

تصویربرداری فراطیفی و ملاحظات «آفا» در برابر تهدیدات آن

صفا خزائی^{۱*}، سعید همایونی^۲ و عبدالرضا صفری^۳

۱- دانشجوی دکتری، ۲و۳- استادیار، دانشگاه تهران، پردیس فنی، گروه مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک

E-mail: Khazai@ut.ac.ir

(دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۰۴، پذیرش: ۱۳۸۹/۰۶/۰۱)

چکیده

امروزه پیشرفت‌های نوین در فن‌آوری سنجش از دور فراطیفی، منبع اطلاعات بسیار مناسبی را برای مقاصد شناسایی فراهم نموده است. این ویژگی به دلیل توان تفکیک مکانی و طیفی بالای سنجنده‌های تصویربرداری فراطیفی هوابرد و استفاده از امضای طیفی پدیده‌ها و عوارض در شناسایی اهداف نظامی است. در این مقاله توانایی تصویربرداری فراطیفی در شناسایی اهداف با آرایه دو کاربرد مهم پردازش و تجزیه تحلیل شامل تشخیص اهداف و آشکارسازی ناهنجاری‌ها مورد بررسی و در یک مطالعه موردی بر روی تصویر فراطیفی HyMap این توانمندی در عمل با پیاده‌سازی الگوریتم‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه، دو معیار برای ارزیابی و واپایش (کنترل) روش‌های استتار و فریب فراطیفی آرایه شده، سپس با فرض در نظر گرفتن اقدامات غیر مستقیم پدافند غیرعامل، ملاحظات و اقدامات پیشگیرانه اساسی در خصوص اقدامات آفا (استتار، فریب و اختفا)، در مقابله با تهدیدات مربوط به تصویربرداری فراطیفی آرایه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تصویربرداری فراطیفی؛ امضاء طیفی؛ تشخیص هدف؛ آشکارسازی ناهنجاری؛ استتار؛ اختفا، فریب

Hyperspectral Imagery and CC&D Considerations Against its Threats

S. Khazaei*, S. Homayooni, A. R. Safari

Dept. of Surveying and Geomatics, Faculty of Engineering, University of Tehran

E-mail: Khazai@ut.ac.ir

Abstract

The recent advances in hyperspectral remote sensing technology have provided a very good source of information for reconnaissance purposes. This is because of high spatial and spectral resolutions of airborne hyperspectral imaging sensors, and also the use of spectral signature of phenomena and objects for identification of military targets. In this paper, the ability of hyperspectral imagery for detection of targets is investigated by providing two important analyses including anomaly detection and target recognition. Besides, in a case study, this ability is evaluated practically by performing the algorithms on a real hyperspectral image from the HyMap sensor. Afterwards, two criteria are presented for evaluation and control of hyperspectral camouflage and deception techniques. Finally, assuming consideration of the indirect measures of passive defence, the essential considerations of CC&D (Camouflage, Concealment, and Deception) measures are presented against the threats of hyperspectral imagery.

Keywords: Anomaly Detection; Camouflage; Concealment; Deception; Hyperspectral Imagery; Spectral Signature; Target Recognition

۱. مقدمه

شناسایی، مأموریتی برای کسب اطلاعات در مورد فعالیت‌ها، منابع، توانمندی‌ها و موقعیت دشمن است. از جمله انواع مهم منابع اطلاعاتی که در مأموریت‌های شناسایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اطلاعات تصویری (IMINT)^۱ هستند که از طریق تفسیر و تجزیه تحلیل تصاویر سنجنده‌های تصویربرداری به دست می‌آیند و توانایی فرمانده را در درک سریع و کامل فضای فیزیکی و جغرافیایی جنگ افزایش می‌دهند. اطلاعات تصویری حاصل از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، منبع اطلاعاتی بسیار مهمی برای کاربردهای نظامی و دفاعی هستند. برخی از این کاربردها عبارتند از: هدف‌گیری تسلیحات هدایت‌شونده (بمب‌ها و موشک‌ها)، تحلیل محیطی و موقعیتی صحنه جنگ، ارزیابی خسارات جنگی و... [۱]. سنجنده‌های تصویربرداری شامل دو نوع سیستم فعال و غیرفعال هستند؛ سنجنده‌های الکترواپتیکی مشتمل بر سنجنده‌های پنکروماتیک، چندطیفی و فراطیفی به همراه سنجنده‌های حرارتی و دید در شب از انواع اصلی سنجنده‌های غیرفعال محسوب می‌شوند که از منبع انرژی طبیعی، یعنی خورشید، استفاده می‌کنند. سنجنده‌های راداری و لیدار^۲ نیز از انواع اصلی سنجنده‌های تصویربرداری فعال با منبع انرژی مصنوعی هستند. تصاویر سنجنش از دور حاصل از هر کدام از این سنجنده‌ها دارای ویژگی‌های منحصر به فرد و توانمندی‌های ویژه‌ای است که کاربرد آنها را برای امور دفاعی ضروری می‌سازد.

هدف اصلی اقدامات آفا، جلوگیری از آشکارسازی و قابلیت مشاهده تجهیزات، ادوات و فعالیت‌های مورد نظر است. در استتار، هدف، یافتن روش‌هایی عمومی برای کاهش علائم و نشانه‌های اهداف است. اختفاء مخفی نمودن نفرات، تجهیزات و تأسیسات از دید سنجنده‌های شناسایی دشمن است. فریب یا طعمه‌گذاری نیز قراردادن اهداف نادرست یا شبیه‌سازی شده در محلی است که معمولاً محل اهداف واقعی است و می‌تواند توجه دشمن را از هدف حقیقی دور کند و احتمال سالم ماندن تجهیزات و نیروی انسانی را افزایش دهد [۲]، اما این اقدامات غالباً تنها در محدوده طیف مرئی کارآمد هستند. سه عاملی که تصویربرداری مرئی (اپتیکی) را در شناسایی اهداف ناتوان می‌سازد عبارتند از: الف) اقدامات آفا، ب) تاریکی شب و

ج) پوشش ابر. فن‌آوری‌های تصویربرداری فراطیفی و راداری به ویژه SAR^۳، توانایی بالایی در غلبه بر این محدودیت‌ها دارند. سنجنده‌های فراطیفی که از نظر توان تفکیک طیفی، توانمندترین نوع سنجنده‌های تصویربرداری محسوب می‌شوند، قادر به خنثی‌سازی بسیاری از اقدامات آفا هستند. تصاویر راداری نیز به علت استفاده از امواج ریز موج (میکروویو) الکترومغناطیس، تحت تأثیر شرایط جوی و زمانی نیستند و عملکرد بهتری دارند. به این دلایل، ارتش آمریکا سرمایه‌گذاری فراوانی بر استفاده‌ی جداگانه یا ترکیبی از این دو سیستم تصویربرداری کرده است [۳]. به‌عنوان نمونه، سیستم FOPEN SAR^۴ یک پروژه تحقیقاتی جهت آشکارسازی اهداف نظامی مستقر در زیر پوشش درختان جنگل است که از طریق تصویربرداری ترکیبی فراطیفی و SAR صورت می‌گیرد [۴].

این مقاله با فرض در نظر گرفتن اقدامات غیر مستقیم پدافند غیرعامل (رعایت اصول حفاظت اطلاعات، پراکندگی، مکان‌یابی، تحرک و جابجایی، و...) سعی بر ارائه ملاحظات اساسی در خصوص شیوه‌های مستقیم اقدامات استتار، اختفا و فریب در مقابله با تهدیدات شناسایی تصویربرداری فراطیفی دارد. ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش ۲، به معرفی تصویربرداری فراطیفی و توانمندی‌های آن در شناسایی اهداف پرداخته می‌شود. در بخش ۳ پردازش‌های اصلی در آشکارسازی و تشخیص اهداف ارائه شده و در بخش ۴ نیز در قالب یک مطالعه موردی بر روی تصویر فراطیفی HyMap، توانایی تصویربرداری فراطیفی در آشکارسازی اهداف مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش ۵ به ارائه ملاحظات اساسی آفا در مقابله با تهدید تصویربرداری فراطیفی و در خاتمه، بخش ۶ به جمع‌بندی می‌پردازد.

۲. تصویربرداری فراطیفی

تصویربرداری فراطیفی یا طیف‌نگاری تصویری^۵ از جمله فن‌آوری‌های پیشرفته‌ی سنجنش از دور محسوب می‌شود که هدف آن تشخیص و شناسایی مواد، اهداف و پدیده‌ها بر اساس خصوصیات بازتاب طیفی آنها در محدوده‌ی گسترده‌تری از طیف الکترومغناطیس است. سنجنده‌های فراطیفی معمولاً شبیه به سنجنده‌های چند طیفی و از نوع جاروبگرهای خطی

3. Synthetic Aperture RADAR

4. Foliage Penetration Synthetic Aperture RADAR

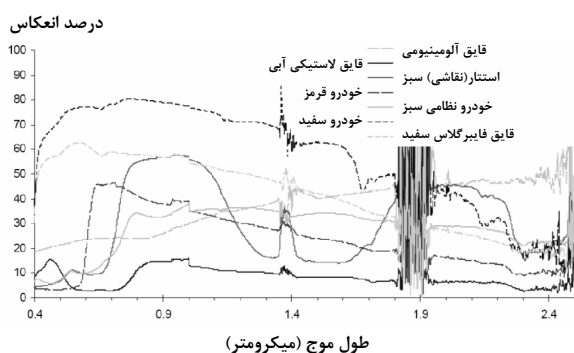
5. Imaging Spectrometry

1. Imagery Intelligence

2. LIDAR

گوناگون در محدوده مشخصی از طول موج ترسیم شود، منحنی به دست می‌آید که «امضای طیفی» آن ماده نامیده می‌شود. به دلیل اینکه امضای طیفی برای هر ماده منحصر به فرد است، می‌توان مواد را بر اساس اختلاف آنها در امضاهای طیفی از هم تفکیک نمود [۷]. معمولاً از طریق تصویربرداری فراطیفی در سکوهای زمینی یا آزمایشگاهی، امضای طیفی مواد و اهداف، ثبت و در کتابخانه‌های طیفی^۶ ذخیره می‌شود تا با برآورد میزان همسانی یا شباهت بازتاب طیفی اشیاء مختلف در تصاویر فراطیفی هوایی با امضاهای موجود در کتابخانه‌ی طیفی، امکان شناسایی اهداف بر روی آن تصاویر میسر گردد [۱].

شکل ۲ (۲) امضاهای طیفی تعدادی هدف توسط طیف‌سنج میدانی^۷ ASD با بیش از ۷۰۰ باند طیفی به دست آمده است را نشان می‌دهد.

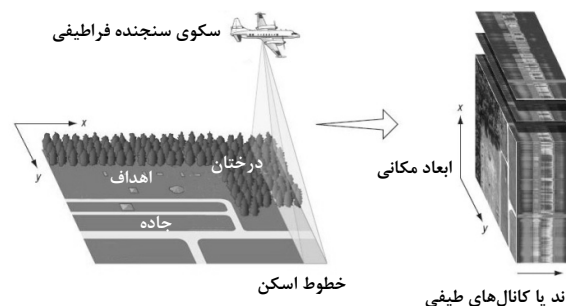


شکل ۲. امضاهای طیفی تعدادی هدف توسط طیف‌سنج میدانی ASD [۷]

علاوه بر تعداد یا پهنای باند طیفی سنجنده‌های تصویربرداری که اصطلاحاً توان تفکیک طیفی آنها را تعیین می‌کند، اندازه پیکسل زمینی نیز به عنوان شاخص اصلی توان تفکیک مکانی، از جمله مشخصه‌های مهم سنجنده‌های تصویربرداری است. اندازه پیکسل زمینی سنجنده‌های اپتیکی (G) در امتداد نادیر، برابر حاصل ضرب زاویه میدان دید لحظه‌ای سنجنده^۸ $IFOV$ ، بر حسب رادیان) و ارتفاع سکوی حامل سنجنده از سطح زمین (H) است (رابطه (۱)):

$$G = IFOV \times H = \frac{d}{f} \times H \quad (1)$$

(پوش بروم^۱) هستند که منطقه تحت تصویربرداری را در جهت عرض مسیر حرکت سکو و سنجنده جاروب می‌کنند (شکل ۱)). ویژگی این سنجنده‌ها توانایی سیستم نوری آنها در تفکیک پرتوهای بازتابیده یا گسیل یافته از عوارض سطح زمین به محدوده‌های پیوسته‌ی بسیار جزئی، معمولاً بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ باند طیفی و پهنای باندی بین ۱۰ تا ۲۰ نانومتر و ثبت آنها توسط سلول‌های حسگر (CCD)^۲ است. داده حاصل، تصویر فراطیفی است که به «مکعب داده» معروف است. محدوده‌ی فعالیت طیفی اکثر این سنجنده‌ها، عمدتاً بین ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر است که شامل گستره‌ی طیف بازتابی امواج الکترومغناطیس در برگ‌ننده‌ی نواحی مرئی، مادون قرمز نزدیک^۳ و مادون قرمز موج کوتاه^۴ می‌شود [۱]. البته برخی سنجنده‌های فراطیفی نیز که در مراحل تحقیق و توسعه، بیشتر در کاربردهای زمین‌شناسی هستند، تمام یا بخشی از محدوده طیفی مادون قرمز حرارتی^۵ را نیز پوشش می‌دهند. از جمله این سنجنده‌ها می‌توان به سنجنده‌ی SEBASS اشاره نمود که در محدوده ۷/۵ تا ۱۳/۶ میکرومتر دارای ۱۲۸ باند طیفی است [۵].



شکل ۱. تصویربرداری فراطیفی و ساختار مکعب داده (تصویر فراطیفی) [۵]

ایده پایه و اساسی در تصویربرداری فراطیفی، جمع‌آوری اطلاعات امضای طیفی است. به بیان ساده، همه مواد و اجسام زمینی، پرتوهای الکترومغناطیس تابیده شده به آنها را بر اساس ساختار فیزیکی و ترکیبات شیمیایی و طول موج تابشی، بازتاب، منتقل، جذب و یا گسیل می‌کنند. لذا چنانچه درصد انعکاس یا گسیل انرژی توسط هر ماده بر حسب طول موج‌های

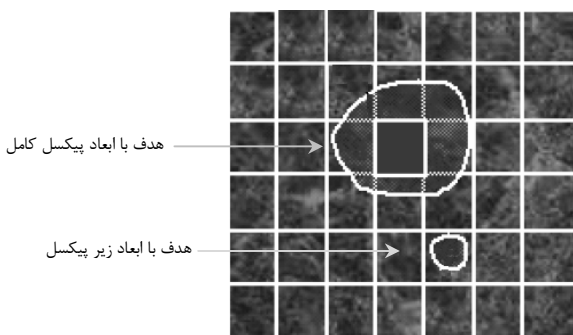
6. Spectral Library
7. Field Spectrometer
8. Instantaneous Field Of View

1. Push Broom
2. Charged Couple Device
3. Near Infrared (NIR): 0.7-1.1 μm
4. Short-Wave Infrared (SWIR): 1.1-3 μm
5. Thermal Infrared (TIR): 3-15 μm

می تواند بین ۰/۵ تا ۴ متر باشد. از آنجا که ابعاد اکثر تجهیزات و تسلیحات نظامی در حدود این اندازه ها است، تصویربرداری فراطیفی هواپرد می تواند ابزار مناسبی جهت شناسایی مواضع و تجهیزات دشمن و تهدیدی جدی برای شناسایی امکانات و اهداف خودی محسوب گردد.

از توانمندی های تصویربرداری فراطیفی نسبت به چندطیفی، قابلیت آشکارسازی اهدافی با ابعاد کوچکتر از یک پیکسل زمینی و یا به عبارتی اهداف زیر پیکسلی^۱ است (شکل ۴). از نظر تئوری، امکان آشکارسازی اهدافی که ابعاد آنها حتی حدود یک چهارم (۰/۲۵٪) ابعاد پیکسل زمینی است نیز میسر خواهد بود [۹ و ۱۰]. با این وجود، محدودیت های اصلی تصویربرداری فرا طیفی شامل نیاز به شرایط روشنایی مناسب خورشیدی (به علت طبیعت غیرفعال بودن آن)، تأثیرات پراکنش اتمسفری شدید امواج الکترومغناطیس و تأثیرپذیری شدید از شرایط محیطی است [۱۱].

از کاربردهای مهم غیرنظامی فناوری سنسج از دور فراطیفی می توان به پیش محیطی مانند آشکارسازی آلودگی های آب، هوا و خاک [۱۰]، شناسایی آفات در کشاورزی و جنگل داری [۱۲]، آشکارسازی گازها و مواد شیمیایی [۱۳]، شناسایی آسیب دیدگان در عملیات های امداد و نجات مربوط به بلایای طبیعی [۱۲] و... و کاربردهای نظامی می توان به تشخیص بین اهداف واقعی و طعمه های فریب [۱۴]، خنثی نمودن اقدامات استتار [۱۵ و ۱۶] مانند تفکیک بین پوشش های گیاهی زنده و مرده، آشکارسازی تسلیحات کشتار جمعی [۱۹]، آشکارسازی میدانین مین و مهمات های عمل نکرده [۱۵]، تحلیل و آشکارسازی دود تأسیسات نظامی، و جنگ بیولوژیکی مانند شناسایی عوامل عصبی [۱۶] اشاره کرد.



شکل ۴. اهداف در ابعاد پیکسل کامل و زیر پیکسل

در رابطه بالا، f فاصله کانونی و d اندازه CCD های سنجنده تصویربرداری است (نسبت d/f را $IFOV$ تعیین می کند).

سنجنده های فراطیفی با وجود داشتن بالاترین سطح توان تفکیک طیفی در بین سنجنده های الکترواپتیکی، دارای توان تفکیک مکانی نسبتاً پایینی هستند. به طوری که اندازه ی پیکسل زمینی سنجنده های فضاپرد غالباً به دلیل محدودیت در ساخت CCD های با ابعاد خیلی کوچک و نیز بالا بودن ارتفاع پرواز، بالاتر از ۳۰ متر است؛ لذا جهت مأموریت های شناسایی، گزینه مناسبی نیستند. لازم به ذکر است از سال ۲۰۰۱ که پرتاب ماهواره OrbView-4 با سنجنده فراطیفی Warfighter-1 با باند طیفی و اندازه پیکسل زمینی ۸ متر با شکست مواجه شد، تا به امروز تلاش قابل ملاحظه ای در خصوص استفاده از سکوی ماهواره ای با اندازه ی پیکسل زمینی کمتر از ۳۰ متر برای سنجنده های فراطیفی دیده نشده است [۱]. اما سنجنده های هواپرد در مأموریت های شناسایی (غالباً در پرنده های بدون سرنشین UAV) از قبیل Predator (شکل ۳) و Global Hawk نصب می شوند) به دلیل عدم خطرات جانی، سقف پرواز بالا (تا ۲۰ کیلومتر) و قابلیت بالا جهت پیش تقریباً آبی و طولانی مدت، دارای کارایی بالایی هستند [۸].

جدول (۱) لیست سنجنده های فراطیفی هواپرد عملیاتی را به همراه مشخصات آنها ارائه می کند. این سنجنده ها به طور متوسط دارای $IFOV$ حداکثر حدود نیم میلی رادیان هستند، لذا با توجه به محدوده ی ارتفاع پرواز UAV ها، توان تفکیک مکانی خوبی برای مأموریت های شناسایی دارند. ارتفاع پرواز UAV های آمریکا که به عنوان توانمندترین نوع شناخته می شوند معمولاً بین ۱ تا ۸ کیلومتر متغیر است [۸]. بنابراین با توجه به معادله (۱) اندازه پیکسل زمینی تصاویر فراطیفی این سنجنده ها



شکل ۳. پرنده بدون سرنشین Predator آمریکا

جدول ۱. مشخصات سنجنده‌های فراطیفی هوابردی عملیاتی

[۶، ۸، ۹ و ۱۰]

نام سنجنده	کشور	تعداد باند طیفی	محدوده طیفی (میکرومتر)	رادیان (میلی IFOV)
1,2AIS	آمریکا	۱۲۸	۰/۹ - ۲/۴	۲
AISA	فنلاند	۳۸۶	۰/۴۵ - ۰/۹	۱
ARES	آمریکا	۷۵	۲ - ۶/۳	۱/۲
APEX	اتحادیه اروپا	۳۰۰	۰/۴ - ۲/۵	۰/۵
AVIRIS	آمریکا	۲۲۴	۰/۴ - ۲/۴۵	۱
CAMODIS	چین	۸۸	۰/۴ - ۲/۴۸	۱/۲
CASI	کانادا	۳۸۸	۰/۴۳ - ۰/۸۷	۱/۲
COMPASS	آمریکا	۲۵۶	۰/۴ - ۲/۵	۳/۵
DAIS 21115	آلمان	۲۱۱	۰/۴ - ۱۲	۰/۵
DAIS 7915	آلمان	۷۹	۰/۴ - ۱۲	۱/۱
FLI/PMI	کانادا	۳۸۸	۰/۴۳ - ۰/۸۷	۰/۶۶
FTVFHSI	آلمان	۲۵۶	۰/۴۴ - ۱/۱۵	۱
HIRIS	آمریکا	۱۹۲	۰/۴ - ۲/۵	۱
HYDICE	آمریکا	۲۱۰	۰/۴ - ۲/۵	۰/۵
HyMap	استرالیا	۱۲۶	۰/۴ - ۲/۵	۲/۵
IRIS	آمریکا	۲۵۶	۲ - ۱۵	۱
ISM	فرانسه	۱۲۸	۰/۸ - ۳/۲	۱/۲
MEIS	کانادا	۳۰۰	۰/۳۵ - ۰/۹	۰/۳۵
MIDIS	آمریکا	۲۵۶	۰/۴ - ۳۰	۱
MISI	آمریکا	۷۰	۰/۴ - ۱	۱
MIVIS	ایتالیا	۱۰۲	۰/۴۳ - ۱۲/۷	۲
MUSIC	آمریکا	۱۸۰	۲/۵ - ۱۴/۵	۰/۵
ROSI	آلمان	۱۲۸	۰/۴۵ - ۰/۸۵	۰/۵۶
SEBASS	آمریکا	۱۲۸	۷/۵ - ۱۳/۶	۱/۱
SFSI	کانادا	۱۲۲	۱/۲ - ۲/۴	۰/۳۳
TRWIS III	آمریکا	۳۸۴	۰/۳ - ۲/۵	۱
VIMS-V	آمریکا	۳۵۲	۰/۳ - ۱/۰۵	۱
WIS	آمریکا	۱۷۰	۰/۴ - ۲/۵	۰/۶۶

یک پروژه در حال توسعه ارتش آمریکا برای فراهم‌سازی قابلیت شناسایی اهداف استتار و اختفا شده ماکت‌های فریب و اهداف خیلی مشکل از طریق استفاده از سنجنده‌های فراطیفی است [۱۷]. همچنین به‌عنوان تحقیقات موردی می‌توان به آزمون‌های شناسایی یک سری خودرو نظامی استتار شده با تور استتار، در محیط چمن‌زار، در یک تصویر فراطیفی HYDICE با اندازه پیکسل زمینی ۱/۵ متر، معروف به تصویر Forest Radiance Image-I، اشاره نمود [۱۸].

۳. پردازش‌های شناسایی در تصویربرداری فراطیفی

در کاربردهای تصاویر فراطیفی برای مقاصد شناسایی به‌طور کلی دو پردازش تشخیص اهداف و آشکارسازی ناهنجاری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶].

۳-۱. تشخیص هدف

اصطلاح هدف می‌تواند در مورد اشیاء بسیار متنوع ساخت بشر از قبیل جاده‌ها، ساختمان‌ها و از این نوع به‌کار رود، اما به لحاظ تاریخی در زمینه کاربردهای نظامی برای تشخیص تانک‌ها، هواپیماها، کشتی‌ها، سایت‌های رادار و غیره به‌کار رفته است. در کاربرد تشخیص هدف، سعی بر این است که مشخص شود آیا یک پیکسل، حاوی هدف مورد نظر هست یا نه؟ این پردازش با محاسبه میزان شباهت یا همسانی طیفی پیکسل مورد نظر با امضاء طیفی هدف، انجام می‌گیرد [۶]. به‌طور کلی، مشکل اصلی تشخیص هدف در تصاویر فراطیفی مربوط به تهیه یا ایجاد کتابخانه طیفی اهداف است، زیرا تنها با داشتن امضای طیفی اهداف می‌توان آنها را شناسایی نمود. برخی آزمایشگاه‌های طیف‌سنجی JPL^۴ ناسا و آزمایشگاه طیف‌سنجی نیروی هوایی آمریکا، کتابخانه‌های طیفی نسبتاً کاملی برای پدیده‌ها و مواد گوناگون ایجاد کرده‌اند.

از پیش‌پردازش‌های اصلی تشخیص هدف، تصحیح‌های رادیومتری و اتمسفری و نیز انتخاب باندها یا ویژگی‌های طیفی بهینه است. با انجام تصحیح‌های رادیومتری و اتمسفری، داده‌های تصویری تابشی به بازتابی تبدیل می‌شوند و با انتخاب باندهای بهینه، باندهای نامناسب کنار گذاشته می‌شوند. این

در خصوص اهمیت فن‌آوری تصویربرداری فراطیفی در حیطة شناسایی اهداف می‌توان به پروژه‌های مختلف سازمان پروژه‌های تحقیقات پیشرفته دفاعی آمریکا (DARPA)^۱ و نیز نیروی هوایی ارتش آمریکا اشاره کرد. به‌عنوان نمونه ASRP^۲

3. Target Recognition
4. Jet Propulsion Laboratory

1. Defense Advanced Research Projects Agency
2. Adaptive Spectral Reconnaissance Program

۳-۲. آشکارسازی ناهنجاری^۵

آشکارسازی ناهنجاری یکی از مسائل اساسی در زمینه شناسایی و پایش اهداف است که از خصوصیات بارز آن می توان به عدم نیاز به امضای طیفی مواد اهداف و نیز عدم نیاز به اعمال تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری اشاره کرد [۱۴]. هدف این پردازش، تعیین محل اشیاء غیرعادی بر روی تصویر، بدون داشتن هیچ گونه اطلاعات از پیش معلوم است. به دلیل توان تفکیک طیفی بالا در تصویربرداری فراطیفی نسبت به سایر سیستم های سنجش از دور، آشکارسازی ناهنجاری در این گونه سیستم ها موفق تر است. از جمله کاربردها در حوزه شناسایی، می توان به آشکارسازی مین های زمینی (سطحی یا پنهان شده)، اهداف نظامی استتار شده و ماکت های فریب اشاره نمود [۱]. از نظر دیگر، آشکارسازی ناهنجاری می تواند به عنوان مرحله اول تشخیص اتوماتیک هدف در نظر گرفته شود که این کار با مشخص نمودن مناطقی که ممکن است شامل اهداف بالقوه باشند صورت می گیرد [۲۳ و ۲۴]. در این خصوص می توان به کاربرد الگوریتم آشکارساز ناهنجاری ORASIS^۶ در برنامه شناسایی اهداف ASRP ارتش آمریکا اشاره نمود [۲۵].

الگوریتم های مختلفی برای پردازش آشکارسازی ناهنجاری ارائه شده اند که یکی از آنها روش RX است و روشی شناخته شده و کارآمد در آشکارسازی ناهنجاری است [۲۶].

• الگوریتم RX

پایه و اساس این الگوریتم که یک روش آماری جهت آشکارسازی ناهنجاری محسوب می گردد، یک آزمون فرضیه دودویی است. در فرضیه اول که پیکسل را هدف در نظر نمی گیرد، فرض بر این است در یک همسایگی مشخص (زمینه اطراف پیکسل مورد نظر)، داده ها دارای توزیع نرمال با میانگین صفر هستند، اما در فرضیه دوم که پیکسل را هدف در نظر می گیرد، فرض این است که توزیع نرمال داده ها دارای میانگین صفر نیست. رابطه کلی این الگوریتم آشکارساز ناهنجاری که به طور گسترده در کاربردهای تصویربرداری فراطیفی مورد استفاده قرار می گیرد، به صورت زیر است [۲۷]:

$$Z_{RX}(x) = (x - \mu)^T \Gamma^{-1} (x - \mu) \quad (۳)$$

باندها می توانند باندهایی با مقادیر نویز زیاد یا باندهایی با همبستگی بالا باشند. اما از پس پردازش های بسیار مهم تشخیص هدف می توان به ردیابی^۱ اهداف نظامی اشاره نمود. بدین صورت که پس از تشخیص یک هدف در یک تصویر فراطیفی، آن هدف در تصاویر فراطیفی ای که در زمان و مکانی دیگر تهیه می شود، مجدداً شناسایی شود. از جمله تحقیقاتی که در این خصوص انجام شده می توان به تحقیقات نیروی هوایی آمریکا در خصوص ردیابی خودروهای متحرک اشاره نمود [۱۹، ۲۰ و ۲۱].

الگوریتم های تشخیص هدف در دو سطح پیکسل کامل و زیرپیکسل ارائه شده اند. از جمله الگوریتم های تشخیص زیر پیکسل می توان به ACE^۲ (ارزیاب وابستگی تطبیقی) اشاره نمود.

• الگوریتم ACE

این الگوریتم که از یک توزیع آماری (توزیع نرمال چند متغیری^۳) برای نمونه کردن زمینه اطراف پیکسل مورد نظر استفاده می کند، اخیراً در تشخیص اهداف پیکسلی و زیر پیکسلی در تصاویر فراطیفی به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته است. معادله اساسی این الگوریتم به صورت زیر است [۲۲]:

$$Z_{ACE}(x, S) = \begin{cases} \frac{x^T \Gamma^{-1} S (S^T \Gamma^{-1} S)^{-1} S^T \Gamma^{-1} x}{x^T \Gamma^{-1} x} & (۱-۲) \\ \frac{(S^T \Gamma^{-1} x)^2}{(S^T \Gamma^{-1} S)(x^T \Gamma^{-1} x)} & (۲-۲) \end{cases} \quad (۲)$$

در روابط بالا، x بردار طیفی پیکسل مورد نظر، S ماتریس حاوی بردارهای امضای طیفی مواد اصلی تشکیل دهنده هدف مورد نظر^۴ و Γ ماتریس کواریانس پیکسل های زمینه است. رابطه (۱-۲) برای تشخیص اهداف زیرپیکسلی و رابطه (۲-۲) برای تشخیص اهداف در ابعاد پیکسل کامل ارائه شده است. به طور کلی، چنانچه Z_{ACE} از یک مقدار حد آستانه مشخص بزرگ تر باشد، نشان دهنده وجود هدف در پیکسل مورد نظر خواهد بود.

1. Tracking
2. Tracking
3. Multivariate
4. Endmember

5. Anomaly Detection

6. Optical Real-time Adaptive Spectral Identification System



تصویر پنکروماتیک ماهواره Quickbird از شهر Cooke



موقعیت اهداف در باند ۱۰ تصویر فراطیفی HyMap

شکل ۵

۲-۴. تشخیص اهداف

به‌عنوان پیش‌پردازش ابتدا تصحیح اتمسفری بر روی تصویر فراطیفی انجام گرفت. بدین منظور از برنامه‌ی تصحیح اتمسفری QUAC در نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. سپس با استفاده از الگوریتم ACE و انتخاب یک حد آستانه تطبیقی، همه اهداف بر روی تصویر مشخص شدند. شکل (۶) پردازش تشخیص هدف F_1 را بر روی بخشی از منطقه علفزار واقع در تصویر فراطیفی HyMap نشان می‌دهد.

۳-۴. آشکارسازی ناهنجاری‌ها

با استفاده از الگوریتم RX پیاده‌سازی شده، همه‌ی اهداف به‌جز هدف F4b به صورت مناسبی آشکار می‌شوند. دشوار بودن آشکارسازی F4b به‌علت ابعاد کوچک هدف (یک سوم ابعاد پیکسل زمینی تصویر) و پیچیدگی زمینه محلی آن است. گرچه نرخ هشدارهای اشتباه بالا است (حدود ۵ درصد)، اما به‌عنوان مرحله پیش‌پردازش، آشکارسازی ناهنجاری جهت تشخیص اهداف مناسب است. زیرا زمان جست‌وجو را در مرحله تشخیص هدف به شدت کاهش می‌دهد.

در رابطه بالا، μ بردار میانگین طیفی پیکسل‌های زمینه است. چنانچه Z_{RX} از یک حد آستانه مشخص بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده آنست که پیکسل مورد نظر یک ناهنجاری است.

۴. مطالعه موردی

هدف اصلی در این مطالعه موردی، نشان دادن توانایی قابلیت تشخیص اهداف و آشکارسازی ناهنجاری در تصاویر فراطیفی است.

۴-۱. داده‌ها

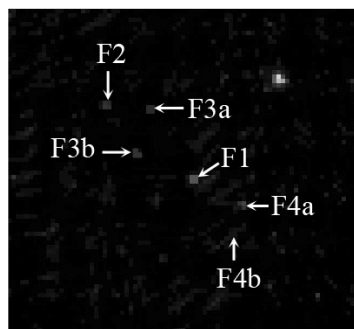
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه موردی شامل یک تصویر فراطیفی و تعدادی هدف مشخص شده بر روی آن است که در ادامه تشریح می‌شوند.

- تصویر فراطیفی مربوط به سنجنده‌ی هوابرد HyMap (با ۱۲۶ باند طیفی) است که از ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متری و با اندازه پیکسل زمینی ۳ متر در تابستان ۲۰۰۶ از شهر Cooke آمریکا گرفته شده است (شکل (۵)). تهیه این تصویر بنا به درخواست متخصصین سنجش از دور دانشگاه RIT جهت تحلیل و بررسی تشخیص اهداف در تصاویر فراطیفی صورت گرفته است.

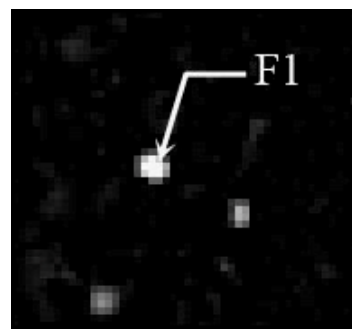
- اهداف شامل شش نوع پارچه یا نایلون رنگی در ابعاد پیکسل کامل و زیر پیکسلی (کمتر از ۳ متر) است که در یک منطقه علفزار در قسمت شرقی شهر قرار داده شده‌اند (جدول (۲)). موقعیت این اهداف بر روی تصویر HyMap شکل (۵) مشخص بوده و امضاهای طیفی آنها نیز معلوم است.

جدول ۲. مشخصات اهداف در تصویر فراطیفی HyMap

هدف	نوع	اندازه (متر)
F1	پارچه‌ی قرمز	۳×۳
F2	نایلون زرد	۳×۳
F3a	پارچه‌ی آبی	۲×۲
F3b	پارچه‌ی آبی	۱×۱
F4a	نایلون قرمز	۲×۲
F4b	نایلون قرمز	۱×۱



شکل ۷. نتیجه پردازش آشکارسازی ناهنجاری‌ها بر روی بخشی از منطقه علفزار واقع در تصویر فراطیفی HyMap



شکل ۶. نتیجه پردازش تشخیص هدف F1 بر روی بخشی از منطقه علفزار واقع در تصویر فراطیفی HyMap

ملاحظات اساسی پدافند غیرعامل در خصوص هر یک از مولفه‌های اصلی آفا به تفصیل بیان می‌شود.

۵-۱. استتار فراطیفی

شیوه‌های اصلی استتار به ترتیب اولویت، شامل آمیختگی اهداف با محیط اطراف، پنهان‌سازی اهداف با استفاده از نقاشی‌ها و تورهای استتار و فریب به کمک تغییر علائم طیفی اهداف است [۳]. نیروهای نظامی از تورهای استتار متداول، شرایط زمین و نیز شاخ و برگ درختان برای استتار خود و تجهیزات بهره می‌گیرند. از آنجا که این روش‌ها علائم دیداری عمده‌ای ندارند، جهت آشکارسازی آن‌ها در تصویربرداری‌های پنکروماتیک و چندطیفی، به توان تفکیک مکانی بالایی نیاز می‌باشد که با وجود آن نیز معمولاً احتمال آشکارسازی اهداف، کم و نرخ هشدارهای اشتباه، بالا است. اما در تصویربرداری فراطیفی، اختلافات طیفی اهداف و زمینه اطراف می‌تواند به سرعت موجب آشکارسازی اهداف گردد.

در ادامه، یک نمونه ریاضی برای واپایش (کنترل) و ارزیابی شیوه‌های استتار فراطیفی ارائه می‌شود.

فرض نمایید که یک هدف با امضای طیفی x در یک زمینه محلی همگن (نظیر چمنزار، زمین بایر،...) با امضای طیفی متوسط b قرار دارد. با توجه به رابطه (۳) و نظر به این‌که ماتریس کواریانس زمینه به دلیل همگنی می‌تواند یک‌ه فرض شود، میزان ناهنجاری این هدف نسبت به زمینه اش برابر است با:

$$Z_{RX}(x) = (x-b)^T(x-b) \quad (4)$$

بدیهی است هر چه x و b به یکدیگر نزدیک باشند، میزان

شکل (۷) نتیجه پردازش آشکارسازی ناهنجاری‌ها را بر روی منطقه علفزار واقع در تصویر فراطیفی HyMap نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، هدف F4b در مقایسه با سایر اهداف از میزان ناهنجاری کم‌تری برخوردار است.

۵. ملاحظات آفا در برابر تهدیدات تصویربرداری فراطیفی

همان‌طور که در مطالعه موردی نشان داده شد، تصویربرداری فراطیفی توانایی بسیار بالایی در آشکارسازی و تشخیص اهداف و ناهنجاری‌ها در ابعاد زیر پیکسلی دارد. به طوری که به کمک کتابخانه طیفی، اهداف زیر پیکسلی در ابعاد حدود یک سوم اندازه پیکسل زمینی قابل تشخیص بوده و بدون داشتن کتابخانه طیفی، اهداف زیر پیکسلی در ابعاد حدود نصف اندازه پیکسل زمینی تصویربرداری قابل آشکارسازی هستند. از آنجا که اندازه پیکسل زمینی یک متر در تصویربرداری هواپرد با ارتفاع پرواز حدود ۲ کیلومتر، با توجه به حداکثر زاویه میدان دید لحظه‌ای برابر با ۰/۵ میلی رادیان در خصوص UAVهای آمریکا جدول (۱) و رابطه (۱)، به طور یقین قابل دسترسی است، لذا اهداف نظامی با حداقل اندازه نیم متر در معرض تهدید جدی شناسایی هستند. از آنجایی که تقریباً تمامی اهداف نظامی اعم از تجهیزات و تسلیحات مهم در اندازه‌های بزرگ‌تر از یک متر هستند، لذا می‌توان گفت تقریباً تمامی اهداف نظامی در معرض تهدید شناسایی فراطیفی واقع هستند. از این رو مقابله با این تهدید، شناسایی مستلزم در نظر گرفتن یک سری ملاحظات اساسی آفا می‌باشد. توضیح این‌که بسیاری از روش‌های ابداع شده برای مقابله با تصویربرداری مرئی، در برابر تصویربرداری فراطیفی، حفاظت محدودی را امکان‌پذیر می‌سازند. در ادامه،

- قادر به آشکارسازی اهداف بالقوه خواهند بود.
- تورهای فعلی استتار فراطیفی برای اهداف نسبتاً کوچک کاملاً مناسب هستند، اما قادر به استتار اهداف بزرگ بویژه سازه‌های حیاتی، حساس و مهم از قبیل پالایشگاه‌ها، تصفیه‌خانه‌ها، سیستم‌های انتقال نیرو و از این نوع نیستند. در این حالت، لازم است زیرسیستم‌های حیاتی این سازه‌ها که امکان اختفای آن‌ها میسر نیست، استتار فراطیفی شوند.
 - از آنجائیکه رنگ‌ها و تورهای استتار فراطیفی می‌باید در طیف‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه کاملاً با زمینه اطراف مطابقت داشته باشند [۳]، لذا لازم است که آن‌ها برای محیط‌های مختلف (جنگلی، بیابانی، ساحلی و...) به طور خاص طراحی و ساخته شوند.
 - علاوه بر شیوه‌های استتار، انتخاب موقعیت و انضباط استتار نیز می‌باید به طور دقیق رعایت گردد. انتخاب موقعیت شامل انتخاب یک زمینه مناسب است، به طوری که اجزاء هدف را در خود محو نمایند. یک ملاحظه مهم دیگر نیز، اجتناب از مجاورت با عوارض مهم زمینی است. زیرا آنها خود موجبات جلب توجه را فراهم می‌سازند. انضباط استتار نیز تأکید بر اجتناب از فعالیت‌ها و علائمی دارد که موجب آشکار شدن اهداف می‌شوند. این علائم می‌توانند خاک‌های اضافی، ردپاها و یا رد چرخ‌های وسایل نقلیه موتوری باشند [۲].

۵-۲. اختفاء فراطیفی

به کارگیری این مؤلفه، مستلزم درک صحیح از عملکرد سنجنده‌های فراطیفی و شرایط عدم عملکرد مناسب آن‌ها است. از این رو از دیدگاه تئوری و تجربی ملاحظات اساسی در خصوص اختفاء فراطیفی عبارتند از:

- با تصویربرداری فراطیفی امکان شناسایی اهداف در داخل محیط‌هایی از قبیل ساختمان‌ها و ساختارهای زیر زمینی، وجود ندارد. زیرا در تصویربرداری‌های الکترواپتیکی، اهدافی که دیدن آن‌ها از نزدیک امکان پذیر نیست، شناسایی آن‌ها نیز به طور مستقیم بسیار دشوار است. بنابراین استفاده از فضاهای داخلی مطمئن نظیر ساختمان‌ها و زیرزمین، گزینه بسیار مناسبی جهت اختفاء تسلیحات، تجهیزات و سایر ادوات خواهد بود.

به مقدار صفر نزدیک تر و در نتیجه، میزان ناهنجاری کمتر خواهد شد. حالتی را در نظر بگیرید که هدف مورد نظر با استفاده از مواد طبیعی یا مصنوعی استتار شده باشد. از آنجا که با در نظر گرفتن فرضیه معروف اختلاط خطی طیفی^۱ مواد در پیکسل‌های تصاویر فراطیفی می‌توان امضای طیفی x را با یک ترکیب خطی از ماده استتاری در رابطه (۴) جایگزین نمود [۲۶]، لذا رابطه نهایی می‌تواند به صورت ذیل ارایه شود:

$$Z_{RX}(x) = (f.c + (1-f).x - b)^T (f.c + (1-f).x - b) \quad (5)$$

در رابطه بالا، c بردار طیفی ماده استتاری و f عددی است بین صفر و یک که معرف میزان سهم سطحی ماده استتاری از کل سطح هدف است و می‌تواند از رابطه ذیل برآورد شود:

$$f = \frac{A_c}{A_t} \quad (6)$$

در رابطه بالا، A_c مقدار سطح پوششی هدف از ماده استتاری و A_t میزان سطح کل هدف مورد نظر است. از آنجایی که f حاصل یک نسبت است، لذا چنانچه استتار به طور تقریباً یکنواخت بر روی هدف صورت گرفته باشد، به صورت تقریبی می‌توان در یک سطح کوچک و مشخصی از هدف آن را برآورد نمود. با توجه به مطالب ارایه شده، یک اقدام بنیادی در خصوص استتار فراطیفی، تهیه کتابخانه طیفی است. در کتابخانه طیفی لازم است امضاهای طیفی اهداف و نیز محیط‌های طبیعی مختلف (که امکان حضور اهداف در آنها وجود دارد) ثبت شود تا بررسی و واپایش (کنترل) میزان آشکارسازی اهداف و روش‌های مختلف استتار فراطیفی به کمک روابط (۸) و (۹) میسر گردد.

در ادامه از دیدگاه تئوری و تجربی به ارایه ملاحظات اساسی استتار فراطیفی پرداخته می‌شود:

- آمیختگی طبیعی کامل هدف با استفاده از مواد طبیعی (مانند پوشش گیاهی زنده در جنگل‌ها) می‌تواند به‌عنوان مؤثرترین گزینه جهت استتار در نظر گرفته شود. در این ملاحظه، توجه به این نکته که آمیختگی الزاماً با زمینه محلی باید صورت گیرد، بسیار حائز اهمیت است، زیرا در غیر این صورت پردازش‌های آشکارسازی ناهنجاری به آسانی

مشابه استتار فراطیفی، یک اقدام اساسی در خصوص فریب فراطیفی، تهیه کتابخانه طیفی اهداف است. بنابراین باید با استفاده از طیفسنج های دقیق، امضای طیفی اهداف را تهیه نمود تا در طراحی و ساخت طعمه های فریب مورد استفاده واقع شوند. به بیانی دیگر از این طریق می توان میزان تطبیق طیفی طعمه ها و اهداف واقعی را مورد ارزیابی و واپایش (کنترل) قرار داد.

۶. جمع بندی

سنجنده های فراطیفی دارای بالاترین سطح توان تفکیک طیفی در بین سنجنده های تصویربرداری هستند. اما تنها سنجنده های هواپرد که غالباً بر روی UAVها نصب می گردند، به دلیل بالا بودن هر دو ویژگی توان تفکیک مکانی و طیفی، جهت مأموریت های شناسایی گزینه مناسبی محسوب می شوند. کلید اصلی شناسایی اهداف در تصویربرداری فراطیفی، در نظر گرفتن امضای طیفی اهداف است. با این قابلیت حتی امکان آشکارسازی اهداف زیرپیکسلی نیز ممکن خواهد بود. لذا این فن آوری، توانمندی بالایی در شناسایی اهداف و اقدامات آفا دارد و تهدیدی جدی در این خصوص محسوب می گردد.

در خصوص اقدامات آفا در برابر تهدیدات شناسایی تصویربرداری فراطیفی، ۵ ملاحظه اساسی لازم است: (۱) ایجاد کتابخانه طیفی از اهداف، مواد و محیط های مختلف از ضروریات اساسی دفاعی در استتار و فریب فراطیفی است. (۲) در ساخت و به کارگیری مواد استتار فراطیفی مانند رنگ ها و تورها و نیز طعمه های فریب، نمونه های ریاضی آرایه شده در این تحقیق راه کاری عملی برای واپایش (کنترل) و ارزیابی است. (۳) آمیختگی طبیعی مناسب با استفاده از مواد طبیعی، مؤثرترین گزینه جهت استتار فراطیفی است. (۴) استفاده از فضاهای داخلی مطمئن نظیر ساختمان ها و زیرزمین بهترین گزینه جهت اختفاء است. (۵) در شب و شرایط جوی نامساعد، الزامی بر به کارگیری شیوه ها و روش های استتار و فریب فراطیفی نیست.

همچنین از آنجایی که سنجنده های تصویربرداری فراطیفی بسیار گران قیمت هستند و تهیه آنها نیز به لحاظ تحریم، محدودیت های زیادی به همراه دارد، بنابراین شبیه سازی تصویربرداری فراطیفی می تواند یکی از مناسب ترین گزینه ها برای تحلیل آشکارسازی و تشخیص اهداف و اقدامات آفا باشد.

• از آنجا که سنجنده های فراطیفی به دلیل ماهیت غیرفعال بودن یا نیاز مبرم آنها به استفاده از نور خورشید قادر نیستند در مواقع روشنائی نامناسب (زمان شب و در نواحی سایه ای) تصویری مناسب برداشت نمایند [۱]، لذا استفاده از زمان های تاریک، بدون در نظر گرفتن تهدید تصویربرداری راداری گزینه مناسبی برای نقل و انتقال تجهیزات و فعالیت های خاص است.

• از آنجایی که در تصویربرداری فراطیفی تأثیرات اتمسفری بسیار شدید است [۱]، در شرایط نامساعد جوی از قبیل مه، گرد و غبار، بارندگی و نیز شرایط مصنوعی چون دودزایی، کارایی تصویربرداری فراطیفی به شدت کاهش می یابد. البته دودزایی گزینه کاملاً مناسبی در خصوص اختفاء فراطیفی محسوب نمی گردد، زیرا پوشش دود نمی تواند همه اجزاء اهداف را مخفی نماید.

۵-۳. فریب فراطیفی

کلید متقاعد نمودن دشمن بر این که اهداف واقعی را با تصویربرداری فراطیفی پیدا نموده است، واقعی به نظر رساندن طعمه است. طعمه های فریب، بدل های اهداف واقعی هستند که می باید علائم اهداف واقعی را داشته باشند [۳]. از آنجا که تصویربرداری فراطیفی قادر به شناسایی طعمه های بادی، چوبی و اشیاء فلزی هستند، لذا امضای طیفی طعمه باید به امضای طیفی هدف واقعی خیلی نزدیک باشد. بنابراین راهکار مناسب جهت ساخت طعمه های فریب استفاده از مواد اصلی و طبیعی اهداف است.

حال یک نمونه ریاضی کاربردی برای واپایش (کنترل) و ارزیابی شیوه های فریب فراطیفی پیشنهاد می شود. فرض نمائید یک طعمه با امضای طیفی s جهت فریب هدف با امضای طیفی x مورد استفاده قرار گرفته باشد. در این صورت با توجه به رابطه (۲-۲) خواهیم داشت:

$$Z_{ACE}(x, s) = \frac{(s^T x)^2}{(s^T s)(x^T x)} \quad (7)$$

که Γ به دلیل در نظر گرفتن یک امضای طیفی برابر با ماتریس یک در نظر گرفته شده است. بدیهی است هر چه s و x به یکدیگر نزدیک باشند، مقدار Z_{ACE} به عدد یک نزدیک تر خواهد بود و لذا امکان فریب بالاتر است.

- [12] Weng, Q. "Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications."; CRS press, Taylor & Francis Group, 2008.
- [13] Rogge, D.; Rivard, B.; Deyholos, M.; Levesque, J.; Faust, A. A. "Toxic Industrial Chemical Effects on Poplar, Canola, and Wheat Detectable over the 450 – 2500 Nm Spectral Range."; IGRASS, 2008.
- [14] Gat, N.; Barhen, J.; Gulati, S.; Steiner, T.D. "Hyperspectral Imaging for Target/Decoy Discrimination: Sensor and Algorithms."; Proc. Mtg. IRIS Specialty Group on Passive Sensors, IRIA Publication, 1994.
- [15] Ren, H.; Du, Q.; Wang, J.; Chang, C. I.; Jensen, J. O.; Jensen, J. L. "Automatic Target Recognition for Hyperspectral Imagery Using High-Order Statistics."; IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 2006, 42(4).
- [16] Kim, I.; Kim, M. S.; Chen, Y. R.; Kong, S. G. "Detection of Skin Tumors on Chicken Carcasses Using Hyperspectral Fluorescence Imaging."; Transactions of the ASAE 2004, 47(5), 1785–1792.
- [17] Tousley, B. "Adaptive Spectral Reconnaissance Adaptive Spectral Reconnaissance Program (ASRP)"; Defense Science & Technology Seminar Defense Science & Technology Seminar Emerging Hyperspectral Technologies - Emerging Hyperspectral Technologies-New Eyes for the Warfighter 2000.
- [18] Leachtenauer, J. C.; Malila, W.; Irvine, J.; Colburn, L.; Salvaggio, N. "General Image-Quality Equation."; Applied Optics 1997, 36(32).
- [19] Kerekes, J.; Muldowney, M.; Strackerjan, K.; Smith, L.; Leahy, B. "Vehicle Tracking With Multi-Temporal Hyperspectral Imagery."; Proc. of SPIE 2006, 6233, 62330C.
- [20] Soliman, N. A. "Hyperspectral-Augmented Target Tracking."; M. Sc Thesis, Air Force Institute of Technology, 2008.
- [21] Rotman, R. S. "Spatial and Temporal Point Tracking in Real Hyper Spectral Images."; Project Report, Ben-Gurion University of the Negev, 2006.
- [22] Manolakis, D. "Taxonomy of Detection Algorithms for Hyperspectral Imaging Applications."; Optical Engineering 2005, 44(6), 066403-1-11,.
- [23] Choongyeun, C. "Anomaly Detection and Compensation for Hyperspectral Imagery."; Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- [24] Smetek, T. E. "Hyperspectral Imagery Target Detection Using Improved Anomaly Detection and Signature Matching Methods."; Ph. D. Thesis, Air Force Inst of Tech Wright-Patterson AFB OH School of Engineering and Management, 2007.
- با این کار، می‌توان الف) تصاویر فراطیفی با توان تفکیک مکانی و طیفی گوناگون را شبیه‌سازی نمود، ب) اهداف مختلف را در تصاویر فراطیفی جای داد، ج) تأثیرات پس‌زمینه‌های مختلف نظیر مناطق علف‌زار، بیابانی و از این نوع را بر روی بازتابش طیفی اهداف اعمال و بررسی نمود، د) تأثیر شرایط محیطی و جوی مختلف را روی امضای اهداف لحاظ نمود، ه) الگوریتم‌های مختلف آشکارسازی ناهنجاری و تشخیص هدف را مورد آزمون قرار داده و احتمال شناسایی اهداف مورد نظر را برآورد نمود؛ و) ارزیابی‌های متعددی را با کمترین هزینه و زمان انجام داد.

۷. مراجع

- [۱] خزائی، صفا "مبانی سنجش از دور با نگرشی بر شناسایی و مراقبت"، انتشارات دانشگاه امام حسین(ع)، ۱۳۸۸.
- [2] Headquarters Department of the Army; "Camouflage, Concealment, and Decoys."; Field Manual 1999, 20(3).
- [3] Bahal, A. S. "Satellite Reconnaissance, ISR and Counter-Measures."; AIR POWER Journal 2006, 3(2).
- [4] Hsu, S. M.; Burke, H. K. "Multisensor Fusion with Hyperspectral Imaging Data: Detection and Classification."; Lincoln Laboratory Journal 2003, 14(1).
- [5] Vaughan, R. G.; Calvin, W. M.; Taranik, J. V. "SEBASS Hyperspectral Thermal Infrared Data: Surface Emissivity Measurement and Mineral Mapping."; Remote Sensing of Environment 2003, 85(1).
- [6] Shaw, G. A.; Burke, H. K. "Spectral Imaging for Remote Sensing."; Lincoln Laboratory Journal 2003, 14, 3–28.
- [7] Vagni, F. "Survey of Hyperspectral and Multispectral Imaging Technologies."; RTO Technical Report, TR-SET-065-P3, 2007.
- [8] Wong, K. C. "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)"; Department of Aeronautical Engineering, university of Sydney, 2006.
- [9] Chang, C. I.; Ren, H.; Chang, C. C.; D'Amico, F; Jensen, J. O. "Estimation of Subpixel Target Size for Remotely Sensed Imagery."; IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2004, 42(6).
- [10] Chang, C. I. "Hyperspectral Data Exploration, Theory and Applications."; A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION, 2007.
- [11] Baquero, E. H. "Survey of Advanced Technologies in Imaging Science for Remote Sensing."; U.S. Air Force Academy, Rochester Institute of Technology, 1997.

- [25] Grossman, J. M.; Bowles, J.; Haas, D.; Antoniadis, J. A.; Grunes, M. R.; Palmadesso, P.; Gillis, D.; Tsang, K. Y.; Baumbach, M.; Daniel, M.; Fisher, J.; Triandaf, I. "Hyperspectral Analysis and Target Detection System for the Adaptive Spectral Reconnaissance Program (ASRP)."; SPIE, Algorithms for Multispectral and Hyperspectral Imagery IV, Orlando, FL, April 1998, 3372, 2-13, 13-14.
- [26] Chang, C. I. "Hyperspectral Imaging: Techniques for Spectral Detection and Classification."; Orlando, FL: Kluwer Academic, 2003.
- [27] Reed, I. S.; Yu, X. "Adaptive Multiple-Band CFAR Detection of an Optical Pattern with Unknown Spectral Distribution."; IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing 2005, 38(10), 1760-1770, 1