
PHÂN TÍCH GIẢI PHÁP BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ TRONG KỸ THUẬT CHỈ BÁO MỤC TIÊU DI ĐỘNG ANALIZING THE SOLUTION OF DELAY LINE CANCELLER IN MOVING TARGET INDICATOR TECHNIQUE

TS. LÊ QUỐC VƯỢNG

Khoa Điện - Điện tử tàu biển, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Trong kỹ thuật chỉ báo mục tiêu di động, các giải pháp thực hiện được chia thành 2 hướng chính là: Bộ khử triệt dây trễ và Bank lọc Doppler. Mỗi giải pháp đều có những mặt mạnh và hạn chế. Trên cơ sở phân tích và tìm hiểu thấu đáo các giải pháp này, chúng ta có thể đề ra một giải pháp hoàn thiện, phù hợp hơn và mang tính tối ưu. Bài viết này tiến hành phân tích giải pháp Bộ khử triệt dây trễ, là giải pháp đơn giản, cơ bản và có ý nghĩa nền tảng về lý thuyết.

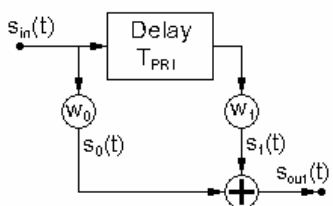
Abstract:

In Moving target indicator (MTI) technique, the realizable solutions have been divided into 2 main directions: Delay Line Canceller and Doppler Filter Banks. Every solution has strengths and weaknesses. Base on analyzation and thoroughly study these solutions, we can propose a solution, that is improved, more suitable and optimal. This article analyse the solution of Delay Line Canceller, that is a most simple, basic and there is fundamental sense in theory.

Trong loạt bài nghiên cứu về **Các công nghệ mới được áp dụng trên radar biển** bắt đầu đăng từ các số trước, với mục đích xác định các giải pháp nhằm nâng cao tỷ số tín hiệu trên nhiễu cộng tạp âm (SINR), nguyên lý phát hiện mục tiêu trên nền nhiễu phản xạ cộng tạp âm có vai trò và ý nghĩa rất quan trọng. Tiếp theo, chúng ta đã trình bày các khái niệm cơ bản về lý thuyết của kỹ thuật chỉ báo mục tiêu di động (MTI) thông qua xử lý Doppler đã nâng cao SINR với một hiệu quả rõ rệt. Trong phần này, chúng ta tiếp tục đi sâu phân tích vào một phương án thực hiện cụ thể của kỹ thuật MTI là Bộ khử triệt dây trễ và các bài sau sẽ phát triển các nghiên cứu lên các phương án có mức độ cao hơn, từ đó nhằm cuối cùng có thể đưa đến một phương án hoàn thiện hơn, thích hợp hơn và mang tính tối ưu.

1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ

Sơ đồ khối nguyên lý hoạt động của bộ khử triệt dây trễ là hình 1.1. Khoảng thời gian trễ của khối trễ đúng bằng một khoảng lặp xung T_p . Tín hiệu đầu vào $s_{in}(t)$ được nhân với trọng số



Hình 1.1
Bộ khử triệt dây trễ 1 khâu

w_0 thành tín hiệu $s_0(t)$ và sau khi đi qua khối trễ được nhân với trọng số w_1 thành tín hiệu $s_1(t)$. Các tín hiệu $s_0(t)$ và $s_1(t)$ được đưa đến các đầu vào của bộ cộng và kết quả ở đầu ra có tín hiệu sai pha $s_{out}(t)$. Toàn bộ quá trình này được mô tả trên hình

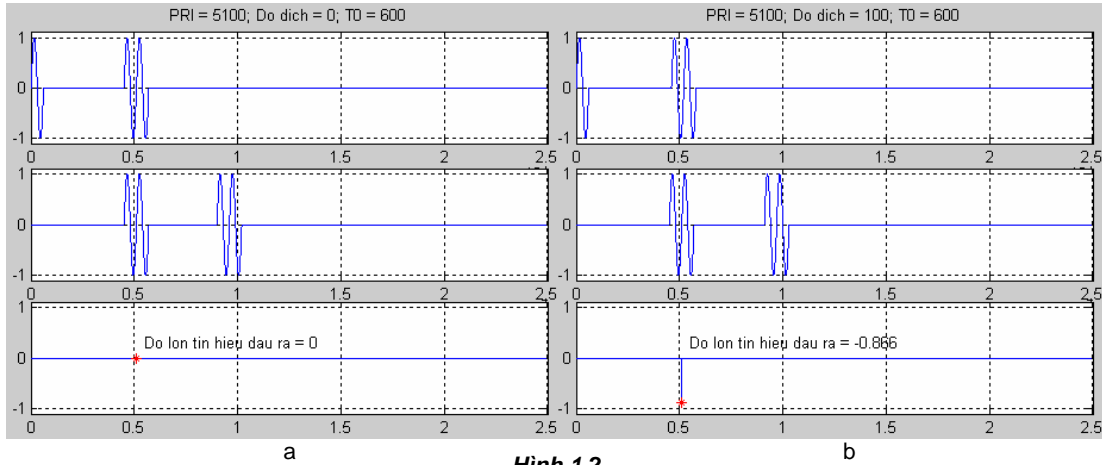
1.2. Hình 1.2a cho thấy đối với vật phản xạ đứng yên, tại thời điểm xuất hiện xung sóng sin thứ 2, tín hiệu sai pha ở đầu ra bộ cộng bằng 0. Ngược lại hình 1.2b cho thấy đối với vật phản xạ chuyển động, tại thời điểm xuất hiện xung sóng sin thứ 2, tín hiệu sai pha ở đầu ra bộ cộng khác 0. Như vậy mức điện áp tại đầu ra của bộ cộng có thể đưa tới quyết định xuất hiện mục tiêu di động và do đó kỹ thuật này được gọi là *chỉ báo mục tiêu di động* (Moving Target Indicator -MTI)

2. BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ 1 KHÂU

Hình 1.1 chính là sơ đồ khối của *bộ khử triệt dây trễ 1 khâu* (gọi là 1 khâu vì trong sơ đồ chỉ cần có 1 khối trễ bằng T_p), như vậy sơ đồ này chỉ áp dụng cho dây xung gồm 2 xung sóng sin $M = 2$ cho nên cũng còn có tên gọi khác là *bộ khử triệt 2 xung*. Nếu bỏ qua hiệu ứng co dãn

đường bao Doppler và giả thiết là biên độ xung đường bao $h = 1$, thì tín hiệu đầu vào bộ khử triệt dây trễ 1 khâu:

$$s_{in}(t) = A_r \cos[(\omega_0 + \omega_D)t - \theta_0] \sum_{m=0}^1 \text{rect}_{\tau_0 + mT_p, \tau_x + 1}(t) \quad (1.1)$$



Hình 1.2
Minh họa hoạt động của bộ khử triệt dây trễ 1 khâu

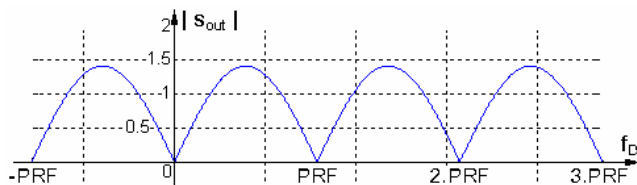
Từ sơ đồ và biểu thức (1.1), sau một số biến đổi ta có:

$$s_{out}(t) = A_r \sqrt{2} \sin(\pi f_D T_p) \sin\left[(\omega_0 + \omega_D)t - \theta_0 - (\omega_0 + \omega_D) \frac{T_p}{2}\right] \quad (1.2)$$

Như vậy biên độ tín hiệu đầu ra bộ khử triệt dây trễ 1 khâu là:

$$|s_{out}| = A_r \sqrt{2} \left| \sin(\pi f_D T_p) \right| \quad (1.3)$$

Biên độ tín hiệu đầu ra bộ khử triệt dây trễ 1 khâu được vẽ thành đồ thị theo tần số Doppler trên hình 2.1. Giá trị đỉnh của $|s_{out}(t)|_{\max} = \sqrt{2}$ (với giả thiết $A_r = 1$), khi đó năng lượng



Hình 2.1
Đặc tính biên độ - tần số của bộ khử triệt dây trễ 1 khâu

tăng 2 lần hay nói cách khác SNR đầu ra lớn gấp 2 lần SNR đầu vào. Vận tốc của mục tiêu tương ứng với các tần số Doppler, mà tại đó $|s_{out}(t)|$ đạt cực đại, được gọi là vận tốc tối ưu. Đối với nhiều tần số Doppler khác, khi nào $|s_{out}(t)|$ nhỏ hơn 1 thì SNR đầu ra nhỏ hơn so với SNR đầu vào và hiệu

quả phát hiện mục tiêu của bộ khử triệt dây trễ 1 khâu không có tác dụng.

Đặc biệt chú ý tới các giá trị biên độ $|s_{out}(t)|$ bằng 0 khi mà tần số Doppler tại đó khác 0 và tương ứng với các vận tốc của mục tiêu cũng khác 0. Nghĩa là bộ khử triệt đường dây trễ đã khử triệt cả các mục tiêu chuyển động với vận tốc nhất định nào đó. Các vận tốc có giá trị như thế được gọi là vận tốc mù, vì với vận tốc đó radar không thể phát hiện được.

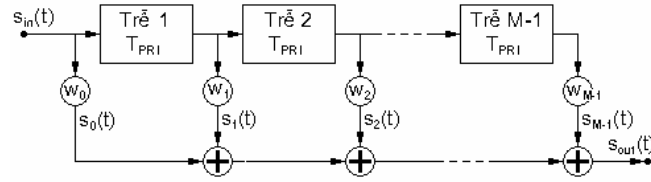
3. BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ NHIỀU KHẤU

Giải pháp tăng cự ly hoạt động (khoảng phát hiện cực đại) của radar thông thường là phát đi một dãy xung sóng sin. Trong trường hợp bộ khử triệt đường dây trễ 1 khâu trên áp dụng cho xử lý tín hiệu có 2 xung sóng sin. Khi đó giá trị đỉnh của $|s_{out}(t)|_{\max} = \sqrt{2}$ và đạt được SNR đầu ra lớn gấp 2 lần SNR đầu vào. Như vậy nếu tổng quát hoá cho một dãy M xung sóng sin, ta sẽ có

một sơ đồ của bộ khử triệt đường dây trễ $M - 1$ khâu (và cũng tương tự như phần trên còn được gọi là bộ khử triệt đường dây trễ M xung), vẽ ở hình 3.1.

Bằng cách tương tự cũng đi đến đồ thị biên độ tín hiệu đầu ra bộ khử triệt đường dây trễ nhiều khâu được vẽ theo tần số Doppler dạng như trên hình 2.1 với cực đại của đồ thị có giá trị:

$$|s_{out}(t)|_{\max} = \sqrt{M} \quad (1.4)$$



Hình 3.1
Bộ khử triệt đường dây trễ $M - 1$ khâu

Để đánh giá hiệu quả của các phương án trong việc khử triệt nhiễu, người ta thường sử dụng tỷ số suy giảm nhiễu phản xạ, ký hiệu CA (Clutter Attenuation Ratio), được định nghĩa là tỷ số công suất nhiễu phản xạ đầu ra P_{C-out} trên công suất nhiễu phản xạ đầu vào P_{C-in} :

$$CA = \frac{P_{C-out}}{P_{C-in}} \quad (1.5)$$

Theo [2], đối với cùng 1 dạng nhiễu phản xạ có mật độ phổ công suất phân bố Gaussian, tỷ số suy giảm nhiễu phản xạ của bộ khử triệt đường dây trễ 1 khâu xấp xỉ bằng:

$$CA_{1-delay} \approx 2(\pi B_C T_p)^2 \quad (1.6)$$

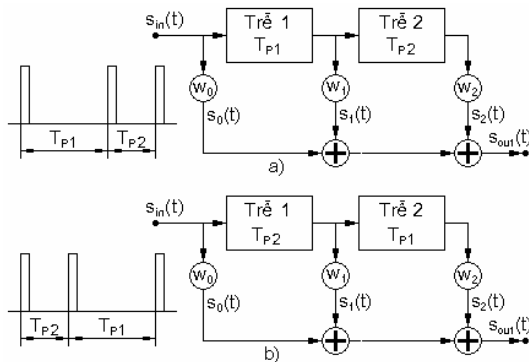
trong đó B_C là độ rộng băng nhiễu phản xạ. Và tỷ số suy giảm nhiễu phản xạ của bộ khử triệt đường dây trễ 2 khâu xấp xỉ bằng:

$$CA_{2-delay} \approx 8(\pi B_C T_p)^2 \quad (1.7)$$

So sánh (1.6) và (1.7), rõ ràng rằng việc tăng số khâu trễ lên đã đem lại một sự cải thiện rất lớn trong hiệu quả nén triệt nhiễu phản xạ. Kết quả, khả năng phát hiện mục tiêu có tốc độ chậm hay lân cận tần số mù được nâng cao. Đó chính là điểm vượt trội của bộ khử triệt đường dây trễ nhiều khâu.

4. BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ SỬ DỤNG DẠNG SÓNG MÃ HÓA VẮT CHÉO

Nguyên nhân phát sinh ra tần số mù trong các bộ xử lý MTI là do tính tuần hoàn của dãy xung sóng sin phát đi. Một giải pháp nhằm hạn chế hiệu ứng tần số mù (và hiệu ứng mập mờ đo khoảng cách) được đưa ra là sử dụng dãy xung sóng sin phát đi không tuần hoàn gọi là dạng sóng mã hóa vắn chéo.



Hình 4.1
Phương án mã hóa vắn chéo

Xét một trường hợp ví dụ có 2 chu kỳ lặp xung xen kẽ nhau như trên hình 4.1, giá trị các chu kỳ lần lượt là:

$$T_{p1} = T_p (1 + \varepsilon); T_{p2} = T_p (1 - \varepsilon) \quad (1.8)$$

$$T_p = (T_{p1} + T_{p2}) / 2$$

trong đó ε là độ lệch chu kỳ. Bộ khử triệt đường dây trễ 2 khâu được áp dụng cho trường hợp này có 2 khâu trễ với độ trễ tương ứng khác nhau, chúng được xếp đặt theo thứ tự khác nhau và xảy ra 2 tình huống như hình 4.1a

và 4.1b. Đáp ứng xung của bộ khử triệt đường dây trễ 2 khâu hình 4.1a có dạng:

$$h_1(t) = \delta(t + T_{p1}) - 2\delta(t) + \delta(t - T_{p2}) \quad (1.9)$$

và hình 4.1b có dạng:

$$h_2(t) = \delta(t + T_{p2}) - 2\delta(t) + \delta(t - T_{p1}) \quad (1.10)$$

Theo định lý Parsavel [1] ta có biến đổi Fourier của bình phương biên độ hàm truyền đạt bằng với hàm tự tương quan của đáp ứng xung, do đó hàm truyền đạt công suất của cả 2 trường hợp trên là như nhau và có dạng:

$$|H(f_D)|^2 = 4 \left\{ 1 + \left[\cos(2\pi f_D T_p) \right]^2 - 2 \cos(2\pi f_D T_p \varepsilon) \right\} \quad (1.11)$$

Đồ thị vẽ theo (1.11) chính là đáp ứng tần số Doppler của bộ khử triệt dây trễ 2 khâu dạng sóng mã hoá vắt chéo được trình bày trên hình 4.2. Cả 2 đồ thị 4.2a và 4.2b được vẽ theo tần số Doppler tương đối f_D/f_p và với 2 giá trị độ lệch chu kỳ tương ứng $\varepsilon = 0.1$; $\varepsilon = 0$. Vấn đề tần số mù đã bị hạn chế rất nhiều (không còn các điểm 0 trên đồ thị 4.2a tại các tần số bội nguyên lần của f_p). Điều này cũng được khẳng định từ (1.11) là tại tần số mù thứ nhất đáp ứng tần số Doppler không phải 0 mà bằng:

$$\left| H\left(\frac{1}{T_p}\right) \right|^2 = 4 \left[2 - 2 \cos(2\pi \varepsilon) \right] \approx 4(2\pi \varepsilon)^2 \quad (1.12)$$

Mặc dù nhược điểm về tần số mù đã được hạn chế, nhưng nhược điểm cơ bản của bộ khử triệt đường dây trễ nhiều khâu là điểm triệt tiêu 0 ở tần số Doppler 0 vẫn tồn tại, thậm chí khi áp dụng mã hóa dạng sóng vắt chéo thì vết khía tại tần số Doppler 0 còn nổi rộng thêm ra. Điều này có nghĩa là khả năng phân biệt các mục tiêu chuyển động với vận tốc chậm là rất thấp và không hề được cải thiện.

5. ĐÁNH GIÁ CHUNG VỀ GIẢI PHÁP BỘ KHỬ TRIỆT DÂY TRỄ

Giải pháp Bộ khử triệt dây trễ là giải pháp cơ bản và có ý nghĩa nền tảng về mặt lý thuyết của Kỹ thuật Phát hiện mục tiêu di động (MTI) vì tính đơn giản về kết cấu cũng như nguyên tắc hoạt động. Nhưng theo các phân tích trên, chúng ta có thể thấy các hạn chế và sự khắc phục của từng giải pháp cụ thể là:

- Đối với bộ khử triệt dây trễ 1

khâu có 3 hạn chế:

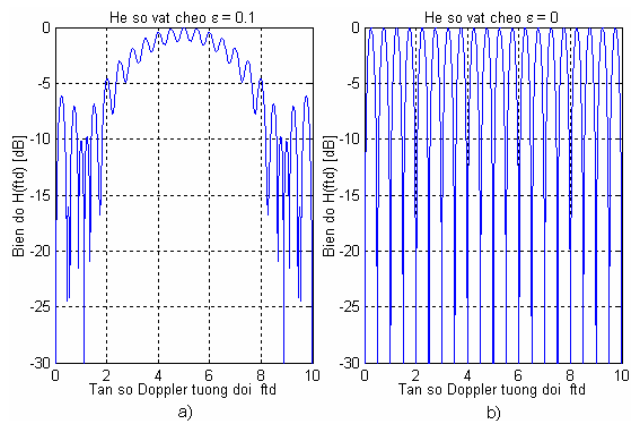
1. Mức cực đại của đặc tính biên độ - tần số là rất nhỏ.
2. Có các điểm "tần số mù".
3. Đặc tuyến biên độ - tần số đi qua gốc tọa độ nên khả năng phân biệt các mục tiêu chuyển động có vận tốc tương đối chậm là rất thấp.

- Bộ khử triệt dây trễ nhiều khâu đã khắc phục được hạn chế về mức cực đại của đặc

tuyến biên độ - tần số lên bằng \sqrt{M} , làm tăng hiệu quả nén triệt nhiễu phản xạ và có sự cải thiện rất lớn về khả năng phát hiện mục tiêu có tốc độ chậm hay lân cận tần số mù.

- Bộ khử triệt dây trễ sử dụng dạng sóng mã hóa vắt chéo khắc phục hiện tượng "tần số mù", tăng khả năng phát hiện mục tiêu trên toàn trục tần số.

Như vậy, các giải pháp bộ khử triệt dây trễ còn một hạn chế rất lớn là khả năng phân biệt các mục tiêu chuyển động có vận tốc tương đối chậm là rất thấp và không hề được cải thiện trong tất cả các phương án đã đưa ra.



Hình 4.2
Đáp ứng tần số bộ KTDĐ với dạng sóng mã hóa vắt chéo

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Signal Processing*, Englewood Cliffs of Prentice Hall, California, 2000.
- [2]. Alfonso Farina, *Antenna-Based Signal Processing Techniques for Radar Systems*, Artech House Boston-London, London, UK, 1992.
- [3]. Ramon Nitzberg, *Adaptive Signal Processing for Radar*, Artech House Inc., Boston-London, UK, 1992.

Người phân biên: TS. Phạm Văn Phước