

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

ارائه روشی جدید جهت بهبود نتایج طبقه‌بندی حاصل از مدهای پلاریمتری فشرده

امیر آقابالائی^{۱*}، حمید عبادی^۲، یاسر مقصودی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی سنجش از دور-دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور-دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار گروه مهندسی سنجش از دور-دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۱۳

چکیده

اخیراً مد جدیدی در سیستم‌های تصویربرداری پلاریمتری دوتایی (DP) رادار با روزه مجازی (SAR) ارائه شده است که پلاریمتری فشرده (CP) نامیده می‌شود. این مد چندین مزیت مهم را نسبت به مد تمام پلاریمتری (FP) دارا می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به افزایش در پهنای نوار و نیز کاهش در پیچیدگی، هزینه و نرخ داده‌های یک سیستم تصویربرداری SAR اشاره کرد. علی‌رغم این مزایا، این مد اطلاعات کمتری از اهداف را نسبت به مد FP اخذ می‌کند. بنابراین دقت نتایج طبقه‌بندی با استفاده از این مد، به مراتب کمتر از دقت نتایج حاصل از به کارگیری مد FP خواهد بود. این تحقیق، روشی را جهت بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های CP پیشنهاد می‌دهد. برای این منظور، دو روش در نظر گرفته شده است. در روش اول، مدهای CP شبیه‌سازی شده از مد FP ماهواره رادارست-۲، و در روش دوم، مدهای FP بازسازی شده از این مدهای CP (که شبه پلاریمتری چهارتایی (PQ) نامیده می‌شوند) در سطح ویژگی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ترکیب مدهای CP در سطح ویژگی دقت کلی طبقه‌بندی را به ۷۹٫۷۶٪، و ترکیب مدهای PQ دقت کلی طبقه‌بندی را به ۸۵٫۰۱٪ بهبود داده و گاهی بهتر از دقت کلی طبقه‌بندی حاصل از به کارگیری مد FP خواهد کرد.

کلیدواژه‌ها: پلاریمتری فشرده، تلفیق در سطح ویژگی، طبقه‌بندی.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران - خیابان ولیعصر (عج) - تقاطع میرداماد - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری

تلفن: ۰۲۱۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: a.aghabalaei@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

در مد تمام پلاریمتری ^۱(FP) سیستم‌های تصویربرداری رادار با روزنه مجازی ^۲(SAR) دو پالس با پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی ارسال، و در مقابل دو پالس با پلاریزاسیون‌های افقی و عمودی به صورت هم‌زمان و کوهرنس^۳ دریافت می‌شود. بنابراین برای هر پیکسل از تصویر یک ماتریس پراکنش^۴، که شامل چهار مقدار پس پراکنش^۵ می‌شود، تشکیل خواهد شد. این نوع نحوه ارسال و دریافت پلاریزاسیون اجازه می‌دهد تا اطلاعات بیشتری از اهداف اخذ شود. حقیقتاً مد FP پتانسیل بالای خود را در اخذ داده و نیز عملکرد بهتر خود را در کاربردهای مختلف نسبت به دیگر سیستم‌های تصویربرداری SAR اثبات کرده است. ولی متأسفانه دارای فرکانس تکرار پالس (PRF)^۶ بیشتری می‌باشد [1]. از این رو طراحی سیستم‌های تصویربرداری SAR در این مد، هزینه‌بر و آنالیز داده‌های اخذ شده، پیچیده‌تر و زمان‌بر خواهد بود. همچنین پهنای نوار آن‌ها نصف شده و در نتیجه منطقه کمتری را می‌توانند پوشش دهند [2].

در سیستم‌های تصویربرداری پلاریمتری دوتایی ^۷(DP)، یک پلاریزاسیون (افقی یا عمودی) ارسال و در مقابل دو پلاریزاسیون (افقی و عمودی) دریافت می‌شود. این مدها تنها نیمی از اطلاعات ماتریس پراکنش را جمع‌آوری می‌کنند. بنابراین پردازش داده و نیز محتوای اطلاعاتی تصاویر پلاریمتریک این سیستم‌های تصویربرداری SAR، کاهش پیدا می‌کند.

اخیراً رشد قابل توجهی در سیستم‌های تصویربرداری DP شده است که پلاریمتری فشرده ^۸(CP)

نامیده می‌شود. این مد قابلیت دارد تا پیچیدگی، هزینه و نرخ داده‌های یک سیستم تصویربرداری SAR را کاهش دهد، در حالی که تلاش می‌کند تا بسیاری از قابلیت‌های یک سیستم SAR در مد FP را حفظ کند [3]. همانند دیگر سیستم‌های DP، در سیستم‌های تصویربرداری CP نیز یک پلاریزاسیون ارسال، و در مقابل دو پلاریزاسیون دریافت می‌شود. با این تفاوت که پلاریزاسیون‌های ارسالی یا دریافتی می‌توانند دایره‌ای نیز باشند. مزیت اصلی این سیستم‌ها آن است که نه تنها اطلاعات بیشتری از اهداف را نسبت به مدهای استاندارد DP جمع‌آوری می‌کنند، بلکه پهنای نوار وسیع‌تری را نسبت به مد FP پوشش می‌دهند [4]. در حال حاضر سه مد برای سیستم‌های تصویربرداری CP وجود دارد: مد $\pi/4$ (ارسال خطی-دریافت خطی)، مد ارسال دایره‌ای-دریافت خطی (CTLR)^۹ و مد ارسال دایره‌ای-دریافت دایره‌ای (DCP)^{۱۰}. این نکته باید توجه شود که در مدهای ارسال دایره‌ای، پلاریزاسیون ارسالی می‌تواند دایره‌ای راست‌گرد یا دایره‌ای چپ‌گرد باشد.

علی‌رغم مزایای اشاره شده در فوق، مدهای CP هنوز اطلاعات پلاریمتریک کمتری از اهداف را نسبت به مد FP اخذ می‌کنند. از این رو، داده‌های CP عملکرد ضعیف‌تری در فرآیند طبقه‌بندی نسبت به داده‌های FP خواهند داشت. در این تحقیق، روشی جهت بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی به‌وسیله مدهای CP ارائه شده است. برای این منظور مدهای CP در سطح ویژگی با یکدیگر ترکیب شده، ویژگی‌های بهینه انتخاب و سپس طبقه‌بندی انجام می‌شود. در نهایت، نتیجه روش پیشنهادی با نتیجه به‌دست آمده از مد FP مقایسه و ارزیابی می‌شود. در این‌جا ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که اگرچه روش اتخاذ شده در

¹ Full Polarimetry² Synthetic Aperture RADAR³ Coherence⁴ Scattering Matrix⁵ Backscatter⁶ Pulse Repetition Frequency⁷ Dual Polarimetry⁸ Compact Polarimetry⁹ Circular Transmit-Linear Receive¹⁰ Dual Circular Polarimetric

جدول 1: ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده از
ماتریس‌های کوواریانس 2×2 مدهای CP.

تعداد	نماد	توضیح	ویژگی
1	τ	زاویه بیضویت	زوایای
1	φ	زاویه توجیه	استوکس [9]
4	g	بردار استوکس	اجزای استوکس [9]
2	p	احتمالات مقادیر ویژه	توصیف‌گرهای موج [9]
2	λ	مقادیر ویژه	
1	CONT	کنتراست	
1	LPR	نسبت پلاریزاسیون خطی	
1	CPR	نسبت پلاریزاسیون دایره‌ای	
1	DoLP	درجه پلاریزاسیون خطی	
1	DoCP	درجه پلاریزاسیون دایره‌ای	
1	H	بی‌نظمی	
1	A	ناهمسنگردی	
1	m	درجه پلاریزاسیون	
1	δ	فاز نسبی	
1	α	زاویه پلاریزاسیون	
1	Span	مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس	
3	[C]	ماتریس کوواریانس CP	ویژگی‌های اصلی [8]
3	$[m-\delta]$	تجزیه ام-دلتا	تجزیه‌های هدف [10] [13]
3	$[m-\chi]$	تجزیه ام-خی	
3	$[m-\psi]$	تجزیه ام-سای	
3	$[m-a]$	تجزیه ام-آلفا	
4	α_s, m_s, m_v, ϕ	تجزیه کلود	
40			مجموع

این تحقیق در مقالاتی همچون [5، 6 و 7] نیز اتخاذ شده است، ولی نوآوری این پژوهش در به‌کارگیری این روش با استفاده از مدهای پلاریمتری فشرده می‌باشد.

2- روش پیشنهادی این تحقیق

در این پژوهش، جهت بهبود دقت‌های طبقه‌بندی، مدهای CP در سطح ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده، با یکدیگر تلفیق می‌شوند. برای این منظور، دو روش در نظر گرفته شده است. در روش اول، مدهای CP که از مد FP ماهواره رادارست-2 شبیه‌سازی شده‌اند، و در روش دوم مدهای شبه پلاریمتری چهارتایی (PQ) که با استفاده از روش تکراری سوپریس [8] بازسازی شده‌اند، با یکدیگر تلفیق می‌شوند. هر دو روش شامل سه مرحله اصلی می‌شود: استخراج ویژگی‌های پلاریمتریک، انتخاب ویژگی‌های بهینه و طبقه‌بندی.

2-1- استخراج ویژگی‌های پلاریمتریک

در روش اول، از هر یک از ماتریس‌های کوواریانس 2×2 مدهای CP تعداد 40 ویژگی پلاریمتریک استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها به‌طور کلی شامل زوایای استوکس^۱، اجزای استوکس^۲، توصیف‌گرهای موج^۳، ویژگی‌های اصلی و تجزیه‌های هدف^۴ می‌شوند. این ویژگی‌ها را می‌توان در جدول (1) مشاهده کرد. در روش دوم، از هر یک از ماتریس‌های کوواریانس 3×3 مدهای PQ تعداد 50 ویژگی پلاریمتریک که شامل ویژگی‌های اصلی، تجزیه‌های هدف و توصیف‌گرهای SAR می‌شود، استخراج می‌شود. این ویژگی‌ها در جدول (2) نشان داده شده است.

¹ Pseudo Quad Polarimetry

² Stokes Angle

³ Stokes Components

⁴ Wave Description

⁵ Target Decompositions

جدول 2: ویژگی‌های پلاریمتری استخراج شده از ماتریس‌های کوواریانس 3×3 مدهای PQ و FP.

تعداد	نماد	توضیح	ویژگی
4	[C]	ماتریس کوواریانس PQ	ویژگی‌های اصلی [9]
4	[T]	ماتریس کوهرنسی PQ	
11	Alpha, Beta, Delta, Gamma, Lambda, H, A, HA, H(1-A), (1-H)A, (1-H)(1-A)	تجزیه اچ/ای/آلفا	تجزیه‌های هدف [9]
3	[Free]	تجزیه سه جزئی فریم	
3	[Van]	تجزیه سه جزئی ون‌زیل	
3	[Yama]	تجزیه سه جزئی یاماگوچی	
3	[An]	تجزیه سه جزئی آن و یانگ	
3	p	احتمالات مقادیر ویژه	توصیف‌گرهای SAR [9]
3	λ	مقادیر ویژه	
1	RVI	شاخص پوشش گیاهی راداری	
1	PH	پدستال ارتفاع	
1	PA	عدم تقارن پلاریزاسیون	
2	SERD, DERD SE, SE _I , SE _P	اختلاف نسبی مقادیر ویژه	
3		شنون بی‌نظمی	
1	DP	غیرپلاریزاسیون	
2	Ro13, CCC	ضریب همبستگی	
1	PF	کسر پلاریزاسیون	
1	Span	مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس کوواریانس	
50		مجموع	

2-2- انتخاب ویژگی‌های بهینه

در این تحقیق، انتخاب ویژگی‌های پلاریمتریک بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک [14] انجام شده است. مزیت اصلی الگوریتم ژنتیک آن است که به اطلاعات زیادی درباره تابع بهینه‌سازی نیاز ندارد و قابل اجرا حتی در فضای جستجوی بزرگ می‌باشد. جهت استفاده از الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه برابر با 50 کروموزوم و به صورت تصادفی تولید می‌شود. در هر نسل، 2 کروموزوم برتر به نسل بعد انتقال پیدا می‌کنند. همچنین از روش تورنامنت¹ برای انتخاب

والدین، تقاطع تک نقطه‌ای با نرخ 80٪ و جهش یکنواخت استفاده می‌شود. در صورتی که تفاوت بین بهترین نتیجه 10 نسل متوالی از 0,000001 کمتر باشد، الگوریتم متوقف خواهد شد. در ضمن دقت کلی طبقه‌بندی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است.

2-3- طبقه‌بندی

در این پژوهش، روش غیرپارامتریک نظارت شده ماشین بردار پشتیبان (SVM)² [15] جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های پلاریمتریک استخراج شده، به کار برده شده است. مزیت اصلی SVM، قابلیت آن در

² Support Vector Machine

¹ Tournament

و یک مجموعه ویژگی جدید را تشکیل می‌دهند. حال به‌منظور کسب دقت‌های طبقه‌بندی بالاتر، الگوریتم ژنتیک بر روی این مجموعه ویژگی جدید اجرا شده و ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌شوند. نهایتاً روش SVM جهت طبقه‌بندی ویژگی‌های انتخاب شده به کار می‌رود (این روش GA_SVM نامیده شده است). ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده توسط الگوریتم ژنتیک، دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش SVM برای هر مد و مدهای تلفیق شده، و نیز تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA_SVM برای هر دو روش اول و دوم در جدول‌های (4 و 5) ارائه شده‌اند.

جدول 3: مجموعه کلاس‌های نهایی انتخاب شده در

این تحقیق

تعداد پیسکل‌های تست	تعداد پیسکل‌های آموزشی	کلاس
772	980	بلوط قرمز
375	305	کاج سفید
782	900	صنوبر سیاه
494	570	منطقه شهری
810	1047	رودخانه
631	978	پوشش‌های گیاهی

حل مسائل غیرخطی و به‌ویژه طبقه‌بندی به‌وسیله بردارهای ویژگی است. همچنین بسته کتابخانه‌ای SVM [16] جهت محاسبات طبقه‌بندی کننده SVM و تابع پایه شعاعی (RBF)¹ به‌عنوان تابع کرنل انتخاب شدند.

3- منطقه مطالعاتی و داده‌ها

جنگل تحقیقاتی پتاواوا²، واقع در یکی از ایالت‌های شرقی کانادا، برای این پژوهش انتخاب شده است. این جنگل که نزدیک رودخانه کالک³ بوده و تقریباً در 200 کیلومتری شمال غربی شهر اتاوا⁴ قرار دارد، اساساً شامل درختان نرم‌چوب و سخت‌چوب می‌شود. شکل (I-الف) پلی‌گون‌های داده مرجع گونه‌های مختلف جنگلی را بر تصویر رزولوشن بالا نشان می‌دهد. همچنین جدول (3) مجموعه کلاس‌های نهایی انتخاب شده در این تحقیق، که شامل شش کلاس بلوط قرمز (سخت‌چوب)، کاج سفید (نرم‌چوب)، صنوبر سیاه (نرم‌چوب)، منطقه شهری، رودخانه و پوشش‌های گیاهی می‌شوند، را همراه با تعداد نمونه‌های آموزشی و تست مربوطه‌شان نمایش می‌دهد. داده مورد استفاده در این پژوهش، در تاریخ 4 آگوست 2009 توسط ماهواره رادارست-2 در مد FP و در باند C اخذ شده است. شکل (I-ب) این داده را در یک تصویر رنگی کاذب بر مبنای پائولی، که در آن $S_{HH} - S_{VV}$ ، S_{HH} و $2S_{HV}$ به ترتیب رنگ‌های قرمز، سبز و آبی هستند، نشان می‌دهد.

4- بحث و بررسی نتایج تحقیق

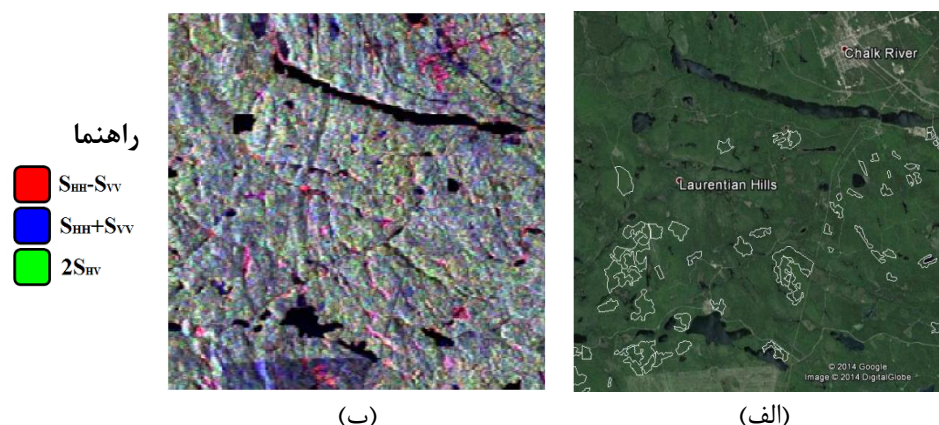
در هر یک از دو روش توضیح داده شده در قسمت روش پیشنهادی، ابتدا یک سری ویژگی‌های پلاریمتریک از هر یک از مدها استخراج می‌شود. سپس این ویژگی‌ها باهم ترکیب شده

¹ Radial Basis Function

² Petawawa

³ Chalk

⁴ Ottawa



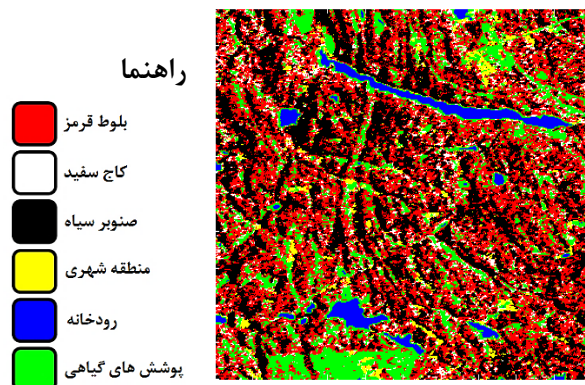
شکل 1: (الف) پلی‌گون‌های داده مرجع گونه‌های مختلف جنگلی را بر تصویر رزولوشن بالای گرفته شده از سایت نقشه گوگل، و (ب) داده رادارست-2 در مد FP به صورت نمایش رنگی کاذب برمبنای پائولی.

جدول 4: ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده از مدهای CP توسط الگوریتم ژنتیک.

مد	زوایای استوکس	اجزای استوکس	توصیف‌گرهای موج	ویژگی‌های اصلی	تجزیه‌های هدف
$CTLR_L$	τ		$CPR, CONT$	C_{22}	$[m - \delta]_{P_V}, \alpha_S$
$CTLR_R$			CPR, δ		$[m - \delta]_{P_d}, [m - \chi]_{P_V}, \Phi$
DCP_L		g_0, g_2	$\lambda_1, H, DoCP$		
DCP_R			H	C_{22}	$[m - \psi]_{P_d}, [m - \alpha]_{P_S}$
$Pi/4$		g_1, g_2	LPR, A, λ_1	C_{12}	$[m - \psi]_{P_V}, [m - \psi]_{P_S}, [m - \chi]_{P_V}, \Phi$

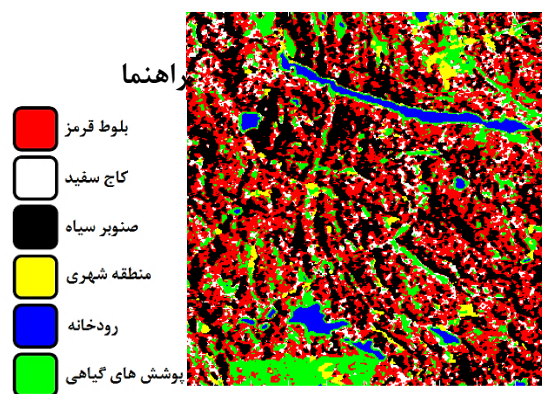
جدول 5: دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش SVM با استفاده از مدهای CP ، و نیز روش GA_SVM (برحسب درصد).

مد/روش	بلوط قرمز	کاج سفید	صنوبر سیاه	منطقه شهری	رودخانه	پوشش‌های گیاهی	دقت کلی
$CTLR_L$	56,34	15,46	67,77	42,91	100	93,34	68,16
$CTLR_R$	56,86	28,26	62,91	54,85	100	86,68	68,96
DCP_L	52,46	14,66	53,45	79,95	100	90,49	68,68
DCP_R	45,20	7,47	60,23	66,59	100	94,77	66,89
$pi/4$	66,06	12,53	68,67	84,81	100	93,97	75,46
CP_GA_SVM	69,43	37,33	70,97	92,10	100	92,86	79,76



شکل 2: تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA_SVM با استفاده از مدهای CP .

همان‌طور که از جداول (5 و 7) مشاهده می‌شود، تلفیق مدهای CP نتایج بهتری را در فرآیند طبقه‌بندی برای اکثر کلاس‌ها و نیز به صورت کلی فراهم می‌کند (مقادیر سایه زده شده را ببینید). همچنین با توجه به جدول (7) می‌توان مشاهده کرد که دقت‌های به‌دست آمده از روش پیشنهادی، گاهی از دقت‌های طبقه‌بندی به‌دست آمده توسط مد FP نیز بهتر خواهد بود. این موضوع را می‌توان با مقایسه نتایج به‌دست آمده در مقاله [6] نیز مشاهده کرد. شکل (4) این مقایسه را برای کلاس‌های مختلف و به صورت کمی نشان می‌دهد.



شکل 3: تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از روش GA_SVM با استفاده از مدهای PQ .

جدول 6: ویژگی‌های پلاریمتریک برگزیده شده از مدهای PQ توسط الگوریتم ژنتیک.

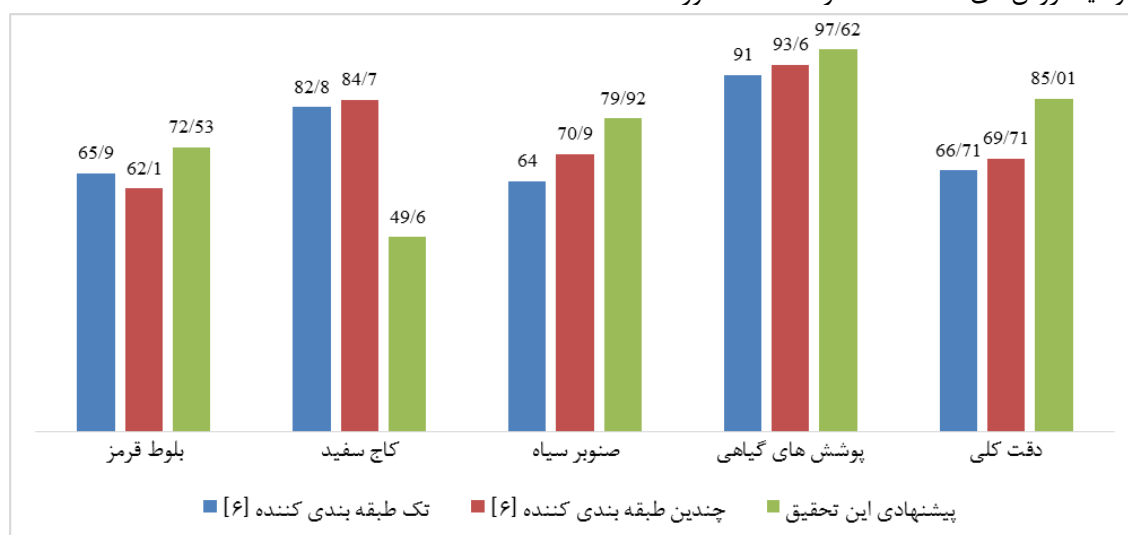
مد	ویژگی‌های اصلی	تجزیه‌های هدف	توصیف‌گرهای SAR
PQ_CTLR_L	T_{12}, T_{22}	$Beta, Delta, Gamma, H, (1-H)A, (1-H)(1-A), [Free]_{OB}$	$p_1, p_3, DERD$
PQ_CTLR_R	C_{22}	$Alpha, Beta, HA, (1-H)A, [Free]_{DB}, [Yama]_{OB}$	λ_2, SE
PQ_DCP_L		$Alpha, H, H(1-A), [Free]_{DB}, [Van]_{OB}, [Yama]_{OB}, [An]_{OB}$	$p_3, SPAN, Ro13$
PQ_DCP_R	C_{13}, C_{22}	$Beta, HA, [Yama]_v, [An]_v$	$SERD, PF, PA, RVI, SE_I, Ro13$
$PQ_pi/4$	C_{33}, T_{12}, T_{22}	$Alpha, Delta, A, (1-H)(1-A), [An]_{OB}, [An]_v$	$\lambda_1, \lambda_3, CCC, Ro13$

جدول 7: دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش SVM با استفاده از مدهای PQ و FP، و نیز روش GA_SVM (برحسب درصد).

دقت کلی	پوشش‌های گیاهی	رودخانه	منطقه شهری	صنوبر سیاه	کاج سفید	بلوط قرمز	مد/روش
73,96	97,30	100	55,06	73,78	31,46	60,49	PQ_CTLR_L
78,72	86,68	100	73,07	72,50	51,46	73,05	PQ_CTLR_R
73	96,51	100	44,33	74,55	42,13	57,25	PQ_DCP_L
73,91	82,09	100	49,39	73,01	45,86	70,07	PQ_DCP_R
82,42	93,02	100	89,87	75,95	42,40	76,55	PQ_pi/4
84,05	94,77	100	96,76	75,19	45,60	78,10	FP
85,01	97,62	100	98,78	79,92	49,60	72,53	PQ_GA_SVM

شاید بتوان این موضوع را ناشی از انتخاب بسیار کم تعداد داده‌های آموزشی برای این کلاس در این تحقیق (305 نمونه آموزشی) نسبت به کار انجام شده در منبع [6] (1257 نمونه آموزشی) دانست. چراکه این موضوع سبب می‌شود تا در طبقه‌بندی به روش SVM، داده‌ها به‌خوبی آموزش ندیده و در نتیجه دقت طبقه‌بندی کاهش یابد.

همان‌گونه که در نمودار شکل (4) مشاهده می‌شود، دقت‌های طبقه‌بندی به‌دست آمده از روش پیشنهادی برای اکثر کلاس‌ها و نیز به‌صورت کلی، به مراتب بیشتر از دقت‌های به‌دست آمده با استفاده از روش‌های به‌کار گرفته شده در مقاله [6] می‌باشد. در ضمن همان‌طور که مشاهده می‌شود، دقت به‌دست آمده برای کلاس "کاج سفید" با استفاده از روش پیشنهادی این تحقیق، پایین‌تر از دقت به‌دست آمده برای همین کلاس به‌وسیله روش‌های اتخاذ شده در مقاله مذکور است.



شکل 4: مقایسه دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از روش پیشنهادی این تحقیق با روش‌های به‌کار گرفته شده در مقاله [6] (برحسب درصد)

5- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روشی جهت بهبود در دقت‌های طبقه‌بندی حاصل از مدهای CP پیشنهاد شد و نتایج، کارایی و عملکرد موثر روش پیشنهادی را اثبات کرد. اگرچه داده‌های CP همیشه دارای اطلاعات پلاریمتریک کمتری نسبت به داده‌های FP هستند، ولی به دلیل دارا بودن چندین مزیت مهم نسبت به دیگر سیستم‌های چندپلاریزاسیون SAR، هنگامی که منابع سیستم‌های پلاریمتریک محدود هستند و یا در دسترس نیستند، می‌توانند یک استراتژی موثر باشند. همچنین با تلفیق این داده‌ها در سطح ویژگی‌های پلاریمتریک می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. این نوع تلفیق امکان‌پذیر است چراکه در حال حاضر حداقل سه ماهواره که قابلیت اخذ داده در مد CP را دارند، در مدار قرار داشته و یا در آینده‌ای نزدیک به فضا پرتاب خواهند شد. این ماهواره‌ها شامل ماهواره تصویربرداری راداری- I هندی ($RISAT-1$)¹، ماهواره پیشرفته مشاهده‌گر زمین-2 ژاپنی ($ALOS-2$)² و ماهواره مأموریت صورت فلکی رادارست کانادایی (RCM)³ می‌شوند.

¹ Radar Imaging Satellite² Advanced Land Observing Satellite³ RADARSAT Constellation Mission

مراجع

- [1] R. Rafiee, A. Salman Mahiny, N. Khorasani, A. Darvishsefat, and A. Danekar, "Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM)", *Cities*, 26, 19-26, 2009.
- [2] www.amar.org.ir, Statistical Centre of Iran.
- [3] H. H. Zhang, Y. N. Zeng, and L. Bian, "Simulating multi-objective spatial optimization allocation of land use based on the integration of multi-agent system and genetic algorithm" *International Journal of Environmental Research*, 4(4), 765-776, 2010.
- [4] H. Zhang, X. Jin, L. Wang, Y. Zhou, and B. Shu, "Multi-agent based modeling of spatiotemporal dynamical urban growth in developing countries: simulating future scenarios of Lianyungang city, China", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29.1, 63-78, 2015.
- [5] G. Tian, Y. Ouyang, Q. Quan, and J. Wu, "Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—A case study of the Phoenix metropolitan region, USA", *Ecological Modelling*, 222.5, 1129-1138, 2011.
- [6] A. Veldkamp, E.F. Lambin, "Predicting land-use change", *Agriculture, ecosystems & environment*, 85.1, 1-6, 2001.
- [7] Y. Feng, Y. Liu, X. Tong, M. Liu, and S. Deng, "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules", *Landscape and Urban Planning*, 102.3, 188-196, 2011.
- [8] R. Tan, Y. Liu, K. Zhou, L. Jiao, and W. Tang, "A game-theory based agent-cellular model for use in urban growth simulation: A case study of the rapidly urbanizing Wuhan area of central China", *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 15-29, 2015.
- [9] Macal, Charles M., and Michael J. North, 2009, "Agent-based modeling and simulation." In *Winter simulation conference*, pp. 86-98. Winter Simulation Conference.
- [10] Weiss, Gerhard, 1999, "Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence." MIT press.
- [11] A. Jjumba, and S. Dragičević, "High resolution urban land-use change modeling: agent iCity approach", *Applied Spatial Analysis and Policy*, 5.4, 291-315, 2012.
- [12] J. Jokar Arsanjani, M. Helbich, E. de Noronha Vaz, "Spatiotemporal simulation of urban growth patterns using agent-based modeling: the case of Tehran", *Cities*, 32, 33-42, 2013.
- [13] V. Kocabas, S. Dragicevic, "Bayesian networks and agent-based modeling approach for urban land-use and population density change: a BNAS model" *Journal of Geographical Systems*, 15.4, 403-426, 2013.
- [14] Y. Feng, Y. Liu, X. Tong, M. Liu, and S. Deng, "Modeling dynamic urban growth using cellular automata and particle swarm optimization rules" *Landscape and Urban Planning*, 102(3), pp.188-196, 2011.
- [15] Ma, S., He, J., Liu, F. and Yu, Y., 2011. "Land-use spatial optimization based on PSO algorithm" *Geo-spatial Information Science*, 14(1), pp.54-61.
- [16] X. Li, X. Liu, "Defining agents' behaviors to simulate complex residential development using multicriteria evaluation", *Journal of Environmental Management*, 85.4, 1063-1075, 2007.
- [17] F. Hosseinali, A. A. Alesheikh, F. Nourian, "Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city", *Cities*, 31, 105-113, 2013.
- [18] J. Kennedy, and R.C. Eberhart, "A discrete binary version of the particle swarm algorithm", *Systems, Man, and Cybernetics*, 1997. *Computational Cybernetics and*

- Simulation*, 1997 *IEEE International Conference on*, 5, 4104 – 4108, 1997.
- [19] J. van Vliet, R. White, S. Dragicevic, "Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton", *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 35–43, 2009.
- [20] G. Tian, Y. Ouyang, Q. Quana, J. Wub, "Simulating spatiotemporal dynamics of urbanization with multi-agent systems—A case study of the Phoenix metropolitan region, USA", *Ecological Modelling*, 222.5, 1129-1138, 2011.



A New Method to Improve the Results of Classification Obtained from Compact Polarimetry Data

Amir Aghabalaie ^{*1}, Hamid Ebadi², Yasser Maghsoudi³

1- MSc Graduated Student from Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Associate Professor in Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor in Remote Sensing Department of Geomatics, Faculty of Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

Recently, a new mode is proposed in Dual Polarimetry (DP) imaging systems that is called Compact Polarimetry (CP) which has several important advantages in comparison with Full Polarimetry (FP) such as reduction ability in complexity, cost, mass, and data rate of a Synthetic Aperture RADAR (SAR) system. Despite these advantages, the CP mode, compared to the FP mode, still achieves less information to be extracted from targets. Therefore, accuracies of classification obtained from CP data are lower than those obtained from FP data. In this paper, a new method is proposed to improve the results of classification obtained by using CP data. For this propose, two ways are considered. First, the CP modes simulated by RADARSAT-2 FP mode, and second, Pseudo Quad Polarimetry (PQ) modes reconstructed by exploited CP modes are combine in the extracted polarimetric feature level. Results of this study show that this combination can be increase the classification accuracies.

Key words: Compact Polarimetry, Combination in Feature Level, Classification.