PHÁT HIỆN TÍN HIỆU TRONG TRUYỀN THÔNG HỒNG NGOẠI KHÔNG DÂY

Đinh Quang Tuyến [1], Nguyễn Hữu Phương [2]
(1) Trường ĐH Công Nghiệp TP.HCM
(2) Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM
(Bài nhận ngày 29 tháng 03 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 02 tháng 03 năm 2008)

TÓM TẮT: *Các hệ thống truyền thông quang vô tuyến dùng tia hồng ngoại (IR) hiện vẫn chưa có được băng thông lớn như các hệ thống sóng vô tuyến (RF), do đó trước đây người ta vẫn thường dùng kỹ thuật vô tuyến cho truyền thông ngoài trời cũng như trong nhà. Trong khoảng 10 năm trở lại đây tia hồng ngoại được nghiên cứu để ứng dụng cho truyền thông ngoài trời cự ly ngắn và nhất là truyền thông trong nhà, do tia hồng ngoại bị giới hạn trong một phòng, không ảnh hưởng đến các phòng kế bên. Thật ra, tia hồng ngoại đã được dùng rất phổ biến ở các điều khiển remote nhưng đây là truyền theo đường thẳng (light of sight -LOS). Khi truyền tia hồng ngoại theo kiểu khuếch tán (do có nhiều vật cản và sự phản xạ) thì vấn đề phức tạp hơn vì nhiễu và sự tán xa làm hạn chế băng thông của kênh truyền và gia tăng lỗi bit.*

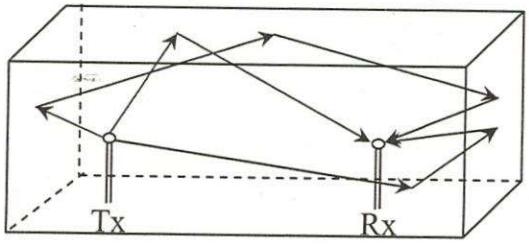
Ở đây, chúng tôi giới thiệu một bộ thu (detector) hoạt động dựa trên tính chất trích đặc trưng đa phân giải của phân tích wavelet kết hợp với khả năng nhận dạng của mạng nơ-ron nhằm tăng hiệu quả của kênh truyền thông IR.

1. GIỚI THIỆU

Ánh sáng hồng ngoại (IR) là ánh sáng không thể nhìn thấy được bằng mắt thường, có bước sóng khoảng 700nm – 1500 nm. IR là nền tảng của các hệ thống truyền thông trong phạm vi hẹp, băng thông lớn (rộng tới 200 THz). IR có các tính chất tương tự như ánh sáng thấy được: Cả hai đều bị hấp thụ bởi các vật tối, bị phản xạ bởi các vật có màu sáng và các bề mặt bóng láng. Bức xạ IR không thể xuyên qua các cấu trúc mờ đục như tường, trần nhà, phạm vi truyền bị giới hạn trong căn phòng. Điều này mang lại một số khả năng bảo mật nhất định, đồng thời cũng cho phép sử dụng lại dải tần số ở một phòng ngay kế bên.

Truyền thông hồng ngoại trong phạm vi phòng bị ảnh hưởng bởi nhiễu và sự tán xạ. Đa số nhiễu trong các môi trường IR đều bắt nguồn từ án sáng xung quanh, do ánh sáng mặt trời tự nhiên hoặc từ các nguồn ánh sáng nhân tạo khác. Tán xạ là do các phản xạ nhiều lần ở các vật trong phòng như, trần, tường, ghế, bàn … Người ta mô hình hóa sự tán xạ thành méo đa đường: Tín hiệu phát tới đầu thu ở các thời điểm khác nhau và có cường độ khác nhau, kết quả là làm nhòe các xung, dẫn đến can nhiễu (giao thoa) liên ký hiệu (Intersymbol Interference - ISI). Ta không thể tăng công suất phát để khắc phục các trở ngại này vì sẽ làm hại mắt. Hệ thống IR may mắn không bị ảnh hưởng bởi hiện tượng fadin đa đường (multipath fading) như ở các hệ thống vô tuyến (RF). Có được điều này là do bước sóng của IR nhỏ so với kích thước của bộ tách sóng (detector).

Hình 1 mô tả một mô hình thu/phát hồng ngoại không có đường truyền trực tiếp (truyền nhìn thấy – LOS). Ở đây, bộ phát và bộ thu hướng thẳng lên trần nhà, giả định như giữa hai bộ thu, phát có một vật ngăn cách nên không truyền trực tiếp với nhau, bất cứ tia nào đi từ đầu phát đến đầu thu phải chịu phản xạ ít nhất một lần.

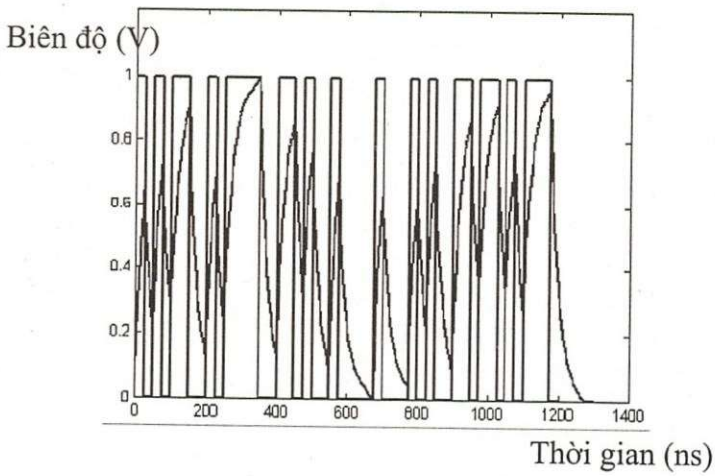


Hình 1. Mô hình truyền thông hồng ngoại khuếch tán không có đường truyền thẳng nhìn thấy

2. TRUYỀN THÔNG HỒNG NGOẠI

Kiểu truyền trực tiếp đạt được hiệu quả cao nhất vì nó giảm thiểu khả năng suy hao đường truyền và ảnh hưởng của các nguồn sáng nhiễu xung quanh. Kết nối trực tiếp thường được sử dụng khi truyền giữa các tòa nhà với nhau. Trong phạm vi một phòng do bị giới hạn bởi trần, tường, vách ngăn và nhiều vật cản khác nên cách thức truyền là kết nối không trực tiếp sử dụng một góc phát và thu rộng. Còn có trường hợp thiết bị đầu cuối di động, lúc bấy giờ đầu phát, đầu thu không yêu cầu phải hướng thẳng vào nhau khi truyền hoặc nhận.

Sự nhòe xung do hiện tượng ISI được biểu diễn ở Hình 2 [1][2]. Ở tốc độ cao, sự nhòe sẽ làm ảnh hưởng đến biên độ tín hiệu, trong trường hợp như vậy điểm lấy mẫu tốt nhất là điểm cuối cùng của bit, nơi đó biên độ tín hiệu đạt tối đa.



Hình 2. Méo đa đường trường hợp OOK dùng dạng xung NRZ ở tốc độ 40 Mbps. (Các xung vuông là tín hiệu nguyên thủy, các xung nhọn là tín hiệu nhận được ở đầu thu)

Giả sử công suất không bị suy giảm trên đường truyền, năng lượng của tín hiệu phát vẫn được duy trì đầy đủ ở tín hiệu thu bất chấp méo và nhiễu cộng. Trong trường hợp này kênh truyền đa đường được biểu diễn bởi đáp ứng xung tương đương h(t), là giá trị không đổi với vị trí bộ phát, bộ thu và các bề mặt phản xạ cho trước [1][2], được cho bởi công thức sau:

$$h(t,a)=\frac{6a^6}{(t+a)^7}u(t) \qquad (1)$$

Trong đó:

u(t) là hàm bậc đơn vị (để chỉ đáp ứng xung là nhân quả)

a là thời gian tối thiểu để một tín hiệu đi từ đầu phát, phản xạ tại trần nhà, rồi tới đầu thu:

$$a = \frac{2H}{c} \tag{2}$$

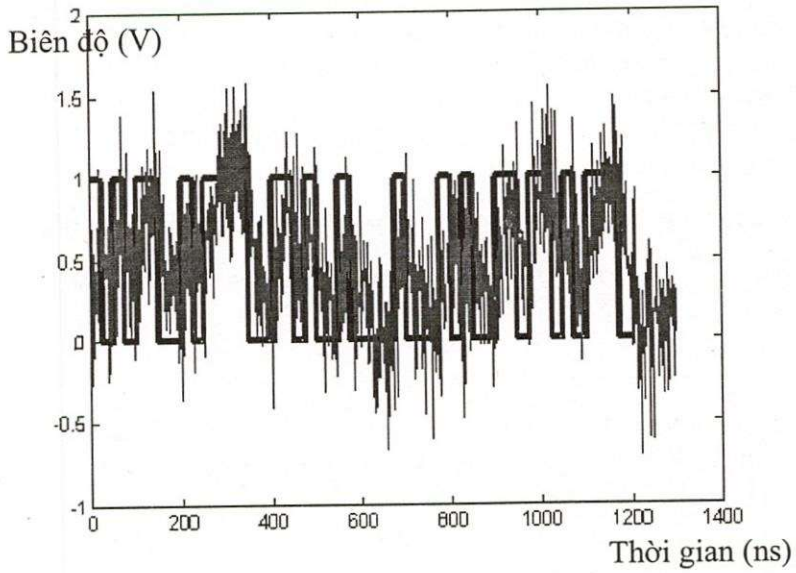
với H là chiều cao từ bộ phát – thu đến trần nhà.

Tín hiệu phân tán sẽ tiếp tục bị ảnh hưởng bởi các nguồn sáng nhiễu mà được giả thiết là nhiễu Gauss cộng N(t). Kết quả là xuất hiện thêm thành phần nhiễu trong tín hiệu tại đầu thu (Hình 3) [6]:

$$y(t) = x(t)^* h(t) + N(t) \tag{3}$$

Trong đó tín hiệu phát x(t) cho bởi [6]

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_{a_n}(t - nT_s) \tag{4}$$



Hình 3. Nhiễu và méo đa đường (xung vuông là tín hiệu nguyên thủy ở đầu phát).

Chuỗi {an} diễn tả thông tin số đang được truyền, $s_{a_n}(t)$ diễn tả một trong L dạng xung với thời khoảng ký hiệu Ts. Tốc độ dữ liệu (hay tốc độ bit) Rb, thời khoảng bit T, tốc độ ký hiệu Rs, thời khoảng ký tự Ts liên hệ với nhau như sau [6]:

$$\text{Rb} = \frac{1}{T}, \qquad \text{Rs} = \frac{1}{T_s}, \qquad \text{Ts} = \log2(\text{L})\text{T}. \tag{5}$$

3. PHÂN TÍCH WAVELET

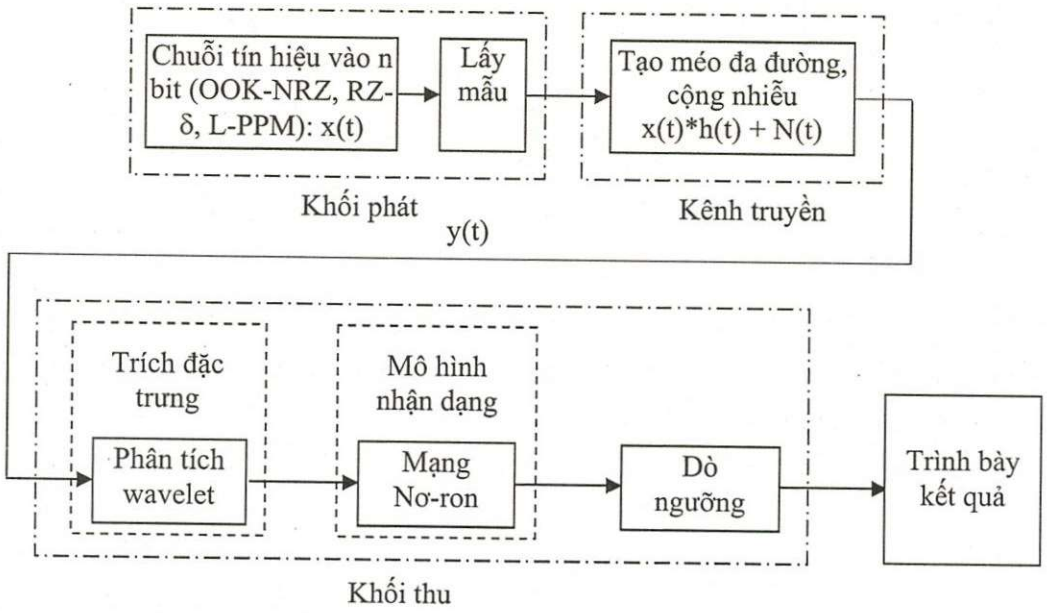
Wavelet [6][7] là dạng sóng con có khoảng thời gian tồn tại hữu hạn và có giá trị trung bình bằng 0. Có khá nhiều wavelet đã được định nghĩa cho việc phân tích tín hiệu, hoặc chúng ta cũng có thể tự định nghĩa. Bộ công cụ wavelet trong Matlab [8][9] cung cấp khá đầy đủ các loại wavelet và các khả năng mô phỏng, phân tích và hiển thị các tín hiệu thực hiện biến đổi wavelet. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng biến đổi wavelet liên tục (CWT). Phân tích wavelet đã được ứng dụng rộng rãi và khá quen thuộc nên không được tổng quan ở đây.

4. MẠNG NƠ-RON

Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) là một hệ thống gồm nhiều nơ-ron kết nối với nhau [8][10][11], có cấu trúc cơ bản gồm ba lớp: Lớp vào, lớp ẩn, và lớp ra. Có hai mô hình kết nối trong các mạng nơ-ron, đó là mô hình kết nối truyền thẳng và mô hình kết nối lan truyền ngược. Mạng truyền thẳng nhiều lớp là mạng truyền tín hiệu tuần tự chuyển tiếp từ lớp vào, thông qua các lớp ẩn và đến lớp ra. Đây là mô hình thường được sử dụng nhất. Luật học tổng quát có thể phân ra làm ba dạng đó là học giám sát, học không giám sát và học tăng cường. Trong dạng học giám sát, mạng được cung cấp các cặp vào ra mong muốn tại mỗi thời điểm học để bảo mạng hiểu dẫn đến hành xử đúng. Trong dạng học không giám sát, mạng được cung cấp các mẫu vào nhưng không được cung cấp các ngõ ra mong muốn, mạng sẽ tự khám phá với các mẫu vào mong muốn để tìm cho nó ngõ ra thích hợp. Học tăng cường cũng là dạng học giám sát, tuy nhiên tín hiệu ra mong muốn của mạng được đánh giá là đúng hoặc sai. Mạng nơ-ron cũng đã khá quen thuộc, ở đây chúng tôi chỉ sử dụng chứ không nghiên cứu gì thêm nên không đi vào chi tiết.

5. MÔ PHỎNG HỆ THỐNG THU PHÁT HỒNG NGOẠI KHUẾCH TÁN

Phần này sẽ trình bày các mô hình mô phỏng hệ thống thu/phát hồng ngoại khuếch tán trong nhà (Hình 4).



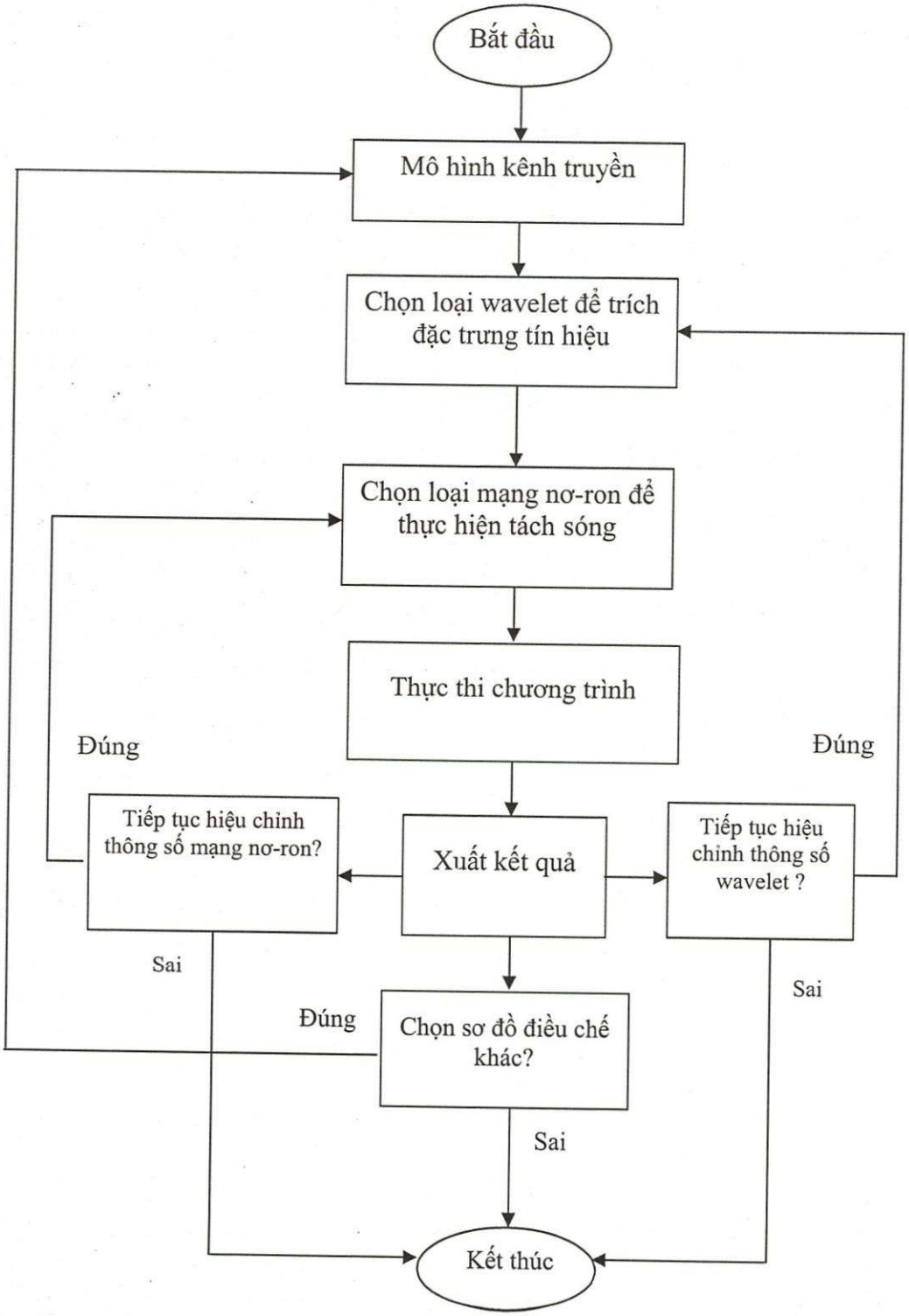
Hình 4. Hệ thống phát - truyền – thu

Bộ thu với sự kết hợp của phân tích wavelet và mạng nơ-ron sẽ trích đặc trưng và nhận dạng tín hiệu ban đầu từ chuỗi tín hiệu bị méo đa đường và nhiễu. Chúng tôi đã sử dụng nhiều cách điều chế khác nhau, nhiều loại wavelet với các tham số tỉ lệ và dịch chuyển khác nhau để trích đặc trưng đa phân giải thời gian - tần số của tín hiệu, mạng nơ-ron cũng được thay đổi với nhiều cấu trúc (số lớp, số nơ-ron), hàm huấn luyện, số thế hệ huấn luyện khác nhau để nhận dạng tín hiệu nhằm tìm ra mô hình tối ưu cho từng trường hợp cụ thể.

Hệ thống được mô phỏng và thực hiện trên Matlab. Tín hiệu vào là một chuỗi dữ liệu (tín hiệu) liên tục, được điều chế theo sơ đồ OOK-NRZ (On-Off Keying Non-Return-to-Zero) [1], OOK RZ-δ (OOK Return-to-Zero), hoặc L-PPM (Pulse Position Modulation). Chuỗi dữ liệu sau đó bị tác động bởi méo đa đường (nhân chập với đáp ứng xung h(t) tương đương của môi trường) [2], và tiếp tục bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ các nguồn sáng xung quanh (cộng thêm nhiễu Gauss) [1]. Sau khi điều chế và chịu các tác động của môi trường truyền, chuỗi dữ liệu được đưa đến ngõ vào của bộ thu. Ở đây, nó được đưa qua bộ phân tích wavelet để trích các hệ số đặc trưng, rồi đưa đến các ngõ vào mạng nơ-ron. Hình 8 là lưu đồ giải thuật tổng quát.

Mô hình mạng nơ-ron dùng nhiều cấu trúc khác nhau, được huấn luyện để phát hiện đúng giá trị chuỗi dữ liệu ban đầu từ chuỗi dữ liệu đã bị méo đa đường và nhiễu. Ví dụ, một mạng nơ-ron được chọn để mô phỏng có 176 nơ-ron, chia làm 4 lớp, bao gồm 75 nơ-ron ở lớp đầu, 50 nơ-ron ở lớp thứ hai và thứ ba, 1 nơ-ron ở lớp cuối cùng. Thuật toán huấn luyện dựa trên Conjugate Gradient with Powell-Beale restart (traincgb). Mỗi lớp dùng một hàm tác động khác nhau, hàm tác động của lớp thứ nhất là Tan-Sigmoid, của lớp thứ hai là tuyến tính, của lớp thứ ba và thứ tư là Log-Sigmoid cung cấp giá trị ngõ ra nằm trong khoảng từ 0 tới 1. Ngõ ra này tiếp tục qua một bộ dò ngưỡng và sẽ được gán giá trị là "1" nếu >0.5 và "0" nếu <0.5. Cuối cùng là quá trình kiểm tra kết quả (so sánh tín hiệu thu được với tín hiệu (dữ liệu) ban đầu, xác định số bit lỗi, vị trí bit lỗi, tính tỉ lệ lỗi bit (BER).

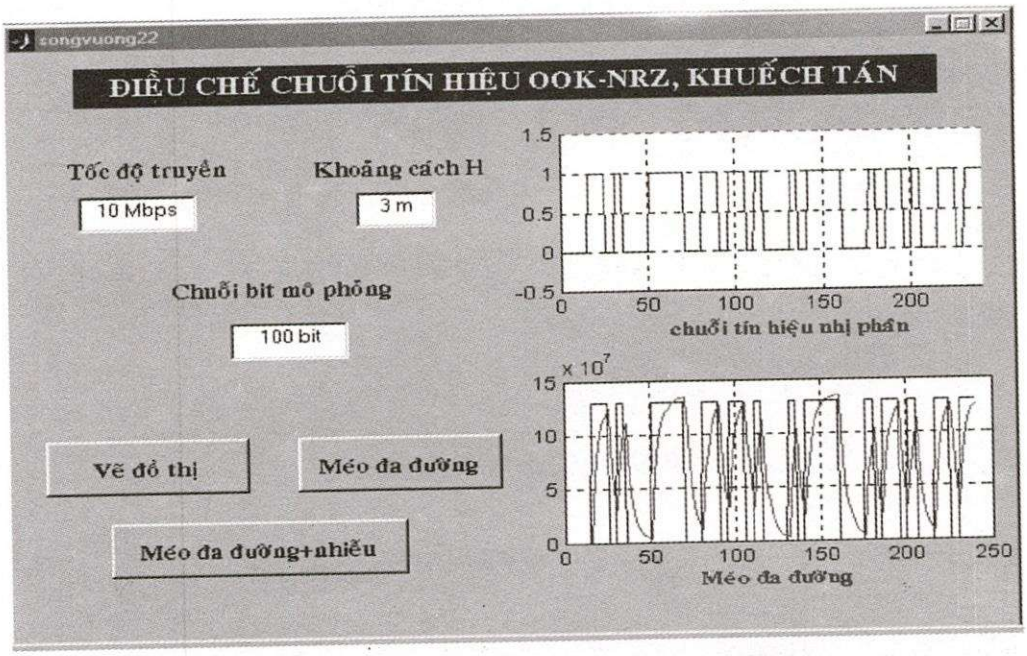
Lưu đồ giải thuật tổng quát của chương trình được trình bày ở Hình 5.



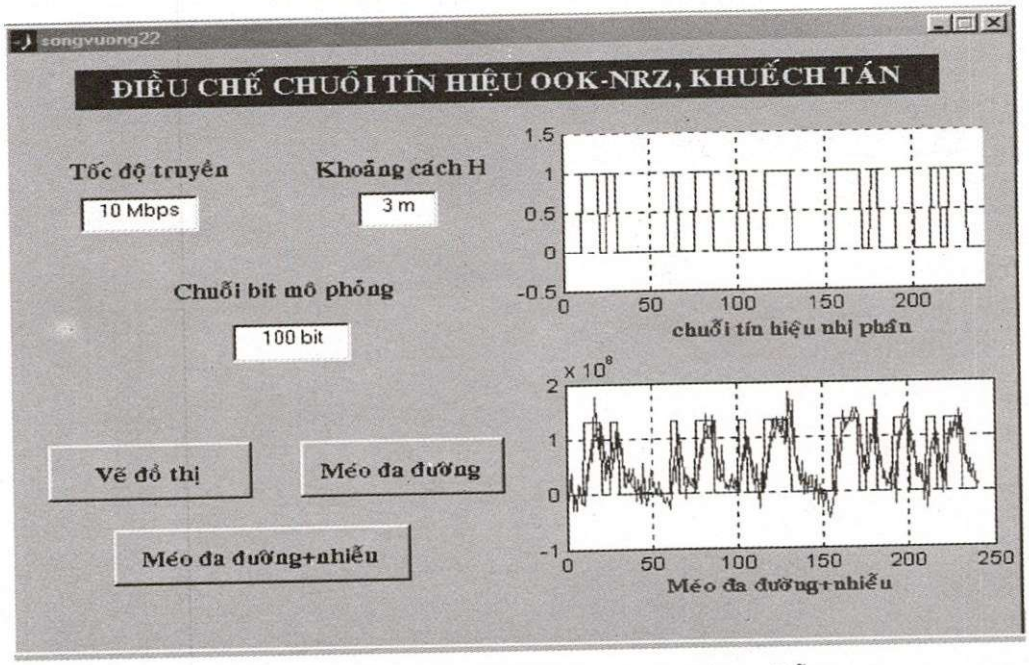
Hình 5. Lưu đồ giải thuật tổng quát của chương trình mô phỏng

5.1.Các kết quả

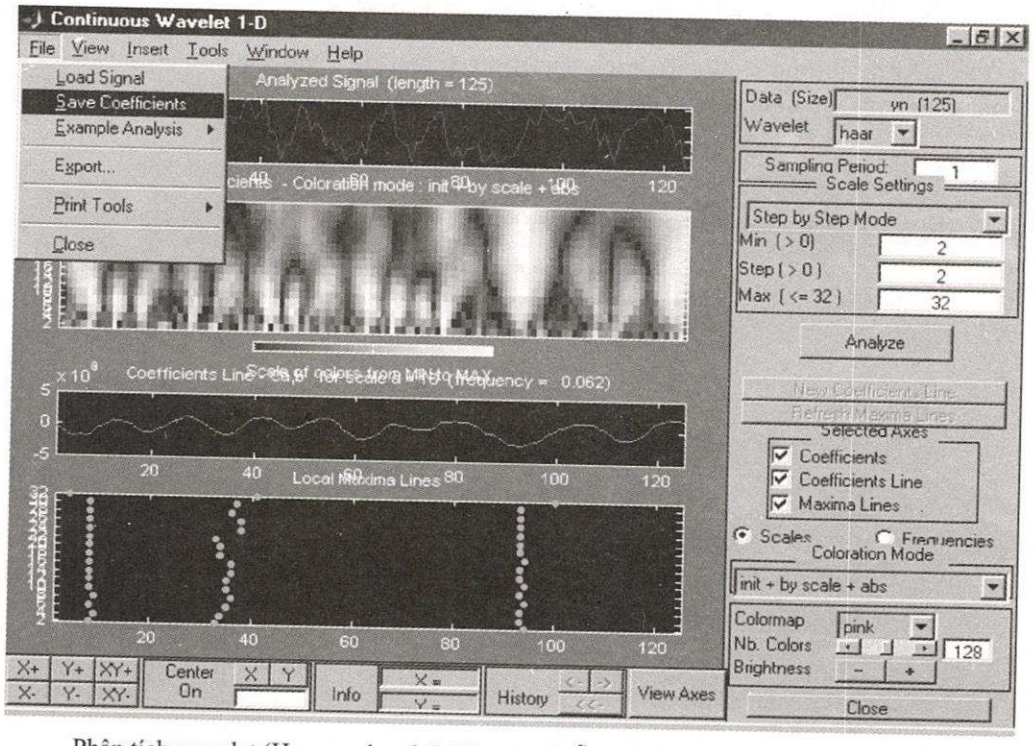
Sau đây là một số màn hình mô phỏng quá trình điều chế chuỗi tín hiệu, tác động của môi trường (tạo méo đa đường + nhiễu), trích đặc trưng (phân tích wavelet), huấn luyện và nhận dạng (mạng nơ-ron), dò ngưỡng, và trình bày kết quả.



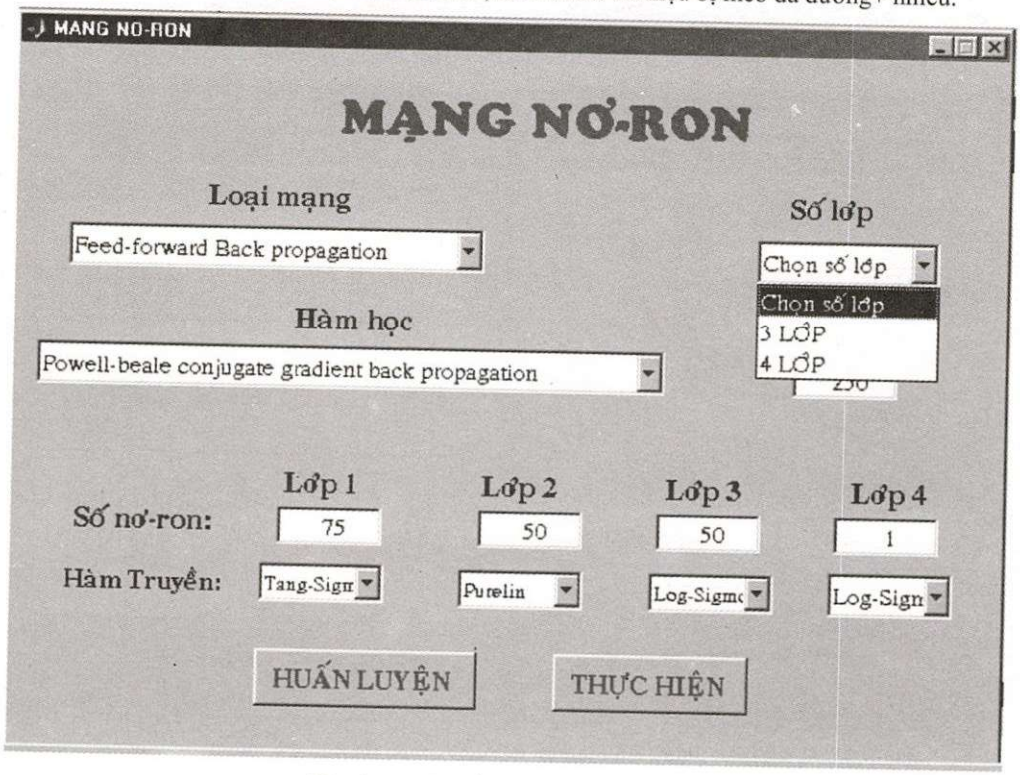
Điều chế chuỗi tín hiệu OOK NRZ, méo đa đường



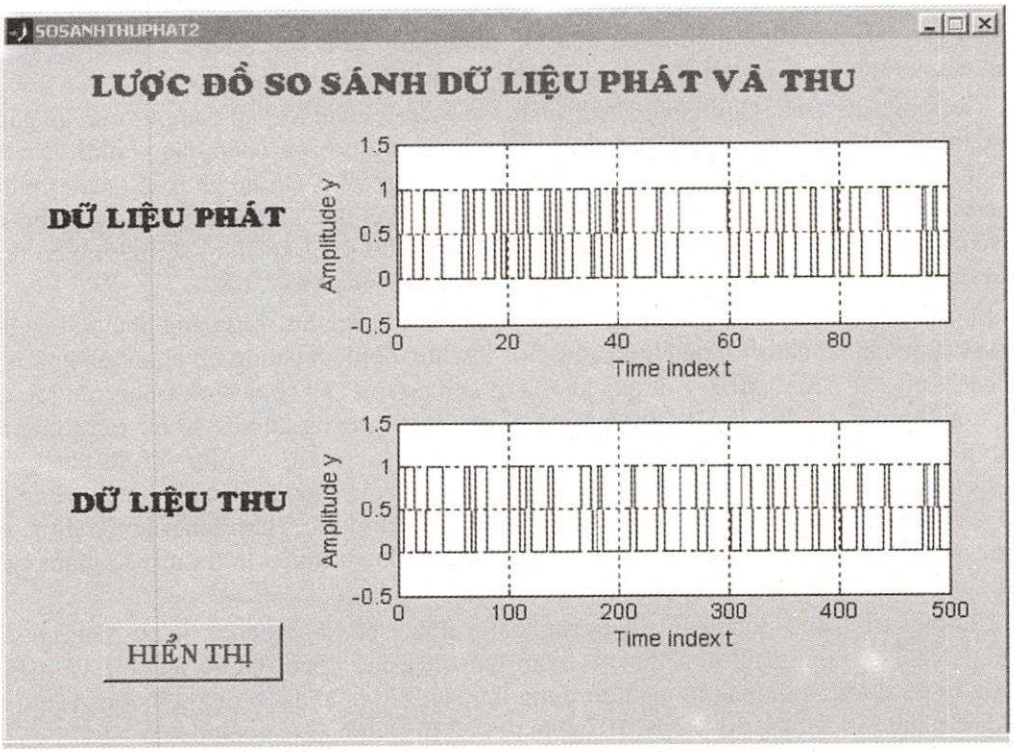
Điều chế chuỗi tín hiệu OOK NRZ, méo đa đường+nhiễu



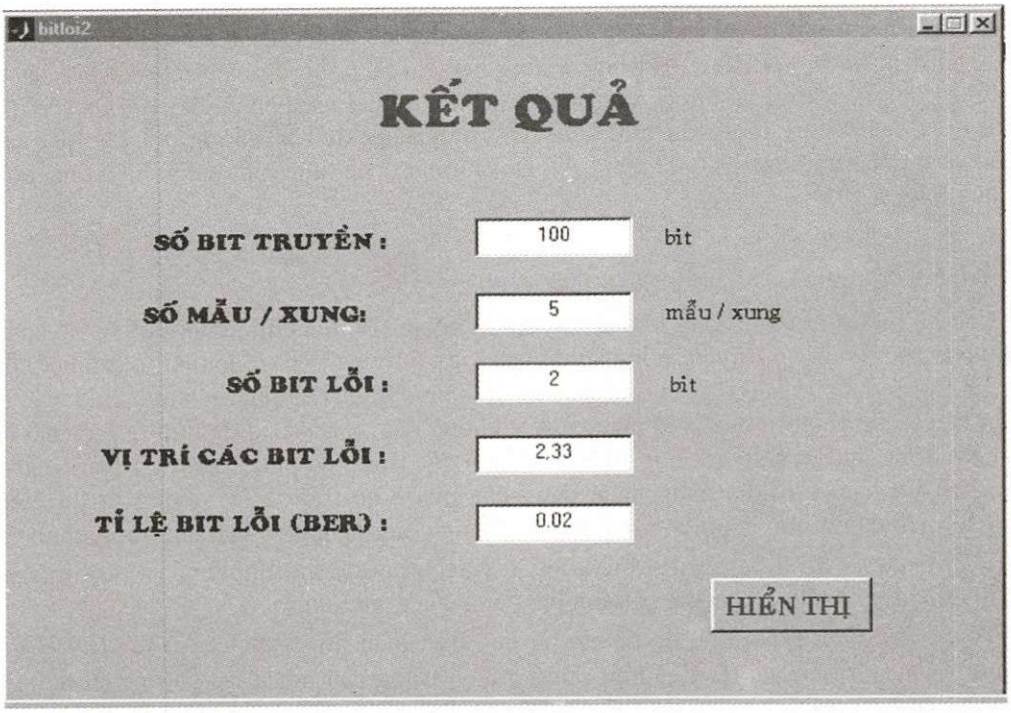
Phân tích wavelet (Haar, scales: 2:2:32) trên chuỗi tín hiệu bị méo đa đường+ nhiễu.



Xây dựng và huấn luyện mạng nơ-ron



So sánh dữ liệu phát và thu được



Kết quả (100 bit RZ □ 1/4, epochs = 500)

5.2.Nhận xét

Từ các kết quả thực hiện được qua mô phỏng (do giới hạn không gian của bài nên các bảng này không được nêu ra ở đây), chúng tôi rút ra một số nhận xét sau:

Các wavelets Db2, Coif4 [1], Haar (phần thêm của chúng tôi) có dạng tương đối gần giống với dạng tín hiệu cần phân tích, tạo điều kiện cho mạng nơ-ron nhận dạng chính xác hơn với các hệ số được cung cấp từ việc phân tích các waveles này. Số hệ số tỉ lệ (scale) phải được chọn vừa đủ, nếu chọn quá ít (10 scale trở xuống) thì kết quả nhận dạng của mạng nơ-ron sau đó sẽ cho độ chính xác không cao, hoặc quá nhiều (100 scale trở lên) sẽ mất nhiều thời gian huấn luyện. Từ thực nghiệm chúng tôi chọn số scale khoảng 40 (2:2:80).

Số lớp nơ-ron và số nơ-ron trong mỗi lớp (cấu trúc mạng nơ-ron) cũng phải được chọn vừa đủ để kết quả nhận dạng có độ chính xác cao. Từ thực nghiệm chúng tôi chọn mạng nơ-ron với các cấu trúc sau: 75:50:50:1. Kết quả không bị ảnh hưởng nếu số nơ-ron trong các lớp của cấu trúc trên giảm ít, ví dụ:, 75:30:20:1 nhưng sẽ ảnh hưởng đáng kể nếu số nơ-ron trong các lớp giảm nhiều, ví dụ, 75:5:5:1 hay số lớp bị giảm (3 lớp trở xuống), ví dụ, 75:50:1 hoặc tăng (6 lớp trở lên), ví dụ, 75:50:50:50:50:1. Số thế hệ huấn luyện (epoch) tốt nhất nằm trong khoảng 250 – 750 để tránh trường hợp huấn luyện không hội tụ được. Hàm huấn luyện được chọn là traincgb, riêng trường hợp OOK NRZ nếu chọn hàm huấn luyện là trainrp sẽ giảm bớt được thời gian huấn luyện và cho độ chính xác cao hơn.

Chương trình mô phỏng tín hiệu ứng với 3 điều chế khác nhau, ngoài điều chế cơ bản OOK-NRZ [1], chúng tôi còn đưa ra thêm hai điều chế khác (OOK RZ-1/2 và 4-PPM) là những sơ đồ được ứng dụng nhiều hơn trong thực tế. Tín hiệu được mô phỏng truyền ở các tốc độ khác nhau (40 Mbps, 20 Mbps, 10 Mbps) với 2 trường hợp (truyền thẳng – LOS và khuếch tán). Bên cạnh mục đích chính là khảo sát trường hợp tín hiệu truyền khuếch tán trong phòng, chúng tôi khảo sát thêm trường hợp truyền thẳng (tín hiệu không bị ảnh hưởng bởi méo đa đường, chỉ bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ môi trường xung quanh), ở trường hợp này mạng nơ-ron cho kết quả hội tụ rất nhanh (chỉ cần huấn luyện qua khoảng 150 đến 300 thế hệ), và cho kết quả nhận dạng rất tốt (BER = 0) trong trường hợp tín hiệu được phân tích với bất cứ wavelet nào. Ở trường hợp khuếch tán, chúng tôi chọn chuỗi tín hiệu với chiều dài 100 bit (có thể chọn nhiều hoặc ít hơn tùy theo cấu hình của máy tính dùng để mô phỏng) và kết quả sai số là khoảng vài phần trăm (BER 0.02 đến 0.1). Để chương trình thực hiện được hiệu quả, máy phải có cấu hình cao.

6. KẾT LUẬN

Các hệ thống truyền thông không dây hồng ngoại (IR) đã cung cấp một sự bổ sung quan trọng cho các hệ thống truyền thông sử dụng sóng vô tuyến (RF), đặc biệt là các hệ thống yêu cầu giá thành thấp, tốc độ truyền dữ liệu cao, và hoạt động trong phạm vi ngắn như các bộ điều khiển từ xa, các thiết bị di động, mạng LAN không dây,... Bài báo đã đưa ra một mô hình bộ thu hoạt động dựa trên sự kết hợp tính chất trích đặc trưng đa phân giải thời gian - tần số của phân tích wavelet với khả năng nhận dạng của mạng nơ-ron để tách sóng từ tín hiệu hồng ngoại bị méo đa đường và nhiễu trong truyền thông hồng ngoại khuếch tán trong nhà.

Với nhiều sơ đồ điều chế tín hiệu, nhiều wavelet được thử nghiệm, và nơ-ron với nhiều yếu tố thay đổi, chúng tôi có thể so sánh hiệu quả của từng tổ hợp.

Ta có thể dùng phân tích đa phân giải dựa trên biến đổi wavelet rời rạc (DWT) thay vì biến đổi wavelet liên tục (CWT) như dùng ở đây. Cũng cần nói thêm là việc sử dụng bộ cân bằng (equalizer) ở đầu thu và cơ chế mã hóa tín hiệu là hai cách để giảm BER nhưng không thuộc nội dung nghiên cứu của bài báo này.

SIGNAL DETECTION IN WIRELESS IR COMMUNICATIONS

Dinh Quang Tuyen[(1)], Nguyen Huu Phuong[(2)]
(1) University of Industry of HoChiMinh City
(2) University of Natural Sciences, VNU-HCM

ABSTRACT: *At present, optical wireless communication systems using Infrared (IR) do not enjoy large frequency bands as the RF systems. Thus, the RF techniques have been popular for both outdoor and indoor communications. Over the last decade or so the IR has been studied rather extensively for indoor applications because the light is limited within a room, wherely not interfering with the communications in nearby rooms, and allowing an effective frequency reuse. On the contrary, due to the presence of many obstacles and reflections, the IR communication suffers from the narrowing of the bandwidth and increasing the BER.*

This paper presents a signal detector working on the feature extraction capability of the wavelet multiresolution analysis, and the recognition capability of the ANN in order to increase the effetiveness of the IR channel. With various signal modulation schemes, different wavelets, and an ANN having variable factors used in our extensive computer simulation, the effectiveness of each combination can be judged.Using of encoding schemes and equalizers to reduce the system BER is not considered in this study.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Dickenson R.J. and Ghassemlooy Z, *A Feature Extraction And Pattern Recognition Receiver Employing Wavelet Analysis And Artificial Intelligence For Signal Detection In Diffuse Optical Wireless Communications*, IEEE Wireless Communication, (2003).

[2]. Dickenson R.S. and Ghassemlooy Z., *Wavelet-AI equalization and detection for indoor diffuse infrared wireless systems,* Int. J. Commun. Syst. 18:247-266.

[3]. Carruthers J.B. and Kahn J.M., *Modelling of Nondirected Wireless Infrared Channels.* Proceedings of IEEE International Conference On Communications, Dallas USA, pp. 1227-1231.

[4]. Grisha V. Spasov G.V.and Lambrev Y.D., *Influence of the Bit Error Ratio on the Frame Format in Communication Protocols Design for an Infrared Diffuse Channel.*

[5]. Kahn J. M. and Barry J.R., *Wireless Infrared Communications*, Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No: 2.

[6]. Goswani C. and Chan A.K., Fundamentals of Wavelets: Theory, Algorithms, and Applications, John Wiley, (1999).

[7]. Mallat S., *A Wavelet Tour Of Signal Processing*, Acadamic Press, (1998).

[8]. Website: , *Matlab Neural Network Toolbox.*

[9]. Website: , *Matlab Wavelet Toolbox.*

[10]. Bose N.K. and Liang P., *Neural Network Fundamentals*, McGraw-Hill, (1996).

[11]. Jang J.S.R. et al, *Neuro – Fuzzy and Soft Computing,* Prentice - Hall, (1997).