ỨNG DỤNG KỸ THUẬT LẤY MẪU NÉN TRONG VIỆC THU TÍN HIỆU VÔ TUYẾN ĐỂ PHÁT HIỆN MÁY BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI SIÊU NHẸ

Trần Vũ Kiên*, Hoàng Văn Lợi, Nguyễn Lê Cường

Tóm tắt: *Bài báo này đề xuất một phương pháp lấy mẫu tín hiệu vô tuyến thu được từ các phương tiện bay không người lái siêu nhẹ (PTBKNLSN), ứng dụng trong thiết kế hệ thống thiết bị phát hiện, cảnh báo nhằm ứng phó kịp thời đối với những nguy cơ mà loại phương tiện này gây ra. Phương pháp này sử dụng kỹ thuật lấy mẫu nén (CS-Compressive Sensing) để giảm khối lượng tính toán trong xử lý tín hiệu vô tuyến băng rộng thu được. Một hệ thống máy thu cũng được xây dựng trên nền tảng vô tuyến cấu hình mềm (SDR) để thử nghiệm phương pháp này. Kết quả cho thấy phương pháp đề xuất đã giảm độ phức tạp tính toán đáng kể.*

Từ khóa: CS; Spectrum sensing; Drone detection.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, việc sử dụng máy bay không người lái một cách dễ dàng, có tính tự phát, không làm thủ tục xin cấp phép bay với cơ quan có thẩm quyền, hoặc bay vào khu vực cấm, đã gây ra các vấn đề ảnh hưởng đến an toàn hàng không, an toàn dân sinh và an ninh quốc gia. Do đó việc phát hiện và cảnh báo sớm sự xuất hiện của các PTBKNLSN để có các phản ứng kịp thời là rất cần thiết. Để giải quyết vấn đề này, đã có nhiều nghiên cứu theo các cách tiếp cận khác nhau. Mỗi cách tiếp cận có những ưu nhược điểm và phạm vi ứng dụng khác nhau. Như phân tích âm thanh [1], phân tích hình ảnh thu được từ camera kết hợp với các thuật toán học máy và trí tuệ nhân tạo để cải thiện độ chính xác và hiệu quả của việc phát hiện [2, 3], sử dụng radar chủ động [4] và phân tích dựa trên thu tín hiệu vô tuyến trao đổi giữa phương tiện bay (PTB) và trạm điều khiển (TĐK) mặt đất [5].

Bài báo này tập trung vào nghiên cứu phương pháp phát hiện PTB dựa trên kỹ thuật thu tín hiệu vô tuyến từ PTBKNLSN khi nó hoạt động và kết nối với TĐK. Để phát hiện có PTB cần giám sát trong không gian, cần sử dụng các kỹ thuật thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng để thu tín hiệu giao tiếp giữa nó và TĐK. Sau đó, sử dụng các kỹ thuật phân tích, so sánh tín hiệu đó với các thông số kỹ thuật đã biết về từng loại PTB riêng biệt để nhận biết sự xuất hiện và phân loại các PTB này. Tín hiệu vô tuyến giao tiếp giữa PTB và TĐK thường có băng thông lớn và được phân chia thành nhiều kênh tần số. Việc thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng đó cần tần số lấy mẫu cao dẫn đến yêu cầu tốc độ xử lý nhanh và phần cứng phức tạp. Trong các hệ thống điển hình, thu phổ tín hiệu được thực hiện bằng việc lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist sử dụng bộ ADC [6]. Ví dụ, để có thể thu phổ tín hiệu trong khoảng từ 200 MHz thì bộ ADC phải lấy mẫu với tần số lấy mẫu 400 MHz hoặc cao hơn dẫn đến tốc độ luồng dữ liệu thu được lên tới 3.2 Gbps (với bộ ADC 8 bit). Việc thực hiện thu tín hiệu vô tuyến dựa trên tiêu chuẩn Nyquist như vậy là một khó khăn đối với việc xử lý dữ liệu trong thời gian thực bởi tốc độ dữ liệu quá cao và độ phức tạp tính toán lớn. Các kỹ thuật truyền thống như nhận biết phổ năng lượng, khá đơn giản và không yêu cầu biết trước thông tin về tín hiệu. Tuy nhiên, nó nhạy với nhiễu và chỉ phù hợp với tín hiệu băng hẹp nên khó áp dụng trong trường hợp này.

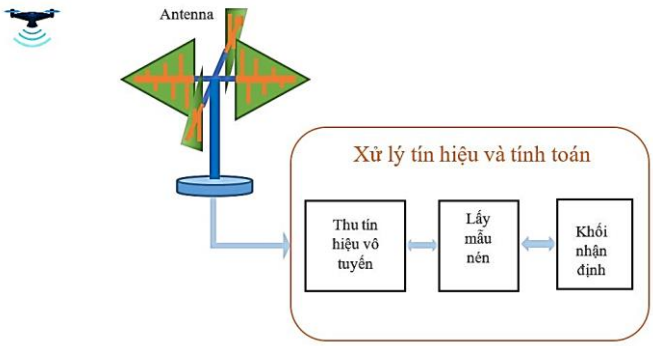
Trong một thời điểm, PTB và TĐK chỉ trao đổi dữ liệu trên một số kênh tần số, sự xuất hiện của tín hiệu là thưa thớt trên toàn bộ dải tần số dành cho việc liên lạc này. Do vậy, tín hiệu truyền thông giữa PTB và TĐK là các tín hiệu thưa trong miền tần số. Dựa vào đặc tính này, tác giả đề xuất phương pháp thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng trong xử lý tín hiệu thu được từ PTBKNLSN sử dụng kỹ thuật lấy mẫu nén nhằm khắc phục khó khăn trong việc xử lý dữ liệu nêu trên. Kỹ thuật này lấy mẫu và khôi phục tín hiệu thưa giảm được đáng kể tốc độ dữ liệu và độ phức tạp tính toán [7, 8].

Cụ thể, đề xuất này dựa trên phương pháp Bayesian để khôi phục lại tín hiệu vô tuyến băng rộng từ một vài mẫu nén kết hợp với kỹ thuật phát hiện dựa trên tự tương quan vì kỹ thuật này không nhạy đối với nhiễu [16]. Đề xuất này được mô phỏng và thực hiện sử dụng nền tảng vô tuyến cấu hình mềm USRP thu dữ liệu trong thời gian thực.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Mục 2 đề xuất giải pháp; Mục 3 thực hiện giải pháp; Mục 4 trình bày kết quả và đánh giá; Mục 5 đưa ra các kết luận.

2. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP

Để thực hiện các giải pháp đề xuất tác giả xây dựng một hệ thống phát hiện PTBKNLSN như sơ đồ trong hình 1.



Hình 1. *Sơ đồ khối hệ thống thu tín hiệu vô tuyến từ PTBKNLSN.*

Trong hệ thống này tác giả sử dụng anten Yagi định hướng có độ rộng búp sóng là 70^o và hệ số tăng ích 9 dBi. Bộ thu tín hiệu vô tuyến sử dụng nền tảng vô tuyến cấu hình mềm USRP thực hiện việc lấy mẫu sau chuyển mạch anten. Bộ xử lý tín hiệu thực hiện quá trình lấy mẫu nén. Tín hiệu sau lấy mẫu nén được gửi đến bộ xử lý trung tâm để khôi phục lại tín hiệu gốc và đưa ra kết luận.

Tín hiệu phổ băng rộng $y(t)$ thu được từ PTBKNLSN được thực hiện tại khối thu tín hiệu vô tuyến trong hình 1 và được chia thành N băng phụ. Khi đó, tín hiệu nhận được có thể được biểu diễn như sau [14]:

$$y(t) = \sum_{n=1}^{N} x_n(t) * h_n(t) + w(t) \quad (1)$$

Trong đó, $x_n(t)$ là tín hiệu nằm trên kênh tần số thứ n của PTBKNLSN, $h_n(t)$ là đáp ứng của kênh và $w(t)$ là nhiễu cộng.

Trong miền tần số, tín hiệu này có thể được biểu diễn như sau [14]:

$$\mathrm{Y}(f) = \sum_{n=1}^{N} D_h * x_n(f) + w(f) \quad (2)$$

Trong đó, D_h là ma trận độ lợi kênh.

Ví dụ TĐK giao tiếp với PTB Mavic 2 Pro ở dải tần số từ 2.4 GHz – 2.47 GHz sử dụng kỹ thuật trải phổ nhảy tần với độ rộng 1.4 MHz một kênh tần số như trong hình 2. Ở thời điểm *t*, chỉ một vài kênh M đang được sử dụng do đó $M \ll N$. Coi S như là tổ hợp các kênh đang được sử dụng. Khi đó, tất cả các kênh còn lại không thuộc tập hợp S, các kênh đó tương ứng với tín hiệu bằng 0. Và coi tín hiệu lấy mẫu trên toàn dải tần số đó là một tín hiệu có độ thưa S trong miền tần số. Do đó, tín hiệu nhận được có dạng [14]:

$$y(t) = \sum\nolimits_{n \in S} x_n(t) * h(t) + w(t) \quad (3)$$

$$\mathrm{Y}(f) = \sum_{n \in S} D_h * x_n(f) + w(f) \quad (4)$$

Khi đó, $\mathrm{Y}(f)$ là thưa trong miền tần số và nó được áp dụng cho kỹ thuật lấy mẫu nén [19, 20].

Tín hiệu trong miền tần số được nhân với ma trận lấy mẫu để tạo thành véc tơ lấy mẫu nén. Một ma trận lấy mẫu Φ có kích thước $M \times N$ được tạo thành từ các chuỗi giả ngẫu nhiên, với đại lượng N, M đủ lớn các thành phần của nó phân bố gần giống với nhiễu Gaussian và thỏa mãn điều kiện RIP [15] được sử dụng để lấy mẫu với một vài phép đo từ tín hiệu thưa này. Véc tơ lấy mẫu nén khi đó được biểu diễn bởi [15]:

$$z_f = \Phi y_f \quad (5)$$

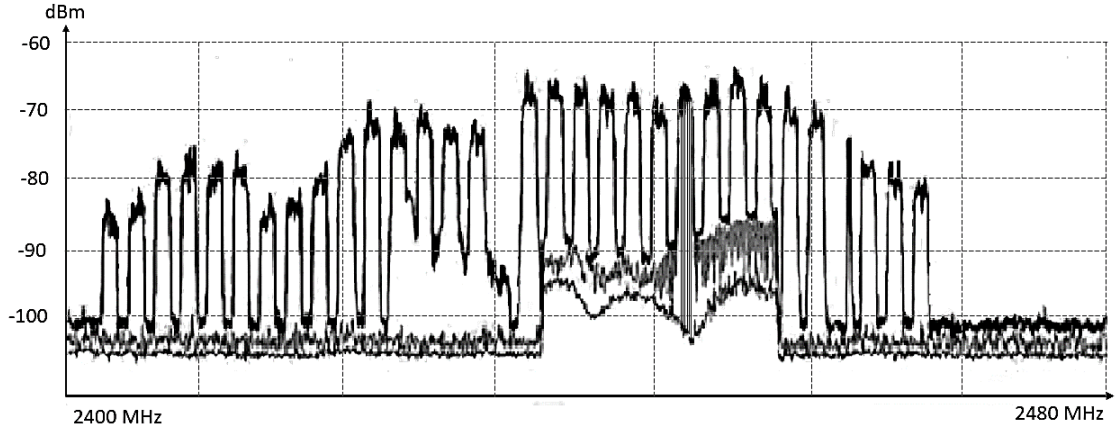
Trong đó, y_f là ánh xạ của tín hiệu nhận được trong miền tần số và $y_f = [f_1, f_2, \dots, f_N]$ là véc tơ $N \times 1$, z_f là véc tơ $M \times 1$, Φ là ma trận lấy mẫu $M \times N$.

Tín hiệu được khôi phục lại từ tổ hợp các phép đo z_f sử dụng phương pháp Bayesian cùng với những hiểu biết về tín hiệu thưa trước đó để khôi phục lại tín hiệu thưa ban đầu.

Công thức khôi phục được đưa ra như sau [15]:

$$\min_{y_f} \|y_f\|_1 \text{ với } z_f = \Phi y_f \quad (6)$$

Tín hiệu sau đó được tái tạo từ tập hợp các phép đo z_f bằng phương pháp Bayesian để khôi phục tín hiệu thưa thớt ban đầu.



Hình 2. *Phổ tần số của tín hiệu điều khiển từ PTB Mavic 2 Pro. Vạch phổ màu đen chỉ tần số đang được sử dụng.*

Khối "Lấy mẫu nén" trong sơ đồ hình 1 sẽ thực hiện kỹ thuật lấy mẫu nén theo phương pháp Bayesian kết hợp với giải pháp phát hiện dựa trên tự tương quan. Giả sử rằng, tín hiệu trong miền tần số $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N]$ là tín hiệu có thể nén với mức độ thưa s. Đặt véc tơ $\omega_s = [0, \omega_2, 0, \dots 0, \omega_N]$ là một véc tơ có độ dài N trong đó chỉ giữ lại M phần tử có giá trị lớn nhất còn các thành phần còn lại được đặt bằng 0. Tương tự, véc tơ ω_e biểu diễn một véc tơ có độ dài N với N-M các phần tử biểu diễn các phần tử nhỏ nhất trong ω, với tất cả các phần tử còn lại của ω_e được đặt bằng 0. Do đó, chúng ta có $\omega = \omega_s + \omega_e$ và:

$$g = \Phi\omega = \Phi\omega_s + \Phi\omega_e = \Phi\omega_s + n_e \text{ [13]} \quad (7)$$

với $n_e = \Phi\omega_e$. Trong quá trình lấy mẫu nén có thể có nhiễu và nhiễu trong quá trình lấy mẫu được định nghĩa là n_m, thể hiện bởi phân bố ngẫu nhiên Gaussian và do đó:

$$g = \Phi\omega_s + n_e + n_m = \Phi\omega_s + n \text{ [13]} \quad (8)$$

Trong đó, thành phần n được coi như nhiễu Gaussian với phương sai không xác định σ^2. Do đó, có mô hình xác xuất Gaussian [13]:

$$p(g|\omega_s,\sigma^2) = (2\pi\sigma^2)^{-K/2} exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\|g-\Phi\omega_s\|^2\right) \quad (9)$$

Tín hiệu thưa trong miền tần số được khôi phục thông qua giải bài toán hồi quy tuyến tính với điều kiện ràng buộc cho các trọng số thưa ω_s. Với Φ biết trước, các đại lượng được ước lượng dựa trên các phép đo g là trọng số thưa thớt ω_s và phương sai nhiễu σ^2 [13]. Trong thuật toán Bayesian, mục tiêu là cần tìm được một hàm mật độ cho ω_s và σ^2.

Bài báo này cũng đề xuất một hệ thống phát hiện phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng dựa trên kỹ thuật tự tương quan và đánh giá những ưu điểm của nó so với các kỹ thuật khác [9]. Do đó, quá trình phân tích tự tương quan tín hiệu sau khi khôi phục để quyết định giữa hai trạng thái: $\mathcal{H}_0$ thể hiện trạng thái tín hiệu không xuất hiện trên phổ vô tuyến thu được và $\mathcal{H}_1$thể hiện trạng thái tín hiệu xuất hiện [16].

$$\mathcal{H}_0: y(n) = \omega(n) \quad (10)$$
$$\mathcal{H}_1: y(n) = s(n) + \omega(n) \quad (11)$$

Trong đó: $\boldsymbol{y(n)}$ thể hiện tín hiệu nhận được; $\boldsymbol{s(n)}$ là tín hiệu của PTBKNLSN; $\boldsymbol{\omega(n)}$ là nhiễu. Ma trận hiệp phương sai thống kê của véc tơ $\boldsymbol{y(n)}$ và $\boldsymbol{s(n)}$ được ký hiệu là $\boldsymbol{R_y}$ và $\boldsymbol{R_s}$ tương ứng, được đưa ra bởi công thức [16]:

$$R_y = E[y(n)y^T(n)] \quad (12)$$
$$R_s = E[s(n)s^T(n)] \quad (13)$$

Trong đó, $\boldsymbol{E}$ biểu thị kỳ vọng và $(.)^{\boldsymbol{T}}$ đại diện cho toán tử chuyển vị.

Ma trận $\boldsymbol{R_y}$ có thể được biểu diễn như sau [16]:

$$R_y = R_s + \sigma_\eta^2 \quad (14)$$

Trong đó, $\boldsymbol{\sigma_\eta^2}$ thể hiện phương sai của nhiễu và $\boldsymbol{R_y}$ thể hiện ma trận nhận dạng. Nếu không có tín hiệu $\boldsymbol{s(n)}$, các phần tử nằm trên đường chéo $\left(\boldsymbol{R_y}\right)_{\boldsymbol{ii}}$= 0 tương ứng với $\boldsymbol{R_s = 0}$.

Với kỹ thuật được trình bày trong phần 2 chúng ta có thể thu được tín hiệu nén có độ dài $\boldsymbol{M \ll N}$ mà vẫn giữ được các thông số về tần số của tín hiệu thưa trong miền tần số cần lấy mẫu giúp cho hệ thống lưu trữ và xử lý tốn ít tài nguyên hơn. Phần 3 của bài báo trình bày một quá trình thực nghiệm để minh chứng cho hiệu quả của kỹ thuật này.

3. THỰC HIỆN

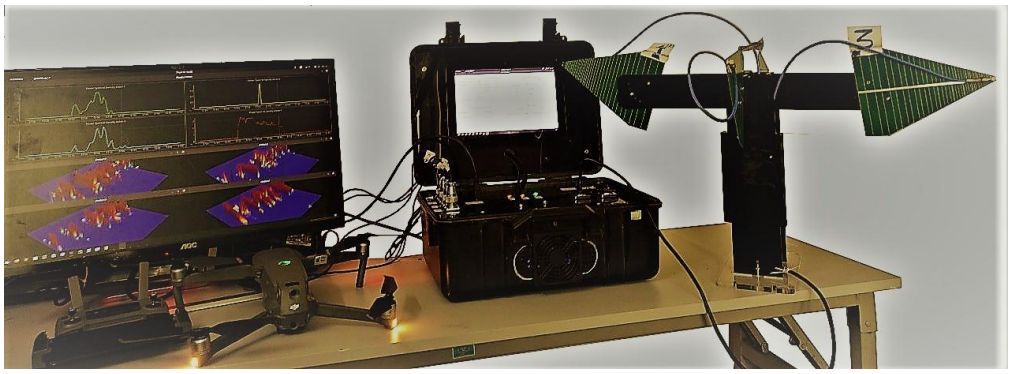
Kỹ thuật được đề xuất trong bài báo và kỹ thuật thu phổ tín hiệu vô tuyến lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist [6] được thực hiện bằng việc sử dụng ngôn ngữ lập trình Python và nền tảng vô tuyến cấu hình mềm USRP B210 [17, 18] để so sánh đánh giá hiệu quả của kỹ thuật đó.

Phần cứng thu tín hiệu vô tuyến được sử dụng trong bài báo là USRP B210 có khả năng thu dữ liệu với băng thông tối đa là 25 MHz. Để thu tín hiệu với băng thông lớn hơn 25 MHz cần phải thay đổi tần số trung tâm sau mỗi lần lấy mẫu. Hệ thống được thiết lập tại vị trí có tầm nhìn thẳng đối với PTB và không có các tần số không mong muốn trong dải cần giám sát.

PTBKNLSN được sử dụng trong bài báo là Flycam DJI Mavic 2 Pro và được cấu hình điều khiển ở dải tần 2.4 GHz. Tín hiệu điều khiển sử dụng kỹ thuật điều chế FHSS/DSSS với 32 kênh tần số có độ rộng mỗi kênh là 1.4 MHz nằm trong dải 2400 MHz - 2470 MHz. Đường truyền hình ảnh có độ rộng 20 MHz sử dụng kỹ thuật điều chế QPSK/16 QAM/64 QAM.

Bộ USRP được sử dụng làm bộ thu và có thể điều chỉnh tần số trung tâm. Khi đó mẫu lấy được sẽ tương ứng với tần số trung tâm và được lưu dưới dạng Python Numpy Array. Đối với mỗi tần số trung tâm, các ma trận lấy mẫu được sử dụng để lấy với chỉ một vài mẫu. Ma trận lấy mẫu là ma trận có dạng Toeplitz được tạo thành từ các giá trị trong chuỗi giả ngẫu nhiên PN [12]. Tín hiệu được khôi phục bằng phương pháp Bayesian và khi đó kỹ thuật tự tương quan được áp dụng để thu phổ tín hiệu vô tuyến của nguồn phát. Để đánh giá hiệu quả của kỹ thuật lấy

mẫu nén, phương pháp lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist được thực hiện đồng thời đối với mỗi tần số trung tâm để so sánh.



Hình 3. *Mô hình thực nghiệm thu phổ vô tuyến băng rộng từ PTBKNLSN.*

4. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

Phần này trình bày kết quả quả so sánh giữa mô hình thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng dựa trên phương pháp Bayesian được đề xuất trong bài báo với mô hình thu phổ tín hiệu vô tuyến lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist. Việc lựa chọn thuật toán khôi phục Bayesian là cân bằng giữa giá trị lỗi thấp và thời gian khôi phục ngắn khi so sánh với các thuật toán khôi phục khác nhau ví dụ như BP, Grades, OMP, IHT, BCS-RVM [10].

Các nghiên cứu trước đã so sánh sự ảnh hưởng của các ma trận đo trong lấy mẫu nén [11], bài báo này sử dụng ma trận đo là ma trận Toeplitz được xây dựng từ các chuỗi giả ngẫu nhiên PN được tạo thành từ một đa thức sinh [12]. Ma trận này thỏa mãn điều kiện RIP, tốc độ khôi phục nhanh hơn và lỗi khôi phục thấp hơn so với sử dụng ma trận ngẫu nhiên Gaussian vì nó giảm bớt các thành phần ngẫu nhiên và có cấu trúc xác định. Vì những lý do này bài báo sử dụng ma trận Toeplitz cùng với thuật toán khôi phục Bayesian để thực hiện trong lấy mẫu nén.

Trong bài báo này, để đánh giá mô hình thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng sử dụng kỹ thuật lấy mẫu nén, một vài thông số đánh giá được sử dụng. Chúng bao gồm khả năng phát hiện, khả năng phát hiện sai, sai số toàn phương trung bình (MSE) và thời gian xử lý.

Khả năng phát hiện và khả năng phát hiện sai được đưa ra bởi công thức:

$$P_d = \frac{N_D}{N_T} \tag{15}$$

$$P_{fa} = \frac{N_{FD}}{N_T} \tag{16}$$

Trong đó: N_D là tổng số lần phát hiện được; N_{FD} là tổng số lần phát hiện sai; N_T là tổng số lần thử.

Giá trị MSE được đưa ra bởi công thức:

$$MSE = \frac{1}{N}\sum\left(\mathrm{Y} - \hat{Y}\right)^2 \tag{17}$$

Trong đó, Y là tín hiệu nhận được sử dụng kỹ thuật lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist và $\hat{Y}$ là tín hiệu khôi phục được sau lấy mẫu nén.

Bảng 1 tổng hợp lại một số thông số đã thực hiện. Tín hiệu phân tích là tín hiệu phát ra từ PTB DJI Mavic 2 Pro có dạng điều chế QPSK với công suất phát P = 20 dBm, và dải tần hoạt động từ 2.4 GHz – 2.47 GHz do PTBKNLSN giao tiếp với bộ điều khiển ở khoảng cách 200 m và 1000 m so với bộ thu. Các thông số được đo bằng máy đo trước khi thực hiện. Sự vắng mặt của tín hiệu được thực hiện bằng việc tắt công suất phát của PTB. Nhằm để đánh giá khả năng phát hiện và cảnh báo lỗi quá trình thực nghiệm được thực hiện với 100 phép thử.

Bảng 1. *So sánh hiệu suất thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng của lấy mẫu nén.*

Thông số tại 200 m SNR = 5 dB	**Lấy mẫu theo Nyquist**	**Lấy mẫu nén M/N = 50%**	**Lấy mẫu nén M/N = 25%**	**Lấy mẫu nén M/N = 12.5%**
Khả năng phát hiện	100%	100%	70%	11%
Thời gian xử lý(ms)	54	39	30	24
Giá trị MSE	-	0.08	0.87	1.2
Thông số tại 1000 m SNR = -10 dB	**Lấy mẫu theo Nyquist**	**Lấy mẫu nén M/N = 50%**	**Lấy mẫu nén M/N = 25%**	**Lấy mẫu nén M/N = 12.5%**
Khả năng phát hiện	93%	85%	62%	7%
Thời gian xử lý(ms)	54	36	28	21
Giá trị MSE	-	0.42	0.91	1.6

Kết quả trong bảng 1 thể hiện sự so sánh giữa khả năng thu phổ tín hiệu vô tuyến của kỹ thuật lấy mẫu nén và thu phổ tín hiệu vô tuyến dựa trên lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist. Khi PTB ở khoảng cách 200 m (giá trị SNR=5 dB) với số phép đo trong kỹ thuật lấy mẫu nén chỉ bằng 1/2 so với lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist cả hai kỹ thuật đều cho kết quả nhận dạng là 100% nhưng kỹ thuật lấy mẫu nén thực hiện với thời gian ít hơn đáng kể. Kết quả cũng chỉ ra rằng khả năng thu phổ tín hiệu vô tuyến tăng khi SNR tăng đối với cả hai cách tiếp cận. Cũng có thể thấy rằng khả năng thu tăng trong lấy mẫu nén khi số phép đo tăng. Điều này có nghĩa là nếu chúng ta có thể ước lượng giá trị của SNR chúng ta có thể thiết lập số các phép đo là các giá trị đặc biệt mà vẫn giữ nguyên khả năng phát hiện.

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đề xuất một kỹ thuật lấy mẫu nén trong việc thu tín hiệu vô tuyến băng rộng để phát hiện PTBKNLSN. Hiệu quả của kỹ thuật đề xuất được so sánh với kỹ thuật thu phổ tín hiệu vô tuyến băng rộng lấy mẫu theo tiêu chuẩn Nyquist cho thấy độ phức tạp tính toán giảm đi đáng kể, trong điều kiện nhất định, với số mẫu chỉ bằng 50% nhưng khả năng phát hiện PTBKNLSN là tương đương với khi chưa áp dụng kỹ thuật này. Kết quả trong bài báo có thể được sử dụng cho các hệ thống thu tín hiệu vô tuyến băng rộng cấu hình thấp lấy mẫu theo thời gian thực. Trong tương lai, tác giả sẽ tập trung nghiên cứu để nâng cao hiệu quả phát hiện và giảm lỗi của kỹ thuật lấy mẫu nén bằng việc đo tỉ số SNR và tự động lựa chọn số các phép đo để giảm lỗi trong quá trình khôi phục.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Dumitrescu, Cătălin *et al, "Development of an Acoustic System for UAV Detection,"* Sensors (Basel, Switzerland) **Vol. 20**,17 4870. 28 Aug. 2020, doi:10.3390/s20174870.

[2]. F. Christnacher *et al, "Optical and acoustical UAV detection,"* Electro-Optical Remote Sens. X, **Vol. 9988**, Edinburgh 2016. https://doi.org/10.1117/12.2240752.

[3]. E. Unlu, E. Zenou, N. Riviere, and P. E. Dupouy, *"Deep learning-based strategies for the detection and tracking of drones using several cameras," IPSJ Trans. Comput. Vis. Appl.*, **Vol. 11**, no. 7, Jul. 2019.

[4]. V. Demirev, *"Drone detection in urban environment – The new challenge for the Radar Systems Designers,"* Security & Future, **Vol. 116**, no. 3, pp. 114–116, 2017.

[5]. H. Fu, S. Abeywickrama, L. Zhang, and C. Yuen, *"Low-Complexity Portable PassiveDrone Surveillance via SDR-Based Signal Processing,"* IEEE Commun. Mag., **Vol. 56**, no. 4, pp. 112–118, Apr. 2018. https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700424.

[6]. H. Sun, A. Nallanathan, C.X. Wang, Y. Chen, *"Wideband spectrum sensing for cognitive radio networks: A survey,"* IEEE Wirel. Commun. 2013, 20, 74–81.

[7]. F. Salahdine, N. Kaabouch, H. El Ghazi, *"Bayesian Compressive Sensing with Circulant Matrix for Spectrum Sensing in CRN,"* In Proceedings of the IEEE Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference, New York, NY, USA, 20–22 October 2016; pp. 1–7.

[8]. F. Salahdine, N. Kaabouch, H. El Ghazi, *"A survey on compressive sensing techniques for cognitive*

radio networks," J. Phys. Commun. 2016, 20, 61–73.
[9]. Y. Arjoune, Z. El Mrabet, H. El Ghazi, A. Tamtaoui, *"Spectrum sensing: Enhanced energy detection technique based on noise measurement,"* In Proceedings of the IEEE Computing and Communication Workshop and conference, Las Vegas, NV, USA, 8–10 January 2018; pp. 828–834.
[10]. Y. Arjoune, N. Kaabouch, H. El Ghazi, A. Tamtaoui, *"Compressive sensing: Performance comparison of sparse recovery algorithms,"* In Proceedings of the IEEE Computing and Communication Workshop and Conference, Las Vegas, NV, USA, 9–11 January 2017; pp. 1–7.
[11]. Y. Arjoune, N. Kaabouch, H. El Ghazi, A. Tamtaoui, *"A performance comparison of measurement matrices in compressive sensing,"* Int. J. Commun. Syst. 2018, 31, e3576.
[12]. Cuong Nguyen Le, Kien Tran Vu, Quynh Le Chi, *"On The Desired Properties Of Linear Feedback Shift Register (LFSR) Based High-Speed PN-Sequence-Generator,"* Fourth International Conference on Information and Communication Technology for Interlligent Systems 2020.
[13]. Shihao Ji, Ya Xue, and Lawrence Carin, *"Bayesian Compressive Sensing,"* IEEE Transactions on Signal Processing, **Vol. 56**, No. 6, JUNE 2008.
[14]. Youness Arjoune and Naima Kaabouch, *"Wideband Spectrum Sensing: A Bayesian Compressive Sensing Approach"* Sensors 2018, 18, 1839; doi:10.3390/s18061839.
[15]. David L. Donoho and Michael Elad, *"Optimally sparse representation in general (nonorthogonal) dictionaries via ℓ_1 minimization"* PNAS March 4, 2003, **Vol. 100,** no. 5, 2197–2202.
[16]. H. Reyes, S. Subramaniam, N. Kaabouch, *"A spectrum sensing technique based on autocorrelation and Euclidean distance and its comparison with energy detection for cognitive radio networks,"* J. Comput. Electr. Eng. 2016, 52, 319–327.
[17]. Jonti Talukdar, Bhavana Mehta, Kinjal Aggrawal and Mansi Kamani, *"Implementation of SNR Estimation Based Energy Detection on USRP and GNU Radio for Cognitive Radio Networks,"* IEEE WiSPNET 2017 conference; doi:10.1109/WiSPNET.2017.8299767.
[18]. Onur Toker and Ozgur Ozdemir, *"A Synthetic Wide-Bandwidth Radar System Using Software Defined Radios,"* 7th International Electronic Conference on Sensors and Applications, 15–30 November 2020.
[19]. R. Baraniuk, *"Compressive sensing,"* IEEE Sig. Proc. Mag. **24** (2007), no.4, 118-121.
[20]. E. J. Candès, *"Compressive sampling,"* Int. Cong. Math. **3** (2006), 1433-1452

ABSTRACT

APPLICATION OF COMPRESSIVE SAMPLING TECHNOLOGY IN RADIO SIGNAL RECEIVING TO DETECT UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

This paper proposes a method of sampling the radio signal received from the unmanned aerial vehicles (UAV) applied in the design of a detection and warning device system in order to respond promptly to the dangers posed by this type of vehicle. This method uses compressive sampling technique (CS-Compressive Sensing) to reduce the computational volume in wideband spectrum sensing. A receiver system was built using Software-defined radio hardware (SDR) to evaluate this method. The results show that this method has reduced the computational complexity significantly.

Keywords: CS; Spectrum sensing; Drone detection.

Nhận bài ngày 30 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 30 tháng 7 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 8 năm 2021

Địa chỉ: Trường Đại học Điện lực.
*Email: kientv@epu.edu.vn.