

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ TIN CẬY CHO NGÒI NỔ LASER CỦA TÊN LỬA PHÒNG KHÔNG

Nguyễn Đức Thi¹, Nguyễn Trường Sơn², Trần Hoài Linh³, Trần Xuân Tinh², Dương Hòa An^{4*}

¹Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng, ²Học viện Kỹ thuật Quân sự
³Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, ⁴Trường Đại học Kỹ thuật công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một giải pháp chống nhiễu bằng phương pháp mã hóa trải phổ cho ngòi nổ laser trong tên lửa phòng không. Giải pháp đề xuất cùng với các biện pháp chống nhiễu truyền thống cho phép cải thiện hiệu quả chất lượng làm việc của ngòi nổ laser khi bị đối phương gây nhiễu chủ động, nhiễu trùng phổ. Mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink cho kết quả với tỉ số tín/ tạp bằng 5,5dB thì số bit lỗi bằng 0, sai số đo khoảng cách bằng 0,015m. Qua mô phỏng nhận thấy, giải pháp này cho độ tin cậy cao, sai số nhỏ, có thể phát triển để ứng dụng cho tên lửa phòng không hiện đại.

Từ khóa: Tên lửa phòng không tầm thấp, ngòi nổ laser, mã hóa trải phổ, điều chế dịch pha nhị phân

Ngày nhận bài: 03/9/2019; Ngày hoàn thiện: 17/9/2019; Ngày đăng: 03/10/2019

A SOLUTIONS TO IMPROVE RELIABILITY FOR LASER FUZE IN AIR DEFENSE MISSILES

Nguyen Duc Thi¹, Nguyen Truong Son², Tran Hoai Linh³, Tran Xuan Tinh², Duong Hoa An^{4*}

¹General Department of Defense Industry, ²Military Technical Academy
³Hanoi University of Science and Technology, ⁴University of Technology - TNU

ABSTRACT

The paper proposes an anti-interference solution for the laser detonator of the anti-aircraft missile by universal spread coding. The proposed solution together with traditional anti-noise measures has improved the working quality of the laser detonator when being subjected to active interference, spectral noise interference. Simulation on Matlab-Simulink software results in a ratio of credit/noise equal to 5.5dB, the number of error bits is 0, the error of measuring distance is 0.015m. Through simulations, this solution offers high reliability, small errors, can be developed to apply to modern air defense missiles.

Keywords: Low-range missile, laserfuze, spread spectrum coding technique, binary phase shift keying.

Received: 03/9/2019; Revised: 17/9/2019; Published: 03/10/2019

* Corresponding author. Email: duonghoaantnut@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, với tên lửa phòng không hiện đại, để tăng độ tin cậy, xác suất tiêu diệt mục tiêu, thì bên cạnh ngòi nổ vô tuyến cần có thêm ngòi nổ không tiếp xúc sử dụng cảm biến laser (CBLS). Trong khi đó điều kiện làm việc của tên lửa phòng không rất phức tạp, nhiều dạng nhiễu tác động đến tuyến thu, phát trên ngòi nổ như: méo sóng do hiệu ứng Doppler, khói bụi đường truyền, ánh sáng mặt trời, các nguồn sáng phi tự nhiên, tán xạ do các bề mặt của đối tượng đã được xử lý, các dạng phá sóng chủ động của đối phương đang bị tên lửa bám theo,... Chính vì vậy việc trang bị thêm kỹ thuật mã hóa cho chùm tia laser phát, nhằm hỗ trợ bộ phận thu laser tách được chùm tia có ích ra khỏi một số chùm tia của các nguồn nhiễu quang học khác có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc nâng cao chất lượng của ngòi nổ. Bên cạnh đó, ngày nay với hệ thống máy tính siêu nhỏ có cấu hình cao, hoàn toàn có thể đưa lên ngòi nổ để thực hiện những kỹ thuật mã hóa phức tạp [12, 14,15]. Trong bài báo này, các tác giả đề xuất một phương án sử dụng mã trải phổ cho phép nâng cao khả năng chống nhiễu đường truyền của ngòi nổ laser trong tên lửa phòng không.

2. Nguyên lý hoạt động của ngòi nổ laser lắp trên ngòi nổ

Nguyên lý hoạt động của ngòi nổ laser giống với ngòi nổ vô tuyến, chỉ khác là sử dụng tia laser để chiếu xạ mục tiêu (Hình 1), bằng cách: Chiếu xạ tới mục tiêu với một xung laser từ máy phát; Phát hiện chùm tia phản xạ từ mục tiêu; Đo thời gian tia laser truyền từ nguồn tới mục tiêu và trở lại máy thu để tính

khoảng cách từ ngòi nổ đến mục tiêu, lựa chọn cự li thích hợp để kích nổ đầu nổ.

3. Nâng cao độ tin cậy của ngòi nổ laser bằng kỹ thuật mã hóa trải phổ

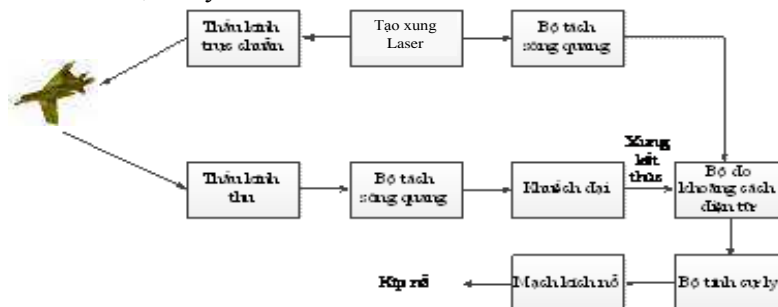
Hiện nay trên tên lửa phòng không đã có những biện pháp chống nhiễu sau:

1- *Đặt ngưỡng biên độ* [1,2]: Đặt ngưỡng biên độ cho tín hiệu kích nổ. Nếu tín hiệu kích nổ do CBLS tạo ra thấp hơn ngưỡng này thì cơ cấu bảo hiểm - kích nổ sẽ không kích nổ ngòi nổ. Khi đó, ta sẽ loại trừ được xung điện tự kích hoạt khi cấp nguồn cũng như những nhiễu do nguồn bức xạ tự nhiên yếu (phông nền,...) tạo ra.

2- *Đặt kính màu* [4,6]: Đặt kính màu ở đầu vào của bộ phận thu laser tương đồng với bước sóng chùm tia laser phát của bộ phận phát laser. Khi đó ta sẽ chặn được các phổ nhiễu quang học không có bước sóng tương ứng chiếu vào bộ phận thu laser.

3- *Chọn trường nhìn* [4,6]: Chọn hệ quang của bộ phận phát và bộ phận thu laser có trường nhìn rất hẹp. Điều này cũng giúp giảm xác suất các nguồn nhiễu quang học chiếu vào bộ phận thu laser.

4- *Đồng bộ thời gian làm việc* [3]: Đồng bộ thời gian làm việc của bộ phận thu laser và của bộ phận xử lý tín hiệu theo bộ phận phát laser. Chỉ khi nào bộ phận phát laser làm việc thì bộ phận thu laser và bộ phận xử lý tín hiệu mới canh trục để sẵn sàng nhận và xử lý tín hiệu. Qua đó, ta cũng giảm được xác suất các nguồn nhiễu quang học chiếu vào bộ phận thu laser tạo ra tín hiệu kích nổ không mong muốn.



Hình 1. Sơ đồ chức năng của ngòi nổ laser

5- *Chọn đặc tuyến* [3]: Chọn đặc tuyến biên độ - tần số của khâu khuếch đại tín hiệu sao cho hệ số khuếch đại rất nhỏ với các tín hiệu có tần số thấp. Với giải pháp này giúp giảm được tác động của những nguồn nhiễu có thời gian tác động lớn như bức xạ của mặt trời, của luồng phụt động cơ phản lực, của phòng nền,...

6- *Tạo xung cửa* [3]: Tạo xung cửa ở bộ phận xử lý tín hiệu. Trong khoảng thời gian xác định, bằng độ rộng xung cửa, nếu bộ phận xử lý tín hiệu đếm được số lượng xung đạt yêu cầu ngưỡng biên độ nằm trong giới hạn quy định ($n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$) thì bộ phận này sẽ tạo ra tín hiệu đưa sang cơ cấu bảo hiểm - kích nổ để kích nổ ngòi nổ. Bằng giải pháp này ta sẽ loại được những nguồn bức xạ nhiễu có thời gian tác động lớn (như bức xạ của mặt trời, của luồng phụt động cơ phản lực, của phòng nền,...vì chúng có độ rộng lớn), cũng như loại được các nguồn bức xạ nhiễu có độ rộng nhỏ.

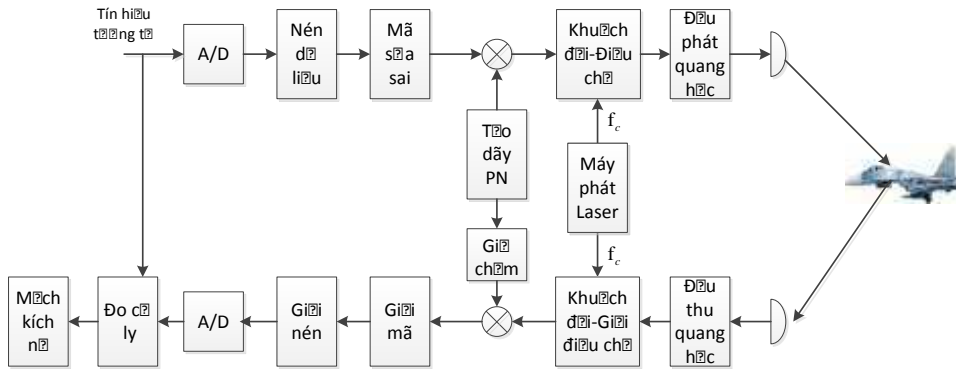
Tuy nhiên, các phương tiện tập kích đường không đã có những tiên bộ vượt bậc về khả năng đối kháng và chống đối kháng, trong đó có cả hệ thống gây nhiễu hồng ngoại và laser. Chính vì vậy ngòi nổ sử dụng các phương pháp mã hóa truyền thống rất có thể bị gây nhiễu, giảm khả năng đánh trúng mục tiêu.

Do đó bài báo đề xuất phương pháp chống nhiễu số 7 là mã hóa xung thăm dò của ngòi nổ laser. Bộ phận mã hóa tạo tín hiệu điện đã được mã hóa đưa đến điều khiển nguồn phát laser. Bộ phận xử lý sẽ so sánh tín hiệu điện được tạo ra với quy luật mã hóa cho trước, nếu đúng quy luật sẽ tạo ra tín hiệu đưa sang cơ cấu bảo hiểm để kích nổ.

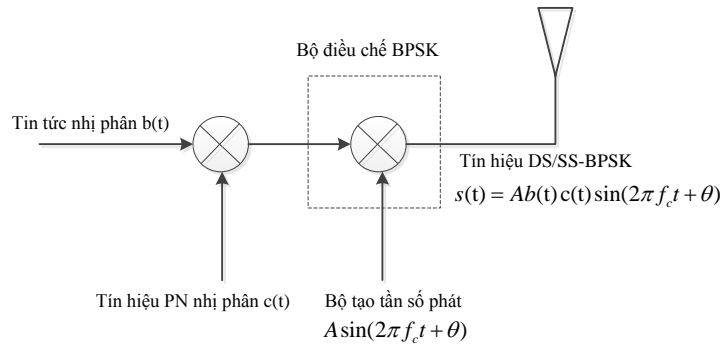
Phương pháp mã hóa trải phổ được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền thông vô tuyến, đặc biệt là trong các ứng dụng quân sự do khả năng chống nhiễu rất tốt [12,14,15]. Trong hệ thống truyền thông có rất nhiều nguồn nhiễu và nhiều loại nhiễu khác nhau. Ta có thể gặp các nhiễu đường truyền, nhiễu trùng phổ, nhiễu tích cực,... Kỹ thuật mã hóa trải phổ sẽ mở rộng phổ truyền tín hiệu đồng

thời với việc hạ thấp mức năng lượng trong từng dải phổ sẽ làm cho tín hiệu phát có mức năng lượng thấp, trong nhiều trường hợp còn thấp hơn cả các mức nhiễu nền nên việc phát hiện sóng mang tín hiệu sẽ khó khăn hơn cho các đối tượng ngoài hệ thống. Có 3 loại hệ thống trải phổ cơ bản: dãy trực tiếp (Direct Sequence – DS), nhảy tần (Frequency Hopping – FH) và nhảy thời gian (Time Hopping – TH). Cũng có thể kết hợp các loại này với nhau. Hệ thống DS/SS đạt được trải phổ nhờ nhân nguồn với tín hiệu giả ngẫu nhiên. Hệ thống FH/SS đạt được trải phổ bằng cách nhảy tần số sóng mang của nó trên một tập lớn các tần số. Mẫu nhảy tần là giả ngẫu nhiên. Hệ thống TH/SS, khối các bit dữ liệu được nén và phát đi một cách gián đoạn trong một hoặc nhiều khe thời gian trong khung gồm một số lớn các khe thời gian. Mẫu nhảy thời gian giả ngẫu nhiên xác định khe thời gian nào được dùng để truyền trong mỗi khung. Trong ba hệ thống trên, kỹ thuật DS/SS đơn giản hơn, nhưng cho hiệu quả bảo mật cao hơn nên tác giả đề xuất sử dụng trên ngòi nổ. Trong đó, mỗi bit số liệu được mã thành một chuỗi bit mới (có độ dài bằng độ dài bit của mã chuỗi giả ngẫu nhiên) nên chuỗi kết quả sẽ có độ dài dài hơn (hao tổn đường truyền hơn) nhưng bù lại có thể tăng được khả năng chống nhiễu, do tuyến thu phải sử dụng đúng mã đã khóa mới có thể giải mã chính xác. Một trong những phương pháp mã hóa dữ liệu là điều chế dịch pha nhị phân (Binary Phase Shift Keying – BPSK) [5]. Trên cơ sở sử dụng kỹ thuật DS/SS – BPSK như đã đề cập, các tác giả đề xuất một hệ thống mã hóa trải phổ dùng trên ngòi nổ laser như mô tả trong Hình 2.

Trong hệ thống này, có hai thành phần chính là tuyến phát và tuyến thu. Tuyến phát có chức năng phát tín hiệu đã được mã hóa sử dụng kỹ thuật BPSK nhằm chống nhiễu. Tuyến thu có chức năng giải mã tín hiệu có ích thu được phục vụ cho việc phát hiện mục tiêu và kích nổ đầu nổ.



Hình 2. Sơ đồ chức năng hệ thống mã hóa trải phổ dùng trên ngòi nổ laser



Hình 3. Máy phát hệ DS/SS-BPSK

Sơ đồ khối của tuyến phát DSSS-BPSK [12] được mô tả như Hình 3. Tuyến phát laser điều chế tín hiệu dưới dạng hàm $b(t)$ nhận các giá trị ± 1 , có thể biểu diễn như sau:

$$b(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k p_T(t-kT) \quad (1)$$

Ở đây $b_k = \pm 1$ là bit dữ liệu thứ k và T là độ dài của nó (tức tốc độ dữ liệu là $1/T$ bps). Tín hiệu $b(t)$ được trải ra bởi tín hiệu PN (Pseudo-Noise - giả tạp âm) $c(t)$ qua phép nhân. Với $c(t)$ có dạng:

$$c(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_T(t-kT_c) \quad (2)$$

Tín hiệu kết quả $b(t), c(t)$ sau đó điều chế sóng mang dùng BPSK, tạo nên tín hiệu DS/SS-BPSK như sau

$$s(t) = Ab(t)c(t)\sin(2\pi f_c t + \theta) \quad (3)$$

Ở đây A là biên độ, f_c là tần số phát của laser và θ là pha ban đầu.

Sơ đồ khối của tuyến thu DS/SS-BPSK [5] được mô tả trên Hình 4. Mục đích của tuyến

thu là khôi phục tín tức $b(t)$ từ tín hiệu thu được gồm tín hiệu phát phản xạ về cộng với tạp âm. Vì có độ trễ τ trong truyền sóng nên tín hiệu thu được là:

$$s(t-\tau) + n(t) = Ab(t-\tau)c(t-\tau)\sin(2\pi f_c(t-\tau) + \theta) + n(t) \quad (4)$$

Trong đó $n(t)$ là tạp âm từ kênh và từ front-end của tuyến thu.

Để thực hiện khôi phục tín hiệu phát, giả sử rằng không có tạp âm, đầu tiên tín hiệu thu được giải trải để đưa băng rộng về băng hẹp, sau đó nó được giải điều chế để nhận được tín hiệu băng gốc. Để giải trải, tín hiệu thu được nhân với tín hiệu PN $c(t - \tau)$ tạo ra tại tuyến thu, kết quả được:

$$w(t) = Ab(t-\tau)c^2(t-\tau)\sin(2\pi f_c t + \theta') = Ab(t-\tau)\sin(2\pi f_c t + \theta') \quad (5)$$

Vì $c(t) = \pm 1$, còn $\theta' = \theta - 2\pi f_c \tau$. Đây là tín hiệu băng thông dải hẹp với dải thông $2/T$. Để giải điều chế, giả sử rằng tuyến thu biết được pha θ' và tần số f_c cũng như điểm bắt đầu của mỗi bit. Bộ giải điều chế BPSK gồm

bộ tương quan theo sau là thiết bị ngưỡng. Để phát hiện bit dữ liệu thứ i , bộ tương quan tính toán như sau:

$$z_i = \int_{t_i}^{t_i+T} w(t) \sin(2\pi f_c t + \theta) dt$$

$$= A \int_{t_i}^{t_i+T} b(t-\tau) \sin^2(2\pi f_c t + \theta) dt \quad (6)$$

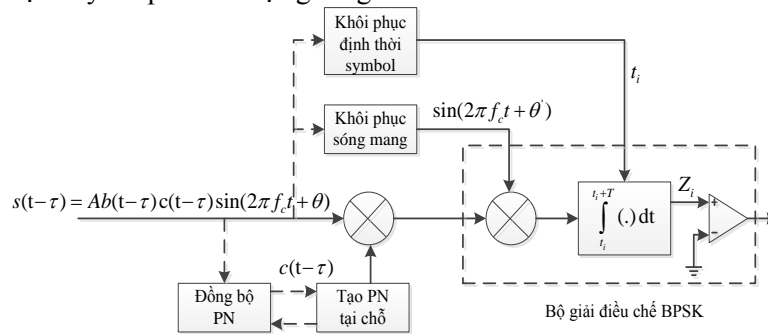
$$= \frac{A}{2} \int_{t_i}^{t_i+T} b(t-\tau) [1 - \cos(4\pi f_c t + 2\theta)] dt$$

Trong đó, $t_i = iT + T$ là điểm đầu của bit thứ i . Vì $b(t - \tau)$ bằng +1 hoặc -1 trong mỗi bit, nên số hạng đầu tiên trong tích phân có giá trị là T hoặc $-T$. Số hạng thứ hai là thành phần tần số gấp đôi có giá trị xấp xỉ bằng không sau tích phân. Do đó kết quả là z_i bằng $AT/2$ hoặc $-AT/2$. Cho tín hiệu này đi qua thiết bị ngưỡng

(hoặc bộ so sánh) với ngưỡng bằng 0 sẽ được tín hiệu ra nhị phân 1 (logic “1”) hoặc -1 (logic “0”).

Tín hiệu PN được đưa cả đến tuyến thu và tuyến phát. Vì tuyến thu trên tên lửa biết mã nên có thể giải trải tín hiệu SS để khôi phục tín tức. Mặt khác, tuyến thu của đối phương không biết mã $c(t)$ do đó trong điều kiện bình thường nó không thể giải mật tin tức.

Ngoài ra, kỹ thuật này còn có ưu điểm nữa là có khả năng truyền tin ở chế độ đa điểm, chồng lấn phổ. Tức là cùng lúc, nhiều tuyến phát truyền dữ liệu, một tuyến hoặc nhiều tuyến thu cùng nhận dữ liệu. Mở ra khả năng ứng dụng bảo mật nhiều lớp cho ngòi nổ bằng cách tăng số tuyến phát lên và mỗi tuyến có một mã giải khác nhau.

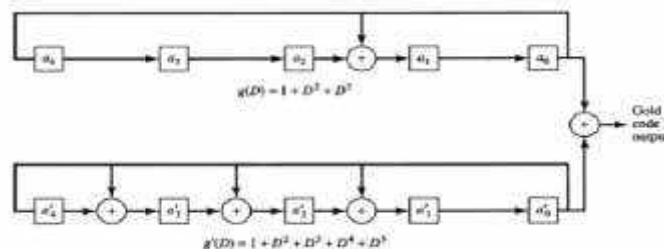


Hình 4. Máy thu hệ DS/SS-BPSK

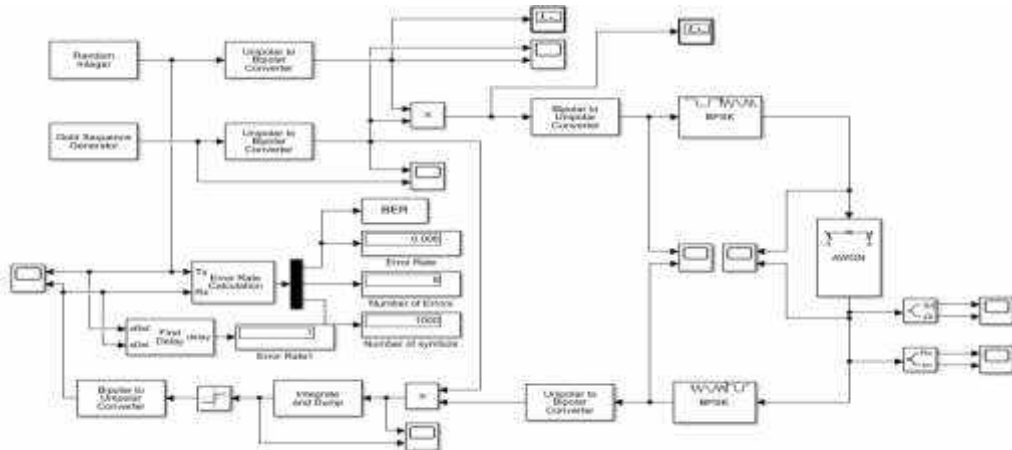
4. Mô phỏng và đánh giá kết quả

Để sinh mã chuỗi giả ngẫu nhiên PN, tác giả sử dụng mã Gold, sử dụng hai bộ $m = 5$ thanh ghi, độ dài mã là $N = 2^m - 1 = 31$ như trên hình 5.

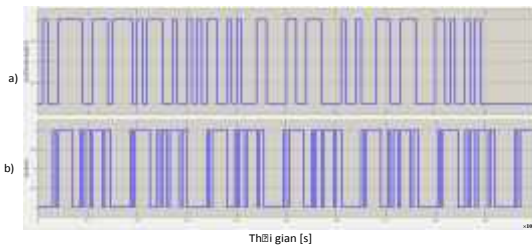
Tiến hành mô phỏng cho hệ thu – phát của ngòi nổ laser với kỹ thuật mã hóa trải phổ, so sánh chất lượng tín hiệu thu được trong các điều kiện tỉ số tín/ tạp (SNR) khác nhau.



Hình 5. Sơ đồ khối hệ sinh mã Gold chiều dài 31 bằng 5 thanh ghi dịch

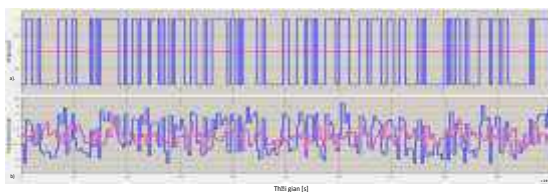


Hình 6. Sơ đồ Matlab-Simulink của hệ thống 1 thu – 1 phát DSSS



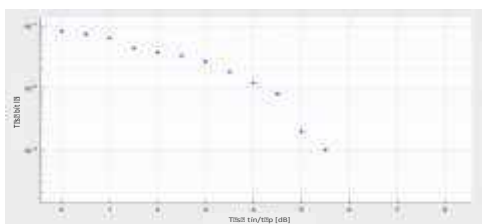
Hình 7. Dạng xung dữ liệu truyền đi và mã Gold;
a) Chuỗi PN (Mã Gold); b) Chuỗi dữ liệu

Dữ liệu sau khi được trải phổ ở máy phát, kết hợp giả lập nhiễu trắng trên đường truyền với tỷ số SNR = 4,5dB và nhận được ở máy thu được mô tả trong Hình 8.



Hình 8. Dữ liệu được trải phổ và tín hiệu máy thu nhận được (a) Dữ liệu trải phổ; b) Tín hiệu trên kênh truyền)

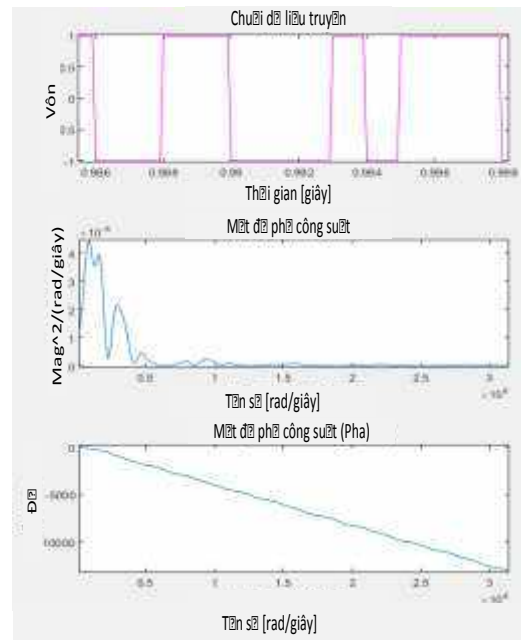
Tiến hành khảo sát lỗi bit khi thay đổi nền nhiễu: Thay đổi dải nhiễu qua hệ số SNR trong dải: 0:0,5:50 dB. Đồ thị biểu diễn bit lỗi tương ứng với mức nhiễu thể hiện trên Hình 9.



Hình 9. Khảo sát lỗi bit khi thay đổi nền nhiễu

Mật độ phổ công suất của dữ liệu cần truyền và tín hiệu trải phổ thể hiện trong Hình 10. Dữ liệu sau khi đã được giải điều chế chế ở máy thu được mô tả trong Hình 12.

Từ kết quả mô phỏng trên Simulink, ta thấy trong 1000 bit dữ liệu truyền, với SNR = 4,5 dB có 8 bit dữ liệu bị lỗi, tương ứng 0,8% tổng số bit truyền đi. Với SNR < 1 thì sai số không lớn hơn 8%. Khi tăng SNR thì số bit lỗi giảm dần, với SNR ≥ 5,5dB thì số bit lỗi bằng 0. Điều này chứng tỏ khả năng bảo mật cao và chống nhiễu tốt của phương pháp đề xuất.



Hình10. Mật độ phổ công suất tín hiệu gốc và trải phổ của dữ liệu truyền đi;

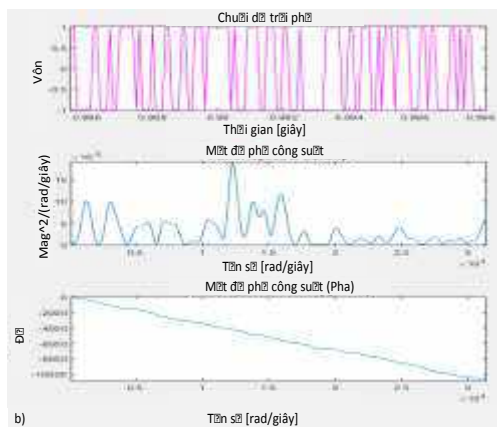
Qua Hình 12 cho thấy giữ chậm giữa tín hiệu phát đi và thu về, ước lượng khoảng $0,01 \cdot 10^{-8}$ s ($\tau_{gc} = 10^{-10}$ s). Thời gian giữ chậm tại các khâu phát và khâu thu đã được tính toán trên cơ sở tốc độ xử lý của hệ thống và được bù khử để không ảnh hưởng đến độ chính xác đo khoảng cách. Với tốc độ ánh sáng $C = 3 \cdot 10^8$ (m/s), có thể tính ra khoảng cách tương ứng với sai số đo cho ngòi laser là:

$$\Delta d = \frac{C \cdot \tau_{gc}}{2} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-10}}{2} = 0,015 \text{ (m)}$$

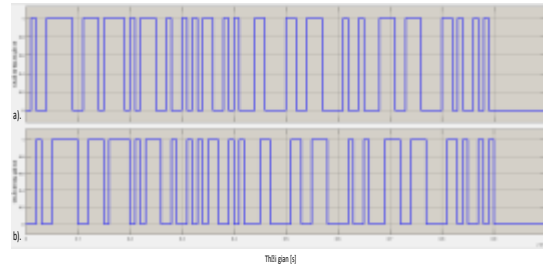
Đây là sai số rất nhỏ cho những tên lửa tầm cao và tầm trung có bán kính sát thương lớn, lên đến hàng chục m.

5. Kết luận

Việc ứng dụng kỹ thuật mã hoá trải phổ DS/SS-BPSK trong các bộ thu – phát laser giúp tăng cường khả năng chống nhiễu và cho phép thu được các thông tin có ích một cách chính xác. Điều này giúp nâng cao chất lượng hoạt động của các ngòi nổ laser, giảm khả năng chế áp điện tử của đối phương. Phương pháp đề xuất được đánh giá trên phần mềm mô phỏng Matlab-Simulink và tiến tới thực nghiệm trên vi xử lý. Kết quả mô phỏng cho thấy, kỹ thuật mã hoá trải phổ cho phép nâng cao đáng kể độ chính xác trong truyền tin, tỉ lệ lỗi do nhiễu gây ra là không đáng kể. Trên cơ sở các kết quả đạt được, có thể mở ra khả năng ứng dụng kỹ thuật DS/SS trong các ngòi nổ laser nhằm tăng độ tin cậy, cũng như nâng cao xác suất tiêu diệt mục tiêu cho các tên lửa phòng không hiện đại.



Hình 11. Mật độ phổ công suất tín hiệu gốc và trải phổ của dữ liệu được trải phổ



Hình 12. Dạng xung dữ liệu sau khi đã được giải điều chế chế ở máy thu
a) Chuỗi dữ liệu truyền đi; b) Chuỗi dữ liệu giải mã

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ove Steinvall, “Effects of target shape and reflection on laser radar cross sections”, *Optical Society of America*, Vol. 39, Issue 24, pp. 4381-4391, 2000.
- [2]. A. Nasser, “Recent Advancements in Proximity Fuzes Technology”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 4, Issue 04, pp. 1233-1238, April-2015.
- [3]. V. K. Arora, *Proximity Fuzes Theory and Techniques*, Defence Scientific Information and Documentation Centre Defence Research & Development Organisation Ministry of Defence, India, 2010.
- [4]. Lê Thế Mậu, “Xu hướng phát triển của tên lửa phòng không mang vác”, *Tạp chí thông tin chuyên đề Tình hình xu hướng phát triển kỹ thuật quân sự nước ngoài*, số 20, Tổng cục Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
- [5]. Đỗ Quốc Trinh, Vũ Thanh Hải, *Kỹ thuật trải phổ và ứng dụng*, Nxb Học viện Kỹ thuật Quân sự, 2006.
- [6]. Phòng Thông tin KHCNMT - Tổng cục Kỹ thuật, *Tên lửa phòng không tầng thấp, Tài liệu tham khảo chuyên đề, số 1*, Hà Nội, 2002.
- [7]. Крeнeв Г. А., *симметричный ответ высокоточному оружию*, Воениздат, Москва 2006.
- [8]. Đặng Văn Chuyết, Nguyễn Tuấn Anh, *Cơ sở lý thuyết truyền tin*, Nxb giáo dục, 2012.
- [9]. Hanshan L. I., Xiaoqian Zhang, *Laser Echo Characteristics and Detection Probability Calculation on the Space Projectile Proximity Fuze*, Optik, 2019.
- [10]. Hemani Kaushal, Georges Kaddoum, “Applications of Lasers for Tactical Military Operation”, *IEEE*, Vol. 5, pp. 20736-20753, 2017.
- [11]. J. Jiang Liu, “Advanced optical fuzing technology”, *Optical Technologies for Arming, Saffing, Fuzing, and Firing*, edited by William J.

Thomes, Fred M. Dickey, Proc. of SPIE Vol. 5871, 2016.

[12]. Yan Xiaopeng, L. I. Ping, *Study on Detection Techniques for Laser Fuze using Pseudorandom Code*, Semiconductor Lasers and Applications III, 2007.

[13]. Kun Wang, Huimin Chen, *Analysis on the characteristics of pulsed laser proximity fuze's*

echo, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011.

[14]. Gong Jimin, *Proximity fuze phase-modulation by pseudo-random code*, Acta Armamentari; 1989-04.

[15]. Wang Wei, Deng Jia-hao, Huang Yan, Yin Jun, *Laser Fuze Detection Technique Using the Pseudorandom Code*, Journal of Beijing Institute of Technology, 2003-06.