

MỘT THUẬT TOÁN TẠO TIA THÍCH NGHI CHO DÀN ANTEN

NGUYỄN HOÀNG LINH

Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Abstract. This paper develops the adaptive beamforming algorithm LS-DRMTA (Least Squares Despread Respread Multitarget Array). The system structure and multiuser detection technique are presented. The advantages of the method are also analyzed.

Tóm tắt. Bài này phát triển thuật toán tạo tia thích nghi LS-DRMTA (Dàn anten đa mục tiêu trải phổ, giải trải phổ bình phương cực tiểu). Cấu trúc hệ thống và kỹ thuật tách tín hiệu nhiều người sử dụng được trình bày. Các ưu điểm của phương pháp cũng được phân tích.

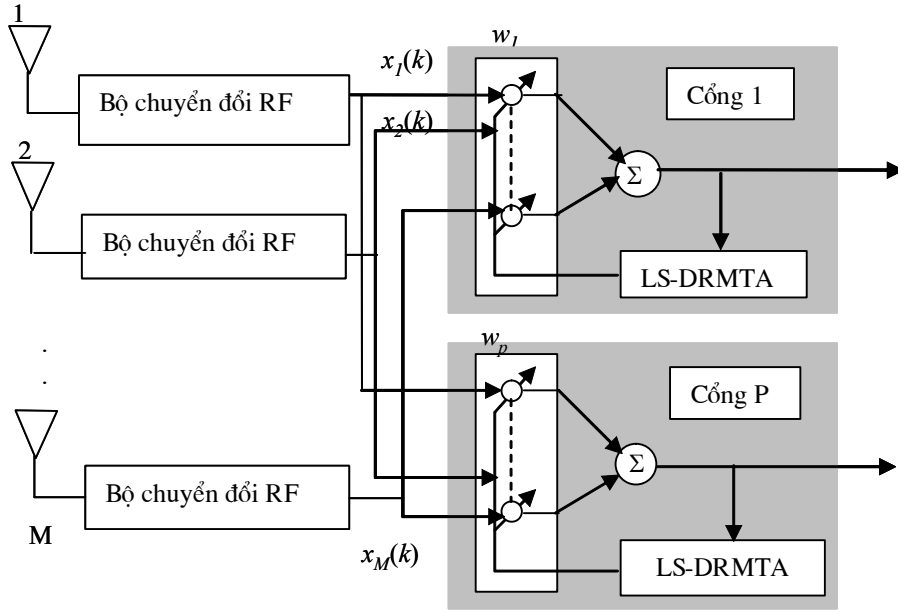
1. MỞ ĐẦU

Dàn anten được sử dụng nhằm nâng cao chất lượng thu tín hiệu từ các máy di động. Kỹ thuật này mang lại hiệu quả rất cao, nhất là trong các hệ thống thông tin di động - ở đó những người sử dụng tự do chuyển động mà ta không biết trước quỹ đạo. Vấn đề then chốt ở đây là tìm được phương pháp hiệu chỉnh các vectơ trọng số w_i cho các cổng thích nghi với thay đổi của môi trường, như fading, khoảng cách từ máy di động đến trạm gốc... (hình 1). Dựa vào đặc điểm biên độ yêu cầu của các đầu ra y_i bằng 1, người ta xây dựng phương pháp hiệu chỉnh w_i gọi là thuật toán modul hằng số [2]. Còn một thuật toán hay được dùng gọi là thuật toán hướng quyết định. Bên cạnh những ưu điểm so với cách giải trực tiếp các phương trình chuẩn, những phương pháp này có một số khuyết điểm, như phải áp dụng phép trực giao hóa Gram-Schmidt để các vectơ trọng số của các đầu ra khác nhau không hội tụ đến cùng một giá trị; hoặc phải thực hiện thủ tục sắp xếp nhằm xác định tín hiệu của người sử dụng nào được tách từ đầu ra của mỗi cổng.

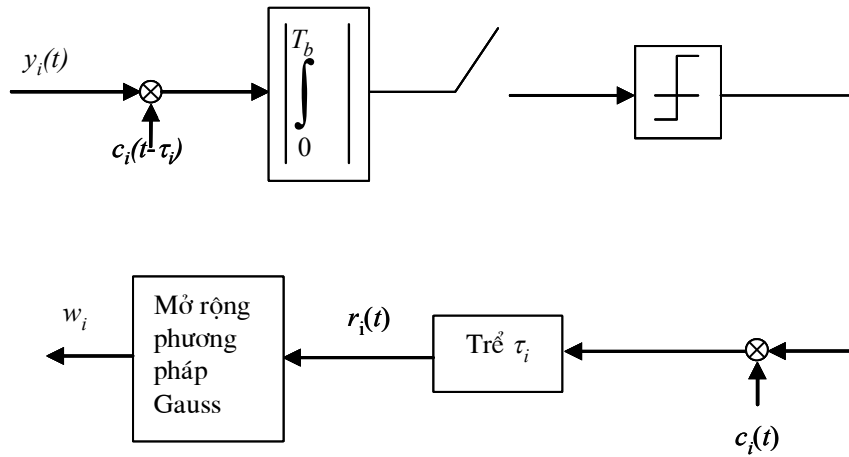
Để tránh những trở ngại trên, bài báo phát triển một phương pháp dựa vào nhận xét sau: có thể sử dụng mã trải phổ $c_i(t)$ của người sử dụng thứ i mà trạm gốc sẵn có để giải trải phổ và tái trải phổ nhằm tạo ra tín hiệu $r_i(t)$ và so sánh với đầu ra $y_i(t)$ để hiệu chỉnh vectơ trọng số w_i (hình 2). Ý tưởng trên đã được sử dụng cho hệ thống CDMA với anten thường ([3]).

2. THUẬT TOÁN TẠO TIA THÍCH NGHI

Tại trạm gốc của của hệ thống CDMA luôn có sẵn mã trải phổ $c_i(t)$ của tất cả những người sử dụng i . Hiện có một số phương pháp ước lượng thời gian trễ τ_i của người sử dụng i . Ở đây, ta giả thiết τ_i đã được xác định. Cũng như trong bộ thu truyền thống, để tách \hat{b}_{in} là bit dữ liệu thứ n của người sử dụng thứ i , ta giải trải phổ tín hiệu $y_i(t)$ bằng mã $c_i(t - \tau_i)$, sau đó đưa vào bộ lọc tương quan và thực hiện quyết định ngưỡng (hình 2). Tiếp theo ta trải phổ lại \hat{b}_{in} bằng mã $c_i(t)$ và làm trễ đi thời gian τ_i , sẽ nhận được tín hiệu $r_i(t)$.



Hình 1. Cấu trúc bộ tạo tia sử dụng LS-DRMTA



Hình 2. Sơ đồ khối LS-DRMTA cho người sử dụng thứ i

$$r_i(t) = \hat{b}_{in} c_i(t - \tau); \quad (n - 1)T_b \leq t < nT_b, \quad (1)$$

trong đó T_b ký hiệu thời gian của chu kỳ 1 bit. Đầu ra $y_i(t)$ là hàm số của véctơ trọng số

$$y_i(t) = w_i^T x(t). \quad (2)$$

Ta có thể dựa vào sai số giữa $y_i(t)$ và $r_i(t)$ để hiệu chỉnh lại w_i . Cho xử lý số, ta lấy các mẫu $y_i(k)$, $r_i(k)$ với tốc độ $R_s = N_s R_c$, trong đó R_c là tốc độ chip, N_s là số nguyên lớn hơn 1. Vậy, số lần lấy mẫu trong một chu kỳ bit là $K = N_s N_c$, với N_c là thừa số trải phổ. Ta đi đến bài toán tìm w_i để cực tiểu hóa hàm tổng bình phương sai số.

$$F(w_i) = \sum_{k=1}^K |Y_i(k) - r_i(k)|^2 = \sum_{k=1}^K |w_i^H x(k) - r_i(k)|^2. \quad (3)$$

Ta sẽ giải bằng phương pháp lặp. Mở rộng phương pháp Gauss, ta biểu diễn hàm mục tiêu (3)

$$F(w) = \sum_{k=1}^K |g_k(w)|^2, \quad (4)$$

trong đó:

$$g_k(w_i) = |y_i - r_i(k)| = |w_i^H x(k) - r_i(k)| \quad (5)$$

Có thể viết lại

$$g_k(w_i) = \begin{bmatrix} |y_i(1) - r_i(1)| \\ |y_i(2) - r_i(2)| \\ \dots \\ |y_i(k) - r_i(k)| \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Véc-tơ Gradient của $g_k(w_i)$ được cho bởi

$$\nabla(g_k(w_i)) = 2 \frac{\partial g_k(w_i)}{\partial w_i^*} = x(k) \frac{[y_i(k) - r_i(k)]^*}{|y_i(k) - r_i(k)|}. \quad (7)$$

Ta đặt

$$v_i(k) = y_i(k) - r_i(k). \quad (8)$$

Sau đó (7) có thể biểu diễn

$$\nabla(g_k(w_i)) = x(k) \frac{v_i^*(k)}{|v_i(k)|}. \quad (9)$$

Phương pháp Gauss phát biểu rằng các trọng số có thể cập nhật như sau:

$$w(l+1) = w(l) - [D(w(l))D^H(w(l))]^{-1} D(w(l))g(w(l)), \quad (10)$$

trong đó

$$D(w) = [\nabla(g_1(w)), \dots, \nabla(g_K(w))]. \quad (11)$$

Thay (9) vào (11) ta được

$$\begin{aligned} D(w_i) &= [\nabla(g_1(w)), \nabla(g_2(w)), \dots, \nabla(g_K(w))] \\ &= \left[x(1) \frac{v_i^*(1)}{|v_i(1)|}, x(2) \frac{v_i^*(2)}{|v_i(2)|}, \dots, x(K) \frac{v_i^*(K)}{|v_i(K)|} \right] \\ &= X V_{iCM}. \end{aligned} \quad (12)$$

trong đó:

$$X = [x(1), x(2), \dots, x(K)]. \quad (13)$$

$$V_{iCM} = \begin{bmatrix} \frac{v_i(1)^*}{|v_i(1)|} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{v_i(2)^*}{|v_i(2)|} & \dots & 0 \\ & & O & \\ 0 & 0 & \dots & \frac{v_i(K)^*}{|v_i(K)|} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

Sử dụng phương trình (12) và (6) ta có:

$$D(w_i)D^H(w_i) = XV_{iCM}V_{iCM}^HX^H = XX^H \quad (15)$$

$$D(w_i)g(w_i) = XV_{iCM} \begin{bmatrix} |v_i(1)| \\ |v_i(2)| \\ \dots \\ |v_i(K)| \end{bmatrix} = X \begin{bmatrix} |v_i^*(1)| \\ |v_i^*(2)| \\ \dots \\ |v_i^*(K)| \end{bmatrix} = Xv_i^*, \quad (16)$$

$$D(w_i)g(w_i) = X(y_i - r_i)^*, \quad (17)$$

trong đó

$$v_i = [v_i(1), v_i(2), \dots, v_i(K)]^T, \quad (18)$$

$$y_i = [y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(K)]^T, \quad (19)$$

$$r_i = [r_i(1), r_i(2), \dots, r_i(K)]^T. \quad (20)$$

Véc-tơ y_i là véc-tơ dữ liệu đầu ra của người sử dụng i và r_i là ước lượng dạng sóng tín hiệu của người sử dụng i trên chu kỳ bit. Thay các phương trình (15) và (17) vào (10), ta nhận được:

$$\begin{aligned} w_i(l+1) &= w_i(l) - [XX^H]^{-1}X[y_i(l) - r_i(l)]^* \\ &= w_i(l) - [XX^H]^{-1}XX^Hw_i(l) + [XX^H]^{-1}Xr_i^*(l) \\ &= [XX^H]^{-1}Xr_i^*(l). \end{aligned} \quad (21)$$

trong đó $y_i(l)$ và $r_i(l)$ là véc-tơ dữ liệu đầu ra và ước lượng dạng sóng tín hiệu của người sử dụng i trên chu kỳ bit tương ứng với véc-tơ trọng số w_i trong vòng lặp thứ l . Ta cũng có thể hiệu chỉnh các véc-tơ trọng số sử dụng các khối dữ liệu đầu vào khác nhau trong mỗi vòng lặp. Ta đặt

$$X(l) = [x(1+lK), x(2+lK), \dots, x(l+lK)]; \quad l = 0, 1, \dots, L, \quad (22)$$

trong đó L số vòng lặp cần thiết thuật toán hội tụ. Thuật toán LS-DRMTA cho người sử dụng thứ i có thể được mô tả bằng các phương trình sau:

$$y_i(l) = [w_i^H(l)X(l)]^T = [y_i(1+lK), y_i(2+lK), \dots, y_i(l+lK)], \quad (23)$$

$$\hat{b}_{il} = \text{sign} \left\{ \text{Re} \left(\sum_{k=1+lK}^{(1+l)K} y_i(k)c_i(k - K_\tau) \right) \right\}, \quad (24)$$

$$r_i(l) = \hat{b}_{il}[c_i(1+lK - kT)c_i(2+lK - KT) \dots c_i((1+l)K - KT)]^T \quad (25)$$

$$w_i(l+1) = [X(l)X^H(l)]X(l)r_i^*(l) \quad (26)$$

trong đó, $c_i(k)$ là mẫu thứ k của tín hiệu trải phổ của người sử dụng i , k_{τ_i} là số mẫu tương ứng với thời gian trễ τ_i của người sử dụng i và là ước lượng bit thứ l cho người sử dụng i .

Thuật toán LS-DRMTA được tóm lược như sau:

1. Khởi tạo P véc-tơ trọng số w_i, \dots, w_P như các véc-tơ cột $M \times 1$ với phần tử đầu tiên bằng 1, các phần tử khác bằng 0.

2. Tính vectơ đầu ra, sử dụng (23).
3. Giải trải phổ tín hiệu của người sử dụng thứ i và ước tính bit dữ liệu thứ n , sử dụng (24).
4. Tái trải bit dữ liệu ước lượng bằng mã PN của người sử dụng i để nhận ước lượng dạng sóng của người sử dụng i trên chu kỳ thời gian $[(n-1)T_b, nT_b]$, sử dụng (25).
5. Hiệu chỉnh vectơ trọng số w_i của người thứ i , sử dụng (26).
6. Lặp lại bước 2 đến bước 5 cho đến khi thuật toán hội tụ.

Cuối cùng, ta nêu một số ưu điểm của thuật toán tạo tia thích nghi LS-DRMTA:

- 1) Không cần thực hiện phép trực giao hóa Gram-Schmidt: bởi vì chuỗi trải phổ $c_i(t)$ của những người sử dụng là khác nhau, nên ngay trong trường hợp các đầu vào $x_1(t), \dots, x_M(t)$ tình cờ giống nhau thì các tín hiệu $r_i(t)$ thu được vẫn khác nhau, do đó các hàm mục tiêu (4) cũng khác nhau và các vectơ trọng số w_i được hiệu chỉnh sẽ hội tụ đến những giá trị khác nhau.
- 2) Không cần thực hiện thủ tục sắp xếp: ở đây đầu ra $y_i(t)$ của cửa thứ i được giải trải phổ bằng chuỗi $c_i(t)$ của người thứ i , nên chắc chắn bit dữ liệu thu được là của người thứ i . Nhấn mạnh rằng cấu trúc mỗi người sử dụng có một cửa riêng góp phần giảm nhiễu giao thoa xuống mức thấp.
- 3) Số cửa ra P không bị hạn chế bởi số phần tử M của dàn anten. Cấu trúc bộ tạo tia rất thuận lợi đối với việc mở rộng thêm các cửa cho những người sử dụng mới. Có thể thấy trên hình 1, các cửa mới sử dụng chung các đầu vào $x_1(t), \dots, x_M(t)$, không đòi hỏi thêm bộ biến đổi băng tần mới, do đó hạ thấp giá thành của hệ thống.
- 4) Độ phức tạp tính toán của LS-MRMTA thấp hơn các thuật toán modul hằng số và hướng quyết định, do không cần sử dụng phép trực giao hóa Gram-Schmidt và thủ tục sắp xếp cho các đầu ra.

3. KẾT LUẬN

Trên đây chúng tôi đã trình bày thuật toán tạo tia thích nghi LS-MRMTA cũng như phương pháp tách tín hiệu cho dàn anten. Đây là một thuật toán thích nghi mù vì ta không dùng chuỗi luyện, do đó tiết kiệm được băng thông. Phương pháp trên đây có thể mở rộng bằng cách kết hợp với phương pháp modul hằng số và người ta xây dựng được thuật toán tạo tia thích nghi LS-DRMTCMA (Least Squares Despread Respread Multitarget Constant Modulus Array) có những tính chất ưu việt của cả hai phương pháp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.C. Liberti, T.S. Rappaport, Reverse channel performance improvements in CDMA cellular systems employing smart antennas, *IEEE Vehicular Technology Conf.* (1996) 844-848.
- [2] J.C. Liberti, T.S. Rappaport, *Smart antennas for wireless communications*, Prentice Hall PTR, 1999.
- [3] Y. Sanada, Q. Wang, A co-channel interference cancellation technique using orthogonal convolutional codes, *IEEE Trans. Commun.* **44** (5) (1996) 549-556.

Nhận bài ngày 15 - 10 - 2003