

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВОГО АУДІО СИГНАЛУ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод фільтрації цифрового аудіо сигналу на основі вейвлет-перетворення, який дозволяє використовувати меншу кількість рівнів розкладання, ніж стандартне вейвлет-перетворення для досягнення максимально можливої якості фільтрації.

Ключові слова: аудіосигнал, вейвлет-перетворення, фрейм, неортонормований базис, комплексні вейвлети.

Abstract

A method of digital audio signal filtering based on the wavelet transform is proposed, which allows using a smaller number of decomposition levels than the standard wavelet transform to achieve the highest possible filtering quality.

Keywords: audio signal, wavelet transform, frame, non-rooted basis, complex wavelets.

Вступ

Одним із головних завдань цифрової обробки сигналів є видалення шуму, що особливо необхідне при відцифруванні старих аудіо записів. Одним з найбільш потужних інструментів для покращення якості звуку є вейвлет-функції.

Відмова від вимоги ортонормованості базису надає додаткові можливості при вирішенні практичних завдань. Наприклад, у випадку неортонормованих базисів (фреймів) вейвлет-перетворення може бути використане для зниження точності обчислення коефіцієнтів розкладання, але при цьому можна відновити вихідний сигнал з високою точністю під час зворотного перетворення [1]. Використання надмірності вейвлет-перетворення з фреймами може зробити методи вейвлет-фільтрації менш чутливими до випадкових спотворень "важливих" вейвлет-коефіцієнтів, що визначають ключові деталі інформаційного сигналу. Наприклад, в порівнянні з ортонормованими базисами і використанням граничних функцій для корекції вейвлет-коефіцієнтів, фрейми дозволяють зменшити ризик введення спотворень шляхом збереження менших за амплітудою коефіцієнтів (ризик порогової фільтрації). Використання фреймів зменшує ймовірність подібних спотворень. Через це фрейми або надмірні розкладання сигналів у базисі вейвлет-функцій знаходять застосування в задачах кодування та передачі інформації, де надмірність кодів є важливою для збереження переданої інформації, а також в завданнях стиснення даних і фільтрації шуму [2-4].

Результати дослідження

Прикладом надмірної вейвлет-перетворення є дискретне вейвлет-перетворення подвійної щільності (ДВПЩ) [5, 6].

Основна ідея дискретного вейвлет-перетворення подвійної щільності (ДВПЩ) полягає в розкладанні сигналу за допомогою однієї базисної функції та двох вейвлет-функцій, або, іншими словами, застосування одного низько-частотного (НЧ) фільтра та двох високо-частотних (ВЧ) фільтрів. Умови для цих фільтрів визначаються аналогічно умовам для вейвлетів Добеші:

$$\begin{aligned}\varphi(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \varphi(2t - n), \\ \psi_1(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \psi_1(2t - n), \\ \psi_2(t) &= \sqrt{2} \sum_n h_2(n) \psi_2(2t - n).\end{aligned}\tag{1}$$

У формулі (1) h_0 - НЧ-фільтр, і h_1 та h_2 - ВЧ-фільтри. При цьому ВЧ-фільтри можуть бути обрані з умови $h_2(n) = h_1(n-1)$, що можна інтерпретувати як розкладання сигналу, при якому на новому рівні розкладання здійснюється проріджування тільки апроксимуючих коефіцієнтів (коефіцієнтів розкладання по скейлинг-функції), тоді як деталізуючі коефіцієнти (коефіцієнти розкладання по вейвлет-функціях) зберігаються в повному обсязі (рис. 1).

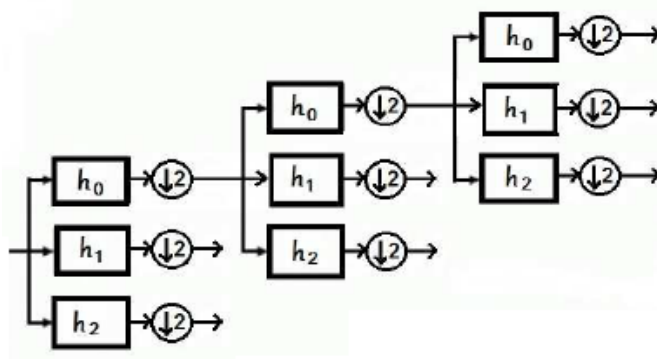


Рис. 1. Схема розкладання сигналу в рамках 1D-ДВПШЦ (наведено 3 рівня розкладання)

У деяких дослідницьких роботах відмічаються переваги комбінованих алгоритмів [7], які використовують ДВПШЦ з одного боку та ідеологію доповнення вейвлетів та скейлинг-функцій уявними частинами, спряженими за Гільбертом, з іншого боку. Це дозволяє створювати більш потужні інструменти цифрової обробки сигналів, які вирішують проблеми, такі як відсутність інваріантності щодо зсуву, артефакти вейвлет-перетворення та інші. Одним з таких інструментів є комплексне вейвлет-перетворення подвійної щільності (КВПШЦ), яке може бути реалізовано як в одновимірному, так і в двовимірному варіанті. У випадку одновимірного КВПШЦ відзначається включення додаткового "дерева" розкладання сигналу з використанням уявних частин вейвлет-функцій. Схематично процедура розкладання сигналу за допомогою одновимірного КВПШЦ представлена на рис. 2.

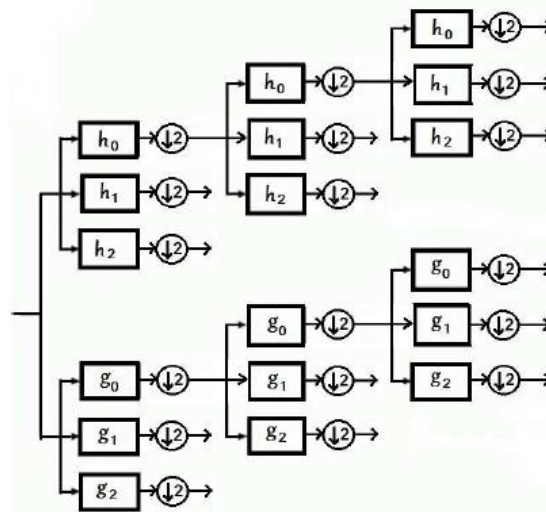


Рис. 2. Схема розкладання сигналу в рамках 1D-КВПШЦ (наведено 3 рівня розкладання)

Цей підхід комбінує ключові властивості дуального комплексного вейвлет-перетворення (ДКВП) та ДВПШЦ. Він ґрунтується на використанні двох різних скейлинг-функцій і чотирьох різних вейвлет-функцій. У цій схемі два вейвлети передбачають зміщення один відносно одного на $1/2$, тоді як інші два вейвлети формують пари, які мають властивість наближеного спряження за Гільбертом. Важливо відзначити, що одна пара з чотирьох вейвлетів зміщена відносно іншої пари, і її цілі зміщення вздовж часової вісі при розкладанні сигналу розташовані між цілими зсувами другої пари.

Раніше оцінки якості цифрової фільтрації здебільшого проводилися за допомогою розрахунку середньоквадратичної помилки відновлення сигналу. Проте, коли йдеться про мовні повідомлення, більш доцільним є використання додаткових критеріїв якості, серед яких можна виділити середню оцінку розбірливості мови (MOS) [8]. MOS представляє собою оцінку якісних характеристик роботи системи зв'язку, яка використовується для розмови або прослуховування мовного матеріалу і представлена у вигляді 5-бальної шкали.

Висновки

Проведено експериментальне дослідження методів вейвлет-фільтрації мовних сигналів, включаючи стандартний підхід, який використовує 1D-ДВП та бази вейвлетів Добеши, порівняно з підходом на основі 1D-КВППЩ.

Важливо відзначити, що в рамках методу 1D-КВПДП у всіх розглянутих прикладах максимальне значення MOS було досягнуто при меншій кількості рівнів розкладання. Це свідчить про те, що використання 1D-КВППЩ дозволяє досягти максимально можливої якості вейвлет-фільтрації при обмеженій кількості рівнів розкладання в порівнянні з 1D-ДВП.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Gonzales R.C. Digital Image Processing Using MATLAB. / Gonzales R.C., Woods R.E., Eddins S. /- Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2004 – 492 p.
2. Гармаш В. Метод фільтрації цифрових кольорових зображень [Електронний ресурс] / В. Гармаш, С. Пучко // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/8810>.
3. The information technology for image filtering and storing obtained under low light conditions [Electronic resource] / R. N. Kvetnyy, O. M. Bevz, V. V. Garmash [etc.] // Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019, 111760M (6 November 2019), <https://doi.org/10.1117/12.2536750>.
4. Lang, M. Noise reduction using an undecimated discrete wavelet transform / M. Lang, H. Guo, J. E. Odegard, C. S. Burrus, R. O. Wells, Jr. // IEEE Signal Processing Lett. – 1996. – Vol. 3(1). – P. 10-12.
5. Selesnick, I. W. The double-density dual-tree DWT / I. W. Selesnick // IEEE Trans. on Signal Processing. – 2004. – Vol. 52(5). – P. 1304-1314.
6. Selesnick, I. W. The double density DWT / I. W. Selesnick // Wavelets in Signal and Image Analysis: From Theory to Practice; Ed. By A. Petrosian, F. G. Meyer. – Kluwer, 2001.
7. Барченко К. В. Аналіз методів фільтрації зображень / Барченко К. В., Білошкурський С. С., Гармаш В. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 79. – ISSN 2226-9150.
8. Loizou, P. C. Speech enhancement. Theory and Practice (2-nd ed.) / P. C. Loizou. – Boca Raton: CRC Press, 2013.

Гончарук Денис Валентинович — студент групи ЗАКІТР-23м, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: honcharuk.denys.v@gmail.com

Гармаш Володимир Володимирович - канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Honcharuk Denys Valentynovych - Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : honcharuk.denys.v@gmail.com

Garmash Volodymyr Volodymyrovych - Ph.D. (Eng), Assistant Professor of Department of Automation and Intelligent Information Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.