

УДК 621.396

О.Л. Поляков

Центр контролю космічного простору, Євпаторія

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ НЕКОНТРОЛЬОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ БОРТОВОЇ АПАРАТУРИ КОСМІЧНОГО АПАРАТА В УМОВАХ ЗАВАЖАЮЧИХ ВПЛИВІВ НЕЛІНІЙНОЇ РТС

Проведено дослідження можливих напрямків підвищення ефективності алгоритмів обробки сигналів неконтрольованого випромінювання в умовах заважаючих впливів нелінійної РТС. Можливість програмного способу обробки сигналів НКВ на базі ПЕВМ дозволяє створити технічний комплекс обробки цих сигналів у складі наземних РТС.

Ключові слова: космічний апарат, сигнали неконтрольованого випромінювання.

Вступ

Ефективність та якість контролю космічного простору залежить від багатьох факторів. До них слід віднести: по-перше, розгалуженість засобів контролю космічного простору; по-друге, оперативність виявлення та ідентифікації космічних об'єктів; по-третє, різноманітність методів ідентифікації і т.д. Причому різноманітність методів ідентифікації особливо важлива при недостатньо розгалуженій системі вимірювальних засобів. Одним з таких методів є метод ідентифікації космічних об'єктів за неконтрольованим випромінюванням постійно функціонуючих блоків бортової апаратури [3].

Постановка завдання. У ході вирішення завдання параметричної ідентифікації космічних апаратів шляхом прийому та обробки сторонніх випромінювань постійно функціонуючих блоків (задаючі генератори, гетеродини і т.д.) виникає потреба визначення параметрів сигналів – їх спектральних або часових характеристик.

Оскільки, прийом сигналів здійснюється при постійній наявності випадкових перешкод, то в цих умовах безпомилкове визначення параметрів сигналів стає неможливим. Тому виникає потреба у зведенні до мінімуму помилкових визначень параметрів сигналів, особливо у випадку прийому та обробки сигналів неконтрольованого випромінювання (НКВ). В наукових працях [1 – 3] доведена можливість реалізації методу ідентифікації КА за НКВ, але питання оптимізації пошуку, прийому та обробки цих сигналів потребує додаткових наукових обґрунтувань.

Аналіз літератури. Проведений аналіз джерел інформації [1 – 15] показав, що необхідно оцінити ефективність методу ідентифікації космічних апаратів за НКВ в умовах впливу на прийом та обробку цих сигналів перехідних процесів у реальних радіотехнічних системах (РТС).

Метою статті є визначення оптимального методу пошуку та прийому сигналів неконтрольованого випромінювання в умовах впливів процесів в реальних радіотехнічних системах (РТС).

Розділ основного матеріалу

З метою врахування впливу процесів в реальних РТС на обробку сигналів неконтрольованого випромінювання (НКВ), врахуємо, що характеристики радіопристроїв дискретного типу у значній мірі залежать від точності апроксимації функціональних перетворень, що реалізовані у цих пристроях: синус-косинусні перетворення, Фур'є-перетворення тощо. Вони визначають дискримінаційні характеристики вимірювальних систем РТС [12]. Зокрема у таких перетворювачах, як правило, підвищується точність відліку аргументів і відповідно числа значень функції, яку потрібно запам'ятовувати [8]. Це відноситься, перш за все, до функціональних перетворювачів, які реалізовані у вигляді комбінаційних схем [10] або у вигляді запису в пам'ять цих функціональних співвідношень [13]. Для усунення недоліків таких перетворювачів пропонується наступний алгоритм їх побудови. Передбачається, що аргумент задається у вигляді інтервалу часу і далі здійснюється дискретизація цього аргументу і наступна обробка результатів дискретизації.

Функціональна схема такого перетворювача наведена в [6]. Відмінність такого перетворювача від звичайно застосовуваного [14] полягає в тому, що звичайне перетворення пов'язане з вимірюванням аргументу і наступним однократним приписуванням відповідного значення функції $f(x)$. В даному ж випадку значення цієї функції формується як результат усереднення часткових перетворень з відносно великим дискретом відліку аргументу x .

Проведемо аналіз такого функціонального перетворення. Припустимо, що істинне значення величини t у відповідності з [11] дорівнює τ . Звідси вірогідність появи на виході схеми дискретизатора τ , що дорівнює k імпульсів

$$P(k) = \frac{\lambda - \alpha}{\lambda}, \quad (1)$$

для $k + 1$ імпульсів відповідно

$$P(k+1) = \frac{\alpha}{\lambda}. \quad (2)$$

При n відліках математичне очікування значення функції в результаті усереднення буде дорівнювати

$$E\{f\} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=k}^{k+1} f_i(j) P_i(j) = f(k\lambda) + \Delta f \frac{\alpha}{\lambda}, \quad (3)$$

де $f_i(j)$, $P_i(j)$ – значення функції та її вірогідності відповідно; $\Delta f = f[(k+1)] - f(k\lambda)$.

З формули (3) можливо зробити висновок, що функція $E\{f\}$ являє собою лінійну інтерполяцію значень функції в межах інтервалів оцінки. У вузлах оцінки це значення співпадає з істинним значенням функції.

Дисперсія значень функції за таких перетворень має вигляд

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=k}^{k+1} \left\{ [f_i(j) - E\{f\}]^2 + 2R_i(j) \right\} = \Delta^2 f \frac{(\lambda - \alpha)\alpha}{n\lambda^2}$$

де $R_i(j)$ – кореляційний момент величини $f_i(j)$.

При цьому величина σ_f^2 залежить як від виду функції, так і від значення τ . Так, якщо на відрізьку $[k\lambda, (k+1)]$ похідна $f(\tau)$ постійна, то σ_f^2 приймає максимальне значення за умови $\alpha = \lambda/2$

$$\sigma_{f \max}^2 = \Delta^2 f \frac{1}{4n}.$$

Повна похибка запропонованого функціонального перетворення сигналів неконтрольованого випромінювання в РТС буде включати в себе крім зазначених видів похибок також похибку, обумовлену неточністю завдання функції в точках оцінки. Для підвищення оперативності ідентифікації КА, що особливо важливо в системах контролю космічного простору [4, 5, 15], реалізацію алгоритмів обробки сигналів НКВ слід здійснювати на ПЕОМ. При цьому реалізація цих алгоритмів потребує відповідної швидкодії обчислювача, яка в свою чергу залежатиме від швидкості надходження інформації, значень розрядної сітки машинних слів, а також від виду алгоритму та необхідної точності. Розглянемо у якості приклада алгоритм оцінки гармонійного сигналу з допомогою рекурентного алгоритму Калмана.

Рівняння моделі гармонійного сигналу можуть бути записані у вигляді

$$\left. \begin{aligned} x_1(i+1) &= x_1(i) + \Delta x_2(i); \\ x_2(i+1) &= -\Delta\omega_0^2 x_1(i) + x_2(i) + \Delta j(i); \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$r(i) = x_1(i) + n(i), \quad (5)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots$; $\Delta = t_{i+1} - t_i$ – інтервал дискретизації часу.

Рівняння оцінки станів для (4) и (5) має вигляд

$$\hat{x}_1(i) = \hat{x}_1(i-1) + \Delta \hat{x}_2(i-1) + K_1(i) \{r(i) - \hat{x}_1(i-1) - \Delta \hat{x}_2(i-1)\}; \quad (6)$$

$$\hat{x}_2(i) = -\Delta\omega_0^2 \hat{x}_1(i-1) + \hat{x}_2(i-1) + K_2(i) \{r(i) - \hat{x}_1(i-1) - \Delta \hat{x}_2(i-1)\}; \quad (7)$$

$$K_1(i) = V_{11}(i)R^{-1}; \quad K_2(i) = V_{12}(i)R^{-1};$$

$$\hat{V}_{11}\left(i + \frac{1}{i}\right) = \hat{V}_{11}(i) + 2\Delta V_{12}(i) + \Delta^2 V(i); \quad (8)$$

$$\hat{V}_{12}\left(i + \frac{1}{i}\right) = -\Delta\omega_0^2 \hat{V}_{11}(i) - \Delta^2 \omega_0^2 \hat{V}(i) + \Delta \hat{V}(i) + \hat{V}(i); \quad (9)$$

$$\hat{V}_{22}\left(i + \frac{1}{i}\right) = -\Delta^2 \omega_0^4 \hat{V}_{11}(i) - 2\Delta\omega_0^2 \hat{V}_{12}(i) \quad (10)$$

$$++ \hat{V}_{22}(i) + \Delta^2 N_0.$$

Згідно з теоремою Котельникова

$$\Delta \leq 1/(2F_m). \quad (11)$$

Причому $\Delta = 0,14$ мс, що відповідає роботі з сигналом, розташованим в середині полоси частот стандартного мовного сигналу.

Якщо прийняти в якості елементарної операції обчислювача операцію складання двох чисел з зафіксованою комою, час множення буде дорівнювати

$$t_y \approx n t_{cl},$$

де n – довжина машинного слова; t_{cl} – час виконання операцій складання.

Сумарний час вирішення рівнянь (6) – (10) при послідовному виконанні операцій буде дорівнювати

$$t_\Sigma = (15n + 16)t_{cl}. \quad (12)$$

Час, відведений на виконання однієї елементарної операції, буде дорівнювати з огляду на (11) и (12)

$$t_{cl} \leq \frac{\Delta}{t_\Sigma} = \frac{\Delta}{15n + 16}. \quad (13)$$

Одним зі шляхів підвищення швидкодії обчислювача є шлях, який полягає у скороченні кількості рівнянь, які необхідно вирішити. Так, рівняння (8) – (10) можуть бути вирішені заздалегідь перед сеансом зв'язку з КА. У цьому випадку час потрібний на обчислення матиме вигляд

$$t_\Sigma = 2(3n + 4)t_{cl}$$

і відповідно

$$t_{cl} \leq \frac{\Delta}{2(3n + 4)}. \quad (14)$$

Функція $K_x(t)$ може бути апроксимована простими функціями, в цьому випадку достатньо в обчислювачі вирішити завдання визначення апроксимуючої функції. Для експоненційної апроксимації $K_x(t)$

$$t_\Sigma = (8n + 9)t_{cl}$$

і відповідно

$$t_{cl} \leq \frac{\Delta}{8n + 9}. \quad (15)$$

Крім цього, можливе застосування двох і більше обчислювачів, які працюють паралельно, що дозволить знизити вимоги до кожного з обчислювачів окремо та забезпечити роботу фільтра у реальному масштабі часу.

У системі ідентифікації КА значне місце займають аналогові алгоритми обробки сигналів НКВ. До переваг аналогових алгоритмів слід віднести більш просте представлення і як наслідок більш проста реалізація пристроїв, які реалізують ці алгоритми [7]. При створенні алгоритмів оцінки сигналів НКВ першочерговим є створення математичних моделей сигналів,

параметри яких потрібно оцінювати. Розробка таких моделей без урахування особливостей реалізації аналогових пристроїв, як правило, призводить до суттєвих технічних труднощів [6]. Одним з напрямків побудови математичних моделей сигналів НКВ може бути побудова моделей на основі реальних пристроїв формування цих сигналів [9]. Такий підхід дозволяє врахувати особливості реалізації пристроїв і усунути розходження аналогового алгоритму реалізації та математичної моделі, що описує ці алгоритми.

Висновки

Таким чином проведено дослідження можливих напрямків підвищення ефективності алгоритмів обробки сигналів неконтрольованого випромінювання в умовах заважаючих впливів нелінійної РТС. Можливість програмного способу обробки сигналів НКВ на базі ПЕВМ дозволяє створити технічний комплекс обробки цих сигналів у складі наземних РТС.

Список літератури

1. Козелков С.В. Разработка метода оценивания параметров движения космических аппаратов / С.В. Козелков, Н.В. Нюкин, Д.П. Паиков // Сб. научн. труд. ХВУ. – Х., 1999. – Вып. 2 (24). – С. 72-77.
2. К вопросу о создании комплекса идентификации космических аппаратов / С.В. Козелков, В.Г. Стадченко, Н.В. Нюкин, С.В. Шурыгин // Информационные системы: сб. научн. тр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вып. 3 (11). – С. 103-106.
3. Козелков С.В. Идентификация космических аппаратов по неконтролируемым излучениям / С.В. Козелков // Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2000. – Вып. 1 (7). – С. 169-172.
4. Идентификация американских и российских каталогов космических объектов / А.В. Меньшиков, З.Н. Хуторовский, В.Л. Смелов и др. // Сб. научн. труд. Института астрономии РАН. – 1995. – С. 184-193.
5. New VLBI techniques developed by CRL / Y. Tachibana, J. Nakahima, H. Kiuchi, M. Jmae, S. Noma, T. Gotou // Proceeding of 4th APT Workshop. – Sydney, Australia, Dec. 1996. – P. 130-134.
6. Ливишиц И.И. Использование ИСЗ для связи в диапазоне миллиметровых волн / И.И. Ливишиц, В.М. Рожков, Б.А. Рябов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 5. – С. 41-49.
7. Исследование и разработка принципов построения, путей аппаратурной реализации и повышения эффективности функционирования специальных систем навигации и передачи информации радиосигналами миллиметрового диапазона волн: Отчет о НИР (заключительный) п/я М-5068. – “Радуга”, № 398; – МО СССР, 1985. – 74 с.
8. Крэсснер Г.Н. Введение в системы космической связи / Г.Н. Крэсснер, Дж.В. Михаэлс; пер с англ. под ред. М.Г. Крошкина и В.В. Маркова. – М.: Связь, 1967. – 392 с.
9. Максимов М.В. Помехоустойчивость многоканальных радиолиний управления / М.В. Максимов. – М.: Сов. радио, 1970. – 344 с.
10. Справочник по антенной технике: справ. в 5 т. Т.1. / Л.Д. Бахрах, Л.С. Бенисон, Е.Г. Зелкин и др.; под ред. Я.Н. Фельда, Е.Г. Зелкина. – М.: ИПРЖР, 1997. – 256 с.
11. Смоляк С.А. Устойчивые методы оценивания / С.А. Смоляк, Б.П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980. – 208 с.
12. Serene B.E.H. The LASSO experiment and its operational organization / B.E.H. Serene // Journal of the Institution of Electronic and Telecommunication Engineers. – 1981. – V. 27, № 10. – P. 422-432.
13. Астрометрия и геодинамика // Труды ИПА РАН. – СПб.: ИПА РАН, 1997. – Вып. 1. – 348 с.
14. Satellite Time and Range Equipment. // Prop. of the Time Tech GmbH, Stuttgart, 1997.
15. The operational use two-way satellite time and frequency transfer employing PN codes. // JTU Radiocommunication Study Grups. Document 7/BL/28-E. – 1997. – P. 1-19.
16. Allan D.W. Some methods of maintaining and/or generating time and frequency at arbitrary points on surface of the Earth / D.W. Allan // J. of the Institution of Electronic and Telecommunication Engineers. – 1981. – V. 27, № 10. – P. 383-388.
17. Beehler R.F. Time/Frequency services of the U.S. National Bureau of Standards and some alternatives for future improvement / R.F. Beehler // Journal of the Institution of Electronic and Telecommunication Engineers. – 1981. – V. 27, № 10. – P. 389-402.
18. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия / Н.М. Цейтлин. – М.: Сов. радио, 1976. – 352 с.
19. Погорелов А.И. Анализ систем обработки сложных пространственно-временных сигналов / А.И. Погорелов // Обработка сигналов в радиотехнических системах. – Х.: ХАИ, 1988. – С. 164-173.

Надійшла до редколегії 21.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НЕКОНТРОЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВЫХ ВЛИЯНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РТС

А.Л. Поляков

Проведено исследование возможных направлений повышения эффективности алгоритмов обработки сигналов неконтролируемого излучения в условиях помеховых влияний нелинейной РТС. Возможность программно-способа обработки сигналов НКВ на базе ПЭВМ позволяет создать технический комплекс обработки этих сигналов в составе наземных РТС.

Ключевые слова: космический аппарат, сигналы неконтролируемого излучения.

RESEARCH OF DIRECTIONS OF INCREASE EFFICIENCY OF ALGORITHMS OF SIGNAL OF UNCONTROLLED RADIATION OF SIDE APPARATUS OF THE SPACE VEHICLE PROCESSING IN THE CONDITIONS OF PREVENTING INFLUENCING OF THE NONLINEAR RES

A.L. Polyakov

Research of possible directions of increase efficiency of algorithms of the signal of uncontrolled radiation processing is conducted in the conditions of the preventing influencing of nonlinear PTC. Possibility of programmatic method of the signal of NKV processing on the base of hardened personal computer allows to create the technical complex of the these signal processing in composition ground RES.

Keywords: spacecraft, signals of uncontrolled radiation.