ۱۰ جای مختلف تصویر و محاسبه M حل می‌شود. لازم به ذکر است که خطای نمونه‌برداری در مراحل بعدی نیز مشکل‌هایی را به‌وجود می‌آورد که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

۲-۲ الگوریتم محاسبه M در هر پنجره

الگوریتم محاسبه فاصله خطوط باریک به‌صورت زیر است:

۱) برای هر یک از سطرهای درون پنجره، مؤلفه قرمز پیکسل‌ها با هم جمع شده و در آرایه py قرار می‌گیرند. همین عمل برای ستون‌ها انجام می‌شود و در آرایه px ذخیره می‌شود (به‌عبارت دیگر مؤلفه قرمز پیکسل‌های پنجره بر آرایه‌های px و py افکنش می‌شود).

۲) کمینه‌های نسبی آرایه‌های px, py محاسبه می‌شود. نحوه محاسبه کمینه نسبی در آرایه px بدین ترتیب است: یک پنجره (۱×۱۲) روی آرایه قرار داده می‌شود. کمینه آرایه px درون پنجره محاسبه می‌شود. سپس پنجره یک واحد شیفت داده می‌شود و دوباره کمینه آرایه در بازه جدید به‌دست می‌آید. اگر کمینه جدید همان کمینه قبلی باشد، این مقدار به‌عنوان کمینه نسبی تأیید می‌شود، در غیر این صورت رد می‌شود. این عملیات با مرور روی کل آرایه px خاتمه می‌یابد. همین عملیات برای محاسبه کمینه‌های نسبی آرایه py انجام می‌شود.

۳) اختلاف مکانی کمینه‌های مجاور هم محاسبه شده و به‌عنوان فاصله آن دو خط منظور می‌گردد.

۴) فراوان‌ترین فاصله به‌عنوان فاصله خطوط در آن پنجره در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳ یافتن اولین خط باریک افقی و عمودی

یک پنجره (۲۵×۲۵) در گوشه بالا و چپ تصویر قرار داده می‌شود و همانند بخش ۲-۲، آرایه‌های px, py محاسبه می‌شود. موقعیت مکانی اولین کمینه نسبی این دو آرایه، مکان اولین خط افقی و اولین خط عمودی را بیان می‌کند.

۲-۴ یافتن خط باریک بعدی

خطوط باریک بعدی با توجه به فاصله M رسم می‌شوند. مشاهده می‌شود با افزایش تعداد خطوط، فاصله خطوط ترسیمی از خطوط اصلی بیشتر می‌شود. این اختلاف ناشی از خطای نمونه‌برداری است. برای حل این مشکل هرگاه تعداد خطوط به مضارب f[1] رسید، خط بعدی همانند بخش ۲-۳ با قراردادن یک پنجره (۲۵×۲۵) در موقعیت آخرین خط ترسیمی پیدا می‌شود و خطوط بعد از آن تا رسیدن به مضرب f با فاصله M رسم می‌شوند. با این روش، با گذر از هر سه خط، خطای نمونه‌برداری صفر می‌شود. به‌عبارت دیگر از آنجا که راهی برای حذف کلی این خطا وجود ندارد، پس از عبور از تعداد مشخص خطوط، با یافتن خط جدید، خطا دوباره صفر می‌شود.

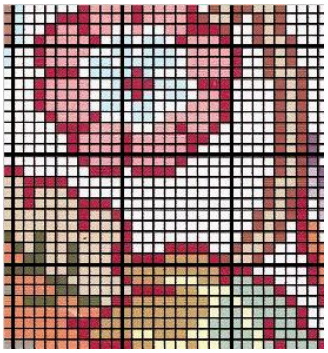
۲-۵ یافتن اولین خط ضخیم افقی و عمودی

از آنجا که در تمام نقشه‌ها هر ۱۰ خط باریک متناظر یک خط ضخیم است، پس از ترسیم تمام خطوط باریک، هر ۱۰ خط باریک به یک خط ضخیم تبدیل می‌شود. ضخامت هر خط باریک یک پیکسل و ضخامت

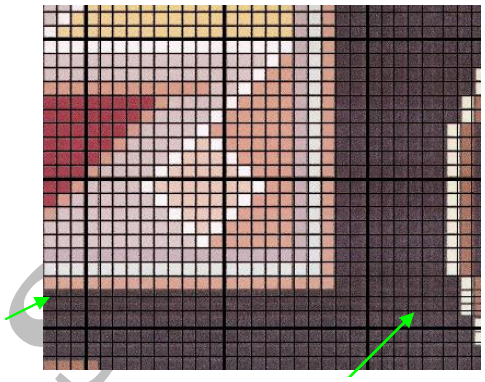
۱. بهترین مقدار برای این پارامتر که با استفاده از روش سعی و خطا روی تصاویر پایگاه داده به‌دست آمده است، عدد ۳ است. این عدد، بیان‌گر اختلاف درجه تفکیک اسکنر و فاصله خطوط در نقشه است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: تصویری که خطوط آن شناسایی شده‌اند.



شکل ۴: فلش‌ها خطوطی را که نادرست رسم شده‌اند، نشان می‌دهند.

هر خط ضخیم سه پیکسل است. برای یافتن اولین خط ضخیم از الگوریتم شانه‌گذاری استفاده می‌شود.

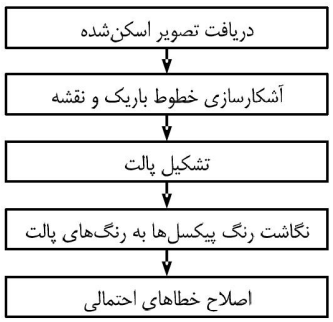
انتظار می‌رود فاصله خطوط ضخیم $M \times ۱۰$ باشد ولی به‌علت خطای نمونه‌برداری، مقدار سه[۱] واحد کمتر و یا مقدار سه واحد بیشتر است. برای تشخیص خودکار این افزایش یا کاهش از نمودار فراوانی برای مقادیر گوناگون فاصله خطوط باریک در پنجره‌ها که در بخش ۲-۱ محاسبه شده است، استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال اگر مرحله اول الگوریتم (محاسبه M) برای شکل ۱ اجرا شود، $M = ۱۵$ به‌دست می‌آید. در نمودار فراوانی، فراوان‌ترین فاصله بعد از ۱۵، عدد ۱۴ است. چون فراوان‌ترین فاصله بعد از M، مقداری کمتر از M دارد، در نتیجه فاصله خطوط ضخیم $۱۰M - ۳$ در نظر گرفته می‌شود. بالعکس اگر در نمودار فراوانی، فراوان‌ترین فاصله بعد از M، مقداری بیشتر از M داشته باشد، فاصله خطوط ضخیم $۱۰M + ۳$ در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از این روش فاصله بین خطوط عمودی به‌طور دقیق به‌دست می‌آید.

۲-۶ الگوریتم شانه‌گذاری

برای هر یک از سطرهای تصویر، مؤلفه قرمز پیکسل‌ها با هم جمع می‌شوند و در آرایه pym قرار می‌گیرند (pym هم‌اندازه تعداد سطرهای تصویر است).

حال برای یافتن اولین خط افقی ضخیم آرایه‌ای به‌صورت زیر فرض می‌شود: این آرایه هم‌اندازه pym انتخاب می‌شود. عناصر این آرایه همانند شانه‌ای انتخاب می‌شود که دندانه‌هایی با رنگ سیاه و عرض سه پیکسل دارد. فاصله بین دندانه‌ها با رنگ سفید پر می‌شود. فاصله دندانه‌ها از هم برابر $۱۰M + ۳$ یا $۱۰M - ۳$ است. همان‌طور که در بخش ۲-۵ توضیح داده شد، با توجه به تصویر یکی از این دو مقدار برای فاصله دندانه‌ها انتخاب می‌شود.

۱. این عدد بیان‌گر اختلاف درجه تفکیک اسکنر و فاصله خطوط در نقشه است.



شکل ۵: فرآیند کامل کاهش رنگ تصویر نقشه چاپی فرش.

این شانه بر روی آرایه pym حرکت داده می‌شود. هر کجا کمترین اختلاف بین شانه و آرایه حاصل شد، بدین معنی است که شانه بر روی خطوط ضخیم قرار دارد. مکان اولین دندانه موقعیت اولین خط افقی ضخیم است. همین اعمال برای ستون‌های تصویر اعمال می‌شود و در نهایت اولین خط عمودی ضخیم به‌دست می‌آید.

۲-۷ نتایج شناسایی خطوط

الگوریتم شناسایی خطوط روی تصاویر پایگاه داده اعمال شده است و نتایج نهایی در اغلب تصویرها بدون هیچ‌گونه خطایی است. یعنی خطوط ترسیمی بر خطوط متناظر در تصویر اولیه، منطبق است. در بعضی از تصویرها برخی خطوط با یک یا دو پیکسل خطا شناسایی شده‌اند. مثلاً در شکل ۳ خطوط افقی وسط تصویر سایه‌دار مشاهده می‌شوند. این بدین دلیل است که در شناسایی خطوط یک پیکسل خطا وجود دارد. لازم به ذکر است که در نتایج نهایی تا دو پیکسل خطا در تشخیص خطوط قابل قبول است. این نتایج داده‌های ورودی برای مرحله بعد (کاهش رنگ) می‌باشند. در کاهش رنگ با انتخاب پیکسل‌هایی در درون چهارخانه‌ها می‌توان از خطا در پیکسل‌های اطراف صرف نظر کرد.

در برخی از تصاویر که زمینه سیاه یا نقش‌هایی با رنگ‌های تیره دارند، تشخیص خطوط با این روش کار دشواری است؛ زیرا یافتن کمینه‌های مطلوب از میان آرایه‌های px و py بسیار دشوار است. با این حال الگوریتم طوری طراحی شده است که بعد از هر f خط، خط بعدی جستجو می‌شود و بدین ترتیب حتی در این تصاویر خطوط با خطای قابل قبولی شناسایی می‌شود (شکل ۴).

۳- کاهش رنگ پیکسل‌های تصویر

پس از شناسایی خطوط تصویر مرز چهارخانه‌ها مشخص می‌شود. در این بخش پیکسل‌های درون چهارخانه‌ها همرنگ می‌شوند و به رنگ‌های پالت، نگاشت می‌شوند. فرایند کامل کاهش رنگ تصویر نقشه چاپی فرش در شکل ۵ ارائه شده است.

در این بخش سه روش برای کاهش رنگ ارائه می‌شود. تفاوت این روش‌ها در مرحله تشکیل پالت است. بقیه مراحل کار مشابه شکل ۵ است. در ادامه این سه روش به‌طور کامل توضیح داده می‌شود.

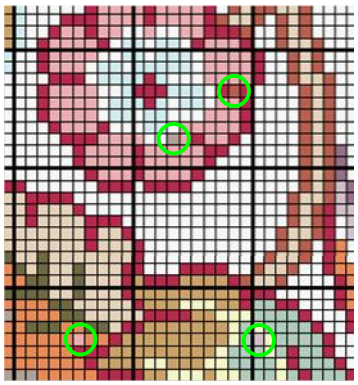
۳-۱ روش اول: روش پیشنهادی

۳-۱-۱ تشکیل پالت

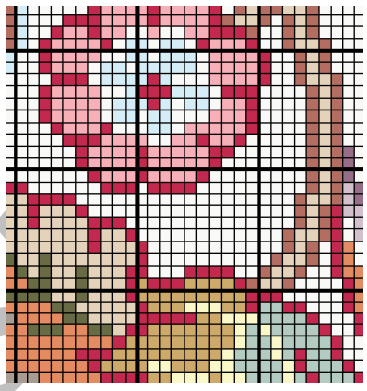
نحوه تشکیل پالت در روش پیشنهادی بدین ترتیب است:

۱) از کاربر خواسته می‌شود که برای هر رنگ، دو پیکسل از مکان‌های مختلف تصویر انتخاب کند.

Archive of SID
www.SID.ir



(الف)



(ب)

شکل ۶. کاهش رنگ به روش اول، (الف) تصویر پس از کاهش رنگ، ۴ خانه نادرست رنگ شده‌اند و (ب) تصویر نهایی پس از اصلاح خطاها.

۲) رنگ هر پیکسل و K[1] همسایه آن در نظر گرفته می‌شود.
۳) میانگین رنگ $2(K+1)$ پیکسل حساب می‌شود.
۴) فاصله اقلیدسی رنگ این پیکسل‌ها از میانگین آن حساب می‌شود.
۵) L پیکسل که بیشترین فاصله را دارند، حذف می‌شوند.
۶) میانگین رنگ پیکسل‌های باقیمانده به‌عنوان یک رنگ پالت در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۲ نگاشت رنگ

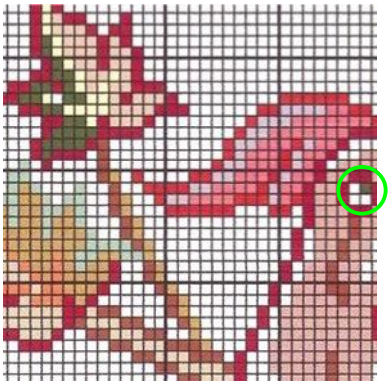
با فرض این که خطوط نقشه به درستی آشکار شده باشند، محدوده چهارخانه‌ها مشخص است. تعداد $K+1$ پیکسل میانی هر چهارخانه بر اساس نزدیک‌ترین فاصله اقلیدسی، به‌طور جداگانه به نزدیک‌ترین رنگ در پالت نگاشت می‌شوند. از میان رنگ‌هایِ به‌دست آمده، فراوان‌ترین رنگ به‌عنوان رنگِ آن چهارخانه انتخاب می‌شود. سپس چهارخانه مربوطه با این رنگ پر می‌شود.

۳-۱-۳ اصلاح خطا

در مقایسه نتایج با تصاویر اولیه مشاهده می‌شود که بعضی چهارخانه‌ها نادرست رنگ شده‌اند. به‌عنوان نمونه می‌توان به شکل ۶-الف مراجعه کرد. این شکل نمونه‌ای از کاهش رنگ به روش پیشنهادی است.

بعضی از این خطاها یک ویژگی برجسته دارند و آن این که رنگی متفاوت از ۸ چهارخانه همسایه دارند. معمولاً در نقشه فرش چهارخانه‌ای که رنگی متفاوت از رنگ همسایه‌ها داشته باشد، وجود ندارد. بنابراین برای اصلاح این خطا در انتها کل تصویر مرور می‌شود و چهارخانه‌هایی که رنگ متفاوت با همسایگان دارند، دوباره نگاشت می‌شوند. با این تفاوت

۱. فعلاً $K=8$ و $L=6$ در نظر بگیرید. درباره مقادیر K و L در بخش ۴ بحث می‌شود.



شکل ۷: تصویر نقشه‌ای با اندازه چهارخانه‌های کوچک که در آن چهارخانه‌ای با رنگ متفاوت از همسایه‌ها مشاهده می‌شود.

که رنگِ آن چهارخانه به نزدیک‌ترین رنگ از رنگ‌های چهارخانه‌های همسایه نگاشت می‌شود. با این روش همان‌طور که در شکل ۶-ب مشاهده می‌شود، خطا کاهش می‌یابد.

نکته قابل ذکر آن است که در نقشه‌های با رج‌شمار بالا (اندازه چهارخانه‌های کوچک) که برای فرش‌های ریزبافت استفاده می‌شود، امکان تک‌گره وجود دارد. یعنی ممکن است چهارخانه‌ای با رنگ متفاوت از همسایه‌ها وجود داشته باشد. مثلاً در شکل ۷ چشم پرنده تنها یک چهارخانه است و رنگی متفاوت از همسایه‌ها دارد. این چهارخانه از جزئیات ضروری تصویر است که باید حتماً حفظ شود. در این گونه تصاویر اصلاح پیشنهادشده قابل استفاده نیست.

۳-۲ روش دوم: روشC – میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه تصادفی

در روش پیشنهادی کاربر مستقیماً در تشکیل پالت دخالت دارد. این سؤال مطرح می‌شود که آیا امکان کاهش دخالت کاربر در تشکیل پالت وجود دارد؟ آیا می‌توان به‌جای طبقه‌بندی رنگ‌ها از روش دیگری استفاده نمود؟ به‌منظور پاسخ به این سؤال فرض می‌کنیم به‌جای این که کاربر رنگ‌های پالت را معین کند، فقط تعداد رنگ را اعلام کند. در نتیجه از روش‌های خوشه‌یابی استفاده کردیم و روش C – میانگین را برگزیدیم.

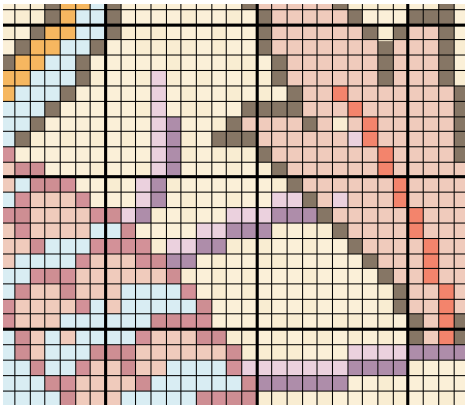
در روش دوم از الگوریتم خوشه‌یابی C – میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه تصادفی برای تشکیل پالت استفاده شده است. نحوه تشکیل پالت با خوشه‌های اولیه تصادفی بدین ترتیب است:

۱) میانگین رنگ پیکسل‌های میانی (۸ پیکسلِ همسایه پیکسل وسط) هر چهارخانه محاسبه می‌شود و مقادیر حاصله به‌عنوان داده‌های ورودی الگوریتم خوشه‌یابی در نظر گرفته می‌شود.
۲) از کاربر خواسته می‌شود تعداد رنگ پالت (N) را وارد نماید.
۳) به تصادف N رنگ، به‌عنوان مراکز اولیه خوشه‌ها انتخاب می‌شوند.
۴) رنگ‌های چهارخانه‌ها با توجه به فاصله اقلیدسی از مراکز خوشه‌ها به نزدیک‌ترین خوشه، توزیع می‌شوند. بدین وسیله تمام رنگ‌ها در N خوشه دسته‌بندی می‌شوند.
۵) میانگین رنگ‌های هر خوشه محاسبه شده و به‌عنوان مراکز خوشه‌های جدید ثبت می‌شوند.
۶) اگر مراکز خوشه‌های جدید همان مراکز خوشه‌های قدیم باشند، مراکز خوشه‌ها رنگ‌های پالت هستند. در غیر این صورت به مرحله ۴ باز می‌گردد.

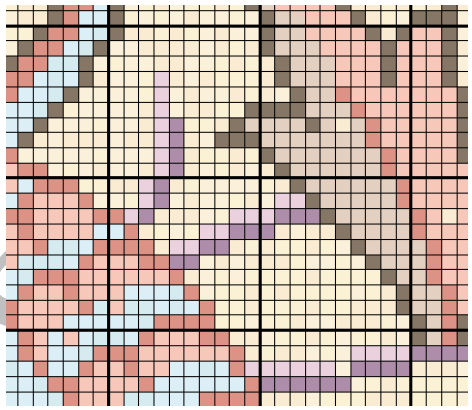
همان‌طور که در گام ۱ بیان شد، داده‌های ورودی الگوریتم C–میانگین به‌جای این که رنگ پیکسل‌های کل تصویر باشد، رنگ پیکسل‌های میانی

Archive of SID

www.SID.ir



(الف)



(ب)

شکل ۸: کاهش رنگ به روش دوم، (الف) تصویر کاهش رنگ یافته که تعداد رنگ‌های پالت ۱۱ است و (ب) اجرای دوباره همان نقشه با همان تعداد رنگ. مشاهده می‌شود که رنگ‌هایی کاملاً متفاوت با شکل ۶-الف به‌دست آمده است.

چهارخانه‌ها است، چرا که لزومی ندارد کل پیکسل‌های تصویر انتخاب شوند. به‌علاوه برخی پیکسل‌ها همچون پیکسل‌های همسایه خطوط، رنگِ نادرستی دارند که نباید در تشکیل پالت شرکت داده شوند. بهترین پیکسل‌ها که می‌توان به رنگ آنها اعتماد کرد، پیکسل‌های میانی چهارخانه‌ها هستند. این اقدام به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش زمان اجرای برنامه نسبت به حالت انتخاب کل پیکسل‌های تصویر می‌شود.

عیب عمده این روش وابستگی به شرایط اولیه است. چون رنگ‌های اولیه مراکز خوشه‌ها تصادفی انتخاب می‌شود، در هر اجرای برنامه پالتی با رنگ‌های بسیار متفاوت حاصل می‌شود که نتایج متفاوتی را به همراه دارد. به‌عنوان مثال شکل‌های ۸-الف و ۸-ب را مشاهده کنید.

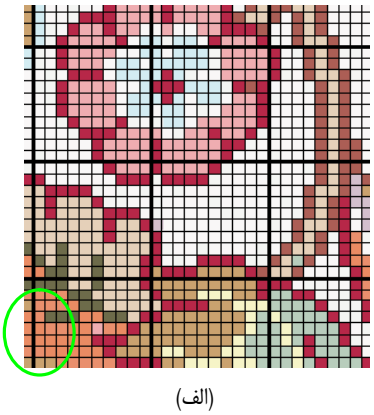
عیب دیگر روش این است که رنگ‌های با فراوانی کم را تشخیص نمی‌دهد. به‌عنوان مثال همان‌طور که در شکل‌های ۹-الف و ۹-ب مشاهده می‌شود، ۴ چهارخانه در گوشه چپ پایین با رنگی نادرست رنگ شده‌اند.

۳-۳ روش سوم: روش C - میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه به انتخاب کاربر

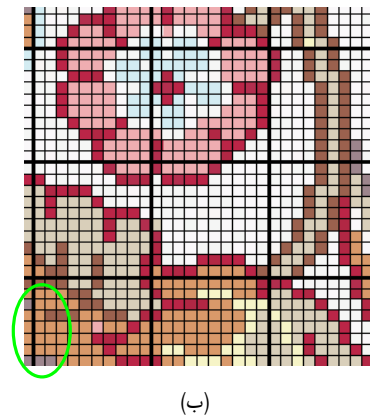
برای برطرف شدن عیوب روش گذشته از کاربر خواسته می‌شود تا در تشکیل خوشه‌های اولیه دخالت کند. علت دیگری که باعث شده است تا از این روش استفاده کنیم، این است که این الگوریتم مقایسه‌ای با الگوریتم پیشنهادی باشد.

نحوه تشکیل پالت با مراکز خوشه‌های اولیه به انتخاب کاربر بدین ترتیب است:

۱) از کاربر خواسته می‌شود که برای هر رنگ یک پیکسل از مکان‌های



(الف)



(ب)

شکل ۹: کاهش رنگ به روش دوم، (الف) تصویر کاهش رنگ یافته که تعداد رنگ‌های پالت ۱۴ است و (ب) اجرای دوباره همان نقشه با همان تعداد رنگ. مشاهده می‌شود که رنگ‌هایی کاملاً متفاوت با شکل۶-الف به‌دست آمده است.

مختلف تصویر انتخاب کند. این انتخاب‌ها به‌عنوان مراکز اولیه خوشه‌ها ثبت می‌شوند.

۲) میانگین رنگ پیکسل‌های میانی (۸ پیکسلِ همسایه پیکسل وسط) هر چهارخانه محاسبه می‌شود و مقادیر حاصله به‌عنوان داده‌های ورودی الگوریتم خوشه‌یابی در نظر گرفته می‌شود.

۳) رنگ‌های چهارخانه‌ها با توجه به فاصله اقلیدسی از مراکز خوشه‌ها به نزدیک‌ترین خوشه توزیع می‌شوند.

۴) میانگین رنگ‌های هر خوشه محاسبه شده و به‌عنوان مراکز خوشه‌های جدید ثبت می‌شوند.

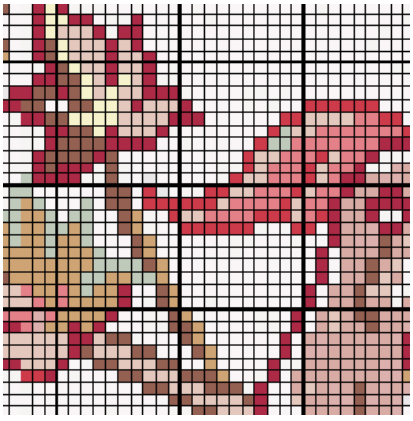
۵) اگر مراکز خوشه‌های جدید همان مراکز خوشه‌های قدیم باشند، مراکز خوشه‌ها رنگ‌های پالت هستند. در غیر این صورت به مرحله ۳ باز می‌گردد.

در شکل‌های ۱۰-الف و ۱۰-ب دو نمونه کاهش رنگ به روش‌های دوم و سوم با هم مقایسه شده‌اند. مشاهده می‌شود پالت رنگ در روش سوم بهبود پیدا می‌کند و رنگ‌ها به رنگ‌های حقیقی نزدیک‌تر می‌شود.

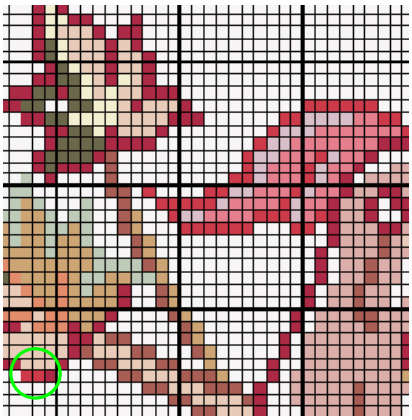
٤- نتایج آزمایش

۵ عدد نقشه چاپی با کیفیت مناسب در این تحقیق استفاده شده است. از این تعداد ۳ عدد برای ساختن داده آموزش و ۲ عدد برای ساختن داده آزمایش استفاده شد. این نقشه‌ها در رنگ، نقش و تعداد رج تنوع دارند. از هر نقشه ۴ برش انتخاب و مجموعاً ۲۰ قطعه تصویر حاصل شد. این قطعه‌های تصاویر با درجه تفکیک ۲۰۰ dpi اسکن شد. از هر کدام از این ۲۰ برش، ۴ قسمت انتخاب شد به‌طوری که هر قسمت، تنها ۳ خط افقی و ۳ خط عمودی ضخیم داشته باشد. بدین ترتیب ۸۰ تصویر حاصل شد که به‌عنوان پایگاه داده در نظر گرفته شد.

Archive of SID
www.SID.ir



(الف)



(ب)

شکل ۱۰: یک نمونه تصویر پس از کاهش رنگ، (الف) روش دوم و (ب) روش سوم.

جدول ۱: میزان خطای نتایج روش‌های اول و سوم.

اندازه هر چهارخانه بر حسب تعداد پیکسل‌ها	روش اول		روش سوم
	درصد خطا پیش از اصلاح خطا	درصد خطا پس از پس‌پردازش	درصد خطا پس از پس‌پردازش
نقشه ۱: ۱۵×۱۵	۱٫۱	۰٫۵۱	۱٫۳
نقشه ۲: ۱۳×۱۳	۰٫۲۴	۰٫۰۷	۱٫۰۴
نقشه ۳: ۹×۹	۰٫۵۱	۰٫۱۳	۱٫۷۲
نقشه ۴: ۱۷×۱۷	۰٫۲۵	۰٫۲	۰٫۸
نقشه ۵: ۱۳×۱۳	۰٫۵۴	۰٫۳۳	۰٫۹

جدول ۲: زمان محاسبات هر مرحله در الگوریتم‌های مختلف.

زمان بر حسب ثانیه	آشکارسازی خطوط	تشکیل پالت رنگ	نگاشت رنگ	اصلاح خطا
روش اول	۱٫۵	t	۳۰	۳
روش دوم	۰٫۴	۲	۱۰	۰٫۲
روش سوم	۰٫۷	$t+۴$	۲۰	۰٫۲

در اینجا لازم است درباره استفاده از درجه تفکیک dpi ۲۰۰ مطلبی بیان شود. افزایش درجه تفکیک به dpi ۳۰۰ یا حتی بالاتر خطای آشکارسازی خطوط را کاهش می‌دهد. پارامترهایی همچون اندازه پنجره محاسبه M، عدد f و عدد ۳ برای محاسبه فاصله خطوط ضخیم تقریباً به همان نسبت تغییر خواهد کرد. طبیعتاً زمان اجرای برنامه نیز افزایش می‌یابد. استفاده از درجه تفکیک بالاتر در مراحل کاهش رنگ نیز تأثیر دارد. از آنجا که با افزایش درجه تفکیک، تعداد پیکسل درون مربع‌ها افزایش پیدا می‌کند، احتمال انتخاب پیکسل‌های صحیح افزایش می‌یابد اما تنوع رنگی وسیع‌تری حاصل می‌شود که چه بسا لازم باشد کاربر به‌جای دو انتخاب برای هر رنگ، سه انتخاب و یا حتی بیشتر برای هر رنگ انجام دهد تا رنگ‌های پالت به رنگ‌های اصلی نزدیک‌تر باشند.

در روش اول، دو مقدار ۸ و ۲۴ برای پارامتر K آزمایش شد. مشاهده شد که مقدار ۲۴ در تصاویر با اندازه چهارخانه‌های بزرگ بهبود کمی در نتایج به دنبال دارد ولی زمان اجرای برنامه حدود سه برابر می‌شود. از طرفی این مقدار در تصاویر با اندازه چهارخانه‌های کوچک خطای بیشتری به‌وجود می‌آورد. زیرا پیکسل‌های اطراف خطوط باریک و ضخیم به‌علت سایه این خطوط، رنگ‌های نادرستی دارند. بنابراین باید از انتخاب این پیکسل‌ها اجتناب شود. سرانجام مقدار ۸ برای K انتخاب گردید. مقدار مناسب برای L، که از طریق سعی و خطا به‌دست آمده است عدد ۶ است.

روش‌های اول تا سوم روی تصاویر پایگاه داده اعمال شدند. همان‌طور که در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده شد، پالتی که از روش دوم به‌دست می‌آید رنگ‌های نادرستی دارد و بنابراین میزان خطا بسیار زیاد است و نتایج قابل قبول نیست. در حالی که از روش‌های اول و سوم نتایج مطلوبی به‌دست می‌آید. میزان خطای نتایج روش‌های اول و سوم در جدول ۱ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که میزان خطا در روش اول کمتر است.

برای نقشه‌های مختلف زمان اجرا متفاوت است. زمان اجرای تقریبی مراحل مختلف با متوسط‌گیری زمان محاسباتی برای نقشه‌های مختلف، در جدول ۲ گزارش شده است. پارامتر t در جدول ۲ مدت زمان لازم برای انتخاب پیکسل‌ها توسط کاربر است.

۵- نتیجه‌گیری

روش‌های بدون دخالت کاربر که تعداد رنگ در آن‌ها آزاد است، در این کاربرد مناسب نیست، چرا که تعداد رنگ در نقشه فرش محدود است (در تصاویر پایگاه داده بین ۸ تا ۱۷ رنگ است). بنابراین تعداد رنگ، داده بسیار مؤثری است که پاسخ را به شدت بهبود می‌دهد. با این حال با توجه به این که بعضی خوشه‌ها کوچک و بعضی بزرگ هستند، مثلاً رنگ زمینه فراوان و بعضی رنگ‌ها چهارخانه‌های بسیار کمتری دارند، این که کاربر رنگ‌ها را نیز علامت بزند، بسیار مؤثر است. در کاربرد ما البته نیاز به تحقیق بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. روش‌هایی که برآورد اولیه‌ای از مراکز خوشه‌ها به‌دست می‌دهند، چندان موفق عمل نمی‌کنند.

در این مقاله روشی برای کاهش رنگ تصویر نقشه چاپی فرش پیشنهاد شد. در این روش کاربر در تشکیل پالت دخالت دارد. به‌منظور کاهش دخالت کاربر در فرآیند کاهش رنگ، از روش C– میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه تصادفی استفاده شد. با بررسی نتایج حاصل از این روش، این نتیجه حاصل شد که امکان کاهش دخالت کاربر وجود ندارد. در پایان از روش C– میانگین با مراکز خوشه‌های اولیه به انتخاب کاربر، به‌منظور مقایسه با روش پیشنهادی استفاده شد. مشاهده شد که میزان خطا در روش پیشنهادی کمتر است.

Archive of SID

www.SID.ir

سپاس‌گزاری

در اینجا لازم می‌دانیم از جناب آقای دکتر جم‌زاد، داور محترم پایان‌نامه که ایده روش سوم از جانب ایشان است، تشکر کنیم.

همچنین از جناب آقای غلام‌رضا محمودی، مدیر بخش طراحی شرکت سهامی فرش ایران که ما را در تهیه مجموعه تصاویر داده یاری دادند، قدردانی می‌شود.

مراجع

[۱] ا. ایزدی‌پور، *خواندن خودکار نقشه چاپی فرش*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، زمستان ۸۶

[۲] شرکت بوریا، www.booria.com/carpetdesigner.htm.

[۳] *نرم‌افزار نقش‌ساز*، مرکز کنترل کامپیوتر ایران، (www.centraltouch.com).

[۴] نرم‌افزار طراحی نقشه فرش طوبی، (http://carpetmaster.ir//new toobacarpet).

[۵] ا. ایزدی‌پور و ا. ا. کبیر، "شناسایی خودکار خطوط نقشه فرش،" *اولین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند*، صص. ۱۰۵-۱۰۱، مشهد، ۹-۷ شهریور ۱۳۸۶.

[۶] ا. ایزدی‌پور و ا. ا. کبیر، "ارائه روشی برای کاهش رنگ در تصویر نقشه چاپی فرش و مقایسه آن با روش خوشه‌یابی C – میانگین،" *ارائه‌شده به پانزدهمین کنفرانس بینایی ماشین*، تبریز، ۱۶-۱۴ آبان ۱۳۸۷.

[۷] آ. تشکریان، *کاهش رنگ بر پایه کلنی مورچه‌ها*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، پاییز ۸۳.

[8] K. Kanjanawanishkul and B. Uyyanonvara, "Novel fast color reduction algorithm for time-constrained applications," *J. Visual Communication and Image Representation*, vol. 16, no. 3, pp. 301-332, Jun. 2005.

[9] G. Sharma, "Digital color imaging," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 901-932, Jul. 1997.

[10] R. Balasubramanian and J. P. Allebach, "A new approach to palette selection for color images," *J. Image Technol.*, vol. 17, no. 6, pp. 284-290, Dec 1991.

[11] N. Papamarkos, A. E. Atsalakis, and C. P. Strouthopoulos, "Adaptive color reduction," *IEEE Trans. on Systems, pt B.*, vol. 33, no. 1, pp. 1-13, Feb. 2002.

احمد ایزدی پور در سال ۱۳۸۳ مدرک کارشناسی مهندسی الکترونیک خود را از دانشگاه سمنان و در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک خود را از دانشگاه تربیت مدرس دریافت نمود و هم‌اکنون دانشجوی دکتری مهندسی الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش تصویر، بازشناسی الگو، بینایی کامپیوتری.

احسان اله کبیر کارشناسی ارشد پیوسته خود را در مهندسی برق و الکترونیک از دانشکده فنی دانشگاه تهران و دکترای خود را در مهندسی سیستم‌های الکترونیک از دانشگاه اسکس در انگلستان، به ترتیب در سالهای ۱۳۶۴ و ۱۳۶۹ دریافت کرد. او اکنون استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه پژوهشی مورد علاقه او بازشناسی الگو، به ویژه بازشناسی متون چاپی و دستنویس است.

Archive of SID

www.SID.ir