



قطعه‌بندی و استخراج مرز عوارض در تصاویر هوایی/ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا مبتنی بر روش بیشینه شباهت

عباس کیانی^۱، حمید عبادی^۲

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی (عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی)

چکیده :

قطعه‌بندی مؤثر تصویر یک مرحله‌ی مهم در کاربردهای بینایی ماشین، سنجش‌ازدور و اصولاً کاربردهایی است که در آن‌ها تشخیص اشیاء تصویری مدنظر می‌باشد. قطعه‌بندی کاملاً اتوماتیک تصاویر هوایی/ماهواره‌ای روندی کاملاً دشوار بوده و گاهی برحسب نوع عارضه و شرایط طبیعی موجود، شناسایی محدوده صحیح همه عوارض و قطعات تصویری در دسترس نخواهد بود؛ بعلاوه در کاربردهای مختلف سنجش‌ازدوری شناسایی کامل محدوده‌ی عوارض و کلاس‌های مختلف، اغلب مورد انتظار و برای هدف موردنظر ضروری خواهد بود. در این موارد اگر از روش‌های قطعه‌بندی به صورت عام استفاده شود چون اطلاعات کلی تصویر و ویژگی‌های عام تصویری برای قطعه‌بندی در نظر گرفته می‌شود برای برخی از تارگت‌های خاص (عوارض هدف) محدوده‌ها به درستی استخراج نمی‌شود. از طرفی در بسیاری از کاربردها اطلاعات قبلی از تصویر موجود است که می‌تواند در روند کار مورد استفاده قرار گیرد، در موارد این‌چنینی راه‌کارهای تعاملی راه‌حل‌های خوبی هستند. در این پژوهش قطعه‌بندی تصاویر هوایی رقومی بر اساس تعاملی که بین اطلاعات قبلی و اطلاعات تصویری موجود وجود دارد صورت می‌پذیرد. ابتدا با استفاده از قطعه‌بندی سطح پایین تصویری قطعات هموزن اولیه تولید خواهد شد، سپس با استفاده از روش حداکثر تشابه بر اساس مکانیزمی اتوماتیک عملیات قطعه‌بندی با استفاده از اطلاعات محلی اخذ شده به کمک دانه‌های اولیه، بر روی قطعات اولیه‌ی تولید شده صورت می‌پذیرد. در نهایت به منظور ارزیابی روش، نخست روش پیشنهادی در حالت‌های مختلف فضای ویژگی و قطعات ورودی اولیه مورد آزمایش قرار گرفته و همچنین در ادامه با الگوریتم‌های استاندارد مانند مینیم انتقال، گراف نرمال، سطوح هم‌تراز و رشد ناحیه مورد قیاس قرار گرفت، و مشاهده شد که این روش با کیفیت مناسب‌تری نسبت به سایرین و خطاهای کلی نادیده گرفتن ۱.۹۷ و مشارکت ۲.۷۶ قادر به شناسایی قطعات مورد نظر تصویری بوده است.

واژه‌های کلیدی : قطعه‌بندی، بیشینه شباهت، تصویر هوایی و ماهواره‌ای



۱- مقدمه

قطعه‌بندی تصویر روند تقسیم تصاویر دیجیتال به واحد فضایی منسجم و یا مناطق می‌باشد. این مناطق نشان‌دهنده اشیاء یا کلاس‌های متمایز از عوارض در تصاویر است. این فرآیند یکی از مهم‌ترین پردازش سطح پایین بر روی تصاویر هوایی/ماهواره‌ای است که در آن‌ها شناسایی محدوده‌ی عوارض و کلاس‌های مختلف موردنظر خواهد بود؛ در این موارد اگر از قطعه‌بندی تصویر به صورت کلی استفاده شود چون اطلاعات عام تصویری برای قطعه‌بندی در نظر گرفته می‌شود برای برخی از عوارض هدف محدوده‌ها به درستی استخراج نمی‌شود. از طرفی در بسیاری از کاربردها، اطلاعات قبلی از تصویر موجود است که می‌تواند در روند کار مورد استفاده قرار گیرد و صرف اینکه در روش‌های مختلف بخواهیم روند کاملاً مستقل را طی کنیم، بی‌اعتنایی و عدم استفاده از اطلاعات موجود را توجیه‌پذیر نمی‌سازد، برای نمونه در بسیاری از کاربردها وجود داده‌های GIS، نقشه‌های قبلی یا نقاط اولیه^۱ قبلی می‌تواند راهنمایی خوب جهت قطعه‌بندی صحیح تارگت‌های هدف باشد. در موارد این‌چنینی طرح‌های تعاملی راه‌حل‌های خوبی هستند.

در این پژوهش قطعه‌بندی تصویر بر اساس تعاملی که بین اطلاعات قبلی و اطلاعات تصویری موجود وجود دارد صورت می‌پذیرد، در این روش فقط نیاز به اطلاعات تقریبی اولیه از محل عارضه هدف می‌باشد که نقاط اولیه نامیده می‌شود. سپس با استفاده از روش حداکثر تشابه و بر اساس مکانیزی خاص عملیات قطعه‌بندی با استفاده از اطلاعات محلی اخذ شده به کمک دانه‌های اولیه صورت می‌پذیرد. برای این منظور ابتدا ریزعارضه‌های مختلف تصویری استخراج شده و سپس عملیات ادغام مناطق بر اساس اینکه قطعه هدف با مناطق مجاور آن دارای شباهت بالایی نسبت به سایر مناطق مجاور بوده صورت خواهد پذیرفت. روش ارائه‌شده به‌طور خودکار ادغام مناطق را پی می‌گیرد، و پس از آن به‌طور مؤثر با برچسب زدن تمام مناطق غیر منتخب به‌عنوان پس‌زمینه روند را به اتمام می‌رساند. روند ادغام منطقه تطبیقی متناسب با محتوای تصویر است و نیازی به تنظیم آستانه شباهت در آن وجود ندارد. نتایج اجرا بر روی تصاویر تست سنجش‌از دوری نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی در استخراج عوارض هدف تصاویر هوایی/ماهواره‌ای دارای عملکرد مناسبی بوده است.

۲- قطعه‌بندی تصویر

قطعه‌بندی تصویر روند پارتیشن‌بندی یک تصویر به بخش‌های متعدد (مجموعه‌ای از پیکسل) است، به عبارتی قطعه‌بندی به منظور جداسازی اشیاء موردنظر از پس‌زمینه‌ی تصویر می‌باشد. قطعه‌بندی تصویر معمولاً به پیدا کردن اشیاء و مرزهای (خطوط، منحنی‌ها و ...) آن‌ها در تصاویر منجر می‌شود. روش قطعه‌بندی سطح تصویر پایین، مانند حوضه آبریز (آبپخش‌ان)^۲، مینیمم انتقال^۳، سوپر پیکسل‌ها^۴ و ... معمولاً تصویر را به بسیاری از مناطق کوچک (ریزعارضه) تقسیم خواهد نمود [۱-۴]. اگرچه ممکن است این کار تصویر را به بخش‌های زیادی قطعه‌بندی کرده باشد، اما این روش قطعه‌بندی سطح پایین مبنای خوبی برای عملیات سطح بالای بعدی، از جمله تلفیق مناطق فراهم خواهد کرد.

هر یک از پیکسل‌ها در یک قطعه در برخی از پارامترهای مشخصه یا محاسبه‌شده، مانند رنگ، شدت و یا بافت مشابه هستند و مناطق مجاور با توجه به ویژگی‌های قبلی به‌طور قابل توجهی متفاوت خواهند بود. به‌طور کلی رنگ، بافت و سایر ویژگی‌های عوارض در یک تصویر سنجش‌ازدوری در مقایسه با تصویر مرسوم پردازش تصویری و تصاویر صنعتی یا پزشکی اخذ شده در شرایط خاص و کنترل شده بسیار پیچیده می‌باشد، به‌طوری که قطعه‌بندی تمام اتوماتیک عارضه‌های هدف بسیار دشوار خواهد بود از این رو روش‌های قطعه‌بندی نیمه اتوماتیک و در ارتباط با برخی از اطلاعات قبلی

¹ Seed points

² watershed

³ mean shift

⁴ super-pixel



موجود پیشنهاد شده است، به‌عنوان مثال، در مدل منحنی فعال، یک انتخاب مناسب از منحنی‌های اولیه توسط کاربر می‌تواند به همگرایی خوب در مسیر شیء واقعی منجر شود، به‌طور مشابه، در الگوریتم‌های گراف، اطلاعات به دست آمده از قبل توسط کاربران در عملکرد قطعه‌بندی مهم است [۵-۱۳].

نقاط اولیه نشانگر برخی از ویژگی‌های کلیدی شیء می‌باشد. مشابه روش گراف که در آن نقاط^۵ محل‌های شروع می‌باشند، روش ادغام منطقه از مناطق منتسب به نقاط اولیه شروع خواهد شد به تدریج به صورت برچسب منطقه شیء در خواهد آمد. در [۶] روش ارائه‌شده ترکیبی از گراف بر اساس قطعه‌بندی اولیه حوضه آبریز را اراده می‌دهد، در واقع یک روش ادغام منطقه است که توسط یک الگوریتم حداکثر جریان کنترل می‌شود [۱۴]. همچنین در تلاش دیگری لی و همکاران نیز قطعه‌بندی حوضه آبریز را با روش گراف برای حصول نتایج بهینه ترکیب نمودند که در آن مناطق تقسیم شده توسط حوضه آبریز، به جای پیکسل، به‌عنوان گره‌های گراف در نظر گرفته شدند [۱۵]. اگر چه ایده این پژوهش از نظر معرفی نشانگر در قطعه‌بندی‌های تعاملی در طرح حوضه آبریز و طرح‌های گراف مورد استفاده قرار گرفت [۶، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۷]، این مقاله برای اولین بار از آن به منظور استخراج مرز نواحی از طریق هدایت تلفیق مناطق در تصاویر هوایی/ماهواره‌ای استفاده می‌کند.

۳- مبانی و تئوری تحقیق

در این روش ابتدا یک قطعه‌بندی اولیه به منظور بخش‌بندی تصویر به مناطق همگن صورت می‌گیرد تا عملیات ادغام نواحی به جای پیکسل‌های تصویری بر روی این نواحی صورت پذیرد. این کار دو مزیت عمده دارد، نخست اینکه حجم عملیات ادغام به میزان زیادی کاهش می‌یابد و علاوه بر آن به علت استفاده از نواحی همگن از نویزی شدن قطعه‌بندی نهایی جلوگیری به عمل خواهد آمد. این کار توسط هر یک از روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین موجود می‌تواند صورت پذیرد که تعدادی از آن‌ها در بخش قبل معرفی شدند. برای نمونه روش حوضه آبریز قطعات اولیه همگن و نگه‌دارنده‌ی مرز تولید می‌نماید اما قطعات آن دارای ابعاد کوچکی است که موجب طولانی شدن روند ادغام و بروز اشتباه در روند تلفیق خواهد شد؛ و یا روش سوپر پیکسل که می‌تواند ابعاد بزرگ‌تری را اختیار نماید اما در حفظ مرز نواحی دچار مشکل است و لبه‌ها در این روش به خوبی حفظ نمی‌شود. در مقالات مختلف روش مینیمم انتقال به دلیل استخراج بهینه قطعات اولیه و حفظ لبه‌های عوارض به عنوان روشی کارآمد معرفی شده است.

پس از قطعه‌بندی اولیه، مناطق کوچک بسیاری در دسترس است. برای هدایت فرایند ادغام باید نسبت به تعریف برخی توصیفگرها و ایجاد یکسری قوانین برای ادغام مبادرت ورزید. قطعات را می‌توان توسط توصیفگرهایی مانند رنگ، لبه، بافت، شکل و ویژگی‌های هندسی مورد بررسی قرار داد، در این میان هیستوگرام رنگ به شکل مؤثری برای نشان دادن ویژگی‌های آماری رنگ شیء مورد استفاده قرار می‌گیرد و به شکل گسترده‌ای در شناخت الگو، برچسب‌گذاری کلاس‌های مختلف تصویری، ردیابی شیء و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸-۲۱]. برای عملیات ادغام مناطق استفاده از هیستوگرام رنگ نسبت به ویژگی‌های توصیفی دیگر عملکرد مناسب‌تری دارد، دلیل این امر آن است که در ابتدا مناطق کوچک حاصل از هر شیء اغلب تفاوت زیادی در اندازه، بافت و شکل داشته، درحالی‌که رنگ مناطق مختلف از همان جسم شباهت بالایی دارند. بنابراین، استفاده از هیستوگرام رنگ برای ارائه ویژگی‌های هر منطقه منطقی خواهد بود.

هدف این است که چگونه ادغام مناطق را بر اساس نمودار هیستوگرام رنگ انجام دهیم. از آنجایی‌که هر عارضه‌ای از مناطق هموزن تشکیل شده که در مرحله قبل توسط روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین استخراج شده است، حال بایستی یک معیار شباهتی بین مناطق تعریف کنیم تا برای مثال دو منطقه که معیار شباهت بالایی دارند در هم ادغام

⁵ node



شوند و بلعکس. برای این منظور می توان از معیار فاصله بین فضای رنگی دو قطعه استفاده نمود. اگر دو منطقه محتویات مشابه داشته باشند، نمودار هیستوگرام آن‌ها مشابه خواهد بود. از طرفی این امکان وجود دارد که دو منطقه بسیار متفاوت نمودار هیستوگرام بسیار مشابه داشته باشند. خوشبختانه، این موارد نادر هستند، زیرا نمودار هیستوگرام منطقه، نمودار هیستوگرام محلی هستند و منعکس کننده ویژگی‌های محلی از تصاویر می‌باشند. حتی در صورتی که دو منطقه مختلف نمودار هیستوگرام مشابه داشته باشند، شباهت بین آن‌ها نسبت به سایر همسایگی‌ها به ندرت مقادیر بالاتری نسبت به بقیه‌ی همسایگی‌ها خواهد داشت. بر این اساس معیار و قوانین پیشینه شباهت تعریف خواهند شد.

ماتریس فاصله یک ماتریس (یک آرایه دوبعدی) حاوی فاصله‌ها است؛ که هر درایه آن با یک زوج از اعداد مشخص می‌شود. اندازه این ماتریس $N \times N$ خواهد بود که N تعداد نقاط، گره‌ها یا رأس‌ها است (معمولاً در گراف). البته در برخی از کاربردها از ماتریس مجاورت^۶ نیز استفاده شده است [۲۲-۲۵]. در ماتریس مجاورت اتصال رؤس به هم بررسی می‌شود و هیچ اطلاعی از میزان هزینه و فاصله رأس‌ها از هم نداریم. اما در ماتریس فاصله درایه‌ای کوچک‌تر است که فاصله آن‌ها کمتر باشد. یک معیار مناسب برای محاسبه فاصله توصیفگر فاصله باتاچاریا است که یک راه کارآمد برای نشان دادن مناطق و اندازه‌گیری تشابه آن‌ها است [۲۶-۲۹].

در آمار، فاصله باتاچاریا اندازه‌گیری شباهت دو توزیع احتمال گسسته یا پیوسته است که با ضریب باتاچاریا در ارتباط است که به اندازه‌گیری میزان همپوشانی بین دو نمونه آماری و یا جمعیت مربوط می‌شود. این ضریب می‌تواند برای تعیین نزدیکی نسبی دو نمونه در نظر گرفته شده استفاده شود. یکی از موارد استفاده آن در سنجش‌ازدور برای اندازه‌گیری تفکیک کلاس‌ها در طبقه‌بندی است و به عنوان یکی از معیارهای قابل اعتماد در پژوهش‌های مختلف بیان شده است. در حقیقت ضریب باتاچاریا میزان مشابهت دو توزیع احتمال را بیان می‌کند، هر چه دو توزیع شباهت بیشتری با یکدیگر داشته باشند، مقدار عددی آن به یک نزدیک می‌گردد و هر چه شباهت کمتر باشد، این ضریب به صفر میل پیدا می‌کند. برای توزیع احتمال گسسته p و q روی یک دامنه مشابه X ، فاصله باتاچاریا به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$D_B(p, q) = -\ln(BC(p, q)) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن ضریب باتاچاریا^۷ از رابطه ۲ به دست خواهد آمد.

$$BC(p, q) = \sum_{x \in X} \sqrt{p(x)q(x)} \quad \text{رابطه ۲}$$

محاسبه ضریب باتاچاریا شامل یک فرم ابتدایی ادغام همپوشانی از دو نمونه (در این پژوهش همان قطعات اولیه) می‌باشد. که مطابق با رابطه ۳ برای تمامی قطعات مورد هدف دو به دو مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳۰، ۳۱].

$$\rho[p, q] = \sum_{k=1}^N \sqrt{p_k \cdot q_k} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن p و q قطعات نمونه، N تعداد قطعات و $\rho(p, q)$ به عنوان مشابهت میان p و q تعریف می‌شود که نقش احتمال را بازی می‌کند و پیشینه آن نشان‌دهنده تلفیق دو منطقه موردنظر خواهد بود. توضیح هندسی از ضریب باتاچاریا در واقع نشان‌دهنده شباهت بین مناطق است. اگر دو منطقه محتویات مشابه داشته باشند، نمودار هیستوگرام آن‌ها مشابه خواهد بود، یعنی زاویه بین دو بردار هیستوگرام بسیار کوچک است و از این رو ضریب باتاچاریا بسیار بالا خواهد بود.

⁶ Adjacency matrix

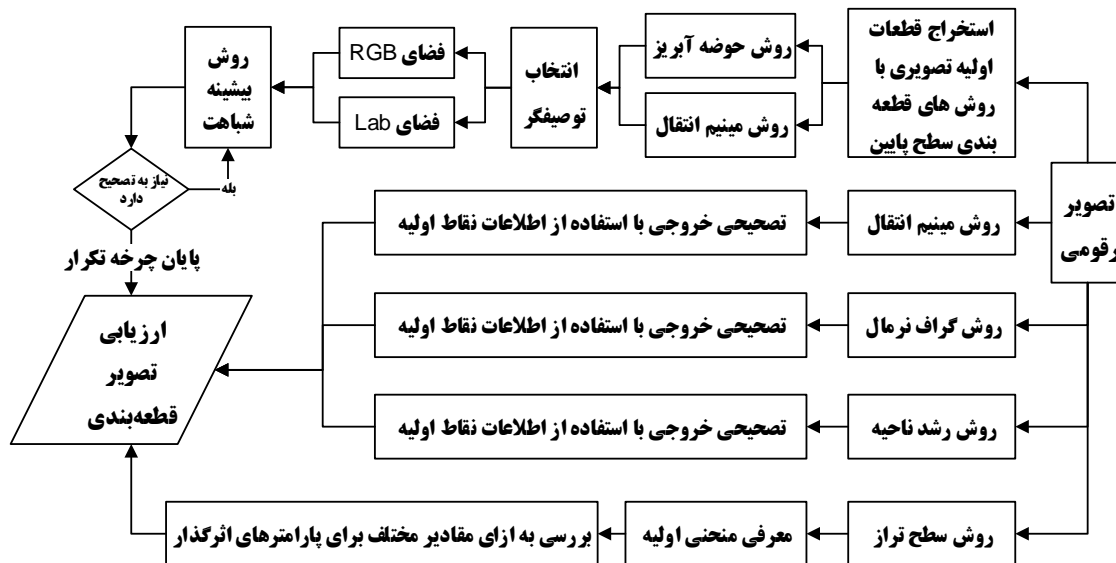
⁷ Bhattacharyya coefficient



به‌طور معمول روش ادغام منطقه، تلفیق را برای دو منطقه مجاور که شباهت بالاتری از آستانه از پیش تعیین شده دارند صورت می‌دهد. این روش‌ها دارای مشکلاتی در انتخاب آستانه تطبیقی می‌باشند، یک آستانه بزرگ منجر به ادغام ناقص مناطق متعلق به شیء خواهد شد، درحالی‌که یک آستانه کوچک می‌تواند سبب ادغام بیش از حد نواحی، یعنی تلفیق برخی از مناطق شیء به پس‌زمینه شود. علاوه بر این، تعیین زمان اتمام این فرایند ادغام نیز تأثیرگذار خواهد بود. قانون کلی برای ادغام در برخی مقالات به صورت نسبی تعریف شده است [۶، ۹]. در این متد نسبی بودن یعنی ابتدا معیار شباهت برای تمامی همسایگی‌ها محاسبه شود و سپس دو منطقه‌ای که بیشترین شباهت را با هم دارند ادغام می‌گردند. این قانون در عین سادگی مزیت‌هایی نیز دارد از جمله اینکه به تنظیم آستانه شباهت از پیش نیازی ندارد. از طرف دیگر به این علت که هیستوگرام یک توصیفگر کلی از قطعات محلی است، این موضوع آن را در برابر نویزها و تغییرات کوچک پایدار می‌سازد. بر همین اساس، چون معیار اندازه‌گیری شباهت بین این قطعات محلی ضریب باتاچاریا است که خود محصول ضرب داخلی دو بردار هیستوگرام قبلی است، در نتیجه این موضوع به کسب نتایج قابل اطمینان و به دور از حساسیت به نویز و تغییرات کوچک تصویری کمک شایانی خواهد نمود. در این مقاله بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر پژوهش‌های پیشین و بررسی نقاط ضعف و قوت آن‌ها، و با تکیه بر ویژگی‌ها و شرایط تصاویر سنجش‌ازدوری روند پیاده‌سازی به شکلی که در بخش ۴ خواهید دید صورت پذیرفته است.

۴- پیاده‌سازی

فلوچارت کلی روند موردنظر به شکل زیر است:



شکل (۱) روند کلی اجرا



مطابق با فلوچارت شکل ۱ ابتدا تصویر ورودی توسط یکی از روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین به قطعه‌های کوچک هموزن تصویری تبدیل خواهند شد (شکل ۲). سپس معیار شباهت برای تمامی قطعه‌های تصویری محاسبه می‌شود، تا در ادامه بر بررسی این معیار مناطقی که معیار شباهت بالایی دارند در هم ادغام شوند و بالعکس.

شکل (۲) استخراج قطعات اولیه تصویری

برای این منظور می‌توان از معیار فاصله بین فضای رنگی دو قطعه استفاده نمود. به دلایلی که در بخش قبل عنوان شد از میان توصیفگرها، هیستوگرام رنگ انتخاب شد که برای سنجش آن از ضریب باتاچاریا استفاده گردید. هر چه دو توزیع شباهت بیشتری با یکدیگر داشته باشند، مقدار عددی آن به یک نزدیک می‌گردد و هر چه شباهت کمتر باشد، این ضریب به صفر میل پیدا می‌کند. در نهایت $\rho(p,q)$ به‌عنوان مشابهت میان دو قطعه p و q تعریف شد. همچنین بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر مقالات پیشین مشاهده شد که برای بهبود روند قطعه‌بندی استفاده از طرح‌های تعاملی راه‌حل‌های خوبی هستند. در این مقاله قطعه‌بندی تصویر بر اساس تعاملی که بین اطلاعات قبلی و اطلاعات تصویری موجود وجود دارد صورت می‌پذیرد، در این روش فقط نیاز به اطلاعات تقریبی اولیه از محل عارضه هدف می‌باشد، که نقاط اولیه نامیده می‌شود. این نقاط اولیه می‌تواند یک نقطه یا یک ناحیه اولیه تصویر باشند (شکل ۳)، این نقاط اولیه با یکسری از قطعات همپوشانی دارند که در این مقاله به مجموعه‌ی آن‌ها seeds گفته می‌شود همچنین هر عضو این مجموعه یک seg نام‌گذاری شده است.



شکل ۳) نقاط اولیه

اگر برای یک seg مجموعه همسایگی‌های آن (nhb_n^A) تشکیل داده شود (شکل ۳)، خواهیم داشت (رابطه ۴):

$$\forall seg \in seeds : \quad set_{seg} = \{nhb_n\}, n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

سپس برای هر nhb_n که خودش جز اطلاعات اولیه نباشد، مجموعه همسایگی‌هایش مطابق رابطه ۵ خواهد بود (شکل ۴).



شکل ۴) همسایگی‌های قطعات اولیه

$$\forall nhb_n \notin seeds : \quad set_{nhb_n} = \{set_m^{nhb_n}\}, m = 1, 2, \dots \quad (5)$$

از آنجایی که seg خودش یکی از همسایگی‌های nhb_n می‌باشد در نتیجه مشاهده می‌شود که seg خودش یکی از اعضای $set_m^{nhb_n}$ خواهد بود. رابطه ۶ شباهت هر عضوی مانند nhb_n و المان‌های $set_m^{nhb_n}$ را محاسبه می‌نماید.

⁸ neighbor



$$\rho[p, q] = \sum_{k=1}^N \sqrt{p_k q_k} \rightarrow \rho[nhb_n, set_m^{nhb_n}]$$

رابطه ۶

حال اگر شباهت seg (یکی از اعضای $set_m^{nhb_n}$) و nhb_n بیشتر از تمامی مقادیر محاسبه‌شده در رابطه ۶ بود، دو قطعه در هم ادغام می‌شوند به عبارتی به قطعه nhb_n نیز برچسب seg داده خواهد شد. به این ترتیب بدون اینکه نیاز به تعریف حدآستانه برای میزان شباهت باشد به صورت اتوماتیک روند ادغام طی خواهد شد. این کار ادامه می‌یابد و در هر مرحله قطعات دارای برچسب مشابه اولیه افزایش یافته و از تعداد پیکسل‌های بدون برچسب کاسته می‌شود، به عبارت دیگر به علت ادغام مناطق مشابه در seedsهای اولیه در هر دوره‌ی تکرار و به‌روزرسانی بر ابعاد seeds افزوده خواهد شد.

بعد از مراحل فوق مناطقی بدون برچسب باقی خواهند ماند و ترکیب نشدن، علت آن این است که شباهت آن‌ها به یکدیگر بیشتر از شباهت آن‌ها با seedsهای اولیه بوده است. همچنین برای بهینه کردن فرآیند می‌توان حالت دیگری با عنوان عوارض پس‌زمینه ایجاد نمود، تعریف این کلاس جدید که فرآیند آن مانند مراحل قبلی می‌تواند انجام شود در تفکیک عارضه هدف از سایر بخش‌ها مؤثر است، برای این کار می‌توان قاب بیرونی تصویر را به عنوان نقاط اولیه ورودی برای کلاس پس‌زمینه معرفی نمود. مجموعه مراحل قبل به صورت تکرار شونده انجام می‌گیرد و در هر مرحله کلاس‌ها به‌روزرسانی می‌شوند (عوارض تلفیق شده و برچسب مشابه گرفته شده به آن‌ها اضافه می‌گردد)، این روند تا جایی ادامه می‌یابد تا اینکه دیگر منطقه‌ای برای ادغام انتخاب نشود. در ادامه نتایج روش بر روی تصاویر تست مختلف آزمایش می‌گردد، علاوه از آنجایی که استفاده از روش‌های مختلف قطعه‌بندی سطح پایین اولیه بر روی روش پیشنهادی می‌تواند منجر به تولید ریزعارضه‌های کوچک و غیر لازم متفاوتی شود و همین‌طور توانایی هر یک از روش‌های قطعه‌بندی اولیه نام برده شده در حفظ مرز نواحی عملکرد نسبت به سایر روش‌ها متفاوت است، کلیه‌ی این حالات مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۵- نتایج و ارزیابی تحقیق

این پروژه از طریق کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب اجرا و به منظور ارزیابی بر روی تصاویر تست مورد آزمون قرار گرفت. به‌طور کلی برای مقایسه از دو روش عددی و شهودی می‌توان استفاده نمود. در روش شهودی، تصاویر به همراه تصاویر خروجی روش نشان داده می‌شود و با توجه به شهودی که نسبت به تصویر وجود دارد مقایسه صورت می‌پذیرد (شکل‌های ۷-۵). در روش عددی، معیارهایی برای خوب بودن روش تشخیص قطعات در نظر گرفته می‌شود و با توجه به آن معیارها می‌توان در رابطه با خوب یا بد بودن الگوریتم، تصمیم‌گیری کرد. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها استفاده از تصاویر به همراه واقعیت زمینی^۹ آن‌هاست. ابتدا تصاویر واقعیت زمینی هر یک از تصاویر به صورت دستی تولید و سپس با تشکیل ماتریس ابهام به مقایسه عددی روش پیشنهادی با دیگر روش‌ها پرداخته می‌شود (جداول ۶-۱). برای مقایسه عددی از سه شاخص آماری خطاهای نادیده گرفتن^{۱۰}، مشارکت^{۱۱} و دقت کیفی^{۱۲} طبق روابط ۷-۹ استفاده شد.

$$\text{Omission} = \text{FN}/(\text{TP}+\text{FN}) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\text{Commission} = \text{FP}/(\text{TP}+\text{FP}) \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\text{Quality} = \text{TP}/(\text{FN}+\text{TP}+\text{FP}) \quad \text{رابطه ۹}$$

^۹ Ground Truth

^{۱۰} Omission error












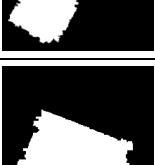



^{۱۱} Commission error

^{۱۲} Quality Percentage

در این روابط TP^{13} تعداد نقاطی است که در هر دو مجموعه داده‌ها درست شناسایی شده است، در حالی که FP^{14} تعداد نقاطی می‌باشند که توسط روش به اشتباه به عنوان بخشی از قطعه مورد نظر شناسایی شده‌اند و در نهایت FN^{15} تعداد نقاطی است که توسط روش به اشتباه مورد شناسایی واقع نشده‌اند.

این مقایسات برای حالت‌های مختلف مقایسه‌ای مانند ورودی‌های قطعه‌بندی سطح پایین اولیه متفاوت، فضاهای رنگی مختلف، مقایسه با روش‌های دیگر قطعه‌بندی مانند روش مینیمم انتقال [۴، ۳۲]، روش گراف نرمال [۳۳، ۳۴]، روش سطوح هم‌تراز [۳۵، ۳۶] و قطعه‌بندی رشد ناحیه که با استفاده از معرفی نقاط اولیه و بر اساس اندازه‌گیری میانگین شدت روشنایی گسترش می‌یابد صورت پذیرفت.

شکل ۵، نتایج قطعه‌بندی در فضاهای رنگی مختلف بر روی قطعات ورودی متفاوت را نشان می‌دهد. در شکل ۶ نتایج قطعه‌بندی با استفاده از روش‌های گراف نرمال و مینیمم انتقال بر روی تصاویر تست آورده شده است. در این روش‌ها چون قطعات خروجی متعلق به عارضه هدف، در حالات مختلف تعداد قطعات متفاوت بود همه‌ی حالات مختلف آزمایش و سپس به صورت دستی حالت بهینه استخراج شد. در شکل ۷ نتایج قطعه‌بندی تصاویر تست به روش رشد ناحیه آورده شده است، در این روش نیز به مانند سایر روش‌های قبلی نقاط اولیه در تولید تصویر نهایی استفاده گردید. در بررسی آخر تصاویر تست با استفاده از روش سطوح هم‌تراز مورد بررسی قرار گرفت، در این روش ابتدا بایستی منحنی اولیه تعریف شود (مطابق با شکل ۷) سپس این منحنی‌های اولیه در تکرارهای مختلف بر اساس میزان مشابهت با نواحی پیرامون گسترش پیدا کرده و به مرور بر عارضه هدف محاط می‌گردد. البته این روش شدیداً تحت تأثیر چگونگی تعریف پارامترهای خود قرار دارد. در اینجا سعی شده پارامترهای بهینه برای همه‌ی تصاویر تست به صورت عام تعریف شود البته با این وجود برای حصول نتایج بهینه برای هر سه تصویر نیاز به تغییر برخی پارامترها به صورت خاص برای آن تصویر می‌بود، بر این اساس در شکل پارامترهای روش برای حالت‌های مختلف نیز ذکر شده است.

تصویر اصلی	خروجی روی فضای RGB		خروجی روی فضای Lab		قسمت
	حوضه آبریز	مینیمم انتقال	حوضه آبریز	مینیمم انتقال	
					الف
					ب
					ج

شکل ۵) ارزیابی روش با قطعه‌بندی‌های مختلف ورودی و فضاهای مختلف رنگی

¹³ True Positive

¹⁴ False Positive

¹⁵ False Negative



تصویر اصلی	خروجی قطعه- بندی مینیمم انتقال	خروجی با استفاده از اطلاعات نقاط اولیه روی نتایج م. انتقال	خروجی قطعه- بندی برش نرمال	خروجی با استفاده از اطلاعات نقاط اولیه روی نتایج برش نرمال	قسمت
					الف
تصویر تست ۱	حالات مختلف بررسی و ۴ قطعه انتخاب		حالات مختلف بررسی و ۷ قطعه انتخاب		
					ب
تصویر تست ۲	حالات مختلف بررسی و ۱۶ قطعه انتخاب		حالات مختلف بررسی و ۵ قطعه انتخاب		
					ج
تصویر تست ۳	حالات مختلف بررسی و ۴ قطعه انتخاب		حالات مختلف بررسی و ۳ قطعه انتخاب		

شکل ۶) ارزیابی تصاویر تست با روش‌های قطعه‌بندی مینیمم انتقال و گراف نرمال



منحنی اولیه (داده ورودی)	تجمیع همه‌ی قطعات حاصله از روش رشد ناحیه	روش قطعه‌بندی سطوح هم‌تراز		قسمت
		خروجی قطعه‌بندی	پارامترهای مؤثر	
			iter_outer=70 mu=0.2/timestep epsilon=1.5 iter_inner=5 alfa=-3 timestep=15 lambda=1	الف
			iter_outer=60 mu=0.2/timestep epsilon=1.5 iter_inner=5 alfa=-3 timestep=15 lambda=2	ب
			iter_outer=285 mu=0.2/timestep epsilon=1.5 iter_inner=10 alfa=-3 timestep=15 lambda=3	ج

شکل ۷) خروجی تصاویر تست با استفاده از روش‌های قطعه‌بندی رشد ناحیه و سطوح هم‌تراز

در ادامه نتایج بررسی‌های عددی تصاویر تست در حالت‌های مختلف مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۱) ارزیابی روش پیشنهادی بر روی تصویر تست ۱ و بررسی حالات مختلف (مطابق شکل ۵)

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۱	96.291	2.9978	0.75542	مینیمم انتقال روی فضای RGB
	76.608	22.378	1.676	حوضه آبریز روی فضای RGB
	95.798	3.3575	0.90402	مینیمم انتقال روی فضای Lab
	90.493	6.5095	3.4221	حوضه آبریز روی فضای Lab

نتایج بررسی‌های عددی تصویر تست ۲ (شکل ۵) در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲) ارزیابی روش پیشنهادی بر روی تصویر تست ۲ و بررسی حالات مختلف

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۲	97.707	2.0689	0.23329	مینیمم انتقال روی فضای RGB
	94.471	3.4478	2.2312	حوضه آبریز روی فضای RGB
	98.352	1.4019	0.25292	مینیمم انتقال روی فضای Lab
	92.861	4.6796	2.7036	حوضه آبریز روی فضای Lab



جدول ۳ نیز نتایج بررسی‌های عددی تصویر تست ۳ (شکل ۵) را نشان می‌دهد.

جدول ۳) ارزیابی روش پیشنهادی بر روی تصویر تست ۳ و بررسی حالات مختلف

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۳	92.314	3.0811	4.8948	مینیمم انتقال روی فضای RGB
	89.888	7.3367	3.2246	حوضه آبریز روی فضای RGB
	88.261	2.4758	9.7165	مینیمم انتقال روی فضای Lab
	84.718	5.9498	10.485	حوضه آبریز روی فضای Lab

در ادامه روند بررسی عددی، خروجی تصاویر تست توسط روش‌های قطعه‌بندی دیگر استخراج شد (جدول ۴-۶).

لازم به ذکر است برای روش سطوح هم‌تراز از میان حالت‌های مختلف نمایش داده شده، حالت بهینه هر تصویر تست در ارزیابی نهایی شرکت داده شد (ردیف الف، ب و ج در شکل ۷). جدول ۴ نتایج بررسی‌های عددی روش‌های قطعه‌بندی مختلف بر روی تصویر تست ۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۴) ارزیابی کمی خروجی روش‌های مطرح موجود بر روی تصویر تست ۱

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۱	85.516	14.481	0.004128	گراف نرمال
	87.864	2.4087	10.188	رشد ناحیه
	89.904	9.9322	0.20227	مینیمم انتقال
	83.883	14.418	2.3117	سطوح هم‌تراز

روش-

در ادامه

های قطعه‌بندی مختلف بر روی تصویر تست ۲ و ۳ نیز اجرا شده و نتایج حاصله در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵) ارزیابی کمی خروجی روش‌های مطرح موجود بر روی تصویر تست ۲

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۲	91.029	8.9401	0.036956	گراف نرمال
	89.716	0.2358	10.094	رشد ناحیه
	97.337	2.6513	0.012704	مینیمم انتقال
	97.488	2.1887	0.33838	سطوح هم‌تراز



جدول ۶) ارزیابی کمی خروجی روش‌های مطرح موجود بر روی تصویر تست ۲

تصویر	کیفیت قطعه‌بندی	خطای مشارکت	خطای نادیده گرفتن	خروجی روش
۳	89.997	6.1547	4.3584	گراف نرمال
	71.8	0.41305	27.985	رشد ناحیه
	91.65	5.6889	2.9869	مینیمم انتقال
	88.521	1.6803	10.119	سطوح هم‌تراز

در این پژوهش هدف استخراج قطعات هدف در پروژه‌های فتوگرامتری و سنجش از دوری می‌باشد که در موارد مختلفی مانند تفسیر، استخراج، به‌روزرسانی و کاربردهای دیگر مورد نظر می‌باشند. عارضه‌های هدف در کاربردهای تصاویر هوایی/ماهواره‌ای متعلق به یکی از کلاس‌های نقشه‌های کاربری اراضی می‌باشد، یکی از این عارضه‌های هدف عارضه ساختمان است که در تصاویر مختلف و بنا بر شرایط متفاوت تصویری استخراج حدود آن‌ها به طور کامل امکان‌پذیر نبوده و وابسته به داده‌های ورودی اولیه می‌باشد. بر این اساس سه تصویر تست با شرایط متفاوت مدنظر قرار گرفتند. تصویر تست ۱ یک عارضه ساختمان را نشان می‌دهد که به علت وجود عارضه‌های دیگری با جنس مشابه در محیط پیرامون خود قطعه‌بندی آن از مشکلات خاصی برخوردار است، و روش‌های مختلف برای قطعه‌بندی با دو حالت برای آن مواجه هستند. حالت سخت‌گیرانه برای عدم تجاوز از مرز پیرامونی به بیرون که در این صورت برخی از نواحی جزو ساختمان نیز شناسایی نشده و از دست می‌روند که منجر به خطای نادیده گرفتن خواهد شد. رویکرد دوم حصول همه-ی نواحی عارضه هدف می‌باشد که در این صورت برخی از نواحی پیرامونی نیز جزئی قطعه استخراجی خواهند شد که در این صورت خطای مشارکت اتفاق می‌افتد. در نتیجه کیفیت قطعه‌بندی مورد تأثیر قرار خواهد گرفت. علاوه بر این یکی از موارد دیگر تأثیرگذار بر بسیاری از روش‌های قطعه‌بندی ابعاد عارضه هدف می‌باشند، زیرا برای قطعه‌بندی در ابعاد مختلف نیاز به تنظیم پارامترهای خود دارند، بدین سبب تصویر تست ۲ برگزیده شد. از طرف دیگر این تصویر از سه طرف کنتراست بالایی به نواحی پیرامونی خود دارد و از یک طرف شباهت زیاد به همسایگی، این موضوع سبب می‌شود یا قطعه‌بندی تجاوز به محیط بیرونی نماید موجب خطای مشارکت شود یا برعکس برای عدم خروج برخی از نواحی داخلی را از دست داده و خطای نادیده گرفتن را موجب شود. همچنین تصاویر تست ۱ و ۲ از تیپ ساختمان-های دارای شیروانی می‌باشند، این سبک از ساختمان‌ها به علت تفاوت در بازتابش نور سقف‌های آن در بخش‌های مختلف سقف به صورت مجزا قطعه‌بندی می‌شوند. با توجه به توضیحات بیان شده تصاویر تست مورد نظر برای بررسی کارایی روش‌های مختلف قطعه‌بندی می‌توانند مفید باشند. برای اینکه بررسی کامل‌تر گردد تصویر تست ۳ نیز مورد استفاده قرار گرفت. این تصویر دارای سقف شیب‌دار نمی‌باشد، سقف آن دارای درجات روشنایی یکسان نمی‌باشد و از طرفی در بخشی از آن به علت نفوذ اشیای بیرونی (درخت) دارای شکل هندسی منظمی نمی‌باشد، به علت تفاوت‌های این تصویر با تصاویر قبلی و ویژگی‌های خاص آن می‌تواند برای بررسی روش‌های قطعه‌بندی گزینه خوبی باشد.

در بررسی‌های صورت گرفته ابتدا حالت‌های مختلف قطعه‌بندی با ورودی‌های مختلف قطعه‌بندی سطح پایین مانند روش مینیمم انتقال و حوضه‌آبریز بررسی شد (شکل ۵)، نتایج بررسی نشان داد که در مجموع روش مینیمم انتقال به علت تولید بخش‌بندی‌های اولیه کمتر (خطای بیش قطعه‌بندی^{۱۶} کمتر) دقت بالاتری دارد همین نتایج به صورت عددی در

¹⁶ Over segment



جداول ۱ تا ۳ نیز به دست آمد که در انتها روش مینیمم انتقال با کیفیت میانگین ۹۴.۷۹ نسبت به روش حوضه آبریز با کیفیت میانگین ۸۸.۱۷ در مجموع فضاهای رنگی RGB و Lab عملکرد مناسب‌تری داشته است (جدول ۷).

جدول ۷) میانگین ارزیابی کمی خروجی برای تمامی تصاویر تست در فضاهای رنگی مختلف

روش	فضای رنگی RGB			فضای رنگی Lab			مجموع
	نادیده گرفتن	مشارکت	کیفیت	نادیده گرفتن	مشارکت	کیفیت	
حوضه آبریز	2.38	11.05	86.99	5.54	5.71	89.36	88.17
مینیمم انتقال	1.96	2.72	95.44	3.62	2.41	94.14	94.79

همین‌طور نتایج در مقایسه قطعه‌بندی در فضاهای ویژگی مختلف، فضای RGB (۹۵.۴۴) با میانگین کیفی نزدیک و کمی مناسب‌تر نسبت به فضای Lab (۹۴.۱۴) در روش منتخب (مینیمم انتقال) نتایج معناداری را به دست ندادند.

در ادامه به قیاس روش پیشنهادی با روش‌های دیگر پرداخته شد که در تمامی این روش‌ها به مانند روش پیشنهادی داده‌های اولیه در تولید قطعات استخراجی نهایی دخیل بودند، برای مثال در روش گراف نرمال تصویر به بخش‌های متعددی تقسیم شد که در نهایت بر اساس قیاس کاربر تعداد حالات مناسب انتخاب و در ادامه با استفاده از نقاط اولیه، قطعه مورد نظر شناسایی و تفکیک شد. برای روش مینیمم انتقال نیز روند مشابهی طی شد، بعد از انتخاب حالت بهینه به تلفیق قطعات مورد نظر بر اساس نقاط اولیه و استخراج قطعه نهایی مبادرت ورزیده شد. در روش رشد ناحیه نیز نقاط اولیه به عنوان داده‌های اولیه برای گسترش معرفی شدند (شکل ۷) که در نهایت مجموع مناطق استخراجی به عنوان قطعه نهایی انتخاب شد. در روش سطوح هم‌تراز نیز به جای نقاط اولیه منحنی‌های اولیه (شکل ۷) معرفی و سپس برای پارامترهای مختلف بررسی و قطعه نهایی استخراج گردید. نتایج عددی روش‌های فوق در جدول ۸ گرد آورده شده است.

جدول ۸) میانگین ارزیابی کمی خروجی برای تمامی تصاویر توسط روش‌های مختلف

روش	نادیده گرفتن	مشارکت	کیفیت
گراف نرمال	۷1.4	۶9.8	۵88.8
رشد ناحیه	۱16.0	۲1.0	۳83.1
مینیمم انتقال	۷1.0	۱6.0	۷92.9
سطوح هم‌تراز	۶4.2	۱۰6.	۶89.9
پیشنهادی	۷1.9	۶2.7	۴95.4

جدول ۸ خلاصه از نتایج قطعه‌بندی‌های مختلف بر روی تصاویر تست را نشان می‌دهد، قبل از اینکه نتایج جدول مورد بررسی قرار گیرد ذکر نکته‌ای حائز اهمیت است و آنکه روش پیشنهادی مراحل ادغام و تولید قطعه نهایی را بدون هیچ قیدی صورت می‌دهد یعنی در آن نیازی به تنظیم پارامتر خاصی نمی‌باشد، و این یکی از ویژگی‌های اصلی روش بود که در بخش تئوری روش به تفصیل بحث شد. در صورتی که در سایر روش‌ها نیاز به تنظیم پارامترهای مختلف می‌باشد که نمونه‌هایی از آن‌ها در تصاویر ۶ تا ۷ مشاهده شد. در مقایسه عددی نتایج اجرای روش‌های مختلف بر روی تصاویر تست نشان از کیفیت مطلوب‌تر روش نسبت به سایرین داشته است. بررسی برخی از اعداد جدول نیز می‌تواند مفید باشد، برای مثال روش مینیمم انتقال در استخراج حداکثری مناطق موفق بوده و موجب شد تا بهترین نتایج (کمترین خطا) را در خطای نادیده گرفتن داشته باشد اما این موضوع سبب شد تا مناطقی که عضو قطعه هدف نبودند نیز به اشتباه در قطعه هدف شناسایی شوند و موجب بالا رفتن خطای مشارکت در آن شده است. در نقطه مقابل روش رشد ناحیه قرار دارد که خطای مشارکت آن کمترین مقدار است ولی بسیاری از مناطقی را نادیده گرفته است، که این



موضوع سبب شده است که کیفیت قطعه‌بندی آن میزان پایینی داشته باشد. اصولاً روشی مناسب است که بتواند تعادلی میان این دو خطا برقرار کند و مقدار دو خطای آن نسبتاً به هم نزدیک و میزان پایینی داشته باشد. در نهایت مطابق جدول ۸ روش پیشنهادی کیفیت قطعه‌بندی بالاتر از سایرین کسب نموده است که این موضوع در قیاس شهودی نیز مشاهده شد.

۶- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر با ظهور سنجنده‌های با قدرت تفکیک بالا روش‌های تحلیل عارضه مبنا بیش از پیش مورد توجه قرار گرفتند. از آنجا که قطعه‌بندی کاملاً اتوماتیک تصاویر طبیعی حاصل از تصاویر هوایی/ماهواره‌ای روندی کاملاً دشوار بوده و از طرف با افزایش قدرت تفکیک تصاویر، پیچیدگی‌های مکانی و رادیومتریکی تصویر نیز افزایش یافته و به تبع آن قطعه‌بندی این نوع از تصاویر نیازمند به توجه به این ویژگی‌ها می‌باشد. در این موارد اگر از روش‌های قطعه‌بندی عام تصویری استفاده شود چون اطلاعات کلی تصویر و ویژگی‌های عام تصویری برای قطعه‌بندی در نظر گرفته می‌شود برای برخی از تارگت‌های خاص (عوارض هدف) محدوده‌ها به درستی استخراج نمی‌شود. از طرفی در بسیاری از کاربردها اطلاعات قبلی از تصویر موجود است که می‌تواند در روند کار مورد استفاده قرار گیرد، در موارد این‌چنینی طرح‌های تعاملی راه‌حل‌های خوبی هستند. در این پژوهش به منظور قطعه‌بندی عوارض خاص در تصویر، روش پیشینه شباهت به صورت تعاملی و با استفاده از اطلاعات اولیه ورودی پیشنهاد شد. در حالت کلی روش پیشینه شباهت بر خلاف بسیاری از روش‌های موجود با تغییر تصویر و ابعاد آن نیازی به تنظیم پارامتر متناسب با آن ندارد، و تنها معرفی حد آستانه شباهت بدین منظور کفایت می‌کند. در این روش نیاز به این حد آستانه نیز از طریق مقایسه بین مجموعه داده‌های ورودی تأمین شد و دیگر نیازی به تنظیم حد آستانه نیز وجود ندارد. به عبارت دیگر این روش به صورت تعاملی و با استفاده از نقاط اولیه سایر مراحل را به اتوماتیک و بدون نیاز به تنظیم پارامتر خاصی طی خواهد کرد و به این ترتیب دخالت عامل انسانی در کاربرد به حداقل می‌رسد. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در بررسی‌های شهودی و عددی بر روی تصاویر هوایی رقومی با قدرت تفکیک بالا مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت این روش کیفیت مناسبی در قطعه‌بندی تصاویر هوایی التراکم از خود نشان داده است. این روش می‌تواند برای کاربردهای تفسیری، به‌روزرسانی، استخراج و بسیاری از کاربردهای دیگر فتوگرامتری و سنجش‌ازدوری که در آن‌ها قطعه‌بندی اهداف خاص مدنظر قرار دارند مورد استفاده گیرد.

منابع

- [۱] V. Dey, Y. Zhang, and M. Zhong, *A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective*: na, 2010.
- [۲] L. Vincent and P. Soille, "Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations," *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, pp. 583-598, 1991.
- [۳] D. Cremers, M. Rousson, and R. Deriche, "A review of statistical approaches to level set segmentation: integrating color, texture, motion and shape," *International journal of computer vision*, vol. 72, pp. 195-215, 2007.
- [۴] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: A robust approach toward feature space analysis," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 603-619, 2002.
- [۵] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," *International journal of computer vision*, vol. 1, pp. 321-331, 1988.



- [۶] Y. Li, J. Sun, C.-K. Tang, and H.-Y. Shum, "Lazy snapping," in *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2004, pp. 303-308.
- [۷] Y. Song, Y. Wu, and Y. Dai, "A new active contour remote sensing river image segmentation algorithm inspired from the cross entropy," *Digital Signal Processing*, vol. 48, pp. 322-332, 2016.
- [۸] J. P. Ardila, W. Bijker, V. A. Tolpekin, and A. Stein, "Multitemporal change detection of urban trees using localized region-based active contours in VHR images," *Remote Sensing of Environment*, vol. 124, pp. 413-426, 2012.
- [۹] J. Ning, L. Zhang, D. Zhang, and C. Wu, "Interactive image segmentation by maximal similarity based region merging," *Pattern Recognition*, vol. 43, pp. 445-456, 2010.
- [۱۰] D. Chaudhuri, N. Kushwaha, and A. Samal, "Semi-automated road detection from high resolution satellite images by directional morphological enhancement and segmentation techniques," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 5, pp. 1538-1544, 2012.
- [۱۱] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, "Efficient graph-based image segmentation," *International Journal of Computer Vision*, vol. 59, pp. 167-181, ۲۰۰۴ ,
- [۱۲] V. F. Strîmbu and B. M. Strîmbu, "A graph-based segmentation algorithm for tree crown extraction using airborne LiDAR data," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 104, pp. 30-43, 2015.
- [۱۳] A. Blake, C. Rother, M. Brown, P. Perez, and P. Torr, "Interactive image segmentation using an adaptive GMMRF model," in *Computer Vision-ECCV 2004*, ed: Springer, 2004, pp. 428-441.
- [۱۴] Y. Boykov and V. Kolmogorov, "An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 1124-1137, 2004.
- [۱۵] Y. Li, J. Sun, and H.-Y. Shum, "Video object cut and paste," *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 24, pp. 595-600, 2005.
- [۱۶] F. Meyer and S. Beucher, "Morphological segmentation," *Journal of visual communication and image representation*, vol. 1, pp. 21-46, 1990.
- [۱۷] V. Kolmogorov and R. Zabini, "What energy functions can be minimized via graph cuts?," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 147-159, 2004.
- [۱۸] S. Birchfield, "Elliptical head tracking using intensity gradients and color histograms," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1998. Proceedings. 1998 IEEE Computer Society Conference on*, 1998, pp. 232-237.
- [۱۹] T. Ojala, M. Pietikäinen, and T. Mäenpää, "Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. ۲۰۰۲, ۹۸۷-۹۷۱ .
- [۲۰] S. Ryherd and C. Woodcock, "Combining spectral and texture data in the segmentation of remotely sensed images," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 62, pp. 181-194, 1996.



- [۲۱] S. Aksoy and H. G. Akçay, "Multi-resolution segmentation and shape analysis for remote sensing image classification," in *Recent Advances in Space Technologies, 2005. RAST 2005. Proceedings of 2nd International Conference on*, 2005, pp. 599-604.
- [۲۲] W. Tao, H. Jin, and Y. Zhang, "Color image segmentation based on mean shift and normalized cuts," *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 37, pp. 1382-1389, 2007.
- [۲۳] A. Trémeau and P. Colantoni, "Regions adjacency graph applied to color image segmentation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 735-744, 2000.
- [۲۴] G.-S. Xia, C. He, and H. Sun, "Integration of synthetic aperture radar image segmentation method using Markov random field on region adjacency graph," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. ۱, pp. 348-353, 2007.
- [۲۵] R.-F. Chang, C.-J. Chen, and C.-H. Liao, "Region-based image retrieval using edgeflow segmentation and region adjacency graph," in *Multimedia and Expo, 2004. ICME'04. 2004 IEEE International Conference on*, 2004, pp. 1883-1886.
- [۲۶] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, "Kernel-based object tracking," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 25, pp. 564-577, 2003.
- [۲۷] M. Mignotte, "Segmentation by fusion of histogram-based-means clusters in different color spaces," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 17, pp. 780-787, 2008.
- [۲۸] F. J. Aherne, N. A. Thacker, and P. I. Rockett, "The Bhattacharyya metric as an absolute similarity measure for frequency coded data," *Kybernetika*, vol. 34, pp. [363.۱۹۹۸, ۳۶۸-]
- [۲۹] K. Nummiaro, E. Koller-Meier, and L. Van Gool, "An adaptive color-based particle filter," *Image and vision computing*, vol. 21, pp. 99-110, 2003.
- [۳۰] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, "Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. Proceedings. IEEE Conference on*, 2000, pp. 142-149.
- [۳۱] T. Kailath, "The divergence and Bhattacharyya distance measures in signal selection," *Communication Technology, IEEE Transactions on*, vol. ۱۵, pp. 52-60, 1967.
- [۳۲] S. Lankton. (2007). *Mean Shift Segmentation in Matlab*. Available: <http://www.shawnlankton.com/2007/11/mean-shift-segmentation-in-matlab/>
- [۳۳] J. Shi and J. Malik, "Normalized cuts and image segmentation," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, pp. 888-905, 2000.
- [۳۴] S. Y. Timothee Cour, Jianbo Shi. (2010). *Normalized Cuts and Image Segmentation*. Available: <http://www.timotheecour.com/software/ncut/ncut.html>
- [۳۵] C. Li, C. Xu, C. Gui, and M. D. Fox, "Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 3243-3254, 2010.
- [۳۶] C. Li, C. Xu, C. Gui, and M. D. Fox, "Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, 2005, pp. 430-436.

