

УДК 621.397.6+621.398(075.8)

Долінський Р. О., аспірант (Тел.: +380 97 885 53 84. E-mail: pactamah@i.ua)

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

ФОРМУВАННЯ ВИБІРКОВИХ МАСИВІВ ДАНИХ І АЛГОРИТМИ ЇХ РАНЖУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ СИГНАЛІВ З ФАЗОРИЗНИЦЕВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ВИСОКОЇ КРАТНОСТІ

Долінський Р. О. Формування вибіркового масиву даних і алгоритми їх ранжування для багатопозиційних сигналів з фазорізницевою модуляцією високої кратності. В статті проведений аналіз особливостей рангових методів при умові використання фазорізницевої модуляції високої кратності. Виконано дослідження розв'язку задачі мінімізації помилкових тривог за допомогою ранжування. Проведено аналіз особливостей використання рангів порівняно з непараметричними перетвореннями інших типів. Розглянуто особливості процесу ранжування до та після детектора. Зроблено висновки стосовно доцільності використання алгоритмів ранжування в сучасних системах зв'язку та практичного впровадження цих алгоритмів в логічних схемах.

Ключові слова: фазорізницева модуляція, інваріантність, оптимальний прийом, рангові методи, мінімізація помилкових тривог, ранжування

Долинский Р. А. Формирование выборочных массивов данных и алгоритмы их ранжирования для многопозиционных сигналов с фазоразностной модуляцией высокой кратности. В статье проведен анализ особенностей ранговых методов при условии использования фазоразностной модуляции высокой кратности. Выполнено исследование решения задачи минимизации ошибочных тревог с помощью ранжирования. Проведен анализ особенностей использования рангов сравнительно с непараметрическими преобразованиями других типов. Рассмотрены особенности процесса ранжирования до и после детектора. Сделаны выводы относительно целесообразности использования алгоритмов ранжирования в современных системах связи и практического внедрения этих алгоритмов в логических схемах.

Ключевые слова: фазоразностная модуляция, инвариантность, оптимальный прием, ранговые методы, минимизация ошибочных тревог, ранжирование

Dolyns'kyu R. O. Formation of data arrays and its ranking algorithms for multi position signals with phase-difference modulation of high order. In this article, analysis of ranking methods features, with usage of phase-difference modulation of high order has been done. Research of solution of false alarm minimization task, while using ranking methods has been done. Analysis of ranks usage features, comparing with non-parametrical transformation of other types. Analysis of ranking method usage before and after decoder has been done. Conclusion regarding advisability of ranking algorithms usage in modern communication systems, and practical implementation of this algorithms to logical schemes has been done.

Key words: phase-difference modulation, invariance, optimal reception, ranking method, false alarms minimization, ranking

Вступ. При дослідженні рангової обробки інформації на вхідних каналах телекомунікаційних систем для ефективного застосування критерія В. А. Котельникова необхідно мати інформацію про апіорний розподіл ймовірностей. Коли такий розподіл невідомий, доцільно використовувати непараметричні методи. Якщо зміни умов функціонування систем достатньо плинні і прогнозовані, то вдаються до адаптивних методів в умовах непередбачених ситуацій – методи обробки сигналу мають бути інваріантними.

Адаптивні методи застосовується в тих випадках, коли відома невелика кількість параметрів сигналів і завад, у разі ж великої кількості – адаптація неефективна. Надання інваріантних властивостей непараметричним процедурам досягається загальним технічним прийомом: на початковому етапі обробки надмірність вхідної інформації скорочується редуцією спостережування вибіркового даних, чутливих до величин, розподіл яких є інваріантним щодо розподілу вхідних даних.

Найбільш широким спектром інваріантних властивостей володіє процедура ранжування вхідних відліків, яка перетворює їх на послідовність цілих чисел - рангів, залежних від відносного рівня даного відліку серед спостережуваної множини. Ранги володіють багатьма властивостями, а теорія рангових процедур значно ефективніша для практичного застосування ніж непараметричні методи. Саме тому дослідження прикладних аспектів

рангової обробки інформації на вхідних каналах телекомунікаційних систем є однією з найактуальніших задач [1].

Визначення та вибір способу ранжування. Існує деяка неоднозначність у визначенні рангів, тому вибір способу ранжування в значній мірі залежить від прийнятої процедури формування вибіркового масиву, що містять досліджувану (“сигнальну”) X і опорну (“завадову”) Y вибірки. У зв'язку з цим синтез рангових виявників спочатку зводиться до організації масивів X та Y . Вибір процедури формування досліджуваного і опорного масивів проводиться евристично.

Звичайно, елементи вибіркового масиву представляють собою відліки напруг на виході фізичних пристроїв обробки інформації (датчиків сигналів, просторово-часових фільтрів та ін.). Якщо вихідні напруги неперервні за часом, то перший етап формування досліджуваних вибірок складається з дискретизації цих напруг по відповідній координаті з деяким кроком Δ . Значення Δ вибирають з урахуванням наступних умов:

- повинні виконуватися відомі умови однозначного представлення неперервних сигналів дискретними відліками за теоремою Котельникова;
- значення Δ повинно перевищувати інтервал залежності Δ_3 завади по відповідній координаті [2, 3].

Для завод, розподілених за нормальним законом, інтервал залежності завади співпадає з інтервалом кореляції Δ_k . У загальному випадку значення Δ_3 складно знайти. Тому практично завжди приймають $\Delta_3 \approx \Delta_k$. У деяких випадках Δ_k перевищує Δ_3 , що приводить до похибок в установці рівня помилкових тривог і зниження ефективності виявлення.

Сформована в такий спосіб сукупність дискретних відліків утворює множину W , котра і є вихідною для формування усіх вибіркового масиву, що піддаються ранговій обробці. Загальний обсяг вибіркового масиву визначається діапазоном можливих значень інформаційних параметрів сигналу (час затримки, доплерівський зсув частоти, напрямок надходження) і кількістю просторових точок прийому [4].

З множини W необхідно виділити досліджувану вибірку відліків $X \subset W$, що формується для кожної групи розрізнення по інформативних параметрах сигналу.

Розглянемо приклад. Нехай потрібно знайти монохроматичний радіоімпульс:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos \omega_0 t, & t \in [\tau, \tau + T], \\ 0 & t \notin [\tau, \tau + T], \end{cases}$$

де T – тривалість імпульсу; τ – невідомий момент приходу імпульсу.

У даному випадку множина W складається з усіх відліків вхідної напруги $u(t)$, отриманих на інтервалі спостереження $[0, T_n]$, де $T_n = T + \tau_{\max}$, τ_{\max} – максимально можливе значення τ .

Досліджувана вибірка X для групи розрізнення, котра відповідає припущенню про те, що запізнювання сигналу дорівнює τ_0 , та відліки напруги – $u(t)$, отримана на інтервалі $[\tau_0, \tau_0 + T]$.

Таким чином, склад досліджуваної вибірки цілком визначається структурою виявника, видом і параметрами прийнятого сигналу і не залежить від того, які алгоритми обробки надалі застосовуються. Специфічними для рангових процедур є наступні формування досліджуваних масивів [5, 6].

Після того, як визначений склад вибірки X , необхідно проаналізувати її властивості при відсутності сигналу. Якщо розподіл елементів масиву X у розглянутій ситуації збігається, тобто вибірка X статистично однорідна, то ранжування всіх її елементів виконується

однаковим способом. Так, у розглянутому прикладі умовою однорідності масиву X є квазістаціонарність завади на інтервалі $[\tau, \tau + T]$.

Якщо при відсутності сигналу масив X статистично неоднорідний, то його необхідно розбити на блоки X_1, \dots, X_N , щоб у i -й блок $X_i \subset X$ ($i = \overline{1, N}$) входили тільки статистично однорідні елементи. При цьому розподілі блоки X_1, \dots, X_N можуть відрізнятися один від одного. Наприклад, для виявлення розглянутого вище сигналу використовується група прийомних елементів, розташованих у m точках простору з координатами $\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_m$. Тоді випробуваний масив X складається з відліків напруг $u(t, \bar{r}_i)$ ($i = \overline{1, M}$), узятих на інтервалі $[\tau_0, \tau_0 + T]$ у всіх точках прийому. Така структура масиву X визначається конструктивними особливостями виявника і властивостями сигналу. Якщо точки прийому рознесені на значні відстані, то властивості завад у них можуть істотно відрізнятися, що приводить до загальної неоднорідності масиву X . Це неважко усунути, якщо розбити X на блоки таким чином, щоб у i -й блок ввійшли відліки напруг $u(t, \bar{r}_i)$, які відносяться тільки до i -ї точки прийому [7].

У загальному випадку масив X необхідно доповнити опорним масивом Y , що співпадає по своїх властивостях з властивостями масиву X при відсутності сигналу. Якщо досліджуваний масив розбитий на статистично однорідні блоки, то аналогічну структуру повинен мати і опорний масив. Масив Y так само, як і масив X , формується з елементів множини W , однак на відміну від X , масив Y може мати елементи, що відносяться до різних груп розрізнення. При організації масиву Y необхідно прагнути до виконання наступних умов: максимально точної відповідності статистичних властивостей масивів X і Y ; обсяг масиву Y повинний бути достатнім для забезпечення високої якості виявлення при заданому рівні помилкових тривог. Після ранжування масивів X та Y повинна зберігатися інформація про ті параметри сигналу, що використовуються для рішення задач виміру, класифікації і т.п. Для виконання цих умов необхідно в максимальній степені враховувати конструктивні особливості системи і властивості завади [8].

Розглянемо формування опорної вибірки для приведеного прикладу виявлення тонального радіоімпульсу групою прийомних елементів. Нехай перехід від вхідних даних до рангів утворюється безпосередньо на виході прийомних елементів. Тоді масив W утворюється сукупністю дискретних відліків $u(k\Delta t, \bar{r}_i)$, де k змінюється від 0 до

$ent \left[\frac{T_n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \right]$, Δt - інтервал квантування за часом; $ent [\bullet]$ - символ цілої частини числа.

Припустимо, що розміщення прийомних елементів забезпечує виконання умови незалежності завади в різних точках прийому, а інтервал квантування перевищує інтервал кореляції завади за часом. Тоді для l -ї альтернативи за часом запізнювання сигналу елементами досліджуваної вибірки будуть відліки

$$x_{ik} = u((l+k)\Delta t, \bar{r}_i), i = \overline{1, M}, \quad k = \overline{1, n},$$

де $n = ent \left[\frac{T}{\Delta t} + \frac{1}{2} \right]$ - число відліків на інтервалі сигналу.

Якщо завада присутня на всьому інтервалі спостереження $[0, T_n]$ і однорідна в усій області простору, зайнятої прийомними елементами, то до складу опорної вибірки Y можна включити весь масив W . Обмеження обсягу Y пов'язано тільки з чисто технічними можливостями реалізації операції ранжування. При великих обсягах опорної вибірки ефективність рангових виявників практично збігається з потенційно досяжною. Однак завада з такими ідеальними властивостями не зустрічається. У найкращому випадку можна лише вказати деякі межі за часом і простором, у яких властивості завади однорідні. Тоді опорна

вибірка формується у цих межах, якщо технічні можливості дозволяють ранжувати відповідні обсяги даних. Зокрема, опорний масив Y може тотожно збігатися з X чи займати часовий інтервал, що відрізняється від інтервалу сигналу в меншу чи більшу сторону. Це відноситься і до просторової координати.

Якщо, як і в наведеному раніше прикладі, через значну відстань точок прийому властивості завад на виходах прийомних елементів помітно відрізняються, тоді опорний масив варто формувати окремо для кожної точки прийому часових відліків відповідного спостерігача. У цьому випадку після ранжування втрачається частина інформації про співвідношення рівнів сигналу в різних точках прийому, що має значення для рішення задач виміру параметрів сигналу.

Однією з важливих задач, пов'язаних з ранговою обробкою інформації, є питання про місце переходу від вхідних даних до рангів. Аналіз показує, що процедуру ранжування можна проводити практично на будь-якому етапі обробки, і кожний з відповідних методів ранжування має свої переваги і недоліки. Усі методи ранжування можна розбити на дві групи.

Ранжування до детектора. У цьому методі перехід від вхідних даних до рангів проводиться в лінійній частині виявника. Особливість цього методу ранжування полягає в тому, що обсяги ранжованих вибірок великі (порядку декількох сотень), тому повною мірою виявляються асимптотичні властивості рангів, зокрема, можливість *наближеного відновлення вихідної інформації*. Завдяки цій обставині рангові додетекторні виявники володіють високою завадостійкістю, близькою до потенційно досяжної. Проте рангові алгоритми цієї групи мають і недоліки: технічна реалізація процедури ранжування у високочастотних ланцюгах виявників сигналів є досить складною, а в деяких випадках і нерозв'язною задачею.

Ранжування після детектора. За цим методом ранжування здійснюється в низькочастотній частині виявника після детектування сигналу, внаслідок чого технічне здійснення цієї операції істотно спрощується. Особливістю даного методу є те, що більша частина процедур первинної обробки є такою ж, як і в традиційних системах. Це, з одного боку, відкриває можливість модернізації вже існуючих систем шляхом введення до них нескладних пристроїв рангової обробки без корінної перебудови їхньої структури; з іншого боку - забезпечується універсалізація самого пристрою рангової обробки, тому що специфіка конкретних сигналів і завад враховується традиційною обробкою, а самі рангові процедури післядетекторного виявлення досить однотипні. Недолік даного методу ранжування - малі обсяги ранжованих вибірок (порядку декількох десятків), що знижує ефективність виявлення порівняно з потенційно досяжними результатами. Ці втрати завадостійкості особливо відчутні в області малих рівнів помилкових тривог (10^{-5} і нижче).

Вибір місця переходу від вибірових даних до рангів, склад досліджуваних і опорних вибірок цілком визначають алгоритм ранжування. Розходження між алгоритмами ранжування можна сформулювати відношенням між масивами X та Y . Так, при $X = Y$ маємо алгоритм ранжування без опорних вибірок, якщо $X \cap Y = \emptyset$, тобто множини X та Y не перетинаються, то маємо алгоритм ранжування по опорних вибірках, якщо ж $X \subset Y$, а доповнення множини Y по X немає, тобто $Y / X \neq \emptyset$, то одержуємо алгоритм ранжування вибірки і т.д. Крім зазначених алгоритмів ранжування можливі і проміжні, що допускають різний ступінь перекриття множин X та Y . Після того, як визначені способи формування і ранжування вибірових масивів, необхідно вибрати спосіб обробки рангів, котрі залежать від їхніх статистичних характеристик (розподілів, моментів і т.д.) [9], [10].

Висновки. В статті розглянуто і досліджено той факт, що гнучкість процедури ранжування забезпечує можливість вирішення широкого кола задач виявлення багатопозиційних сигналів в умовах непараметричної апріорної невизначеності. Також

проведено дослідження розв'язку задачі мінімізації помилкових тривог за допомогою ранжування. Проаналізовано унікальну особливість рангових методів порівняно з непараметричними перетвореннями інших типів. Критерієм вибору методу дослідження є не тільки виявлення заданих інваріантних властивостей рівня неправдоподібних тривог до виду розподілу, але і максимально можливе зберігання інформації про сигнал, що дає змогу практично повного відновлення вихідної інформації, тобто високу ефективність виявлення сигналу. Ще однією перевагою є те, що ранги за своєю суттю є дискретними величинами, що приймають цілочисельні значення, тому для їх обчислення потрібні найпростіші операції типу порівняння та підсумовування.

Література

1. Беркман Л. Н. Рангові методи прийому багатопозиційних сигналів / Л. Н. Беркман, О. І. Чумак, І. С. Щербина // Вісник Українського будинку економічних і науково-технічних знань. – 2005. – №3. – С. 103-105.
2. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / [А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, В. Л. Банкет]. – Москва : Радио и связь, 1985. – 272 с.
3. Кожин І. А. Синтез оптимального сигналу за умов відносної інваріантності до адитивної завади / І. А. Кожин, М. Л. Мілих, О. І. Чумак // Современные проблемы телекоммуникаций: Сборник докладов VI Международной научно-технической конференции (Часть 1), г. Одесса, 19-22 августа 2003 г. – С. 139-141.
4. Стеклов В. К. Оптимізація параметрів багатоканальних модемів / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, О. І. Чумак // Вісник Українського будинку економічних і науково-технічних знань. – 2002. – №2. – С. 124-131.
5. Ефективні канали зв'язку на базі багатоканальних модемів : навчальний посібник / [В. К. Стеклов, О. К. Юдін, О. Г. Варфоломеева, О. І. Чумак]. – Київ : УНДІЗ, 2002. – 86 с.
6. Чумак О. І. Розрахунок параметрів групового сигналу в багатоканальних модемах / О. І. Чумак, Н. М. Лесна // Матеріали Міжнародної конференції з управління «Автоматика 2002», м. Донецьк, 16-18 вересня 2002 р. – С. 252 - 255.
7. Система управління сучасними різномірними телекомунікаційними мережами / [О. І. Чумак, О. М. Недашківський, О. І. Охтень, Т. В. Трухан] // Науково-практичний семінар «Проблеми вищої освіти в галузі зв'язку та досягнення сучасних телекомунікаційних технологій», м. Чернівці, 27 - 29 листопада 2001р. – С.14.
8. Хиленко В. В. Інваріантні щодо адитивних та неадитивних завод системи зі змінними та сталими параметрами / В. В. Хиленко, О. І. Чумак // Зв'язок. – 2005. – №8. – С. 47-51.
9. Чумак О. І. Алгоритм оптимального прийому сигналу в багатоканальних модемах / О. І. Чумак, Д. О. Рогожников, О. І. Нацик // Вісник Українського будинку економічних і науково-технічних знань. – 2004. – №1. – С. 124-132.
10. Юдін О. К. Аналіз методів виявлення сигналів в системах управління різномірними телекомунікаційними мережами / О. К. Юдін, О. І. Чумак, Н. М. Скоблilова // Сборник научных трудов по материалам 1-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2002. – Часть 1). – Украина, г. Харьков, 8-10 октября 2002 р. – С. 406-408.

Дата надходження в редакцію: 20.06.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л. Н. Беркман