نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷

Vol.6, No.4, Winter 2019

۱ -۱۵

ارائه روشی نوین به منظور تناظریابی ساختاری بر اساس عوارض خطی در تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا

سمیه یاوری[1*]، محمد جواد ولدان زوج [2] ، محمودرضا صاحبی [3]، مهدی مختارزاده[3]

۱- دکتری سنجش ازدور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

چکیده

با پرتاب ماهواره‌های با حد تفکیک بالا در دهه‌های اخیر و عرضهٔ این تصاویر به‌صورت تجاری، بحث استخراج اطلاعات مکانی دقیق سه‌بعدی از این تصاویر در بسیاری از زمینه‌های مرتبط همچون فتوگرامتری و سنجش‌ازدور مورد توجه قرار گرفت. به منظور استخراج این اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، باید قبل از هر اقدامی، این تصاویر زمین‌مرجع شوند. به منظور زمین‌مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا باید یک سری عوارض کنترلی مانند نقاط، خطوط و یا سطوح در دو فضا استخراج شوند. سپس عوارض متناظر از بین کل عوارض استخراج‌شده تعیین و به طور مستقیم برای حل تابع انتقال بین دو فضا استفاده شوند. در سال‌های اخیر تمایل محققان به سمت استفاده از عوارض کنترلی به ویژه خطوط به دلیل ویژگی‌های منحصربه فرد این عوارض همچون استخراج و تناظریابی اتوماتیک آسان‌تر این عوارض و نیز فراوانی این عوارض در تصاویر ماهواره‌ای به خصوص در مناطق شهری، قرار گرفته است. از آنجاییکه، به‌منظور انجام زمین‌مرجع‌سازی اتوماتیک نیازمند خودکارنمودن کل روند هستیم و نیز تناظریابی عوارض خطی بین دو فضای نامتجانس یکی از مهم‌ترین مراحل می‌باشد، در این مقاله، این روند بر اساس یک روش جدید با عنوان تناظریابی ساختاری بر اساس عوارض خطی که بدون نیاز به اطلاعات اولیه و تنها براساس اطلاعات قابل استخراج از تصویر و نقشه صورت می‌گیرد، انجام و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این روش، هدف یافتن تناظر تمام خطوط-متناظر ممکن با استفاده از یافتن دو الگوی متناظر ویژه می‌باشد. بر این اساس، مختصات ابتدا و انتهای خطوط استخراج‌شده به روند موردنظر معرفی و تناظریابی در سه فاز اصلی و با استفاده از روابط هندسی بین آنها تعیین می‌شود. در این مقاله، اثر تعداد حالت‌های مورد بررسی و نیز یکی از آستانه‌ها در دقت و قابلیت اطمینان نتایج بررسی می‌شود. نتایج روش پیشنهادی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند بیش از ۸۰ درصد خطوط-متناظر را با ۱۰۰ درصد قابلیت‌اطمینان و با سرعت بالا، تعیین نماید.

کلید واژه‌ها : تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک بالا، تناظریابی ساختاری بر اساس عوارض خطی، عوارض خطی، خطوط تولیدشدهٔ ریاضی، نقاط تولیدشدهٔ ریاضی، زمین‌مرجع‌سازی.

* نویسنده مکاتبه کننده: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکدهٔ ژئوماتیک و ژئودزی، دپارتمان فتوگرامتری و سنجش از دور

تلفن: ۰۲۱۸۴۰۶۴۰۰۰

Email: yavari_se@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

۱- مقدمه

روند ثبت تصاویر شامل چهار مرحلهٔ کلیدی می‌باشد که عبارتند از: استخراج عوارض کنترلی، تناظریابی عوارض کنترلی، تخمین پارامترهای تابع انتقال مناسب، و در نهایت نمونه‌برداری مجدد. برای این منظور، ابتدا باید یک سری عوارض کنترلی در دو فضا استخراج شوند. سپس، عوارض متناظر از بین کل عوارض استخراج‌شده تعیین و به طور مستقیم برای حل تابع انتقال بین دو فضا مشخص شوند. کاربردهای بسیاری در سنجش‌ازدور بر اساس ثبت تصاویر می‌باشد، که از آنجمله می‌توان به تهیه و یا به‌روزرسانی نقشه‌های سه‌بعدی، تشخیص تغییرات، و مانیتورینگ محیط‌زیست اشاره نمود. در این زمینه، مقالات جامعی به منظور بررسی روش‌های ارائه شده، وجود دارند. [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]

همزمان با افزایش قابل توجه در حجم اطلاعات و انواع سنجنده‌های تصویربرداری، ثبت اتوماتیک تصویر به یک روند کاملاً ضروری و زیربنایی تبدیل شده است. از آنجایی‌که، مرحلهٔ استخراج عوارض در سال‌های اخیر به خوبی بررسی شده است و نیز مرحلهٔ تناظریابی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مراحل می‌باشد، در این مقاله، این مرحله مورد بررسی قرار گرفته است. پیچیدگی فضای جستجو و معیارهای شباهت سبب می‌شود تا این روند از نظر محاسباتی دارای پیچیدگی‌های زیادی باشد. همچنین، زمان محاسبات نیز با توجه به حجم زیاد داده عامل چالش‌برانگیزی در خودکارکردن این روند می‌باشد.

برای انجام تناظریابی سه روش کلی وجود دارد که به ترتیب عبارتند از [۹، ۱۰ و ۱۱] الف) روش‌های ناحیه مبنا[1]؛ ب) روش‌های عارضه مبنا[2]؛ پ) روش‌های ساختاری[3].

در روش‌های ناحیه-مبنا که بر پایه شدت درجات خاکستری هستند، اطلاعات تصویری در فرم ماتریسی از مقادیر درجات خاکستری استفاده می‌شود. مهمترین روش‌های ارائه شده در این گروه روش همبستگی متقابل[4] و تناظریابی کمترین مربعات[5] می‌باشند. در نتیجه، این روش‌ها برای انجام ثبت تصویر به تصویر مناسب هستند [۱۲، ۱۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶]

روش‌های عارضه-مبنا، خود بر اساس نوع عارضهٔ مورد استفاده به سه دستهٔ زیر تقسیم می‌شوند: ۱) تناظریابی بر اساس عوارض نقطه‌ای[6] [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱]؛ ۲) تناظریابی بر اساس عوارض صفحه‌ای[7] [۲۲، ۲۳ و ۲۴]؛ ۳) تناظریابی بر اساس عوارض خطی[8] [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲].

روش‌های ساختاری، از بسط روش‌های عارضه-مبنا ایجاد می‌شوند. در این روش، عوارض به یک سری المان اولیه[9] شکسته می‌شود و تناظریابی بین توصیف‌گرهای ساختاری این المان‌های اولیه در دو فضا صورت می‌گیرد. در این روش، علاوه بر عوارض از روابط توپولوژیک و هندسی بین آنها نیز استفاده می‌شود. در نتیجه، این روش‌ها نیازی به دانستن مقادیر تقریبی پارامترهای تابع انتقال بین دو فضا ندارند [۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۳۷] و برای انجام تناظریابی بین دو فضای متفاوت تصویر و نقشه مناسب هستند. هرچندکه علارغم مزایای این روش، در فتوگرامتری خیلی به ندرت استفاده شده است [۱۱]. به همین دلیل، روش پیشنهادی بر پایهٔ این دسته از روش‌های تناظریابی می‌باشد.

عمده عوارض مورد استفاده برای حل معادلات ریاضی

[1] Area-based matching
[2] Feature-based matching
[3] Relational/Structural matching
[4] Cross-correlation
[5] Least square matching
[6] Point feature-based matching
[7] Areal/region feature-based matching
[8] Linear feature-based matching
[9] Primitives

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

به منظور برقراری ارتباط بین دو فضا (همچون فضای تصویر و زمین) نقاط هستند، زیرا مختصات آنها می‌تواند به طور مستقیم برای تعیین پارامترهای تابع انتقال استفاده شود. با دانستن مختصات تعدادی نقطهٔ متناظر در دو فضا، می‌توان یک تابع انتقال را برای برقراری ارتباط بین فضای یک تصویر با تصویر دیگر و یا فضای زمین تعیین نمود. مقالات بسیاری در زمینهٔ استفاده از عوارض نقطه‌ای برای روند ثبت ارائه شده‌اند [۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴ و ۴۵]. با توجه به تحقیقات صورت گرفته می‌توان گفت که، استفادهٔ عملی از عوارض نقطه‌ای به‌دلیل وجود معایب آنها مشکل و غیرقابل اطمینان می‌باشد. از جمله معایب این عوارض می‌توان به؛ ۱) سرعت پایین استخراج و تناظریابی دستی این عوارض؛ ۲) استخراج و تناظریابی اتوماتیک بسیار پیچیدهٔ این عوارض به ویژه در فضاهای نامتجانس (همچون فضای تصویر و زمین) به‌دلیل ویژگی‌های متفاوت این فضاها (همچون پس‌زمینه، بافت، مفهوم و نمایش متفاوت) به‌علاوهٔ کمبود اطلاعات معنایی[1] برای عوارض نقطه‌ای؛ و در نهایت ۳) حساسیت بالاتر عوارض نقطه‌ای به نویز نسبت به عوارض خطی، اشاره نمود.

در مورد عوارض ناحیه‌ای نیز، هرچندکه، می‌توان نقاط مستخرج از این عوارض همچون مرکز ثقل را به طور مستقیم برای تخمین پارامترهای تابع انتقال به کار برد، در بیشتر موارد، این نقاط خیلی دقیق نیستند. از طرف دیگر، استفاده از عوارض ناحیه‌ای به‌طور مستقیم در حل تابع انتقال سبب افزایش پیچیدگی در این معادلات می‌شود.

بر خلاف عوارض نقطه‌ای و ناحیه‌ای، عوارض خطی مزایایی دارند که آنها را برای روند زمین‌مرجع‌سازی بسیار مطلوب می‌نماید. از آنجمله می‌توان به‌موارد زیر اشاره نمود [۲۶ و ۴۰]:

۱- استخراج اتوماتیک عوارض خطی نسبت به عوارض نقطه‌ای آسان‌تر می‌باشد. این به‌دلیل ماهیت این عوارض می‌باشد که، عدم پیوستگی در تابع درجات خاکستری را در یک جهت نشان می‌دهند. به‌عبارت‌دیگر، عوارض نقطه‌ای نشان‌دهندهٔ عدم پیوستگی در تمام جهات می‌باشند؛

۲- قابلیت‌اطمینان از عوارض استخراجی در مورد خطوط بیشتر از نقاط می‌باشد؛

۳- عوارض خطی در فضای تصویر را می‌توان با دقت زیر-پیکسل در جهت لبه استخراج نمود؛

۴- عوارض سطحی را نیز می‌توان با محدوده‌های آنها به صورت عوارض خطی نمایش داد. هرچندکه، استفاده از عوارض خطی در کاربردهای شناسایی تغییرات آسان‌تر از عوارض سطحی می‌باشند. ارجحیت عوارض خطی در این مورد به قابلیت این عوارض به شکسته شدن به زیرمجموعه‌های کوچک‌تر برمی‌گردد. به‌عبارت‌دیگر، شکستن عوارض سطحی به زیرمجموعه‌های کوچک‌تر، کار آسانی نمی‌باشد؛

۵- عوارض خطی سبب افزایش اطلاعات کنترلی در سیستم و در نتیجه، ارتقا استحکام هندسی و قابلیت‌اطمینان در شناسایی خطاهای بزرگ می‌شود؛ به همین دلیل، ابهام در تناظریابی قابل حل، نواحی با مانع به آسانی قابل پیش بینی و تغییرات قابل شناسایی خواهند بود؛

۶- علاوه بر موارد بالا، عوارض سطح بالا[2] که به‌صورت اتوماتیک قابل استخراج هستند، حاوی اطلاعات معنایی بیشتری در فضای زمین می‌باشند، که در کاربردهایی مثل تولید مدل رقومی زمین، تهیهٔ نقشه و یا شناسایی عوارض بسیار مناسب می‌باشد. به‌عبارت دیگر، استخراج اطلاعات معنایی مفید از عوارض نقطه‌ای در دنیای واقعی بسیار مشکل می‌باشد. علاوه‌براین، قیود هندسی بسیار بیشتری در بین عوارض خطی نسبت به

[1] Semantic information

[2] Higher-level features

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

نقطه‌ای وجود دارد، که این امر کاربردهای تناظریابی و شناسایی اتوماتیک عوارض را تسهیل می‌نماید؛

۷- عوارض خطی به راحتی قابل استخراج از نقشه‌های موجود، پایگاه‌داده‌های سیستم اطلاعات مکانی و یا سیستم‌های تهیهٔ نقشهٔ متحرک زمینی می‌باشند. به طور کلی، می‌توان گفت که روند استخراج و تناظریابی این عوارض در هر دو فضای تصویر و زمین آسان‌تر و قابل‌اطمینان‌تر می‌باشد؛

۸- عوارض خطی همچون خیابان‌ها در مقایسه، دارای طول‌عمر و ماندگاری بیشتری هستند؛

۹- حساسیت عوارض خطی به نویز کمتر و در مقابل اطلاعات معنایی بیشتری دارند؛

۱۰- عوارض خطی در تصاویر ماهواره‌ای به ویژه در مناطق شهری به وفور وجود دارند، که این امر، استحکام هندسی را ارتقا و مشکلات ایجادشده به دلیل اطلاعات زمینی کنترلی ناکافی را در تخمین پارامترهای تابع انتقال کاهش می‌دهد؛ و در نهایت،

۱۱- عوارض خطی را می‌توان به طور مستقیم به‌عنوان اطلاعات کنترلی در سرشکنی معادلات ریاضی استفاده نمود.

بر اساس مزایای مطرح شده در بالا، می‌توان گفت که عوارض خطی برای بسیاری از کاربردها در حوزهٔ فتوگرامتری و سنجش‌ازدور مناسب می‌باشند [۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵ و ۵۶]. به‌همین دلیل، تمایل عمومی محققان به سمت استفاده از این عوارض و گذر از "فتوگرامتری نقطه‌ای" به "فتوگرامتری خطی" و "فتوگرامتری نقاط تعمیم‌یافته[1]" می‌باشد [۵۷ و ۵۸].

پس از انتخاب عارضهٔ کنترلی و نیز روش مناسب برای انجام تناظریابی، در مرحلهٔ بعد باید تابع انتقال مناسب برای برقراری ارتباط بین فضای تصویر و زمین انتخاب شود. به منظور تصحیح انواع مختلف خطاهای هندسی، دو روش عمده وجود دارد. در روش اول، از مدل‌های پارامتریک که هندسهٔ تصویر در لحظهٔ تصویربرداری را بازسازی می‌کنند، استفاده می‌شود. در صورت عدم در اختیار بودن مدل سنجنده، در روش دوم از معادلات ریاضی برای این منظور می‌توان استفاده نمود. ازآنجاییکه، در روش دوم نیازی به دانستن مدل سنجنده و پارامترهای اولیه در مورد هندسهٔ تصویر نمی‌باشد، برای انجام زمین‌مرجع‌سازی اتوماتیک بسیار مناسب می‌باشد.

با توجه به توضیحات ارائه شده در بالا، یک روش تناظریابی ساختاری بر اساس عوارض خطی[2] و یا به اختصار *SLIM* بر پایهٔ مدل‌های ریاضی غیرپارامتریک به منظور انجام تناظریابی اتوماتیک به تازگی توسط نویسندگان این مقاله ارائه شده است [۴۶]. در این مقاله، مقادیر مختلف یکی از آستانه‌های کلیدی مورد استفاده و نیز اثر تعداد تکرار بر قابلیت اطمینان نتایج این روش مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور درک بهتر روش پیشنهادی، خوانندگان به مقالهٔ [۴۶] و نیز رساله [۵۹] برای توضیحات بیشتر ارجاع داده می‌شوند.

بر این اساس، پس از مقدمه، در بخش دوم، روش پیشنهادی *SLIM* به طور خلاصه توضیح داده می‌شود. سپس، در بخش سوم، تست‌های صورت گرفته و نیز ارزیابی نتایج ارائه خواهد شد. در نهایت، در بخش چهارم، نتیجه‌گیری عنوان می‌شود.

۲- تناظریابی اتوماتیک تصویر به نقشه بر اساس روش پیشنهادی *SLIM*

همان‌طور که پیشتر عنوان شد، از بین عوارض کنترلی، عوارض خطی با مزایایی همچون فراوانی بیشتر به ویژه در تصاویر شهری و مناطق صنعتی، دارا بودن اطلاعات معنایی سطح بالاتر، استخراج راحت‌تر نسبت به عوارض

[1] Generalized point photogrammetry

[2] Structural LInear feature-based Matching method (SLIM)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

نقطه‌ای، قابلیت استفاده از قیود هندسی به منظور ارتقا روند تناظریابی و نیز امکان نمایش عوارض خطی با استفاده از پاره‌خط‌ها به‌عنوان عوارض کنترلی مناسب در روند خودکارنمودن مطرح می‌باشند. به‌منظور انجام تناظریابی اتوماتیک و با قابلیت‌اطمینان بالا، باید یک سری نکات در مورد خطوط استخراج‌شده مدنظر قرار گیرد:

۱- از آنجایی‌که، فضای تصویر و نقشه کاملاً با هم متفاوت می‌باشد، خطوط استخراج‌شده دارای ابتدا و انتهای یکسان و متناظری نیستند. به‌عبارت دیگر، نقاط ابتدا و انتهای خطوط متناظر لزوماً متناظر نیستند و نمی‌توان از آنها مستقیماً به‌عنوان نقاط کنترل زمینی برای حل تابع انتقال استفاده نمود. این نکته به ویژه در خودکار نمودن روند تناظریابی بسیار حائز اهمیت است.

۲- از آنجایی‌که، تصویر و نقشه دارای زاویهٔ دوران، ضریب مقیاس، مقادیر شیفت در جهت محورهای مختصات و ... متفاوت از هم هستند، خطوط استخراج‌شده در دو فضا نیز تابع این شرایط می‌باشند.

۳- تعداد خطوط در دو فضا با هم یکسان نیست. به‌عبارت‌دیگر، از آنجاییکه معمولاً نقشه منطقهٔ وسیع‌تری را پوشش می‌دهد، تعداد خطوط استخراج‌شده از فضای زمین بسیار بیشتر از خطوط فضای تصویر می‌باشد. این ویژگی، سبب ورود مسئله‌ای با عنوان عوارض-بدون‌تناظر در روند تناظریابی می‌شود. در واقع این عوارض، خطوط بدون متناظر در هر یک از دو فضا می‌باشند که الگوریتم مورد استفاده برای تناظریابی باید قابلیت شناسایی و حذف آنها را حتی در مواردی که تعداد عوارض-متناظر بسیار کمتر از عوارض بدون‌تناظر است را داشته باشد.

۴- از آنجاییکه به دلیل روش‌های مختلف مورد استفاده برای استخراج خطوط در دو فضای زمین و تصویر، و نیز به دلیل وجود عواملی همچون مانع، نویز و غیره، خطوط استخراج‌شده ممکن است به چندین پاره‌خط تقسیم شده باشند، این احتمال وجود دارد که چند خط در یک فضا با چندین خط در فضای دیگر متناظر باشد و برعکس. این بدان معنا است که لزوماً تناظر یک به یک برقرار نمی‌باشد و ممکن است تناظر از نوع n به n باشد.

بر اساس مدل پیشنهادی پس از استخراج عوارض خطی از دو فضای تصویر و زمین، وارد مرحلهٔ تناظریابی می‌شویم. به‌منظور مقابله با مشکلات مطرح شده، برای انجام تناظریابی اتوماتیک عوارض خطی از روش تناظریابی *SLIM* استفاده می‌شود [۴۶]. هدف از روش پیشنهادی، تعیین تناظر خطوط به‌صورت کاملاً اتوماتیک، با دقت و قابلیت اطمینان بالا و در کوتاه‌ترین زمان ممکن از طریق یافتن دو پترن متناظر ویژه می‌باشد. در این تحقیق، این پترن‌ها از بین تمام ترکیبات سه‌تایی از خطوطی که تشکیل یک مثلث را می‌دهند، انتخاب می‌شود. این روش، در سه فاز اصلی انجام می‌گیرد. به‌همین دلیل، ابتدا مفاهیم پایه‌ای مورد استفاده و سپس سه فاز اصلی به‌طور خلاصه توضیح داده می‌شوند (برای توضیحات کامل لطفاً به مقالهٔ [۴۶] مراجعه شود).

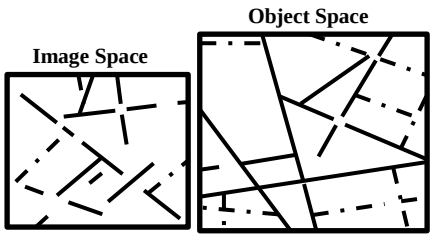
۲-۱- مراحل انجام روش پیشنهادی *SLIM* برای انجام تناظریابی

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد، خطوط استخراج‌شده در دو فضای تصویر و زمین لزوماً دارای نقاط ابتدا و انتهای متناظر نمی‌باشند. دلیل این امر نیز، روش‌های استخراج متفاوت در دو فضا می‌باشد. علاوه بر این خطوط استخراج‌شده ممکن است به‌دلیل وجود مانع، نویز و یا حتی روش استخراج مورد استفاده به چندین پاره‌خط تقسیم شده باشند و یا حتی موقعیت‌اشان تغییر کرده باشد (شکل (۱)). بر اساس شکل (۱)، در هر فضا، خطوط مقطع متناظری در فضای دیگر ندارند و به‌عنوان خطوط-بدون‌متناظر درنظر گرفته می‌شوند. هرچندکه، خطوط پیوسته

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

در فضای دیگر دارای متناظر هستند.



شکل ۱: پاره‌خط‌های استخراج شده در فضای تصویر و زمین.

از این‌رو، نمی‌توان مستقیماً از نقاط ابتدا و انتهای خطوط برای حل پارامترهای تابع انتقال به‌عنوان نقاط کنترلی استفاده نمود. به همین دلیل، در این تحقیق مفاهیم جدیدی برای غلبه بر مشکلات مطرح شده ارائه شده است که با مدل‌های ریاضی که در حال حاضر در فتوگرامتری و سنجش‌ازدور به کار می‌روند، هم‌خوانی دارد.

بر اساس این مفاهیم، به جای استفاده از پاره‌خط‌ها به‌طور مستقیم، می‌توان از خطوطی که به‌طور ریاضی از بسط و تقاطع این پاره‌خط‌ها ایجاد می‌شوند و به‌آنها خطوط-تولیدشدهٔ-ریاضی[1] و یا به‌اختصار *MGL* اطلاق می‌گردد، استفاده نمود. این خطوط در واقع، اضلاع پترن‌های تولیدی (و یا مثلث‌های‌تولیدشدهٔ ریاضی[2]) می باشند (شکل (۲)). هر یک از این مثلث‌ها دارای سه رأس، سه ضلع و سه زاویهٔ داخلی هستند. استفاده از *MGL*ها، سبب حل مشکلات مطرح شده در مورد متناظر نبودن نقاط ابتدا و انتهای خطوط می‌شود، زیرا خطوط ایجادشده در اثر بسط و تقاطع پاره‌خط‌های متناظر حتماً دارای نقاط ابتدا و انتهای متناظر خواهند بود. همچنین، می‌توان از روابط هندسی بین *MGL*ها همچون زاویهٔ نسبی و نسبت طول‌های تولیدی[3] در روند تناظریابی استفاده نمود. علاوه‌براین، می‌توان از نقاط کلیدی منتج از *MGL*ها نیز به‌عنوان نقاط کنترل زمینی برای حل پارامترهای تابع انتقال از فضای تصویر به زمین و برعکس استفاده نمود. این نقاط کلیدی می‌توانند در وسط و یا محل تقاطع *MGL*ها قرار داشته باشند. به این نقاط، نقاط-تولیدشدهٔ-ریاضی[4] و یا به اختصار *MGP* اطلاق می‌گردد. ویژگی‌های مطرح‌شده در بالا، در مورد پاره‌خط‌های اصلی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

روش *SLIM* پیشنهادی، در سه فاز اصلی به‌صورت زیر انجام می‌گیرد:

فاز اول: پترن‌های با کیفیت بالا در فضای تصویر با استفاده از یک روش جدید وزن‌دهی با نام انتخاب پترن‌های باکیفیت[5] و یا به اختصار *HQPS* انتخاب می‌شوند. پترن‌های انتخابی به‌عنوان مثلث‌های ورودی به صورت تکراری به فاز بعدی معرفی می‌شوند. بر این اساس، پس از محاسبهٔ امتیاز کلی[6] هر یک از مثلث‌ها، مثلث‌های ضعیف به‌منظور کاهش زمان محاسباتی در فاز تناظریابی حذف می‌شوند. به‌همین دلیل، تنها R مثلث با بالاترین امتیاز کلی برای تست تناظر در مرحلهٔ بعد انتخاب می‌شوند که R با استفاده از رابطهٔ تجربی زیر تعیین می‌شود (رابطه (۱)):

$$R = ln(^{l!}/_{(l-k)!\,k!}) \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، k سه (تعداد پاره‌خط‌های تشکیل‌دهندهٔ هر مثلث)، و i تعداد خطوط با کیفیت بالا در فضای تصویر (خطوطی که دارای طول بیشتر از متوسط تمام طول‌ها هستند) درنظرگرفته شده است. در بخش بعدی، این رابطه و ضرائب آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فاز دوم: برای هر مثلث-ورودی، تمام جفت‌های ممکن در فضای زمین تولید می‌شوند. سپس، ترکیبات نامناسب بر اساس چهار شرط هندسی[7] مشخص و

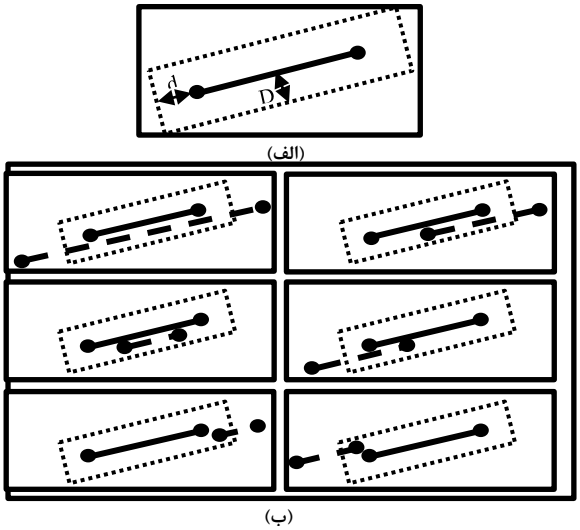
[1] Mathematically Generated Lines (MGLs)
[2] Mathematically-genarted-triangles
[3] Generated-length

[4] Mathematically Generated Points (MGPs)
[5] High-Quality-Pattern-Selection (HQPS)
[6] Total-score
[7] Geometric constraints

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

حذف می‌شوند. برای ترکیبات باقی‌مانده، تناظر سایر خطوط متقاطع[1] نیز به طور همزمان با استفاده از شروط معرفی شده، تعیین می‌گردد. در هر تکرار، جفتی که بیشترین تعداد خطوط-متناظر[2] را دارد به‌عنوان برندهٔ-محلی[3] تعیین می‌شود. این مرحله، فاز تناظریابی نامیده می‌شود.

یکی از معیارهای مورد استفاده در این فاز، ارزیابی درستی تابع انتقال[4] می‌باشد. در این معیار، نقاط ابتدا و انتهای خطوط-واقعی را با استفاده از تابع انتقال حل‌شده به فضای تصویر منتقل می‌نماییم. یک جفت خط واقعی متناظر می‌باشند، درصورتی‌که پس از اعمال تابع انتقال، در یکی از شرایط نشان داده شده در شکل (۲) صدق نمایند.



شکل ۲: الف) در این شکل مستطیل‌های نقطه‌ای، محدودهٔ قابل قبول (D & d <= T_3) هستند که در فضای تصویر تعریف می‌شوند، ب) خطوط مقطع و نیز پیوسته به‌ترتیب خطوط منتقل‌شده از فضای زمین به فضای تصویر و خطوط متناظر آنها در فضای تصویر می‌باشند. علاوه بر این، دایره‌های سیاه رنگ نقاط ابتدا و انتهای منتقل‌شده و واقعی می‌باشند.

در این معیار، دو آستانهٔ d و D معرفی و استفاده می‌شوند که این محدودهٔ قابل قبول به‌دلیل وجود خطاهای مختلف همچون خطاهای محاسباتی، روش‌های متفاوت استخراج خط و نیز تکه‌تکه شدن خطوط[5] تعریف می‌شود. در شکل (۲) (الف)، D ماکزیمم فاصلهٔ قابل‌قبول بین خط منتقل‌شده و کاندید-متناظرش می‌باشد. برای این منظور، می‌توان از فاصلهٔ اقلیدسی و یا فاصله *Hausdorff* استفاده نمود. همچنین، d ماکزیمم آستانهٔ قابل قبول برای نقاط ابتدا و انتهای خطوط ($d_x = d_y$) و در محدودهٔ $[0.1, 0.7] * T_3$ می‌باشد. آستانه‌های D، d_x و d_y از انتخاب پاره‌خط‌های هم‌راستایی که در محدودهٔ قابل قبول نمی‌باشند، جلوگیری می‌نماید. هر دو آستانهٔ D و d باید کوچکتر از آستانهٔ پیش‌فرض T_3 انتخاب شوند. این آستانه، به‌طور مستقیم با دقت اسمی تصاویر[6] در ارتباط می‌باشد. برای این منظور، در این مقاله، مقدار $0.3 * T_3$ برای آستانهٔ مورد نظر پیشنهاد می‌شود. هرچند که اثر مقادیر مختلف این آستانه، در بخش بعدی بررسی می‌شود.

در این‌صورت، مثلث‌های فضای تصویر و زمین متناظر هستند، اگر هر سه خط واقعی آنها بر اساس معیار بالا متناظر باشد.

فاز سوم: در فاز-نهایی، از بین تمام برنده‌های-محلی فاز دوم، جفتی که بیشترین تعداد خطوط-متناظر را دارد به‌عنوان برندهٔ-عمومی[7] انتخاب می‌شود. این خطوط نیز به‌عنوان خطوط-متناظر اولیه برای یافتن تناظر سایر خطوط با استفاده از شروط تعریف شده استفاده می‌شوند.

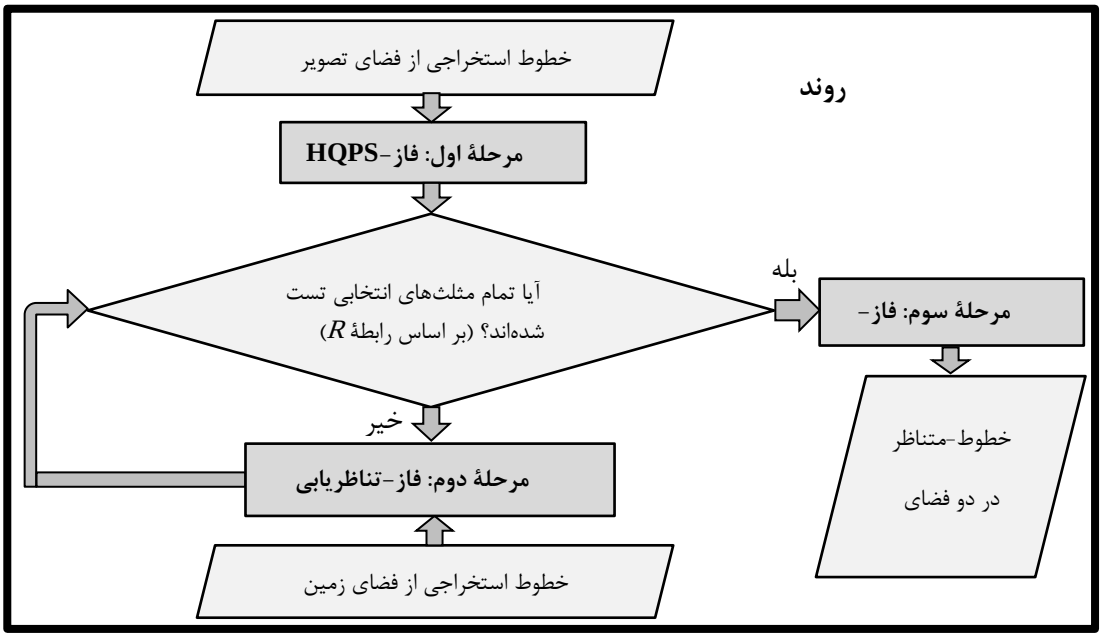
فلوچارت روش *SLIM* پیشنهادی در شکل (۳) نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل نیز مشخص است، تنها اطلاعاتی که باید به الگوریتم

[1] Crossing-Lines
[2] Match-Lines
[3] Local-Winner
[4] Transformation correctness

[5] Fragmentation
[6] Nominal Accuracy (NA)
[7] Global-Winner

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

پیشنهادی معرفی شود خطوط استخراج شده در دو فضای مورد نظر (فضای تصویر و زمین می‌باشد).



شکل ۳: فلوچارت روش *SLIM* پیشنهادی

۳- نتایج تجربی و ارزیابی دقت

در این بخش، بر اساس دادهٔ مورد استفاده، روش پیشنهادی تست و ضرائب موثر برای تعیین شرط توقف مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین از روش اجماع نمونهٔ تصادفی[1] و یا به اختصار *RANSAC* برای مقایسه نتایج روش پیشنهادی نیز استفاده می‌گردد.

۳-۱- دادهٔ مورد استفاده

به منظور ارزیابی روش‌ها و مفاهیم پیشنهادی در قسمت‌های مختلف از یک تصویر ماهواره‌ای با حد تفکیک بالا استفاده شده است. تصویر مورد استفاده، تصویر *GeoEye-1* از شهر ارومیه در شمال غربی ایران با آزیموت اسکن ۲۶۹/۷۱درجه، و ابعاد ۳۰۷۵۲ در ۱۹۲۲۰و نیز ابعاد پیکسل ۰/۵ متر و دقت اسمی (دقت قابل‌دستیابی از تصویر که توسط کمپانی ارائه‌کنندهٔ تصویر مشخص می‌شود) ۵ متر می‌باشد. به منظور تست روش پیشنهادی، ۱۴۰ خط در فضای تصویر و ۲۷۶ خط در فضای زمین استخراج شده‌اند که از این تعداد ۴۷ خط متناظر در دو فضا وجود دارد. همچنین، نقشهٔ ۱:۲۰۰۰ منطقهٔ مورد نظر به عنوان دادهٔ برداری مورد استفاده قرار گرفته است. مجموعهٔ دادهٔ مورد استفاده در شکل (۴) نشان داده شده است.

۳-۲- تست‌های تجربی و ارزیابی دقت

به منظور تست روش تناظریابی پیشنهادی، آستانه‌های مورد استفاده بر اساس مقالهٔ [۴۶] انتخاب و در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر پیشنهادی برای آستانه‌های تعریف شده در مراحل مختلف

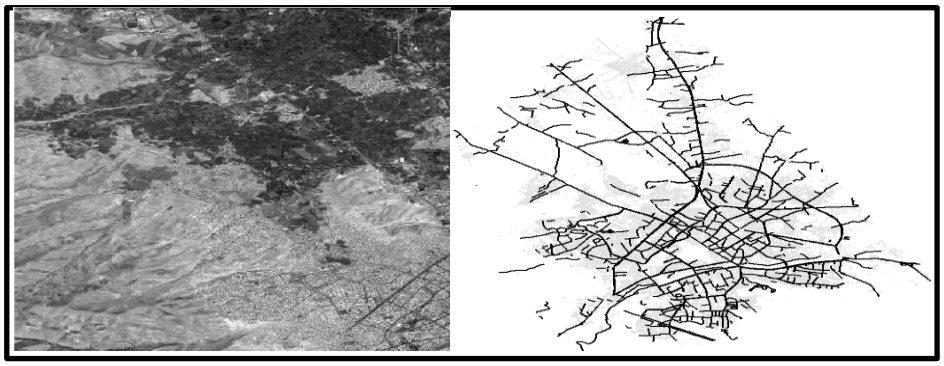
آستانه‌های مورد استفاده در روند-غربالگری			مقادیر انتخابی برای ضرائب-تاثیر در فاز-*HQPS*			
T_1	T_2	T_3	p_1	p_2	p_3	p_4
۲ درجه	۰/۱	6 * *NA*	۲	۱/۵	۲/۵	۳

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف برای آستانهٔ *d*، تست‌های صورت گرفته در جدول (۲)

[1] Random Sample Consensus (RANSAC)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

نمایش داده شده است. در این جداول، فاکتور-ظرفیت و اعتبارسنجی به ترتیب نشان‌دهندهٔ قابلیت مدل در یافتن خطوط متناظر و درصد قابلیت‌اطمینان تناظرها می‌باشد.



شکل ۴: تصویر ماهواره‌ای به همراه نقشهٔ ۱:۲۰۰۰ مورد استفاده از منطقهٔ ارومیه

جدول ۲: تست مقادیر مختلف آستانهٔ d

شرط توقف	تعداد خطوط-متناظر	فاکتور-اعتبارسنجی (درصد)	فاکتور-ظرفیت (درصد)	زمان محاسباتی (دقیقه)
$d = 0.7 * T_3$	۴۴	۹۷/۷	۹۱/۴	۰/۴۸
$d = 0.3 * T_3$	۴۳	۱۰۰	۹۱/۴۸	۰/۴۱

بر اساس این جدول، مشخص است که انتخاب مقادیر کوچکتر برای این آستانه، سبب افزایش قابلیت اطمینان (افزایش در فاکتور-اعتبارسنجی) می‌شود. در واقع، با انتخاب این آستانه، از انتخاب خطوط هم‌راستا به‌طور نادرست جلوگیری می‌شود. به‌همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که از آستانه $d = 0.3 * T_3$ برای محاسبهٔ محدودهٔ قابل قبول استفاده شود.

از طرف دیگر، از آنجاییکه احتمال وجود خطوط-بدون‌تناظر می‌تواند شرط توقف را تحت تاثیر قرار دهد، در جدول (۳)، ضرائبی از این رابطه (R) تست شده است.

جدول ۳: تست ضرائب مختلف شرط توقف بر اساس احتمال وجود خطوط-متناظر

شرط توقف	تعداد تکرار	تعداد خطوط-متناظر	فاکتور-اعتبارسنجی (درصد)	فاکتور-ظرفیت (درصد)	زمان محاسباتی (دقیقه)
R	۹	۴۵	۱۰۰	۹۵/۷۴	۰/۱۶
$2 * R$	۱۸	۴۳	۱۰۰	۹۱/۴۸	۰/۴۱
$5 * R$	۴۵	۴۶	۱۰۰	۹۷/۸۷	۰/۵۹
$10 * R$	۸۹	۴۶	۱۰۰	۹۷/۸۷	۰/۸۴
$20 * R$	۱۷۸	۴۶	۱۰۰	۹۷/۸۷	۱/۶۹

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۳) مشاهده می‌شود که افزایش تعداد تکرار سبب افزایش فاکتور ظرفیت می‌شود. هرچند که، این افزایش تاثیری در فاکتور اعتبارسنجی (قابلیت اطمینان به نتایج) ندارد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

و برای تمام حالات این فاکتور ۱۰۰ درصد می‌باشد. در نتیجه، از آنجاییکه روش پیشنهادی از نظر زمانی بهینه می‌باشد، به نظر می‌رسد استفاده از تکرارهای بیشتر در رسیدن به تعداد بیشتری از خطوط متناظر موثر می‌باشد.

به‌طور کلی، باید خاطر نشان کرد که چند عامل در انتخاب تعداد تکرار موثر هستند که از آنجمله می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱) احتمال وجود خطوط متناظر. این احتمال به طور مستقیم تعداد حالات مورد بررسی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌عبارت دیگر در صورتی که این احتمال پایین است (به ویژه برای مقادیر کمتر از ۵۰ درصد) بهتر است حتماً از ضرائب رابطهٔ R استفاده شود. این ضریب می‌توان عکس احتمال وجود خطوط-متناظر باشد؛ ۲) توزیع خطوط. به این معنی که هر چه خطوط در زوایای متفاوت‌تری پراکنده باشد، تعداد تکرار کمتری برای رسیدن به‌جواب نیاز است و برعکس. در صورت درنظر گرفتن این عوامل، می‌توان با قابلیت اطمینان بالاتری به نتایج به‌دست آمده استناد نمود.

همچنین، به‌منظور بیان توانایی مدل *SLIM*، این روش با یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های تناظریابی مقایسه شده است. برای این منظور از روش *RANSAC* با ماکزیمم تعداد تکرار ۱۰۰۰۰۰۰ برای یافتن تناظر عوارض خطی استفاده شده است، که نتایج در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: تست روش *RANSAC* به منظور تعیین تناظر عوارض خطی

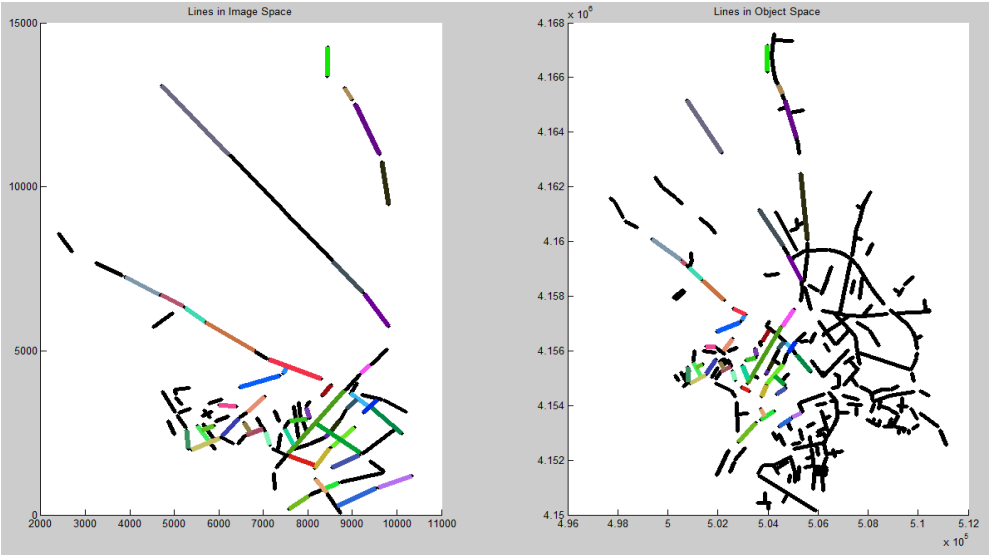
روش مورد استفاده	تعداد خطوط-متناظر	فاکتور-اعتبارسنجی (درصد)	فاکتور-ظرفیت (درصد)	زمان محاسباتی (دقیقه)
RANSAC	**۴۸**	**۵۸/۵۵**	**۶۰/۷۴**	**۳۲/۵۰**
SLIM	**۴۶**	**۱۰۰**	**۹۷/۸۷**	**۰/۸۴**

همانطور که از نتایج بدست آمده در جدول (۴) مشخص است، روش *RANSAC* تعداد کمتری از خطوط-متناظر (فاکتور-ظرفیت ۶۱ درصد) را پیدا نموده است. همچنین، قابلیت اطمینان به نتایج این روش نیز به مراتب پایین‌تر از روش پیشنهادی است (فاکتور-اعتبارسنجی ۵۹ درصد). این نتایج نشان دهندهٔ قابلیت مدل پیشنهادی *SLIM* در تعیین ماکزیمم تعداد خطوط-متناظر (بالای ۸۰ درصد خطوط-متناظر) با ۱۰۰ درصد قابلیت‌اطمینان و نیز در کمترین زمان ممکن (در کمتر از ۲ دقیقه) می‌باشد.

در نتیجه می‌توان گفت که، ترکیب تمام مراحل در روش پیشنهادی، سبب می‌شود تا الگوریتم *SLIM* نسبت به روش‌های کلاسیک (همچون *RANSAC*) قابل‌اطمینان‌تر، دقیق‌تر و نیز از لحاظ زمانی کارآمدتر باشد. به‌منظور نمایش بهتر روش پیشنهادی، علاوه بر نتایج عددی، خطوط-متناظر پیدا شده بر اساس روش *SLIM* در شکل (۵) نمایش داده شده است. در این شکل، خطوط هم‌رنگ در دو فضای تصویر و زمین، خطوط متناظر پیدا شده با استفاده از روش پیشنهادی *SLIM* می‌باشد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]



شکل ۵: نمایش خطوط-متناظر در دو فضای تصویر و زمین با استفاده از روش پیشنهادی *SLIM*

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان گفت که روش *SLIM* یک روش جستجوی هدایت شده (یا دانش مبنا) است و نه یک روش جستجوی تصادفی یا نابینا. به‌عبارت‌دیگر، ازآنجاییکه روش *SLIM* یک استراتژی چندلایهٔ دانش-مبنا است، قابلیت‌اطمینان خطوط-متناظر آن (فاکتور-اعتبارسنجی) در بیشتر حالات ۱۰۰ درصد است. علاوه بر این، تقریباً تمام خطوط متناظر ممکن (فاکتور-ظرفیت بیش از ۸۰ درصد) را می‌توان از روش *SLIM* در زمان محاسباتی بسیار پایین پیدا نمود. در نتیجه، همانطور که از نتایج مشخص است، روش پیشنهادی *SLIM* یک روش بسیار قابل‌اطمینان، دقیق و به ویژه از نظر زمان محاسباتی عملی و کارآمد می‌باشد. از مزایای این روش عدم نیاز به مقادیر تقریبی و اطلاعات اولیه به دلیل استفاده از ماکزیمم اطلاعات قابل دستیابی از عوارض استخراجی و نیز عدم نیاز به اپراتور انسانی، سادگی اجرای الگوریتم و در نهایت دقت و قابلیت اطمینان بسیار بالا به همراه زمان محاسباتی پایین (در کمتر از ۲ دقیقه)، می‌باشد. همچنین، بر اساس نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که چند عامل در انتخاب تعداد تکرار (تعداد مثلث‌های ورودی به فاز تناظریابی) موثر هستند که از آن‌جمله می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱) احتمال وجود خطوط متناظر. در صورتی که این احتمال پایین است (به ویژه برای مقادیر کمتر از ۵۰ درصد) بهتر است حتماً از ضرائب رابطهٔ R استفاده شود. این ضریب می‌تواند عکس احتمال وجود خطوط-متناظر باشد؛ ۲) توزیع خطوط. به این معنی که هر چه خطوط در زوایای متفاوت‌تری پراکنده باشد، تعداد تکرار کمتری برای رسیدن به جواب نیاز است و برعکس. در صورت درنظر گرفتن این عوامل، می‌توان با قابلیت اطمینان بالاتری به نتایج به‌دست آمده استناد نمود. علاوه بر این، بر اساس نتایج مشخص است که انتخاب مقادیر کوچکتر برای آستانهٔ d سبب افزایش تعداد خطوط-متناظر (افزایش فاکتور ظرفیت) و در مواردی افزایش قابلیت اطمینان (فاکتور اعتبارسنجی) به طور معناداری می‌شود. در واقع، با در نظر گرفتن این آستانه، از انتخاب پاره‌خط‌های هم‌راستایی که در محدودهٔ قابل قبول نمی‌باشند، جلوگیری می‌شود. بر اساس نتایج، روش *SLIM* پیشنهادی می‌تواند سبب ارتقای پتانسیل تناظریابی از لحاظ اتوماتیک‌بودن، دقت، قابلیت‌اطمینان و کاهش زمان و نیز کاهش پیچیدگی محاسباتی شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

تقدیر و تشکر:

نویسندگان این مقاله از سازمان نقشه‌برداری کشور برای در اختیار قرار دادن نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر ارومیه تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Bartoli, G., 2007. Image Registration Techniques: A Comprehensive Survey, Visual Information Processing and Protection Group, June 2007.

[2] Bisht, S.S., Gupta, B., and Rahi, P., 2014. Image Registration Concept and Techniques: A Review, International Journal of Engineering Research and Applications, 4 (4): 30-35.

[3] Brown, L.G., 1992. A Survey of Image Registration Techniques, ACM Computing Surveys (CSUR), 24 (4), USA.

[4] Chaudhari, T.V. and Mahajan, P. M., 2014. Image Registration Methods- An Overview, International Journal Of Scientific Research And Education, 2 (12): 2608-2620.

[5] Deshmukh, M., and Bhosle, U., 2011. A Survey of Image Registration, International Journal of Image Processing (IJIP), 5 (3): 245-269.

[6] Mishra, R. K., and Zhang, Y., 2012. A Review of Optical Imagery and Airborne LiDAR Data Registration Methods, The Open Remote Sensing Journal, 5: 54-63.

[7] Saxena, S., and Singh, R.K., 2014. A Survey of Recent and Classical Image Registration Methods, International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 7 (4): 167-176.

[8] Wyawahare, M.V., Patil, P.M., and Abhyankar, H.K., 2009. Image Registration Techniques: An overview, International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2 (3).

[9] Zitova, B., and Flusser, J., 2003. Image Registration Methods: A Survey, Image and Vision Computing, 21: 977-1000.

[10] Goshtasby, A.A., 2005. 2-D and 3-D Image Registration for Medical, Remote Sensing, and Industrial Applications, Wiley.

[11] Gruen, A., 2012. Development and Status of Image Matching in Photogrammetry", The Photogrammetric Record, 27 (137): 36–57.

[12] Dutta, A., Kar, A., and Chatterji, B.N., 2011. A New Approach to Corner Matching from Image Sequence Using Fuzzy Similarity Index, Pattern Recognition Letters, 32: 712–720.

[13] Georgescu, B. and Meer, P., 2004. Point Matching Under Large Image Deformations And Illumination Changes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 26 (6): 674–688.

[14] Liao, M., Lin, H. and Zhang, Z., 2004. Automatic Registration of InSAR Data Based On Least-Square Matching And Multi-Step Strategy, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70 (10): 1139–1144.

[15] Zhang, Ch., and Fraser, C.S., 2007. Automated Registration of High-Resolution Satellite Images, The Photogrammetric Record, 22 (117): 75–87.

[16] Zhang, Z., Zhang, J., Liao, M. and Zhang, L., 2000. Automatic Registration of Multi-Source Imagery Based on Global Image Matching, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66 (5): 625–629.

[17] Han, Y. K., Byun, Y. G., Choi, J. W., Han, D. Y., and Kim, Y. I., 2012. Automatic Registration of High-Resolution Images Using Local Properties of Features, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 78 (3): 211-221.

[18] Hu, H., Zhu, Q., Du, Z., Zhang, Y., and Ding, Y., 2015. Reliable Spatial Relationship Constrained Feature Point Matching of Oblique Aerial Images, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81 (1): 49–58, DOI: 10.14358/PERS.81.1.49.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

[19] Kang, Z., Jia, F., and Zhang, L., 2014. A Robust Image Matching Method based on Optimized BaySAC, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 80 (11): 1041–1052, DOI: 10.14358/PERS.80.11.1041.

[20] Lowe, D. G., 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Key Points, International Journal of Computer Vision, 60 (2): 91 -110.

[21] Sedaghat, A., Mokhtarzade, M., and Ebadi, H., 2011. Uniform Robust Scale-Invariant Feature Matching for Optical Remote Sensing Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49: 4516-4527.

[22] Goncalves, H., 2011. Automatic Image Registration through Image Segmentation and SIFT, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 49 (7): 2589 – 2600.

[23] [23] Jaw, J., and Wu, Y., 2006. Control Patches for Automatic Single Photo Orientation, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72 (2): 151-157.

[24] Long, T., and Jiao, W., 2012. The Geometric Correction Model Based on Areal Features for Multisource Images Rectification, International Achieve of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1, 245–249.

[25] Chen, M., and Shao, Z., 2013. Robust Affine-Invariant Line Matching for High Resolution Remote Sensing Images, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 79 (8): 753–760.

[26] Habib, A., Morgan, M., Kim, E. M., and Cheng, R., 2004. Linear Features in Photogrammetric Activities, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, Automated Geo-Spatial Data Production and Updating, pp.610, 12-23 July.

[27] Heuvel, F., 2003. Automation in Architectural Photogrammetry, PhD thesis. Publications on Geodesy 54, NCG, Netherlands Geodetic Commission, Delft, pp. 90.

[28] Karjalainen, M., Hyyppa, J., and Kuittinen, R., 2006. Determination of Exterior Orientation Using Linear Features From Vector Maps, The Photogrammetric Record, 21 (116): 329-341.

[29] Ok, A.O., Wegner, J.D., Heipke, Ch. Rottensteiner, F., Soergel, U., and Toprak, V., 2012. Matching of Straight Line Segments from Aerial Stereo Images of Urban Areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 74: 133–152.

[30] Tommaselli, A.M.G., and Medeiros, N.G., 2010. Determination of the Indirect Orientation of Orbital Pushbroom Images using Control Straight Lines, The Photogrammetric Record, 25 (130): 159–179.

[31] Wang, C., Stefanidis, A., Croitoru, A., and Agouris, P., 2008. Map Registration of Image Sequences Using Linear Features, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 74 (1): 25–38.

[32] Wang, L., Neumann, U., You, S., 2009. Wide-Baseline Image Matching using Line Signatures, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1311–1318.

[33] Shapiro, L.G., and Haralick, R.M., 1985. A Metric for Comparing Relational Descriptions, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-7, no. 1.

[34] Shapiro, L.G., and Haralick, R.M., 1987. Relational Matching, APPLIED OPTICS, 26 (10), 15 May 1987.

[35] Vosselman, G., 1992. Relational Matching, Institute of Photogrammetry, University of Stuttgart.

[36] Wang, Y., 1998. Principles and Applications of Structural Image Matching, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 53: 154-165.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

[37] Wilson, R.C., Cross, A.D.J., and Hancock, E.R., 1998. Structural Matching with Active Triangulations, Computer Vision and Image Undertanding, 72 (1): 21–38.

[38] Elaksher, A.F., and Alharthy, A.A., 2008. Matching Conjugate Points Between Multi Resolution Satellite Images using Geometric and Radiometric Properties, ISPRS, vol. XXXVII, part B3b,.

[39] Galo, M., and Tozzi, C. L., 2004. Feature-Point Based Matching: A Sequential Approach Based on Relaxation Labeling and Relative Orientation, Journal of WSCG, 12 (1-3), ISSN 1213-6972, WSCG'2004, February 2-6.

[40] Lee, S.R., 2010. A Coarse-to-Fine Approach for Remote-Sensing Image Registration Based on a Local Method, International Journal on Smart sensing and Intelligent Systems, 3 (4).

[41] Li, Ch., and Shi, W., 2014. The Generalized-Line-Based Iterative Transformation Model for Imagery Registration and Rectification, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11 (8): 1394-1398.

[42] Liu, Z., An, J., and Jing, Y., 2012. A Simple and Robust Feature Point Matching Algorithm Based on Restricted Spatial Order Constraints for Aerial Image Registration, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50 (2): 514-527.

[43] Meshoul, S., and Batouche, M., 2002. A Fully Automatic Method for Feature-Based Image Registration, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol. 4.

[44] Wu, Y., Ma, W., Gong, M., Su, L., and Jiao, L., 2015. A Novel Point-Matching Algorithm Based on Fast Sample Consensus for Image Registration, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 12 (1).

[45] Yan, F., Wang, W., Liu, Sh., and Chen, W., 2013. A Hierarchical Image Matching Method for Stereo Satellite Imagery, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W1, 3rd ISPRS IWIDF, Antu, Jilin Province, PR China, 20 – 22 August 2013.

[46] Yavari, S., Valadan Zoej, M.J., Sahebi, M.R., and Mokhtarzade, M., 2016. A Novel Automatic Structural Linear Feature-based Matching Method based on New Concepts of Mathematically-Generated-Points and Lines, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS), 82 (5): 17-28.

[47] Al-Durgham, K., and Habib, A., 2014. Association-Matrix-Based Sample Consensus Approach for Automated Registration of Terrestrial Laser Scans Using Linear Features, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 80 (11): 1029–1039.

[48] Cao, Sh., Jiang, J., Zhang, G., and Yuan, Y., 2013. An Edge-Based Scale- and Affine-Invariant Algorithm for Remote Sensing Image Registration, International Journal of Remote Sensing, 34 (7): 2301-2326.

[49] Marsetic, A., Oštir, K., and Kosmatin Fras, M., 2015. Automatic Ortho Rectification of High-Resolution Optical Satellite Images Using Vector Roads, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 53 (11): 6035-6047.

[50] Mikhail, E. M., and Weerawong, K., 1997. Exploitation of Linear Features in Surveying and Photogrammetry, Journal of Surveying Engineering, 123: 32-47.

[51] Medioni, G. and Nevatia, R., 1985. Segment-Based Stereo Matching, Computer Vision, Graphics and Image Processing, 31 (1): 2-18.

[52] Ou, J., Qiao, G., Bao, F., Wang, W., Di, K., and Li, R., 2013. A NEW METHOD FOR AUTOMATIC LARGE SCALE MAP UPDATING USING MOBILE MAPPING IMAGERY, The Photogrammetric Record, 28 (143): 240–260.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

[53] Park, J., and Yoon, K.J., 2015. Real-Time Line Matching from Stereo Images Using A Nonparametric Transform of Spatial Relations And Texture Information", Optical Engineering, 54 (2).

[54] Tommaselli, A.M.G., and Medeiros, N.G., 2010. Determination of the Indirect Orientation of Orbital Pushbroom Images using Control Straight Lines, The Photogrammetric Record, 25 (130): 159–179.

[55] Tommaselli, A. and Lugnani, J., 1988. An Alternative Mathematical Model to Collinearity Equations Using Straight Features, International Archives of Photogrammetry and Remote sensing, 27 (B3): 765-774.

[56] Zhang J., Zhang H. and, Zhang Z., 2004. Exterior Orientation for Remote Sensing Image with High Resolution by Linear Feature, ISPRS Congress Istanbul, Proceedings of Commission III.

[57] Schenk, T., 2003. Progress in Automatic Aerial Triangulation, Photogrammetric Week, http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/schenk.pdf.

[58] Zhang, Z., and Zhang, J., 2004. Generalized Point Photogrammetry and Its Application", Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 12–23 July, Istanbul, Turkey, 35 (B/5): 77–81.

[59] Yavasr, S., 2016, "Automatic Geo-referencing of High Resolution Satellite Images Using 3D Non-Parametric Mathematical Modele", P.h.D Thesis, K.N.T University of Technology.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.4, Winter 2019

A New Structural Matching Method Based on Linear Features for High Resolution Satellite Images

Somayeh Yavari *[1], Mohammad Javad Valadan Zoej[2], Mahmod Reza Sahebi[3], Mehdi Mokhtarzade[3]

1- Ph.D. in Remote Sensing, Department of Photogrammetry and Remote sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology
2- Full professor, Department of Photogrammetry and Remote sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology
3- Associate professor, Department of Photogrammetry and Remote sensing, Faculty of Geodesy and Geomatics, K. N. Toosi University of Technology

Abstract

Along with commercial accessibility of high resolution satellite images in recent decades, the issue of extracting accurate 3D spatial information in many fields became the centre of attention and applications related to photogrammetry and remote sensing has increased. To extract such information, the images should be geo-referenced. The procedure of georeferencing is done in four main steps of extracting some control information such as point, line or areal features, matching, transformation function estimation and finally resampling. Among different control features, the lines are more considered due to their unique characteristics such as easier procedure of automatically extracting and matching as well as abundance of linear features in satellite images especially in urban areas. To reach an automatic georeferencing procedure, it is inevitable to automate the matching step as one of the most challenging process especially in heterogonous spaces such as image and map spaces. So, in this paper, the automatic matching procedure is performed and assessed using a new structural linear feature-based matching method with no need to any initial information. This method is based on using the most inherent conceivable information of the extracted features. The purpose of this paper is to find all possible match-lines through finding the correspondence of two specific patterns. The proposed method is done in three main phases of high quality pattern selection, matching as well as the final-phase. Additionally, new concepts of mathematically-generated-lines which are produced by extension and intersection of line-segments in two spaces as well as mathematically-generated-points which are the key-points of that lines are introduced and used to find the match-lines. In this paper, the impact of different numbers of stopping-criteria as well as one of the thresholds is studied experimentally. The results show the high potential of the proposed method to find more than 80 percentages of match-lines with 100 percentages of accuracy and reliability in a low computational time.

Key words: High Resolution satellite Images, Structural Linear feature-based Matching method, mathematically-Generated-Lines, mathematically-Generated-Points, Linear Features, Georeferencing.

Correspondence Address : Photogrammetry and Remote Sensing Eng. Department, Geodesy and Geomatics Faculty, K. N. Toosi University of Technology, 322 west Mirdamad, Ave. 19696, P.O. Box: 15875-4416, Tehran, Iran,
Tel : +98 21 84064000
Email: Yavari-se@yahoo.com

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.29252/jgit.6.4.1]