

افزایش دقت مکانی تصاویر هایپریون با استفاده از اطلاعات مکانی تصویر Cartosat-1 با روش تلفیق FFT-PCA

مرتضی بشیرپور^۱، محمدجواد ولدانزوج^۲، یاسر مقصودی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

یکی از مزایا و اهداف تلفیق، استفاده توأم از اطلاعات طیفی و مکانی تصویر ماهواره‌ای می‌باشد. خروجی تلفیق، تصویری است که دارای اطلاعات طیفی تصویر چندطیفی (فراطیفی) و اطلاعات مکانی تصویر با حد تشخیص مکانی بالا (پانکروماتیک) می‌باشد. الگوریتم‌های مختلفی جهت تلفیق ارائه شده است، در این پژوهش روش $FFT-PCA$ جهت تلفیق تصاویر هایپریون و Cartosat-1 معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است. روش بیان شده از جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک با فیلترینگ فوریه سریع جهت تلفیق استفاده می‌کند. نتایج تلفیق با این روش نوین با نتایج روش‌های تلفیق، PCA ^۱ و $FFT-IHS$ مقایسه و ارزیابی شد. جهت ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج روش‌های پیاده‌سازی شده، از معیارهای مختلف ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی ضریب همبستگی، نسبت سیگنال به نویز، خطای کمترین مربعات، ضریب همبستگی فیلتر شده، شاخص SAM ^۱ و دقت طبقه‌بندی استفاده شده است. نتایج ارزیابی‌های انجام شده حاکی از دقت بالای روش $FFT-PCA$ در مقایسه با سایر روش‌های بیان شده در تلفیق این تصاویر می‌باشد. نتایج این روش مشابهت طیفی زیادتری با تصویر هایپریون دارد و کارآمدتر از سایر روش‌ها عمل می‌کند، همچنین در حفظ اطلاعات مکانی تصویر Cartosat-1 نیز عملکرد بهتری را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تلفیق، $FFT-PCA$ ، هایپریون، Cartosat-1



۱- مقدمه

امروزه به دلیل پتانسیل و کاربردهای زیادی که تصاویر ماهواره‌ای دارند، تقاضا و نیاز به این تصاویر افزایش پیدا کرده است. ماهواره‌ای زیادی بر اساس مأموریت و کاربرد موردنظر به فضا پرتاب شده است. از جمله فواید این تصاویر می‌توان به ارائه جزئیات بیشتر، پوشش دوره‌ای متناوب، هزینه کمتر و دقت قابل قبول اشاره کرد. که از این داده‌ها می‌توان در تولید نقشه‌های پوششی به صورت متناوب، برنامه‌ریزی شهری، تولید نقشه‌های کاربری استفاده کرد. تصاویر سنجش از دوری در طیف‌های الکترومغناطیسی مختلف و در رزولوشن‌های مختلفی برداشت می‌شود. عموماً در سنجنده‌های چندطیفی تصاویر با قدرت تفکیک طیفی بالا، رزولوشن مکانی پایینی نسبت به تصاویر پانکروماتیک دارند و بالعکس [۱]. تصاویر با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا جزئیات مکانی و طیفی عوارض را بهتر و دقیق‌تر آشکار می‌کند به همین دلیل باعث تفسیر بهتر، استخراج دقیق‌تر عوارض و آنالیزهای مفید در زمین‌شناسی می‌شود. جهت بهره‌گیری از اطلاعات طیفی و اطلاعات مکانی به صورت توأم از تلفیق تصاویر استفاده می‌شود. تصاویر تلفیق شده قابلیت تفسیر بیشتر و نتایج قابل اعتمادی فراهم می‌آورد [۲].

روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر پانکروماتیک و چند طیفی (فراطیفی) از یک سنجنده یا سنجنده‌های مختلف ارائه شده است. ولی در حالت کلی روش‌های تلفیق در سطح پیکسل به سه بخش دسته‌بندی می‌شوند [۳]: (i) روش‌های مبتنی بر سیستم تصویر و جانشانی مثل IHS^۱ [۴, ۵]، PCA^۲ [۱, ۶]; (ii) نسبت بانندی و ترکیب‌های حسابی یا عددی از جمله الگوریتم برآوی، SVR^۳ و SFIM^۴ [۷]; (iii) روش‌های مبتنی بر فیلتر و در حوزه فرکانس مانند موجک^۵ [۵, ۸] و NSCT^۶ [۹]. علاوه بر روش‌های مذکور روش‌های دیگری نیز جهت بهبود برخی از این روش‌ها ارائه شده است، از جمله FFT-IHS [۱۰] و GIHS [۱۱].

درواقع نتایج حاصل از تلفیق تصاویر باید از نظر طیفی شباهت بسیار زیادی با تصویر چند طیفی (فراطیفی) داشته باشد و همچنین از نظر مکانی نیز شبیه به تصویر پانکروماتیک باشد. هرچقدر تصویر تلفیق شده از نقطه نظر بیان شده دقت زیادتری داشته بهتر می‌توان گفت الگوریتم دقیق‌تری جهت تلفیق می‌باشد.

در تحقیق پیشرو، روش FFT-PCA برای تلفیق تصاویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک CARTOSAT-1 بیان و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. و همچنین این تصاویر با روش‌های IHS, PCA, FFT_IHS نیز تلفیق شده است و نتایج این تلفیق‌ها با معیارهای ارزیابی بیان شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مطالعاتی شهر نسیم شهر واقع در جنوب غربی استان تهران می‌باشد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است و دارای وسعتی حدود ۲۵۵ کیلومتر می‌باشد. داده‌های مورد استفاده تصویر پانکروماتیک CARTOSAT-1 با دقت مکانی 2.5 متر و تصویر فراطیفی هایپریون با سطح پردازشی LIR می‌باشد. در سطح پردازشی LIR یک سری تصحیحات از قبل روی تصویر هایپریون اعمال گردیده و داده در این سطح پردازشی به صورت رادیانس می‌باشند. تصویر

¹ Intensity Hue Saturation

² Principal Component Analysis

³ Synthetic Variable Ratio

⁴ Smoothing Filter based Intensity Modulation

⁵ Wavelet

⁶ Non-Subsampled Contourlet Transform



هایپریون دارای ۲۴۲ باند طیفی با حد تفکیک ۱۰ نانومتر می‌باشد و دارای دو طیف‌سنج VNIR و SWIR می‌باشد که محدوده ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتری را پوشش می‌دهد. اندازه پیکسل تصویر هایپریون ۳۰ متر می‌باشد که در سال ۲۰۰۹ اخذ گردیده است.

۲-۲- روش‌های تلفیق پیاده‌سازی شده

۲-۲-۱- روش PCA

تبدیل PCA، تکنیکی غیر پارامتریک، ساده و یک تبدیل خطی جهت تبدیل مجموعه داده چند متغیری با مؤلفه‌های همبسته به مؤلفه‌های نا همبسته است [۱]. از جمله کاربردهای PCA می‌توان به استخراج ویژگی، انتخاب باندهای بهینه و تلفیق اشاره کرد. به‌طور کلی اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل اطلاعات مشترک از تمام باندهای مورد استفاده به‌عنوان داده ورودی در PCA می‌باشد یعنی اطلاعات مکانی، در حالی که اطلاعات طیفی خاص هر باند، در دیگر مؤلفه‌های اصلی قرار می‌گیرد [۱].

در روش PCA ابتدا تصویر چندطیفی باید به‌طور دقیق با تصویر پانکروماتیک رجیستر (منطبق) باشند، پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، تبدیل PCA روی تصویر چندطیفی به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری مجدد، انجام می‌گیرد. سپس تطبیق هیستوگرام تصویر پانکروماتیک با PC1 انجام گرفته و تصویر پانکروماتیک جدیدی ایجاد می‌شود و تصویر پانکروماتیک جدید جایگزین PC1 می‌شود، سپس تبدیل معکوس PCA انجام می‌شود. از جمله معایب این روش می‌توان به اعوجاج طیفی تصویر پس از تلفیق با این روش اشاره کرد [۱۲].

۲-۲-۲- روش FFT-IHS

روش IHS از جمله پرکاربردترین روش‌ها در حوزه تلفیق می‌باشد. مبنا و فرض اصلی این روش به این صورت است که مؤلفه I دربردارنده اطلاعات مکانی و دو مؤلفه H و S حاوی اطلاعات طیفی می‌باشد [۲]. ولی این روش باعث ایجاد اعوجاج طیفی در تصویر تلفیق شده می‌شود.

جهت رفع یا حداقل کردن اعوجاج طیفی، Ling و همکارانش در سال ۲۰۰۷ روش FFT-IHS [۱۰] را برای تلفیق تصاویر پیشنهاد کردند. در این روش به‌جای جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک به‌جای مؤلفه شدت، از جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک با مؤلفه شدت استفاده کردند. که این جایگذاری جزئی بر اساس فیلترینگ فوریه سریع^۷ انجام می‌گیرد. در روش مذکور پس از رجیستر کردن دو تصویر و نمونه‌برداری مجدد تصویر چندطیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک، روی تصویر چندطیفی تبدیل IHS اعمال می‌شود. سپس روی مؤلفه شدت و تصویر پانکروماتیک تبدیل فوریه اعمال شده و در فضای فوریه فیلتر بالاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین‌گذر بر روی مؤلفه شدت اعمال می‌شود و پس از اعمال فیلتر تبدیل معکوس فوریه انجام می‌شود. در نهایت پس از جایگذاری اطلاعات فرکانس بالا از تصویر پانکروماتیک با همان قسمت از مؤلفه شدت و تطابق هیستوگرامی مؤلفه شدت جدید با مؤلفه شدت اصلی، تبدیل معکوس IHS اعمال می‌شود.

۲-۲-۳- روش پیشنهادی FFT-PCA

در روش PCA به دلیل جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک با مؤلفه اصلی اول (PC1)، تمام اطلاعات جزئیات مکانی این تصویر به تصویر تلفیق شده انتقال خواهد یافت. که در این صورت تصویر تلفیق شده بیشتر به تصویر پانکروماتیک

⁷ Fast Fourier Transform



مشابه می‌شود، که این باعث اعوجاج طیفی می‌شود [۱]. در روش FFT-PCA به‌جای جایگذاری کامل تصویر پانکروماتیک از جایگذاری جزئی با استفاده از فیلترینگ فوریه سریع استفاده می‌شود. در این روش اطلاعات فرکانس بالای تصویر پانکروماتیک با اطلاعات همان قسمت از اولین مؤلفه اصلی، جایگذاری می‌شود. روند کلی این روش به این صورت است:

- رجیستر (منطبق) کردن تصویر چندطیفی با تصویر پانکروماتیک
- نمونه‌برداری مجدد تصویر چند طیفی به‌اندازه پیکسل تصویر پانکروماتیک
- انجام تبدیل PCA روی تصویر چند طیفی
- انتقال مؤلفه اصلی اول و تصویر پانکروماتیک به فضای فوریه
- اعمال فیلتر بالاگذر روی تصویر پانکروماتیک و فیلتر پایین‌گذر بر روی مؤلفه اصلی اول در فضای فوریه
- انجام تبدیل معکوس فوریه روی تصویر پانکروماتیک و مؤلفه اصلی فیلتر شده
- جایگذاری اطلاعات فرکانس بالا از تصویر پانکروماتیک با همان قسمت از مؤلفه اصلی اول فیلتر شده
- تطابق هیستوگرامی مؤلفه اصلی اول تولیدشده با مؤلفه اصلی اولیه
- تبدیل معکوس PCA

از جمله مزایای این روش می‌توان به عدم محدودیت باندی اشاره کرد بنابراین از هر تعداد باندی می‌توان جهت تلفیق تصاویر استفاده کرد. شکل (۱) روند کلی روش FFT-PCA را نشان می‌دهد.

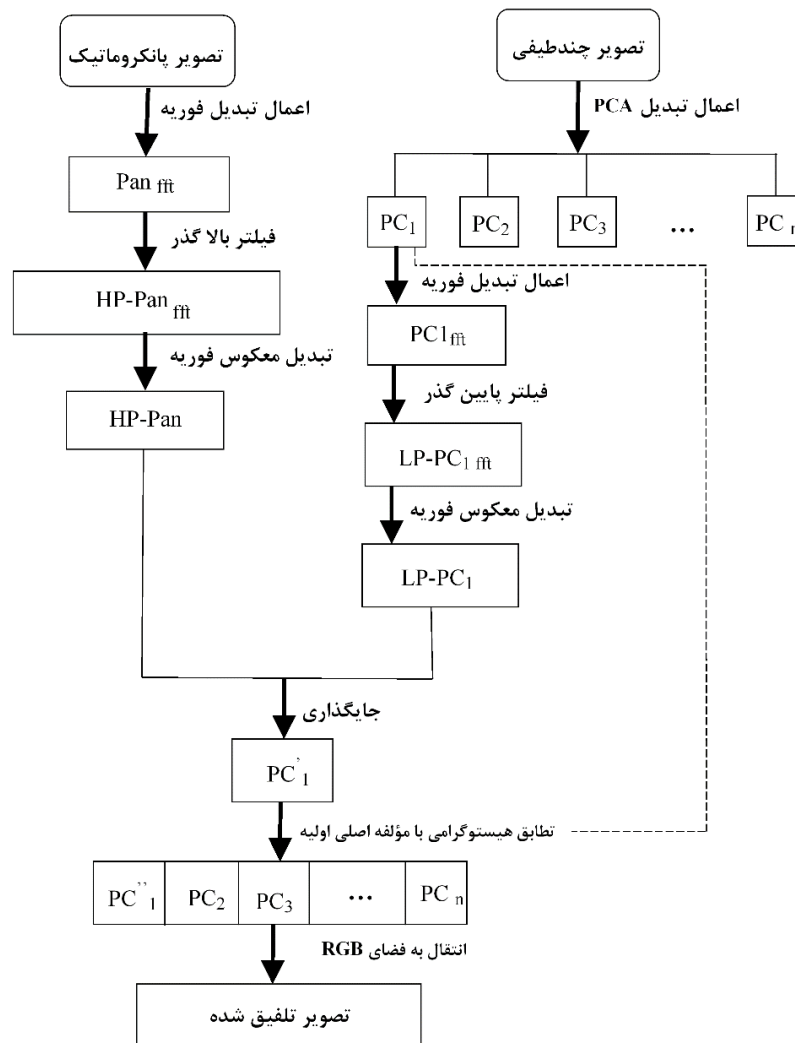
۲-۳- معیارهای ارزیابی

در این تحقیق از معیارهای زیر جهت ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصاویر تلفیق‌شده استفاده شده است.

- ارزیابی بصری
- ضریب همبستگی (CC)
- نسبت سیگنال به نویز (SNR)
- ضریب همبستگی فیلتر شده (FCC)
- خطای کمترین مربعات (RMSE)
- شاخص SAM

۳- پیاده‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج

تصویر هایپریون دارای ۲۴۲ باند می‌باشد، ولی از بین این باندها برخی بدون اطلاعات، برخی دارای سطح بالایی از نویز، برخی غیر کالیبره هستند که باید حذف شوند همچنین باندهای جذبی که پس از تصحیح اتمسفریکی حذف می‌شوند.



شکل ۱: فلوجارت روش FFT-PCA

از جمله پردازش‌های مهم این تصاویر تصحیح اثر Smile می‌باشد این اثر در تمامی تصاویر هایپریون وجود دارد و دلیل آن جابه‌جایی طول مرکز باند برای پیکسل‌های عمود بر مسیر اصلی از طول موج مرکزی می‌باشد که به علت تغییرات پراکندگی زاویه با موقعیت میدان دید و روش‌های مورد استفاده پراکندن طیف در تصویر ورودی است. این اثر باعث ایجاد گرادیان روشنایی در تصویر می‌شود که جهت مشاهده آن از تبدیل MNF استفاده می‌شود و قبل از پردازش‌های بعدی باید حذف گردد. تصاویر هایپریون که از طریق USGS در اختیار کاربران قرار می‌گیرد سطح پردازشی یک روی آن‌ها انجام گرفته است و این داده‌ها به صورت رادیانس می‌باشند، جهت تبدیل این داده‌ها به بازتابندگی باید اثرات اتمسفری از روی این داده‌ها برداشته شود. در این تحقیق جهت انجام تصحیحات اتمسفریکی از برنامه‌ها FLAASH^۸ موجود در نرم‌افزار ENVI استفاده شده است.

جهت کاهش افزونگی اطلاعات و کاهش زمان محاسباتی و پردازش سریع، زیرمجموعه طیفی و مکانی از تصویر مورد استفاده قرار گرفته است. در تلفیق تصاویر باید از باندهایی جهت تلفیق استفاده کرد که در محدوده طیفی مشابه از

⁸ Fast Line-of-sight Atmosphere Analysis InSpectral Hypercubes

هر دو تصویر باشد. سپس تصحیح هندسی روی تصویر هایپریون و تصویر پانکروماتیک Cartosat-1 انجام گرفت. جهت انجام تلفیق باید پیکسل‌های متناظر دو تصویر نسبت به هم رجیستر^۹ باشند.

تلفیق تصاویر موردنظر با روش‌های بیان‌شده پیاده‌سازی گردید و کیفیت تصاویر تلفیق‌شده با معیارهای ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. شکل (۲) ترکیب رنگی حاصل از تلفیق با روش‌های بیان‌شده را نشان می‌دهد.



Hyperion



IRS



PCA



FFT-IHS

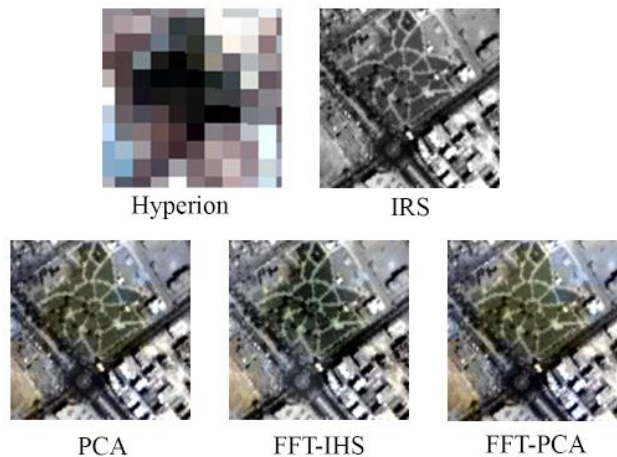


FFT-PCA

شکل ۲: تصاویر ترکیب رنگی حاصل از اعمال روش‌های تلفیق بر روی تصویر هایپریون و Cartosat-1

از جمله معیارهای اولیه ارزیابی تصاویر تلفیق‌شده ارزیابی بصری می‌باشد. ارزیابی بصری قادر به تشخیص کیفیت طیفی و مکانی دقیق نمی‌باشد و از این معیار می‌توان جهت کنترل کیفیت کلی تصویر استفاده کرد. از لحاظ بصری همان‌طور که از شکل (۲) مشخص می‌باشد در حالت کلی نتایج همه روش‌های تلفیق استفاده‌شده در این تحقیق بهبود کیفیت مکانی را نشان می‌دهد. شکل (۳) بزرگ‌نمایی تصاویر تلفیق‌شده را نشان می‌دهد که این بهبود مکانی را به‌طور مشخص‌تری نشان می‌دهد، ولی با این معیار ارزیابی نمی‌توان به‌درستی به کیفیت طیفی دقیق تصویر تلفیق‌شده پی برد و باید از معیارهای ارزیابی طیفی دقیق‌تری جهت کنترل کیفیت طیفی بهره برد.

⁹ Co-Registering



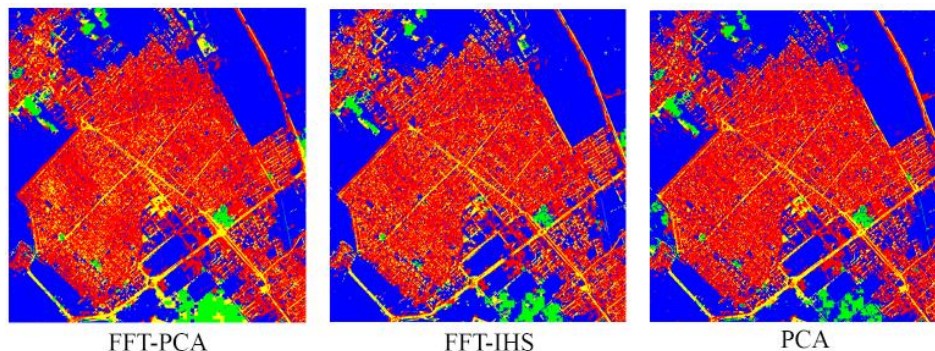
شکل ۳: بزرگ‌نمایی بر روی تصاویر ترکیب رنگی حاصل از روش‌های تلفیق بر روی تصویر هایپریون و **Cartosat-1** نتایج ارزیابی با معیارهای مذکور، در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارزیابی با معیار ضریب همبستگی به ترتیب روش‌های **FFT-PCA**، **FFT-IHS**، و **PCA** تصاویر با کیفیت طیفی بالاتری را حاصل کردند. یعنی نسبت به روش‌های دیگر اعوجاج طیفی کمتری را ایجاد می‌کند و در حفظ محتوای طیفی تصویر چندطیفی و یا فراطیفی موفق‌تر عمل کرده است. در مورد سایر معیارهای ارزیابی همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است نتایجی مشابه با نتایج ضریب همبستگی حاصل شد. در بین روش‌های پیاده‌سازی شده روش **FFT-PCA** در حفظ محتوای طیفی تصویر فراطیفی بهتر عمل کرده است. از جمله شاخص‌های ارزیابی مکانی روش ضریب همبستگی فیلترشده (**FCC**) است، که هر چه قدر عدد این معیار بیشتر باشد نشان‌دهنده کیفیت مکانی بالای تصویر تلفیق شده است. نتایج ارزیابی با این روش نشان می‌دهد که روش **PCA** دارای دقت بالاتری از نظر مکانی نسبت به دو روش دیگر می‌باشد. با این حال روش **FFT-PCA** نیز دقت بالایی از نظر حفظ محتوای مکانی دارد.

جدول ۱: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق شده با معیارهای بیان شده

		PCA	FFT-IHS	FFT-PCA
CC	باند R	60/33	77/31	79/19
	باند G	60/57	74/08	79/14
	باند B	61/68	73/91	80/12
FCC	باند R	99/79	96/11	98/76
	باند G	99/73	96/26	98/51
	باند B	99/16	96/08	97/55
PSNR	باند R	73/21	75/68	76/01
	باند G	74/99	76/84	77/78
	باند B	78/89	80/41	81/69
SNR	باند R	4/17	5/53	5/76
	باند G	4/41	5/46	6/08
	باند B	4/51	5/38	6/22
SAM	باند R	0/240	0/180	0/173
	باند G	0/227	0/183	0/164

	B باند	0/222	0/186	0/160
	R باند	0/055	0/041	0/040
RMSE	G باند	0/045	0/036	0/032
	B باند	0/028	0/024	0/020

همچنین جهت ارزیابی بیشتر نتایج بدست آمده، از طبقه‌بندی تصاویر تلفیق‌شده با طبقه‌بندی کننده ML^{10} به عنوان معیار ارزیابی استفاده شد. شکل ۴ تصاویر طبقه‌بندی شده با روش ML را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نتیجه اعمال طبقه‌بندی کننده ML بر روی تصاویر ترکیب رنگی حاصل از روش‌های تلفیق بر روی تصویر هایپریون و Cartosat-1

جدول ۲ دقت طبقه‌بندی ML را با دو معیار دقت کل و ضریب کاپا نشان می‌دهد. همان طور که از جدول ۲ مشخص است دقت طبقه‌بندی با روش FFT-PCA بهتر از سایر روش‌ها می‌باشد.

جدول ۲: نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت طیفی و مکانی تصویر تلفیق‌شده با معیارهای بیان‌شده

	PCA	FFT-IHS	FFT-PCA
Overall Accuracy	93.06	92.26	93.43
Kappa Coefficient	0.89	0.87	0.89

در حالت کلی نتایج به‌دست‌آمده با کل معیارهای استفاده‌شده بیانگر این است که روش‌هایی که از جایگذاری جزئی تصویر پانکروماتیک جهت تلفیق استفاده می‌کنند از نظر طیفی، کیفیت بالاتری دارند و در این بین روش FFT-PCA در حفظ محتوای طیفی کارآمدتر از بقیه می‌باشد و علاوه بر کیفیت طیفی بالاتر، از نظر مکانی نیز تصویر با کیفیت مکانی خوبی را تولید می‌کند، همچنین یکی از مزایای بسیار خوب این روش رفع محدودیت باندی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

از جمله کاربردهای تلفیق می‌توان به بهبود طبقه‌بندی و جایگذاری اطلاعات از دست‌رفته در یک تصویر با استفاده از تصویر سنجنده دیگر اشاره کرد. روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر ارائه‌شده است لذا جهت تلفیق تصاویر باید از روشی استفاده کرد که علاوه بر بهبود دقت مکانی، بتواند محتوای طیفی تصویر فراتر از محدوده طیفی را به خوبی حفظ کند. به همین دلیل مقایسه کمی و کیفی روش‌های تلفیق به‌عنوان یک نیاز احساس می‌شود. در این پژوهش نیز به بررسی و ارزیابی روش‌های تلفیق PCA، FFT-IHS و روش FFT-PCA پرداخته شد و نتایج تلفیق با معیارهای ارزیابی

¹⁰ Maximum Likelihood



ضریب همبستگی، ضریب همبستگی فیلتر شده، سیگنال به نویز، خطای کمترین مربعات، شاخص SAM مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج این ارزیابی نشانگر دقت بالای روش FFT-PCA در تلفیق این تصاویر می باشد، لذا این روش در حفظ محتوی طیفی تصویر هایپریون بسیار کارآمدتر از سایر روش ها عمل می کند و همچنین در حفظ اطلاعات مکانی تصویر پانکروماتیک Cartosat-1 نیز عملکرد خیلی خوبی را نشان می دهد. روش هایی مثل PCA که از جایگزینی کامل تصویر پانکروماتیک جهت تلفیق استفاده می کنند، از لحاظ کیفیت طیفی نسبت به روش های دیگر دقت کمتری دارند.

مراجع

1. Shahdoosti, H.R. and H. Ghassemian, Multispectral and Panchromatic Image Fusion by Combining Spectral PCA and Spatial PCA Methods. *The Modares Journal of Electrical Engineering*, 2015. 11(3): p. 19-27.
2. PohlC, V.G.J.L., *Multisensor Image Fusion in Remote, Sensing: Concepts, Methods, Application*. *Int J Remote Sensing*, 1998.
3. Shahdoosti, H.R. and H. Ghassemian, Combining the spectral PCA and spatial PCA fusion methods by an optimal filter. *Information Fusion*, 2016. 27: p. 150-160.
4. Carper, W.J., The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 1990. 56(4): p. 457-467.
5. Gharbia, R., et al., *Image Fusion Techniques in Remote Sensing*. arXiv preprint arXiv:1403.5473, 2014.
6. Chavez, P., S.C. Sides, and J.A. Anderson, Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data- Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 1991. 57(3): p. 295-303.
7. Liu, J., Smoothing filter-based intensity modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. *International Journal of Remote Sensing*, 2000. 21(18): p. 3461-3472.
8. Pajares, G. and J.M. De La Cruz, A wavelet-based image fusion tutorial. *Pattern recognition*, 2004. 37(9): p. 1855-1872.
9. Mangalraj, P. and A. Agrawal, Fusion of Multi-Sensor Satellite Images Using Non-Subsampled Contourlet Transform. *Procedia Computer Science*, 2015. 54: p. 713-720.
10. Ling, Y., et al., FFT-enhanced IHS transform method for fusing high-resolution satellite images. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 2007. 61(6): p. 381-392.
11. Yang, S., et al. Fusion of multispectral and panchromatic images using improved GIHS and PCA mergers based on contourlet. in *International Symposium on Multispectral Image Processing and Pattern Recognition*. 2007. International Society for Optics and Photonics.
12. Bai, L., C. Xu, and C. Wang, A review of fusion methods of multi-spectral image. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2015. 126(24): p. 4804-4807.



Increasing spatial resolution of Hyperion image using spatial information of Cartosat-1 image by Fusing FFT-PCA Method

Morteza Bashirpour ^{*1}, Dr.Mohammad Javad Valadan Zoej ^۲, Dr. Yasser Maghsoudi ^۳

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

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

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

Abstract

One of the advantages and goals of fusion, is the combination of spectral and spatial satellite images. The result of fusion process is an image which includes spectral information of multi-spectral image and spatial information of panchromatic image. Different algorithms have been proposed for fusion. In this study, the FFT-PCA method to Fusion Hyperion and Cartosat-1 images introduced and implemented. This method uses the replacement of the panchromatic image with fast Fourier filtering for the purpose of fusion. The results have been compared with the fusion result of Principal Component Analysis (PCA), Fast Fourier Transform-Intensity Hue Saturation (FFT-IHS). For comparison and analysis of the results, the criteria for evaluation of the quality of spectral and spatial correlation coefficient, signal to noise ratio, minimum mean square error, filtered correlation coefficient, Spectral Angle Mapper and Classification Accuracy were used. The results demonstrate that the FFT-PCA method achieve more precision in comparison with other methods in the fusion of Hyperion and Cartosat-1 imagery. FFT-PCA method results in more spectral similarity with Hyperion image and is more efficient than other methods. This method also shows very good performance in preservation of spatial content for Cartosat-1 image.

Keywords: Fusion, FFT-PCA, Hyperion, Cartosat-1