

کشف اتوماتیک شبکه‌ی راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا به کمک سیستم‌های فازی با تکیه بر اطلاعات بافت زاویه‌ای

محمد علی صالحی امین^۱، مهدی مختارزاده^۲، محمد جواد ولدان زوج^۳

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، پژوهشکده سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، پژوهشکده سنجش از دور، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۰

چکیده

در این مقاله یک روش کارا برای کشف راه از تصاویر با قدرت تفکیک بالای آیکونوس ارائه شده است. روش پیاده‌شده شامل چهار مرحله اصلی است: در مرحله اول تصویر ورودی با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means به دو کلاس راه و پس‌زمینه تقسیم‌بندی می‌شود و سپس در این تصویر باینری، تعدادی از پیکسل‌هایی که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند با استفاده از فیلتر میانه حذف می‌شوند. در مرحله دوم توصیفگرهای بافت زاویه‌ای (میانگین، فشردگی و گریز از مرکز) برای هر پیکسل راه در تصویر باینری محاسبه می‌شوند. در مرحله سوم، این توصیفگرها وارد سیستم استنتاج فازی می‌شوند. در سیستم فازی هر توصیفگر به عنوان یک متغیر زبانی با توابع عضویت گوسی معرفی می‌شود درحالی‌که پارامترهای آن‌ها به صورت اتوماتیک و با استفاده از خصوصیات آماری هر توصیفگر تنظیم می‌شوند. همچنین تعدادی قوانین اگر-آنگاه فازی بر پایه دانش بشری در سیستم فازی طراحی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از غیرفازی‌ساز مرکز ثقل، شبکه‌ی راه از دیگر عوارض دارای مشابهت طیفی (سایه‌ها، پارکینگ‌ها، ساختمان‌ها و غیره) جدا می‌گردد. سپس شبکه‌ی راه با اتصال پیکسل‌های راه به یکدیگر و حذف مسیرهای کوچک تکمیل می‌گردد. در مرحله نهایی جهت ارزیابی سیستم، نتایج بدست آمده با راه استخراج‌شده به صورت دستی مقایسه می‌گردند و تعدادی پارامترهای ارزیابی صحت محاسبه می‌شوند. همچنین روش سنتی طبقه‌بندی بیشترین درستی نیز بکار گرفته می‌شود و پارامترهای ارزیابی مشابهی جهت مقایسه تعیین می‌گردند. نتایج حاصل کارایی روش پیاده‌سازی‌شده را در هر دو زمینه‌ی ارائه‌ی نتایج مطلوب در کشف راه و دستیابی به درجه‌ی خوبی از اتوماسیون نشان می‌دهد. همچنین مقیاسه نتایج حاصل با روش‌های سنتی کشف راه، گویای برتری الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: k-means، بافت زاویه‌ای، سیستم‌های فازی، کشف اتوماتیک راه

* نویسنده مسئول: محمد علی صالحی امین؛ تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۸۸۴۴۷

۱- مقدمه

با گسترش تکنولوژی سنجش از دور، حجم وسیعی از داده‌های مکانی در دسترس قرار گرفته‌اند. به منظور استفاده‌ی بهینه از پتانسیل اطلاعات اخذ شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای، استخراج اتوماتیک عوارض به‌عنوان نیازی جدی در سنجش از دور مطرح می‌باشد. منظور از استخراج اتوماتیک عارضه، تشخیص و بازسازی عارضه‌ای خاص بر روی تصویر با حداقل مشارکت عامل انسانی و بر مبنای یک یا چند الگوریتم کامپیوتری می‌باشد.

از جمله عوارض مهم ساخت بشر، جاده‌ها و ساختمان‌ها می‌باشند. داشتن اطلاعات کافی از شبکه‌ی راه‌ها برای اهداف مسافت‌یابی، مدیریت ترافیک، مدیریت بحران و مقابله با حوادث ناگهانی و غیره، نیازی ضروری می‌باشد. از این‌رو استخراج اتوماتیک عارضه‌ی راه به‌عنوان ابزاری برای ایجاد، نگهداری و به‌هنگام‌رسانی پایگاه داده‌ی حمل و نقل مورد توجه خاص محققین سنجش از دور قرار گرفته است که از این پایگاه داده می‌توان برای اهداف مسافت‌یابی، از مدیریت ترافیک تا هدایت اتوماتیک وسایل نقلیه استفاده کرد. از این رو تحقیقات بسیاری جهت کشف و استخراج اتوماتیک عارضه‌ی راه صورت گرفته است.

ظهور تصاویر با حد تفکیک مکانی بالا، یک منبع داده‌ی جدید محسوب می‌شود. این تصاویر غالباً دارای یک باند مادون قرمز می‌باشند. اغلب کاربردهای شامل ایمنی و ارزیابی بلایا و حوادث ناگهانی نیاز به نمایش صحیح و با جزئیات راه دارد و این امر تنها با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ای میسر است. در تصاویر قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ای و هوایی، راه به صورت یک منطقه‌ی سطحی همگن می‌باشد، بنابراین جهت استخراج راه باید مشخصات همگنی، تقویت شوند.

به‌طور کلی استخراج راه شامل دو مرحله‌ی شناسایی (کشف) راه و استخراج (بررداری‌سازی) می‌باشد. در مرحله‌ی شناسایی، شبکه‌ی راه‌های موجود، کشف و در مرحله‌ی استخراج برای ورود به سامانه‌ی اطلاعات

مکانی آماده می‌شوند.

برای استخراج راه از منابع و الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌شود. الگوریتم‌های استخراج راه در ابتدا روی تصاویر با قدرت تفکیک پائین و به علت پیچیدگی صحنه‌های شهری روی راه‌های روستایی متمرکز شد [۱] و [۲]. سپس از منابع دیگر شامل اطلاعات مفهومی مانند بافت، داده‌های لیدار، خصوصیات هندسی و توپولوژی راه استفاده شد. همچنین الگوریتم‌ها رو به استفاده از روش‌های دانش‌پایه آوردند. در زیر به نمونه‌هایی از این تحقیقات اشاره می‌شود.

امینی و همکارانش در [۳] یک روش اتوماتیک جهت استخراج راه در مناطق نیمه‌شهری با استفاده از منطق فازی و اطلاعات بافت معمولی توسعه داده‌اند. الهارتی و بتل در سال ۲۰۰۳ الگوریتمی برای کشف راه‌ها در مناطق شهری با استفاده از داده‌های شدت^۱ و فاصله‌ی^۲ لیدار توسعه دادند [۴]. محمدزاده و همکارانش در [۵] یک روش جدید بر پایه شکل‌شناسی و منطق فازی ارائه کرده‌اند. در [۶] از خصوصیات هندسی راه استفاده شده است. در این مقاله با فرض اینکه راه در یک بازه محلی مستقیم بوده و واریانس کمی در طول راه وجود دارد با استفاده از فیلتر هاورکمپ^۳ و با یک روش ردیابی، راه استخراج شده است. در [۷] روشی بر مبنای بعد فراکتال جهت تشخیص راه از رودخانه ارائه شده است. در [۸] یک روش کارا برای استخراج اتوماتیک راه در مناطق روستایی و نیمه‌شهری با استفاده از تصاویر رنگی و با استفاده از خصوصیات آماری بافت توسعه داده شده است. منا در [۹] یک روش جدید به منظور دستیابی به شبکه‌ی راه‌ها به همراه تعیین خصوصیات هندسی و توپولوژی ارائه نموده است. مختارزاده و ولدان زوج در [۱۰] روشی مبتنی بر شبکه‌ی عصبی با استفاده از انواع مختلفی

1 intensity

2 Range

3 Haverkamp

نیمه شهری و روستایی)، متفاوت است. هرگاه بخواهیم فاکتورهایی مانند قدرت تفکیک تصویر، وجود عوارض همگن شبیه راه مانند رودخانه‌ها و سایه‌ها (در تصاویر با قدرت تفکیک بالا) و غیره را نیز در نظر بگیریم، شناسایی راه بسیار پیچیده می‌شود. جهت حل چنین مشکلاتی توجه به خصوصیات هندسی راه (نظیر عرض و انحنای راه) می‌تواند بسیار مفید واقع شود. بنابراین بایست سراغ منابع داده‌ای رفت که بتوانند چنین اطلاعاتی را در اختیار ما قرار دهند.

اخیراً استفاده از بافت زاویه‌ای جهت کشف راه توسعه‌ی بسیاری پیدا کرده است. در [۱۳] یک روش اتوماتیک استخراج راه از تصاویر با قدرت تفکیک بالا بر پایه سیستم فازی و خصوصیات بافت زاویه‌ای جهت جدا کردن راه از پارکینگ‌ها ارائه شده است. در [۱۴] یک روش استخراج راه برپایه‌ی پردازش خصوصیات هندسی، ناحیه‌بندی بر پایه منطق فازی در سطح پیکسل و استفاده از منحنی‌های بافت زاویه‌ای روی تصاویر چند طیفی دارای قدرت تفکیک بالا، توسعه داده شده است. در [۱۵] یک ردیاب راه - که از منحنی‌های بافت زاویه‌ای بر پایه دانش انسان از خصوصیات راه استفاده می‌کند - روی تصاویر دارای قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ای توسعه داده شده است. یانگ و همکارانش در [۱۶] یک تکنیک استخراج راه به صورت یک روش نیمه اتوماتیک ردیاب راه با استفاده از منحنی بافت زاویه‌ای توسعه داده‌اند که از خصوصیات مانند تغییر انحنای استفاده می‌کند.

همانطور که از روند تحقیقات ملاحظه شد در روش‌های مختلف از پارامترهای مختلف بافت، مانند پارامترهای آماری بافتی به دست آمده از GLCM، پارامترهای مدلی مانند فراکتال‌ها و غیره استفاده می‌شود. به عنوان مثال در روش‌های استخراج راه از طریق ناحیه بندی، ناحیه بندی می‌تواند بر پایه‌ی آنالیز بافت انجام شود، یا پارامترهای آماری بافت به دست آمده از ماتریس همپیشامدی درجات خاکستری مثل انتروپی، هموژنیتی و غیره می‌تواند به صورت یک باند یا نرون

داده به عنوان ورودی‌های شبکه‌ی عصبی توسعه داده‌اند. مختارزاده و همکارانش در [۱۱] با استفاده از آنالیز بافت در شبکه‌های عصبی، از پارامترهای بافت مختلف بدست آمده از ماتریس رخداد توام (GLCM) برای بهبود نتایج کشف راه استفاده کرده‌اند. یک تحقیق جالب در استخراج راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا با استفاده از شبکه‌های عصبی، آنالیز بافت، خوشه بندی فازی و الگوریتم ژنتیک در [۱۲] انجام شده است. این مقاله شامل دو مرحله‌ی کشف راه و استخراج است. در این روش ابتدا راه توسط شبکه‌های عصبی به کمک پارامترهای بافت کشف می‌شود. در مرحله‌ی استخراج، نقاط کلیدی راه توسط الگوریتم خوشه بندی در فضای تصویر شناسایی می‌شوند. در نهایت ارتباط بین این نقاط بر پایه‌ی اطلاعات بدست آمده از خوشه بندی فازی انجام می‌شود.

در تصاویر با قدرت تفکیک بالا، راه‌ها به سختی از ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها و سایه‌ها قابل تشخیص هستند.

بنابراین منحنی‌های طیفی نمی‌توانند به طور مؤثر برای شناسایی ویژگی‌های راه به کار گرفته شوند. با توجه به خصوصیات و توانایی‌های اطلاعات مجاورت، ویژگی بافت می‌تواند کمک قابل توجهی در حل مشکلات استخراج راه مانند سایه انداختن ساختمان‌ها بر راه، مشابهت انعکاس طیفی بین سقف ساختمان‌ها و کف راه‌ها و غیره داشته باشد.

در استخراج راه از تصاویر ماهواره‌ای، هر یک از تکنیک‌های استخراج راه به شدت به نوع زمینه‌ی تصاویری که راه در آن قرار دارد، وابسته می‌باشند. به عنوان مثال در مناطق شهری، وجود ساختمان‌ها، ماشین‌ها و درختان در مجاورت راه، استخراج راه از تصاویر ماهواره‌ای را با مشکل مواجه می‌کند. از طرفی خصوصیات راه برای تصاویر مناطق مختلف (شهری،

به ترتیب در روش‌های طبقه‌بندی مختلف و شبکه‌ی عصبی وارد شود. در روش‌های بر پایه‌ی تلفیق هم می‌توان اطلاعات بافتی را با سایر داده‌ها تلفیق کرد. در سال‌های اخیر استفاده از بافت زاویه‌ای در کشف و استخراج راه گسترش یافته است. همان‌طور که ذکر شد از آن‌جا که راه یک عارضه‌ی ساخت بشر است برای کشف آن استفاده از روش‌های بر پایه‌ی دانش انسان (دانش پایه) نتایج امیدوارکننده‌ای از خود نشان داده‌اند.

با توجه به مسایل ذکرشده در زمینه‌ی استخراج اتوماتیک راه می‌توان به این نتیجه رسید که تصاویر با قدرت تفکیک بالا و بافت، یک منبع داده‌ی مفید در زمینه‌ی استخراج راه می‌باشند و از آن‌جا که راه یک عارضه‌ی ساخت بشر می‌باشد، روش‌های دانش پایه ابزار مناسبی برای کشف راه می‌باشد. از آن‌جا که هنوز الگوریتم کاملاً اتوماتیک در زمینه‌ی استخراج راه وجود ندارد، بنابراین ضرورت توسعه‌ی یک الگوریتم جدید با درجه‌ی اتوماسیون بالا با استفاده از این منابع داده، مشخص می‌شود. در میان روش‌های دانش پایه‌ی مختلفی که برای استخراج راه پیشنهاد شده است، کشف راه توسط سیستم‌های فازی، دقت بالا و نتایج امیدوارکننده‌ای حاصل نموده است بنابراین در این مقاله سعی شده است که یک سیستم فازی پیشرفته برای کشف راه توسعه داده شود به طوری که درجه‌ی اتوماسیون آشکارسازی راه را نیز افزایش دهد.

هدف اصلی از این تحقیق بررسی و ارزیابی روش‌های مختلف بهره‌گیری از اطلاعات بافت تصویر در کنار سیستم‌های فازی جهت کشف و شناسایی عارضه‌ی راه از تصاویر با حد تفکیک بالای فضایی به‌منظور دست‌یافتن به یک الگوریتم بهینه می‌باشد. به بیان دیگر هدف دستیابی به الگوریتمی است که بتواند کاستی‌های الگوریتم‌های موجود را تا حدی بهبود بخشد. با توجه به توانایی‌های بافت زاویه‌ای و سیستم‌های فازی در استخراج راه که از نظر گذشت در تحقیق حاضر جهت جداسازی راه از عوارض سطحی

مشابه، از اطلاعات بافت زاویه‌ای در یک سیستم فازی استفاده می‌شود.

مهمترین دستاورد تحقیق حاضر تعیین اهمیت پارامترهای بافت زاویه‌ای و طراحی یک سیستم فازی مناسب جهت استفاده حداکثری از این اطلاعات در کشف و شناسایی پیکسل‌های راه از زمینه در تصاویر با قدرت تفکیک بالای ماهواره‌ی آیکونوس می‌باشد. در این راستا، طراحی توابع تعلق فازی و قوانین مناسب پایگاه دانش از دیگر دستاوردهای این مقاله محسوب می‌شود. در این مقاله از هیچ نمونه‌ی آموزشی استفاده نشده و پارامترهای توابع عضویت گوسی در سیستم فازی به‌صورت اتوماتیک تعیین می‌شوند، بنابراین درجه‌ی اتوماسیون بالایی دارد.

این مقاله شامل چهار قسمت است: پس از مقدمه‌ای درباره‌ی استخراج راه و ضرورت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بافت تصویر و سیستم‌های فازی به‌منظور استخراج راه که از نظر گذشت، در بخش دوم، ابزار و روش تحقیق شامل ناحیه‌بندی تصویر و کشف اولیه‌ی راه، حذف عوارض سطحی مشابه (با تکیه بر اطلاعات بافت زاویه‌ای و سیستم‌های فازی) و بهبود نتایج کشف راه ارائه می‌گردد. در بخش سوم، نحوه‌ی پیاده‌سازی الگوریتم و نتایج آن ارائه می‌گردند و در بخش چهارم نتایج به‌دست آمده از تحقیق و پیشنهادات ارائه می‌شوند.

۲- ابزار و روش تحقیق

روش پیشنهادی برای کشف راه شامل کشف اولیه‌ی راه (خوشه‌بندی کا-مینز^۱)، کشف ثانویه‌ی راه (اعمال سیستم فازی بر پایه‌ی پارامترهای بافت زاویه‌ای) و کشف نهایی (بهبود شبکه‌ی راه) می‌باشد. فلوچارت روش تحقیق به‌صورت زیر می‌باشد (شکل ۱).

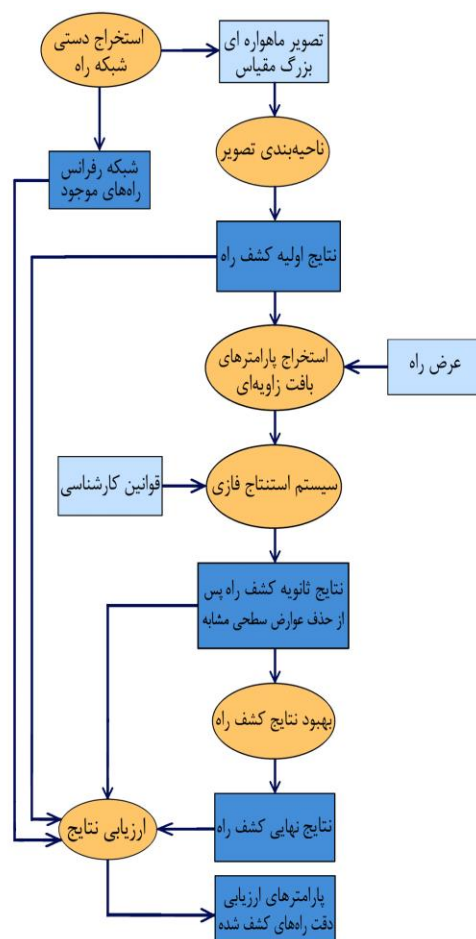
براساس فلوچارت ارائه شده، روش پیشنهادی کشف راه از چهار مرحله‌ی اصلی به شرح زیر تشکیل شده است:

1 K-means

عمل می‌کند، به این صورت که ابتدا پیکسل‌ها را در تعدادی دسته‌ی مشخص طبقه‌بندی می‌کنند سپس پیکسل‌ها از یک دسته به دسته دیگر جابه‌جا می‌شوند تا جایی که جابجایی‌ها تغییر محسوسی در دسته‌های ایجاد شده موجب نشوند، در این روش تنها کافی است تعداد دسته‌ها به طبقه‌بندی‌کننده معرفی شود.

در مرحله‌ی اول ابتدا تصویر ورودی (شکل ۲-الف) شامل سه باند قرمز، آبی و سبز با معرفی تعداد ۵ کلاس برای خوشه‌بندی، به الگوریتم ک-مینز معرفی می‌شود. اگر تعداد خوشه‌ها بیشتر اختیار شود برخی از خوشه‌ها خیلی شبیه (نزدیک) به هم خواهند بود و نتیجه شامل خوشه‌های غیر ضروری و دارای اطلاعات کم است که جهت استفاده، باید با هم ترکیب شوند و اگر تعداد خوشه‌ها کمتر انتخاب شود، اطلاعات معنی‌دار کمی بدست می‌آوریم و ممکن است یک خوشه در واقع دو عارضه را در بر گرفته باشد که در این حالت باید خوشه را به دو خوشه تجزیه نمود. (شکل ۲-ب) نتیجه‌ی خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. از بین ۵ کلاس حاصل، اپراتور انسانی کلاس راه را انتخاب می‌کند (پیکسل‌های سبز رنگ در شکل ۲-ب). این مرحله (یعنی انتخاب کلاس راه) تنها مرحله‌ی دخالت انسان در الگوریتم پیشنهادی است. (شکل ۳-الف). سپس برای تصویر به‌دست آمده از مرحله‌ی قبل (تصویر ناحیه‌بندی شده) از الگوریتم کاهش نوفه‌ی میانه با ابعاد ۵، متناسب با عرض راه (یعنی ۶ پیکسل) استفاده می‌شود (شکل ۳-ب). همان‌طور که در (شکل ۳-ب) دیده می‌شود، اگر چه راه‌ها کشف شده‌اند، ولی تعدادی عوارض سطحی از جمله وجوه تیره هرم با خصوصیات طیفی مشابه نیز در کلاس راه قرار گرفته‌اند، بنابراین نتایج این مرحله باید بهبود داده شوند. در بخش بعد این مساله شرح داده می‌شود.

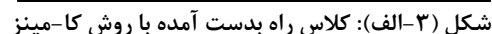
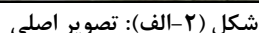
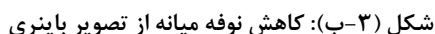
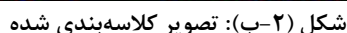
- (۱) ناحیه‌بندی تصویر ورودی و کشف اولیه‌ی راه
 - (۲) حذف عوارض سطحی مشابه راه بر اساس اطلاعات بافت زاویه‌ای
 - (۳) تصحیح و بهبود نتایج کشف راه
 - (۴) ارزیابی دقت
- در ادامه به تشریح هر یک از مراحل فوق پرداخته شده است.



شکل ۱: شمای کلی الگوریتم پیشنهادی

۲-۱- ناحیه‌بندی تصویر و کشف اولیه‌ی راه

در این تحقیق از روش خوشه‌بندی نظارت نشده‌ی ک-مینز برای ناحیه‌بندی راه استفاده شده است. این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های خوشه‌بندی است و براساس تصحیح تکراری انتساب برچسب‌ها



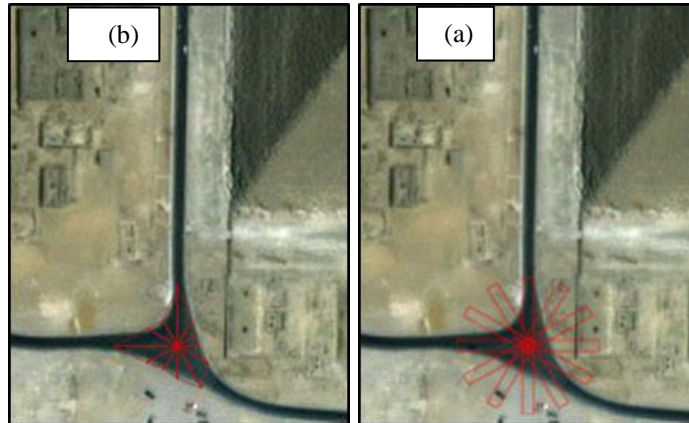
۲-۲- حذف عوارض طیفی مشابه راه بر اساس اطلاعات بافت زاویه‌ای

روش‌های معمول استخراج راه، اغلب در تشخیص عوارض سطحی مشابه از راه دچار مشکل هستند. از ویژگی‌های هندسی راه نظیر عرض و انحنا، می‌توان به‌عنوان وجه تمایز بین راه و سایر عوارض طیفی مشابه استفاده کرد. بافت زاویه‌ای می‌تواند مشخصات هندسی عوارض مانند کشیدگی، فشردگی و غیره را به‌خوبی توصیف کند. در سال‌های اخیر استفاده از بافت زاویه‌ای در کشف و استخراج راه به‌دلیل تفاوت ویژگی‌های این پارامتر در راه و عوارض سطحی مشابه، گسترش بسیاری یافته‌است. به‌دلیل توصیفی بودن پارامترهای بافت زاویه‌ای می‌توان از این پارامترها در یک سیستم استنتاج فازی استفاده کرد. در بخش بعد بافت زاویه‌ای تشریح می‌گردد.

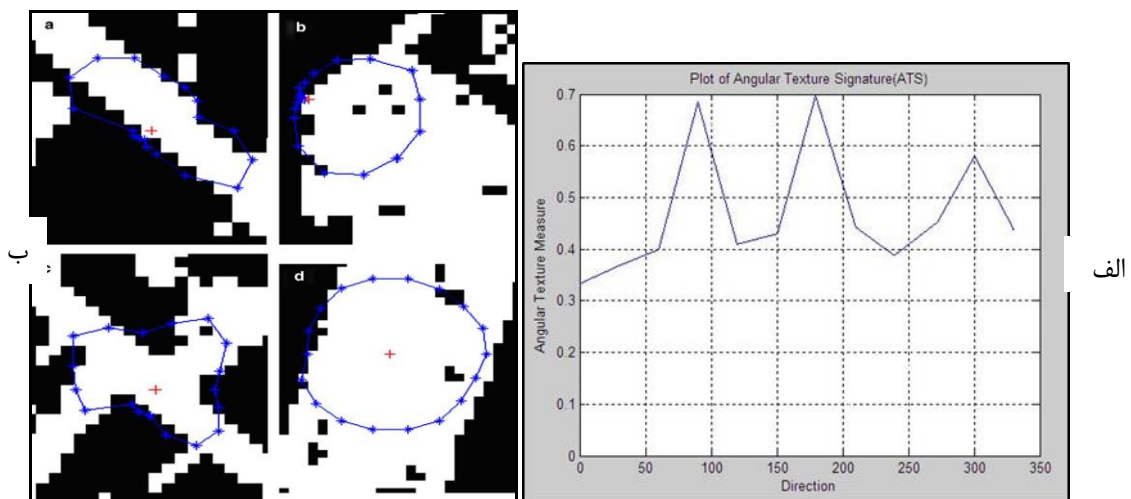
1 Angular Texture

مستطیل از پیکسل‌ها به عرض w و ارتفاع h حول پیکسل p که محور اصلی آن در زاویه‌ی α از سطح افقی قرار می‌گیرد، تعریف می‌شود (شکل ۴(a)).

در هر پیکسل از یک تصویر پانکروماتیک، $T(\alpha, h, w, p)$ به‌عنوان میانگین، انحراف معیار، واریانس و یا انتروپی برای یک مجموعه‌ی



شکل (۴): منحنی بافت زاویه‌ای. (a) بافت حول مجموعه‌ای از نواحی مستطیلی حول یک پیکسل خطی مرکز راه. (b) مقدار هر تمپلیت و پلیگون ATS.



شکل (۵): (الف) گراف ATS با در نظر گرفتن درصد حضور پیکسل‌های راه به‌عنوان معیار اندازه‌گیری. (ب): منحنی بافت زاویه‌ای برای (a) یک پیکسل واقع بر راه، (b) یک پیکسل در گوشه‌ی پارکینگ، (c) یک پیکسل نزدیک تقاطع چهارراه، (d) یک پیکسل داخل پارکینگ [۱۳].

از مقادیر $\{T(\alpha_0, h, w, p), T(\alpha_1, h, w, p), \dots, T(\alpha_n, h, w, p)\}$ تعریف می‌شود. اگر انحراف معیار، واریانس و انتروپی به‌عنوان معیار اندازه‌گیری قرار گیرند، مینیمم‌های محلی این گراف متناظر با جهت‌هایی هستند که بیشتر احتمال دارد راه باشند. اگر از تصویر اصلی استفاده‌شود،

این اندازه‌گیری برای مجموعه‌ای از زوایای $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ محاسبه می‌شود. منحنی طیفی بافت‌زاویه‌ای (ATS^1) در نقطه‌ی p بر اساس مجموعه‌ای

1 Angular Texture Signature (ATS)

همسایه در ناحیه‌ی مستطیلی نشان می‌دهد و معمولاً مقدار آن در ساختمان‌ها و پارکینگ‌ها بیشتر از راه می‌باشد.

رابطه (۱)

$$ATS_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ATS(i)$$

- فشردگی: فشردگی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید و نشان می‌دهد که شکل پلیگون ATS چقدر شبیه دایره است. هر چه پلیگون ATS در پیکسل موردنظر به دایره شبیه‌تر باشد، احتمال آن که پیکسل موردنظر راه باشد، کمتر است (شکل ۷(b) و ۷(d) را ببینید). فشردگی از معادله‌ی (۲) محاسبه می‌شود که در این رابطه A، مساحت پلیگون و p محیط پلیگون می‌باشد.

رابطه (۲)

$$ATS_{compactness} = \frac{4\pi A}{p^2}$$

- گریز از مرکز^۱: گریز از مرکز بر اساس پراکندگی بین نقطه‌ی مبدا (مورد نظر) پلیگون ATS و مرکز ثقل پلیگون تعریف می‌شود و از رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید که در رابطه‌ی مذکور مرکز ثقل پلیگون و (x_0, y_0) نقطه‌ی مبدا (مورد نظر) است.

رابطه (۳)

$$ATS_{eccentricity} = \sqrt{(x_c - x_0)^2 + (y_c - y_0)^2}$$

اگر یک پیکسل در گوشه‌ی پارکینگ یا ساختمان قرار گیرد، گریز از مرکز نسبتاً بزرگتر از زمانی است که پیکسل در مرکز عارضه (مثلاً راه) قرار گیرد (شکل ۵(b) و ۵-ب(d) را ببینید). نتایج نشان داده‌اند که مشکل مرزی می‌تواند تا حد زیادی با معرفی این پارامتر در آشکارسازی پارکینگ‌ها و ساختمان‌ها

معمولاً از واریانس، به عنوان ردیاب راه استفاده می‌شود. همچنین می‌توان بافت زاویه‌ای را بر روی تصویر باینری کشف اولیه‌ی راه نیز پیاده کرد. اگر راه با نواحی همسایه کنتراست خوبی داشته باشد، می‌توان از میانگین تمپلیت چرخش به عنوان ردیاب راه استفاده کرد. بدین منظور برای مجموعه‌ای از زوایای $(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ تعداد پیکسل‌های راه در ناحیه‌ی مستطیلی شمرده شده و بر کل تعداد پیکسل‌های موجود در ناحیه‌ی مستطیلی تقسیم می‌شود (درصد پیکسل‌های راه حاضر در ناحیه‌ی مستطیلی در جهات مختلف که از این پس آن را معیار اندازه گیری بافت زاویه ای (ATS) می‌نامیم). این کار سبب نرمالیزه شدن مقادیر ATS بین ۰ و ۱ می‌شود. بنابراین برای هر جهت (زاویه) یک مقدار ATS داریم (شکل ۵(الف) را ببینید). اندازه‌ی ناحیه‌ی مستطیلی براساس عرض راه در تصویر تعیین می‌شود. به طور معمول عرض مستطیل کوچکتر یا مساوی عرض راه و طول آن حداقل دو برابر عرض آن انتخاب می‌شود [۱۳]. در ادامه نحوه‌ی استفاده از ATS تشریح می‌گردد.

• توصیف گرهای شکل ATS:

به جای رسم مقادیر ATS برای هر جهت در طول یک خط افقی (شکل ۵(الف))، می‌توان مقادیر ATS حول پیکسل موردنظر، در جهت‌های متناظر آن را رسم کرد و سپس نقاط از اول به آخر را به هم متصل نمود (شکل ۴(b) و ۵(b) را ببینید). بنابراین یک پلیگون تشکیل می‌شود.

اگر دید دقیق تر به ATS هر پیکسل بیندازیم، می‌توان به برخی از ارتباطات جالب بین شکل پلیگون ATS و انواع پیکسل متناظر پی برد. براساس پلیگون ATS، توصیف گرهای زیر تعریف می‌شوند [۱۳]:

- میانگین: مقدار میانگین ATS در همه‌ی جهت‌ها از معادله‌ی (۱) محاسبه می‌شود که در آن n تعداد جهت‌ها می‌باشد. در واقع میانگین، درصد پیکسل‌های راه را نسبت به پیکسل‌های

1 Eccentricity

میلادی ارائه کرد [۱۷]. فازی در فرهنگ لغت به معنای مبهم، گنگ، نادقیق، گیج و مغشوش تعریف شده است. در حقیقت سیستم فازی دانش بشری را در چهارچوبی مشابه مدل‌های ریاضی بیان می‌کند. شکل (۸) ساختار یک سیستم فازی را نشان می‌دهد که شامل فازی‌ساز، موتور استنتاج فازی، غیر فازی‌ساز و پایگاه دانش می‌باشد.

ساختار قوانین فازی براساس این که چگونه طراحان یا یک فرد خبره مسایل را تفسیر و تحلیل می‌کنند و چگونه تصمیم می‌گیرند، بنا نهاده می‌شود. [۱۸] و [۱۹] همان‌طور که در شکل (۹) دیده می‌شود، سیستم فازی طراحی شده شامل سه ورودی، یک خروجی و ده (۱۰) قانون می‌باشد، ورودی سیستم فازی همان پارامترهای بافت زاویه‌ای می‌باشد که در بخش قبل محاسبه شد.

در ادامه به تشریح بخش‌های مختلف سیستم فازی ایجاد شده پرداخته شده است.

۱) فازی سازی ورودی‌ها:

قدم اول این است که برای هر یک از ورودی‌ها توسط توابع عضویت مربوط، یک درجه نسبت دهیم. برای هرکدام از این ورودی‌ها سه تابع عضویت از نوع گوسین برای سه مجموعه فازی ave , low و $high$ تعریف شده است. رابطه‌ی (۴)، ساختار یک تابع تعلق گوسی را نشان می‌دهد که شامل دو پارامتر میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) می‌باشد.

$$F(x, \sigma, \mu) = e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

در تحقیق صورت گرفته، استفاده از توابع عضویت گوسی برای پارامترهای ورودی نتایج مناسب‌تری نسبت به سایر فرم‌های معمول توابع عضویت حاصل نمود که علت این امر را می‌توان ناشی از توزیع نسبتاً گوسی توصیف‌گرهای ورودی دانست.

با محاسبه‌ی پارامترهای توابع عضویت، تمامی ورودی‌ها با استفاده از توابع عضویت فازی شده و به آن‌ها درجه‌ی عضویت تعلق می‌گیرد.

کاهش یابد. حال به پیاده‌سازی بافت زاویه‌ای پرداخته می‌شود.

از تصویر باینری کاهش نوفه یافته (شکل (۳-ب))، پارامترهای بافت زاویه‌ای میانگین، فشردگی و گریز از مرکز با در نظر گرفتن "درصد حضور پیکسل‌های راه" به عنوان معیار اندازه‌گیری، همانگونه که در بخش قبل توضیح داده شد، استخراج می‌شود. محاسبه‌ی بافت زاویه‌ای فقط روی پیکسل‌های راه انجام می‌گیرد. طول و عرض مستطیل مورد استفاده جهت تعیین پارامترهای بافت زاویه‌ای براساس عرض راه انتخاب می‌گردد. بدین ترتیب که عرض مستطیل تقریباً برابر با عرض راه شش پیکسل و طول مستطیل دو برابر عرض آن (دوازده پیکسل) انتخاب می‌شود. همچنین زاویه‌ی چرخش تمپلیتها ۴۵ درجه در نظر گرفته شد. در نظر گرفتن زوایای کوچکتر اندکی صحت نتیجه را بالایی برد اما حجم محاسبات را بسیار افزایش می‌دهد. برای هر یک از پیکسل‌های مشکوک به راه در تصویر باینری این سه پارامتر محاسبه می‌شود و برای دید بصری، نتایج پیاده‌سازی این پارامترها بر روی شکل (۳-ب) در شکل‌های (۶، ۷) ارائه شده است.

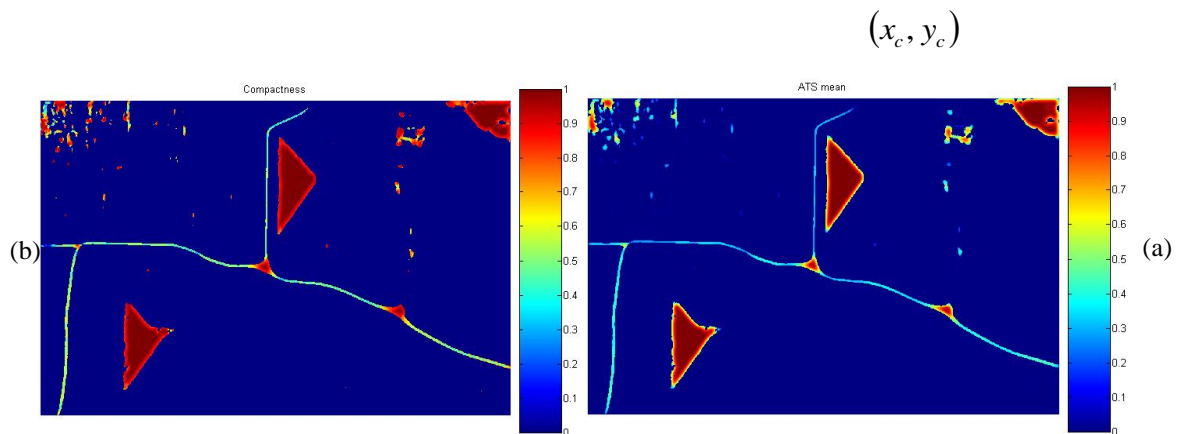
با توجه به شکل‌های (۶ و ۷) می‌توان گفت که غالباً مقادیر توصیف‌گرهای بافت زاویه‌ای میانگین، فشردگی و گریز از مرکز در پارکینگ‌ها/سایه‌ها نسبت به راه بیشتر است. با توجه به ماهیت توصیفی پارامترهای بافت زاویه‌ای و امکان استخراج قوانین صریح کارشناسی برای آن‌ها، از سیستم فازی استفاده می‌شود تا بیشترین بهره از اطلاعات بافت زاویه‌ای برده شود. در بخش بعد سیستم فازی و پیاده‌سازی آن شرح داده می‌شود.

۲-۲-۲- طراحی سیستم فازی

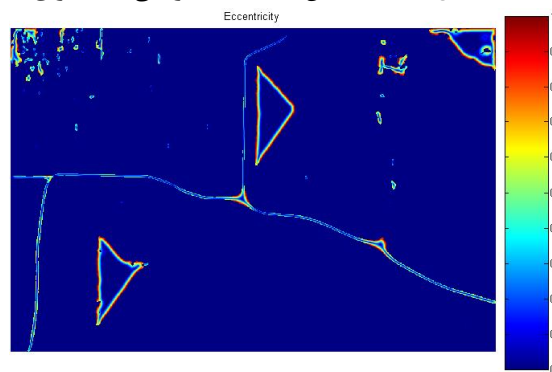
پروفسور لطفی زاده تئوری فازی^۱ را در دهه‌ی ۶۰

بنابراین متغیرهای زبانی عبارتند از:

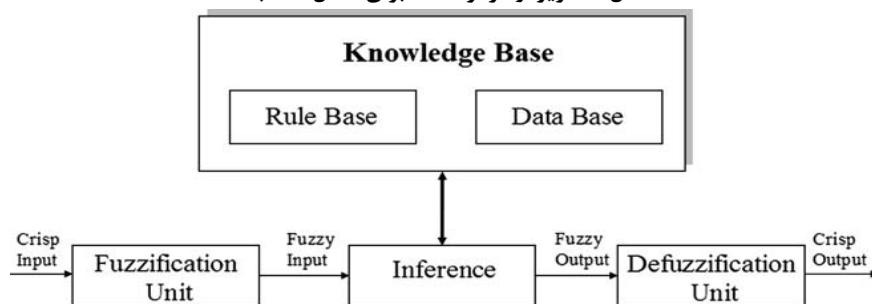
$$ATS_{mean} = \{low, ave, high\}, Compactness = \{low, ave, high\}, Eccentricity = \{low, ave, high\}$$



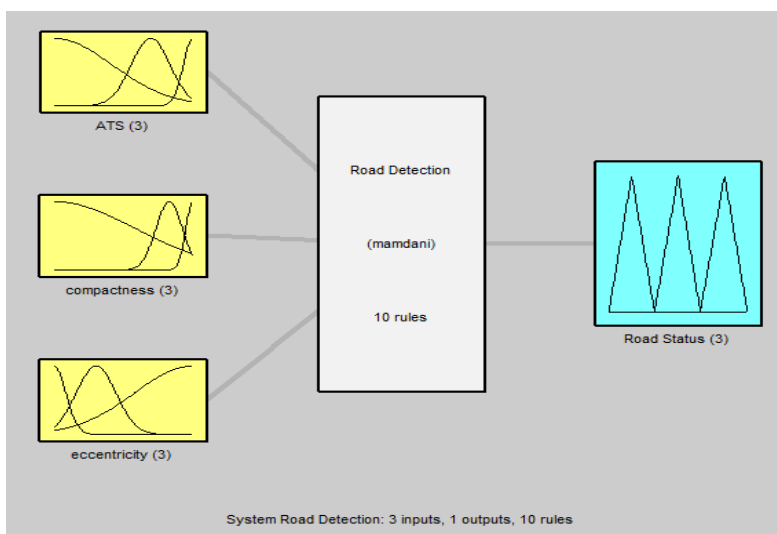
شکل ۶: (a) میانگین ATS، (b) فشردگی ATS (برای شکل (۴-ب))



شکل ۷: گریز از مرکز ATS (برای شکل (۴-ب))



شکل (۸): ساختار یک سیستم فازی

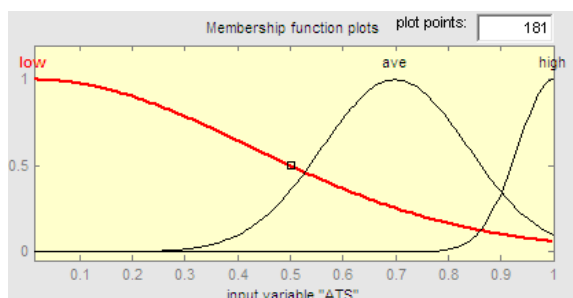


شکل (۹): مشخصات سیستم فازی ایجاد شده

بزرگتر از میانگین و کوچکتر از میانگین تقسیم می‌شود. که پارامترهای مربوط به دسته‌ی اول را با اندیس ۱ و دسته‌ی دوم را با اندیس ۲ نشان می‌دهیم. منظور از μ ، σ ، \min و \max به ترتیب میانگین، انحراف معیار، مقدار مینیمم و ماکزیمم بین کل مقادیر حاصل برای یک ورودی می‌باشد و μ_1 و μ_2 به ترتیب میانگین مربوط به دسته‌ی اول و دوم می‌باشند. در نهایت پارامترهای توابع گوسین ave ، low و high برای هر ورودی بافت زاویه‌ای از روابط زیر به دست می‌آیند (رابطه‌ی ۵):

$$param_ave(\sigma, \mu) = \{\sigma, \mu\}, param_high(\sigma, \mu) = \{\max - \mu_2, \max\}, param_low(\sigma, \mu) = \{\mu_1 - \min, \min\}$$

رابطه‌ی (۵): محاسبه‌ی پارامترهای توابع گوسین



شکل (۱۰): نمودار توابع عضویت گوسین برای ورودی میانگین

منظور از ave ، low و high همان درجه‌ی عضویت متغیرهای زبانی می‌باشد (که به صورت عددی بین ۰ و ۱ تعریف شده‌اند) که به ورودی‌ها با توجه به تعاریف ما از ave ، low و high درجه‌ی عضویت نسبت داده می‌شود. جهت افزایش اتوماسیون استخراج راه، پارامترهای توابع عضویت به‌طور اتوماتیک محاسبه می‌شوند. بدین منظور برای هر ورودی (توصیفگرهای میانگین، فشردگی، گریز از مرکز)، میانگین و انحراف معیار بر روی کلیه‌ی پیکسل‌های راه موجود در نتایج کشف اولیه‌ی راه محاسبه می‌شود. سپس مقادیر حاصل برای هر ورودی به دو دسته‌ی

رابطه‌ی (۵)، به صورت تجربی به دست آمده است درواقع در این مقاله روش سعی و خطا جهت محاسبه‌ی پارامترهای توابع عضویت به صورت یک فرمول درآمده است و یک روش نو در زمینه‌ی محاسبه‌ی پارامترهای توابع گوسین می‌باشد. شکل (۱۰) نمودار توابع عضویت گوسی را برای ورودی میانگین نشان می‌دهد.

توجه کنید که در بخش "اگر" تنها از عملگر and استفاده شده است و قانون باید به صورت زیر خوانده شود: مثلاً: اگر میانگین، "کم" و فشردگی، "زیاد" و گریز از مرکز "کم" باشد، آنگاه، پیکسل "راه کم" محسوب می شود.

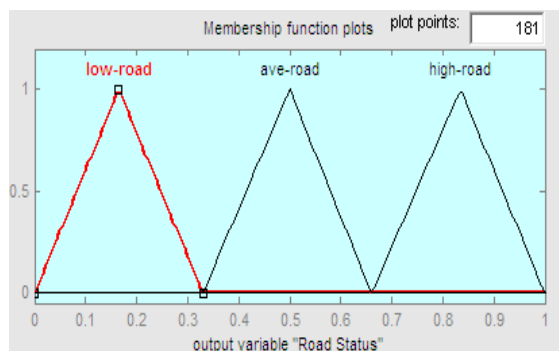
۳) اجتماع خروجی، غیر فازی سازی (دفازی کردن): در این سیستم از استلزام مدانی (Max-min) استفاده شده است که یک روش استنتاج بر مبنای قواعد جداگانه است که در آن هر قاعده در پایگاه فازی یک خروجی فازی را معین کرده و خروجی نهایی، ترکیب خروجی های جداگانه ای هر مجموعه ی فازی خواهد بود و از عملگر max برای اجتماع خروجی ها استفاده شده است. در پایان برای به دست آوردن خروجی غیر فازی (طبقه بندی سخت) از غیر فازی ساز مرکز ثقل استفاده شده است. (رابطه ۶)

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^F \mu_{B'}(y_i) \mu_{A'}(y) y_i}{\sum_{i=1}^F \mu_{B'}(y_i)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

F تعداد المان های y_i در Y می باشد.

پس از این مرحله سایه ها و نواحی همگن با خصوصیات مشابه راه حذف می گردند اما تقاطع راه ها نیز حذف می گردد (شکل ۱۲). علت این امر همان گونه که در تصویر (۱۲) دیده می شود با توجه به مشخصات سطحی مشابه در محل تقاطع راه و سایه ها دور از ذهن نیست. پارامترهای بافت زاویه ای در محل تقاطع راه و سایه ها بسیار شبیه هم هستند و لذا هر دو حذف شده اند. برای رفع این مشکل یک روش جدید برپایه ی همسایگی پیکسل های راه و براساس پیکسل های حذف شده توسعه داده شده است که در ادامه شرح داده شده است.

برای خروجی سیستم فازی (درجه ی راه بودن هر پیکسل که در این تحقیق با Road Status نشان داده شده است) نیز سه تابع عضویت مثلثی تعریف شده است (شکل ۱۱). این سه تابع عضویت که با نام های Ave-Road، Low-Road و High-Road تعریف می شوند به ترتیب نشانگر درجه ی تعلق کم، متوسط و زیاد یک پیکسل به عنوان پیکسل راه هستند. با توجه به این که هم پوشانی بین توابع عضویت خروجی عملاً تأثیر چندانی در نتیجه ندارد، بین سه تابع عضویت خروجی هیچ هم پوشانی در نظر گرفته نشده است. علت استفاده از توابع مثلثی، سادگی در محاسبه خروجی یک سیستم فازی می باشد.



شکل (۱۱): توابع عضویت برای خروجی

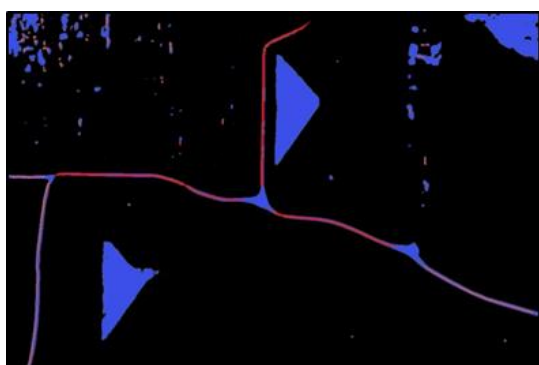
۲) اعمال عملگرهای فازی، روش دلالت : برای قوانین مورد استفاده از تابع min برای عملگر and استفاده شده است. (در قوانین تعریف شده برای این سیستم از عملگر or استفاده نشده است). در این سیستم از تابع min برای برش خروجی استفاده شده است.

• پایگاه قواعد فازی:

درمجموع برای سیستم فازی طراحی شده ده (۱۰) قانون نوشته شد که در جدول (۱) موجودند، ساخت قوانین کارشناسی براساس بررسی نحوه ی رفتار هر پارامتر در پیکسل های راه، غیر راه و عوارض سطحی مشابه تنظیم شده است (به عنوان مثال فشردگی در راه ها کمتر از پارکینگ ها/سایه ها است و غیره).

جدول (۱): قوانین کارشناسی

شماره قانون	میانگین	فشرده‌گی	گریز از مرکز	نتیجه
۱	low	high	low	Low-road
۲	low	low	low	High-road
۳	ave	low	low	High-road
۴	ave	ave	low	High-road
۵	ave	ave	ave	High-road
۶	ave	high	high	ave-road
۷	low	high	high	ave-road
۸	ave	ave	high	ave-road
۹	high	high	Not high	ave-road
۱۰	high	high	high	ave-road



شکل (۱۳): پیکسل‌های حذف شده در فرآیند استنتاج فازی (با رنگ آبی)، پیکسل‌های شناخته شده به عنوان راه در فرآیند استنتاج فازی (با رنگ قرمز)، پیکسل‌های غیرراه (با رنگ مشکی)

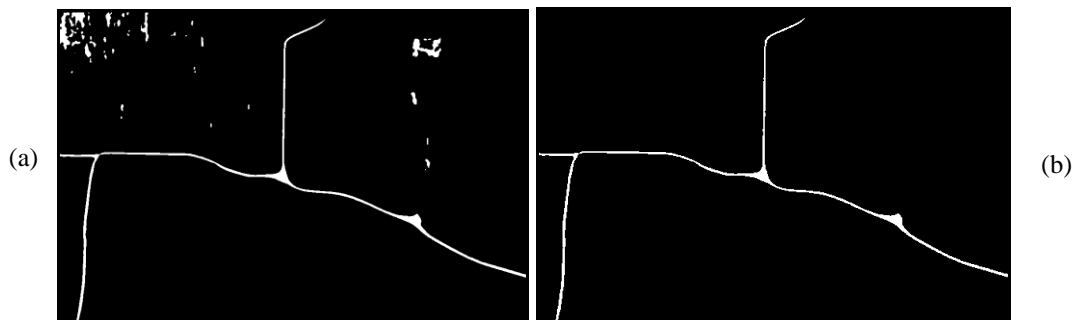
را به سیستم برمی گردانیم. پس از انجام این مرحله، شبکه‌ی راه کامل می گردد اما برخی مسیرهای کوچک، هنوز در تصویر وجود دارند (شکل (a) ۱۴). برای حذف این مسیرهای کوچک تعداد کل پیکسل‌های متصل به هم در هر مسیر کوچک شمرده می شود، چنانچه تعداد پیکسل‌های متصل به هم از یک حد آستانه کوچکتر باشد، کل آن مسیر حذف می گردد (شکل (b) ۱۴).



شکل (۱۲): خروجی سیستم فازی، سایه‌ها حذف شده اند.

۲-۳- بهبود شبکه‌ی راه کشف شده

در مرحله‌ی سوم دو فعالیت صورت می گیرد: جبران پیکسل‌های از دست رفته در تقاطع راه‌ها، کاهش نویز و حذف راه‌های کوتاه. جهت برگرداندن پیکسل‌های واقع در محل تقاطع راه که به اشتباه به همراه سایه‌ها و پارکینگ‌ها حذف شده‌اند، موقعیت پیکسل‌های حذف شده را در کنار پیکسل‌های صد درصد راه شناسایی شده (شکل ۱۳) در نظر می گیریم. هر پیکسلی که در تصویر اصلی به یک پیکسل صد درصد راه متصل بود (پیکسل‌های صد درصد راه همان پیکسل‌هایی هستند که در خروجی مرحله‌ی فازی (شکل ۱۲)، راه تشخیص داده شده‌اند)،



شکل ۱۴: (a) شبکه‌ی راه کامل شده‌است اما مسیرهای کوچک، هنوز وجود دارند، (b): حذف مسیرهای کوچک و به‌دست آوردن خروجی نهایی الگوریتم پیاده‌سازی شده

۳- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

۳-۱- معرفی پارامترهای ارزیابی نتایج

کشف راه یک روش طبقه‌بندی است که در آن تصویر به دو کلاس راه و پس‌زمینه تقسیم‌بندی می‌شود. برای ارزیابی صحت، یک تصویر باینری از تصویر حقیقی استخراج می‌شود، که در آن مقدار ۱ به پیکسل راه و صفر به پیکسل پس‌زمینه اختصاص یافته است. خروجی‌هایی که قصد داریم ارزیابی کنیم (کشف اولیه، کشف ثانویه و کشف نهایی) نیز یک تصویر باینری هستند. اگر مجموع حاصل ضرب مقادیر تمام تصویر باینری و مقادیر متناظر آن در ماتریس خروجی به تعداد کل پیکسل‌های راه تقسیم شود، ضریب درستی آشکارسازی راه^۱ به دست می‌آید و زمانی که تصویر باینری معکوس شود، می‌توان ضریب درستی آشکارسازی پس‌زمینه^۲ را نیز به روش مشابه محاسبه کرد. صحت کلی^۳ و ضریب کاپا^۴ می‌توانند مشابه روش‌های معمول طبقه‌بندی محاسبه شوند. صحت کلی در واقع درصد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در کل تصویر است (حالت خوش‌بینانه‌ی طبقه‌بندی) و ضریب کاپا،

دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر به صورت کاملاً تصادفی طبقه‌بندی شود، به‌دست می‌دهد، این کار را به این صورت می‌توان تفسیر کرد که پس از حذف تاثیر شانس در طبقه‌بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد (حالت بدبینانه‌ی طبقه‌بندی).

۳-۲- اجرا و نتایج حاصل

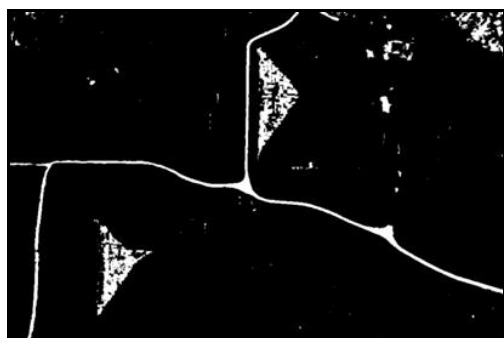
جهت ارزیابی، خروجی نهایی الگوریتم با یک تصویر که در آن راه به صورت دستی (شکل ۱۵-الف) استخراج شده‌است مقایسه شده و پارامترهای ارزیابی دقت برآورد می‌گردد. این پارامترها برای نتیجه‌ی کشف راه از روش ناحیه‌بندی بیشترین درست‌نمایی (شکل ۱۵-ب) نیز برآورد شده تا امکان مقایسه بین نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی و روش‌های سنتی ناحیه‌بندی فراهم آید. جهت همسانی مقایسه یک مرحله کاهش نوفه بر روی تصویر انجام شده است و سپس روش بیشترین درست‌نمایی به کار رفته است. نتایج کمی در (جدول ۲) نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که از جداول و تصاویر مشخص است، تمام پارامترهای ارزیابی در الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش "بیشترین درست‌نمایی" بهترند.

1 Road detection correctness coefficient (RCC)

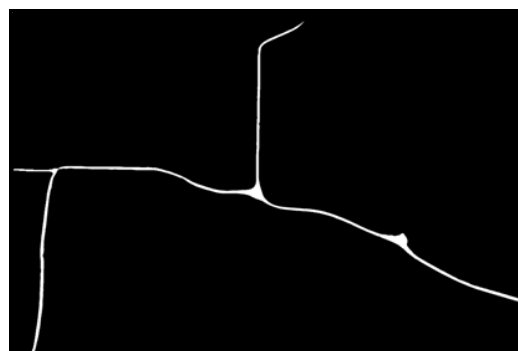
2 Background detection correctness coefficient (BCC)

3 Overall Accuracy

4 Kappa Coefficient



شکل (۱۵-ب). خروجی روش Maximum Likelihood



شکل (۱۵-الف): راه استخراج شده صورت دستی جهت

ارزیابی

جدول ۲. نتایج الگوریتم پیاده‌سازی شده و مقایسه‌ی آن با روش Maximum Likelihood

تعداد پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی شده	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	BCC	RCC	الگوریتم پیاده‌سازی شده
۴۰۷۹۸	٪۲۹/۷	٪۹۴/۲	٪۹۴/۱	٪۹۵/۶	کشف اولیه (K-means)
۶۱۳۰	٪۶۰/۱	٪۹۹/۱	٪۹۹/۸	٪۴۹/۱	کشف ثانویه (Fuzzy)
۱۰۰	٪۹۹/۵	۱۰۰	۱۰۰	٪۹۹/۹	کشف نهایی (الگوریتم پیشنهادی)
۷۴۰۹	٪۶۸/۶	٪۹۸/۹	٪۹۹/۱	٪۸۵/۴	روش Maximum Likelihood

دقت به این نکته ضروری است که هدف استفاده از روش فازی، در مرحله‌ی اول حذف و تفکیک عوارض سطحی مشابه از راه و سپس بهبود این نتیجه است. برای اطمینان از کارایی الگوریتم آن را بر روی تصاویر دیگر نیز پیاده نمودیم. شکل (۱۶) قسمتی از تصویر آیکونوس جزیره‌ی کیش را نشان می‌دهد. در این تصویر سایه‌ی ساختمان‌ها و پوشش گیاهی از لحاظ طیفی به راه شباهت دارند. در این تصویر نیز عرض راه ۶ پیکسل بود. نتایج کمی در جدول (۳) ارائه شده‌اند. همانطور که از جداول و تصاویر مشخص است، تمام پارامترهای ارزیابی بهبود یافته‌اند.

همانند تصویر قبل روش کا-مینز پیکسل‌های زیادی از پس‌زمینه را در کلاس راه قرار می‌دهد و به همین دلیل است که ما سعی می‌کنیم نتایج کا-مینز را بهبود دهیم. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید

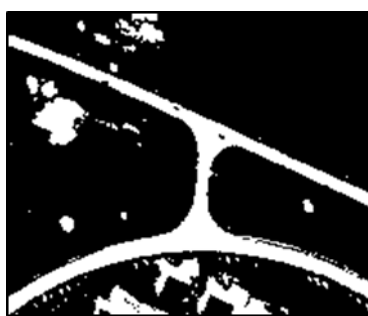
در این تصویر کشف اولیه (یعنی نتیجه‌ی حاصل از خوشه‌بندی K-means) بسیاری از پیکسل‌های راه را به‌درستی تشخیص داده است اما در شناسایی پیکسل‌های پس‌زمینه ناتوان است و تعداد زیادی پیکسل پس‌زمینه در کلاس راه قرار گرفته‌اند. چنین کشف راهی مناسب نمی‌باشد، زیرا نمی‌توان از آن در استخراج راه استفاده کرد. در مرحله‌ی فازی (کشف ثانویه)، به‌دلیل از دست رفتن پیکسل‌های راه در تقاطع راه‌ها و نیز دور راه، RCC کاهش یافته است. برای جبران این مساله همان‌طور که قبلاً ذکر شد از روش اتصال یا عدم اتصال به پیکسل‌های راه استفاده شده است. بهترین نتیجه در هر دو زمینه‌ی شناسایی راه و پس‌زمینه مربوط به روش پیشنهادی است که کمترین اشتباه را در شناسایی پیکسل‌ها داشته (تنها ۱۰۰ پیکسل) و بالاترین ضریب کاپا را داراست.

همان گونه که پارامترهای ارزیابی کشف نهایی نشان می‌دهند، الگوریتم پیشنهادی این تحقیق در هر دو زمینه کشف راه و پس‌زمینه نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

در کشف ثانویه (پس از استفاده از سیستم فازی)، ضریب آشکارسازی راه به شدت کاهش یافته است اما ضریب آشکارسازی پس‌زمینه افزایش یافته است. البته هدف اصلی استفاده از سیستم فازی نیز حذف عوارض با تشابه طیفی نسبت به راه و تشخیص آن از راه است که به این طریق BCC افزایش خواهد یافت.



ج: نقشه‌ی راه تولیدشده به صورت دستی



ب: خروجی k-means (کشف اولیه)



الف: تصویر اصلی

شکل (۱۶): نتایج الگوریتم بر روی تصویر آیکونوس جزیره‌ی کیش



ه: خروجی الگوریتم (کشف نهایی)



ر: خروجی مرحله‌ی فازی (کشف ثانویه)



د: خروجی روش بیشترین درست‌نمایی

جدول ۳. نتایج الگوریتم پیاده‌سازی شده برای تصویر جزیره‌ی کیش و مقایسه‌ی آن

با روش Maximum Likelihood

تعداد پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی شده	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	BCC	RCC	الگوریتم پیاده‌سازی شده
۲۱۵۵	٪۷۴/۵	٪۹۳/۵	٪۹۲/۷	٪۹۹/۵	کشف اولیه (K-means)
۲۴۱۸	٪۵۵/۸	٪۹۲/۷	٪۹۹	٪۴۵/۴	کشف ثانویه (Fuzzy)
۴۵۸	٪۹۳/۳	٪۹۸/۶	٪۹۹/۳	٪۹۳/۶	کشف نهایی (الگوریتم پیشنهادی)
۱۴۴۰	٪۸۰/۲	٪۹۵/۶	٪۹۶/۵	٪۸۸/۸	روش Maximum Likelihood

تشخیص داده و حذف می‌کند. سایر پارامترهای ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با روش (مختارزاده-ولدان زوج ۲۰۰۷) [۱۰]، بهتر و تعداد پیکسل‌هایی که اشتباه تشخیص داده شده‌اند کمتر از یک پنجم ($\frac{1}{5}$) است.

۴- نتیجه‌گیری

بسیاری از الگوریتم‌های استخراج راه در تشخیص راه و عوارض سطحی مشابه (پارکینگ‌ها، ساختمان‌ها و غیره) دچار مشکل هستند برای رفع این مشکل از بافت زاویه‌ای استفاده شده است که پارامتری است که به دلیل آنکه در محاسبات خود عرض راه را در نظر می‌گیرد و همچنین تفاوت‌هایی بنیادین در راه و سایر عوارض طیفی مشابه دارد، نتایج مناسبی را در جهت تشخیص راه نشان داده است.

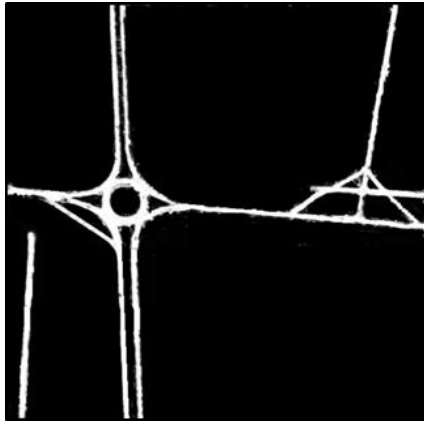
در مرحله‌ی اول می‌توان از هر روش ناحیه‌بندی اعم از نظارت‌شده (بیشترین درست‌نمایی، شبکه‌های عصبی، سیستم‌های فازی، KNN و غیره) و نظارت نشده (خوشه‌بندی k-means، SOM و غیره) استفاده نمود.

روش پیشنهادی، بیشترین تعداد پیکسل را به‌طور صحیح تشخیص داده است و ضریب کاپای بالای این الگوریتم نشان دهنده‌ی کارایی این روش است. الگوریتم طراحی شده می‌تواند هر تصویر ناحیه‌بندی شده را در مرحله‌ی اصلاح بپذیرد، بدین منظور می‌توانیم از خروجی کشف راه الگوریتم‌های دیگر نیز استفاده کنیم. در ادامه نتیجه‌ی کشف راه در [۱۰] را وارد مرحله‌ی دوم الگوریتم کرده و خروجی، بررسی می‌شود. (شکل ۱۷) تصویر ورودی و تصویر مرجع جهت ارزیابی را نشان می‌دهد. شکل (۱۸) و جدول (۴) خروجی الگوریتم را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که در این مورد نیز عرض راه ۶ پیکسل می‌باشد.

در این تصویر ضریب آشکارسازی راه در الگوریتم پیشنهادی اندکی کمتر از (مختارزاده-ولدان زوج ۲۰۰۷) [۱۰] می‌باشد. علت این امر این است که ما برای رسیدن به نتیجه‌ای قابل اعتمادتر از سایر پارامترهای ارزیابی و نیز حذف پارکینگ‌ها مجبور شده‌ایم بخشی از دقت آشکارسازی راه را از دست بدهیم. همان‌طور که پارامترهای ارزیابی کمی و بصری نشان می‌دهند الگوریتم به‌خوبی عوارض سطحی مشابه را

جدول ۴. نتایج الگوریتم پیاده‌سازی شده و مقایسه‌ی آن با روش مختارزاده-ولدان زوج در مقاله [۱۰]

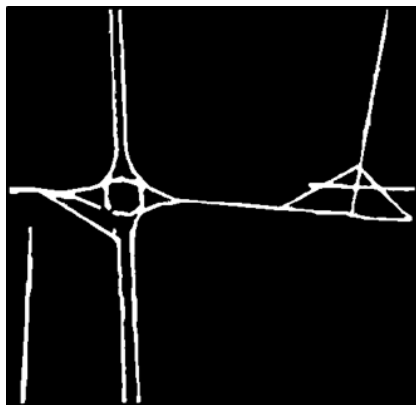
تعداد پیکسل‌های اشتباه طبقه‌بندی شده	Kappa Coefficient	Overall Accuracy	BCC	RCC	الگوریتم پیاده‌سازی شده
۳۲۸۲۸	٪۴۰	٪۸۹/۳	٪۹۰/۲	٪۷۴/۵	روش (Mokhtarzade & Valadan)
۱۱۶۷۶	٪۵۳/۴	٪۹۶/۲	٪۹۹/۷	٪۳۹/۷	کشف ثانویه (Fuzzy)
۶۵۱۵	٪۷۹/۱	٪۹۷/۹	٪۹۹/۴	٪۷۳/۲	کشف نهایی (الگوریتم پیشنهادی)



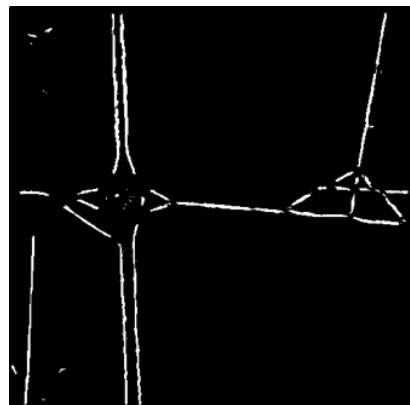
شکل ۱۷-ب: راه استخراج شده به صورت دستی



شکل ۱۷-الف: تصویر ناحیه‌بندی شده با روش شبکه‌ی عصبی (مختارزاده و ولدان زوج) [10]



شکل ۱۸-ب: خروجی الگوریتم پیشنهادی (کشف نهایی)



شکل ۱۸-الف: خروجی مرحله‌ی فازی (کشف ثانویه)

سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود. علت استفاده از سیستم فازی، سادگی و قابل فهم بودن آن است. همچنین سیستم فازی به کار گرفته می‌شود تا مشابه عامل انسانی در تفسیر نتایج عمل کند. خروجی این مرحله با وجود ازدست دادن برخی پیکسل‌های راه قابل قبول بوده و می‌تواند توسط عملگرهای مورفولوژی بهبود داده‌شود.

ایراد مرحله‌ی سوم (بهبود کشف راه) این است که اگر عوارض طیفی مشابه با راه اتصال قوی داشته باشند، الگوریتم دچار مشکل می‌شود. برای چنین تصاویری نیاز به تحقیق دیگری می‌باشد.

این روش به‌خوبی سایه‌ی ساختمان‌ها و پارکینگ‌ها را از راه جدا می‌کند و با توجه به محاسبه‌ی اتوماتیک

با توجه به اینکه محوریت این تحقیق بر مرحله‌ی دوم یعنی حذف عوارض سطحی مشابه با راه می‌باشد، لذا برای مرحله‌ی اول از ساده‌ترین روش ممکن یعنی خوشه‌بندی کا-مینز استفاده شده است که در عین حال درجه‌ی اتوماسیون الگوریتم پیشنهادی را افزایش می‌دهد. بدیهی است امکان جایگزینی این روش با سایر روش‌های ناحیه‌بندی جهت کشف اولیه‌ی راه وجود دارد.

در مرحله‌ی دوم به دلیل تفاوت‌های بنیادین اطلاعات بافت زاویه‌ای در راه‌ها و عوارض سطحی با ویژگی‌های طیفی مشابه (که از مفهوم کشیدگی عارضه‌ی راه حاصل شده است) تعدادی توصیفگر شکلی بافت زاویه‌ای تشکیل شد از این توصیفگرها در

اطلاعاتی نظیر انحنا و جهت راه نیز استفاده کرد. همچنین می‌توان با استفاده از عملگرهای شکل‌شناسی و استخراج اسکلت راه آن را برای ورود به سامانه‌ی اطلاعات مکانی (GIS) آماده کرد. برای کار آینده می‌توان سیستم را طوری ارتقا داد که راه‌هایی با عرض‌های متفاوت را در یک تصویر کشف کند. همچنین بررسی عملکرد روش پیشنهادی بر روی سایر مناطق با پیچیدگی‌های مختلف و تغییرات مورد نیاز به‌عنوان پیشنهادی دیگر جهت تحقیقات تکمیلی معرفی می‌گردد.

پارامترهای فازی و همچنین عدم نیاز به نمونه‌ی آموزشی از درجه‌ی اتوماسیون بالایی برخوردار است. همچنین این روش نتایج بهتری نسبت به روش مرسوم طبقه‌بندی بیشترین شباهت هم از نقطه نظر پارامترهای ارزیابی و هم از نظر رسیدن به درجه‌ی بالایی از اتوماسیون نشان داد. برای کار آینده، نگارنده در نظر دارد که پس از استخراج اسکلت راه، به پیکسل‌های اطراف آن، ارزش یا درجه‌ی اطمینان اختصاص دهد و از این طریق نتایج قابل اعتمادتری به‌دست آورد. همچنین می‌توان از

مراجع انگلیسی

- [1] Price, K., Road Grid Extraction and Verification. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, part 3-2W5, 1999.
- [2] Hinz, S. and Baumgartner, A. (2000): Road Extraction in Urban Areas supported by Context Objects. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 33, Part B3, 2000.
- [3] Amini, J., Saradjian, M.R., Blais, J.A.R., Lucas, C., Azizi, A., 2002. Automatic road side extraction from large scale image maps. Internat. J. Appl. Earth Observat. Geoinformat. 4, 95–107.
- [4] Alharthy, A. Bethel, J., 2003. Automated Road Extraction From LIDAR Data. In: Proceedings of ASPRS, Anchorage, Alaska, unpaginated, CD-ROM.
- [5] Mohammadzadeh, A., Tavakoli, A., Valadan Zoej, M.J., 2004. Automatic linear feature extraction of Iranian roads from high resolution multi-spectral satellite imagery. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, PS ThS 12: Automated Object Extraction and Computer Vision Application, July, 13:30 - 15:30.
- [6] Xiao, Y., Lim, S. K., Tan, T. S., Tay, S. Ch., Feature Extraction Using Very High Resolution Satellite Imagery. IEEE 2004.
- [7] Jianghuaet, Zh., Lei, Y., Kai, H., Yongjun, S., The Fractal Method Study to Distinguish Road and Water from the IKONOS Image, IEEE 2005.
- [8] Mena, J.B. and Malpica, J.A., 2005. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery. Pattern Recognition Letters, 26(9): 1201–1220.
- [9] Mena, J.B., 2006. Automatic vectorization of segmented road networks by geometrical and topological analysis of high resolution binary images. Knowledge-Based Systems 19 : 704–718
- [10] Mokhtarzade, M., Valadan Zoej, M.J., Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 9 (2007) 32–40.
- [11] Mokhtarzade, M., Ebadi. H., Valadan Zoej, M.J., Optimization of Road detection from high-resolution satellite images using texture parameters in neural network classifiers, Can. J. Remote Sensing. Vol. 33, No. 6, pp. 481–491, 2008.
- [12] Mokhtarzade, M., Valadan Zoej, M.J., Ebadi. H., Automatic Road Extraction From High Resolution Satellite Images Using Neural Networks, Texture Analysis, Fuzzy

- Clustering And Genetic Algorithms, IAPRS. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing 2008.
- [13] Zhang, Q.P., Couloigner, I., 2006. Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery. *Pattern Recognition Letters*, 27, pp. 937-946.
- [14] Wan, Y., Shen, Sh., Song, Y., Liu, Sh., A Road Extraction Approach Based on Fuzzy Logic for High-resolution Multispectral Data, IEEE Computer Society, Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007).
- [15] JingShen, XiangguoLin, YunfeiShi, ChengWong, Knowledgebased Road Extraction from High Resolution Remotely Sensed Imagery, IEEE Congress on Image and Signal Processing (Computer Society), China, 2008, pp: 608- 612.
- [16] Yong Liang, Jing Shen, Xiangguo Lin, Junfang Bi, Ying Li, Road tracking by Parallel Angular Texture Signature, IEEE International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications, China, 2008.
- [17] Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Inform. Control*, 8: 338-353.
- [18] Mamdani, E.H. and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13, 1975.
- [19] Sugeno, M., Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co., 1985.



Fuzzy Systems for Automatic Road Network Detection from High Resolution Satellite Images accentuating on Angular Texture Information

Mohammad Ali Salehi Amin ^{1*}, Mehdi Mokhtarzade ², Mohammad Javad Valadan Zoej ³

1- MSc. Graduate in Remote Sensing, K.N. Toosi University of Technology

2- Assistant Professor, K.N. Toosi University of Technology

3- Associate Professor, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

In this paper an efficient method for automatic road detection from high-resolution multi-spectral IKONOS images is presented. The system includes four main steps: In the first step the input image is segmented into road and background classes using K-means clustering and then some misclassification pixels in road binary map are removed using a median filter. In the second step, angular texture shape descriptors (mean, compactness and eccentricity) are driven for every road pixel in road binary map. In the third step, these descriptors are introduced into a fuzzy inference system. In the fuzzy system each descriptor is introduced as a linguistic variable with Gaussian membership functions while their parameters are set automatically according to statistical properties of each descriptor. Also, some fuzzy if-then rules are established. By using the centroid defuzzification, road network is distinguished from other spectrally similar classes (shadows, buildings, parking lots and etc). Then, road network is completed by connecting road pixels together and removed of small paths. In the last step of system evaluation, obtained results are compared with manually extracted road network and some accuracy assessment parameters are computed. The conventional maximum likelihood classification (MLC) is also implemented and the same accuracy assessment parameters are determined for comparison. Preliminary results show the effectiveness of the methodology of this paper in both resembling the desired results of road networks and achieving a good automation level. Furthermore, it outperforms MLC to high extent.

.

Key words: K-means, Angular Texture, Fuzzy, Automatic road detection.