

УДК 621.396.96

М.Л. Троцько

Метрологічний центр військових еталонів Збройних Сил України, Харків

## ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ЕТАЛОННИХ СИГНАЛІВ ЧАСУ ПО КАНАЛАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ

У статті описані шляхи подальшого вдосконалення системи передачі еталонних сигналів часу, що передаються каналами цифрового телебачення шляхом застосування нейровейвлетних технологій.

**Ключові слова:** шкала часу, еталонний сигнал часу, робочий еталон часу та частоти, штучні нейронні мережі, вейвлет-перетворення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Прийняття Україною нової концепції розвитку телекомунікаційних систем визначило строки переходу від аналогового формату телевізійного мовлення до цифрового [1]. У 2012-2015 рр. основним форматом телевізійного мовлення стане цифровий. Трансформація каналу зв'язку вимагає пошуку вирішення задачі розміщення, ідентифікації споживачем та синхронізації його шкали часу (ШЧ) еталонними сигналами часу (ЕСЧ), що входять до складу цифрового телевізійного зображення, з максимально досяжною точністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Провідними вченими колишнього СРСР, такими, як В.С. Соловйов, Ю.О. Коваль, Е.М. Хомяков, О.С. Клейман та ін., розроблено науково-методичний апарат аналізу та синтезу оптимальних вимірювальних систем і системи єдиного часу та еталонних частот [2, 3], відомими закордонними фахівцями в галузі часо-частотних вимірювань, зокрема D.A. Allan, D.B. Persival, розглянуті всі відомі методи оцінювання стабільності частоти ЗВТ часу та частоти [4], W.C. Lindsey, K. Feher, A. Піковським, М. Розенблюмом та Ю. Куртсом досліджено властивості систем синхронізації та їх вплив на функціонування телекомунікаційних систем та систем управління [5]. Проте результати проведених досліджень потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення точності синхронізації ШЧ ЕСЧ, що передаються каналами цифрового телебачення.

**Мета досліджень** – подальше вдосконалення системи передачі еталонних сигналів часу, що передаються каналами цифрового телебачення для забезпечення єдності вимірювань часу та частоти в Україні.

### Основний матеріал досліджень

Передача ЕСЧ по каналах цифрового телебачення потребує вирішення задачі об'єднання ЕСЧ та корисного зображення. Воно полягає в розміщенні

його зображення в області кадру, що не потрапляє на екран телеприймача, тобто, наприклад, у верхній частині кадру в момент переходу фронту імпульсу, що позначає початок одиничного інтервалу часу ШЧ робочого еталону часу і частоти (РЕЧЧ) передавального центру через значення 0,5 амплітуди імпульсу. Отже, при розміщенні ЕСЧ у складі зображення виникає задача забезпечення його однозначної ідентифікації приймачем-компаратором цифрових телевізійних сигналів [6, 7]. Труднощі однозначної ідентифікації полягають у властивостях дискретного косинусного перетворення (ДКП), яке не дозволяє однозначно локалізувати неоднорідності відеосигналу, до яких і належить ЕСЧ, який являє собою перепад рівня яскравості «сірий-чорний-білий-сірий» у масиві коефіцієнтів ДКП. Частотні компоненти сигналу, фіксовані за допомогою ДКП-коефіцієнтів, розподіляються рівномірно по осі частот аналізу від  $-\infty$  до  $+\infty$  [7]. Цим виключається можливість однозначно ідентифікувати фрагмент спектру ЕСЧ у спектрі кодованого зображення, що обумовлює необхідність виконання повного циклу операцій декодування та відбудови зображення для позитивної чи негативної ідентифікації ЕСЧ у його складі. Крім того, виконання відбудови зображення та застосування традиційного алгоритму виділення ЕСЧ, що використовується у приймачах-компараторах аналогових телевізійних сигналів, призведе до появи додаткових джерел затримок, пов'язаних з цифроаналоговим перетворенням декодованого зображення. Типовий алгоритм синхронізації приймачів-компараторів аналогових телевізійних сигналів полягає у використанні виділеного телеприймачем інтервалу 6 рядка, що містить ЕСЧ та амплітудній фіксації характерної точки (маркера) ЕСЧ. Застосовувати такий алгоритм не допустимо через похибку амплітудної фіксації положення маркера на зображенні ЕСЧ, що з'явиться внаслідок похибок інверсного ДКП, спричинених ефектом Гіббса та диференційною нелінійністю цифроаналогового перетворювача декодера. При цьому алгоритми обробки телевізійних зображень, отримані в рамках

теорії статистичних рішень при позиційній невизначеності шуканого вейвлет-спектру ЕСЧ мають високу обчислювальну складність, пов'язану з необхідністю розгляду великої кількості гіпотез щодо наявності неоднорідності в області пошуку. Визначення імовірнісних характеристик, наприклад, за критерієм ідеального спостерігача в аналітичній формі досить ускладнено [8], а обчислення функціоналу правдоподібності часткових гіпотез вимагає виконання  $1,33 \cdot (k \times l)^4$  операцій множення та додавання для кожної гіпотези. При цьому обчислення функціоналів правдоподібності для усієї сукупності гіпотез про положення перепаду рівня яскравості ЕСЧ потребує обробки  $M_{\Omega} = (k \times l)^{k \times l}$  гіпотез [9]. Отже, використання оптимальних алгоритмів, виконуючих пошук неоднорідності за описаним алгоритмом приведе до появи додаткового джерела похибки синхронізації ШЧ, обумовленого затримкою в обчислювачі, що виконує пошук фрагменту вейвлет-спектру зображення, що містить ЕСЧ. Похибка матиме важко прогнозуємий характер зміни у часі через непередбачуваність змісту зображення, що передається разом з ЕСЧ. З іншого боку, фрагмент вейвлет-спектру, що відповідає зображенню ЕСЧ у вигляді відповідної послідовності коефіцієнтів ДДВП буде обов'язково присутній у загальній матриці коефіцієнтів телевізійного зображення [10, 11]. Отже, під час її розгортання «зигзаг-скануванням» у вектор для виконання ентропійного кодування, відповідний фрагмент послідовності ДДВП-коефіцієнтів зображення ЕСЧ буде розташовано серед решти коефіцієнтів фонового зображення, що обумовлює необхідність вирішення задачі пошуку та виділення цього фрагменту для синхронізації ШЧ приймача-компаратора сигналів цифрового телебачення (ПКСЦТ).

Модифікація методу внутрішньокадрової компресії цифрових зображень за стандартом MPEG-2, що пропонується, полягає у заміні дискретного косинусного перетворення іншим засобом внутрішньо-кадрової компресії, а саме двомірним діадним вейвлет-перетворенням (ДДВП), яке дозволить забезпечити однозначну ідентифікацію появи ЕСЧ у складі зображення у режимі реального часу [10, 11].

Виділення ЕСЧ, яке містить цифрове зображення, було промодельоване в сучасній системі комп'ютерної математики MATLAB як процес нейромережної класифікації участків вейвлет-спектру зображення, що не перекриваються, в межах яких скачкоподібно змінюється яскравість зображення з присвоєнням йому відповідного ідентифікатора [11]. Результати моделювання виділення фрагменту вейвлет-спектру зображення, що містить ЕСЧ показали вплив складності форми розділяючої поверхні нейромережного класифікатора на якість ідентифікації

фрагментів вейвлет-спектру зображення, для формування якої не достатньо можливостей ШНМ з сигмоїдними функціями активації та сталість розпізнавання ШНМ гібридної структури, при цьому навчена ШНМ гібридної структури показала здатність виділяти фрагменти вейвлет-спектру, відповідаючи ЕСЧ, серед нових масивів вейвлет-коефіцієнтів зображень, що надходять та не були присутні у навчальній вибірці фрагментів [11].

Окремою пріоритетною задачею в рамках вдосконалення системи передачі ЕСЧ по каналах цифрового телебачення є розвиток науково-методичних основ створення контуру управління РЕЧЧ передавального центру телевізійного мовлення. Однією з найбільш наукомістких розробок є синтез регулятора контуру управління, який забезпечить необхідний запас сталості системи. До таких регуляторів можна віднести структури, синтезовані за допомогою математичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ). М.М. Амосов, А.І. Галушкін, В.О. Терехов та ін. зробили величезний внесок у розвиток та поширення математичного апарату ШНМ та нейромережних систем управління нелінійними динамічними об'єктами [12,12]. Крім того, нейромережний підхід може бути застосований при обробці результатів вимірювань розбіжностей ШЧ для ідентифікації положення об'єкту управління у фазовому просторі станів системи [14, 15].

Універсальні апроксимаційні властивості штучних нейронних мереж (ШНМ), основані на теоремах Колмогорова, Вейерштрасса і Стоуна та їх властивостях, а також теоремах, доказаних у інших роботах, присвячених даному питанню, безумовно дозволяють припустити, що за повної функціонально-параметричної невизначеності характеру змін вимірних розбіжностей ШЧ багатозарова ШНМ з сигмоїдними функціями активації у прихованому шарі побудує нейромережну модель об'єкту вимірювань із заданим рівнем точності, обмеженим зверху при апаратній реалізації тільки властивостями елементної бази.

Зменшення вкладу методичної похибки синхронізації ШЧ, що обумовлена неадекватністю фізичної моделі об'єкту вимірювання досяжно при виключенні обмежень на характер змін у часі частоти міри. Це означає необхідність апроксимації тренду вимірних розбіжностей ШЧ із похибкою оцінювання, максимально наближеною до нуля. Корегування систематичної складової похибки відтворення РЕЧЧ передавального центру цифрового телебачення розміру одиничного інтервалу ШЧ означає створення замкнутого контуру управління, до складу якого ввійдуть безпосередньо об'єкт управління (РЕЧЧ), засоби вимірювання реакції об'єкту управління на управляючий вплив та регулятор, що формує сигнали управління.

Таким чином підвищення точності відтворення розміру одиничного інтервалу ШЧ РЕЧЧ вимагає здійснення переходу до розгляду системи передачі ЕСЧ по будь-якому каналу зв'язку як системи автоматичного управління, що має ієрархічну структуру [2]. Недоступність для вимірювання розбіжностей ШЧ РЕЧЧ передавального центру відносно ШЧ Державного еталону часу та частоти (ДЕЧЧ) та ШЧ ПКСЦТ відповідно ускладнює ідентифікацію об'єкта управління, яким є поєднання РЕЧЧ – ПКСЦТ. Таким чином, при дійсній наявності вкладу похибки відтворення розміру одиничного інтервалу ШЧ РЕЧЧ до сумарної похибки системи синхронізації ЕСЧ по каналах цифрового телебачення, залишається невідомим характер цієї похибки. Автономне функціонування РЕЧЧ передавального центру означає збереження та відтворення розміру одиничного інтервалу його ШЧ без внесення поправок за ШЧ ДЕЧЧ України, що приведе до накопичення у часі прогресуючої за невідомим законом систематичної складової похибки відтворення розміру одиничного інтервалу ШЧ. Отже, внесення поправок до ШЧ РЕЧЧ потребує або апріорного знання, або ідентифікації виду функціональної залежності зміни систематичної складової похибки відтворення одиничного інтервалу ШЧ від часу вимірювання розбіжностей ШЧ РЕЧЧ та ДЕЧЧ. Але ієрархічний характер системи синхронізації ЕСЧ по каналах цифрового телебачення не дозволяє виміряти розбіжності ШЧ РЕЧЧ та ДЕЧЧ. Таким чином, корегування ШЧ РЕЧЧ можливе лише при наявності відомої моделі систематичної зміни поправки його ШЧ, обчисленої за результатами вимірювань  $\Delta T_3$ , а система передачі ЕСЧ по каналах цифрового телебачення, до складу якої входить контур управління РЕЧЧ передавального центру, досягне мінімуму середнього квадратичного відхилення (СКВ) розміру одиничного інтервалу шкали часу від еталонного інтервалу часу (суми квадратів поправки годинника ПКСЦТ) при мінімумі похибки ідентифікації параметрів РЕЧЧ. Істотним недоліком, що обмежуватиме підвищення точності синхронізації ШЧ споживача, буде використання відомих підходів до формування моделі прогресування систематичної складової похибки синхронізації, що використовують метод найменших квадратів для її апроксимації та лінеаризація отриманої моделі при синтезі управляючих впливів. Вирішення задачі управління формуванням ЕСЧ запропоновано провести за допомогою вдосконаленої методики аналітичного конструювання агрегованого нейромережного регулятора контуру управління системою передачі ЕСЧ по каналах цифрового телебачення [11, 16].

Побудова регулятора для контуру управління системи передачі ЕСЧ з використанням методики аналітичного конструювання вимагає виконання

таких етапів [16]:

- вибір агрегованої макрозмінної у відповідності до сформованої системи диференціальних рівнянь та встановленої мети управління;

- формування розширеної системи диференціальних рівнянь, що відображатимуть динаміку процесів в контурі управління з врахуванням динаміки навчання нейромережного ідентифікатора та регулятора;

- формування супроводжуючого функціоналу, що забезпечує бажані властивості системи передачі ЕСЧ у перехідних процесах.

За основу алгоритму навчання ШНМ-ідентифікатора приймемо стандартний ВР-алгоритм, у якому використано градієнтний метод мінімізації критерію навчання та ентропійний алгоритм вибору найкращого вейвлет-базису, який запропонували R.R.Coifman та M.V.Wickerhauser, але з урахуванням особливостей покладених на дану мережу завдань цей алгоритм модифіковано для настроювання параметрів прихованого шару [17].

На відміну від традиційного ВР-алгоритму застосовується складений критерій якості навчання, що не суперечить класичному методу навчання ШНМ через диференційований підхід до настроювання вихідних та прихованих шарів та дозволяє поєднати функціонування усіх складових контуру управління (узагальненого настроюваного об'єкту) для досягнення мети управління.

Алгоритм навчання прихованого шару ШНМ-ідентифікатора повинен враховувати нерівномірність розподілення вейвлет-дисперсії по елементам вектора вейвлет-коефіцієнтів для відокремлення від решти масиву коефіцієнтів, що відповідають зміні у часі систематичної складової похибки відтворення розміру одиничного інтервалу ШЧ, що вносить РЕЧЧ, який синхронізує КГ ПКСЦТ за допомогою ЕСЧ. Для цього у якості аналогу похибки, що є аргументом функціонала якості навчання ШНМ застосуємо СКВ синаптичних вагів прихованого шару та ентропії як узагальненої похибки навчання.

## Висновки

У роботі запропоновано нове вирішення наукової задачі, яка полягає в удосконаленні системи передачі еталонних сигналів часу, що передаються каналами цифрового телебачення, що полягає в модифікації методу внутрішньокадрової компресії цифрових зображень за стандартом MPEG-2, новизна якого полягає в тому, що запропоновано використання, по-перше, двомірного діадного вейвлет-перетворення (ДДВП) як засобу внутрішньокадрової компресії, що дозволяє ідентифікувати фрагмент вейвлет-спектру ЕСЧ в режимі реального часу, по-друге, багатозарової ШНМ гібридної структури у якості ідентифікатора фрагменту вейвлет-спектру

ЕСЧ в режимі реального часу. Крім того розв'язано задачу управління формуванням ЕСЧ за критерієм мінімуму СКВ розміру одиничного інтервалу ШЧ від еталонного по запропонованій методиці аналітичного конструювання агрегованого регулятора контуру управління системою передачі ЕСЧ за допомогою штучних нейронних мереж та вейвлет-перетворення результатів вимірювань розбіжностей ШЧ.

### Список літератури

1. Цифрове телевізійне мовлення (DVB). Структура кадрів, кодування каналу та методи модуляції в кабельних розподільчих системах. Загальні технічні вимоги (EN 300 429:1998,MOD): ДСТУ 4214:2003. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 17 с. – (Національний стандарт України).
2. Хомяков Э.Н. Радиоэлектронные пространственно-временные системы и комплексы. Оптимальная обработка принимаемых колебаний в радиоэлектронных системах: учебное пособие / Э.Н. Хомяков. – Х.: ХАИ, 1994. – 83 с.
3. Метрологическое обеспечение время-частотных измерений в Украине / [Клейман А.С., Левенберг А.И., Соловьев В.С., Губин А.А., Кравченко П.А., Усенко Т.А., Вараксин Ю.А., Таламанов С.А., Зуб С.И.] // Український метрологічний журнал, 2003. – № 2. – С. 10-19.
4. Howe D.A. Wavelet Variance, Allan Variance, and Leakage [Електронний ресурс] / D.A. Howe, D.B. Percival // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1995. – Vol.44. – P. 94-97. – Режим доступу до статті: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.56.4435.pdf>.
5. Percival D.B. Wavelet analysis of clock noise [Електронний ресурс] / D.B. Percival // 35-th Annual Precise Time and Time Interval Meeting, 2003. – P. 211-220. – Режим доступу до статті: <http://tycho.usno.navy.mil/ptti/ptti2003/paper21.pdf>.
6. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. – М.: Техносфера, 2004. – 496 с.
7. Зубарев Ю.Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский. – М.: (НИИР-ИОИ), 2001. – 212 с.
8. Spirkovska L. A Summary of Image Segmentation Techniques [Електронний ресурс] / L. Spirkovska // NASA Technical Memorandum 104022, 1993. – P. 14. – Режим доступу до матеріалів: [http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=19940006802\\_19940006802.pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=19940006802_19940006802.pdf).
9. Сирота А.А. Нейросетевые и оптимальные алгоритмы обнаружения локально-неоднородных участков изображений / А.А. Сирота, В.Д. Попело, О.В. Маслов // Радиоэлектроника, 2003. – № 9. – С. 66-74.
10. Чинков В.Н. О применении нейронной сети для выделения эталонных сигналов времени из вейвлет-спектра изображений, транслируемых по каналам цифрового телевидения / В.Н. Чинков, М.Л. Троцько // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХУПС, 2006. – Вип. 1 (7). – С. 99-102.
11. Троцько М.Л. Моделирование нейросетевого выделения эталонных сигналов времени из вейвлет-спектра изображений, транслируемых по каналам цифрового телевидения / М.Л. Троцько // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХУПС, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 173-178.
12. Терехов В.А. Нейросетевые системы управления: учебное пособие для вузов / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – М.: Высшая школа, 2002. – 183 с.
13. Васильев В.И. К выбору структуры нейрорегулятора в системе управления динамическим объектом / В.И. Васильев, С.С. Валеев, А.А. Шилоносос // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2001. – № 4-5. – С. 52-60.
14. Чинков В.Н. О применении адаптивной нейронной сети для предсказания расхождения системных шкал времени / В.Н. Чинков, М.Л. Троцько // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХУПС, 2006. – Вип. 1 (50). – С. 169-174.
15. Чинков В.Н. Идентификация модели поведения шкалы времени управляемой меры частоты и времени при помощи многослойной нейронной сети прямого распространения / В.Н. Чинков, М.Л. Троцько // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХУПС, 2006. – Вип. 3 (52). – С. 145-149.
16. Чинков В.Н. Методика аналитического конструирования агрегированного нейросетевого регулятора в контуре управления подсистемой синхронизации системы передачи эталонных сигналов времени по каналам цифрового телевидения / В.Н. Чинков, М.Л. Троцько // Зб. наук. пр. Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х., 2007. – Вип. 1 (6). – С. 78-90.
17. Чинков В.М. Нейросетевая реализация вейвлет-аппроксимации измерительного сигнала по алгоритму Койфмана-Викерхаузера / В.М. Чинков, М.Л. Троцько // Наукові праці VI Міжнародної технічної конференції [«Метрологія-2008»]. – Х., 14-16 жовтня 2008 р. – Т. 1. – С. 287-290.

Надійшла до редколегії 8.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Чинков, Харківський інститут Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭТАЛОННЫХ СИГНАЛОВ ВРЕМЕНИ ПО КАНАЛАМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

М.Л. Троцько

В статье описаны пути совершенствования системы передачи эталонных сигналов времени, передающихся по каналам цифрового телевидения путем применения нейровейвлетных технологий.

**Ключевые слова:** шкала времени, эталонный сигнал времени, рабочий эталон времени и частоты, искусственные нейронные сети, вейвлет-преобразование.

### THE IMPROVEMENT OF ETALON TIME SIGNAL TRANSMISSION SYSTEM

M.L. Trotsko

In article has been considered the improvement of etalon time signal transmission system based on neurowavelet technologies.

**Keywords:** time scale, etalon time signal, time and frequency standard, artificial neural networks, wavelet transform.