

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, О.В. Шефер

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ НЕКОНТРОЛЬОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Проведений аналіз функціонування системи ідентифікації наземних рухомих об'єктів (РО) та космічних апаратів (КА), яке, залежить від можливості прийому радіосигналів неконтрольованих випромінювань (НКВ) КА і алгоритмів обробки цих сигналів. Прийом сигналів малої потужності (порядку 10^{-8} Вт), якими є сигнали НКВ, залежить від технічних характеристик використовуваних радіотехнічних станцій (РТС) і особливої складності при певних умовах не представляють. Визначено, що питання обробки таких сигналів, наприклад підвищення достовірності і оперативності цієї обробки в достатній мірі не вивчені. Це обумовлено тим, що процеси нестабільності задавальних генераторів бортових радіотехнічних станцій (ЗГБРТС), що служать для ідентифікації КА, визначають необхідність вибору оптимального алгоритму обробки інформації про ці процеси з оцінкою параметрів обраної моделі на тлі адитивного шуму вимірювань.

Ключові слова: ідентифікація, компонент процесу ідентифікації, адитивний шум вимірювань, дискретні алгоритми, фазова обробка сигналів, авторегресійна модель, космічний апарат (КА).

Вступ

Особливий інтерес при визначенні вибору оптимального алгоритму обробки інформації представляє спільне дослідження повільно змінних $m(t)$ і швидкозмінних $n(t)$ компонентів процесу ідентифікації $g(t)$. Відомі алгоритми обробки сигналів [1, 2] враховують заважаючий вплив в РТС, як правило, гауссівського характеру. Існуючі прийоми і методи обробки в умовах негауссових перешкод призводять до суттєвого ускладнення алгоритмів необхідних обчислень, що значно позначається на швидкодії і якості ідентифікації НКВ. В даний час велике поширення набула фазова обробка сигналів, здійснювана на основі аналізу точок перетину прийнятих сигналом нульового рівня [3]. Однак ступінь впливу виборчих ланцюгів РТС на розподіл точок перетину нульового рівня не досліджені. Крім цього існує певна трудність побудови алгоритму обробки складових сигналів, якими є сигнали НКВ. Тому, застосування засобів обчислювальної техніки для обробки таких сигналів робить також актуальною розробку принципів побудови дискретних алгоритмів, що дозволяють при допустимих втратах у порівнянні з оптимальною обробкою, побудувати більш прості алгоритми обробки сигналів НКВ.

У цій статті також розглянуті принципи обробки сигналів НКВ, що дозволяють виконати "нормалізацію" заважаючих впливів, здійснювати функціональне перетворення в аналого-цифрових алгоритмах і виконувати фазову обробку сигналів на виході частотно-виборчих ланцюгів на основі точок перетину нульового рівня.

Мета статті: вивчення загальних закономірностей впливу факторів негауссових перешкод на

обробку сигналів НКВ та розробка алгоритмів ідентифікації – оцінювання процесів нестабільності частоти задаючих генераторів КА.

Основна частина

Основні особливості процесів нестабільності частоти задавальних генераторів визначають вимоги до алгоритмів оцінювання параметрів моделей нестабільності. Основною відмінністю доданка $g(t)$ процесу є його вельми повільне зміна на інтервалі спостереження. Тому доцільно вважати його постійним на цьому інтервалі і не розглядати в аналізі моделей нестабільності.

Складова $m(t)$ – локально стаціонарний процес з досить великим часом кореляції. Як зазначалося раніше, для визначення його характеристик доцільно використовувати методи найменших квадратів [4] або динамічної фільтрації [5]. З метою зменшення обчислювальних витрат і підвищення оперативності представляється необхідним використовувати їх рекурентні модифікації з залученням в обробку порівняно невеликої частини накопиченої інформації.

Компонента процесу $n(t)$ описує швидкі флуктуації змін фази в часі, найбільш інформативні в плані виявлення особливостей задаючих генераторів. Більш висока інформативність $n(t)$ порівняно з $m(t)$ обумовлена наявністю в компоненті $m(t)$ відповідних невідомого доплерівського зсуву частоти. Наявність доплерівського зсуву часто призводить до неможливості ідентифікації генераторів по компоненті $m(t)$.

Будемо розглядати компоненту $m(t)$ процесу зміни фази $\varphi(t)$ в рамках моделі, описуваної рівняннями стану і спостереження

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Fx(t) + Gg(t); \\ m(t) = Hx(t). \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} z(t) = H_1 m(t) + n(t); \\ z(t) = \phi(t) - g(t). \end{cases} \quad (2)$$

маючи на увазі, що процес $n(t)$ вважається білим шумом остільки, оскільки час його кореляції істотно менше часу кореляції складової $m(t)$. Дана модель буде використана для побудови модифікації алгоритму динамічної фільтрації.

Крім того, слід розглянути оцінювання параметрів моделі компоненти $m(t)$ для методу найменших квадратів

$$Z(t) = AM(t) + n(t).$$

де A – матриця зв'язку; $M(t)$ – вектор оцінюваних по МНК параметрів лінійної моделі; $n(t)$ – складова,

$$z(t) = \phi(t) - q(t) = m(t) + n(t).$$

Практика дослідження стаціонарних швидко флюктуруючих процесів, подібних $n(t)$, показує високу ефективність застосування для їх опису авторегресійних моделей. Тому надалі опис та аналіз компоненти $n(t)$ буде проводитися в термінах авторегресійних моделей:

$$\begin{cases} y(t) = \sum_{i=1}^n a_i y(t-i) + e_1(t); \\ n(t) = e_1(t) + e_2(t). \end{cases} \quad (4)$$

де a_i – коефіцієнти авторегресійної моделі; $e_1(t)$ – породжуючий шум,

$$e_1(t) = \sum_{i=1}^n a_i n(t-i) + e_1(t-i);$$

$e_2(t)$ – білий шум вимірювань,

$$e_2(t) = e_1(t) - \sum_{i=1}^n a_i e_2(t-i);$$

$y(t)$ – процес зміни фази коливання, викликаний слабо корельованою компонентою нестабільності;

$n(t)$ – складова процесу $\phi(t)$

Отримаємо співвідношення, що визначають алгоритми оцінювання $m(t)$ і $n(t)$ для виразів (1 – 4).

Враховуючи особливості моделі нестабільності проведемо дослідження можливості побудови рекурентного алгоритму МНК на "ковзному" вікні. Для чого перш за все розглянемо лінійну модель складової $m(t)$ процесу зміни фази $\phi(t)$ у вигляді $Z(t) = AN + n(t)$ з вектором вимірювань, де $Z_i \dots Z_n$ – суть вимірювання фази сигналу в момент часу $t_1 \dots t_n$ матрицею $A = [A_1^T, \dots, A_n^T]$ ($A_i^T = [a_1, \dots, a_n]$ – i -й рядок матриці A), вектором оцінюваних параметрів $M = [M_1, \dots, M_r]^T$ і вектором випадкових похибок вимірювань $[n_1, \dots, n_n]^T$; n_1, \dots, n_n – значення компоненти $n(t)$ в момент часу $t_1 \dots t_n$. Оцінка за ме-

тодом найменших квадратів $M(n, n+1)$ може бути отримана на основі вимірів $Z_n \dots Z_{n+1}$ з використанням рядків матриці A з $(i+1)$ до $(n+1)$. Позначимо

$$z(n, n+1) = (z_{n+1}, \dots, z_{n+1})^T,$$

$$A(n, n+1) = [A_{n+1}^T, \dots, A_{n+1}^T].$$

блок, що складається l -рядків матриці. Позначимо

як $\sum(n, n+1)$ похідна $[A^T(n, n+1)A(n, n+1)]^{-1}$.

Тоді оцінка вектора $M(t)$ на момент t_{m+1} при залученні в обробку вимірювань з моменту t_m до t_{m+1} .

$$M(n, n+1) = \sum_{n=1}^T (n, n+1) A^T(n, n+1) z(n, n+1). \quad (5)$$

Еволюція оцінки $M(n, n+1)$ при зміні n описується наступною системою рекурентних співвідношень:

1. Оператор виділення нового вимірювання:

$$\begin{aligned} \hat{M}(n, n+1+1) &= \hat{M}(n, n+1) + K^{(1)}(n, n+1) \times \\ &\times [z_{n+1+1} - A_{n+1+1}^T \hat{M}(n, n+1)], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K^{(1)}(n, n+1) &= \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \times \\ &\times \left[J + A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n, n+1+1) &= \left(J - K^{(1)}(n, n+1) A_{n+1+1}^T \right) \times \\ &\times \sum_{n=1}^T (n, n+1), \end{aligned} \quad (8)$$

де 1 – одинична матриця, або в розгорнутій формі

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n, n+1+1) &= \sum_{n=1}^T (n, n+1) - \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} \times \\ &\times \left(A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1) A_{n+1+1} + 1 \right)^{-1} \times \\ &\times A_{n+1+1}^T \sum_{n=1}^T (n, n+1). \end{aligned} \quad (9)$$

2. Оператор забування:

$$\begin{aligned} \hat{M}(n+1, n+1+1) &= \hat{M}(n, n+1+1) - \\ &- K^{(2)}(n, n+1+1) [z_{n+1} - A_{n+1}^T \hat{M}(n, n+1+1)]. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} K^{(2)}(n, n+1+1) &= \sum (n, n+1+1) A_{n+1} \times \\ &\times \left[J - A_{n+1}^T \sum (n, n+1+1) A_{n+1}^T \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^T (n+1, n+1+1) &= \left(J + K^{(2)}(n, n+1+1) A_{n+1+1}^T \right) \times \\ &\times \sum_{n=1}^T (n, n+1+1). \end{aligned} \quad (12)$$

або в розгорнутій формі

$$\sum(n+1, n+1+1) = \sum(n, n+1+1) A_{n+1} \times \left[J - A_{n+1}^T(n, n+1+1) A_{n+1} \right]^{-1} \times \times A_{n+1}^T \sum(n, n+1+1). \quad (13)$$

Вектори $K^{(1)}$ і $K^{(2)}$ розмірності $r+1$ називають відповідно коефіцієнтом передачі при введенні нового виміру і забуванні. Можна використовувати ще одне зручне для реалізації на ЕОМ уявлення коефіцієнта передачі $K^{(1)}$

$$K^{(1)}(n, n+1) = \sum(n, n+1+1) A_{n, n+1+1}, \quad (14)$$

та коефіцієнта $K^{(2)}$

$$K^{(2)}(n, n+1+1) = \sum(n+1, n+1+1) A_{n+1}. \quad (15)$$

Далі перемножуючи по блокам матрицю $A^T(n, n+1+1)$ і вектор $z(n, n+1+1)$, знаходимо, що

$$A^T(n+1, n+1+1) z(n+1, n+1+1) = A(n, n+1+1) z(n, n+1+1) - A_{n-1} z_{n+1}. \quad (16)$$

Висновки

У рамках даної статті був розроблений алгоритм обробки інформації про процеси нестабільності задаючих генераторів БРТС який дозволяє значно спростити оцінювання параметрів досліджуваних моделей. При цьому за рахунок використання "ковзного вікна" при оцінці оброблюваних параметрів підвищується якість і оперативність ідентифікації НКВ КА.

Однак у реальних комплексах ідентифікації КА необхідно враховувати вплив шумовий перешкоди на функціонування РТС [6]. Тому представляється доцільним провести аналіз впливу шуму на вимірювання сигналів НКВ РТС, а так само досліджувати особливості спільного оцінювання швидкозмінних і повільно мінливих процесів вимірювання фази ЗГ БРТС.

Список літератури

1. Погорелов А.И., Купченко Л.Ф. *Общие вопросы построения сигналов измерительных радиосистем // Пространственно-временная обработка сигналов.* – Харьков: ХАИ, 1986. – С.3–11.
2. Смоляк С.А., Титаренко Б.П. *Устойчивые методы оценивания.* – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
3. Тёрнер Д. *Вероятность, статистика и исследование операций: пер. с англ.* – М.: Статистика, 1970. – 432 с.
4. Тихонов В.И. *Нелинейные преобразования случайных процессов / В.И. Тихонов.* – М.: Радио и связь, 1986. – 296 с.
5. Тихонов В.И., Харисов В.Н. *Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем.* – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
6. Явтушенко А.М. *Наземный радиотехнический комплекс управления та ідентифікації космічних апаратів: Навчальний посібник/ А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, В.І. Богомья.* – К.: НАОУ, 2004. – 40 с.

Надійшла до редколегії 23.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НЕКОНТРОЛИРУЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

А.В. Шульга, А.В. Шефер

Проведен анализ функционирования системы идентификации наземных подвижных объектов (ПО) и космических аппаратов (КА), которое зависит от возможности приема радиосигналов неконтролируемых излучений (НКИ) КА и алгоритмов обработки этих сигналов. Прием сигналов малой мощности (порядка 10^{-8} Вт), которыми являются сигналы НКИ, зависит от технических характеристик используемых радиотехнических станций (РТС) и особой сложности при определенных условиях не представляют. Определено, что вопрос обработки таких сигналов, например повышение достоверности и оперативности этой обработки, в достаточной мере не изучены. Это обусловлено тем, что процессы нестабильности задающих генераторов бортовых радиотехнических станций (ЗГ БРТС), служащих для идентификации КА, определяют необходимость выбора оптимального алгоритма обработки информации об этих процессах с оценкой параметров выбранной модели на фоне аддитивного шума измерений.

Ключевые слова: идентификация, компонент процесса идентификации, аддитивный шум измерений, дискретные алгоритмы, фазовая обработка сигналов, авторегрессионная модель, космический аппарат.

SYNTHESIS OF OPTIMAL ALGORITHMS UNCONTROLLED RADIATION SIGNAL PROCESSING FOR OBJECTS IDENTIFICATION

O.V. Shulga, O.V. Shefer

The analysis of the functioning of the identification of land mobile systems (software) and spacecraft (SC), which depends on the possibility of receiving radio signals of uncontrolled emissions (UKE) spacecraft and the processing of these signals algorithms. Receiving signals of low power (about 10^{-8} Watts), the signals which are UKE, depending on the specifications used radio stations (RS) and are not particularly difficult under certain conditions. It was determined that the question of processing signals, for example to increase reliability and efficiency of the treatment is not sufficiently studied. This is due to the fact that the processes of instability oscillators onboard radio stations (IG OBRS), which serve to identify the satellites, determine the necessity of choosing the optimal algorithm of information processing of these processes with the evaluation parameters of the selected model in Additive noise measurements.

Keywords: identification, component identification process, additive noise measurements, discrete algorithms, the phase signal processing, autoregressive model, the spacecraft.