

# Cấu trúc Fractal và ứng dụng trong thiết kế anten đa băng, băng rộng cho hệ thống truyền thông tiên tiến

ThS. Dương Thị Thanh Tú, Nguyễn Ngọc Tú

*Cùng với sự phát triển như vũ bão của khoa học kỹ thuật, các thiết bị điện tử với các công nghệ mới ra đời, đòi hỏi thiết bị thu phát sóng vô tuyến mà thành phần quan trọng là anten ngày càng cải tiến, phát triển. Nhiều công nghệ, kỹ thuật được áp dụng trong lĩnh vực thiết kế anten; trong đó, anten Fractal là một hướng đi tiềm năng, thu hút rất nhiều nhà khoa học tham gia nghiên cứu và phát triển để ứng dụng trong thiết bị đầu cuối di động cho các hệ thống truyền thông tiên tiến.*

## CẤU TRÚC FRACTAL

Nền tảng đầu tiên của Fractal được nhà toán học, vật lý học Leibniz đưa ra là self-similarity (tính tự đồng dạng). Self-similarity là cấu trúc Fractal được tạo ra từ những nguyên tố giống nhau bằng cách sắp xếp theo một kiểu nào đó. Có thể phân chia

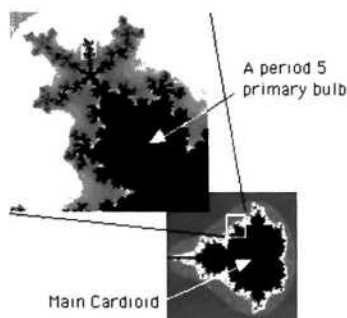
Self-similarity thành:

- Exact self-similarity: là các Fractal có cấu trúc hình học, được tạo chính xác từ các bản copy của 1 nguyên tố (Hình 1). Điển hình là cấu trúc hình tam giác do nhà toán học Sierpinski đưa ra, hay kiến trúc đường cong của Koch. Đầu tiên, nó là những tam giác đều hay hình vuông và loại bỏ tam giác đều hay hình vuông nhỏ ở giữa. Sau đó, từ các phần từ cơ bản này lặp đi lặp lại nhiều lần để được cấu trúc Fractal mong muốn.

- Approximate self-similarity: là các Fractal có cấu trúc gồm một phần được tạo từ một số bản copy của 1 nguyên tố. Hình 2 là một ví dụ về kiến trúc này, kiến trúc do nhà toán học Mandelbrot tìm ra. Nó có hình dạng không đối xứng như tam giác Sierpinski hay miếng bọt biển Menger mà nó được tạo ra bằng cách ghép một số bản copy lại với nhau.



Hình 1: Hình dạng cấu trúc Exact self-similarity.



Hình 2: Kiến trúc Mandelbrot.

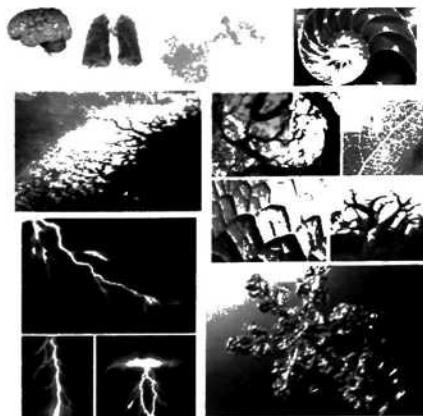
- Statistical self-similarity: là các Fractal được tạo ra bởi một số mẫu ngẫu nhiên, thường là các cấu trúc Fractal trong tự nhiên (Hình 3) như lá phổi, não người, là cây, ốc hay sấm sét...

Cấu trúc Fractal được sử dụng trong chế tạo anten thường là Fractal có cấu trúc hình học (Exact self-similarity).

Bài báo này trình bày việc ứng dụng cấu trúc Fractal Exact self-similarity, để thiết kế anten băng rộng (UWB) và anten hoạt động tại đa băng tần, loại hình anten đặc trưng cho các hệ thống truyền thông tiên tiến hiện nay.

## NGUYÊN LÝ TÍNH TOÁN FRACTAL CHO THIẾT KẾ ANTEN

Có nhiều phương pháp được sử dụng để tính toán cấu trúc hình học Fractal như kỹ thuật đệ quy, tam giác Pascal, thuật toán tiến định (Deterministic Algorithm), hay thuật toán lặp ngẫu nhiên... Trong khuôn khổ bài báo này, chỉ giới thiệu hai phương pháp cơ bản: sử dụng kỹ thuật đệ quy và tam giác Pascal.



Hình 3: Cấu trúc Fractal tìm thấy trong tự nhiên.

### 1. Kỹ thuật đệ quy initiator/generator

Các Fractal được phát sinh bằng cách sử dụng đệ quy initiator/generator cho kết quả là các hình tu đồng dạng. Các hình này có số chiều Fractal được tính theo công thức sau:

$$D = \frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{R}\right)}$$

Trong đó:

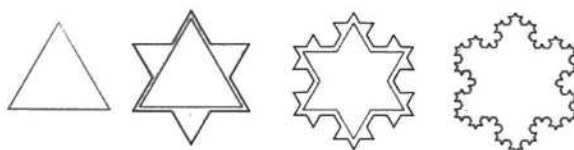
D: số chiều Fractal.

N: số đoạn thẳng.

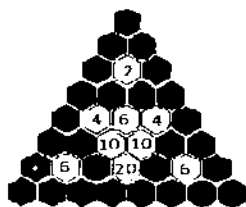
R: số chiều dài của mỗi đoạn.

Việc so sánh số chiều Fractal với số chiều trong hình học Euclid cho chúng ta thông tin về tính chất của Fractal. Đó là nếu D có giá trị 1 thì chỉ là đoạn thẳng thông thường, còn nếu D có giá trị 2 có nghĩa là đường cong phủ hoàn toàn mặt phẳng.

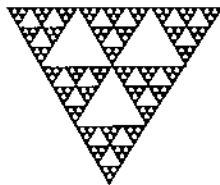
Với kỹ thuật đệ quy initiator/generator, chúng ta bắt đầu bằng một initiator, nó có thể là một đoạn



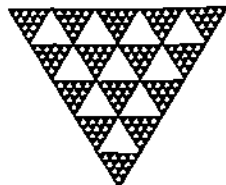
Hình 4: Hoa tuyết Von Koch.



mod-2



mod-3



mod-5

Hình 5: Tam giác Pascal và Sierpinski(mod 2,3,5).

thẳng hay một đa giác. Mỗi cạnh của initiator được thay thế bởi một generator là tập liên thông của các đoạn thẳng tạo nên bằng cách đi từ điểm bắt đầu đến điểm cuối của đường thay thế [generator có thể là một lưới vuông hay một lưới tạo bởi các tam giác đều]. Sau đó mỗi đoạn thẳng của hình mới được thay thế bởi phiên bản nhỏ hơn của generator. Quá trình này tiếp tục không xác định. Kết quả sẽ nhận được các hình có cấu trúc fractal khác nhau. Hình 4 cho ta thấy cách tạo ra hoa tuyết Von Koch bằng phương pháp đệ quy.

## 2. Tam giác Pascal

Tam giác Sierpinski cũng là một cấu trúc fractal, ngoài cách được tạo ra bằng đệ quy initiator/generator còn có thể được tạo ra bằng cách sử dụng tam giác Pascal (Hình 5, mod 2).

Một tam giác Pascal được tạo lên từ các node, mỗi node có chứa một giá trị. Hàng thứ  $i$  có  $i$  node, với  $i = 1 : n$  và  $n$  là số hàng. Nếu các giá trị tại các node chia hết cho một số nguyên tố  $p$  ( $p = 2, 3, 5, \dots$ ) bị xóa bỏ, thì kết quả thu được là một fractal tự đồng dạng (self-similar) gọi là "Sierpinski gasket Mod- $p$ ". Như vậy sẽ tạo ra được các "Sierpinski gasket Mod-2,

Mod 3 hay Mod-5" (Hình 5) nếu như xóa bỏ các node có giá trị chia hết cho 2, 3 và 5 tương ứng.

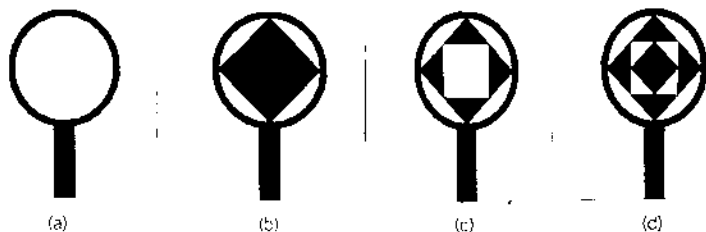
## ỨNG DỤNG FRACTAL CHO THIẾT KẾ ANTEN

Việc ứng dụng cấu trúc Fractal trong thiết kế anten, không những tạo ra các thiết kế anten có kích thước nhỏ gọn (nhờ làm tăng chiều dài điện trên anten) mà còn mở rộng băng thông cũng như tạo ra các thiết kế anten đa băng, đáp ứng yêu cầu của các thiết bị đầu cuối tiên tiến ngày.

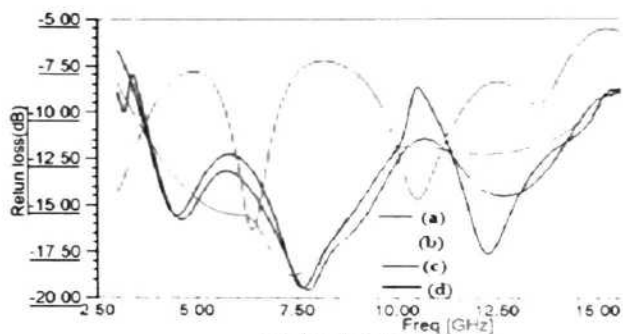
### 1. Thiết kế anten Fractal băng rộng

Anten được giới thiệu là anten Fractal Sierpinski băng siêu rộng (Hình 6). Cấu trúc anten được tạo thành bằng cách kết hợp cấu trúc Fractal Sierpinski bên trong một vòng tròn có chiều rộng 1 mm để tăng băng thông và hiệu suất bức xạ. Kích thước anten là  $29 \times 28 \times 1,6$  mm<sup>3</sup> với chất nền sử dụng là FR4 ( $\epsilon_r = 4,4$ ), tiếp điện bằng đường vi dài  $11,1 \times 3$  mm<sup>2</sup>.

Kết quả đạt được (Hình 7) cho thấy rõ băng thông được cải thiện rất nhiều khi có mặt của cấu trúc Fractal. Khi chưa sử dụng Fractal, anten là đa băng nhưng tham số S11 băng -16 dB còn cao, băng



Hình 6: Cấu trúc anten Fractal Sierpinski. (a) hình tròn, (b) vòng ngoài, (c) bậc 1, (d) bậc 2, (e) bậc 3.



Hình 7: Đồ thị S11.

thông đạt được 2 GHz. Với việc sử dụng Fractal Sierpinski băng thông thu được siêu rộng 10,6 GHz, hoạt động trong dải băng từ 3,7 GHz đến 14,3 GHz, và hoạt động tốt nhất tại tần số 7,6 GHz, tham số S11 cải thiện xuống -20 dB và hiệu suất được nâng cao, đạt 92%.

## 2. Thiết kế Anten Fractal đa băng tần

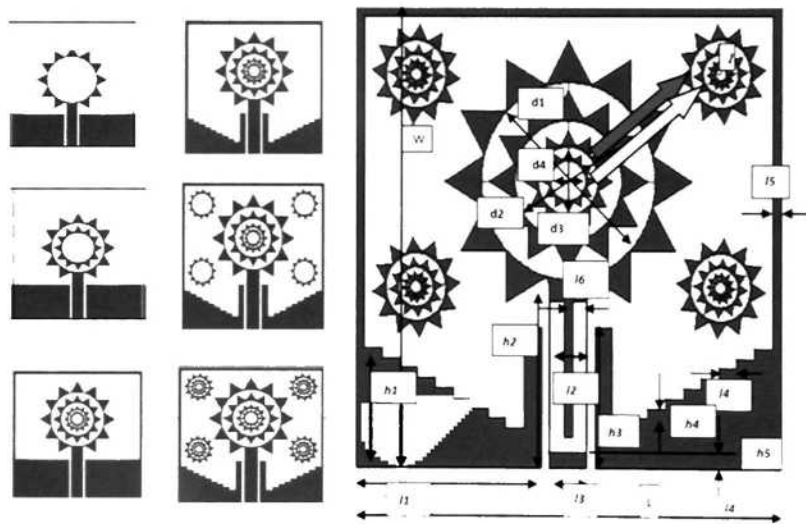
Ngoài ưu điểm mở rộng băng thông, sử dụng cấu

trúc Fractal trong thiết kế anten còn giúp cho anten hoạt động tại nhiều băng tần. Anten trình bày có dạng như Hình 8.

Anten Fractal này được thiết kế bằng cách kết hợp hai loại hình học là do-decagram và vòng tròn. Anten có kích thước khá nhỏ 23 x 24 x 0,8 mm<sup>3</sup>, sử dụng chất nền FR4 dày 0,8 mm. Mặt bức xạ tạo lên bởi các hình kết hợp do-decagram với vòng tròn xếp chồng lên nhau tạo ra cấu trúc

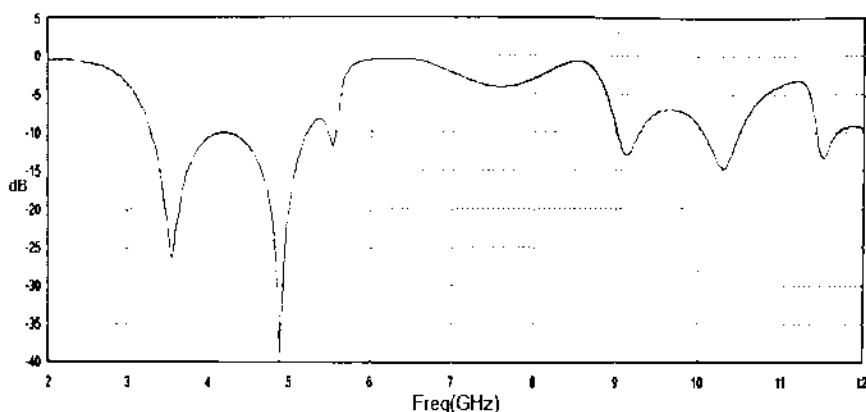
Fractal và các hình này được phân bố tại các vị trí khác nhau trên mặt bức xạ. Mặt khác, anten sử dụng CPW-fed, tiếp điện bằng đường vi dải và trên đường vi dải chế khe chữ U giúp tăng số băng hoạt động, độ tăng ích (gain) và hiệu suất của anten.

Kết quả đạt được của anten thể hiện trên đồ thị S11 (Hình 9) và đồ thị gain và hiệu suất bức xạ



$$\begin{aligned}
 d_1 &= 4.9 \text{ mm} & d_2 &= 1 \text{ mm} & d_3 &= 2.2 \text{ mm} & d_4 &= 0.75 \text{ mm} & d_5 &= 7 \text{ mm} \\
 d_6 &= 3 \text{ mm} & d_7 &= 10.5 \text{ mm} & d_8 &= 1 \text{ mm} & d_9 &= 6 \text{ mm} & d_{10} &= 0.5 \text{ mm} \\
 d_{11} &= 1.7 \text{ mm} & d_{12} &= 1.5 \text{ mm} & d_{13} &= 0.5 \text{ mm} & d_{14} &= 8.3 \text{ mm} & d_{15} &= 0.8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hình 8: Cấu trúc anten do-decagram và tiến trình tạo anten



Hình 9: Đồ thị S11.

(Hình 10). Dễ dàng nhận thấy, Anten hoạt động đa băng cụ thể: 3,5 GHz; 4,9 GHz; 5,5 GHz; 9,1GHz; 10,3 GHz và 11,5 GHz.

Anten hoạt động hiệu quả nhất tại 2 băng thấp là 3,5 GHz và 4,9 GHz với băng thông lớn và có gain 2,95 dB và 1,5 dB tương ứng. Anten Fractal đa băng này có thể sử dụng cho rất nhiều ứng dụng như LTE, Wimax, WLAN, băng FCC, thông tin vệ tinh băng C, băng X...

#### Tài liệu tham khảo

[1]. DOUGLAS H.WERNER, SUMAN GANGULI, *An Overview of Fractal Antenna Engineering Research*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 45, NO. 1, February 2003.

[2]. PHILIP HETTER, *Fractal antennas*, Illinois Institute of

Technology, January 16, 2001.

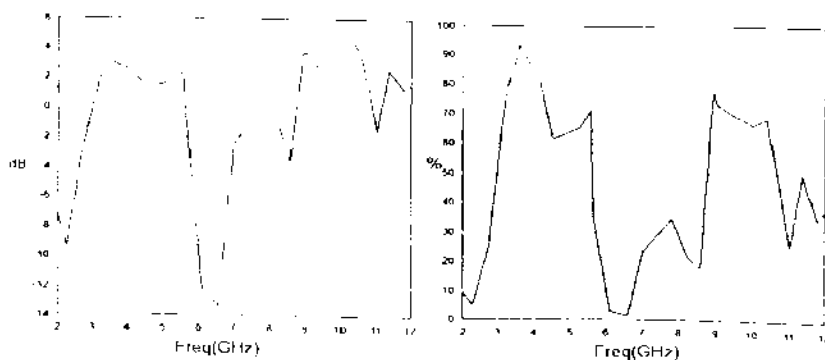
[3]. JANE ŽIDOVOSTNIK, *Fractal Structures*, Seminar-4, Lenik, Ljubljana, December 2012.

[4]. CONSTANTIN A. BALANIS, *Antenna theory analysis and design*, a John Wiley & son, 2005.

[5]. KULBIR SINGH, VINIT GREWAL and RAJIV SAXENA, *Fractal Antennas: A Novel Miniaturization Technique for Wireless Communications*, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 5, November 2009.

[6]. RAJAN TEOTIA, T. SHANMUGANANTHAM, *CPW Fed Dodecagram Fractal Antenna with DGS for Multiband Applications*, IEEE, 2015.

[7]. A.KAVYA, ZACHARIAH C ALEX, K. SHAMBAVI, *Design of Sierpinski Fractal UWB Antenna*, IEEE, 2015.



Hình 10: Đồ thị gain và hiệu suất bức xạ.