УДК 621.372

Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ
Хмельницький національний університет

БАГАТОСИМВОЛЬНЕ ДЕКОДУВАННЯ КВАДРАТУРНИХ ТИПІВ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛОКАЛЬНО-БАЗИСНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Розглянуто принцип роботи квадратурних методів модуляції та їх детектування на основі класичних, посимвольних детекторів. Запропоновано альтернативну методику багатосимвольного детектування, що базується на основі широкозастосовного вейвлет перетворення. Висвітлено особливості роботи модифікованого детектора. Та на його основі показано переваги порівняно із класичним детектором. Запропоновано ідеї для подальшої оптимізації методики.

Ключові слова: квадратурна модуляція, локально-базисне перетворення, дискретне вейвлет перетворення, багатосимвольна обробка, детектування.

D. O. LEVCHUNETS
Khmelnytsky National University

MULTI-CHARACTER DECODING OF QUADRATURE SIGNALS USING LOCALLY-BASE TRANSFORMATION

The principle of quadrature modulation and detection methods based on the classic character-detectors are considered in the article. Together with that, the method of multi-character detection based on wavelet transform is proposed. The specific features of the modified detector are shown and compared with classical one. Some ideas to further method optimizing are given.

Keywords: quadrature modulation, locally-basis transform, discrete wavelet transform, multi-character processing, detection task.

Перехід сучасного обладнання обробки інформації на цифрову форму дозволив застосовувати у реальному часі складні обчислювальні алгоритми та типи модуляції. Їх реалізація була обмежена за рахунок впливу шумів на аналогові пристрої. Широко застосовні квадратурні методи модуляції є прикладом таких, цифрових систем. Знайшовши використання у радіолокаційних (система свій-чужий, наземні РЛС), радіонавігаційних та системах передачі інформації (телевізійні, транкінгові).

Особливою рисою квадратурних методів модуляції є їх вузькосмуговість. Що дозволяє ефективно використовувати канал зв’язку, та радіоефір зокрема. Разом із тим, використання вузької смуги частот потребує врахування низки особливостей передачі даних у цифровому вигляді. До них відносять міжсимвольну інтерференцію, часо-частотну локалізацію інформаційних символів, розташування точок сузір’я, інше. Для їх подолання вдаються до вагової обробки, пониження частоти дискретизації та інших методів обробки сигналів. В сукупності, це дозволяє наблизитись до теоретичної границі звуження смуги частот сигналу [2, 3].

Разом із тим, відмінною рисою переважної більшості існуючих детекторів квадратурних сигналів є почергове розпізнавання кожного символу. Що залишає невикористаним аналіз переходів між ними. Та, як наслідок, можливість підвищити завадостійкість / ймовірність правильного виявлення сигналу. Оскільки локально-базисні перетворення дозволяють підвищити інформативність аналізу в часовому та частотному базисах, це дозволить використати вказану особливість.

Постановка задачі

Незмінно актуальними є завдання покращення завадостійкості радіотехнічних систем. Для чого використовуються декілька основних напрямків. До них відносять:

- оптимізація характеристик сигналу що передається;
- збільшення інформативності сигналу при декодуванні.

Ціль даної роботи полягає у використанні другого підходу для вирішення вище зазначеного завдання. А саме у використанні більш інформативного перетворення, порівняно із класичним Фур’є. До них відносять низку локально-базисних перетворень:

- віконне перетворення Фур’є;
- вейвлет перетворення;
- перетворення Проні,
- інші…

У даній роботі, у якості прикладу, використано вейвлет перетворення.

Спрощена структурна схема квадратурного демодулятора зображена на рисунку [2]. Де S_{in} – квадратурний сигнал; $I(t)$ – синфазна складова сигналу; $Q(t)$ – квадратурна складова.

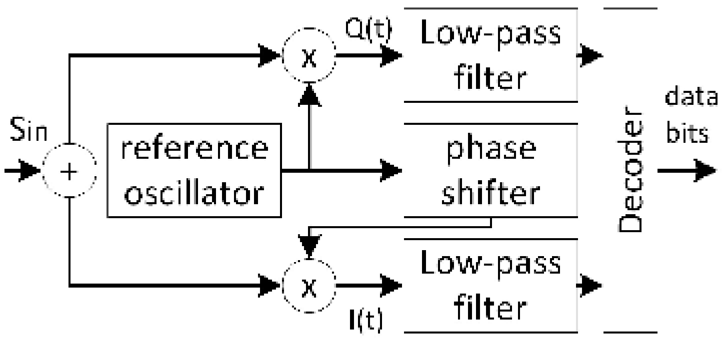

Рис. 1. Спрощена структурна схема квадратурного демодулятора

На рисунку, блок декодування (decoder) являє собою узгоджений фільтр, або корелятор, що почергово аналізує складові кожного символу та виносить відповідне рішення (data bits). Тобто модифікація цього блоку дозволить збільшити завадостійкість системи.

Багатосимвольне декодування

При посимвольному декодуванні відсутня можливість аналізувати переходи між символами. Оскільки вагова обробка кожного символу згладжує його краї (переходи). В свою чергу, спроба фільтрації декількох символів класичними методами призведе до додаткового «просочення» шуму в сигнал. Це спричинено нелінійністю миттєвої частоти квадратурних складових сигналу.

Застосовуючи вейвлет перетворення (вираз 1) для детектування символьної послідовності стає можливим використати локальні часо-частотні властивості материнської функції [1].

$$\mathrm{W}(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{s}(t) \cdot \psi^{*}_{(a,b)}(t)dt \qquad (1)$$

де $W(a,b)$ – функція вейвлет перетворення;

a – масштабний коефіцієнт;

b – зсув в часі;

$\mathrm{s}(t)$ – сигнал;

$\psi^{*}_{(a,b)}(t)$ – материнський вейвлет (комплексно спряжений).

Розглянемо найпростіший випадок квадратурних модуляцій – BPSK. Будучи виродженим різновидом, декодер аналізує виключно синфазну складову $\mathrm{I}(t)$ (рис. 2).

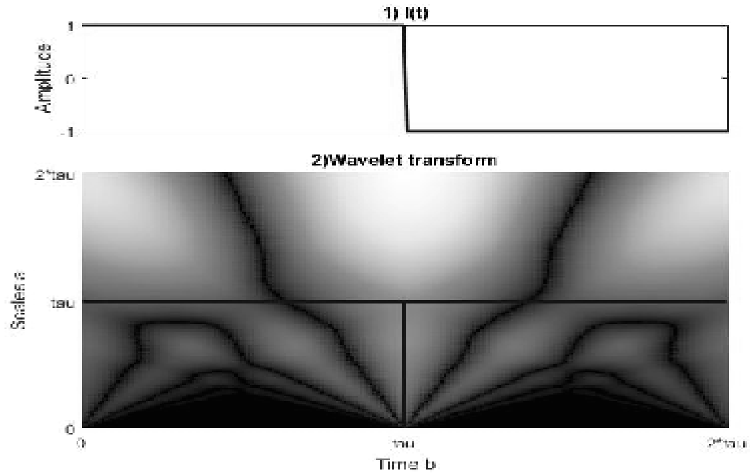

Рис. 2. Аналіз сигналу використовуючи вейвлет перетворення

Де на рисунку 2 tau (t) – тривалість одного символу.

Вейвлет аналіз сигналу (Рис. 2. 2) дозволяє отримати інформативні поверхні для кожного символу ($a[0 \quad t]$ та $b[(n-1)t \quad nt]$, де n – номер символу). Чого вже достатньо для детектування. Проте, задіявши додаткову, верхню, частину поверхні ($a[t \quad 2t]$ та $b[0 \quad 2t]$) стає можливим додатковий аналіз переходів між сигналами.

Збільшуючи кількість символів при перетворенні, стає можливим аналіз не лише міжсимвольних переходів, а й міжсимвольного впливу. Тобто частину поверхні $a[(n-1)t \quad nt]$ та $b[t \quad t+nt]$ для

$n > 2$.

Модифікація декодера

Заклавши в основу ідею багатосимвольного декодування запропоновано алгоритм роботи декодера з використанням вейвлет перетворення. Структурна схема якого представлена на рис. 3.

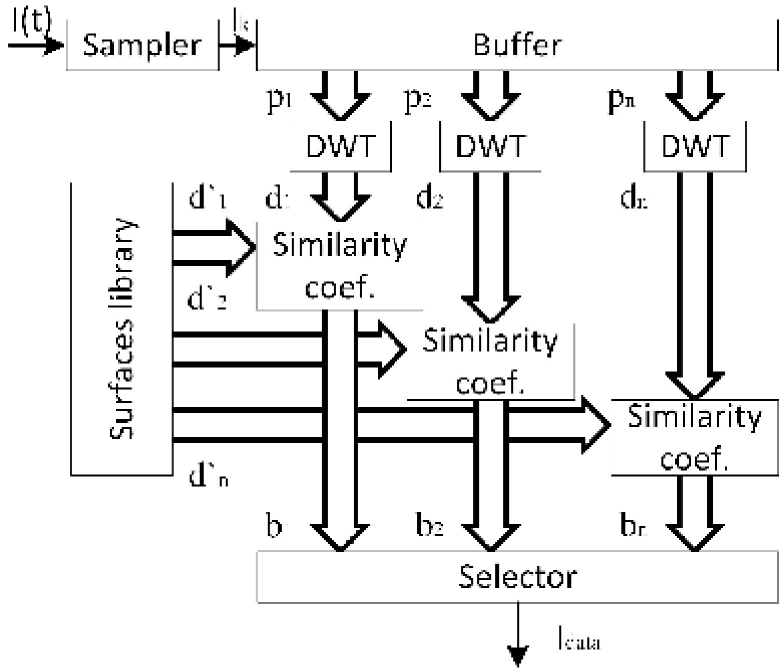

Рис. 3. Структурна схема синфазної ланки багатосимвольного квадратурного декодера

На вхід декодера надходять низькочастотні квадратурні складові. На рис. 3. зображено лише синфазну частину $\mathrm{I}(t)$. Для квадратурної $Q(t)$ алгоритм залишається незмінним.

Дискретизатор (sampler) заповнює буфер (buffer) відліками $\mathbf{I_k}$ задовольняючи умові теореми Найквіста. Тобто частота дискретизації більш ніж удвічі перевищує верхню межу смуги пропускання. На виході буфера формуються масиви відліків $\mathbf{p_n}$, де n – кількість символів. Кількість відліків у сформованих векторах дорівнює:

$$P_n = t \cdot f_s \cdot n, \tag{2}$$

де P_n – кількість відліків на виході n;

f_s – частота дискретизації.

Блоки дискретного вейвлет перетворення (DWT) виконують розклад (1) на основі заданого материнського вейвлету ψ. Отримані масиви $\mathbf{d_n}$ розмірністю $[P_n \quad P_n]$ порівнюються зі зразковими $\mathbf{d_n'}$ (що надходять із бібліотеки станів, Surfaces library). Для проведення порівняння блок Similarity coef. визначає косинус кута між матрицями, що обчислюється на основі їх скалярного добутку. А у випадку обробки декількох символів – між можливими символьними комбінаціями. Загальна кількість комбінацій для n символів складає:

$$C_n = l^n, \tag{3}$$

де C_n – кількість комбінацій;

l – кількість рівнів (станів).

Саме тому на виході блоку Similarity coef. формується вектор вказаної довжини C_n. Де, в свою чергу, селектор (Selector) виносить рішення щодо рівня сигналу l що було передано. Рішення приймається на основі усередненого коефіцієнту для кожного стану. Що і формує символьну послідовність синфазної складової $\mathbf{I_{data}}$. В свою чергу, при урахуванні квадратурної складової дозволяє провести повноцінне декодування сузір'я.

Для наочності роботи багатосимвольного декодера на рис. 4 наведено основні осцилограми його роботи. Приведені осцилограми, для більшої наочності, не враховують затримку в часі для кожного із блоків.

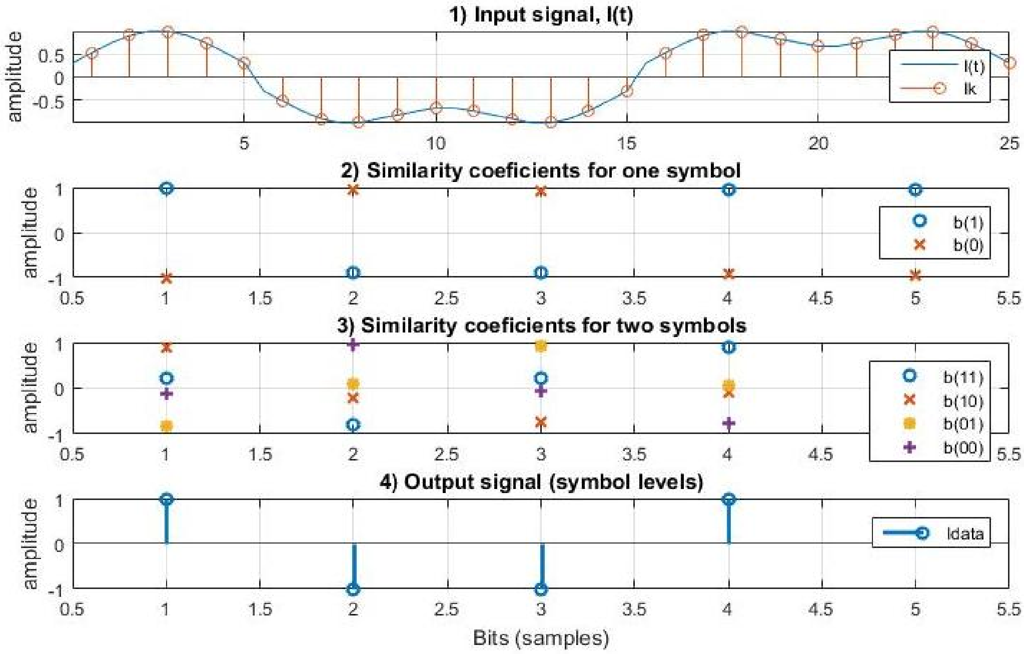

Рис. 4. Осцилограми роботи блоків багатосимвольного декодера

Робота блоків визначення коефіцієнтів подібності (Similarity coef.) для одного та двох символів зображено на рис. 4. 2) та рис. 4. 3) відповідно.

Коефіцієнти $b(1)$ та $b(0)$ приймають значення близькі до одиниці у випадку співпадіння матриці $\mathbf{d_1}$ із відповідною матрицею із Surfaces library. Це продиктовано тим, що скалярний добуток є ніщо інше як косинус кута між векторами. Оскільки, при співпадінні, кут дорівнює нулю – тоді косинус приймає максимальне значення. У випадку визначення подібності поверхонь із декількох символів рис. 4. 3) – вірною вважається та, коефіцієнт якої найбільший. Беручи до уваги коефіцієнти векторів $\mathbf{b_n}$ на виході селектора формується сигнал синфазної складової рис. 4. 4). Що у випадку BPSK модуляції співпадає із кінцевою бітовою послідовністю.

Висновки

Приведена методика, застосовно до квадратурних типів модуляції має на меті задіяти міжсимвольні переходи разом із аналізуванням кореляційних відгуків на декілька символів (вейвлет перетворення). Таким чином, це дозволить підвищити завадостійкість системи зменшуючи дисперсію символів на виході системи. Варто зазначити, необхідність оптимізації запропонованої методики. Основними напрямками якої є:

Проведення дослідження із пошуку оптимального базису (у випадку вейвлет перетворення – материнської функції).

Встановлення впливу кількості блоків багатосимвольної обробки на завадостійкість системи.

Дослідження роботи запропонованої методики для різновидів квадратурних методів модуляції (pi/4DQPSK, QAM-16, …) та в умовах певних стандартів.

Література

1. Daubechies, Ten lectures on wavelets. Philadelphia: SIAM. 1992, 437 pp.
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / Сергиенко А. Б. – 2002. – 458 с.
3. Нанеев Р.М. Математические модели в задачах обработки сигналов / Р.М. Нанеев. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 350 с.

Рецензія/Peer review : 23.11.2015 р. Надрукована/Printed : 19.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н. Мартинюк В.В.