УДК 681.518(045)

Т.І. Кульчицька, асп.
Л.М. Щербак, д-р, техн. наук, проф.

СТРУКТУРА ТА АЛГОРИТМ ВЗАЄМОДІЇ КАРДІОДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ В КОМПЛЕКСІ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО БУДИНКУ

Розглянуто обґрунтування структури та алгоритму взаємодії автоматизованої кардіодіагностичної системи в комплексі систем інтелектуального будинку.

Substantiation of structure and algorithm of co-operation of automatic cardiology diagnostic system in the complex of systems of an intelligent building were considered.

Вступ

Розвиток автоматизованих медичних діагностичних систем дає можливість їх використовувати в різних сферах життєдіяльності людини. Однією з актуальних проблем є включення такого роду систем до комплексу технічних систем інтелектуального будинку (ІБ) з метою отримання нової якості їх функціонування.

Аналіз досліджень

Створенню медичних діагностичних систем присвячено значну кількість наукових публікацій зарубіжних і вітчизняних дослідників. Ця науково-технічна проблема стала особливо важливою сьогодні, і це пов'язано з тим фактом, що за деякими характеристиками оцінювання стану людини серцево-судинні хвороби впевнено займають перше місце.

Значний внесок у розвиток автоматизованих діагностичних систем стану серця внесли Х. Піпбергер, Ц.Касерес, Л. Дрейфус, І. Пінскер, В. Шакін, М. Прімін, М. Амосов та багато інших [1].

З огляду літературних джерел [2−5] встановлено, що не всі задачі автоматизованого оброблення електрокардіосигналів (ЕКС)розв'язані в повному обсязі, є також питання більш широкого використання таких систем.

Постановка завдання − обґрунтувати структуру та алгоритм взаємодії автоматизованої кардіодіагностичної системи (АКДС) у комплексі систем ІБ.

Результати досліджень

Типове рішення технічного устаткування ІБ − це сукупність автономних систем, які зазвичай об'єднані єдиною системою керування [6].

Автоматизовану кардіодіагностичну систему пропонується включити до типової системи ІБ як відповідну медичну систему для вирішення завдань медичної експрес-діагностики. Тоді з урахуванням АКДС структурна схема ІБ має вигляд, як показано на рис. 1.

Тепер слід розглянути будову АКДС та принцип взаємодії АКДС з автоматизованою системою керування комплексом.

Структура АКДС може бути подана схемою, як показано на рис.2.

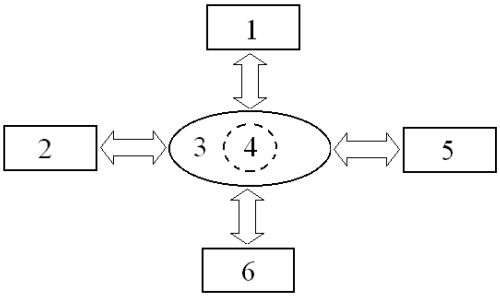

Рис. 1. Структура технічних систем ІБ з урахуванням АКДС:
1 – комплекс систем життєзабезпечення;
2 – комплекс систем безпеки;
3 – автоматизована система керування;
4 – інформаційно-вимірювальна система;
5 – комплекс систем інформатизації;
6 – система медичної експрес-діагностики

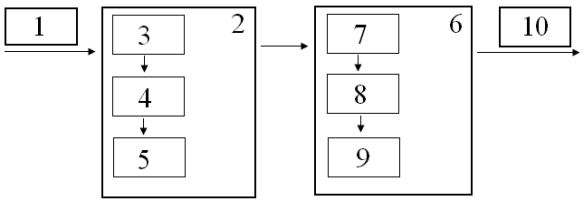

Рис. 2. Будова АКДС:
1 – аналоговий ЕКС;
2 – блок підсилення та перетворення;
3 – підсилення;
4 – попередня фільтрація від завад;
5 – перетворення в цифровий сигнал;
6 – блок обробки;
7 – спеціалізоване ПЗ;
8 – зареєстрований ЕКС;
9 – параметри ЕКС;
10 – результати експрес-діагностики

©Т.І. Кульчицька, Л.М. Щербак, 2008

Принцип функціонування такої АКДС можна подати таким чином.

Аналоговий ЕКС, який знімається з електродів, розміщених на поверхні тіла людини, надходитиме у блок підсилення та перетворення (блок попередньої обробки), де він підсилюватиметься, проходитиме попередню фільтрацію від завад та перетворюватиметься в цифровий сигнал.

Цифровий ЕКС надходитиме у блок обробки, а саме: персональний комп'ютер. Після проведеної обробки, яка реалізовуватиметься спеціалізованим програмним забезпеченням (ПЗ), на дисплеї монітора відображатиметься інформація:

− зареєстрований ЕКС;

− діагностичні параметри ЕКС;

− попередній висновок про функціональний стан серця.

Ця інформація передаватиметься в автоматизовану систему керування ІБ, яка за допомогою відповідного ПЗ у разі потреби буде проводити телефонний дозвін на станцію невідкладної медичної допомоги.

Отже, ЕКС − це реалізація випадкового процесу, під час відбору якого поряд з корисним сигналом реєструватимуться завади, обумовлені різноманітними факторами біологічного та технічного походження [7].

Очевидно, що аналіз ЕКС має передбачати якісне та кількісне оцінювання отриманих даних. Якісне оцінювання полягатиме в інтерпретації форми виявлених традиційних в медичній практиці так званих QRS-комплексів (зон Q, R, S). Кількісне оцінювання полягатиме у вимірюванні показників амплітуд та тривалостей виявлених зубців (зон Q, R, S), обрахунку коефіцієнтів: Q/R, R/S…

До діагностичних ознак (детермінований підхід), які використовуватимуться в АКДС, належать:

− кривизна лінії зубців;

− інтервали (тривалості) хвиль (зубців) та комплексів;

− амплітуди зубців;

− площі під зубцями;

− кут хвилі P, QRS-комплексу.

Для аналізу QRS-комплексу, зон P, T обчислюватимуться відповідні площі над та під ізопотенціальною лінією (рис. 3).

Для визначення швидкості зміни ЕКС в межах QRS-комплексу використовують різницеві функції певних порядків.

У разі застосування статистичних методів обробки ЕКС (стохастичний підхід), діагностичними ознаками є усереднені значення відповідних характерних елементів електрокардіограми, що виміряні в декількох середніх циклах, наприклад, тривалості зубців, комплексів тощо.

Діагностичними ознаками при цьому підході є середня тривалість *R-R* інтервалу, дисперсія *R-R* інтервалу, коефіцієнт асиметрії, ексцесу, коефіцієнт варіації, амплітуда моди та ін. І саме на основі аналізу отриманих ознак прийматиметься діагностичний висновок про стан серця.

Спеціалізоване ПЗ АКДС, має грунтуватися на методах обробки досліджуваних ЕКС, які розробляються на основі математичних моделей.

Під час розробки математичних моделей ЕКС тепер впроваджуються стохастично періодичні випадкові процеси, тобто такі процеси, в яких певні ймовірнісні характеристики є періодичними функціями в часі. Такі моделі тою чи іншою мірою враховуватимуть наявність циклічності в часовій структурі ЕКС.

Відомими моделями сигналів є адитивні, мультиплікативні та адитивно-мультиплікативні суміші стаціонарного в широкому розумінні випадкового процесу $\{\xi_1(\varpi,t),\ \varpi\in\Omega,\ t\in R\}$ та детермінованих періодичних функцій $f(t),\ g(t)$:

− адитивна модель:

$\xi(\varpi,t)=f(t)+\xi_1(\varpi,t),\quad \varpi\in\Omega,\ t\in R$;

− мультиплікативна модель:

$\xi(\varpi,t)=g(t)+\xi_1(\varpi,t)\quad \varpi\in\Omega,\ t\in R$;

– адитивно-мультиплікативна модель:

$\xi(\varpi,t)=f(t)+g(t)\cdot\xi_1(\varpi,t),\ \varpi\in\Omega,\ t\in R$.

Але рівень досягнень у галузі обробки ЕКС потребує більш глибоких досліджень і нових ідей.

Під час побудови АКДС важливим завданням є створення спеціалізованого ПЗ, яке б ґрунтувалося на більш досконалих математичних моделях сигналів серця та методах їх оброблення.

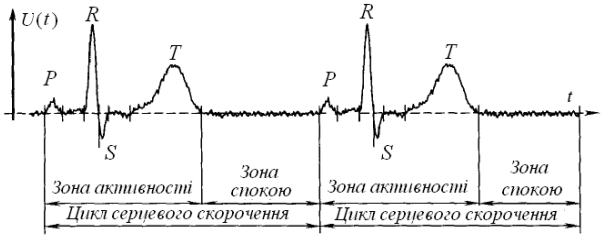

Рис. 3. Схематичне зображення двох циклів ідеалізованого ЕКС здорової людини з позначенням діагностичних зон

Від вибраної математичної моделі та розроблених на її основі методів значною мірою буде залежати точність та достовірність результатів комп'ютерної діагностики.

Математична модель ЕКС повинна враховувати такі вимоги:

– стохастичну природу сигналу, яка властива сигналам біологічного походження;

– циклічну, зонну часову структуру реалізацій ЕКС, яка відображає фазову структуру роботи серця.

Імітаційне моделювання ЕКС слід проводити на персональному комп'ютері для потреб тестування методів їх обробки та навчання систем розпізнавання біометричних образів [8].

Вимоги до методів обробки ЕКС такі:

– проводити обробку в часовій області, що дозволить лікарю-діагносту оперувати ознаками захворювань, які використовуються та добре досліджені в медицині;

– проводити обробку з адаптацією під особливості реалізації ЕКС кожної людини, що певним чином дозволить усунути завади, обумовлені впливами біологічного та технічного походження;

– проводити обробку, стійку до наявності шуму в корисному сигналі;

– проводити обробку згідно з практикою роботи лікаря-діагноста, як у випадку традиційного визначення діагностичних зон за зареєстрованою електрокардіограмою на паперовій стрічці.

Отже, моделлю, яка враховує часову структуру сигналу, є адитивна суміш лінійних випадкових функцій.

Математична модель ЕКС являє собою адитивну суміш лінійних випадкових процесів $\xi_j(\omega,t)$, які є моделями ЕКС в *j*-х фазах роботи серця [8–10]:

$$\xi(\omega,t)=\sum_{j=1}^{Z}\xi_j(\omega,t),\ \omega\in\Omega,\ t\in[0,\infty);$$

$$P\left\{\xi_j(\omega,t)=\begin{cases}\xi(\omega,t), & t\in[t_{j-1};t_j)\\ 0, & t\notin[t_{j-1};t_j)\end{cases}\right\}. \qquad (1)$$

Урахування зонної часової структури кардіосигналів моделі (1) дозволяє проводити високоінформативну прицільну діагностику окремо по кожній фазі роботи серця. На її основі розроблено методи морфологічного та статистичного аналізу тривалостей діагностичних зон реалізацій ЕКС, запропоновано діагностичні ознаки для створення методів діагностики серцевих захворювань [8–10].

Проте необхідною інформацією для ефективного застосування розроблених на базі такої моделі методів є наявність інформації про моменти часу, що відповідають початку та кінцю кожної діагностичної зони ЕКС. Робота серця має циклічний характер, що відображається у почерговому скороченні серцевого м'яза та синхронізованому цим процесом наповненні [2].

Повний цикл скорочення серцевого м'яза – це серцевий цикл (кардіоцикл). У будь-якому серцевому циклі можна виділити *Z* фаз роботи серця, які розміщені послідовно в часі одна за одною. Кожна фаза роботи серця триває певний проміжок часу. Залежно від фази, в якій перебуває серце, часова структура реалізацій ЕКС суттєво змінюється, що проявляється в наявності характерних для цієї фази ознак часової структури реалізації ЕКС. Ділянки реалізації ЕКС, які відповідають певним фазам роботи серця і характеризуються чіткими ознаками, що дозволяють розрізнити фази між собою, називають зонами. Кількість таких зон *Z* для різних ЕКС різна й обумовлена кількістю діагностичних зон на зареєстрованій реалізації (рис. 4).

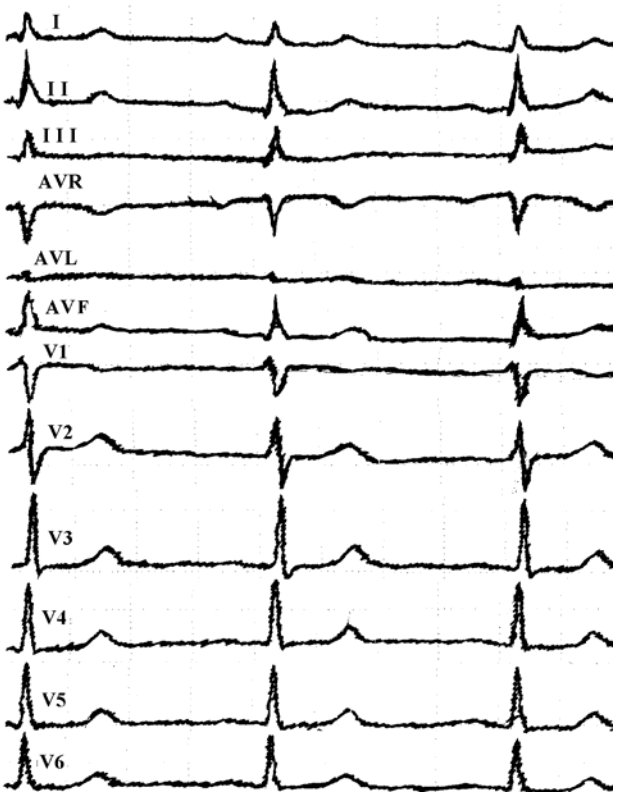

Рис. 4. Зареєстрований ЕКС

На ЕКС можна виділити дві основні зони (електричної активності та спокою), з яких складається серцевий цикл. За результатами обробки ЕКС лікар ставить такий діагноз (див. таблицю):

Характеристики ЕКС

Частота серцевих скорочень				72 (72–73) уд./хв				
Коливання тривалості інтервалів *R-R*				2 %				
Тривалість, с								
R-R		0,0828		Норма Q–T		0,364–0,436		
P-Q		0,164		Зубець P		0,074		
Q-T		0,352		Комплекс QRS		0,088		
Амплітуда, мм								
	P+	P–	Q	R	R1	S	T+	T-	ST
I	0,8	–	–	4,2	–	–	1,2	–	0,1
II	0,6	0,8	1,4	9,0	–	–	1,7	–	– 0,3
III	0,3	0,2	0,7	5,0	–	–	0,3	–	0,0
AVR	0,7	0,6	–	1,6	–	6,3	–	1,4	0,0
AVL	0,4	–	–	1,9	–	–	0,4	–	– 0,1
AVF	0,3	–	1,0	7,0	–	–	1,0	–	– 0,2
V1	–	0,5	–	2,7	–	6,0	–	0,4	0,4
V2	0,4	–	–	7,2	–	5,8	2,5	–	0,3
V3	0,5	–	0,3	12,0	–	2,2	3,0	–	– 0,2
V4	0,5	–	–	11,3	–	0,8	2,4	–	0,6
V5	0,5	–	0,4	10,4	–	0,6	2,4	–	0,1
V6	0,5	–	0,2	9,0	–	–	2,0	–	0,2

1) синусів ритм;
2) кількість серцевих скорочень 72 уд./хв;
3) тиск 100/70;
4) помірні зміни міокарда.

Висновки

Обґрунтовано структуру та алгоритм взаємодії АКДС в комплексі систем ІБ. Розглянуто поняття та параметри ЕКС. Розглянуто приклад ЕКС з визначенням статистик. Визначено, що система моніторингу основних показників життєдіяльності людини є необхідною складовою комплексу ІБ.

Література

1. *Практическое* руководство по клинической электрокардиографии / А.З. Чернов, М.И. Кечкер, Е.А. Александрова и др. – М.: Медицина, 1971. – 207 с.
2. *Біометричні* сигнали та їх обробка / В.Г. Абакумов, В.О. Геранін, О.І. Рибін та ін. – К.: ТОО «ВЕК+», 1977. – 349 с.
3. *Амиров Р.З.* Электрокардиотопография. – М.: Медицина, 1965. – 143с.
4. *Автоматическая* диагностика инфаркта миокарда по ЭКГ / Л.Г. Асеева, Н.Е. Баринова, М.И. Кечкер и др. // Математическая обработка медико-биологической информации. – М.: Наука, 1976. – С. 39–41.
5. *Ахутин В.М., Богдановский Э.М., Шкапин Б.Ф.* Сравнение методов статистического анализа электрокардиосигналов // Биофизика. – 1968. – Т. 13, № 4. – С. 706–711.
6. *Кульчицька Т.І., Щербак Л.М.* Задачі аналізу функціонування технічних систем "інтелектуального будинку" // Вісн. НАУ. – 2006. – № 2 (28). – С. 9–14.
7. *Дубровин Э.Д.* Некоторые вопросы борьбы с помехами от движений при длительных ЭКГ-исследованиях // Радиоэлектронные приборы для биологических и медицинских исследований. – М.: Наука, 1966. – С. 18–29.
8. *Литвиненко Я.В.* Моделювання та методи визначення зонної часової структури електрокардіосигналу в автоматизованих діагностичних системах: дис. … канд. техн. наук: 01.05.02. – Т.: Терноп. держ. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2005. – 209 с.
9. *Литвиненко Я.В., Луценко С.А., Щербак Л.М.* Моделювання та обробка циклічних сигналів серця на ЕОМ // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.–Хмельницький: Навч. кн., – 2000. – № 3. – С. 160–167.
10. *Лупенко С.А.* Моделювання та методи обробки циклічних сигналів серця на базі лінійних випадкових функцій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02. – Т.: Терноп. держ. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2001. – 20 с.

Стаття надійшла до редакції 21.01.08.