

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ГЕРЦЕЛЯ - БЛЕЙХУТА ВИЗНАЧЕННЯ ТОНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ПРИ МОНІТОРИНГУ БЕЗПРОВОДОВИХ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Ільницький А.І., Захарчук Л.В., Цуканов О.Ф.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: lzakharchuk-its@lil.kpi.ua

MODIFIED GOERTZEL-BLAHUT METHOD OF DETERMINING TONE SIGNALS DURING MONITORING OF WIRELESS MOBILE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

The determination of the spectral components of signals is carried out using the Goertzel-Blahut method without using complex values, and to determine the tone frequency, only one real coefficient is calculated for one spectral component of the signal, as well as before performing a discrete Fourier transform with a fixed sample of input signal values

На сьогодні технічні засоби радіоперехоплення, моніторингу й радіопеленгації в мережах безпроводових систем мобільного радіозв'язку (МРЗ) реалізуються у вигляді програмно-апаратних комплексів (ПАК) різних модифікацій, які працюють в умовах часткової або повної невизначеності параметрів вхідних сигналів в реальному масштабі часу на тлі величезної кількості та різноманітності джерел радіовипромінювання (ДРВп) з найсучаснішими протоколами передачі даних. Тому найважливішими показниками ефективності ПАК при моніторингу безпроводових систем МРЗ слід вважати швидкодію, точність визначення та імовірність розпізнавання ДРВп рухомого радіозв'язку з їх інформаційним наповненням. Однак ці питання і дотепер залишаються проблематичними, що потребує подальшого розвитку ефективних методів та способів пошуку і виявлення тональних, мовних і спеціальних сигналів МРЗ у частотно-часових телекомунікаційних каналах та їх інформаційну обробку [1, 2].

Авторами доповіді проведено патентний пошук методів і способів (алгоритмів) виділення окремих спектральних складових сигналів ДРВп засобів МРЗ та обрано аналоги: непараметричний метод оцінювання власних значень MUSIC (Multiple Signal Classification); параметричний метод NDFET (Normalized Direct adaptive Frequency Technique) [3, 4]; метод (алгоритм) Герцеля-Блейхута [5, 6] - параметричний метод спектрального оцінювання, який визначено за прототип для подальших досліджень. Він заснований на використанні рекурсивного фільтра 2-го порядку з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ) та елементів дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Тут (рис. 1) масив з N вихідних відліків формується з масиву з N вхідних відліків з початком обчислення тільки після повного заповнення вхідного масиву даними. Вихідні значення $E_k(n)$ обчислюються з кожним надходженням вхідних $x(n)$. Але тільки при $n = N$ результат буде еквівалентний результату ДПФ. Тобто при $n \neq N$ потреби обчислювати значення вихідних відліків немає.

Отже, цей метод функціонально еквівалентний цифровому НІХ-фільтру 2-ого порядку, за винятком того, що кінцевий результат досягається тільки після надходження всіх N відліків. Тобто обчислення в колі прямого зв'язку проводяться при надходженні N -го вхідного відліку.

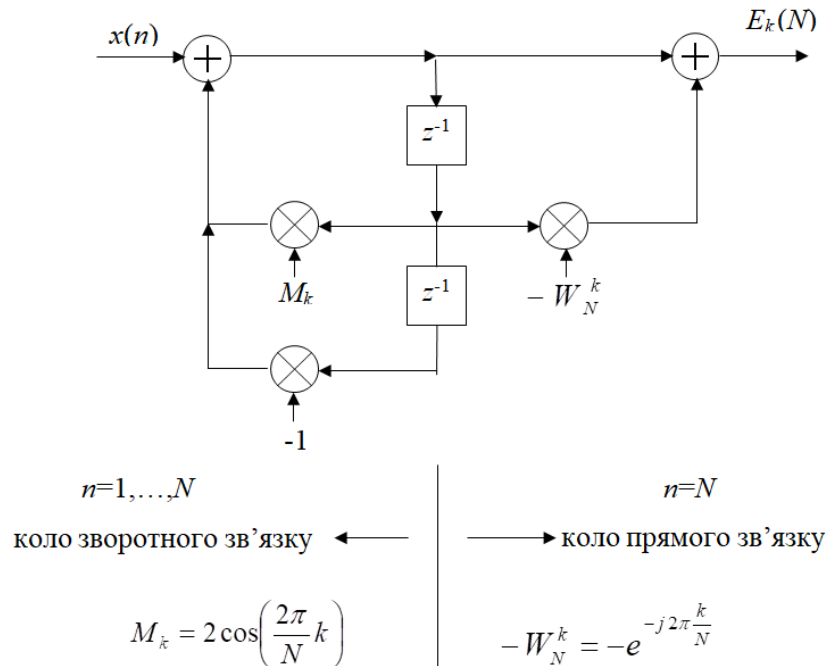


Рис. 1. Пояснення процесу розпізнавання тональних сигналів за методом Герцеля-Блейхута.

При цьому формується сумарний відлік, значення якого визначається за виразом:

$$E_k(N) = s_k(N) - W_N^k s_k(N-1), \quad (1)$$

де $W_N^k = \exp(-j2\pi k/N)$ - комплексний коефіцієнт передачі фільтра. (2)

Обчислення в колі зворотного зв'язку (рис. 1) здійснюється при надходженні кожного з n вхідних відліків ($n = 1, \dots, N$), та під час цієї фази у пам'яті зберігаються дві проміжні величини $s(n-1)$ і $s(n-2)$, які обчислюються при $s_k(0) = s_k(-1) = 0$ за такими формулами:

$$s_k(n) = M_k s_k(n-1) - s_k(n-2) + x(n), \quad (3)$$

де $M_k = 2\cos(2\pi k/N)$ - дійсний коефіцієнт передачі фільтра. (4)

У такий спосіб на цьому етапі із кожним надходженням вхідного відліку $x(n)$ з пам'яті зчитуються значення $s(n-1)$ і $s(n-2)$, на підставі яких обчислюється нове значення $s(n)$. Після цього зі збільшенням n відбувається відновлення значень проміжних величин $s(n-1)$ і $s(n-2)$.

У існуючому методі (алгоритмі) Герцеля-Блейхута, як і в ДПФ, всі математичні дії проводяться з комплексними величинами, що в полі перетворення Фур'є ускладнює процес обчислення і суттєво погіршує його швидкодію. Для усунення цієї незручності обчислення доцільно проводити з використанням дійсних значень цих величин, тобто треба обчислювати тільки величину квадрата амплітуди спектральної складової вхідних сигналів. При цьому, в процедурі обчислення буде відсутнє визначення фази тонального сигналу, що є необов'язковою умовою при визначенні значення його частоти.

Тобто, для визначення тональної частоти необхідно обчислювати тільки один дійсний коефіцієнт для однієї спектральної складової сигналу, а також перед виконанням N -точкового ДПФ необхідно мати буфер з N відліками значень вхідного сигналу.

Описана вище модифікація вносить зміни тільки в коло прямого зв'язку (див. рис. 1), й після простих математичних перетворень формули (1) отримуємо, що квадрат амплітуди k -ої спектральної складової сигналу обчислюється за таким простим алгебраїчним виразом:

$$E_k(N-1)^2 = s_k[N-1]^2 + s_k[N-2]^2 - M_k * s_k[N-1] * s_k[N-2], \quad (4)$$

де N – значення довжини вибірки відліків вхідного сигналу;

$s_k(n) = M_k s_k(n-1) - s_k(n-2) + x(n)$ – проміжна величина в колі зворотного зв'язку, що визначається для кожного з $n=0,1,\dots, N-1$ вхідних відліків.

Отже, для обчислення сумарного відліку спектральної складової однотонального сигналу необхідно мати тільки один дійсний коефіцієнт $M_k = 2\cos(2\pi k/N)$, а для визначення факту наявності тієї або іншої спектральної складової треба оперувати квадратом її амплітуди. Тобто використання модифікованого методу Герцеля-Блейхута вимагає наявності масиву на два значення, де N разів накопичуються проміжні величини при надходженні N вхідних відліків. Після накопичення обчислюється квадрат амплітуди спектральної складової сигналу, проміжний масив обнулюється й процес повторюється. При цьому частота появи вихідних відліків – один на N вхідних.

В презентації доповіді наведені результати імітаційного моделювання, що свідчать про працездатність та ефективність модифікаційного методу визначення тональних сигналів при моніторингу безпроводових систем МРЗ.

Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи.–Київ: Наукова думка, 2017 – 730 с.
2. Ільницький А.І., Захарчук Л.В. Проблемні питання радіомоніторингу джерел і об'єктів телекомунікаційних мереж і систем та загальнонауковий концептуальний підхід до їх розв'язання / III Міжнародна науково-технічна конференція «Системи і технології зв'язку, інформації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку» 30 листопада 2023 р. Військовий інститут телекомунікацій та інформації імені Героїв Крут. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції.- Київ, 2023 – С.167 (ISBN 978-617-7689-05-7).
3. G. Arslan, B. Evans, F.A Sakarya and J. Pino, "Performance evaluation and real-time implementation of subspace, adaptive and DFT algorithms for multi-tone detection", in Proc. IEEE Int. Conf. Telecommunications, (Istanbul, Turkey), pp. 884–887, Apr. 1996.
4. S.Bagchi, S.K.Mitra, An efficient algorithm for DTMF decoding using the subband NDFT, Proc. of IEEE Symposium on Circuits and Systems, Seattle, WA, USA, 28 April-3 May, 1995, vol. 3, pp.1936–1939.
5. Gerald Goertzel. An Algorithm for the Evaluation of Finite Trigonometric Series. The American Mathematical Monthly. Vol.65, №1, pp 34 – 35.
6. Blahut R.E. Fast Algorithms for Signal Processing. Cambridge. UK: Cambridge University Press, 2010, 453 p.