بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات - سیستم

فشرده‌سازی تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل Bandelet

نگارش:

مریم کوچک‌زاده

اساتید راهنما:

دکتر حبیب اله دانیالی

دکتر صادق صمدی

آذر ماه ۹۳

بسمه تعالی

فشرده‌سازی تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل Bandelet

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:
مریم کوچک‌زاده

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر حبیب اله دانیالی دانشیار در رشته مهندسی مخابرات-سیستم (استاد راهنما)
دکتر صادق صمدی استادیار در رشته مهندسی مخابرات-سیستم (استاد راهنما)
دکتر محمد صادق هل‌فروش دانشیار در رشته مهندسی مخابرات-سیستم (داور)
دکتر کامران کاظمی دانشیار در رشته مهندسی مخابرات-سیستم (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب مریم کوچک‌زاده دانشجوی رشته مخابرات سیستم مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۱۱۱۴۰۴۵ تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مریم کوچک‌زاده

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.
☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام اساتید راهنما: آقای دکتر حبیب اله دانیالی
آقای دکتر صادق صمدی

تاریخ:

امضا:

چکیده

فشرده‌سازی تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل Bandelet

نگارش :
مریم کوچک‌زاده

رادار دهانه مصنوعی (SAR)، یک سیستم تصویربردار از راه دور بوده که مستقل از شرایط آب و هوایی، قادر به تصویربرداری از سطح زمین است. توانایی تصویربرداری سیستم SAR در شرایط مختلف و همچنین پوشش وسیع ناحیه‌ی تصویربرداری، موجب شده‌اند تا حجم عظیمی از داده ایجاد شود. بدین منظور، روش‌های کارآمد فشرده‌سازی نیاز است تا ذخیره‌سازی و انتقال تصاویر SAR بطور مؤثر انجام گیرد.

یکی از مسائلی که منجر به بهبود عملکرد سیستم‌های کدینگ تصاویر می‌شود، این است که نمایشی مؤثر و کارآمد از تصاویر در حوزه‌ی تبدیل یافت شود. تبدیل بندلت بعنوان یک ابزار جدید توسعه یافته در تجزیه و تحلیل هندسه‌ای تصویر، پتانسیل زیادی در فشرده‌سازی انرژی تصاویر بخصوص تصاویر SAR ارائه می‌دهد.

در این پایان‌نامه سیستم کدینگی برای فشرده‌سازی تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل بندلت ارائه شده است. برای کاهش تعداد بیت مصرف شده در این سیستم کدینگ، ابتدا یکسری اصلاحات بر روی تبدیل بندلت پیشنهاد می‌شود تا انرژی حوزه‌ی تبدیل متمرکزتر شود. سپس برای کدکردن ضرایب بندلت بصورت پیش‌رونده که در آن کیفیت تصاویر بازسازی‌شده به تعداد بیت‌های دریافت‌شده بستگی دارد، از نسخه اصلاح شده‌ی الگوریتم EZBC استفاده می‌شود. درنهایت الگوریتم کدینگ پیشنهادی برای فشرده‌سازی ناحیه موردعلاقه اصلاح می‌شود تا بدین وسیله، کاربرها قادر به بازسازی آن با کیفیت بهتری نسبت به پس‌زمینه باشند. ضمن سادگی روش پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که این روش در مقایسه با روش‌های برجسته‌ای همچون SPIHT، EZBC و SPECK باعث بهبود نرخ بیت و همچنین کیفیت تصاویر بازسازی‌شده بویژه در نرخ بیت‌های کم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر SAR، تبدیل Bandelet، فشرده‌سازی پیش‌رونده، ناحیه موردعلاقه، EZBC.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱-پیش‌زمینه ۲

۱-۲-تعریف مسئله و اهداف پایان‌نامه ۵

۱-۳-اهمیت پایان‌نامه ۶

۱-۴-ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم: فشرده‌سازی تصاویر SAR ۸

۲-۱-مقدمه ۹

۲-۲-تصاویر SAR ۹

۲-۲-۱-نقش SAR و اهمیت آن در کاربردها ۹

۲-۲-۲-معرفی تصاویر SAR ۱۰

۲-۲-۳-تفاوت تصاویر SAR با تصاویر اپتیکی ۱۱

۲-۳-مفهوم فشرده‌سازی و اهمیت آن در تصاویر SAR ۱۵

۲-۴-فشرده‌سازی تصاویر در حوزه‌ی تبدیل ۱۶

۲-۵-فشرده‌سازی تصاویر SAR با استفاده از تبدیل موجک ۱۷

۲-۶-جمع‌بندی ۲۰

فصل سوم: تبدیل Bandelet و کاربرد آن در فشرده‌سازی تصاویر SAR ۲۲

۳-۱-مقدمه ۲۳

۳-۲-خانواده موجک‌های جهتی ۲۳

۳-۲-۱-نقص تبدیل موجک و معرفی خانواده موجک‌های جهتی ۲۳

۳-۲-۲-مروری بر چند عضو از خانواده موجک‌های جهتی ۲۶

۳-۳-تبدیل بندلت ۲۷

۳-۴-فشرده‌سازی تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل Bandelet ۳۵

۳-۵-جمع‌بندی ۳۸

فصل چهارم: روش‌های پیشنهادی برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ۳۹

۴-۱-مقدمه ۴۰

۴-۲-اصلاح تبدیل Bandelet برای بهبود نتایج فشرده‌سازی ۴۰

۴-۳-روش‌های پیشنهادی برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ۴۳
۴-۳-۱-روش پیشنهادی اول (تبدیل بندلت نسل اول+ الگوریتم MEZBC) ۴۷
۴-۳-۲-نتایج شبیه‌سازی مربوط به روش پیشنهادی اول ۵۱
۴-۳-۳-روش پیشنهادی دوم (بندلت مبتنی‌بر موجک بسته‌ای+MEZBC) ۵۴
۴-۳-۴-نتایج شبیه‌سازی مربوط به روش پیشنهادی دوم ۵۷
۴-۳-۵-روش پیشنهادی سوم (بندلت مبتنی‌بر موجک‌بسته‌ای+MEZBC+ROI) ۶۱
۴-۳-۶-نتایج شبیه‌سازی مربوط به روش پیشنهادی سوم ۶۵
۴-۴- جمع‌بندی ۶۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۹
۵-۱-نتیجه‌گیری ۷۰
۵-۲-پیشنهادهایی برای ادامه‌ی پژوهش ۷۱

مراجع ۷۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ : پالس‌های ارسالی از آنتن SAR و دریافت بخشی از انعکاسات [۲۱] ۱۰
شکل ۲-۲ : مثالی از سطوح مختلف زمین و تصویر SAR مربوط به آنها [۱] ۱۱
شکل ۲-۳ : نمایش نحوه‌ی بازتابش اجزای یک پیکسل ۱۲
شکل ۲-۴ : نمونه‌ای از تصویر SAR آغشته شده به نویز لکه‌ای ۱۳
شکل ۲-۵ : الف) نمونه‌ای از تصویر اپتیکی و ب) نمونه‌ای از تصویر SAR به همراه حوزه‌ی موجک مربوطه ۱۴
شکل ۲-۶ : بلوک‌دیاگرام یک سیستم کدینگ تصویر در حوزه‌ی تبدیل [۲۳] ۱۶
شکل ۳-۱ : الف) سیگنالی یک‌بعدی و ب) ضرایب موجک مربوط به آن [۱۳] ۲۴
شکل ۳-۲ : الف) تصویر هندسی ساده و ب) ضرایب موجک مربوط به آن [۳۵] ۲۴
شکل ۳-۳ : مبناهای تبدیل موجک برای تقریب تصویر [۳۸] ۲۶
شکل ۳-۴ : مبناهای تبدیل موجک‌پیچیده برای تقریب تصویر ۲۷
شکل ۳-۵ : بزرگنمایی بخشی از کلاه و نمایش مسیرهای منظم موجود در امتداد آن [۱۲]. ۲۸
شکل ۳-۶ : نمایش منحنی‌های شکسته شده و جریان‌های هندسی متناظر با آنها توسط تبدیل بندلت [۴۴] ۲۹
شکل ۳-۷ : الف) یک مربع از تقسیم‌بندی تصویر به همراه جریان هندسی آن، ب) سیگنال یک‌بعدی تشکیل‌شده از بازآرایی پیکسل‌ها در امتداد جریان هندسی، ج) ضرایب موجک مربوط به سیگنال یک‌بعدی و د) ضرایب بندلت حاصل شده از کوانتایز کردن ضرایب موجک یک‌بعدی [۱۳] ۳۰
شکل ۳-۸ : الف) یک مربع از تقسیم‌بندی و ب) مسیرهای موجود در مربع برای انتخاب جریان هندسی [۱۳] ۳۱
شکل ۳-۹ : مراحل مربوط به تقسیم‌بندی تصویر توسط تبدیل بندلت [۴۵] ۳۲
شکل ۳-۱۰ : تصاویر فشرده‌شده به ازای مقادیر مختلف آستانه توسط تبدیل بندلت نسل اول [۴۴] ۳۳
شکل ۳-۱۱ : الف) حوزه‌ی تبدیل موجک مربوط به تصویر هندسی ساده و ب) نمایش منحنی‌های شکسته شده و جریان‌های هندسی متناظر با آنها توسط تبدیل بندلت در یک زیرباند فرکانسی علامت‌گذاری شده [۴۴] ۳۴
شکل ۳-۱۲ : تصاویر فشرده‌شده به ازای مقادیر مختلف آستانه توسط تبدیل بندلت نسل دوم [۴۴] ۳۴

شکل ۳-۱۳ : مقایسه مقادیر PSNR تصاویر بازسازی شده الف) Lena و ب) Barbara به ازای نرخ بیت‌های مختلف توسط تبدیل موجک و بندلت نسل اول همراه با کدگذاری آنتروپی [۱۲] ۳۴
شکل ۳-۱۴ : الف) تصویر اصلی SAR، ب) لایه‌ی هموار و ج) لایه‌ی ناهموار مربوط به آن [۴۶] ۳۶
شکل ۴-۱ : الف) جهت‌های درنظر گرفته‌شده برای تخمین جریان هندسی موجود در یک مربع ۴×۴ پیکسلی و ب) نحوه‌ی قرارگیری ضرایب در راستای هر یک از جهت‌های انتخابی ۴۱
شکل ۴-۲ : روش پیشنهادی برای جاسازی ضرایب بندلت درون مربع‌های تقسیم‌بندی ۴۲
شکل ۴-۳ : الف) بزرگ‌نمایی قسمتی از تصویر Barbara، ب) عملکرد تبدیل بندلت در تقسیم‌بندی وفقی تصویر و انتخاب جریان‌های هندسی بهینه و ج) حوزه اصلاح‌شده‌ی تبدیل بندلت نسل اول متناظر با تصویر Barbara ۴۲
شکل ۴-۴ : ترتیب کدشدن زیرباندهای فرکانس مربوط به حوزه‌ی موجک در الگوریتم EZBC Error! Bookmark not defined. .....
شکل ۴-۵ : الف) تصاویر SAR استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها با اندازه‌ی الف) ۲۵۶×۲۵۶ پیکسل، ب) ۵۱۲×۵۱۲ پیکسل، ج) ۱۰۲۴×۱۰۲۴ پیکسل و د) ۱۰۲۴×۱۰۲۴ پیکسل ۴۶
شکل ۴-۶ : مراحل مربوط به تبدیل اصلاح شده‌ی بندلت نسل اول ۴۷
شکل ۴-۷ : بلوک دیاگرام روش پیشنهادی اول برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ۴۷
شکل ۴-۸ : الف) عملکرد تبدیل بندلت نسل اول در تقسیم‌بندی اولین تصویر SAR به مربع‌های ۴×۴ پیکسلی و نمایش جریان‌های هندسی در هر مربع و ب) حوزه‌ی تبدیل اصلاح شده‌ی بندلت نسل اول مربوط به تصویر SAR ۴۸
شکل ۴-۹ : الف) حوزه‌ی تبدیل بندلت متناظر با تصویر ۸×۸ پیکسلی تقسیم‌بندی شده توسط مربع‌های ۲×۲ پیکسلی و ب) تشکیل حوزه‌ی تبدیل بندلت جدید براساس روش پیشنهادی برای بازآرایی ضرایب ۴۹
شکل ۴-۱۰ : الف) حوزه‌ی تبدیل بندلت نسل اول مربوط به اولین تصویر SAR و ب) حوزه‌ی متناظر با بازآرایی ضرایب بندلت نسل اول ۵۰
شکل ۴-۱۱ : الف) تصویر اصلی SAR، تصاویر بازسازی شده به ازای نرخ بیت برابر با ۱ برای هر پیکسل ب) توسط الگوریتم EZBC در حوزه‌ی تبدیل موجک (PSNR=21.80 dB) و ج) توسط الگوریتم EZBC در حوزه‌ی تبدیل اصلاح شده‌ی بندلت نسل اول (PSNR=23.71 dB) ۵۴
شکل ۴-۱۲ : مراحل مربوط به تبدیل بندلت مبتنی‌بر موجک بسته‌ای ۵۵
شکل ۴-۱۳ : بلوک دیاگرام روش پیشنهادی دوم برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ۵۵
شکل ۴-۱۴ : نمایش بیت‌های ارسالی به گیرنده برای مشخص شدن زیرباندهای تجزیه‌شده. ۵۶

شکل ۴-۱۵ : تصاویر بازسازی شده توسط الف) الگوریتم SPIHT، ب) EZBC، ج) SPECK و د) روش پیشنهادی دوم به ازای نرخ بیت برابر با ۰.۴ بیت بر پیکسل ۵۹
شکل ۴-۱۶ : بلوک دیاگرام روش پیشنهادی سوم برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ۶۲
شکل ۴-۱۷ : الف) نمایش ROI در یک تصویر و ب) ماسک متناظر با ROI در حوزه‌ی تبدیل ۶۲
شکل ۴-۱۸ : الف) نمایش ROI بر روی تصویر SAR و ب) ناحیه‌بندی تصویر با توجه به اندازه‌ی ROI ۶۴
شکل ۴-۱۹ : نتایج کمی و کیفی برای بازسازی ROI و BG در اولین تصویر تست به ازای نرخ بیت‌های مختلف با لحاظ الف) ۴۰٪ از نرخ بیت کل برای نرخ بیت BG و ب) ۸۰٪ از نرخ بیت کل برای نرخ بیت BG ۶۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ زمان لازم برای پیاده‌سازی تبدیل بندلت مرسوم و بندلت پیشنهادی..... ۵۲
جدول ۴-۲ مقادیر PSNR تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از روش پیشنهادی اول..... ۵۳
جدول ۴-۳ مقادیر SSIM تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از روش پیشنهادی اول ۵۳
جدول ۴-۴ مقایسه‌ی کیفیت تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از روش پیشنهادی اول و دوم به ازای نرخ‌بیت‌های مختلف ۵۷
جدول ۴-۵ مقادیر PSNR تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از روش پیشنهادی دوم..... ۵۸
جدول ۴-۶ مقادیر SSIM تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از رویکرد پیشنهادی دوم.... ۶۰
جدول ۴-۷ مقادیر PSNR تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از رویکرد پیشنهادی سوم ..۶۶
جدول ۴-۸ مقادیر SSIM تصاویر بازسازی‌شده SAR با استفاده از رویکرد پیشنهادی سوم .. ۶۷

فهرست کلمات اختصاری

BG	Background	پس‌زمینه
DWT	Discrete Wavelet Transform	تبدیل موجک گسسته
EBCOT	Embedded Block Coding with Optimized Truncation	کدینگ بلوکی تعبیه شده با برش بهینه شده
EZBC	Embedded ZeroBlock Coding	کدینگ بلوک تمام صفر تعبیه شده
EZW	Embedded Zerotree Wavelet	تبدیل ویولت درخت تمام صفر تعبیه شده
HVS	Human Visual System	سیستم بینایی انسان
MEZBC	Modified Embedded ZeroBlock Coding	اصلاح‌شده‌ی کدینگ بلوک تمام صفر تعبیه‌شده
MGA	Multiscale Geometric Analysis	تحلیل هندسی چندمقیاسی
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio	نسبت بیشینه سیگنال به نویز
QT	QuadTree	درخت چهارگانه
ROI	Region of Interest	ناحیه‌ی موردنظر
SAR	Synthetic Aperture Radar	رادار دهانه مصنوعی
SPECK	Set Partitioning Embedded bloCK	افراز بلوکی تعبیه شده
SPIHT	Set Partitioning in Hierarchical Trees	افراز در درخت های سلسله مراتبی
SSIM	Structural SIMilarity	شباهت ساختاری
WPT	Wavelet Packet Transform	تبدیل موجک بسته‌ای

فصل اول: مقدمه

۱-۱-پیش‌زمینه

از زمان‌های قدیم، فعالیت‌های نظامی برای بدست آوردن اطلاعات از مسافت‌های طولانی همواره وجود داشته است. در آن سالها برای اینکه انسان از سرزمین خود دفاع کند، از کوه‌ها استفاده می‌کرد تا فعالیت‌های دشمن را تحت نظر بگیرد. مدتی بعد بالن و بعد از آن موشک و ماهواره‌ها پدید آمدند و جایگزین کوه‌ها شدند. همزمان با این پیشرفت، حوزه‌ی فعالیت‌های سنجش از راه دور افزایش یافت و کاربردهای متنوع تجاری نیز پدیدار شد؛ لذا هر سرزمین نیاز داشت تا در هر شرایط آب و هوایی و حتی در شب و روز نیز، مناطق موردعلاقه را زیر نظر بگیرد [۱].

برای بعضی موارد مانند سطح اقیانوس‌ها و یا اراضی جغرافیایی، متأسفانه امکان بررسی از نزدیک وجود نداشت. در این هنگام لازم بود تا وسایلی ساخته شود که بتوانند از راه دور این کار را انجام دهند. سرانجام دستیابی به تکنولوژی سنجش از راه دور[1] در دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی باعث برطرف شدن این دسته از مشکلات شد. در این فناوری، دستگاه‌های تصویربرداری بر روی هواپیما و ماهواره‌ها نصب شدند تا بتوانند از سطح دریا، سطح زمین و یا جاهایی که نیاز به بررسی از راه دور داشتند تصویربرداری کنند و اطلاعاتی را بدست آورند.

زمین هر روز توسط بسیاری از سیستم‌های سنجش از راه دور، به تصویر کشیده می‌شود. این اکتشافات فضایی که توسط انواع سازمان‌های بین‌المللی جهت تحقق بخشیدن به اهداف ساخته و راه‌اندازی شده‌اند، هریک سنسور تصویربرداری خاص خود را دارند. این سنسورها توسط بخشی از طیف الکترومغناطیسی همچون نورمرئی، مادون قرمز، مایکروویو و اشعه ایکس فرآیند تصویربرداری را انجام می‌دهند. لازم به ذکر است که انتخاب این محدوده‌های فرکانسی، بستگی به سطح موردنظر برای تصویربرداری دارد [۲].

رادارها قادر هستند تا بر محیط‌های بزرگی که برای چشم غیرقابل نفوذ است مثل باران، مه، تاریکی، برف و غبار نظارت پیدا کرده و اهداف موردنظر در آن محدوده را ردیابی کنند. به همین خاطر، رادار به یکی از ابزارهای اصلی در سنجش از راه دور تبدیل گردید. در این سیستم، پالس‌ها از طریق آنتن رادار به محیط اطراف منتشر شده و سپس قسمتی از آنها پس از برخورد با اهداف موجود در محیط، به سمت خود رادار منعکس می‌شوند. درنهایت با پردازش پالس‌های انعکاس یافته‌ی دریافتی، هدف موردنظر آشکارسازی می‌شود [۳].

امروزه رادار دهانه‌ی مصنوعی (SAR[2]) بعنوان یکی از پیشرفته‌ترین و پرکاربردترین سیستم‌های سنجش از راه دور شناخته شده که قادر به تصاویری با حدتفکیک بالا از سطح زمین می‌باشد. عملکرد این رادار تصویربردار در همه‌ی شرایط آب و هوایی[3] و در شب و روز[1] نیز یکسان بوده و همین ویژگی

[1] Remote Sensing
[2] Synthetic Aperture Radar
[3] All Weather

موجب شده تا نقش آن در کاربردهای مختلف نظامی و غیرنظامی پررنگتر شود [۴].

در سیستم SAR، تصاویر به صورت هوایی یا فضایی تهیه می شوند. این امر موجب می شود تا منطقه دید رادار (FOV[۲]) بزرگ شده و درنتیجه مناطقی با چند ده کیلومتر برای تصویربرداری هوایی و چندصد کیلومتر برای تصویربرداری فضایی پوشش داده شود. ازآنجایی که حدتفکیک سیستم SAR در حد متر و یا سانتی‌متر است لذا یک تصویر با حداقل پوشش، حجم عظیمی از پیکسل‌ها را دربر خواهد داشت. علاوه بر این ماهیت اجسام موجود بر روی زمین باعث می‌شوند تا مقادیر متفاوتی از انرژی به سمت رادار منعکس شود. از آنجایی که میزان تغییرات بازتابش اجسام (RCS[۳]) زیاد بوده لذا برای متمایز ساختن اجسام از هم، به تعداد بیت زیادی نیاز است. درنهایت این عوامل منجر به افزایش حجم داده‌ی این تصاویر می‌شود.

تصاویر تشکیل شده‌ی SAR باید از طریق لینک‌هایی به ایستگاههای زمینی ارسال شده تا آرشیو شوند و درنهایت اطلاعات موجود در آنها مورد تفسیر قرار گیرد. متأسفانه حجم این تصاویر می‌تواند فراتر از پهنای باند لینک‌های انتقالی باشد و از طرفی دیگر، ظرفیت حافظه‌های ذخیره‌سازی هم محدود می‌باشند. در این حالت، کاهش حجم و یا فشرده‌سازی تصاویر SAR، انتخابی بهینه خواهد بود تا مشکلات ناشی از انتقال و ذخیره سازی کاهش یابد [۵].

برخلاف تصاویر اپتیکی که عمدتاً شامل نواحی هموار و همگن می‌باشند در تصاویر SAR علاوه بر این، نواحی دیگری نیز وجود دارد که شامل بافت‌هایی با جزئیات ریز می‌باشند. در این حالت مؤلفه‌های فرکانس بالا که براثر ناپیوستگی‌های تصویر حاصل می‌شوند همانند مؤلفه‌های فرکانس پایین تصویر، حاوی انرژی قابل توجهی خواهند بود. لذا یکی از تفاوت‌های عمده‌ی تصاویر SAR و تصاویر اپتیکی در تمام‌گذر بودن محتوای فرکانسی تصاویر SAR و پایین‌گذر بودن طیف تصاویر اپتیکی می‌باشد. این تفاوت باعث شده تا سیستم‌های مرسوم کدینگ تصاویر اپتیکی برای تصاویر SAR مؤثر نبوده و درنتیجه لازم شود تا روشی کارآمد برای فشرده‌سازی تصاویر SAR طراحی گردد. اما تاکنون اکثر روش‌های ارائه شده برای فشرده‌سازی تصاویر SAR با بهبود دادن الگوریتم‌های فشرده‌سازی تصاویر اپتیکی بدست می‌آیند که اصلاحات انجام شده در آنها براساس این تفاوت صورت گرفته است.

سیستم‌های مرسومی که برای کدینگ تصاویر اپتیکی معرفی شده‌اند، عمدتاً در حوزه‌های تبدیل یافته ی تصویر هستند. هدف از اعمال تبدیل به تصویر این است تا بیشتر انرژی تصویر در تعداد کمتری از ضرایب قرار گرفته بطوریکه مابقی ضرایب ناچیز و بی‌ارزش باشند. در این حالت به اصطلاح گفته می‌شود که اعمال تبدیل، موجب تنک‌شدن[۴] انرژی تصویر شده است. یکی از مناسبترین و پرکاربردترین تبدیل‌ها در زمینه‌ی فشرده‌سازی تصاویر، تبدیل موجک[۵] است [۶]. با این حال

---

[1] All Time
[2] Field of View
[3] Radar Cross Section
[4] Sparse
[5] Wavelet Transform

تحقیقات انجام شده در دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد که این تبدیل قادر است تا نمایش تنک را فقط برای نواحی یکدست و هموار فراهم کند و متأسفانه توانایی فشرده‌سازی انرژی مربوط به لبه‌های تصویر را ندارد. این نقص ضمن افزایش نرخ بیت لازم برای ارسال اطلاعات، موجب شده تا کیفیت لبه‌های بازسازی شده به لحاظ کمی و کیفی مناسب نباشند [۷].

در دهه‌ی اخیر به جهت برطرف شدن نقص تبدیل موجک، تحقیقات زیادی در زمینه‌ی تجزیه‌وتحلیل هندسه‌های چندمقیاسه تصویر (MGA[1]) انجام شد که حاصل آن فراهم شدن گروهی از تبدیل‌های جدید بود که موجک‌های جهتی[2] یا خانواده‌ی لت[3] نامگذاری شدند [۸]. تبدیل ریجلت[4] [۹]، کانتورلت[5] [۱۰]، کرولت[6] [۱۱] از اعضاء پرکاربرد این خانواده بوده که تا حدودی توانسته‌اند بر نقطه‌ضعف تبدیل موجک یعنی عدم فشرده‌سازی لبه‌های تصویر غلبه کنند. در این روش‌ها با استفاده از جهت‌های معدود ازپیش تعیین‌شده، انرژی لبه‌های موجود در تصویر فشرده می‌شد. این نحوه‌ی عملکرد موجب شد که این تبدیل‌ها فقط تا زمانی مؤثر و کارآمد باشند که هندسه‌های تصویر خیلی پیچیده و متنوع نباشند.

اشیاء موجود در تصاویر با فرم‌های مختلفی از هندسه و بافت سروکار دارند لذا جهت لبه‌ها در مسیرهای مختلف قرار داشته و درنتیجه پیش‌بینی راستای آنها دشوار خواهد بود. بنابراین بجای استفاده از جهت‌های از پیش تعیین‌شده برای تقریب زدن لبه‌های موجود در تصویر، ایده‌ی مسلم این بود که روش فشرده‌سازی بر هندسه‌ی تصویر تطبیق داده شود. بر این مبنا بود که تبدیل بندلت[7] برای تقریب‌زدن لبه‌های تصویر بصورت وفقی معرفی شد [۱۲و۱۳]. توانایی بندلت در فشرده‌سازی انرژی لبه‌هایی که راستای آنها از پیش مشخص نبوده موجب شد تا این تبدیل بعنوان یکی از اعضاء قدرتمند خانواده‌ی موجک‌های جهتی در فراهم کردن نمایشی تنک‌تر از تصویر شناخته شود.

بعد از فشرده‌سازی انرژی تصویر در سیستم کدینگ نیاز است تا اطلاعات برای ارسال بر روی کانال کد شوند. برای این منظور، به الگوریتم‌های کدینگ مبتنی‌بر حوزه‌ی تبدیل نیاز است. الگوریتم‌هایی که تاکنون معرفی شده‌اند، مبتنی‌بر حوزه‌ی تبدیل موجک می‌باشند، اما از آنجایی که حوزه‌ی تبدیل بندلت به لحاظ ساختاری مشابه حوزه‌ی موجک است لذا برای کدکردن ضرایب بندلت می‌توان از الگوریتم‌های کدینگ مبتنی‌بر حوزه‌ی موجک نیز استفاده کرد.

الگوریتم‌هایی چون EZW[8] و SPIHT[9] از جمله الگوریتم‌های مناسب و کارآمد برای تصاویر اپتیکی هستند [۱۴و۱۵]. از آنجایی که عملکرد این الگوریتم‌ها براساس ساختار درختی بوده، بنابراین در صورت وجود بافت‌های ریز و جزئی در تصویر، درخت‌ها شکسته شده و عملکرد این الگوریتم‌ها

[1] Multiscale Geometric Analysis
[2] Directional Wavelets
[3] X-Lets
[4] Ridgelet Transform
[5] Contourlet Transform
[6] Curvelet Transform
[7] Bandelet Transform
[8] Embedded Zero-tree Wavelet
[9] Set Partitioning in Hierarchical Trees

خراب می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، الگوریتم‌های مبتنی‌بر ساختار بلوکی مانند EZBC[1]، EBCOT[2] و SPECK[3] معرفی شدند [۱۶-۱۸] که با اصلاح آنها براساس خصوصیات و ویژگی‌های تبدیل بندلت می‌توان روشی مناسب را برای فشرده‌سازی تصاویر SAR ارائه داد.

یکی از ویژگی‌های مهم در ارائه‌ی سیستم‌های کدکننده این است که محدودیت‌های کاربران درنظرگرفته شده و باتوجه به این محدودیت‌ها، ارسال اطلاعات صورت گیرد. بطور مثال بعضی از کاربران قادر هستند تا کیفیت و یا رزولوشن کمتری از تصویر را دریافت کنند. در این حالت سیستم کدکننده‌ای که بتواند چندین کیفیت[4] و چندین رزولوشن[5] از تصویر را ایجاد کند، کاربرد بیشتری خواهد داشت. علاوه بر این در مبحث فشرده سازی تصاویر گاهی یک ناحیه اهمیت بیشتری نسبت به سایر نواحی (BG[6]) تصویر پیدا می‌کند. از اینرو به آن ناحیه نرخ بیت بیشتری اختصاص داده می‌شود تا با دقت بهتری نسبت به سایر نواحی تصویر کد شود. به این استراتژی، فشرده‌سازی ناحیه موردعلاقه (ROI[7]) گفته می‌شود که با بکارگیری آن می‌توان به امتیازات سیستم کدکننده افزود [۱۹].

۱-۲-تعریف مسئله و اهداف پایان‌نامه

هدف از این پایان‌نامه طراحی یک سیستم کدکننده مبتنی‌بر تبدیل بندلت برای فشرده‌سازی تصاویر SAR است بگونه‌ای که قادر باشد در یک نرخ بیت ثابت، کیفیت بهتری را نسبت به الگوریتم‌های مطرح موجود فراهم کند. به منظور مؤثر واقع شدن روش پیشنهادی بر روی شبکه‌های ناهمگون، الگوریتم کدینگ باید تعبیه‌شده[8] باشد تا منجر به انتقال پیش‌رونده‌ی[9] تصویر شود. بعلاوه، ویژگی فشرده‌سازی ROI در این سیستم کدکننده مورد پشتیبانی قرار گیرد.

یکی از مسائل اساسی در بهبود عملکرد سیستم‌های کدینگ مبتنی‌بر تبدیل این است که تبدیل مورد استفاده در الگوریتم، نمایش تنک‌تری از تصویر را فراهم کند. علیرغم پرکاربرد بودن تبدیل موجک در فشرده‌سازی تصاویر، این ابزار قادر است که نمایش تنک را فقط برای نواحی یکدست تصویر فراهم کند و متأسفانه در متمرکز ساختن انرژی مربوط به لبه‌های تصویر ناتوان می‌باشد. از آنجایی که در تصاویر SAR، بافت‌هایی متنوع وجود دارد، لذا انرژی در حوزه‌ی موجک مربوط به این تصاویر تنک نمی‌باشد. برای برطرف شدن این نقص، در روش پیشنهادی در این پایان‌نامه از تبدیل

[1] Embedded Zero-Block Coding
[2] Embedded Block Coding with Optimized Truncation
[3] Set Partitioning Embedded bloCK
[4] SNR Scalability
[5] Resolution Scalability
[6] Background
[7] Region Of Interest
[8] Embedded
[9] Progressive

بندلت بعنوان یکی از اعضای خانواده‌ی موجک‌های جهتی برای تنک‌تر کردن انرژی تصویر استفاده شده تا بدین وسیله عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای فشرده‌سازی بهبود یابد.

مسئله‌ی اساسی دیگری که باید بدان توجه شود این است که با بهره‌گیری از خصوصیات مربوط به توزیع ضرایب تبدیل، الگوریتم مناسبی را برای کدکردن آن ضرایب ارائه داد. از آنجائی که تبدیل بندلت برای متمرکز ساختن انرژی از رویکرد بلوکی استفاده می‌کند، بنابراین به‌منظور مؤثر واقع شدن سیستم کدکننده‌ی پیشنهادی، الگوریتم فشرده‌سازی مبتنی‌بر ساختار بلوکی نیز بکارگرفته می‌شود.

در فشرده‌سازی تصاویر، برخوردار بودن الگوریتم کدکننده از مقیاس‌پذیری کیفیت امری مهم می‌باشد زیرا باعث انتقال مؤثر روی شبکه‌های ناهمگون می‌شود. مقیاس‌پذیری به پتانسیلی در رشته‌بیت[1] کدشده اطلاق می‌شود که به کدگشا این اجازه را می‌دهد تا براساس محدودیت‌ها و نیاز خود برای دستیابی به کیفیتی خاص، بخشی از رشته‌بیت را کدگشایی کند. برای دستیابی به این ویژگی، هر بیت باید براساسی اهمیت اطلاعات ارسال شود. یکی دیگر از امتیازات الگوریتم ارائه شده در پایان‌نامه این است که از ویژگی مقیاس‌پذیری کیفیت نیز برخوردار می‌باشد.

از دیگر مسائلی که در طراحی سیستم‌های کدکننده اهمیت دارد این است که روش ارائه شده توانایی فشرده‌سازی ROI را داشته باشد؛ یعنی بتواند یک ناحیه را با کیفیت بهتری نسبت به سایر نواحی تصویر کد کند. گاهی مواقع بدلیل محدودیت‌های موجود در ارسال و ذخیره‌سازی، باید تصویر با نرخ بیت کمتری فرستاده شود، درحالیکه یک سری از اطلاعات مهم در تصویر باید با کیفیت خوب کد شوند. در این هنگام، استفاده از روش‌های فشرده‌سازی براساس ROI کمک می‌کند تا به نواحی مهم اهمیت بیشتری برای کدکردن داده شود. یکی دیگر از ویژگی‌های الگوریتم مطرح شده در این پایان‌نامه، قابلیت فشرده‌سازی ROI نیز می‌باشد که به کارآمدی آن افزوده است.

۱-۳-اهمیت پایان‌نامه

از یکطرف پیشرفت و توسعه‌ی سیستم‌های SAR بسمت بالابردن حدتفکیک و از طرفی دیگر مداومت کارکرد این سیستم در همه‌ی شرایط آب‌وهوایی و در شب و روز نیز باعث شده تا حجم داده مربوط به این تصاویر افزایش یابد. این تصاویر حاصل‌شده باید از طریق لینک‌هایی به ایستگاه زمینی انتقال داده شوند تا بصورت کارآمدی آرشیو یا نگهداری شوند. اما حجم تصاویر SAR می‌تواند فراتر از ظرفیت لینک‌ها باشد و علاوه بر آن، حافظه‌های ذخیره‌سازی نیز دارای محدودیت هستند. در این هنگام فشرده‌سازی تصاویر SAR انتخابی جذاب خواهد بود که باعث می‌شود مشکلات ناشی از ذخیره‌سازی و انتقال در کانال‌های با ظرفیت محدود، کاهش یابد.

برخورداری از ویژگی مقیاس‌پذیری کیفیت موجب می‌شود تا تصویر بر روی شبکه‌های ناهمگون بطور مؤثر انتقال داده شود. در این استراتژی، تصویر با نرخ بیت بالا کد شده و سپس کدگشا باتوجه به

[1] Bitstream

محدودیت‌ها و امکاناتی که دارد تصویر را با نرخ بیت موردنظر خود بازسازی می‌کند.

درنهایت مجهز بودن الگوریتم به فشرده‌سازی ROI، باعث برطرف شدن مشکلات درمواقعی می‌شود که در ارسال داده محدودیت وجود داشته و فرستنده مجبور است تا تصویر را با نرخ بیت کمتر کد کند. در این هنگام آن قسمت از تصویر که اهمیت بیشتری دارد (ROI) با نرخ بیت بیشتر و درنتیجه با کیفیت مناسب کد می‌شود و به سایر نقاط تصویر که مربوط به پس‌زمینه بوده، نرخ بیت کمتری اختصاص داده می‌شود.

۱-٤-ساختار پایان‌نامه

باقی‌مانده مطالب موجود در این پایان‌نامه بترتیب زیر تنظیم شده‌اند:

در فصل دوم، نقش تصاویر SAR در کاربردها و تفاوت آنها با تصاویر اپتیکی بیان می‌شود. در ادامه اهمیت فشرده‌سازی در تصاویر SAR که عمدتاً مبتنی‌بر حوزه‌ی تبدیل موجک بوده، مطرح می‌شود. درنهایت تعدادی از رویکردهای پیشنهاد شده برای فشرده‌سازی تصاویر SAR با استفاده از تبدیل موجک به اختصار بیان خواهند شد.

در فصل سوم، عملکرد خانواده موجک‌های جهتی که برای بهبود عملکرد تبدیل موجک ارائه شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرد و نقاط ضعف و قوت آنها بیان می‌شود. سپس تبدیل بندلت بعنوان یکی از اعضاء توانمند خانواده در فشرده‌سازی انرژی تصویر معرفی می‌شود و درنهایت روش‌هایی که برای فشرده‌سازی تصاویر SAR در این حوزه وجود دارند، مرور می‌گردد.

در فصل چهارم، الگوریتم‌های جدیدی برای فشرده‌سازی پیش‌رونده تصاویر SAR در حوزه‌ی تبدیل بندلت ارائه می‌شود و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی این الگوریتم‌ها با چندین الگوریتم مطرح دیگر مقایسه می‌شود. همچنین برای افزایش کارآیی الگوریتم‌های پیشنهادی درنهایت یکسری اصلاحات بر روی آنها اعمال می‌شود تا برای فشرده‌سازی ROI نیز مناسب باشند. نهایتاً در فصل پنجم، از تحقیقات انجام‌شده یک نتیجه کلی گرفته می‌شود و پیشنهادهایی برای ادامه‌ی پژوهش در این زمینه ارائه می‌شود.