

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЧАСТОТНОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

У статті запропоновано методику автоматизованого розрахунку несучої частоти, ширини спектра, символної швидкості, кількості на номіналів піднесучих радіосигналів із частотною маніпуляцією в умовах відсутності апріорної інформації про параметри сигналу та комунікаційного каналу. Методика ґрунтується на аналізі спектральних, ймовірнісних та циклостаціонарних характеристик миттєвих значень параметрів сигналу. Приводяться залежності відносної похибки визначення вказаних параметрів від відношення сигнал/шум.

Ключові слова: методика; автоматизація; частотна маніпуляція; радіосигнал; параметр; вимірювання; невизначеність.

Вступ

Постановка проблеми. Одним із основних завдань, що вирішуються у системах радіомоніторингу та радіоконтролю, є визначення параметрів радіосигналів [1, 2]. Реалізація даного завдання є необхідною передумовою для якісного виконання наступних етапів радіоконтролю: пеленгування, ідентифікації, демодуляції, декодування тощо. Збільшення кількості видів сигнально-кодових конструкцій, що використовуються в радіосигналах сучасних телекомунікаційних систем, та розширення діапазону можливих значень модуляційних параметрів обумовлюють необхідність розвитку існуючих методів аналізу радіосигналів і автоматизації процесів обробки з метою підвищення продуктивності праці оператора та зниження впливу людського чинника на результати вимірювань [1].

У сучасних цифрових телекомунікаційних системах широко застосовуються радіосигнали з багатопозиційною частотною маніпуляцією (ЧМн), яким властива висока енергетична ефективність, перешкодостійкість та які не потребують складних алгоритмів обробки на приймальній стороні [3]. Основними параметрами таких радіосигналів, що підлягають визначенню, є несуча частота, ширина спектра, частота рознесення піднесучих, символна швидкість та кратність маніпуляції [1,2]. При цьому, для забезпечення більш ефективного використання обчислювальних ресурсів системи радіоконтролю параметри повинні визначатися комплексно, оскільки їх розрахунок передбачає виконання ряду ідентичних операцій [4]. Автоматизований процес обробки має передбачати вибір оператором необхідної ділянки радіосигналу, що підлягає аналізу, запуск процедур автоматичного визначення параметрів та отримання результатів. Таким чином, актуальним науковим і практичним завданням є удосконалення існуючих методів та

розробка методики автоматизованого визначення параметрів ЧМн радіосигналів в умовах відсутності апріорної інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення параметрів ЧМн радіосигналів в умовах апріорно параметричної невизначеності запропоновано ряд алгоритмів, які використовують характеристики амплітудно-частотного спектру (АЧС) [5], параметри функції миттєвої частоти [5,7], гістограму миттєвої частоти [6], характеристики переходу радіосигналу через “нуль” [7] та циклостаціонарні властивості цифрових видів модуляції [8-10]. Перші три підходи досить просто реалізуються, однак точність визначення ними параметрів сильно залежить від відношення сигнал/шум (ВСШ), характеристик фільтрів, що використовуються для зменшення флуктуацій в АЧС та миттєвій частоті, а також обраних порогів прийняття рішення. Підходи, що ґрунтуються на циклостаціонарних властивостях ЧМн радіосигналу мають меншу похибку визначення параметрів при низьких значеннях ВСШ, але їх розрахункова складність досить висока, а кількість параметрів, що визначаються обмежена. Загальним недоліком відомих підходів є необхідність наявності (або часткової наявності) апріорної параметричної інформації та відсутність комплексної методики щодо визначення основних параметрів ЧМн.

Метою даної статті є розробка методики автоматизованого розрахунку основних параметрів радіосигналів із багатопозиційною ЧМн в умовах апріорної невизначеності.

Постановка завдання досліджень. Вважається, що сигнал на передавальній стороні сформовано відповідно до визначених вимог [3], він не комбінований та має один із видів багатопозиційної ЧМн. Параметри маніпуляції на ділянці сигналу, що аналізується, постійні, а попередня інформація про їх можливі значення відсутня, що відповідає умовам апріорної параметричної невизначеності.

При розповсюдженні сигнал зазнає впливу каналу, що описується гауссівською моделлю [3, 4]. У такому разі прийнята сигнальна суміш $r(t, U_i)$ складається з корисного сигналу $s(t, U_i)$ та адитивного гауссівського шуму $n(t)$ [7]:

$$r(t, U_i) = s(t, U_i) + n(t), \quad (1)$$

де $U_i = [a \ f_c \ \theta \ R_s \ f_r \ g(t) \ M \ \{f_k\}_{k=1}^M]$ – вектор апріорно невідомих параметрів сигналу;

a – амплітуда сигналу;

f_c – частота несучого коливання;

θ – початкова фаза несучого коливання;

$R_s = 1/T$ – символна швидкість;

f_r – частота рознесення піднесучих ЧМн;

$g(t)$ – імпульсна характеристика формуючого фільтра;

M – кратність маніпуляції;

$\{f_k\}_{k=1}^M$ – частоти піднесучих кінцевого алфавіту ЧМн.

Корисний сигнал для нелінійних цифрових видів модуляції описується виразом [11]:

$$s(t, U_i) = a e^{j(2\pi f_c t + \theta)} e^{j\phi_i(t, f_k)}, \quad (2)$$

де $\phi_i(t, f_k)$ – функція миттєвої фази інформаційної складової, що змінюється за рахунок кутової модуляції та для багатопозиційної ЧМн визначається виразом

$$\phi_{\text{ЧМн}}(t, f_k) = \sum_{k=1}^K 2\pi f_k g(t - kT); \quad (3)$$

$$f_k \in \left\{ (2m - 1 - M) \frac{f_r}{2}, m = 1, \dots, M \right\}, k = 1, \dots, K.$$

Вважається, що апріорна інформація про параметри ЧМн сигналу, що описуються вектором U_i , відсутня. Необхідно автоматично визначити несучу частоту радіосигналу f_c , ширину спектра ΔF , частоту рознесення піднесучих f_r , символну швидкість R_s та кратність маніпуляції M .

Виклад основного матеріалу дослідження

Відомо, що АЧС ЧМн радіосигналу має ряд ділянок на яких зосереджено переважна частина його енергії [3]. Такі ділянки спектру розташовані навколо частот піднесучих та в більшості випадків розрізняються візуально при аналізі АЧС (рис. 1).

Визначення ширини спектру радіосигналу ΔF на основі аналізу АЧС здійснюється шляхом порівняння амплітуди спектральних компонент із встановленим пороговим рівнем [1]. Для зменшення впливу шумових складових на результати розрахунку АЧС згладжується фільтром ковзного середнього.

Ширина спектра ЧМн радіосигналу, відповідно до енергетичного підходу, обмежується таким математичним виразом [1]:

$$\int_{-\Delta F/2}^{\Delta F/2} |S(f)|^2 df = k_k \int_0^{\infty} |S(f)|^2 df, \quad (4)$$

де $k_k = 0.9 \dots 0.99$ – коефіцієнт якості подання сигналу, значення якого встановлюється залежно від цільових задач обробки;

$S(f)$ – спектральна щільність радіосигналу.

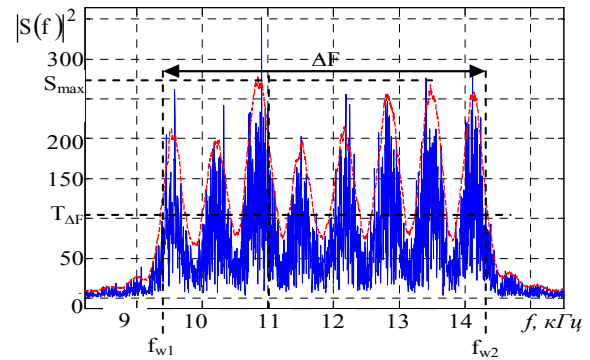


Рис. 1. АЧС радіосигналу із восьмипозиційною ЧМн

На практиці, в більшості випадків, ширину спектра ЧМн радіосигналу визначають за спаданням амплітуди спектральних складових до рівня $1/\sqrt{2}$ (за напругою) та до рівня $1/2$ (за потужністю), що відповідає значенню -3 дБ [1].

Беручи до уваги вище зазначене, автоматизований розрахунок ширини спектра ЧМн радіосигналу має включати таку послідовність операцій:

розрахунок згладженого АЧС та визначення його максимального значення S_{max} ;

розрахунок порогу прийняття рішення $T_{\Delta F} = S_{\text{max}} - 3$ (дБ);

пошук спектральних гармонік, амплітуда яких перевищує поріг ($S(f_{w1}) > T_{\Delta F}$, $S(f_{w2}) > T_{\Delta F}$) та визначення їх частот f_{w1} , f_{w2} (рис. 1);

розрахунок ширини спектра як різниці його граничних частот:

$$\Delta F = f_{w2} - f_{w1}. \quad (5)$$

Несуча частота ЧМн радіосигналу розраховується як середнє арифметичне значення частот піднесучих $f_{sc}(i)$ (рис. 1):

$$f_c = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_{sc}(i), \quad (6)$$

де $f_{sc}(i)$ – частота i -ї піднесучої ЧМн радіосигналу;

Частота рознесення піднесучих ЧМн радіосигналу f_r визначається як усереднена різниця частот піднесучих коливань:

$$f_r = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^{M-1} (f_{sc}(i+1) - f_{sc}(i)). \quad (7)$$

Визначення частот піднесучих коливань $f_{sc}(i)$ радіосигналу з багатопозиційною ЧМн реалізується на основі методу оцінювання спектральної щільності потужності – модифікованої періодограми Уелча [12]. Суть даного методу полягає в утворенні псевдоансамблю періодограм за рахунок розділення аналізованого радіосигналу $r(n)$ на сегменти, що перекриваються, та обробки кожного сегменту за допомогою вікна даних. Якщо дискретний сигнал $r(n)$, $0 \leq n \leq N-1$ розбити на P сегментів по D відліків в кожному із зсувом на S відліків між сусідніми сегментами ($S \leq D$), то максимальне число сегментів буде ціла частина величини $(N - D)/S + 1$. Тоді після

зважування вікном даних $w[n]$, сегмент з номером p буде включати наступні відліки [12]:

$$r^{(p)}(n) = w(n)r(n + pS), 0 \leq n \leq D - 1. \quad (8)$$

Вибірковий АЧС p -го сегменту визначається виразом:

$$P_{xx}^{(p)}(f) = \frac{F_s}{UD} |S^{(p)}(f)|^2, \quad (9)$$

де F_s – частота дискретизації;

$S^{(p)}(f)$ – дискретне віконне перетворення Фур'є p -го сегменту

$$S^{(p)}(f) = \frac{1}{F_s} \sum_{n=0}^{D-1} r^{(p)}(n) e^{-j2\pi fn / F_s}; \quad (10)$$

U – енергетична складова вікна даних:

$$U = \frac{1}{F_s} \sum_{n=0}^{D-1} w^2(n). \quad (11)$$

Тоді модифікована періодограма Уелча, як середнє значення сегментних періодограм, визначається за виразом:

$$P_{we}(f) = \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} P_{xx}^{(p)}(f). \quad (12)$$

Оцінка щільності спектральної потужності з використанням модифікованої періодограми Уелча є асимптотично незміщеною і при цьому консистентною за рахунок ділення сигнальної послідовності на сегменти, що перекриваються, та усереднення періодограм сегментів [12]. Практичні дослідження показали, що застосування до сигналу нелінійного оператора другого порядку зменшує кількість хибних максимумів в періодограмі, в результаті чого підвищується ймовірність правильної ідентифікації спектральних компонентів на частотах піднесучих коливаль.

Модифікована періодограма Уелча радіосигналу з восьмипозиційною ЧМн піднесеного до другого степеня зображена на рис. 2.

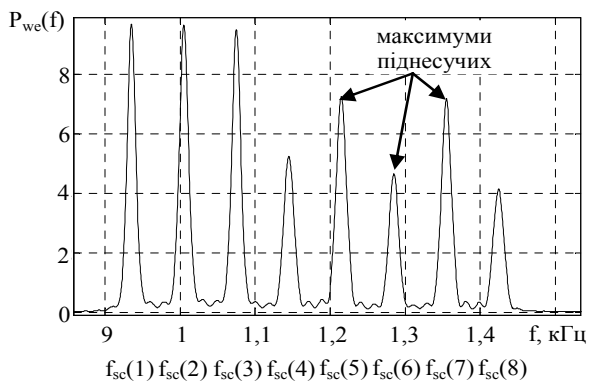


Рис. 2 Модифікована періодограма Уелча радіосигналу з восьмипозиційною ЧМн піднесеного до другого степеня

З рис. 2 видно, що модуль оціненої щільності спектральної потужності має вісім доміантних максимумів розміщених на частотах піднесучих радіосигналу $f_{sc}(i)$. Розрахувавши частоти розміщення таких максимумів та їх кількість визначаються частоти піднесучих $f_{sc}(i)$ та кратність маніпуляції M .

Для підвищення ймовірності правильного визначення кількості піднесучих використовується метод, що ґрунтується на аналізі гістограми миттєвої частоти ЧМн $f_N(k)$ радіосигналу [6]:

$$f_N(k) = \frac{F_s}{2\pi} (\phi_W(k+1) - \phi_W(k)), \quad (13)$$

де $\phi_W(k)$ – розгорнута фаза k -го комплексного відліку радіосигналу.

Осцилограма миттєвої частоти радіосигналу з восьмипозиційною ЧМн зображена на рис. 3.

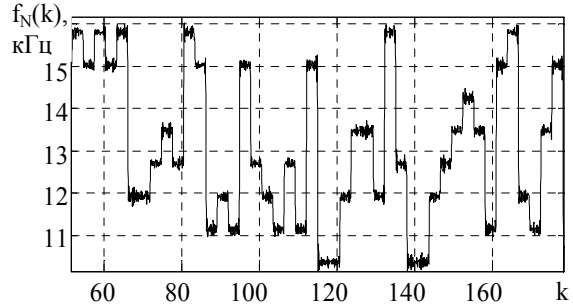


Рис. 3. Осцилограма миттєвої частоти радіосигналу з ЧМн-8

З рис. 3 видно, що частота на осцилограмі змінюється стрибкоподібно між 8-ми рівнями. Отже, гістограма миттєвої частоти матиме максимуми, що відповідатимуть частотам рознесення піднесучих. Приклад згладженої гістограми миттєвої частоти радіосигналу з восьмипозиційною ЧМн зображено на рис. 4.

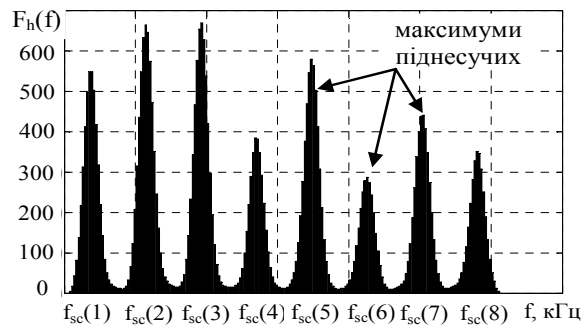


Рис. 4. Гістограма миттєвої частоти радіосигналу з восьмипозиційною ЧМн

На рис. 4 добре видно вісім піків, які знаходяться на частотах піднесучих коливаль, що дозволяє визначатися кратність маніпуляції M та “грубе” значення частот піднесучих коливаль. Точність визначення частоти рознесення піднесучих ЧМн з використанням гістограми миттєвої частоти є нижчою у порівнянні з підходом на основі метода модифікованої періодограми Уелча та залежить від кількості інтервалів розбиття значень миттєвої частоти N_h . Однак порівняння розрахованих даним методом частот піднесучих та кратності маніпуляції із результатами, отриманими на основі модифікованої періодограми Уелча, дає можливість відкинути хибні максимуми в періодограмі та підвищити точність визначення параметрів ЧМн радіосигналу.

Для визначення символної швидкості застосовано підхід, що ґрунтується на пошуку циклостационарних властивостей випадкової функції миттєвої частоти [13]. Його суть полягає в пошуку спектральних гармонік в АЧС комплексної нормованої центрованої функції миттєвої частоти, що відповідають циклостационарним процесам, пов'язаним із ЧМн. Комплексне значення нормованої центрованої миттєвої частоти розраховується за виразом [13]:

$$f_{NC}(k) = \frac{f_{NA}(k)}{E(f_{NA}(k))} - 1, \quad (14)$$

де $f_{NA}(k) = f_N(k) + f_N(k) h_H(n)$ – комплексне значення миттєвої частоти;

$h_H(n)$ – імпульсна характеристика цифрового фільтра Гільбера;

$E(\cdot)$ – операція статистичного усереднення.

В АЧС модуля нормованої центрованої миттєвої частоти

$$S_{NC}(n) = (\text{FFT}(f_{NC}(k)))^2 \quad (15)$$

присутні домінуючі гармоніки на частотах кратних символній швидкості (рис. 5).

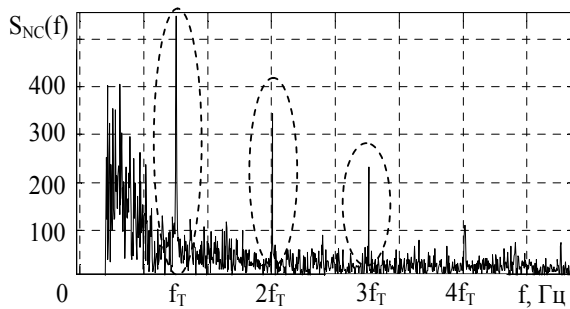


Рис. 5. АЧС комплексної нормованої центрованої функції миттєвої частоти

У більшості випадків гармоніка з максимальною амплітудою розміщена на частоті маніпуляції f_T . Решта домінуючих гармонік мають частоту, кратну символній швидкості. Детально алгоритм пошуку домінуючих гармонік символної швидкості описано в [13].

Таким чином, методика автоматизованого розрахунку параметрів ЧМн в умовах апріорної невизначеності складається із наступних етапів:

розрахунок АЧС та визначення ширини спектра ΔF ;

оцінювання спектральної щільності радіосигналу піднесеного до другого степеня на основі модифікованої періодограми Уелча та пошук частот піднесених коливань $f_{sc}(i)$;

розрахунок функції миттєвої частоти радіосигналу $f_N(k)$;

побудова гістограми миттєвої частоти та пошук частот піднесених коливань $f_{sc}(i)$;

визначення несучої частоти f_c , частоти рознесення піднесених f_r , кратності маніпуляції M ;

розрахунок АЧС комплексної нормованої центрованої функції миттєвої частоти та визначення символної швидкості R_s .

Отримані різними підходами значення параметрів ЧМн дозволяють в подальшому оцінити правильність їх визначення спираючись на властивості даного виду цифрової модуляції. Зокрема можна виділити такі характеристики ЧМн.

Ширина спектра ЧМн близька до значення [14]:

$$\begin{aligned} 1,3(M-1)f_r + 1,4R, 2 \leq m_f \leq 8; \\ 1,1(M-1)f_r + 3,1R, 8 < m_f \leq 20, \end{aligned} \quad (16)$$

де m_f – індекс частотної маніпуляції.

Частота рознесення піднесених більше символної швидкості $f_r > R_s$.

Різниця сусідніх частот рознесення піднесених коливань є постійною величиною:

$$f_{sc}(i+1) - f_{sc}(i) \approx f_{sc}(i+2) - f_{sc}(i+1). \quad (17)$$

Взявши до уваги вказані властивості можна оцінити правильність визначення модуляційних параметрів та, при необхідності, змінити пороги прийняття рішення під час пошуку спектральних піків.

Перевірку правильності роботи та ефективності розробленої методики автоматизованого розрахунку параметрів ЧМн в умовах апріорної невизначеності здійснено відповідно до вимог статистичного моделювання та методів Монте-Карло [15] в програмному середовищі MATLAB 2012b. Сигнальні суміші формувались шляхом генерування радіосигналів із багатопозиційною ЧМн та додавання до них шуму, ймовірнісна модель якого описувалась нормальним законом розподілу ймовірностей. Відношення сигнал/шум (ВСШ) змінювалось у діапазоні від -10 до 15 дБ з дискретністю 1 дБ. Модуляційні параметри сигналу кожної реалізації обирались за випадковим законом. Для кожного значення ВСШ та кратності маніпуляції проведено 300 розрахунків параметрів радіосигналів. У результаті статистичного моделювання отримано графічні залежності відносної похибки визначення несучої частоти, символної швидкості, частоти рознесення піднесених, а також ймовірності правильного розпізнавання кратності маніпуляції від ВСШ (рис. 6, 7).

Проаналізувавши результати моделювання, можна зробити висновок, що похибки визначення несучої частоти та частоти рознесення піднесених збільшуються при підвищенні кратності маніпуляції. Це пов'язано із зростанням кількості хибних піків в модифікованій періодограмі Уелча та "розмиттям" гістограми миттєвої частоти. Однак при ВСШ більше 5 дБ розроблена методика забезпечує необхідну точність визначення параметрів для здійснення наступних операцій з ідентифікації типу передачі та частотної демодуляції.

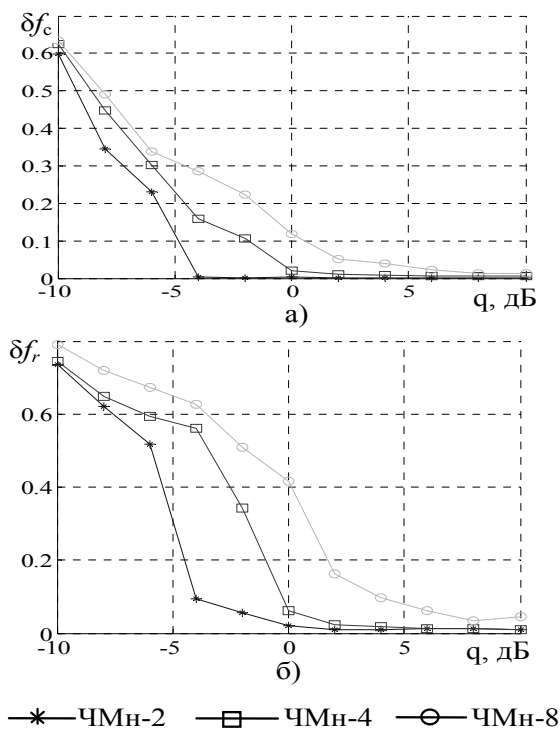


Рис. 6. Залежності відносних похибок визначення несучої частоти (а), частоти рознесення піднесучих (б) ЧМн радіосигналів від ВСШ

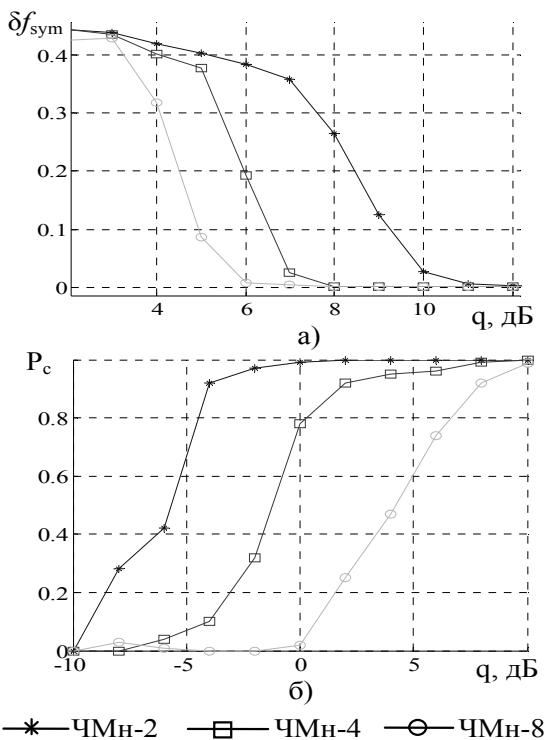


Рис. 7. Залежності відносної похибки

Література

1. Рембовский А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В. А. Козьмин 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 640 с.
2. Слободянюк П. В. Радиомониторинг: вчера, сегодня,

визначення символної швидкості (а) та ймовірності правильного визначення кратності маніпуляції (б) ЧМн радіосигналів від ВСШ

При розрахунку символної швидкості підвищення кратності маніпуляції приводить до зменшення похибки її визначення. Однак точність визначення символної швидкості сильно залежить від ВСШ, особливо при застосуванні двопозиційної ЧМн. З рис. 7 (б) видно, що ймовірність правильного визначення кратності маніпуляції близька до одиниці для двопозиційної та чотирипозиційної ЧМн при ВСШ від 5 дБ та для восьмипозиційної ЧМн при ВСШ від 10 дБ.

Комп'ютерне моделювання показало, що для підвищення точності визначення параметрів необхідно удосконалювати алгоритми пошуку домінуючих гармонік в АЧС та максимумів в гістограмі із врахуванням можливих математичних співвідношень між різними параметрами. Окрім того похибка визначення параметрів залежить від розміру вибірок радіосигналу, що аналізується, особливо при великих значеннях кратності маніпуляції.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Розроблено методика автоматизованого визначення ширини спектру, частоти несучого колювання, частоти рознесення піднесучих, символної швидкості та кратності маніпуляції радіосигналів з багатопозиційною ЧМн в умовах апріорної параметричної невизначеності. Методика забезпечує комплексне визначення вказаних параметрів, що дозволяє підвищити продуктивність праці оператора та підвищити пропускну здатність посту радіомоніторингу.

Наступні дослідження в даному напрямку доцільно спрямувати на удосконалення алгоритмів пошуку спектральних складових, частоти яких математично пов'язані із шуканими параметрами ЧМн, а також на оцінювання ефективності розробленої методики при роботі із сигналами, спотвореними шумами, закон розподілу яких не є гауссівським, та ефектом багатопроменевого розповсюдження.

применение / Б. Скляр. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 1104 с. **4. Benvenuto N.** Algorithms for communications systems and their applications / N. Benvenuto, G. Cherubini, – Chichester: John Wiley & Sons, 2003. – 1285 p. **5. Azzouz E. E.** New techniques for the baud duration estimation / E. E. Azzouz, A. K. Nandi // Proceedings of EUSIPCO-96. – Lint Trieste, Italy, 1996. – P. 639–642. **6. Xiong H.** Parameter estimation approach of FSK/PSK Radar Signal / H. Xiong, D. Zeng, X. He, B. Tang. – Journal of electronic science and technology. Vol. 8. – China, 2010. – Num. 4. – P. 341–345. **7. Grimaldi D.** Automatic modulation classification and measurement of digitally modulated signals / D. Grimaldi, A. Palumbo, S. Rapuano // 11 IMEKO TC-4 Symp. Trends in Electrical Measurement and instrumentation. – Lisbon, 2001. – P. 112–116. **8. Hsue S. Z.** Automatic modulation classification using zero crossing / S. Z. Hsue, S. S. Soliman // IEE Radar and Signal Processing, 1990. – P. 459–464. **9. Dobre O. A.** Joint Signal detection and classification based on first-order cyclostationarity for cognitive radios / O. A. Dobre, S. Rajan, R. Inkol // EURASIP journal on

advances in signal processing. – Hindawi Publishing Corporation, 2009. – 12 p. **10. Vito L.** Joint classification and parameter estimation of compressive sampled FSK signals / L. De Vito, O. A. Dobre // 20th IMEKO TC4 international symposium and 18th international workshop on ADC modelling and testing. – Benevento, 2014. – pp. 473–477. **11. Сергиенко А. Б.** Цифровая связь / А. Б. Сергиенко. – СПб.: ГЭТИ “ЛЭТИ”, 2012. – 164 с. **12. Сергиенко А. Б.** Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2011. – 758 с. **13. Нагорнюк О. А.** Покращення точності оцінювання несучої та символної частоти сигналів з цифровою модуляцією / О. А. Нагорнюк, В. В. Павлюк // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Житомир, ЖВІ ДУТ, 2015. – Вип. 10. – С. 132-140 **14. Recommendation** ITU-R SM.328-11. Spectra and bandwidth of emissions, 2006. – 91 p. **15. Mikhailov G. A.** Parametric estimates by the Monte Carlo method / G. A. Mikhailov. – Netherlands, Utrecht: VSP, 1999. – 376 p.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

*Александр Анатольевич Нагорнюк (канд. техн. наук)
Владимир Владимирович Павлюк (канд. техн. наук, с.н.с.)*

Житомирский военный институт имени С. П. Королева, Житомир, Украина

В статье предложена методика автоматизированного расчета несущей частоты, ширины спектра, символной скорости, количества и номиналов поднесущих радиосигналов с частотной манипуляцией в условиях отсутствия априорной информации о параметрах сигнала и коммуникационного канала. Методика основывается на анализе спектральных, вероятностных и циклоstationарных характеристик мгновенных значений параметров сигнала. Приводятся зависимости относительной погрешности определения указанных параметров от отношения сигнал / шум.

Ключевые слова: методика; автоматизация; частотная манипуляция; радиосигнал; параметр; измерения; неопределенность.

PROBLEMS AND RECOMMENDATIONS ON CREATION OF AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEMS FOR ARMED FORCES

*Oleksandr A. Nahorniuk (Candidate of Technical Sciences)
Volodymyr V. Pavliuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

Zhytomyr Military Institute named after S. P. Korolyov, Zhytomyr, Ukraine

The method of automated calculation of the carrier frequency, spectrum width, symbol rate, the number and values of subcarriers of the frequency shift keying radio signals in the absence of a priori information about signal parameters and the communication channel is proposed in the article. The spectral width determination is based on the energy criterion which is implemented in the frequency domain.

Carrier frequency and the frequency shift are calculated on basis of subcarriers values which are estimated using two different approaches. The first approach is based on an analysis of the energy spectrum characteristics estimated by method of Welch modified periodogram. The second approach uses the features of the instantaneous histogram which has peaks on the subcarrier frequencies.

Symbol rate is determined by analyzing the cyclostationary properties of instantaneous frequency function. The amplitude-frequency spectrum of module of such function contains harmonics which frequencies are multiples of the symbol rate value.

In order to ensure more efficient use of computing resources of radio monitoring system the parameters of frequency shift keying are determined by a complex as their calculation involves the implementation of identical operations.

In the article are given the relative error in the determination of parameters dependence of on the signal/noise ratio.

Keywords: method; automation; frequency shift keying; radio signal; parameter; estimation; uncertainty.

References

1. Rembovskij A.M., Ashihmin A.V., Koz'min V.A. (2012), Radio monitoring: tasks, methods, tools. [*Radiomonitoring: zadachi, metody, sredstva*], 3-e izd., pererab. i dop., Moscow: Gorjachaja linija, Telekom, 640 p.
2. Slobodjanjuk P.V., Blagodarnyj V.G. (2010), Radio monitoring: yesterday, today and tomorrow (theory and practice of construction of radio monitoring system). [*Radiomonitoring: vchera, segodnja, zavtra (Teorija i praktika postroenija sistemy radiomonitoringa)*], Priluki: OOO "Izdatel'stvo "Air-poligraf", 296 p.
3. Skljар B. (2003), Digital communication. Theoretical bases and practical application. [*Cifrovaja svjaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie*], Moscow: Izdatel'skij dom "Vil'jams", 1104 p.
4. Benvenuto N. (2003), Algorithms for communications systems and their applications, G. Cherubini, Chichester: John Wiley & Sons, 1285 p.
5. Azzouz E.E., Nandi A.K. (1996), New techniques for the baud duration estimation, Proceedings of EUSIPCO-96, Lint Trieste, Italy, pp. 639-642.
6. Xiong H. (2010), Parameter estimation approach of FSK/PSK Radar Signal, D. Zeng, X. He, B. Tang, Journal of electronic science and technology. Vol. 8, China, No.4, pp. 341-345.
7. Grimaldi D. (2001), Automatic modulation classification and measurement of digitally modulated signals, D. Grimaldi, A. Palumbo, S. Rapuano, 11 IMEKO TC-4 Symp. Trends in Electrical Measurement and instrumentation, Lisbon, pp. 112-116.
8. Hsue S.Z., Soliman S.S. (1990), Automatic modulation classification using zero crossing, IEE Radar and Signal Processing, pp. 459-464.
9. Dobre O.A. Rajan S., Inkol R. (2009), Joint Signal detection and classification based on first-order cyclostationarity for cognitive radios EURASIP journal on advances in signal processing, Hindawi Publishing Corporation, 12 p.
10. Vito L., Dobre O.A. (2014), Joint classification and parameter estimation of compressive sampled FSK signals, 20th IMEKO TC4 international symposium and 18th international workshop on ADC modelling and testing, Benevento, pp. 473-477.
11. Sergienko A.B. (2012), Digital communication. [*Cifrovaja svjaz'*], Spb.: GJeTI "LETT", 164 p.
12. Sergienko A.B. (2011), Digital signal processing. [*Cifrovaja obrabotka signalov*], Spb.: Piter, 758 p.
13. Nagornjuk O.A., Pavljuk V.V. (2015), Improving the accuracy of estimation of the carrier and symbol frequency signals with digital modulation problems creating, testing, use and maintenance of complex information systems. [*Pokrashchennia tochnosti otsiniuvannia nesuchoi ta symvolnoi chastoty syhnaliv z tsyfrovoiu modulatsiieiu, Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system*], Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system: zb. nauk. pr., Zhytomyr: ZhVI DUT, No.10, pp. 132-140
14. Recommendation ITU-R SM.328-11. Spectra and bandwidth of emissions, (2006), 91 p.
15. Mikhailov G.A. (1999), Parametric estimates by the Monte Carlo method, Netherlands, Utrecht: VSP, 376 p.

Отримано: 06.06.2016 року.