

STUDYING A METHOD TO DESIGN AN ANTENNA OPERATING AT DUAL-BAND FOR 5G APPLICATIONS BY COMBINING FRACTAL GEOMETRY AND METAMATERIALS

Cao Thanh Nghia^{1*}, Cai Thanh Tan¹, Hoang Van Thuc²

¹Vinh University, ²TNU – University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 11/5/2023	This paper presents a method to design an antenna that operates in two bands 28 GHz and 38 GHz for 5G applications. The antenna configuration consists of a patch of modified fractal geometry combined with metamaterial structures that are split ring resonators arranged around the radiation component as a metasurface. The antennas were investigated and designed on a Rogers RT/duroid 5880 substrate with a dielectric constant of 2.2, the loss tangent of 0.0009, and a height of 0.6 mm, which are fed by a probe. HFSS software is used to simulate antenna configuration and operation. Compared with the original circular microstrip antenna, the proposed antenna operates in two bands with a bandwidth in the $f_1 = 28$ GHz band of $BW_1 = 2.35$ GHz and a second band in the $f_2 = 38$ GHz of $BW_2 = 8.45$ GHz. Besides, the proposed antenna gain is also significantly increased 8.29 dBi. Physical models of the antenna were fabricated and measured to verify the correctness of the design.
Revised: 13/7/2023	
Published: 13/7/2023	
KEYWORDS	
Microstrip antenna	
Fractal geometry	
Metamaterials	
5G applications	
Dual-band	

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ ĂNG TEN HOẠT ĐỘNG Ở BĂNG TẦN KÉP CHO ỨNG DỤNG 5G BẰNG SỰ KẾT HỢP HÌNH HỌC FRACTAL VÀ SIÊU VẬT LIỆU

Cao Thành Nghĩa^{1*}, Cái Thanh Tân¹, Hoàng Văn Thục²

¹Trường Đại học Vinh

²Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 11/5/2023	Bài báo này trình bày một phương pháp thiết kế ăng ten hoạt động tại hai băng tần 28 GHz và 38 GHz cho các ứng dụng 5G. Cấu hình của ăng ten bao gồm một miếng vá có dạng hình học fractal được sửa đổi kết hợp với các cấu trúc siêu vật liệu là các bộ cộng hưởng vòng phân chia được sắp xếp bao quanh thành phần bức xạ như một siêu bề mặt. Các ăng ten được khảo sát và thiết kế trên chất nền Rogers RT/duroid 5880 với hằng số điện môi là 2,2, tiếp tuyến suy hao là 0,0009 và chiều cao là 0,6 mm, chúng được cấp nguồn bằng đầu dò đồng trục. Phần mềm HFSS được sử dụng để mô phỏng cấu hình và sự hoạt động của ăng ten. So với ăng ten vi dải hình tròn ban đầu, ăng ten được đề xuất hoạt động tại hai băng tần với độ rộng băng tần ở dải $f_1 = 28$ GHz là $BW_1 = 2,35$ GHz và băng tần thứ hai ở dải $f_2 = 38$ GHz là $BW_2 = 8,45$ GHz. Bên cạnh đó, độ lợi ăng ten đề xuất cũng tăng đáng kể là 8,29 dBi. Các mô hình vật lý của ăng ten đã được chế tạo và đo đạc để xác minh tính đúng đắn của thiết kế.
Ngày hoàn thiện: 13/7/2023	
Ngày đăng: 13/7/2023	
TỪ KHÓA	
Ăng ten vi dải	
Hình học fractal	
Siêu vật liệu	
Các ứng dụng 5G	
Băng tần kép	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7911>

* Corresponding author. Email: caothanhnghia@vinhuni.edu.vn

1. Giới thiệu

Ngày nay, với sự phát triển như vũ bão của khoa học công nghệ, nhu cầu sử dụng các thiết bị hiện đại với tốc độ cao ngày càng tăng. Do đó, các nhà cung cấp và khai thác dịch vụ thường xuyên thay đổi, cập nhật, cải tiến và nâng cấp hệ thống của họ để ngày càng phù hợp và đáp ứng được thị hiếu của người dùng. Một trong những thay đổi đó là các hệ thống thông tin di động đã và đang nâng cấp từ các thế hệ thứ tư (4G – Fourth-Generation) lên thế hệ thứ năm (5G - Fifth Generation). So với 4G, mạng thông tin di động 5G đã được cải tiến hơn nhiều, nó được thiết kế để tăng tốc độ và khả năng phản hồi nhanh chóng của mạng không dây. Vì vậy mà hệ thống 5G có tốc độ tải xuống nhanh hơn, truyền phát dữ liệu mượt mà hơn. Hơn nữa, hệ thống 5G sẽ mở ra những ứng dụng hoàn toàn mới và gây ra một cuộc cách mạng lớn trong những năm tiếp theo [1].

Các hệ thống di động trong công nghệ 5G đang trong giai đoạn phát triển ban đầu của nó với những gã khổng lồ công nghệ đang hướng tới việc giới thiệu các modem và các thiết bị truyền thông tương tự trên thị trường. Hệ thống thông tin di động 5G sử dụng băng tần millimet làm kênh truyền chủ đạo, bởi vậy mà ăng ten cho mạng 5G cần phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật rất cao của công nghệ như độ tính hướng cao, có khả năng điều chỉnh chùm sóng cũng như phải tương thích với các đặc tính sóng của băng tần millimet như băng thông rộng. Các băng đang được khuyến nghị và sử dụng cho mạng di động 5G đề cập ở Bảng 1 [2].

Bảng 1. Phân bố phổ tần toàn cầu cho các hệ thống 5G

Đất nước	<1GHz	3GHz	4GHz	5GHz	24-28GHz	37-40GHz	64-71 GHz
Hoa Kỳ	600MHz	3,5GHz		5,9-7,1GHz	27,5-28,35GHz	37-37,6GHz	64-71GHz
Canada	600MHz	3,5GHz		5,9-7,1GHz	27,5-28,35GHz	37,6-40GHz	64-71 GHz
Châu Âu	700MHz	3,4-3,8GHz		5,9-6,4GHz	24,5-27,5GHz	37-37,6GHz	
Anh		3,4-3,8GHz			26-28GHz	37-40GHz	
Đức		3,4-3,7GHz			26-28GHz		
Pháp		3,46-3,8GHz			26GHz		
Ý		3,6-3,8GHz					
Trung Quốc		3,3-3,6GHz			24,5-27,5GHz	37,5-42,5GHz	
Hàn Quốc		3,4-3,7GHz	4,8-5GHz		26,5 – 29,5GHz		
Nhật Bản		3,6-4,2GHz			27,5 – 29,5GHz		
Úc		3,4-3,7GHz	4,4-4,9GHz		28GHz	39GHz	

Bên cạnh nhu cầu tăng tốc độ truyền dữ liệu, các thiết bị viễn thông có xu hướng tích hợp thêm các tính năng với kích thước nhỏ gọn và linh hoạt trong sử dụng. Do đó, việc thiết kế các thiết bị nhỏ gọn với hiệu suất làm việc cao hơn đang là một vấn đề được các nhà thiết kế quan tâm. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất của hệ thống thu phát sóng vô tuyến, một trong số đó là hiệu suất của ăng ten trong các thiết bị này. Do đó, việc cải thiện hiệu suất của ăng ten cũng quyết định hiệu suất tổng thể của hệ thống. Trong thiết kế anten, hiệu suất thường được đánh giá thông qua các thông số quan trọng như kích thước, số băng tần hoạt động, độ rộng băng thông, hệ số khuếch đại, hiệu suất bức xạ,... Hiện nay, đã có nhiều loại hình nghiên cứu và giải pháp kỹ thuật nhằm tăng hiệu suất của ăng ten như thiết kế vi dải anten, shorting pin, shorting wall,... Sử dụng cấu trúc hình học fractal và siêu vật liệu trong thiết kế ăng ten là một trong những giải pháp đang được cân nhắc lựa chọn [3].

Hình học fractal được hiểu là dạng của vật thể mà các thành phần của chúng có sự giống nhau về mặt hình dáng nhưng ở các quy mô khác nhau. Các vật thể có dạng hình học fractal có thể được tìm thấy trong tự nhiên như bông cải xanh, các nhánh cây, các nhánh sông, tia sấm sét,... hoặc chúng có thể được tạo ra bởi các phương trình toán học như các hình học fractal Sierpinski carpet, Minkowski island, Hilbert curve,... Hiện nay, hình học fractal được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của đời sống như công nghệ thông tin, y học, nghệ thuật,... Bên cạnh đó, việc nghiên cứu lý thuyết điện từ dựa trên hình học fractal đã tạo ra các thiết bị bức xạ mới [4]. Đặc biệt, với các

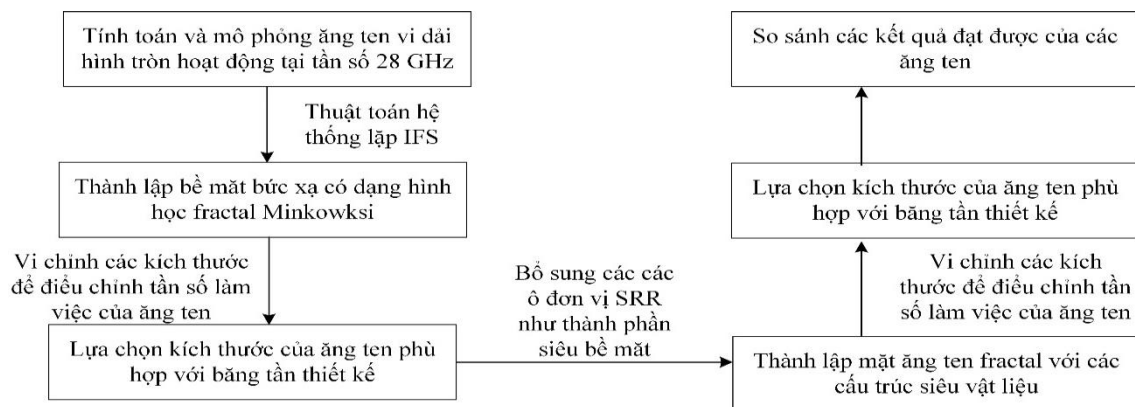
tính chất đặc trưng của hình học fractal như tính tự tương tự (self-similarity) và tính lấp đầy khoảng trống (space-filling) có thể áp dụng trong thiết kế các ăng ten có kích thước nhỏ gọn và hoạt động đa băng tần [5], [6].

Siêu vật liệu được hiểu là một loại vật chất với những đặc tính không tồn tại trong tự nhiên. Chúng được tạo ra do sự sắp xếp của các cấu trúc vi mô để tạo ra các đặc tính vật lý vĩ mô mong muốn. Vì vậy, siêu vật liệu còn được gọi là vật liệu nhân tạo, tính chất của chúng phụ thuộc vào cấu trúc nhiều hơn là thành phần của chúng. Các cấu trúc vi mô của siêu vật liệu có thể được làm bằng vật liệu điện từ, không có điện từ hoặc điện môi và được gọi là “nguyên tử”. Cấu trúc của “nguyên tử” có thể đối xứng, đẳng hướng hoặc dị hướng. Sự sắp xếp của các “nguyên tử” có thể hỗn loạn hoặc theo một trật tự nhất định, do đó chúng có đồng thời độ điện môi âm ($\epsilon < 0$) và độ từ thẩm âm ($\mu < 0$), dẫn đến chiết suất âm [7]. Do đó, các cấu trúc siêu vật liệu có thể hỗ trợ dòng chảy ngược, tức là vận tốc pha của siêu vật liệu và vận tốc nhóm là song song. Siêu vật liệu có những tính chất mà không vật liệu tự nhiên nào có được như không tuân theo định luật Snell, hiệu ứng Doppler, bức xạ Vavilov - Cerenkov,... do đó, nó có thể làm thay đổi bản chất của sóng điện từ khi truyền qua nó [8].

Trong kỹ thuật anten, siêu vật liệu được sử dụng với mục đích cải thiện hiệu năng của ăng ten. Tùy thuộc vào mục tiêu thiết kế của ăng ten, phương pháp ứng dụng siêu vật liệu được chọn khác nhau, chúng có thể được ứng dụng làm môi trường xung quanh ăng ten, làm thành phần của ăng ten hoặc có thể là một phần bị khuyết thiếu trong các thành phần của ăng ten [9].

Nghiên cứu này trình bày một phương pháp thiết kế ăng ten hoạt động băng tần kép cho hệ thống viễn thông 5G. Ăng ten được thiết kế dựa trên sự kết hợp giữa hình học fractal và cấu trúc siêu vật liệu để tạo ra ăng ten hoạt động tại hai băng tần $f_1=28$ GHz và $f_2=38$ GHz. Trong đó, bề mặt bức xạ có dạng hình học fractal được điều chỉnh, các cấu trúc siêu vật liệu là các bộ cộng hưởng vòng phân chia (SRR - Split Ring Resonator) được sắp xếp bao quanh thành phần bức xạ của ăng ten tạo thành một lớp siêu bề mặt (Metasurface) [10].

2. Thiết kế ăng ten



Hình 1. Lưu đồ các bước thực hiện thiết kế ăng ten

Phần này mô tả một quá trình thiết kế ăng ten hoạt động tại hai băng tần 28 GHz và 38 GHz cho hệ thống viễn thông 5G. Quá trình này được bắt đầu bằng việc thiết kế một ăng ten vi dải có bề mặt bức xạ hình tròn hoạt động tại băng tần 28 GHz phương thức cấp nguồn bằng đầu dò đồng trục. Bước tiếp theo là thành lập hình học fractal Minkowski có sửa đổi cho thành phần bề mặt bức xạ để tạo ra ăng ten hoạt động tại băng tần kép là 28 GHz và 38 GHz. Tuy mục tiêu hoạt động tại hai băng tần đã đạt được, nhưng băng thông tại các băng tần chưa cao. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đã bổ sung vào thiết kế một lớp siêu vật liệu bằng các bộ cộng hưởng vòng phân chia SRR bao quanh bề mặt bức xạ như một lớp siêu bề mặt để tăng cường băng thông và cải thiện độ lợi của ăng ten. Các ăng ten này được thiết kế trên vật liệu nền của Rogers RT/duroid 5880 với

hằng số điện môi (ϵ) là 2,2, tiếp tuyến suy hao ($\tan \delta$) là 0,0009 và chiều cao (h) là 0,6 mm với phương pháp cấp nguồn bằng đầu dò đồng trục. Lưu đồ của quá trình thiết kế ăng ten hoạt động tại 2 băng tần được biểu diễn ở Hình 1.

2.1. Ăng ten vi dải hình tròn hoạt động tại tần số 28 GHz

Khởi đầu của thiết kế này là ăng ten vi dải, nó là một ăng ten phẳng với bề mặt bức xạ có dạng hình tròn và được cấp nguồn bằng một đầu dò đồng trục. Các kích thước của ăng ten vi dải ban đầu được tính toán bởi các công thức (1) và (2) [11].

$$r = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (1)$$

$$\text{Với } F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

trong đó: r là bán kính của hình tròn, f_r là tần số hoạt động, h và ϵ_r là bề dày và hằng số điện môi của chất nền.

Kích thước của mặt phẳng đất và lớp nền điện môi (L_g) trong thiết kế được tính bởi công thức (3).

$$L_g = 2.r + 8.h \quad (3)$$

Cấu hình và các kích thước của ăng ten vi dải hình tròn được thể hiện ở Hình 2a, Hình 2b, Hình 2c và Bảng 2. Hệ số phản xạ và tỷ số sóng đứng VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) của ăng ten vi dải hình tròn được biểu diễn ở Hình 4a và Hình 4b, ký hiệu tương ứng của ăng ten này trong hình là Ant. 1.

2.2. Ăng ten fractal

Để có ăng ten fractal, chúng tôi đã thay đổi hình dạng bề mặt bức xạ của ăng ten ban đầu từ hình tròn (Hình 2c – tương ứng với lần lặp thứ 0) trở thành dạng hình học fractal Minkowski có sửa đổi. Cụ thể, tiến hành loại bỏ một phần lớp đồng có dạng nửa hình tròn để có dạng hình học fractal Minkowski (Hình 2d – tương ứng với lần lặp thứ nhất). Quá trình biến đổi đó ta gọi là các bước lặp của hình học fractal. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phân loại bỏ để tạo thành hình học fractal là một nửa hình tròn (nếu đúng là phải cả hình tròn) vì vậy ăng ten này có thể gọi là ăng ten fractal có sửa đổi.

Một quy trình toán học được sử dụng để hình thành hình học fractal Minkowski, có thể được mô tả dựa trên một loạt các phép biến đổi affine thông qua thuật toán hệ thống hàm lặp (IFS-Iterative Function Systems). Phương trình (4) được sử dụng để mô tả các phép biến đổi affine trong các mặt phẳng [8]. Thuật toán IFS tạo hình dạng của fractal Minkowski với các lần lặp khác nhau, sau mỗi lần lặp, fractal Minkowski tạo ra các tập con của nó, với hình dạng của mỗi tập con giống với hình dạng của fractal trong lần lặp trước đó [12].

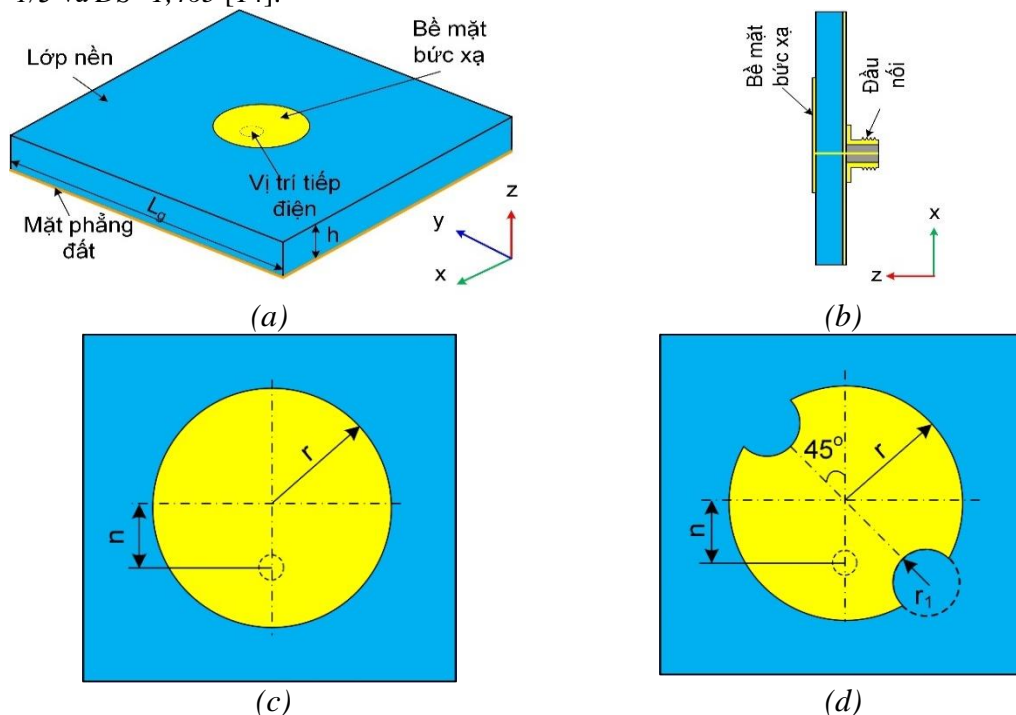
$$\mathbf{W}(x, y) = Ax + t = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} \quad (4)$$

trong đó, x và y là tọa độ của một điểm x ; t là hệ số dịch; a, b, c, d là các hệ số kiểm soát góc quay và tỷ lệ của các phần fractal, trong khi e và f là phép tịnh tiến tuyến tính. Cả sáu tham số đều là số thực [12], [13].

Một tham số quan trọng của hình học fractal là quy mô kích thước fractal (DS – Dimension scale), là tỷ lệ cung cấp chỉ số thống kê về độ phức tạp của các chi tiết trong một mẫu ở các giai đoạn lặp lại khác nhau. Nó được cho bởi công thức (5) [13].

$$DS = \frac{\log N}{\log \frac{1}{\delta}} \tag{5}$$

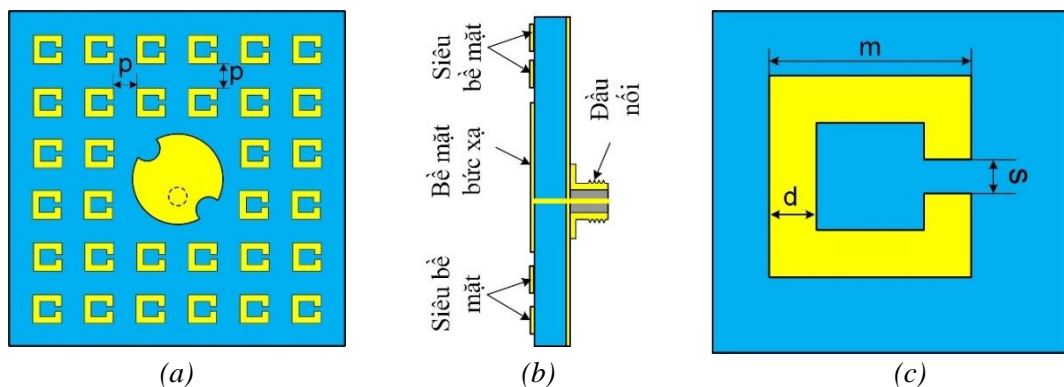
trong đó, N là số lượng siêu khối (các phần tương tự), có độ dài cạnh δ (hệ số tỷ lệ) cần thiết để bao phủ đối tượng. Đối với hình học fractal Minkowski island, các đại lượng này là $N=5$, $\delta=1/3$ và $DS=1,465$ [14].



Hình 2. Mô hình dạng 3D của ăng ten vi dải (a), Mô hình 2D nhìn từ mặt bên (b), ăng ten vi dải hình tròn nhìn từ trên (c) ăng ten fractal nhìn từ trên (d)

Mô hình 2D nhìn từ trên và các kích thước của ăng ten fractal Minkowski có sửa đổi được thể hiện ở Hình 2d và Bảng 2. Hệ quả của việc sử dụng hình học fractal có sửa đổi trong thiết kế này là đã tạo ra ăng ten hoạt động tại hai băng tần 28 GHz và 38 GHz. Hệ số phản xạ và tỷ số sóng đứng VSWR của ăng ten fractal Minkowski được biểu diễn ở Hình 4a và Hình 4b, ký hiệu tương ứng của ăng ten này trong hình là Ant.2.

2.3. Cấu hình của ăng ten được đề xuất



Hình 3. Các mô hình của ăng ten được đề xuất: (a) mô hình 2D nhìn từ trên, (a) mô hình 2D nhìn từ bên (c) nhìn từ dưới mô hình đơn vị SRR đã được phóng to

Hiệu quả đạt được của việc sử dụng hình học fractal trong thiết kế này là ăng ten hoạt động tại hai băng tần, tuy nhiên băng thông của ăng ten đạt được độ lợi chưa cao, thậm chí băng thông của Ant.2 còn giảm hơn so với Ant.1. Vì vậy, nhóm tác giả đã bổ sung các ô đơn vị SRR xung quanh bề mặt bức xạ để tạo thành một lớp siêu bề mặt. Điều này sẽ làm cho hiệu suất của ăng ten sẽ được thay đổi như tăng băng thông và cải thiện về độ lợi. Hình 3a và Bảng 2 biểu thị mô hình 2D nhìn từ trên và các kích thước của ăng ten được đề xuất.

Bảng 2. Các kích thước của ăng ten được đề xuất

Ký hiệu	L_g	h	r	r_1	p
Đơn vị [mm]	6,5	0,6	1,5	0,5	0,48
Ký hiệu	n	m	d	s	
Đơn vị [mm]	0,55	0,52	0,17	0,15	

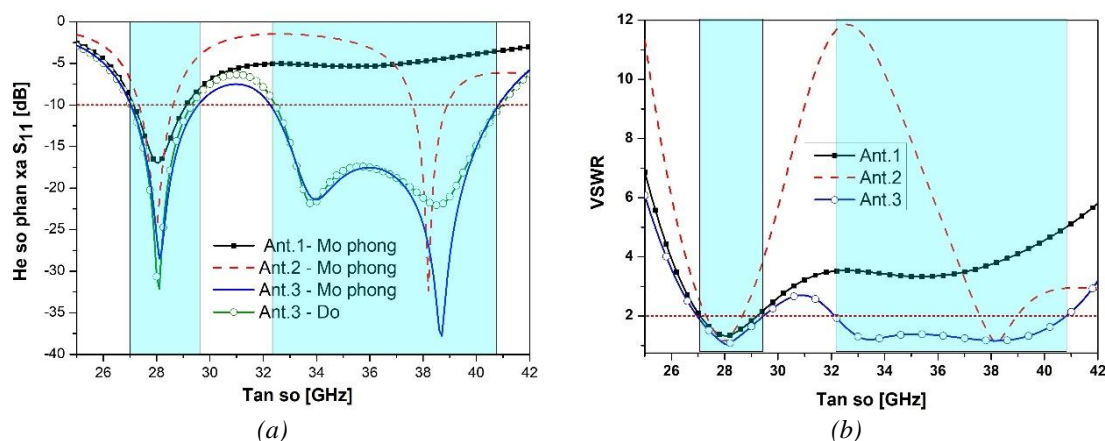
Sau khi bổ sung các ô đơn vị siêu vật liệu SRR làm một lớp siêu bề mặt, bề rộng băng thông và độ lợi của ăng ten được cải thiện đáng kể. Hệ số phản xạ và tỷ số sóng đứng VSWR của ăng ten đề xuất được biểu diễn ở Hình 4a và Hình 4b, ký hiệu tương ứng của ăng ten này trong hình là Ant.3.

3. Kết quả và bàn luận

Phần này trình bày các kết quả đạt được của nghiên cứu trong việc sử dụng hình học fractal Minkowski kết hợp với cấu trúc siêu vật liệu SRR để tạo ra một ăng ten hoạt động tại hai băng tần $f_1=28$ GHz và $f_2=38$ GHz cho các ứng dụng 5G. Sau mỗi lần cải tiến, từ ăng ten hoạt động tại một băng tần 28 GHz, ăng ten được đề xuất đã hoạt động tại hai băng tần và độ lợi được cải thiện. Hình 4 biểu diễn cho hệ số phản xạ của các ăng ten, từ đó cho thấy so với Ant.1 thì Ant.2 đã hoạt động thêm băng tần 38 GHz, tuy nhiên băng thông của 28 GHz của Ant.2 có phần hẹp hơn so với Ant.1. Việc bổ sung thêm cấu trúc siêu vật liệu SRR như một lớp siêu bề mặt đã tăng đáng kể băng thông tại dải tần 38 GHz và tăng cường một phần băng thông ở băng tần 28 GHz. Bên cạnh đó độ lợi của Ant.3 cũng được cải thiện đáng kể. Bảng 3 thể hiện sự so sánh về số liệu cụ thể của các ăng ten tương ứng với mỗi cấu hình.

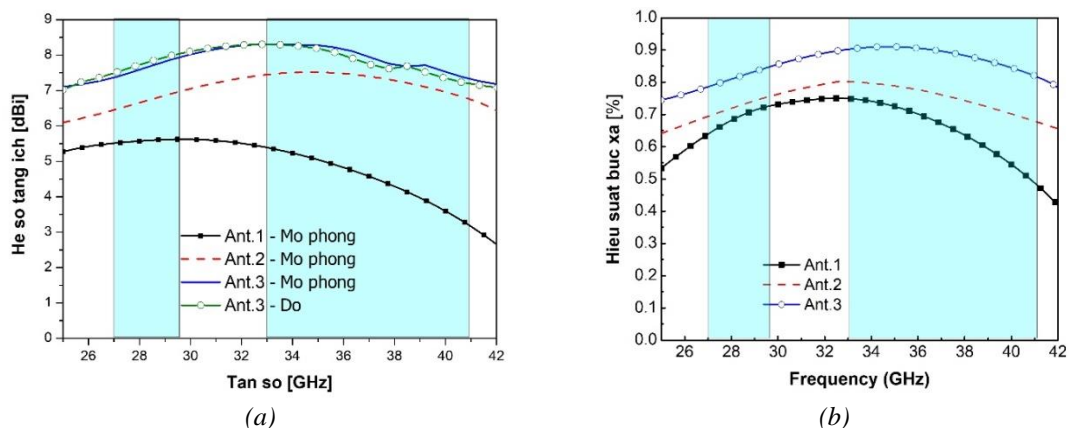
Bảng 3. So sánh các thông số đạt được của các ăng ten

Kiểu ăng ten	Ant.1	Ant.2	Ant.3
Băng tần hoạt động	28 GHz	28 GHz và 38 GHz	28 GHz và 38 GHz
Băng thông (BW)	1,96 GHz	1,28 GHz và 1,3 GHz	2,35 GHz và 8,45 GHz
Hệ số tăng ích cao nhất (dBi)	5,63	7,51	8,29

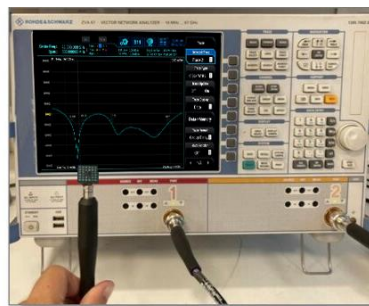
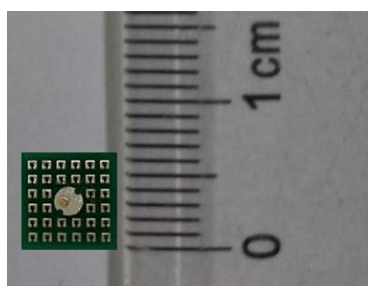


Hình 4. So sánh các thông số của các ăng ten (a) Hệ số phản xạ S_{11} , (b) Hệ số sóng đứng VSWR

Sau khi thu được các kết quả mô phỏng, nhóm tác giả đã tiến hành chế tạo mô hình ăng ten vật lý và thực hiện phép đo một lần trong phòng thí nghiệm bằng máy phân tích mạng vectơ Agilent 8722ES. Các kết quả thể hiện trên Hình 4 và Hình 5 cho thấy các kết quả đo và mô phỏng của ăng ten được đề xuất gần như tương thích hoàn toàn với nhau trong hai băng tần hoạt động 28 GHz và 38 GHz. Tuy có tồn tại sai khác do sự không hoàn hảo của quá trình chế tạo và quá trình đo của ăng ten thực nghiệm. Vì vậy nó phù hợp với yêu cầu thiết kế của ăng ten cho ứng dụng 5G. Hình 6a là hình ảnh chụp của ăng ten đã được chế tạo và Hình 6b thể hiện hình chụp kết quả đo hệ số phản xạ của ăng ten trên máy phân tích mạng vectơ Agilent 8722ES.



(a) (b)
Hình 5. Kết quả mô phỏng và đo các hệ số tăng ích (a) và hiệu suất bức xạ (b) của các ăng ten trong nghiên cứu



(a) (b)

Hình 6. Các ăng ten đã được chế tạo (a) nhìn từ trên, (b) hình ảnh với máy đo hệ số suy hao

Từ việc so sánh các kết quả đạt được của các ăng ten trải qua các bước cải tiến trong thiết kế, cho thấy việc kết hợp hình học fractal Minkowski các đơn vị SRR làm phân siêu bề mặt xung quanh thành phần bức xạ đã tạo nên một ăng ten hoạt động tại băng tần kép cho ứng dụng 5G sóng milimet. Bên cạnh đó băng thông của các dải tần và độ lợi của ăng ten cũng được cải thiện đáng kể đặc biệt là dải tần 38 GHz với độ rộng băng thông là 8,45 GHz. Bên cạnh đó bài báo này cũng đã so sánh với các kết quả công bố trước đó (thể hiện trong Bảng 4).

Bảng 4. So sánh hiệu năng của các ăng ten hoạt động ở dải tần milimet trong thiết kế này với các thiết kế khác đã công bố trước đây

Tham chiếu	Băng tần hoạt động	Kích thước (mm ³)	Băng thông	Hệ số tăng ích cao nhất (dBi)	Hiệu suất bức xạ (%)
[10]	28 GHz	7,7×9,5×0,8	1,2 GHz	7,1	-
[15]	28 GHz	12,3×12,3×1,575	6 GHz	7,5	82,75
[16]	28 GHz	14×14×0,787	2 GHz	6,1	90
Thiết kế này	28 GHz và 38 GHz	6,5×6,5×0,6	2,35 GHz và 8,45 GHz	8,29	91

4. Kết luận

Một quy trình thiết kế ăng ten hoạt động tại hai băng tần sóng milimet 28 GHz và 38 GHz cho các ứng dụng 5G được trình bày. Quá trình này được thực hiện bằng cách lần lượt thay đổi cấu hình của các ăng ten từ dạng hình tròn đến dạng fractal Minkowski có sửa đổi và cuối cùng là bổ sung các cấu trúc siêu vật liệu xung quanh thành phần bức xạ để tạo nên một lớp siêu bề mặt. Các ăng ten được thiết kế trên vật liệu nền của Rogers RT/duroid 5880 với hằng số điện môi là 2,2, tiếp tuyến suy hao là 0,0009 và chiều cao là 0,6 mm, chúng được cấp nguồn bằng đầu dò đồng trục.

Kết quả đạt được của nghiên cứu là đã tạo ra một ăng ten hoạt động tại băng tần kép cho ứng dụng 5G dải sóng milimet. Ngoài việc ăng ten đề xuất hoạt động thêm tại băng tần $f_2 = 38$ GHz với độ rộng băng thông $BW_2 = 8,45$ GHz thì băng thông ở dải tần thứ nhất ($f_1 = 28$ GHz) của ăng ten được đề xuất đã tăng 19% so với ăng ten ban đầu ($BW_1 = 2,35$ GHz). Bên cạnh đó, độ lợi của ăng ten được đề xuất cũng tăng đáng kể so với ăng ten vi dải, cụ thể độ lợi lớn nhất đạt được là 8,29 dBi trong khi độ lợi ăng ten ban đầu là 5,63 dBi. Đây là một kết quả hấp dẫn, cần được quan tâm và áp dụng trong thiết kế các hệ thống khác. Ngoài ra, phương pháp thiết kế này có thể được sử dụng với các vật liệu điện môi khác nhau, có hệ số điện môi thấp hơn sẽ tạo ra các ăng ten có độ lợi được cải thiện.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn đề tài cấp Bộ mã số B2021-TDV-02 do Bộ Giáo dục và Đào tạo tài trợ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] C. Cox, *An Introduction to 5G: The New Radio, 5G Network and Beyond*. John Wiley & Sons, 2020.
- [2] D. Brenner, "Global 5G spectrum update," in *Spectrum Strategy & Technology Poiley*, SVP, 2020.
- [3] M. P. Patel, "Miniaturisation Method to Reduce the Size of Microstrip Antenna for Lower Frequency," *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, vol. 1, no. 1, pp. 6-8, 2013.
- [4] N. Cohen, "Fractal antenna applications in wireless telecommunications," in *Professional Program Proceedings of Electronic Industries Forum of New England*, 1997, pp. 43-49.
- [5] T. N. Cao and W. J. Krzysztofik, "Hybrid Minkowski fractal island antenna operating in two bands of GPS satellite system," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, 2016, pp. 211-212.
- [6] S. R. S. Parmar and H. Singh, "Analysis of Fractal Geometries and its Applications in Microstrip Antenna," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 194-198, 2017.
- [7] Y. Cui, Y. He, Y. Jin, F. Ding, L. Yang, Y. Ye, and S. He, "Plasmonic and metamaterial structures as electromagnetic absorbers," *Laser Photon. Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 495-520, 2014.
- [8] T. Itoh and C. Caloz, *Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications*. John Wiley & Sons, 2005.
- [9] Krzysztofik, W. Jan, and T. N. Cao, "Metamaterials in application to improve antenna parameters," *Metamaterials and Metasurfaces*, vol. 12, no. 2, pp. 63-85, 2018.
- [10] S. Tariq, S. I. Naqvi, N. Hussain, and Y. Amin, "A metasurface-based MIMO antenna for 5G millimeter-wave applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 51805-51817, 2021.
- [11] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & Sons, 2016.
- [12] R. Kubacki, M. Czyżewski, and D. Laskowski, "Minkowski island and crossbar fractal microstrip antennas for broadband applications," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 3, p. 334, 2018.
- [13] Q. Luo, H. M. Salgado, and J. R. Pereira, "Fractal monopole antenna design using minkowski island geometry," in *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2009, pp. 1-4.
- [14] M. P. Vargas, "Fundamentals of metamaterial structures," in *Planar Metamaterial Based Microwave Sensor Arrays for Biomedical Analysis and Treatment*, Springer, 2014, pp. 7-31.
- [15] Y. Cheng and Y. Dong, "Wideband circularly polarized planar antenna array for 5G millimeter-wave applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 5, pp. 2615-2627, 2020.
- [16] M. M. Kamal, S. Yang, X.-C. Ren, A. Altaf, S. H. Kiani, M. R. Anjum, A. Iqbal, M. Asif, and S. I. Saeed, "Infinity Shell Shaped MIMO Antenna Array for mm-Wave 5G Applications," *Electron.*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.3390/electronics10020165.