

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЙОМУ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРИ НЕВІДОМИХ АПРІОРНИХ ДАНИХ

Розглянуті питання та можливості трактування вхідних даних, котрі надходять як масив вибірових значень та можливість розробки алгоритму формування цих повідомлень залежно від ступеня деталізації. Представлений алгоритм виявлення сигналу на фоні завад ілюструє порівняння параметричного і непараметричного методів підходу до прийому сигналів. Показано, що досліджуваний перелік інваріантних перетворень не є вичерпним, але він підтверджує саму неоднозначність вибору перетворень масиву.

Ключові слова: *апріорна невизначеність, вибірові значення, статистична обробка, розподіл імовірностей, алгоритм та аналіз методів*

Losiev Ye. O. State University of Telecommunications, Kyiv

DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR OPTIMAL RECEPTION OF MULTIPosition SIGNALS AT UNKNOWN A PRIORI DATA

The article deals with the questions and possibilities of interpreting incoming data, which arrive as an array of sample values, and the possibility of developing an algorithm for forming these messages depending on the degree of detail. The proposed algorithm for detecting a signal against a background of impediments illustrates the comparison of parametric and nonparametric methods of approach to the reception of signals. An analysis of these signal detection methods shows that the investigated list of invariant transformations is not exhaustive, but it confirms the ambiguity of the choice of transformations of the array. The criterion for this choice is not only the study of given invariant properties of the level of unlikely alarms to the type of distribution, but also the maximum possible storage of the necessary information about a signal that allows it to be detected.

Keywords: *a priori uncertainty, selective values, statistical processing, probability distribution, algorithm and methods analysis.*

Лосєв Е. А. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА МНОГОПОЗИЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ АПРИОРНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрены вопросы и возможности трактовки входных данных, которые поступают как массив выборочных значений и возможность разработки алгоритма формирования этих сообщений в зависимости от степени детализации. Представленный алгоритм обнаружения сигнала на фоне помех иллюстрирует сравнение параметрического и непараметрического методов подхода к приему сигналов. Показано, что исследуемый перечень инвариантных преобразований не является исчерпывающим, но он подтверждает самую неоднозначность выбора преобразований массива.

Ключевые слова: *апериорная неопределенность, выборочные значения, статистическая обработка, распределение вероятностей, алгоритм и анализ методов.*

Вступ. Одним з найважливіших питань різнорідної телекомунікаційної мережі є цифровизація місцевих (міських та сільських) мереж зв'язку. Саме багатоканальні модеми найбільш адекватні за своїми параметрами до реальних каналів цих мереж.

У відомій науково-технічній літературі на сьогодні недостатньо досліджені різні принципи побудови ефективних систем передачі інформації на базі багатоканальних модемів, що мають практичний зміст і враховують багатоваріантний розвиток засобів та сучасних технологій. Як відомо, на завадостійкість модемів найбільше впливають такі фактори, як флуктуаційний шум, лінійні спотворення, що проявляються у вигляді міжканальних перехідних завад і міжсимвольних спотворень, імпульсних завад і короткочасних переривань зв'язку. Реальним способом подолання комплексу вищезгаданих завад є техніка багатоканальних модемів з ортогональними канальними сигналами і багатопозиційною фазорізницевою модуляцією: вихідний високошвидкісний цифровий потік розподіляється на декілька низькошвидкісних потоків, переданих на різних піднесучих.

Серед невирішених проблем на сьогодні залишається задача синтезу алгоритмів оптимальної обробки багатопозиційних сигналів з амплітудно-фазовою модуляцією в БМ з ортогональними сигналами. Недостатньо досліджено проблему використання різних методів прийому для традиційних каналів місцевих мереж та каналів цільового призначення; немає рекомендацій який саме з методів прийому (когерентний, некогерентний, автокореляційний) використовувати в конкретних випадках. У відомих багатоканальних модемах використовується, як правило, оптимальна некогерентна обробка сигналів. З розвитком багатопозиційних систем набула актуальності задача синтезу алгоритмів когерентного прийому багаточастотних взаємоортогональних сигналів, орієнтованих на цифрову реалізацію і придатних для довільних сигналів із амплітудно-фазовою модуляцією. З цією задачею тісно пов'язана проблема реалізації БМ для каналів зв'язку на базі сучасних мікропроцесорних пристроїв. Перспектива активного становлення цифрових мереж, як альтернатива існуючим аналоговим каналам зв'язку, з метою забезпечення техніко-технологічного розвитку телекомунікацій, є реальністю.

Основна частина. Для успішного функціонування ТС необхідно забезпечити, насамперед, якісний контроль параметрів мережних елементів. Отже фактично доводиться розв'язувати задачу в умовах апріорної невизначеності.

Згідно зі статистичним трактуванням задачі виявлення вхідних даних, котрі надходять на виявник, розглядатимемо як масив вибіркового значень X , що має визначений розподіл ймовірностей. Випадковість масиву X зумовлена впливом випадкових завад, а також недосконалістю технічних засобів (похибками вимірювань або перетворень фізичних величин, шумами приймально-підсилюючих пристроїв та ін.) На підставі апріорних відомостей про властивості масиву вибіркового значень X як за відсутності, так і за наявності сигналу, формулюються відповідно досліджувальна та альтернативна статистичні гіпотези (тобто деякі припущення про види розподілів ймовірностей X).

У залежності від ступеня конкретизації цих припущень і прийнятого критерію якості вибираються тестова статистика $V(X)$, тобто деякий функціонал від вхідних даних, і порогова константа Π . Рішення приймається шляхом порівняння значення $V(X)$, отриманого по даним конкретної реалізації масиву X з пороговою константою Π . Якщо $V(X) \geq \Pi$, то приймається рішення на користь альтернативної гіпотези, тобто про наявність сигналу, у протилежному випадку – на користь припущеної гіпотези – про відсутність сигналу. Таким чином, виявник повинен містити обчислювач тестової статистики $V(X)$ і пороговий пристрій.

Результат роботи визначника можна розглядати як оцінку \bar{v} – формального параметра ситуації v , який дорівнює 0 при відсутності сигналу, і рівного 1 – при його наявності. Через присутність випадкових завод значення параметра \bar{v} не завжди співпадає з дійсним значенням v , а лише з деякою ймовірністю, яка при $\bar{v} = 1$ і $v = 1$ називається ймовірністю правильного визначення D а при $\bar{v} = 1$ і $v = 0$ - ймовірністю хибної тривоги α . Параметри D і α характеризують якість роботи визначника, яка тим вища, чим менше значення α і більше D .

Як відомо, оптимальний демодулятор за критерієм Неймана-Пірсона максимізує ймовірність правильного прийому D , коли задано ймовірність хибної тривоги α . Значення D та α залежить від виду статистики $V(X)$. Можливість оптимального вибору $V(X)$ визначається повнотою і достовірністю апріорної інформації про властивості розподілів масиву вибірових значень X .

Залежно від ступеня деталізації цих повідомлень використовують наступні методи статистичної обробки.

Оптимальні методи. Оптимальні (класичні) методи використовують за умови, коли відомі функціональний вид розподілу вибірових значень і всі його параметри. У цьому випадку найвища якість визначення за відомим критерієм Неймана-Пірсона, який забезпечує функціонал відношення правдоподібності:

$$V(x) = \alpha(x) = \frac{f(x/v=1)}{f(x/v=0)}, \quad (1)$$

де $f(x/v)$ – спільний розподіл імовірностей масиву вибірових значень в ситуації v .

Тоді порогова константа Π обчислюється як розв'язок рівняння

$$P_\lambda(\Pi/v=0) = 1 - \alpha, \quad (2)$$

де $P_\lambda(\Pi/v)$ – інтегральна функція розподілу статистики (1).

Адаптивні методи. Адаптивні методи використовують, якщо розподіл вхідних даних відомий з точністю до масиву невідомих параметрів δ . У цьому випадку оптимізація $V(X)$ за класичними критеріями неможлива. Потрібно звертатись до використання некласичних методів оптимізації, побудованих на принципах незміщеності, інваріантності, подібності тощо.

Використовують також некласичні критерії якості. Але незалежно від прийнятого методу загальний результат такий: у відношення правдоподібності, обчислене при відомому масиві параметрів δ , підставляємо оптимальну оцінку $\bar{\delta}$, здобуту або безпосередньо за масивом X , або за спеціальним масивом Y . Таким чином, ця група методів відрізняється від попередньої введенням до складу визначника блока адаптації, який оцінює невідомі параметри сигналу і завади.

Непараметричні методи. Непараметричні методи використовують, коли функціональний вид розподілу вхідних даних невідомий, а задано лише загальні відмінності між ситуаціями наявності і відсутності сигналу.

Нехай масив вибірових значень X складається з n -елементів $\{x_1, \dots, x_n\}$. У багатьох випадках спільний n -мірний розподіл імовірностей вибірок $f(x_1, \dots, x_n/v)$ має властивість інваріантності до перестановок аргументів, тобто:

$$f(x_1, \dots, x_n/v) = f(x_{k_1}, \dots, x_{k_n}/v), \quad (3)$$

де $\{k_1, \dots, k_n\}$ – довільна перестановка цілих чисел від 1 до n .

Умова в окремих випадках виконується, якщо

$$f(x_1, \dots, x_n / v) = \prod_{i=1}^n f(x_i / v), \quad (4)$$

тобто вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ статистично незалежні і мають однаковий одномірний розподіл.

Якщо умови (3) і (4) виконуються для $v=0$ і не виконуються для $v=1$, то задачу визначення сигналу можна сформулювати як перевірку виконання вказаних нерівностей. Конкретний вид розподілу при цьому знати не обов'язково.

Інформативним параметром розподілу, який не залежить від його конкретного виду, може бути властивість симетрії:

$$f(x/v=0) = f(-x/v=0), \quad (5)$$

на протипагу альтернативній гіпотезі про те, що розподіл несиметричний.

Існування відмінності між розподілами масиву X у ситуаціях $v=0$ і $v=1$ можна сформулювати як гіпотезу зсуву розподілу вправо:

$$F(x/v=1) \leq F(x/v=0), \quad (6)$$

де F – одномірна інтегральна функція розподілу вибірок $\{x_1, \dots, x_n\}$.

Тоді

$$F(x/v) = \int_{-\infty}^x f(y/v) dy, \quad (7)$$

Фактично нерівність (6) означає, що за наявності сигналу вибіркові значення фізичних величин у середньому більші, ніж за його відсутності. Можливий також зсув розподілу вліво, якому відповідає нерівність, протилежна виразу (6). У цьому разі сигнальні вибірки будуть у середньому менші за величиною, ніж завадові. Окремим випадком гіпотези зсуву є гіпотеза зсуву середнього значення:

$$f(x/v) = f(x - v\alpha), \quad (8)$$

де α – деяка константа.

Дослідження показують, що апіорна інформація, яка використовується під час синтезу непараметричних виявлень, має швидше якісний, ніж кількісний характер. Непараметричні методи обробки відрізняються від класичних і адаптивних. Відмінність від останніх полягає в тому, що в непараметричних методах головний акцент ставиться не на оптимізації характеристик системи, а на забезпеченні їх нечутливості до умов функціонування. Тому, непараметричними вважають системи визначення сигналів, рівень α_0 хибних тривог яких інваріантний щодо функціонального виду розподілу завади. Оскільки рівень α_0 однозначно визначається функцією розподілу тестової статистики, то звідси випливають дві вимоги до $V(x)$:

– по-перше, її розподіл за відсутності сигналу має бути точно відомим і незмінним, яким би не був розподіл завади на вході системи;

– по-друге, у разі появи сигналу інваріантність розподілу $V(x)$ має порушуватись, щоб зберігалась можливість розпізнавання ситуацій $v=0$ і $v=1$.

Синтез непараметричних процедур обробки сигналів проводиться переважно евристичними методами.

Деякі закономірності цих методів: практично всі непараметричні визначники містять як складовий елемент пристрої, що виконують деяке інваріантне перетворення S масиву вибірових значень X . У результаті цього перетворення утворюється новий масив $Z = SX$, розподіл елементів якого при відсутності сигналу ($v=0$) точно відомий.

Перетворення S , яке вибирається евристично, дає змогу звести задачу визначення сигналу на фоні завад з невідомим розподілом до задачі перевірки простої гіпотези відносно розподілу масиву Z . Відповідно і синтез непараметричних визначників виконують в два етапи: на першому вибирають вид інваріантного перетворення S , на другому – спосіб обробки перетворених даних.

Одним із найпростіших прикладів перетворення є жорстке обмеження:

$$Z_i = \operatorname{sgn}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \geq 0 \\ 0, & x_i < 0 \end{cases}. \quad (9)$$

Якщо гіпотеза симетрії (5) правильна, то неважко переконатись, що поява одиниць і нулів на виході обмежувача (9) рівноймовірна.

$$P(z_i = 1 / v = 0) = P(z_i = 0 / v = 0) = 1 / 2. \quad (10)$$

Отже, (9) переводить масив з довільним симетричним, відносно нульового рівня розподілом, до нового масиву. З появою сигналу симетрія розподілу порушується (що особливо важливо). Тоді задачу виявлення можна звести до перевірки простої гіпотези (10) щодо альтернативної гіпотези $P(z_i = 1 / v = 1) > 1 / 2$.

Рішенням такої задачі є критерій знаків, який передбачає додавання знаків елементів вибірки

$$V(x) = \sum_{i=1}^n \operatorname{sgn}(x_i) \quad (11)$$

і аналіз накопиченого значення з порогом.

Статистика (11) – це кількість переваг в серії n незалежних досліджень, тобто підпорядковується біноміальному розподілу, причому n за відсутності сигналу ймовірність переваги дорівнює $1/2$, а за його наявності перевищує $1/2$.

Отже, (11) задовольняє дві вище наведені умови: при $v = 0$ її розподіл точно відомий і незмінний, яким би не був вихідний симетричний розподіл $f(x / v = 0)$, а при $v = 1$ розподіл статистики (11) чутливий до наявності сигналу.

Окрім жорсткого обмеження, відомі також наступні види перетворень.

Перестановка елементів вибірки. Якщо справедлива гіпотеза випадковості (3), то всі перестановки елементів вибірки рівноймовірні незалежно від виду їх розподілу.

Порядкові статистики. Вихідна вибірка $\{x_1, \dots, x_n\}$ упорядковується за величиною і організується в так званий варіаційний ряд, в якому $x^{(1)}$ – найменший елемент вибірки, $x^{(2)}$ – другий за абсолютною величиною елемент; $x^{(R)}$ – R -й за абсолютною величиною елемент; $x^{(n)}$ – максимальний елемент, тобто:

$$x^{(1)} < x^{(2)} \dots < x^{(R)} \dots < x^{(n)}. \quad (12)$$

Випадкова величина $x^{(R)}$ називається R -ю порядковою статистикою. Її інваріантна властивість полягає в тому, що із збільшенням обсягу вибірки значення $x^{(R)}$ збігається за ймовірністю з квантованим рівнем $R / (n + 1)$ незалежно від виду розподілу вихідної вибірки (якщо лише для нього виконується рівність (4)).

Ранги. Рангом i -го елементу x_i масиву вибірових значень X вважається порядковий номер R_i цього елементу в варіаційному ряді, тобто:

$$x_i = x^{(R_i)}. \quad (13)$$

Як відомо, формально процедуру обчислення рангу можна представити у вигляді:

$$R_i = \sum_{k=1}^n \text{sgn}(x_i - x_k). \quad (14)$$

Сукупність рангів $\{R_1, \dots, R_n\}$ усіх елементів вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ утворює деяку перестановку чисел від 1 до n . Згідно гіпотези випадковості (3) усі такі перестановки рівномірні. Отже, незалежно від конкретного закону розподілу вихідної вибірки $\{x_1, \dots, x_n\}$ спільний розподіл рангів $\{R_1, \dots, R_n\}$ є рівномірним:

$$P(R_1, \dots, R_n) = \frac{1}{n!}. \quad (15)$$

Представлений на рис. 1 алгоритм виявлення сигналу на фоні завад ілюструє порівняння параметричного і непараметричного методів підходу до прийому сигналів.

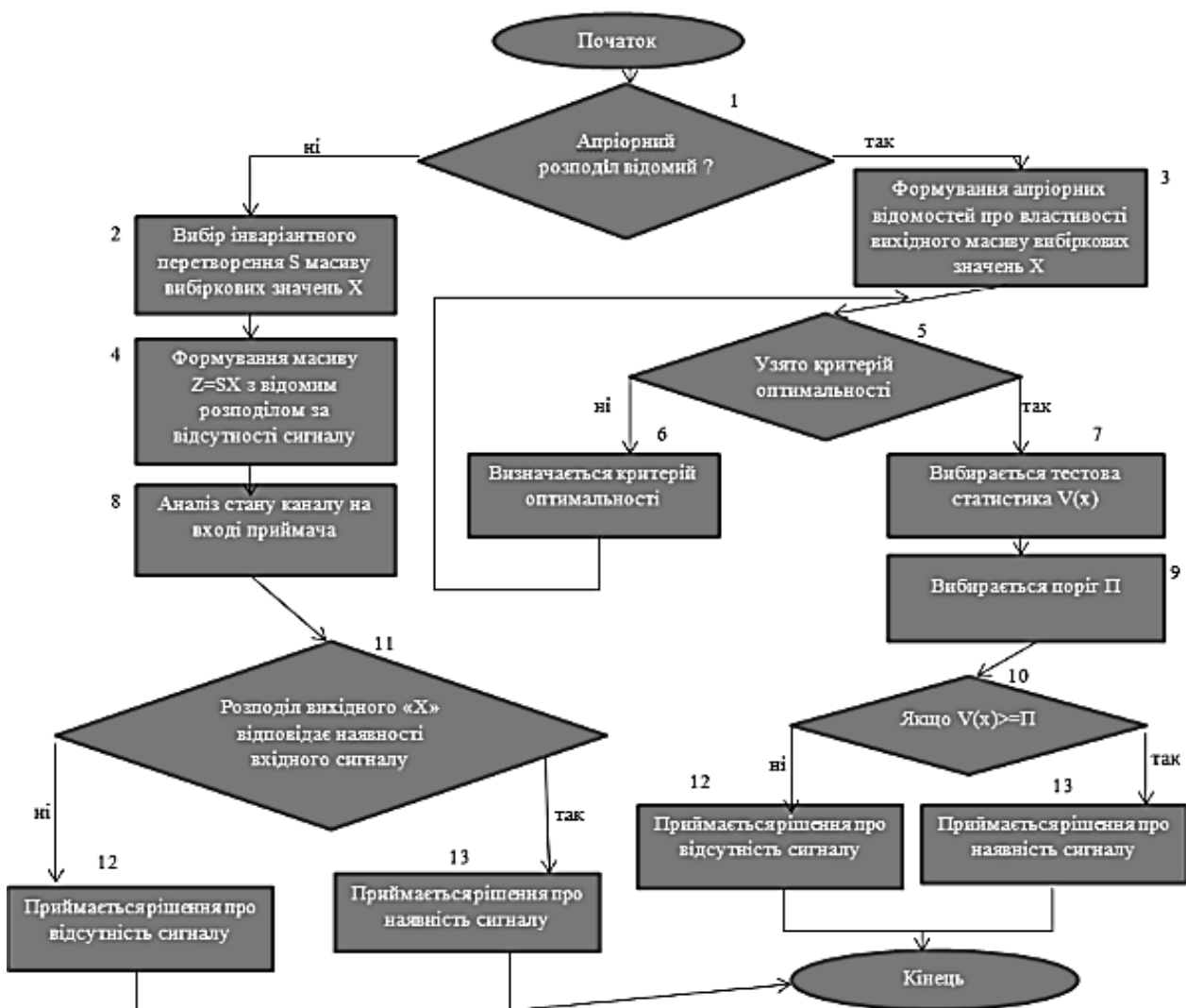


Рис.1. Алгоритм виявлення сигналів на фоні завад

Висновки

Аналіз методів виявлення сигналу показує, що наведений перелік інваріантних перетворень не є, безумовно, вичерпним, але він підтверджує неоднозначність вибору перетворень масиву S . Критерієм вибору є не тільки дослідження заданих інваріантних властивостей рівня неправдоподібних тривог до виду розподілу, але і максимально можливе зберігання інформації про сигнал, що дає змогу його виявити.

Список використаної літератури

1. Козелкова Е. С. Синтез алгоритмов и структур устройств формирования линейно-частотно модулиро-ванных диаграмм направленности / Е. С. Козелкова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 4(26). – С. 115-116.
2. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.
3. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – Москва : Физматгиз, 1960. – 606с.
4. Стеклов В. К. Основы управления сетями та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.

References

1. Kozelkova E. S. "Synthesis of algorithms and structures of devices for the formation of linearly-frequency-modulated radiation patterns." *Zbirnik naukovykh prac Kharkivskoho Universytety Povitryanykh Syl* 4(26) (2010): 115-116.
2. Tolubko V. B., Berkman L. N., Komarova L. O., V. Orlov Ye. V. "Multycriterial optimization of parameters in program-confirming networks." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 4 (2014): 5-11.
3. Wald A. "Sequential analysis." *Moskva: Fizmatgiz* (1960): 606.
4. Steklov V. K., Kilchytskyi Ye. V. "The basis of management by telecommunications means and services" *Kyiv: Technika* (2002): 438.
5. Vinogradov N. A. Analysis of the potential characteristics of switching and management devices at new generations networks *Zv'azok* 4 (2004): 10-17.

Автори статті

Лосєв Євгеній Олександрович – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (97) 937 92 41. E-mail: loseveo@gmail.com.

Authors of the article

Losiev Yevhenii Oleksandrovych – postgraduate student of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel: +380 (97) 937 92 41. E-mail: loseveo@gmail.com.

Дата надходження
в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор
К. С. Козелкова
Державний університет телекомунікацій, Київ