اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on
Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

استخراج اتوماتیک راه ها با استفاده از ادغام تصاویر هوایی و لایدار با قدرت تفکیک بالا

سارا رحیمی[1*]، حسین عارفی[1]

۱- گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده :

در سال‌های اخیر، افزایش سریع در تقاضا برای داشتن اطلاعات راه‌ها همراه با در دسترس بودن حجم زیادی از تصاویر وضوح‌بالا ، علاقه قابل‌توجهی به استفاده از تصاویر برای استخراج راه‌ها به خود معطوف کرده است. در میان روش‌های ارائه‌شده، روش‌های به‌طور کامل خودکار نظارت‌نشده کارآمدتر هستند چراکه آن‌ها به تلاش انسانی نیازی ندارند. با توجه به روش‌های پیشنهادشده، معمولاً تمرکز بر روی بهبود تشخیص شبکه راه‌ها هست، درحالی‌که تعیین دقیق راه‌ها کمتر موردتوجه واقع‌شده است. در این مقاله، ما یک روش استخراج راه به‌طور کامل خودکار نظارت‌نشده جدید را که بر اساس ادغام تصاویر هوایی و لایدار با وضوح‌بالا با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی $(PCA)^2$ هست را پیشنهاد می‌دهیم .سپس تبدیل هاف به اطلاعات ادغام‌شده برای استخراج خطوط مستقیم اعمال می‌شود که بیشتر برای تجزیه کردن تصویر به بخش‌های مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد. لبه راه‌ها، سپس با دقت با استفاده از روش مبتنی بر تصویر کردن تعیین موقعیت می‌شوند، و گوشه‌های گرد بعداً اصلاح می‌شوند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما راه‌ها را با دقت بالا استخراج و تعیین می‌کند.

واژه‌های کلیدی : استخراج خودکار راه ،تصویر هوایی باقدرت تفکیک بالا ، تبدیل هاف ، لایدار ،تجزیه تحلیل

نویسنده مکاتبه کننده : سارا رحیمی
آدرس پستی :
تلفن : ۰۹۱۲۵۸۷۰۵۲۸
آدرس پست الکترونیک : rahimi.sara@ut.ac.ir:

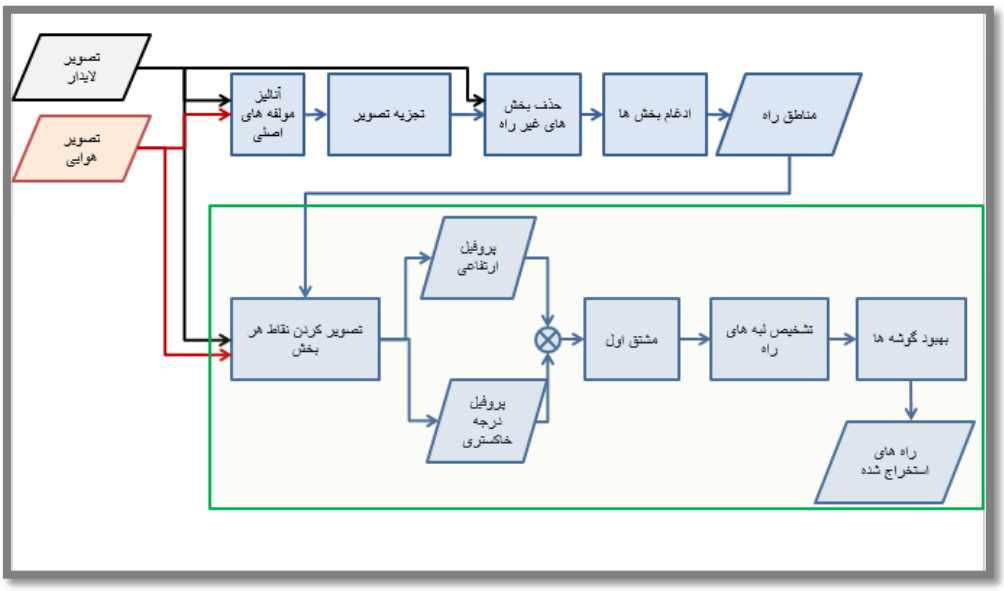
۱- مقدمه

در سال‌های اخیر،کارهای مختلفی نظیر ناوبری ترافیک و برنامه‌ریزی شهری توسط رشد سریع شبکه‌های حمل‌ونقل تحت تأثیر قرارگرفته‌اند،بنابراین، علاقه به روش‌های استخراج راه در زمینه‌های مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی افزایش می‌یابد. پیشرفت‌های اخیر در تصویربرداری از مشاهدات زمینی اکتساب تصاویر ماهواره‌ای و هوایی با وضوح‌بالا را که نشان‌دهنده پوشش زمین، مانند راه‌ها هستند را ممکن ساخته است.با استفاده از این داده‌ها برای استخراج راه‌ها درحالی‌که از هزینه‌های پردازش دستی اجتناب می‌شود ، باعث توسعه روش استخراج راه خودکار کارآمدتر نیز می‌شود.روش‌های استخراج راه خودکار پیشنهادشده به دودسته کلی تقسیم می‌شوند که روش‌های کاملاً خودکار و نیمه‌خودکار نامیده می‌شوند.درحالی‌که روش‌های نیمه‌خودکار نیازمند تعامل انسانی می‌باشند[۲و۱] اکثر روش‌های کاملاً خودکار پیشنهادشده [۴و۳] نیز نیازمند نظارت انسانی به‌عنوان نقطه کنترل برای تخمین پارامتر یا آموزش داده هستند.

ازآنجاکه هر دو تعامل انسان و تولید نقطه کنترل نیاز به تلاش قابل‌توجه بشر دارد، چندین روش کاملاً خودکار بدون نظارت[۶و۵] معرفی‌شده است.درحالی‌که در بسیاری از کارهای اخیر، تمرکز بر روی بهبود تشخیص شبکه راه است، تعیین دقیق راه‌ها به میزان کمتری موردمطالعه قرارگرفته شده است. بااین‌حال، در برنامه‌های مختلف ازجمله به‌روزرسانی نقشه راه ، تعیین دقیق اجزای راه‌ها (به‌عنوان‌مثال، لبه) ضروری است.

در این مقاله، ما روش جدیدی برای استخراج و تعیین دقیق راه با استفاده از ادغام تصویر لایدار و باندهای آبی،سبز و قرمز تصویر هوایی با رزولوشن بالا ارائه دادیم.درحالی‌که تصویر لایدار اطلاعات ارتفاعی را ارائه می‌دهد،تصویر هوایی ویژگی‌های رنگی و بافت را نمایش می‌دهد.شکل (۱) دید کلی از روش پیشنهادی ما را نشان می‌دهد.به‌عنوان اولین گام ،به‌منظور ادغام اطلاعات رنگ و ارتفاع ،ما از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۸و۷]استفاده کردیم و ۴ باند اطلاعاتی (آبی،سبز،قرمز و ارتفاع)را به ۴ مؤلفه اصلی تبدیل کردیم.در میان مؤلفه‌های حاصله،ما مؤلفه‌ای را انتخاب کردیم که بیشترین تمایز بین راه و اشیا همسایگی را ارائه می‌دهد.در مرحله بعدی،تبدیل هاف [۹] را به مؤلفه انتخاب‌شده به‌منظور استخراج خطوط مستقیم اعمال می‌شود. سپس خطوط برای تجزیه کردن صحنه به مناطق مختلف تقاطع داده می‌شوند.با استفاده از تصاویر هوایی و لایدار ، اینکه آیا هر بخش شامل راه هست یا نه را تأیید می‌کنیم ،و بخش‌هایی که راه نیستند را حذف می‌کنیم.برای انجام این کار، چون ارتفاع و رنگ راه‌ها نسبت به اشیا اطراف (مانند ساختمان‌ها) معمولاً همگن هستند ،ما بخش‌هایی را که دارای مقادیر انحراف معیار بیشتر از حد آستانه‌ای خاص می‌باشند را حذف می‌کنیم.علاوه بر این با استفاده از تصویر لایدار،از بخش‌هایی که دارای مقادیر ارتفاع متوسط بیشتر از حد آستانه تعریف‌شده می‌باشند صرف‌نظر می‌کنیم.

پس از استخراج بخش‌ها، بخش‌هایی را که متعلق به راه یکسان هستند را یکی می‌کنیم.نقاط درون هر بخش بر روی صفحه عمود بر جهت اصلی بخش تصویر می‌شوند ، به‌طوری‌که اکثریت نقاط قادر به ایجاد پروفیل راه هستند.پروفیل هم برای داده ارتفاعی وهم برای مقادیر خاکستری تصویر هوایی ایجاد می‌شود،که در آن لبه‌های راه نقاطی فرض می‌شوند که تغییر قابل‌توجهی در مقادیر خاکستری و ارتفاعی دارند. سپس لبه‌های راه با ادغام دو پروفیل(ارتفاعی و مقادیر خاکستری)و در نظر گرفتن مشتق آن شناسایی می‌شوند.نقاط ماکسیمم مشتق حاصله لبه‌های راه را مشخص می‌کنند.به‌عنوان آخرین مرحله،لبه‌ها در گوشه‌های گرد،که معمولاً در تقاطع راه‌ها اتفاق می‌افتد بهبود داده می‌شوند.نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما هم شبکه‌های راه را تشخیص می‌دهد و هم لبه‌های راه را با دقت بالایی مشخص می‌کند.



شکل ۱: دید کلی از روش پیشنهادی ما

۲- روش پیشنهادی

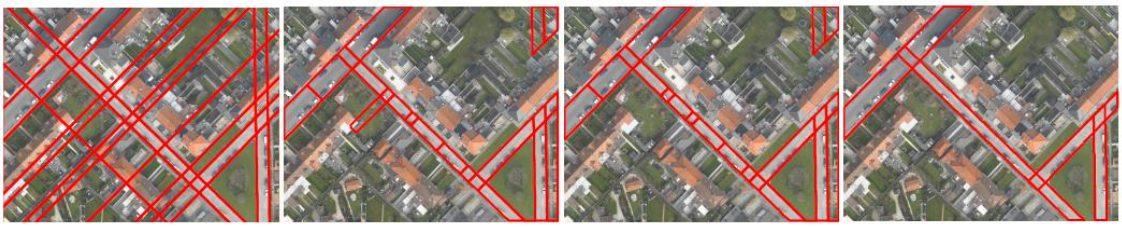
تمرکز اصلی این مقاله استخراج لبه‌های راه در مناطق شهری به‌وسیله ادغام تصاویر هوایی و لایدار رزولوشن بالا است.شکل ۱ دید کلی از روش پیشنهادی ما را نشان می‌دهد که در ادامه هر مرحله را با جزئیات بیشتر توضیح می‌دهیم.

۲-۱- ادغام تصویر هوایی و لایدار با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی

به‌منظور استخراج راه‌های موجود در چشم‌انداز،اولین مرحله متمایز کردن راه‌ها از دیگر اشیا است.بنابراین، تصاویر هوایی و لایدار را به‌منظور ایجاد تمایز بیشتر ادغام می‌کنیم. بدین منظور، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی را به ۴ باند اطلاعاتی در دسترس (یعنی قرمز،سبز،آبی و ارتفاع) اعمال می‌کنیم به‌منظور تبدیل کردن آن‌ها به ۴ مؤلفه اصلی،که هر مؤلفه دارای ویژگی منحصربه‌فردی است. ، به‌صورت تجربی دریافتیم که از میان آن‌ها ، مؤلفه دوم بین راه و سایر اشیا تبعیض قابل‌توجهی قائل می‌شود، بنابراین، از آن به‌عنوان ورودی برای مرحله استخراج راه استفاده کردیم.

۲-۲- تجزیه تصویر به بخش‌ها

در مناطق شهری،راه‌ها معمولاً به شکل خطوط مستقیم هستند.با استفاده از این فرضیه، تبدیل هاف را به مؤلفه دوم PCA به‌منظور استخراج خطوط مستقیم موجود در تصویر اعمال می‌کنیم.سپس این خطوط را تا لبه تصویر امتداد می‌دهیم تا تصویر به بخش‌ها تقسیم شود(شکل ۲.الف).از میان این بخش‌ها،بعضی از آن‌ها در تراز راه قرار داده‌شده‌اند و شامل قسمت‌های راه هستند.برای پیدا کردن این بخش‌ها(که شامل قسمتی از راه هستند) تمام بخش‌ها را در مرحله بعدی ارزیابی می‌کنیم.



(الف) (ب) (ج) (د)

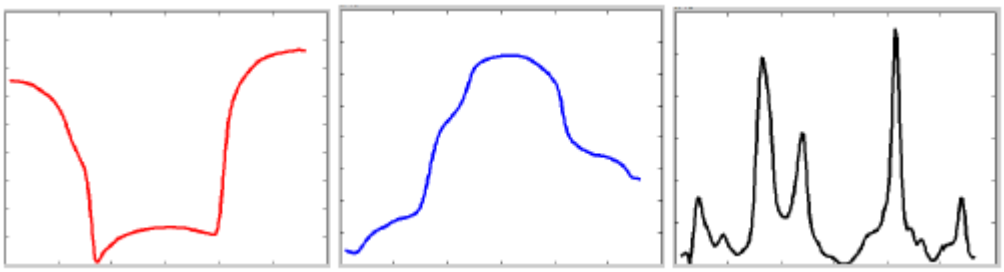
شکل ۲: تجزیه تصویر با استفاده از خطوط هاف .الف)تمام بخش‌ها. ب)بخش‌های باقی‌مانده پس از حذف بخش‌ها بر اساس ناهمگنی آن‌ها .ج) بخش‌های باقی‌مانده پس از حذف بخش‌ها بر اساس متوسط ارتفاع آن‌ها .د)بخش‌های راه پس از مرحله ادغام

۲-۳- حذف بخش‌های نامربوط به راه

در این مرحله، دو استراتژی را به‌منظور حذف بخش‌هایی که راه نیستند انجام می‌دهیم.اولین استراتژی بر اساس همگنی بخش‌ها در مؤلفه دوم PCA است.برای اندازه‌گیری همگنی ، انحراف معیار متوسط مقادیر پیکسل‌های هر بخش را محاسبه می‌کنیم. چون راه‌ها معمولاً ازنظر رنگ همگن هستند ،انحراف معیار بخش‌هایی که شامل قسمتی از راه هستند کمتر از دیگر بخش‌هایی که راه نیستند است ، بنابراین بخش‌های با انحراف معیار بیشتر از حد آستانه‌ای خاص را حذف می‌کنیم(شکل ۲.ب).بخش‌های باقی‌مانده را نمایش می‌دهد و همان‌طور که معلوم است اکثر بخش‌های نامربوط بر اساس ناهمگون بودنشان حذف‌شده‌اند.بااین‌حال،هنوز بخش‌هایی وجود دارد که متعلق به اشیای همگن هستند و راه نیستند.به‌منظور رسیدگی به این شرایط، ما استراتژی دوم را با استفاده از اطلاعات ارتفاعی گرفته‌شده از تصویر لایدار اعمال می‌کنیم. بخش‌هایی که شامل قسمتی از راه هستند معمولاً ارتفاع متوسط کمتری از مابقی اشیای همگن دارند.بنابراین ما بخش‌هایی را که ارتفاع متوسط بیشتری از حد آستانه تعریف‌شده دارند حذف می‌کنیم.(شکل ۲.ج).بخش‌های باقی‌مانده را بعد از اعمال دومین استراتژی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل اگرچه اکثر بخش‌های نامربوط حذف‌شده‌اند اما هنوز بخش‌هایی وجود دارد که قسمتی از راه نیستند.این بخش‌ها همگن هستند و مقدار ارتفاع متوسط آن‌ها کوچک است .بنابراین توسط دو استراتژی ذکرشده قابل‌شناسایی نیستند .در مرحله بعدی ما روشی را برای پیدا کردن و حذف این بخش‌ها ارائه می‌دهیم.

۲-۴- ادغام بخش‌های مرتبط به راه یکسان

به‌منظور نشان دادن هر راه به‌عنوان یک بخش تنها، بخش‌هایی را که متعلق به راه یکسانی هستند را پیدا و ادغام می‌کنیم.برای این منظور، گوشه‌های هر بخش را با استفاده از الگوریتم ساده‌سازی [۱۰] استخراج می‌کنیم..با توجه به ساختار راه، معمولاً ۴ نقطه گوشه برای هر بخش به دست می‌آوریم.برای ادغام این بخش‌ها، به‌صورت اتفاقی بخشی را انتخاب می‌کنیم.سپس به‌صورت اتفاقی یکی از لبه‌های(خط بین یک جفت نقطه گوشه‌ای) آن را انتخاب می‌کنیم.با استفاده از مؤلفه دوم داده ادغام‌شده مقادیر درجه خاکستری در امتداد لبه انتخاب‌شده با نزدیک‌ترین لبه بخش همسایه‌اش مقایسه می‌شود.اگر اختلاف متوسط مقادیر پیکسل‌های دو لبه کمتر از حد آستانه باشد بخش‌ها متعلق به راه یکسان در نظر گرفته می‌شود و بنابراین ادغام می‌شوند.این روند تا زمانی که جهت اصلی بخش جدید ادغام‌شده تغییر کند تکرار می‌شود.همین روند ،توسط انتخاب اتفاقی بخش از بخش‌های باقی‌مانده، تکرار می‌شود تا زمانی که همه بخش‌ها به بخش بزرگ‌تر ادغام شوند. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های باقی‌مانده نامربوط از مرحله قبل که شامل قسمتی از راه نبودند،قادر به اتصال با شبکه راه کشف‌شده نیستند.بنابراین می‌توانیم آن‌ها را شناسایی و حذف کنیم(شکل ۲.د). بخش‌های به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.



(الف) (ب) (ج)

شکل۳: تصویر نقاط بر صفحه عمود بر جهت اصلی هر بخش .الف)پروفیل به‌دست‌آمده از تصویر لایدار. ب)پروفیل به‌دست‌آمده از تصویر هوایی.ج) مشتق اول ادغام دو پروفیل

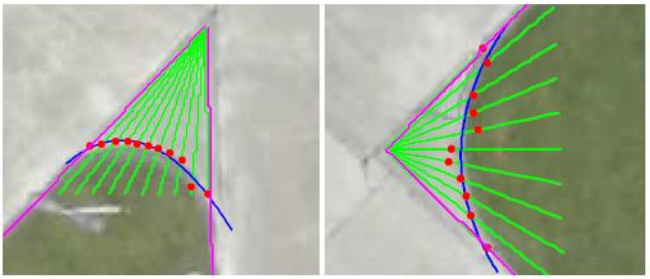
۲-۵- تصویر کردن نقاط درون هر بخش بر روی صفحه

اگرچه بخش‌های حاصله از مرحله قبلی موقعیت راه‌ها را مشخص می‌کند ،اما هنوز موقعیت دقیق لبه‌های راه مشخص نیست.به‌منظور مشخص کردن لبه راه‌ها به‌صورت دقیق،در این مرحله پروفیل هر بخش را با تصویر کردن نقاط درون هر بخش به صفحه عمود بر جهت اصلی‌اش به دست می‌آوریم.ایده‌ی این تصویر کردن این است که اکثریت نقاط می‌توانند پروفیل راه را درون هر بخش نمایش دهند.در آزمایش‌های انجام‌شده، پروفیل راه را با استفاده از تصاویر هوایی و لایدار ایجاد کردیم.در پروفیل‌ها لبه‌های راه‌ها نقاطی هستند که تغییر قابل‌توجهی در مقادیر ارتفاعی(زمانی که تصویر لایدار استفاده می‌شود)و مقادیر خاکستری (زمانی که تصویر هوایی استفاده شود.)دارند.

به‌منظور افزایش منطقه جستجو لبه‌های راه‌ها پهنای هر بخش را از طرفین ۶۵٪ افزایش می‌دهیم.با در نظر گرفتن تصویر لایدار و تصویر هوایی پروفیل ارتفاعی (شکل ۳.الف)و پروفیل مقادیر خاکستری (شکل ۳.ب)را حساب می‌کنیم.به‌منظور مشخص کردن موقعیت لبه راه‌ها به‌عنوان نقاط با تغییر قابل‌توجه دو پروفیل راه را ادغام می‌کنیم(ارتفاعی و درجات خاکستری)و سپس مقدار قدر مطلق مشتق اول حاصله را در نظر می‌گیریم.ماکسیمم محلی نشان‌دهنده‌ی مکان‌های با تغییر قابل‌توجه است.شکل ۳.ج مشتق محاسبه‌شده از دو پروفیل راه را نشان می‌دهد.با توجه به موجودیت اشیا با تضاد بالا در ارتفاع(مانند ماشین‌های پارک شده)یا در رنگ(مانند اشیا مصنوعی در پیاده‌روها)مشتق حاصله معمولاً بیشتر از ۲ ماکسیمم محلی دارد.به‌منظور شناسایی ماکسیمم‌های متناظر با لبه راه‌ها ۴ ماکسیمم محلی بزرگ‌تر را در نظر می‌گیریم. به‌منظور پیدا کردن و رد کردن کاندیدهای لبه غیر مرتبط ، به‌صورت اتفاقی ۵۰ نقطه در امتداد هر کاندید لبه در نظر می‌گیریم سپس متوسط گرادیانت نقاط در امتداد هر لبه را حساب می‌کنیم . لبه‌های راه به سبب اختلاف درجه خاکستری در لبه‌ها. دارای گرادیانت بیشتری هستند پس لبه‌های راه را با استفاده از دو کاندید لبه‌ای که ماکسیمم متوسط گرادیانت رادارند مشخص می‌کنیم.به‌منظور افزایش ثبات در انتخاب نقاط اتفاقی ۳بار این روند را تکرار و سپس میانگین آن‌ها را در نظر می‌گیریم.

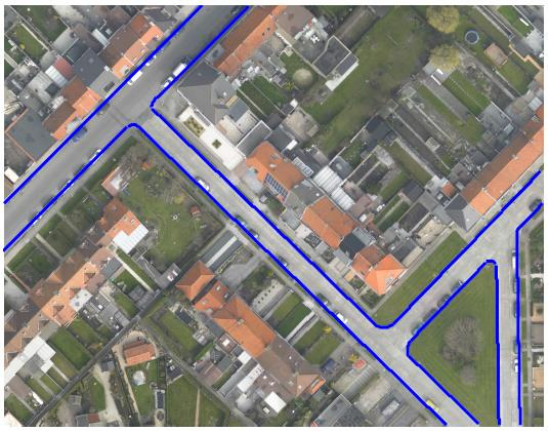
۲-۶- اصلاح لبه‌های راه در گوشه‌های گرد

چون روش استخراج راه ما(تا این مرحله)بر اساس خطوط مستقیم است گوشه‌های گرد که معمولاً در تقاطع راه‌ها اتفاق می‌افتد از دست می‌روند.همان‌طور که در شکل۴ نشان داده‌شده است لبه‌های راه استخراج‌شده که توسط خطوط صورتی نشان داده‌شده است منطبق بر گوشه‌های گرد نیستند.در این مرحله به‌منظور بهبود لبه راه‌ها در گوشه‌های

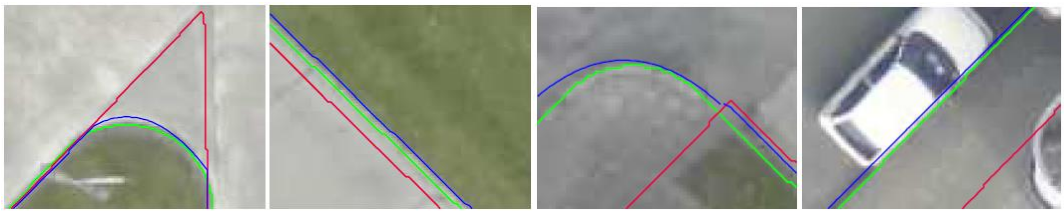


شکل ۴: بهبود لبه‌ها در گوشه‌ها .خطوط صورتی لبه‌های استخراج‌شده،خطوط سبز خطوط جستجو،نقاط قرمز نمونه‌های لبه‌گرد و خطوط آبی لبه راه‌گرد بهبودیافته است.

گرد، لبه‌های گرد محلی را در تقاطع راه‌ها اصلاح می‌کنیم.بدین منظور زاویه بین هر دو لبه راه متقاطع را به ۱۰ زاویه مساوی تقسیم می‌کنیم.سپس گرادیانت مقادیر خاکستری پیکسل‌ها را در امتداد هر لبه زاویه کوچک‌تر (که در شکل ۴با خط سبز نشان داده‌شده) تا فاصله خاصی از نقطه تقاطع(در آزمایش‌های ما ۷۰ پیکسل) محاسبه می‌کنیم. روی هر لبه نقطه با مقدار ماکسیمم گرادیانت به‌عنوان نمونه لبه‌گرد در نظر گرفته می‌شود (نقطه قرمز نشان داده‌شده در شکل ۴). سپس به این نقاط چندجمله‌ای درجه ۲ برازش داده می‌شود که موقعیت گوشه گرد را مشخص می‌کند (خط آبی در شکل ۴).



شکل ۵: تجسم شبکه راه استخراج‌شده توسط روش پیشنهادی



شکل ۶: دید نزدیک‌تر به لبه راه‌ها حاصله از روش پیشنهادی(خطوط آبی)، مرز بخش‌ها محاسبه‌شده توسط تبدیل هاف(خطوط قرمز)و لبه‌های مرجع(خطوط سبز)

۳- نتایج

در این مقاله ما از تصاویر رزولوشن بالای لایدار و هوایی منطقه‌ای از Zeebruges , Belgium استفاده کردیم که در مارس۲۰۱۱ به‌دست‌آمده بود. تصویر لایدار دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ سانتی‌متر است درحالی‌که قدرت تفکیک مکانی تصویر هوایی ۵ سانتی‌متر است.بنابراین قبل از اینکه این داده‌ها را استفاده کنیم رزولوشن تصویر لایدار را برابر ۵ سانتی‌متر می‌کنیم.

شکل (۵) شبکه راه استخراج‌شده را توسط روش پیشنهادی ما نشان می‌دهد.بر اساس نتایج، روش ما قادر به شناسایی تمام راه‌های موجود در تصویر است..در شکل(۶) خطوط سبز لبه‌های راه مرجع هستند خطوط قرمز مرزهای بخش‌ها هستند که توسط تبدیل هدف به دست آمده و خط آبی لبه‌های راهی هستند که توسط روش ما تعیین‌شده‌اند.نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش بر مبنای تصویر کردن برای راه‌ها و بهبود گوشه‌های گرد لبه‌های راه استخراج‌شده بسیار نزدیک به موقعیت واقعی آن‌هاست.

برای ارزیابی کمی، خطای ریشه دوم میانگین(RMS) لبه‌های استخراج‌شده توسط روش ما و راه‌های مرجع موجود را محاسبه کردیم .جدول ۱ خطای ریشه دوم میانگین را پس از استخراج بخش‌های راه و پس از تصویر کردن و بهبود گوشه‌ها نشان می‌دهد.به‌عنوان ارزیابی بیشتر جابجایی زاویه‌ای متوسط لبه‌های راه استخراج‌شده را از لبه‌های مرجع اندازه گرفتیم که تنها ۰/۳ درجه بود.با در نظر گرفتن هر دو ارزیابی متوجه می‌شویم که روش ما قادر به تعیین موقعیت راه‌ها به‌صورت دقیق است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله ما روش استخراج راه خودکار نظارت‌نشده‌ای را پیشنهاد دادیم که از ادغام تصویر هوایی و لایدار استفاده می‌کند و برای ادغام از فن PCA بر روی ۴ باند اطلاعاتی استفاده شد و از تبدیل هاف برای استخراج موقعیت‌های ممکن راه‌ها به‌عنوان خطوط مستقیم بر روی مؤلفه‌ای که بیشترین تمایز را دارا است استفاده شد..با استفاده از این خطوط تصویر به بخش‌های مختلف تقسیم شد.بخش‌های متعلق به راه شناسایی و ادغام شدند.راه‌ها سپس با استفاده از روش بر مبنای تصویر کردن مشخص شدند و گوشه‌های گرد اصلاح شدند.برای ارزیابی کمی خطای ریشه دوم میانگین راه‌های استخراج‌شده با مرجع مقایسه شد.نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما راه‌ها را به‌دقت در چشم‌انداز داده‌شده تشخیص و تصویر می‌کند.

جدول ۱: RMS محاسبه‌شده برای روش پیشنهادی و نتایج حاصله از تبدیل هاف

	تبدیل هاف	روش پیشنهادی	میزان بهبود
خطای ریشه دوم میانگین	۰.۲۸ متر	۰.۱۲ متر	٪۵۵.۳

مراجع

[1] Miao, Z., Wang, B., Shi, W. and Zhang, H., 2014. A semiautomatic method for road centerline extraction from vhr images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11(11), pp. 1856–1860.

[2] Anil, P. and Natarajan, S., 2010. A novel approach using active contour model for semi-automatic road extraction from high resolution satellite imagery. In: International Conference on Machine Learning and Computing (ICMLC), pp. 263–266.

[3] Samadzadegan, F., Hahn, M. and Bigdeli, B., 2009. Automatic road extraction from lidar data based on classifier fusion. In: Joint Urban Remote Sensing Event, pp. 1–6.

[4] Shi, W., Miao, Z. and Debayle, J., 2014. An integrated method for urban main-road centerline extraction from optical remotely sensed imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52(6), pp. 3359–3372.

[5] Bae, Y., Lee, W.-H., Choi, Y., Jeon, Y. W. and Ra, J. B., 2015. Automatic road extraction from remote sensing images based on a normalized second derivative map. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 12(9), pp. 1858–1862.

[6] Singh, P. P. and Garg, R. D., 2014. A two-stage framework for road extraction from high-resolution satellite images by using prominent features of impervious surfaces. International Journal of Remote Sensing 35(24), pp. 8074–8107.

[7] Pearson, K., 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Philosophical

Magazine 2(6), pp. 559–572.

[8] Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. Journal of Education Psychics.

[9] Hough, P., 1962. Method and Means for Recognizing Complex Patterns. U.S. Patent 3.069.654.

[10] Douglas, D. H. and Peucker, T. K., 2011. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 15–28.

Road Automatic Extraction based on Integration of High Resolution LiDAR and Aerial Imagery

Sara Rahimi [1], Hossein Arefi [1]

1.School of Surveying and Geospatial Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

In recent years, the rapid increase in the demand for have road information together with the availability of large volumes of high resolution Earth Observation (EO) images, have drawn remarkable interest to the use of EO images for road extraction. Among the proposed methods, the unsupervised fully-automatic ones are more efficient since they do not require human effort. Considering the proposed methods, the focus is usually to improve the road network detection, while the roads' precise delineation has been less attended to. In this paper, we propose a new unsupervised fully-automatic road extraction method, based on the integration of the high resolution LiDAR and aerial images of a scene using Principal Component Analysis (PCA). Hough transform is then applied to the integrated information to extract straight lines; which are further used to segment the scene to different regions. The roads' edges are then precisely localized using a projection-based technique, and the round corners are further refined. Experimental results demonstrate that our proposed method extracts and delineates the roads with a high accuracy.

Keywords: Automatic Road Extraction, High Resolution Aerial Imagery, Hough Transform, LiDAR, Principal Component Analysis