



# سامانه‌های موج میلیمتری و ریزموج غیرتصویربرداری برای آسکارسازی اشیای پنهان

نویسندگان:

بوریس وای کیپلوویچ  
استوارت دبلو هارمر  
نیکولاس جی بورینگ

مترجمان:

دکتر بیژن عباسی آرند  
مریم وارسته، علی رضایی  
و محمد فزایی

سرشناسه: کاپیلوویچ، پاریس ی

عنوان و نام پدیدآور: سامانه‌های موج میلی‌متری و ریزموج غیرتصویر برداری برای آشکارسازی اشیای پنهان / نویسندگان: بوریس وای کپیلوویچ، استوارت دبلو، نیکولاس جی بورینگ

مترجمان: بیژن عباسی آرند... [و دیگران]

مشخصات نشر: تهران: موسسه آموزشی و تحقیقات دفاعی، ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری: ۲۴۹ ص

شابک: ۷-۹۴-۹۰۱-۶۹۰-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیا

پادداشت: عنوان اصلی: Non-imaging microwave and millimetre-wave sensors for concealed object detection, 2015

موضوع: پوشش‌ها

موضوع: Scanning systems

موضوع: نظریات

موضوع: Metal detectors

موضوع: راد متر - راداری

موضوع: Explosives - Detection

موضوع: آشکارسازها - میکروویو

موضوع: Microwave detectors

شابک افزوده: آرمر، استوارت دبلو

شابک افزوده: Harm, David W

شابک افزوده: پاورینگ، نیکولاس ج

شابک افزوده: Boring, Nicholas J

شابک افزوده: عباسی آرند، بیژن، ۱۳۵۳

شابک افزوده: موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی

رده بندی کنگره: ۱۳۴۵-۲۹۰۳۷۸/TK

رده بندی دیویی: ۶۸۱/۲

عنوان: سامانه‌های موج میلیمتری و ریزموج غیرتصویر برداری برای آشکارسازی اشیای پنهان

نویسندگان: بوریس وای کپیلوویچ، استوارت دبلو، نیکولاس جی بورینگ

مترجمان: بیژن عباسی آرند، مریم وارسته، علی رضایی و محمد فخرایی

ویراستار علمی: دکتر عبداللہ اسلامی مجد

ناشر: موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۳۹۶

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان

وضعیت فهرست نویسی: فیا

شابک: ۷-۹۴-۹۰۱-۶۹۰-۶۰۰-۹۷۸

تهران: میدان نوینیا، پاسداران شمالی، نیش کوهستان هشتم، موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی

کلیه حقوق محفوظ و متعلق به موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی است

هر نوع تکثیر یا نشر تمام یا بخش‌های مستقلی از این کتاب، منوط به اجازه‌ی کتبی ناشر است.

تقل مطالب، منحصراً یا ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| پیشگفتار مترجمان.....                                                     | ۱  |
| پیشگفتار نویسندگان.....                                                   | ج  |
| درباره نویسندگان کتاب.....                                                | ز  |
| مقدمه.....                                                                | ۱  |
| مراجع.....                                                                | ۹  |
| ۲ نظریه و پیش زمینه.....                                                  | ۱۲ |
| ۱-۲ تعاریف اولیه و مفهوم سطح مدارداری (PCS).....                          | ۱۲ |
| ۲-۲ مدهای فعال در مقابل غیرفعال در سامانه های عملیاتی.....                | ۱۷ |
| ۳-۲ انتشار امواج میلیمتری از یک سطح دو وجهی.....                          | ۲۲ |
| ۴-۲ نتیجه گیری.....                                                       | ۲۷ |
| مراجع.....                                                                | ۲۷ |
| ۳ سامانه های موج میلیمتری فعال با استفاده از رویکرد آشکارسازی مستقیم..... | ۳۰ |
| ۱-۳ نظریه و اصول رادار آشکارسازی مستقیم.....                              | ۳۰ |
| ۲-۳ اثرات قطبش سنجی.....                                                  | ۴۳ |
| ۳-۳ مقدمه MiRTLE.....                                                     | ۴۷ |
| ۱-۳-۳ طراحی سامانه MiRTLE.....                                            | ۵۲ |
| ۴-۳ روش های دسته بندی سیگنال رادار و نتایج آنها.....                      | ۵۸ |
| ۵-۳ نمونه دستی سامانه.....                                                | ۶۹ |
| ۶-۳ نتیجه گیری.....                                                       | ۷۷ |
| مراجع.....                                                                | ۷۸ |

#### ۴ سامانه‌های FMCW برای آشکارسازی اشیاء مخفی..... ۸۲

۱-۴ نظریه FMCW خطی..... ۸۲

۲-۴ پیکربندی‌های سخت افزاری پایه..... ۸۶

۱-۲-۴ سامانه‌های FMCW با تک آنتن..... ۸۷

۲-۲-۴ سامانه‌های FMCW با آنتن مجزا..... ۹۱

۳-۴ سامانه‌های موج میلیمتری باند W..... ۹۲

۱-۳-۴ تخمین کارایی عملکرد سامانه..... ۹۵

۲-۴ اکتساب داده و پردازش سیگنال..... ۹۷

۳-۳-۴ رمایش‌های برد..... ۱۰۰

۴-۴-۴ اسایب هدف..... ۱۰۱

۴-۴ سامانه‌های موج میلیمتری در ۳۳۰ گیگاهرتز..... ۱۱۰

۱-۴-۴ طرح کلی سامانه..... ۱۱۰

۲-۴-۴ مشخصات کارایی سامانه..... ۱۱۲

۱-۲-۴-۴ پارامترهای اجزای سامانده ۳۳۰ گیگاهرتز..... ۱۱۲

۲-۲-۴-۴ برآورد کارایی..... ۱۱۲

۳-۴-۴ آزمایش‌های آشکارسازی از راه دور..... ۱۱۳

۴-۴-۴ بهبود حساسیت و تفکیک پذیری..... ۱۱۶

۵-۴ نتیجه گیری..... ۱۲۸

مراجع..... ۱۲۸

#### ۵ سامانه‌های مایکروویو فعال مبتنی بر بسامد تشدید طبیعی مختلط..... ۱۳۱

۱-۵ مقدمه و نظریه..... ۱۳۱

۲-۵ شبیه‌سازی با نرم افزار حل الکترومغناطیس..... ۱۳۶

۳-۵ چیدمان آزمایشی، پردازش سیگنال و نتایج آن..... ۱۴۵

۴-۵ نتیجه گیری..... ۱۵۸

مراجع..... ۱۵۹

۶ سامانه‌های غیرفعال موج میلیمتری ..... ۱۶۳

۱-۶ ملاحظات کلی ..... ۱۶۳

۲-۶ گیرنده‌های سوپرهتروداین سامانه‌های غیرفعال ..... ۱۶۸

۳-۶ گیرنده‌های آشکارساز مستقیم به عنوان سامانه‌های غیرفعال ..... ۱۷۹

۴-۶ سامانه‌های مبتنی بر گیرنده‌های همبسته ..... ۱۹۰

۵-۶ سامانه‌های مبتنی بر اثرات تداخل ..... ۱۹۲

۶-۶ نتایج مدل‌سازی ..... ۲۰۲

۷-۶ نتیجه‌گیری ..... ۲۰۵

مراجع ..... ۲۰۶

۷ نقش اثرات پوشش در عمارت سامانه‌های غیرتصویربرداری ..... ۲۱۰

۱-۷ اساس سازوکار پوشش ..... ۲۱۰

۲-۷ نمونه‌های نظری و روش تخمین ..... ۲۱۳

۱-۲-۷ نمونه‌های پایه‌ای موجود ..... ۲۱۳

۲-۲-۷ روش تخمین به کار رفته ..... ۲۱۶

۳-۷ تحلیل خوش رفتار/ بد رفتار ..... ۲۱۷

۴-۷ چیدمان آزمایشی و نتایج اندازه‌گیری: پرتوافکنی همدوس ..... ۲۲۰

۵-۷ تحلیل خطا و حساسیت ..... ۲۲۴

۶-۷ توصیف مشخصات مواد: پرتوافکنی ناهمدوس ..... ۲۳۶

۱-۶-۷ نکات مقدماتی ..... ۲۳۶

۲-۶-۷ مدل کردن تداخل در حضور نویز ..... ۲۳۷

۳-۶-۷ تأیید تجربی اثر میانگین‌گیری نویز ..... ۲۴۱

۷-۷ نتیجه‌گیری ..... ۲۴۸

مراجع ..... ۲۴۹

رشد روز افزون تهدیدات امنیتی در منطقه و همچنین پیشرفت فناوری‌های فرکانس بالا و تحقق سازه‌های جدید در دنیا ما را بر آن داشت که این کتاب ارزشمند را ترجمه کرده تا مقدمه‌ای بر ساخت سامانه‌های پیچیده آشکارسازی اشیای پنهان در کشورمان باشد. نویسندگان این کتاب (بوریس وای کیپلوویچ، استوارت دبلیو هارمر، نیکولاس جی بورینگ) دارای دانش بالا و صاحب مدارج علمی و تجربیات بسیار ارزشمند در زمینه‌های فیزیک و مهندسی برق بوده و کتاب و مقالات متعددی در این زمینه منتشر کرده‌اند.

این کتاب علاوه بر بین نظرهای علمی به تشریح نمونه‌های واقعی ساخته شده به همراه ارائه نتایج آزمون‌های آنها در شرایط واقعی می‌پردازد. فصل‌های مختلف کتاب بر مفاهیم عمومی آشکارسازی موج میلیمتری پدیده‌شناسی، چیدمان سامانه‌های موج میلیمتری، اصول تحقق سامانه‌ها، روش‌های شناسایی اشیای پنهان نقش جنس مواد مختلف بر آشکارسازی جسم پنهان متمرکز است.

سامانه‌های مختلفی که در این کتاب بررسی می‌شوند شامل سامانه‌های موج میلیمتری با استفاده از رویکردهای آشکارسازی مستقیم و هترودین سامانه‌های فعال مایکروویو برای آشکارسازی اشیای مبتنی بر بسامدهای طبیعی مختلط، سامانه‌های غیرفعال موج میلیمتری و نقش اثرات پوشش در سامانه‌های موج میلیمتری می‌باشند.

مترجمان این کتاب با بیش از یک دهه تجربه پیاده‌سازی سامانه‌های مایکروویو و موج میلیمتری و برخورداری از آزمایشگاه‌های فرکانس بالا با تجهیزات مناسب به این آوردند که کتاب حاضر به دلیل داشتن سبک نگارش روان و تنوع موضوعات عمیق علمی می‌تواند منبع مفیدی جهت پژوهش‌های دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه‌های کشور باشد.

از جناب آقای دکتر اسلامی مجد که کار خطیر ویراستاری این کتاب را بر عهده گرفتند صمیمانه تشکر کرده و از همه عزیزانی که ما را در انجام این کار یاری رساندند قدردانی می‌نماییم. امید است مطالب این کتاب گامی هر چند کوچک در اعتلای این دانش در کشور باشد.

با تقدیم احترام

## پیشگفتار نویسندگان

واقعه یازده سپتامبر و رشد تهدیدات حملات تروریستی، منجر به رشد تحقیق و توسعه در زمینه اقدامات متقابل شده است. بر اساس تحلیل صورت گرفته به وسیله مؤسسه تحقیقات امنیت ملی<sup>۱</sup>، «رشد فناوری دی‌سی،<sup>۲</sup> سامانه‌های جدید و توسعه یافته و فناوری اطلاعات و ارتباطات<sup>۳</sup>، بازار جدید و فرصت‌های کسب و کار تازه‌ای را ایجاد می‌کنند. این تحول، بازار ۳۰۵ میلیارد دلاری سال ۲۰۱۱ را بازار ۵۴۶ میلیارد دلاری در سال ۲۰۲۲ سوق می‌دهد». تحلیلگر مؤسسه تحقیقات امنیتی<sup>۴</sup> پس‌بنی کرده است که پیشرفت مشابهی نیز در بخش امنیتی، که بر روی آشکارسازی اثر مواد منفجره<sup>۵</sup> متمرکز است، وجود دارد.

فناوری‌های جدید بازوهای فناوری<sup>۶</sup> شیوه‌های آشکارسازی آثار مواد منفجره مبتنی بر اصول شیمیایی و فیزیکی پایه‌ای دارند و عبارتند از:

- طیف‌سنجی جنبش یون<sup>۴</sup>
- نوری شیمیایی<sup>۵</sup>
- آشکارسازی‌های دریافت الکترون<sup>۶</sup>
- موج صوتی سطحی<sup>۷</sup>
- پس‌پراکندگی اشعه ایکس
- تصویربرداری فعال موج میلیمتری و مایکروویو
- تصویربرداری غیرفعال موج میلیمتری و مایکروویو
- تصویربرداری ترانز

1. HSRC
2. ICT
3. ETD
4. Ion mobility spectroscopy (IMS)
5. Chemiluminescence (CL)
6. Electron capture detectors (ECDs)
7. Surface acoustic wave (SAW)

- آشکارسازی فلز
- کشف مواد مایع قابل انفجار
- پایش ویژگی‌های بیولوژی افراد
- تشخیص الکتروشیمیایی مبتنی بر نیمه هادی اکسید فلز<sup>1</sup>
- تشخیص پلیمری کاشت مولکولی

تحقیقات صورت گرفته بر روی روش‌های مختلف آشکارسازی، به وضوح نشان می‌دهد که توسعه سامانه‌های اقدام متقابل ضد تروریستی، کار بسیار دشواری است. در حال حاضر هیچ راه حل جامعی برای این مشکل وجود ندارد و یافتن راهکار نیز در آینده قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. بکورد فعلی، تلاش جهت تمرکز بر بهبود کارایی سامانه‌های آشکارسازی موجود، بر حسب احتمال آشکارسازی بالاتر و نرخ هشدار کاذب پایین‌تر، و متعاقباً بهبود آهسته و پیوسته این فناوری‌ها، باس طلی یک دهه اخیر که نویسندگان کتاب درگیر طراحی و آزمون ادوات و سامانه‌های موج میلمتری مایکروویو بوده‌اند، در جهت بهبود بازدهی آشکارسازی اسلحه‌ها و مواد منفجره پنهان در روی بدن انسان هدف‌گذاری کرده‌اند.

یکی از انگیزه‌ها، انتشار این کتاب، نظام‌مند کردن نتایج حاصل شده توسط گروه تحقیقات آزمایشگاه موج میلمتری، دانشگاه آریل<sup>2</sup> و مرکز سنجش و تصویربرداری دانشکده مهندسی برق دانشگاه متروپولیتین<sup>3</sup> (مچستر) انگلستان) می‌باشد. ما بر این باوریم که این چنین دید نظام‌مندی، به کارشناسان درگیر در طراحی سامانه‌های آشکارسازی یا تفتیش و جستجو، کمک خواهد کرد. دلیل مهم دیگر برای نوشتن این کتاب، از درک این موضوع نشئت می‌گیرد که ادوات تصویربرداری موج میلمتری پیچیدگی و هزینه بسیار زیادی را تحمیل می‌کنند و این امر محدودیت‌های جدی در این نوع کاربردها است. در حین بازرسی، اطلاع دقیق از شکل شیء پنهان نیاز اساسی نیست، از این رو تفتیش اول بدن انسان با استفاده از سامانه راه دور غیرتصویربرداری برای گرفتن تصمیم درباره حضور (یا عدم حضور) اشیای پنهان کفایت می‌کند. لذا فرایند جستجو و تفتیش می‌تواند با هزینه پایین‌تری نسبت به سامانه‌های تصویربرداری موج میلمتری انجام شود. همچنین آشکارسازهای غیرتصویربرداری می‌توانند به صورت ادواتی سبک و قابل حمل دستی بدون دروازه‌های آشکارسازی با موقعیت ثابت، با

1. Metal oxide semiconductor (MOS)

2. Ariel

3. Metropolitan

قابلیت انعطاف بیشتری به کار گرفته شوند. همچنین باید به این موضوع اشاره کرد که سامانه‌های غیرتصویربرداری چیزی که در تصویربردارهای موج میلیمتری "نمایش عریان" نامیده شده را نداشته و به حریم شخصی افراد تجاوز نمی‌کنند.

بحث ما در این کتاب تمرکز بر سامانه‌های مایکروویو و موج میلیمتری غیرتصویربرداری به کاررفته در آشکارسازی راه دور اشیای فلزی و دی‌الکتریک پنهان روی بدن انسان، در محیط زیر سقف و هوای آزاد، برای کاربردهای امنیتی می‌باشد.

این کتاب شامل هفت فصل است. مقدمه (فصل اول) به صورت عمومی مفهوم آشکارسازی موج میلیمتری فعال و غیرفعال را توصیف می‌کند. همچنین مزایا و معایب هر دو رویکرد نیز در این فصل بررسی شده است.

فصل دوم یک بیان زمینه مختصر از مبانی و پدیده‌شناسی سامانه‌های موج میلیمتری فراهم کرده است و این ملاقات برای هر دو نوع سامانه فعال و غیر فعال بحث شده است.

فصل سوم برخی چیدمان‌های سامانه‌های موج میلیمتری فعال را توصیف می‌کند.

فصل چهارم اصول تحقق سامانه‌های عملیاتی موج میلیمتری فعال در روش مدولاسیون فرکانسی موج پیوسته<sup>۱</sup> را ارائه می‌کند. بیان‌های مختلف این قبیل سامانه‌ها بیان و مقایسه گردیده‌اند و نمونه سامانه‌های ۹۴ و ۱۰۰ گیگاهرتز آورده شده‌اند.

فصل پنجم کاربرد سامادهای تشدید بیعی مختلط<sup>۲</sup> را جهت آشکارسازی و شناسایی اشیای پنهان به وسیله تابش بسامد مایکروویو توصیف می‌کند.

در فصل ششم انواع مختلف سامانه‌های موج میلیمتری غیر فعال مبتنی بر گیرنده‌های هتروداین<sup>۳</sup> و توان مستقیم<sup>۴</sup> آزمایش شده‌اند. الگوریتم سکاربی تخمین تک مدی<sup>۵</sup> از منحنی جستجوی ثبت شده، پیشنهاد و آزمایش گردیده است. این روش اجازه رسیدن به احتمال آشکارسازی تا ۹۵ درصد و بیشتر را می‌دهد. نسخه قابل حمل سامانه غیر فعال برای کاربرد زیر سقف، تا فاصله سه متر، نیز توصیف شده است.

- 
1. FMCW
  2. Complex Natural Resonances
  3. Heterodyne
  4. Direct Power
  5. Unimodal

فصل هفتم بر روی نقش اثرات پوششی<sup>۱</sup> مواد متعارفی از قبیل پارچه‌ها، چرم‌ها، مقواها و غیره تمرکز دارد. اتلاف اضافی و تداخل ایجاد شده به وسیله این مواد، در کشف اشیای پنهان، ممکن است کارایی کلی سامانه‌های فعال و غیرفعال را کاهش دهد. البته اطلاع از ثابت دی‌الکتریک مختلط به ما اجازه برآورد برخی اثرات را می‌دهد. همچنین، نظر به اینکه پارامتر ناهمواری سطح با طول موج قابل مقایسه می‌باشد، پراکندگی رایلی نیز باید لحاظ شود. در این فصل اصلاح روش فضای آزاد<sup>۲</sup> در تعیین ثابت دی‌الکتریک، توصیف شده و معیار تغییر ناپذیری زاویه‌ای نیز فرموله شده است.

مخاطب کتاب ما دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و دکترا، مهندسان مایکروویو و موج میلیمتری و نیز کارشناسان درگیر در حل مسائل متنوع مرتبط با کاربردهای امنیتی می‌باشند. امید است که خوانندگان این کتاب بتوانند مثال‌های آموزشی و انگیزه‌هایی را برای ابتکارات خود در این حوزه به ج پیدا کنند.

بوریس وی. ک. جویو<sup>۳</sup>

آزمایشگاه موج ه. لیمت. ی. دانشگاه آریل، رژیم اشغالگر قدس

استوارت دبلیو. هارمر<sup>۴</sup>

دانشگاه متروپولیتن منچستر، دانشکده مهندسی برق، انگلستان

نیکلاس جی. بورینگ<sup>۵</sup>

دانشگاه متروپولیتن منچستر، دانشکده مهندسی برق، انگلستان

1. Sheilding
2. Modification of free space method
3. Boris Y. Kapilevich
4. Stuart W. Harmer
5. Nicholas J. Bowring