

Phát triển thiết bị phân tích phổ cấu trúc đơn giản sử dụng RTL-SDR

Development of simple spectrum analyzer based on RTL-SDR

> THS VŨ VĂN RỰC*, THS NGÔ XUÂN HƯỜNG

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email: rucvv.ddt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

SDR là hệ thống truyền thông vô tuyến, trong đó hệ thống điều chế có trong phần cứng được thay thế bằng phần mềm triển khai trên máy tính hoặc hệ thống nhúng. Việc sử dụng SDR rất rẻ (khoảng 20 USD) và có kích thước nhỏ nên mang lại hiệu quả về chi phí và các yêu cầu về tính di động được bổ sung bởi phần mềm radio GNU là mã nguồn mở. Bài báo này mô tả mô phỏng máy phân tích phổ sử dụng công nghệ SDR thông qua thiết bị RTL-SDR R820T2 giá rẻ, được bổ sung bởi phần mềm radio GNU là mã nguồn mở. Các thông số được đo bao gồm công suất và tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) và đối chiếu với kết quả của máy phân tích phổ chuyên dụng. Kết quả thực nghiệm cho thấy công suất vô tuyến GNU trung bình là -15,28 dBm và công suất máy phân tích phổ trung bình là -15,2 dBm, do đó mức độ chính xác của phép đo công suất trên GNU Radio đạt 99,47%, trong khi SNR trung bình của máy phân tích phổ là 54,2 và GNU radio SNR là 54,32, do đó độ chính xác của phép đo SNR trong GNU Radio đạt 99,78%.

Từ khóa: RTL-SDR; phân tích phổ; vô tuyến điều khiển bằng phần mềm.

ABSTRACT

SDR is a radio communication system in which the modulation system in hardware is replaced by software implemented on a computer or embedded system. The use of SDR is very cheap (about 20 USD) and small in size, making it cost-effective and the portability requirements are supplemented by the open source GNU radio software. This paper describes the simulation of a spectrum analyzer using SDR technology through the low-cost RTL-SDR R820T2 device, supplemented by the open source GNU radio software. The measured parameters include power and signal-to-noise ratio (SNR) and are compared with the results of a dedicated spectrum analyzer. The experimental results show that the average GNU radio power is -15.28 dBm and the average spectrum analyzer power is -15.2 dBm, so the accuracy of the power measurement on GNU Radio reaches 99.47%, while the average spectrum analyzer SNR is 54.2 and GNU radio SNR is 54.32, so the accuracy of the SNR measurement in GNU Radio reaches 99.78%.

Keywords: RTL-SDR; spectrum analyzer; software defined radio.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy phân tích phổ là một công cụ đa năng trong việc đo tín hiệu trong miền tần số. Một máy phân tích có thể được sử dụng để đo tín hiệu trên máy phát yêu cầu các thông số đo như tần số, công suất, độ lợi và nhiễu [1]. Máy phân tích phổ cũng được sử dụng để nghiên cứu sự phân bố năng lượng dọc theo phổ tần số của các tín hiệu điện đã biết, từ cuộc khảo sát này đã thu được thông tin rất có giá trị về độ rộng của trường tần số (băng thông), hiệu ứng của các loại điều chế khác nhau, việc tạo ra các tín hiệu sai... tất cả các lợi ích của nó trong việc lập kế hoạch và thử nghiệm tần số RF (tần số vô tuyến) [2]. Máy phân tích phổ có chức năng đặc biệt để đo một số tín hiệu trong phổ tần số giới hạn [3]. Vì vậy, giá của máy phân tích phổ rất đắt đỏ. Trong khi đó, GNU Radio là phần mềm có thể sử

dụng miễn phí và được sử dụng để tạo ra hệ vô tuyến được xác định bằng phần mềm (SDR), mà không cần phần cứng [4]. GNU Radio sử dụng ngôn ngữ lập trình C++ hoặc Python trong quá trình triển khai. Ưu điểm của GNU Radio là phần mềm nguồn mở và không tốn nhiều chi phí về mặt hoạt động.

Bộ thu RTL-SDR là bộ thu vô tuyến dựa trên bộ thu USB TV DVB-T với chip RTL2832U [3]. Hơn nữa, MathWorks đã phát hành một gói hỗ trợ phần cứng cho bộ thu RTL-SDR vào đầu năm 2014 cho phép nó tương tác và điều khiển bộ thu RTL-SDR giữa MATLAB và Simulink. Thiết bị RTL-SDR có thể nhận tín hiệu RF được truyền trong dải tần từ 25 MHz đến 1,75 GHz [1]. Tầm quan trọng của việc nghiên cứu phổ tín hiệu di động bằng SDR nằm ở việc xem xét một phương pháp cho phép một nhà nghiên cứu độc lập xác định mặt

độ phổ của tín hiệu vô tuyến mà không mâu thuẫn với bất kỳ định luật nào.

Cấu trúc của bài báo bao gồm: Sau phần giới thiệu, Phần 2 trình bày cấu trúc của thiết bị RTL-SDR RTL2832U. Phân tích phổ của một số loại tín hiệu vô tuyến được trình bày ở Phần 3. Phần 4 thực hiện so sánh giữa đo công suất và đo SNR trên GNU và trên máy phân tích phổ. Cuối cùng, các kết luận và hướng phát triển được nêu ra ở trong Phần 5.

2. CẤU TRÚC VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ RTL - SDR RTL2832U

2.1. Cấu trúc

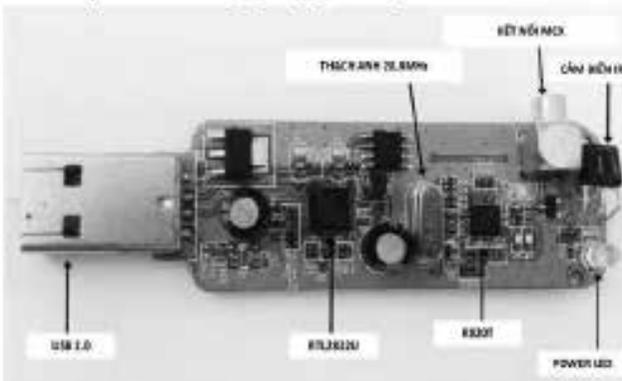
Một thiết bị RTL-SDR điển hình bao gồm hai thành phần chính làm việc cùng nhau:

Bộ điều hướng (Tuner Chip): Đây là con chip nhận tín hiệu RF (Radio Frequency) trực tiếp từ ăng-ten. Nó chịu trách nhiệm khuếch đại tín hiệu và chuyển đổi nó từ tần số vô tuyến cao xuống một tần số trung gian (Intermediate Frequency - IF) thấp hơn. Dải tần hoạt động của RTL-SDR được quyết định bởi loại tuner được sử dụng. Các loại tuner phổ biến bao gồm:

- Rafael Micro R820T: Hoạt động trong dải tần khoảng 24-1850 MHz. Đây là loại tuner được sử dụng phổ biến nhất.
- Elonics E4000: Một loại tuner khác cũng tương thích với RTL2832U.

Chip Realtek RTL2832U: Con chip này nhận tín hiệu ở tần số IF từ tuner. Bên trong nó chứa:

- Một bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số (ADC) 8-bit.
- Một bộ chuyển đổi xuống kỹ thuật số (Digital Down-Converter - DDC).
- Một bộ bơm dữ liệu USB (USB data pump) để gửi dữ liệu đã được số hóa đến máy tính



Hình 1. Các thành phần chính của thiết bị

2.2. Nguyên lý hoạt động

Quá trình xử lý tín hiệu bên trong một dongle RTL-SDR diễn ra như sau:

Thu và chuyển đổi tại Tuner: Tín hiệu RF từ ăng-ten được tuner xử lý, khuếch đại và chuyển xuống một tần số IF cố định (ví dụ: 3,57 hoặc 4,57 MHz đối với tuner R820T).

Số hóa tín hiệu: Tín hiệu IF này sau đó được đưa vào chip RTL2832U và được lấy mẫu bởi một bộ ADC 8-bit với tốc độ lấy mẫu là 28,8 MHz.

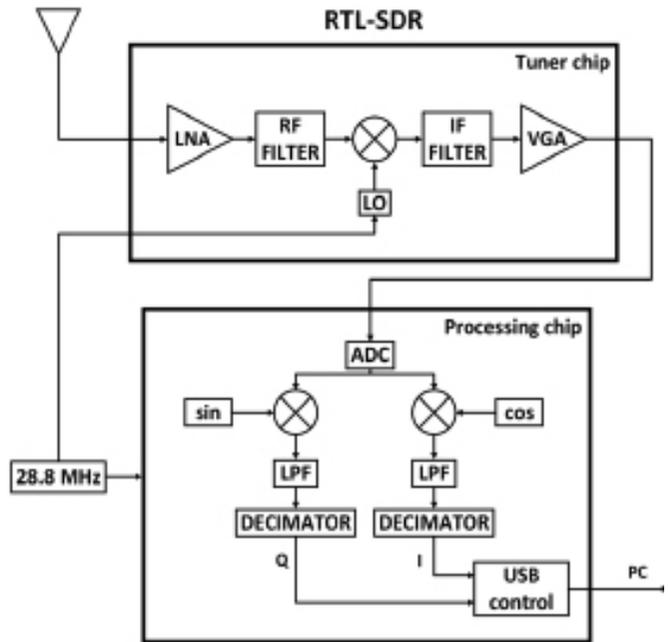
Tạo mẫu I/Q: Dữ liệu sau khi được số hóa sẽ đi qua một bộ trộn cầu phương (quadrature mixer) để chuyển tín hiệu từ IF xuống dải tần cơ sở (baseband). Quá trình này tạo ra hai thành phần tín hiệu riêng biệt: Thành phần đồng pha (In-phase - I) và thành phần vuông pha (Quadrature - Q). Đây là những dữ liệu cốt lõi cho việc xử lý tín hiệu bằng phần mềm.

Lọc và giảm tốc độ lấy mẫu (Decimation): Các mẫu I và Q sau

đó được đưa qua một bộ lọc thông thấp và bộ giảm tốc độ lấy mẫu (decimator). Quá trình này làm giảm tốc độ dữ liệu xuống một mức mà giao diện USB có thể xử lý được. Tốc độ lấy mẫu tối đa mà RTL2832U hỗ trợ là 3,2 triệu mẫu mỗi giây (MS/s).

Truyền dữ liệu: Các mẫu I/Q cuối cùng (dưới dạng số nguyên 8-bit có dấu xen kẽ) được truyền đến máy tính thông qua cổng USB.

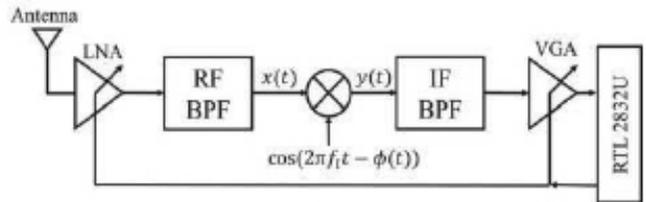
Xử lý bằng phần mềm: Toàn bộ các công việc phức tạp như giải điều chế, giải mã và phân tích tín hiệu đều được thực hiện trên máy tính bằng các phần mềm chuyên dụng như SDR#, GNU Radio, MATLAB, Simulink...



Hình 2. Kiến trúc thu cơ bản của RTL - SDR

3. PHÂN TÍCH PHỔ CỦA MỘT SỐ TÍN HIỆU VÔ TUYẾN SỬ DỤNG RTL-SDR

3.1. Phương pháp phân tích



Hình 3. Quá trình xử lý trong RTL-SDR

Một ăng-ten đơn giản đi kèm theo mặc định với dongle có thể được sử dụng cho nhiều ứng dụng đơn giản. Chip điều chỉnh được sử dụng trong dongle xác định dải tần số mà dongle có thể hoạt động. Nhiều loại chip điều chỉnh khác nhau sử dụng các dải tần số, bộ khuếch đại và bộ lọc khác nhau tương thích với chip RTL 2832U. Bộ điều chỉnh được sử dụng phổ biến nhất là Rafael Micro R820T hoạt động trong dải tần 24-1850 MHz [29]. Kiến trúc chung của bộ điều chỉnh dựa trên nguyên lý siêu dị tần. Tổng quan đơn giản về xử lý tín hiệu được thực hiện bên trong bộ điều chỉnh được thể hiện trong Hình 3. Tín hiệu nhận được tại ăng-ten được khuếch đại bởi bộ khuếch đại tiếng ồn thấp (LNA) có thể được điều khiển độ lợi thông qua kiểm soát độ lợi tự động (AGC) hoặc thủ công thông qua các tùy chọn có thể định cấu hình trong phần mềm SDR được thảo

lượn trong phần phụ tiếp theo. Tiếp theo, LNA là bộ lọc thông dải RF được sử dụng để loại bỏ tín hiệu không mong muốn nằm ngoài băng tần và truyền tín hiệu trong dải tần mong muốn. Ngoài ra, bộ trộn được sử dụng để chuyển đổi tín hiệu nhận được thành tần số trung gian thấp

Kết quả thu được từ việc nhận dạng phổ của tín hiệu vô tuyến sử dụng bộ thu RTL-SDR sẽ phụ thuộc vào khu vực địa lý đang nghiên cứu. Trong quá trình nghiên cứu, tín hiệu được kiểm tra trong hai máy phân tích phổ. Máy đầu tiên sẽ là máy phân tích thác nước, xem xét biến đổi Fourier nhanh (FFT) với băng thông f_s và máy thứ hai sẽ là máy phân tích phổ. FFT là một tập hợp các công cụ tính toán thông minh triển khai định lý Fourier. Phổ thu được trong máy phân tích FFT cho thấy các thành phần tần số của tín hiệu đầu vào. Vì máy phân tích phổ FFT đo tất cả các thành phần tần số cùng một lúc nên chúng nhanh hơn hàng trăm lần so với máy phân tích phổ tương tự truyền thống. Bây giờ, nếu chúng ta xem xét hoạt động của máy phân tích FFT chi tiết hơn thì phổ của tín hiệu thu được trong máy phân tích phổ FFT nằm trong dải tần số của phương trình 1:

$$\left(f_c - \frac{f_s}{2}\right) \leftrightarrow \left(f_c + \frac{f_s}{2}\right)$$

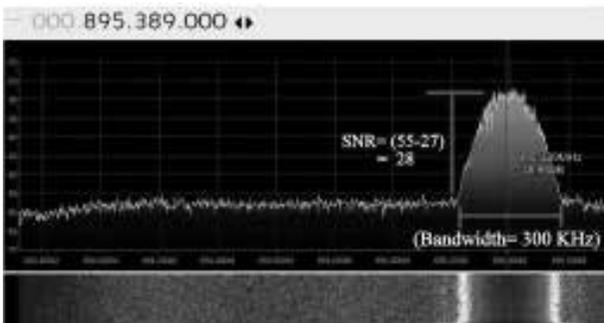
Trong đó: f_c - Tần số trung tâm; f_s - Giá trị tần số lấy mẫu.

Nếu thiết lập bộ thu RTL-SDR có tần số trung tâm là 801,4 Mhz và tần số lấy mẫu là 2,8 MHz, bộ thu RTL-SDR sẽ thu được tín hiệu RF trong khoảng tần số từ 800 MHz đến 802,8 MHz.

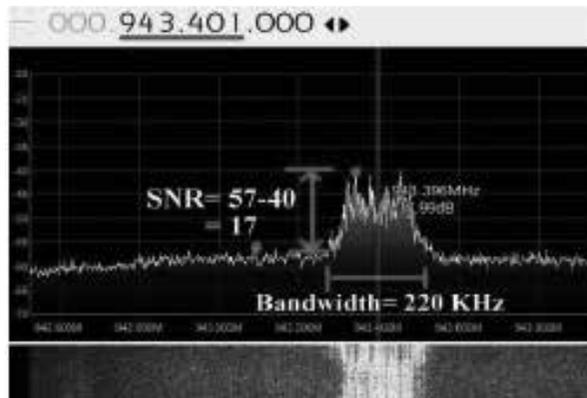
Máy phân tích phổ Waterfall cũng hiển thị các dải tần số thu được trong máy phân tích FFT và hoạt động theo thời gian (50 ms cuối cùng). Một trong những khía cạnh quan trọng nhất của phương pháp nghiên cứu là thay đổi đúng và cần thiết các thông số của bộ thu RTL-SDR. Các thiết lập để lựa chọn tần số, tần số trung tâm và độ lợi được điều chỉnh cẩn thận nhất. Cũng có thể đạt được cường độ tín hiệu cao bằng cách thay đổi các thiết lập này.

3.2. Triển khai phân tích phổ và đánh giá

3.2.1. Tín hiệu GSM



Hình 4. Phổ FFT của tín hiệu đường lên

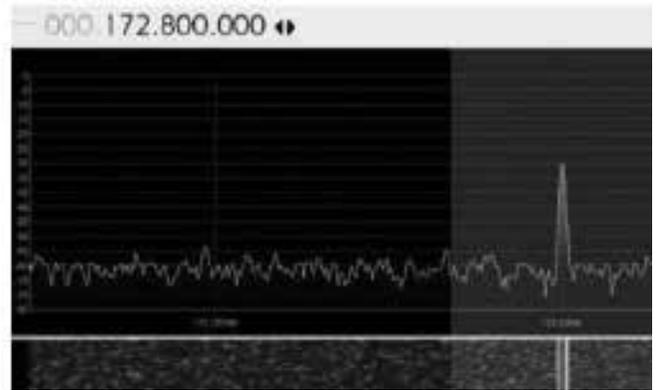


Hình 5. Phổ FFT của tín hiệu đường xuống

Hệ thống phân tích phổ này cũng đã nhận được tín hiệu GSM. Tại Việt Nam, các băng tần GSM 900 và GSM 1800 đã được sử dụng cho liên lạc di động. Một nhà mạng di động ở Việt Nam sử dụng băng tần 895,2 - 900,2 MHz cho đường lên và băng tần 940,2 - 945,2 MHz cho đường xuống [14]. Các tần số đường lên và đường xuống này được RTL-SDR nhận được được minh họa trong Hình 4, 5.

3.2.2. Tín hiệu truyền hình số quảng bá

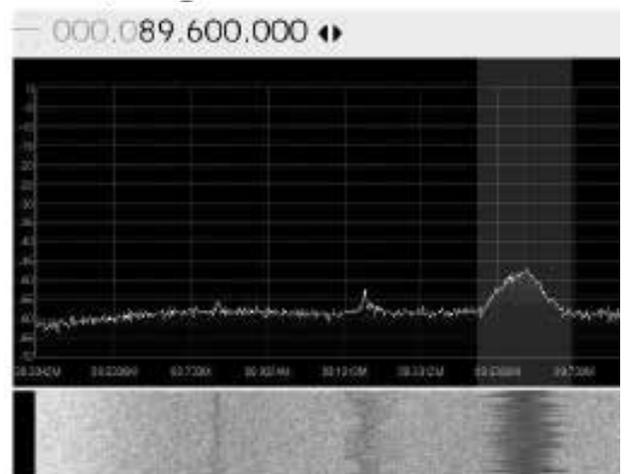
Khi sử dụng RTL-SDR để thu phổ của tín hiệu truyền hình quảng bá tại tần số 172,8 MHz, phổ FFT của tín hiệu này được thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Phổ FFT của tín hiệu truyền hình số quảng bá.

3.2.3. Tín hiệu FM

Đối với thí nghiệm này, do cường độ tín hiệu, bất kỳ ăng-ten nào bao gồm ăng-ten tiêu chuẩn đi kèm với bộ RTLSDR đều đủ. Sau khi kết nối thiết bị thu với máy tính và khởi động SDR#, chúng tôi lướt băng tần radio FM (giữa 80 và 110 MHz). Sử dụng biểu đồ phổ FFT, dò đến một đài radio FM có mức tín hiệu tốt và điều chỉnh bằng thông máy thu để chứa toàn bộ tín hiệu. Đối với radio FM, băng thông tín hiệu là 200 kHz. Có thể có SNR cao nếu máy thu nằm trong phạm vi vài km của đài radio, điều này thường đúng trong bất kỳ môi trường đô thị nào. Phổ FFT và màn hình thác nước được hiển thị trong Hình 7.



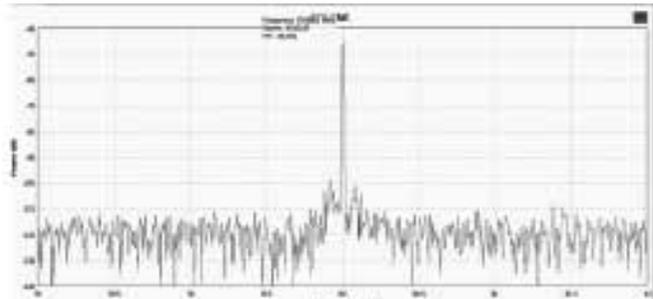
Hình 7. Phổ FFT của tín hiệu FM quảng bá

Thiết bị RTL-SDR còn có thể được sử dụng để thu dữ liệu từ các vệ tinh trong hệ thống NOAA nhờ sử dụng ăng-ten lưỡng cực chéo đơn giản có khả năng thu tín hiệu phân cực tròn. Các vệ tinh NOAA là một phần trong hệ thống của Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia giám sát môi trường cho Bộ Thương mại Hoa

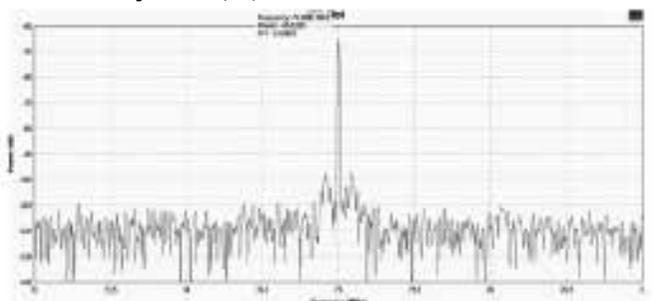
Kỳ. Hiện tại có nhiều vệ tinh được vận hành trong chòm sao NOAA và tất cả chúng đều truyền sóng phân cực tròn gần WFM 137 MHz với băng thông 32 kHz. Trong khi sử dụng ăng-ten lưỡng cực đơn giản đã mang lại kết quả khả quan trong các thí nghiệm trước đó, khi đó điểm yếu tương đối của tín hiệu vệ tinh lại đặt ra một thách thức. Có thể sử dụng RTL-SDR để điều chỉnh máy thu theo tần số NOAA, nhưng nó không hỗ trợ giải mã truyền hình ảnh tự động. Vị trí hiện tại của người dùng có thể được chọn thông qua phần mềm có tên gọi WXtoimg, sau đó phần mềm này sẽ sử dụng vị trí đó để tạo danh sách các vệ tinh theo lịch trình sắp tới sẽ đi qua vị trí đó. Chúng ta có thể bắt đầu nhận tín hiệu vào thời điểm thích hợp khi vệ tinh ở phía trên đường chân trời. Ngay khi tín hiệu vệ tinh hiển thị trên RTL-SDR, dữ liệu đầu ghi trên WXtoimg và quá trình giải mã hình ảnh sẽ bắt đầu. Sau khi tín hiệu vệ tinh yếu đi do vệ tinh rời khỏi đường chân trời, kết thúc quá trình ghi và bắt đầu xử lý hậu kỳ tệp bằng WXtoimg.

4. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ĐO ĐẶC CÔNG SUẤT TRÊN GNU VÀ TRÊN MÁY PHÂN TÍCH PHỔ

Thiết bị RTL-SDR được kết nối với máy tạo sóng để đo đặc mức công suất trên GNU và kết quả được thể hiện ở Hình 8, Hình 9.

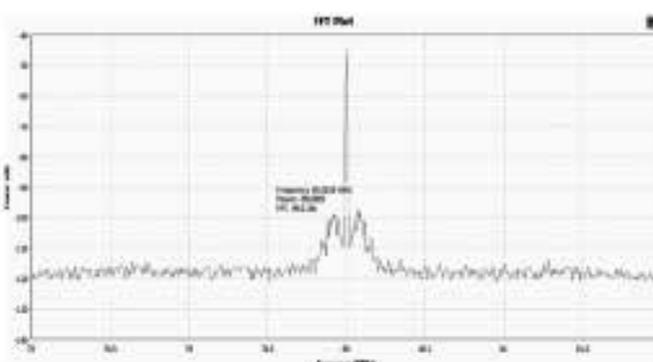


Hình 8. Công suất tín hiệu tại tần số 80 MHz

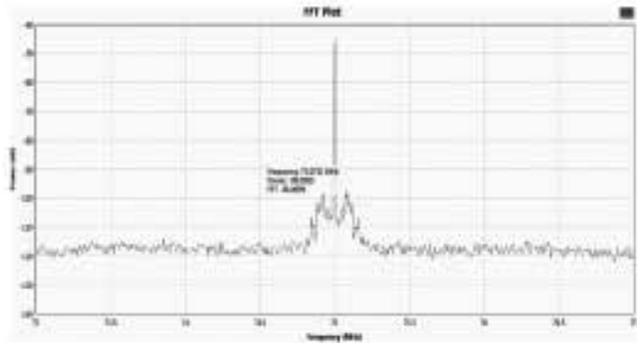


Hình 9. Công suất tín hiệu tại tần số 75 MHz

Mức nhiễu được đo tại tần số 80 MHz và 75 MHz được thể hiện ở Hình 10, Hình 11.



Hình 10. Công suất nhiễu tại tần số 80 MHz



Hình 11. Công suất nhiễu tại tần số 75 MHz

Các kết quả đo đạc này của thiết bị RTL-SDR rất gần với giá trị đo đạc được trên máy phân tích phổ cho thấy thiết bị RTL-SDR có thể được sử dụng thay thế cho máy phân tích phổ trong các trường hợp đơn giản.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu về phân tích phổ của các tín hiệu vô tuyến dựa trên bộ thu RTLSDR. Đặc biệt, các tín hiệu tần số vô tuyến đã được thu, lan truyền qua không khí trong khu vực nghiên cứu. Ưu điểm nghiên cứu này là có thể thực hiện chỉ với hai thành phần chính như Matlab và bộ thu RTL-SDR. Ngoài ra, các chương trình có sẵn như Matlab với các thư viện tính toán Mathworks cũng có sẵn với các máy phân tích FFT có xử lý tín hiệu nhanh. Các tín hiệu được phân tích trong môi trường Simulink/Matlab và quang phổ đã được nghiên cứu bằng các máy phân tích quang phổ FFT và Waterfall. Các tín hiệu cao được đưa ra bằng màu đỏ tươi trên thang màu. Người ta cũng thấy rằng các kết quả thu được phụ thuộc trực tiếp vào tham số tần số trung tâm và độ khuếch đại. Nhược điểm của bộ thu RTL-SDR chính là dải tần số của bộ thu RTL-SDR được sử dụng bị hạn chế thực tế. Do đó, không thể sử dụng các băng tần trên dải tần số 1.800 MHz. Kết quả thử nghiệm cho thấy bộ thu RTLSDR cần phủ sóng các tần số trên 1.800 MHz. Do đó, hướng nghiên cứu trong tương lai sẽ tập trung vào việc phát triển nhiều loại bộ thu tần số và nghiên cứu phổ của các hệ thống truyền thông khác ngoài di động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Stewart, Robert W. (2015), Kenneth W. Barlee and Dale SW Atkinson, Software defined radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR, Strathclyde Academic Media.
- [2]. Laufer, Carl and Edward J. Hoffman (2015), The Hobbyist's Guide to the RTL-SDR: Really Cheap Software Defined Radio: A Guide to the RTL-SDR and Cheap Software Defined Radio by the Authors of the RTL-SDR. com Blog. Scotts Valley, CA, USA: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- [3]. Xiong, Xiong, et al. (2015), An open source SDR-based NOMA system for 5G networks, IEEE Wireless Communications 22.6, 24-32.
- [4]. Reis, André LG, et al. (2012), Software defined radio on digital communications: A new teaching tool, WAMICON 2012 IEEE Wireless & Microwave Technology Conference, IEEE.
- [5]. Rahman, Md Habibur and Md Mamunoor Islam (2016), A practical approach to spectrum analyzing unit using rtl-sdr, Rajshahi University Journal of Science and Engineering 44, 151-159.
- [6]. Stewart, Robert W., Kenneth W. Barlee and Dale SW Atkinson (2015), Software defined radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR, Strathclyde Academic Media.