

ارائه روشی در آشکارسازی نواحی راه در تصاویر رادار با روزنه ترکیبی (SAR) با قدرت تفکیک بالا

مهدی ساعتی^{۱*}، جلال امینی^۲

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور- گروه مهندسی نقشه‌برداری- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
msaati@ut.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری- پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
jamini@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۳۹۱، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۳)

چکیده

امروزه استخراج اتوماتیک راه از تصاویر ماهواره‌ای یکی از کلیدی‌ترین موارد تحقیقاتی در سنجش از دور می‌باشد که هدف عمده آن کاهش نقش نیروی انسانی می‌باشد. در این تحقیق روشی برای آشکارسازی نواحی راه از تصاویر راداری با روزنه ترکیبی و قدرت تفکیک بالا ارائه می‌شود. در این روش ابتدا بر اساس میزان رادیانس هر پیکسل و پیکسل‌های همسایه از تصویر ورودی ویژگی‌های چندگانه استخراج می‌شوند. در مرحله بعد ویژگی‌های استخراج شده در مقیاس‌های مختلف با در نظر گرفتن حد آستانه‌های محلی باینری شده و با یکدیگر تلفیق می‌گردند و در مرحله پایانی با در نظر گرفتن معیارهای مکانی و طیفی بطور جداگانه نواحی راه مناسب انتخاب می‌گردند. با اعمال این الگوریتم بر روی تصویر راداری ماهواره تراسار نتایج مطلوب و ریشه مربع متوسط معیار معادل ۷۸ درصد حاصل شد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی نواحی راه، تصاویر راداری، قدرت تفکیک بالا، روزنه ترکیبی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

برای مرحله اول کارهای متنوعی روی تصاویر راداری با قدرت تفکیک‌های مختلف انجام شده است که به برخی از آنها مثل فیلتر تطابقی جهت‌دار و اپراتور Steger [۷]، آنالیزهای آماری [۸] و آشکارساز پلاریمتریک فازی [۹] می‌توان اشاره کرد.

تعدادی از کارهای انجام شده نیز به بازیابی شبکه راه-ها به کمک میدان تصادفی مارکوف^۱ [۱۰، ۱۱] و الگوریتم ژنتیک [۱۲] پرداخته‌اند. در این میان تلفیق داده‌های راداری از منظرهای مختلف [۱۳، ۱۴] و تلفیق داده‌های نوری و راداری بمنظور بهینه‌سازی فرایند [۵] مورد توجه بوده است.

معمولاً استخراج راه در تصاویر با قدرت تفکیک بالا با آشکارسازی نواحی راه شروع می‌شود که در تصاویر نوری اینکار براساس پاسخ طیفی مواد و مصالح تشکیل دهنده سطح راه انجام می‌شود. با این وجود در تصاویر رادار با روزنه ترکیبی^۲ با قدرت تفکیک بالا چنین کاری با بهره-گیری از الگوریتم‌های قطعه‌بندی پیچیده مبتنی بر ویژگی‌های آماری داده‌ها انجام می‌شود [۲].

در این مقاله روشی به منظور شناسایی و استخراج نواحی راه با استفاده از تلفیق ویژگی‌های مکانی و طیفی که در محدوده یک پنجره در همسایگی یک پیکسل تعریف می‌شوند، ارائه می‌شود. با توجه به ویژگی‌های راه در تصاویر راداری با قدرت تفکیک بالا، معمولاً راه‌ها بصورت نواحی کشیده و تیره دیده می‌شوند بطوری‌که در مجاورت آنها نواحی روشن با کنتراست بالا قرار دارد. لذا ویژگی‌های مورد استفاده دقیقاً بر مبنای موارد مذکور در بالا یعنی پیکسل‌های هم‌راستا، تیره و با کنتراست زیاد با نواحی مجاور تعریف می‌شوند.

در ادامه مقاله در بخش دوم مواد و روش‌های مورد استفاده تحقیق حاضر و در بخش سوم نتایج بدست آمده از روش ارائه شده بیان و در مورد آنها بحث شده است. در پایان در بخش چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات بیان می‌شود.

شناسایی و ترسیم عوارض از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای که توسط عامل‌های خبره انجام می‌گیرد، بیشترین هزینه و مدت زمان تولید نقشه از این تصاویر را به خود اختصاص می‌دهد. از اینرو، استخراج اتوماتیک عوارض از تصاویر از جمله تحقیقات اساسی در فتوگرامتری و سنجش از دور است که در راستای تولید اتوماتیک اطلاعات مکانی و نقشه دنبال می‌شود.

استخراج اتوماتیک عوارض را می‌توان شامل مرحله شناسایی و استخراج عوارض در تصاویر، بدون دخالت مستقیم عامل انسانی دانست. این امر با کاهش و یا حذف نقش عامل انسانی در روند تولید نقشه، منجر به کاهش زمان لازم و به دنبال آن افزایش بهره‌وری و صرفه اقتصادی در روش‌های تولید اطلاعات مکانی می‌گردد [۱، ۲].

استخراج اتوماتیک عوارض از تصاویر هوایی و فضایی جزء آنالیزهای سطح بالای پردازش تصویر محسوب می‌شوند و هنوز سیستم جامعی که قادر به استخراج اتوماتیک عوارض بدون دخالت عامل انسانی باشد، روانه بازار نشده است و این شاخه در مراحل تحقیقاتی است [۳].

با توجه به اینکه راه‌ها و ساختمان‌ها به عنوان مهم‌ترین عوارض دست بشر دارای بیشترین تعدد در تهیه نقشه از مناطق شهری و نیمه شهری می‌باشند، استخراج این عوارض در اولویت‌های تحقیقاتی در زمینه استخراج اتوماتیک عوارض به حساب می‌آید.

بازسازی شبکه‌های راه با استفاده از تصاویر سنجش از دور بطور گسترده با تصاویر نوری با قدرت تفکیک بالا و تصاویر راداری با قدرت تفکیک پایین‌تر [۴، ۵] انجام شده است. در سالهای اخیر تمایل به استفاده از تصاویر راداری با توان تفکیک بالاتر به منظور بازسازی شبکه‌های راه مورد توجه محققان بوده است. شایان ذکر است که ماهواره‌هایی چون TerraSAR-X و RadarSAT-2 دارای توان تفکیک مناسب برای استخراج راه حتی در نواحی شهری می‌باشند [۶].

بطور کلی روش‌های بهینه در بازسازی شبکه راه‌ها شامل دو مرحله اساسی زیر می‌باشد.

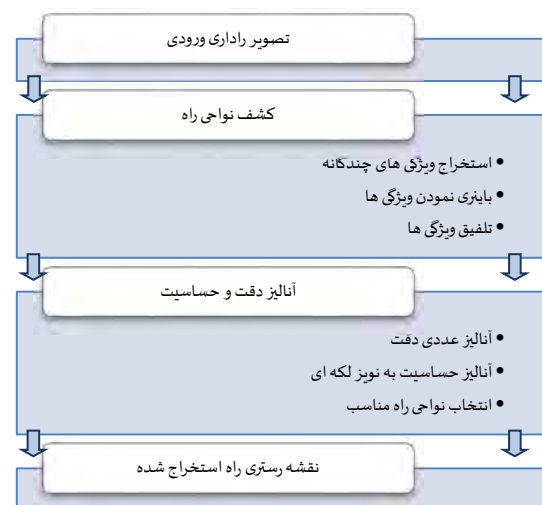
- ۱- یک رویه مناسب برای تشخیص خطوط و قوس‌ها
- ۲- یک استراتژی مناسب برای بازیابی شبکه راه‌ها و حذف راه‌هایی که به نادرستی کشف شده‌اند.

^۱ Markov random fields (MRFs)

^۲ Synthetic aperture radar (SAR)

۲- مواد و روش‌ها

در شکل ۱ روند کلی فرایند استخراج نواحی راه به همراه جزئیات هر مرحله نمایش داده شده است. به منظور کشف نواحی راه ابتدا ویژگی‌های چندگانه بطور جداگانه از تصویر استخراج و سپس با استفاده از حد آستانه‌های محلی، آنها را باینری می‌کنیم. در مرحله آخر ویژگی‌های فوق در مقیاس‌های مختلف با یکدیگر تلفیق می‌شوند. در پایان آنالیزهای دقت و حساسیت الگوریتم به نویز لکه‌ای انجام می‌گیرد.



شکل ۱- روند کلی فرایند استخراج نواحی راه

۲-۱- کشف نواحی راه

در این تحقیق سعی می‌شود با استفاده از تلفیق آشکارسازهای چندگانه، نواحی راه کشف شوند. لذا با در نظر گرفتن ارتباط مکانی بین هر پیکسل و پیکسل‌های همسایه آن به جستجوی عوارض خطی مستقیم در تصویر می‌پردازیم و در مرحله بعد با ترکیب نتایج بدست آمده، نواحی راه را کشف می‌کنیم.

در تصاویر راداری با قدرت تفکیک بالا، همانطور که قبلاً گفته شد، راه بصورت نواحی تیره کشیده شده با لبه‌های نسبتاً روشن ظاهر می‌گردد [۹]. بنابراین به منظور استخراج نواحی راه باید به دنبال زوج لبه‌های موازی یا نواحی تیره همگن و کشیده باشیم. بدیهی است که با در نظر گرفتن هر یک از شروط فوق به تنهایی ممکن است نتایج مطلوب حاصل نگردد و یک راه حل دقیق‌تر می‌تواند ترکیب شرایط بالا باشد.

۲-۱-۱- استخراج ویژگی‌های چندگانه

به منظور استخراج پیکسل‌های نواحی راه، اولین اقدام محاسبه برخی ویژگی‌های مکانی در یک پنجره مربعی، اطراف پیکسل مرکزی $p(i,j)$ می‌باشد. که البته هر یک از این ویژگی‌ها تابعی از ابعاد پنجره R می‌باشند.

در شکل ۲ نحوه انتخاب پیکسل‌های همسایگی یک پیکسل بر روی تصویر نشان داده شده است. در یک پنجره مربعی به مرکزیت پیکسل $p(i,j)$ تمام پیکسل‌هایی که در یک راستای مشخص بین صفر تا ۱۷۹ درجه قرار می‌گیرند، برای استخراج ویژگی‌های پیکسل مرکزی مورد آنالیز قرار می‌گیرند.



شکل ۲- نحوه انتخاب پیکسل‌های همسایگی

اولین ویژگی مقدار رادیانس مجموع^۱ در هر راستای θ در پنجره انتخابی است که با رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$r(i, j, R, \theta) = \sum_{k=-R/2}^{k=R/2} p([i + k \cos(\theta)], [j + k \sin(\theta)]) \quad (1)$$

راستای با کمترین رادیانس مجموع، نیز به کمک رابطه (۲) بدست می‌آید [۶].

$$\theta_0(i, j, R) = \arg \min_{\theta} r(i, j, R, \theta), \quad \theta \in [0^\circ 180^\circ] \quad (2)$$

و مقدار رادیانس متناظر با آن برابر است با:

$$r_0(i, j, R) = r(i, j, R, \theta_0) \quad (3)$$

این ویژگی‌ها نواحی تیره و کشیده اطراف پیکسل در پنجره مورد نظر را نمایان می‌سازند.

^۱ total radiance

با فرض اینکه این نواحی کاندیدای مناسبی برای نواحی راه باشند باید کنتراست آن با سایر نواحی (میانگین رادیانس مجموع سایر امتدادها) بالا باشد. لذا ویژگی بعدی مقدار کنتراست است که با رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$c_0(i, j, R) = \left\| \frac{\sum_{\theta} r(i, j, R, \theta)}{n} - r_0(i, j, R) \right\| \quad (۴)$$

که n تعداد راستاهایی است که برای آنها مقدار رادیانس مجموع محاسبه شده است.

واضح است سه ویژگی θ_0 ، r_0 و c_0 اطلاعات متفاوتی نمایش می‌دهند که همگی تابعی از پارامتر مقیاس R هستند. هر یک از این ویژگی‌ها به تنهایی ممکن است دارای نتایج نادرستی باشند که با ترکیب آنها حذف نتایج نادرست مورد انتظار می‌باشد.

۲-۱-۲- باینری کردن ویژگی‌ها

به منظور سهولت در ترکیب ویژگی‌های استخراج شده در بخش قبل، ابتدا آنها را باینری می‌کنیم و برای این کار انتخاب مقادیر معنی‌دار برای هر یک از θ_0 ، r_0 و c_0 بسیار حائز اهمیت است. به عبارت دیگر برای باینری کردن هر یک از ویژگی‌ها نیاز به مقادیر حد آستانه مناسبی است که می‌تواند به صورت سراسری و یا برای کارایی بهتر بصورت محلی تنظیم گردند. با این استراتژی کل پیکسل‌های تصویر بسته به میزان نزدیکی (یا دوری) به حد آستانه، یکی از دو برچسب ۰ یا ۱ می‌گیرند که هر یک بطور جداگانه در روابط (۵) تا (۷) آورده شده‌اند.

برای باینری کردن θ_0 ، از اختلاف مطلق θ_0 و میانگین محلی آن و مقایسه با مقدار حد آستانه T_{θ} (رابطه (۵)) استفاده می‌شود.

$$\theta_0^{(b)}(i, j, R) = \begin{cases} 0, & \text{if } |\theta_0(i, j, R) - \overline{\theta_0(i, j, R)}| \leq T_{\theta} \\ 1, & \text{if } |\theta_0(i, j, R) - \overline{\theta_0(i, j, R)}| > T_{\theta} \end{cases} \quad (۵)$$

اما برای باینری کردن r_0 و c_0 بجای اختلاف مطلق از نسبت (روابط (۶) و (۷)) استفاده می‌شود. یعنی:

$$r_0^{(b)}(i, j, R) = \begin{cases} 0, & \text{if } r_0(i, j, R) / \overline{r_0(i, j, R)} \leq T_r \\ 1, & \text{if } r_0(i, j, R) / \overline{r_0(i, j, R)} > T_r \end{cases} \quad (۶)$$

$$c_0^{(b)}(i, j, R) = \begin{cases} 0, & \text{if } c_0(i, j, R) / \overline{c_0(i, j, R)} \geq T_c \\ 1, & \text{if } c_0(i, j, R) / \overline{c_0(i, j, R)} < T_c \end{cases} \quad (۷)$$

بخاطر ماهیت متفاوت نمایش اطلاعات توسط هر یک از ویژگی‌ها، از ابعاد پنجره‌های مختلف برای محاسبه میانگین محلی استفاده می‌شود.

۲-۱-۳- تلفیق ویژگی‌های استخراج شده در مقیاس مختلف

به منظور دستیابی به ویژگی‌ها در مقیاس‌های مختلف که در بخش ۲-۱-۲- به آنها اشاره شد، مراحل ذکر شده با پنجره‌هایی با اندازه‌های $\{R_1, R_2, \dots, R_N\}$ انجام می‌شود و در نهایت نقشه ویژگی باینری $f(i, j)$ با بهره‌گیری از اپراتور منطقی AND با رابطه (۸) بدست آمد.

$$f(i, j) = \bigwedge_R (\theta_0^b(i, j, R) \wedge r_0^b(i, j, R) \wedge c_0^b(i, j, R)) \quad (۸)$$

با استفاده از اپراتور منطقی AND فقط نواحی که در تمام ویژگی‌ها و در تمامی مقیاس‌ها به عنوان نواحی کاندیدای راه آشکار شده‌اند به عنوان نواحی راه باقی می‌مانند.

قابل توجه است با استفاده از ابعاد پنجره‌های بزرگتر، نواحی راه عریض‌تر و طولانی‌تر آشکار می‌شوند و این در صورتی است که با پنجره‌هایی با ابعاد کوچکتر، نواحی راه باریک‌تر و کوتاه‌تر آشکار می‌شوند.

۲-۲- آنالیز دقت و حساسیت

۲-۲-۱- آنالیز دقت

یکی از ملزومات اساسی سیستم‌هایی که بطور اتوماتیک به انجام یک فرایند می‌پردازند آنالیز دقت می‌باشد. از این رو معیارهای متنوعی برای ارزیابی دقت راه استخراج شده بکار گرفته شده‌اند که در [۱۵] یک جمع‌بندی از آنها ارائه شده است.

به منظور آنالیز عددی دقت کشف نواحی راه بدست‌آمده از ترکیب منطقی تصاویر مربوط به ویژگی‌های حاصله از تصویر راداری، پیکسل‌های متناظر تصویر نواحی راه‌های کشف شده با پیکسل‌های تصویر مرجع راه‌ها مقایسه می‌شوند. برای این منظور، در اولین گام،

برای آنالیز حساسیت الگوریتم به نویز لکه‌ای، الگوریتم ارائه شده را روی تصویر فیلتر شده اعمال و نتایج را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

۲-۲-۳- انتخاب نواحی راه مناسب

آخرین مرحله از الگوریتم کشف راه، انتخاب نواحی راه مناسب بر روی نقشه ویژگی باینری است. برای این منظور از دو معیار طیفی و مکانی استفاده می‌شود.

معیار مکانی: نواحی کشف شده با مساحت خیلی کم (با در نظر گرفتن اندازه زمینی متناظر با سایز پیکسل‌ها) نمی‌توانند بخشی از شبکه راه‌ها باشند بنابراین از آنها صرف نظر می‌شود. به عنوان مثال می‌توان نواحی شامل ۴۰ پیکسل یا کمتر را از نواحی راه کنار گذاشت.

معیار طیفی: نواحی کشف شده با میانگین رادیانس خیلی بالا (با در نظر گرفتن میانگین رادیانس کل تصویر) نمی‌توانند بخشی از شبکه راه‌ها باشند بنابراین از آنها صرف نظر می‌شود. یعنی نواحی با میانگین رادیانس بیشتر از کسری از میانگین رادیانس کل، حذف می‌شوند.

۳- بحث و نتایج

برای بررسی عملکرد الگوریتم ارائه شده در این مقاله از تصویر راداری ماهواره TerraSAR-X به تاریخ ۱۹ آوریل ۲۰۱۱ با قدرت تفکیک مکانی یک متر از منطقه جم استان بوشهر استفاده شد.

جهت ارزیابی دقت نتایج حاصل از مرحله کشف راه، لازم است یک تصویر باینری به عنوان مرجع از شبکه مرجع راه توسط عامل انسانی ایجاد گردد.

با ضرب نظیر به نظیر پیکسل‌های تصویر نهایی در تصویر باینری فوق‌الذکر و محاسبه میانگین حاصلضرب‌های فوق، معیار ضریب صحت کشف راه^۱ محاسبه می‌شود. معیار RCC را می‌توان به عنوان معیاری از میانگین توانایی الگوریتم فوق در تشخیص پیکسل‌های راه موجود در تصویر به حساب آورد. بعبارت دیگر، در انجام فرآیند تعیین ماهیت پیکسل‌های تصویر از نقطه نظر کشف راه، این معیار درصد عملکرد قابل قبول روش بکار گرفته شده را نشان می‌دهد [۱].

با معکوس کردن مقادیر مربوط به تصویر باینری مرجع و تکرار عملیات تشریح شده جهت محاسبه RCC، معیار ضریب صحت کشف زمینه^۲ بدست می‌آید. این پارامتر معیاری جهت نمایش نحوه عملکرد الگوریتم در تمایز و تشخیص پیکسل‌های زمینه راه به حساب می‌آید. همچنین برآیند صحت عملکرد الگوریتم در کشف راه و زمینه توسط پارامتر RMS محاسبه می‌شود.

۲-۲-۲- آنالیز حساسیت الگوریتم به نویز لکه‌ای^۳

عموما تصاویر راداری دارای نویز لکه‌ای می‌باشند. برای کاهش اثر نویز لکه‌ای روی تصاویر راداری فیلترهایی مختلفی وجود دارد. یکی از مرسوم‌ترین این فیلترها برای کاهش اثر نویز لکه‌ای فیلتر Gamma-MAP است. رابطه این فیلتر بصورت رابطه (۹) می‌باشد.

$$\hat{I}^3 - \bar{I}^2 + \sigma(\hat{I} - DN) = 0 \quad (9)$$

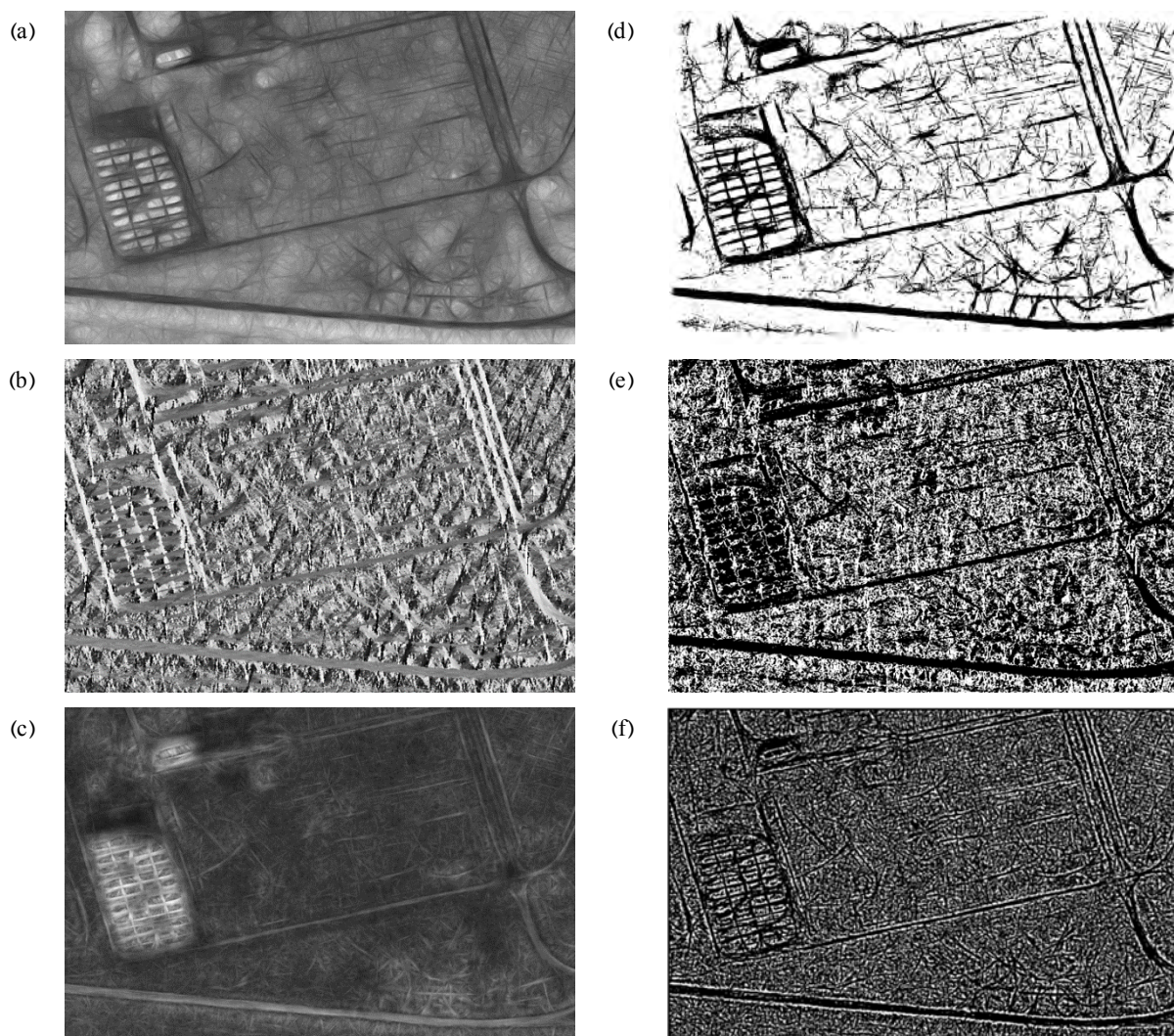
که در آن:

$\hat{I}$: sought value , $\bar{I}$: local mean , DN
= input value , σ
= the original image variance

^۱ Road Detection Correctness Coefficient (RCC)

^۲ Background Detection Correctness Coefficient (BCC)

^۳ Speckle

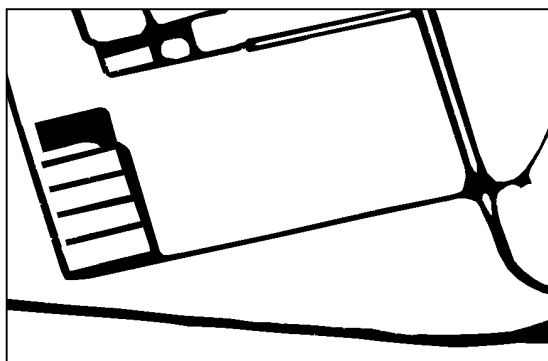


شکل ۳- تصاویر ویژگی استخراج شده: (a)، (b) و (c) به ترتیب تصاویر مربوط به ویژگی‌های r_0 ، θ_0 و c_0 و (d) تصویر باینری ویژگی r_0 با احتساب میانگین محلی در شعاع ۷ پیکسل و حد آستانه ۰/۹. (e) تصویر باینری ویژگی θ_0 با احتساب میانگین محلی در شعاع ۳ پیکسل و حد آستانه ۱۳ درجه. و (f) تصویر باینری ویژگی c_0 با احتساب میانگین محلی در شعاع ۷ پیکسل و حد آستانه ۰/۹

محلی آنها به ترتیب کوچکتر و بزرگتر از ۰/۹ بودند به عنوان نواحی کاندیدای راه در نظر گرفته شدند. قابل ذکر است که میانگین محلی در پنجره ای با ابعاد ۳، ۷ و ۷ پیکسل به ترتیب برای ویژگیهای θ_0 ، r_0 و c_0 در نظر گرفته شد.

در مرحله بعد برای دستیابی به نتایج مشترک ویژگی-های بدست آمده، آنها را با دستور منطقی AND (رابطه (۸)) با یکدیگر تلفیق نمودیم. تصویر حاصل از تلفیق ویژگی‌های نشان داده شده در شکل ۳ (d) تا (f) در شکل ۴ نشان داده شده است.

مطابق الگوریتم ارائه شده در بخش قبل در مرحله اول ویژگی‌های چندگانه و تصویر باینری آنها بدست آمد. در شکل ۳ تصاویر ویژگی استخراج شده r_0 ، θ_0 و c_0 مطابق روابط (۲) تا (۴) در قسمت‌های (a)، (b) و (c) و تصویر باینری آنها مطابق روابط (۵) تا (۷) در قسمت‌های (d)، (e) و (f) مشاهده می‌شود. برای باینری کردن تصاویر هر یک از ویژگی‌ها از حد آستانه محلی استفاده شد. مقدار حد آستانه مناسب برای ویژگی‌های θ_0 ، r_0 و c_0 به ترتیب مقادیر تجربی ۱۳ درجه، ۰/۹ و ۰/۹ در نظر گرفته شد. بدین ترتیب امتدادهایی که با یکدیگر اختلاف زاویه‌ای ۱۳ درجه را داشتند به صورت هم‌امتداد در نظر گرفته شدند و به عنوان نواحی کاندیدای راه در نظر گرفته شدند. و در تصاویر r_0 و c_0 در صورتیکه نسبت این مقادیر به میانگین



شکل ۶- تصویر باینری مرجع راه که توسط عامل انسانی استخراج شده است.

برای ارزیابی نتایج حاصل از مرحله کشف راه، یک تصویر باینری از شبکه مرجع راه که توسط عامل انسانی تهیه شده است، ایجاد گردید در این تصویر کلیه راه‌ها و همچنین نواحی با پوشش آسفالت مانند محل پارکینگ خودروها به عنوان راه انتخاب شدند. این تصویر در شکل ۶ نشان داده شده است که در آن کلیه پیکسل‌های راه با عدد ۰ و پیکسل‌های زمینه با عدد ۱ مقداردهی شدند.

با ضرب نظیر به نظیر پیکسل‌های تصویر مرجع در تصویر باینری نهایی پارامترهای RCC، BCC و RMS به ترتیب برابر ۰/۵۹، ۰/۸۷ و ۰/۷۴ بدست آمد. به عبارت دیگر ۵۹ درصد پیکسل‌های راه و ۸۷ درصد پیکسل‌های زمینه بدرستی کشف شده‌اند که دقتی برابر با ۰/۷۴ را نشان می‌دهد. نتایج عددی بدست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین بمنظور بررسی حساسیت الگوریتم به نویز لکه‌ای از نرم افزار ERDAS Imagine 9.1 و فیلتر گاما با پنجره‌هایی به ابعاد ۳*۳ و ۵*۵ استفاده شد. کلیه مراحل الگوریتم از ابتدا تا آنالیز دقت بر روی تصویر فوق اعمال شد. برای مقایسه نتایج حاصل شامل پارامترهای RCC، BCC و RMS در جدول ۱ آورده شده است.

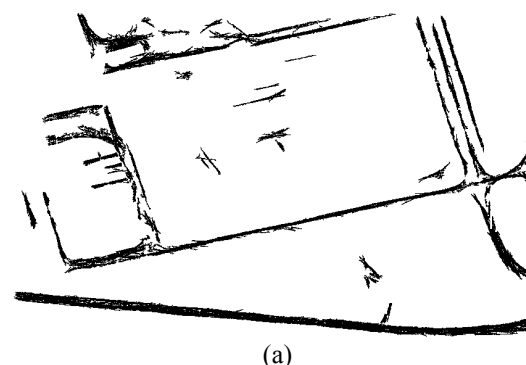
جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی دقت به تفکیک تصاویر ورودی			
	RCC	BCC	RMS
TSX1	0.59	0.87	0.74
TSX1-Despeckled	0.59	0.90	0.76
TSX1-70,70	0.51	0.98	0.78
TSX1-40,75	0.53	0.97	0.78
TSX2	0.49	0.83	0.68



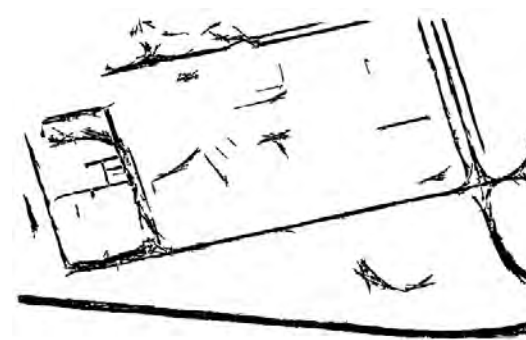
شکل ۴- تصویر حاصل از تلفیق ویژگی‌های باینری با اپراتور منطقی AND (پیکسل‌های سیاه: نواحی کاندیدای راه و پیکسل‌های سفید: زمینه یا نواحی کاندیدای غیر راه می‌باشند).

جهت بهبود عملکرد و انتخاب نواحی راه مناسب، معیارهای طیفی و مکانی بطور جداگانه بر روی تصویر اعمال شدند بطوریکه آندسته از نواحی که میانگین رادیانس آنها از ۷۰ (۷۵) درصد میانگین کل تصویر بالاتر بوده و یا دارای مساحت کمتر از ۷۰ (۴۰) پیکسل بودند را از نواحی راه کنار گذاشتیم. مقادیر بالا با توجه به رادیانس تصویر و عرض راه‌های موجود در تصویر انتخاب شده‌اند. نتایج حاصل از اعمال معیارهای فوق در شکل ۵ نشان داده شده است.

با اعمال معیارهای طیفی و مکانی پارامترهای دقت تغییر یافته که می‌توان آنها را به ترتیب با نام‌های TSX1-70,70 و TSX1-40,75 در جدول ۱ مشاهده نمود.



(a)

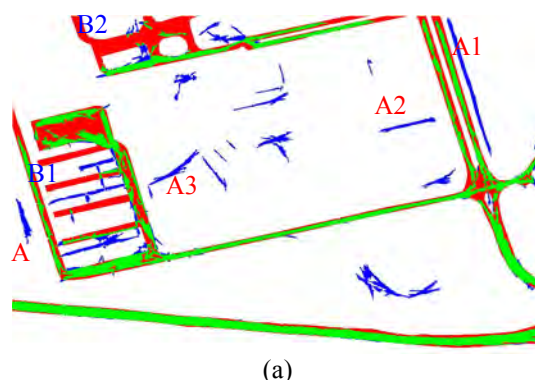


(b)

شکل ۵- تصاویر حاصل از اعمال معیارهای طیفی و مکانی در انتخاب نواحی راه مناسب: (a) حذف نواحی با مساحت کمتر از ۷۰ پیکسل و یا میانگین رادیانس بالاتر از ۷۰ درصد میانگین کل تصویر (b) حذف نواحی با مساحت کمتر از ۴۰ پیکسل و یا میانگین رادیانس بالاتر از ۷۵ درصد میانگین کل تصویر

همان‌طور که از جدول ۱ ملاحظه می‌شود با اعمال فیلتر گاما و کاهش نویز لکه‌ای، بهبودی در پارامتر RCC ایجاد نگردیده و همچنان عدد ۰/۵۹ باقی ماند. به این ترتیب همان‌طور که انتظار می‌رفت می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم فوق‌الذکر به نویز لکه‌ای موجود در تصاویر راداری حساسیتی نداشته و این عدم حساسیت به علت ماهیت ویژگی‌های استخراج شده است که از اطلاعات پیکسل‌های همسایه استفاده می‌نماید.

با در نظر گرفتن نتایج حاصل از ارزیابی عددی دقت می‌توان چنین نتیجه گرفت که حساسیت الگوریتم بیشتر روی کشف نواحی راه متمرکز بوده و با اعمال معیارهای مکانی و طیفی در انتخاب نواحی راه مناسب بر حساسیت فوق افزوده شده است.

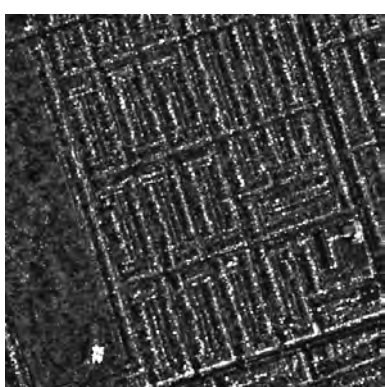
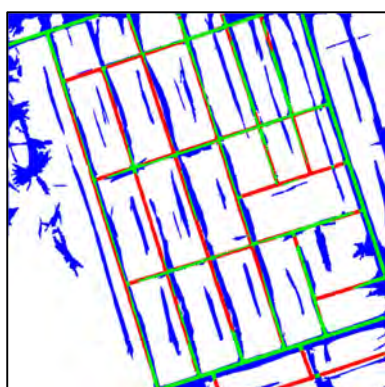


شکل ۷- (a) تصویر طبقه‌بندی شده نواحی کشف شده (سبز: راه‌های بدرستی کشف شده، آبی: راه‌های کشف شده نادرست، قرمز: راه‌های کشف نشده، سفید: نواحی غیر راه) و (b) تصویر رادار ورودی

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است مناطق A1 تا A4 که نشان دهنده ردیف‌های منظم درختان و بطور محتمل مسیرهای تردد ماشین‌آلات کشاورزی بوده به عنوان نواحی راه کشف شده‌اند. همچنین الگوریتم قادر به کشف نواحی B1 تا B2 به عنوان نواحی راه نشده است که ممکن است به علل زیر مربوط باشد.

- نواحی که نسبت به اطراف دارای کنتراست بالا نباشند.
- نواحی که بطور کامل توسط درختان حاشیه‌ای پوشانیده شده باشند.
- نواحی که در حاشیه تصویر قرار گرفته باشند.

جهت بررسی کارایی الگوریتم روی منطقه دیگر، از تصویر همین سنجنده از منطقه شهری در تورنتو کانادا مربوط به تاریخ ۱۵ دسامبر ۲۰۰۷ استفاده شد. تصویر مورد نظر به همراه نتیجه نهایی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- (a) تصویر طبقه‌بندی شده نواحی کشف شده (سبز: راه-های بدرستی کشف شده، آبی: راه‌های کشف شده نادرست، قرمز: راه‌های کشف نشده، سفید: نواحی غیر راه) و (b) تصویر ورودی

همان‌طور که از شکل ۸ (a) مشخص است نتیجه الگوریتم در نواحی که راه پوشیده از سایه درختان بوده و یا از عرض مناسب برخوردار نباشد، ضعیف می‌باشد. بطور کلی الگوریتم موردنظر برای کشف راه‌هایی با ویژگی‌های زیر مناسب می‌باشد.

- راه‌های عریض
- راه‌های طولانی و کشیده
- راه‌هایی با کنتراست بالا نسبت به اطراف

بدست آمدند. نتایج حاصل نشان از موفقیت الگوریتم در کشف نواحی راه و عدم حساسیت به نویز لکه‌ای می‌باشد بطوریکه با یک استراتژی سختگیرانه دقت برابر با ۷۸٪ بدست آمد. این الگوریتم هر عارضه‌ی غیر راه ولی با ویژگی‌های مشابه را به اشتباه به عنوان راه کشف می‌نماید. بدیهی است با بهره‌گیری از توابع مورفولوژی ریاضی و اعمال آن بر روی تصویر نهایی بتوان به منظم سازی نواحی راه کشف شده و بهبود دقت کمک کرد.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر محمد سعادت سرشت استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران بخاطر در اختیار گذاشتن تصاویر این تحقیق تشکر می‌شود.

و عمدتاً این ویژگی‌ها در نواحی شهری نسبت به نواحی دیگر کمتر بوده و می‌توان با استفاده از توپولوژی و روابط و ویژگی‌های هندسی دیگر میزان دقت الگوریتم را بالا برد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که این الگوریتم هر عارضه با ویژگی‌های فوق را ممکن است به اشتباه به عنوان راه ارزیابی نماید.

۴- نتیجه‌گیری

بازسازی شبکه‌های راه با استفاده از تصاویر سنجش از دور با تصاویر نوری و تصاویر راداری با قدرت تفکیک بالا به یکی از کاربردهای فراگیر این نوع تصاویر تبدیل شده است. در این تحقیق با استفاده از استخراج ویژگی‌های چندگانه مبتنی بر اختلاف پیکسل‌های راه نسبت به اطراف خود و تلفیق آنها با یکدیگر، نواحی کاندیدای راه

مراجع

- [1] M. Mokhtarzade and M. Zoj, "Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks," International journal of applied earth observation and geoinformation, vol. 9, pp. 32-40, 2007.
- [2] J. A. Richards, Remote sensing with imaging radar: Springer, 2009.
- [3] U. Soergel, "Review of Radar Remote Sensing on Urban Areas," Radar Remote Sensing of Urban Areas, pp. 1-47, 2010.
- [4] F. Tupin, et al., "Road detection in dense urban areas using SAR imagery and the usefulness of multiple views," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 40, pp. 2405-2414, 2002.
- [5] G. Lisini, et al., "Feature fusion to improve road network extraction in high-resolution SAR images," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, vol. 3, pp. 217-221, 2006.
- [6] M. Negri, et al., "Junction-aware extraction and regularization of urban road networks in high-resolution SAR images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 44, pp. 2962-2971, 2006.
- [7] B. Wessel, "Road network extraction from SAR imagery supported by context information," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, pp. 360-366, 2004.
- [8] F. Dell'Acqua, et al., "Road map extraction by multiple detectors in fine spatial resolution SAR data1," Canadian journal of remote sensing, vol. 29, pp. 481-490, 2003.
- [9] G. Zhou, et al., "Linear feature detection in polarimetric SAR images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 1453-1463, 2011.
- [10] F. Tupin, et al., "Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 36, pp. 434-453, 1998.
- [11] C. Lacoste, et al., "Road network extraction in remote sensing by a Markov object process," in Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on, 2003, pp. III-1017-20 vol. 2.

- [12] B.-K. Jeon, et al., "Road detection in spaceborne SAR images using a genetic algorithm," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 40, pp. 22-29, 2002.
- [13] K. Hedman, et al., "Road network extraction in VHR SAR images of urban and suburban areas by means of class-aided feature-level fusion," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 48, pp. 1294-1296, 2010.
- [14] K. Hedman, et al., "A fusion concept for road extraction from multi-aspect SAR data," 2007.
- [15] C. Wiedemann, "External evaluation of road networks," *INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, vol. 34, pp. 93-98, 2003.