

# Kết hợp mạng Nơron và biến đổi Wavelet trong nhận dạng phức bộ QRS

## QRS Detection Using Wavelet Transform and Neural Network

Nguyễn Mạnh Cường<sup>1</sup>, Lê Vinh Tiến<sup>2</sup>, Nguyễn Duy Thái<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự, <sup>2</sup>Học viện quân y

e-mail: [cuong.tung@gmail.com](mailto:cuong.tung@gmail.com)

### Tóm tắt

Tín hiệu ECG đóng một vai trò quan trọng trong chẩn đoán các bệnh về tim mạch nói riêng và trong thực tiễn của ngành y tế nói chung. Trong các loại máy điện tim thông thường cũng như điện tim vi tính, ngoài việc thu nhận tín hiệu ECG thì việc xử lý chúng trên phần mềm cũng rất cần thiết. Phần mềm xử lý tín hiệu sẽ đưa ra các thông tin cần thiết như hình ảnh tín hiệu, nhịp tim... và đưa ra các cảnh báo khi có vấn đề xảy ra: nhịp tim nhanh, chậm hay loạn nhịp... Để tính toán được nhịp tim cũng như đưa ra các cảnh báo sớm, cần phải xác định đúng sóng P, Q, R, S, T.

Bài báo này trình bày thuật toán sử dụng mạng Nơron kết hợp phép biến đổi Wavelet để tăng độ chính xác trong xác định phức bộ QRS. Thuật toán được trình bày bằng phần mềm Matlab và sử dụng các bản ghi điện tim trong cơ sở dữ liệu MIT-BIH để đánh giá hiệu quả nhận dạng.

**Từ khóa:** ECG, Wavelet Transform, Neural Network, MatLab.

### 1. Phần mở đầu

Xác định phức bộ QRS là công việc quan trọng nhất trong xử lý tín hiệu điện tim. Có nhiều phương pháp được sử dụng để xác định phức bộ QRS: phương pháp sử dụng bộ lọc thông dải, phương pháp vi phân, phương pháp so khớp mẫu... Mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm riêng và độ chính xác khác nhau. Phương pháp được sử dụng trong bài báo này kết hợp mạng Nơron nhân tạo và phép biến đổi Wavelet. Đây là hai công cụ rất mạnh trong nhận dạng và xử lý tín hiệu.

Tín hiệu điện tim ECG là tín hiệu phi tuyến phát ra từ cơ thể người - một hệ thống phi tuyến. Do đó để có thể đáp ứng tốt với tín hiệu phi tuyến ta sẽ sử dụng mô hình mạng nơron phi tuyến để nhận dạng. Mạng nơron được sử dụng ở đây là mạng truyền thẳng.

Để tăng hiệu quả nhận dạng, thuật toán nhận dạng sử dụng phép biến đổi Wavelet. Theo đó, đầu ra của mạng Nơron đi qua khối biến đổi Wavelet trước khi đi qua các khối xử lý phía sau.

Bài báo này cũng đưa ra kết quả so sánh hiệu quả nhận dạng khi kết hợp và không kết hợp phép biến đổi Wavelet và mạng Nơron. Dữ liệu tín hiệu điện tim được sử dụng ở đây là các bản ghi MIT-BIH. Kết quả nhận dạng được so sánh với các bản ghi đã được chú thích đầy đủ vị trí các phức bộ QRS.

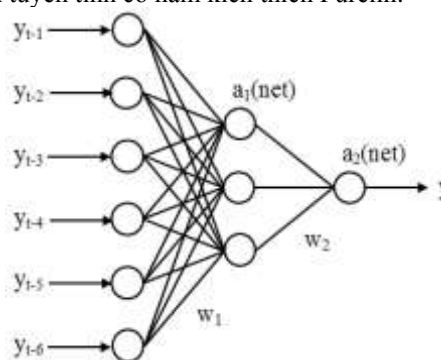
### 2. Nội dung chính

#### 2.1 Cơ sở nhận dạng QRS [3,4]

Giả sử tín hiệu điện tim thu được là xấp xỉ của phức bộ QRS và nhiễu nền:  $y_t = s_t + n_t$ . Trong đó  $y_t$  là tín hiệu điện tim thu được;  $s_t$  là phức bộ QRS;  $n_t$  là nhiễu nền. Giả sử rằng 1 mẫu tín hiệu ở thời điểm  $t$  ( $y_t$ ) có thể được “ước lượng” hay “dự báo” bằng  $q$  mẫu tín hiệu trước đó ( $y_{t-1} \dots y_{t-q}$ ) theo 1 quan hệ phi tuyến nào đó bằng việc sử dụng mạng nơron ( $q > 0$ ). Do tín hiệu điện tim bao gồm hầu hết các đoạn không phải là phức bộ QRS, mạng nơron sẽ hội tụ đối với đầu vào là các mẫu tín hiệu nằm trong các đoạn này (sai lệch đầu ra  $e$  là nhỏ); ta nói rằng mạng đã dự báo tốt. Khi gặp đoạn tín hiệu có sự thay đổi đột ngột (như phức bộ QRS – với đỉnh R có độ dốc cao), sẽ dẫn đến việc thay đổi đột ngột giá trị lỗi dự báo (sai lệch đầu ra  $e$  lớn). Do đó, lỗi dự báo của mạng nơron có thể được sử dụng trong việc xác định sóng QRS.

#### 2.2 Xây dựng mô hình mạng Nơron

Do đặc tính phi tuyến của nhiễu nền, chúng ta sử dụng mạng nơron có lớp ẩn có hàm kích thích phi tuyến để có được đáp ứng tốt [7]. Mạng nơron được sử dụng có cấu trúc như sau: 6 đầu vào  $y_{t-1}, \dots, y_{t-6}$ ; lớp ẩn có 3 nơron phi tuyến có hàm kích thích Logsig; lớp ra có 1 nơron tuyến tính có hàm kích thích Purelin.



H. 1 Mô hình mạng Nơron

Đầu ra của mỗi nơron ẩn:

$$a_1 \text{ net}_i = a_1 \left( \sum_{j=1}^6 w_{1j} y_{t-j} + b_j \right) \quad (1)$$

Trong đó  $a_1(\cdot)$  là hàm kích thích Logsig:

$$a_1(x) = \frac{1}{1 + e^{-x/T}} \quad (2)$$

Giá trị T quyết định tính phi tuyến của hàm kích thích lớp ẩn, T càng nhỏ thì tính phi tuyến càng cao (ở đây ta chọn T = 1).  $w_1^{ij}$  là trọng số kết nối đầu vào với nơron lớp ẩn,  $b_j$  là độ lệch [6].

Đầu ra của mạng nơron:

$$y = a_2 \text{ net} = \sum_{i=1}^3 w_2^i a_1 \text{ net}_i \quad (3)$$

$$\Delta = y_t - y = y_t - \sum_{i=1}^3 w_2^i a_1 \text{ net}_i = y_t - \sum_{i=1}^3 w_2^i a_1 \left( \sum_{j=1}^6 w_1^{ij} y_{t-j} + b_j \right) \quad (4)$$

Luật học được sử dụng cho mạng nơron là luật học Delta (hay lan truyền ngược). Giá trị trung bình bình phương cực tiểu LMS bằng:

$$E \left\{ \left( y_t - \sum_{i=1}^3 w_2^i a_1 \left( \sum_{j=1}^6 w_1^{ij} y_{t-j} + b_j \right) \right)^2 \right\} \quad (5)$$

$$w_{1(t+1)}^{ij} = w_{1(t)}^{ij} + \mu \Delta w_2^i a_1 \text{ net}_i \cdot [1 - a_1 \text{ net}_i] x_j + \alpha w_{1(t)}^{ij} - w_{1(t-1)}^{ij} \quad (6)$$

(j=1, 2, ..., 6)

Luật cập nhật trọng số cho lớp ra (nối nơron thứ i của lớp ẩn tới nơron đầu ra):

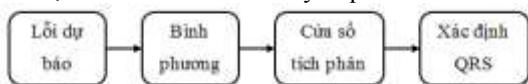
$$w_{2(t+1)}^i = w_{2(t)}^i + \mu \Delta a_1 \text{ net}_i + \alpha w_{2(t)}^i - w_{2(t-1)}^i \quad (7)$$

(i=1, 2, 3)

Tốc độ học của mạng:  $\mu = 0.3$

Mômen:  $\alpha = 0.5$

Quá trình huấn luyện mạng: với một bản ghi điện tim cần xác định vị trí các phức bộ QRS, tiến hành huấn luyện mạng với từng mẫu của đoạn tín hiệu cho đến hết (mỗi mẫu tín hiệu là một lần truyền thuận nghịch), sai lệch giữa đầu ra của mạng và tín hiệu điện tim ban đầu được đưa tới các khối xử lý tiếp theo.



H. 2 Các khối xử lý tín hiệu

Ta xây dựng sơ đồ trên nhằm mục đích xác định phức bộ QRS bằng phương pháp so sánh ngưỡng.

Lỗi dự báo đi qua khối bình phương (bình phương từng điểm để có đầu ra không âm); khi này các sai lệch lớn ứng với sự xuất hiện của QRS sẽ cho đầu ra tương ứng là tập hợp các đỉnh nhọn có biên độ lớn và nổi bật so với các vùng còn lại.

Để có thể quan sát một cách rõ ràng hơn, tín hiệu bình phương thu được tiếp tục đi qua khối cửa sổ tích phân. Lúc này đầu ra tương ứng với mỗi phức bộ QRS là 1 đỉnh "tù" có độ rộng xác định và là duy nhất, giúp người quan sát dễ nhìn và xác định hơn rất nhiều.

Độ rộng của cửa sổ tích phân được chọn bằng 32 mẫu tín hiệu để có thể chắc chắn bao trùm toàn bộ phức bộ QRS.

**Đặt ngưỡng:** Tín hiệu đầu ra của khối tích phân bao gồm tập hợp các đỉnh đơn tương ứng 1-1 với phức bộ

Trong đó  $w_2^i$  là trọng số kết nối nơron lớp ẩn với nơron đầu ra.

Sai lệch đầu ra của mạng là hiệu giữa tín hiệu điện tim ban đầu và đầu ra của mạng:

Luật cập nhật trọng số cho lớp ẩn (nối đầu vào thứ j tới nơron thứ i của lớp ẩn):

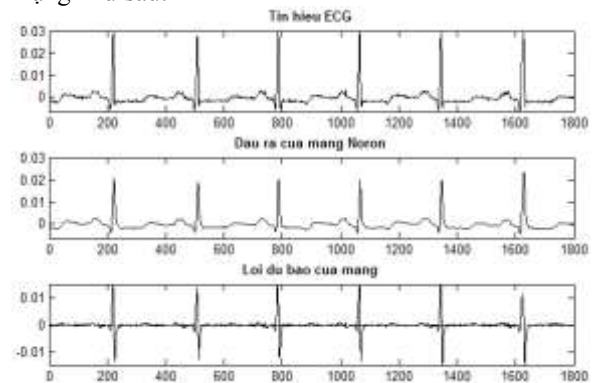
QRS. Lúc này ta dễ dàng xác định vị trí QRS bằng phương pháp đặt ngưỡng [2,3].

Giá trị ngưỡng = 1/3.5 giá trị đỉnh lớn nhất tìm được. Để có thể hiểu rõ hơn, chúng ta tiến hành mô phỏng trên phần mềm MatLab.

### 2.3 Kết quả mô phỏng

Ta sử dụng 1 đoạn tín hiệu có độ dài 1800 mẫu trong bản ghi 108 cơ sở dữ liệu MIT-BIH để kiểm tra thuật toán.

Sau khi huấn luyện, lấy tín hiệu ECG ban đầu trừ đi đầu ra của mạng Nơron ta tìm được lỗi dự báo của mạng như sau:

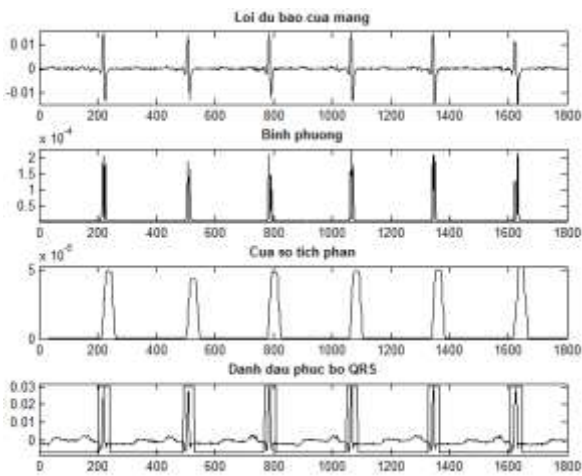


H. 3 Đầu ra của mạng và lỗi dự báo

Có thể thấy rằng: tương ứng với các vị trí xuất hiện sóng QRS, lỗi dự báo của mạng xuất hiện 2 đỉnh nhọn đi qua 0 (zero-crossing) có biên độ lớn hơn rất nhiều so với các vị trí khác.

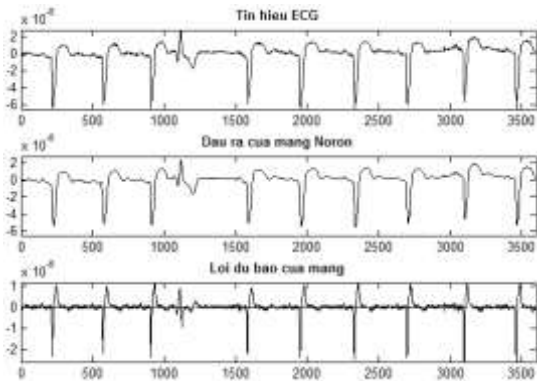
Lỗi dự báo sau khi đi qua khối bình phương và khối cửa sổ tích phân sẽ cho đầu ra là các đỉnh có biên độ lớn có vị trí tương ứng với QRS. Sử dụng phương

pháp đặt ngưỡng, ta tìm được các đỉnh tương ứng bao trùm toàn bộ phức bộ QRS. Quá trình đi qua các khối được hình dung một cách rõ ràng thông qua kết quả mô phỏng:

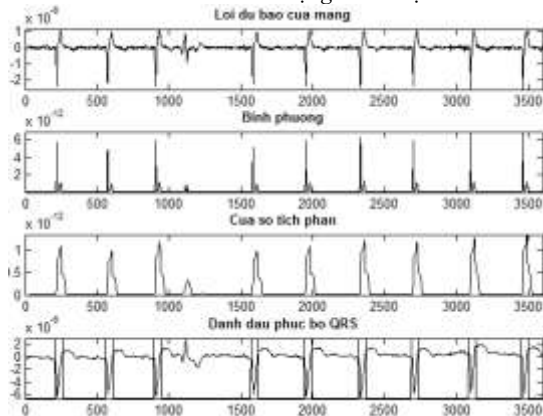


H. 4 Các bước bình phương, cửa sổ tích phân và kết quả nhận dạng

Trong hình 4, mỗi phức bộ QRS được giới hạn bởi 1 “xung vuông”, độ rộng xung vuông thay đổi tùy theo đầu ra khỏi cửa sổ tích phân và ngưỡng. Thuật toán cũng cho kết quả nhận dạng tốt đối với các bản ghi có đỉnh R âm cũng như bản ghi xuất hiện các đỉnh nhọn bất thường không phải đỉnh R (bản ghi người bị bệnh tim). Kết quả nhận dạng với bản ghi người bị bệnh tim có đỉnh R âm như sau:



H. 5 Đầu ra của mạng và lỗi dự báo



H. 6 Kết quả nhận dạng QRS

#### 2.4 Kết hợp với biến đổi Wavelet để tăng hiệu quả nhận dạng QRS

Với mô hình mạng Noron và thuật toán huấn luyện đưa ra, kết quả nhận dạng QRS là tốt. Tuy nhiên, đối với các bản ghi bị nhiễu rất mạnh, quá trình nhận dạng gặp nhiều khó khăn.

Để khắc phục vấn đề này, chúng ta kết hợp với biến đổi wavelet để nâng cao hiệu quả nhận dạng. Lỗi dự báo sẽ đi qua một khối trung gian, đó là khối biến đổi Wavelet:

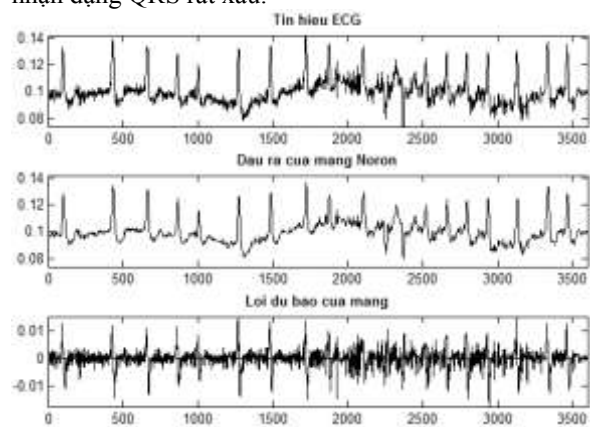


H. 7 Các khối xử lý tín hiệu

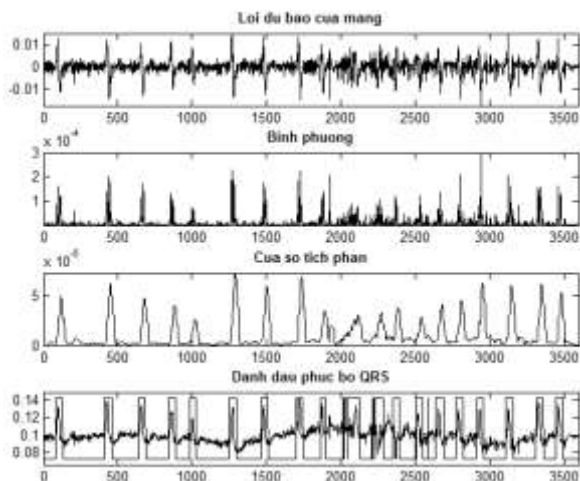
Lỗi dự báo được phân tách Wavelet đến mức 3; sau đó chuỗi xấp xỉ A3 khôi phục được sẽ được đưa đến các khối tiếp theo để xử lý như mục 4.2. Mục đích của khối biến đổi Wavelet là loại bỏ ảnh hưởng của nhiễu mạnh.

Thuật toán nhận dạng thông thường cho kết quả rất xấu đối với tín hiệu bị nhiễu mạnh; còn thuật toán kết hợp Noron và Wavelet cho kết quả nhận dạng rất tốt.

Ta sử dụng bản ghi số 203 để mô phỏng. Chúng ta có thể thấy lỗi dự báo của mạng bị ảnh hưởng rất mạnh bởi nhiễu, đặc biệt là vùng mẫu tín hiệu từ 2000 đến 3000. Cũng trong vùng này kết quả nhận dạng QRS rất xấu:

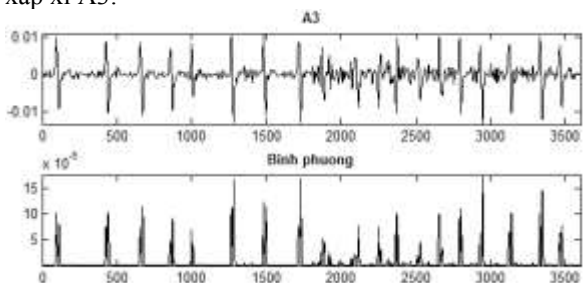


H. 8 Đầu ra của mạng và lỗi dự báo



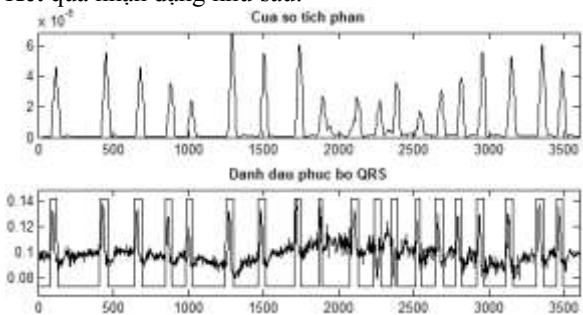
H. 9 Kết quả nhận dạng QRS với phương pháp thông thường

Khác với phương pháp thông thường, đối với phương pháp kết hợp, đầu vào của khối bình phương là chuỗi xấp xỉ A3:



H. 10 Chuỗi xấp xỉ A3

Kết quả nhận dạng như sau:



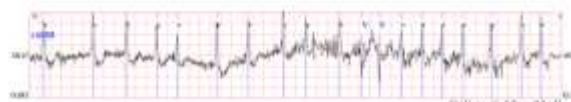
H. 11 Kết quả nhận dạng với phương pháp kết hợp

Sau khi nhận dạng, ta cũng dễ dàng tính toán được số phức bộ QRS và nhịp tim của bệnh nhân: số phức bộ QRS = 19.

- Đánh giá kết quả nhận dạng

Các bản ghi điện tim trong cơ sở dữ liệu MIT-BIH đều được ghi chú cụ thể về vị trí của từng phức hợp QRS và tình trạng bệnh lý tại từng khoảng phức bộ đã được bác sỹ kiểm nghiệm. Qua đó có thể đánh giá hiệu quả hoạt động của các thuật toán nhận dạng điện tim tự động.

Bản ghi số 203 chuyển đạo II có ghi chú như sau:



H. 12 Ghi chú trong bản ghi 203

Như vậy, ghi chú của bản ghi 203 cũng bao gồm 19 phức bộ QRS có vị trí giống với kết quả nhận dạng ở mục 4.3.2 (trong đó có 2 nhịp bệnh được ký hiệu V - bệnh ngoại thu tâm thất).

### 3. Kết luận

Như vậy bài báo đã trình bày hoàn chỉnh phương pháp kết hợp mạng Noron và biến đổi Wavelet trong nhận dạng sóng điện tim QRS. Ngay cả với tín hiệu điện tim chưa được tiền xử lý tốt, bị nhiễu rất mạnh (nhiều tạp trắng, trôi đường cơ sở...), thuật toán vẫn cho kết quả nhận dạng rất tốt. Thuật toán được kiểm chứng với các bản ghi MIT-BIH đã được các bác sỹ trực tiếp ghi chú vị trí phức bộ QRS. Nếu kết hợp với việc tiền xử lý tốt tín hiệu đầu vào, chúng ta sẽ có được một thuật toán nhận dạng QRS có độ tin cậy cao.

### Tài liệu tham khảo

- [1] P. Karthikeyan, M. Murugappan, and S. Yaacob: *ECG Signal Denoising Using Wavelet Thresholding Techniques in Human Stress Assessment*. School of Mechatronics Engg University Malaysia Perlis, 2012.
- [2] Vineet Kumar Mukamia: *Baseline Wander Estimation for ECG Characterization*. Thapar University, 2010.
- [3] Mikhled Alfaouri, Khaled Daqrouq: *ECG Signal Denoising by Wavelet Transform Thresholding*. Philadelphia University, 2008.
- [4] Carsten Hennig, Reinhold Orglmeister: *The Principles of Software QRS Detection*. Berlin University of Technology, 2002.
- [5] G. Vijaya, V. Kumar, and H.K. Verma: *ANN-based QRS-complex analysis of ECG*. J.Med. Eng. Technol., vol. 22, no. 4, pp. 160-167, 1998.
- [6] Y.H. Hu, W.J. Tompkins, J.L. Urrusti, and V.X. Afonso: *Applications of artificial neural networks for ECG signal detection and classification*. J. Electrocardiology, vol. 26 (Suppl.), pp. 66-73, 1993.
- [7] Qiuzhen Xue, Yu Hen Hu, Willis J. Tompkins: *Neural-Network-Based Adaptive Matched Filtering for QRS Detection*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 39, No. 4, 1992.



**Nguyễn Mạnh Cường**, sinh năm 1976, nhận bằng kỹ sư Điện tử Viễn Thông năm 2000 tại Học viện Kỹ thuật Quân sự, nhận bằng Tiến sĩ tại Đại học Tổng hợp miền nam Nga năm 2010. Hiện là giảng viên, Chủ nhiệm Bộ môn Điện Tử Y Sinh, Học viện KTQS. Hướng nghiên cứu: Tự động hóa các quá trình công nghệ, xử lý tín hiệu y sinh.



**Nguyễn Duy Thái**, sinh năm 1982, nhận bằng Kỹ sư Điện tử Y Sinh năm 2006 tại Học viện Kỹ Thuật Quân Sự. Hướng nghiên cứu: Xử lý tín hiệu Y Sinh, thiết kế chế tạo thiết bị y tế.



**Lê Vinh Tiên** sinh năm 1990. nhận bằng Kỹ sư Điện tử Y Sinh năm 2013 tại Học viện Kỹ Thuật Quân Sự. Hiện anh đang công tác tại Học viện Quân y. Hướng nghiên cứu: Xử lý tín hiệu Y Sinh.