

## SỰ PHỤ THUỘC CỦA ĐỘ RỘNG BÚP SÓNG VÀO SỐ PHẦN TỬ VÀ HƯỚNG LÁI TIA CỦA HỆ ANTEN THẲNG ULA

THE DEPENDENCE OF THE BEAM WIDTH ON THE NUMBER OF ELEMENTS AND THE BEAM STEERING OF LINEAR ANTENNA ARRAY

TS. TRẦN XUÂN VIỆT

Khoa Điện-Điện tử, Trường ĐHHH Việt Nam

### Tóm tắt

Hệ anten thẳng ULA (Uniform Linear Array) là một trong những hệ anten điều khiển giản đồ hướng rất linh hoạt. Bài báo này trình bày mô hình toán của hệ anten thẳng ULA để khảo sát một số đặc tính cơ bản của hệ anten này trong đó có sự phụ thuộc của độ rộng búp sóng vào số phần tử và hướng lái tia.

### Abstract

Uniform Linear Array (ULA) is one antenna system directivity control very flexible. This paper presents the mathematical modeling of ULA to study the basic characteristics of the antenna system include the dependence of the beam width on the number of elements and beam steering.

**Key words:** Uniform Linear Array.

### 1. Hệ anten ULA

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 [2]:

- 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 ULA.

Khái niệm hệ anten ULA được xử dụng trong bài báo này bao hàm hai nghĩa:

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

Các nội dung được khảo sát ở đây là một số đặc tính định dạng búp sóng của một hệ anten ULA, với một số giả thiết gần với các ứng dụng trong thực tế, như sau [2], [6] :

- Hướng sóng tới chỉ xét nằm trong mặt phẳng mà giản đồ hướng của từng phần tử là như nhau và là đằng hướng, tức là góc nghiêng  $\theta = \pi/2$ , và do đó góc phương vị  $\theta$  đặc trưng cho hướng sóng tới.

- Không xét tới sự ghép tương hỗ giữa các phần tử.

- Dải thông của tín hiệu là nhỏ so với tần số sóng mang (băng hẹp).

### 2. Mô hình số liệu

Cấu trúc điển hình của một hệ anten ULA như trên hình 1. Nó bao gồm N phần tử từ 0 đến N-1 được sắp xếp dọc trực  $ox$ , 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 trực  $ox$  thể hiện trên hình vẽ. Các phần tử anten là đằng hướng trong mặt phẳng nằm ngang chứa trực  $ox$ .

Hướng sóng tới làm với trực của hệ anten một góc  $\theta$ . Biểu diễn sự điều chế của mặt sóng đến bởi đường bao phức băng gốc là  $s(t)$ . Giả thiết rằng âm ở tất cả các phần tử riêng biệt có cùng độ lớn ở mọi hướng. Chọn phần tử 0 làm chuẩn, sự khác pha của tín hiệu đến phần tử i là:

$$\varphi_i = k_x \cdot d_i = \left( \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \cos\phi \right) \cdot \left( i \cdot d \cdot \frac{\lambda}{2} \right) = \pi \cdot i \cdot d \cdot \cos\phi \quad (1)$$

Tín hiệu thu được tại phần tử  $i$  của hệ anten ULA là:

$$u_i = As(t) \cdot e^{-j\varphi_i} = As(t) \cdot e^{-j\pi \cdot i \cdot d \cdot \cos\phi} \quad (2)$$

ở đây  $A$  là một hệ số tính toán.

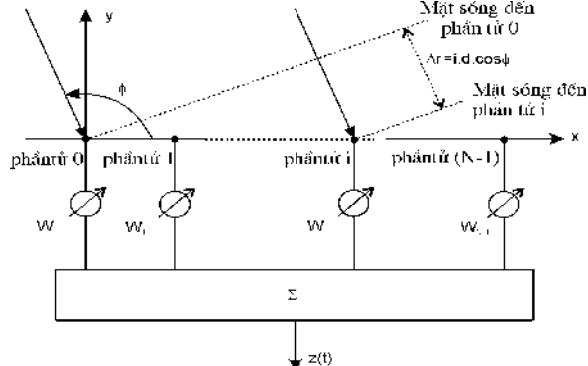
Tín hiệu  $z(t)$  ở đầu ra hệ anten là:

$$z(t) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i u_i(t) = As(t) \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{-j\pi \cdot i \cdot d \cdot \cos\phi} = As(t) f(\phi) \quad (3)$$

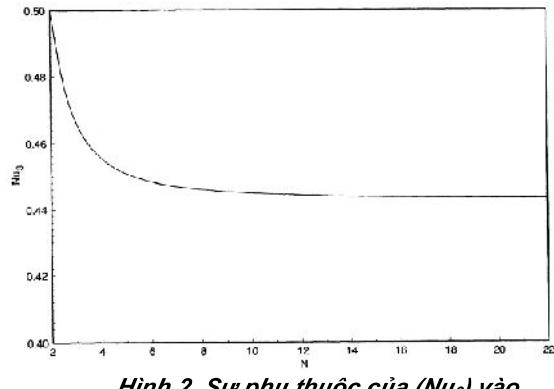
Hàm  $f(\phi)$  được gọi là hệ số mạng:

$$f(\phi) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{-j\pi \cdot i \cdot d \cdot \cos\phi} \quad (4)$$

Hệ số mạng xác định tỷ số của tín hiệu thu được tại đầu ra của hệ anten  $z(t)$ , trên tín hiệu  $As(t)$ , do được trên phần tử gốc, nó như là hàm của hướng sóng tới DOA (Direction-Of-Arrival). Bằng việc điều chỉnh giá trị trọng số,  $\{w_i\}$ , có thể nhận được giản đồ hướng có cực đại lớn nhất-búp sóng chính theo hướng mong muốn  $\alpha$ , gọi là hướng lái tia, đó chính là một trong các chức năng của hệ anten được gọi là định dạng búp sóng (beamforming).



Hình 1. Mô hình số liệu hệ anten ULA thu một mặt sóng đến từ hướng  $\phi$



Hình 2. Sự phụ thuộc của  $(Nu_3)$  vào số phần tử  $N$  [2]

Hệ anten như mô tả trên hình 1, có hệ số mạng trong mặt phẳng  $\theta = \pi/2$  phụ thuộc vào cấu trúc mạng và đặc biệt là phụ thuộc vào trọng số điều chỉnh, cụ thể là:

$$w_i = e^{j\pi \cdot i \cdot d \cdot \cos\alpha} \quad (5)$$

Khi đó hệ số mạng là:

$$f(\phi, \alpha) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{-j\pi \cdot i \cdot d \cdot (\cos\phi - \cos\alpha)} \quad (6)$$

Và có hàm phương hướng chuẩn hóa của hệ anten là :

$$F(\phi, \alpha) = \frac{|f(\phi, \alpha)|}{\max|f(\phi, \alpha)|} = \frac{1}{N} \left| \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{-j\pi \cdot i \cdot d \cdot (\cos\phi - \cos\alpha)} \right| \quad (7)$$

Công thức (7) cho thấy giản đồ hướng của hệ anten có một số đặc điểm như sau:

-  $F(\phi, \alpha)$  là hàm chẵn đối với  $\phi$ , nên chỉ cần khảo sát giản đồ hướng của hệ anten với  $\phi$  biến thiên từ  $0$  đến  $180^\circ$

- Đối với một hướng lái tia ( $\alpha$ ) bù với một hướng lái tia khác ( $\pi-\alpha$ ), giá trị  $\cos \alpha$  đổi dấu, hoàn toàn không làm thay đổi kết quả khảo sát nếu chọn phần tử chuẩn và hướng trực  $ox$  ngược lại.

### 3. Sự phụ thuộc của độ rộng búp sóng vào N và $\alpha$

Một trong những ứng dụng quan trọng của hệ anten ULA là tạo búp sóng hẹp và điều khiển quét búp sóng. Hãy khảo sát sự phụ thuộc của độ rộng búp sóng hệ anten ULA vào số phần tử N và hướng lái tia  $\alpha$ .

Trong (6), đặt:

$$\varphi = \pi \cdot i \cdot d \cdot u(\phi, \alpha) \text{ với } u(\phi, \alpha) = \cos \alpha - \cos \phi \quad (8)$$

Có thể viết lại (6) thành:

$$f(\phi, \alpha) = \sum_{i=0}^{N-1} e^{j \cdot i \cdot \varphi} = \sum_{i=0}^{N-1} w_i e^{j \cdot \pi \cdot i \cdot d \cdot u(\phi, \alpha)} \quad (9)$$

Giá trị  $u(\phi, \alpha)$  có thể được coi là đặc trưng hướng chuẩn hóa, trong đó  $\cos \phi$  đặc trưng cho hướng lái tia, quyết định bởi các trọng số  $\{w_i\}$ , còn  $\cos$  đặc trưng cho hướng khảo sát,  $u$  đặc trưng cho sự chêch hướng khảo sát so với hướng lái tia.

Biểu thức (9) có dạng một cấp số nhân, số hạng đầu là 1, công bội bằng  $e^{j\phi}$ . Có thể tính hàm phương hướng tổ hợp bằng cách tính tổng các số hạng của một cấp số nhân. Tuy nhiên, trong [1], tổng (9) được tính bằng phương pháp hình học véc tơ trong mặt phẳng phức. Khi đó, mỗi số hạng của (9) có thể được biểu diễn bởi một véc tơ đơn vị. Véc tơ thứ nhất ( $i=0$ ) trùng với trục thực  $ox$ , còn các véc tơ tiếp theo quay so với trục thực một góc bằng  $(j\phi)$ . Nếu  $\phi > 0$  thì hướng quay ngược chiều kim đồng hồ, còn nếu  $\phi < 0$  thì hướng quay thuận chiều kim đồng hồ. Hàm phương hướng chuẩn hóa là [1]:

$$F(u) = \frac{1}{N} \cdot \left| \frac{\sin(N \frac{\phi}{2})}{\sin(\frac{\phi}{2})} \right| = \frac{1}{N} \cdot \left| \frac{\sin(N \cdot \frac{1}{2} \cdot d \cdot \pi \cdot u)}{\sin(\frac{1}{2} \cdot d \cdot \pi \cdot u)} \right| \quad (10)$$

Độ rộng búp sóng (ở mức suy giảm nửa công suất) được tính giữa các điểm làm cho  $F(u) = -3\text{dB}$  (tức là  $\sqrt{0.5}$ ). Các kết quả tính toán cho thấy có sự phụ thuộc của độ rộng búp sóng nửa công suất  $\phi_3$  vào hai thông số là N (số phần tử của hệ anten) và hướng lái tia  $\alpha$ . Trong [2], đưa ra khái niệm độ rộng búp sóng chuẩn hóa  $Nu_3$ , để tiện khảo sát đặc tính của độ rộng búp sóng của hệ anten ULA, trong đó N là số phần tử của hệ anten,  $u_3$  là giá trị của  $u$  tại đó hàm phương hướng chuẩn hóa suy giảm 3 dB. Hình 2 [2] biểu diễn  $Nu_3$  gần như không đổi theo N và bằng 0.4429, ngay cả khi N=3 sai số cũng chỉ là 5%, còn khi N>7 sai số không quá 1% (hình 2).

Khi N đủ lớn, độ rộng búp sóng được tính gần đúng theo [3]:

$$\phi_3 \approx \frac{0.8858 \lambda}{N \cdot l \cdot \sin \alpha} \quad (11)$$

Nếu tính  $\alpha_3$  bằng độ, đổi / là khoảng cách giữa các phần tử thành khoảng cách tương đối so với nửa bước sóng  $l = d \cdot (\lambda/2)$  ta có:

$$\phi_3(^0) \approx \frac{100}{N \cdot d \cdot \sin \alpha} \quad (12)$$

Theo (12), trong một số trường hợp cụ thể (và thường gặp):  $d=1$ ,  $\alpha = \pi/2$ , tức là đối với hệ anten ULA có khoảng cách giữa các phần tử bằng nửa bước sóng, ở hướng lái tia vuông góc với trục hệ anten ULA (*Broadside*), ta nhận được công thức tính độ rộng búp sóng rất đơn giản:

$$\phi_3(0) \approx \frac{100}{N} \quad (\text{khi } d=1, \alpha = \pi/2) \quad (13)$$

#### 4. Kết luận

Từ (12) và (13), rút ra kết luận :

- Độ rộng búp sóng của hệ anten thẳng ULA 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. Công thức (12) và (13) tuy là các công thức gần đúng, nhưng có định dạng rất đơn giản khi ứng dụng tính độ rộng búp sóng của hệ anten ULA., đặc biệt ở hướng *Broadside* (hướng  $\alpha = \pi/2$  ).

- Độ rộng búp sóng tỷ lệ nghịch với giá trị sin của hướng lái tia  $\alpha$ , ở hướng lái tia  $\alpha = \pi/2$ ,  $\sin \alpha = 1$ , độ rộng búp sóng hẹp nhất. Ở các hướng lái tia nhỏ, theo (12), độ rộng búp sóng sẽ có giá trị rất lớn, tuy nhiên các kết quả đưa ra trong [3] 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 lái tia  $\alpha = \pi/2$ , 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. Một số công trình nghiên cứu 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 giàn đỡ 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).

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Anh (2003), *Lý thuyết và kỹ thuật anten*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Godara L. C. (2004), *Smart Antennas*, CRC Press.
- [3] Hancen R. C. (1998), *Phased array antennas*, John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Tran Xuan Nam (2003), *Subband adaptive array for mobile communications with application to CDMA systems*, PhD Thesis, The University of Electro-communications, Tokyo.
- [5] Wu J., Sheng W. X. (2002), "Smart Antenna System Implementation based on Digital Beam-forming and Software Radio Technologies", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 323-326.
- [6] Zhou P. Y., Ingram M. A., Anderson P. D. (1998), "Synthesis of Minimax Sidelobes for Arbitrary Arrays", *IEEE transactions on antennas and propagation*, 46(11), pp. 1759-1760.

Người phản biện: TS. Phạm Văn Phước

#### ĐIỀU KHIỂN TỰA PHẲNG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU TRÊN MIỀN THỜI GIAN THỰC

REALTIME FLATNESS-BASED CONTROL OF A DC ELECTRICAL  
DRIVE SYSTEM

PGS.TS. TRẦN ANH DŨNG, KS. PHẠM VĂN AN  
Khoa Điện-Điện tử, Trường ĐHHH Việt Nam

#### Tóm tắt

Bài báo trình bày việc xây dựng mô hình thực nghiệm hệ điều khiển truyền động điện một chiều sử dụng nguyên lý phẳng. Thuật toán điều khiển này được thực hiện trên phần mềm Matlab-Simulink thông qua card ghép nối máy tính PCI – 1711. Bộ điều khiển phẳng với khả năng quan sát tái đã đem lại các chỉ tiêu chất lượng tốt với một đối tượng phi tuyến trong chế độ làm việc không tải cũng như có tải. Các kết quả thực nghiệm thu được chứng tỏ điều khiển phẳng mang lại ưu thế vượt trội về khả năng thiết lập và bám quỹ đạo đặt so với các bộ điều khiển truyền thống.