

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**  
**KHOA ĐIỆN-ĐIỆN TỬ**



**THUYẾT MINH**  
**ĐỀ TÀI NCKH CẤP TRƯỜNG**

**ĐỀ TÀI**  
**NGHIÊN CỨU CÁC GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN GIẢN ĐỒ**  
**HƯỚNG HỆ ANTEN THẲNG**

**Chủ nhiệm đề tài: PGS. TS. TRẦN XUÂN VIỆT**

**Hải Phòng, tháng 4/2016**

## Mục lục

DANH SÁCH BẢNG BIỂU .....	ii
DANH SÁCH HÌNH ẢNH .....	iii
MỞ ĐẦU .....	1
CHƯƠNG 1 .....	3
MÔ HÌNH TOÁN KHẢO SÁT HỆ ANTEN THẲNG .....	3
1.1.Các dạng cấu trúc hệ anten.....	3
1.2.Một số giả thiết.....	5
1.3.Mô hình toán khảo sát hệ anten thẳng.....	5
CHƯƠNG 2 .....	9
CÁC PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ TÍN HIỆU TRONG HỆ ANTEN .....	9
2.1.Các lợi ích cơ bản của hệ anten có xử lý tín hiệu .....	9
2.2.Các phương pháp xử lý tín hiệu trong hệ anten .....	14
2.2.1Định dạng búp sóng.....	14
2.2.2Mạng ấn định búp sóng .....	16
2.2.3.Hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng .....	17
2.2.4.Hệ anten phân tập không gian.....	18
2.3.Kết luận chương 2 .....	21
CHƯƠNG 3 .....	22
3.1.Hàm phương hướng của hệ anten thẳng .....	22
3.2.Tổng hợp các giải pháp điều khiển giản đồ hướng hệ anten thẳng.....	24
3.3.Đặc tính của hệ anten thẳng điều khiển giản đồ hướng .....	25
3.3.1.Búp sóng (cực đại chính) .....	25
3.3.2.Cực đại phụ. ....	26
3.3.3.Hệ anten Dolph-Chebyshev. ....	27
KẾT LUẬN .....	30
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	31

## **DANH SÁCH BẢNG BIỂU**

Bảng 1 : Phân loại các giải pháp điều khiển gián đồ hướng hệ anten thẳng .....24

## DANH SÁCH HÌNH ẢNH

Hình 1. Mô hình hệ anten có xử lý tín hiệu.....	3
Hình 2a. Biểu diễn hình học các hệ anten vòng và hệ anten phẳng. ....	4
Hình 2b. Biểu diễn hình học một hệ anten thẳng. ....	4
Hình3. Một mô hình tín hiệu của một hệ anten có xử lý tín hiệu.....	5
Hình 4. Hiệu quả mở rộng vùng phủ sóng phụ thuộc số phần tử hệ anten. ....	11
Hình 5. $SNR_{out}$ ứng với số phần tử anten khác nhau. ....	12
Hình 6. Một ví dụ về giản đồ hướng của hệ anten thẳng. ....	15
Hình 7.a. Ma trận Butler đối với một hệ anten ấn định búp sóng 4 x 4. ....	17
Hình 7.b. Hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng $N \times N$ . ....	18
Hình 8. Một hệ thống phân tập không gian sử dụng 2 hệ anten ....	19
Hình 9. Cấu trúc một hệ anten 3 phân vùng rẽ quạt 120 độ.....	20
Hình 10. Mô hình hình học hệ anten thẳng.....	22
Hình 11. Giản đồ hướng của hệ anten thẳng $N=6$ .....	24
Hình 12. Phân bố biên độ dòng điện hệ anten DolphChebyshev $N=8$ , $SLL=20dB$ .....	28
Hình 13. Giản đồ hướng hệ anten DolphChebyshev $N=8$ , $SLL=20dB$ .....	28

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu

Sóng vô tuyến được lan truyền dưới dạng một tín hiệu không gian-thời gian. Một anten đơn, chẳng hạn một anten thu độc lập, thì chỉ tín hiệu cảm ứng từ anten không chứa đựng được đặc tính không gian của tín hiệu. Còn đối với một hệ anten nhiều phần tử, việc xử lý tín hiệu kết hợp có thể khai thác được lượng tin tức có trong các đặc tính không gian của cả phân bố trường sóng vô tuyến và của cả phân bố không gian của các phần tử anten.

Hệ anten có xử lý tín hiệu là một trong những hướng công nghệ được quan tâm đặc biệt để nâng cao hiệu quả của các hệ thống thông tin vô tuyến điện. Hệ anten có xử lý tín hiệu có thể cải thiện chất lượng tín hiệu, tăng hiệu quả và dung lượng hệ thống thông tin, mở rộng phạm vi hoạt động và giảm thiểu chi phí đầu tư triển khai hệ thống...

### 2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài

Sóng vô tuyến lan truyền trong không gian là một dạng tín hiệu nhiều chiều, vì ngoài biến thời gian, tín hiệu còn mang các thông tin chứa đựng đặc tính không gian [1]. Trong một hệ anten, việc xử lý tín hiệu kết hợp cho phép khai thác được lượng tin tức chứa trong các đặc tính không gian của cả phân bố trường sóng vô tuyến và của cả phân bố không gian của các thành phần anten. Hệ anten có xử lý tín hiệu đã được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng từ hàng chục năm nay. Từ những công trình nghiên cứu, những tài liệu kinh điển về anten quét điện (*Microwave scanning antennas*), anten mạng pha (*Phase array antennas*), xuất hiện từ những năm 60, 70 thế kỷ trước đến những nghiên cứu trong thời gian gần đây về anten thích nghi (*Adaptive antennas*), về *Smart antennas*, về xử lý tín hiệu không gian-thời gian trong hệ anten ... cho thấy đây là một hướng nghiên cứu lớn trong kỹ thuật anten, đã và vẫn tiếp tục tập trung nhiều công sức của nhiều chuyên gia trong lĩnh vực này.

Trong một hệ anten, các phần tử có thể được sắp xếp trong không gian theo nhiều dạng hình học khác nhau, như theo một vòng tròn, theo một mặt phẳng hay theo một hình khối..., trong đó hệ anten thẳng với các phần tử được sắp

xếp dọc theo một trục thẳng và có khoảng cách đều nhau là một trong những cấu trúc điển hình được tập trung nghiên cứu. Trong các ứng dụng của hệ anten thẳng, tạo búp sóng hẹp và điều khiển quét búp sóng đã được nghiên cứu từ lâu và đã được áp dụng ngày càng tinh tế trong nhiều lĩnh vực quan trọng, như trong các hệ thống kiểm soát tần số vô tuyến điện, trong các hệ thống Radar hàng không từ các mục đích giám sát không lưu đến các mục đích phát hiện và truy theo tên lửa...

### **3. Mục tiêu, đối tượng, phạm vi nghiên cứu**

*Mục tiêu* của đề tài là đi sâu nghiên cứu tìm ra một số giới hạn điều khiển quét búp sóng trong các hệ anten dựa trên các điều chỉnh trọng số về pha và nghiên cứu vấn đề lượng tử hóa góc dịch pha trong hệ anten có gia công tín hiệu theo đặc tính pha.

*Đối tượng nghiên cứu* của đề tài là hệ anten thẳng - hệ anten có cấu trúc điển hình, và thường được sử dụng trong các nghiên cứu và ứng dụng của hệ anten có xử lý tín hiệu.

*Phạm vi nghiên cứu* của đề tài không đề cập đến tất cả các đặc tính của hệ anten thẳng, chỉ một số đặc tính quan trọng và trong một số điều kiện khảo sát nhất định, và có liên quan đến những kết quả nghiên cứu được ghi nhận mới được trình bày trong đề tài.

### **4. Phương pháp nghiên cứu, kết cấu của công trình nghiên cứu**

*Phương pháp nghiên cứu* của đề tài là mô phỏng máy tính dựa trên mô hình toán các thành phần của hệ anten thẳng và phương pháp tính số cùng các tiện ích đồ họa của công cụ phần mềm MATLAB. Các tính toán giải tích cũng được sử dụng trong đề tài cho những mục tiêu nhất định, như khi cần thiết để giảm nhẹ yêu cầu tính toán trong mô phỏng, hay khi xử lý các kết quả mô phỏng.

### **5. Kết quả đạt được của đề tài**

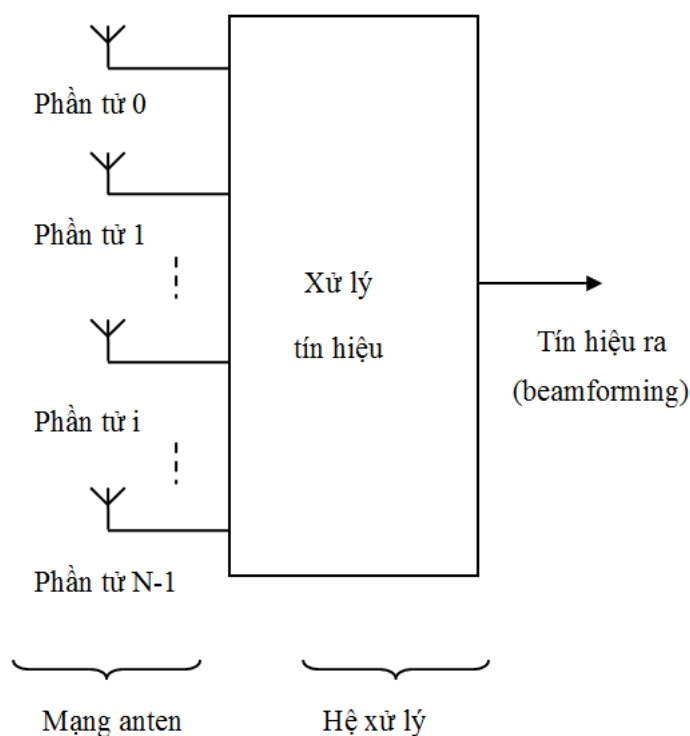
*Nội dung chính* của đề tài là giải quyết bài toán liên quan đến vấn đề điều khiển hướng của hệ anten thẳng. Đó là các giải pháp điều khiển pha, điều khiển biên độ, hoặc điều khiển kết hợp pha-biên độ trọng số các phần tử của hệ anten thẳng nhằm cải thiện các đặc tính của hệ anten.

# CHƯƠNG 1

## MÔ HÌNH TOÁN KHẢO SÁT HỆ ANTEN THẲNG

### 1.1. Các dạng cấu trúc hệ anten

Hệ anten có xử lý tín hiệu sử dụng một mạng anten nhiều phần tử có độ tăng ích nhỏ. Các phần tử được sắp xếp theo một dạng hình học nào đó mà thường gặp nhất là sắp xếp thẳng hàng, sắp xếp theo một vòng tròn hoặc theo một mặt phẳng (hình 1.2). Một dãy thẳng hàng bao gồm các phần tử mà tâm pha của nó được dóng theo một trục thẳng [2], và nếu khoảng cách giữa các phần tử kế tiếp bằng nhau thì ta có một hệ anten thẳng (*Uniform Linear Array*). Tương tự, hệ anten vòng bao gồm các phần tử mà tâm pha của chúng nằm trên một đường tròn. Và, hệ anten phẳng bao gồm các phần tử có tâm pha cùng nằm trên một mặt phẳng.

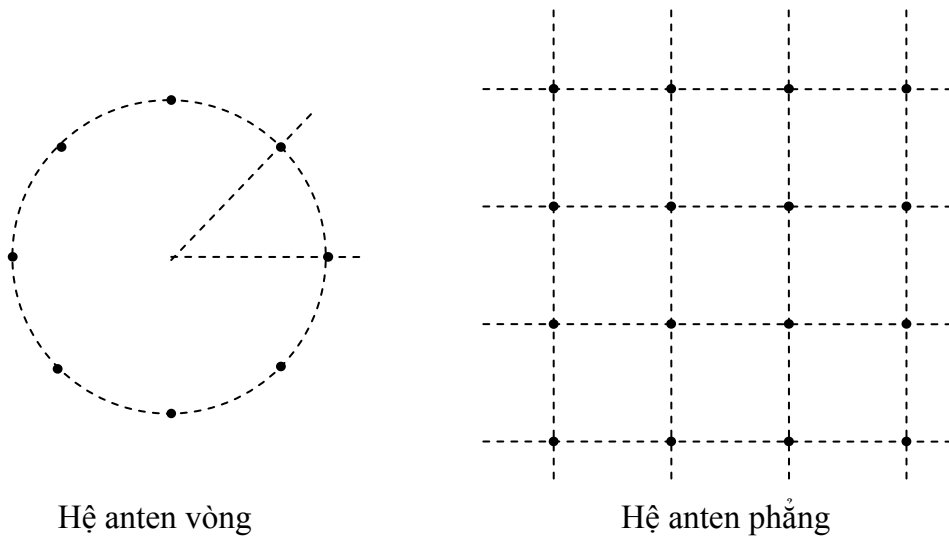


Hình 1. Mô hình hệ anten có xử lý tín hiệu.

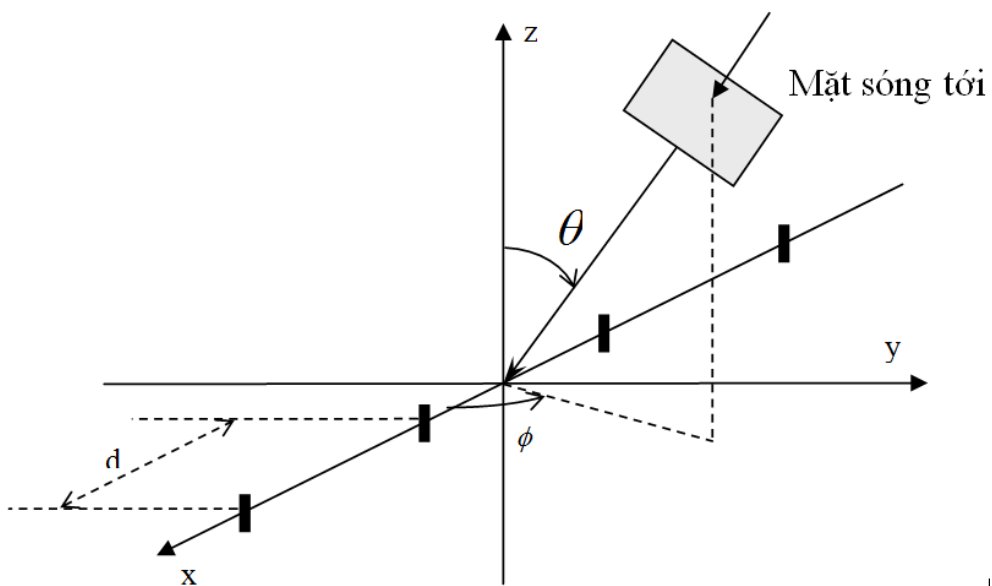
Trong khi hai loại hệ anten thẳng và hệ anten vòng chỉ tạo búp sóng một chiều (trong mặt phẳng nằm ngang) thì hệ anten phẳng có thể dùng để tạo búp sóng hai chiều (cả trong mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng thẳng đứng).

Mặc dù kết cấu hình học có thể khác nhau, nhưng nguyên lý xử lý tín hiệu có thể có những điểm chung, nên trong đề tài này chủ yếu khảo sát đối với hệ anten thẳng. Các phương pháp toán sẽ được sử dụng để mở rộng cho các dạng hình học khác [2].

Một ví dụ đơn giản về hệ anten thẳng thể hiện trên hình 1.2b. Ở đây  $\phi$  là góc phương vị, và  $\theta$  là góc ngẩng của mặt sóng đến, mặt phẳng nằm ngang tương ứng với  $\theta = \pi/2$ .



Hình 2a. Biểu diễn hình học các hệ anten vòng và hệ anten phẳng.



Hình 2b. Biểu diễn hình học một hệ anten thẳng.



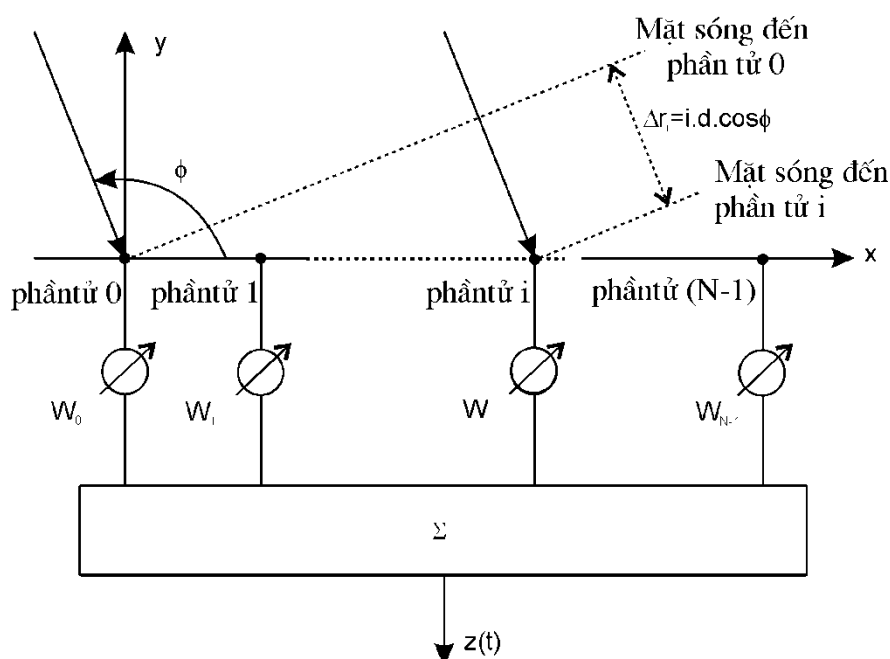
## 1.2. Một số giả thiết

Để đơn giản trong các phân tích về hệ anten có xử lý tín hiệu, có thể đưa ra giả thiết [2], [6]:

- Khoảng cách giữa các phần tử đủ nhỏ để không có sự khác biệt về biên độ giữa các tín hiệu cảm ứng trên các phần tử khác nhau.
- Không xét tới sự ghép tương hỗ giữa các phần tử.
- Tất cả các sóng đến có thể phân tách bởi một số hữu hạn các mặt sóng.

Có nghĩa là có hữu hạn tín hiệu.

## 1.3. Mô hình toán khảo sát hệ anten thẳng



Hình3. Một mô hình tín hiệu của một hệ anten có xử lý tín hiệu.

Đối với một mặt sóng đến hệ anten từ hướng  $(\theta, \phi)$ , sự khác pha giữa tín hiệu đến phần tử  $i$  và phần tử 0, tại gốc tọa độ, là:

$$\Delta\varphi_i = k_x \cdot d_i = k \cdot (x_i \cdot \cos\phi \cdot \sin\theta + y_i \sin\phi \cdot \sin\theta + z_i \cos\theta) \quad (1.1)$$

ở đây  $k = 2\pi/\lambda$  là hệ số pha,  $\lambda$  là bước sóng,  $d_i$  là vị trí phần tử  $i$ .

Biểu diễn hình học của một hệ anten thẳng như trên hình 1.2b và biểu diễn mô hình xử lý tín hiệu của hệ anten như trên hình 1.3. Mỗi nhánh tác động

một thành phần trọng số,  $w_i$ . Thành phần trọng số  $w_i$  có thể biến đổi cả độ lớn và pha tương ứng với mỗi phần tử.

Hướng của mặt sóng đến  $(\theta, \phi)$  có quan hệ với trục của hệ anten. Biểu diễn tín hiệu tác động vào hệ anten là  $s(t)$ . Giả thiết rằng tạp âm ở tất cả các phần tử riêng biệt có cùng độ lớn ở mọi hướng. Sử dụng (1.1) với  $x=i.d$ , tín hiệu thu được tại phần tử  $i$  của hệ anten là:

$$u_i(t) = As(t)e^{(-j)\cdot\phi_i} = As(t)e^{(-j)\cdot k.i.d} = As(t)e^{(-j)\cdot k.i.d.\cos\phi.\sin\theta} \quad (1.2)$$

ở đây A là một hằng số.

Tín hiệu  $z(t)$  ở đầu ra hệ anten là:

$$z(t) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i u_i(t) = As(t) \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{(-j)\cdot k.i.d.\cos\phi.\sin\theta} = As(t) f(\phi, \theta) \quad (1.3)$$

Hàm  $f(\phi, \theta)$  được gọi là hệ số mạng :

$$f(\phi, \theta) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{(-j)\cdot k.i.d.\cos\phi.\sin\theta} \quad (1.4)$$

Hệ số mạng xác định tỷ số của tín hiệu thu được tại đầu ra của hệ anten  $z(t)$ , trên tín hiệu  $As(t)$ , đo được trên phần tử gốc, nó như là hàm của hướng sóng tới  $(\phi, \theta)$ . Bằng việc điều chỉnh giá trị trọng số,  $\{w_i\}$ , có thể thu được cực đại hệ số mạng theo hướng mong muốn ( $\theta = \chi, \phi = \alpha$ ).

Công suất thu tại đầu ra của hệ anten là:

$$P_r = \frac{1}{2} |z(t)|^2 = \frac{1}{2} |As(t)|^2 |f(\theta, \phi)|^2 \quad (1.5)$$

Trong trường hợp tổng quát, giản đồ hướng của hệ anten là một hàm của cả  $\theta$  và  $\phi$ . Nếu giản đồ hướng của mỗi phần tử là  $g_a(\theta, \phi)$  và tất cả các phần tử đều có hướng tính chung, thì giản đồ hướng tính tổng hợp của hệ anten cho bởi [2]:

$$F(\theta, \phi) = f(\theta, \phi) \cdot g_a(\theta, \phi) \quad (1.6)$$

Đó chính là nguyên lý nhân giản đồ hướng. Mỗi một phần tử cũng có một trạng thái phân cực tương ứng với nó, phụ thuộc vào mặt sóng đến. Giả thiết rằng mặt sóng đến các phần tử là cùng phân cực, để loại bỏ suy hao do phân cực trong sự tương tác giữa mặt sóng với mỗi phần tử [1].

Khi khảo sát hệ anten có xử lý tín hiệu, sử dụng khái niệm véc tơ rất tiện lợi [2]. Ta định nghĩa véc tơ trọng số như sau:

$$\mathbf{w} = [w_0 \dots w_{N-1}]^H \quad (1.7)$$

Tín hiệu từ mỗi phần tử được nhóm lại trong véc tơ số liệu:

$$\mathbf{u} = [u_0(t) \dots u_{N-1}(t)]^T \quad (1.8)$$

trong đó:  $[\cdot]^T$  là ký hiệu chuyển vị, còn  $[\cdot]^H$  là ký hiệu chuyển vị Hermitian.

Do đó tín hiệu ra của hệ anten  $z(t)$  có thể biểu diễn theo véc tơ trọng số  $\mathbf{w}$  và véc tơ số liệu  $\mathbf{u}(t)$ :

$$z(t) = \mathbf{w}^H \mathbf{u}(t) \quad (1.9)$$

Hệ số mạng theo hướng  $(\theta, \phi)$  là:

$$f(\theta, \phi) = \mathbf{w}^H \mathbf{a}(\theta, \phi) \quad (1.10)$$

Véc tơ  $\mathbf{a}(\theta, \phi)$  được gọi là véc tơ lái (*steering vector*) theo hướng  $(\theta, \phi)$ . Như biểu diễn trên hình 1.3 một mặt sóng đến theo hướng  $(\theta, \phi)$ , véc tơ lái  $\mathbf{a}(\theta, \phi)$  biểu thị pha của tín hiệu trên mỗi phần tử tương quan đến pha của tín hiệu trên phần tử gốc (phần tử 0). Sử dụng (1.1), véc tơ lái viết lại như sau:

$$\mathbf{a}(\theta, \phi) = [1 \quad a_1(\theta, \phi) \quad \dots \quad a_{N-1}(\theta, \phi)] \quad (1.11)$$

ở đây:

$$a_i(\theta, \phi) = e^{(-j).k.(x_i \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta + y_i \cdot \sin \phi \cdot \sin \theta + z_i \cos \theta)} \quad (1.12)$$

Một tập hợp các véc tơ lái, hoặc đo đạc hoặc tính toán, với tất cả các giá trị của  $\theta$  và  $\phi$  được gọi là tập số liệu của hệ anten (*array manifold*). Trong các phân tích về hệ anten có xử lý tín hiệu, khái niệm tập số liệu của hệ anten được ứng dụng trong tìm phương, định dạng búp sóng đường xuống, và nhiều ứng dụng khác của hệ anten có xử lý tín hiệu. Cặp góc  $(\theta, \phi)$  được gọi là hướng sóng tới (DOA – *Direction-Of-Arrival*) của mặt sóng thu được. Trong nhiều trường hợp để cho đơn giản, và cũng sát với thực tế, ta giả thiết rằng các thành phần đa đường ở trong mặt phẳng nằm ngang,  $\theta = \pi/2$ , và như vậy góc phương vị  $\phi$  được hiểu là hướng sóng tới.

## CHƯƠNG 2

### CÁC PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ TÍN HIỆU TRONG HỆ ANTEN

#### 2.1. Các lợi ích cơ bản của hệ anten có xử lý tín hiệu

- Trong các hệ thống thông tin di động, hệ anten có xử lý tín hiệu có thể mở rộng vùng phủ sóng thông qua khả năng tăng cự ly, lấp đầy chỗ trống và thâm nhập các toà nhà. Cùng một công suất phát của trạm gốc và thiết bị đầu cuối thuê bao, hệ anten có xử lý tín hiệu có thể gia tăng cự ly thông tin do tăng độ khuếch đại của anten trạm gốc.

Công suất thu tín hiệu đường lên được viết bởi:

$$P_r = P_t + G_s + G_b - PL \quad (2.1)$$

trong đó:  $P_r$  là công suất thu ở trạm gốc,  
 $P_t$  là công suất phát của đầu cuối thuê bao,  
 $G_s$  là hệ số khuếch đại của anten đầu cuối thuê bao,  
 $G_b$  là hệ số khuếch đại của anten trạm gốc.

Ở đường lên, nếu một công suất thu xác định nào đó,  $P_{r,\min}$ , được yêu cầu đối với trạm gốc có hệ số khuếch đại anten,  $G_b$ , thì đường truyền chấp nhận suy hao là PL:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (2.2)$$

trong đó:  $n$  là một hệ số phụ thuộc môi trường truyền sóng,  
 $d_0$  là cự ly chuẩn,  
 $d$  là cự ly thông tin (giữa máy thu và máy phát),  
 $X_\sigma$  là phương sai của suy hao có phân bố Gaussian với trung bình 0 và độ lệch chuẩn  $\sigma$  [dB].

Như vậy khả năng tăng suy hao đường truyền chấp nhận cũng làm tăng cự ly thu,  $d$ , của trạm gốc. Vì hệ anten có xử lý tín hiệu có hệ số khuếch đại cao hơn so với anten thông thường, nên hệ thống có thể mở rộng cự ly, điều này đã được thảo luận chi tiết ở nhiều tài liệu về kỹ thuật anten [4], [5]. Còn để tăng

cự ly đường xuống cần phải sử dụng hệ anten ở máy thu thuê bao hoặc ở máy phát trạm gốc. Vì hệ anten có xử lý tín hiệu còn chưa thật khả thi đối với thiết bị đầu cuối thuê bao di động cầm tay, nên có thể sử dụng kỹ thuật định dạng búp sóng (*beamforming*) tại trạm gốc để tăng cự ly trong các hệ thống cân bằng. Hệ anten có xử lý tín hiệu cũng giữ một vai trò nhất định đối với đầu cuối thuê bao trong hệ thống thông tin vô tuyến cố định.

Độ tăng ích của hệ anten  $N$  phần tử thu được là:

$$G = 10 \log_{10} N \quad (2.3)$$

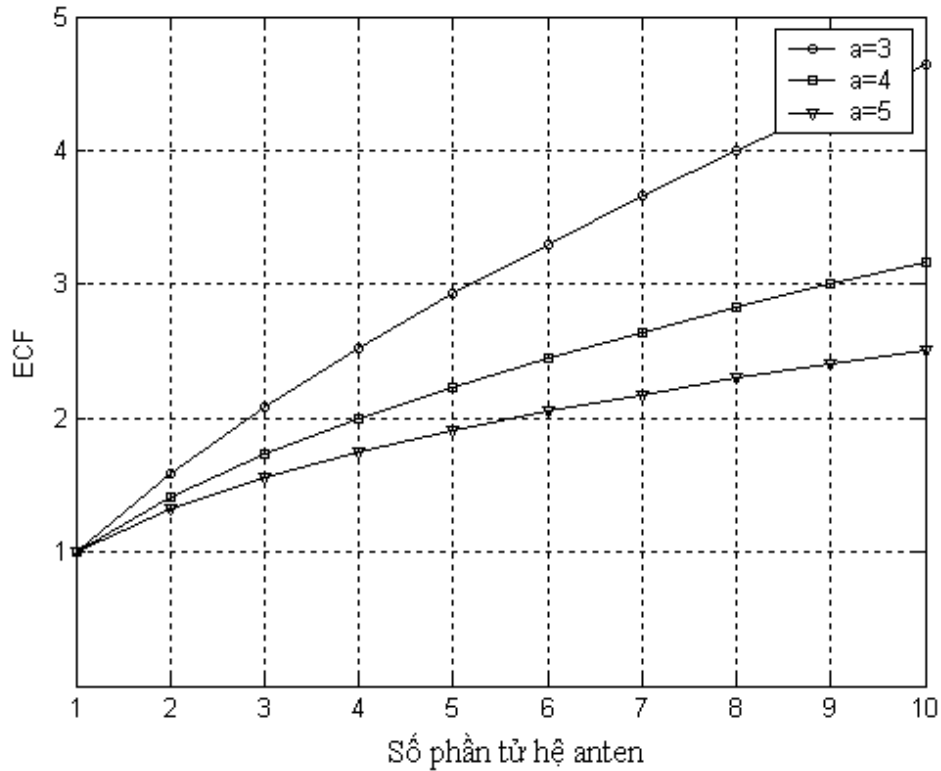
Sự gia tăng này kéo theo sự mở rộng vùng phủ sóng của trạm gốc. Khi góc phủ sóng nhỏ và suy hao dạng hàm mũ  $a$ , thì hệ số mở rộng dải (*REF-Range Extension Factor*) cho bởi:

$$REF = \frac{r_{array}}{r_{conv}} = N^{\frac{1}{a}} \quad (2.4)$$

ở đây  $r_{array}$  và  $r_{conv}$  là dải bao phủ bởi hệ anten (nhiều phần tử) và anten thường (một phần tử). Hệ số mở rộng vùng bao phủ (*ECF-Extended area Coverage Factor*) là:

$$ECF = \left( \frac{r_{array}}{r_{conv}} \right)^2 = REF^2 \quad (2.5)$$

Từ đồ thị hình 1.4, biểu diễn hệ số mở rộng vùng phủ sóng phụ thuộc cấu trúc hệ anten, thấy rằng với một anten 6 phần tử, vùng bao phủ được mở rộng gấp đôi so với anten đơn trong trường hợp  $a = 5$ . Vì số nghịch đảo của ECF đặc trưng cho sự giảm thiểu số trạm gốc trong các hệ thống thông tin di động, nên với yêu cầu phủ sóng cùng một vùng như anten đơn, rõ ràng là sử dụng hệ anten làm giảm nhỏ đáng kể số trạm gốc. Ví dụ, trong trường hợp trên với  $a = 5$ , số trạm gốc có thể giảm nhỏ còn một nửa số ban đầu.



Hình 4. Đồ thị biểu diễn hiệu quả mở rộng vùng phủ sóng phụ thuộc số phần tử hệ anten.

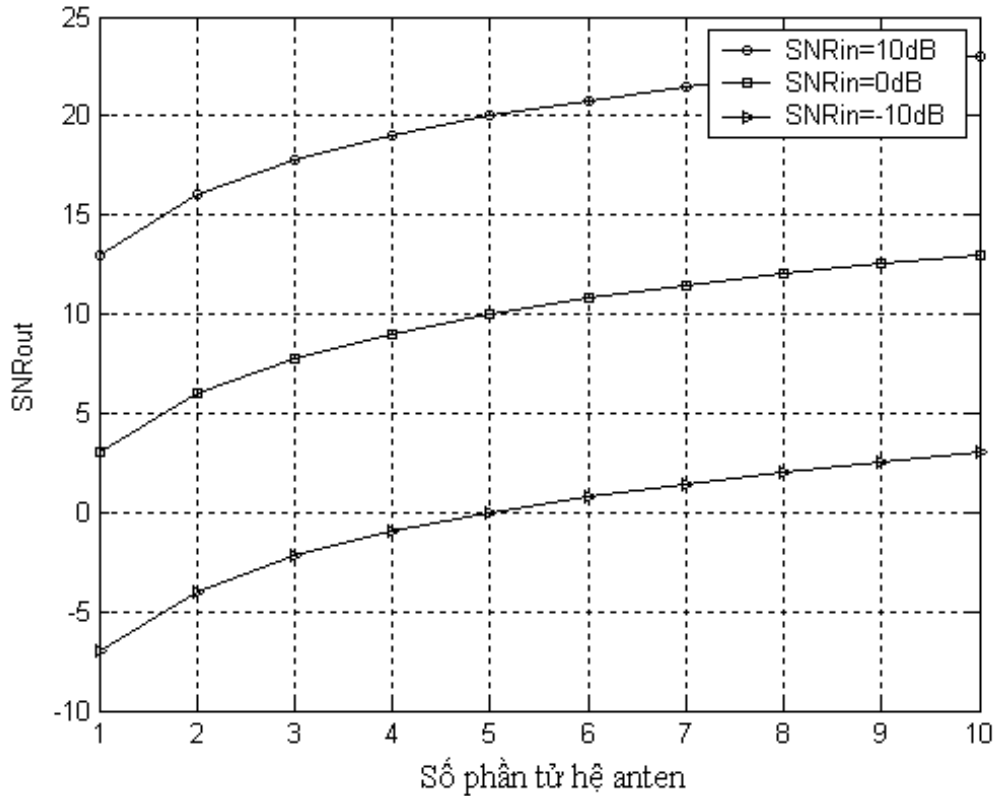
- Hệ anten có xử lý tín hiệu cải thiện chất lượng tín hiệu. Do sử dụng hệ anten nhiều phần tử, có thể nâng cao độ tăng ích của anten, điều đó phụ thuộc vào số phần tử được sử dụng. Do đó dẫn tới việc cải thiện tỷ số tín hiệu trên tạp âm cộng nhiễu (SINR). Kí hiệu SINR đầu vào là  $SNR_{in}$ , nếu số tác động nhiễu nhỏ hơn số bậc tự do (N-1) thì SINR đầu ra trong môi trường đơn đường sẽ là:

$$SINR_{out} = N.SINR_{in} \quad (2.6)$$

hoặc:

$$SINR_{out} [dB] = 10\log_{10} N + SINR_{in} [dB] \quad (2.7)$$

ở đây N là số phần tử của hệ anten.



Hình 5.  $SNR_{out}$  ứng với số phân tử anten khác nhau.

Trong môi trường pha-đỉnh đa đường, nếu quá trình xử lý tín hiệu trong cả hai miền không gian và thời gian như trong trường hợp xử lý thích nghi băng rộng, thì có thể thực hiện sự tăng ích đa dạng hơn nhờ vào số dây giữ chậm được sử dụng và đặc tính pha-đỉnh. Lấy ví dụ đơn giản là một mô hình 2 đường. Khi đường thứ 2 không có tương quan không gian, ví dụ tia tới trước và tia trễ đến từ góc 0 và 30 độ, SINR đầu ra được xác định bằng:

$$SINR_{out} [dB] = 10\log_{10} N + 10\log_{10}(2) + SNR_{in} [dB] \quad (2.8)$$

Điều này có nghĩa là cộng thêm vào độ tăng ích 3 dB thu được trong môi trường pha-đỉnh đa đường. Môi trường pha-đỉnh đa đường càng phong phú, thì độ tăng ích càng được lợi. Hình 1.5 vẽ các đường cong SNR đầu ra ứng với số phân tử anten được sử dụng.

- Với khả năng mở rộng vùng phủ sóng, chi phí ban đầu triển khai hệ thống thông tin di động, sử dụng hệ anten có xử lý tín hiệu, có thể được giảm thiểu. Khi triển khai ban đầu mạng di động tế bào, hệ thống thường được thiết kế các



vùng phủ sóng chòm kề nhau. Với các hệ thống chỉ có ít thuê bao, số lượng trạm gốc cần phát triển đảm bảo vùng phủ sóng tới hạn. Đối với hệ thống nhiều thuê bao hơn cho mỗi tế bào, dung lượng của hệ thống có thể tăng lên khi giảm nhỏ vùng phủ sóng của trạm gốc và tăng số tế bào. Trong các pha phát triển tiếp theo, thu nhập từ số đông thuê bao có thể bù đắp chi phí cho việc lắp đặt thêm các trạm gốc; tuy nhiên khi triển khai ban đầu để đảm bảo các vùng phủ sóng chòm kề, một số trạm gốc phải được lắp đặt ngoài vùng có thuê bao thường xuyên. Hệ anten có xử lý tín hiệu có thể giải quyết thỏa đáng vấn đề này bằng cách mở rộng kích thước tế bào. Tuy vậy, chi phí phát sinh do việc sử dụng hệ anten có xử lý tín hiệu phải được chú ý khi tính toán hiệu quả kinh tế của hệ thống.

- Hệ anten có xử lý tín hiệu cải thiện hiệu quả cho các hệ thống còn có khiếm khuyết và suy giảm độ nhạy do chưa hoàn thiện. Nhiều hệ thống thông tin di động hiện nay, nhất là các hệ thống CDMA yêu cầu điều khiển công suất đảm bảo sao cho tất cả các tín hiệu tới một trạm gốc là tương đương cùng một mức công suất. Hệ anten có xử lý tín hiệu giúp cho việc phân tách các tín hiệu từ các thuê bao khác nhau, làm giảm nhẹ yêu cầu điều khiển công suất hoặc làm giảm nhẹ tác động của những khiếm khuyết trong điều khiển công suất. Hệ thống thông tin di động CDMA cũng rất nhạy cảm với sự phân bố địa lý của thuê bao. Hệ anten có xử lý tín hiệu tập trung giảm đồ hướng theo các hướng nhất định tới các vùng có mật độ thuê bao cao nhất thời.

- Chất lượng kết nối thông tin cũng được cải thiện thông qua khả năng quản lý đa đường. Tính đa đường trong kênh vô tuyến có thể dẫn đến hiện tượng pha-đỉnh hoặc phân tán thời gian. Hệ anten có xử lý tín hiệu giúp giảm nhẹ ảnh hưởng của tính đa đường cũng như các đặc tính đa dạng vốn có của nó.

- Hệ anten có xử lý tín hiệu có thể cải thiện dung lượng hệ thống. hệ anten có xử lý tín hiệu có thể được sử dụng ở cả đầu cuối thuê bao và trạm gốc với cùng một cự ly như hệ thống thông thường nhưng với công suất thấp hơn. Ở các hệ thống TDMA và FDMA, điều này cho phép tái phân kênh do sử dụng lại tần số có hiệu quả hơn so với các hệ thống sử dụng anten thông thường, bởi vì tỷ số

sóng mang trên nhiều tầng lên rất nhiều do sử dụng hệ anten có xử lý tín hiệu. Ở hệ thống CDMA, nếu hệ anten có xử lý tín hiệu được sử dụng ở đầu cuối thuê bao thì công suất phát thấp hơn ở mỗi đường lên, làm giảm nhỏ nhiễu xuyên kênh và do đó làm tăng số thuê bao đồng thời hoạt động trong mỗi tế bào.

- Hệ anten có xử lý tín hiệu cũng có thể được sử dụng để phân tách tín hiệu theo không gian, dẫn đến các thuê bao khác nhau sử dụng cùng phổ tần, lại được phân biệt bằng đặc tính không gian tại trạm gốc. Đa truy nhập phân chia không gian (SDMA – *space division multiple access*) cho phép nhiều thuê bao hoạt động trong cùng một tế bào, cùng một tần số/khe thời gian được cấp phát, nhưng sử dụng hệ anten có xử lý tín hiệu để phân tách tín hiệu. Vì phương thức này cho phép nhiều người dùng hơn với phổ tần hạn chế so với anten thông thường, nên đa truy nhập phân chia không gian đã làm tăng dung lượng hệ thống.

## **2.2.Các phương pháp xử lý tín hiệu trong hệ anten**

Có thể phân hệ anten có xử lý tín hiệu ra làm ba loại cơ bản: anten định dạng búp sóng băng hẹp (*Narrowband beamforming*), anten thích nghi (*Adaptive antennas*), anten thích nghi băng rộng (*Broadband adaptive antennas*).

Anten định dạng búp sóng băng hẹp được hiểu là một kỹ thuật xử lý tín hiệu trong một hệ anten nhiều phần tử đã được quan tâm nghiên cứu từ rất sớm, bắt đầu từ những năm 70, với thuật toán xử lý tín hiệu không thật phức tạp, chủ yếu là kỹ thuật quay pha tín hiệu giữa các phần tử anten (anten mạng pha) để tạo ra các giản đồ hướng có búp sóng hẹp và có thể được điều khiển theo một hướng lái tia xác định.

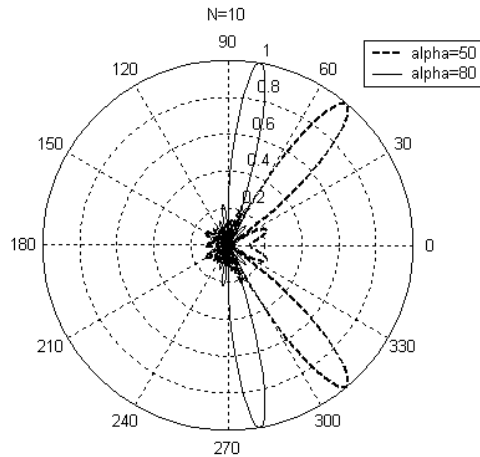
### **2.2.1 Định dạng búp sóng**

Đối với một hệ anten, việc tạo ra một búp sóng hẹp và điều khiển quét búp sóng là một trong những ứng dụng đã được quan tâm thực hiện lâu nay.

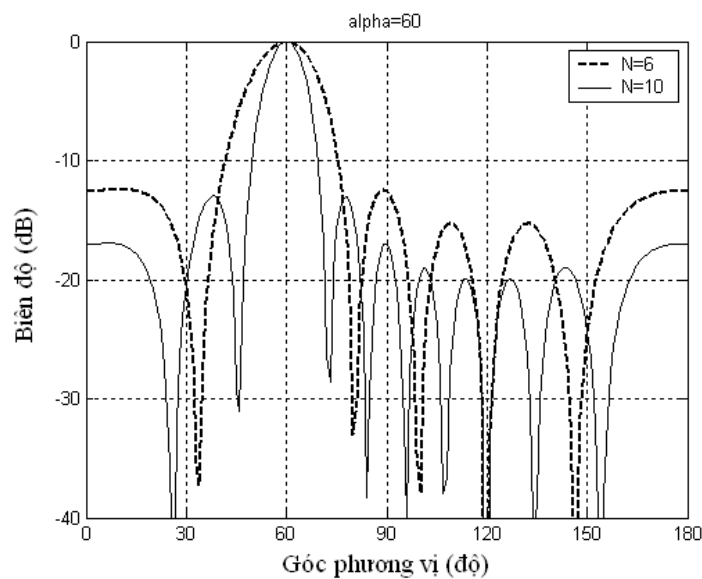
Để thấy được trọng số  $\{w_i\}$  có thể sử dụng làm thay đổi giản đồ hướng của hệ anten, hãy khảo sát một ví dụ đơn giản về một hệ anten thẳng hình 1.3. Xét trường hợp hướng sóng đến nằm trong mặt phẳng x-y (mặt phẳng nằm

ngang), tức là  $\theta = \pi/2$ , đây là trường hợp gần đúng thường gặp đối với nhiều tế bào và các hệ thống thông tin di động có ứng dụng hệ anten có xử lý tín hiệu. Ta có thể đặt trọng số của phần tử thứ  $i$  dưới dạng:

$$w_i = e^{j.k.i.d.\cos\alpha} \quad (2.9)$$



a) *Giản đồ hướng trong tọa độ cực với  $\alpha$  khác nhau*



b) *Giản đồ hướng trong tọa độ Đêcac với  $N$  khác nhau*

Hình 6. Một ví dụ về giản đồ hướng của hệ anten thẳng.

Bằng cách thay đổi  $\alpha$ , là hướng lái tia, búp sóng chính của hệ anten có thể được lái theo một hướng mong muốn.

Hình 1.6a là giản đồ hướng (vẽ trong tọa độ cực) của một hệ anten thẳng với số phần tử  $N=10$ , khoảng cách giữa các phần tử là  $d=\lambda/2$ , ứng với hai hướng lái tia  $\alpha_1 = 50^\circ$  (đường nét đứt) và  $\alpha_2 = 80^\circ$  (đường liền nét).

Khi tăng khẩu độ hệ anten thẳng, bằng cách tăng số phần tử của hệ anten, độ rộng búp sóng hẹp đi, tăng tính định hướng của hệ anten, như ví dụ trên hình 1.6b là giản đồ hướng (vẽ trong tọa độ Đêcac) với hướng lái tia  $\alpha = 60^\circ$ ,  $d = \lambda/2$ ,  $N_1=10$  (đường liền nét) và  $N_2=6$  (đường nét đứt).

### 2.2.2 Mạng ấn định búp sóng

Một mạng ấn định búp sóng được đặc trưng bởi một ma trận  $\mathbf{T}$  có  $N$  hàng, trong đó véc tơ tín hiệu ra,  $\mathbf{y}(t)$ , liên quan đến véc tơ tín hiệu vào,  $\mathbf{u}(t)$ , theo công thức:

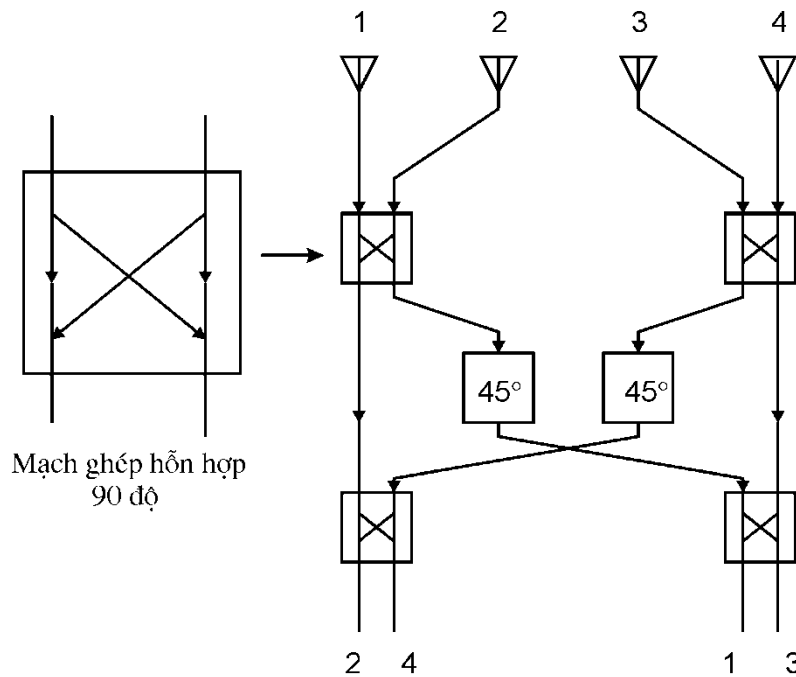
$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{T}^H \mathbf{u}(t) \quad (2.10)$$

Tín hiệu ra thứ  $i$  của mạng ấn định búp sóng tương ứng với một véc tơ trọng số là cột thứ  $i$  của ma trận  $\mathbf{T}$ . Thường thì một mạng ấn định búp sóng cho ra  $N$  búp sóng từ  $N$  phần tử. Ma trận hệ anten ấn định búp sóng bậc  $N \times N$  có thể viết:

$$\mathbf{T} = [\mathbf{w}_0 \quad \mathbf{w}_1 \quad \dots \quad \mathbf{w}_{N-1}] \quad (2.11)$$

Các búp sóng sẽ là trực giao nếu véc tơ trọng số tương ứng với mỗi búp sóng trực giao với từng véc tơ trọng số tương ứng với các búp sóng khác. Nếu ma trận  $\mathbf{T}$  có các cột trực giao, thì hệ anten ấn định búp sóng sẽ có một số tính chất đặc biệt, được ứng dụng trong cả hệ thống chuyển mạch búp sóng và hệ thống ấn định búp sóng kết hợp xử lý thích nghi. Hình 1.7b biểu diễn giản đồ búp sóng thu được từ một hệ anten ấn định búp sóng trực giao. Các kỹ thuật tương đối đơn giản được áp dụng là sử dụng các tầng bộ ghép hỗn hợp như trong ma trận Butler [2]. Hình 1.7a là một ma trận định dạng búp sóng  $4 \times 4$  theo thiết kế Butler. Ma trận ấn định búp sóng có tính 2 hướng, nghĩa là mỗi cổng tương ứng với một giản đồ búp sóng thu thực tế, cũng có thể sử dụng để phát xạ

với cùng giản đồ búp sóng. Giản đồ búp sóng của hệ anten ấn định búp sóng ma trận  $8 \times 8$  được biểu diễn trên hình 1.7b.



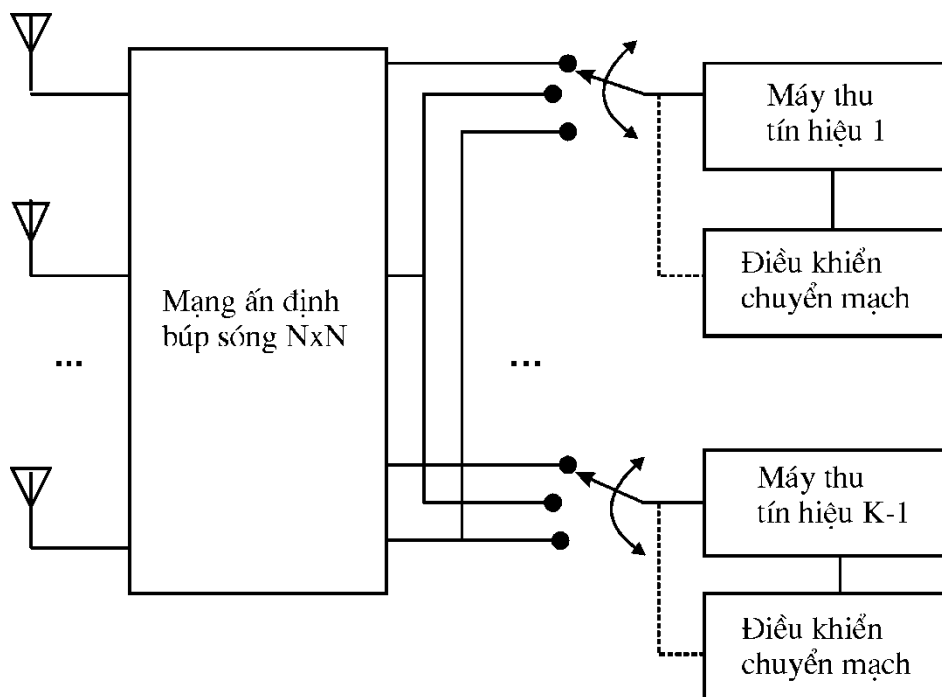
Hình 7.a. Ma trận Butler đối với một hệ anten ấn định búp sóng  $4 \times 4$ .

### 2.2.3. Hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng

Trong các hệ thống chỉ dùng mạng anten ấn định búp sóng, một chuyển mạch được sử dụng để lựa chọn búp sóng tốt nhất để thu một tín hiệu xác định. Hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng biểu diễn trên hình 1.8 là một mô hình thực hiện đơn giản, nó chỉ cần có một hệ anten định dạng búp sóng, một chuyển mạch cao tần và bộ điều khiển logic để lựa chọn búp sóng xác định. Với việc lựa chọn một đầu ra, một trong  $M$  véc tơ trọng số định trước đã được sử dụng như biểu diễn theo (1.23). Việc lựa chọn một búp sóng riêng biệt phải được thực hiện đối với mỗi máy thu. Kỹ thuật lựa chọn búp sóng phụ thuộc nhiều vào đặc trưng hệ thống FDMA, TDMA hay CDMA, tuy nhiên cũng có thể thực hiện chuyển mạch cho mỗi phương thức đa truy nhập [4], [5].

Các hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng có nhiều lợi thế so với các hệ anten khác ở chỗ giảm thiểu tính phức tạp và giá thành. Tuy nhiên nó cũng có một số hạn chế. Trước hết, hệ thống này không thể loại trừ được các thành phần đa đường có hướng tới gần với hướng sóng tới mong muốn. Theo [6], các hệ

thông chỉ dựa trên cơ sở mạng ấn định búp sóng nhạy cảm với phân bố hướng sóng tới của các thành phần đa đường hơn là các hệ thống dựa trên cơ sở xử lý thích nghi. Nhược điểm thứ hai của các hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng là ở chỗ nó không thể tận dụng được lợi thế của đặc tính đa dạng đường truyền bằng cách kết hợp các thành phần đa đường có tương quan... Mặc dù có những nhược điểm nhất định, nhưng các hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng vẫn được sử dụng do có một số lợi thế so với các hệ anten có xử lý tín hiệu phức tạp khác. Tùy thuộc môi trường truyền sóng, hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng giảm sự trễ thời gian, hệ thống này chỉ yêu cầu sự tương thích vừa phải với máy thu của trạm gốc so với các hệ thống anten thích nghi. Cuối cùng, vì hệ thống này có thể coi không phải là một công nghệ cao, nên các yêu cầu kỹ thuật phù hợp với nó không khắt khe như các hệ thống phức tạp khác.



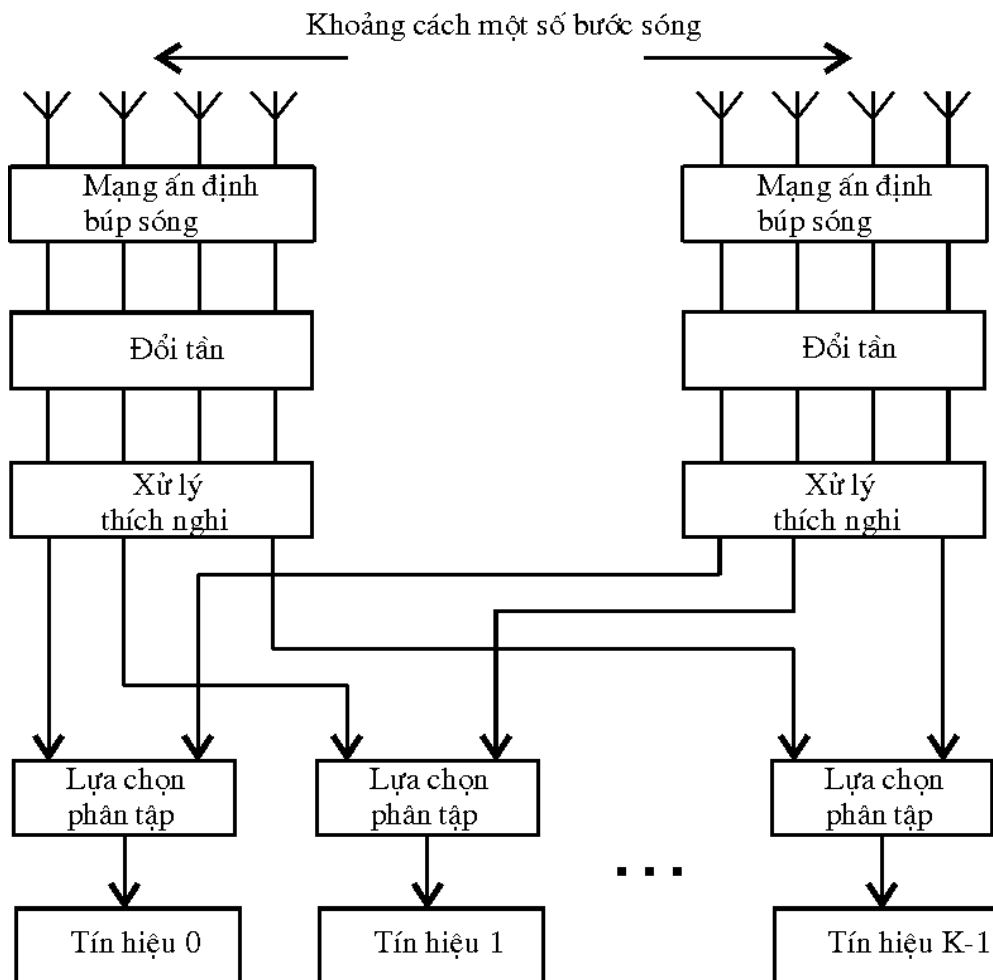
Hình 7.b. Hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng  $N \times N$ .

#### 2.2.4. Hệ anten phân tập không gian

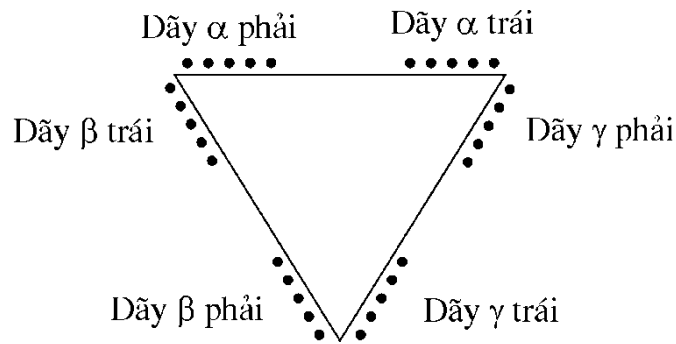
Tính đa đường trong kênh vô tuyến có thể dẫn tới hiện tượng pha-đỉnh đối với tín hiệu thu, đặc biệt trong trường hợp băng thông của tín hiệu nhỏ so với băng thông tương quan của kênh. Điều này luôn là vấn đề đáng được quan tâm khi tận dụng đặc tính phân tập không gian ở máy thu của trạm gốc trong các hệ

thông tin di động. Sự chọn lọc phân tập không gian được ứng dụng một cách có hiệu quả nhằm hạn chế ảnh hưởng pha-đỉnh băng hẹp.

Các hệ anten thích nghi, trong những trường hợp nhất định, có khả năng kết hợp các thành phần đa đường, dẫn tới kết quả là làm suy giảm ảnh hưởng của pha-đỉnh băng hẹp. Đáng tiếc là, khi có nhiều tác động nhiễu, hoặc khi số thành phần đa đường nhiều, hoặc khi sự phân biệt hướng tới của các thành phần nhỏ, hoặc khi mức tạp âm lớn, thì khả năng làm suy giảm ảnh hưởng của pha-đỉnh băng hẹp bị hạn chế.



Hình 8. Một hệ thống phân tập không gian sử dụng 2 hệ anten cách nhau một số bước sóng nhằm hạn chế pha-đỉnh băng hẹp.



Hình 9. Cấu trúc một hệ anten 3 phân vùng rẽ quạt 120 độ, mỗi phân vùng gồm 2 hệ anten phân tập không gian[5].

Đối với các hệ anten sử dụng hệ thống chuyển mạch chọn búp sóng, khả năng làm suy giảm ảnh hưởng của pha-đỉnh băng hẹp là rất hạn chế, ngay cả trong các điều kiện tốt nhất. Vì thế phân tập không gian được sử dụng kết hợp nhiều giải pháp kỹ thuật khác. Một ví dụ được mô tả trên hình 9, trong đó việc định dạng búp sóng được thực hiện độc lập bởi hai hệ anten, và hệ thống chọn lọc phân tập phối hợp các tín hiệu ra để có được chất lượng tín hiệu cao nhất.

Kết hợp với phân tập không gian, hầu hết các hệ thống thông tin di động tế bào hiện nay đều sử dụng kỹ thuật phân vùng rẽ quạt (sectoring), trong đó mỗi tế bào được phân chia thành một số vùng hình rẽ quạt theo góc phương vị. Điển hình là mỗi tế bào được phân chia làm 3 vùng rẽ quạt góc 120 độ, hoặc 6 vùng rẽ quạt góc 60 độ. Đối với mỗi tế bào, có thể tái sử dụng tần số nhờ kỹ thuật phân vùng rẽ quạt, do đó có thể tăng dung lượng thông tin cho mỗi tế bào. Kỹ thuật phân vùng rẽ quạt cho phép mỗi trạm gốc chuyển vùng nhiều dung lượng thông tin hơn so với các trạm gốc phủ sóng đẳng hướng. Hơn nữa với việc phân vùng rẽ quạt, hướng tính anten có độ tăng ích lớn hơn anten đẳng hướng, có thể ứng dụng ở trạm gốc. Điều đó làm tăng kích thước vùng phủ sóng, tức là làm tăng kích thước tế bào. Cấu trúc điển hình của một hệ anten có kết hợp phân vùng rẽ quạt như biểu diễn trên hình 1.10. Trong cấu trúc này, hệ thống được phân chia thành 3 phân vùng rẽ quạt góc 120 độ, mỗi vùng rẽ quạt sử dụng hai hệ anten phải và trái cho mục đích phân tập không gian.



### 2.3.Kết luận chương 2

Hệ anten có xử lý tín hiệu là một trong những hướng công nghệ được quan tâm đặc biệt để nâng cao hiệu quả của các hệ thống thông tin vô tuyến điện.

Các hệ anten có xử lý tín hiệu băng hẹp như các hệ thống ăng-ten định hướng hay các hệ thống xử lý tín hiệu đường xuống tuy không xử lý tín hiệu linh hoạt nhưng vẫn có các ứng dụng trong nhiều hệ thống viễn thông, nhất là trong các hệ thống phát trạm gốc (*base station*), hoặc trạm cổng (*gateway*).

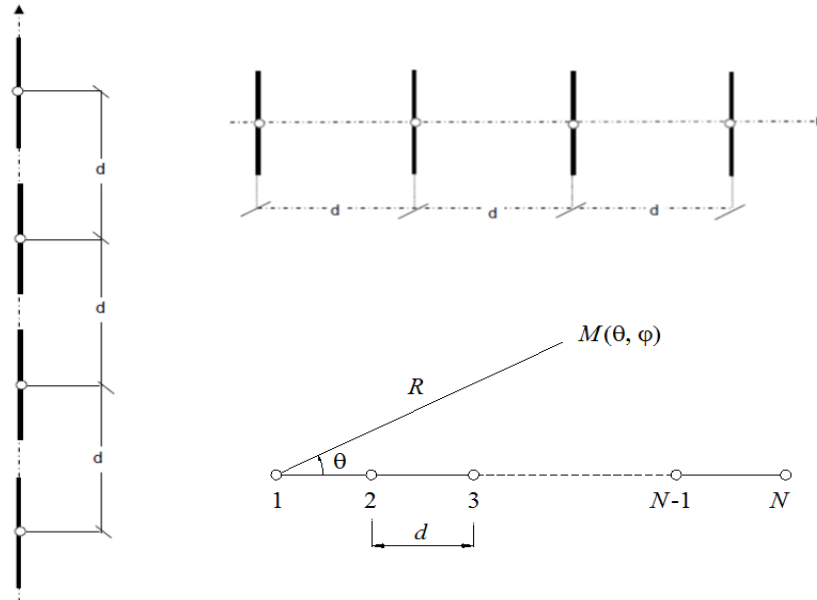
Hệ anten thích nghi sử dụng định dạng ăng-ten theo hướng nguồn tín hiệu mong muốn, đồng thời suy giảm không về phía nguồn nhiễu. Quá trình này phân biệt từng người dùng riêng biệt trong tập hợp nhiễu dựa trên đặc tính không gian được gọi là lọc không gian. Ở đường lên trong thông tin di động, mục đích của xử lý tín hiệu thích nghi là làm cực đại SINR đối với tín hiệu thu mong muốn. Đồng thời, xử lý tín hiệu thích nghi cũng sử dụng ở đường xuống (từ trạm gốc tới mobile) để làm cực đại công suất phát của trạm gốc tới đầu cuối mobile mong muốn, do đó làm cực đại SINR đối với đường xuống. Trong một số trường hợp nó được thiết kế để lái ăng-ten về hướng đặc biệt để khử nhiễu. Hệ anten thích nghi là chủ đề của các công trình nghiên cứu về lý thuyết anten hiện đại khác [5].

# CHƯƠNG 3

## CÁC GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN GIẢN ĐỒ HƯỚNG

### HỆ ANTEN THẲNG

#### 3.1. Hàm phương hướng của hệ anten thẳng



*Hình 10. Mô hình hình học hệ anten thẳng*

Đối với một hệ anten (nhiều thành phần), việc xử lý tín hiệu kết hợp cho phép khai thác được cả lượng tin tức chứa trong các đặc tính không gian của cả phân bố trường sóng điện từ và của cả phân bố không gian của các thành phần anten, mang lại nhiều ứng dụng thực tế, như [3]:

- Cải thiện một số đặc tính hướng của anten mà hạn chế việc phải tăng kích thước hay số phần tử anten,
- Thiết lập anten với giản đồ hướng thích nghi, có cực đại về phía tín hiệu hữu ích và suy giảm không về các hướng can nhiễu,
- Kiểm soát đồng thời một vùng không gian nhất định (anten nhiều tia),
- Điều khiển giản đồ hướng bằng phương pháp quét điện tử, ...

Các phần tử của một hệ anten có thể được sắp xếp trong không gian theo nhiều dạng hình học khác nhau, như theo một vòng tròn, theo một mặt phẳng hay theo một hình khối..., tuy nhiên thường gặp hơn cả là hệ anten thẳng.

Cấu trúc điển hình của một hệ anten thẳng như trên hình 1 và 2. Nó bao gồm  $N$  phần tử từ 0 đến  $N-1$  được sắp xếp dọc trục  $ox$ , cách đều nhau một khoảng

bằng  $d.(\lambda/2)$ , tức là  $d$  được coi là khoảng cách chuẩn hóa (so với  $\lambda/2$ ), chọn gốc tọa độ trùng với vị trí phần tử 0, và hướng dương trên trục  $ox$  thể hiện trên hình vẽ. Các phần tử anten là đẳng hướng trong mặt phẳng chứa trục  $ox$  (hình 1b) hoặc có giản đồ hướng gần hình  $\sin\theta$  (hình 1a).

Hàm phương hướng của hệ anten có thể tính theo nguyên lý nhân đồ thị phương hướng :

$$f(\theta) = f_1(\theta).f_k(\theta) \quad (3.1)$$

Trong đó :  $f_i(\theta)$  là hàm phương hướng của từng phần tử

$$f_1(\theta) = 1 \quad \text{với hệ anten hình 10b} \quad (3.2)$$

$$f_1(\theta) = \sin\theta \quad \text{với hệ anten hình 10a} \quad (3.3)$$

Và hàm phương hướng tổ hợp, gần đúng còn có thể coi là hàm phương hướng của hệ anten thẳng, là :

$$f_k(\theta) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i . e^{-j.\varphi_i} = \sum_{i=0}^{N-1} a_i . e^{i\psi_i} . e^{-j.\varphi_i} \quad (3.4)$$

Ở đây biên độ dòng điện của phần tử thứ  $i$  (so với biên độ dòng điện trên phần tử 0, lấy làm chuẩn so sánh) là :

$$\begin{aligned} \dot{a}_i &= a_i . e^{i\psi_i} \\ a_i &= \frac{I_i}{I_0} \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\psi_i = \arg(\dot{a}_i) = i.\psi = i.\pi.\cos\alpha$$

Và sự lệch pha do chênh lệch đường đi từ phần tử thứ  $i$  với phần tử 0 là

$$e^{-j\varphi_i} = e^{-j.i.\pi.d.\cos\theta} \quad (3.6)$$

Tóm lại, hàm phương hướng tổ hợp hệ anten có thể viết như sau :

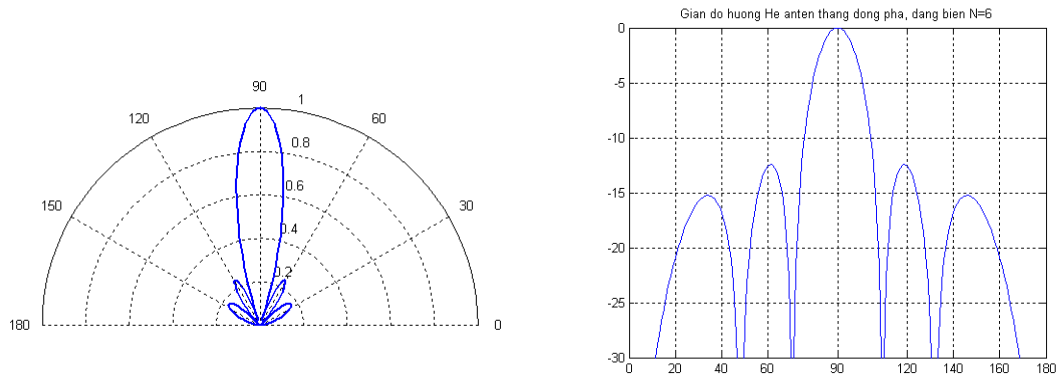
$$f(\theta) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i . e^{j.\psi_i} . e^{-j.\varphi_i} = \sum_{i=0}^{N-1} a_i . e^{j.i.\pi.(cos\alpha - cos\theta)} \quad (3.7)$$

Bằng việc điều chỉnh phân bố dòng điện trên các phần tử có thể điều khiển được giản đồ hướng với nhiều mục đích :

- Thu hẹp độ rộng búp sóng  $\theta_3$ .
- Lái búp sóng tới hướng  $\alpha$  mong muốn.

- Suy giảm cực đại phụ .

Các khái niệm : độ rộng búp sóng  $\theta_3$ , hướng lái tia  $\alpha$ , và mức cực đại phụ (SLL-Side Lobe Level) có thể đưa ra trên hình vẽ giản đồ hướng của hệ anten N phần tử trong hệ tọa độ cực (hình 3a) và trong hệ tọa độ Decac (hình 3b). Lưu ý là chỉ cần vẽ giản đồ hướng trong nửa mặt phẳng  $\theta$  từ 0 đến  $\pi$ , và lấy đối xứng qua 0 vì hàm phương hướng là hàm chẵn.



Hình 11. Giản đồ hướng của hệ anten thẳng  $N=6$  [3]

### 3.2. Tổng hợp các giải pháp điều khiển giản đồ hướng hệ anten thẳng

Bảng 1 : Phân loại các giải pháp điều khiển giản đồ hướng hệ anten thẳng

	Tên gọi hệ anten	Phương pháp điều khiển	Tác dụng
1	Hệ anten thẳng -đồng pha, -đẳng biên.	-Đẳng biên $a_i \equiv 1$ -Đồng pha $\psi_i = 0 (\alpha = \pi/2)$	Tạo búp sóng hẹp
2	Hệ anten ULA -điều khiển pha, -đẳng biên.	-Đẳng biên $a_i \equiv 1$ -Điều khiển pha $\psi = \pi \cdot \cos \alpha$ (hướng mạn $\alpha = \pi/2$ )	Điều khiển quét búp sóng tới hướng $\alpha$ (không nén cực đại phụ)
3	Hệ anten điều khiển phức hợp -điều khiển pha, -điều khiển biên độ.	-Điều khiển biên độ $a = \{a_i\}$ phân bố theo hàm đặc thù (DolphChebyshev) -Điều khiển pha $\psi = \pi \cdot \cos \alpha$ (hướng mạn $\alpha = \pi/2$ )	Điều khiển quét búp sóng tới hướng $\alpha$ đồng thời nén cực đại phụ.

Hệ anten thẳng thường gặp với khoảng cách giữa các phần tử bằng nửa bước sóng, đồng pha, đẳng biên với tác dụng chủ yếu là thu hẹp độ rộng búp sóng.

Hệ anten ULA được sử dụng trong phần này bao hàm hai nghĩa [3]:

- Thứ nhất: ULA (*Uniform Linear Array*) là mạng tuyến tính các phần tử (được sắp xếp trên một trục thẳng), cách đều.

- Thứ hai: ULA (*Uniformly excited Linear Array*) là mạng tuyến tính các phần tử được kích thích (hoặc cảm ứng) đồng đều, tức là biên độ tín hiệu trên các phần tử là như nhau, chỉ sai khác về pha.

Tác dụng chủ yếu của hệ anten ULA ngoài việc thu hẹp độ rộng búp sóng, còn có thể quét búp sóng tới hướng mong muốn.

Giải pháp điều khiển giản đồ hướng tổng hợp là đồng thời điều khiển biên độ và pha của dòng điện trên các phần tử anten để vừa thu hẹp độ rộng búp sóng, vừa lái tia và nén cực đại phụ theo thuật toán Dolph-Chebyshev, Taylor-Kansor ...

### **3.3.Đặc tính của hệ anten thẳng điều khiển giản đồ hướng**

#### **3.3.1.Búp sóng (cực đại chính)**

Một trong những ứng dụng quan trọng của hệ anten thẳng là tạo búp sóng hẹp và điều khiển quét búp sóng. Độ rộng búp sóng của hệ anten ULA theo số phần tử  $N$  và hướng lái tia  $\alpha$ .

Khi  $N$  đủ lớn, độ rộng búp sóng được tính gần đúng theo [6]:

$$\theta_3 \approx \frac{0.8858.\lambda}{N.l.\sin \alpha} \quad (3.8)$$

Nếu tính  $\theta_3$  bằng độ, đôi  $l$  là khoảng cách giữa các phần tử thành khoảng cách tương đối so với nửa bước sóng  $l = d.(\lambda/2)$ , có công thức tính gần đúng dễ nhớ :

$$\theta_3(^{\circ}) \approx \frac{100}{N.d.\sin \alpha} \quad (3.9)$$

Theo (9), trong một số trường hợp cụ thể :  $d=1$ ,  $\alpha=90^0$ , tức là đối với hệ anten thẳng có khoảng cách giữa các phần tử bằng nửa bước sóng, ở hướng mạn (Broadside) nhận được công thức tính độ rộng búp sóng rất đơn giản [2]:

$$\theta_3(0) \approx \frac{\alpha=\frac{\pi}{2}}{N} 100 \quad (3.10)$$

Từ (9) hay (10), rút ra nhận xét :

- Độ rộng búp sóng tỷ lệ nghịch với số phần tử N, N càng lớn, khẩu độ anten càng lớn, búp sóng càng hẹp. Đó chính là một trong các ứng dụng của hệ anten ULA.

- Độ rộng búp sóng tỷ lệ nghịch với giá trị sin của hướng lái tia  $\alpha$ , ở hướng lái tia  $\alpha=90^0$ ,  $\sin\alpha=1$ , độ rộng búp sóng hẹp nhất. Ở các hướng lái tia nhỏ, theo (9), độ rộng búp sóng sẽ có giá trị rất lớn, tuy nhiên các kết quả đưa ra trong [2] chưa luận giải được các điểm bất thường này.

- Khi sử dụng hệ anten ULA để tạo búp sóng hẹp và điều khiển hướng lái tia, thì muốn giữ độ rộng búp sóng ở một hướng lái tia  $\alpha$  (không quá nhỏ) được như theo hướng mạn, thì phải tăng số phần tử N bằng đúng số lần suy giảm của giá trị  $\sin\alpha$ .

- Độ rộng búp sóng tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa các phần tử, khi  $d$  tăng, cùng một số lượng phần tử, khẩu độ của hệ anten tăng lên, độ rộng búp sóng hẹp đi. Các phân tích ở các phần sau cho thấy nhận xét như vậy cũng chỉ được chấp nhận trong một phạm vi biến đổi nhất định của giá trị  $d$ . Tuy nhiên trong nhiều ứng dụng cụ thể, nếu chọn  $d > 1$ , tức là khoảng cách giữa các phần tử lớn hơn nửa bước sóng thì dễ gặp giản đồ hướng có xuất hiện nhiều búp sóng, tuy nhiên nếu chọn  $d < 1$  tức là làm giảm khẩu độ anten, sẽ làm tăng độ rộng búp sóng chính. Do đó thường chọn  $d=1$  (tức là khoảng cách giữa các phần tử thường chọn bằng nửa bước sóng).

### **3.3.2. Cực đại phụ.**

Giản đồ hướng hệ anten thẳng N phần tử có N điểm 0 và N-1 cực đại, trong đó có 1 cực đại chính (Main Lobe-búp sóng) và N-2 cực đại phụ (Side Lobe).

Cực đại phụ thứ nhất (gần búp sóng nhất) có mức là :

$$SLL = \frac{2}{3\pi} = 0.217 \sim (-13.26\text{dB so với cực đại chính}) \quad (3.11)$$

### 3.3.3. Hệ anten Dolph-Chebyshev.

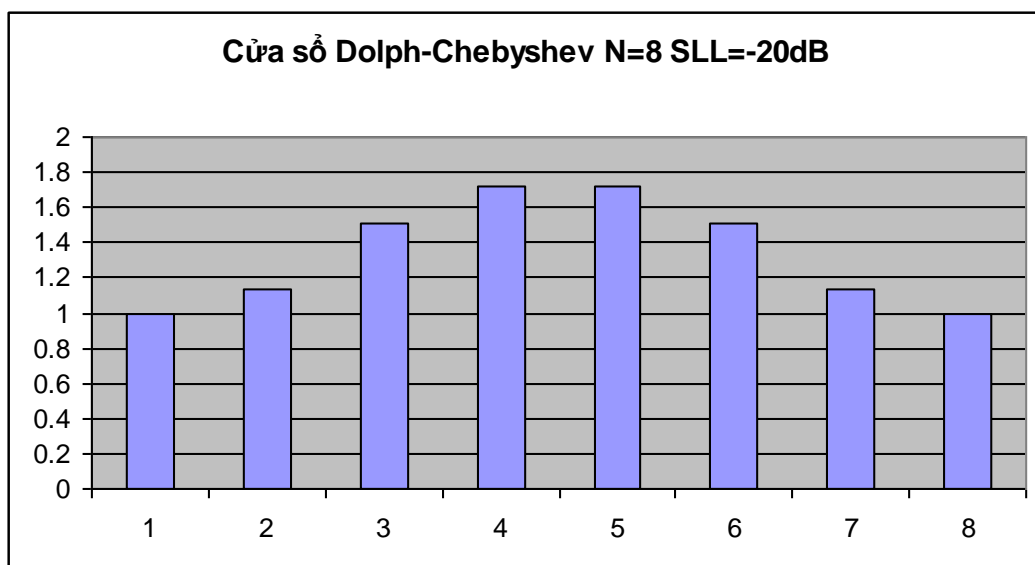
Hệ anten Dolph-Chebyshev là một hệ anten thẳng điều khiển biên độ và pha dòng điện các phần tử điển hình.

Khi đó

$$\begin{aligned} \dot{a}_i &= a_i \cdot e^{i\psi_i} \\ a_i &= \frac{I_i}{I_0} = \{Chebarray(N, db)\} \\ \psi_i &= \arg(\dot{a}_i) = i\psi = i\pi \cdot \cos\alpha \end{aligned} \quad (3.12)$$

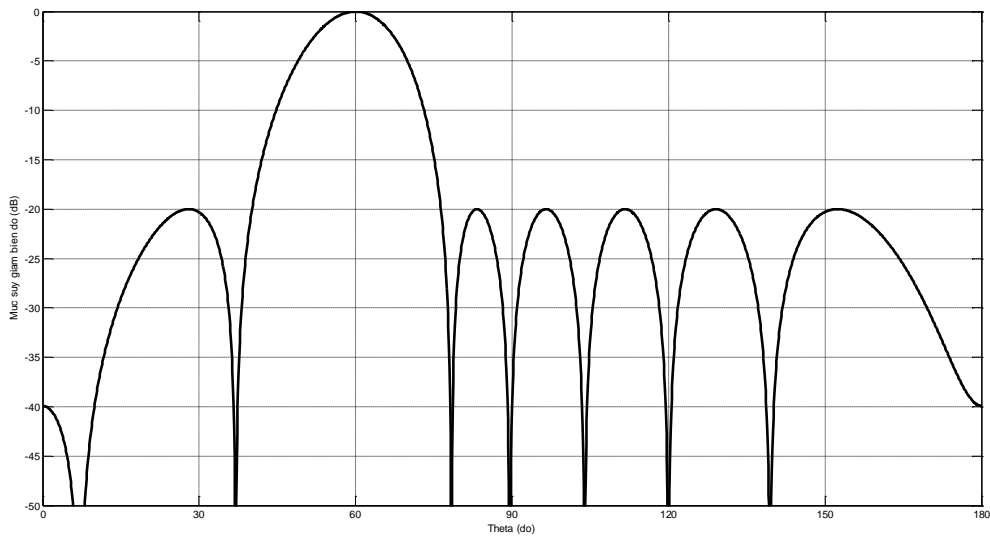
Trong đó  $\{Chebarray(N, db)\}$  là phân bố biên độ dòng điện các phần tử theo thuật toán Dolph-Chebyshev với hai tham số là số phần tử ( $N$ ) và mức suy giảm cực đại phụ tính ( $dB$ ).

Ví dụ : Hệ anten Dolph-Chebyshev gồm 8 phần tử,  $SLL=20\text{dB}$  và hướng lái tia  $\alpha = 60^\circ$  có phân bố biên độ dòng điện và giản đồ hướng biểu diễn trên hình 4.



Hình 12. Phân bố biên độ dòng điện trong hệ anten DolphChebyshev

$$N=8, SLL=20dB$$



Hình 13. Giản đồ hướng hệ anten DolphChebyshev

$$N=8, SLL=20dB$$

Có nhiều dạng cửa sổ phân bố biên độ được áp dụng trong kỹ thuật hệ anten: dạng chữ nhật, dạng Hamming, dạng Taylor-Kaiser, dạng Dolph-Chebyshev... Dạng cửa sổ phân bố biên độ chữ nhật, tức là đẳng biên, chủ yếu áp dụng cho các trường hợp điều khiển đồ thị phương hướng chỉ để quét búp sóng, chấp nhận mức suy giảm cực đại phụ là 13,26 dB. Các dạng cửa sổ phân bố biên độ khác được áp dụng để điều khiển đồ thị phương hướng yêu cầu có mức cực đại phụ nhỏ hơn. Khi kết hợp điều khiển dòng điện các phần tử anten cả về biên độ và về pha vừa điều khiển quét búp sóng, vừa nén mức cực đại phụ đủ nhỏ. Khi đó độ rộng búp sóng ở các hướng điều khiển quét búp sóng thay đổi không chỉ phụ thuộc vào hướng điều khiển quét búp sóng, mà còn phụ thuộc vào dạng cửa sổ phân bố biên độ và cả vào tham số mức nén cực đại phụ.

Tổng quát, độ rộng búp sóng ở mức suy giảm 3 dB, có dạng :

$$\theta_3 = \frac{0.8858 \cdot \lambda}{N \cdot d \cdot \sin \alpha} \cdot b \quad (3.13)$$

trong đó  $b$  là hệ số phụ thuộc dạng cửa sổ phân bố biên độ và tham số mức nén cực đại phụ :

- Dạng chữ nhật :  $b=1, (R=13.26 \text{ dB})$



- Dạng Hamming :  $b=2, (R=40 \text{ dB})$

- Dạng Taylor-Kaiser :  $b = \frac{6(R+12)}{155}$  .

- Dạng Dolph-Chebyshev:  $b = 1 + 0.636 \left[ \frac{2}{R_a} \cosh(\sqrt{\text{acosh}^2(R_a) - \pi^2}) \right]^2$

ở đây  $R$  là mức suy giảm cực đại phụ tính bằng dB, và  $R_a$  là mức suy giảm cực đại phụ tính bằng số lần, tức là :

$$R = 20 \log_{10}(R_a)$$

$$R_a = 10^{\frac{R}{20}}$$

## KẾT LUẬN

Hệ anten thẳng là một trong những hệ thống anten nhiều phần tử có nhiều ứng dụng nhất trong kỹ thuật viễn thông. Việc xử lý tín hiệu kết hợp cho phép khai thác được cả lượng tin tức chứa trong các đặc tính không gian của cả phân bố trường sóng điện từ và của cả phân bố không gian của các thành phần anten.

Hệ anten thẳng đơn giản chỉ gồm các chấn tử đồng pha, đẳng biên đặt cách đều một khoảng bằng nửa bước sóng cũng đã có tác dụng thu hẹp độ rộng búp sóng chính, với công thức tính gần đúng đơn giản hóa (3.10).

$$\theta_3 = \frac{100}{N} \cdot \frac{1}{\sin\theta_M} \cdot B$$

Có thể điều khiển giản đồ hướng của hệ anten thẳng bằng cách điều khiển pha của trọng số tác động lên từng phần tử hệ anten, khi ấy nhận được hệ anten ULA, có thể quét búp sóng quanh hướng mạn ( $\theta_M=90^\circ$ ).

Cũng có thể điều khiển giản đồ hướng của hệ anten thẳng bằng cách điều khiển phân bố biên độ trọng số tác động lên từng phần tử hệ anten với các thuật toán khác nhau, điển hình là thuật toán Dolph-Chebyshev, khi ấy nhận được hệ anten có giản đồ hướng được nén cực đại phụ, suy giảm sâu hơn -13.26 dB.

Tổng quát, điều khiển cả pha và biên độ trọng số tác động lên từng phần tử của hệ anten thẳng có được giản đồ hướng có độ rộng búp sóng thu hẹp, cực đại phụ nén thấp và lái được búp sóng theo hướng mong muốn trong phạm vi nhất định.

Cũng đã có các công trình nghiên cứu khảo sát các giới hạn điều khiển đối với giản đồ hướng của hệ anten thẳng [3].

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phan Anh (2000), *Trường điện từ & truyền sóng*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia, Hà nội.
2. Phan Anh (2003), *Lý thuyết và kỹ thuật anten*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà nội.
3. Trần Xuân Việt (2005), *Nghiên cứu hệ anten thẳng có gia công tín hiệu theo đặc tính pha*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội.
4. Đặng Đình Lâm, Nguyễn Minh Dân, Chu Ngọc Anh, ILGuy Kim, Nguyễn Quang Hưng (2004), “Phối hợp kỹ thuật tạo búp sóng và phân tập cho hệ thống WCDMA trong môi trường pha-đỉnh”, *Chuyên san các công trình nghiên cứu-triển khai viễn thông và công nghệ thông tin, Tạp chí Bưu chính viễn thông & Công nghệ thông tin*, (13), tr. 5-14.
5. Hoàng Đình Thuyên (2004), *Nghiên cứu các phương pháp số để tổng hợp đặc trưng hướng mạng anten và thiết lập mạng anten thích nghi*, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà nội.
6. Hancen R. C. (1998), *Phased array antennas*, John Wiley & Sons, Inc.