

С. П. Фриз, О. В. Кальватинський, Р. О. Авсієвич

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ФАЗОВОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ ТА СИМВОЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ В РАДІОЛІНІЯХ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ

У статті запропоновано модель універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символної швидкості для прийому наземними засобами потоку даних, що передаються в радіолініях низькоорбітальних космічних систем в умовах часткової апріорної невизначеності.

Актуальність проведення дослідження за обраною тематикою полягає в тому, що в останнє десятиліття фіксується значне збільшення кількості космічних систем, які експлуатуються на низьких навколоземних орбітах. Зазначене зумовлює збільшення різноманіття структур радіоліній космічних систем, що створює часткову апріорну невизначеність відносно параметрів радіосигналів, які транслюються цими системами. Водночас функціонування космічних систем на низьких навколоземних орбітах накладає обмеження на тривалість сеансу зв'язку, що в умовах часткової апріорної невизначеності параметрів радіосигналу ускладнює налаштування наземної демодулюючої апаратури.

У статті наведено можливий варіант побудови структурної схеми універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символної швидкості. Описано принцип роботи системи та обґрунтовано її працездатність шляхом математичного моделювання процесів.

Розглянута модель універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символної швидкості дозволяє в режимі часу, наближеному до реального, визначати: номінальне значення центральної несучої частоти радіосигналу, ширину спектра радіосигналу, символну швидкість та один із трьох видів фазової маніпуляції (BPSK, QPSK, 8PSK).

За результатами проведених розрахунків встановлено, що досліджувана система може використовуватися під час прийому потоку даних від космічних систем, які експлуатуються на низьких навколоземних орбітах. Крім того, вона може застосовуватися для визначення основних параметрів радіосигналів й інших систем з радіолініями з фазовою маніпуляцією.

Подальші дослідження за обраною тематикою будуть спрямовані на вивчення можливості розширення кількості видів маніпуляцій, що можуть автоматично визначатися запропонованою системою.

Ключові слова: радіолінія; радіосигнал; фазова маніпуляція; символна швидкість; космічні системи; низька навколоземна орбіта; автоматизація.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Радіолінії космічних систем характеризуються такими параметрами: центральна несуча частота радіосигналу, ширина спектра радіосигналу, значення відношення рівня потужності радіосигналу до рівня потужності шумів, вид маніпуляції та значення символної швидкості. Визначення зазначених параметрів радіолінії необхідне для проведення подальшої демодуляції

© С. П. Фриз, О. В. Кальватинський, Р. О. Авсієвич, 2020

наземними засобами прийнятого потоку даних від космічних систем. Залежно від цільового призначення космічної системи використовуються радіочастоти в межах від 1,4 ГГц до 50 ГГц. Крім того, у космічних системах застосовується значне різноманіття фазової та амплітудно-фазової видів маніпуляції: BPSK, QPSK, OQPSK, DQPSK, 8PSK, 8QAM, 16QAM, 16APSK, 32QAM, 32APSK, 64QAM, 64APSK та інші. Також використовується широкий діапазон символічних швидкостей у межах від 2 кБод до 450 МБод. Водночас у сучасних космічних системах застосовують адаптивні режими роботи, що передбачають зміну параметрів радіолінії під час трансляції потоку даних, обумовлену необхідністю забезпечення сталого значення ймовірності виникнення бітової помилки під впливом різного роду завад. Усе це значно ускладнює виконання завдань із прийому інформації від космічних систем в умовах апріорної невизначеності параметрів радіоліній. Тому актуальною є потреба у створенні універсальних автоматизованих систем з визначення параметрів радіоліній.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукометричні бази містять велику кількість публікацій щодо використання різних методів пошуку номінальних значень центральних несучих частот радіосигналів на фоні шумів. Зазначеному сприяла розробка радіосистем із псевдовипадковим перестроюванням радіочастот, а також розробка програмно-обумовлених засобів передачі інформації. Зокрема, різні автори із цією метою пропонують використовувати метод автокореляційної функції [1, 2], метод аналізу переходів сигналу через нуль [2], дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) [1], алгоритм Герцеля [1], параметричні та непараметричні методи спектрального оцінювання [1, 4], перетворення Вінгера – Вілла [3], вейвлет-перетворення [5, 6], віконні перетворення на основі ДПФ, метод періодограм, методи авторегресійних спектральних оцінювань, математичний апарат нечіткої логіки [1].

Водночас у відкритих публікаціях питанням автоматичного визначення виду маніпуляції та символічної швидкості приділялося значно менше уваги. Дане питання особливо гостро стоїть під час розробки наземних комплексів прийому даних в умовах часткової апріорної невизначеності структур радіоліній космічних систем, що експлуатуються на низьких навколосемних орбітах. Зазначене обумовлено тим, що подібні системи мають коротку тривалість сеансу зв'язку та використовують при цьому високі швидкості передачі даних. Крім того, є жорсткі вимоги щодо тривалості обробки прийнятих даних від подібних космічних систем. Враховуючи вказане, нижче розглянемо структурну схему й математичну модель універсальної автоматизованої системи визначення виду маніпуляції та символічної швидкості, що дозволить здійснювати обробку даних від низькоорбітальних космічних систем з урахуванням наведених вимог.

Також за результатами аналізу робіт [8–10] з'ясовано, що в низькоорбітальних космічних системах широкого застосування набули радіолінії з такими видами маніпуляції: BPSK, QPSK, 8PSK та їх різновиди. З урахуванням цього розглянемо рішення для обробки радіосигналів тільки з наведеними видами фазової маніпуляції.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розробка та дослідження структурної схеми й математичної моделі для автоматичного визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості в прийнятому наземними засобами потоці даних від космічних систем, що експлуатуються на низькій навколосемній орбіті й використовують радіолінії з фазовою маніпуляцією.

Виклад основного матеріалу. Очевидно, що для визначення виду фазової маніпуляції доцільно використовувати схеми, що містять у своєму складі фазовий детектор (ФД) та систему фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ). Також для визначення виду маніпуляції та символічної швидкості необхідно попередньо встановити номінальні значення несучої частоти та ширину спектра радіосигналу. В умовах необхідності здійснення обробки короткотривалих високошвидкісних радіосигналів у режимі часу, наближеному до реального, розв'язання вказаних задач доцільно здійснювати методом ДПФ. Для реалізації зазначених вимог можна використати схему на основі петлі рішень [11], зображену на рис. 1.

Структурна схема, наведена на рис. 1, дозволяє швидко визначати значення центральної несучої частоти та ширини спектра радіосигналу, а потім шляхом підбору вид фазової маніпуляції та значення символічної швидкості.

З рис. 1 видно, що запропонована структурна схема універсальної автоматичної системи визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості на основі петлі рішень складається з таких елементів: системи ФАПЧ, системи прийняття рішення (СПР), модуля перетворення Фур'є та аналізу сигналів (МПФАС).

Система ФАПЧ у схемі зібрана на основі: двох змішувачів; цифрового генератора частот, керованого напругою (NCO – англ. *numerically controlled oscillator*); фільтрів низьких частот (ФНЧ), ФД та слідкувального фільтра (СФ).

Між системою ФАПЧ та МПФАС розміщується СПР, до складу якої входять модуль обчислення коефіцієнтів та модуль виявлення захоплення.

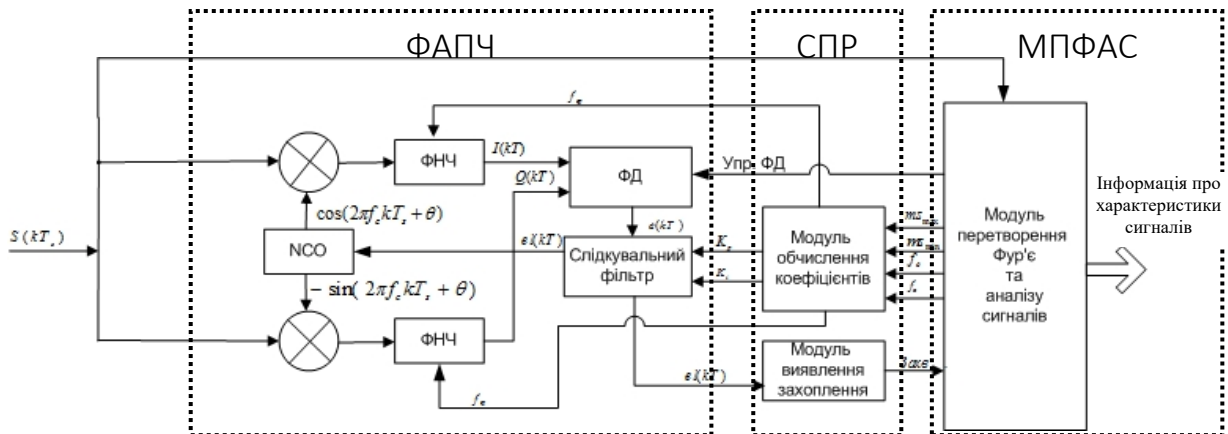


Рис. 1. Структурна схема універсальної автоматичної системи визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості на основі петлі рішень

Принцип роботи схеми можна описати таким чином: на вхід схеми подаються відліки $S(kTs)$ з виходу аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Одночасно вони надходять на входи системи ФАПЧ та МПФАС. У системі ФАПЧ змішувачі здійснюють перемноження вхідних відліків з ортогональними сигналами NCO, початкові параметри якого задає СФ, виходячи з розрахунків, проведених у системах МПФАС та СПР. На виході змішувачів формуються дві квадратурні складові вхідного сигналу. У подальшому квадратурні складові через ФНЧ подаються на вхід ФД, налаштування якого здійснюється на основі розрахунків, проведених МПФАС. З виходу ФД на СФ подається сигнал розузгодження, який у подальшому оцінюється модулем виявлення захоплення. Значення сигналу

розузгодження обирається з урахуванням виду маніпуляції та символічної швидкості. У разі, якщо сигнал розузгодження перевищує попередньо обраховане значення, СПР подає на МПФАС команду про необхідність зміни обрахованих параметрів, які після перерахунку знову подаються на СФ для зміни налаштування НСО.

МПФАС визначає центральну несучу частоту та ширину спектра радіосигналу, використовуючи метод ДПФ. Зазначені дані потрібні для коректного налаштування системи ФАПЧ, а також розрахунку значення сигналу розузгодження. Якщо сигнал розузгодження на виході ФД не перевищує попередньо розрахованого значення, то приймається рішення, що параметри радіосигналу визначено коректно, тоді СПР формує сигнал про видачу користувачу обчислених параметрів.

Зазначений процес можна описати алгоритмом, наведеним на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм роботи універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості

Розглянемо математичну модель запропонованої універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символної швидкості.

Як зазначено вище, виявлення корисного сигналу здійснюється шляхом аналізу масиву даних обчислень перетворення Фур'є:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi mn/N}, \quad (1)$$

де $X(m)$ – m -й компонент ДПФ;

m – індекс ДПФ у частотній області;

$x(n)$ – послідовність вхідних відліків;

n – часовий індекс вхідних відліків;

N – кількість відліків вхідної послідовності та частотних відліків результату ДПФ.

Компонент $X(m)$ має комплексну форму, його описують виразом

$$X(m) = X_r(m) + jX_i(m). \quad (2)$$

Для виявлення корисного сигналу необхідна амплітуда сигналу, яку визначають за таким виразом:

$$Xam(m) = \sqrt{X_r(m)^2 + X_i(m)^2}. \quad (3)$$

За відсутності корисного сигналу необхідно визначити рівень шумів у частотній смузі прийому як

$$Ams = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} Xam(n)}{N-1}, \quad (4)$$

де Ams – рівень шумів у прийнятій смузі частот.

Визначення рівня шумів необхідно проводити перед сеансом прийому інформації. Пошук корисного сигналу зводиться до визначення максимального значення амплітуди сигналу $Xam(m)$.

Слід вважати, що корисний сигнал виявлено та рівень сигналу достатній для демодуляції, якщо виконується умова $Xam_{max}(m) > G$, де G – поріг амплітуди, а m відповідає центральній частоті спектра сигналу. Відомо, що для стійкого прийому інформації ймовірність похибки повинна бути не гірше ніж $P = 10^{-3}$. Для цього необхідно забезпечити відношення сигнал/шум на вході приймача $E_o/N_o > 6$ dB [12].

Визначивши максимальний рівень сигналу $Xam_{max}(m)$ та рівень шумів Ams , можна розрахувати відношення сигнал/шум E_o/N_o (dB) за таким виразом:

$$E_o/N_o = 20 \times \log_{10} \left(\frac{0,707 \times Xam_{max}(m)}{Ams} \right). \quad (5)$$

Індекси ДПФ, за яких спектр сигналу спадає до рівня шуму (див. рис. 1), визначимо як m_{Smin} та m_{Smax} . Тоді ширину спектра сигналу можна розрахувати як

$$\Delta f = (m_{Smax} - m_{Smin}) \times f_{\delta}, \quad (6)$$

де Δf – ширина спектра сигналу;

f_{δ} – крок частотної сітки перетворення, який залежить від технічних характеристик АЦП і параметрів m та N у виразі (1).

Використовуючи отримані результати, необхідно знайти тривалість символу T_s , який розраховують числовим методом в апаратній реалізації приладу, що важливо для налагодження автоматичного підстроювання частоти, і визначають у разі розв’язання рівняння розподілення потужності для сигналів із фазовою маніпуляцією [16]:

$$P(f) = \frac{E_s}{2} \times \left(\left(\frac{\sin(\pi \times (f - f_c) \times T_s)}{\pi \times (f - f_c) \times T_s} \right)^2 + \left(\frac{\cos(\pi \times (f - f_c) \times T_s)}{\pi \times (f - f_c) \times T_s} \right)^2 \right). \quad (7)$$

Для дискретних систем вираз (7) з урахуванням умовних позначень виразів (1)–(6) набуває такого вигляду:

$$Xam_{вим}(m_{вим}f_{\delta}) = \frac{Xam_{max}}{2} \left[\left(\frac{\sin(\pi \times (m_{вим}f_{\delta} - m_s f_{\delta}) \times T_s)}{\pi \times (m_{вим}f_{\delta} - m_s f_{\delta}) \times T_s} \right)^2 + \left(\frac{\cos(\pi \times (-m_{вим}f_{\delta} - m_s f_{\delta}) \times T_s)}{\pi \times (-m_{вим}f_{\delta} - m_s f_{\delta}) \times T_s} \right)^2 \right], \quad (8)$$

де $Xam_{вим}(m_{вим}f_{\delta})$ – рівень амплітуди сигналу для індексу $m_{вим}f_{\delta}$ швидкого ДПФ у частотній області;

$T_s = T_{symb}$ – тривалість символу для BPSK маніпуляції;

$T_s = T_{symb} / 2$ – тривалість символу для QPSK маніпуляції;

$T_s = T_{symb} / 3$ – тривалість символу для 8PSK маніпуляції;

m_s – індекс швидкого ДПФ центра спектра сигналу. Його визначають відповідно до виразу

$$m_s = \frac{(m_{Smax} - m_{Smin})}{2} + m_{Smin}. \quad (9)$$

Для розв’язання рівняння (8) необхідно, щоб виконувалась умова

$$\begin{cases} m_{вим} > m_{Smin}; \\ m_{вим} < m_{Smax}; \\ m_{вим} \neq m_s. \end{cases} \quad (10)$$

Отже, у разі виконання умови (10) у рівнянні (8) лишається невідомою лише величина T_s .

Розв’язок рівняння (8) відносно T_s дозволяє визначити символну швидкість передачі даних. Математичну модель, описану виразами (1)–(10), реалізовано в МПФАС, який

дозволяє розв'язувати рівняння (8) числовим методом і є центральним елементом розробленої системи визначення виду фазової маніпуляції на петлі керуючих рішень. Розв'язок (8) є вихідними даними для розрахунку параметрів системи ФАПЧ, яка, у свою чергу, є ключовим елементом для визначення виду фазової маніпуляції.

Детально розглянемо принцип визначення виду фазової маніпуляції та математичну модель універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції. Вихідні дані АЦП $S(kTs)$ перемножуються з гармонічними коливаннями в НСО. Після фільтрації у ФНЧ квадратурні складові сигналу $I(kT)$ та $Q(kT)$ потрапляють на ФД. Залежно від очікуваного виду маніпуляції ФД описують відповідним математичним виразом [16].

У разі BPSK ФД реалізується як

$$e(kT) = \text{sign}(I(kT)) \times Q(kT), \quad (11)$$

QPSK – як

$$e(kT) = \text{sign}(I(kT)) \times Q(kT) - \text{sign}(Q(kT)) \times I(kT). \quad (12)$$

Сигнал похибки $e(kT)$ є вхідним сигналом для СФ. Вихідний сигнал фільтра $el(kT)$ задає величину частоти цифрового гетеродина НСО та описується таким виразом:

$$el(kT) = K_p \times e(kT) + K_i \times e(kT - 1) + el(kT - 1), \quad (13)$$

де K_p – пропорційна константа;

K_i – інтеграційна константа.

Величини констант залежать від ширини спектра сигналу та від швидкості передачі даних. Якщо неправильно вибрані константи, то система ФАПЧ не буде здійснювати захоплення за несучу, відповідно, визначення виду маніпуляції не можливе. Згідно з [17], константи K_p та K_i визначають як

$$K_p = \frac{g_1}{K_0 \times K_d}; \quad (14)$$

$$K_i = \frac{g_2}{K_0 \times K_d}, \quad (15)$$

де K_0 – коефіцієнт передачі НСО;

K_d – коефіцієнт передачі ФД;

g_1 та g_2 – коефіцієнти стійкості системи зі зворотним зв'язком, які повинні відповідати такій умові [17]:

$$\begin{cases} g_2 \geq \frac{g_1^2}{4}; \\ g_2 < g_1. \end{cases} \quad (16)$$

Для дискретних систем ФАПЧ коефіцієнти g_1 та g_2 визначають за виразами [17]:

$$g_1 = 2 - \exp(-(\omega_p \times \xi \times T)) \times \cos(\omega_p \times T \times \sqrt{1 - \xi^2}); \quad (17)$$

$$g_2 = \exp(-(2 \times \omega_p \times \xi \times T)) - 1 + g_1, \quad (18)$$

де $T = 1/F_d$ – період дискретизації;

F_d – частота дискретизації АЦП;

$\omega_p = 2 \times \pi \times f$ – резонансна частота контуру;

ξ – демпінг-фактор для стійкої роботи системи ФАПЧ слід вважати 0,5.

Правильно визначені коефіцієнти СФ надають можливість автоматизованій системі швидко та якісно здійснити захоплення вхідного сигналу, але виникає необхідність виявити ознаку захоплення системи ФАПЧ саме за корисний сигнал, яка є індикатором про визначення маніпуляції та надає команду модулю виявлення захоплення про початок роботи. Одним із факторів, який визначає здійснення захоплення за сигнал, є властивість квадратур мати однакову амплітуду в разі супроводу ФАПЧ за частотою та фазою. Тобто захоплення слід вважати здійсненим за умови

$$\sum_{k=0}^{L-1} (|I(kT)| - |Q(kT)|) \leq B, \quad (19)$$

де L – кількість відліків оцінки захоплення за сигнал;

B – поріг дисбалансу $I(kT)$ та $Q(kT)$ складових, за якого слід вважати, що захоплення здійснено.

Величина порога залежить від частоти дискретизації та виду маніпуляції.

Практичну реалізацію складових описаної вище системи доцільно реалізувати на базі програмованих логічних інтегральних схем, зокрема, використовуючи технологію вентиляльної матриці, яка програмується в умовах експлуатації. Апаратна основа в ході використання зазначеної технології наділяє прилад можливістю швидкої зміни алгоритмів обробки інформації з метою дослідження й оцінювання ефективності методів демодуляції та декодування прийнятої інформації.

Висновки. У результаті проведеної роботи проаналізовано можливість використання універсальної автоматизованої системи визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості на основі схеми петлі рішень в наземних станціях прийому потоку даних від космічних систем. Встановлено, що запропонована схема може використовуватися для автоматичного визначення основних параметрів радіоліній космічних систем, що експлуатуються на низькій навколоземній орбіті. Зазначені результати підтверджено шляхом математичного моделювання для заданих значень відношення сигнал шум та ймовірності виникнення помилки. Застосування такої схеми дозволяє відразу після визначення виду фазової маніпуляції та символічної швидкості проводити демодуляцію й декодування бітового потоку цільової інформації, прийнятої з космічних систем на низькій навколоземній орбіті. Запропоновану в статті систему можливо використовувати для автоматичного визначення параметрів радіосигналів із фазовою маніпуляцією і в інших цифрових радіолініях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Современные зарубежные тактические устройства: портативные радиостанции. URL: <https://trcvr.ru/2016/02/17/современные-зарубежные-тактические> (дата обращения: 11.10.2020).
2. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический поход. 2-е изд.; пер. с англ. Москва : Изд. дом «Вильямс», 2008. 992 с.
3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд.; пер с англ. Москва: ООО «БиномПресс», 2006. 656 с.
4. Канаа А., Zuri Sha'ameri А. A robust parameter estimation of FHSS signals using time-frequency analysis in a non-cooperative environment // Physical Communication. 2018. № 26. P. 9–20.
5. Li T., Tang Y., Lv Y. Parameter estimation of FH signals based on STFT and music algorithm // Computer Application and System Modeling. 2010. P. 84–96.
6. Overdyk H. F. Detection and estimation of frequency hopping signals using wavelet transforms. Thesis for the degree of master of science in electrical engineering. Monterey, California. Naval Postgraduate School, 1997. 114 p.
7. Hosseini S. N., Razavi H. Joint detection and hop parameters estimation of slow FHSS/MFSK signals using DHWT-AC technique in Rayleigh block fading channels // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong, 2009. P. 55–59.
8. Hamkins J., Marvin K. Simon. Autonomous Software-Defined Radio Receivers for Deep Space Applications. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, 2006. 431 p.
9. Prakasam P., Madheswaran M. Automatic modulation identification of QPSK and GMSK using wavelet transform for adaptive demodulator in SDR // Proceedings of the International Conference on Signal Processing Communications and Networking (ICSCN '07). Chennai, India, 2007. 507 p.
10. Azzouz E., Nandi A. K. Automatic Modulation Recognition of Communication Signals. Kluwer Academic Publishers. Boston : Mass, 1996. 447 p.
11. Фриз С. П., Кальватинський О. В. Математична модель автоматизованої системи визначення виду модуляції та символної швидкості передачі даних для приймальних систем дистанційного зондування Землі // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ ДУТ, 2015. Вип. 11. С. 87–96.
12. Lopatka J., Pedzisa M. Automatic modulation classification using statistical moments and a fuzzy classifier // Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing (WCCC-ICSP'00). Beijing, China, 2000. Vol. 3. 1500 p.
13. TM Space Data Link Protocol. Recommendation for Space Data System Standards, CCSDS 130.1-G-2. Green Book. Washington, D.C. : CCSDS, November, 2012. 237 p.
14. Direct Access System User's Guide for the EOS-AM Spacecraft (ICD-107) / NASA Goddard Space Flight Center. Prepared by: Lockheed Martin Corporation, Lockheed Martin Missiles & Space, 1998. 55 p.
15. Каменев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи : учеб. пособ. Москва : Альпина Паблишер, 2004. 536 с.
16. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория : справочник / Под ред. Я. Д. Ширмана. Изд 2-е, перераб. и доп. Москва : Радиотехника, 2007. 512 с.

17. Mohamed Khalid Nezami. RF Architectures and Digital Signal Processing Aspects of Digital Wireless Transceivers. Milcom, 2003. 513 p.
18. Floyd M. Gardner. Phaselock Techniques. 3rd Edition. Consulting Engineer. Palo Alto. California : A JOHN WILEY & SONS, INC., 2005. 450 p.

Подано 25.10.2020

REFERENCES

1. Sovremennye zarubezhnye takticheskie ustroistva: portativnye radiostantsii [Modern foreign tactical devices: portable radios]. (n.d.). Retrieved from <https://trcvr.ru/2016/02/17/sovremennye-zarubezhnye-takticheskie> [in Russian].
2. Aificher, E. S. (2008). *Tsifrovaia obrabotka signalov: prakticheskii pokhod [Digital Signal Processing: A Practical Approach]*. 2nd ed.; trans. from English. Moscow [in Russian].
3. Laions, R. (2006). *Tsifrovaia obrabotka signalov [Digital signal processing]*. 2nd ed.; trans. from English. Moscow [in Russian].
4. Kanaa, A., & Zuri Sha'ameri, A. (2018). A robust parameter estimation of FHSS signals using time-frequency analysis in a non-cooperative environment. *Physical Communication*, 26, 9–20.
5. Li, T., Tang, Y., & Lv, Y. (2010). Parameter estimation of FH signals based on STFT and music algorithm. *Computer Application and System Modeling*, 84–96.
6. Overdyk, H. F. (1997). *Detection and estimation of frequency hopping signals using wavelet transforms*. Thesis for the degree of master of science in electrical engineering. Monterey, California. Naval Postgraduate School.
7. Hosseini, S. N., & Razavi, H. (2009). Joint detection and hop parameters estimation of slow FHSS/MFSK signals using DHWT-AC technique in Rayleigh block fading channels. // In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*. (pp. 55–59). Hong Kong.
8. Hamkins, J., & Marvin, K. Simon. (2006). *Autonomous Software-Defined Radio Receivers for Deep Space Applications*. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology.
9. Prakasam, P., & Madheswaran, M. (2007). Automatic modulation identification of QPSK and GMSK using wavelet transform for adaptive demodulator in SDR. *Proceedings of the International Conference on Signal Processing Communications and Networking (ICSCN '07)*. Chennai, India.
10. Azzouz, E., Nandi, A. K. (1996). *Automatic Modulation Recognition of Communication Signals*. Kluwer Academic Publishers. Boston : Mass.
11. Fryz, S. P., Kalvatynskyi, O. V. (2015). Matematychna model avtomatyzovanoi systemy vyznachennia vydu moduliatsii ta symvolnoi shvydkosti peredachi danykh dlia pryimalnykh system dystantsiinoho zonduvannia Zemli [The mathematical model automated system to determine the modulation types and symbol rate, for consider receiving data of remote sensing]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems. Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 11, 87–96. Zhytomyr: ZhMI DUT [in Ukrainian].
12. Lopatka, J., & Pedzisa, M. (2000). Automatic modulation classification using statistical moments and a fuzzy classifier. In *Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing (WCCC-ICSP'00)*, Vol. 3, (p. 1500). Beijing, China.

13. *TM Space Data Link Protocol. Recommendation for Space Data System Standards, CCSDS 130.1-G-2.* (November 2012). Green Book. Washington, D.C.: CCSDS.
14. *Direct Access System User's Guide for the EOS-AM Spacecraft (ICD-107).* (1998). NASA Goddard Space Flight Center. Prepared.
15. Kamenev, V. E., Cherkasov, V. V., & Chechin, G. V. (2004). *Sputnikovye seti svyazi [Satellite communication networks]*. Moscow [in Russian].
16. Shirman, Ia. D. (Ed.). (2007). *Radioelektronnyye sistemy. Osnovy postroeniia i teoriiia [Electronic systems. Basics of construction and theory]*. 2nd ed. Moscow [in Russian].
17. Mohamed Khalid Nezami. (2003). *RF Architectures and Digital Signal Processing Aspects of Digital Wireless Transceivers*. Milcom.
18. Floyd, M. Gardner. (2005). *Phaselock Techniques*. 3rd ed. Consulting Engineer. Palo Alto, California : A JOHN WILEY & SONS, INC.

S. P. Fryz, O. V. Kalvatynskiy, R. O. Avsiievych

THE MODEL OF SYSTEM FOR DETERMINING THE TYPE OF PHASE MANIPULATION AND SYMBOL RATE IN THE RADIO LINES OF SPACE SYSTEMS

The article proposes a model of a universal automated system for determining the type of phase manipulation and symbol rate for receiving the flow of data by ground-based means transmitted in the radio lines of low-orbit space systems under a partial prior uncertainty.

The relevance of the study on the selected topic is that in the last decade there has been noted a significant increase in the number of space systems operating in low-Earth orbits. The afore-mentioned fact leads to an increase in the variety of radio line structures of space systems, which creates a partial prior uncertainty in relation to the parameters of radio signals transmitted by these systems. At the same time, the operation of space systems in low-Earth orbits imposes restrictions on the duration of the communication session, which makes it difficult to set up the ground-based demodulating equipment under conditions of a partial prior uncertainty of the radio signal parameters.

Considering the above, the article presents a possible option for designing a structure chart of a universal automated system for determining the type of phase manipulation and symbol rate. The principle of system operation is described and its operability is substantiated by mathematical modelling processes.

The considered model of the universal automated system for determining the type of phase manipulation and symbol rate enables to determine the nominal value of the central carrier frequency of the radio signal, radio spectrum width, symbol rate and one of three types of phase manipulation (BPSK, QPSK, 8PSK) in the time operation mode close to real one.

By the results of calculations being made, it is established that the system under study can be used while receiving data from space systems operating in low-Earth orbits. Also, the proposed system can be applied to determine the basic parameters of radio signals and other systems that use radio lines with phase manipulation.

Further research on the selected topic will be aimed at studying the possibility of expanding the number of types of manipulations that can be automatically determined by the proposed system.

Keywords: *radio line; radio signal; phase manipulation; symbol rate; space systems; low-Earth orbit; automation.*