

Phân tích khả năng chẩn đoán các bệnh tim mạch bằng ảnh pha thông qua mô hình tín hiệu điện tim nhân tạo

Phạm Văn Thuận^{1*}, Vương Trí Tiếp¹, Phạm Xuân Năng²

¹Học viện Kỹ thuật quân sự

²Học viện Quân y

Ngày nhận bài 16/9/2015, ngày chuyển phản biện 21/9/2015, ngày nhận phản biện 20/10/2015, ngày chấp nhận đăng 29/10/2015

Bài báo nghiên cứu một cách tiếp cận mới về phân tích tín hiệu điện tim trong không gian pha, giúp tham số hóa các đặc tính của ảnh pha tín hiệu làm cơ sở cho việc xây dựng hệ tự động chẩn đoán bằng ảnh pha tín hiệu điện tim. Các kết quả khảo sát, mô phỏng tín hiệu điện tim nhân tạo trên mô hình tổng các hàm Gaus đã chứng minh được hiệu quả của phương pháp được đề xuất.

Từ khóa: cơ sở dữ liệu MIT-BIH, điện tim nhân tạo, hàm Gaus, không gian pha, ST-T.

Chỉ số phân loại 2.6

Analyzing the diagnostic ability of heart diseases using phase diagram of artificial ECG signal model

Summary

The paper presents a new approach in analyzing ECG (Electrocardiogram) signal in phase domain, which can parameterize the features of signal phase image. The selected features will be used for building an ECG diagnostic automation system. The experimental results based on Gaus function have shown that the proposed method can be an useful approach.

Keywords: artificial ECG signal, european ST-T database, Gaus function, MIT-BIH database, phase domain.

Classification number 2.6

Đặt vấn đề

Cho đến nay, ghi điện tâm đồ vẫn là một trong những phương pháp thông dụng để chẩn đoán chức năng các bệnh lý tim mạch. Nhưng theo nhận định của nhiều chuyên gia tim mạch thì các công cụ máy tính hiện có trong phân tích và phiên giải tín hiệu điện tim không đủ để đảm bảo độ tin cậy đạt yêu cầu cho kết quả chẩn đoán bởi các nguyên nhân sau: *Thứ nhất*, trên các bản ghi tín hiệu điện tim ở miền thời gian không có ranh giới rõ ràng giữa các phân đoạn mang thông tin, gây khó khăn trong việc tự động nhận dạng. *Thứ hai*, các tín hiệu điện tim quan sát trong môi trường có nhiều dạng nhiễu loạn khác nhau mà không thể chắc chắn đưa về được thành nhiễu cộng tính. *Thứ ba*, khi sử dụng phương pháp lấy trung bình chuỗi các chu trình tim (tín hiệu điện tim) ở miền thời gian dẫn đến các phân đoạn mang thông tin sẽ bị nhòe đi do sự thay đổi không đều độ dài các chu trình (từ chu trình này đến chu trình khác), hậu quả là dẫn đến sai số khi đo các giá trị chẩn đoán tập trung ở các phân đoạn này.

Trong những năm gần đây, điện tim số được sử dụng rộng rãi để chẩn đoán các bệnh hệ thống tim mạch cũng như để theo dõi, giám sát trạng thái của hệ thống này. Tuy nhiên, theo nhận định của các chuyên gia y tế thì các phương pháp phân tích và diễn giải truyền thống vẫn chưa đảm bảo tính xác thực các kết quả chẩn đoán. Vì vậy, các chuyên gia không ngừng hoàn thiện các thuật toán, tập trung vào các phương pháp tách các thông tin chẩn đoán từ tín hiệu thực trong điều kiện nhiễu loạn. Mặc dù vậy, trong y học, chứng cứ trước khi khuyến nghị áp dụng một phương pháp nào đó vào thực tế cần kiểm chứng một cách kỹ lưỡng trên tín hiệu test, mà đôi khi rất ít gặp trong thực tế. Một trong những cách kiểm tra đó là thử nghiệm trên tín hiệu nhân tạo, bằng việc tạo giả các tín hiệu điện tim bình thường hay bệnh lý khác nhau.

*Tác giả liên hệ: Email: thuanysinh@gmail.com

Nội dung nghiên cứu

Ảnh pha tín hiệu điện tim và khả năng chẩn đoán các bệnh lý tim mạch bằng ảnh pha

Một trong những cách tiếp cận đối ngược lại các phương pháp truyền thống và đã khẳng định được hiệu quả trong các thí nghiệm lâm sàng là phương pháp phân tích tín hiệu điện tim trong không gian pha (mặt phẳng pha). Cơ sở của phương pháp là nghiên cứu hệ động học được mô tả bằng tập hợp $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ các tham số trạng thái, khi phân tích được tiến hành trong không gian N chiều với các tọa độ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$. Không gian như thế gọi là không gian pha, các tọa độ của nó được gọi là tọa độ pha, còn họ các quỹ đạo pha biểu diễn sự thay đổi trạng thái của hệ gọi là pha ảnh pha.

Để khảo sát các tín hiệu phản ánh trạng thái của hệ động học, thông thường người ta sử dụng phương pháp giữ chậm (phương pháp trễ). Trong trường hợp này, tọa độ trên mặt phẳng pha là biên độ tín hiệu thời gian $y(t)$ tại các thời điểm t và $y(t-\tau)$, trong đó τ là thời gian trễ.

Một cách tiếp cận khác khi phân tích tín hiệu điện tim trong mặt phẳng pha đó là đánh giá các chỉ số vận tốc tín hiệu tâm thanh đồ. Cách tiếp cận này có nguồn gốc xuất hiện từ lâu. Amoxop và các cộng sự trong các nghiên cứu của mình đã chỉ ra khả năng khảo sát chức năng cơ bóp cơ tim trong không gian pha mà tọa độ của chúng là biên độ $y(t)$ và đạo hàm theo thời gian của quá trình đang quan sát $\dot{y}(t)$ [1].

Giá trị chẩn đoán của phương pháp nằm ở chỗ sử dụng các thông tin phụ có trong đặc trưng vận tốc của quá trình khảo sát, đã được khẳng định trong các nghiên cứu của các chuyên gia tim mạch. Như sẽ chỉ ra dưới đây, ảnh pha tín hiệu điện tâm đồ trong hệ tọa độ $y(t), \dot{y}(t)$ cho ra khả năng đánh giá hình dạng các trích đoạn riêng lẻ tín hiệu điện tim với độ chính xác cao và phát hiện những sai lệch kích hoạt, dẫn truyền mà các bác sĩ không thể tìm ra với phương pháp phân tích truyền thống trong miền thời gian [2, 3].

Biểu diễn tín hiệu điện tim trong hệ tọa độ $y(t), \dot{y}(t)$ là phương pháp phân tích đồ họa khảo sát hệ thống mà trạng thái của nó được mô tả bởi các phương trình vi phân sau:

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = F(x_1, x_2) \quad (2)$$

Trong đó $x_1 = y(t)$ là tọa độ đầu ra của hệ thống (biên độ tín hiệu điện tim tại thời điểm t), $x_2 = \dot{y}(t)$ là đạo hàm bậc nhất của nó, $F(x_1, x_2)$ là một hàm phi tuyến nào đó. Chia (2) cho (1) ta nhận được phương trình không còn t ở dạng tường minh:

$$\frac{dx_2}{dx_1} = \frac{F(x_1, x_2)}{x_2} \quad (3)$$

$$\text{Nghiệm của phương trình (3) là } x_2 = \psi(x_1) \quad (4)$$

Với ký hiệu $x_1 = y(t)$, $x_2 = \dot{y}(t)$ có thể biểu diễn dưới dạng: $\dot{y}(t) = \psi(y(t))$ và xác định quỹ đạo pha trong mặt phẳng $y(t), \dot{y}(t)$.

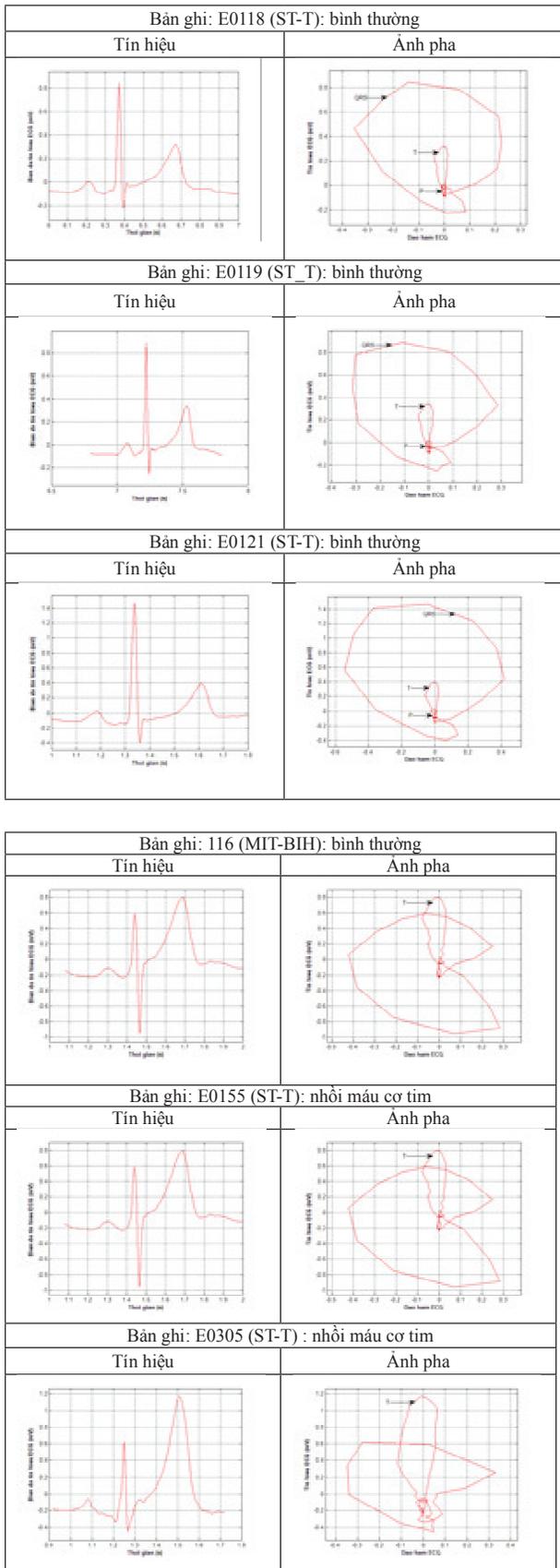
Ảnh pha của tín hiệu điện tâm đồ trong mặt phẳng $y(t), \dot{y}(t)$ được xây dựng như sau: tín hiệu điện tim ban đầu được số hoá và được biểu diễn bởi chuỗi hữu hạn các giá trị $y(t_k)$ tại các khoảng thời gian rời rạc $t_k = t_0 + k\Delta$, với $k = 0, 1, 2, 3, \dots, K-1$; Δ là bước lấy mẫu và được xác định bởi tần số lấy mẫu F_d . Ví dụ, với $F_d = 500$ Hz thì bước $\Delta = 2$ s. Tiếp đến là thực hiện khử trôi đường đẳng điện và lọc số bằng bộ lọc cắt và kỹ thuật san bằng thích nghi. Sau đó, lấy vi phân tương ứng với việc đều đặn hoá tín hiệu để nhận được giá trị đạo hàm phù hợp $\dot{y}(t_k)$ tại các thời điểm rời rạc t_k . Kết quả là tạo được một chuỗi vector 2 chiều nằm trên quỹ đạo pha trong mặt phẳng $y(t), \dot{y}(t)$:

$$(y(t_0), \dot{y}(t_0)), \dots, (y(t_{k-1}), \dot{y}(t_{k-1}))) \quad (5)$$

Hiện nay, với sự phát triển nhanh của công nghệ thông tin, đã giúp khảo sát các thuật toán mới xử lý dữ liệu y sinh trên các bản ghi tín hiệu thực được lưu trữ trong các cơ sở dữ liệu chuyên dụng. Lợi thế của các nghiên cứu này là, với các bản ghi tín hiệu điện tim khác nhau thì trong cơ sở dữ liệu còn lưu trữ các file chuyên dụng trong đó có chứa các kết quả phân giải của các chuyên gia kinh nghiệm (các bác sĩ, các chuyên gia tim mạch).

Bằng việc sử dụng công cụ Matlab để xử lý các bản ghi tín hiệu ECG trong các cơ sở dữ liệu chuẩn, ta thu được tập các ảnh pha của chúng [4].

Tín hiệu và ảnh pha của một số tín hiệu trong cơ sở dữ liệu: ST-T và MIT-BIH.



Kết quả khảo sát trên các bộ cơ sở dữ liệu cho thấy, mỗi đoạn mang thông tin (các sóng P, Q, R, S, ST, T...) của tín hiệu điện tim sẽ tạo ra các thành phần tương ứng trên ảnh pha của nó dưới dạng các hình có hình dạng đặc trưng (các nút, nhánh). Mỗi thay đổi tham số tín hiệu ECG ở miền thời gian mang thông tin về bệnh này hay bệnh khác hoặc sự biến loạn nào đó sẽ có những thay đổi của nhánh trên ảnh pha tín hiệu. Những thay đổi này dễ dàng quan sát hơn ở miền thời gian. Khi xuất hiện những biến cố (bệnh lý), các đường nhánh trên ảnh pha tín hiệu cũng thay đổi đồng bộ với các thay đổi các phân đoạn trong miền thời gian.

Các nghiên cứu khảo sát đã chỉ ra rằng, ảnh pha của tín hiệu ECG rất đa dạng và sự khác biệt giữa chúng thể hiện rõ ràng hơn ở miền thời gian. Hơn nữa, khi xuất hiện các biến loạn có ý nghĩa chẩn đoán ở miền thời gian thì trên ảnh pha cũng xuất hiện những thay đổi, chúng dễ dàng quan sát hoặc phát hiện bằng các thuật toán xử lý.

Ngoài ra, khi xử lý tín hiệu điện tim trong không gian pha có thể sử dụng các dấu hiệu chẩn đoán phụ mà các dấu hiệu ấy không thể nhận biết nếu sử dụng phương pháp phân tích trong miền thời gian: các dấu hiệu đó là góc định hướng ảnh pha φ , chỉ số chẩn đoán β_T .

Mô hình tạo tín hiệu điện tim nhân tạo

Có nhiều cách tiếp cận khác nhau khi xây dựng mô hình để tạo tín hiệu điện tim. Có thể dùng mô hình mà trong đó các thành phần điện tâm đồ được mô tả bằng các hàm tuyến tính và hàm bậc 2. Song các mô hình này không cho phép tổng hợp được tín hiệu điện tim có hình dạng giống tín hiệu điện tim thực và mô phỏng trên đó các biểu hiện bệnh lý của hệ thống tim mạch. Mô hình dưới dạng tổng các hàm Gaus cho hình dạng chu trình tim gần giống tín hiệu thực hơn, tuy nhiên với mô hình này cũng không thể tạo ra tính chu kỳ của các chu trình tim nên cũng ít được sử dụng. Mô hình dựa trên tái tạo toán học hệ động học phi tuyến cũng được dùng để tạo tín hiệu điện tim, tuy nhiên để mô phỏng các biểu hiện bệnh lý thì mô hình sẽ phức tạp hơn đáng kể do phải thêm vào các tham số. Một mô

hình tương đối thông dụng đó là mô hình động học dựa trên việc giải hệ 3 phương trình vi phân trong hệ tọa độ không gian 3 chiều (x, y, z). Tính chu kỳ được mô tả bởi chuyển động của chất điểm trong mặt phẳng (x, y), còn các phân đoạn mang thông tin của mỗi chu trình thì mô tả bằng chuyển động của điểm ảnh xạ theo hướng z [5, 6].

Mô hình Generative tạo tín hiệu điện tim nhân tạo:

Với mô hình này, tín hiệu điện tim mẫu được tạo ra dưới dạng tổng các hàm Gauss không đối xứng.

$$y_0(t) = \sum_{i \in \{P, Q, R, S, ST, T\}} A_i \cdot \exp \left[-\frac{(t - \mu_i)^2}{2[b_i(t)]^2} \right] \quad (6)$$

Trong đó, A_i , μ_i là các tham số xác định biên độ và thời gian khi phân đoạn nào đó đạt cực đại ($A_i > 0$) hay cực tiểu ($A_i < 0$)

$$b_i(t) = \begin{cases} b_i^{(1)} \\ b_i^{(2)} \end{cases} \quad (7)$$

Với $b_i^{(1)}$, $b_i^{(2)}$ là các tham số xác định tính đối xứng của phân đoạn. Do hàm Gauss tập trung trong khoảng 3σ nên có thể giả thiết rằng, các thời điểm bắt đầu $t_i^{(1)}$ và thời điểm kết thúc $t_i^{(2)}$ của mỗi phân đoạn i trong đó $i \in \{P, Q, R, S, ST, T\}$ liên hệ với các tham số $b_i^{(1)}$, $b_i^{(2)}$ và μ_i bằng công thức sau:

$$t_i^{(1)} = \mu_i - 3b_i^{(1)} \quad (8)$$

$$t_i^{(2)} = \mu_i + 3b_i^{(2)} \quad (9)$$

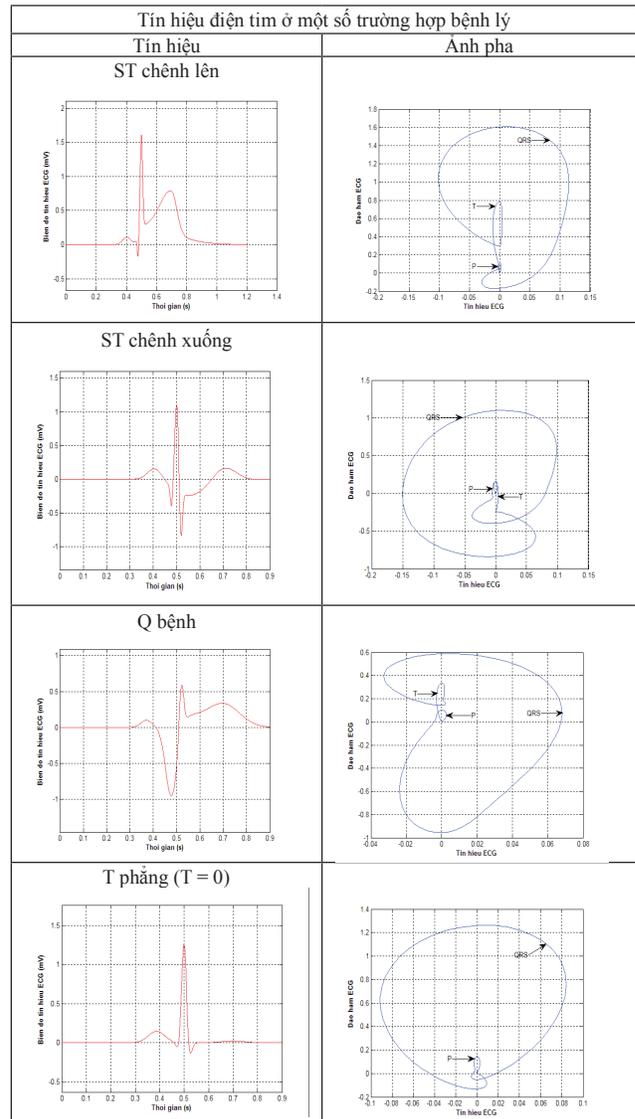
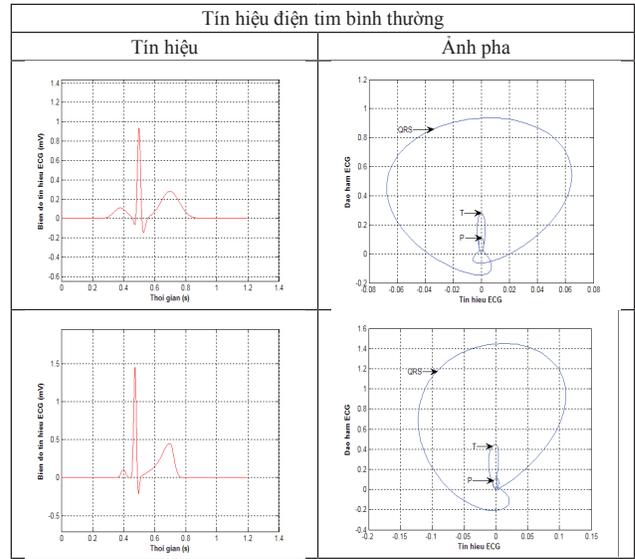
Mỗi chu trình mẫu có giới hạn thời gian của các phân đoạn như sau:

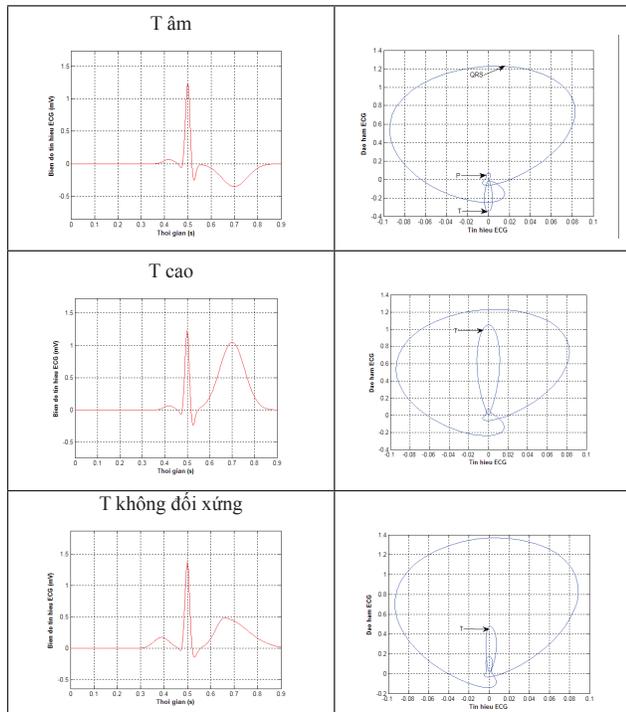
$$0 \leq t_p^1 \leq t_p^2 \leq t_q^1 \leq t_q^2 = t_r^1 \leq t_r^2 = t_s^1 \leq t_s^2 = t_{ST}^1 \leq t_{ST}^2 \leq t_T^1 \leq t_T^2 \leq T_0 \quad (10)$$

T_0 : độ dài mẫu, $y_0(t)$: độ dài một chu trình tim. Giá trị của T_0 được chọn tính theo công thức sau:

$$T_0 = \frac{60 \cdot 1000}{F_t} \quad (11)$$

Với F_t là tần số cơ bóp của tim được tính bằng số lần đập/phút. Kết quả mô phỏng như sau:





Kết quả mô phỏng cho thấy, mô hình tín hiệu được đề cập là hợp lý và sát thực. Tín hiệu điện tim mô phỏng theo mô hình cho hình dạng các sóng và các tham số gần giống với tín hiệu điện tim thực tế; bằng cách thay đổi các tham số mô hình ta có thể nhận được các tín hiệu đặc trưng cho các trường hợp bệnh lý; ảnh pha của tín hiệu điện tim nhân tạo (tín hiệu mô phỏng) cũng có hình dạng như tín hiệu điện tim thật.

Như vậy, dựa trên kết quả mô phỏng tín hiệu điện tim, vẽ quỹ đạo ảnh pha và xác định các dấu hiệu chẩn đoán phụ ta có thể xây dựng được mô hình và thuật toán tự động chẩn đoán các bệnh tim mạch.

Kết luận

Bài báo đã đề cập đến một hướng nghiên cứu mới biểu diễn tín hiệu điện tim trong không gian pha. Ảnh pha tín hiệu điện tim cho ta dễ dàng quan sát được

những biến loạn trong các chu trình tim mà nếu ở miền thời gian bằng các phương pháp phân tích truyền thống ta khó hoặc không thể phát hiện được. Để khảo sát tính trung thực của cách tiếp cận biểu diễn tín hiệu trong không gian pha, bài báo đã tập trung nghiên cứu mô phỏng tín hiệu điện tim trên mô hình tổng các hàm Gaus thành phần. Kết quả mô phỏng cho thấy, tín hiệu điện tim nhân tạo và ảnh pha hoàn toàn giống với tín hiệu thực. Hướng nghiên cứu tiếp theo là sẽ mô phỏng nhiều và tham số hoá các chỉ số chẩn đoán bệnh trên các tham số ảnh pha, ứng dụng trong nghiên cứu bệnh nhồi máu cơ tim, xây dựng hệ thống tự động chẩn đoán dựa trên các tham số ảnh pha.

Tài liệu tham khảo

[1] Н.М. Амосов, Б.Т. Агапов, Ю.В. Паничкин (1972), *Исследование сократительной функции миокарда методом фазовых координат* // Доклады АН СССР, Т.202, №1, С.245-247.

[2] Л.С. Файнзильберг (2004), *Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве* // Системні дослідження та інформаційні технології, №1, С.32-46.

[3] Л.С. Файнзильберг, Т.Ю. Беклер (2011), *Применение математического моделирования в исследовании нового метода медицинской диагностики* // Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт", Тематический выпуск: Информатика и моделирование. - Харьков: НТУ "ХПИ", №17, С.183-188.

[4] Nguyễn Hải, Nguyễn Việt Anh, Phạm Minh Toàn, Hà Trần Đức (2005), *Công cụ phân tích Wavelet và ứng dụng trong MATLAB*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.

[5] М.В. Абрамов (2010), *Аппроксимации экспонентами временного кардиологического ряда на основе ЭКГ* // Вестник кибернетики. - Тюмень: ИПОС СО РАН, №9, С.85-91.

[6] Л.С. Файнзильберг (2012), *Технология построения телемедицинской системы на основе генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы* Клини. Информат. и Телемед, Т.8, Выпуск 9, С.89-98.