УДК 621.39

Ткаченко О. М. *Державний університет телекомунікацій, Київ*

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РАНГОВИХ АЛГОРИТМІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В МЕРЕЖАХ NGN

Проаналізовано основні властивості рангів і рангових статистик. Розглянуто властивість інваріантності рангів на прикладі гармонійного сигналу з випадковою початковою фазою. Показано, що розподіл рангів інваріантний до виду вихідного розподілу лише за умови, якщо елементи ранжованих вибірок статистично однорідні. Проаналізовано обмеження на область застосування рангових процедур у порівнянні з оптимальним інваріантним перетворенням.

Ключові слова: *мережа, NGN, ранг, алгоритм, функція, параметр, сигнал, якість, вибірка, розподіл, інформація, втрати, інваріантність*

Tkachenko O. M. *State University of Telecommunications, Kyiv*

INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF RANGE ALGORITHMS AND DETERMINING OPPORTUNITIES FOR USE IN NGN NETWORKS

The basic properties of ranks and rank statistics are analyzed. The property of invariance of ranks on the example of a harmonic signal with a random initial phase is considered. An example of signal ranking is considered. It is shown that the distribution of ranks is invariant to the type of initial distribution only if the elements of the ranked samples are statistically homogeneous. In all cases, the elements of the samples are statistically independent, i.e. their distribution does not depend on the element number. The nonlinear transformation characteristic corresponds to the integral impedance distribution function, and the ranking according to the algorithm is equivalent to the actual distribution of the sample, which, depending on the situation, may be a disturbance of the disturbance or mixture of the interference signal. The restrictions on the scope of rank procedures in comparison with optimal invariant transformations are analyzed. First of all, it is necessary that, in the absence of a signal, the ranked sample was statistically homogeneous. This ensures a stabilization of the level of false alarms with an a priori unknown distribution. But it is equally important that the appearance of the signal destabilizes the homogeneity of the sample. Despite the reduction in the number of informative readings, the sensitivity of the distribution of ranks in the presence of a signal not only did not decrease, but even increased, which is an essential principle for organizing the procedure for detecting a signal based on ranks. Flexibility of the ranking procedure provides the possibility of solving a wide range of signal detection tasks under conditions of nonparametric a priori uncertainty.

Keywords: *network, NGN, rank, algorithm, function, parameter, signal, quality, sampling, distribution, information, loss, invariance*

Ткаченко О. Н. *Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАНГОВЫХ АЛГОРИТМОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕТЯХ NGN

Проанализированы основные свойства рангов и ранговых статистик. Рассмотрено свойство инвариантности рангов на примере гармонического сигнала со случайной начальной фазой. Показано, что распределение рангов инвариантное к виду исходного распределения только при условии, если элементы ранжированных выборок статистически однородны. Проанализированы ограничения на область применения ранговых процедур по сравнению с оптимальным инвариантным преобразованием.

Ключевые слова: *сеть, NGN, ранг, алгоритм, функция, параметр, сигнал, качество, выборка, распределение, информация, потери, инвариантность*

Вступ і постановка задачі

З розвитком інфокомунікаційних послуг ідея об'єднання телефонних мереж, мобільного зв'язку, Internet, знайшла свій розвиток в концепції NGN (мережі наступного покоління – Next Generation Network), в основу якої був покладений принцип відділення одна від одної функцій перенесення і комутації, функцій управління викликом і функцій управління послугами.

Сьогодні прийнято керуватися загальним визначенням NGN, даним в рекомендації Y.2001 ITU: «NGN – мережа з комутацією на базі пакетів, яка здатна надавати телекомунікаційні послуги і можливість використовувати декілька широкосмугових, що забезпечують якість обслуговування транспортних технологій, і в якій функції, що відносяться до послуг, незалежні від технологій, що відносяться до транспортування. Вона гарантує вільний доступ для користувачів по їх вибору до мереж і конкуруючих постачальників служб та/або до служб/послуг. Вона підтримує узагальнену рухливість, яка забезпечуватиме можливість постійного і повсюдного забезпечення служб для користувачів».

Аналіз літературних даних. Поступово в літературі [1-3] сформувався термін Time Warner Full Service Network (FSN), дослівно означає повносервісні мережі, що попереджають втрату якості через несвоєчасність (з запізненням) доставки трафіку. В українській літературі цей термін аналогічний поняттю мультисервісних мереж, тобто мереж, готових до надання будь-яких телекоммунікацінних та інформаційних послуг – передачу голосу, мультимедійні послуги, передачу даних і багато іншого.

Невирішені питання. На основі аналізу літературних джерел можна зробити *наступні висновки.* При дослідженні, аналізі та синтезі мультисервісних мереж найефективнішим є апарат складних систем. При проектуванні складних систем, як відомо [4, 5], при вирішенні задачі мінімізації помилкових тривог необхідно отримати високу ефективність виявлення сигналу.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи було дослідження можливості використання рангових алгоритмів при вирішенні задачі мінімізації помилкових тривог в мережах NGN.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:
- обґрунтування вимог до перспективних мереж зв'язку;
- аналіз особливостей рангових алгоритмів;
- ранжирування сигналу.

Задача вибору оптимального інваріантного перетворення

Припустимо, що вид інваріантного перетворення S заздалегідь не обмежується, а розглядається задача вибору оптимального S, що за заданими інваріантними властивостями забезпечує і найкращу якість виявлення сигналу. При апріорі відомому спільному розподілі вхідних вибіркових значень $\{x_1, ..., x_n\}$ зазначеній вимозі задовольняє нелінійне перетворення виду

$$z_i = F_i\left(x_i / x_1,\ ...,\ x_{i-1};\ \nu = 0\right), \tag{1}$$

або будь-яка монотонна функція від нього. В даному випадку $F_i(\bullet/\bullet)$ – інтегральний розподіл *i-го* елемента вибірки, обчислений за умови, що перші $(i-1)$ елементів фіксовані і сигнал відсутній.

Якщо розподіл вибірки збігається з правою частиною виразу (1), коли відсутній сигнал, то розподіл перетворених вибіркових значень $\{z_1,\ ...,\ z_n\}$ є рівномірним у гіперкубі з одиничним ребром:

$$f_z(z_1,\ ...,\ z_n) = \begin{cases} 1,\ z_i \in [0, 1],\ i = \overline{1,n}; \\ 0,\ z_i \overline{\in} [0, 1],\ i = \overline{1,n}. \end{cases} \tag{2}$$

Оскільки для неперервних розподілів перетворення (1) зворотне, то воно не пов'язано з втратами інформації. Отже, результат оптимальної обробки перетвореної вибірки Z тотожно збігається з відношенням правдоподібності вихідної вибірки X, тобто $U(Z)=U(SX)=\lambda(X)$.

Відмінність лише в тому, що $\lambda(X)$ визначають у два етапи: на першому етапі обчислюють перетворення (1), на другому - перетворення $U(Z)=\lambda(S^{-1}Z)$. Труднощі виконання такого інваріантного перетворення полягають в наступному: в умовах непараметричної апріорної невизначеності вид розподілу завади невідомий. У такому разі можемо замінити у перетворенні (1) точне значення розподілу $F_i(\bullet/\bullet)$ його оцінкою $\widehat{F}_i(\bullet/\bullet)$. Якщо оцінка можлива, то таке наближене перетворення, принаймні, асимптотично має ті ж інваріантні властивості з такою ж завадостійкістю, що і точне перетворення (1). Але для його здійснення вид розподілу завади знати не обов'язково.

У даний час немає досить ефективних і прийнятних методів прямої оцінки багатомірного розподілу. У зв'язку з цим доцільна така організація вхідної вибірки, при якій її елементи статистично незалежні. У цьому випадку перетворення (1) приймає вид

$$z_i = F_i\left(x_i / \nu = 0\right) , \tag{3}$$

де в правій частині є одномірна інтегральна функція розподілу *i-го* елемента вибірки при відсутності сигналу.

Якщо функція розподілу $F_i\left(x_i / \nu = 0\right)$ не залежить від номера i вибіркового значення (вибірка статистично однорідна), то її оцінкою є так званий емпіричний розподіл

$$\vec{F}(x/\nu = 0) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\operatorname{sgn}(x - x_k) , \tag{4}$$

який аналогічний відомому в радіотехніці статистично середньому часу перебування процесу під порогом x.

Властивості рангів і рангових статистик

Підстановка виразу (4) у формулу (3) приводить до інваріантного перетворення

$$z_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\operatorname{sgn}(x_i - x_k),$$

яке з точністю до константи збігається з визначенням рангу. Тому можемо зробити висновок, що при $n \to \infty$ і відсутності сигналу, ранжування асимптотично еквівалентно перетворенню (3). Звідси випливають всі основні властивості рангів і рангових статистик.

Ранжування має інваріантні властивості, подібні до властивостей перетворення (3): ранги, обчислені за вибіркою з довільним неперервним розподілом, розподілені по рівномірному закону. Варто зазначити, що похибка оцінювання функції розподілу за значенням n не впливає на інваріантні властивості рангів. Потім, з асимптотичної еквівалентності рангів і перетворення (3) випливає, що при великих обсягах вибірки можна наближено вважати

$$R_i \approx nF\left(x_i / \nu = 0\right) , \tag{5}$$

причому точність (5) росте зі збільшенням n.

Якщо вид розподілу вхідної вибірки відомий, то вираз (5) можна перетворити:

$$x_i \approx F^{-1}\left(\frac{R_i}{n} / \nu = 0\right) , \tag{6}$$

де $F^{-1}\left(x/\nu\right)=0$ – функція, обернена до інтегральної функції розподілу $F\left(x/\nu\right)=0$.

Отже, при збільшенні n втрати інформації за рахунок ранжирування асимптотично зменшуються і вхідну вибірку можна відновити.

Розглянемо цю властивість рангів на прикладі гармонійного сигналу з випадковою початковою фазою

$$s(t) = A\cos(\omega_0 t + \xi) \ , \tag{7}$$

де A – амплітуда сигналу; ω_0 і ξ – відповідно його частота і початкова фаза.

Нехай сигнал *s(t)* проходить через пристрій ранжирування, що обчислює значення

$$R(t_i) = \sum_{k=1}^{n} \mathrm{sgn}[s(t_i) - s(t_k)] \cdot$$

Даний вираз зручно представити в симетричному вигляді

$$R(t_i) = \frac{n+1}{2} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} sign\left[s(t_i) - s(t_k)\right], \tag{8}$$

де знакова функція

$$sign(z) = \begin{cases} 1, & z > 0; \\ 0, & z = 0; \\ -1, & z < 0. \end{cases} \tag{9}$$

Підставляючи вираз (7) у формулу (8), після елементарних тригонометричних перетворень одержуємо

$$R(t_i) = \frac{n+1}{2} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} sign\left\{\sin\left[\frac{\omega_0(t_i + t_k)}{2} + \xi\right]\sin\left[\frac{\omega_0(t_i - t_k)}{2}\right]\right\}.$$

Враховуючи, що знакова функція добутку двох величин дорівнює добутку знакових функцій цих величин, а також використовуючи розкладання функції *sign(sin x)* у ряд Фур'є:

$$sign(\sin x) = \frac{4}{\pi}\sum_{p=1}^{\infty}\frac{\sin\left[(2p-1)x\right]}{(2p-1)} \ , \tag{10}$$

одержуємо вираз

$$R(t_i) = \frac{n+1}{2} + \frac{4}{\pi^2}\sum_{p}^{\infty}\sum_{i=1}\frac{1}{(2p-1)(2l-1)} \times \begin{Bmatrix} \sum_{k=1}^{n}\cos\left[\frac{(\omega_p + \omega_l)t_i + (\omega_p - \omega_l)t_k}{2} + \xi_p\right] - \\ -\cos\left[\frac{(\omega_p - \omega_l)t_i + (\omega_p + \omega_l)t_k}{2} + \xi_p\right] \end{Bmatrix},$$

де $\omega_p = (2p-1)\omega_0; \ \ \xi_p = (2p-1)\xi.$

При великих значеннях *n,* сума у фігурних дужках приблизно дорівнює $n\delta_{pl}\cos\left[(2p-1)(\omega_0 t_i + \xi)\right]$, де символ Кронекера

$$\delta_{pl} = \begin{cases} 1, & p = l; \\ 0, & p \neq l. \end{cases} \tag{11}$$

З урахуванням цього виразу маємо

$$R(t_i) \approx n\left\{\frac{1}{2} + \frac{4}{\pi^2}\sum_{p=1}^{\infty}\frac{\cos\left[(2p-1)(\omega_0 t_i + \xi)\right]}{(2p-1)^2}\right\},$$

або після підсумку за індексом p

$$R(t_i) \approx n\left\{\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\arcsin\left[\cos(\omega_0 t_i + \xi)\right]\right\}. \tag{12}$$

Права частина виразу (12) – це пилкоподібна функція, частота і фаза якої збігаються з частотою і фазою вхідного сигналу. Амплітуда сигналу (12) не залежить від амплітуди сигналу на вході. Подібною властивістю володіє, як відомо, і жорстке обмеження. Але на відміну від жорсткого обмеження, ранжирування краще передає характер зміни сигналу.

Проаналізуємо відновлення вхідного сигналу. Для цього запишемо інтегральну функцію розподілу гармонійного сигналу з випадковою, рівномірно розподіленою на інтервалі $\left[0,\ 2\pi\right]$ початковою фазою:

$$y = F\left(x\right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\arcsin\left(x / A\right). \tag{13}$$

Після перетворення,

$$x = F^{-1}\left(y\right) = A\sin\left[\pi\left(y - \frac{1}{2}\right)\right]. \tag{14}$$

Підставляючи в цей вираз замість довільного аргументу y нормоване – n значення рангу, одержуємо $F^{-1}\left(\frac{1}{n}R\left(t_i\right) \approx A\cos\left(\omega_0 t_i + \xi\right)\right)$, що співпадає з гармонійним сигналом з випадковою початковою фазою.

Розглянемо приклад ранжирування сигналу. Нелінійне перетворення рангів виконано за законом

$$x = \Phi^{-1}\left(R\left(t_i\right) / n\right), \tag{15}$$

де $\Phi^{-1}\left(x\right)$ – функція, обернена до інтегральної функції нормального розподілу

$$\Phi\left(x\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-z^2/2} dz\ . \tag{16}$$

Високий ступінь співпадання між вхідним і перетвореним сигналами. Відмінність полягає лише в тому, що після ранжирування і зворотного перетворення відбулося центрування і нормування по дисперсії вихідного сигналу. Остання обставина є наслідком того, що процес на виході нелінійного перетворювача рангів має однаковий розподіл і параметри, які закладені в характеристику перетворювача. Так, процес до ранжирування мав нормальний розподіл з математичним очікуванням $a \neq 0$ і дисперсією $\sigma^2 \neq 1$, а перетворення (16) відповідає нормальному закону зі стандартними параметрами $a = 0$, $\sigma^2 = 1$. При необхідності вихідні параметри a і σ^2 можна відновити, але звичайно зручніше працювати із сигналом, що має стандартні характеристики.

Аналізуючи приклади, можна зробити висновок, що крім подібності між процедурами ранжування і нелінійного перетворення, мають місце і відмінності.

Розподіл рангів інваріантний до виду вихідного розподілу лише за умови, якщо елементи рангованих вибірок статистично однорідні. У всіх випадках елементи вибірок приймаємо статистично незалежними, тобто їхній розподіл не залежить від номера елемента.

Характеристика нелінійного перетворення відповідає інтегральній функції розподілу завади, а ранжирування по алгоритму еквівалентно фактичному розподілу вибірки, що у залежності від ситуації може бути розподілом завади або суміші сигналу з завадою.

Ці відмінності накладають обмеження на область застосування рангових процедур у порівнянні з оптимальним інваріантним перетворенням. Насамперед необхідно, щоб при відсутності сигналу рангована вибірка була статистично однорідна. Це забезпечує стабілізацію рівня помилкових тривог при апріорі невідомого розподілу завади. Але не менш важливо, щоб поява сигналу дестабілізувала однорідність вибірки. У противному випадку в результаті ранжирування буде загублено відмінність між ситуаціями $\nu = 0$ і $\nu = 1$.

Таким чином, незважаючи на скорочення числа інформативних відліків, чутливість розподілу рангів при наявності сигналу не тільки не зменшилася, а навіть збільшилася, що є суттєвим принципом для організації процедури виявлення сигналу на основі рангів.

Нехай крім досліджуваних сигнальних відліків $X:\{x_1, ..., x_n\}$ є деякі додаткові відліки $Y:\{y_1, ..., y_n\}$, які відповідають «чистій» заваді. Тоді розподіл завади можна оцінити по цій додатковій вибірці (опорна або «завадова» вибірка). Відповідно замість алгоритму оцінки фактичного розподілу вибірки одержимо алгоритм оцінки розподілу завади

$$\hat{F}\left(x/\nu=0\right)=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{m}\operatorname{sgn}\left(x-y_k\right) .$$

Одержимо визначення рангів:

$$R_i=\sum_{k=1}^{m}\operatorname{sgn}\left(x_i-y_k\right). \tag{17}$$

Очевидно, що при такому визначенні рангів будь-яка зміна розподілу вибірки X у порівнянні з вибіркою Y приводить до відхилення розподілу рангів від рівномірного, навіть якщо всередині кожної вибірки елементи будуть статистично однорідні. У даному випадку ознакою наявності сигналу є відхилення від однорідності сумарної вибірки, що складається з вибірок X та Y. Алгоритм (17) – це алгоритм ранжирування по загальній опорній вибірці.

Часто використовують визначення рангу, котре представляє собою суму:

$$R_i=\sum_{i=1}^{n}\operatorname{sgn}\left(x_i-x_l\right)+\sum_{k=1}^{m}\operatorname{sgn}\left(x_i-y_k\right). \tag{18}$$

Це алгоритм ранжування складеної вибірки $\{x_1, ..., x_n, y_1, ..., y_m\}$. Основною перевагою (18) порівняно з алгоритмом (17) є збереження інформації про відповідність рівнів між сигнальними відліками, що має особливе значення при визначенні виміру параметрів сигналу.

При аналізі можна вважати, що масиви вибіркових значень X та Y одномірні, тобто їх можна описати відповідними векторами. На практиці структура цих масивів може бути набагато складнішою. Відповідно з'являється і більше варіантів для ранжування. Наприклад, якщо опорний масив двомірний, тобто утворює матрицю $\|y_{ik}\|\left(i=\overline{1,\ n};\ k=\overline{1,m}\right)$, то крім розглянутих варіантів з'являється можливість ранжирування кожного елемента досліджуваної вибірки по індивідуальній опорній вибірці:

$$R_i=\sum_{k=1}^{m}\operatorname{sgn}\left(x_i-y_k\right). \tag{19}$$

Висновки. Аналіз усіх специфічних особливостей: властивостей сигналів і завад, необхідність стабілізації помилкових тривог, забезпечення найкращої ефективності виявлення сигналу, можливості виміру параметрів сигналу, приводить до різних визначень рангу. Причому, розглянуті вище вирази (1)-(19) далеко не вичерпують усіх можливих варіантів.

Гнучкість процедури ранжування забезпечує можливість вирішення широкого кола задач виявлення сигналів в умовах непараметричної апріорної невизначеності. Унікальною особливістю рангів у порівнянні з непараметричними перетвореннями інших типів є також можливість практично повного відновлення вихідної інформації.

Тому можна зробити висновок: при вирішенні задачі мінімізації помилкових тривог за допомогою ранжирування досягається висока ефективність виявлення сигналу. Ранги за своєю суттю є дискретними величинами, що приймають до того ж цілочисельні значення. Тому для їх обчислення вимагаються найпростіші операції типу порівняння і підсумовування.

Список використаної літератури

1. Толубко В. Б. Методи оптимізації / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман. – Київ: ДУТ, 2016. – 442 с.

2. Соломенчук В. Д. Оптические транспортные сети / В. Д. Соломенчук, В. А. Мищенко, К. Н. Гура. – Киев: Центр последипломного образования ПАО «Укртелеком», 2014. – 294 с.

3. Стеклов В. К. Телекоммуникационные сети / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ: Техніка, 2000. – 392 с.

4. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – Москва: Мир, 1989. – 544 с.

5. Лихтциндер Б.Я. Интеллектуальные сети связи. / Б. Я. Лихтциндер, М. А. Кузякин, А. В. Росляков, С. М. Фомичев. – Москва: Эко-Трендз, 2000. – 205 с.

References

1. Tolubko V. B., Berkman L. N. "The methods of optimization." *Kyiv: DUT* (2016): 442.

2. Solomenchuk V. D., Mischenko V. A., Gura K.N. "Optical transport networks." *Kyiv: Ukrtelecom* (2014): 294.

3. Steklov V. K., Berkman L. N. "Telecommunication networks." *Kyiv: Tekhnika* (2000): 392.

4. Bertsekas D., Gallagher R. "Data transmission networks." *Moskva, Mir* (1989): 544.

5. Lichtzkinder B. Ya., Kuzyakin M. A., Roslyakov A. V., Fomichev S.M. "Intelligent Communication Networks". *Moskva: Eco-Trends* (2000): 205.

Автори статті

Ткаченко Ольга Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +380 (50) 647 57 77. E-mail : okar@ukr.net.

Author of the article

Tkachenko Olha Mykolaivna – candidate of science (technic), associate professor of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +380 (50) 647 57 77. E-mail : okar@ukr.net.

Дата надходження
в редакцію: 27.01.2018 р.

Рецензент:
доктор технічних наук, професор О. М. Власов
Державний університет телекомунікацій, Київ