



تخمین نقاط کنترل در تصاویر شبه‌ایزومتریک با خوشه‌بندی نواحی هم‌رنگ

احمد کلهر

دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

a.kalhor@ece.ut.ac.ir

بابک اعرابی

دانشگاه تهران

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

araabi@ut.ac.ir

چکیده: در این مقاله روش نوینی جهت تخمین نقاط کنترل^۱ در تصاویری که نسبت به هم تبدیلات شبه‌ایزومتریک^۲ دارند ارائه می‌گردد. اساس این روش خوشه‌بندی^۳ نواحی هم‌رنگ از تصویر مرجع با نواحی هم‌رنگ و متناظر از تصویر دوم می‌باشد. بدلیل حجم محاسبات کم در این روش و قابلیت پردازش موازی در آن، این تکنیک می‌تواند بسیار سریع عمل کند و لذا در تطبیق تصاویر متوالی که نسبت به هم تغییرات شبه‌ایزومتریکی دارند کاربرد موثر دارد. در این روش ابتدا رزولوشن^۴ یکی از خصوصیات سه‌گانه رنگ در دستگاه HSI^۵ به اندازه کافی کاهش یافته و سپس با استخراج ویژگیهای نواحی هم‌رنگ تناظر یک به یک بین آنها بروش خوشه‌یابی مشخص می‌شود، نهایتاً مراکز ثقل این نواحی بعنوان نقاط کنترل

مشخص می‌گردند. این روش بر خلاف روشهایی که نقاط کنترل را در نواحی دارای اکسترم‌های شدید رنگ همچون لبه‌ها، کنجها و میزان انحناء در خطوط تخمین می‌زنند، بر حسب بافتهای هم‌رنگ عمل می‌کند و مراکز ثقل نواحی متناظری که رنگ نقاط در آنها بین دو آستانه معین است را بعنوان نقاط کنترل مشخص می‌کند از این نظر این تکنیک متفاوت از این روشها عمل می‌کند. همچنین این روش در مقایسه

با روشهایی که بر اساس جستجوی همبستگی خطی بین نواحی عمل می‌کنند نسبت به میزان چرخش و تغییرات الاستیکی محدود کاملاً مقاوم است. کارآمدی این تکنیک در انتها با چند مثال نشان داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: نقاط کنترل، نواحی هم‌رنگ، رزولوشن رنگ، تغییرات شبه‌ایزومتریک، خوشه‌بندی

۱. مقدمه

نقاط کنترل، در بسیاری از کاربردهای ماشین بینایی مورد استفاده قرار می‌گیرند لذا ابداع تکنیکهای جستجوی نقاط کنترل که مقاوم، سریع و فراگیر باشند همواره مورد چالش بوده

^۱ Control Points

^۲ Quasi Isometric

^۳ Clustering

^۴ Resolution

^۵ Hue-Saturation_Intensity

سوم ویژگیهای لازم جهت خوشه‌یابی نواحی متناظر و الگوریتم کلی روش را بحث می‌کند نهایتاً در بخش چهارم طی چند مثال از بکارگیری روش پیشنهادی و مقایسه کیفی با روش مبتنی بر اکسترمم شدید رنگ، کارآمدی آن نشان داده خواهد شد.

2. کیفیت مقاومت در نواحی هم‌رنگ

در رزولوشن‌های بالای رنگ، فراوانی نواحی هم‌رنگ به شکل تک نقطه یا مجموعه نقاط اندک، بالا می‌باشد و این نواحی به تنهایی بعنوان ویژگی تصویری قابل استفاده نیستند ولی اگر تعداد آستانه‌های تفکیک رنگها با کاهش رزولوشن کم شوند نواحی هم‌رنگ بزرگتری شکل می‌گیرند. در اینصورت مکانهایی از تصویر که تغییرات رنگ خفیف‌تری را داشته باشند احتمال بیشتری را در هم‌رنگ شدن با هم می‌یابند و تعداد نواحی هم‌رنگ افزاز کننده تصویر با کاهش رزولوشن تصویر کاسته خواهد شد. شکل 1 تصویر یک شهر در دامن طبیعت را نمایش می‌دهد که با کاهش سطوح رنگ از 256 سطح (سمت چپ) به 8 سطح (سمت راست)، مشاهده می‌شود که نواحی هم‌رنگ باندازه کافی بزرگ شده‌اند.



شکل 1: اثر کاهش رزولوشن در تشکیل نواحی هم‌رنگ بزرگتر

اگر یکی از دو تصویر مفروض را تصویر مرجع فرض کنیم و تصویر دوم را تبدیل هندسی از تصویر اول فرض بدانیم، هر ناحیه هم‌رنگ در تصویر دوم در صورتی با ناحیه هم‌رنگ متناظر خود در تصویر مرجع، تناظر یک به یک خواهد داشت که بر اثر انبساط یا انقباض هندسی ناشی از نگاشت، به دو یا چند بخش تقسیم نشده باشد و یا اینکه با نواحی هم‌رنگ در نزدیکی خود، ادغام نشده باشد. در غیر اینصورت نمی‌توان بین این دو ناحیه تناظر یک به یک برقرار کرد. شکل 2 اثر انبساط (بخش وسط) و انقباض نواحی هم‌رنگ (بخشهای

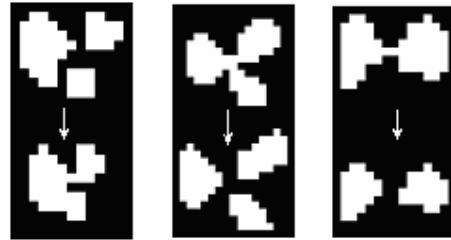
است. در بسیاری از این روشها نقاط کنترل بعنوان بخشهای میانی خطوط⁶ [1,2]، محل تقاطع خطوط [3,4]، نقاط انحنای منحنی‌ها [5,6]، یا ماکزیمم‌های محلی در تبدیلات موجکها⁷ [7,8] می‌باشد. فرمهای گوشه نیز جزء ویژگیهای خاص تغییرناپذیر نسبت به تغییرات هندسی محسوب می‌شوند که تلاشهای زیادی جهت آشکارسازی آنها صورت گرفته است [9-12] دسته دیگری از روشها بر مبنای مراکز ثقل نواحی بسته، نقاط کنترل را مشخص می‌کنند. در این روشها یک ویژگی مشخصی در نواحی بسته تعریف می‌گردد و مراکز ثقل نواحی متناظر بعنوان نقاط کنترل معرفی می‌گردد. بعنوان مثال این نواحی می‌توانند اندازه خاصی از نواحی با کتراست بالا باشند [13,14] همچنین تکنیکهایی وجود دارند که نواحی پوشیده از آب و یا لایه‌های روغن و گاز [15] و یا مناظر خاصی همچون دریاچه، جنگل، ساختمانها و مناطق شهری و سایه را بصورت اتوماتیک از تصاویر ماهواره‌ای تفکیک می‌کنند [16-21].

روش پیشنهادی نیز مراکز ثقل نواحی همبند و هم‌رنگ از دو تصویر را که در تناظر یک به یک می‌باشند را بعنوان نقاط کنترل مورد جستجو قرار می‌دهد. منظور از نواحی هم‌رنگ، مجموعه‌ای از نقاط مجاور و همبند در تصویر هستند که در یکی از مشخصات شدت نور، Hue و یا Saturation یکسان هستند مقدار این مشخصه رنگ را رنگ شاخص ناحیه هم‌رنگ می‌نامیم. اگر رزولوشن رنگ بالا باشد غالب نواحی هم‌رنگ بصورت تک نقطه و یا با تعداد نقاط پایین ظاهر خواهند شد. این نواحی بدلیل مقاومت پایین در برابر تغییرات هندسی تصویر و همینطور بدلیل مشکل تعریف ویژگی مناسب در خوشه‌یابی آنها، انتخاب مناسبی جهت یافتن نقاط کنترل نخواهند بود. با کاهش رزولوشن تصویر، تعداد آستانه‌های تفکیک رنگ کاسته شده و نقاط مجاور بیشتری هم‌رنگ خواهند شد اینکار باعث مقاوم شدن این نواحی در برابر تغییرات هندسی تصویر و سهولت تعریف ویژگی جهت خوشه‌یابی می‌شود. در بخش دوم در مورد کیفیت مقاومت نواحی هم‌رنگ در برابر تغییرات هندسی بحث می‌شود. بخش

⁶ Line Intersection

⁷ Wavelets

کناری) را که باعث عدم تناظر یک به یک نواحی هم‌رنگ شده را نشان می‌دهد.



شکل 2: اثر تغییرات هندسی در عدم تناظر یک به یک

برای تبیین دقیق‌تر تناظر یک به یک بین نواحی هم‌رنگ، فرض می‌کنیم یک نگاشت هندسی یک به یک مطابق (1) بین هر نقطه $(x, y) \in R^2$ از تصویر مرجع و $(u, v) \in R^2$ از تصویر دوم وجود داشته باشد.

$$\begin{cases} u = g_1(x, y) \\ v = g_2(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

از طرفی اگر فاصله اقلیدسی بین هر دو نقطه مجزا در تصویر مرجع با d_{xy} و فاصله اقلیدسی بین نقاط نگاشت یافته آنها مطابق (1) در تصویر دوم با d_{uv} نشان داده شود و محدودیت تغییرات هندسی مطابق (2) تعریف شود.

$$\left(\frac{d_{xy}}{d_{uv}}\right) \in [g, g^{-1}], 0 < g \leq 1 \quad (2)$$

که در آن g بعنوان پارامتر محدودیت در نگاشت هندسی بین دو تصویر می‌باشد در اینصورت شروط کافی برای حفظ تناظر یک به یک نواحی بصورت زیر تعریف می‌گردد.

1. در صورتی که h کمترین ضخامت یک ناحیه هم‌رنگ از دو نقطه غیر مجاور در تصویر مرجع باشد و e طول یک پیکسل تصویر محسوب شود، $g * h \geq e$ شرط کافی برای عدم گسستگی در ناحیه هم‌رنگ بازای نگاشت (1) و با پارامتر تغییرات هندسی g خواهد بود چرا که هر فاصله غیر مجاور ناحیه هم‌رنگ در تصویر مرجع تبدیل به فاصله‌ای بیش از طول یک پیکسل در تصویر دوم خواهد شد.

2. در صورتی که m حداقل فاصله دو ناحیه هم‌رنگ با رنگهای شاخص یکسان باشد، $g * m \geq e$ شرط کافی

برای عدم ادغام این دو ناحیه بازای نگاشت (1) و با شرط تغییرات هندسی (2) خواهد بود چرا که حداقل یک پیکسل فاصله بین این دو وجود خواهد داشت.

قضایای فوق بدیهی هستند و مشخص کننده این مطلب هستند که اگر:

- با کاهش رزولوشن رنگ نواحی هم‌رنگ در جهات مختلف باندازه کافی ضخیم گردند.
- تغییرات نگاشت بصورت شبه ایزومتريک باشد یعنی پارامتر g به یک نزدیک باشد.

در اینصورت برای بسیاری از نواحی هم‌رنگ از تصویر مرجع و نواحی نگاشت یافته در تصویر دوم تناظر یک به یک وجود خواهد داشت.

شرط تغییرات هندسی که در (2) تعریف شده است می‌تواند مبنای شباهت به تبدیل ایزومتريک قرار گیرد و هر چه پارامتر g به واحد نزدیکتر باشد به تبدیل از نوع تبدیل ایزومتريک نزدیک می‌شویم.

با بیشتر شدن تغییرات هندسی و با کاهش g ، مقاومت نواحی هم‌رنگ در برابر گسستگی و ادغام نواحی کاهش می‌یابد که می‌توان با کاهش رزولوشن رنگ این مقاومت را افزایش داد. تغییرات هندسی تصویر می‌تواند علاوه بر تبدیلاتی از نوع چرخش و انتقال تصویر، تغییرات هندسی خطی Projective یا Affine محدود و یا حتی تغییرات غیرخطی الاستیک محدود باشد. این نوع تبدیلات شبه ایزومتريک بخصوص در تصاویر متوالی وجود دارند. کاربرد این نوع تصاویر بخصوص در ناوبری بکمک تصاویر الکترواپتیکی متوالی [22] و همچنین ردیابی اشیاء و موزاییک کردن⁸ تصاویر [23] می‌باشد.

در انتخاب یکی از خصوصیات سه‌گانه رنگ، مشخصات Hue یا Saturation بدلیل اینکه رنگ غالب و میزان اشباع بودن آن را نمایش می‌دهند و نسبت به تغییرات شدت نور حساسیت ندارند، گزینه‌های مناسبی هستند گرچه در تصاویر متوالی شدت نور محیط تقریباً ثابت است و این مشخصه نیز می‌تواند بعنوان گزینه رنگ انتخاب شود.

⁷ Mosaicing

3. خوشه یابی نواحی هم رنگ

با فرض اینکه تعداد قابل توجهی از نواحی هم رنگ در تصویر مرجع و تصویر دوم تناظر یک به یک داشته باشند در اینصورت لازم است جهت تخمین نقاط کنترل با تعریف ویژگیهایی بتوانیم این نواحی را خوشه بندی نماییم. خوشبختانه فرض نگاشت شبه ایزومتریک در (2) ویژگیهای ساده ای را در داخل نواحی هم رنگ و فواصل بین نواحی هم رنگ داخل تصاویر را موجب می شود که برای استخراج آنها نیاز به محاسبات پرحجم و زمانگیری نیست.

3-1 ویژگیهای داخلی در هر یک از نواحی

اگر ناحیه هم رنگ A_1 از تصویر مرجع و ناحیه هم رنگ A_2 از تصویر دوم در تناظر یک به یک باشند و تغییرات هندسی محدودی با پارامتر g نزدیک به واحد در نگاشت بین آن دو حاکم باشد ویژگیهای زیر می تواند بین آنها موجود باشد:

1. نواحی هم رنگ متناظر، رنگهای شاخص برابر دارند.
2. در مورد نسبت مساحت دو ناحیه داریم:

$$\left(\frac{S_{A1}}{S_{A2}}\right) \in [g^2, 1/g^2]$$

3. میانگین رنگها در هر یک از مشخصات سه گانه رنگ در دستگاه HIS و در رزولوشن اصلی تصویر، در دو ناحیه متناظر نزدیک می باشد. می توان میزان نسبت این دو میانگین را در صورت غیر صفر بودنشان بعنوان معیار در نظر گرفت:

$$r_i = \frac{\iint_{A1} I_i(s_1) ds_1}{\iint_{A2} I_i(s_2) ds_2} * \frac{S_{A2}}{S_{A1}}, i=1,2,3, r_i \in [b, b^{-1}]$$

$$I_1 : Hue, I_2 : Saturation, I_3 : Intensity$$

عدد $0 < b \leq 1$ پارامتر نزدیکی این میانگینها است و نسبت مستقیمی با g دارد. اگر شدت نور تغییرات محسوس داشته باشد، میانگین شدت نور بعنوان ویژگی لحاظ نمی گردد.

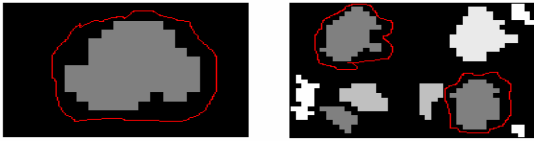
4. نسبت محیطها در دو ناحیه بزرگتر یا مساوی g و کوچکتر و مساوی $1/g$ می باشد.

$$(P_{A1}/P_{A2}) \in [g, g^{-1}]$$

5. نسبت بزرگترین فاصله داخلی در دو ناحیه بزرگتر یا مساوی g و کوچکتر یا مساوی $1/g$ می باشد.

$$(L_{A1}/L_{A2}) \in [g, g^{-1}]$$

این ویژگیها در اولین مرحله از خوشه یابی بکار می روند. با کمک این ویژگیها بازای هر ناحیه در تصویر مرجع، احتمالاً چند ناحیه از تصویر دوم بعنوان نواحی هم ویژگی نسبت می یابند. بعنوان مثال در شکل 3 برای ناحیه بزرگ شده شکل مرجع (سمت چپ) دو ناحیه با ویژگیهای مشابه در شکل سمت راست انتخاب شده است.



شکل 3: مرحله اول خوشه یابی

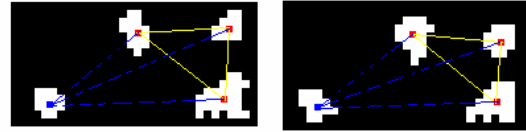
3-2 ویژگیهای بین نواحی

دومین دسته از ویژگیها مربوط به فواصل مرکز ثقل هر یک از نواحی مرجع و نواحی متناظر آنها می باشد. لذا مراکز ثقل تمام نواحی به هم نسبت یافته از مرحله قبل محاسبه گشته و جهت تسریع محاسبات در مرحله دوم خوشه بندی سعی می گردد ابتدا سه نقطه کنترل از میان مراکز ثقل به هم نسبت یافته مشخص گردد. برای اینکار ویژگی زیر تعریف می گردد:

6. نسبت فواصل دو بدو بین سه مرکز ثقل دلخواه در صفحه مرجع و مراکز ثقل نسبت یافته به آنها می بایست هر یک، شرط (2) را ارضا نمایند. مراکز ثقل نسبت یافته به هر مرکز ثقل مرجع جایگزین هم می گردند تا بازای یکی از آنها این ویژگی ارضا شود.

پس از بدست آمدن سه نقطه کنترل می توان برای نقاط کنترل جدید ویژگی زیر را بر مبنای فواصل با سه نقطه کنترل مورد ارزیابی قرار داد.

7. نسبت فواصل اقلیدسی هر زوج نقطه جدید از روی مراکز ثقل به هم نسبت داده شده از سه زوج نقطه مبنای پیدا شده، می‌بایست در شرط (2) صدق کند.



شکل 4: مقایسه ویژگی نقاط کنترل جدید با نقاط مبنای (مثلاً زرد رنگ)

شکل 4 سه نقطه مبنای و نقاط کنترل جدید را در دو تصویر نشان می‌دهد. جهت یافتن مراکز ثقل نواحی می‌توان میانگین مجموعه نقاط هم‌رنگ را بعنوان مرکز ثقل انتخاب کنیم ولی بدلیل فرم ناحیه هم‌رنگ ممکن است میانگین خارج از ناحیه هم‌رنگ قرار گیرد لذا نزدیکترین نقطه در مجموعه نقاط هم‌رنگ را از میانگین نقاط را بعنوان مرکز ثقل انتخاب می‌کنیم.

3-3 الگوریتم کلی در روش پیشنهادی

1. تخمین تجربی پارامتر g نگاشت شبه ایزومتریک این پارامتر بستگی مستقیم به نوع کاربرد دارد. پارامتر b بعنوان میزان نزدیکی میانگین رنگ در نواحی بطور تجربی بر حسب g محاسبه می‌شود یک پیش فرض مناسب برای آن $b = g$ می‌باشد.
2. کاهش رزولوشن بگونه‌ای که غالب نواحی هم‌رنگ غیر منفرد باشند. با توجه به مباحث بخش دوم اگر پارامتر g دور از واحد انتخاب شده باشد بهتر است رزولوشن رنگ تا حد ممکن کاهش یابد از طرفی اگر شدت نور تغییرات محسوسی داشته باشد از مشخصات رنگ Hue یا $Saturation$ استفاده می‌شود.

3. جستجو و کدبندی نواحی هم‌رنگ، جهت تسریع اینکار میتوان با روش پردازش موازی هر پردازنده را مامور جستجو و کدبندی دسته خاصی از رنگها کرد.

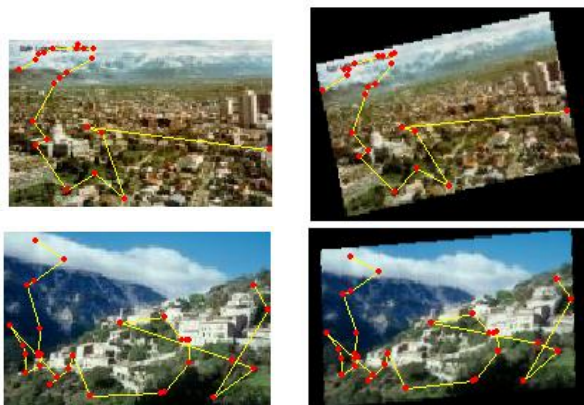
4. بازای هر ناحیه هم‌رنگ از تصویر مرجع، نواحی هم‌رنگ تصویر دوم که ویژگیهای داخلی را ارضا نمایند به آن نسبت می‌یابند.

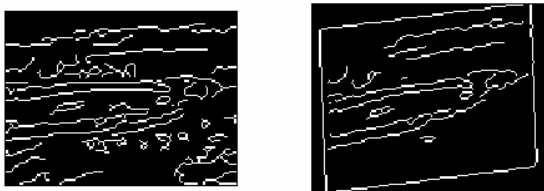
5. سه نقطه کنترل مبنای مراکز ثقل نواحی به هم نسبت داده شده و با توجه به ویژگی ذکر شده مورد جستجو قرار می‌گیرند.

6. نقاط کنترل جدید از روی مراکز ثقل نواحی به هم نسبت داده شده و با توجه ویژگی تعریف شده در ارتباط با سه نقطه مبنای مورد جستجو قرار می‌گیرند.

4. مثالها

شکل 5 چهار تصویر و نگاشت یافته‌های آن را نمایش می‌دهد تصاویر اول و دوم مربوط به بافت شهری و منظره طبیعی می‌باشد که اولی باندازه 10 درجه و دومی باندازه 5 درجه چرخش داشته و هر دو تغییرات هندسی از نوع $Affine$ را بصورت خفیف داشته‌اند مشخصه Hue بعنوان مشخصه هم‌رنگی در تصویر اول از 256 سطح به 25 سطح و در تصویر دوم به 51 سطح کاهش یافته است. تعداد نقاط کنترل در تصویر اول 23 عدد و در تصویر دوم 31 عدد می‌باشد تصویر سوم منظره ای از داخل شهر و نگاشت الاستیک آن را نمایش می‌دهد که از شدت نور بعنوان مشخصه رنگ برای شناسایی نواحی هم‌رنگ در 51 سطح استفاده شده است و 67 نقطه کنترل مورد شناسایی قرار گرفته اند. در تصویر چهارم همانند تصویر دوم از مشخصه رنگ Hue و 51 سطح رنگ برای شناسایی 23 نقطه کنترل استفاده می‌کند تغییرات هندسی شامل 5 درجه چرخش و تغییرات $Affine$ خفیف هم اعمال شده است. مقادیر $g = 0.8$ و $b = 0.8$ در الگوریتم این روش برای همه تصاویر انتخاب شده‌اند.





شکل 6: نقاط کنترل با استفاده از اکستریم رنگ

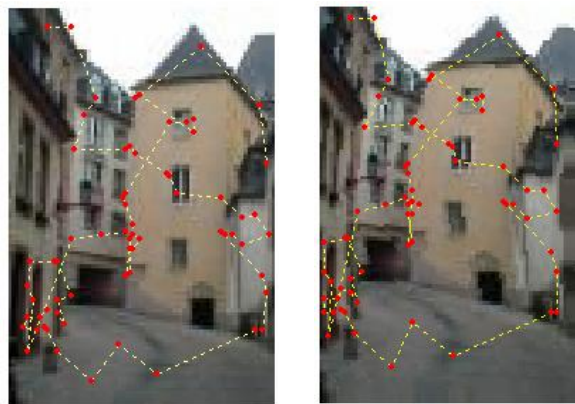
5. نتایج

استخراج نقاط کنترل بعنوان مراکز ثقل نواحی هم‌رنگ متناظر مورد بحث قرار گرفت و ذکر شد با کاهش رزولوشن رنگ شاخص، ضخامت نواحی هم‌رنگ بیشتر شده و این خاصیت باعث می‌شود تناظر بین نواحی هم‌رنگ از تصویر مرجع با نواحی هم‌رنگ از تصویر دوم که تغییرات هندسی محدودی دارد برای تعداد بیشتری از این نواحی وجود داشته باشد.

کیفیت مقاومت نواحی هم‌رنگ در برابر گسستگی و ادغام نواحی که باعث عدم تناظر یک به یک می‌شد در بخش دوم بحث شد و در بخش سوم ویژگی‌هایی از این تصویر که برای خوشه‌یابی نواحی متناظر بکار می‌رود مورد بحث قرار گرفت. در بخش چهارم با مثال‌هایی که ارائه شد قابلیت روش نشان داده شد و همین‌طور کارآمدی این روش در برخی مناظر طبیعی که به سختی میزان انحنای خطوط و یا خطوط بسته از آن که در روشهای مبتنی بر اکستریم رنگ معیار قرار می‌گیرند با یک مثال نشان داده شد.

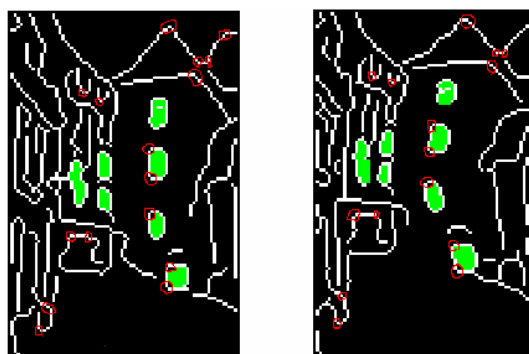
در این مثالها فقط بازای یک رزولوشن رنگ و یک نوع رنگ شاخص، نقاط کنترل مورد جستجو قرار گرفتند در حالی که این روش بخوبی می‌تواند بازای رزولوشنهای رنگ و رنگهای شاخص متفاوت تعداد بسیار فراوانی از نواحی هم‌رنگ در دو تصویر را در تناظر یک به یک قرار دهد و نقاط کنترل بسیاری را بعنوان مراکز ثقل نواحی مذکور تخمین زند.

همچنین سرعت پردازش این روش با اینکه بدلیل خصوصیت کم حجم بودن محاسبات در استخراج ویژگیها و قابلیت پیاده سازی پردازش موازی بالا می‌باشد اما می‌توان با پردازش تنها دسته خاصی از رنگها و بسنده کردن به نقاط



شکل 5: نقاط کنترل در تصاویر با تغییرات هندسی محدود

شکل 6 نشان می‌دهد که چگونه ممکن است با تشابه در انحنای خطوط و یا مرکز ثقل خطوط اکستریم رنگ بسته در تصویر ایجاد شده بروش استاندارد Canny که یک روش آشکارسازی لبه است [24] نقاط کنترل بدست آیند. در حالی که در تصویر اول تشابه میزان انحنای بالا و خطوط بسته در تصویر اول احتمال انتخاب نقاط کنترل را می‌دهد ولی در تصویر دوم بدلیل عدم وجود انحنای بالا در خطوط و یا خطوط بسته، این حالتها به سختی قابل تشخیص هستند و یا کار پیچیده خواهد بود در حالی که با روش پیشنهادی برای تصویر اول 67 نقطه کنترل و برای تصویر دوم 23 نقطه کنترل از این تصویر بدست آمده است (تصویر سوم و چهارم از شکل 1)



- distortion, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 32 (1994) 382–387.
- [14] Goshtasby, G.C. Stockman, C.V. Page, A region-based approach to digital image registration with subpixel accuracy, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 24 (1986) 390–399.
- [15] J. Ton, A.K. Jain, Registering landsat images by point matching, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 27 (1989) 642–651.
- [16] A. Goshtasby, G.C. Stockman, Point pattern matching using convex hull edges, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 15 (1985) 631–637.
- [17] M. Holm, Towards automatic rectification of satellite images using feature based matching, Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS'91, Espoo, Finland, 1991, pp. 2439–2442.
- [18] Y.C. Hsieh, D.M. McKeown, F.P. Perlant, Performance evaluation of scene registration and stereo matching for cartographic feature extraction, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 14 (1992) 214–237.
- [19] M. Roux, Automatic registration of SPOT images and digitized maps, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing ICIP'96, Lausanne, Switzerland, 1996, pp. 625–628.
- [20] M. Sester, H. Hild, D. Fritsch, Definition of ground control features for image registration using GIS data, Proceedings of the Symposium on Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels, CD-ROM, Columbus, Ohio, 1998, 7 pp.
- [21] P.A. Brivio, A.D. Ventura, A. Rampini, R. Schettini, Automatic selection of control points from shadow structures, International Journal of Remote Sensing 13 (1992) 1853–1860.
- [22] J. Rodriguez, J. K. Aggarwal, Matching Aerial Images to 3-D Terrain Maps, IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 12, NO. 12, DECEMBER 1990
- [23] H.S. Sawhney, R. Kumar, True multi-image alignment and its applications to mosaicing and lens distortion correction, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 21 (1999) 235–243.
- [24] J. Canny, A computational approach to edge detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8 (1986)

کنترل تخمین یافته شده از آنها، سرعت پاسخگویی این روش را تا حد زیادی بالاتر برد.

مراجع

- [1] G. Stockman, S. Kopstein, S. Benett, Matching images to models for registration and object detection via clustering, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 4 (1982) 229–241.
- [2] A.S. Vasileisky, B. Zhukov, M. Berger, Automated image coregistration based on linear feature recognition, Proceedings of the Second Conference Fusion of Earth Data, Sophia Antipolis, France, 1998, pp. 59–66.
- [3] G.J. Grevera, J.K. Udupa, An objective comparison of 3D image interpolation methods, IEEE Transactions on Medical Imaging 17 (1998) 642–652.
- [4] M. Roux, Automatic registration of SPOT images and digitized maps, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing ICIP'96, Lausanne, Switzerland, 1996, pp. 625–628.
- [5] W.S.I. Ali, F.S. Cohen, Registering coronal histological 2-D sections of a rat brain with coronal sections of a 3-D brain atlas using geometric curve invariants and B-spline representation, IEEE Transactions on Medical Imaging 17 (1998) 957–966.
- [6] S. Banerjee, D.P. Mukherjee, D.D. Majumdar, Point and marks for registration of CT and NMR images, Pattern Recognition letters 16 (1995) 1033–1042.
- [7] L.M.G. Fonseca, M.H.M. Costa, Automatic registration of satellite images, Proceedings of the Brazilian Symposium on Computer Graphic and Image Processing, Brazil, 1997, pp. 219–226.
- [8] J.W. Hsieh, H.Y.M. Liao, K.C. Fan, M.T. Ko, A fast algorithm for image registration without predetermining correspondence, Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition ICPR'96, Vienna, Austria, 1996, pp. 765–769.
- [9] K. Rohr, Localization properties of direct corner detectors, Journal of Mathematical Imaging and Vision 4 (1994) 139–150.
- [10] K. Rohr, Landmark-Based Image Analysis: Using Geometric and Intensity Models, Computational Imaging and Vision Series, vol. 21, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
- [11] S.M. Smith, SUSAN low level image processing, <http://www.fmrib.ox.ac.uk/~spacesteve/susan>.
- [12] Z. Zheng, H. Wang, E.K. Teoh, Analysis of gray level corner detection, Pattern Recognition Letters 20 (1999) 149–162.
- [13] J. Flusser, T. Suk, A moment-based approach to registration of images with affine geometric