

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Філатова Ганна Євгенівна

УДК 61:007+004.932.72'1

**СТРУКТУРНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ СИГНАЛІВ
У КАРДІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ**

Спеціальність 05.11.17 – медичні прилади і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Харків – 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”,
Міністерство освіти і науки України

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент

Поворознюк Анатолій Іванович,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Піротті Євген Леонідович,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри вищої математики

кандидат технічних наук, доцент

Єрохін Андрій Леонідович,

Національний університет внутрішніх справ, доцент кафедри інформатики

Провідна установа

Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться “12” лютого 2002 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К64.052.05 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки (61166, м. Харків, пр. Леніна, 14).

Автореферат розісланий “10” січня 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Мустецов М. П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення ймовірності діагностики захворювань серця і серцево-судинної системи є актуальною проблемою при проектуванні діагностичних кардіологічних комп'ютерних систем. При цьому якість діагностики в таких системах у великій мірі визначається вірогідністю структурної ідентифікації біомедичних сигналів, які характеризують циклічну роботу серця і серцево-судинної системи. У кардіологічних системах під структурною ідентифікацією сигналів розуміється виділення інформативних фрагментів біомедичного сигналу на фоні завад. Традиційно проблема структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи вирішується різноманітними евристичними методами. Такий підхід до рішення проблеми не дозволяє використовувати досвід, накопичений при виділенні структурних елементів одного типу біомедичних сигналів, для рішення аналогічної задачі структурної ідентифікації іншого типу сигналів. При цьому навіть для одного виду сигналів, наприклад, електрокардіограми, існує безліч методів структурної ідентифікації. Якщо процес структурної ідентифікації представити у вигляді процедури класифікації структурних елементів на задані класи, то дана задача вирішується з позиції теорії розпізнавання образів. Таким чином, актуальність теми полягає в необхідності розробки єдиного підходу до ідентифікації структурних елементів біомедичних сигналів різної природи, для якого апріорні дані про структуру сигналу можуть носити лише допоміжний (уточнюючий) характер.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно плану науково-дослідних робіт кафедри “Обчислювальна техніка та програмування” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” по темі № М6013 “Розробка теорії та методів структурної ідентифікації біологічних об'єктів” (номер держреєстрації 0198U005684).

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розробка методу структурної ідентифікації сигналів у кардіологічних системах з позиції теорії розпізнавання образів і побудова підсистеми виділення структурних елементів біомедичних сигналів. Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити єдиний підхід до структурної ідентифікації різних біомедичних сигналів з позиції теорії розпізнавання образів;
- розробити розв'язувальне правило і критерій якості структурної ідентифікації біомедичних сигналів;
- виконати параметричну й структурну оптимізацію при структурній ідентифікації сигналів різної природи в кардіологічних системах ;

- здійснити врахування ймовірностей часових розташувань структурних елементів біомедичних сигналів при структурній ідентифікації сигналів у кардіологічних системах;
- розробити принципи побудови і програмне забезпечення підсистеми структурної ідентифікації сигналів у кардіологічних системах.

Об'єктом дослідження є біомедичні сигнали, які характеризують циклічну роботу серця та серцево-судинної системи.

Предметом дослідження виступає структурна ідентифікація сигналів у кардіологічних системах.

Методи досліджень. За допомогою теорії розпізнавання образів сформульована задача структурної ідентифікації різних біомедичних сигналів, що дозволило представити структурні елементи розглядуваних біомедичних сигналів образами у багатомірному просторі ознак. На підставі методу потенційних функцій розроблена метрика багатомірного простору ознак. Побудова розв'язувального правила у випадку відсутності навчаючої вибірки виконана на підставі кластерного аналізу, зокрема, методу визначення “точок згущення”. Використовуючи теорію прийняття рішень, обґрунтований вибір критерію оптимальності, який застосовується для визначення оптимального параметра розв'язувального правила. Визначення екстремуму критерію якості класифікації об'єктів на задані класи при проведенні параметричної й структурної оптимізації методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів виконано з використанням планування екстремального експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Основні отримані результати виконаної роботи:

- вперше запропонований з позиції теорії розпізнавання образів формалізований підхід до опису структурних елементів різних біомедичних сигналів на основі перетворення початкового простору ознак;
- вперше розроблені розв'язувальне правило, що дозволяє класифікувати структурні елементи біомедичних сигналів, і критерій якості структурної ідентифікації сигналів у кардіологічних системах;
- отримав розвиток метод параметричної й структурної оптимізації при структурній ідентифікації сигналів у кардіологічних системах;
- отримав розвиток метод урахування припустимих часових інтервалів при перетворенні початкового простору ознак.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблена підсистема структурної ідентифікації сигналів, яка дозволяє здійснювати класифікацію інформативних фрагментів біомедичних сигналів різної природи на задані класи;

- видані рекомендації з використання апріорної інформації про ймовірності часових розташувань заданих структурних елементів електрокардіологічних сигналів при синхронній реєстрації декількох відведень електрокардіограми;

- у результаті навчання підсистеми структурної ідентифікації на 12 відведеннях ЕКГ отримані параметри для опису еталонів усіх структурних елементів (P, QRS, T) і параметри метрики (α) та розв'язувального правила (P_d), які можна використовувати для виділення структурних елементів нових реалізацій ЕКГ.

Результати роботи впроваджені та використовуються:

- в Інституті неврології, психіатрії та наркології Академії медичних наук України для обробки реографічних сигналів;
- у Державному підприємстві “НДІ гігієни праці та профзахворювань” для обробки ЕКГ;
- на кафедрі “Обчислювальна техніка та програмування” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” в науково-дослідній роботі та навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертації отримані автором особисто. У роботах [1-9], які виконані у співавторстві з науковим керівником, автору належать основні ідеї, зв'язані з вибором методів досліджень, а також способів рішення поставленої задачі, науковому керівнику – загальна постановка задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів на фоні завод. У роботах [3, 5, 6] приведений аналіз існуючих методів розпізнавання образів і запропонований формалізований підхід до структурної ідентифікації сигналів у кардіологічних системах на основі перетворення початкового простору ознак. У статтях [2, 4, 8] для побудови розв'язувального правила запропонована функція диференціації відстаней, значення якої розраховуються за допомогою спеціально сконструйованої метрики. У роботі [9] здійснена оцінка якості класифікації структурних елементів біомедичних сигналів на задані класи за допомогою розробленого критерію якості. У роботах [1, 7] розроблені структура і програмне забезпечення підсистеми структурної ідентифікації біомедичних сигналів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на наступних конференціях: Міжнародні науково-технічні конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (Харків, ХДПУ, 30-31 травня 1996 р., 12-14 травня 1997 р., 27-29 травня 1998 р., 12-15 травня 1999 р., 24-25 травня 2000 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Наука та соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, навколишнє середовище (MicroCAD-2001)” (Харків, НТУ “ХП”, 14-16 травня 2001 р.).

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковані в 10 роботах: 5 статей

в українських наукових виданнях, що входять у перелік ВАК, 1 стаття в російському науковому виданні, а також 4 доповіді на науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 178 сторінок, серед яких 1 ілюстрація на 1 сторінці, 9 таблиць і 33 ілюстрації по тексту, 4 додатка на 40 сторінках, список використаних літературних джерел з 93 найменувань на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовані актуальність теми дисертації, її наукова та практична цінність, сформульовані мета та задачі роботи, приведена її загальна характеристика.

У першому розділі “Аналіз задачі структурної ідентифікації сигналів у кардіологічних системах і способів її рішення” розглянута узагальнена структура кардіологічних систем і етапи обробки біомедичних сигналів (рис. 1). Також приведений аналіз особливостей обробки сигналів у кардіологічних системах, який показує, що не існує єдиного підходу до рішення задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів, тобто до виділення структурних елементів на фоні завад з метою подальшої їхньої обробки. Для цього запропонований розгляд задачі структурної ідентифікації з позиції теорії розпізнавання образів. З аналізу також випливає, що існує ряд причин, які не дозволяють здійснити застосування методів і алгоритмів розпізнавання образів без попередньої їх адаптації до задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів. Для розробки методу, що дозволяє вирішити задачу структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи, запропоновано розглядати структурні елементи як образи. При цьому задача зводиться до визначення інформативного простору ознак, у якому об'єкти різних класів представляли б компактні множини точок, і побудові оптимального розв'язувального правила, що дозволяє класифікувати структурні елементи розглянутого біомедичного сигналу.

Визначено мету даної роботи і сформульовані задачі, що вирішуються в ній.

В другому розділі “Розробка методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів на основі перетворення простору ознак” розроблений і викладений єдиний підхід до ідентифікації структурних елементів біомедичних сигналів різного типу, який заснований на перетворенні початкового простору ознак. Розглядуваний біомедичний сигнал являє собою, з однієї сторони, гратчасту функцію $x(t) \times \tau_{кв} \stackrel{\sim}{=} x_t$, де x_t , $t = \overline{1, w}$ – амплітуди сигналу в точках дискретизації.

Функціональна залежність (1) вибирається із множини базисних (опорних) функцій, до яких пред'являються наступні вимоги: *простота*, тобто функціональна залежність повинна бути максимально простою, аж до лінійної; *інформативність*, тобто опорна функція повинна

відображати характеристики, які відрізняють структурні елементи шуканого типу від інших структурних елементів (істотними характеристиками можуть бути ступінь крутості схилу, його форма, тип вершини і так далі); *вибірковість*, тобто чутливість до зміни істотних характеристик і нечутливість до шумів.

Пошук інформативних фрагментів біомедичних сигналів можна виконати послідовною процедурою відділення структурних елементів заданого типу від усіх інших об'єктів. Еталон структурного елемента ω^3 задається шляхом вибору на сигналі меж підмножин, що характеризуються опорними точками $x_i^{\omega^3}$, $i \in \overline{1, N_x}$. При цьому в просторі ознак Y еталон ω^3 описується вектором $\mathbf{y}^{\omega^3} = (y_1^{\omega^3}, y_2^{\omega^3}, \dots, y_{N_y}^{\omega^3})$, де ознаки $y_j^{\omega^3}$ розраховуються аналогічно (1) по формулі $y_j^{\omega^3} = f_k(\{x_i^{\omega^3}\}_j)$, $j = \overline{1, N_y}$. Задання еталонного об'єкта ω^3 дозволяє визначити клас шуканих структурних елементів Ω_1 , вигляд опорної функції для перетворення $X \rightarrow Y$ та мірність простору Y .

Алгоритм класифікації структурних елементів без урахування ймовірностей їх часових розташувань (рис. 2). У початковому просторі ознак X необхідно виділити найбільш характерний і найменш зашумлений структурний елемент, який буде виступати як еталонний об'єкт ω^3 шуканого класу Ω_1 . При цьому еталонний об'єкт описується в просторі Y . Після опису еталонного об'єкта в просторі Y описуються всі інші об'єкти розглянутого сигналу в цьому ж просторі ознак. Далі будується функція диференціації відстаней (3). Класифікація структурного елемента здійснюється за допомогою розв'язувального правила (4), отриманого з урахуванням розрахованої функції $f_r[t]$.

Очевидно, що визначення структурних елементів різних типів виконується незалежно один від іншого і може виконуватися паралельно.

Алгоритм структурної ідентифікації з урахуванням емпіричних даних про ймовірності часових розташувань структурних елементів сигналу. Якщо апіорі відомі часові розташування всіх зубців P , Q , S та T щодо зубця R , а також базовий період ЕКГ, то врахування цієї апіорної інформації в методі структурної ідентифікації біомедичних сигналів здійснюється шляхом урахування імовірнісної функції $P[t]$, яка характеризує імовірність перебування зубців заданого типу в даний момент часу (рис. 3). Використання імовірнісної функції $P[t]$ можливо декількома способами: 1) значення імовірнісної функції $P[t]$ виступають як додаткова координата в перетвореному просторі ознак Y ; 2) імовірнісна функція $P[t]$ накладається на функцію диференціації відстаней $f_r^{(H)}[t] = 1 - (1 - f_r[t])P[t]$, де $f_r[t]$, $f_r^{(H)}[t]$ – значення функції диференціації відстаней до і після корекції відповідно. У цілому алгоритм структурної

ідентифікації біомедичних сигналів з урахуванням імовірнісної функції $P[t]$ відповідає схемі, представлений на рис. 2.

Параметрична й структурна оптимізація при структурній ідентифікації біомедичних сигналів. Процедура параметричної оптимізації (рис. 4) містить у собі корекцію декількох параметрів методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів, а процедура структурної оптимізації – корекцію виду опорних функцій. При досягненні максимуму функціонала (5) за рахунок параметричної оптимізації, необхідно змінювати кілька параметрів методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів. Для пошуку локального екстремуму функції (5) можливе використання будь-якого методу планування екстремального експерименту, наприклад, градієнтного або симплекс-методу, що дозволяє знаходити екстремуми цільової функції у багатомірному просторі параметрів.

У четвертому розділі “Розробка підсистеми структурної ідентифікації біомедичних сигналів” розроблена структура підсистеми, проведений аналіз способів для створення програмного забезпечення підсистеми, а також розроблені візуальні засоби підсистеми для роботи з біомедичним сигналом.

Вимоги, що пред'явлені до підсистеми структурної ідентифікації біомедичних сигналів:

- підсистема повинна мати два режими: навчання (або самонавчання) та розпізнавання;
- підсистема повинна здійснювати класифікацію об'єктів на задані класи незалежно від типу досліджуваного біомедичного сигналу;
- підсистема повинна мати простий і зручний інтерфейс, тому що може бути використана фахівцями в різних областях, які могли б самостійно за мінімальний час освоїти роботу з підсистемою;
- при роботі в діалоговому режимі необхідно забезпечити максимальну зручність введення необхідної інформації й збереження отриманих результатів до наступного сеансу роботи;
- підсистема повинна мати можливість візуального представлення результатів структурної ідентифікації біомедичних сигналів;
- для використання набутого досвіду структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи при виділенні інформативних фрагментів різного типу сигналів необхідне формування бази знань підсистеми;
- результати роботи підсистеми повинні бути доступні іншим програмам для їхньої подальшої обробки;
- у цілому структура підсистеми повинна відповідати схемі на рис. 5.

Для створення програмного забезпечення підсистеми обране середовище програмування Inprise (Borland) Delphi версії 5.0, що працює під управлінням операційної системи Windows.

0	0	0	0.676	0	0	+1	0.662	-2	0	+1	0.654
+2	0	0	0.591	0	0	-1	0.670	+2	0	-1	0.563
+1	0	0	0.656	0	0	-2	0.648	+1	0	-1	0.640
-1	0	0	0.661	+2	0	+2	0.590	-1	0	-1	0.652
-2	0	0	0.651	+1	0	+2	0.627	-2	0	-1	0.633
0	+2	0	0.620	-1	0	+2	0.641	+2	0	-2	0.522
0	+1	0	0.694	-2	0	+2	0.643	+1	0	-2	0.613
0	-1	0	0.639	+2	0	+1	0.596	-1	0	-2	0.635
0	-2	0	0.567	+1	0	+1	0.643	-2	0	-2	0.622
0	0	+2	0.645	-1	0	+1	0.655				

Якість структурної ідентифікації зубців Т при зрушенні ОТ еталона на $\pm 10-15\%$

Зрушення n-ої ОТ на k відліків			Значення критерію (5)	Зрушення n-ої ОТ на k відліків			Значення критерію (5)	Зрушення n-ої ОТ на k відліків			Значення критерію (5)
1-й	2-й	3-й		1-й	2-й	3-й		1-й	2-й	3-й	
0	0	0	0.684	+3	0	+3	0.697	+3	0	-1	0.713
+3	0	0	0.719	+2	0	+3	0.690	+2	0	-1	0.710
+2	0	0	0.714	+1	0	+3	0.696	+1	0	-1	0.687
+1	0	0	0.714	-1	0	+3	0.676	-1	0	-1	0.692
-1	0	0	0.678	-2	0	+3	0.684	-2	0	-1	0.684
-2	0	0	0.691	-3	0	+3	0.672	-3	0	-1	0.680
-3	0	0	0.683	+3	0	+2	0.707	+3	0	-2	0.709
0	+2	0	0.553	+2	0	+2	0.710	+2	0	-2	0.709
0	+1	0	0.687	+1	0	+2	0.702	+1	0	-2	0.712
0	-1	0	0.671	-1	0	+2	0.677	-1	0	-2	0.697
0	-2	0	0.704	-2	0	+2	0.686	-2	0	-2	0.704
0	0	+3	0.675	-3	0	+2	0.671	-3	0	-2	0.695
0	0	+2	0.676	+3	0	+1	0.720	+3	0	-3	0.685
0	0	+1	0.678	+2	0	+1	0.716	+2	0	-3	0.691
0	0	-1	0.687	+1	0	+1	0.713	+1	0	-3	0.697
0	0	-2	0.693	-1	0	+1	0.679	-1	0	-3	0.691
0	0	-3	0.685	-2	0	+1	0.692	-2	0	-3	0.698
				-3	0	+1	0.681	-3	0	-3	0.693

Таблиця 3 –

Якість структурної ідентифікації комплексів QRS при зрушенні ОТ еталона на $\pm 10-15\%$

Зрушення n-ої ОТ на k відліків				Значення критерію	Зрушення n-ої ОТ на k відліків				Значення критерію
1-й	2-й	3-й	4-й		1-й	2-й	3-й	4-й	
0	0	0	0	0.419	0	0	0	-1	0.420
-1	0	0	0	0.412	0	0	0	1	0.417
1	0	0	0	0.389	-1	0	0	-1	0.413
0	-1	0	0	0.225	1	0	0	-1	0.388
0	1	0	0	0.352	-1	0	0	1	0.409
0	0	-1	0	0.320	1	0	0	1	0.387

0	0	1	0	0.379					
---	---	---	---	-------	--	--	--	--	--

З аналізу наведених вище результатів експериментів можна зробити висновок про те, що типові помилки оператора (до 10-15%) при заданні еталонного об'єкту шуканого класу істотно не впливають на якість структурної ідентифікації біомедичних сигналів.

При ідентифікації кожного з типів структурних елементів грудного відведення V4 електрокардіограми використовувалися різні види опорних функцій. Отримані результати якості класифікації структурних елементів на задані класи приведені в табл. 4. Тут треба відзначити, що значення критерію якості (5) приведені тільки в тих випадках, коли була зроблена стовідсоткова ідентифікація структурних елементів на задані класи (див. табл. 4).

Таблиця 4 –

Результати структурної ідентифікації інформативних фрагментів електрокардіограми при використанні різних видів опорних функцій

Вид опорної функції	Значення критерію якості (5) при структурній ідентифікації		
	P	T	QRS
Різниця між двома точками	0.343	0.187	0.337
Розділена різниця 1-го порядку	0.709	0.756	0.432
Розділені різниці 1-го і 2-го порядку	—	0.697	0.382
Похідна апроксимуючого полінома 1-го порядку	0.694	0.720	0.420
Похідна апроксимуючого полінома 2-го порядку	0.694	0.720	0.420

Таким чином, для опису кардіологічних зубців і комплексів електрокардіограми в просторі ознак Y досить використовувати розділені різниці 1-го порядку. Однак у загальному випадку найбільш стабільна якість класифікації досягається при використанні похідних апроксимуючих поліномів 1-го або 2-го порядку для опису структурних елементів досліджуваних сигналів у просторі Y .

Для перевірки ефективності методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів був проведений порівняльний аналіз виділення інформативних фрагментів стандартних відведень електрокардіограми за допомогою розробленого методу і за допомогою евристичного алгоритму, реалізованого в медичній комп'ютерній діагностичній системі "DX-Systems", що застосовується в Центральній клінічній лікарні №5 м. Харкова. Як критерій обрана величина F , що характеризує відсоток помилок класифікації структурних елементів досліджуваного біомедичного сигналу на задані класи:

$$F = \frac{\alpha^{\Omega} + \beta^{\Omega}}{L^{\Omega_1}} \times 100\%, \quad (6)$$

де α^{Ω} – кількість об'єктів шуканого класу Ω_1 , що були віднесені до класу Ω_2 (число помилок першого роду);

β^{Ω} – кількість об'єктів класу Ω_2 , що були віднесені до класу Ω_1 (число помилок другого роду);

L^{Ω_1} – дійсна кількість об'єктів шуканого класу Ω_1 .

За допомогою критерію (6) виконаний порівняльний аналіз якості класифікації розробленого методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів і комп'ютерної діагностичної системи, в основі якої лежить евристичний алгоритм виділення кардіологічних зубців та комплексів різних відведень електрокардіограми. Результати порівняння якості класифікації приведені в табл. 5, де величина F відповідає за якість класифікації за допомогою розробленого методу, а $F^{эв}$ – за допомогою евристичного алгоритму. З аналізу даних, які приведені у табл. 5 видно, що найбільш стабільне розпізнавання спостерігається для комплексу QRS, а найменш – для зубця P. При цьому у всіх випадках класифікація структурних елементів на задані класи виконується краще за допомогою розробленого методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів, ніж за допомогою евристичного алгоритму, який використовується в медичній комп'ютерній діагностичній системі “DX-Systems”.

Таблиця 5 –

Результати порівняння якості класифікації за допомогою розробленого методу структурної ідентифікації і за допомогою евристичного алгоритму

Відве дення		Струк-ний ел-нт			Відве дення		Струк-ний ел-нт			Відве дення		Струк-ний ел-нт		
		P	QRS	T			P	QRS	T			P	QRS	T
I	F	3.80	0	0.36	aVR	F	6.14	0	0.9	V3	F	0	0	0
	$F^{эв}$	12.66	0.18	0.9		$F^{эв}$	14.47	0	5.06		$F^{эв}$	6.51	0	0
II	F	3.62	0	1.08	aVF	F	1.99	0.18	0.36	V4	F	0	0	0
	$F^{эв}$	12.30	0	6.87		$F^{эв}$	8.68	0.18	4.16		$F^{эв}$	5.06	0	0.18
III	F	2.53	0	0.72	V1	F	2.71	0	0.18	V5	F	3.98	0	0.90
	$F^{эв}$	8.32	0.36	8.67		$F^{эв}$	8.14	0	4.52		$F^{эв}$	12.48	0.54	8.32
aVL	F	3.07	0	0	V2	F	2.89	0	0	V6	F	0	0	0
	$F^{эв}$	11.03	0	2.71		$F^{эв}$	9.22	0	0.36		$F^{эв}$	4.16	0	0

Таким чином, у середньому помилка класифікації об'єктів за допомогою розглянутого методу структурної ідентифікації склала близько 3%, тоді як за допомогою евристичного алгоритму – близько 10%.

ВИСНОВКИ

Дисертація спрямована на рішення актуальної задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи на основі розробленої підсистеми. У роботі запропонований метод структурної ідентифікації біомедичних сигналів, в основі якого лежить ідея перетворення початкового простору ознак, розроблені алгоритми структурної ідентифікації без урахування та з урахуванням емпіричних даних про ймовірності часових розташувань структурних елементів сигналу, створена процедура параметричної та структурної адаптації методу структурної ідентифікації, розроблена підсистема структурної ідентифікації біомедичних сигналів.

Наукові та практичні результати такі:

1) Проведено аналіз методів і алгоритмів виділення структурних елементів різних біомедичних сигналів, які характеризують циклічну роботу серця і серцево-судинної системи. З даного аналізу випливає, що не існує єдиного підходу до рішення проблеми структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи на фоні завад з метою їхньої подальшої обробки.

2) Запропоновано рішення задачі структурної ідентифікації з позиції теорії розпізнавання образів. Однак показано, що в силу ряду причин неможливе застосування методів і алгоритмів розпізнавання образів без попередньої їх адаптації до задачі структурної ідентифікації біомедичних сигналів.

3) Запропоновано для розробки і реалізації методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів різної природи розглядати структурні елементи як образи. При цьому запропоноване перетворення початкового простору X , у якому ознаками об'єктів є амплітуди сигналу в точках дискретизації, в новий інформативний простір ознак Y меншої розмірності, у якому ознаками об'єктів є значення базисних (опорних) функцій. Причому для простору ознак Y сконструйована нова метрика, в основі якої лежить ідея методу потенційних функцій.

4) Знайдене розв'язувальне правило, яке дозволяє класифікувати структурні елементи сигналу на задані класи, а також здійснена параметрична адаптація розв'язувального правила у випадках наявності й відсутності навчальної вибірки. При цьому введено поняття функції диференціації відстаней, яка дозволяє проаналізувати зміну значень відстаней у просторі Y між еталоном шуканого структурного елемента і всіма об'єктами досліджуваного біомедичного сигналу.

5) Розглянуто реалізацію методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів на прикладі виділення кардіологічних зубців та комплексів ЕКГ з використанням і без використання апріорної інформації про ймовірності часових розташувань структурних елементів сигналу. При

цьому отримав розвиток метод урахування припустимих часових інтервалів за рахунок використання імовірнісної функції $P[t]$ одним з двох способів: як додаткові ознаки простору Y структурних елементів або при корекції функції диференціації відстаней $f_r[t]$.

6) Запропоновано алгоритм параметричної і структурної оптимізації, що дозволяє визначити оптимальні параметри для класифікації структурних елементів досліджуваного сигналу на задані класи.

7) Розроблено структуру і створено програмне забезпечення підсистеми структурної ідентифікації біомедичних сигналів. При цьому сформульовані вимоги, які пред'являються до підсистеми.

8) Проведений аналіз якості класифікації структурних елементів на задані класи при корекції часових розташувань опорних точок еталонного об'єкта і при використанні різних типів опорних функцій. Даний аналіз показав, що типові помилки оператору ($\pm 10-15\%$) при заданні еталонів істотно не впливають на якість структурної ідентифікації біомедичних сигналів, а найбільш стабільна якість розпізнавання структурних елементів досягається при використанні як опорних функцій похідних апроксимуючих поліномів першого та другого порядків.

9) Розглянуто особливості застосування розробленого методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів для виділення кардіологічних зубців і комплексів стандартних відведень електрокардіограми. Дано рекомендації з вибору параметрів і використанню накопиченого досвіду при структурній ідентифікації ЕКГ. У результаті навчання підсистеми структурної ідентифікації на 12 відведеннях ЕКГ отримані оптимальні параметри метрики (α) і розв'язувального правила (P_d).

10) Проведений порівняльний аналіз якості класифікації структурних елементів на задані класи за допомогою розробленого методу структурної ідентифікації біомедичних сигналів і евристичного алгоритму. Даний аналіз показав, що у випадку застосування розробленого методу у середньому помилки класифікації склали близько 3%, тоді як при використанні евристичного алгоритму – 10%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1) Поворознюк А. И., Фоменко (Филатова) А. Е. Автоматизированная система структурной идентификации физиологических сигналов // Труды междунар. научн.-техн. конф. “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (MicroCAD'96). – Харьков, Мишкольц, Магдебург: ХГПУ, МУ, МТУ, 1996. – С. 89.

2) Поворознюк А. И., Фоменко (Филатова) А. Е. Об одном методе выделения

структурных элементов квазипериодических сигналов // Вестник ХГПУ: Применение вычислительных систем. – Харьков: ХГПУ, 1997. – Вып. 2, № 21. – С. 69-71.

3) Поворознюк А. И., Фоменко (Филатова) А. Е. Преобразование пространства признаков при идентификации квазипериодических физиологических сигналов // Труды междунар. научн.-техн. конф. “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”. – Ч. 5. – Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т, 1997. – С. 332-335.

4) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Оптимизация пространства признаков при структурной идентификации квазипериодических сигналов // Информационные системы: Сборник научных трудов. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1998. – Вып. 1(9). – С. 112-115.

5) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Метод преобразования пространства признаков при идентификации структурных элементов квазипериодических сигналов // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сборник научных трудов ХГПУ. – Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т, 1998. – Вып. 6, Ч. 4. – С. 526-530.

6) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Преобразование пространства признаков при идентификации структурных элементов квазипериодических сигналов // Компьютерное моделирование: Сборник научных трудов. – Белгород: БелГТАМС, 1998. – С. 33-39.

7) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Самообучение автоматизированной системы идентификации квазипериодических сигналов на основе проверки статистических гипотез // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сборник научных трудов ХГПУ. – Харьков: Харьк. гос. политехн. ун-т, 1999. – Вып. 7, Ч. 3. – С. 421-423.

8) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Выбор метрики пространства признаков в задаче структурной идентификации квазипериодических сигналов // Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харківського державного політехнічного університету: Збірка наукових праць. – Випуск 99. – Харків: ХДПУ, 2000. – С. 138-141.

9) Поворознюк А. И., Филатова А. Е. Оценка качества распознавания структурных элементов квазипериодических сигналов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків. – №6(27), 2000. – С. 53-55.

10) Филатова А. Е. Реализация метода структурной идентификации квазипериодических сигналов с использованием эмпирических данных // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ “ХПІ”. – №4, 2001. – С. 274-277.

Філатова Г.Є. Структурна ідентифікація сигналів у кардіологічних системах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – медичні прилади і системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2001.

Дисертація спрямована на вирішення актуальної наукової і технічної задачі – розвитку методів структурної ідентифікації різних біомедичних сигналів, що характеризують циклічну роботу серцево-судинної системи, і проектування діагностичних комп'ютерних кардіологічних систем. У роботі вперше вирішена задача структурної ідентифікації біомедичних сигналів з позиції теорії розпізнавання образів на основі перетворення початкового простору ознак; розроблені процедури структурної та параметричної оптимізації методу; отримав розвиток метод урахування припустимих часових інтервалів розташування структурних елементів; а також уперше розроблений критерій якості класифікації структурних елементів. У дисертації розроблена підсистема структурної ідентифікації; отримана можливість нагромадження результатів навчання підсистеми при розпізнаванні структурних елементів одного типу сигналів з метою подальшого використання цих даних для виділення інформативних фрагментів того ж типу сигналів у кардіологічних системах.

Ключові слова: кардіологічна система, біомедичний сигнал, структурна ідентифікація сигналів, перетворення початкового простору ознак, класифікація, параметр, оптимізація.

Filatova A. E. The structural identification of signals in cardiological systems. – A manuscript.

Thesis for candidate of technical sciences degree by 05.11.17 speciality – medical instruments and systems. – The Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, 2001.

The dissertation is directed to the decision of an actual scientific and technical task – to develop the method of biomedical signals structural identification and to design the diagnostic computer cardiological systems. Biomedical signals are the signals that characterise the cyclic work of heart and cardiovascular systems. The decision of this task of the biomedical signals structural identification from a position of the theory of recognition of images is presented. The method of structural identification is based on the transformation of initial attributes space. The procedures of parametric and structured optimisation of the method to structured identification of signals in cardiological system are offered. The recommendations to use a priori information about the structure of signal at synchronous registration of several abductions of electrocardiogram are given.

Keywords: cardiological system, biomedical signal, the structural identification of signals, the transformation of initial space of attributes, the categorisation, the parameter, the optimisation.

Филатова А.Е. Структурная идентификация сигналов в кардиологических системах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – медицинские приборы и системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2001.

Диссертация направлена на решение актуальной научной и технической задачи – развитие методов структурной идентификации различных биомедицинских сигналов, которые характеризуют циклическую работу сердца и сердечно-сосудистой системы, и проектирование диагностических компьютерных кардиологических систем. Работа посвящена разработке единого формализованного подхода к решению задачи структурной идентификации различных биомедицинских сигналов с целью повышения достоверности диагностики кардиологических систем за счет повышения качества выделения информативных фрагментов рассматриваемых физиологических сигналов.

Для решения поставленной задачи разработан метод структурной идентификации биомедицинских сигналов с позиции теории распознавания образов на основе преобразования исходного пространства признаков, который позволил формализовать процесс выделения структурных элементов различных биомедицинских сигналов. При этом предложено рассматривать исходный сигнал не только в виде решетчатой функции, но и в качестве множества объектов (структурных элементов).

Для нового пространства признаков сконструирована метрика, в основе которой лежит идея метода потенциальных функций. Введено понятие функции дифференциации расстояний, которая характеризует расстояние от эталона до всех остальных объектов исследуемого биомедицинского сигнала. При помощи функции дифференциации расстояний получено решающее правило, позволяющее классифицировать структурные элементы рассматриваемого сигнала на заданные классы. Рассмотрены процедуры адаптации решающего правила в случаях наличия и отсутствия обучающих выборок.

Получил развитие метод учета допустимых временных интервалов расположения структурных элементов рассматриваемых биомедицинских сигналов при структурной идентификации сигналов в кардиологических системах. Также в диссертационной работе выданы рекомендации по использованию априорной информации о вероятности временных расположений кардиологических зубцов Р, Т и комплексов QRS электрокардиологических сигналов при синхронной регистрации нескольких отведений ЭКГ.

Впервые разработан критерий качества для осуществления оценки достоверности

распознавания структурных элементов рассматриваемых биомедицинских сигналов, а также предложены процедуры параметрической и структурной оптимизации метода структурной идентификации сигналов в кардиологических системах.

В диссертационной работе впервые разработаны структура, алгоритмы и программное обеспечение подсистемы структурной идентификации, в основе которой лежит предложенный метод выделения структурных элементов биомедицинских сигналов различной природы. Разработанная подсистема структурной идентификации биомедицинских сигналов является составной частью кардиологической системы и позволяет осуществить поиск заданных структурных элементов биомедицинских сигналов различной природы с целью их дальнейшей обработки.

При этом получена возможность накопления результатов обучения подсистемы структурной идентификации при распознавании структурных элементов одного типа сигналов с целью дальнейшего использования полученных данных для выделения информативных фрагментов других реализаций того же типа сигналов в кардиологических системах.

Реализованный в подсистеме метод структурной идентификации биомедицинских сигналов обеспечивает повышение качества классификации структурных элементов биомедицинских сигналов более, чем в 3 раза по сравнению с эвристическими алгоритмами, позволяющими решать аналогичную задачу.

Ключевые слова: кардиологическая система, биомедицинский сигнал, структурная идентификация сигналов, преобразование исходного пространства признаков, классификация, параметр, оптимизация.