

УДК 626.7.018.7:621.396.96

К.І.Мотильов, М.В. Міхайлов, І.Л. Щербов, В.В. Пасльон

МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ВИМІРІВ, ЯКІ ВОЛОДІЮТЬ ПРОСТОРОВОЮ ТА ЧАСОВОЮ НАДМІРНІСТЮ

Постановка проблеми

При розробці літальних апаратів (ЛА), космічних апаратів (КА) і багаторазових транспортних космічних систем (БТКС) через неможливість отримання теоретичного опису до 40% усіх виникаючих проблем вирішуються за допомогою іспитів [1]. Високі вимоги до точності та вірогідності обумовлені тим, що за результатами траєкторних вимірів приймаються відповідальні рішення про якість і придатність ЛА, КА, чи БТКС. У зв'язку з цим розвиток методів траєкторних вимірів повинен випереджати розвиток об'єктів вимірів. Але це стає все складніше через значне підвищення якості ЛА та наближення вимірювальної техніки до межі своїх можливостей по точності.

Суттєвою особливістю, якою володіє траєкторна інформація, є просторова надмірність (ПН) і часова надмірність (ЧН).

ЧН зв'язана з високим темпом знімання інформації. ПН є наслідком багаторазового дублювання вимірів різними засобами вимірювань.

Аналіз останніх досліджень

Різні аспекти рішення задач обробки даних вимірів розглядалися в роботах вітчизняних і закордонних авторів: П. А. Агаджанова, В. Є. Дулевича, Б. Ф. Жданюка, М. Д. Огороднійчука, В. К. Бакличкого, Д. Андрюса, Н. Х'юбера та інших. Основними роботами у даному напрямку є роботи [5,6]. Ці роботи розглядають можливість використання надмірної траєкторної інформації для отримання більш точних координат положення об'єкту. Але вони не розглядають можливість та методи послідовного використання просторової та часової надмірностей для досягнення кращих результатів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Дана робота присвячена загальному огляду послідовної реалізації просторової та часової надмірностей.

Основна частина

Траєкторії руху різних об'єктів прийнято розділяти на два великих класи: детерміновані траєкторії (ДТ) та випадкові (ВТ) [2].

Для ДТ сукупність діючих на об'єкт сил відома з достатнім ступенем точності. Завдяки цьому кожна ДТ може бути задана обмеженим і заздалегідь відомим числом траєкторних параметрів. Прикладами ДТ є еліптичні, параболічні та гіперболічні орбіти космічних апаратів. Для ДТ задача в основному вирішена на базі статистичної оцінки параметрів [1,2].

ВТ - траєкторії, при розрахунку яких немає повної інформації про сили, що діють на об'єкт, або ці сили відомі з суттєвими помилками. Внаслідок цього для ВТ неможливо заздалегідь установити кількість траєкторних параметрів, необхідних для її опису. Прикладами ВТ є траєкторії ЛА і БТКС, що маневрують. Для таких траєкторій задача підвищення точності визначення координат є особливо актуальною. Найбільш раціональна модель для опису ВТ представлена у вигляді [3, 5]:

$$x(t, A) = \sum_{k=0}^m a_k \varphi_k(t), \quad (1)$$

де $x(t, A)$ - координатна складова вектора дійсного положення об'єкта;

a_k - компонент вектора A - коефіцієнтів апроксимуючого полінома;

$\varphi(t)$ - система лінійно незалежних базисних функцій.

Рівень прикладних методів обробки інформації значною мірою визначається можливостями техніки вимірів. Раніше вторинні координати об'єктів дослідження розраховувалися простими методами, заснованими на використанні мінімально необхідного набору первинних координат [3]. Суть простих методів зводилася до аналітичного визначення точки перетинання трьох поверхонь положення.

Прості методи володіють рядом серйозних обмежень [1,2]:

- не враховують кореляцію помилок вимірів;

- не можуть автоматично пристосовуватися до форми ВТ, що змінюється, і метрологічного стану вимірників;
- не є загальними для широкого діапазону умов;
- не завжди задовольняють зростим вимогам до точності;
- не враховують нерівноточність вимірів.
- Ми пропонуємо шлях розв’язання проблеми підвищення точності обробки даних траєкторних вимірів у три етапи:
- використання алгоритму попередньої відбраковування грубих помилок вимірів (збоїв);
- використання алгоритму адаптивного лінійного оптимального згладжування даних вимірів, які мають часову надмірність;
- використання узагальненого методу, що реалізує просторову надмірність даних вимірів.

Останні два методи вільні від недоліків існуючих простих методів обробки та здатні забезпечити розв’язання комплексу задач по підвищенню точності та вірогідності оцінки вторинних координат положення та руху БТКС. А попередня відбраковування грубих помилок вимірів забезпечить максимальну ефективність апостеріорного аналізу зовнішньотраєкторної інформації.

В даний час застосовуються методи згладжування до первинної та вторинної інформації. Згладжування дозволяє:

- робити відбраковування грубих помилок вимірів;
- зменшувати вплив швидкофлюктуючих помилок вимірів;
- оцінити похідні вимірюваних чи обчислюваних параметрів;
- вирішувати інтерполяційні та екстраполяційні задачі;
- здійснювати стиск даних вимірів.

Існує кілька видів згладжування з використанням [6,7]:

- квадратичних ступеневих поліномів;
- тригонометричних рядів Фур’є;
- ортогональних поліномів Чебишева;
- сплайн-наближень.

На початку 60-х років на основі критерію найменших квадратів професором Огороднійчуком М. Д. був розроблений узагальнений метод [3, 4, 6], що передбачає реалізацію просторової надмірності за

допомогою рекурентного співвідношення для обчислення статистичної оцінки (СО) положення об’єкту:

$$r_{v+1} = r_v + \Delta r_v = r_v + U_v^{-1} \sum_{j=1}^m \frac{b_{jv}}{\sigma_{jv}^2},$$

де r_{v+1} - $(v+1)$ -е наближення;

r_v - v -е наближення;

U_v^{-1} - матриця, зворотна симетричній, складеній на основі часткових похідних f_{jz}, f_{jy}, f_{jz} .

b_{jv} - векторне відхилення j -ї поверхні положення відносно V -го наближення СО;

σ_{jv}^2 - дисперсія помилки області шуканої оцінки.

Узагальнений метод і його модифікації [1, 3, 4, 5]:

- забезпечує оптимальну обробку надмірної інформації;
- допускає обробку траєкторної інформації мінімального обсягу зі збереженням точності відповідних простих методів;
- стійкий до збоїв;
- ефективний при будь-яких флуктуаціях випадкових помилок;
- сполучається з будь-якими методами реалізації часової надмірності (згладжуванням, фільтрацією) при послідовній обробці даних;
- паралельно з обробкою здійснює самоконтроль точності вимірювальних станцій;

Далі, в середині 70-х, завдяки застосуванню швидкодіючих ЕОМ одержали розвиток методи, що більш повно враховують як просторову, так і часову надмірність даних зовнішньотраєкторних вимірів. До даних методів відносяться два варіанти послідовної реалізації просторової та часової надмірності даних. При цьому на одному з етапів реалізується часова, а на іншому - просторова надмірність траєкторної інформації. Послідовність виконання етапів обробки може бути будь-якою.

Якщо спочатку реалізується просторова надмірність, то на першому етапі обробці піддаються незгладжені дані вимірів, зареєстровані в єдині моменти часу. Автокореляція помилок вимірів при цьому не враховується, стиск даних відбувається при переході

від первинних координат до вторинних. Згладжування вторинних координат здійснюється на другому етапі поліномами невисокого порядку [6].

Якщо спочатку реалізується часова надмірність, то згладжуванню піддаються дані вимірів з використанням поліномів більш високого порядку. При згладжуванні враховується автокореляція помилок вимірів. Просторова надмірність і стиск даних реалізуються окремо для кожного моменту часу [5].

Порівнюючи два варіанти послідовних реалізацій надмірностей, можна зробити висновок:

- перший - більш простий та швидкодіючий;
- другий - більш точний та вірогідний.

Висновки та перспективи подальших досліджень

В результаті дослідження проблеми обробки даних траєкторних вимірів отримані наступні результати:

- для підвищення точності визначення вторинних координат об'єктів необхідна наявність просторової та часової надмірності даних зовнішньотраєкторних вимірів;
- застосування узагальненого методу й алгоритму адаптивного лінійного оптимального згладжування дозволяє суттєво підвищити точність кінцевих результатів;
- дослідження області застосування запропонованих методів показало їхню придатність для визначення тривимірних координат будь-яких об'єктів;
- були створені програмні реалізації зазначених вище алгоритмів: відбраковування грубих помилок, узагальнений метод і алгоритм адаптивного лінійного оптимального згладжування даних вимірів.

Наші подальші дослідження будуть спрямовані на об'єднання зазначених алгоритмів у єдиний комплекс, детальне дослідження двох варіантів реалізації надмірностей та на перехід до сумісної реалізації просторової та часової надмірностей та нелінійних алгоритмів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агаджанов П. А., Дулевич В. Е., Коростелев А. А. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерения и математическая обработка данных. - М.: Сов. радио, 1969. – 504 с.
2. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Сов. радио, 1976. – 384 с.
3. Мотильов К. І. Узагальнений метод обробки даних траекторних вимірів, які володіють просторовою надмірністю// Збірник тез VII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос». – Дніпропетровськ: вид. НЦАОМУ, 2005. – 432 с.
4. Мотылев К. И., Михайлов М. В., Гончаров Е. В., Паслен В. В. Обработка данных измерений, обладающих пространственной избыточностью // Материалы Международной научной конференции “Излучение и рассеяние ЭМВ – ИРЭМВ-2005”. – Таганрог: изд-во ТРТУ, 2005. – с. 260-262.
5. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. Ч.1. – К.: КВВАИУ, 1981. – 141 с.
6. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации. Ч. 2. – К.: КВВАИУ, 1986. – 224 с.
7. Паслен В. В. Исследование алгоритмов сглаживания данных траекторных измерений// Збірник тез VI Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос». – Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2002. – 372 с.

Получено 17.04.2006 г.