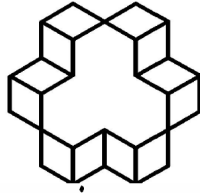


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Handwritten Arabic calligraphy in a stylized, bold script. The text is arranged in a circular or semi-circular pattern. The words are: بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ. The calligraphy features thick black lines and includes several small numbers (1, 2, 3) and arrows indicating stroke direction and order. The word 'بِسْمِ' is on the left, 'اللَّهُ' is in the center, and 'الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ' is on the right. The word 'اللَّهُ' is written with a large 'ل' and 'ا'.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری (ژئودزی و ژئوماتیک)

پایان نامه کارشناسی ارشد- مهندسی عمران نقشه برداری
گرایش مهندسی فتوگرامتری

عنوان

آشکارسازی تغییرات مبتنی بر میدان‌های تصادفی مارکوف بر روی تصاویر SAR

اساتید راهنما

دکتر محمودرضا صاحبی

دکتر محمدجواد ولدان زوج

نگارش

سارا صالحی

زمستان ۱۳۹۱

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این تحقیق متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل تحقیق یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا معاونت پژوهشی دانشگاه مجاز می باشد.
 - ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در تحقیق بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیم به

مهربان فرشتگانی که محظرات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت
رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست.

تقدیم به خانواده عزیزم.

تقدیر و تشکر

منت خدای را عزوجل، که بی اذن او بر هیچ کاری شروع و بی رخصت هیچ فرجامی بر هر کار نخواهد بود. حال که توفیق جمع آوری و تهیه این مجموعه را یافته‌ام بر خود واجب می‌دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از راهنمایی و یاری‌شان بهره‌مند گشته‌ام تشکر و قدردانی کنم و برای ایشان از درگاه پروردگار مهربان آرزوی سعادت و پیروزی نمایم.

در ابتدا بر خود واجب می‌دانم از زحمات اساتید گرامی دکتر محمد رضا صاحبی و دکتر محمد جواد ولدان زوج که با سه صدر و صبوری مرارتهایی نموده و بار بار نظرات سازنده و راهنمودهای بی‌دریغشان در پیشبرد این پایان‌نامه سعی تمام مبذول داشتند، و راهنمایی‌های ایشان به عنوان اساتید راهنما در تمامی مراحل پایان‌نامه را هکشتای من بود، کمال قدردانی را بعمل آورم.

جادار و در انتها از زحمات بی‌منت پدر و مادر عزیزم که همواره حامی و مشوق من در راه آموختن علم بوده‌اند، قدردانی کنم. و در پایان از تمام عزیزانی که به نحوی در انجام این پایان‌نامه از همکاری‌ها و راهنمایی‌های آنان بهره‌مند بوده‌ام نهایت تشکر و قدردانی را دارم. امیدوارم این کوشش که مسابری از ایراد نیست، مورد استفاده دانشجویان و مورد قبول اساتید محترم قرار گیرد.

چکیده

استفاده از داده‌های چند کاناله^۱ سنجنده‌های رادار با روزنه مجازی (SAR^2) به دلیل مستقل بودن از شرایط جوی و نور خورشید و نیز دارا بودن قابلیت بالا در استخراج تغییرات در مقایسه با حالت تک کاناله، در کاربردهای مختلفی مانند نظارت بر محیط زیست و مدیریت بلایای طبیعی بسیار توجیه‌پذیر است. با این حال، بهره‌برداری از این قابلیت‌ها نیازمند استفاده از روش‌های دقیق و اتوماتیک برای تولید نقشه‌های تغییرات از تصاویر اخذ شده از منطقه جغرافیایی یکسان، در پلاریزاسیون‌ها و یا فرکانس‌های مختلف مربوط به زمان‌های متفاوت می‌باشد. از طرف دیگر، در نظر گرفتن وابستگی مکانی مابین پیکسل‌های همسایه می‌تواند به حذف خطاهای برجسب‌گذاری پیکسل‌های منفرد کمک کرده و نقشه تغییرات را بهبود بخشد. حذف نویز نقطه‌ای و ماهیت ایزوتروپیک مدل‌سازی میدان‌های تصادفی مارکوف، موجب نرم شدن مرزهای مکانی بین مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته در نقشه تغییرات نهایی می‌گردد. به منظور حذف یا حتی‌الامکان کاهش این اثر نامطلوب، استفاده از مدل مارکوف در راستای دخیل نمودن اطلاعات لبه‌ها در فرآیند برجسب‌گذاری پیشنهاد می‌گردد. این روند موجب بهبود دقت لبه‌ها در محل مرزهای مکانی شده و دقت آشکارسازی تغییرات را ارتقاء می‌بخشد.

در این تحقیق، یک مدل مارکوف به منظور تشخیص نظارت‌نشده تغییرات از طریق ترکیب اطلاعات موجود در هر یک از کانال‌های SAR، اطلاعات بافت مکانی و نیز اطلاعات لبه معرفی شده و با استفاده از "توابع انرژی" فرموله شده است. به منظور برآورد پارامترهای مدل، الگوریتم بیشینه‌سازی امید ریاضی (EM^3) با روش مشتقات لگاریتمی ($MoLC^4$) ترکیب شده است. الگوریتم پیشنهادی با داده‌های واقعی و نیمه‌شبیه‌سازی شده ASAR-ENVISAT ارزیابی شده است.

¹ Multichannel

² Synthetic Aperture Radar

³ Expectation-maximization algorithm

⁴ Method of log-cumulants

بر اساس نتایج، اضافه نمودن اطلاعات لبه برای داده‌های نیمه‌شبیه‌سازی‌شده، دقت کلی را به طور متوسط ۱۲٪ و برای داده‌های واقعی به طور متوسط ۶٪ افزایش داده است. الگوریتم پیشنهادی قابلیت شناسایی هر سه نوع تغییرات (کم-متوسط-زیاد) را دارا می‌باشد، این در حالی است که با در نظر گرفتن اطلاعات باندها و بافت مکانی، قدرت شناسایی تغییرات کم و متوسط بسیار پایین برآورد شده است. همچنین با توجه به تعداد دفعات تکرار پایین، زمان اجرای الگوریتم تا حد بالایی کاهش یافته است.

کلمات کلیدی: میدان‌های تصادفی مارکوف، اطلاعات بافت مکانی، اطلاعات لبه،

سنجندهای رادار با روزنه مجازی، مینیمم‌سازی انرژی، آشکار سازی تغییرات

| | |
|----|---|
| ح | ۲-۱-۱- فهرست |
| د | ۳-۱-۱- فهرست اشکال |
| ز | ۴-۱-۱- فهرست جداول |
| ۱ | فصل ۱ مقدمه |
| ۲ | ۲-۱- تعریف مسئله |
| ۶ | ۳-۱- پیشینه تحقیق |
| ۱۳ | ۴-۱- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق |
| ۱۴ | ۵-۱- اهداف و سوالات تحقیق |
| ۱۵ | ۶-۱- روش انجام تحقیق |
| ۱۸ | ۷-۱- ساختار پایان نامه |
| ۲۰ | فصل ۲ مبانی نظری تحقیق |
| ۲۱ | ۱-۱- آشکارسازی تغییرات |
| ۲۵ | ۱-۱-۱- تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات |
| ۳۲ | ۲-۱-۱- تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات مربوط به دسته طبقه‌بندی |
| ۳۴ | ۳-۱-۱- آشکارسازی تغییرات داده‌های SAR |
| ۳۷ | ۲-۲- میدان‌های تصادفی در آنالیز بافتی تصویر |
| ۳۹ | ۱-۲-۱- میدان‌های تصادفی مارکوف |
| ۴۱ | ۲-۲-۱- استعمال بافت مکانی توسط میدان‌های تصادفی مارکوف |
| ۴۵ | ۳-۲-۱- میدان تصادفی گیبس |
| ۴۶ | ۴-۲-۱- هم ارزی MRF-GRF |
| ۴۶ | ۵-۲-۱- مینیمم سازی انرژی |
| ۵۲ | ۳-۳-۱- احیاء لبه‌ها توسط میدان‌های تصادفی مارکوف |
| ۵۲ | ۱-۳-۱- تشخیص لبه |
| ۵۳ | ۲-۳-۱- برجسب‌گذاری لبه با استفاده از فرآیند خطی |
| ۵۶ | ۳-۳-۱- الگوهای ممنوعه لبه |
| ۵۸ | فصل ۳ مدل‌سازی روش پیشنهادی |
| ۵۹ | ۱-۳-۱- متدولوژی روش پیشنهادی |
| ۶۰ | ۲-۳-۱- توسعه الگوریتم CFED به منظور تشخیص لبه‌های تصویر SAR |
| ۶۱ | ۱-۲-۳- کلاس‌های پیکسل‌های تصویر |
| ۶۳ | ۲-۲-۳- توابع عضویت مجموعه فازی (FSMFs) |
| ۶۶ | ۳-۳-۱- الگوریتم CANNY به منظور تشخیص لبه‌های تصویر SAR |
| ۶۷ | ۴-۳-۱- تلفیق اطلاعات با استفاده از مدل میدان تصادفی مارکوف پیشنهادی |
| ۷۰ | ۱-۴-۳- تخمین پارامترهای مدل مارکوف |

| | |
|-----------|--|
| ۷۱ | ۲-۴-۳- مقداردهی اولیه با الگوریتم GKIT |
| ۷۳ | ۵-۳- ارزیابی نتایج |
| ۷۴ | فصل ۴ پیاده‌سازی و نتایج |
| ۷۵ | ۱-۴- منطقه مطالعاتی و داده‌ها |
| ۷۷ | ۲-۴- پیاده‌سازی و نتایج |
| ۷۷ | ۳-۴- آشکارسازی تغییرات برای داده‌های نیمه شبیه‌سازی شده |
| ۷۷ | ۱-۳-۴- حالت تک باند |
| ۸۰ | ۲-۳-۴- نتایج تجربی آشکارسازی تغییرات با رویکرد تلفیق اطلاعات |
| ۸۶ | ۴-۴- آشکارسازی تغییرات برای داده‌های واقعی |
| ۸۶ | ۱-۴-۴- حالت تک باند |
| ۸۸ | ۲-۴-۴- نتایج تجربی آشکارسازی تغییرات با رویکرد تلفیق اطلاعات |
| ۹۳ | فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات |
| ۹۴ | ۱-۵- نتیجه‌گیری |
| ۹۷ | ۲-۵- پیشنهادات |
| ۹۹ | منابع و ماخذ |

۱-۱-۳- فهرست اشکال

| شماره | صفحه |
|---|------|
| شکل ۱-۱، فلوجارت مراحل کلی انجام تحقیق..... | ۱۸ |
| شکل ۱-۲، همسایگی درجات (الف) اول، (ب) دوم و (ج) پنجم (Tso and Mather, 2001)..... | ۴۱ |
| شکل ۲-۲، تعریف یک همسایگی ساده در اطراف پیکسل m (Richards and Xiuping, 2006)..... | ۴۲ |
| شکل ۳-۲، الگوهای الف تا ج گروهک‌های درجه اول ممکن با سیستم همسایگی را نشان می‌دهد (Tso and Mather, 2001)..... | ۴۵ |
| شکل ۴-۲، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید (Li, 2009)..... | ۵۱ |
| شکل ۵-۲، شبکه‌ای از موقعیت‌ها (نقاط) و موقیت‌های دوگانه (میل‌ها) در سیستم همسایگی ۴ تایی (Li, 2009)..... | ۵۳ |
| شکل ۶-۲، الگوهای ممنوع لبه (Li, 2009)..... | ۵۶ |
| شکل ۷-۲، لبه‌های افقی و عمودی (Li, 2009)..... | ۵۷ |
| شکل ۱-۳، فلوجارت مراحل کلی انجام تحقیق..... | ۵۹ |
| شکل ۲-۳، کلاس‌های لبه، (الف) کلاس ۱، (ب) کلاس ۲، (ج) کلاس ۳، (د) کلاس ۴..... | ۶۱ |
| شکل ۳-۳، پیکسل‌ها و جهات در یک همسایگی 3×3 (Liang and Looney, 2003)..... | ۶۱ |
| شکل ۴-۳، دیگر همسایگی‌ها (الف) کلاس لبه نقطه‌ای، (ب) کلاس لبه نقطه‌ای، (ج) کلاس لبه منظم، (د) کلاس لبه منظم..... | ۶۳ |
| شکل ۵-۳، نمایی سه بعدی از FSMFs (Looney, 2001)..... | ۶۳ |
| شکل ۶-۳، روند کلی الگوریتم Advanced CFED جهت تهیه نقشه باینری پیکسل‌های لبه / غیر لبه..... | ۶۵ |
| شکل ۱-۴، تصویر ماهواره‌ای ASAR ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱..... | ۷۵ |
| شکل ۲-۴، مجموعه داده‌های واقعی ASAR (الف) ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱ (ب) ۲۱ نوامبر ۲۰۱۱..... | ۷۶ |
| شکل ۳-۴، (الف) تصویر ماهواره‌ای ASAR-HH ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱ (ب) تصویر ماهواره‌ای نیمه‌شبیه‌سازی شده دوم (ج) نقشه آزمون (د) نقشه‌های تغییرات حاصل شده با مقداردهی اولیه GKIT و تابع چگالی احتمال LN (و) NR (ی) WR..... | ۷۸ |

شکل ۴-۴، (الف) تصویر ماهواره‌ای ASAR-HV ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱ (ب) تصویر ماهواره‌ای نیمه‌شبیه‌سازی شده دوم (ج) نقشه آزمون (د) نقشه‌های تغییرات حاصل شده با مقداردهی اولیه GKIT و تابع چگالی احتمال LN (و) NR (ی) WR ۷۹

شکل ۵-۴، نقشه‌های تغییرات حاصل شده از (الف) تلفیق اطلاعات دو باند با ملاک قرار دادن باند HH و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ب) NR (ج) WR (د) تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Advanced CFED و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ر) NR (س) WR (و) تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Canny و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ه) NR (ی) WR ۸۲

شکل ۶-۴، نقشه‌های تغییرات حاصل شده از (الف) تلفیق اطلاعات دو باند با ملاک قرار دادن باند HV و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ب) NR (ج) WR (د) تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Advanced CFED و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ر) NR (س) WR (و) تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Canny و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ه) NR (ی) WR ۸۳

شکل ۷-۴، نمودار مقایسه نحوه عملکرد الگوریتم‌های GKIT، Advanced CFED و Canny به ازای توابع چگالی احتمال LN، NR و WR (الف) دقت تشخیص پلاریزاسیون HH (ب) نرخ خطای کل پلاریزاسیون HH (ج) دقت تشخیص پلاریزاسیون HV (د) نرخ خطای کل پلاریزاسیون HV ۸۵

شکل ۸-۴، تصویر ماهواره‌ای ASAR-HH (الف) ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱ (ب) ۲۱ نوامبر ۲۰۱۱ (ج) نقشه آزمون (د) نقشه‌های تغییرات حاصل شده با مقداردهی اولیه GKIT و تابع چگالی احتمال LN (و) NR (ی) WR ۸۶

شکل ۹-۴، تصویر ماهواره‌ای ASAR-HV (الف) ۲۴ جولای سال ۲۰۱۱ (ب) ۲۱ نوامبر ۲۰۱۱ (ج) نقشه آزمون (د) نقشه‌های تغییرات حاصل شده با مقداردهی اولیه GKIT و تابع چگالی احتمال LN (و) NR (ی) WR ۸۷

شکل ۱۰-۴، نقشه‌های تغییرات حاصل شده از (الف) تلفیق اطلاعات دو باند و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ب) NR (ج) WR ۸۸

شکل ۱۱-۴، نقشه‌های تغییرات حاصل شده از تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Advanced CFED و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ر) NR (س) WR ۸۹

شکل ۱۲-۴، نقشه‌های تغییرات حاصل شده از تلفیق اطلاعات لبه حاصل از روش Canny و استفاده از تابع توزیع احتمال LN (ه) NR (ی) WR ۸۹

شکل ۴-۱۳، مقایسه دقت مرزهای مکانی بین مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته حاصل شده از (ب)-(د)-(ه) رویکرد تلفیق اطلاعات دو باند و (ج)-(و)-(ی) دخیل نمودن اطلاعات لبه به ازای (الف) نقشه آزمون و توابع توزیع احتمال LN (ردیف اول) NR (ردیف دوم) WR (ردیف سوم)..... ۹۱

شکل ۴-۱۴، نمودار مقایسه نحوه عملکرد الگوریتم‌های GKIT، Advanced CFED و Canny به ازای توابع چگالی احتمال LN، NR و WR (الف) دقت تشخیص پلاریزاسیون HH (ب) نرخ خطای کل پلاریزاسیون HH..... ۹۲

| شماره | صفحه |
|---|------|
| جدول ۱-۲، خلاصه تکنیک‌های آشکارسازی تغییرات مربوط به دسته طبقه‌بندی..... | ۳۲ |
| جدول ۱-۳، کلاس‌ها و بردارهای نمونه اولیه آن‌ها..... | ۶۲ |
| جدول ۱-۴، نحوه عملکرد الگوریتم GKIT..... | ۸۰ |
| جدول ۲-۴، نحوه عملکرد الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات، (۱) با استفاده از مقداردهی اولیه GKIT و تلفیق اطلاعات باندها، (۲) تلفیق اطلاعات لبه با استفاده از آشکارساز لبه (Advanced CFED، ۳) تلفیق اطلاعات لبه با استفاده از آشکارساز لبه Canny..... | ۸۴ |
| جدول ۳-۴، نحوه عملکرد الگوریتم GKIT..... | ۸۷ |
| جدول ۴-۴، نحوه عملکرد الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات، (۱) با استفاده از مقداردهی اولیه GKIT و تلفیق اطلاعات باندها، (۲) تلفیق اطلاعات لبه با استفاده از آشکارساز لبه (Advanced CFED، ۳) تلفیق اطلاعات لبه با استفاده از آشکارساز لبه Canny..... | ۹۰ |

فصل ۱

مقدمه

در این فصل ویژگی‌های تحقیق تعریف می‌شود. این کار با تعریف مسئله و ضرورت و انگیزه‌های تحقیق آغاز می‌شود. مروری بر تحقیقات گذشته صورت گرفته و براساس محدودیت‌هایشان، اهداف تحقیق تشریح می‌گردد. همچنین روش دست‌یابی به جواب سؤالات تحقیق به تفصیل در این فصل ذکر شده است.

۱-۲- تعریف مسئله

آشکارسازی تغییرات کاربری/پوشش زمین با استفاده از تصاویر سنجش از دور چندزمانه بسیار حائز اهمیت است. این تکنیک به درک روابط پویا بین پدیده‌های انسانی و طبیعی کمک کرده، لذا تصمیم‌گیری صحیح، تسهیل مدیریت و استفاده بهینه از منابع را امکان‌پذیر می‌سازد (Singh, 1989; Lu et al., 2004).

در سال‌های اخیر، تصاویر چند زمانه اخذ شده توسط سنجنده‌های رادار با روزه مجازی (SAR)، به دلیل مستقل بودن از شرایط جوی و نور خورشید و نیز دارا بودن داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا (تا ۱ متر) و امکان مشاهده مجدد در بازه زمانی کوتاه (تا ۱۲ ساعت)، به منظور آشکارسازی تغییرات و در راستای پایش محیط و مدیریت بحران مورد توجه قرار گرفته‌اند (Fransson et al., 2002; Siegert and Hoffmann, 2000; Moser and Serpico, 2010). با این وجود، SAR در اغلب موارد تنها امکان یک مشاهده دامنه/شدت را فراهم ساخته و در تمییز دادن مناطق تغییر یافته و بدون تغییر ضعیف عمل می‌کند. بنابراین، انتظار می‌رود در SAR چند کاناله (چند پلاریزاسیونه/ چند فرکانسه)، در مقایسه با SAR تک کانال، قابلیت تمییز دادن تفاوت‌ها با حفظ ویژگی عدم حساسیت به شرایط جوی و نور خورشید افزایش یابد.

گستره وسیعی از روش‌های آشکارسازی تغییرات تصاویر SAR از طبقه‌بندی پیکسل پایه^۱ استفاده می‌کنند و به هنگام نسبت دادن برچسب به یک پیکسل توجهی به برچسب پیکسل‌های همسایه نخواهند داشت. با این وجود، در بسیاری از کاربردها محدوده تغییر مهم بوده و تعیین

¹ Pixel-wise classification

محدوده تغییر از طریق طبقه‌بندی پیکسل پایه امکان‌پذیر نمی‌باشد. در روش‌های پیکسل پایه، توزیع احتمالات معرف تغییر یا عدم تغییر، به طور قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر همپوشانی داشته و لذا نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات حاوی مقدار زیادی نویز بوده و تعیین مرزهای تغییرات به طور دقیق دشوار خواهد بود (Vaccaro et al., 2000). برای غلبه بر این مشکل یک راه‌کار ممکن دخیل نمودن قیود همگن بودن (قیود بافت مکانی)، به صورت محلی، در مدل می‌باشد (Aanæs et al., 2009). این قیود در تفسیر تصاویر بسیار مهم بوده و از ویژگی‌های طیفی، مکانی و زمانی قابل استخراج می‌باشند (Solberg et al., 1996; Tso and Mather, 2001).

این اطلاعات نتایج طبقه‌بندی بهتری تولید کرده، ابهام اطلاعات را کاهش داده و اطلاعات از دست رفته را بازیابی می‌نمایند (Bruzzone and Prieto, 2000). یکی از مدل‌های قابل استفاده در راستای دخیل نمودن این قیود، میدان‌های تصادفی مارکوف (MRF^1) می‌باشند که به هنگام پردازش تصاویر، قادر به توصیف ارتباط مکانی بین درجات خاکستری یا برچسب‌های عوارض مد نظر (ارتباط بین کلاس‌های مربوطه) می‌باشند (Aanæs et al., 2009; Liming et al., 2007). این مدل‌ها از مدت‌ها پیش به طور گسترده برای کاربردهای سطح پایین² همچون فیلترینگ، قطعه‌بندی، طبقه‌بندی، حل مشکلات مربوط به ترمیم تصاویر و بازسازی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Jackson and Landgrebe, 2002; Solberg et al., 1996; Besag, 1974; Geman and Geman, 1984). از کاربردهای سطح بالای³ میدان‌های تصادفی مارکوف اعمال آن‌ها بر روی گراف‌های مربوط به نواحی به منظور تفسیر کلی تصاویر SAR می‌باشد.

به دلیل توانایی MRF در استخراج اطلاعات بافت مکانی در فرآیند طبقه‌بندی، قبل از به کار بستن این روش نیازی به حذف نویز نقطه‌ای نیست. این مدل‌ها طی یک فرآیند تکرار شونده، اطلاعات مکانی و چند منبعه را از طریق کمینه نمودن توابع انرژی مناسب مدل‌سازی می‌کنند

¹ Markov Random Fields

² low level

³ high level

(Li, 2009). با این رویکرد، حتی اگر نقشه ابتدایی دارای دقت بالایی نباشد، الگوریتم با تعداد دفعات تکرار پایین در نهایت به یک نقشه تغییرات دقیق همگرا می‌گردد. همچنین این مدل به ازای تصاویر SAR چند زمانه بسیار نویزی نیز از ثبات¹ بالایی برخوردار است (Moser and Serpico, 2009). استفاده از تکنیک‌های مارکوف می‌تواند با اطلاعات اولیه کم یا زیاد صورت پذیرد، البته با استفاده از اطلاعات اولیه تعدیل شده می‌توان به نتایج بهتری رسید.

از طرف دیگر باید در نظر داشت که تغییرات در تصاویر سنجش از دور معمولاً همراه با ظهور یا حذف برخی از لبه‌ها می‌باشد. پیکسل‌های لبه به عنوان موقعیتی در یک تصویر که در آن تنوع قابل توجهی در درجه خاکستری (با درجه شدت رنگ) چند پیکسل در یک جهت ثابت وجود دارد تعریف می‌گردند. این پیکسل‌ها مرزهایی منحنی شکل یا بصورت خط راست ایجاد می‌کنند و یکی از مهم‌ترین سرنخ‌های بصری برای تفسیر تصاویر می‌باشند. تشخیص لبه رایج‌ترین روش برای تشخیص ناپیوستگی‌های معنی‌دار در درجات خاکستری می‌باشد. در روند تشخیص لبه، تصویر به جزئیات لبه خلاصه شده و این اطلاعات اغلب در عملیات آنالیز بعدی تصویر به منظور شناسایی و تشخیص عوارض استفاده می‌گردند.

روش‌های مختلفی از جمله فیلتر Sobel، فیلتر Prewitt، فیلتر لاپلاسیان گاوسی، اپراتور Shen و Castan و اپراتور Canny و Deriche، برای تشخیص لبه وجود دارد. برخی از مشکلات مشترک این روش‌ها حجم زیاد محاسبات، حساسیت به نویز، ناهمسانگردی و خطوط ضخیم می‌باشد (Gose et al., 1996; Efford, 2000).

Russo و Ramponi، قوانین فازی را برای تشخیص لبه طراحی نمودند (Russo, 1992; Russo and Ramponi, 1992; Russo, 1993). متدهای ارائه شده توسط آن‌ها نیازمند مجموعه قواعد نسبتاً بزرگ در مقایسه با روش‌های ساده‌تر فازی می‌باشند (Looney, 2000).

¹ Robust

شبکه‌های عصبی می‌توانند برای تشخیص لبه‌ها آموزش ببینند (Looney, 1997) و شبکه‌های اتصال عملگر پایه شعاعی¹ برای این کار بسیار قوی عمل می‌کنند (Looney, 2002).

پیکسل‌های واقع در محل لبه‌ها کمتر تحت تاثیر پیکسل‌های همسایه خود می‌باشند و برچسب‌های مختلفی اخذ می‌کنند، این درحالی است که بین پیکسل‌های دور از لبه‌ها معمولاً همبستگی بالایی مشاهده شده و احتمال اخذ نمودن برچسب یکسان برای آن‌ها بیشتر است. بر اساس مطالعات انجام شده در این زمینه، مرزهای مکانی بین مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته در نقشه تغییرات تولید شده نهایی به دلیل اثر نرم‌کنندگی حذف نویز نقطه‌ای و نیز فرمول‌بندی ایزوتروپیک مدل‌های مارکوف، بیش از اندازه نرم می‌گردند (Angiati et al., 2010). از طرف دیگر زمانی که موقعیت پیکسل‌ها از لحاظ مکانی (در صفحه $x-y$) گسسته‌سازی² شدند، مقادیر پیکسل‌ها نویزی می‌گردند. لذا ناپیوستگی‌ها، مقدار بیشینه و کمینه به خوبی تعریف نشده و تعاریفشان منجر به بروز مشکلاتی در زمینه تشخیص لبه‌ها می‌گردد (Li, 2009).

در این تحقیق، به منظور برچسب‌دهی به پیکسل‌ها به اطلاعات تک پیکسل اکتفا نشده و با استفاده از مدل‌سازی مارکوف، اطلاعات پیکسل‌های همسایه (اطلاعات بافت مکانی) نیز مد نظر قرار می‌گیرند. اطلاعات موجود در باندهای مجزا منبع اطلاعاتی دیگری است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین به منظور تشخیص لبه‌ها از الگوریتم شناخته شده Canny و نیز طبقه‌بندی‌کننده فازی ویژه‌ای تحت عنوان الگوریتم فازی رقابتی تشخیص لبه (CFED³) که به آموزش نیاز ندارد استفاده شده است. پس از آن اطلاعات لبه از طریق مدل میدان‌های تصادفی مارکوف پیشنهادی در روند تشخیص تغییرات، دخیل شده‌اند.

¹ Radial basis functional link nets

² Quantization

³ Competitive fuzzy edge detection

نسبت‌گیری و تفاضل‌گیری دو تکنیک معروف برای آشکارسازی تغییرات در تصاویر سنجش از دور چند زمانه می‌باشند، که با مقایسه یک جفت تصویر چند زمانه و تقسیم یا کم کردن پیکسل به پیکسل مقادیر تصویر، یک تصویر تفاوت تولید کرده و سپس به منظور تفکیک کمی مناطق تغییر یافته و تغییر نیافته آستانه‌گذاری را اعمال می‌کنند. به دلیل ماهیت ضربی نویز نقطه‌ای، برای مقایسه تصاویر SAR دو زمانی بهتر است از اپراتور نسبت‌گیری به جای اپراتور تفاضلی استفاده شود (Rignot and van Zyl, 1993). تاکنون تحقیقات متنوعی در راستای آشکارسازی تغییرات تصاویر SAR با استفاده از نسبت‌گیری انجام شده است (Bazi et al., 2005; Dekker, 1998). در تحقیقات ذکر شده، به منظور تفکیک‌پذیری بین پیکسل‌های تغییر یافته/نیافته در تصویر تفاوت، تنها به اطلاعات موجود در یک پیکسل اکتفا شده و توجهی به اطلاعات بافت مکانی در اطراف یک پیکسل نشده است. این در حالی است که میان مقادیر درجه روشنایی پیکسل‌های همسایه، همبستگی مکانی قابل توجهی وجود دارد و یک پیکسل متعلق به یک کلاس به احتمال زیاد توسط پیکسل‌های متعلق به همان کلاس احاطه شده است. از سوی دیگر، در صورت در نظر نگرفتن اطلاعات بافت مکانی، بدلیل اثر نویز نقطه‌ای در تصاویر SAR احتمال رخداد تعداد زیادی نقاط پراکنده به جای نواحی به هم پیوسته در نتایج بدست آمده برای تغییرات، افزایش خواهد یافت (Vaccaro et al., 2000).

گستره وسیعی از روش‌های آشکارسازی تغییرات تصاویر SAR از طبقه‌بندی پیکسل‌پایه استفاده می‌کنند و به هنگام نسبت دادن برچسب به یک پیکسل توجهی به برچسب پیکسل‌های همسایه نخواهند داشت. استفاده از یک الگوریتم پیکسل پایه برای تولید تصویر تغییرات اولیه به معنای تبدیل داده‌های مشاهداتی به یک تصویر باینری است، که درجات خاکستری‌اش نشان‌دهنده تغییر یا عدم تغییر می‌باشد. این رویکرد موجب از دست دادن یکسری اطلاعات می‌گردد. این دسته از الگوریتم‌ها بشدت وابسته به تصویر تغییرات اولیه بوده و نسبت سیگنال به

نویز تصاویر مشاهده شده و تصویر اختلاف بسیار پایین خواهد بود. این امر باعث طبقه‌بندی اشتباه نواحی تغییر یافته/ نیافته در تصویر تغییرات اولیه می‌شود. لذا می‌توان پس از برآورد تصویر تغییرات اولیه آن را با استفاده از MRF بهبود بخشید (Wiemker, 1997). همچنین، پس از برآورد تصویر اختلاف، در صورت استفاده از دو حد آستانه بالا و پایین، مقادیر درجه خاکستری کم‌تر از حد آستانه پایین به کلاس قطعا تغییر نیافته و مقادیر بیشتر از حد آستانه بالا به کلاس قطعا تغییر یافته تعلق خواهند داشت. این در حالی است که برای پیکسل‌های واقع در مابین این دو حد آستانه نیاز به پردازش بیشتر از طریق بکارگیری اطلاعات بافتی- مکانی بر اساس MRF می‌باشد (Prieto and Bruzzone, 2000).

ممکن است مدل‌سازی MRF برای تصویر اختلاف و یا تصویر تغییرات اولیه حاصل از دو حد آستانه بالا و پایین (بررسی شده در دو تحقیق قبل) با در نظر گرفتن این مسئله که از تمام اطلاعات تصویر بطور کامل استفاده نشده و تضمینی برای حفظ ویژگی‌های MRF وجود ندارد، معتبر نباشد. لذا لزوم توسعه یک الگوریتم¹ ICD که اطلاعات اضافی موجود در تصویر را بکار بسته و ویژگی‌های MRF را حفظ می‌کند، مطرح می‌شود.

Kasetkasem و Varshney (۲۰۰۲) به منظور آشکارسازی تغییرات به جای مدل‌های پیکسل مبنا از MRF استفاده نمودند. آن‌ها به منظور مدل‌سازی بهتر وابستگی آماری بین درجات خاکستری پیکسل‌های همسایه، تصاویر بدون نویز بدست آمده از صحنه حقیقی و تصاویر تغییرات^۲ را در نظر گرفتند. همچنین فرض نمودند که آرایش مکانی تصاویر فاقد نویز برای پیکسل‌های تغییر نیافته یکسان بوده و آرایش مکانی پیکسل‌های تغییر یافته یک تصویر فاقد نویز مستقل از آرایش مکانی پیکسل‌های تغییر یافته یک تصویر فاقد نویز دیگر است. الگوریتم ارائه شده توسط آن‌ها از معیار ماکزیمم مؤخر^۳ به منظور تعیین تصویر تغییرات بهینه از میان تمام

¹ Image change detection

² Change images

³ Maximum a posteriori