



М. Троцько, кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу військової частини А0785,
А. Нарезний, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
 Харківський національний університет імені В.М. Каразіна,
Р. Трищ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації,
 Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

Розв'язується наукова задача застосування методу синхронізації еталонними сигналами часу за каналами цифрового телебачення на основі використання приймача-компаратора сигналів цифрового телебачення. До складу класичного приймача сигналів цифрового телевізійного мовлення пропонується включення мультипроцесорної збірки цифрових сигнальних процесорів, за допомогою якої емулюються штучні нейронні мережі прямого розповсюдження, що відокремлюють еталонні сигнали часу від решти зображень, що передаються.

During the researches is established an importance of implementation etalon time signals as the main way of unity time and frequency measurement maintenance in Ukraine. An analysis of existing methods and measures of time scale intervals accuracy improvement has shown the disadvantages of well-known modeling methods, based on least mean squares approximation technique and plant model linearization comparing to the advantages of

regulators, built up on artificial neural network and wavelet transform combination. The decision of time scale intervals accuracy improvement problem presented in this work based on artificial neural networks implementation. Therein lays a scientific task, which consists in development and improvement the time scales synchronization method by etalon time signals, transmitted by digital television channels in Ukraine. The task has being solved during the researches by implementation of MPEG-2 digital images processing algorithm modification, based on exchange of two-dimensional discrete cosine transform to two-dimensional dyadic wavelet-transform. This allows receiving sure etalon time signal appearance identification in the image-carrier in real-time mode. The receiver-comparator of digital television signals, implemented the multiprocessor platform, which emulates the neurowavelet etalon time signal extraction structure is proposed. Such decision allows to identify wanted signal and synchronize the time scale of the receiver-comparator with a minimal impact of processing delays.

Ключові слова: еталонні сигнали часу, штучні нейронні мережі, поправка годинника, вейвлет-апроксимація систематичної похибки вимірювання розбіжності шкал часу.

Keywords: etalon time signals, artificial neural networks, clock bias, wavelet-approximation of time scales systematic error.

Відповідно до концепції подальшого розвитку інформаційного простору України до 2017 року передбачається остаточний перехід від аналогового телевізійного мовлення до цифрового [1, 2]. Відомо, що одним із методів синхронізації шкал часу є передавання еталонних сигналів часу (ЕЧ) у структурі зображення, переданого за каналами аналогового телебачення шляхом формування перепаду рівня яскравості у послідовності «сірий»—«чорний»—«білий»—«сірий», локалізованого в області зображення, не пропонованої глядачеві [3]. На сьогодні проблема передавання ЕЧ за каналами цифрового телебачення не вирішена й припускає застосування нових підходів до перетворення й виділення кодової інформації, переданої в компресованому форматі.

Як прототип системи цифрового телевізійного мовлення у нашій країні прийнято європейський проект *DVB (Digital Video Broadcasting)*, основою якого є формат



М. Троцько



А. Нарезний



Р. Трищ

компресії цифрового відеосигналу *MPEG-2*. За всіх його перевагах цей формат має істотний недолік: застосування дискретного косинусного перетворення як засобу усунення просторової надмірності телевізійного зображення призводить до спотворень зображення й появи артефактів. Такий недолік дозволяє засумніватися в оптимальності *MPEG-2* і досліджувати можливості застосування інших засобів внутрішньокадрової компресії. Прикладом подібного засобу може слугувати застосовуване у форматі *JPEG 2000* вейвлет-перетворення [4]. Важлива властивість, яку мають вейвлети, — можливість побудови ортогональних систем функцій зі змінною роздільною здатністю у часовій і частотній областях. Саме ця властивість визначає застосування вейвлет-перетворення для стискання нестационарних (що мають локальні особливості) сигналів, якими є відеозображення [5, 6]. При цьому доведена доцільність застосування нейромережевого підходу до розв'язання задач розпізнавання спектральних портретів і виявлення неоднорідностей у зображеннях у режимі реального часу, а також можливість заміни оптимальних алгоритмів опрацювання зображень більш швидкодіючими нейромережевими алгоритмами [7, 8]. Однак результати, представлені авторами, досягні лише за малої розмірності опрацьовуваного зображення, тобто застосування багатопланових нейронних мереж (БНМ) ефективно за зменшення розмірності вхідних даних. Для цього зображення або повинно бути розбите на макроблоки, або просторова надмірність зображення повинна бути зменшена шляхом внутрішньокадрової компресії. Отже, задача нейромережевого розпізнавання спектральних образів ЕСЧ, які транслюються за каналами цифрового телебачення, є актуальною. Разом з тим застосування багатопроекторних зборок на базі цифрових сигнальних процесорів дозволяє емулювати БНМ заданих конфігурацій і виділяти ЕСЧ із мінімальними затримками за опрацювання сигналів [9, 10].

Мета статті — обґрунтувати можливість використання нейровейвлетного виділення образу ЕСЧ зі спектра зображень для синхронізації шкали часу приймача-компаратора сигналів цифрового телебачення.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕНЬ

До складу тестового зображення, наприклад, наведеного на рис. 1, вводиться ЕСЧ, який є перепадом рівня яскравості пікселів у послідовності «сірий»—«чорний»—«білий»—«сірий», локалізованим в області зображення, не пропонуваній гля-



Рис. 1. Тестове зображення, що містить ЕСЧ
Fig. 1 Test image with etalon time signal

дачеві. Припустимо, що таку область представлено 20 рядками у верхній частині зображення:

$$Fr(n, m) = Fr^{image}(n, m) + Fr^{timestamp}(n, m),$$

де Fr — кадр тестового зображення; n і m — координати пікселів зображення, $n = \overline{1, N}$; N — кількість пікселів тестового зображення за вертикаллю; $m = \overline{1, M}$; M — кількість пікселів тестового зображення за горизонталлю; Fr^{image} — фонове зображення, $n = \overline{20, N - 20}$, $m = \overline{1, M}$; $Fr^{timestamp}$ — зображення ЕСЧ, $n = \overline{1, 20}$, $m = \overline{M / 2, M / 2 + 2}$.

Тестове зображення, яке необхідно передати у транспортному потоці цифрового телебачення, зазнає одноуровневого двовимірного діадного вейвлет-перетворення [11]:

$$cA_j(k, l) = 0,5 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)h'(2l-m)Fr_{j-1}(n, m);$$

$$cH_j(k, l) = 0,5 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)h'(2l-m)Fr_{j-1}(n, m);$$

$$cV_j(k, l) = 0,5 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)g'(2l-m)Fr_{j-1}(n, m);$$

$$cD_j(k, l) = 0,5 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)g'(2l-m)Fr_{j-1}(n, m);$$

$$m, n = \overline{0, 2^j - 1}; k, l = \overline{0, 2^j - 1}; j = \overline{0, J};$$

$$h'(n) = h\left[\frac{2^j - 1 - n - 1}{2}\right], g'(n) = g\left[\frac{2^j - 1 - n - 1}{2}\right]$$

де j — ступінь дозволу; k, l — координати коефіцієнтів масивів cA, cH, cV, cD ; $h(t), g(t)$ — імпульсні характеристики просторових фільтрів.

Імпульсні характеристики фільтрів $h(t)$ і $g(t)$ у базисі вейвлетів можна представити двовимірним

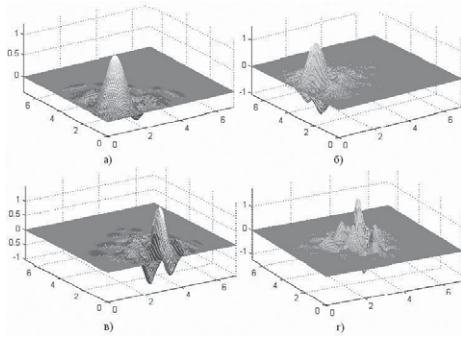


Рис. 2. Двомірне представлення вейвлету db4 та його масштабувальної функції
 Fig. 2. Two-dimensional presentation of db4 wavelet and scaling function

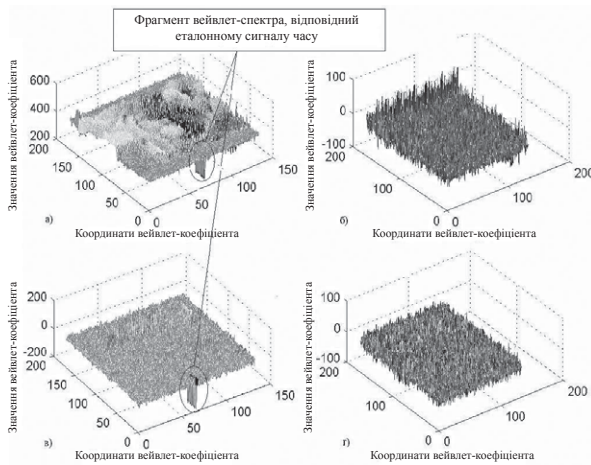


Рис. 3. Масиви вейвлет-коефіцієнтів тестового зображення

Fig. 3. Test image wavelet coefficient's array

вейвлетом Добеші четвертого порядку (*db4*) і його масштабувальною функцією, які утворюють між собою ортонормований базис. Зовнішній вид масштабувальної функції *db4* представлено на рис. 2,а, а вейвлет-функції *db4*, що виявляють горизонтальні компоненти зображення, представлені на рис. 2,б, вертикальні компоненти — на рис. 2,в й діагональні компоненти — на рис. 2,г відповідно.

Результатом перетворення є сукупність чотирьох масивів вейвлет-коефіцієнтів, зображених на рис. 3. Кожний із масивів характеризує деталі зображення з відповідною роздільністю. Масив апроксимувальних вейвлет-коефіцієнтів *cA*, зображений на рис. 3,а, відповідає апроксимації вихідного тестового зображення з роздільністю, зменшеною у два рази. Інші масиви *cH*, *cV*, *cD* містять апроксимації вихідного зображення з роздільністю за горизонталлю (рис. 3,б), вертикаллю (рис. 3,в) і діагоналлю (рис. 3,г) відповідно.

Масив апроксимувальних вейвлет-коефіцієнтів *cA* містить максимум потужності вейвлет-коефіцієнтів

усього зображення й за компресованого передавання цифрового сигналу найменше піддається децимації на відміну від інших масивів коефіцієнтів.

Подальше кодування й передавання зображення визначає формат *MPEG-2*; алгоритми компенсації руху, кодування й структура транспортного потоку в цій роботі не розглядаються.

На стороні, що приймає отриманий і опрацьований демодульований сигнал, який є вектором вейвлет-коефіцієнтів тестового зображення *cA*, трансформується в масив вейвлет-коефіцієнтів. Далі цей масив за допомогою зворотного двовимірного однорівневого діадного вейвлет-перетворення трансформується у зображення, із якого повинен бути виділений фрагмент, що відповідає ЕСЧ. На відміну від методу синхронізації шкал часу, застосованого в аналоговому телебаченні, й заснованого на використанні повного відеосигналу для виділення 6-го рядка, що містить ЕСЧ, пропонується інший метод.

Цей метод передбачає використання для виділення ЕСЧ не повного відеосигналу, відповідного зображенню, що пройшов зворотне вейвлетне й цифроаналогове перетворення, а вектора вейвлет-коефіцієнтів тестового зображення *cA*, ще не трансформованого в масив. Виділення фрагмента *cA*, що відповідає ЕСЧ, доцільно провести за допомогою БНМ, здатної правильно класифікувати фрагменти вейвлет-спектра зображення, що надходять на її вхід.

Як традиційні засоби, застосовувані за нейромережевого розпізнавання зображень, виступають БНМ зі сигмоїдними функціями активації [9—12]. Процедура настроювання вагових коефіцієнтів у БНМ відповідає алгоритму зворотного поширення помилок [13]. Окрім БНМ зі сигмоїдними функціями активації, як класифікатор фрагментів вейвлет-спектра зображень пропонується застосування БНМ гібридної структури (БНМ ГС) [9]. Ця БНМ має один

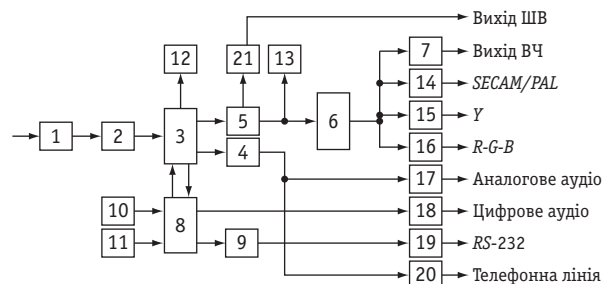


Рис. 4. Структурна схема приймача-компаратора сигналів цифрового телебачення

Fig. 4. The structural scheme of receiver-comparator digital television signals

прихований шар, складений із нейронів радіально-базисних функцій (РБФ-нейронів), і вихідний шар, представлений картою, що самоорганізується (*Self-Organized Map*) Кохонена [12—14].

На рис. 4 позначено:

1 — ресивер; 2 — демодулятор; 3 — демультіплексор-дешифратор; 4 — аудіодекодер *MPEG-2*; 5 — відеодекодер *MPEG-2*; 6 — кодер системи цифрового телебачення; 7 — модулятор; 8 — мікропроцесор; 9 — модем; 10 — інфрачервоний датчик; 11 — модуль цифрового телебачення; 12 — вивід пакетів цифрового телебачення; 13 — цифрове відео 4:2:2; 14 — вихід *PAL/SECAM*; 15 — вихід яскравісної складової *Y* зображення; 16 — вихід кольірних складових *R-G-B* зображення; 17 — вихід аналогового аудіо; 18 — вихід цифрового аудіо; 19 — вивід стандартного інтерфейсу *RS-232*; 20 — вихід телефонної лінії; 21 — блок виділення ЕСЧ/формував шкали часу (ШЧ).

Сигнал у смузі (950...2150) МГц надходить за кабелем зниження до приймача 1, призначеного для посилення, перетворення й виділення потрібної телепрограми на другій проміжній частоті 480 МГц. У демодуляторі 2 виконується корегування помилок передавання, а виділений на його виході цифровий потік далі надходить на демультіплексор 3, що розділяє загальний потік на три: відео, звук і дані. У цьому ж блоці здійснюється дешифрування або усунення псевдовипадкової послідовності, накладеної на сигнал у передавачі. У блоці 5 відеосигнал декодується зі стандарту *MPEG-2* у декомпресовані цифрові сигнали, із яких після цифроаналогового перетворювача 6 виділяються вихідні відеосигнали у виді складових: яскравісної *Y* і трьох кольірних — червоної *R*, зеленої *G* і синьої *B*, які надходять на вихід 16. Блок 6 виконує також функції перетворювача


стандартів, тобто на його вихід 14, відповідно до бажання користувача, можна підключити телеприймач, що працює в одному із трьох стандартів аналогового телебачення: *PAL*, *SECAM* або *NTSC*. Із виходу декодера звуку 4, сполученого із цифроаналоговим перетворювачем, можна отримати як аналогові, так і цифрові сигнали. Мікропроцесор 8 керує роботою блока 3 (демультіплексора-дешифратора), виділяє телефонний сигнал у випадку реалізації інтерактивної системи зв'язку, а також виділяє інтегровані пакети даних інших служб, що підводяться далі до блока 12. Мікропроцесор має вихід для підключення стандартного інтерфейсу *RS-232*. Модуль цифрового керування й інфрачервоний датчик забезпечують можливість дистанційного керування приймачем-компаратором сигналів цифрового телебачення.

ВИСНОВКИ

Виділення фрагмента вейвлет-спектра, що відповідає ЕСЧ за допомогою БНМ, дозволить уникнути появи такої методичної складової похибки синхронізації шкали часу за допомогою ЕСЧ, переданих за каналами цифрового телебачення, як похибка формування аналогового зображення ЕСЧ, що є похибкою нелінійності цифро-аналогового перетворювача приймача-компаратора. Окрім того, у випадку використання БНМ як засіб виділення фрагмента зі спектром ЕСЧ максимально використовується надавана форматом *MPEG-2* компенсація затримок сигналу за кодування-декодування, тобто БНМ, що функціонує в режимі реального часу, не внесе затримок і спотворень за виділення образу ЕСЧ. Отже, вдасться зменшити вплив випадкової складової похибки синхронізації шкали часу, вираженої у виді апаратних затримок і спотворень сигналу за його опрацювання.


СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДСТУ 4214:2003. Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Структура кадрів, кодування каналу та методи модуляції в кабельних розподільчих системах. Загальні технічні вимоги (EN 300 429:1998,MOD). — К.: Держспоживстандарт України (DSTU 4214:2003. Cifrove televiziijne movlennya (DVB). Struktura kadriv, koduvannya kanalu ta metodi modulyacii v kabelnix rozpodilchix sistemax. Zagalni texnichni vimogi (EN 300 429:1998, mod). Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2005. — 17 с/с.
2. ДСТУ 4215:2003. Цифрове телевізійне мовлення. Передавання інформації телетексту в цифрових потоках DVB. Загальні технічні вимоги (EN 300 472:1996,MOD). — К.: Держспоживстандарт України (DSTU 4215:2003. Cifrove televiziijne movlennya. peredavannya informacii teletekstu v cifrovix potokax DVB. Zagalni texnichni vimogi (EN 300 472:1996, mod). Derzhspozhivstandart Ukraïni), 2005. — 6 с/с.
3. Збірник нормативно-правових актів України та організаційно-методичних документів з питань метрології. — Вип. 2. — К.: Комітет України з питань стандартизації, метрології та сертифікації (Zbirnik normativno-pravovix aktiv Ukraïni ta organizacijno-metodichnix dokumentiv z pitan metrologii. Komitet Ukraïni z pitan standartizacii, metrologii ta sertifikacii), 2000. — 210 с/с.

4. Дьяконов В.П. Вейвлет. Від теорії до практики. — М.: СОЛОНИЙ-Р (Dyakonov, V.P. Veyvlety. Ot teorii k praktike. SOLON-R), 2002. — 448 с/с.
5. Lewis A.S., Knowles G. Image Compression Using the 2-d Wavelet Transform // IEEE Trans. Image Proc. — Vol. 1. — № 2, 1992. — P. 224—250.
6. Xziong Z., Ramchadran K., Orchard M.T. Space-frequency Quantization for Wavelet Image Coding // IEEE Trans. Image Proc. — Vol. 6. — № 2, 1997, — P. 677—693.
7. Саблін В.Н., Чапурський В.В., Шейко А.П. Нейромережеве розпізнавання спектральних портретів повітряних об'єктів при спостереженні методом тіньового інверсного радіолокаційного синтезування апертури // Радіотехніка й електроніка (Sablin, V.N., & Chapurskij, V.V., & Shejko, A.P. Nejrosetevoie raspoznavanje spektralnih portretov vozdušnykh obektov pri nablyudenii metodom tenevogo inversnogo radiolokacionnogo sintezirovaniya apertury), 2004 — Т/В.49 — № 2. — С/С. 184—195.
8. Сирота А.А., Поспівало В.Д, Маслов О.В. Нейромережеві й оптимальні алгоритми виявлення локально-неоднорідних ділянок зображень // Радіоелектроніка (Sirota, A.A., & Popelo, V.D, & Maslov, O.V. Nejroseteveye i optimalnye algoritmy obnaruzheniya lokalno-neodnorodnykh uchastkov izobrazhenij. Radioelektronika), 2003 — № 9. — С/С. 66—74.
9. Троцько М.Л. Моделювання нейромережевого виділення еталонних сигналів часу з вейвлет-спектра зображень, трансльованих за каналами цифрового телебачення / М.Л. Троцько // Системи обробки інформації. Збірник наукових праць, 2007. Вип. 4(53),2007. — Харків: НАНУ, ПАНМ, ХУПС (Trotsky, M.L. Modelirovanie nejroseteвого vydeleniya etalonnnykh signalov vremeni iz veyvlet-spektra izobrazhenij, transliruemykh po kanalam cifrovogo televideniya. Sistemi obrobki informacii. Zbirknik naukovih prac. 4(53), NANU, PANM, Khu PS) — С/С. 173—178.
10. Троцько М.Л. Аналіз елементної бази для апаратної реалізації нейрообчислювачів контуру керування керованого засобу частоти й часу / М.Л. Троцько // Моделювання у військово-наукових дослідженнях. — Збірник наукових праць. — Вип. 12, — Одеса: ООЛІСВ (Trotsky, M.L. Analiz elementnoj bazy dlya apparatnoj realizacii nejrovychislitel'ej kontura upravleniya upravlyaemoj mery chastoty i vremeni. Modelyuvannya v vijskovo-naukovih doslidzhennyah. Zbirknik naukovih prac), 2006. — С/С. 118—120.
11. Харатішвілі Н.Г., Чхеїдзе І.М., Ронсен Д., Інджія Ф.І. Пірамідальне кодування зображень. — М.: Радіо й зв'язок (Kharatishvili, N.G., & Chxeidze, I.M., & Ronsen, D., & Indzhiya, F.I. Piramidalnoe kodirovanie izobrazhenij. Radio i svyaz), 1996 — 192 с/с.
12. Ососков Г.А., Полянський А., Пузинін І.В. Сучасні методи обробки експериментальних даних у фізиці високих енергій // Фізика високих енергій (Ososkov, G.A., & Polyanskij, A., & Puzynin, I.V. Sovremennye metody obrabotki eksperimentalnykh dannyh v fizike vysokih energij. Fizika vysokih energij), 2002. — Т/В. 33. — № 3. — С/С. 676—745.
13. Терехов В.А. Нейромережеві системи керування: Навчальний посібник для вузів/ В.А.Терехов, Д.В.Єфімов, І.Ю.Тюкин — М.: Вища школа (Terexov, V.A. & Efimov, D.V., & Tyukin, I.Yu. Nejroseteveye sistemy upravleniya: uchebnoe posobie dlya vuzov. Vysshaya shkola), 2002. — 183 с/с.
14. Кохонен Т. Асоціативна пам'ять: Пер. с англ. — М.:Мир (Kohonen, T. Associativnaya pamyat: per. s angl. Mir), 1980. — 204 с/с. 

Отримано / received: 14.03.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г.І. Канюком (Україна).
Prof. G.I. Kanyuk, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published



ДО 75-РІЧЧЯ Л. І. ВІНОКУРОВА

**Редакція журналу та колектив
Харківської філії ДП «УкрНДНЦ»
щиро вітають наукового редактора –
відповідального секретаря
Леоніда Ісааковича ВІНОКУРОВА
з ювілеєм, зичать йому міцного
здоров'я, незгасаючого оптимізму,
нових трудових звершень,
любви та злагоди!**

