MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP LỌC NHIỄU CHO RA ĐA XUYÊN TƯỜNG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ FPGA

Nguyễn Mạnh Cường[1], Nguyễn Tiền Hải[1], Phùng Ngọc Anh[1], Vũ Đăng Chiến[1]

[1]*Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn*

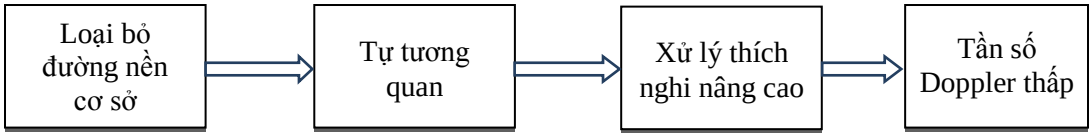
Tóm tắt

Ra đa xuyên tường phát hiện các đối tượng sống dựa trên nguyên lý lọc tách tần số Doppler, tần số này không dễ phát hiện khi hệ thống hoạt động ngoài trời do nhiễu môi trường mạnh. Bài báo trình bày việc nghiên cứu một số phương pháp xử lý nâng cao và sử dụng công nghệ FPGA để thiết kế phần cứng thực hiện các thuật toán xử lý theo các phương pháp đã nghiên cứu nhằm cải thiện chất lượng tín hiệu khi hệ thống hoạt động trong môi trường chịu tác động của nhiễu, các phương pháp xử lý bao gồm: Phương pháp loại bỏ đường nền cơ sở, phương pháp xử lý tự tương quan và phương pháp xử lý thích nghi. Kết quả cho thấy, mỗi phương pháp đều có ưu điểm và nhược điểm riêng và sự kết hợp hợp lý giữa các phương pháp trên sẽ cho hiệu quả lọc nhiễu tốt nhất.

Từ khóa: *Ra đa xuyên tường; FPGA; lọc thích nghi; bộ loại tạp.*

1. Giới thiệu phương pháp xử lý

Quá trình xử lý tín hiệu Doppler nâng cao cho ra đa phát tín hiệu liên tục như sau:



Hình 1. Sơ đồ xử lý Doppler cho ra đa phát tín hiệu liên tục

Tỉ số SNR (tín/tạp) của tín hiệu thu được đối với ra đa đặt trong phòng là tương đối cao khi ra đa được đặt gần và đối diện với người cần phát hiện. Tuy nhiên, khi đặt ra đa ở ngoài phòng (tìm kiếm người bị vùi lấp...), do sự chuyển động của lá cây, của cỏ... dẫn đến rất khó để phát hiện tín hiệu Doppler do nhịp thở và nhịp tim của người bị che lấp vì tần số này tương đối thấp và bị nhiễu che khuất.

Các phương pháp xử lý tín hiệu truyền thống như sử dụng các bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn (FIR), bộ lọc đáp ứng xung vô hạn (IIR) để lọc tần số khỏi nhiễu có tính hiệu quả không cao khi cường độ nhiễu lớn. Vì vậy, bài báo đề cập đến một số giải pháp kỹ thuật để loại bỏ nhiễu khỏi tín hiệu thu dựa trên cơ sở sự khác biệt lớn nhất giữa nhiễu và tín hiệu Doppler là tín hiệu Doppler có chu kỳ còn nhiễu thì không. Sơ đồ xử lý như hình 1 kết hợp 3 phương pháp xử lý để nâng cao tỉ số tín/nhiễu đó là: Loại bỏ đường cơ sở, tự tương quan và xử lý thích nghi nâng cao.

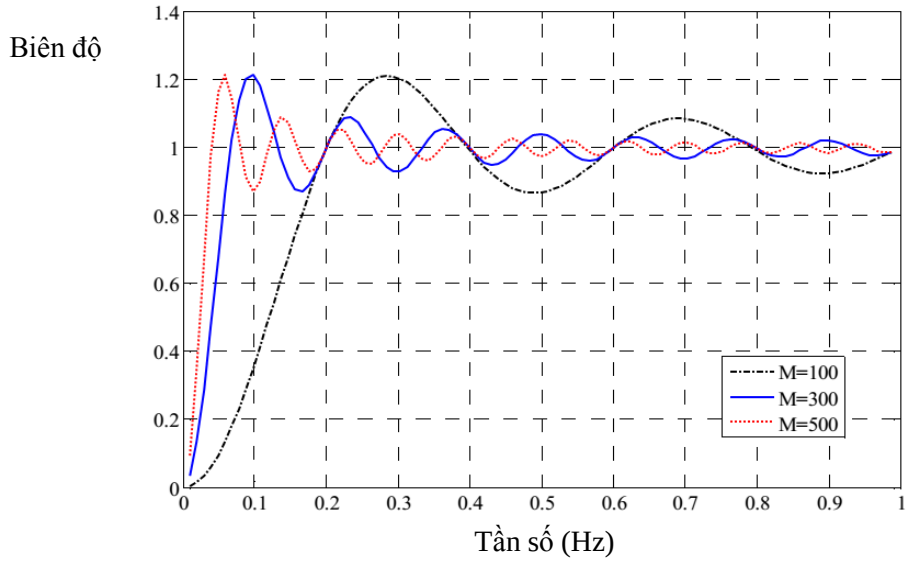
1.1. Phương pháp loại bỏ đường cơ sở

Để loại bỏ được đường cơ sở, sử dụng phương pháp tính trung bình đơn biên theo

công thức sau:

$$y(n) = S_A(n) - \frac{\sum_{j=n-M}^{n} S_A(j)}{M+1} \quad (1)$$

trong đó: $S_A(n)$ - tín hiệu gốc sau khi được số hóa (ADC) ở ô thứ *n*; $S_A(j)$- tín hiệu gốc sau khi số hóa ở ô thứ *j*; *M* - số khâu xử lý, giá trị *M* rất quan trọng nó mang tính quyết định đến chất lượng loại bỏ đường cơ sở. Bằng việc thay đổi giá trị *M* ta sẽ thu được đáp ứng tần số khác nhau của bộ xử lý này. Dưới đây là đáp ứng tần số tương ứng với các giá trị *M* của bộ xử lý.



Hình 2. Đáp ứng tần số của bộ loại bỏ đường cơ sở với các giá trị M khác nhau

Dựa vào đáp ứng trên ta thấy khi giá trị *M* càng lớn thì tần số cắt của bộ loại đường cơ sở càng thấp và sự dao động của giá trị hàm truyền trong vùng cho qua càng nhỏ, ngược lại khi *M* nhỏ thì tần số cắt sẽ cao và hàm truyền cũng dao động mạnh hơn.

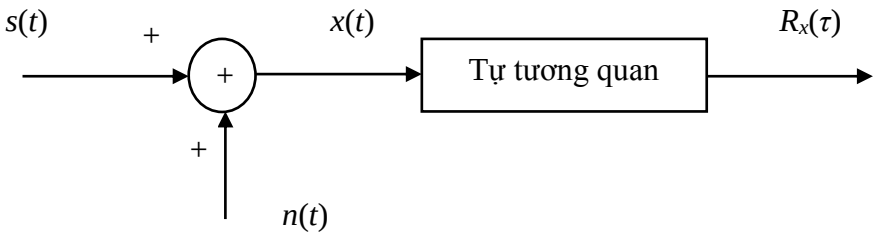
1.2. Phương pháp tự tương quan

Phương pháp tự tương quan được sử dụng để lấy lại tín hiệu có ích ra khỏi nhiễu. Sơ đồ được thể hiện trên hình 3, trong đó *s*(*t*) là tín hiệu có ích, *n*(*t*) là tín hiệu nhiễu, tín hiệu thu được từ ra đa là *x*(*t*).

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (2)$$

Hàm tự tương quan của *x*(*t*) được tính như sau:

$$\begin{aligned} R_x(\tau) &= E\left[x(t)x(t-\tau)\right] = E\left\{\left[s(t)+n(t)\right]\left[s(t-\tau)+n(t-\tau)\right]\right\} \\ &= E\left[s(t)s(t-\tau)\right] + E\left[n(t)n(t-\tau)\right] + E\left[s(t)n(t-\tau)\right] + E\left[n(t)s(t-\tau)\right] \quad (3) \\ &= R_s(\tau) + R_n(\tau) + R_{sn}(\tau) + R_{ns}(\tau) \end{aligned}$$

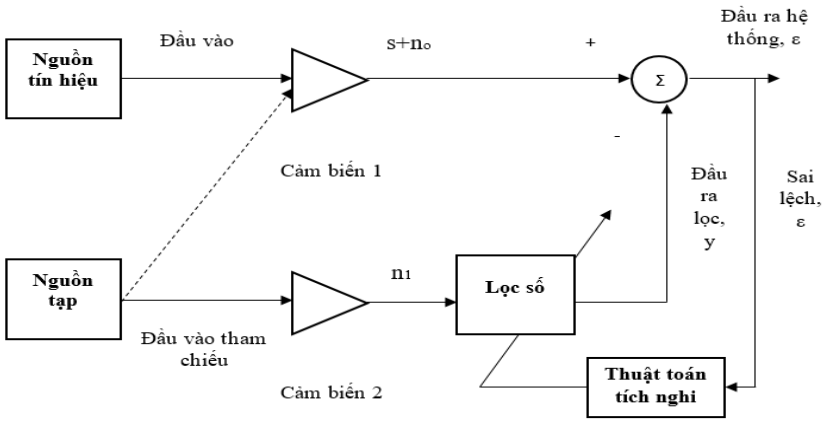


Hình 3. Sơ đồ tự tương quan để lọc tín hiệu có chu kỳ ra khỏi nhiễu

Theo công thức tính tự tương quan trên thì tín hiệu và nhiễu không tương quan với nhau nên hàm $R_{sn}(\tau)$ và hàm $R_{ns}(\tau)$ có giá trị bằng không. Do nhiễu $n(t)$ không có chu kỳ nên hàm tự tương quan của nó chủ yếu chỉ tồn tại tại giá trị $\tau = 0$. Như vậy, chỉ có hàm tự tương quan của tín hiệu $x(t)$ là phản ánh hàm tự tương quan của tín hiệu $s(t)$. Nếu $s(t)$ là tín hiệu có chu kỳ thì $R_s(\tau)$ cũng là hàm có chu kỳ và chu kỳ bằng chu kỳ của $s(t)$. Trong trường hợp τ tương đối lớn thì có thể sử dụng hàm $R_x(\tau)$ để xác định tần số của tín hiệu $s(t)$.

1.3. Phương pháp xử lý thích nghi

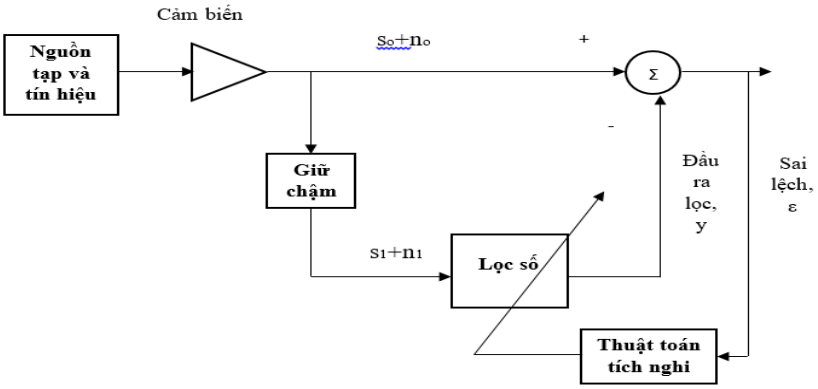
Sau khi xử lý tự tương quan thì tỉ số SNR của tín hiệu đã được cải thiện tương đối, tuy nhiên với tín hiệu có SNR khá thấp thì vẫn cần nâng cao tỉ số này hơn nữa. Bộ loại tạp thích nghi thực chất là bộ lọc thích nghi, nó được dùng trong điều kiện khi thông tin đầy đủ về môi trường nhiễu không đáp ứng được.



Hình 4. Sơ đồ bộ loại tạp thích nghi

Bộ loại tạp trên có hai đầu vào, một đầu vào kênh chính và một đầu vào kênh tham chiếu, hệ thống có một đầu ra. Tín hiệu s là tín hiệu mong muốn, tạp n_0 và tạp n_1 tương quan với nhau, tín hiệu s không tương quan với n_0. Hệ số của bộ lọc được cập nhật dựa theo nguyên lý sai số bình phương trung bình nhỏ nhất. Sử dụng n_1 để loại bỏ n_0 ở kênh chính nên SNR của tín hiệu kênh thu chính sẽ được tăng lên.

Sơ đồ xử lý thích nghi trên rất hữu ích, tuy nhiên nó yêu cầu phải có hai kênh thu, trong đó một kênh chỉ thu nhiễu, điều này khó thực hiện trong thực tiễn vì tín hiệu có ích mong muốn cũng có thể lọt vào kênh thu nhiễu và làm giảm chất lượng tín hiệu đầu ra. Để giải quyết vấn đề này, bài báo sử dụng phương pháp lọc thích nghi nâng cao, trong đó chỉ sử dụng một kênh thu.



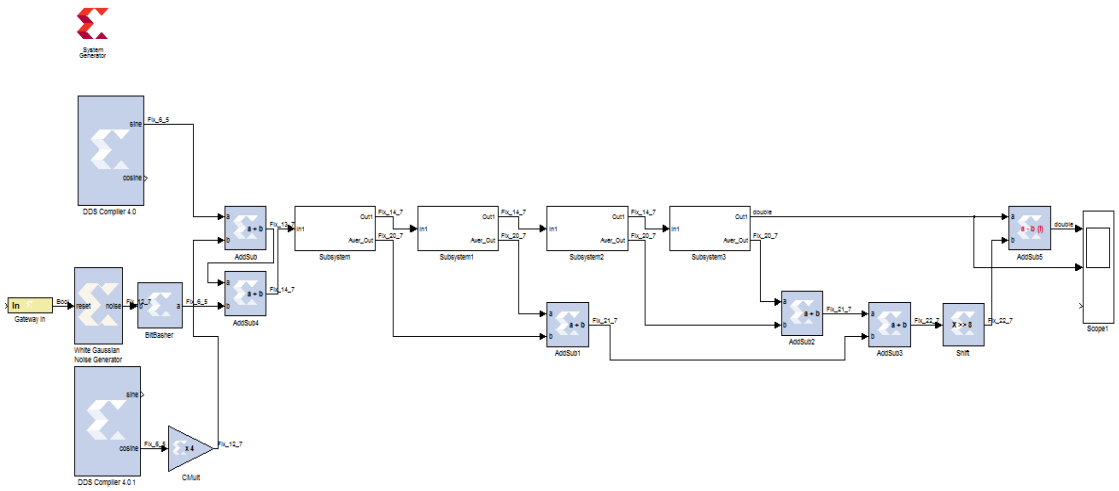
Hình 5. Sơ đồ bộ xử lý thích nghi nâng cao

Trên sơ đồ hình 5, s_0 là tín hiệu mong muốn, n_0 là tín hiệu nhiễu, s_1 và n_1 là tín hiệu sau khi giữ chậm của s_0 và n_0. Sau khi giữ chậm thì s_0 và s_1 vẫn tương quan với nhau vì nó là tín hiệu có chu kỳ còn n_0 và n_1 không còn tương quan với nhau, vì vậy đầu ra bộ lọc số ta có tín hiệu s_1.

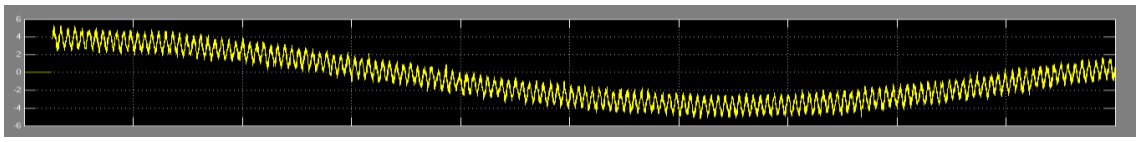
2. Thiết kế các khối xử lý nâng cao trong môi trường System Generator

2.1. Khối xử lý loại bỏ đường cơ sở

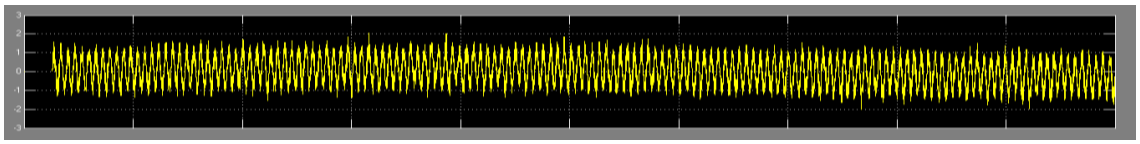
Sơ đồ thiết kế chi tiết ở hình dưới, trong thiết kế này tác giả sử dụng 256 khâu giữ chậm để tính giá trị trung bình của một đoạn cơ sở:



Hình 6. Sơ đồ khối xử lý loại đường cơ sở



Hình 7. Tín hiệu đầu vào

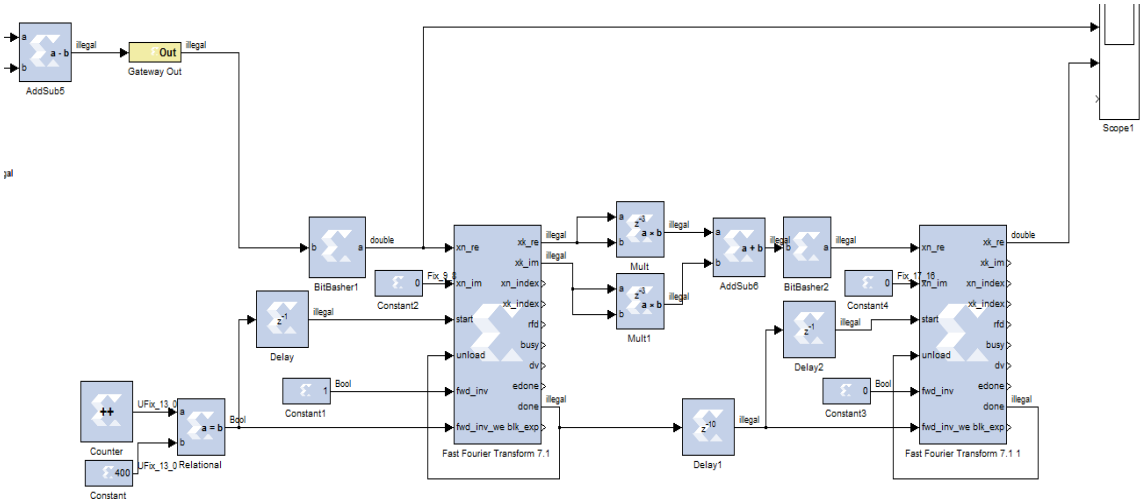


Hình 8. Tín hiệu sau xử lý loại bỏ đường cơ sở

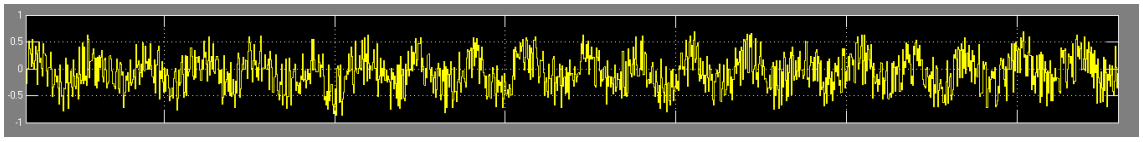
Hình 7 thể hiện tín hiệu đầu vào chịu tác động điều chế biên độ theo một dạng đường cong nền cơ sở (đường cong được tạo nên do phản xạ của tường và các vật chắn khi tín hiệu đi xuyên qua), hình 8 thể hiện kết quả tín hiệu đầu ra sau khi đi qua khối loại bỏ đường nền cơ sở, nhiễu nền cơ sở đã bị loại bỏ. Khối xử lý loại bỏ đường nền cơ sở đóng vai trò như một bộ lọc thông cao, nó loại bỏ những tần số gần băng tần cơ sở, tần số cắt của khối tỉ lệ nghịch với số khâu tính trung bình của khối xử lý.

2.2. Khối xử lý tự tương quan

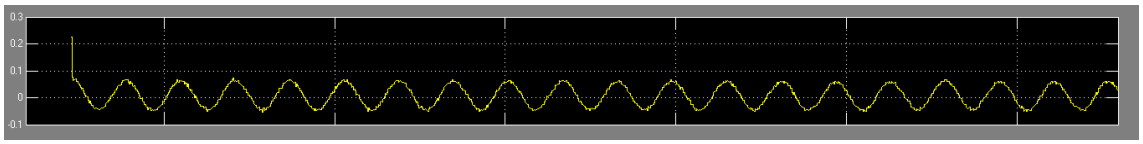
Để giảm khối lượng tính toán và tận dụng khai thác Ipcore FFT, bài báo thực hiện tính tương quan trong miền tần số. Số điểm FFT được lựa chọn là 2048 điểm. Sơ đồ thiết kế cụ thể như sau:



Hình 9. Sơ đồ khối xử lý tự tương quan



Hình 10. Tín hiệu đầu vào khối xử lý tự tương quan



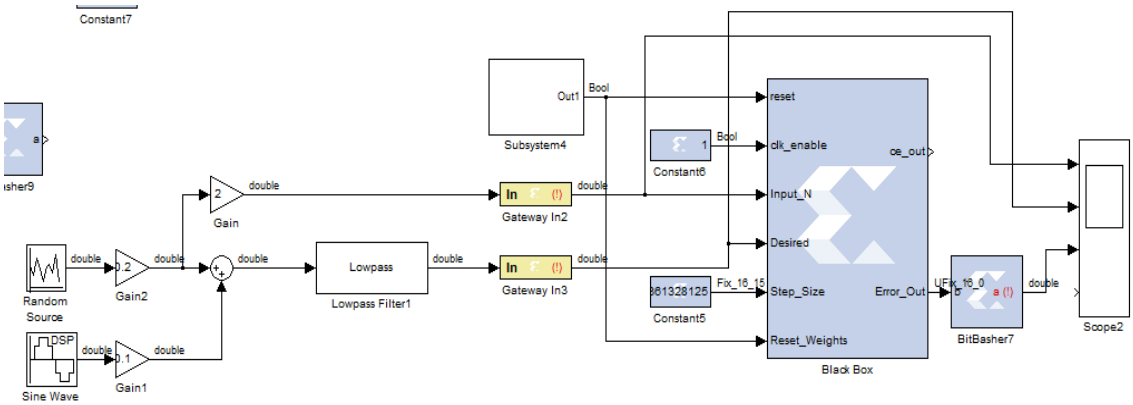
Hình 11. Tín hiệu đầu ra khối xử lý tự tương quan

Quan sát tín hiệu đầu ra của khối xử lý trên hình 11, chúng ta thấy toàn bộ tạp chủ yếu tập trung vào đoạn đầu tập tín hiệu - tại đó giá trị $\tau = 0$, tại các $\tau > 0$ là giá trị của hàm tự tương quan tín hiệu tần số Doppler có tần số bằng tần số của tín hiệu Doppler. Như vậy, qua phép xử lý này tỉ số tín/tạp của tín hiệu được nâng lên tương đối rõ.

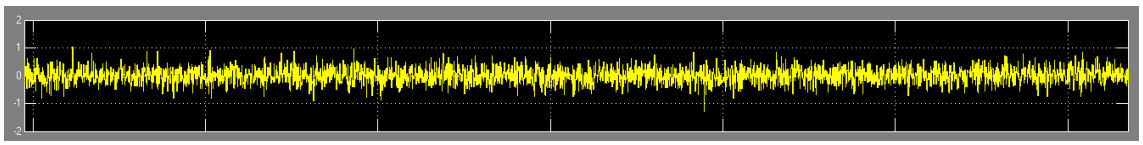
2.3. Xử lý thích nghi

2.3.1. Xử lý thích nghi 2 kênh

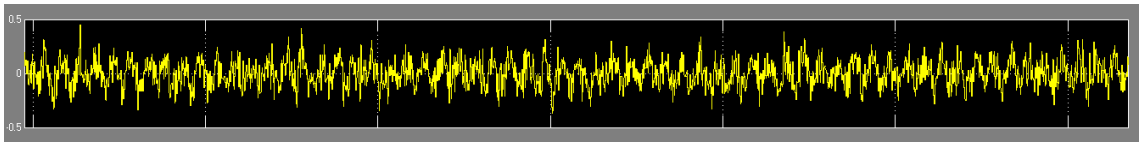
Xử lý thích nghi 2 kênh đòi hỏi phải có hai kênh thu, trong đó 1 kênh thu tín hiệu mong muốn và nhiễu, kênh còn lại thu nhiễu. Bài báo sử dụng thuật toán LMS để thiết kế bộ lọc thích nghi loại tạp. Sơ đồ thiết kế như sau:



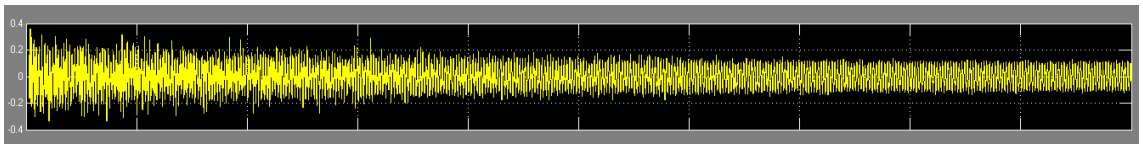
Hình 12. Sơ đồ thiết kế khối lọc thích nghi 2 kênh



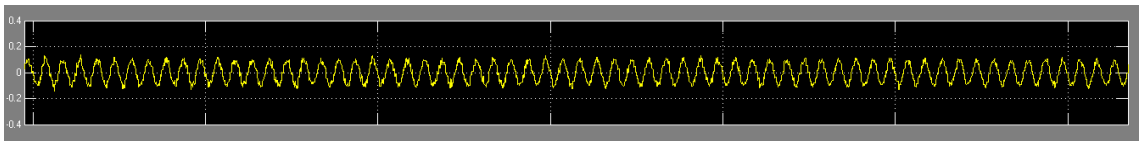
Hình 13. Nhiễu ở kênh tham chiếu



Hình 14. Tín hiệu + nhiễu ở kênh thu tín hiệu



Hình 15. Quá trình thích nghi loại bỏ tạp

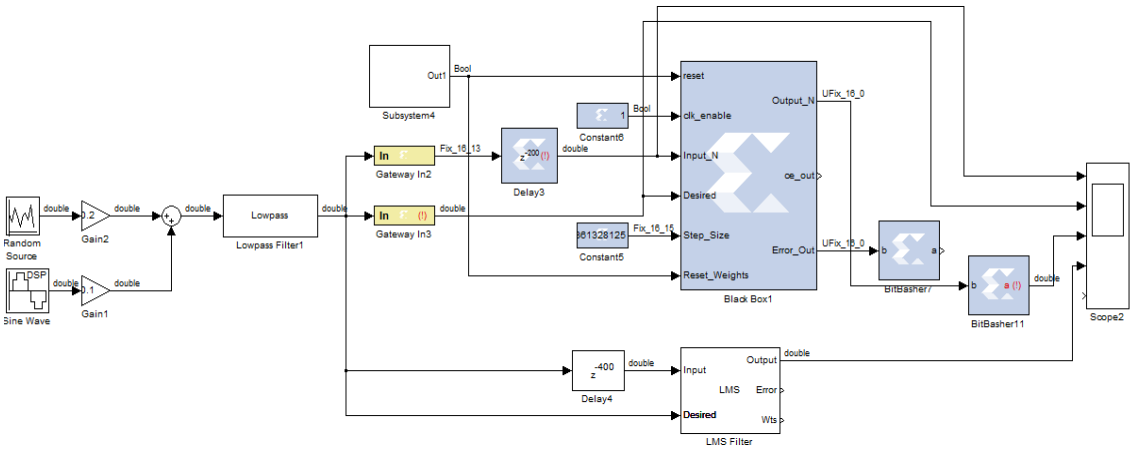


Hình 16. Tín hiệu sau xử lý thích nghi

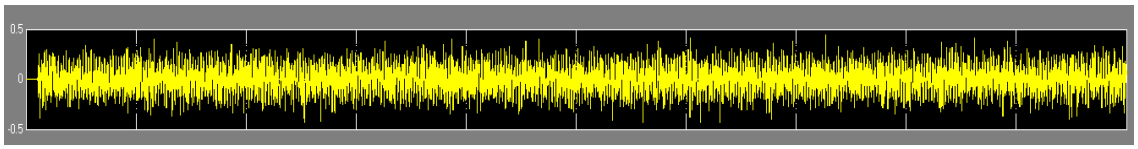
Trên hình 14 thể hiện tín hiệu đầu vào chịu tác động của nhiễu tương đối mạnh sau khi đi qua khối xử lý thích nghi 2 kênh, trong đó một kênh thu nhiễu và một kênh thu tổ hợp tín hiệu + nhiễu, bộ lọc thích nghi thực hiện biến đổi các hệ số truyền của bộ lọc theo tham số của nhiễu và tín hiệu + nhiễu để tín hiệu đầu ra có tỉ số tín/nhiễu cao hơn. Hình 15 thể hiện quá trình tạp dần được loại bỏ (quá trình thích nghi của bộ lọc). Hình 16 thể hiện tín hiệu ra sau khi thực hiện loại nhiễu.

2.3.2. Xử lý thích nghi một kênh

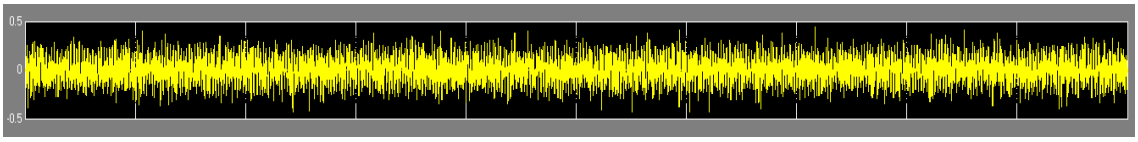
Để xử lý thích nghi 2 kênh đòi hỏi phải có một kênh chỉ thu tạp, điều này khó đáp ứng được trong thực tế, giải pháp đưa ra ở đây là chúng ta sử dụng xử lý thích nghi một kênh, trong đó kênh nhiễu chính là tín hiệu thu + nhiễu được giữ chậm với điều kiện nhiễu giữ chậm và nhiễu không giữ chậm phải không tương quan với nhau. Sơ đồ thiết kế và kết quả ở các hình dưới đây.



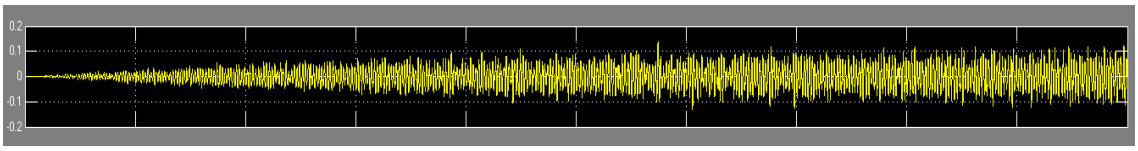
Hình 17. Bộ xử lý thích nghi loại tạp một kênh



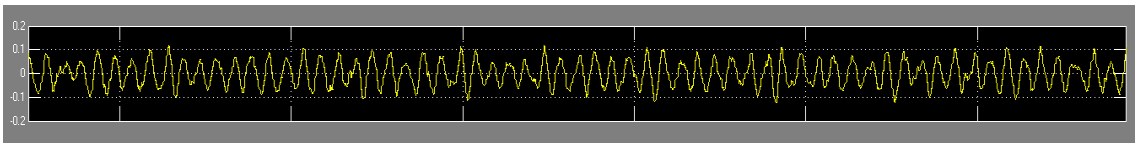
Hình 18. Tín hiệu + nhiễu đầu vào



Hình 19. Tín hiệu + nhiễu sau khi giữ chậm



Hình 20. Tín hiệu đầu ra sau khi xử lý thích nghi một kênh



Hình 21. Phóng to tín hiệu đầu ra bộ xử lý thích nghi loại tạp một kênh

Hình 20 thể hiện quá trình thích nghi để loại bỏ tạp của bộ xử lý, quá trình diễn biến này ngược lại với quá trình diễn biến của bộ lọc loại tạp thích nghi 2 kênh, kết quả thể hiện tín hiệu đầu ra trên hình 21 kém hơn không nhiều so với kiểu xử lý thích nghi 2 kênh, điều này là do việc lựa chọn số mẫu giữ chậm đảm bảo đủ khoảng cách để mẫu nhiễu giữ chậm và không giữ chậm là không tương quan với nhau.

3. Kết luận

Bài báo đã đề cập một số phương pháp nâng cao chất lượng xử lý tín hiệu Doppler cho các hệ thống ra đa xuyên tường hoạt động trong điều kiện chịu tác động nhiễu môi trường tương đối lớn. Nhiễu môi trường là phổ biến với ra đa xuyên tường hoạt động ngoài trời nên nó gây ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng phát hiện tín hiệu Doppler, đặc biệt là những tín hiệu yếu.

Để giảm thiểu sự ảnh hưởng nhiễu, bài báo đã trình bày một số phương pháp dùng công nghệ FPGA để nâng cao tỉ số tín/nhiễu. Các phương pháp đó bao gồm: phương pháp loại bỏ đường cơ sở, phương pháp tự tương quan, phương pháp xử lý thích nghi một kênh và phương pháp xử lý thích nghi hai kênh. Kết quả mô phỏng các phương pháp cho thấy tín hiệu đầu ra có tỉ số tín/nhiễu được cải thiện đáng kể so với tín hiệu đầu vào có tỉ số tín/nhiễu thấp.

Tài liệu tham khảo

1. Nickerson R. S. *Roles of human factors and ergonomics in meeting the challenge of terrorism*. Am. Psychol, 2011.
2. Qian K., Song A., Bao J., Zhang H. *Small teleoperated robot for nuclear radiation and chemical leak detection*. Int. J. Adv. Robot. Syst., 2012.
3. Wang G., Munoz-Ferreras J. -M., Gu C., Li C., Gomez-Garcia R. *Application of Linear-Frequency-Modulated Continuous-Wave (LFMCW) Radars for Tracking of Vital Signs*. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2014.
4. Li C., Lubeck V. M., Boric-Lubecke O., Lin J. *A Review on Recent Advances in Doppler Radar Sensors for Noncontact Healthcare Monitoring*. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2013.

5. Diebold S., Ayhan S., Scher S., Massler H., Tessmann A., Leuther A., Ambacher O., Zwick T., Kallfass I. *A W-Band MMIC Radar System for Remote Detection of Vital Signs.* J. Infrared Millim. Terahertz Waves, 2012.
6. Gu C., Li C., Lin J., Long J., Huangfu J., Ran L. *Instrument-Based Noncontact Doppler Radar Vital Sign Detection System Using Heterodyne Digital Quadrature Demodulation Architecture*. IEEE Trans. Instrum. Meas., 2010.
7. Gu C., Li C. *Assessment of Human Respiration Patterns via Noncontact Sensing Using Doppler Multi-Radar System*. Sensors, 2015.
8. Kagawa M., Ueki K., Kurita A., Tojima H., Matsui T. *Non-contact screening system with two microwave radars in the diagnosis of sleep apnea-hypopnea syndrome*. Stud. Health Technol. Inform., 2013.

FPGA-BASED CLUTTER CANCELLATION METHODS FOR THROUGH-WALL RADAR

Abstract: *Through-wall radars detect alive objects based on the Doppler principle, but the Doppler frequency is not easy to detect when the system operates in an outdoor area due to the strong environmental clutter. This paper addresses some advanced processing methods and the use of the FPGA technology to design the hardware in order to improve the signal to noise ratio when the system operates in the environment affected by the clutter. The processing methods include: the baseline removal method, the self-correlation processing method and the adaptive processing method. The results show that each method has advantages, disadvantages and the exact combination of the above methods will provide the most effective filter.*

Ngày nhận bài: 09/01/2017; Ngày nhận bản sửa lần cuối: 11/4/2017; Ngày duyệt đăng: 06/3/2018

❑