

МЕТОДИ ЕКОНОМНОГО КОДУВАННЯ ЕЛЕКТРОКАРДИОГРАМ ТА ЇХ ПЕРЕДАЧА КАНАЛАМИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України

Вступ. Стиснення біологічного сигналу, а особливо ЕКГ, відіграє значну роль у діагностиці, прогнозуванні та аналізі серцево-судинних захворювань. Використання того чи іншого методу дозволяє приймати, зберігати та передавати зашифровані сигнали. Однак у багатьох випадках процес стиснення призводить до таких негативних наслідків як надмірність інформації чи її втрата. Саме тому проблема відшукування ефективних методів стиснення даних сигналів біологічної активності серця є дуже актуальною [1-3].

Мета. Метою дослідження є розгляд методів економного кодування інформації та їх порівняльний аналіз за критеріями ступеню стиснення та міри помилок втрати.

Результати дослідження. Стиснення являє собою процедуру перекодування даних таким чином, щоб їх обсяг, об'єм та розмір були мінімальними. Технології стиснення даних поділяють на дві наступні категорії: без втрат (lossless) та з втратами (lossy). Стиснення без втрат дозволяє відновлювати інформацію з точністю до біта. Але при цьому коефіцієнт стиснення є дуже низьким. Методи ж стиснення із втратами використовують неточні наближення та значно перевершують попередні за ступенем стиснення.

Методи стиснення із втратами у свою чергу можна поділити на три основні класи [4, 5]: методи безпосереднього стиснення, трансформаційні методи та параметричні методи (рис. 1).

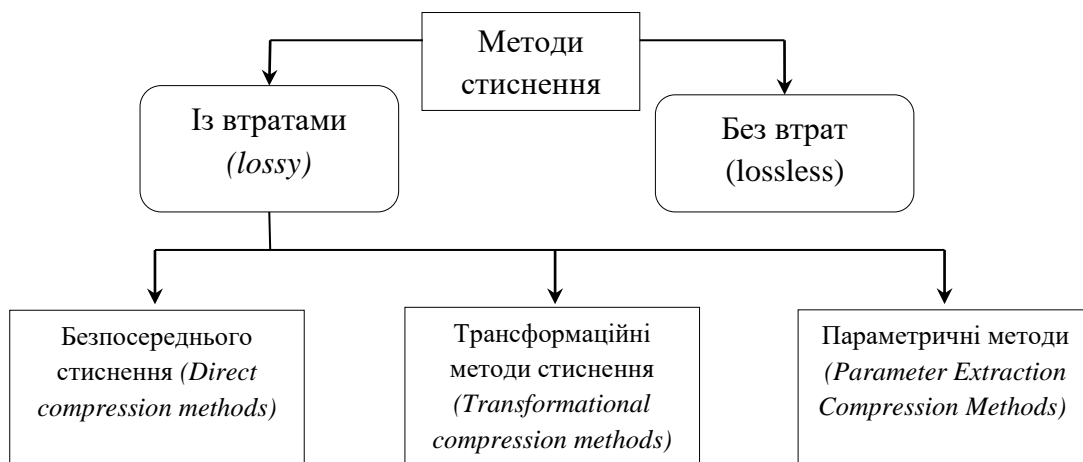


Рис. 1. Класифікація методів стиснення даних

1. *Методи безпосереднього стиснення* (Direct compression methods або Direct Data Compression Methods). До цього класу відносяться такі методи як: AZTEC, TP, CORTES, Peak-picking, Cycle-to-cycle, Entropy coding, TP, Slope, Fan і SAPA [6, 7].

Дані методи полягають в аналізі та стисненні даних безпосередньо на певних відліках сигналу. Тобто відбувається вилучення певних важливих відомостей із повного набору даних ЕКГ. Важливість даних визначається основним критерієм відбору. Відновлення сигналу відбувається за допомогою зворотного процесу. Успішність того чи іншого методу цієї групи полягає у виборі критерію відбору.

Наприклад, метод TP (The Turning Point Technique) використовується для обробки даних з метою зниження частоти дискретизації сигналу ЕКГ від 200 до 100 Гц без зниження висоти великої амплітуди QRS; забезпечує CR (ступінь стиснення) 2:1, PRD (відсоток середнього квадрату різниці) 5 і зберігає важливі характеристики сигналу ЕКГ. Це досягається заміною всіх трьох точок даних двома такими, які найкращим чином представляють нахил вихідних трьох. Друга з двох збережених точок використовується для

розрахунку наступних двох. Недолік методу полягає в тому, що збережені точки не є еквівалентними тимчасовим інтервалам.

Метод AZTEC (The Amplitude Zone Time Epoch Coding) перетворює вихідні дані ЕКГ в горизонтальні лінії та похилі. Забезпечує CR 5:1 і PRD 28 (200 Гц вибірки ЕКГ з 12 б). Однак ступінчаста реконструкція сигналу ЕКГ є неприйнятною для точного аналізу кардіологом, особливо в Р і Т частинах ЕКГ сигналу.

Метод CORTES (The Coordinate Reduction Time Encoding System) представляє собою гібридну техніку. Він поєднує у собі AZTEC і TP. При 200 Гц (12 біт) має стиснення 4,8: 1 і PRD 7.

Методи FAN і SAPA (Scan-Along Polygonal Approximation) є методами стиснення ЕКГ даних, які основані на інтерполяції першого порядку з двома ступенями свободи (FOI-2DF). При 250 Гц мають стиснення 3: 1 і PRD 4.

Метод SLOPE (метод кутів коефіцієнтів) враховує деякі сусідні вибірки, в якості вектора, і цей вектор розширюється, якщо наступний зразок потрапляє у межі цього вектора і поріг кута; в іншому випадку він обмежений у вигляді лінійного сегмента.

Метод Delta-кодування – модифікований метод для стиснення трипровідних (X, Y, Z) сигналів ЕКГ. Кожен раз, коли абсолютне значення різниці між послідовними зразками у будь-якому із трьох відведень ЕКГ сигналів перевищує сигнал заданого порогу, дані зберігаються. В іншому випадку дані вважаються надмірними, а тому видаляються.

Метод Ентропійного кодування (Entropy Encoding) – метод, в якому кодування Хафмана було застосовано до частих наборів кодових слів, у той час як фіксована довжина слова кодування застосовувалася до набору, що рідко зустрічається. Ступінь стиснення даних у ньому складає 2,8:1 при використанні 250 Гц вибірки ЕКГ (10 б).

2. *Трансформаційні методи стиснення* (Transformational compression methods або Transform Methods). До цього класу відносяться методи: KLT, DCT, WT, FT, Fourier descriptor, VQ (vector quantization).

Перетворюють сигнал тимчасової ділянки на частоту або інші ділянки та аналізують розподіл енергії. Методи трансформації включають обробку сигналу на вході за допомогою лінійного ортогонального перетворення та кодування, використовуючи відповідний критерій помилки на виході. Для відновлення сигналу здійснюється зворотне перетворення і сигнал відновлюється з деякою погрішністю.

Метод DCT (discrete cosine transform) реалізовує високий ступінь стиснення але накопичує багато помилок, які впливають на низькочастотні компоненти і мають значний вплив на PRD після реконструкції сигналу.

Метод KLT (Karhunen–Loeve Transform) є оптимальним перетворенням, так як у ньому мінімальне число ортогональних функцій, необхідних для представлення вхідних сигналів для даної середньоквадратичної помилки. Крім того, результати KLT в декорельованих коефіцієнтах перетворення мають кращий показник, ніж у будь-якому іншому перетворенні. Однак, обчислювальні витрати, необхідні для розрахунку KLT базисних векторів (функцій) дуже значні. Має ступінь стиснення 3.0 при використанні 250 Гц вибірки.

Перетворення Фур'є (FT – Furier Transform) – взаємно однозначний перехід від деякої функції $y(t)$ дійсного аргументу t до іншої функції $Y(f)$, аргумент якої $f = 1/t$ [8].

Розрізняють дискретне перетворення Фур'є (DFT – Discrete Fourier Transform), швидке перетворення Фур'є (FFT – Fast Fourier Transform) та локальне перетворення Фур'є (STFT – Short-Time Fourier Transformation).

Переваги методу: досягнення високих коефіцієнтів стиснення, застосування часового «вікна», яке дозволяє оцінити зміну спектру сигналу в різних фазах кардіоциклу.

Недоліки: метод використовує фіксоване «вікно», яке не може бути адаптоване до локальних властивостей сигналу та в силу великої кількості змінних [9, 10] досить складний для подальшого дослідження, вимагає великого обсягу обчислень.

Метод Вейвлет-перетворення (WT – Wavelet Transformation) розкладає дані сигналу на базисні функції. Основним завданням є відшукування такої функції, котра виконає оптимальний розклад.

Існує два типи вейвлет-перетворення: безперервне вейвлет-перетворення (CWT – Continuous Wavelet Transform) і дискретне вейвлет-перетворення (DWT – Discrete Wavelet Transform).

Вейвлет-перетворення стискає всі види ЕКГ із середнім PRD та середнім ступенем стиснення, що є набагато кращим, ніж інші методи. Однак, при використанні вейвлет-перетворення існують певні проблеми, розглянуті у праці [8].

3. *Параметричні методи стиснення* (Parameter Extraction Compression Methods). До цього класу відносяться такі методи як: peak detection, linear prediction method, syntactic method (neural network method).

Ці методи передбачають вибір певних особливостей і параметрів сигналу. Добуті параметри у подальшому використовуються для класифікації, основаної на попередньому знанні особливостей сигналу.

Метод Peak Picking – методи збору, що зазвичай базуються на дискретизації безперервного сигналу на піках та інших значимих точках. При порівнянні продуктивності даного методу стиснення з методом AZTEC одержано, що середньоквадратична помилка методу є приблизно такою ж, як і AZTEC за тією ж CR [8].

У методі довготривалого прогнозування (LTP – Long Term Prediction) періодичність ЕКГ-сигналу використовується в цілях подальшого скорочення надмірності, створюючи високу ступінь стиснення. Було виявлено, що помилка PRD (при частоті дискретизації 250 Гц) LTP нижча за звичайне лінійне передбачення (короткостроковий прогноз-STP) при будь-якій швидкості передачі даних.

Певною мірою до цього ж класу можна віднести метод стиснення ЕКГ, запропонований у роботі [11], який передбачає генерацію штучної ЕКГ реалістичної форми з використанням несиметричних гаусових функцій

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

при обмеженнях

$$0 \leq t_P^{(1)} < t_P^{(2)} \leq t_Q^{(1)} < t_Q^{(2)} = t_R^{(1)} < t_R^{(2)} = t_S^{(1)} < t_S^{(2)} = t_{ST}^{(1)} \leq t_{ST}^{(2)} \leq t_T^{(1)} < t_T^{(2)} \leq t_0,$$

де t_0 – загальний час (мс) $z(t)$.

Висновки. Кожен із методів стиснення ЕКГ має як переваги, так і недоліки, тому вибір того чи іншого методу стиснення визначається конкретною метою застосування.

У результаті проведеного аналізу, подальші дослідження передбачається спрямувати на вивчення споживчих якостей методу економного кодування ЕКГ основаного на оцінці та передачі вектора оптимальних параметрів моделі породження циклу штучної ЕКГ реалістичної форми [11].

1. Chaturvedi Ranjana A SURVEY ON COMPRESSION TECHNIQUES FOR ECG SIGNALS / Ranjana Chaturvedi, Mrs. Yojana Yadav // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2013. – Vol. 2. – Issue 9. – P.3511-3513.
2. Karishma Qureshi Efficient data compression of ECG signal using Discrete Wavelet Transform / IJRET. – 2013. – Volume 2. – Issue 4. – P. 696-699.
3. Mayur Kumar Chhipa Performance Analysis of Various Transforms Based Methods for ECG Data / International Journal of Scientific and Research Publications. – 2013. – Volume 3. – Issue 5. – P. 1-6.

4. Vijay V. A Survey Paper on ECG Data Compression techniques and Proposing a New Method to achieve a Low PRD Value / V. Vijay, R. Bhavya, Singh Vipula // *International Journal of Advanced Computer Research*. – 2012. – Vol. 2. – Number 4. – Issue 6. – P. 254-260.
5. Khanam Ruqaiya ECG Signal Compression for Diverse Transforms / Ruqaiya Khanam, Syed Naseem Ahmad // *Information and Knowledge Management*. – 2012. – Vol. 2. – No. 5. – P. 1-10.
6. SangJoon Lee A Real-Time ECG Data Compression and Transmission Algorithm for an e-Health Device / Lee SangJoon, Kim Jungkuk, Lee Myoungho // *Transactions on biomedical engineering*. – 2011. – Vol. 58. – No. 9. – P. 2448-2455.
7. Rajankar S.O. An Optimized Transform for ECG Signal Compression / S.O.Rajankar, S.N. Talbar // *ACEEE Int. J. on Signal & Image Processing*. – 2010. – Vol. 01. – No. 03. – P. 33-36.
8. Файнзильберг Л.С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. – Киев: Наукова Думка, 2008. – 333 с.
9. Rychkov A.Y. Spectral Analysis of the Rate-flax ECG / A.Y. Rychkov, V.R. Tsybulski, O.I. Sergeichik, L.N. Kopylova // *Vestn. arhythmology*. – 2004. – №35. – P. 52.
10. Tsybulski V.R. The Study of the Dependence of the Frequency Characteristics of ECG changes in Segment ST / V.R. Tsybulski, O.I. Sergeichik, V.A. Kuznetsov // *Vestn Cybernetics*. – Tyumen: Publishing House of the IFSP, SB RAS, 2002. – №. 1. – PP. 38-45.
11. Файнзильберг Л.С. Технология построения телемедицинской системы на основе генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы. / Л.С. Файнзильберг // *Клиническая информатика и Телемедицина*. – 2012. – Т. 8. – Вып. 9. – С.89-98.
12. Abo-Zahhad Mohammed ECG Signal Compression Technique Based on Discrete Wavelet Transform and QRS-Complex EstimationSignal Processing / Mohammed Abo-Zahhad, Sabah M. Ahmed, Ahmed Zakaria // *An International Journal(SPIJ)*. – 2013. – № 2. – P. 138 – 160.
13. Brohet R. Comparison Between Two Classification Systems of the Electrocardiogram in Epidemiologic Investigations / R. Brohet, D. Janssens, Ph. Leclercq, S. Smets, H. Kulbertus, M.Jeanjean Zakaria // *An International Journal(SPIJ)*. – 2012. – № 7. –P. 158 – 161.
14. Pentti M. Rautaharju NOVA CODE Serial ECG Classification System for Clinical Trials and Epidemiologic Studies / M. Rautaharju Pentti, Harry P. Calhoun, Bernard R.Chaitman // *International Journal of Electronic Engineering Research*. – 2011. – Vol. 2. – Issue 9. – P. 179 – 187.
15. Priyanka Indu Saini Analysis ECG Data Compression Techniques / A Survey Approach *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2013. – Vol. 3. – Issue 2. – P. 544 – 548.
16. Yadwade B.R. A vertex selection method for compression of an Electrocardiogram signal for better communication / B.R. YADWADE, S.B. PATIL // *International Journal of Electronics, Communication & Instrumentation Engineering Research and Development (IJECIERD)*. – 2013. – Vol. 3. – Issue 1. – P. 31-36.
17. Yadwade R. Diagnosis of Cardiac Deceases by Using ECG Signal Compression for Effective Communication / R. Yadwade, S.B. Patil // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. –2013. – Vol. 2. – Issue 3. – P. 23 – 25.
18. Shubhada Ardhapurkar Electrocardiogram Compressionby Linear Prediction and Wavelet Sub-Band Coding Techniques / Ardhapurkar Shubhada, Manthalkar Ramchandra, Gajre Suhas // *Computing in Cardiology*. – 2011. – № 38. – P. 141 – 144.
19. Sharma Ms. Manjari Efficient Algorithm for ECG Coding / Ms. Manjari Sharma, Dr. A. K. Wadhvani // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. – 2011. – Vol. 2. – Issue 6. – P. 1 – 9.