



Available in:
Journal.isrc.ac.ir

Journal of
Space Science, Technology
& Applications (Persian)

Vol. 2, No. 1, pp.: 11-22
2022

DOI:

10.22034/jsssta.2022.327714.1063

Article Info

Received: 2022-2-2

Accepted: 2022-4-14

Keywords

Microstrip patch antenna,
Wideband antenna, High
gain antenna, Synthetic
aperture radar

How to Cite this article

Sahar Abdi, Morteza Cheheltanan, "Wideband High-Gain Microstrip Patch Array Antenna for Synthetic Aperture Radar Applications", *Journal of Space Science, Technology and Applications*, vol 2 (1), p.: 11-22, 2022.

Original Article

Wideband High-Gain Microstrip Patch Array Antenna for Synthetic Aperture Radar Applications

Sahar Abdi^{*1}, Morteza Cheheltanan²

1,*. Mechanic Institute, Shiraz, Iran, s.abdi@isrc.ac.ir, Corresponding author

2. Mechanic Institute, Shiraz, Iran, m.cheheltanan@isrc.ac.ir

Abstract

In this paper, a wideband high-gain microstrip patch array antenna for high resolution synthetic aperture radar applications is presented. The antenna operation frequency is in the X-band and the antenna structure is a four-layer configuration consisting of radiating patches, slots, coupling cavities, and a corporate feeding network, which in turn is fed by a coaxial probe. The increased frequency bandwidth of the radiating patch is achieved by employing a square slot, which appears as a cavity for it, and improves the gain and impedance bandwidth of the antenna array by isolating the patch feeding slot and eliminating the mutual coupling effect. The whole antenna structure is fabricated by using a combination of the milling process and printed circuit technology. Measurement results show a relative gain bandwidth of more than 10%, in which the antenna gain is measured above 28.8 dBi over the frequency band of more than 1 GHz. Moreover, the relative impedance bandwidth of the antenna for $V_{SWR} > 2$ is more than 16%.



آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پهن باند با بهره بالا برای به کارگیری در رادار دهانه مصنوعی

سحر عبدی^{۱*}، مرتضی چهل تنان^۲

۱. پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، s.abdi@isrc.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. پژوهشکده مکانیک، شیراز، ایران، m.cheheltanan@isrc.ac.ir

دسترس پذیر در نشانی:
Journal.isrc.ac.ir

دو فصلنامه
علوم، فناوری و
کاربردهای فضایی

سال دوم، شماره ۱، صفحه ۲۲-۱۱
بهار و تابستان ۱۴۰۱

DOI:
10.22034/jस्ता.2022.327714.1063

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵

واژه‌های کلیدی

آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ، آنتن پهن باند، آنتن با بهره بالا، رادار دهانه مصنوعی

نحوه استناد به این مقاله

سحر عبدی، مرتضی چهل تنان. "آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پهن باند با بهره بالا برای به کارگیری در رادار دهانه مصنوعی"، دو فصلنامه علوم، فناوری و کاربردهای فضایی، جلد دوم، شماره اول، صفحات ۱۱-۲۲، ۱۴۰۱.

چکیده

در این مقاله، یک آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پهن باند برای کاربردهای رادار دهانه مصنوعی با حد تفکیک بالا ارائه شده است. باند فرکانسی عملیاتی آنتن، باند X بوده و از یک ساختار چهار لایه متشکل از پچ‌های تشعشی، شکاف‌ها، حفره‌های تزویج و شبکه تغذیه درختی تشکیل شده است که به نوبه خود توسط یک پراب کواکسیال تغذیه می‌شود. افزایش پهنای باند پچ تشعشی با استفاده از شکاف‌های مربعی تعبیه‌شده در پشت آن انجام شده که در نقش یک حفره برای المان تشعشی ظاهر می‌شود و با ایزوله کردن شکاف کوپلینگ تغذیه کننده پچ از سایر شکاف‌های تزویج و حذف اثر تزویج متقابل، سبب بهبود عملکرد آنتن آرایه از نظر گین و پهنای باند امپدانس می‌شود. ساخت آنتن با بهره‌گیری از ترکیب دو روش ماشین‌کاری و تکنولوژی مدار چاپی انجام شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری، پهنای باند بهره نسبی بیش از ۱۰٪ را نشان می‌دهد که در آن، مقدار بهره آنتن بیش از ۲۸/۸ dBi اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین، پهنای باند امپدانس نسبی آنتن به ازای $VSWR < 2$ بیشتر از ۱۶٪ به دست آمده است.

۱- مقدمه

در سیستم‌های رادار دهانه مصنوعی (سار^۱)، از اشکال مختلف آنتن مانند آنتن رفلکتور^۲، آرایه مایکرواستریپ^۳، آرایه اسلات موج‌بری^۴، آرایه دیپل چاپی^۵ و آرایه موج‌بر باز^۶ استفاده شده است. انتخاب نوع آنتن برای پلتفرم‌های هواپایه بر اساس عوامل متعددی انجام می‌شود که از جمله آنها می‌توان به امکان نصب و نگهداری آنتن بر روی پلتفرم، مقاومت سامانه در برابر فشار هوا ضمن حرکت پلتفرم و عملکرد تشعشعی مورد انتظار از آنتن با توجه به الزامات عملکردی سامانه اشاره کرد. انتخاب آنتن اساساً به الزامات سیستم بستگی دارد و باید بهینه‌ترین حالت از نظر مشخصات الکتریکی، وزن، ابعاد و هزینه انتخاب شود. در حالت کلی و بسته به میزان انعطاف‌پذیری مورد نیاز برای بیم آنتن بر اساس الزامات عملکردی سار، می‌بایست بین ساختارهای آنتن رفلکتوری، آرایه مسطح غیرفعال و آرایه فازی فعال انتخاب شود. برای یک سیستم سار با مد عملیاتی استریپ‌مپ که در آن جهت بیم آنتن در تمام لحظات تصویربرداری ثابت است، ساختارهای آنتن رفلکتوری و آرایه مسطح غیرفعال راه‌حل‌های مقرون به‌صرفه و قابل دستیابی محسوب می‌شوند. در مقابل، چنان‌چه الزامات عملکردی سار مستلزم چرخش بیم در جهت‌های سمت و ارتفاع و شکل‌دهی بیم باشد (مدهای اسپات‌لایت و اسکن‌سار)، باید گزینه آنتن آرایه فازی فعال را با قابلیت چرخش بیم در نظر گرفت که بهای آن افزایش هزینه و پیچیدگی‌های سیستم است.

آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ^۷ با توجه به ساختار مسطح و پروفایل کوچک، وزن کم، قابلیت ساخت آسان و کم‌هزینه و عملکرد تشعشعی مطلوب، در سامانه‌های تصویربرداری دهانه مصنوعی متعدد استفاده شده است [۱-۴]. پهنای باند باریک ذاتی آنتن‌های پچ مایکرواستریپ به دلیل ماهیت رزونانسی آنها، یک عامل محدودکننده عملکرد این نوع از آنتن‌ها در طیف وسیعی از کاربردها است. به منظور افزایش پهنای باند آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ، از روش‌های متعددی استفاده شده است که از

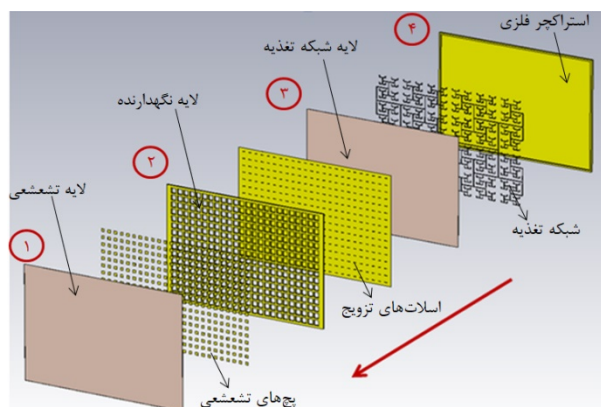
جمله آنها می‌توان به تغییر شکل المان برای افزایش پهنای باند [۵] و [۶]، استفاده از ساختارهای چندلایه [۷ و ۸]، استفاده از شبکه تغذیه پهن‌بند [۹ و ۱۰]، استفاده از ساختارهای فرکتال [۱۱] و ... اشاره کرد. در عین حال، تکنیک‌های مختلف افزایش پهنای باند همواره به عنوان یک مصالحه، چه با بهره، پلاریزاسیون یا پیچیدگی ساختار آنتن مطرح است.

در این مقاله، یک آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پهن‌بند با ساختار چندلایه به منظور دستیابی به عملکرد با بهره بالا در باند X طراحی و ساخته شده است. ساختار آنتن پیشنهادی، یک ساختار چهار لایه متشکل از پچ‌های تشعشعی، شکاف‌ها و حفره‌های تزویج و شبکه تغذیه درختی است که به نوبه خود توسط یک پراب کوکاسیال^۸ تغذیه می‌شود. آنتن مورد نظر، به منظور کاربرد بر روی پلتفرم رادار دهانه مصنوعی هواپایه و به هدف دستیابی به بهره بالاتر از ۳۰ dBi طراحی شده است. الزام مذکور، مستلزم به حداقل رساندن وزن آنتن آرایه تا حد امکان بوده است. به منظور به حداقل رساندن وزن آنتن، طراحی پچ‌های تشعشعی ناگزیر می‌بایست بر روی زیرلایه نازک در نظر گرفته شود و این خود یک عامل محدودکننده طراحی آنتن و بهینه‌سازی عملکرد پهنای بلند آن بوده است. در عین حال، دستیابی به بهره بالاتر از ۳۰ dB در آنتن آرایه، با بهره‌گیری از آرایش حفره و ایزوله‌کردن اسلات‌های تغذیه‌کننده پچ‌ها از یکدیگر به هدف کاهش تزویج متقابل بین پچ‌ها و حذف اثر امواج سطحی با هدف افزایش راندمان تشعشعی آرایه و بهره آن محقق شده است. چالشی که در این طراحی با آن مواجه بودیم، طراحی و بهینه‌سازی شبکه تغذیه آنتن بوده است که منجر به عملکرد مطلوب آن از نظر پهنای بلند امیدانسی^۹ و هم‌چنین، سطح مطلوب گلبیگ کناری (بهتر از ۱۳ dB) شود. مجموعه محدودیت‌های فوق در طراحی آنتن معرفی شده در نظر گرفته شده است و در مجموع به یک آنتن آرایه‌ای با پهنای بلند فرکانسی بیش از ۱ GHz و بهره بهتر از ۲۸/۸ dB در باند X منجر شده است. با مروری بر مراجع و کارهای صورت گرفته در

6 Open Waveguide Array
7 Microstrip Patch Antenna Array
8 Coaxial Probe
9 Impedance Bandwidth

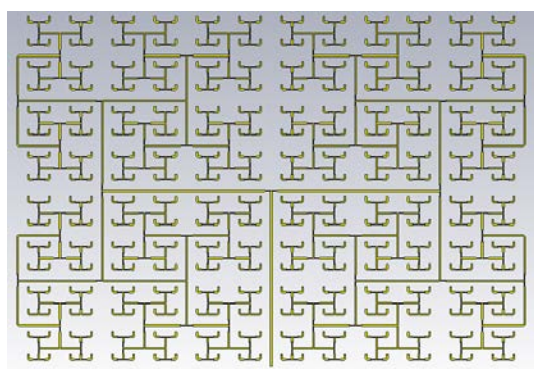
1 Synthetic Aperture Radar
2 Reflector Antenna
3 Microstrip Array
4 Slotted Waveguide Array
5 Printed Dipole Array

قرار گرفته‌اند و طرف دوم لایه که در معرض هوای آزاد قرار دارد، در نقش ریدوم ظاهر خواهد شد. وجود ریدوم یکپارچه، یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این آنتن است.



شکل ۲. لایه‌های مختلف ساختار آنتن آرایه پیچ مایکرواستریپ پیشنهادی

به منظور تغذیه آنتن، مطابق شکل (۳) یک شبکه تغذیه یکپارچه با تغذیه یکنواخت در لایه زیرین آن (لایه شماره ۳ در شکل (۲)) تعبیه شده که بر روی یک زیرلایه از جنس RT5880 به ضخامت ۲۰ mil طراحی شده است. علت انتخاب این زیر لایه، مناسب بودن مشخصات الکترومغناطیسی آن برای دستیابی به حداقل تلفات اهمی در ساختار شبکه تغذیه است.



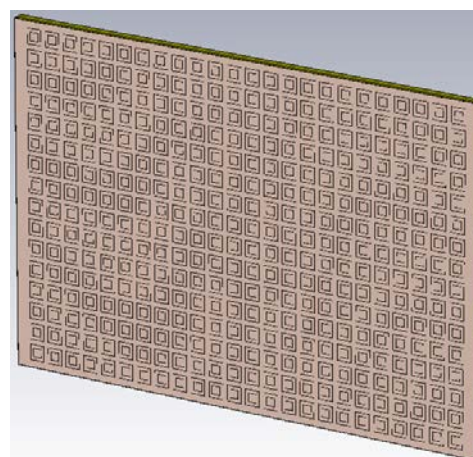
شکل ۳. شبکه تغذیه آنتن

به منظور دستیابی به شبکه تغذیه آنتن پیچ مایکرواستریپ، از تقسیم کننده‌های توان تی^۱ استفاده شده است. ساختار شبکه

این زمینه، تا جایی که نویسندگان این مقاله از آن اطلاع دارند، طرح‌های مشابهی در این زمینه وجود دارد که در آن به صورت هم‌زمان به طراحی آرایه پیچ با بهره بالا و عملکرد پهن‌بند به همراه شبکه تغذیه آن پرداخته شده باشد. در این مطالعه، ساخت آنتن با بهره‌گیری از ترکیب دو روش ماشین‌کاری و تکنولوژی مدار چاپی انجام شد و عملکرد آنتن از طریق اندازه‌گیری، صحت‌گذاری شده است.

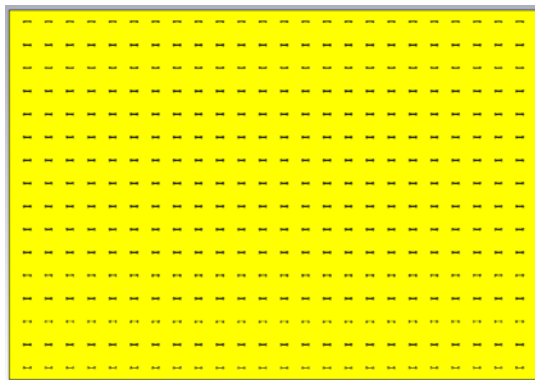
۲- طراحی آنتن

ساختار کلی آنتن پیشنهادی مطابق شکل (۱) از تعداد ۱۶ ردیف از المان‌های تشعشی پیچ مربعی به ابعاد $9/4 \text{ mm} \times 9/4 \text{ mm}$ تشکیل شده که هر ردیف شامل ۲۴ ستون بوده و در مجموع تعداد ۳۸۴ المان تشعشی را در لایه اول آنتن تشکیل می‌دهد. تعداد ردیف‌ها و ستون‌های المان‌های لایه تشعشی با توجه به بهره مورد نیاز آنتن، سطح گلبه‌های فرعی مورد نیاز و هم‌چنین، عرض بیم نصف توان آنتن در دو راستای سمت و ارتفاع انتخاب شده است.



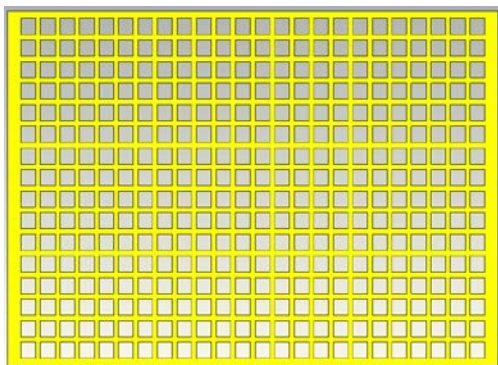
شکل ۱. ساختار آنتن آرایه پیچ مایکرواستریپ پیشنهادی

تصویری از لایه‌های مختلف ساختار در شکل (۲) نشان داده شده است. لایه تشعشی این ساختار (لایه شماره ۱) از یک لایه از جنس RT5880 با $\epsilon_r = 2.2$ و $\tan \delta = 0.0009$ به ضخامت ۲۰ mil تشکیل شده که المان‌های تشعشی در یک طرف آن



شکل ۵. شکاف‌های کوپلینگ انرژی از شبکه تغذیه به المان‌های تشعشی

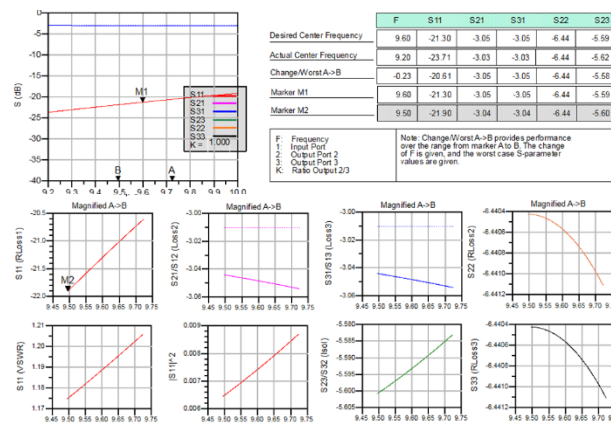
شمای مربوط به شبکه لایه میانی یا لایه نگهدارنده در شکل (۶) نمایش داده شده است که یک ساختار تمام فلز است. این لایه که از جنس آلومینیوم است، ضمن آن‌که فاصله بین دو لایه را ثابت نگه می‌دارد، نقش مستحکم‌کننده ساختار کلی را نیز ایفا خواهد کرد. همچنین، لایه مربوط به المان‌های تشعشی در نهایت بر روی این لایه به شیوه مناسب ثابت خواهد شد. شکاف‌های مربعی تعبیه شده در این لایه نگهدارنده، در حقیقت در نقش یک حفره^۲ برای المان تشعشی ظاهر می‌شود و با ایزوله کردن شکاف کوپلینگ تغذیه‌کننده پچ از سایر شکاف‌های تزویج و حذف اثر تزویج متقابل، سبب بهبود عملکرد آنتن آرایه از نظر گین و پهنای باند امپدانس می‌شود.



شکل ۶. لایه میانی رابط بین شبکه تغذیه و المان‌های تشعشی

به منظور مقایسه اثر اضافه شدن صفحه مذکور بر عملکرد آنتن پیشنهادی، منحنی‌های بهره یک المان تشعشی تک در دو

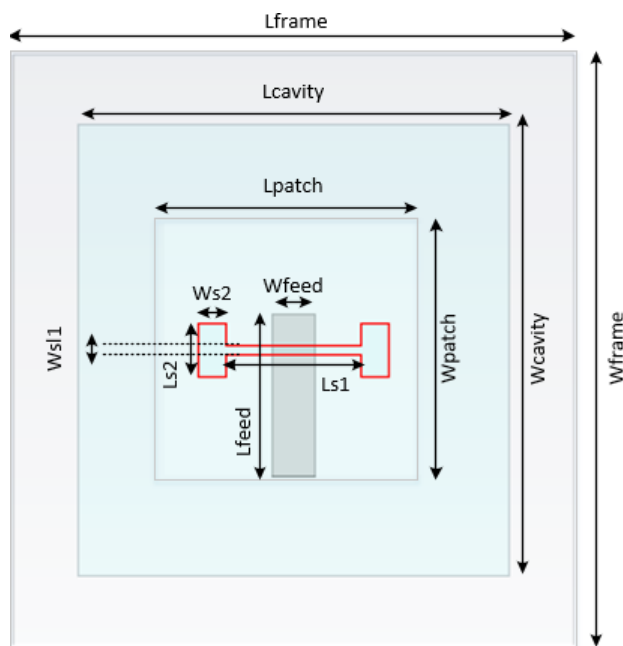
تغذیه آنتن با این هدف طراحی شده که بتواند تحریک هم‌فاز تمامی المان‌های تشعشی را با دامنه یکنواخت فراهم کند. در طی روند شبیه‌سازی شبکه تغذیه و با در نظر گرفتن تعداد المان‌های مورد نیاز، باید از ۳۸۳ عدد تقسیم‌کننده تی استفاده کرد. مقادیر اولیه فیزیکی (طول و عرض خطوط مایکرواستریپ) برای هر یک از تقسیم‌کننده‌ها بر اساس سنتز صورت گرفته در نرم‌افزار ADS^۱، و با در نظر گرفتن زیرلایه RT5880 به دست آمد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تقسیم‌کننده توان پایه سنتز شده در شکل (۴) نشان داده شده است.



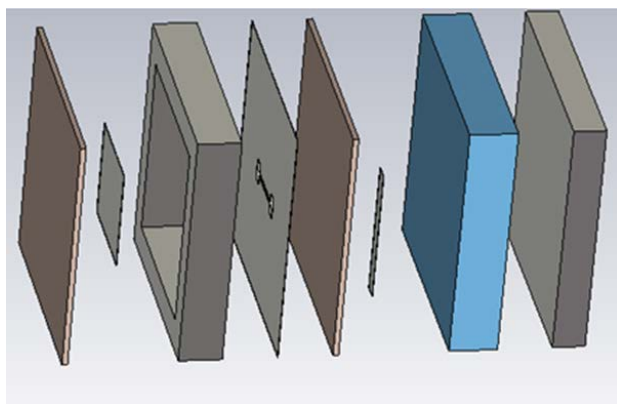
شکل ۴. نتایج حاصل از سنتز تقسیم‌کننده توان تی پایه در محیط نرم‌افزار ADS

کوپلینگ توان از شبکه تغذیه به المان‌های تشعشی مطابق شکل (۵) از طریق شکاف‌هایی انجام می‌شود که بر روی زیرلایه شبکه تغذیه و صفحه زمین آن تعبیه شده است. این انرژی تزویج سپس از طریق حفره‌هایی (با ابعاد کمی بزرگتر از المان‌های تشعشی) به سمت المان‌های تشعشی هدایت می‌شود که بر روی یک لایه تمام فلزی بین لایه شبکه تغذیه و لایه مربوط به المان‌های تشعشی قرار گرفته است (لایه شماره ۲ در شکل ۲).

تزوید متقابل بین المان‌ها روی سطح آرایه، از آرایش حفره در پشت^۱ استفاده شده است. به این ترتیب، اسلات‌های تغذیه‌کننده هر پیچ، از سایر پیچ‌ها ایزوله شده و به دلیل کاهش تشعشعات ناخواسته و امواج سطحی روی سطح آرایه، راندمان تشعشی آن بهبود می‌یابد.



(الف)

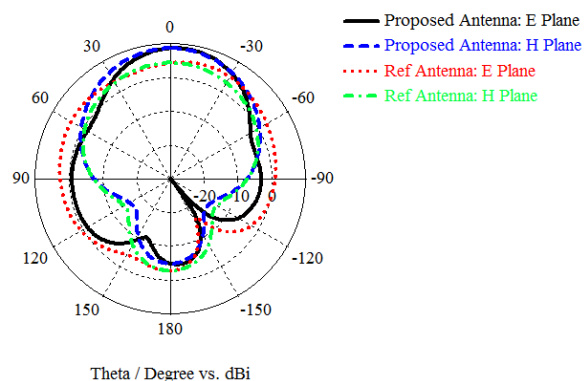


(ب)

شکل ۸. المان تشعشی آرایه پیچ میکرواستریپ، (الف) تصویر از نمای بالا و (ب) نمای انفجاری

طراحی تک المان تشعشی شامل تعیین ابعاد پیچ تشعشی، ابعاد حفره تعبیه شده در پشت آن، طول اسلات تزوید و عرض

حالت وجود حفره ایزوله‌کننده (آنتن پیشنهادی) و عدم وجود آن (آنتن مرجع که با صفر در نظر گرفتن ضخامت حفره حاصل شده است) برای فرکانس مرکزی ۹/۵ GHz در شکل (۷) نشان داده شده است. در این منحنی‌ها، مقادیر نسبت به بیشینه بهره آنتن پیشنهادی نرمالیزه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر بهره با حفره در دو صفحه سمت (H-Plane) و ارتفاع (E-Plane) به ترتیب در حدود ۴/۳ dB و ۳/۶ dB نسبت به حالت عدم وجود حفره بهبود داشته است.



شکل ۷. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بهره یک المان تشعشی تک در دو حالت وجود و عدم وجود حفره ایزوله‌کننده

در نهایت، تمام لایه‌ها به کمک یک ساختار فلزی مناسب بر روی هم مونتاژ شده و به کمک همین ساختار، امکان نصب آنتن بر روی سامانه هدف نیز فراهم می‌شود.

۱-۲- طراحی المان تشعشی

شمای کلی از المان تشعشی و لایه‌های مختلف تشکیل دهنده آن در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این طراحی، به منظور افزایش پهنای باند پیچ تشعشی، از تغذیه به روش تزوید دهانه‌ای استفاده شده است. در روش به کار گرفته شده، شبکه تغذیه‌کننده پیچ، از یک زیرلایه دی‌الکتریک تشکیل شده که خط میکرواستریپ تغذیه در یک سمت آن تعبیه شده است. تزوید توان این خط میکرواستریپ از طریق اسلاتی انجام می‌شود که بر روی صفحه زمین در سمت دیگر زیرلایه تعبیه شده است. هم‌چنین، به منظور کاهش اثرات

1 Cavity backed

عرض خط مایکرواستریپ

امپدانس مشخصه خط انتقال مایکرواستریپ به عرض نوار هادی و ضخامت زیرلایه آن بستگی دارد. نسبت عرض نوار هادی خط مایکرواستریپ به ضخامت زیرلایه آن با مشخص بودن امپدانس مشخصه و ثابت دی‌الکتریک زیرلایه از روابط تقریبی زیر محاسبه می‌شود [۱۳]:

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad \text{for } \frac{W}{h} < 2$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right]$$

$$\text{for } \frac{W}{h} > 2$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

با جایگذاری $\epsilon_r = 2.2$ و $h = 0.508 \text{ mm}$ (زیرلایه Rogers 5880 با ضخامت 20 mil) و در نظر گرفتن امپدانس ۵۰ اهم برای خط مایکرواستریپ تغذیه‌کننده پچ، عرض نوار هادی خط مایکرواستریپ برابر با $w = 1.56 \text{ mm}$ محاسبه می‌شود.

شبیه‌سازی المان در محیط نرم‌افزار CST انجام شده است. در روند شبیه‌سازی، ابتدا از مقادیر اولیه‌ای استفاده شده که برای ابعاد پچ تشعشعی در بخش طراحی آنتن استخراج شده است. همچنین، مقادیر اولیه طول اسلات و نسبت عرض به طول آن به ترتیب برابر 0.2λ و $1/10$ در نظر گرفته شده است. در ادامه، با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد، مقادیر پارامترهای طراحی آنتن تغییر داده شده تا در نهایت، مقادیر بهینه‌ای که به عملکرد مطلوب آنتن از لحاظ پارامتر VSWR منتهی می‌شوند، استخراج شود. این مقادیر بهینه در جدول (۱) ارائه شده است.

خط مایکرواستریپ تغذیه‌کننده آنتن است. از بین پارامترهای فوق، طول اسلات تزویج و ابعاد cavity با توجه به تطبیق امپدانس بین خط مایکرواستریپ تغذیه و پچ تشعشعی، در جریان بهینه‌سازی عملکرد المان تعیین می‌شوند. در ادامه به استخراج مقادیر عددی مربوط به ابعاد پچ تشعشعی و عرض نوار خط مایکرواستریپ پرداخته می‌شود.

ابعاد پچ تشعشعی

فرکانس عملیاتی، بازده تشعشعی، سمت‌گرایی، تلفات بازگشتی و سایر پارامترهای مربوط به پچ مایکرواستریپ تحت تاثیر ابعاد آن قرار دارد. در طراحی آنتن پچ مایکرواستریپ به طور معمول جنس ماده زیرلایه (ϵ_r, h) و فرکانس رزونانس پچ مشخص است. با مشخص بودن پارامترهای فوق، طول و عرض پچ مایکرواستریپ با توجه به روابط زیر محاسبه می‌شود [۱۲]:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \times \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L$$

$$\Delta L = 0.41h \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0.3}{\epsilon_{eff} - 0.258} \right) \left(\frac{\frac{W}{h} + 0.264}{\frac{W}{h} + 0.8} \right)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}}$$

که در روابط فوق، f_r فرکانس رزونانس، L و W طول و عرض المان پچ و ϵ_r ثابت دی‌الکتریک زیرلایه است. به این ترتیب، با جایگذاری $f_r = 9.6 \text{ GHz}$ ، $\epsilon_r = 2.2$ و $h = 0.508 \text{ mm}$ (زیرلایه Rogers 5880 با ضخامت 20 mil)، طول و عرض پچ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W = 12.35 \text{ mm}, \quad \epsilon_{eff} = 2.09, \quad \Delta L = 0.2659 \text{ mm}$$

$$L = 10.28 \text{ mm}$$

۴- نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنتن

نمایی از آنتن ساخته شده در شکل (۱۰) ارائه شده است. ابعاد نهایی آنتن برابر $12/5 \text{ mm} \times 372 \text{ mm} \times 521 \text{ mm}$ است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. تصویر آنتن ساخته شده: (الف) از نمای مقابل آنتن و (ب) از نمای پشت آنتن

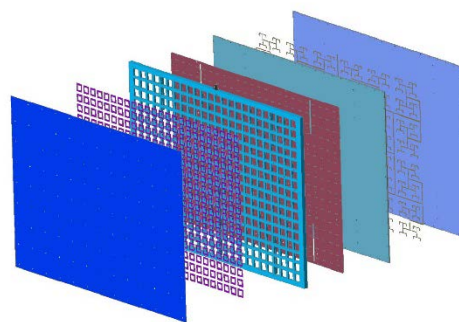
نتایج حاصل از اندازه‌گیری الگوهای تشعشعی آنتن در دو جهت سمت و ارتفاع در بازه فرکانسی ۹ GHz-۱۰ GHz و با گام فرکانسی ۵۰۰ MHz در شکل‌های (۱۲) و (۱۱) نشان داده شده است. عرض بیم آنتن در دو صفحه و در فرکانس ۹/۵ GHz برابر $3/5 \times 4/7$ درجه اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱. ابعاد فیزیکی بهینه شده آنتن پیشنهادی

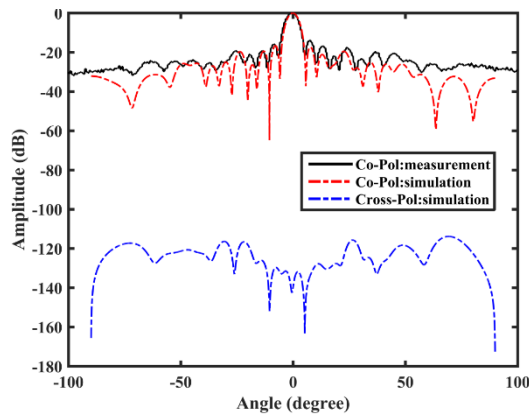
پارامتر	مقدار (mm)
Wframe	20.8
Lframe	22.3
Wcavity	15.8
Lcavity	16.8
Wpatch	9.4
Lpatch	9.4
Wfeed	1.52
Lfeed	15.15
Ws1	0.35
Ls1	6.97
Ws2	1
Ls2	2

۳- ساخت آنتن

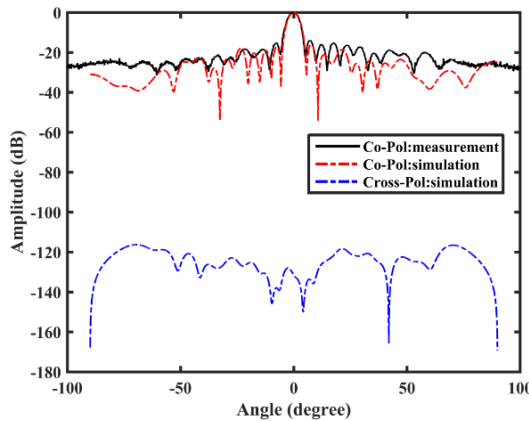
نمای انفجاری آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پیشنهادی در شکل (۹) ارائه شده است. از میان لایه‌های نشان داده شده در شکل، لایه‌های دوم، سوم و چهارم از سمت راست، برد شبکه تغذیه آنتن را تشکیل می‌دهد و لایه‌های ششم و هفتم از سمت راست نیز برد شامل المان‌های پچ تشعشعی است. بخش اول از ساخت آنتن، شامل ساخت دو برد مذکور با استفاده از تکنولوژی مدار چاپی است که با توجه به ظرافت و دقت مورد نیاز، امکان ساخت آن در بازه زمانی مد نظر پروژه در داخل کشور فراهم نبوده و از طریق سفارش خارج انجام شده است. بخش دوم از ساخت آنتن، مربوط به ساخت سازه فلزی آنتن است که محل قرار گرفتن لایه‌های مختلف آنتن شامل بردهای تغذیه و تشعشعی، صفحه رفلکتوری پشت آنتن (لایه اول از سمت راست در شکل) و لایه واسط بین بردهای تغذیه و تشعشعی (لایه پنجم از سمت راست در شکل) است.



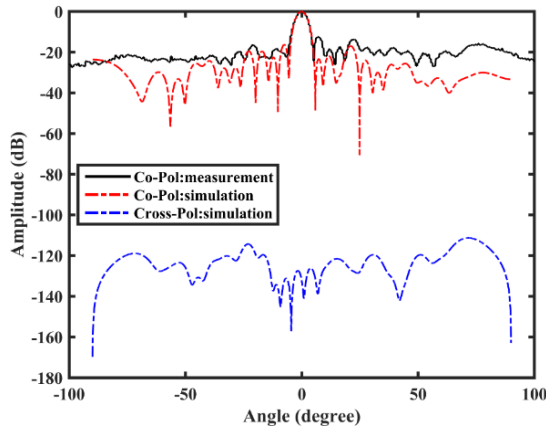
شکل ۹. نمای انفجاری از آنتن آرایه پچ مایکرواستریپ پیشنهادی



(الف)

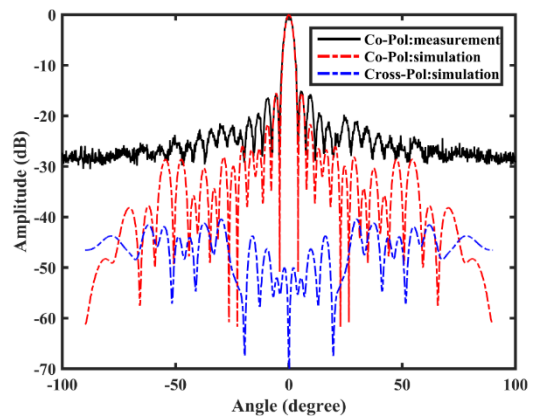


(ب)

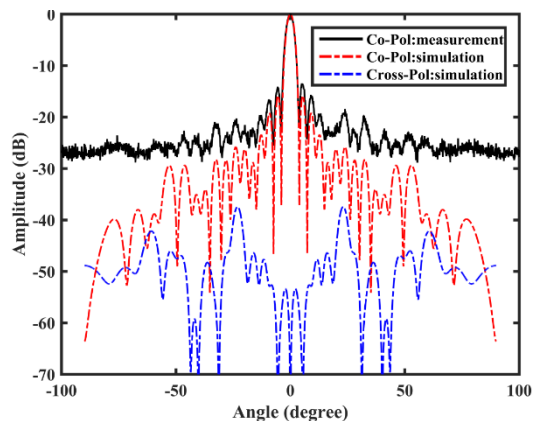


(ج)

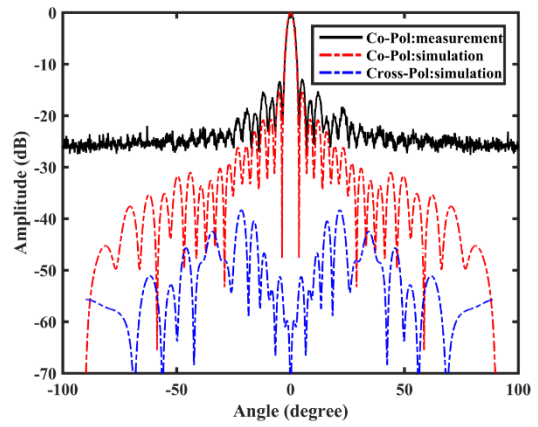
شکل ۱۲. نتایج حاصل از اندازه‌گیری الگوهای تشعشی آنتن در جهت ارتفاع در فرکانس‌های (الف) ۹ GHz، (ب) ۹.۵ GHz و (ج) ۱۰ GHz (— شبیه‌سازی و - - اندازه‌گیری)



(الف)

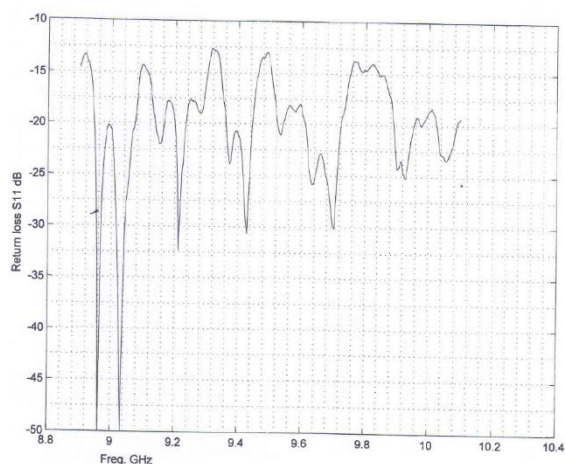


(ب)



(ج)

شکل ۱۱. نتایج حاصل از اندازه‌گیری الگوهای تشعشی آنتن در جهت سمت در فرکانس‌های (الف) ۹ GHz، (ب) ۹.۵ GHz و (ج) ۱۰ GHz (— شبیه‌سازی و - - اندازه‌گیری)



شکل ۱۴. نتایج حاصل از اندازه‌گیری تلفات بازگشتی در دهانه ورودی آنتن

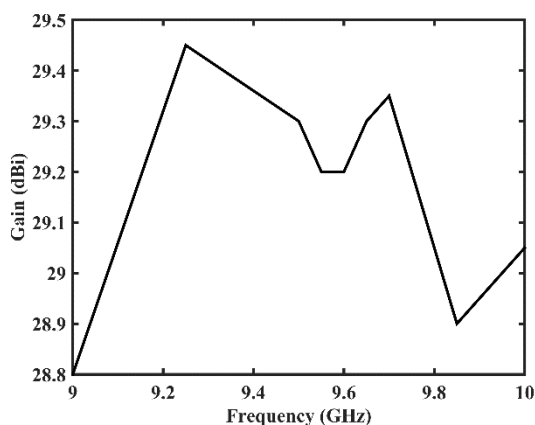
خلاصه‌ای از مشخصات فنی و عملکردی آنتن ساخته‌شده در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات فنی و عملکردی آنتن آرایه پچ میکرواستریپ در محدوده فرکانسی ۹ GHz – ۱۰ GHz

پارامتر	مقدار
ابعاد فیزیکی	۵۲۱ mm × ۳۷۲ mm × ۱۲/۵ mm
کانکتور ورودی	SMA (Female)
امپدانس ورودی	۵۰ اهم
بهره	بزرگتر از ۲۸/۸ dBi
عرض بیم در جهت سمت	بزرگتر از ۳/۱ درجه
عرض بیم در جهت ارتفاع	بزرگتر از ۴/۵ درجه
سطح گلبرگ‌های کناری در جهت سمت	۱۳/۷۸ dB بهتر از
سطح گلبرگ‌های کناری در جهت ارتفاع	۱۴ dB بهتر از
پلاریزاسیون	خطی عمودی
سطح مولفه پلاریزاسیون متعام در جهت سمت	۳۰ dB بهتر از
سطح مولفه پلاریزاسیون متعام در جهت ارتفاع	۳۰ dB بهتر از

به منظور بررسی مناسب بودن رویکرد پیشنهادی برای کاربرد در رادار سار، مقایسه‌ای از عملکرد آنتن توسعه داده شده در این مقاله با دو آنتن طراحی‌شده قبلی در مراجع [۱۴] و [۱۵] در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، آنتن پیشنهادی از لحاظ عملکرد پهن‌بند در عین برخورداری از

منحنی حاصل از اندازه‌گیری بهره آنتن در محدوده فرکانسی ۹ GHz – ۱۰ GHz در شکل (۱۳) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بهره آنتن در سرتاسر این محدوده فرکانسی بالاتر از ۲۸/۸ dBi است که معادل با پهنای باند نسبی بهره برابر با ۱۰٪ است. بهره حاصل از اندازه‌گیری آنتن به دلیل عواملی چون تلفات ذاتی شبکه تغذیه، تانژانت تلفات زیرلایه‌ها و همچنین انتشار امواج سطحی، به میزان ۱/۲ dB از مقدار dB ۳۰ تعریف شده به عنوان هدف طراحی کمتر است. اما به دلیل آن‌که استخراج الزامات بهره زیرسیستم آنتن سامانه سار هواپایه با در نظر گرفتن ۲ dB حاشیه امنیت انجام شده، این کاهش بهره از قبل پیش‌بینی شده و تأثیر مخربی بر عملکرد سیستم نخواهد داشت.



شکل ۱۳. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بهره آنتن بر حسب فرکانس

هم‌چنین، با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تلفات بازگشتی در دهانه ورودی آنتن (شکل (۱۴)) پهنای باند امپدانس آنتن به ازای $VSWR < 2$ حدود ۱۷٪ اندازه‌گیری شده است.

مراجع

- [1] O. Kyaw, L. H. Chua, Y.-B. Gan, and N. Venkatarayalu, "Design of a dual-polarized X-band antenna sub-array for SAR applications," *Synthetic Aperture Radar (APSAR), 2015 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on*, pp. 139-142, 2015.
- [2] A. Khare and R. Nema, "Triple band parasitic array antenna for CX-Ku-band application using out-of-phase coupling approach," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2014, 2014.
- [3] N. Kumar, M. Sreenivasan, K. G. Thomas, and P. Rao, "A multi-layer X-Band microstrip array with beam tilt for FMCW-SAR application," *Microwave Conference (APMC), 2016 Asia-Pacific*, pp. 1-4, 2016.
- [4] J. Huang, M. Lou, A. Ferial, and Y. Kim, "An inflatable L-band microstrip SAR array," in *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 2100-2103, 1998.
- [5] F. Yang, X.-X. Zhang, X. Ye, and Y. Rahmat-Samii, "Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 49, pp. 1094-1100, 2001.
- [6] W. Yibo, W. Shuyue, and Z. Jinju, "Bandwidth enhanced miniaturized slot antenna on a thin microwave laminate," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 127, pp. 153475, 2020.
- [7] K. Shi, H. Su, H. Zhang, and Z. Zhong, "Design on broadband multilayer parasitic microstrip array antenna," *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2011 Second International Conference on*, pp. 6426-6429, 2011.
- [8] K. Jothilakshmi and P. Jothilakshmi, "Design of multilayer microstrip patch antenna for satellite application," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 5, pp. 190-195, 2017.
- [9] D. de Haaij, J. Joubert, and J. Odenaal, "Diplexing feed network for wideband dual frequency stacked microstrip patch antenna," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 36, pp. 100-102, 2003.
- [10] M. Mohammadi Shirkolaei, "Wideband linear microstrip array antenna with high efficiency and low side lobe level," *International Journal of RF and*

بهره بالا در کل بلند فرکانسی عملیاتی، از عملکرد مطلوبی در برابر طرح‌های پیشین برخوردار است.

جدول ۳. مقایسه آنتن پیشنهادی با دو آنتن گزارش شده در مراجع

مرجع	[۱۴]	[۱۵]	آنتن پیشنهادی
فناوری	آنتن میکرواستریپ چندلایه	آنتن آرایه اسلات یک‌لایه	آنتن میکرواستریپ چندلایه
باند فرکانسی	X	Ka	X
ابعاد آنتن ($\lambda \times \lambda$)	8.4×10	54×7	16.5×11.8
بهره در کل باند (dB)	>22	- (34 در فرکانس مرکزی)	>28.8
SLL (dB)	-23.9	-11.5	-13.78
پهنای باند نسبی امیدانسی	24%	2.9%	17%

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک آنتن آرایه پچ میکرواستریپ با بهره بالا و عملکرد پهن‌بند ارائه شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری آنتن، مقدار بهره بیشتر از ۲۸/۸ dBi را در پهنای باند فرکانسی GHz ۱ در باند X و پهنای باند فرکانسی $VSWR < 2$ بیش از GHz ۱/۶ را با حفظ عملکرد تشعشی آنتن‌های پچ استاندارد از نظر پهنای پرتو و سطح پلاریزاسیون متقاطع نشان می‌دهد. در آنتن پیشنهادی، یک راه‌حل عملی برای طراحی آنتن‌های چاپی پهن‌بند بر روی زیرلایه‌های نازک فراهم شده است که امکان پیاده‌سازی آنتن با کارایی بالا را بر روی برد چاپی ارزان قیمت فراهم می‌کند و با توجه به ساختار مسطح و مشخصات عملکردی آن، یک گزینه بسیار مناسب برای کاربرد در طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی، از رادار تا سیستم‌های مخابراتی و سنجش از راه دور محسوب می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

Microwave ComputerAided Engineering, vol. 30, pp. e22412, 2020.

- [11] A. Azari, "A new super wideband fractal microstrip antenna," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 59, pp. 1724-1727, 2011.
- [12] C. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, 3rd ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2005, pp. 817-826.
- [13] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, 4th ed., John Wiley & Sons, 2012, pp. 147-149.
- [14] M. Shirkolaei, "High efficiency X-band series-fed microstrip array antenna," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 105, pp. 35-45, 2020.
- [15] S. Ye, et al. "High gain planar antenna array for Ka band SAR applications," in *2018 China International SAR Symposium (CISS)*, 2018.



COPYRIGHTS

© 2022 by the authors. Licensee Iranian Space Research Center of Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)