

Нагорнюк Олександр Анатолійович (кандидат технічних наук)  
Авсієвич Роман Олексійович

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Україна

## МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДУ МОДУЛЯЦІЇ РАДІОСИГНАЛІВ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Метою статті є вдосконалення методу розпізнавання виду модуляції радіосигналів, побудованих відповідно до телекомунікаційного стандарту ETSI EN 302 307 – 1, в умовах апріорної параметричної невизначеності із застосуванням кумулянтів. Актуальність дослідження за обраною тематикою полягає в тому, що означений телекомунікаційний стандарт є досить поширеним в інформаційних системах. Водночас він передбачає використання значного різноманіття сигнально-кодових конструкцій. Відсутність даних про вид модуляції унеможливує налаштування демодуючої апаратури. В свою чергу, потреба встановлення виду модуляції радіосигналів за відсутності апріорних даних, досить часто, виникає під час проведення радіомоніторингу частотного ресурсу, а також під час функціонування когнітивних радіосистем. Удосконалений в статті метод розпізнавання виду модуляції радіосигналів стандарту ETSI EN 302 307 – 1 базується на кумулянтному аналізі та методі мінімальної метрики. Вибір змішаних кумулянтів вищих порядків як модуляційних ознак, обумовлено їх властивістю адитивності та тим, що значення кумулянтів від третього і вище порядків дорівнюють нулю для величин із нормальним законом розподілення ймовірностей. Використання методу мінімальної метрики дозволяє в подальшому додати інші види модуляції, що можуть розпізнаватися вдосконаленим методом, без суттєвої зміни самого методу (потрібно лише додати нові значення кумулянтів до еталонного алфавіту). Метод має порівняно низьку обчислювальну складність за рахунок використання лише чотирьох значень кумулянтів (С40, С42, С61, С63). Для підвищення ймовірності правильного розпізнавання виду модуляції в умовах наявних похибок синхронізації за несучою частотою запропоновано вдосконалити метод кумулянтного аналізу, шляхом використання кумулянтів розрахованих для модифікованих фазових сузір'їв. Перевагою модифікованих сузір'їв є їх інваріантність до залишкових значень несучої частоти. Перевірка результатів здійснювалася у програмному середовищі «MATLAB» відповідно до методу статистичних випробувань Монте-Карло. Результати моделювання показали, що вдосконалений метод кумулянтного аналізу дозволяє розпізнати вид модуляції із ймовірністю близькою до 1 за відношення сигнал-шум від 7 дБ під час використання звичайних фазових сузір'їв та за відношення сигнал-шум від 14 дБ у процесі використання модифікованих фазових сузір'їв. Використання модифікованих фазових сузір'їв дозволяє здійснювати обробку радіосигналів у випадку наявності залишків несучого коливання, що не враховується іншими авторами під час розгляду методів визначення виду модуляції радіосигналів, заснованих на кумулянтному аналізі. Враховуючи той факт, що телекомунікаційний стандарт ETSI EN 302 307 – 1 використовується у багатьох телекомунікаційних системах, отримані результати можуть бути використані в системах цифрової обробки радіосигналів, що застосовуються підрозділами сектору безпеки і оборони України.

**Ключові слова:** радіосигнал, телекомунікаційна система, автоматизація, модуляція, кумулянтний аналіз, метод мінімальної метрики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Телекомунікаційний стандарт ДСТУ «ETSI EN 302 307 – 1:2017 (ETSI EN 302 307 – 1:2014, IDT). Друге покоління структури кадрів, каналного кодування та системи модуляції для супутникових систем мовлення, інтерактивних послуг, збору новин та інших ширококутних застосувань. Частина 1. DVB-S2» (далі – ETSI EN 302 307 – 1) унормовує ширококутну передачу даних в інформаційних системах. Станом на червень 2023 року, зазначений телекомунікаційний стандарт є одним із найбільш поширених у космічних системах зв'язку. Так,

зазначений стандарт використовується для організації телекомунікаційних мереж з багатостанційним доступом, через які може передаватися мультимедійний трафік (відео, аудіо та дані). Широкому використанню телекомунікаційного стандарту ETSI EN 302 307 – 1 в космічних системах сприяли: можливість організації радіоканалів із значною пропускну здатністю, ефективне використання частотного ресурсу, універсальність, значне різноманіття сигнально-кодових конструкцій та режимів роботи.

Впровадження у практичне використання даного стандарту відбулося у 2005 році. У квітні

2021 року вийшло його оновлення, яке покращує спектральну ефективність та завадозахищеність радіоканалів, що сприяє використанню цього телекомунікаційного стандарту мобільними абонентами. Однак, під час проведення радіомоніторингу частотного ресурсу, а також в межах функціонування когнітивних радіосистем, враховуючи значне різноманіття сигнально-кодових конструкцій, передбачених стандартом ETSI EN 302 307 – 1, виникає апіорна параметрична невизначеність, зокрема, щодо виду модуляції у радіосигналах. Крім того, виробники обладнання можуть вносити зміни у телекомунікаційне обладнання з метою захисту інформації або створення оригінального обладнання з функціоналом відмінним від визначеного стандартом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ведення радіомоніторингу в умовах параметричної невизначеності вимагає застосування методів «сліпого» оцінювання радіосигналів для розпізнавання виду модуляції. Зазначені методи використовуються в радіосистемах з підтримкою технології «Множинний вхід множинний вихід» (Multiple Input Multiple Output (MIMO)), а також в програмно-визначених та когнітивних системах передачі інформації [2; 3]. Наукометричні бази містять значну кількість інформації щодо розпізнавання видів модуляції радіосигналів на фоні шумів з використанням методів «сліпого» оцінювання, зокрема: методи, що базуються на відношенні правдоподібності, метод розпізнавання видів модуляції з використанням значень моментів сигналу, метод гістограм миттєвих амплітуд та фазових станів, методи засновані на використанні величин статистики вищих порядків та інші [4 – 10].

У результаті вивчення особливостей кожного з наведених методів встановлено, що основними недоліками існуючих підходів є обмежена кількість видів модуляції, що розпізнаються, низька ймовірність правильного розпізнавання сигналів з близькими за формою фазовими сузір'ями, вплив на ймовірність правильного розпізнавання сузір'я похибок синхронізації, складність реалізації, вимогливість до обчислювальних ресурсів, необхідність наявності апіорної параметричної інформації та чутливість до відповідності сигналу прийнятій моделі.

Враховуючи зазначені недоліки, широкого розповсюдження набули методи засновані на теорії розпізнавання образів з використанням величин статистики вищих порядків [10]. Зазначені методи базуються на порівнянні теоретичних та розрахованих значень кумулянтів вищих порядків. Водночас значення кумулянтів не залежать від величини адитивного гауссівського шуму. Також, використання кумулянтів дозволяє розпізнавати широке різноманіття видів цифрової модуляції [12].

**Метою статті** є вдосконалення методу розпізнавання виду модуляції радіосигналів, що заснований на кумулянтному аналізі під час здійснення прийому даних в умовах апіорної невизначеності.

## Виклад основного матеріалу дослідження

Суть методу визначення виду модуляції радіосигналів в умовах апіорної невизначеності із застосуванням кумулянтного аналізу полягає в розрахунку змішаних кумулянтів радіосигналу, порівнянні отриманих значень з теоретичними та прийнятті рішення про вид модуляції на основі найбільшого збігу розрахованих та теоретичних значень [5; 6].

Завдяки властивості адитивності під час аналізу сигналів з адитивним гауссівським шумом, метод на основі кумулянтів дозволяє забезпечити високу ймовірність правильного розпізнавання виду модуляції при низьких відношеннях сигнал-шум (далі – ВСШ).

Зазначені методи ефективні у випадку відновлення на приймальному боці частотної синхронізації. У випадку ж наявності залишкових значень несучого коливання доцільно використовувати модифіковані фазові сузір'я з розрахованими у статті значеннями кумулянтів.

Вихідні дані для дослідження такі: сигнал на передавальному боці сформовано відповідно до вимог ETSI EN 302 307 – 1, проте на окремих ділянках він має один з чотирьох видів цифрової модуляції: QPSK; 8PSK; 16APSK; 32APSK. Параметри маніпуляції на ділянці сигналу, що підлягає аналізу – постійні, а попередня інформація про їх можливі значення відсутня, що відповідає умовам апіорної параметричної невизначеності. Під час поширення сигналу він піддається впливу каналу, що описується гауссівською моделлю [11]. У такому разі відліки сигнальної суміші на виході аналого-цифрового перетворювача складаються з корисного сигналу та адитивного гауссівського шуму  $\xi(t)$  [11]:

$$r(k, U_i) = a_i e^{j\left(2\pi f_c \frac{k}{F_s} + \theta\right)} \sum_{i=1}^I s_i^X g\left(\frac{k}{F_s} - (i-1)T - \varepsilon T\right) + \xi(t), \quad (1)$$

де  $a_i$  – амплітуда сигналу;

$f_c$  – частота несучого коливання;

$\theta$  – початкова фаза несучого коливання;

$T$  – символний період;

$s_i^X$  – комплексні символи кінцевого алфавіту маніпуляції  $X$ , значення яких подано в стандарті ETSI EN 302 307 – 1;

$F_s$  – частота дискретизації;

$\varepsilon$  – похибка тактової синхронізації;

$g(n)$  – імпульсна характеристика формуючого фільтра.

$k$  – номер відліку в масиві.

Слід вважати, що на попередніх етапах обробки сигналу визначені параметри  $f_c$ ,  $\theta$ ,  $T$  та  $\varepsilon$ , здійснені операції корекції частоти несучого коливання, символної швидкості, еквалізування [11]. Необхідно розпізнати вид модуляції сигналу за його фазовим сузір'ям.

Математично кумулянти  $p$ -порядку  $C_p$  – визначаються як коефіцієнти розкладання в ряд

Маклорена логарифму характеристичної функції [8]:

$$\ln G(u) = \sum_{p=1}^{\infty} \frac{(iu)^p}{p!} C_p, \quad (2)$$

де  $p$  – порядок кумулянта.

Змішані кумулянти порядку  $p$  з кількістю комплексно-спряжених відліків  $q$  визначаються як [8]:

$$C_{pq} = Cum \left[ \underbrace{r(k), \dots, r(k)}_{p-q}, \underbrace{r^*(k), \dots, r^*(k)}_q \right], \quad (3)$$

де  $r^*(k)$  – спряжене значення комплексного відліку.

Кумулянт  $p$ -го порядку  $C_p$  визначається як сума початкових моментів до  $p$ -го порядку включно [8]:

$$C_p = Cum(r_1(n), r_2(n), \dots, r_p(n)) = \sum_{\mathcal{G}} (-1)^{q-1} (q-1)! E \left[ \prod_{j \in \mathcal{G}_1} r(j) \right] \dots E \left[ \prod_{j \in \mathcal{G}_q} r(j) \right] \quad (4)$$

де  $\mathcal{G} = (\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \dots, \mathcal{G}_q)$  – множина всіх можливих розкладань індексів.

Під час розпізнавання виду модуляції можуть використовуватися змішані кумулянти до восьмого порядку включно C20, C21, C40, C41, C42, C60, C61, C62, C63, C80, C81, C82, C83, C84. Отримані із (3) вирази для їх розрахунку через значення змішаних моментів подано у [12].

Значення змішаного кумулянта  $C_{21}$  відповідає енергії сигналу. Для забезпечення можливості порівняння змішаних кумулянтів, розрахованих

для сигналів з різними енергетичними характеристиками необхідно отримати їх нормовані значення [12].

$$C_{pq}^N = \frac{C_{pq}}{(C_{21} - D_{\xi})^{p/2}}, \quad (5)$$

де  $C_{pq}^N$  – нормоване значення змішаного кумулянта;

$D_{\xi}$  – дисперсія адитивного гауссівського шуму.

Для забезпечення можливості роботи методу автоматичного розпізнавання виду модуляції сигналів супутникових телекомунікаційних систем стандарту ETSI EN 302 307 – 1 в умовах наявних похибок синхронізації за частотою несучого коливання доцільно використовувати кумулянти розраховані для модифікованих фазових сузір'їв, що визначаються як

$$r^R(n) = r(n) \cdot r^*(n-m), \quad (6)$$

де  $r^R(n)$  – відліки сигналу із модифікованим фазовим сузір'ям;

$r^*(n-m)$  – комплексно-спряжений відлік масиву

даних  $r$ , зсунутий на  $m$  позицій.

Перевагою модифікованих сузір'їв є їх інваріантність до залишкових значень несучої частоти. Теоретичні значення кумулянтів звичайних та модифікованих фазових сузір'їв до 8-го порядку включно для чотирьох можливих видів модуляції стандарту ETSI EN 302 307 – 1 подано у табл. 1.

Таблиця 1

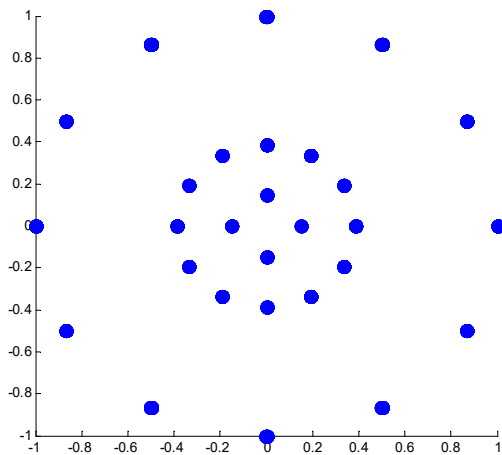
Теоретичні значення кумулянтів звичайних та модифікованих фазових сузір'їв

Змішаний кумулянт	Вид модуляції							
	QPSK		8PSK		16APSK		32APSK	
Значення	Звич.	Модиф.	Звич.	Модиф.	Звич.	Модиф.	Звич.	Модиф.
C20	0	0	0	0	0	0	0	0
C21	1	1	1	1	1	1	1	1
C40	1	1	0	0	0	0	0	0
C41	0	0	0	0	0	0	0	0
C42	-1	-1	-1	-1	-0.78	-0.48	-0.64	-0.12
C60	0	0	0	0	0	0	0	0
C61	-4	-4	0	0	0	0	0	0
C62	0	0	0	0	0	0	0	0
C63	4	4	4	4	2.48	0.82	1.72	-0.62
C80	-34	-34	1	1	0	0	0	0
C81	0	0	0	0	0	0	0	0
C82	34	34	0	0	-0.22	0	0.06	0
C83	0	0	0	0	0.03	0	0.06	0
C84	-34	-34	-33	-33	-17	-2.23	-10.3	4.68

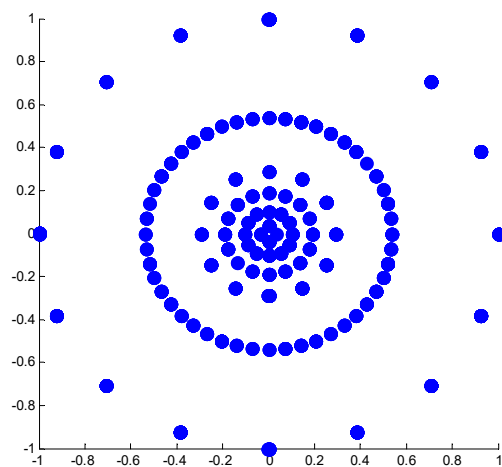
З табл. 1 видно, що кумулянти звичайних та модифікованих фазових сузір'їв QPSK та 8PSK сигналів є однаковими. Це пояснюється тим, що звичайні та модифіковані сузір'я вказаних видів

модуляції мають однаковий вигляд, поданий в [1].

Враховуючи вказане на рис. 1 наведено вигляд модифікованих фазових сузір'їв лише для модуляції 16APSK та 32APSK.



а)



б)

Рисунок 1 – Модифіковані фазові сузір'я:  
а) 16APSK; б) 32APSK

Проаналізувавши значення в табл. 1 можна зробити висновок, що під час побудови методу розпізнавання виду модуляції не потрібно використовувати всі значення кумулянтів, оскільки їх загальна сукупність має інформаційну надлишковість. Тому в методі використовується лише 4 кумулянти:  $C_{40}$ ,  $C_{42}$ ,  $C_{61}$ ,  $C_{63}$ . Такий підхід значно зменшує розрахункову складність методу.

Прийняття рішення про вид модуляції здійснюється методом мінімальної метрики, що ґрунтується на пошуку мінімальної просторової відстані до векторів з відомими значеннями кумулянтів видів модуляції поданих у табл. 1. Просторова відстань  $d_m$  розраховується як:

$$d_m = \left( \sum_{n=1}^4 |C_n - C_n^m| \right), \quad (7)$$

де  $C_n$  – розраховане значення n-го кумулянта;

$C_n^m$  – теоретичне значення n-го кумулянта, що відповідає можливому m-му виду модуляції.

Рішення про вид модуляції приймається за мінімумом значення  $d_m$ . Отже, метод автоматичного розпізнавання виду модуляції сигналів супутникових телекомунікаційних систем стандарту ETSI EN 302 307 – 1 оснований на кумулянтному аналізі сигналів складається з таких операцій:

1. Розраховуються нормовані значення кумулянтів для відліків сигналу  $r(k)$  за формулами (3)-(5).

2. Визначається мінімальна метрика між отриманим набором кумулянтів та набором кумулянтів поданих в табл. 1.

3. Відповідно до отриманої метрики приймається рішення про вид модуляції сигналу, що підлягає аналізу.

У випадку наявних похибок синхронізації за частотою несучого коливання замість звичайних фазових сузір'їв використовуються їх модифіковані варіанти та повторюється послідовність операцій 1–3.

Перевірку ефективності методу автоматичного розпізнавання виду модуляції сигналів супутникових телекомунікаційних систем стандарту ETSI EN 302 307 – 1 в умовах апріорної невизначеності здійснено відповідно до вимог статистичного моделювання та методів Монте-Карло в програмному середовищі «MATLAB».

Сигнальні суміші формувались шляхом генерування радіосигналів із QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK (кількість символів змінювалась в межах 1000-30000) та додавання до них шуму, модель якого описувалась нормальним законом розподілу ймовірностей. Відношення сигнал-шум (далі – ВСШ) змінювалось у діапазоні від 0 до 15 дБ з дискретністю 1 дБ. Для кожного значення ВСШ проведено 500 операцій із розпізнавання виду модуляції. У результаті статистичного моделювання отримано графічні залежності ймовірності правильного розпізнавання виду модуляції від ВСШ, які зображені на рис. 2.

Із рис. 2а,б видно, що ймовірність правильного розпізнавання залежить від виду модуляції та типу фазового сузір'я. Для звичайних фазових сузір'їв ймовірність правильного розпізнавання PSK сигналів є близькою до 1 за ВСШ від 3 дБ, а APSK сигналів – за ВСШ від 6 дБ (рис. 2а). Ймовірність правильного розпізнавання виду модуляції QPSK, 8PSK та 32APSK за модифікованими фазовими сузір'ями є близькою до 1 за ВСШ від 10 дБ, а модуляції 16APSK – за ВСШ від 14 дБ (рис. 2б).

Використання модифікованих фазових сузір'їв потребує більш високої якості вхідного сигналу (ВСШ має бути вищим в середньому на 5 дБ), однак дозволяє здійснювати розпізнавання в умовах наявних залишкових значень несучої частоти.

Аналізуючи рис. 2 (в, г) можна зробити висновок, що зміна кількості символів сигналу, за якими здійснюється розпізнавання, в межах 1000–30000 знаків не призводить до суттєвої зміни ймовірності правильного розпізнавання.

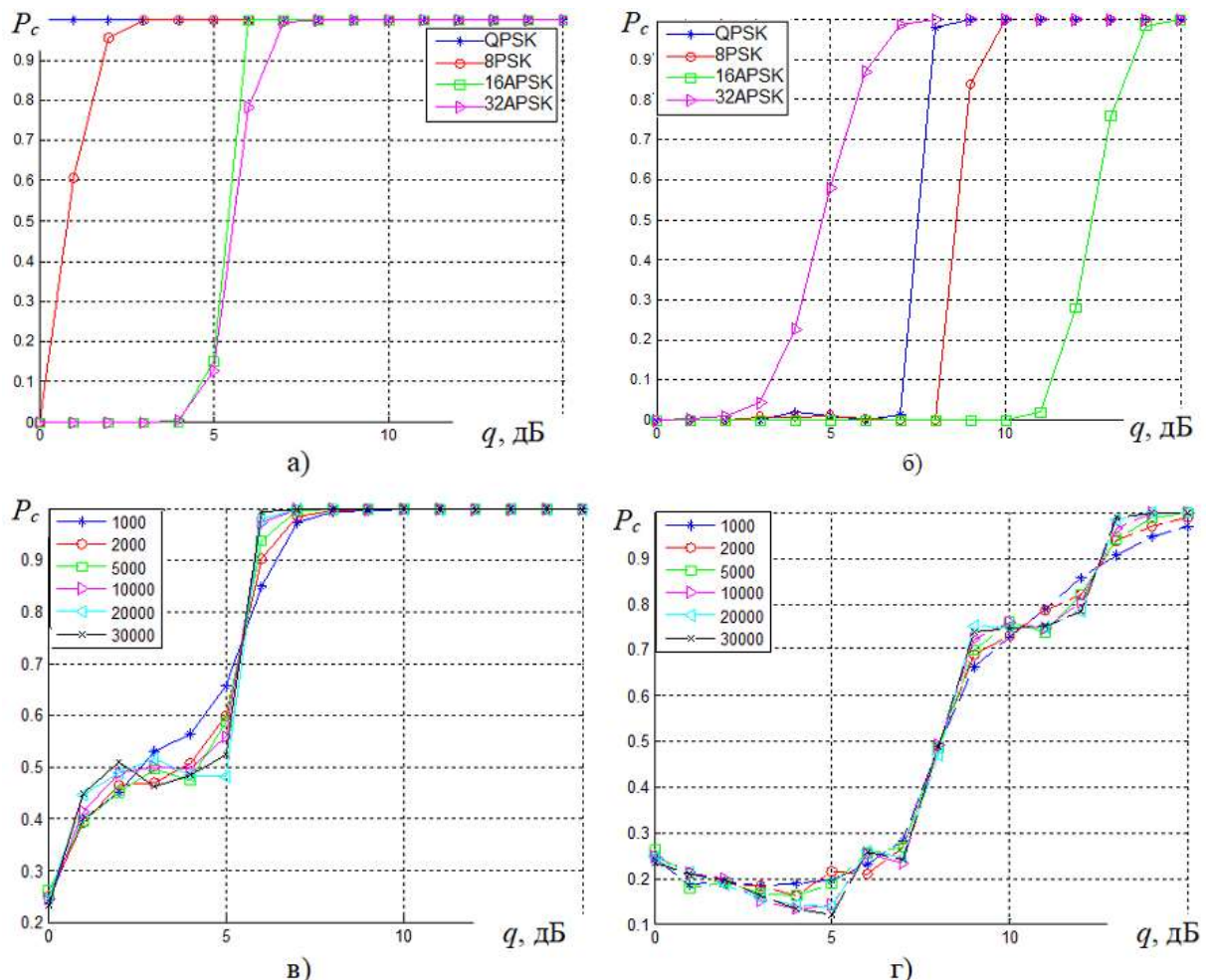


Рисунок 2 – Залежності ймовірності правильного розпізнавання виду модуляції сигналів стандарту ETSI EN 302 307 – 1:

- а) для звичайних фазових сузір'їв залежно від виду модуляції за вибірки 5000 символів;
- б) для модифікованих фазових сузір'їв залежно від виду модуляції за вибірки 5000 символів;
- в) середня ймовірність для звичайних фазових сузір'їв залежно від кількості символів (1000 – 30000);
- г) середня ймовірність для модифікованих фазових сузір'їв залежно від кількості символів (1000 – 30000)

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті вдосконалено метод розпізнавання виду модуляції радіосигналів, побудованих відповідно до стандарту ETSI EN 302 307 – 1, який ґрунтується на кумулянтному аналізі. Отримано теоретичні значення змішаних кумулянтів для чотирьох видів модуляцій, що передбачені стандартом.

Результати проведеного статистичного моделювання у програмному забезпеченні «MATLAB» свідчать, що вдосконалений метод дає змогу розпізнати вид модуляції з ймовірністю близькою до 1:

### Список бібліографічних посилань

1. ДСТУ ETSI EN 302 307-1:2017 (ETSI EN 302 307-1:2014, IDT) Друге покоління структури кадрів, каналного кодування та системи модуляції для супутникових систем мовлення, інтерактивних послуг, збору новин та інших широкосмугових застосувань. Частина 1. DVB-S2 – Вперше. [Чинний від 01.10.2017]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017, 81 с. 2. Muehlhau M., Oener M., Dobre O., Jaekel U., Jondral F. A novel algorithm for MIMO signal classification

за відношення сигнал-шум від 7 дБ, за використання звичайних фазових сузір'їв; за відношення сигнал-шум від 14 дБ, за використанні модифікованих фазових сузір'їв.

Слід відмітити, що для окремих видів модуляції розпізнавання здійснюється і за менших відношень сигнал-шум.

Враховуючи зазначене, метод розпізнавання виду модуляції радіосигналів, побудованих відповідно до стандарту ETSI EN 302 307 – 1, може бути використаний під час здійснення радіомоніторингу частотного ресурсу з використанням засобів цифрової обробки радіосигналів.

using higher-order cumulants. Radio and wireless symposium. Austin, 2013. 3 p. 3. Report ITU-R SM.2152. Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS). Geneva: ITU, 2009. 3 p. 4. Нагорнюк О. А., Писарчук О. О., Манойлов В. П. Спосіб автоматизованого розпізнавання виду цифрової лінійної модуляції, заснований на кумулянтному аналізі сигналів. Вісник Житомирського державного технологічного

університету. Серія : Технічні науки, 2013. Т. 2. С.67-76.  
**5. Zhu Z., Nandi K.** Automatic modulation classification principles, algorithms and applications. London : John Wiley & Sons, 2015. 194 p.  
**6. Ahmed K. Ali, Erçelebi E.** Automatic modulation recognition of DVB-S2X standard-specific with an APSK-based neural network classifier. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107257>  
**7. Sapiano P., Martin J., Holbeche R.** Classification of PSK signals using the DFT of phase histogram. *In Proc. IEEE ICASSP*. 1995. Vol. 3. P. 1868–1871.  
**8. Smith A., Evans M., Downey J.** Modulation classification of satellite communication signals using cumulants and neural networks. Cleveland : Cognitive Communications for Aerospace Applications Workshop, 2017. 8 p.  
**9. Chen Z.** A blind classification method

of adaptive coding and modulation signals based on cumulants. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. № 1738. doi:10.1088/1742-6596/1738/1/012015  
**10. Sabbar M. B., Rasool A. H.** Automatic modulation classifier: review, *Iraqi Journal of Information and Communication Technology*. 2020. № 3(4). P. 11–32. doi: 10.31987/ijict.3.4.111  
**11. Nezami M.** RF architecture and digital signal processing aspects of digital wireless transceivers. USA, 2003. 624 p.  
**12. Nahorniuk O.** Використання кумулянтного аналізу для розпізнавання радіосигналів цифрових телекомунікаційних систем. *Системи обробки інформації*. 2018. № 2(153). С. 136-143. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.153.17>.

## METHOD OF IDENTIFYING THE TYPE OF MODULATION OF RADIO SIGNALS OF SPACE COMMUNICATION SYSTEMS IN CONDITIONS OF PRIORI UNCERTAINTY

*Nahorniuk Oleksandr (PhD)*  
*Avsiievyh Roman*

*Korolov Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr, Ukraine*

*The purpose of the article is to develop a method for recognizing the type of modulation of radio signals built in accordance with the telecommunications standard ETSI EN 302 307 – 1 under conditions of a priori parametric uncertainty. The relevance of the research on the chosen topic is that the ETSI EN 302 307 – 1 standard is quite common in telecommunication systems. At the same time, this standard provides for the use of a significant variety of signal-code structures. The lack of data on the type of modulation makes it impossible to set up the demodulating equipment. In turn, the need to establish the type of modulation of radio signals in the absence of a priori data often arises during radio monitoring of a frequency resource, as well as within the framework of the functioning of cognitive radio systems. The method for recognizing the modulation type of radio signals of the ETSI EN 302 307 – 1 standard proposed in the article is based on cumulative analysis and the minimum metric method. The choice of mixed higher order cumulants as modulation features is due to their additivity property and the fact that the values of cumulants from the third and higher orders are equal to zero for values with a normal law of probability distribution. The application of the minimum metric method allows you to add other types of modulation that can be recognized by the developed method without significantly changing the method itself (it is only necessary to add new values of cumulants to the reference alphabet). The method has a relatively low computational complexity due to the use of only four values of cumulants (C40, C42, C61, C63). To increase the probability of correct recognition of the type of modulation in the conditions of existing synchronization errors by carrier frequency, it is proposed to use cumulants calculated for modified phase constellations. The advantage of modified constellations is their invariance to the residual values of the carrier frequency. The validation of the proposed methods took place in the «MATLAB» software environment according to the Monte Carlo statistical testing method. The modelling results showed that the proposed method allows to recognize the type of modulation with a probability close to 1 at SNR (signal noise redundancy) from 7 dB when using conventional phase constellations and at SNR from 14 dB when using modified phase constellations. Further research on the chosen topic is planned to be continued in the direction of increasing the number of modulation types provided by the new ETSI EN 302 307-2 telecommunications standard.*

**Key words:** radio signal, telecommunication system, automation, modulation, cumulant analysis, minimum metric method.

### References

**1. DP «UkraNDNTs»**, (2017). *Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1: DVB-S2*. DSTU ETSI EN 302 307-1:2017 (ETSI EN 302 307-1:2014, IDT) Kyiv. Vyd. ofits.  
**2. Muehlhau, M., Oener, M.**, (2013). *A novel algorithm for MIMO signal classification using higher-order cumulants*. Radio and wireless symposium. Austin, 3.  
**3. ITU** (2009). *Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)*. Report ITU-R SM.2152. Geneva, 3.  
**4. Nahorniuk, O. A., Pysarchuk, O. O., Manoilov, V. P.**, (2013). Method of digital linear modulation automatized recognition based on signals cumulant analysis. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*. Serii : Tekhnichni nauky. Zhytomyr, 2, 67-76.  
**5. Zhu Z. and Nandi K.**, (2015). Automatic modulation classification principles, algorithms and applications. London : John Wiley & Sons, 194.  
**6. Ali A. K., Erçelebi E.**, (2019). *Automatic modulation recognition of DVB-S2X standard-*

*specific with an APSK-based neural network classifier*. doi: 10.1016/j.measurement.2019.107257  
**7. Sapiano P., Martin, J., Holbeche, R.**, (1995). Classification of PSK signals using the DFT of phase histogram. *In Proc. IEEE ICASSP*, 3, 1868–1871.  
**8. Smith, A., Evans, M., Downey, J.**, (2017). *Modulation classification of satellite communication signals using cumulants and neural networks*. Cognitive Communications for Aerospace Applications Workshop. Cleveland, 8.  
**9. Chen, Z.** (2021). A blind classification method of adaptive coding and modulation signals based on cumulants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1738, doi:10.1088/1742-6596/1738/1/012015  
**10. Sabbar, M. B. and Rasool, A. H.** (2020) «Automatic modulation classifier: review», *Iraqi Journal of Information and Communication Technology*, 3(4), 11–32. doi: 10.31987/ijict.3.4.111  
**11. Nezami, M.**, (2003). RF architecture and digital signal processing aspects of digital wireless transceivers. USA, 2003. 624 p.  
**12. Nahorniuk, O.**, (2018). Use of cumulant analysis for recognition of radiosignals of digital telecommunication systems. *Systemy obrobky informatsii*, 2(153), 136-43. doi: 10.30748/soi.2018.153.17.