طبقه بندی تصاویر SAR پلاریمتریک با استخراج ویژگی‌های مکانی و پراکندگی و نمونه‌های آموزشی محدود

امیرحسین قزوینی زاده[1]، مریم ایمانی[2]، حسن قاسمیان
[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، g.amirhosein@modares.ac.ir
[2] استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، maryam.imani@modares.ac.ir
استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، ghassemi@modares.ac.ir

چکیده

امروزه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد بحث و مطالعه در مباحث سنجش از دور می‌باشد. تصاویر POLSAR یکی از انواع تصاویر SAR می‌باشد که به خاطر استفاده از پلاریزاسیون‌های مختلف (افقی و عمودی)، قابلیت استخراج اطلاعات دقیق‌تری از مکانیزم پراکندگی محیط مورد مطالعه ایجاد می‌کند، ولی همین موضوع در عین حال می‌تواند عملیات استخراج ویژگی و طبقه بندی را پیچیده‌تر کند. در این مقاله از شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) جهت استخراج ویژگی و طبقه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود. علاوه بر آن سعی می‌شود با استفاده از پروفایل‌های ریخت‌شناسی و یکی از روش‌های تجزیه هدف تحت عنوان H/A/alpha decomposition به ترتیب ویژگی‌های مکانی و پراکندگی را به صورت جداگانه استخراج کرده و به همراه دیتای اصلی POLSAR به عنوان ورودی به شبکه کانولوشنی داده شوند. همچنین به کمک طبقه بند SVM به تعداد نمونه‌های آموزشی(برچسب‌دار) محدودی که در اختیار داریم اضافه می‌کنیم و به بهبود آموزش در شبکه CNN کمک می‌کنیم که در نهایت باعث افزایش راندمان ساختار نهایی و بهبود عملکرد آن در طبقه بندی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رادار دهانه مصنوعی، شبکه عصبی کانولوشنی، پروفایل‌های ریخت شناسی، فیلترهای تجزیه هدف، استخراج ویژگی، ماشین بردار پشتیبان

Polarimetric SAR Image Classification Using Spatial and Scattering Features Extraction with Limited Training Samples

Abstract

Nowadays, classification of satellite images is one of the main subjects discussed and studied in remote sensing topics. POLSAR images are one of the types of SAR images that due to the use of different polarizations (horizontal and vertical), these images have potential to extract more accurate information from the scattering mechanism of the desired environment. However, this can also make feature extraction and classification operations more complicated. In this paper, convolutional neural networks (CNNs) are used to extract features and classify images. In addition, by using morphological profiles and one of target decomposition methods called H / A / alpha decomposition, we try to extract the spatial and scattering features separately and stack them with the main POLSAR data, to use as input to the convolutional network. Also we use the SVM classifier to increase the limited training samples through obtaining an initial classification map. The result is improvement of classification.

Keywords: Synthetic Aperture Radar (SAR), Convolutional neural network (CNN), Morphological Profiles, Target decomposition, feature extraction, Support vector machine.

۱ مقدمه

تصویر SAR پلاریمتریک یا POLSAR اطلاعات پراکندگی را تحت ترکیبات مختلف قطبش موج ارائه دهد که این موضوع باعث می‌شود تفسیر مکانیزم پراکندگی محیط مورد مطالعه به طوردقیق تری انجام پذیرد. POLSAR کاربردهای زیادی در بسیاری از زمینه‌ها از جمله طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و تهیه نقشه‌های سطح زمین، نظارت و پایش محیط زیست و شناسایی هدف دارد (Yang et al., 2015). در سالهای اخیر از روش‌های یادگیری عمیق (deep learning) جهت استخراج ویژگی و طبقه بندی این تصاویر استفاده شده است. شبکه‌های عصبی کانولوشنی یا CNN نماینده ای از روش‌های یادگیری عمیق محسوب می‌شوند (Imani, 2021a). این شبکه‌ها مزیت استخراج ویژگی‌های مفید به صورت خودکار و انجام طبقه بندی و ارائه نتیجه

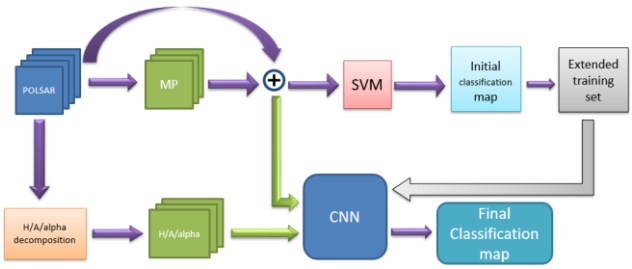
نهایی طبقه بندی را دارند.

پیش از محبوبیت روش‌های یادگیری‌عمیق، برای مدت‌طولانی الگوریتم‌های یادگیری‌ماشین از جمله SVMها برای طبقه‌بندی تصاویر POLSAR استفاده می‌شدند. در (Chen and Tao, 2018) با استفاده از ویژگی‌های پلاریمتریک H/A/alpha و ویژگی‌هایی که براساس چرخش اهداف به دست می‌آیند یک ورودی ۵ کاناله برای شبکه CNN تولید می‌شود. در (Zhao et al., 2016) با تبدیل ورودی اصلی پلاریمتریک ۹ کاناله به یک مکعب ۶ کاناله با مقادیرحقیقی، از آن به عنوان ورودی CNN استفاده شده است. در (Imani, 2021b) یک شبکه‌عصبی دو شاخه جهت استخراج و ادغام ویژگی‌های local و global پیشنهاد شده است. در (Xie et al., 2020) یک روش نیمه‌نظارتی معرفی گردیده است. پیشنهاد (Zou et al., 2020) بهره گیری از یک روش شی‌گرا برای طبقه‌بندی با رزولوشن‌بالا بوده و در (Tan et al., 2020) یک شبکه عصبی ۳ بعدی با ورودی مختلط (CV-3D-CNN) امکان استخراج همزمان اطلاعات مکانی و پراکندگی را فراهم می‌کند. در (Imani, 2022) اجزای فرکانس پایین تصویر POLSAR (با نویز کاهش یافته) و همچنین نقشه ویژگی‌های فیزیکی (اطلاعات‌پراکندگی) به خروجی بلوک‌های اول تا سوم یک شبکه کانولوشنال اضافه می‌شوند که اینکار مشکل وجود نویز در نقشه‌طبقه‌بندی و همچنین عدم استخراج ویژگی‌های پراکندگی توسط شبکه را تا حد زیادی رفع می‌کند.

۲ روش تحقیق

هدف ما طبقه‌بندی تصاویر POLSAR با استفاده از نمونه‌های آموزشی محدود در دسترس می‌باشد. این تصاویر یک مکعب از اطلاعات را در اختیار ما می‌گذارند که در دو بعد اطلاعات مکانی و در بعد سوم اطلاعات پلاریمتریک یا پراکندگی موجود است (Dong et al., 2020). اگر بخواهیم از مزایای طبقه بند CNN استفاده کنیم نیازمند تعداد زیادی نمونه آموزشی (برچسب‌دار) هستیم که معمولاً در دسترس نیست؛ از طرفی این شبکه‌های کانولوشنی با قابلیت بالای استخراج اطلاعات‌مکانی جهت استفاده مورد علاقه ماهستند.

جهت حل این مشکل از یک‌طرف برای افزایش تعداد نمونه‌های آموزشی، از طبقه بند SVM استفاده می‌کنیم. به این صورت که با استفاده از نمونه‌های آموزشی محدود در دسترس، طبقه بندی را انجام می‌دهیم و پس از به دست آمدن نقشه طبقه بندی اولیه، از هر کلاس تعدادی از نمونه‌های برچسب خورده را انتخاب و به مجموعه نمونه‌های آموزشی اولیه اضافه می‌کنیم. به این ترتیب مجموعه بزرگتری از نمونه‌های آموزشی حاصل می‌شود. از طرف‌دیگر با استفاده از شبکه‌عصبی با عمق کمتر، تعداد پارامترهای شبکه را کاهش می‌دهیم. هرچند می‌دانیم با کاهش عمق شبکه قابلیت استخراج ویژگی‌شبکه نیز کاهش میابد؛ بنابراین جهت رفع این مشکل، ویژگی‌های مکانی و پراکندگی را از قبل به صورت دستی استخراج و به عنوان ورودی به شبکه می‌دهیم. به این ترتیب مقداری از مشکل کمبود استخراج ویژگی توسط شبکه کاسته می‌شود. برای استخراج ویژگی‌های مکانی از پروفایل‌های مورفولوژی و برای استخراج ویژگی‌های پراکندگی از تجزیه H/A/alpha استفاده می‌کنیم. بلوک دیاگرام روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



• توجه : منظور از علامت ⊕ در این بلوک دیاگرام stack کردن و به هم چسباندن داده ها است

شکل ۱ – بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

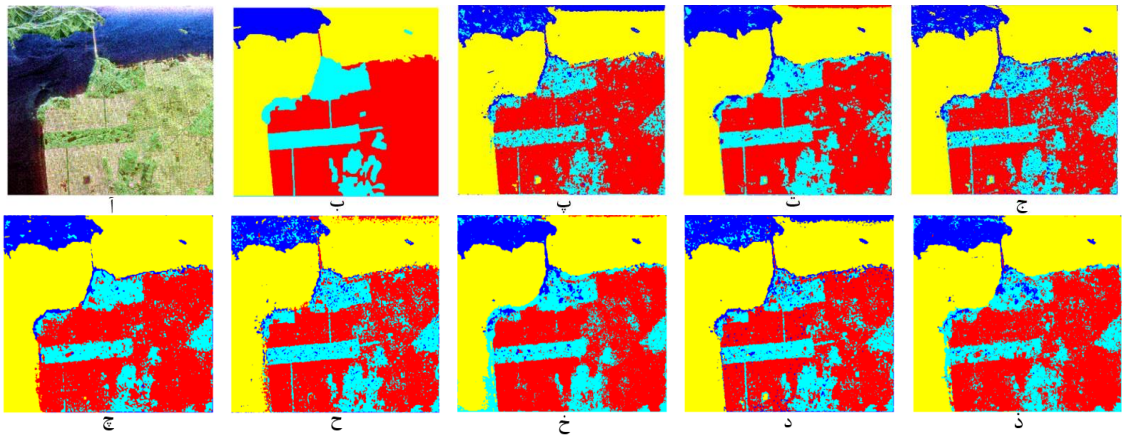
مراحل انجام روش پیشنهادی به این صورت می‌باشد: ابتدا ویژگی‌های مورفولوژی را از تصویر استخراج می‌کنیم. سپس ویژگی‌های اصلی پلاریمتریک (مکعب POLSAR) را با ویژگی‌های مورفولوژی ادغام یا stack می‌کنیم. در ادامه ویژگی‌های پلاریمتریک-مورفولوژی را به عنوان ورودی به طبقه‌بند SVM می‌دهیم و با استفاده از نمونه‌های آموزشی محدود در دسترس، طبقه بندی را

انجام می‌دهیم. نقشه طبقه‌بندی‌اولیه حاصل می‌شود، از هر کلاس تعدادی از نمونه‌های برچسب‌خورده را انتخاب و به مجموعه نمونه‌های‌آموزشی اولیه اضافه می‌کنیم. به این ترتیب مجموعه بزرگتری از نمونه‌های‌آموزشی حاصل می‌شود. در این مرحله تجزیه H/A/alpha را روی تصویر POLSAR اعمال می‌کنیم تا سه مولفه H، A و alpha حاصل شود. این سه پارامتر را به عنوان سه ویژگی پراکندگی در نظر می‌گیریم. حال از طبقه بند

CNN جهت طبقه بندی استفاده می‌کنیم و از مجموعه نمونه‌آموزشی افزایش‌یافته به دست آمده در مراحل قبل برای آموزش شبکه استفاده می‌شود.

۳ نتیجه‌گیری

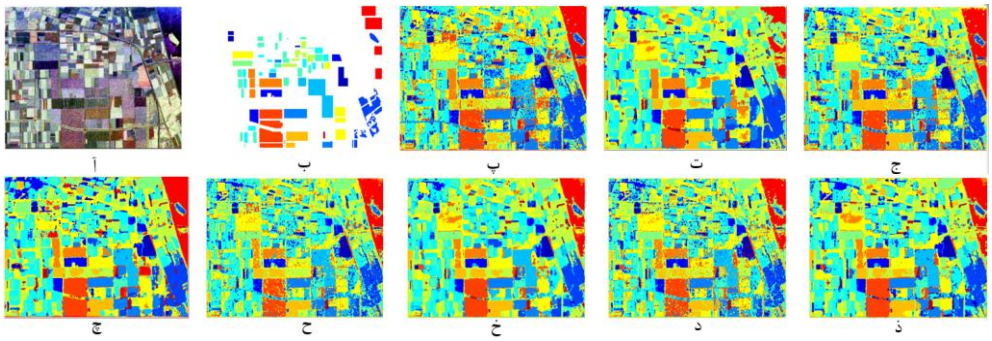
در این قسمت، طبقه‌بندی در حالت‌های مختلف به وسیله طبقه‌بندهای SVM و CNN و با نمونه‌آموزشی محدود (۵۰ نمونه‌آموزشی برای هر کلاس)، برروی دیتاست‌های فلولند (دارای ۱۵ کلاس با ابعاد ۷۵۰*۱۰۲۴) و سان فرانسیسکو (دارای ۴ کلاس و با ابعاد ۹۰۰*۱۰۲۴) انجام شده است. منظور از S همان دیتای اصلی است که شامل ۹ کانال می‌باشد. منظور از SM دیتای اصلی در کنار اطلاعات‌مکانی استخراج شده به وسیله فیلترهای‌مورفولوژی است که شامل ۱۰۲ کانال یا ویژگی به ازایهر پیکسل می‌باشد. به همین‌ترتیب منظور از SH دیتای اصلی در کنار اطلاعات پراکندگی استخراج شده توسط فیلتر H/A/alpha می‌باشد که شامل ۱۲ کانال است و در نهایت SMH بزرگ‌ترین دیتای ممکن که از کنار هم قرار گرفتن دیتای اصلی و ویژگی‌های‌مکانی و پراکندگی استخراج‌شده ایجاد می‌شود و شامل ۱۰۵ کانال است. در شکل‌های ۲ و ۳ نتایج حاصل از طبقه بندی در حالت‌های مختلف دیتای‌ورودی به نمایش گذاشته شده است و جدول ۱ صحت کلی به دست آمده (overall accuracy) در هر حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۲ – نتایج حاصل از طبقه بندی دیتاست سان‌فرانسیسکو با نمونه آموزشی محدود و در حالت‌های مختلف

آ) تصویر pauli RGB ب) نقشه درستی یا GTM پ، ت،ج، چ) نتیجه طبقه بندی با دیتای ورودی S ، SM ، SH و SMH به ترتیب و به وسیله CNN

ح، خ،د، ذ) نتیجه طبقه بندی با دیتای ورودی S ، SM ، SH و SMH به ترتیب و به وسیله SVM



شکل ۳ – نتایج حاصل از طبقه بندی دیتاست فلولند با نمونه آموزشی محدود و در حالت‌های مختلف

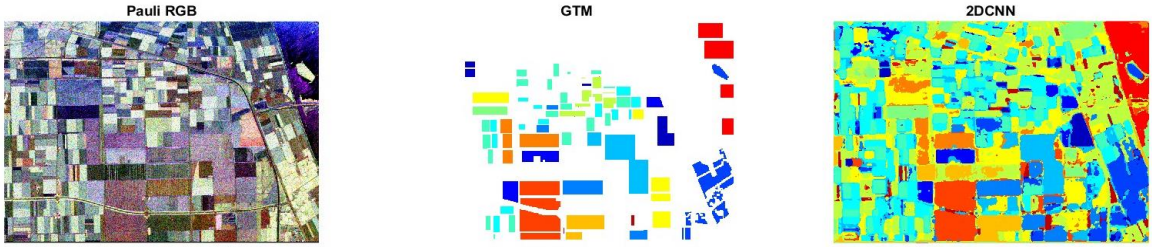
آ) تصویر pauli RGB ب) نقشه درستی یا GTM پ، ت،ج، چ) نتیجه طبقه بندی با دیتای ورودی S ، SM ، SH و SMH به ترتیب و به وسیله CNN

ح، خ،د، ذ) نتیجه طبقه بندی با دیتای ورودی S ، SM ، SH و SMH به ترتیب و به وسیله SVM

جدول ۱ – صحت‌های کلی به دست آمده (OA%) در طبقه بندی با ورودی‌های مختلف

طبقه بند / دیتای ورودی	San Francisco دیتاست				Flevoland دیتاست			
	S	SM	SH	SMH	S	SM	SH	SMH
CNN	86.57	89.53	86.69	88.72	86.76	88.70	90.5	95.27
SVM	85.35	86.17	84.53	87.02	88	96.77	87.74	97.06

در نهایت براساس شکل ۱، تعداد نمونه‌های آموزشی به کمک نقشه طبقه بندی اولیه ایجاد شده توسط SVM افزایش پیدا می‌کند و طبقه بندی با شبکه عصبی و نمونه‌های آموزشی افزایش یافته انجام می‌شود که یک نمونه از نتیجه آن در شکل ۴ آورده شده است. بر طبق نتایج حاصل از آزمایش‌ها، روش پیشنهادی دارای کارایی خوبی برای طبقه‌بندی تصاویر POLSAR خصوصاً با استفاده از نمونه‌های آموزشی محدود می‌باشد. استفاده از خصوصیات فیزیکی و اطلاعات پراکندگی موجود در تصویر SAR پلاریمتریک به همراه ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از شبکه عصبی CNN می‌تواند یک روش کاندید مناسب برای کاربردهای عملی طبقه بندی تصاویر POLSAR باشد.



شکل ۴ – نتیجه حاصل از طبقه بندی با روش پیشنهادی و ۱۰۵۰ نمونه آموزشی در هر کلاس، OA= 96.25%

منابع

Chen, SW., Tao, CS. " PolSAR Image Classification Using Polarimetric-Feature-Driven Deep Convolutional Neural Network,'' *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.*, vol. 15, no. 4, pp. 627-631 , April. 2018.

Dong, H., Zhang, L., Zou, B. "PolSAR Image Classification with Lightweight 3D Convolutional Networks," *Remote Sensing.*, vol. 12, no. 3, January. 2020.

Imani, M. " A random patches based edge preserving network for land cover classification using Polarimetric Synthetic Aperture Radar images," *International Journal of Remote Sensing.*, vol. 42, no. 13, pp. 4942–4960, February. 2021a.

Imani, M. " Integration of the k-nearest neighbours and patch- based features for PolSAR image classification by using a two-branch residual network," *Remote Sensing Letters*, vol. 12, no. 11, pp. 1112–1122, 2021b.

Imani, M. " Low frequency and radar's physical based features for improvement of convolutional neural networks for PolSAR image classification," *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.*, vol. 25, no. 1, pp. 55-62, February. 2022.

Tan, X., Li, M., Zhang, P., Wu, Y., Song, W. " Complex-Valued 3-D Convolutional Neural Network for PolSAR Image Classification," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.*, vol. 17, no. 6, pp. 1022-1026 , June 2020.

Xie, W., Ma, G., Zhao, F., Liu, H., Zhang, L. "PolSAR image classification via a novel semi-supervised recurrent complex-valued convolution neural network," *ELSEVIER. Neurocomputing*, vol. 388, pp. . 255-268, May. 2020.

Yang, J., Yamaguchi, Y., Lee, Js., Touzi, R., Boerner, WM." Applications of Polarimetric SAR," *Journal of Sensors.*, vol. 2015.

Zhao, Y., Wang, H., Xu, F., Jin, Q., "Polari metric SAR image classification using deep convolutional neural networks," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 1935–1939, Dec. 2016.

Zou, B., Xu, X., Zhang, L. "Object-Based Classification of PolSAR Images Based on Spatial and Semantic Features," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.*, vol. 13, pp. 609 – 619, January. 2020.