

СХЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕМІВ З БАГАТОРІВНЕВОЮ QAM-МОДУЛЯЦІЄЮ З ВИКОРИСТАННЯМ МОМЕНТНИХ ІНВАРІАНТІВ

К. Т. Н. А. В. Садченко, О. А. Кушніренко,
Н. П. Кушніренко, О. В. Садченко

Державний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
koa@op.edu.ua

Розроблено блок синхронізації QAM-модему зі швидкодійною схемою відновлення фази опорного гетеродина та цифровим автоматичним регулюванням коефіцієнта посилення приймальної частини демодулятора. Зниження часу входження демодулятора QAM в синхронізм досягається завдяки застосуванню схеми розпізнавання синхросигналу безпосередньо на виході квадратурного приймача з використанням методу моментних інваріантів.

Ключові слова: QAM-модем, відновлення фази гетеродина, моментні інваріанти.

Автономні приймально-передавальні пристрої, що входять до складу систем, побудованих відповідно до ідеології «Інтернет речей», як правило, забезпечуються джерелами живлення з обмеженим ресурсом, що безпосередньо залежить від їхнього режиму роботи. Тому протягом більшої частини часу ці пристрої перебувають у режимі зниженого енергоспоживання, а при активізації відповіді на зовнішній запит відбувається передача порівняно великого обсягу інформації. В таких умовах стає актуальним питання зниження часу, необхідного на синхронізацію передавальної та приймальної частин модему. Прикладами перерахованих пристроїв можуть бути різні кліматичні та тензометричні датчики, пристрої обробки та передавання фото- та відеоінформації.

З метою підвищення швидкості передачі даних найчастіше використовується багатопозиційна QAM-модуляція з числом позицій 16 і більше, причому кожен символ повідомлення переносить не менше 4 біт інформації [1].

Однак зі зростанням ансамблю інформаційних QAM-сигналів зменшується відстань між сигнальними точками, що призводить до зниження завадостійкості системи зв'язку, а також виникає більша кількість позицій фазової неоднозначності, що збільшує час входження в синхронізм.

Метою даної роботи є розробка швидкодійної схеми фазової синхронізації [2] модемів з QAM-модуляцією на прикладі сигнального сузір'я QAM-16 з використанням методу моментних інваріантів, що дозволяє розпізнавати сигнальну синхронізуючу послідовність в умовах афінних спотворень.

Структурна схема пропонованого пристрою фазової синхронізації наведена на рис 1. Схема квадратурного QAM-демодулятора [3] містить вхідний підсилювач радіочастоти або проміжної частоти з можливістю швидкого високоточного регулювання коефіцієнта посилення, аналогові перемножувачі, генератор, керований напругою (ГКН), блок фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ) на основі петлі Костаса [4], фільтри Найквіста з характеристикою «піднесений косинус» для усунення ефекту міжсимвольної інтерференції. Отримані на виході квадратурного демодулятора сигнали IQ після оцифрування за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) надходять у вигляді двовимірного масиву даних до регістра зсуву, що працює в режимі ковзного вікна. Після кожного послідовного зсуву відбувається обчислення моментних інваріантів у відповідному блоці, і у разі виявлення синхросигналу подається дозвільний строб на обчислювач помилки фази та коефіцієнта посилення, на входи якого надходить масив даних з регістру зсуву та еталонне зображення. Основна відмінна риса цієї схеми — блок обчислення моментних інваріантів. Метод моментних інваріантів [5] успішно застосовується у задачах розпізнавання графічних образів, наприклад автомобільних номерів, тексту тощо, в умовах афінних перетворень. Афінні перетворення призводять до того, що зображення, яке розпізнається, відрізняється від еталонного масштабом, зсувом або кутом повороту площини зображення.

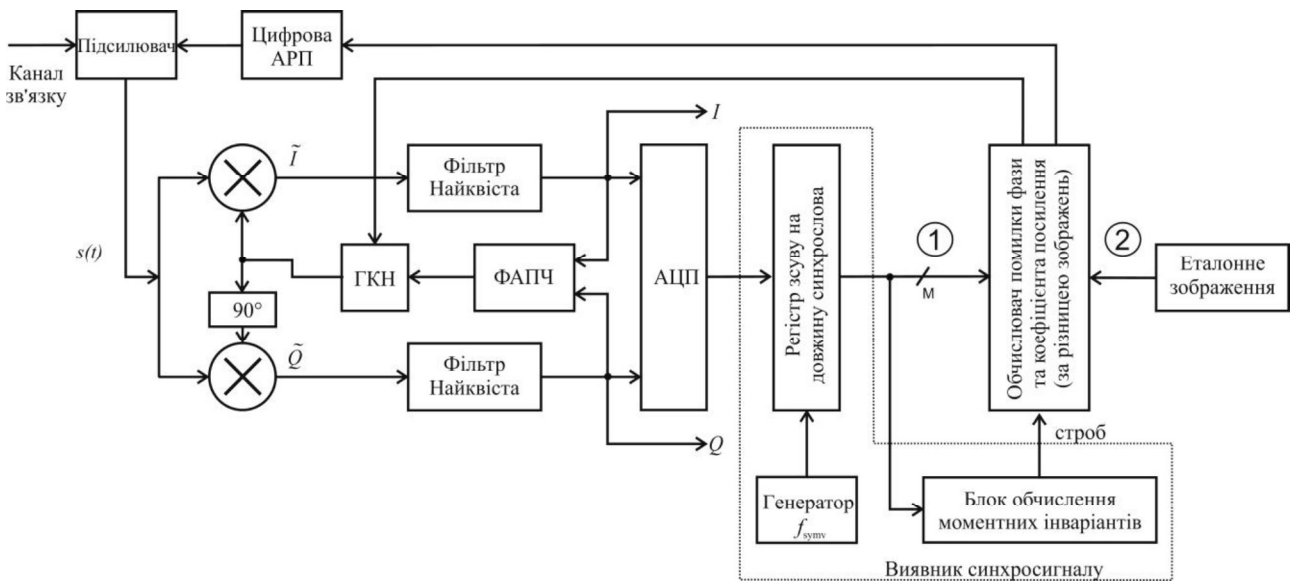


Рис. 1. Структурна схема блоку синхронізації *QAM*-модему з швидкодійною схемою відновлення фази опорного гетеродина та цифровим автоматичним регулюванням посилення (АРП) приймальної частини демодулятора

Суть методу моментних інваріантів у тому, що за прийнятим зображенням формується вектор ознак [6], який згодом порівнюється з аналогічним вектором ознак еталонного зображення. Основною проблемою цього методу є вибір множини ознак, нечутливих до афінних перетворень.

Одним з підходів до розв'язання цієї проблеми є побудова вектора ознак на основі моментних інваріантів X_u [7], який показав свою ефективність при обробленні бінаризованих зображень.

У загальному випадку завдання розпізнавання полягає в аналізі значення вирішальної функції

$$U_{ij}(x) = d_i(x) - d_j(x) = X^T (Z_i - Z_j) - \frac{1}{2} (Z_i Z_i^T - Z_j Z_j^T); i, j = \overline{1, M};$$

$$X = \begin{Bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \\ \Psi_4 \\ \Psi_5 \\ \Psi_6 \\ \Psi_7 \end{Bmatrix}; \quad Z = \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \\ \Phi_6 \\ \Phi_7 \end{Bmatrix},$$

де X — вектор інваріантів зображення, яке необхідно розпізнати;

Z — вектор інваріантів еталонного зображення;

M — число ознак.

Траєкторію руху сигнальної точки на виході квадратурного демодулятора в інтервалі часу, що відповідає синхросигналу, можна розглядати як графічне бінаризоване зображення цього сигналу.

У цьому випадку завдання синхронізації зводиться до визначення моменту передачі синхросигналу шляхом його графічного розпізнавання з подальшою корекцією коефіцієнта посилення приймального пристрою та стрибкоподібного підстроювання фази для усунення неоднозначності орієнтації прийнятого *QAM*-сузір'я відносно *IQ*-площини.

Приклади графічних образів, що утворюються на *IQ*-площині в момент прийняття синхросигналу, наведено на рис 2.

Сформулюємо вимоги до графічного образу синхросигналу:

- охоплення всіх сигнальних точок з максимальною енергією (крайні точки QAM -сузір'я);
- відсутність властивості поворотної симетрії;
- мінімально можлива довжина траєкторії контуру графічного образу.

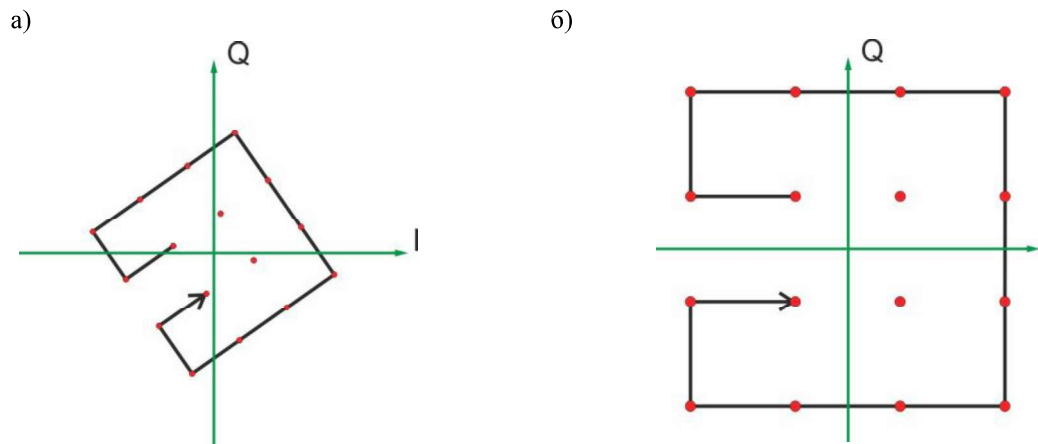


Рис. 2. Приклади графічних образів, що утворюються на IQ -площині:
 а — графічний образ в момент прийняття синхросигналу; б — еталонний образ

Таким чином, представлення синхросигналу у вигляді графічного образу, що не має властивості поворотної симетрії, дозволяє забезпечити швидку синхронізацію QAM -демодулятора з використанням методу моментних інваріантів, що застосовується в задачах розпізнавання графічних образів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Скляр Б. *Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение*. Москва, Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. Садченко А. В., Кушниренко О. А., Кошелев Е. К., Бондар В. И. Быстродействующий алгоритм восстановления несущей частоты и кадровой синхронизации в модемах с QPSK-модуляцией. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2018, № 1, с. 28–35. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2018.1.28>
3. Садченко А.В., Кушниренко О.А., Ефимов О.И. и др. Корреляционная схема кадровой синхронизации в системах связи с QPSK-модуляцией. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2017, № 6, с. 22–28. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2017.6.22>
4. Брени С. *Синхронизация цифровых сетей связи*. Москва, Мир, 2003.
5. Palaniappan R., Raveendran R., Sigeru Omatu. *Improved Moment Invariants for Invariant Image Representation*. University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005
6. Медведик А. Д., Коноховский С. М., Тришин А. И. Оценка информативности модифицированных моментных инвариантов, используемых в распознавании образов. *Труды XIX МНПК «Современные информационные и электронные технологии»*. Украина, Одесса, 2018, с. 68.
7. Hu M.-K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. *IKE Transactions on Information Theory*, 1962, vol. 8, p. 179–187.

A. V. Sadchenko, O. A. Kushnirenko, N. P. Kushnirenko, O. V. Sadchenko

Synchronization scheme for modems with multilevel QAM modulation using moment invariants

The authors develop a QAM modem synchronization unit with a high-speed reference local oscillator phase recovery circuit and digital automatic gain control of the demodulator receiving part. Reduction of the QAM demodulator lock-in time is achieved due to the use of a clock recognition circuit directly at the output of the quadrature receiver using the moment invariant method.

Keywords: QAM modem, LO phase recovery, moment invariants