

Теорія сигналів і систем

УДК 621.391.8

Т.О. Терещенко, Ю.С. Ямненко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.

Спектральні методи обробки біотелеметричної інформації

В даній статті розглянуто спектральні методи обробки біотелеметричної інформації із застосуванням перетворення дискретних функцій в орієнтованому базисі (ОБ). Як приклад обробки біотелеметричної інформації розглянуто аналіз пульсограм. Запропоновано спосіб класифікації пульсограм за їх ОБ-спектрами. Пульсограма, що досліджується, відноситься до одного з відомих шаблонів за значенням коефіцієнта подібності. Для експрес-аналізу форми пульсограми (норма чи ні) запропоновано застосування узгодженого фільтра, кінцевою імпульсною характеристикою якого є функція зворотного ОБ-перетворення. Показано переваги в швидкодії як при класифікації пульсограм, так і при експрес-діагностиці стану людини у порівнянні з відомими методами. Бібл. 3, табл.2, рис. 2.

Ключові слова: спектральні перетворення; біотелеметрична інформація; узгоджений фільтр; пульсограма.

Вступ

В теперішній час ведуться активні розробки по створенню нових засобів медичного забезпечення з використанням комп'ютерної техніки та інформаційних технологій. При цьому значну роль відіграють методи кореляційного і спектрального аналізу. Істотним недоліком сучасних методів є тривалий час аналізу та відповідно невисока швидкодія, а в окремих випадках – неможливість працювати в режимі реального часу.

Тому створення нових швидкодіючих методів, орієнтованих на застосування у інформаційно-керуючих системах прийняття рішень щодо визначення фізіологічного стану людини у реальному часі, є надзвичайно актуальною задачею. Одним з аспектів цієї задачі є розробка та застосування методів обробки даних, в тому числі із залученням положень спектрального аналізу

Спектральному аналізу дискретних функцій присвячені роботи Брейсуелла Р., Фараджева Р.Г., Трахтмана А.М., Хармута Г.Ф. та інших

вчених. Проте адаптація методів спектрального аналізу для обробки біомедичної інформації потребує розробки нових ефективних та швидкодіючих методів.

Мета роботи – розробка швидкодіючих методів обробки біотелеметричної інформації на прикладі дослідження пульсограм, їх класифікації та експрес-діагностики стану людини.

Спектральні методи обробки дискретних функцій

Типовою задачею обробки біомедичних сигналів є класифікація даних з датчиків з метою діагностування та оцінки важкості стану людини. При цьому необхідно виконати порівняння отриманого сигналу з іншими сигналами, які описують функціональні фізіологічні стани (порушення функціонування, наявність патології, критичний стан). Прискорити обробку даних можна шляхом переходу до спектральної області та побудови узгоджених фільтрів, які дозволяють суттєво підвищити швидкодію обчислення згорткових сум.

Серед спектральних методів найбільш відомим є перетворення Фур'є, яке, однак, не може забезпечити високої швидкодії обчислень при великих обсягах даних внаслідок оперування з комплексними числами та великої кількості значень базисних функцій на інтервалі визначення сигналу. Навіть застосування швидких перетворень не забезпечує обробку великих обсягів даних у реальному часі, як цього вимагають задачі біотелеметрії.

Альтернативою застосування перетворення Фур'є є спектральні перетворення дискретних функцій модульного аргументу, серед яких – перетворення Уолша, Віленкіна-Крестенсона, симетричне перетворення на кінцевих інтервалах та перетворення в орієнтованому базисі (ОБ) [1]. Найбільш перспективним з точки зору підвищення швидкодії є ОБ-перетворення. Це пояснюється тим, що при виборі значення $m = 3$ (інтервалі визначення сигналів $N = 3^n$) операції множення повністю виключаються, оскільки значення базисних функцій прямого і зворотного перетворень приймають лише значення 0, +1,

-1, -2. Крім того, серед всіх значень базисних функцій прямого перетворення присутні близько 1/3 нулів, що додатково спрощує обчислення спектрів дискретних функцій. Тому обчислення прямого і зворотного перетворень виконуються лише за допомогою операцій додавання, віднімання і зсуву ліворуч (множення на 2), що значно підвищує швидкість обробки даних в порівнянні з іншими спектральними методами. По швидкодії перетворення в орієнтованому базисі сумірне з перетворенням Уолша, проте на відміну від нього може оперувати з інтервалом, кратним не 2, а будь-якого простому числу m . Обчислювальні операції виключно з цілими числами (при $m = 3$) підвищують точність і швидкодію обробки даних. Ця обставина, а також ортогональність базисних функцій дозволяють ефективно використовувати нове перетворення в різноманітних системах обробки сигналів, наприклад, в системах, що містять узгоджені фільтри. У завданнях біотелеметрії ОБ-перетворення дає можливість виконати порівняння сигналів, отриманих з датчиків, з медичними шаблонами і елементами баз даних патологічних станів, забезпечуючи при цьому високу швидкодію та експрес-діагностику фізіологічного стану в реальному часі.

Дослідження пульсограм

Аналіз та дослідження пульсограм є одним з найбільш розповсюджених та інформативних методів діагностики, який дозволяє виявити патологічні та критичні стани окремих органів та систем, оцінити діяльність серцево-судинної системи та організму в цілому, фізіологічний та психологічний стан людини.

Існуючі методи обробки пульсограм дозволяють, як правило, дати тільки їх якісну оцінку. Однак для постановки діагнозу необхідно аналізувати послідовність пульсових хвиль, порівнюючи кожну з них з відомими типами – шаблонами пульсових хвиль. При цьому можна діагностувати такі важкі стани, які потребують негайного медичного втручання: недостатність клапанів аорти, різкі коливання артеріального тиску, важка серцева недостатність, гіповолемічний шок, тощо [2].

З урахуванням ступеню вираженості пульсу (сильний-слабкий) та полярності сигналу (позитивний-негативний) виявляють 24 види пульсових хвиль, які потрібно розрізнити між собою.

Послідовність кроків обробки порівняння пульсограм наступна:

1. Отримання дискретного (дискретизованого) сигналу пульсової хвилі $y(x)=\{y_0, y_1, \dots, y_{N-1}\}$ та визначення кількості відліків на інтервалі N .

2. Визначення типу полярності сигналу та нормування. За середнім значенням

$$Y(0) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} y(x) \quad (1)$$

пульсограма відноситься до однієї з 2 категорій: з перевагою позитивної (при $Y(0) \geq 0$) та негативної енергії (при $Y(0) < 0$). Далі дискретизований сигнал нормується за максимальною по модулю амплітудою та за значенням амплітуди його підтип відноситься до сильного або слабого. Таким чином, задача ідентифікації типу пульса приводиться до аналізу форми кривої нормованої пульсограми [3].

3. Аналіз форми пульсограми залежить від медичної задачі. Так, пульсові сигнали променевої артерії, що відображають наявність артеріальної гіпертензії в дитячому та підлітковому віці, поділяються на 6 типів [3]. Типи експериментально отриманих пульсограм наведено у першій колонці табл. 1. У [3] показано, що перші два типи найбільш вірогідні при артеріальній гіпертензії, останні два – найменш вірогідні.

Аналіз полягає в обчисленні ОБ-спектрів шаблонів та визначення ступеню схожості сигналу, що досліджується, з шаблонами. ОБ-спектри обчислюються за формулою:

$$Y(v) = F_d y(x), \quad (2)$$

де $y(x)$ – відліки дискретного нормалізованого сигналу,

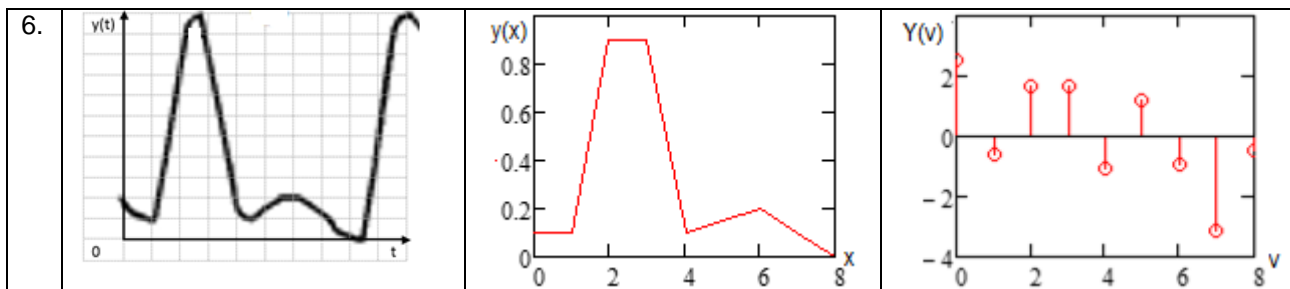
$$F_d = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 \end{bmatrix} -$$

- матриця базисних функцій прямого ОБ-перетворення, кожний рядок якої являє собою одну функцію $\varphi_d(v,x)$ (аналогічно матриця базисних функцій зворотного перетворення F_r складається з функцій $\varphi_r(v,x)$).

Обчислені таким способом спектри для всіх типів шаблонів пульсограм зведено в табл.1

Таблиця 1. Типи пульсограм та їх спектри

№	Шаблонні типи пульсограм	Нормовані спектрограми $y(x)$	ОБ спектри $Y(v)$
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			



Визначимо, до якого типу можна віднести пульсограму (рис.1). Для цього обчислимо її ОБ-спектр та коефіцієнт подібності з кожним шаблоном (табл. 2).

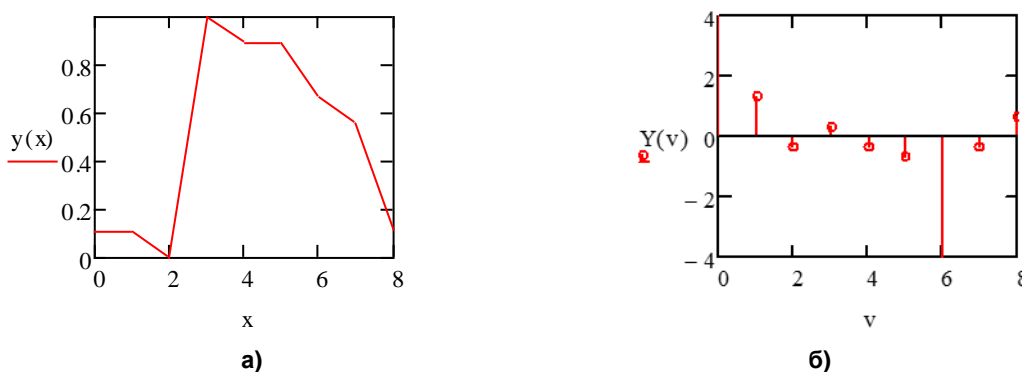


Рис. 1. Досліджувана пульсограма (а) та її ОБ-спектр (б)

Таблиця 2. Коефіцієнти подібності

Пульсограма	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5	Тип 6
Коефіцієнт подібності	0,777	0,62	0,427	0,334	0,544	0,451

Як видно з табл. 2, найбільше значення має коефіцієнт подібності поточної пульсограми з шаблоном типу 1.

Обчислення спектру за формулою (2) містить лише операції додавання і зсуву (множення на 2), тому займає мало машинного часу. Найбільш вагомий вклад в швидкодію визначення форми пульсограми вносить порівняння відпиків. В часовій області для цього потрібно N порівнянь. В спектральній області максимальна кількість порівнянь складає $N-1$, оскільки відлік $Y(0)$, обчислений за формулою (1), є середнім значенням всіх відпиків і не несе інформацію про форму пульсограми. Зазначимо, що кількість порівнянь зменшується тоді, коли спектр шаблону містить нульові або порівняно малі значення відпиків. Наприклад, в спектрі типу 3 лише три вагомих відліки (див. табл.1). Таким чином, у випадку вибору інтервалу визначення дискретної функції $N=3^2$ кількість порівнянь зменшується на величину від 11% до 67% в залежності від типу пульсограми.

Використання узгоджених фільтрів для пульсової експрес-діагностики

Теорія побудови узгоджених фільтрів може успішно використовуватися для порівняння медичних сигналів, що описують фізіологічний стан людини, з шаблонними сигналами. З точки зору діагностики стану людини у надзвичайних ситуаціях важливою є швидкість прийняття рішення. В цьому аспекті важливими та інформативними величинами є параметри пульсової хвилі

Існуючі методи аналізу пульсових хвиль характеризуються недостатньою швидкодією з точки зору проведення експрес-діагностики та якнайшвидшого визначення критичного стану людини [2]. Задача ускладнюється наявністю завад, спричинених властивостями органів і тканин, що оточують судини, а також особливостями вимірювання пульсу. Тому узгоджені фільтри на базі спектрального перетворення дискретних сигналів можуть бути ефективно застосовані

само для швидкого діагностування фізіологічних станів за пульсограмами.

Імпульсні характеристики узгоджених цифрових фільтрів являють собою одну з ортогональних функцій. Нехай імпульсна характеристика фільтра являє собою деяку базисну функцію зворотного ОБ-перетворення $\varphi_r(v, x)$ при $v=r$. При надходженні на вхід фільтра функції $y_{in}(x) = \varphi_a(v, x)$ при $v = q$ реакція на виході $y_{out}(x)$ визначається виразом

$$y_{out}(x) = \begin{cases} 0, & p \neq q, \\ N \cdot \varphi_r(p, x), & p = q \end{cases} \quad (3)$$

Як видно з виразу (3), фільтр, узгоджений з базисною функцією зворотного перетворення, пропускає цю функцію без спотворень і не пропускає жодної іншої функції, тобто є оптимальним виділяючим фільтром, а при наявності за-

вад – оптимальним виявляючим фільтром, що максимізує відношення рівня сигналу до середньоквадратичного рівня шуму [1].

Зазначимо, що послідовність кроків 1,2 обробки пульсограм залишається незмінною, а на 3-му кроці використовується узгоджена фільтрація.

В якості нормованої пульсограмми здорової людини, що відображає одне ударне биття пульсу, приймемо спрощену пульсограму (рис.2,а). Для обробки за допомогою узгодженого ОБ-фільтра її необхідно синхронізувати – нульовий відлік повинен відповідати першому максимальному значенню. (рис. 2,б). Тоді вигляд пульсограми буде відповідати базисній функції $\varphi_r(6, x)$ зворотного ОБ перетворення, а спектр буде містити лише один відлік $Y(6)$, рис. 2,в.

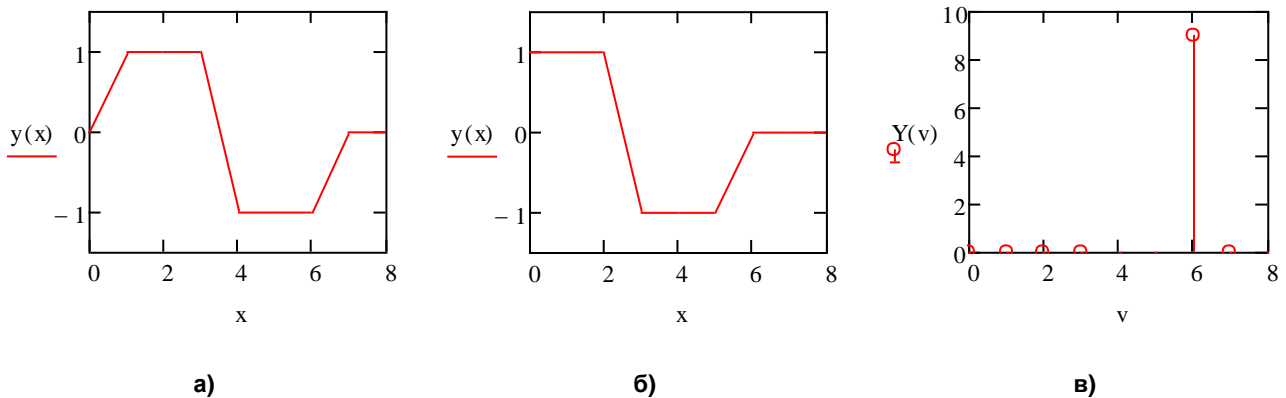


Рис. 2. Вигляд пульсограм (а,б) для експрес-діагностики та спектр пульсограми (в)

Імпульсна характеристика фільтра в цьому випадку визначається як $\varphi_r(6, x) = \{1, 1, 1, -1, -1, 0, 0, 0\}$, [1]. Як показало моделювання роботи узгодженого фільтра, його вихідний сигнал дорівнює N при надходженні сигналу (рис. 2,б) чи наблизиться до цієї величини при незначних відхиленнях.

Розглянутий спосіб узгодженої фільтрації використовує прості цілочисельні функції зі значною кількістю нульових елементів, внаслідок чого характеризується високою швидкістю та може використовуватися для діагностування фізіологічного стану в режимі реального часу.

Висновки

Показана перспективність застосування спектрального аналізу дискретних функцій з модульним аргументом в системах моніторингу біотелеметричної інформації про стан людини для

прискорення обробки медичної інформації. Використання перетворення в орієнтованому базисі має наступні переваги: при завданні інтервалу визначення дискретних функцій, кратного 3, базисні функції перетворення приймають лише цілі значення, що дозволяє при їх практичній реалізації використовувати недорогі цілочисельні мікроконтролери, а алгоритми обробки на основі ОБ-перетворення характеризуються більшою швидкістю і точністю.

На базі ОБ-перетворення розроблено швидкодіючі методи обробки біометричної інформації - класифікації пульсограм за ОБ-спектрами та експрес-діагностика стану людини на базі узгоджених фільтрів. Запропонований спосіб класифікації пульсограм дозволяє зменшити кількість порівнянь відліків на 11-67 %. Процедура обробки при експрес-діагностиці найбільш швидкодіюча і містить лише одне порівняння,

проте потребує синхронізації нульового відліку з максимальним значенням вхідного сигналу.

Список використаних джерел

1. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Преобразования дискретных сигналов на конечных интервалах в ориентированном базисе – К.: Аверс, 2003. – 274 с.
2. Мужичка Н. В., Нікітчук Т. М., Тимчик Г. С. Експрес-діагностика за пульсограмами з використанням методу фазової площини //

Вісник ЖДТУ: технічні науки. — 2011. — № 4 (59). — С. 66—70.

3. Десова А. А., Легович Ю. С., Разин О. С. Принципы формирования диагностически значимых признаков ритмической структуры пульсового сигнала // Проблемы управления., 2006, [выпуск 1](#), С. 69–75

Поступила в редакцию 19 июля 2016 г.

УДК 621.391.8

Т.А. Терещенко, Ю.С. Ямненко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
Проспект Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина.

Спектральные методы обработки биотелеметрической информации

В данной статье рассмотрены спектральные методы обработки биотелеметрической информации с применением преобразования дискретных функций в ориентированном базисе (ОБ). В качестве примера обработки биотелеметрической информации рассмотрен анализ пульсограм. Предложен способ классификации пульсограм по их ОБ-спектрам. Текущая пульсограмма относится к одному из известных шаблонов по значению коэффициента подобия. Для экспресс-анализа формы пульса (норма или нет) предложено применение согласованного фильтра, конечной импульсной характеристикой которого является функция обратного ОБ-преобразования. Показаны преимущества в быстрой обработке как при классификации пульсограм, так и при экспресс-диагностике состояния человека по пульсограмме в сравнении с известными методами. Библиография: 3, таблица 2, рисунок 2.

Ключевые слова: спектральные преобразования; биотелеметрическая информация; согласованный фильтр; пульсограмма.

UDC 621.391.8

T. Tereschenko, J. Yamnenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
37, Peremohy ave., Kyiv, 03056, Ukraine.

Spectral Methods for Processing of biotelemetrical data

The methods of biotelemetrical information processing using spectral transform of discrete functions in oriented basis (OB) is proposed in the article. As an example the analysis of pulse wave is considered. The method of pulse waves classifying by their OB spectrums is offered. The pulse wave refers to one of the known patterns by the value of similarity coefficient. For express analysis of the pulse wave shape (normal or not) use of matched filter is considered where finite impulse characteristics coincides with the function of inverse OB transform. The advantages in processing speed and in pulse waves classification and comparison with known methods are shown. Reference 3, Tables 2, Figures 2.

Keywords: spectral transform, biotelemetrical information, matched filter, pulse wave.

Reference

1. Zhujkov, V. Ya., Tereshchenko, T. A., Petergerya, Yu. S. (2003). Preobrazovaniya diskretnykh signalov na konechnykh intervalakh v orientirovannom bazise : Avers, P. 274. (Rus)
2. Muzhyts'ka, N. V., Nikitchuk, T. M., Tymchuk, H. S. (2011). Ekspres-diahnostyka za pul'sohramamy z vyko-rystannyam metodu fazovoyi ploshchyny. Visnyk ZhDTU: tekhnichni nauky. # 4 (59). Pp. 66—70
3. Desova, A. A., Legovich, Yu. S., Razin, O. S. (2006). Printsipy formirovaniya diagnosticheskikh znachimykh priznakov ritmicheskoy strukturyi pulsovogo signala. Problemyi upravleniya, vyipusk 1, Pp. 69–75. (Rus)