

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 681.3

В. В. Вишневецький¹
Т. М. Романенко¹
Л. А. Кізуб¹**ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ І ЇХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ**¹Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

Розглянуто задачу ідентифікації людини за її електрокардіограмою. Використовуючи три ортогональних відведення, електрокардіограму представлено у вигляді тривимірного годографа. Сегмент годографа, пов'язаний з QRS комплексом, апроксимовано за допомогою канонічних параметричних сплайнів (крива Безьє). Це дає безліч точок, які описують форму кривої. Порівнюючи координати точок, що описують форму сплайну, можна віднести електрокардіограму до певного класу. Для класифікації застосовано відомі статистичні методи і нейронна мережа.

Ключові слова: електрокардіограма (ЕКГ), характерні особливості ЕКГ, ідентифікація людини, крива Безьє, QRS комплекс, апроксимація.

Вступ

Часто у дослідженнях постає задача побудови алгоритму класифікації тих чи інших об'єктів за їх формою. Прикладів таких задач можна навести безліч. Це аналіз форми часових рядів, спектрограм, елементів циклічних сигналів у медицині, класифікація бінарних та напівтонових зображень за формою частин їхніх контурів тощо. Об'єднує ці задачі те, що всі вони можуть бути зведені до задачі класифікації форми однієї або декількох дуг кривих у одно-, дво- або тривимірному просторі координат.

Однією із задач, які потребують класифікації форми дуги кривої є біометрична ідентифікація пацієнта за його електрокардіограмою. Задача біометричної ідентифікації є актуальною сама по собі і останні роки активно обговорюється у літературі [1, 2]. Перед авторами вона постала при формуванні репрезентативної вибірки даних електрокардіограм у проекті «Медгрід» [3]. Справа в тому, що в ґрід-сховищах не гарантується конфіденційність персональних даних, отже усі діагностичні дані експериментів записуються до розподіленого ґрід-сховища в деперсоналізованому вигляді, без прізвища, ім'я та по батькові. Тому, для однозначної ідентифікації пацієнта виникла потреба у виділенні деяких характерних ознак сигналів, які разом з відкритими даними про людину (стать, регіон проживання та рік народження), дадуть змогу визначити необхідність створення нового запису у базі даних або доповнення того, що вже існує. Звісно, на цьому етапі автори не ставили за мету створення технології, яка б конкурувала, наприклад, з відбитками пальців. На погляд авторів, практичну цінність мають алгоритми, які дозволяють розрізняти навіть невелику кількість людей, наприклад до 5 випадкових збігів пацієнтів одного року народження та однієї статі, або членів однієї родини тощо.

Постановка задачі

Стандартна електрокардіограма містить 12 відведень, тобто 12 сигналів. Ці 12 сигналів можуть бути перетворені на три ортогональні відведення та розмічені на цикли та елементи циклів за допомогою спеціальних алгоритмів [4].

Маючи три ортогональні відведення електрокардіограми, представимо її у вигляді тривимірного фазового годографа. Кількість точок на цьому годографі достатньо велика. Апроксимувавши фрагмент такого годографа, що відповідає QRS-комплексу, параметричними сплайнами, отримуємо значно меншу кількість точок, які характеризують форму кривої. Для апроксимації можна ви-

користати канонічний сплайн (cardinal spline) або криву Безьє [5].

На рис. 1 показана тривимірна дуга, що відповідає QRS-комплексу, апроксимована канонічним сплайном.

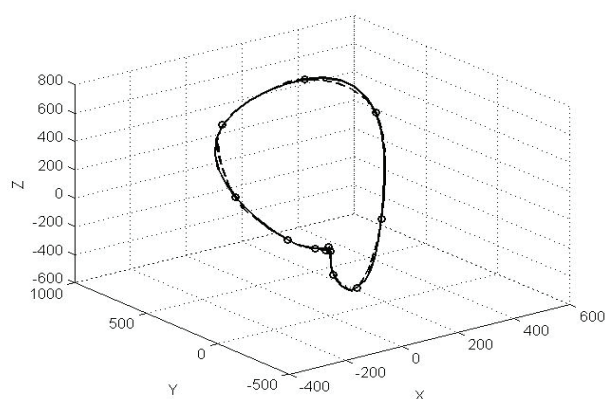


Рис. 1. Апроксимація тривимірної дуги QRS-комплексу канонічним сплайном

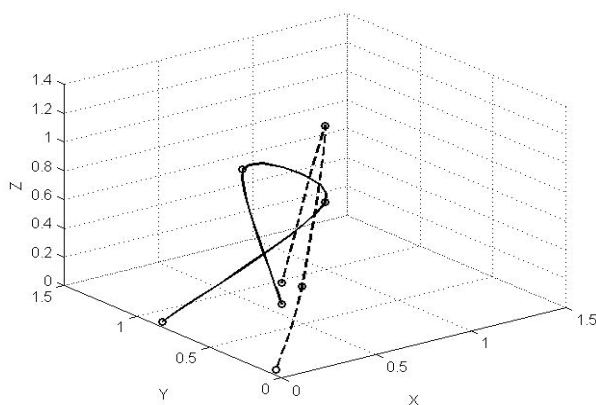


Рис. 2. Результати апроксимації електрокардіограм у трьох відведеннях двох людей

від 25 до 55 років, чоловічої і жіночої статі (троє чоловіків, чотири жінки). Дослідження проводились у різний час доби, пацієнти знаходились у різному емоційному та фізичному стані. Для кожної особи зареєстровано по 10 електрокардіограм.

Проведено попереднє оброблення даних. Для кожної електрокардіограми виконані такі дії: перетворення 12 відведень на 3 ортогональні відведення, розділення сигналу на кардіоцикли, виділення у кожному з них QRS-комплексу. На наступному етапі визначили репрезентативний цикл електрокардіограми за допомогою метрики Хаусдорфа. Далі всі тривимірні QRS-комплекси електрокардіограм апроксимували канонічними сплайнами. Після цього за форму кожного QRS-комплексу відповідають по чотири керувальні точки канонічного сплайну.

Для класифікації апроксимованих електрокардіограм використовували нейромережу. Провели два варіанти експерименту. Виконували попарну класифікацію, тобто кожного пацієнта порівнювали з кожним, а також класифікацію «один до всіх» — електрокардіограми кожного пацієнта розрізняли з-поміж електрокардіограм решти пацієнтів. В обох варіантах навчання нейромережі виконувалось за однією з електрокардіограм пацієнта, а решта дев'ять — використовувались для ідентифікації. Навчання виконувалось за всіма циклами кардіограми, а ідентифікація — за репрезентативним циклом.

Для кожної пари пацієнтів за результатами ідентифікації були розраховані показники чутливості і специфічності методу. Під чутливістю методу будемо розуміти здатність правильно ідентифікувати першого пацієнта з пари, яка визначається як частка правильно ідентифікованих ЕКГ першого пацієнта («дійсно позитивні» результати) серед усіх ЕКГ, віднесених до першого пацієнта.

Приклад апроксимованих QRS-комплексів двох людей показаний на рис. 2.

З поданням тривимірного фрагменту електрокардіограм у вигляді сплайну, поперше, зменшується кількість точок, які відповідають за її форму, а, по-друге, забезпечується інваріантність до афінних перетворень.

Наступним етапом має бути прийняття рішення про належність електрокардіограми до одного з класів. Воно приймається за результатами порівняння координат точок, що відповідають за форму апроксимуючого сплайна.

Окрім стандартної електрокардіограми на 12 відведень існує також електрокардіограма на 6 відведень. У цьому випадку для побудови тривимірної кривої можна використовувати перші три відведення.

Для класифікації електрокардіограм можна використати відомі статистичні методи або нейромережу.

Експериментальна перевірка методу

Для попередньої перевірки описаного методу проведено два експерименти на відносно невеликій кількості даних, але такій, що відповідає можливим вимогам проекту «Мед-Грід». Для першого експерименту використовувались електрокардіограми з 12 відведень і зареєстровані електрокардіограми різних функціонально здорових людей віком

Розрахувати чутливість можна за формулою

$$Ч = \frac{ДП}{ДП + ХН} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де Ч — чутливість методу; ДП — дійсно позитивні результати (правильна ідентифікація першого пацієнта); ХН — хибно негативні результати (неправильне визначення другого пацієнта).

Під специфічністю методу будемо розуміти здатність методу не давати неправильних результатів ідентифікації другого пацієнта з пари, яка визначається як частка правильно ідентифікованих ЕКГ другого пацієнта («дійсно негативні» результати) серед ЕКГ, віднесених до другого пацієнта. Розрахувати специфічність можна за формулою

$$С = \frac{ДН}{ДН + ХП} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де С — специфічність методу; ДН — дійсно негативні результати (правильна ідентифікація другого пацієнта); ХП — хибно позитивні результати (неправильне визначення першого пацієнта).

Середня чутливість методу для експерименту з трьома ортогональними відведеннями з дванадцяти при попарній класифікації буде дорівнювати 97 %, середня специфічність — 97 %.

Середня чутливість методу для цього ж експерименту при класифікації «один до всіх» буде дорівнювати 83,86 %, середня специфічність — 97,7 %.

Для другого експерименту були зареєстровані електрокардіограми у 6 відведеннях. Також дослідження проводились у різний час доби, пацієнти знаходились у різному фізичному та психоемоційному стані. Досліджувались ЕКГ п'яти пацієнтів, функціонально здорових, віком від 25 до 55 років, чотирьох жінок та одного чоловіка. У цьому випадку для розрахунків використовували перші три відведення. Для кожної персони зареєстровано по 10 електрокардіограм.

Проведена попередня обробка даних. У цьому випадку не виконувалось перетворення на ортогональні відведення. Проведено решту етапів попередньої обробки ЕКГ, описаних вище, а саме: розділення сигналу на кардіоцикли, виділення у кожному з них QRS-комплексу, визначення репрезентативного циклу електрокардіограми за допомогою метрики Хаусдорфа, апроксимація тривимірних QRS-комплексів електрокардіограми канонічними сплайнами з чотирма керувальними точками.

Для класифікації апроксимованих електрокардіограм також використовували нейромережу. Провели два варіанти експерименту: попарну класифікацію кожного пацієнта з кожним та класифікацію «один до всіх» — розрізнення ЕКГ одного пацієнта з-поміж ЕКГ решти пацієнтів. Для кожної пари пацієнтів за результатами ідентифікації розраховані показники чутливості і специфічності методу за формулами (1) і (2), відповідно.

Середня чутливість методу для експерименту з першими трьома відведеннями з шести при попарній класифікації буде дорівнювати 96,7 %, середня специфічність — 96,7 %.

Середня чутливість методу для цього ж експерименту при класифікації «один до всіх» дорівнюватиме 87 %, середня специфічність — 94,8 %.

Чутливість і специфічність для другого варіанта експерименту (для трьох перших відведень з шести стандартних) зменшується несуттєво у порівнянні з трьома ортогональними відведеннями з дванадцяти стандартних. Але у цьому варіанті менше попередніх розрахунків, бо немає необхідності у перетворенні дванадцяти відведень у три ортогональні.

Розуміючи, що результати є попередніми, автори повторили другий експеримент через рік з використанням електрокардіограм тих самих людей і знову отримали близькі значення оцінки чутливості і специфічності.

Висновки

Використання методу апроксимації тривимірної дуги параметричними сплайнами для трьох відведень електрокардіограми дозволяє побудувати систему ознак, що є чутливою до форми цієї тривимірної дуги. Таку систему ознак зручно використовувати для подальшого розв'язання задач класифікації, однією з яких є задача біометричної ідентифікації пацієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fainzilberg L. S. Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Space Electrocardiographic Image / L. S. Fainzilberg, T. P. Potapova // Proceeding of 6th International Conference on Computer analysis of Images and Patterns (CAIP-95). — Prague, 1995. — P. 668—673.

2. Yogendra Narain S. Biometrics Method for Human Identification Using Electrocardiogram / S. Yogendra Narain, P. Gupta // Proceedings of third International Conference, ICB. — Alghero, Italy, 2009. — P. 1270—1279.
3. Вишне夫斯基 В. В. Грид-система для массового накопления и обработки цифровых электрокардиограмм // Український журнал телемедицини та медичної телематики. — 2013. — Т. 11, № 1. — С. 202—208.
4. Чайковский И. А. Анализ электрокардиограммы в одном, шести и двенадцати отведениях с точки зрения информационной ценности: электрокардиографический каскад // Клиническая информатика и телемедицина. — 2012. — № 2. — С. 102—106.
5. Вишне夫斯基 В. В. Аппроксимация экспериментальных данных кривыми Безье / В. В. Вишне夫斯基, В. Г. Калмыков, Т. Н. Романенко // XIII-th International Conference KDS 2007. — Varna, Bulgaria. — 2007. — June. — P. 157—162.

Рекомендована кафедрою проектування медико-біологічної апаратури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 7.03.2016

Вишевський Віталій Вячеславович — канд. тех. наук, провідний науковий співробітник, e-mail: vit@immsp.kiev.ua;

Романенко Тетяна Миколаївна — науковий співробітник;

Кізуб Лілія Анатоліївна — молодший науковий співробітник.

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ

V. V. Vyshnevskiy¹

T. M. Romanenko¹

L. A. Kizub¹

The Use of Cardiograms and Their Characteristics for Human Identification

¹Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of NAS of Ukraine

The paper deals with the task of human identification by electrocardiogram. By using three orthogonal leads, electrocardiogram can be represented as a three-dimensional hodograph. A segment of hodograph, which is related to QRS complex, was approximated via canonical parametric splines. It gave us a set of points which describe the curve shape. An electrocardiogram is assigned to the certain class by comparison of the coordinates of the points which describe the shape of approximating spline. For classification the known statistical methods and neural network were applied.

Keywords: electrocardiogram (ECG), characteristic features of ECG, identification, QRS complex, approximation.

Vyshnevskiy Vitalii V. — Cand. Sc. (Eng.), Leading Researcher, e-mail: vit@immsp.kiev.ua;

Romanenko Tetiana M. — Researcher;

Kizub Lilia A. Junior — Research Fellow

В. В. Вишне夫斯基¹

Т. Н. Романенко¹

Л. А. Кизуб¹

Использование электрокардиограмм и их характеристик для идентификации человека

¹Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

Рассмотрена задача идентификации человека по его электрокардиограмме. При использовании трех ортогональных отведений, электрокардиограмму можно представить в виде трехмерного годографа. Сегмент годографа, связанный с QRS комплексом, аппроксимирован с помощью канонических параметрических сплайнов. Это дает множество точек, описывающих форму кривой. Сравнивая координаты точек, описывающих форму сплайна, электрокардиограмму относят к определенному классу. Для классификации применены известные статистические методы и нейронная сеть.

Ключевые слова: электрокардиограмма (ЭКГ), характерные особенности ЭКГ, идентификация человека, кривая Безье, QRS комплекс, аппроксимация.

Вишевский Виталий Вячеславович — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: vit@immsp.kiev.ua;

Романенко Татьяна Николаевна — научный сотрудник;

Кизуб Лилия Анатольевна — младший научный сотрудник