

# АВТОМАТИЧНА КЛАСИФІКАЦІЯ МОДУЛЯЦІЇ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ МЕТОДОМ ВИДІЛЕННЯ ОЗНАК

О. І. Іванцов<sup>1</sup>, О. О. Корниенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## Анотація

В статі розглянуто основні методи автоматичної класифікації модуляції (АКМ) аналогових сигналів. Проведено аналіз та побудовано алгоритм методу класифікації модуляції сигналів методом виділення ознак. Результати комп'ютерного моделювання показують, що відсоток правильної класифікації модуляції сигналу досягає 97% при відношенні сигнал/завада 0 дБ. Розглянутий метод має вищий відсоток правильної класифікації модуляції та меншу обчислювальну складність в порівнянні з іншими методами.

*Ключові слова:* ознаки, класифікація модуляції, аналогова модуляція, алгоритми

## Вступ

Одним із засобів використання автоматичної класифікації модуляції є радіомоніторинг, який може бути застосований як у військовій, так і у цивільній сфері. Особливо радіомоніторинг може бути корисний в сфері ТЗІ, де для отримання інформації використовують радіозакладні пристрої з різними (частіше всього аналоговими) видами модуляції. Сьогодні цифрова модуляція використовується частіше ніж аналогова. Проте аналогова модуляція все ж широко використовується, так як для модульованого сигналу важко правильно вибрати функцію розподілу ймовірності. В цій роботі проаналізовано існуючі методи автоматичної класифікації аналогової модуляції та розроблено простий алгоритм АКМ аналогових сигналів.

## 1. Огляд літературних джерел

Вхідний сигнал, перед тим як потрапити в приймач, у тракту передачі піддається впливу перешкод та затуханню. Після потраплення в приймач на сигнал починає впливати шум приймача. Першим етапом класифікації модуляції сигналу є процес попередньої обробки сигналу. На цьому етапі відбувається перетворення частоти вхідного сигналу, фільтрація, тощо. Після цього сигнал подається на блок алгоритму класифікації, де проводиться процес розрахунку (виділення) ознак сигналу, та власне класифікація модуляції. Останнім етапом є демодуляція сигналу. В ролі приймача використовується програмно-визначений (Software defined radio, SDR) приймач. Тюнер переносить аналоговий сигнал з радіодіапазону на діапазон проміжної частоти. Аналого-цифровий перетворювач, який стоїть за ним відцифровує ПЧ сигнал, тим самим перетворює його на цифрові вибірки. Ці вибірки подаються далі на цифровий перетворювач частоти. Цифровий перетворювач частоти являє собою як правило звичайний чіп і є ключовим елементом в системі SDR.

Потім відбувається перенос цифрових вибірок ПЧ на робочу частоту. Фільтр нижніх частот зі скінченною імпульсною характеристикою обмежує полосу сигналу. Після цього цифрові вибірки подаються на блок цифрової обробки сигналів, який може проводити демодуляції, декодування або інші операції.

В [1] пропонуються алгоритми для виділення таких видів модуляції як АМ, ЧМ, АМ ОБП, БАМ, основаних на характеристиках обвідної прийнятого сигналу. Представляє інтерес аналіз відношення дисперсії обвідної до її середнього квадратичного відхилення. Загальний відсоток правильного визначення модуляції такого алгоритму досягає 97% при відношенні сигнал/завада 7 дБ. В [2] та [3] пропонується 5 алгоритмів класифікації аналогової модуляції для визначення 6 видів модуляції: АМ (з різною глибиною модуляції), ЧМ (з різними індексами модуляції), БАМ, АМ ВВП (USB), АМ НВП (LSB), VSB з різними глибинами та індексами модуляції. В даних статтях пропонується 4 ключові ознаки для виконання умов алгоритмів. Загальний відсоток правильного визначення модуляції такого алгоритму досягає 97% при відношенні сигнал/завада 10 дБ. В [4] пропонується алгоритм для визначення таких видів модуляції як: АМ, ЧМ, БАМ та АМ ОБП. Відсоток правильного визначення модуляції такого алгоритму досягає 95% при відношенні сигнал/завада більше ніж 10 дБ. В цьому алгоритмі запропонований новий метод отримання обвідної сигналу, який не вимагає розрахунку перетворення Гільберта для вхідного сигналу. В [5] проаналізовано циклостационарні процеси в АМ, БАМ, АМ ОБП, СW (телеграф) та шумових сигналах. Обрахована циклічна спектральна щільність прийнятого сигналу використовувалась в класифікації сигналу. Але в статті не були описані методи щодо впровадження даного підходу. В [6] було запропоновано 4 різні кластерні методи для визначення наступних аналогових модуляцій: АМ, ЧМ, БАМ, АМ ВВП, АМ НВП. Впровадження даного методу

в статті не було описано. В [7] було запропоновано використання штучних нейронних мереж для класифікації модуляції ознак та ознаки, які були описані в [2] для визначення таких видів модуляції як АМ, ЧМ, БАМ, АМ ВВП та АМ НВП. В [8] було запропоновано класифікатор модуляції, який заснований на змінні миттєвого значення амплітуди та частоти. Цей класифікатор застосовувався для визначення аналогових модуляцій АМ, ЧМ, АМ ОБП та СВ. Класифікатор розділяв АМ та СВ від ЧМ та АМ ОБП при відношенні сигнал/завада більше ніж 35 дБ. Проте класифікатор розділяв АМ ОБП від ЧМ при відношенні сигнал/завада 5 дБ. В [9] запропонований класифікатор модуляції, який заснований на миттєвому значенні частоти, в доповненні до ознак, які описувалися в [1]. Класифікатор використовувався для визначення таких модуляцій як АМ, БАМ, АМ ОБП, ЧМ, СВ та шумових сигналів. Відсоток правильної класифікації досягав 94% при відношенні сигнал/завада 15 дБ, інші види модуляції були класифіковані з відсотком 100% при такому ж відношенні сигнал/завада. В [10] запропоновано класифікатор модуляції для визначення АМ сигналів при малих глибинах модуляції та малим відношенням сигнал/завада. Також в статті зазначено, що дані ознаки класифікації є надійними навіть при відношенні сигнал/завада 0 дБ.

В статті [11] розглянутий класифікатор модуляції, який відрізняє АМ ВВП від АМ НВП. Розпізнавання базується на тому факті, що миттєва частота АМ ВВП сигнал має більше негативних сплесків частот ніж позитивних, в АМ НВП навпаки. Загальний відсоток розпізнавання досягає 100% навіть при відношенні сигнал/завада 0 дБ. В [12] запропоновано класифікатор модуляції, котрий має в своєму складі корелятор, який використовується для розпізнавання ФМ від ЧМ. Але в даній статті не було представлено ніяких оцінок ефективності такого класифікатора.

## 2. Виділення ознак

Для того щоб відрізнити аналогові види модуляції, з сигналу розраховують 3 ознаки, використовуючи амплітудний, фазовий спектри перехопленого сигналу.

Першою ознакою є  $\gamma_{max}$ , яка визначається як:

$$\gamma_{max} = \frac{\max|FFT(a_{cn}(i))|^2}{N_s}$$

де  $\gamma_{max}$  є максимальним значенням спектральної густини потужності нормованої миттєвої амплітуди перехопленого сигналу,  $N_s$  – число вибірок в сегменті, а  $a_{cn}(i)$  значення нормованої миттєвої амплітуди в момент часу  $t = \frac{i}{f_s}$ , ( $i = 1, 2, \dots, N_s$ ). Причому,  $a_{cn}(i) = a_{cn}(i) - 1$ ,  $a_{cn}(i) = \frac{a(i)}{m_a}$ , де  $a(i)$  – миттєва амплітуда,  $m_a$  – вибіркоче середнє значення.

Другою ознакою є  $\sigma_{dp}$ , яка визначається як:

$$\sigma_{dp} = \sqrt{\frac{1}{C} \left( \sum_{a_n(i) > a(t)} \varphi_{NL}^2(i) \right) - \left( \sum_{a_n(i) > a(t)} \varphi_{NL}(i) \right)^2}$$

де  $\sigma_{dp}$  є відхиленням центрованої нелінійної складової миттєвої фази,  $\varphi_{NL}(i)$  – значення центрованої складової миттєвої фази в момент часу  $t = \frac{i}{f_s}$ ,  $C$  – кількість вибірок в  $\varphi_{NL}(i)$ , для яких  $a_n(i) > a(t)$ ,  $a(t)$  – поріг, за якими отримуються вибірки.

Третя ознака визначається наступним чином:

$$P = \frac{P_l - P_u}{P_l + P_u}$$

Ця ознака описує симетрію спектру перехопленого сигналу навколо несучої частоти, на основі спектральної потужності нижньої та верхньої компоненти спектру:

$$P_l = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X_c(i)|^2;$$

$$P_u = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X_c(i + f_{cn} + 1)|^2$$

де  $X_c(i)$  – сигнал,  $(f_{cn} + 1)$  – номер вибірки, відповідно до несучої частоти, який визначається наступним чином:

$$f_{cn} = \frac{f_c N_s}{f_s} - 1$$

## 3. Результати моделювання

Моделювання процесу автоматичної класифікації модуляції здійснювалось у програмному середовищі Matlab R2011b. Змінюваними параметрами при моделюванні були довжина даних, носійна частота, швидкість передачі символів і частота дискретизації.

Порядок виділення ознак для подальшої класифікації сигналу зображений на рис. 1 порогові значення необхідні для класифікації зображені в табл. 1. Порядок порівняння ознак сигналу проводиться послідовно. Вид модуляції сигналу визначається відповідністю характеристик сигналу визначеним критеріям. Для класифікації використовувалися порогові значення, знайдені емпіричним шляхом.

Табл. 2 показує, що використовуючи розраховані ознаки, для класифікації модуляції аналогових сигналів загальний відсоток розпізнавання досягає 97,33% при відношенні сигнал/завада 0 дБ.

## Висновки

В даній статті було запропоновано алгоритм класифікації аналогових видів модуляції використовуючи спектральні ознаки сигналу, а саме: максимальне значення спектральної потужності нормованого сигналу, середньоквадратичне відхилення центрованої нелінійної складової миттєвої фази, симетрія спектру сигналу навколо несучої частоти. Розроблений алгоритм характеризується високою точністю класифікації модуляції аналогових сигналів, малою обчислювальною складністю, незалежністю порядку отримання ознак сигналу.

Розроблений алгоритм може бути використаний для класифікації модуляції цифрових сигналів.

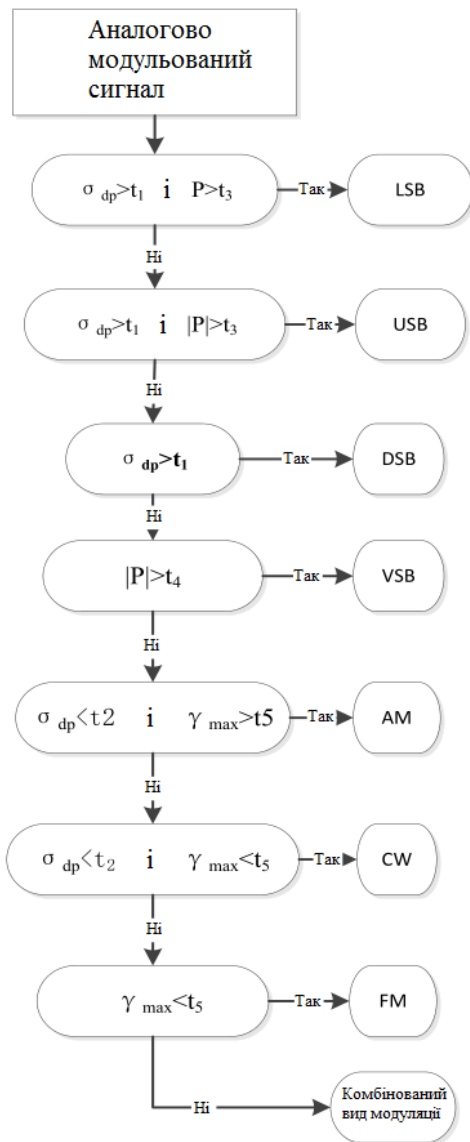


Рис. 1. Алгоритм класифікації модуляції

Табл. 1. Порогові значення запропонованого алгоритму АКМ

Ознаки	Порогові значення
$\sigma_{dp}$	$t_1 = 1.2; t_2 = 0.685$
$ P $	$t_3 = 0.5; t_4 = 0.325$
$\gamma_{max}$	$t_5 = 4.39$

Табл. 2. Результати точності АКМ запропонованого алгоритму

Вид модуляції	-2 дБ	0 дБ	2 дБ
AM	66.4%	93%	100%
FM	97.6%	99.4%	100%
DSB	99.6%	100%	100%
LSB	98%	100%	100%
USB	82.2%	99.4%	100%
VSB	44.4%	96.2%	100%
COM (AM-FM)	97.2%	100%	100%
CW	30.2%	90.6%	100%
Загальний відсоток	76.95%	97.33%	100%

## Перелік використаних джерел

- Zaihe Yu, «Automatic modulation classification of communication signals», Ph.D. Dissertation, New Jersey Institute of Technology. — Aug. 2006.
- Y. T. Chan, L. G. Gadbois, and P. Yansouni, «Identification of the modulation type of a signal», in Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, — 1985, — pp. 838-841.
- A. K. Nandi and E. E. Azzouz, «Automatic analogue modulation recognition», Signal Processing, — Oct. 1995. — vol. 46, no. 2. — pp. 211-222.
- E. E. Azzouz and A. K. Nandi, «Automatic Modulation Recognition Of Communications Signals», Netherlands: Kluwar Academic Publishers., — 1996.
- I. Druckmann, E. I. Plotkin, and M. N. S. Swamy, «Automatic modulation type recognition», in Proc. IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, — May 1998, — pp. 65-68.
- B. Seaman and R. M. Braun, «Using cyclostationarity in the modulation classification of analogue signals», in Proc. South African Symposium on Communications and Signal Processing, — Sep. 1998, — pp. 261-266.
- H. Guldemir and A. Sengur «Classification of analog modulated communication signals using clustering techniques: A comparative study». — 2005. — no. 2. — pp. 247-256.
- Richterova, et al., «Modulation classifier of analogue modulated signals based on method of artificial neural networks», Applied Electronics, — 2006. — pp. 145-147.
- P. M. Fabrizi, L. B. Lopes, and G. B. Lockhart, «Receiver recognition of analogue modulation types», in Proc. International Conference on Radio Receiver and Associated Systems, Bangor, Wales, — 1986. — pp. 135-140.
- P. A. J. Nagy, «Analysis of a method for classification of analogue modulated radio signals», in Proc. European Association for Signal Processing VII Conference, Edinburgh, Scotland, . — Sep. 1994. — pp. 1015-1018.
- S. D. Jovanovic, M. I. Doroslovacki, and M. V. Dragosevic «Recognition of low modulation index AM signals in additive Gaussian noise», in Proc. European Association for Signal Processing V Conference, Edinburgh, Scotland, . — 1994. — pp. 1923-1926.
- Y. O. Al-Jalili, «Identification algorithm of upper sideband and lower sideband SSB signals», Signal Processing, . — Mar. 1995. — vol. 42, no. 2. — pp. 207-213.
- S. Taira and E. Murakami, «Automatic classification of analogue modulation signals by statistical parameters», in Proc. Military Communications Conference, . — Nov. 1999. — pp. 202-207.