

УДК 621.372

Ігнатів В.О., д.т.н.,
Ладигіна О.А.

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРУ ПЕРІОДИЧНОГО ТРАФІКУ

Національний авіаційний університет

igvlali@ukr.net
sp_baby_2012@mail.ru

Розроблено алгоритм і методику визначення структури та оптимізації оцінок параметрів періодичного трафіку та розв'язана задача верифікації оптимальних моделей структури і параметрів багатокомпонентного періодичного трафіку на фоні завади. Поставлений експеримент з оптимального оцінювання періодичного трафіку за допомогою перших трьох гармонік

Ключові слова: нестационарний трафік; виявлення періодичності трафіку; спектр трафіку; оцінювання трафіку; верифікація трафіку; оптимізація трафіку

Вступ

Проблема виявлення скритої шумом періодичності трафіку в телекомунікаційних і комп'ютерних мережах є актуальною, вона розв'язується в контексті побудови системи моніторингу та оптимізації обслуговування трафіку [1, 2]. Розвиток нових технологій в галузях комп'ютерної техніки, тенденція ускладнення структури трафіку, збільшення кількості джерел електромагнітного випромінювання вимагають розробки нових методів оптимального обслуговування і маршрутизації трафіку за вибраними критеріями оптимальності та вдосконалення систем моніторингу, однією з функцій яких є виявлення періодичності трафіку на фоні завади [3-4].

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка способу визначення структури і параметрів багатокомпонентного спектру трафіку в телекомунікаційних і комп'ютерних мережах на фоні завади та його верифікація.

Для досягнення мети ставляться і розв'язуються наступні задачі:

- обґрунтування початкових даних задачі визначення структури і параметрів викривленої завадою періодичного трафіку, вибору критерію оптимальності;

- розробка математичних моделей випадкового періодичного трафіку та завади;

- складання та розв'язання рівнянь оптимізації і отримання оптимальних оцінок параметрів періодичного трафіку;

- визначення погрешностей оптимального оцінювання параметрів періодичного трафіку;

- розроблення алгоритму і методики визначення структури та оптимізації оцінок параметрів періодичного трафіку в телекомунікаційних і комп'ютерних мережах.

Постановка задачі дослідження

Розроблена у роботі [5] методика оптимального оцінювання параметрів першої гармоніки трафіку ускладнюється і використовується для верифікації структури і параметрів багатокомпонентного спектру трафіку на фоні завади. Таким чином, задача спектрального аналізу періодичного сигналу узагальнюється на випадок дії завади при різних значеннях сигнал/шум.

Задача в загальній постановці:

1. Відомо:

- гіпотеза про те, що існує певна періодичність трафіку.

- гіпотеза про те, що трафік має складну багатокомпонентну структуру.

- завада є адитивною і має спектр, набагато ширший ніж спектр сигналу.

- результат спостереження однієї реалізації зашумленого трафіку, довжиною більше одного періоду, що включає два і більше сусідніх максимуму або мінімуму.

2. Для розв'язання задачі застосовується метод максимальної правдоподібності у вигляді методу найменших квадратів.

3. Очікувані результати розв'язання задачі:

$$X(t) = \sum_{k=1}^n [A_k \cdot (\cos(\omega_k \cdot t) \cdot \cos(\phi_k) - \sin(\omega_k \cdot t) \cdot \sin(\phi_k))] \quad (1)$$

де k – поточний номер гармоніки, A_k – амплітуда k -ої гармоніки, ω_k – кругова частота k -ої гармоніки, $\omega_k = k \omega_1$, ω_1 – кругова частота першої гармоніки,

- визначення періоду трафіку;

- визначення структури періодичного трафіку, числа суттєвих гармонік;

- оптимальні оцінки усіх параметрів гармонік: амплітуд, частот і фаз;

- погрішності оптимального оцінювання параметрів періодичного трафіку;

- типові алгоритм і методика оптимального оцінювання періодичного трафіку на фоні завад.

Математична модель істинного сигналу [5] ускладнюється і приймає вигляд:

$$Y(t) = \sum_{k=1}^n [B_k \cdot (\cos(\omega_k \cdot t) \cdot \cos(\phi_k) - \sin(\omega_k \cdot t) \cdot \sin(\phi_k))] \quad (2)$$

де $B_k = \frac{A_k}{\sqrt{h_k}}$ (3)

відношення сигнал/шум по кожній гармоніці, яке використовується для розрахунку амплітуд гармонік завади.

Математична модель трафіку, що спостерігається:

ϕ_k – початкова фаза k -ої гармоніки, n – число гармонік.

Аналогічно ускладнюється і математична модель завади:

На рис. 1 показано реалізацію періодичного трафіку $Z(t)$, викривленою завадою, при відношенні сигнал/шум $h_k = 81$. Тонкою лінією показане істинне значення $X(t)$.

$$Z(t) = X(t) + Y(t) \quad (4)$$

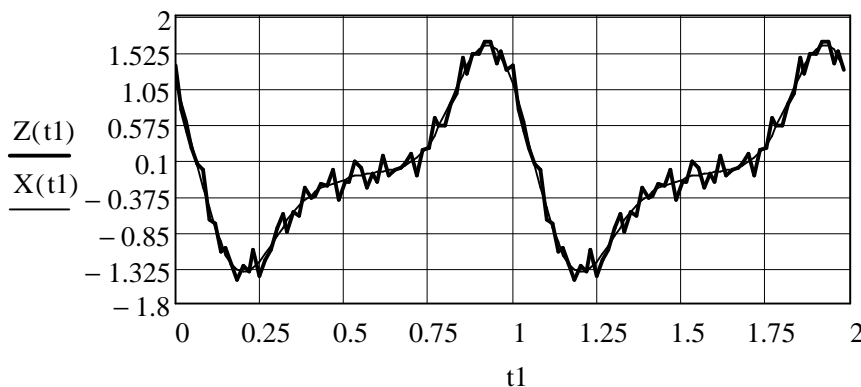


Рис. 1. Реалізація зашумленого трафіку при $h_k = 81$

Головний зміст задачі оптимального оцінювання періодичного трафіку полягає в тому, щоб по реалізації $Z(t)$ найкращим чином з певної точки зору оцінити $X(t)$ і показати, які погрішності має отримана при цьому оцінка $X_0(t)$. Вибір критерію

оптимальності оцінки є формалізацією цієї «певної точки зору».

Основна частина

Критерій оптимальності оцінок параметрів періодичного трафіку має вигляд:

$$S0(A_k, w_k, f_k) = \sum_t \sum_{k=1}^n (Z(t) - X(A_k, w_k, f_k, t))^2 \quad (5)$$

Критерій включає 3n параметрів (амплітуди, частоти, фази) гармонік, оптимальний вибір яких дозволяє мінімізувати відстань між Z(t) та X₀(t) у просторі Евкліда, тобто найкращим чином апроксимувати Z(t) оптимальною оцінкою X₀(t). Якщо по якомусь параметру гармоніки критерій (5) є постійним (тобто не змінюється), це є ознакою відсутності цієї гармоніки в структурі трафіку.

Для оптимального визначення структури і параметрів викривленого завадою періодичного трафіку розроблена в роботі [5] ітераційна процедура узагальнюється на випадок, коли структура періодичного трафіку включає n > 1 гармонік.

Ітераційна процедура оптимального оцінювання параметрів періодичного трафіку в кожному циклі оцінювання параметрів гармоніки з певним номером першою включає логічну операцію перевірки існування цієї гармоніки в структурі трафіку.

Для підвищення точності і прискорення ітераційного процесу пошуку оптимальних рішень нелінійних рівнянь розроблено рекурсивний спосіб, головна ідея якого полягає в тому, що оптимальні значення керованої змінної в ітераційній процедурі і звуження інтервалів оптимального оцінювання в наступній ітерації виконують в залежності від отриманих на попередній ітерації оптимальних значень керованої змінної, а також довжини і знаку нев'язки.

На кожному кроці ітераційної процедури спосіб включає дві основні арифметичні та логічні операції.

До арифметичних операцій відносяться операція визначення обох границь

інтервалу оптимального оцінювання та операція визначення відповідних цим границям нев'язок.

До логічних операцій відносяться операція контролю числа розрядів в границях інтервалів оптимального оцінювання та операція контролю знаків і значень нев'язок.

Алгоритм розробленого рекурсивного способу:

1. Вибір початкового інтервалу [x10(q), x20(q)] оптимального оцінювання по графіку залежності нев'язки від керованої змінної так, щоб значення x10(q), x20(q) знаходилися приблизно на однаковій відстані зліва і справа від точки перетину нев'язкою нульового рівня і мали q розрядів після крапки (звичайно q₀ = 3).

2. Визначення за формулами типу (6), (7) довжин нев'язки Δ1{x10(q),g}, Δ2{x20(q),g}, на границях інтервалу оптимального оцінювання [x10(q), x20(q)] з точністю до g₀ ≥ q₀ розрядів після крапки.

3. Перевірка виконання умов «переходу значення нев'язки через нуль» в інтервалі оптимального оцінювання:

$$\begin{aligned} \Delta 1\{x10(q),g\} &< 0, \\ \Delta 2\{x20(q),g\} &> 0 \end{aligned} \quad (6)$$

4. Визначення поправки для границь наступного звуженого інтервалу оптимального оцінювання:

$$\frac{\Delta 2\{x20(q),g\}}{\Delta 2\{x20(q),g\} - \Delta 1\{x10(q),g\}} \cdot 10^{-(q+1)} \quad (7)$$

5. Визначення верхньої границі наступного звуженого інтервалу оптимального оцінювання:

$$x21(q+g) = x20(q) - \frac{\Delta 2\{x20(q),g\}}{\Delta 2\{x20(q),g\} - \Delta 1\{x10(q),g\}} 10^{-(q+1)} \quad (8)$$

6. Перевірка виконання умови для верхньої границі інтервалу оптимального оцінювання.

7. Визначення нижньої границі наступного звуженого інтервалу оптимального оцінювання:

$$x_{11}(q+g) = x_{21}[q+g, -(-1)] \quad (9)$$

де символ (-1) позначає зменшення числа $x_{11}(q+g)$ в останньому, $(q+g)$ -му розряді на -1 .

8. Перевірка умови для нижньої границі інтервалу оптимального оцінювання.

На цьому цикл визначення «границь інтервалу – нев'язок – поправки – нових звужених границь» закінчується і якщо не виконується умова забезпечення заданої точності оптимального оцінювання

$$q_1 = (q_0 + g_0) > Q^* \quad (10)$$

де Q^* - наперед задане число вірних розрядів в значеннях границь (8), (9) інтервалу оптимального оцінювання, яким задається потрібна точність оптимального оцінювання керованої змінної, тоді з п.2 виконується наступна ітерація.

Після п.2 і п.5 може виконуватися також перевірка умов досягнення заданої точності по довжині інтервалу оптимального оцінювання або по значенню нев'язки.

Ітераційний процес зупиняється у двох випадках: у випадку досягнення наперед заданого вірного числа розрядів в границях інтервалу або у випадку досягнення наперед заданого значення довжини нев'язки.

Поправка (8), що має число вірних розрядів g , забезпечує додавання в наступне більш точне значення границі інтервалу оптимальної оцінки додатково g вірних розрядів. Поправка вноситься в q розряд наступного значення, що відображає множник $10^{-(q+1)}$. Вона задається пропорційною до сумарного відхилення нев'язки від нуля.

Для складання системи $3n$ рівнянь оптимізації оцінок параметрів спектру трафіку застосовується стандартний метод пошуку таких значень керованих змінних, які доставляють мінімум критерію (5):

$$\left[\sum_{t=0}^{T_0} [(Z(t) - X(A_k, w_k, f_k, t)) \cdot (\cos(w_k \cdot t) \cdot \cos(f_k) - \sin(w_k \cdot t) \cdot \sin(f_k))] \right] = 0 \quad (11)$$

$$\left[\sum_{t=0}^{T_0} [(Z(t) - X(A_k, w_k, f_k, t)) \cdot (\sin(w_k \cdot t) \cdot \cos(f_k) - \cos(w_k \cdot t) \cdot \sin(f_k)) \cdot t] \right] = 0 \quad (12)$$

$$\left[\sum_{t=0}^{T_0} [(Z(t) - X(A_k, w_k, f_k, t)) \cdot (\cos(w_k \cdot t) \cdot \sin(f_k) - \sin(w_k \cdot t) \cdot \cos(f_k))] \right] = 0 \quad (13)$$

Перше рівняння системи (11) дозволяє визначити оптимальні оцінки амплі-

туд гармонік у явному виді за допомогою формули:

$$A_{kopt} = \frac{\sum [Z(t) \cdot (\cos(w_k \cdot t) \cdot \cos(f_k) - \sin(w_k \cdot t) \cdot \sin(f_k))]}{\sum [(\cos(w_k \cdot t) \cdot \cos(f_k) - \sin(w_k \cdot t) \cdot \sin(f_k))^2]} \quad (14)$$

Два інші рівняння дозволяють отримати числові значення оптимальних оцінок частот і фаз гармонік за допомогою розробленого в роботі [5] графоаналітичного ітераційного методу (ГАІМу).

Абсолютна погрішність оптимального оцінювання періодичного трафіку:

$$\Delta X(t_1) = X_{1230}(t_1) - X(t_1) \quad (15)$$

Відносна погрішність оптимального оцінювання періодичного трафіку:

$$\delta X(t_1) = \frac{X_{1230}(t_1) - X(t_1)}{X(t_1)} \quad (16)$$

В прикладі 1 розглядається типовий експеримент з оптимального оцінювання періодичного трафіку за допомогою перших трьох гармонік.

Приклад 1. Початкові дані експерименту:

$A_1=3/3, A_2=2/3, A_3=1/6, A_4=0.$
 $\omega_1=2\pi, \omega_2=2 \cdot 2\pi, \omega_3=3 \cdot 2\pi, \omega_4=4 \cdot 2\pi.$
 $\phi_1=\pi/3, \phi_2=\pi/4, \phi_3=\pi/5, \phi_4=\pi/6.$
 $\phi_1=1.047198, \phi_2=0.785398, \phi_3=0.628319$
 $\phi_4=0.523599.$

Відношення сигнал/шум $h_k=81$, номінований період трафіку $T_0=1$.

Параметри завади:

$B_1=0.111111, B_2=0.074074, B_3=0.018519$
 $B_4=0.000000.$
 $\omega_1=81.681409, \omega_2=213.6283,$

$\omega_3=433.539786, \omega_4=728.849496.$

$\psi_1=0.261799, \psi_2=0.523599,$
 $\psi_3=1.047198, \psi_4=0.785398.$

В результаті експерименту отримані такі оптимальні оцінки параметрів гармонік:

$A_{10_{opt}}=1.081444, A_{20_{opt}}=0.769121,$
 $A_{30_{opt}}=0.178109.$

$\phi_{1_{opt}}=0.974493, \phi_{2_{opt}}=0.635332,$
 $\phi_{3_{opt}}=0.62831743.$

На рис. 2 представлені реалізації зашумленого трафіку $Z(t_1)$, що спостерігається, істинне значення сигналу $X_{123}(t_1)$ і його оптимальна оцінка $X_{1230}(t_1)$.

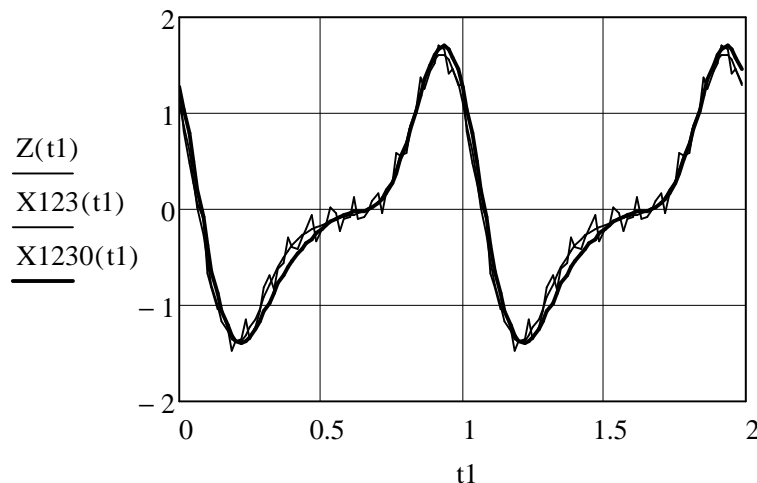


Рис. 2. Реалізація зашумленого трафіку $Z(t_1)$, що спостерігається, істинне значення трафіку $X_{123}(t_1)$ та його оптимальна оцінка $X_{1230}(t_1)$

Аналіз графіків дозволяє зробити висновок, що оптимальна оцінка трафіку за допомогою трьох гармонік по викривленій завадою реалізації при $h=81$ досить точно відображає поведінку періодичного трафіку.

Висновки

Поставлені та розв'язані задачі обґрунтування початкових даних, визначення структури і параметрів викривленого завадою періодичного трафіку в телекомунікаційних і комп'ютерних мережах. Показано, як ускладнюється і який вигляд приймає узагальнена постановка задачі.

Розроблені математичні моделі випадкового періодичного трафіку та завади. Вибрано критерій оптимальності оцінок параметрів та складено рівняння оптимізації параметрів періодичного трафіку.

Розроблено алгоритм і методику визначення структури та оптимізації оцінок параметрів періодичного трафіку та розв'язана задача верифікації оптимальних моделей структури і параметрів багатокомпонентного періодичного трафіку на фоні завади.

В системі Mathcad розроблено програму експерименту, результати якої були викладені в прикладі, що ілюструє особливості оптимального оцінювання

параметрів періодичного трафіку. Ця програма дозволяє виконати значний обсяг експериментів по дослідженню структур і параметрів періодичних процесів, які спостерігаються на фоні різноманітних завад.

Сучасні методи і засоби обробки сигналів дозволяють з необхідною для інженерних розрахунків точністю оптимально оцінювати усі три параметри гармоніки періодичного трафіку.

Відносні погрішності оптимального оцінювання складають 5 – 10 % в реальних умовах роботи сніферів та інших систем моніторингу трафіку

Список літератури

1. Рекурсивний метод оптимальної екстраполяції випадкових нестационарних сигналів на тлі завад / О.В. Андреев, В.О. Ігнатов, І.А. Жуков, В.І. Андреев. – К.:НАУ, Проблеми інформатизації та управління. Збірник наукових праць. Вип. 3(35), 2011. – С.13-20.

2. Афгентьев Р. М. Аналіз методів формування вимірювальних сигналів з нормованим коефіцієнтом гармонік //Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – №. 2. – С. 92-94.

3. Федула М. В. Виявлення періодичних сигналів із застосуванням

обробки фазового портрету хаотичної системи у перерізі Пуанкаре //Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – №. 5. – С. 140-144.

4. Андреев О. В., Андреев В. І., Ігнатов В. О. Експериментальне дослідження впливу варіації параметрів характеристик трафіку локальних комп'ютерних мереж на точність //Проблеми інформатизації та управління. – 2014. – Т. 1. – №. 45. – С. 22-30.

5. Ладигіна О.А. Спосіб виявлення скритої шумом періодичності трафіку//Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. Вип. 2(50) - К.: НАУ, 2015. – С. 86-90.

Статтю подано до редакції 07.09.2015