

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 629.783

О.В. Андреев, доц.

І.В. Пулеко, к.т.н., ст. викл.

П.П. Топольницький, к.т.н.

*Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова***АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІНОМІАЛЬНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ**

Аналізується можливість підвищення вірогідності телеметричних даних на етапі обробки телеметричних вимірів. Робляться висновки щодо застосування поліномів для оцінки телеметричних параметрів з різною динамікою поведінки.

При виконанні цільових задач космічним апаратом на етапі експлуатації космічної системи важливе місце посідають засоби радіотелеметричного контролю, які безпосередньо здійснюють збір, зберігання, передачу та обробку телеметричної інформації. Ця інформація представляє собою єдине джерело даних про технічний стан бортових систем космічного апарата. Тому висока вірогідність телеметричних даних є однією з вимог, що висуваються до радіотелеметричних комплексів. У процесі передачі телеметричних вимірів здійснюються різноманітні перетворення та обробка як сигналів, так і даних, що були отримані у результаті телеметричних вимірів. Одним з важливих етапів обробки телеметричних вимірів є підвищення вірогідності телеметричних даних шляхом згладжування вимірів та відкидання тих вимірів, що містять аномальні похибки. Аналіз можливостей застосування існуючих методів відбракування аномальних вимірів для підвищення вірогідності телеметричних даних був проведений у [1]. При виборі методу згладжування треба прагнути до того, щоб отримана оцінка була близькою до дійсного значення телеметричного параметра. Відомо, що повна похибка згладжування складається з динамічної та випадкової похибок. Динамічна похибка фактично є похибкою зміщення, яка виникає завдяки впливу оператора згладжування на дійсне значення параметра, а випадкова – це є результат неповного усунення оператором згладжування похибок вимірів. При згладжуванні телеметричних вимірів досить складно отримати одночасно мінімум двох похибок, тому в розгляд вводять ряд часткових критеріїв якості згладжування. Найбільшого поширення набув критерій мінімуму квадрата випадкової похибки, бо він дозволяє будувати оцінки невідомих параметрів за методом найменших квадратів [2].

При поліноміальному згладжуванні телеметричних вимірів як функція, що згладжує, можуть бути використані як алгебраїчні багаточлени, так і система ортогональних базисних функцій, серед яких частіше за інших застосовують поліноми Чебишева. Визначимо можливість застосування поліноміального згладжування для підвищення вірогідності телеметричних даних.

Нехай отримані результати телеметричних вимірів $y(t_i)$ в моменти часу t_i :

$$y(t_i) = x(t_i) + \xi(t_i), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де $x(t_i)$ – дійсне значення телеметричного параметра;

$\xi(t_i)$ – випадкова величина, що має нормальний закон розподілення з нульовим математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням (СКВ) σ .

Покладемо, що на інтервалі вимірів функціональна залежність $\Psi(t_i)$ може бути апроксимована багаточленом ступеня m . Якщо для згладжування результатів дискретних вимірів $y(t_i)$ використовувати лінійну комбінацію ортогональних поліномів Чебишева $\varphi_0(t_i), \varphi_1(t_i), \dots, \varphi_m(t_i)$, то функція, що апроксимує виміри, буде мати наступний вигляд [3]:

$$\hat{\Psi}(t) = \sum_{r=0}^m \hat{a}_r \varphi_r(t).$$

Вираз для знаходження невідомих коефіцієнтів a_0, a_1, \dots, a_m полінома $\Psi(t_i)$ отримується з застосуванням методу найменших квадратів і має наступний вигляд [3]:

$$a_r = \frac{\sum_{i=1}^n y(t_i) \varphi_r(t_i)}{\sum_{i=1}^n \varphi_r^2(t_i)}, \quad r = 0, 1, 2, \dots, m.$$

Достатньо велика кількість телеметричних процесів не дозволяє мати єдиний математичний опис телеметричного параметра $x(t_i)$. Наприклад, функціональні параметри є випадковими функціями часу, що представляються у цифровому вигляді і приймають безперервну або дискретну множину значень. Найбільш простою моделлю випадкового процесу, що дозволяє відтворювати телеметричні параметри з різними динамічними властивостями, є гармонійний сигнал з випадковою початковою фазою θ [4]. Крім того, випадкові квазістаціонарні параметри на практиці можуть бути подані відрізками випадкових гармонійних сигналів [4], тому для оцінки можливості підвищення вірогідності телеметричних даних через використання поліноміального згладжування будемо використовувати математичну модель гармонійної зміни телеметричного параметра:

$$x(t_i) = X_0 + X_m \sin\left(\frac{2\pi t_i}{T} + \theta\right),$$

де T – період зміни параметра;

X_m – амплітуда параметра;

X_0 – постійна складова.

За характером зміни у часі всі телеметричні параметри поділяються на швидкозмінні та ті, що повільно змінюються. Якщо за критерій динамічності прийняти максимальну швидкість зміни параметра V_{\max} за період опитування датчика Δt , то до параметрів, що швидко змінюються, будуть віднесені ті, що відповідають умові:

$$V_{\max} \geq \frac{3\sigma}{2\Delta t}.$$

У свою чергу, телеметричні параметри, що повільно змінюються, можуть бути поділені на статичні та динамічні [2]. Статичні параметри практично не змінюються за сеанс зв'язку T_c , тобто

$$V_{\max} \leq \frac{3\sigma}{T_c},$$

а для динамічних телеметричних параметрів:

$$\frac{3\sigma}{T_c} < V_{\max} < \frac{3\sigma}{2\Delta t}.$$

Аналіз можливості підвищення вірогідності телеметричних даних завдяки застосуванню поліноміального згладжування будемо проводити для прийнятої моделі телеметричних вимірів за умови, що тривалість сеансу зв'язку дорівнює ста періодам опитування датчика, а амплітуда X_m та постійна складова X_0 – 25 умовним одиницям, що забезпечить можливість моделювання телеметричних параметрів за динамікою поведіння та діапазоном зміни схожими на ряд функціональних телеметричних параметрів системи енергоживлення космічного апарата “Січ-1”. При цьому відносна похибка вимірів функціональних телеметричних параметрів складає 1 % [5].

Для якісної оцінки ефективності застосування поліноміального згладжування телеметричних вимірів будемо використовувати коефіцієнт фільтрації, що показує на скільки СКВ похибки згладжування σ_{Δ} менше, ніж СКВ похибки вимірів:

$$\Phi = \sigma / \sigma_{\Delta}.$$

За однією реалізацією кінцевої тривалості досить складно одержати необхідну точність оцінки СКВ похибки згладжування, яка в силу випадковості вибірки також є випадковою величиною. Тому підвищення вірогідності оцінок показників якості згладжування за результатами моделювання досягалося шляхом їхнього розрахунку по ста випадкових шумових реалізаціях, що забезпечило одержання оцінки математичного очікування СКВ похибки згладжування з відносною похибкою не гірше 0,2 для довірчої імовірності 0,95 [6]. При цьому

у всіх випадках абсолютна похибка оцінки коефіцієнта фільтрації не перевищувала 0,01. Залежності значення коефіцієнта фільтрації від ступеня полінома m , для процесів з різною динамічністю, наведені на рис. 1, 2, 3. Аналіз графіків $\Phi = f(m)$ дозволяє зробити висновки про те, що поліноміальне згладжування по усій вибірці отриманих вимірів дозволяє підвищити точність оцінок статичних телеметричних параметрів. При цьому найбільше значення коефіцієнта фільтрації досягається для полінома першого ступеня. Згладжування вимірів динамічних параметрів поліномами низьких ступенів практично неможливо. Збільшення коефіцієнта фільтрації спостерігається лише при згладжуванні вимірів динамічного параметра поліномами вище п'ятого ступеня. Для телеметричних параметрів, що швидко змінюються, коефіцієнт фільтрації для всіх ступенів полінома не досягає одиниці, що свідчить про значне перевищення СКВ похибок згладжування над СКВ похибок вимірів.

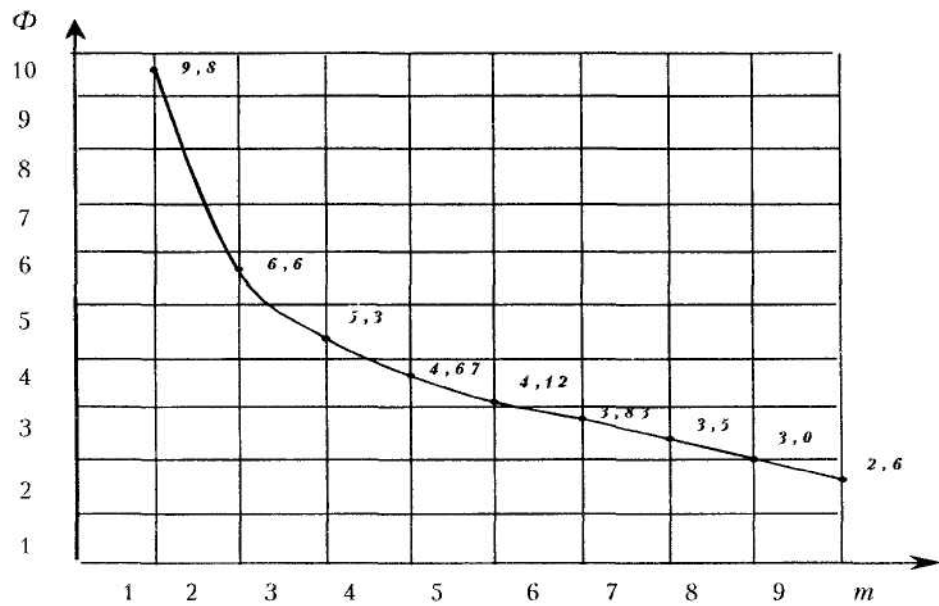


Рис. 1. Залежність $\Phi = f(m)$ для статичного параметра

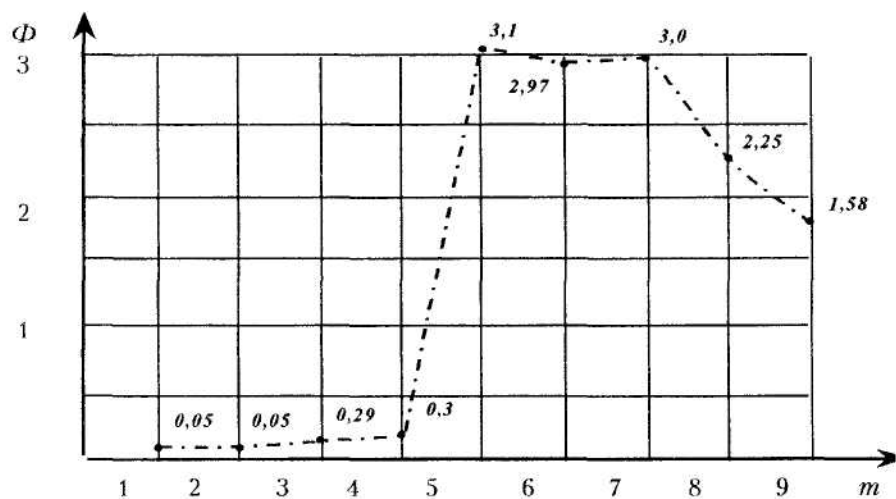


Рис. 2. Залежність $\Phi = f(m)$ для динамічного параметра

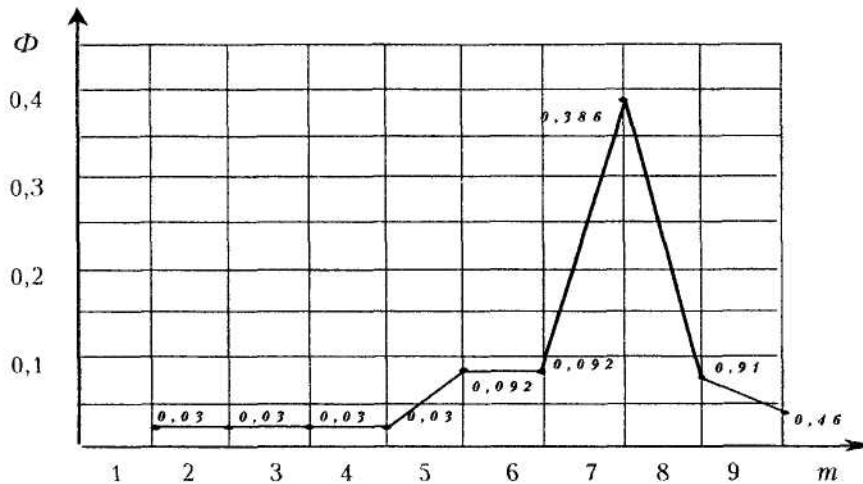


Рис. 3. Залежність $\Phi = f(t)$ для параметра, що швидко змінюється

Таким чином, поліноміальне згладжування дозволяє підвищити точність оцінок телеметричних параметрів, що повільно змінюються завдяки зменшенню випадкової похибки вимірів. Тому для оцінки значень цих телеметричних параметрів доцільне застосування поліноміального згладжування по усій вибірці вимірів поліномами різних ступенів. Точність оцінок телеметричних параметрів істотно залежить від ступеня полінома, що згладжує. Вибір ступеня полінома, у свою чергу, залежить від динамічних властивостей телеметричного параметра. У той же час, застосування поліноміального згладжування по усій вибірці вимірів не дозволяє підвищити точність оцінок телеметричних параметрів, що швидко змінюються. Тому для згладжування вимірів телеметричних параметрів, що швидко змінюються, треба застосовувати інші методи оцінювання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Топольницький П.П., Андреев О.В., Рихальський О.Р. Аналіз можливостей застосування статистичних методів відбракування аномальних вимірів для підвищення вірогідності телеметричних даних // Системи обробки інформації. – 2002. – Вип. 2(18). – С. 114–119.
2. Степкин В.С., Шмыголь С.С. Автоматизированная обработка и анализ телеметрической информации. – М.: МО СССР, 1980. – 516 с.
3. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки. – М.: Радио и связь, 1983. – 304 с.
4. Мановцев А.П. Основы теории радиотелеметрии. – М.: Энергия, 1973. – 592 с.
5. Результаты эксплуатации космического аппарата «Січ-1». Технический отчет. – Днепропетровск: КБЮ, 1998. – 58 с.
6. Жовинский А.Н., Жовинский В.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов. – М.: Энергия, 1979. – 112 с.

АНДРЕЄВ Олександр Володимирович – доцент кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– обробка інформації в інформаційно-вимірювальних системах.

ПУЛЕКО Ігор Васильович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– обробка інформації в інформаційно-вимірювальних системах.

ТОПОЛЬНИЦЬКИЙ Павло Петрович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– обробка інформації в інформаційно-вимірювальних системах.