

# ỨNG DỤNG DS-SS VÀO ĐO XA TRONG THÔNG TIN RADAR

Vũ Đình Thành, Phan Văn Hiệp

Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia TP HCM

(Bài nhận ngày 17 tháng 05 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 27 tháng 07 năm 2005)

**TÓM TẮT:** Bài báo giới thiệu phương pháp mô phỏng kỹ thuật trải phổ chuỗi trực tiếp ứng dụng vào lĩnh vực đo cự ly xa trong thông tin radar. Tín hiệu phát từ radar được điều chế bởi một chuỗi giả ngẫu nhiên định trước. Ở thiết bị thu radar, hàm tương quan giữa chuỗi phát đã bị làm trễ và chuỗi thu được tính toán giá trị. Khi thời gian trễ được hiệu chỉnh phù hợp, giá trị hàm tương quan sẽ đạt đến cực đại, nhờ đó cho phép xác định cự ly vật thể cần đo. Mô hình hệ thống được giới thiệu và một số mô phỏng cung cấp các kết quả có ý nghĩa trong môi trường truyền sóng lý tưởng hoặc bị ảnh hưởng bởi nhiễu.

## I. Giới thiệu

Radar đã được ứng dụng rộng rãi trong việc phát hiện và xác định các tham số của mục tiêu như cự ly, các tọa độ góc, vận tốc, ... trong đó, ứng dụng đo cự ly với độ chính xác cao của radar là một ứng dụng quan trọng. Trước đây, phương pháp đo cự ly xa chủ yếu dùng radar phản xạ đơn giản với điều chế xung. Tín hiệu (dưới một dạng điều chế nào đó) được phát từ radar hướng đến vật thể cần đo và được phản xạ về phía máy phát. Dựa vào thời gian truyền đi và về này của tín hiệu, ta suy ra được khoảng cách đến vật thể cần đo. Phương pháp này có nhược điểm lớn về sai số gây ra do nhiễu trên đường truyền.

Kỹ thuật trải phổ DS-SS ra đời đã giải quyết gần như triệt để nhược điểm nêu trên. Kỹ thuật trải phổ thực hiện việc điều chế lần thứ hai bởi chuỗi số giả ngẫu nhiên trên tín hiệu đã được điều chế. Điều này tương đương việc hy sinh biên độ (hoặc công suất) của tín hiệu phát để có được phổ tần trải rộng. Lúc này, dù trong môi trường tồn tại nhiễu băng hẹp, tín hiệu mang thông tin vẫn có thể được khôi phục nhờ các phép nhân chuỗi trực giao [1]. Áp dụng kỹ thuật trải phổ cho tín hiệu radar không những cho phép đảm bảo chất lượng thông tin mà còn cho phép xác định cự ly của mục tiêu đang quan sát. Điều này đặc biệt có ý nghĩa đối với các mục tiêu trong lĩnh vực quân sự hoặc trong vũ trụ như các hành tinh, thiên thể, ..., nơi mà các dạng nhiễu có thể tác động rất mạnh đến tín hiệu radar.

Hiện nay, các ứng dụng thực tế của DS-SS vào radar đang được nghiên cứu triển khai, nhưng chủ yếu là trong lĩnh vực kỹ thuật quân sự. Cụ thể, phương pháp AeroAstro's Star Ranger (do Phòng Thí nghiệm nghiên cứu không quân Mỹ phát triển) hay hệ thống radar hải quân DRS's SEAL của hải quân Mỹ cũng đang sử dụng phương pháp này. Do yêu cầu bí mật quân sự, các giải pháp kỹ thuật chi tiết không được công khai hóa. Trong bài báo, một chương trình mô phỏng đã được xây dựng nhằm thực hiện việc kiểm chứng các đặc tính trải phổ chống nhiễu của tín hiệu radar. Điều này là phù hợp với xu hướng nghiên cứu và phát triển hiện nay trên thế giới cũng như trong điều kiện Việt Nam.

## II. Phương pháp đo cự ly trong radar dùng chuỗi trực giao

Cơ sở lý thuyết để giải quyết vấn đề được chỉ rõ trong sơ đồ nguyên lý ở Hình 1.

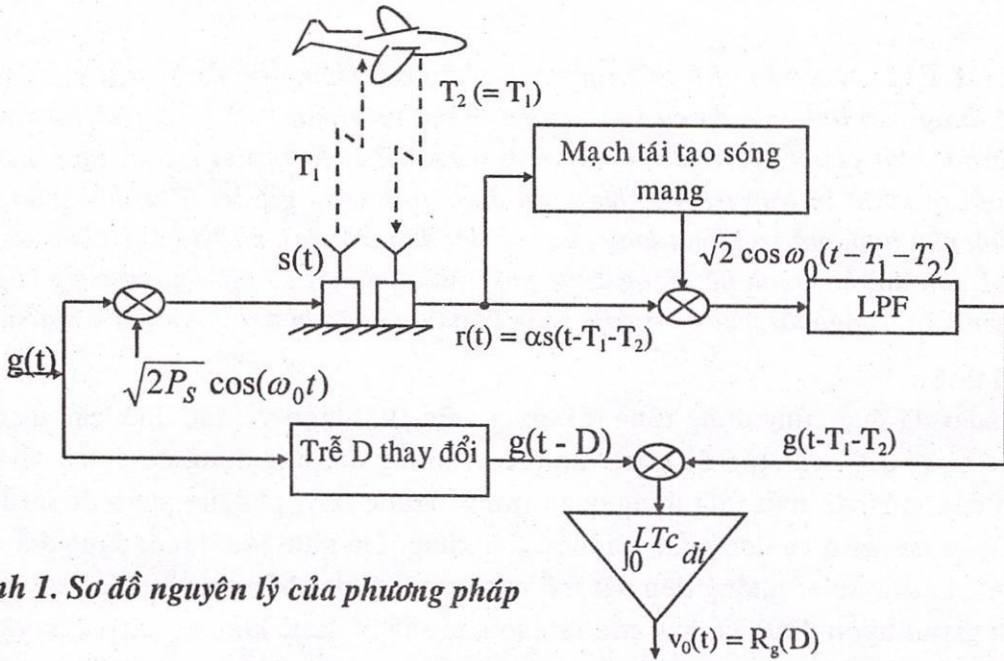
Giả sử tín hiệu DS - SS là  $s(t) = \sqrt{2P_s} \cdot g(t) \cdot \cos(\omega_0 t)$  được phát hướng đến vật thể cần đo. Tín hiệu được phản xạ từ vật thể cần đo cự ly và nhận được tại đầu thu sau thời gian  $T_1 + T_2$  là tín hiệu  $r(t)$ :  $r(t) = \alpha s(t - T_1 - T_2)$

$$= \alpha \sqrt{2P_s} \cdot g(t - T_1 - T_2) \cdot \cos[\omega_0 (t - T_1 - T_2)]$$



$$= \alpha \sqrt{2P_s} \cdot g(t - T_1 - T_2) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta)$$

Trong đó  $\alpha$  đặc trưng cho suy giảm tín hiệu và  $\theta$  là góc pha ngẫu nhiên gây ra do trễ;  
 $\theta = -\omega_0 (T_1 + T_2)$



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của phương pháp

Mạch tái tạo sóng mang thực chất là một vòng Costas [2] [4], có nhiệm vụ tái tạo sóng mang đồng bộ cả về pha và tần số:  $sip(t) = \sqrt{2} \cos \omega_0 (t - T_1 - T_2)$

Chuỗi giả ngẫu nhiên PN  $g(t - T_1 - T_2)$  được tạo ra sau bộ lọc thông thấp LPF.

Tín hiệu giả ngẫu nhiên  $g(t - T_1 - T_2)$  được tính tương quan nhờ bộ phận tích phân với tín hiệu  $g(t - D)$ , là tín hiệu PN được làm trễ một cách chủ động một khoảng thời gian trễ  $D$  có thể điều chỉnh được.

Ngõ ra của bộ tích phân là:

$$v_0(t) = R_g(D) = \int_0^{LT} g[t - (T_1 + T_2)] g(t - D) \cdot dt$$

Khoảng tích phân trong công thức trên được xác định bằng chiều dài của chuỗi PN, là tích số của số bit trong chuỗi  $L$  và chu kỳ bit  $T_c$ .

Hàm tự tương quan  $R_g(D)$  được viết lại:

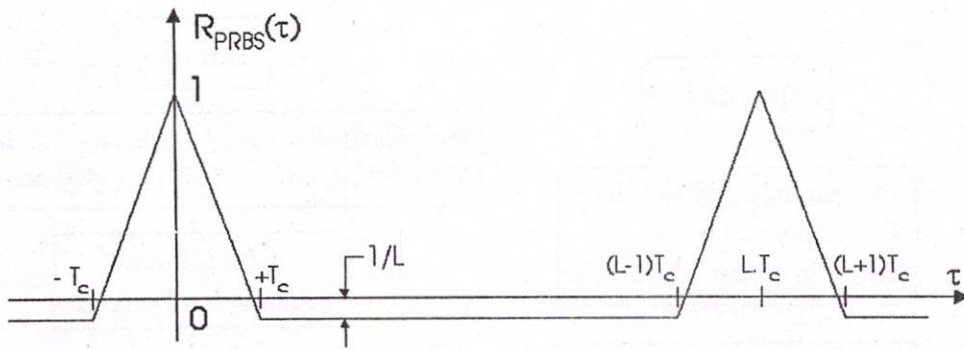
$$R_g(D) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} g(\tau) \cdot g(\tau + \tau_0) \cdot d\tau$$

Với  $\tau = t - (T_1 + T_2)$

$$\tau_0 = (T_1 + T_2) - D$$

Hình 2 là dạng của hàm tự tương quan giữa hai tín hiệu  $g(\tau)$  và  $g(\tau + \tau_0)$ . Do đặc tính của hàm tự tương quan,  $R_g(D)$  cực đại khi và chỉ khi  $\tau_0 = 0$  hay  $D = T_1 + T_2$  [3].





Hình 2 : Đồ thị hàm tự tương quan của chuỗi PRBS

Nếu xem rằng thời gian truyền sóng radar đi và về là bằng nhau  $T_1 = T_2 = T_0$  (vật thể là không di chuyển hoặc có vận tốc rất thấp) thì  $D = 2T_0$ . Với vận tốc sóng điện từ là  $c = 3.10^8$  (m/s) thì khoảng cách đến đầu cuối cần đo sẽ là:

$$d = c.T_0 = \frac{1}{2} c.D$$

Như vậy, việc xác định khoảng cách bây giờ trở thành bài toán tìm điều kiện cực đại của hàm tự tương quan giữa hai tín hiệu  $g(\tau)$  và  $g(\tau + \tau_0)$ .

### III. Xây dựng chương trình mô phỏng

Chương trình mô phỏng cho phép chúng ta thực hiện việc lập các mô hình tương ứng trong thực tế của một đài radar được trải phổ: mô hình máy phát trải phổ, mô hình máy thu giải trải phổ, mô hình bộ tính tương quan.

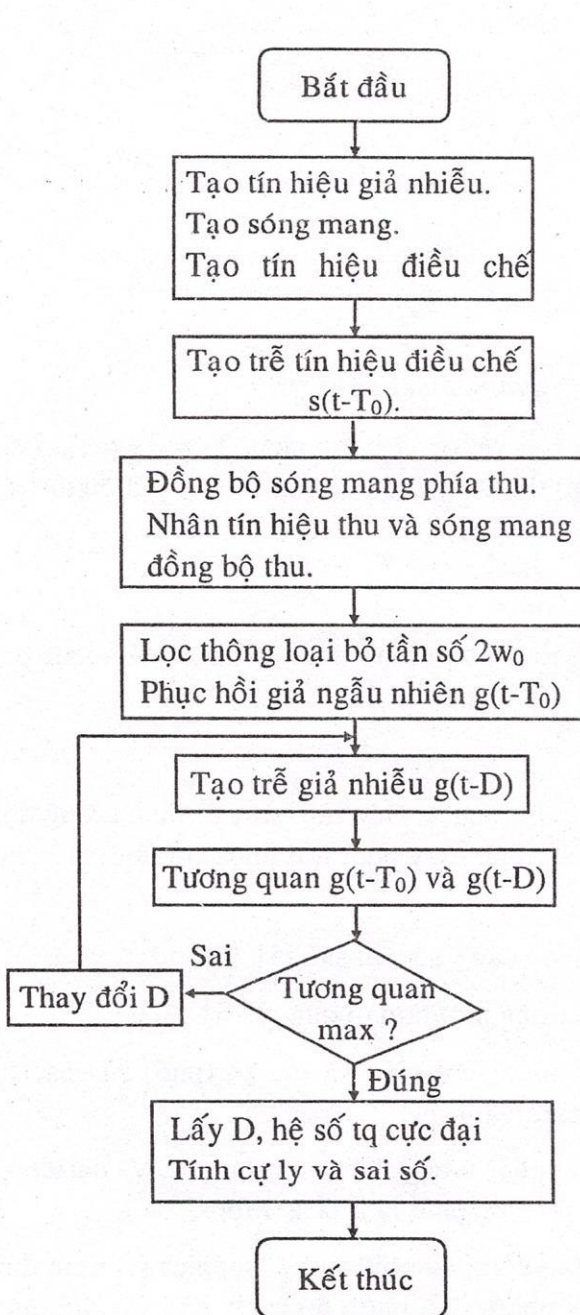
Chương trình mô phỏng cần xây dựng phải có các yêu cầu sau [5], [6]:

- Thời gian trễ  $D$  có thể thay đổi được trong một tầm đi qua giá trị  $T_0$ .
- Cho phép vẽ được dạng sóng trong miền thời gian và tần số (phổ) của các tín hiệu được sử dụng (sóng mang, giả nhiễu, trải phổ...).
- Các thông số của bài toán mô phỏng phải tương thích với thực tế. Ví dụ tần số sóng mang cần phải ở tầm GHz, tốc độ chip phải là ở tầm Mbps, ...
- Bài toán mô phỏng không xét đến tác động của hiệu ứng Doppler (vì mục đích chính của vấn đề được trình bày chỉ nhằm đến phép đo cự ly của vật thể được coi là tĩnh hoặc có tốc độ rất nhỏ so với tốc độ truyền sóng).
- Chương trình phải dễ sử dụng, có thể được giao tiếp thông qua các cửa sổ hộp thoại. Các kết quả mô phỏng được trình bày một cách trực quan.

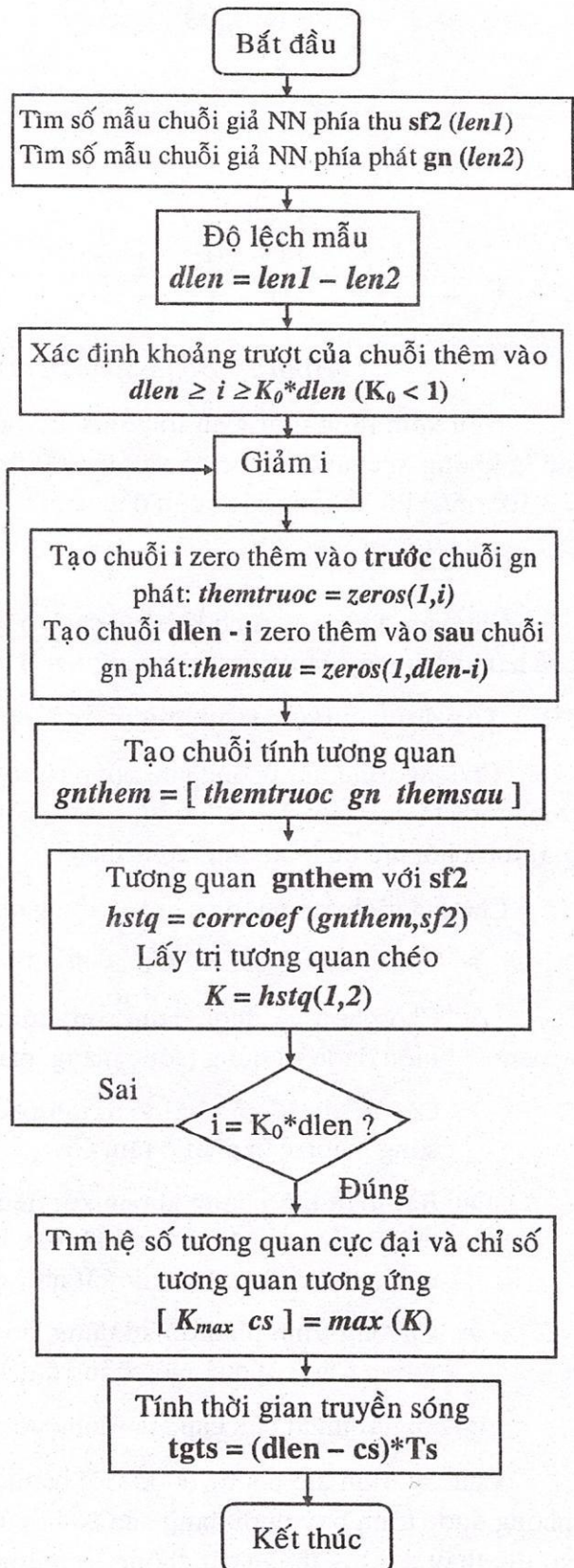
Lưu đồ giải thuật của chương trình được trình bày trong Hình 3 và Hình 4.

Chương trình mô phỏng được viết bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB. Các kết quả mô phỏng được trình bày dưới dạng cửa sổ hộp thoại và đồ thị. Thời gian thực hiện mô phỏng có thể thay đổi tùy thuộc các thông số mô phỏng nhập vào. Hình 5 và 6 giới thiệu một số kết quả dạng phổ và dạng sóng của các chuỗi giả ngẫu nhiên và tín hiệu đã điều chế ở nơi phát và nơi thu trong quá trình mô phỏng.



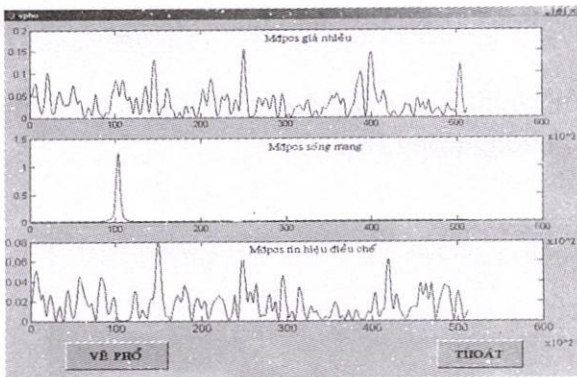


Hình 3: Lưu đồ giải thuật chính

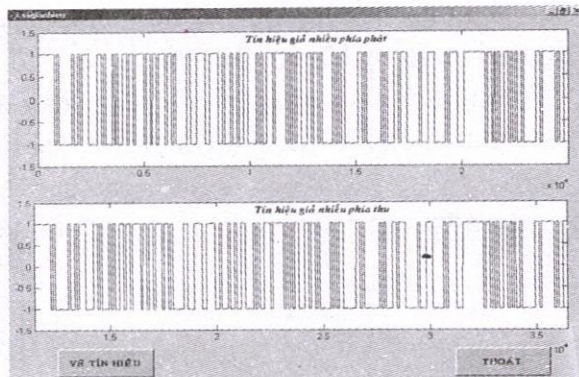


Hình 4: Lưu đồ tính hệ số tương quan cực đại





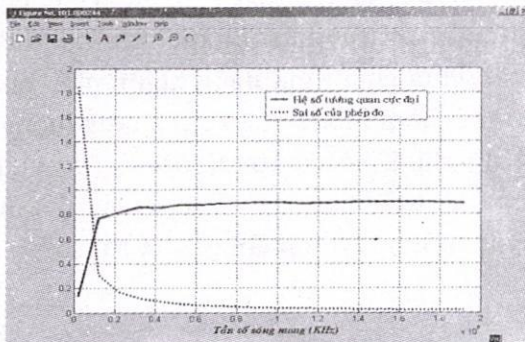
Hình 5: Phổ của tín hiệu giả ngẫu nhiên và tín hiệu đã được điều chế



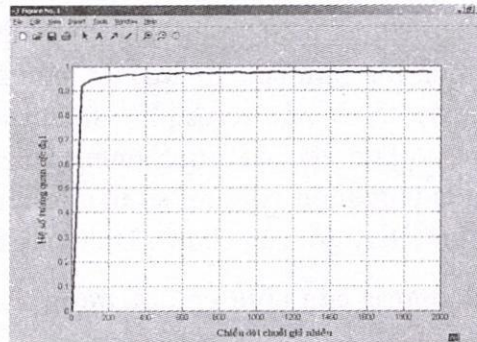
Hình 6: Chuỗi giả ngẫu nhiên ở nơi phát và thu

#### IV. Phân tích các kết quả mô phỏng

Các kết quả mô phỏng được thực hiện cho 2 trường hợp: trường hợp môi trường truyền sóng lý tưởng và trường hợp có sự tác động của nhiễu lên tín hiệu radar. Trong mỗi trường hợp tác giả lại phân tích ảnh hưởng của việc thay đổi các thông số lên kết quả mô phỏng. Các thông số thay đổi cụ thể là tần số sóng mang (KHz), chiều dài chuỗi giả ngẫu nhiên, thời gian truyền sóng dự kiến (ms), biên độ của nhiễu...



Hình 7. Ảnh hưởng của tần số sóng mang



Hình 8: Ảnh hưởng của chiều dài chuỗi giả ngẫu nhiên

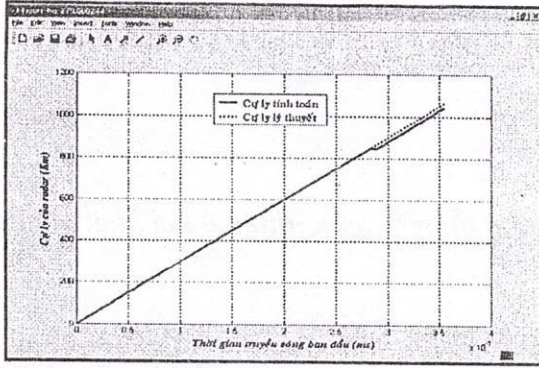
Biểu đồ sự phụ thuộc của hệ số tương quan cực đại và sai số của phép tính theo tần số sóng mang (tầm GHz thỏa tính chất điều chế trực tiếp và thực tế hoạt động của đài radar) được giới thiệu ở Hình 7. Ta nhận thấy với tần số sóng mang lớn hơn 20MHz thì hệ số tương quan cực đại sẽ lớn hơn 0.8. Khi tần số sóng mang  $f_c$  càng lớn thì bộ lọc thông thấp sử dụng trong chương trình càng có khả năng lọc bỏ triệt để các tần số  $2 \cdot f_c$  (được tạo ra sau bộ nhân với sóng mang tái tạo), nghĩa là tín hiệu giả ngẫu nhiên được phục hồi càng triệt để.

Sự phụ thuộc của hệ số tương quan cực đại theo chiều dài chuỗi giả ngẫu nhiên được biểu diễn ở Hình 8. Như vậy, để đảm bảo đạt được hệ số tương quan cực đại cao (lớn hơn 0.7) thì chiều dài chuỗi giả ngẫu nhiên không bé hơn 100. Chiều dài chuỗi giả ngẫu nhiên càng tăng thì việc tính tương quan sẽ chiếm thời gian lâu hơn bởi số mẫu của chương trình phải tính toán tăng lên tương ứng. Bù lại, càng nhiều mẫu thì hệ số tương quan tính được càng chính xác hơn. Để giảm thời gian tính toán, đồng thời đạt được hệ số tương quan đủ

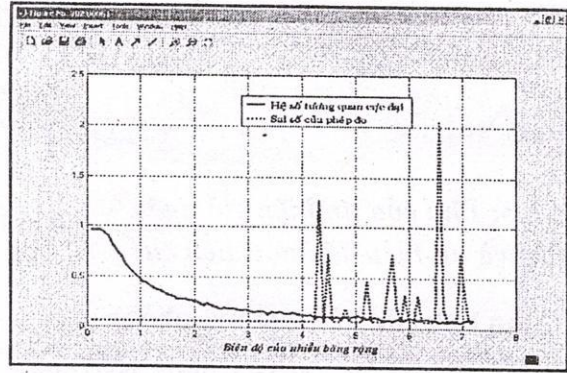


lớn, các phần mô phỏng thực nghiệm cho thấy chiều dài tối đa của chuỗi giả ngẫu nhiên nên được chọn trong khoảng là 400.

Trường hợp thời gian truyền sóng thay đổi, nghĩa là tương ứng với cự ly hoạt động của radar thay đổi, tác giả nhận được kết quả mô phỏng trong Hình 9.



Hình 9. Tầm hoạt động tối ưu của radar



Hình 10: Ảnh hưởng nhiễu băng rộng

Dựa trên đặc tuyến này, nhận thấy radar hoạt động tối ưu ở tầm cự ly từ 3 (km) đến 849 (km). Nhận thấy, ngoài tầm cự ly này, sai số sẽ tăng cao. Tầm cự ly hoạt động tối ưu này gần với những thông số thực tế của một đài radar quân sự. Các sai số gây ra khi cự ly nằm ngoài tầm nêu trên được giải thích bởi khả năng tính toán hàm tương quan của chương trình Matlab với số mẫu tương ứng tối ưu. Nếu thời gian truyền sóng quá bé (nhỏ hơn  $10^{-5}$  ms) hay quá lớn (lớn hơn  $10^{-3}$  ms) thì hiệu số mẫu giữa chuỗi giả ngẫu nhiên phía phát và thu là lớn, do đó số mẫu zeros phải thêm vào để tính hàm tương quan cũng tăng tương ứng. Đây là lý do làm cho việc tính tương quan có độ chính xác thấp. Ngoài ra, do việc mô phỏng được thực hiện với một số hàm sẵn có của Matlab, nên tác giả chưa thể kiểm soát được qui luật thay đổi của chúng. Điều này cũng là một nguyên nhân gây ra sai số.

### Ảnh hưởng của nhiễu môi trường

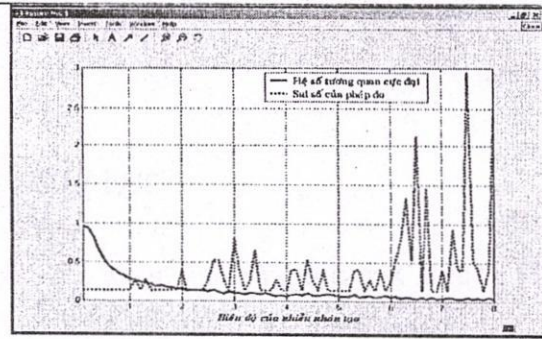
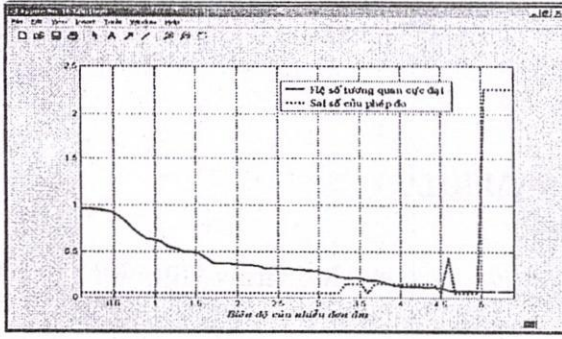
Mô hình nhiễu cộng trên đường truyền được khảo sát để xét ảnh hưởng lên tín hiệu thu của radar. Mô hình nhiễu được xây dựng bao gồm các loại nhiễu băng rộng, nhiễu đơn âm và nhiễu nhân tạo.

Nhiễu băng rộng có phổ trải rộng trên toàn bộ băng thông của tín hiệu, thông thường là nhiễu nhiệt, nhiễu trắng có phân bố dạng Gaussian. Loại nhiễu này được tạo ra trong chương trình mô phỏng đơn giản cũng từ một chuỗi giả nhiễu (giả ngẫu nhiên). Hình 10 giới thiệu ảnh hưởng của biên độ nhiễu băng rộng lên hệ số tương quan cực đại của chuỗi ngẫu nhiên phát và thu, lên sai số của các kết quả tính này. Ta nhận thấy rằng với biên độ nhiễu ở mức trung bình, các ảnh hưởng này là không đáng kể.

Nhiễu đơn âm thông thường là một tín hiệu hình sin có tần số bất kỳ (là một tín hiệu có chủ đích) xâm nhập hệ thống trên đường truyền. Tác giả tạo nhiễu đơn âm bằng một tín hiệu sin có chiều dài bằng chiều dài của tín hiệu thu và tần số là bất kỳ. Kết quả mô phỏng được biểu diễn ở hình 11.

Nhiễu nhân tạo được điều chế dưới dạng gần giống với tín hiệu phát của đài radar. Khảo sát nhiễu nhân tạo với chủ đích tìm hiểu khả năng hoạt động của hệ thống trong điều kiện đối phương gần như kiểm soát được dạng điều chế tín hiệu của chúng ta. Hình 12 cho thấy ảnh hưởng của nhiễu nhân tạo lúc này là đáng kể.





Hình 11: Ảnh hưởng của nhiễu đơn âm. Hình 12: Ảnh hưởng của nhiễu nhân tạo.

Nhìn chung, trong khảo sát ảnh hưởng của các loại nhiễu kể trên, ta nhận thấy rằng, nếu biên độ của các loại nhiễu nằm trong giới hạn cho phép (do tín hiệu đã được chuẩn hóa, nên biên độ nhiễu được chọn nhỏ hơn 1) thì hoạt động của hệ thống không có sự ảnh hưởng nào đáng kể. Khi so sánh ảnh hưởng của các loại nhiễu khác nhau lên hệ thống, ta nhận thấy nhiễu nhân tạo có ảnh hưởng nhiều nhất (biên nhiễu không vượt quá biên độ tín hiệu), trong khi nhiễu đơn âm (cho phép biên nhiễu không lớn hơn 3 lần) và nhiễu băng rộng (biên nhiễu không lớn hơn 4 lần) ảnh hưởng đến hệ thống không đáng kể. Trong thực tế thì việc biên nhiễu lớn hơn nhiều lần so với tín hiệu radar là hiếm khi xảy ra.

## V. Kết luận và hướng phát triển

Các kết quả mô phỏng đạt được đã minh họa khả năng ứng dụng kỹ thuật trải phổ để xác định cự ly của vật thể trong radar. Kỹ thuật trải phổ không những cho phép bảo toàn tín hiệu mang tin trong môi trường có nhiễu, mà còn cho phép đảm bảo tính bí mật của hệ thống, nhất là trong các ứng dụng quân sự. Với tầm hoạt động của radar dưới 1000 km, các thông số điều chế trải phổ có thể được xác định trong các dải giá trị tương ứng như tần số sóng mang tầm GHz, tốc độ chip tầm Mbps, ....

Công việc mô phỏng được thực hiện với điều kiện thực tế có ảnh hưởng của các loại nhiễu thông dụng. Kết quả mô phỏng thể hiện rõ yêu cầu chống nhiễu và bảo mật của kỹ thuật trải phổ.

Hướng nghiên cứu này còn có thể được mở rộng cho các phép đo về tốc độ của vật thể (xét đến hiệu ứng Doppler), về hướng của vật thể trong không gian, loại trừ các ảnh hưởng của fading sóng phẳng trong phương pháp dùng chuỗi giả ngẫu nhiên đồng bộ hoặc bất đồng bộ,....

## APPLICATION OF DS-SS FOR RANGING IN RADAR SYSTEM

Vu Dinh Thanh, Phan Van Hiep

University of Technology – Vietnam National University – Ho Chi Minh City

**ABSTRACT:** In this paper, the application of DS-SS for ranging in radar system is investigated where the radar signal is modulated by a chosen pseudo-random sequence. Based on the orthogonal characteristics of these sequences, the correlation of emitted and received sequences is calculated and its maximum value is attained when the delayed time of emitted sequence coincides with the two-way propagation time of the radar wave. By choosing appropriate temporal scale on the delay unit, the distance of the considered object



to the radar is deduced. The modelisation algorithm of the system and the simulations are set up which provide meaningful applied results for cases of noise-free and of noisy propagation medium.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Taub, Schilling, *Principles of communication Systems*, Mc Graw-Hill, pp 720 – 749, 1987.
- [2] John G.Proakis, *Digital Communications*, Mc Graw-Hill, pp 695 – 754, 1995.
- [3] Robert A. Scholtz, *The Origins of Spread-Spectrum Communications*, IEEE Trans. of Communications, pp. 822-854, May 1982.
- [4] Bernard Sklar, *Digital Communications, Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, PTR, pp 718 – 802, 2001.
- [5] Fred E.Nathanson, J.Patrick Reilly, Marvin N.Cohen, *Radar Design Principles*, Mc Graw-Hill.
- [6] Bassem R.Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, Chapman and Hall/CRC – A CRC Press Company, 2000.