فصلنامه جغرافیای نظامی و امنیتی
سال چهارم، شماره یکم، بهار ۱۴۰۰

ماهواره‌های سپر دفاع موشکی و نقش اطلاعاتی ـ امنیتی آنها

جبار صیدی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱

چکیده

ازآنجاکه عصر حاضر، عصر اطلاعات است و امروزه اطلاعات به‌صورت برخط و از راه دور و بدون تماس فیزیکی حاصل می‌شود، ضرورت ایجاب می‌کند که سامانه‌های (سیستم‌ها) با این قابلیت، مورد واکاوی قرار گیرند. ازجمله این نوع سامانه‌ها، ماهواره‌ها می‌باشند. در این پژوهش، ماهواره‌های سپر دفاع موشکی شامل Defense Support Program، Space Based Infrared System و Space Tracking and Surveillance System معرفی و حسگرهای آنها به‌تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. نوع حسگر (سنسور) مورداستفاده، محدوده طیفی، اندازه پیکسل، تفکیک مکانی، نوع اسکن، زمان تجدد، مراحل ردیابی و آشکارسازی موشک بالستیک، محدوده دمای کاری، میدان دید لحظه‌ای، کسب اطلاعات از امضای طیفی اهداف و مدارهای گردش هرکدام از حسگر این نوع ماهواره‌ها تبیین و بررسی شده است. نتایج و قابلیت‌های ذکرشده برای هر کدام از این ماهواره‌ها بیانگر این است که کارآیی و عملکرد عملیاتی DSP، SBIRS و STSS به‌ترتیب افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی

ماهواره؛ حسگر؛ امضای طیفی؛ سپر؛ توان تفکیک طیفی

۱. پژوهشگر مرکز علوم و فناوری‌های اطلاعاتی، دانشکده و پژوهشکده پیامبر اعظم(ص)، دانشگاه جامع امام حسین(ع)
psaydi1318@gmail.com

مقدمه

تصویربرداری فراطیفی[1] که از اواخر دهه۷۰ و اوایل دهه ۸۰ میلادی شروع شده و اولین سامانه‌های آن در اوایل دهه ۹۰ مورد استفاده قرار گرفته، به‌عنوان ابزاری مهم برای سنجش از دور، شناخته شده است. این ابزار می‌تواند مواد را با محتویات طیفی یک پیکسل شناسایی کند؛ حتی اگر اشیای موردنظر ازلحاظ تفکیک مکانی بسیار کوچک باشند، تا حدودی توسط علوفه پوشانده شده باشند، یا تنها بتوانند توسط امضای طیفی‌شان تعیین شوند. ایده اصلی مستتر در HSI (و نیز MSI[2]) مفهوم امضای طیفی است. در بیان ساده، تمام مواد تابش الکترومغناطیس را براساس ساختار فیزیکی ذاتی و ترکیب شیمیایی خود و براساس طول موج تابش، بازتاب، گسیل، عبور یا جذب می‌کنند. بنابراین، برای هر ماده معین، مقدار تابش الکترومغناطیس که بازتابیده، گسیل‌شده، عبوریافته یا جذب‌شده باشد، با طول موج تابش تغییر می‌کند. اگر درصد بازتابندگی یا گسیلندگی برای ماده‌ای معین در سرتاسر یک محدوده طیفی رسم شود، منحنی به‌دست‌آمده امضای طیفی برای آن ماده نامیده می‌شود.

چون امضای طیفی برای هر ماده متفاوت و درحقیقت منحصربه‌فرد می‌باشد، باید تمایز بین یک ماده و ماده دیگر براساس اختلاف امضای طیفی مواد امکان‌پذیر باشد. این امضای طیفی درمورد HSI های نواحی مرئی و فروسرخ نزدیک از بازتابش سطحی مواد به‌وجود می‌آید و ازاین‌نظر که بازتابندگی و جذب جنس ماده تابع طول موج است، حاوی اطلاعات خاصی از ماده است. درمورد HSIهای نواحی فروسرخ میانی و دور نیز از گسیل ذاتی مواد در دماهای بالای صفر مطلق براساس قانون تابش جسم سیاه و مطابق رابطه ۱ نشئت می‌گیرد.

$$M=\varepsilon\sigma T^4 \qquad .۱$$

که در این رابطه M مقدار تابش، ۳ گسیلندگی وابسته به جسم، σ ضریب ثابت استفان ـ بولتزمن، و T دمای جسم برحسب کلوین است. براساس این رابطه کنتراست دمایی و جنس ماده توأم با هم برای کشف و تعیین هویت ماده هدف به‌کار می‌روند. بنابراین، سامانه‌های HSI قادرند با دریافت، ثبت، پردازش، وتحلیل طیفی اهداف را با دقت فوق‌العاده تمیز دهند. مثلاً خاک فشرده حاصل از حرکت

1. Hyper Spectral Imaging (HSI)
2. Multi Spectral Imaging (MSI)

یک خودرو از خاک معمولی جاده، سقف یک سوله در روز تعطیل با همان مورد در یک روز کاری، رنگ سبز چمن از رنگ سبز جنگل، نوع گازهای حاصل از کارخانه تولید مواد شیمیایی و... قابل تشخیص خواهد بود. طی دو دهه عمر سامانه‌های مزبور انواع گوناگونی برای کاربردهای متعدد ساخته و به‌کارگرفته شده است. متناسب با کاربرد و قابلیت موردنیاز، مشخصات این سامانه‌ها انتخاب می‌شود. درادامه جدول مشخصات آن دسته از سامانه‌ها که ازحیث طول موج، کاربرد، بازه دمایی عملکرد، مشخصات عملیاتی وکاربردی و فناوری به‌کاررفته شباهت زیادی به محموله موردنظر دارند، ارائه شده است. ویژگی مهم سنجنده‌های هواپایه توان تفکیک مکانی و طیفی بالا و استفاده از امضای طیفی پدیده‌ها و عوارض در شناسایی اهداف نظامی و غیرنظامی است. سنجنده‌های فراطیفی با وجود داشتن بالاترین سطح توان تفکیک بین سنجنده‌های الکترواپتیکی، دارای توان تفکیک مکانی نسبتاًپایینی هستند. به‌طوری‌که اندازه پیکسل زمینی سنجنده‌های فضاپایه غالباً به‌دلیل محدودیت در ساخت آشکارساز با ابعاد خیلی کوچک و نیز بالابودن ارتفاع پرواز، بیشتر از ۳۰ متر می‌باشد، لذا جهت مأموریت‌های شناسایی گزینه مناسبی نیستند. لازم به ذکر است که از سال ۲۰۰۱ که پرتاب ماهواره Orb View-4 با سنجنده فراطیفی Warfighter-1 با ۲۰۰ باند طیفی و اندازه پیکسل زمینی ۸ متر با شکست مواجه شد و به‌جز موارد معدود حالت پنکروماتیک، تاکنون تلاش قابل‌ملاحظه‌ای درخصوص استفاده از سکوهای ماهواره‌ای با اندازه پیکسل زمینی کمتر از ۳۰ متر برای سنجنده‌های فراطیفی دیده نشده است [Shimoni, et.al, 2007: 23]. ازسوی‌دیگر، یکی از ویژگی‌های سنجنده‌های جدید استفاده از باند فروسرخ طول موج بلند[1] است که در سنجنده‌های فضاپایه قابل استفاده مطلوب نیست، درحالی‌که امروزه تعداد قابل‌توجهی از سنجنده‌های هواپایه وجود دارند که از این دسته سنجنده استفاده می‌نمایند؛ اما سنجنده‌های هواپایه در مأموریت‌های شناسایی (که غالباً در پرنده‌های بدون‌سرنشین از قبیل Predator (شکل ۱ و Global Hawk نصب می‌شوند) به‌دلیل عدم خطرات جانی، سقف پرواز بالا (تا ۲۰ کیلومتر) و قابلیت بالا جهت پایش تقریباً آنی و طولانی‌مدت، دارای کارآیی بالایی هستند [Shimoni, et.al, 2007: 23]

1. Long Wavelength Infrared (LWIR)

شکل ۱. پرنده بدون سرنشین Predator امریکا

از کاربردهای مهم نظامی فناوری سنجش‌ازدور فراطیفی می‌توان به تشخیص بین اهداف واقعی و طعمه‌های فریب، خنثی‌نمودن اقدامات استتار مانند تفکیک بین پوشش‌های گیاهی زنده و مرده، آشکارسازی تسلیحات کشتارجمعی، آشکارسازی میادین مین و مهمات عمل‌نکرده، تحلیل و آشکارسازی دود تأسیسات نظامی و جنگ بیولوژیکی مانند شناسایی عوامل عصبی اشاره کرد [p63, 2010, et.al, Safari; p3, 2003, Shaw; 2007, Vagni].

جدول ۱. برخی از سنجنده‌های فراطیفی فضاپایه

نام	بازه طیفی (µm)	تعداد باند	تفکیک زمینی	Δλ(nm)	کشور سازنده
HIRIS	۰/۴۰-۱/۰ و ۱/۰-۲/۵۰	۱۹۲	۶۰-۱۰۰m	۱۶	ایالات متحده ۱۹۹۷
HYPERION	۰/۴-۲/۵	۲۲۰	۳۰ m	۱۰	TRW
ASTER	SWIR ,VNIR TIR	۱۴	۱۵-۹۰ m		
CHRIS	۰/۴-۱/۰۵	۱۹	۱۷ m		
MODIS	۰/۴۱-۱۴/۲۴	۳۶	۵۰۰ m،(۱-۲ µm) ۲۵۰m (۱-۲ µm) ۱۰۰۰ m،(۱-۲ µm)		ایالات متحده
LAC	۰/۹-۱/۶	۲۵۶	۲۵۰ m	۲-۶	
ALI	۰/۴-۲/۴	۲۲۰	۳۰ m	متغیر	
FTHSI	۰/۳۵-۱/۰۵۰	۲۵۶	۲۸×۳۰ m		
ARIESS	۴,۰-۱/۱ و ۲-۲/۵		۳۰ m		
CIS	۰/۴-۱۲/۵	۹۱			چین

مسئله اصلی مطرح‌شده در این کار تحقیقی این است که آیا نوع حسگر در شناسایی و تشخیص اهداف مؤثر و تأثیرگذار است؟ مؤلفه‌های مهم در تشخیص و قدرت تفکیک اهداف شامل چه مؤلفه‌هایی است؟ وجه تمایز حسگرهای نسل جدید با نسل قدیم در چیست؟ که در این کار موارد ذکرشده پاسخ داده خواهد شد. بنابراین، درابتدا به تاریخچه تصویربرداری و معرفی ویژگی‌ها و فیزیک این نوع سنجنده‌ها می‌پردازیم و در بخش‌های بعدی روش کار را با معرفی سامانه‌های مذکور به‌تفصیل مورد ارزیابی و واکاوی قرار می‌دهیم.

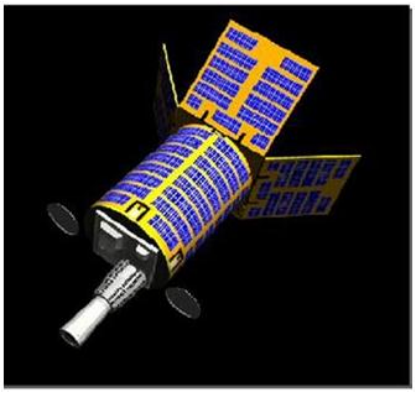
مواد و روش

در این بخش تمام مشخصات فنی مورداستفاده در سامانه‌های فضاپایه به‌طور مفصل مورد ارزیابی قرار گرفته و انواع حسگرها با ذکر قابلیت و محدودیت آنها تشریح شده است. به‌همین‌منظور روش کار، تحلیل و خروجی حسگرهای ماهواره‌های سپر دفاع موشکی در مدارات مختلف تشریح شده‌اند که درادامه در بخش‌های مختلف تمام ماهواره‌های سپر دفاع موشکی به‌طور مبسوط مورد بررسی قرار گرفته است.

ماهواره‌های برنامه پشتیبانی دفاع DSP[1]

ماهواره‌های برنامه پشتیبانی دفاع یا DSP درحال‌حاضر در مدار GEO (زمین‌آهنگ) به دور زمین می چرخند و پوشش جهانی برای هشدار اولیه اهداف، ردگیری و شناسایی محدود را فراهم کرده‌اند. یک نمونه از ماهواره این سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است. جدای از هشدار پرتاب موشک‌های بالیستیک، حسگرهای ماهواره می‌توانند تخمین بزنند که موشک بالیستیک به سمت کجا نشانه رفته است. مجتمع‌کردن سامانه DSP برای هشدار اولیه و ردگیری مرحله اول موشک‌های بالیستیک تا نیمه‌های فاز بوست را مهیا می‌کند.

1. Defense support program



شکل ۲. سنسور ماهواره DSP

ماهواره‌های برنامه پشتیبانی دفاع فرماندهی نیروی هوایی، بخشی حیاتی از سامانه‌های هشداردهنده اولیه امریکای شمالی هستند. در مدارهای ژئوسنکرون ۲۲۳۰۰ مایلی، ماهواره‌های DSP ازطریق شناسایی پرتاب‌های موشکی به حفاظت از ایالات‌متحده و متحدان آن، پرتاب‌های فضایی و انفجارات هسته‌ای کمک می‌کنند.

امکانات

ماهواره‌های DSP برای تشخیص تابش‌های مادون قرمز نزدیک از موشک در برابر پس‌زمینه از حسگر مادون قرمز طول موج کوتاه بهره می‌گیرند. در سال ۱۹۹۵، پیشرفت‌های فناورانه در زمینه سامانه‌های پردازش زمینی امکان افزایش قابلیت شناسایی موشک‌های کوچکتر برای بهبود هشدار حمله به‌وسیله موشک‌های کوتاه‌برد در برابر ایالات‌متحده و متحدانش را فراهم ساخت. آخرین ماهواره DSP در نوامبر ۲۰۰۷ روی Evolved Expendable Launch Vehicle Delta IV پرتاب شد. کارایی DSP در عملیات طوفان صحرا[1] به‌اثبات رسید. در آن زمان DSP پرتاب موشک‌های اسکاد عراق را شناسایی و به جمعیت غیرنظامی و نیروهای ائتلافی در اسرائیل و عربستان سعودی هشدار داد. مأموریت این ماهواره تشخیص گرمای حاصل از موشک‌ها و دود غلاف در برابر زمینه؛ قابلیت آشکارسازی موشک‌های کوچکتر؛ هشدار درمورد خطر حمله موشک‌های کوتاه، تعیین نقطه پرتاب در شرایط آب‌وهوایی ایدئال و ردیابی موشک تا نیمه‌های فاز

1. Desert Storm

بوست است.

حسگرهای ماهواره DSP

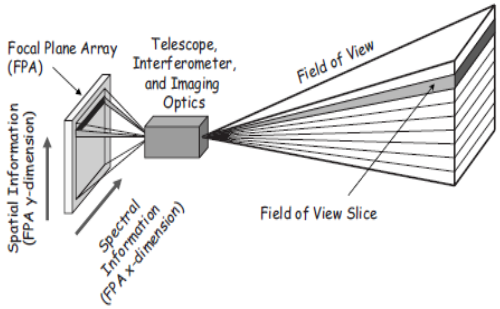
نسل‌های اولیه این نوع حسگرهای نیمه‌هادی PbS داشتند که در دمای محیط در بازه طول موجی (SWIR) یعنی ۱- ۲/۵ میکرون کار می‌کنند و در دمای پایین (۷۰ تا ۸۰ کلوین) به عبارتی در حالت خنک‌شونده که حساسیت آن بالاست در بازه طول موجی ۲ تا ۴ میکرون کار می‌کنند. نسل‌های جدید این نوع ماهواره از آشکارسازی به نام MCT و از نوع خنک‌شونده با دوباند و به‌صورت تک‌آرایه‌ای استفاده شد که این نوع دارای قدرت تفکیک بهتر و نیز حساسیت نسبتاً بهتری بوده است. این نوع حسگر قادر است تابش‌های ذاتی هدف و نیز انعکاس تابش ناشی از نور خورشید به هدف را بگیرد. توان تفکیک طیفی و مکانی این نوع ماهواره با ارتقای حسگرهای آن به‌صورت خنک شونده بهبود پیدا کرد. پوشش این نوع حسگرها به‌صورت جهانی است، نه‌فقط یک منطقه خاص. در شرایط ایدئال آب‌وهوایی حسگرهای این نوع ماهواره نقطه پرتاب را می‌گیرد و تا نیمه‌های فاز بوست را رهگیری می‌کند و از این مرحله به بعد به‌خاطر نوع حسگر و بازه پاسخ طیفی استفاده شده درآن را قادر نیست رهگیری کند. موشک‌های اسکاد، چند هدف کوچک با هم، پرتوهای لیزری را رهگیری می‌کند. باتوجه‌به این قابلیت به‌احتمال‌زیاد موشک‌های پدافندی را نیز رهگیری می‌کند. در جنگ عراق به‌منظور ردیابی موشک‌های اسکاد و نیز در طوفان صحرا از قابلیت این نوع حسگرهای این نوع ماهواره استفاده شد. قدرت تفکیک و یا به‌عبارتی فاصله نمونه (هدف) زمینی (GSD)[1] بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بیان شده است. البته این قدرت تفکیک با دوربین‌های خنک‌شونده چندطیفی انجام می‌شود. نرخ کند بازبینی[2] ماهواره DSP (تقریباً هر ۱۰ ثانیه یکبار) بیانگر میزان تأخیر در فرایند کشف است و همین مطلب باعث شده که این حسگر برای فاز خیزش چندان مناسب نباشد [p111,2002,et.al,Rogalski; p2011,2011, Tuominen].

1. Ground Sample Distance (GSD)
2. Revisit Time

DSP Engineering History

	Phase I	Phase II	MOS/PIM	Phase II UG	DSP-1
Flight Number	1, 2, 3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10, 11	12, 13	14-23
Launch Years	1970-1973	1975-1977	1979-1984	1984-1987	1989-2007
Launch Vehicle	Titan IIIC	Titan IIIC	Titan IIIC and Titan 34D	Titan 34D	3 Titan IV-A, 5 Titan IV-B, 1 STS, 1 EELV Delta IV Heavy
Weight (lbs)	2000	2300	2580	3690	5250
Power (watts)	400	480	500	680	1275
Design Life (years)	1.25	2.0	3.0	3.0	3.0
Detectors					
2000 (PbS) (SWIR)	X	X	X		
6000 (PbS) (SWIR)				X	X
2nd Color (HgCdTe) (MWIR)				Demo	X
Capability					
Below the Horizon (BTH)	X	X	X	X	X
Above the Horizon (ATH)		Demo		X	X
RADEC	X	X	X		
Advanced RADEC				X	X

شکل ۱. تاریخچه ارتقای قابلیت سنسور ماهواره DSP [p111,2002,et.al,Rogalski; p2011,2011, Tuominen].



شکل ۴. طرح‌واره اسکن اهداف به‌وسیله حسگرهای فراطیفی با میدان دید کلی و لحظه‌ای [2007, Chang].

ماهواره‌های مادون قرمز فضاپایه(SBIRS) [1]

صورت فلکی ماهواره‌های سامانه مادون قرمز فضاپایه یا SBIRS، یک ابزار دیگر برای هشدار اولیه حمله موشک‌های بالیستیک است که بردار وضعیت دقیق موشک بالیستیک را دراختیار سامانه دفاع موشکی قرار داده و به‌طور مؤثری آن را راهنمایی می‌کند. یک نمونه از ماهواره این سامانه در شکل ۵ نشان داده شده

1. Space Based Infrared System

است. این سامانه به‌طور دقیق می‌تواند محل دقیق شلیک موشک را شناسایی کرده، ولی محل برخورد آن را تخمین می‌زند. حسگرهای این ماهواره قادرند لانچ، بوست و پس از بوست را ردگیری کنند که از این مرحله به بعد، به‌دلیل عدم پاسخ طیفی حسگرهای مورداستفاده را قادر به تشخیص و ردگیری نیست و تنها رد موشک را باتوجه‌به محاسبات نرم‌افزاری و پردازش داخلی سامانه، تخمین می‌زند.

شکل ۵. تصویر ماهواره SBIRS

امکانات، قابلیت و مشخصات مداری ماهواره منظومه‌ای SBIRS

ماهواره SBIRS، ماهواره‌ای با فناوری مادون قرمز است که در حد وسیعی ظرفیت هشدار حمله موشکی را بهبود و توسعه می‌دهد. همچنین باعث بهبود دفاع موشکی کشورها و هوشمندی تکنیکی منطقه هوایی تحت پوشش هشدار می‌شود. به‌بیان‌دیگر، SBIRS آغاز نسل جدیدی از سامانه‌های فضایی مادون قرمز حفاظتی است که در سطح گسترده می‌تواند امنیت کشورها را افزایش دهد. ماهواره SBIRS شامل یک حسگر اسکنر پیشرفته و یک حسگر منطقه‌ای محدود (خیره‌کننده) با نرخ تکرار بالا و میدان دید باریک می‌باشد که حساسیت و بازده کوانتومی آن نسبت به تابش مادون قرمز افزایش یافته و دوره بازگشت[1] آن نسبت به ماهواره‌های فعلی کاهش یافته است. حسگر اسکن‌کننده آن منطقه وسیعی از سطح زمین را برای پرتاب موشک‌ها و اثرات طبیعی تحت پوشش قرار می‌دهد، درحالی‌که حسگر خیره‌کننده آن با حساسیت بالا نواحی کوچکتر را مورد مراقبت و پوشش قرار می‌دهد. این دو حسگر که مستقل از هم عمل می‌کنند، باعث بالابردن

1. Revisit time

سرعت هشدار در پرتاب موشک‌ها در سطح جهان، حمایت سامانه‌های دفاعی در برابر موشک‌های بالستیک، افزایش ظرفیت هوشمندی تکنیکی و تقویت موقعیت هشدار در وضعیت جنگی شده‌اند. تیم SBIRS به‌وسیله مدیریت سامانه‌های مادون قرمز فضایی در مرکز سامانه‌های موشکی و نیروی هوایی امریکا هدایت می‌شود. لاکهید مارتین اولین پیمانکار آنها در این طرح می‌باشد. همچنین شرکت نورثروپ گرومن وظیفه یکپارچه‌سازی محموله را در این پروژه برعهده داشته است. همکاری لاکهیدمارتین در این پروژه شامل محموله‌های HEO، دو ماهواره با مدار زمین آهنگ و همچنین حمایت زمینی جهت دریافت و پردازش داده‌های خام از حسگرهای مادون قرمز می‌باشد. این تیم همچنین درحال کار روی حمل محموله اضافی روی ماهواره میزبان در مدار HEO است.

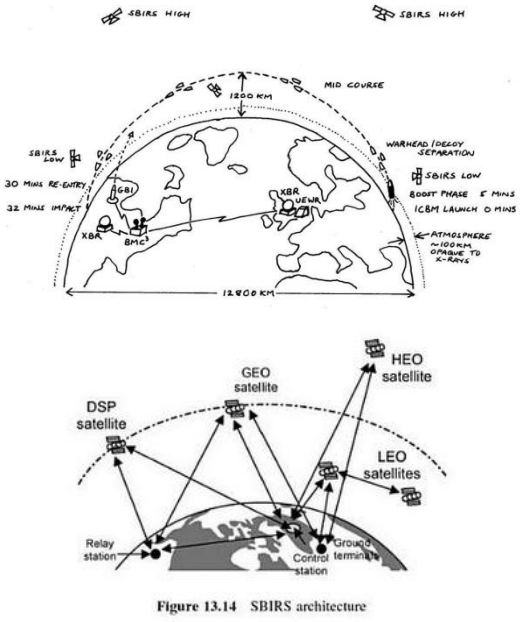


Figure 13.14 SBIRS architecture

شکل ۶. مدارهای ماهواره‌ها SBIRS [2007, Chang].

سامانه مادون قرمز فضاپایه (SBIRS) جایگزین سامانه برنامه پشتیبانی دفاعی (DSP) به عنوان یک بخش کلیدی از سامانه هشدار اولیه و دفاع موشکی امریکای شمالی می‌باشند. SBIRS نقشی حیاتی در حفاظت از ایالات‌متحده و متحدانش

ازطریق پشتیبانی در چهار حوزه مأموریتی ایفا می‌کند: هشدار موشکی[1]، دفاع موشکی[2]، آگاهی نبرد[3] و اطلاعات فنی[4]. ماهواره SBIRS برای انجام این مأموریت‌های حیاتی مهم طراحی شده است. ماهواره SBIRS متشکل است از حسگرهای مادون قرمز روی ماهواره‌های میزبان در مدار بسیار بیضوی HEO و دو حسگر مادون قرمز هریک روی ماهواره SBIRS اختصاصی در مدار ژئوسنکرون زمین (GEO). حسگر HEO برای تشخیص پرتاب موشک‌های بالستیک از زیردریایی‌ها در منطقه قطب شمال طراحی شده است و می‌تواند سایر مأموریت‌های تشخیصی تابش مادون قرمز را نیز انجام دهد. حسگر اسکن‌کننده GEO به‌منظور انجام مأموریت راهبردی MW، TI جهانی، و همچنین به‌عنوان فاز اولیه مأموریت راهبردی MD طراحی شده است. این حسگر زمان تجدد کوتاه‌تر و حساسیت بیشتری نسبت به حسگر DSP دارد که به‌علت خطر باندهای طیفی مورداستفاده در آن و نیز حسگرهایی با صفحات آرایه کانونی می‌باشد. حسگر خیره‌کننده GEO برای انجام MW و مأموریت‌های MD صحنه عملیات، مأموریت BA، مأموریت TI با تمرکز در مناطق ویژه و مرحله نهایی مأموریت راهبردیMD طراحی شده است. ایستگاه‌های زمینی تاکتیکی مشترک (JTAGS) ارتش ایالات‌متحده واقع در صحنه عملیات که درحال‌حاضر داده‌های DSP را دریافت و پردازش می‌کنند، به منظور دریافت و پردازش داده‌های حسگر SBIRS انتقال داد خواهند شد. مأموریت این نوع ماهواره تشخیص و ردیابی پرتاب‌های موشکی با استفاده از حسگرهای مادون قرمز، مجهز به دو نوع سامانه ردیابی شامل اسکنینگ و خیره‌کننده و جایگزین سامانه DSP به‌دلیل قابلیت و کارایی خوب حسگرهای مورداستفاده است.

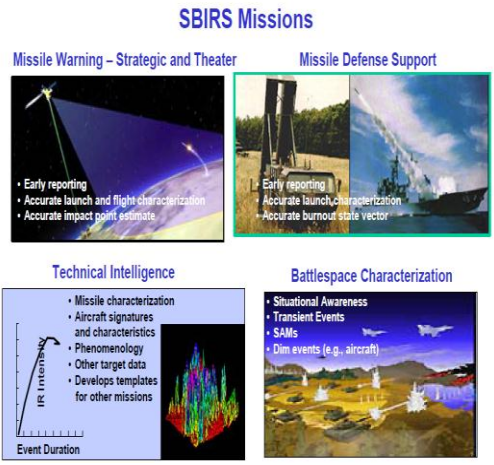
حسگرهای SBIRS و قابلیت آنها

حسگرهای این نوع به دو صورت اسکن‌کننده[5] و خیره‌کننده[6] می‌باشد. این نوع ماهواره هم در مدار GEO قرار دارند و هم مدار HEO. در مدار HEO حسگر مادون قرمز روی دو ماهواره میزبان و از خانواده TRUMPET و JUMPSEAT -

1. Missile Warning (MW)
2. Missile Defense (MD)
3. Battle Aware (BA)
4. Technical Information (TI)
5. Scanning
6. Staring

که از نوع ماهواره‌های ELINT می‌باشند ـ به اسم HERITAGE قرار دارند. حسگرهای این ماهواره از نیمه‌هادی InSb و MCT می‌باشد که در بازه طیفی ۳ تا ۵ میکرون و ۱- ۲/۵ میکرون و به‌صورت خنک‌شونده کار می‌کنند. حسگرهایی که در مدار GEO قرار دارند هم پوشش جهانی دارند و هم فوکوس روی یک منطقه ویژه؛ ولی حسگرهایی که به‌صورت میهمان روی ماهواره‌های میزبان‌مدار HEO قرار دارند، تنها از مد اسکنینگ استفاده می‌کنند که قطب‌ها و فوکوس روی یک منطقه ویژه راپوشش می‌دهند. این ماهواره‌ها در شرایط ایدئال آب‌وهوایی نقطه پرتاب را می‌گیرد و فاز بوست و تا کمی پس از آن را رهگیری می‌کند و از این مرحله به بعد، به‌خاطر نوع حسگر و بازه پاسخ طیفی آن، قادر نیست رهگیری کند، ولی مسیر حرکت را قادر است فقط پیشگویی کند. بعلت حساسیت و قدرت تفکیک بالای سنسورهای این نوع ماهواره، قادر هستند موشک‌های با برد کوتاه، موشک‌های دفاعی زمینی و نیز موشک‌های با تابش حرارتی کم را ردگیری کند. اما ضعف این سحسگر در ردگیری مرحله میانی و نهایی است؛ چرا که سرجنگی موشک در این مرحله کاملاً سرد می باشد و با این نوع حسگرها قابل آشکارسازی نیست؛ چراکه تابش‌های ساطع‌شده از سرجنگی در فازمیانی و نهایی به‌دلیل دمای آن به ناحیه طیفی LWIR برمی‌گردد که با این نوع حسگرها قابل آشکارسازی نیست. رزولوشن این نوع تقریباً ۳۰۰ متر می‌باشد. اندازه پیکسل حسگر این نوع ماهواره بین ۲۰ تا ۳۰ میکرومتر و میدان دید لحظه‌ای آن تقریباً ۰/۳ میلی رادیان می‌باشد. یکی از ایستگاه‌های تاکتیکی زمینی دریافت‌کننده سیگنال‌های ارسال‌شده به پایین[1] این نوع ماهواره‌ها به نام JTAGS در حیفا می‌باشد و ایستگاه پشتیبانی و کنترل مأموریت آن در کلورادو و اطراف امریکاست. زمان تجدد در این نوع در حدود ۱ ثانیه و کمتر می‌باشد که این به تعداد آرایه‌های مورداستفاده در حسگر و نیز نحوه چیدمان آنها بستگی دارد [2007, Chang].

1. Down Linking



شکل ۷. طرح‌واره مأموریت ماهواره SBIRS [2011, J. Tuominen, T. Lipping].

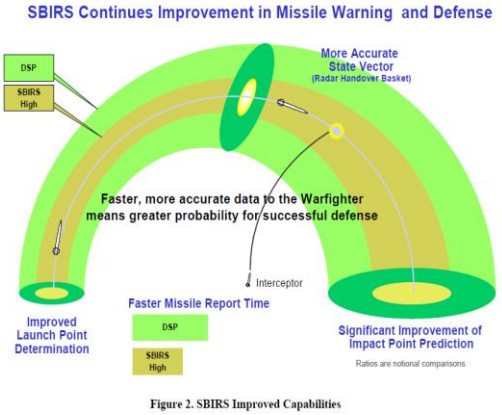
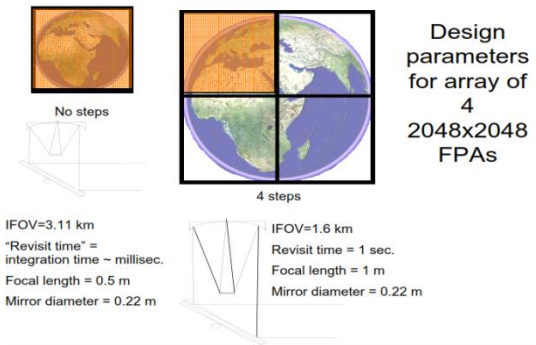


Figure 2. SBIRS Improved Capabilities

شکل ۸. طرح‌واره از بهبود قابلیت حسگر ماهواره SBIRS نسبت به DSP [2002, A. Rogalski, K. Chrzanowski].



شکل ۹. دوره بازگشت و نیز تعداد آرایه‌های مورداستفاده در اسکن کل کره زمین [2011, J. Tuominen, T. Lipping].

ماهواره‌های ردیابی و مراقبت فضایی (STSS)[1]

این ماهواره ساخت کشور امریکاست و درحال‌حاضر تنها کشور دارنده آن می‌باشد. این ماهواره زیر نظر آژانس دفاع موشکی امریکا[2] و مرکز سامانه‌های موشکی فضایی نیروی هوایی امریکا طراحی و ساخته شده است. در سال ۲۰۰۹ این ماهواره پرتاب شده و از نوع ماهواره‌های هشدار سریع می‌باشد و هدف و مأموریت آن مراقبت و رهگیری موشک‌های بالیستیک در تمامی فازهای پرتاب با پوشش جهانی است. مدار در حال گردش این ماهواره LEO می‌باشد.

ویژگی‌های محموله سامانه STSS

این سامانه شامل دو نوع حسگر الکترواپتیکی است:

ـ سامانه هدف‌یابی و هشدارسریع با میدان دید وسیع می‌باشد که بدین‌منظور شامل سنجنده با میدان دید پهن، آینه‌های جمع‌کننده پرتو، تلسکوپ هدایت پرتو به داخل عنصر پاشنده، عنصر پاشنده از نوع منشوری جهت تفکیک پرتوها، حسگر مادون قرمز از نوع خنک‌شونده با صفحات آرایه کانونی، استفاده از عدسی‌ها جهت انتقال پرتو و تفکیک بیشتر آن به داخل صفحه آرایه‌ای آشکارساز و همچنین ازعدسی‌ها جهت انتقال پرتو و تفکیک بیشتر آن به داخل صفحه آرایه‌ای آشکارساز و همچنین استفاده از فیلترها مخصوص دربازه طول موجی که حسگر توانایی آشکارسازی در آن بازه را داراست.

ـ رهگیری هدف با میدان دید باریک که شامل حسگرهای چندطیفی با آرایه صفحه کانونی می‌باشد که شامل حسگرهای خنک‌شونده تابش‌های مادون قرمز دور، میانی، نزدیک و مرئی می‌باشند.

تعداد آرایه‌های این حسگرها ۱۲۸×۱۲۸ پیکسل و ۲۵۶×۲۵۶ و ۵۱۲×۵۱۲ پیکسلی می باشند و نیز می‌تواند به‌صورت ترکیبی از این آرایه از حسگرها در کنار همدیگر باشد.

علاوه‌بر مواردی که درمورد حسگرهای این سامانه ذکر شد، در این سامانه از ابزارهای انتقال داده‌های ردیابی‌شده به سامانه‌های رهگیر استفاده شده است. سامانه پرتاب این ماهواره، موشک DELTA-7920-10C می‌باشد که توسط خود کشور امریکا پرتاب شده است. ویژگی‌های دیگر این سامانه قابلیت مشاهده اهداف

1. Space Tracking and Surveillance System
2. Missile Defense Agency (MDA)

با جزئیات بیشتر، پوشش افق تا افق در مراقبت از سرزمین‌ها، قابلیت نمایش و مانیتورینگ با حداقل تأخیر و به‌عنوان تنها حسگری است که دارای پوشش جهانی آژانس دفاع موشکی است که قادر به ردگیری در همه فازهای خط سیر موشک در تمام شرایط جغرافیایی است. گونه‌های مختلف این سامانه STSS1 و STSS2 می‌باشند که در نیمه دوم و سوم سال ۲۰۰۹ میلادی پرتاب شدند. نکته قابل‌توجه این است که نام این سامانه‌ها قبل از تحویل آنها با سازمان آژانس دفاع موشکی امریکا SBIRS LOW1 و SBIRS LOW2 بوده است. ولی منظومه این ماهواره هنوز کامل نشده است.

شکل ۱۱. تصویر ماهواره STSS

حسگرهای STSS و قابلیت آنها

حسگرهای این ماهواره از نیمه‌هادی‌های InSb و MCT آرایه صفحه کانونی[1] خنک‌شونده (با ازت) می باشند که در بازه طیفی ۱تا ۳ میکرون، ۳ ـ ۵ میکرون و ۸ تا ۱۴ میکرون کار می‌کنند. همچنین این ماهواره دارای حسگر در ناحیه مرئی می‌باشد. این ماهواره در مدار LEO (با ارتفاع مداری ۱۳۵۰ کیلومتری و زاویه میل ۵۸ درجه) قرار دارد ولی به‌دلیل اینکه هنوز منظومه آن کامل نیست قابلیت عملیاتی کامل ندارد. حساسیت این نوع حسگرها بسیار بالاست که این امر باعث می‌شود تا سیگنال‌های با توان تابشی پایین را بگیرد. پوشش سطح زمین به‌صورت اسکن‌کننده و خیره‌کننده است اما زوم فقط روی یک نقطه خاص نیست، بلکه هر ماهواره یک ناحیه از کل کره زمین را در هر اسکن کامل پوشش می‌دهد. درواقع

1. Focal Plane Array (FPA)

پوشش به‌صورت آنی نمی‌باشد؛ بلکه به‌صورت اسکن کلی است. بسته به تعداد باندها ی حسگر، نسبت سیگنال به نویز و اندازه پیکسل زمینی نرخ پوشش سطح زمین در حالت اسکن‌کننده و خیره‌کننده متغیر می‌باشد. این نوع ماهواره باتوجه‌به حسگرهای آرایه کانونی فراطیفی، حساسیت بالا و نیز انواع حسگرها در بازه‌های مختلف مادون قرمز قادر است موشک را در تمام مراحل شناسایی و ردیابی کند. در شرایط ایدئال آب‌وهوایی نقطه پرتاب و تمام مراحل موشک را به‌دلیل دارابودن انواع حسگر در بازه‌های طیفی مختلف را قادر به رهگیری است. این ماهواره موشک‌های با برد کوتاه، اهداف هوایی با طول پرواز کم، پرتوهای لیزری را آشکارسازی می‌کند. بنابراین با این ویژگی‌ها به‌احتمال خیلی زیاد موشک‌های پدافندی را رهگیری می‌کند. قدرت تفکیک این نوع به زیر ۲۰۰ متر می‌رسد که این امر به‌دلیل استفاده از فناوری sub band می‌باشد. اندازه هر پیکسل از این نوع آشکارساز ۲۴ میکرون گزارش شده است. میدان دید لحظه‌ای این نوع بین ۰/۲ تا ۰/۴ میلی رادیان است.

بحث و نتایج

باتوجه‌به پیشرفت فناوری در صنعت ماهواره‌ها و پهپادهای سنجش‌ازدور به‌منظور نفوذ در صحنه هدف و کسب اطلاعات از منطقه مدنظر لازم است مشخصه‌های فنی این نوع سنجنده‌ها و نحوه عملکرد آنها مورد تحلیل قرار گیرد. در این تحقیق به اصول کارکرد این نوع سنجنده‌ها با ذکر جزئیات پرداخته شده است. درحال‌حاضر کشوری قدرتمند است که ازلحاظ فناوری به‌روز باشد و بتواند به‌صورت فعال وارد میدان طرف مقابل خود شود و به‌عبارتی در دل حریف نفوذ و کسب اطلاعات کند. براین‌اساس، بحث مذکور یک نقطه عطفی را برای هر کشور صاحب این نوع فناوری را به‌عمل می‌آورد و به‌عبارتی پیشرفت در این حوزه اقتدارآفرین است. پس نباید از این نوع سامانه‌ها که مجهز به چنین فناوری است، غافل شد و به‌طور ویژه به این موضوع پرداخت. این نوع سامانه‌ها متناسب به نوع کاربرد که در متن ذکر شده، خود عاملی مهم برای نفوذ اطلاعاتی به منطقه مدنظر و کسب دیتا از آنها می‌باشد. باتوجه‌به مطالب ذکرشده نحوه کسب اطلاعات در این نوع ماهواره‌ها با استفاده از امضای طیفی اهداف صورت می‌گیرد؛ به‌طوری‌که هر جسمی به‌دلیل خواص ذاتی و جنس ویژه خود دارای طیف گسیلندگی

منحصربه‌خود می‌باشد و به‌عبارتی دارای اثر انگشت است. پس شناسایی و تشخیص اهداف اطلاعاتی و امنیتی با این روش کاملاً به‌روز و حرفه‌ای است و با دقت قابل‌توجه و عالی انجام می‌شود. به‌عنوان‌مثال کارآیی ماهواره DSP در عملیات طوفان صحرا[1] به‌اثبات رسید. در آن زمان DSP پرتاب موشک‌های اسکاد عراق را شناسایی و به جمعیت غیرنظامی و نیروهای ائتلافی در اسرائیل و عربستان سعودی هشدار داد. مأموریت این ماهواره تشخیص گرمای حاصل از موشک‌ها و دود غلاف در برابر زمینه، قابلیت آشکارسازی موشک‌های کوچکتر، هشدار درمورد خطر حمله موشک‌های کوتاه، تعیین نقطه پرتاب در شرایط آب‌وهوایی ایدئال و ردیابی موشک تا نیمه‌های فاز بوست است. ماهواره SBIRS در شرایط ایدئال آب‌وهوایی نقطه پرتاب را می‌گیرد و فاز بوست و تا کمی پس از آن را رهگیری می‌کند و از این مرحله به بعد، به‌خاطر نوع حسگر و بازه پاسخ طیفی آن، قادر نیست رهگیری کند، ولی قادر است مسیر حرکت را پیشگویی کند. به‌علت حساسیت و قدرت تفکیک بالای حسگرهای این نوع ماهواره، قادر هستند موشک‌های با برد کوتاه، موشک‌های دفاعی زمینی و نیز موشک‌های با تابش حرارتی کم را ردگیری کند. اما ضعف این حسگر در ردگیری مرحله میانی و نهایی است؛ چرا که سرجنگی موشک در این مرحله کاملاً سرد می‌باشد و با این نوع حسگر قابل آشکارسازی نیست که این خود به‌دلیل این است که تابش‌های ساطع‌شده از سرجنگی در فاز میانی و نهایی به‌دلیل دمای پایین آن به ناحیه طیفی LWIR برمی‌گردد که با این نوع حسگرها قابل آشکارسازی نیست. ماهواره STSS باتوجه‌به حسگرهای آرایه کانونی فراطیفی، حساسیت بالا و نیز انواع حسگرها در بازه‌های مختلف مادون قرمز قادر است موشک را در تمام مراحل شناسایی و ردیابی کند. در شرایط ایدئال آب‌وهوایی نقطه پرتاب و تمام مراحل موشک را به‌دلیل دارابودن انواع حسگر در بازه‌های طیفی مختلف را قادر به رهگیری است. این ماهواره موشک‌های با برد کوتاه، اهداف هوایی با طول پرواز کم و پرتوهای لیزری را آشکارسازی می‌کند. بنابراین، با این ویژگی‌ها به‌احتمال خیلی زیاد موشک‌های پدافندی را رهگیری می‌کند. بنابراین استفاده از منظومه ماهواره‌های STSS به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا، نوع آشکارساز آنها،

1. Desert Storm

ارتفاع مداری پایین و استفاده هم‌زمان از چند نوع آشکارساز در نواحی طیفی مختلف در آشکارسازی، شناسایی و تشخیص اهداف نقش بسزایی را ایفا می‌کند. بنابراین، این نوع ماهواره به‌دلیل قدرت تفکیک بالا در شناسایی و رهگیری موشک‌های بالستیک در مراحل مختلف نقش کلیدی نسبت به سایر ماهواره‌ها را بازی می‌کند و باید در عملیات‌ها و کارهای اطلاعاتی ـ نظامی حساس، موقعیت این نوع ماهوارها را بررسی و در اجرای عملیات‌ها از آنها غافل نبود. بنابراین توصیه می‌شود که یک کشور یا خود مجهز به این نوع سامانه‌ها باید باشد و یا دفاع غیرعامل در مقابل این نوع سنجنده‌ها را انجام دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باتوجه‌به مشخصه‌یابی حسگرهای مذکور می‌توان به این نتیجه دست یافت که امروزه ابزارها و فناوری‌های نوین و دانش‌بنیان اطلاعاتی، نقش کلیدی در شناسایی و تشخیص اهداف اطلاعاتی را دارند. بنابراین سرمایه‌گذاری و دستیابی علمی و عملی به این نوع ابزارها در صحنه نبرد اطلاعاتی ـ امنیتی نقش مهمی را ایفا می‌کند. در داخل کشور مراکز دفاعی ـ امنیتی باید به این سمت حرکت کنند تا با استفاده از حسگرهای مذکور و نصب آنها روی ماهواره‌های بومی اطلاعات حائزاهمیت از کشورهای رقیب و دشمن در شرائط عادی و بحرانی جهت آفند و پدافند به‌دست آورند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که یک کشور یا خود مجهز به این نوع سامانه‌ها باشد و یا دفاع غیرعامل در مقابل این نوع سنجنده‌ها را انجام دهد تا از گزند و آسیب سامانه‌های دشمن و رقیب در بحث جمع‌آوری اطلاعات و به‌دنبال آن اقدام عملیاتی ـ اطلاعاتی توسط آنها درامان باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در ساخت حسگر ماهواره‌های بومی باید از تکنیک‌های جدید رشد و لایه‌نشانی مثل تکنیکی که در حسگر MCT که در متن به آن اشاره شد، دست یافت؛ چراکه این نوع حسگرها، قدرت تفکیک طیفی و مکانی عالی دارند و و از حسگرهای به‌روز دنیاست و در دستیابی به شناسایی و تشخیص اهداف نقش بسزایی دارند.

منابع لاتین

– [1] M. Shimoni, F. van der Meer. M. Acheroy, Thermal Imaging Spectroscopy: Present Technology and Future Dual Use Applications, Proceeding 5thEARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, April 23-25(2007).

– [2] C. Chang, Hyperspectral Data Exploitation (Theory and applications), John Wiley &Sons, Inc. (2007).

– [3] F.Vagni, Survay of Hyperspectral and Multyspectral Imaging Technology, NATO RT Report, (2007).

– [4] G. A. Shaw, H. K. Burke, Spectral Imaging for Remote Sensing, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 14, No. 1, 3-28(2003).

– [5] S. Khazaei, S. Homayooni, A. R. Safari, Hyperspectral Imagery and CCD Considerations Against its Threats, Journal of Passive Defence Science and Technology, Vol.1, No.2, 63-74(2010).

– [6] J. Tuominen, T. Lipping, Detection of Environmental Change Using Hyperspectral Remote sensing at Olkiluoto Repository Site, Working Report 2011-2036, (2011).

– [7] A. Rogalski, K. Chrzanowski, Infrared devices and techniques, Opto-Electronics Review, 10(2), 111-136(2002).

– [8] Chang, C. I. .Hyperspectral Data Exploration, Theory and Applications..; A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION, 2007.