

УДК 629.78

В.В. Ожінський

Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Євпаторія

АВТОМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ТА ОЦІНКА ОБСТАНОВКИ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРИ КООРДИНАТНО-ЧАСОВОМУ СПОСОБІ КЕРУВАННЯ

У статті запропоновано підходи до автоматичного аналізу стану КА та його бортового ресурсу при застосуванні координатно-часового способу керування, проаналізовано проблеми роботи бортових систем КА та визначено напрямки перспективних досліджень.

Ключові слова: способи керування, аналіз, стан, бортові системи, космічний апарат.

Вступ

Розглядаючи космічні апарати спостереження, як великі технічні системи, яким властиві такі ознаки, як складність і багатофункціональність підсистем, багаторівневе розташування в просторі, наявність різноманітних типів зв'язків, цілеспрямованість функціонування, значущість інформаційної складової, їх розробку необхідно проводити з урахуванням специфіки системи, сучасного стану технічних можливостей бортового забезпечувального та спеціального комплексів, а також вимоги споживачів інформації до характеристик системи.

Водночас якісне керування КА поза зонами радіовидимості без зворотного зв'язку із наземним комплексом управління (НКУ) при використанні координатних методів управління неможливе без якісного аналізу стану КА та оцінки обстановки здійснюваних бортовим комплексом управління.

Аналіз основних досліджень та публікацій. У роботах вітчизняних та зарубіжних вчених досить детально висвітлені питання аналізу стану космічних апаратів та вимоги до якості їх функціонування [1 – 6]. Складність практичної реалізації відомих підходів викликана протиріччями та обмеженнями однопунктної технології управління та неможливістю їх застосування в запропонованому вигляді при використанні координатних способів управління КА, що визначає необхідність пошуку нових підходів до аналізу стану та оцінки обстановки.

Метою статті є аналіз підходів до оцінки обстановки та аналізу стану КА та висвітлення напрямків розробки ефективних алгоритмів функціонування підсистем КА.

Викладення основного матеріалу

На даний час КА, як об'єкт управління в сеансі управління має вигляд приведений на рис. 1 [1]. Аналіз стану та оцінки обстановки має такі складові:

- аналіз стану руху КА;
- аналіз стану апаратури КА;
- аналіз стану ресурсів.

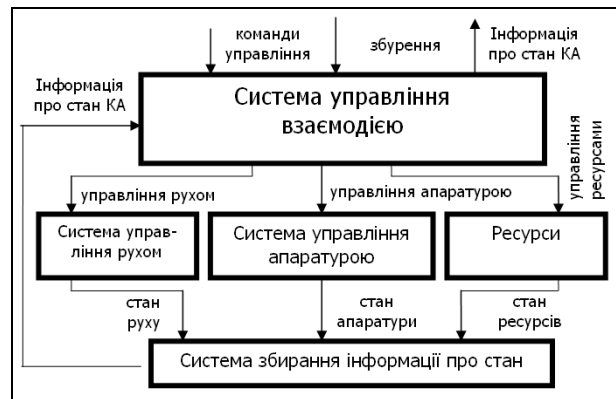


Рис. 1. КА ОЕР, як об'єкт управління

При аналізі стану руху КА аналізується:

- рух навколо центру мас КА;
- рух центру мас КА.

Аналіз руху навколо центру мас здійснюється шляхом відповідної обробки інформації датчиків руху (вимірювання відносних кутових швидкостей) та датчиків орієнтації (датчики сонця, зоряні датчики тощо). При аналізі інформації датчиків вимірювання відносних кутових швидкостей проводиться перевірка знаходження похибки орієнтації (3σ) в орбітальній системі координат (ОСК) за тангажем (θ), креном (φ) та рисканням (ψ) в визначених межах та знаходження відносних кутових швидкостей в зазначених межах: граничні значення похибок встановлюються при розробці КА та визначені для кожного режиму функціонування підсистеми орієнтації. Сучасні підсистеми орієнтації та стабілізації КА для управління виконавчими елементами системи використовують кватерніон орієнтації КА, елементи якого визначаються за значеннями кутів тангажу, крену та рискання [7].

Високоточна орієнтація при проведенні зйомок районів земної поверхні здійснюється за допомогою астронавігаційних вимірювачів (зоряних датчиків), які відповідно до інформації апаратури супутникової навігації про положення КА проводять пошук зоряних об'єктів.

Такий аналіз проводиться автоматично бортовими комп'ютерами підсистеми орієнтації та стабілізації, при невеликих відхиленнях підсистема орієнтації та стабілізації видає управляючі дії на парировання збурень, при критичних відхиленнях відпрацьовуються жорсткі алгоритми здійснення заспокоєння і побудови початкової орієнтації.

Аналізування руху центру мас передбачає контроль за результатами вимірювань наземних засобів відповідності реальної траєкторії КА прогнозованої. При використанні координатних методів управління виникає ще одна важлива проблема – Україна не має свого навігаційного угруповання КА, через що при використанні апаратури супутникової навігації (АСН) можливі наступні ситуації:

- інформація з апаратури супутникової інформації достовірною, необхідної точності;
- інформація з апаратури супутникової інформації достовірною, має місце велика кількість аномальних викидів;
- навігаційна інформація відсутня з причини відсутності сигналів (зміни частот, використання шифрування, штучних завад) з навігаційних КА;
- дезінформація шляхом передавання хибних сигналів навігаційними КА.

Відсутність навігаційної інформації частково компенсується вибором саме координатно – часового, а не координатно – програмного методу управління КА, для інших випадків на даний час існує лише перевірка значення радіус – вектору на знаходження його у допустимих межах. Для КА спостереження при аналізі руху центру мас доцільно використати контроль значення кожного з значень координат, які видаються навігаційним приймачем щосекунди, або контролювати значення усіх кеплерових елементів. Перший підхід є менш прийнятним через те, що значення положення КА в Гринвіцькій системі координат постійно та швидко змінюються, що ускладнює автономний аналіз стану руху центру мас КА на його борту, другий є більш прийнятним. Значення кеплерових елементів можуть як закладатись на борт наземними засобами, так і розраховуватись бортовими засобами, що вбачається перспективнішим при намаганні підвищити автономність функціонування КА, алгоритми такого прогнозування досить прості та на невеликому інтервалі прогнозування дають прийнятну точність.

Аналіз стану апаратури КА здійснюється шляхом відповідної обробки телеметричної інформації (ТМІ). Вона включає такі етапи обробки [10, 11]:

- первинна: при цьому оцінці підлягає кожний окремо взятий параметр. В загальному випадку ми отримуємо функцію:

$$y_i = f(x_i),$$

аргументом якої є час t .

– вторинна, при якій аналізу підлягають взаємопов'язані між собою параметри, які характеризують поведінку досліджуваної системи. В цьому випадку ми отримуємо функцію:

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

параметри x_1, x_2, \dots, x_n якої підібрані з урахуванням функціональних та кореляційних зв'язків:

- функціональні – параметр приймає чітко визначене значення в залежності від відповідних значень іншого.

– кореляційні - закон розподілу одного з параметрів змінюється в залежності від зміни іншого.

Наприклад, якщо величина x кореляційно пов'язана з величиною y и обидві нормальні, то значення математичного сподівання величини буде:

$$M(x/y) = m_x + (\sigma_x/\sigma_y) \cdot (y - m_y) \cdot r_{x,y}$$

з дисперсією, що описана виразом:

$$D(x/y) = D_x(1 - r_{x,y}^2),$$

де m_x, m_y – математичне сподівання величин x та y до вимірювання;

σ_x, σ_y – середньоквадратичне відхилення величин x та y до вимірювання;

$r_{x,y}$ – коефіцієнт кореляції x та y .

Оперативна обробка ТМІ та її аналіз проводять з метою поточного контролю працездатності бортових систем КА для цілей активного впливу на процеси, які в них протікають і включає елементи як первинної, так і вторинної обробки: за деякими параметрами достатньо знати їх фактичні абсолютні значення в моменті часу t , а за іншими – необхідно враховувати взаємні впливи просторових та часових параметрів системи як в моменті часу t , так і на деяких інтервалах, які передують цьому моменту [1, 2, 8].

Особливістю телеметричної інформації є те, що вона являє собою обмежені за часом дискретні реалізації процесу функціонування бортових систем КА.

За типами застосованих в телеметричних системах датчиків (аналогових, цифрових та температурних) ТМІ інформація буває двох видів:

- сигнальна, яка несе дискретну інформацію в двійковому вигляді (має два значення - логічна «1» чи «0»);
- функціональна, яка характеризує неперервні процеси на борту КА.

Неперервні процеси в бортових системах КА, в свою чергу, можуть бути як з повільним протіканням, так і достатньо динамічними. В цьому випадку телеметричні параметри, які їх характеризують, діляться на швидкозмінні та повільно змінні. Якщо за критерій динамічності взяти максимальну швидкість зміни параметру V_{max} за період опитування датчика

Δt , то до швидкозмінних параметрів відносяться параметри, які відповідають умові [11]:

$$|V_{\max}| \geq \frac{3\sigma_{\varepsilon}}{2\Delta t}.$$

В свою чергу, повільно змінні параметри можуть бути поділені на статичні і динамічні. Статичні параметри практично не змінюють свої значення за час проведення сеансу зв'язку t_c :

$$|V_{\max}| \leq \frac{3\sigma_{\varepsilon}}{t_c},$$

а для динамічних виконується умова:

$$\frac{3\sigma_{\varepsilon}}{t_c} \leq |V_{\max}| \leq \frac{3\sigma_{\varepsilon}}{2\Delta t}.$$

В загальному випадку аналіз працездатності і технічного стану КА за даними ТМІ базується на основі відповідності всієї множини параметрів, що характеризують систему, встановленим нормам на заданий момент часу (без врахування тенденцій та особливостей динаміки зміни телеметричних параметрів).

В випадках, коли множини параметрів недостатньо для прийняття правильного рішення (або один чи кілька параметрів вийшли за встановлені для них межі) настає суб'єктивізм та ймовірність правильного оцінювання знижується. У такому випадку за жорсткими алгоритмами системи КА приводяться у вихідний стан, ефективність функціонування КА значно знижується.

В цьому випадку поряд з статичними перспективним є використання і динамічних оцінок ТМП з використанням алгебри нечітких множин для формування висновку про стан апаратури КА [12].

Можливе використання наступної лінгвістичної змінної:

$$\Omega = \langle \omega, T(\omega), U, G, M \rangle,$$

де ω - найменування (назва) лінгвістичної змінної (швидкість, напруга, температура),

$T = \{t_1, \dots, t_r\}$ – терм – множина значень, сукупність її лінгвістичних значень (мала, середня, помірна, висока),

U – носій (область визначення термів),

G – синтаксичне правило, що породжує терми множини

T, M – семантичне правило, яке кожному лінгвістичному значенню ω ставить в відповідність його зміст $M(\omega)$, причому $M(\omega)$ означає нечітку підмножину носія U .

З урахуванням специфіки застосування такого підходу замість базового визначення алгебри нечітких множин – лінгвістичної змінної будемо вживати термін – динамічна оцінка телеметричного параметру (ДО ТП).

Основою для формування дерева логічного висновку є значення величин змін (а не абсолютних

значень) одного телеметричного параметру, взяті в різні моменти часу. Оскільки при оцінці тенденції зміни параметра нас цікавлять саме зміни значень параметрів, а вихідна інформація представлена в нечіткому вигляді, необхідно провести фазифікацію величини зміни параметрів. Існує багато різних типів функцій належності [7], але в даному способі була використана Гаусівська функція належності, яка досить проста (має 2 параметри налагодження) та досить універсальна:

$$f(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-b}{c} \right)^2 \right]$$

де x - значення вхідного параметру, що підлягає фазифікації,

b - координата максимуму функції,

c - коефіцієнт концентрації – розтягу функції.

Для оцінки величини зміни параметра в чіткому вигляді (в вигляді фізичних величин) використовуються ті значення параметрів, які одержані в результаті попередньої обробки та формуванні статичної оцінки.

Крім вищенаведених термів, доцільно ввести новий тип термів, які дозволяють в нечіткому виді проводити оцінку часових інтервалів – «темпи часу». Це розширює можливості запропонованого способу при формуванні нечітких логічних умов типу «через короткий проміжок часу», «приблизно через 12 хвилин», «протягом досить довгого відрізка часу» і т. ін.

Перехід від класичного виду представлення часових інтервалів до формування в вигляді нечітких множин відбувається з використанням операцій фазифікації з використанням відповідних функцій належності

Стан бортових систем КА характеризується наявністю великої кількості телеметричних параметрів, сукупність яких характеризує технічний стан системи.

Множина статичних і динамічних оцінок складає область нечітких знань про технічний стан апаратури КА [3].

При аналізі стану ресурсів КА ОЕР проводиться аналіз стану таких видів ресурсів:

– електроенергетичних

$$\sum_{i=1}^n c(x) N_{Bi}(x) \leq N_{KH};$$

– інформаційних

$$\sum_{i=1}^n c(x) I_{Bi}(x) \leq I_{3П};$$

– технічних

$$\sum_{i=1}^n c(x) T_{Bi}(x) \leq T_{3П}.$$

де $c(x) \in \{0,1\}$;

N_B - витрати енергоресурсу, пов'язанні з роботою апаратури корисного навантаження на інтервалі планування;

N_{KH} - енергоресурс, виділений для використання апаратури корисного навантаження;

I_B - використаний об'єм записаної інформації,

$I_{3П}$ - загальний об'єм бортового запам'ятовуючого пристрою апаратури корисного навантаження.

Під електроенергетичним ресурсом розуміють частину ефективної потужності, яка генерується системою енергозабезпечення(СЕЗ) КА, яка виділяється для споживання апаратурою корисного навантаження:

$$N_{KH} = N_3 - \sum_{i=1}^n N_{C3i} ,$$

де N_{KH} - енергоресурс, виділений для використання апаратури корисного навантаження; N_3 - загальна потужність, генерована СЕЗ; $\sum_{i=1}^n N_{C3i}$ - сумарна потужність енергоспоживання систем забезпечення КА;

На даний час при використанні програмно – часового методу управління контроль бортовим комплексом управління телеметричних параметрів значно спрощений і при більшості відмов відбувається переривання виконання КА завдань за призначенням, переведення КА в аварійний режим чи режим обмеженого функціонування, передавання ТМІ на наземний комплекс управління її аналіз, вироблення та прийняття рішень, передавання до бортового комплексу управління команд управління. Очевидно, що оперативність реагування на різноманітні ситуації, автономність функціонування КА в таких випадках досить низька, тому пропонується частину задач аналізу та планування(перепланування) по-

класти на бортовий комплекс управління.

Оскільки процес аналізу є досить складним необхідне чітке розмежування часткових задач аналізу між підсистемами КА, з кінцевою обробкою у бортовому комплексі управління(БКУ), рис. 2.

Тобто на підсистему заспокоєння, орієнтації та стабілізації покладаються задачі оперативного аналізу стану руху центру мас КА та навколо центру мас КА, автономного коригування роботи виконавчих елементів при незначних збуреннях, формування високо пріоритетних переривань при нештатних ситуаціях та видачу поточної вихідної інформації про стан орієнтації(стабілізації) до БКУ. Телеметрична підсистема має виконувати оперативний аналіз стану апаратури та стану ресурсів, формулювання множини нечітких знань та точних оцінок стану систем КА, кількості вільного ресурсу, короточасний прогноз енергобалансу та видачу вихідної інформації до БКУ. Окремою важливою частиною оцінки стану ресурсів і їх вивільнення має бути аналіз якості отриманого знімку району зйомки, зокрема:

- оцінка відсотку хмарності району зйомки, при перевищенні якого знімок відбракується та вивільняється інформаційний ресурс для здійснення інших зйомок;
- відбракування знімків при відмовах у роботі підсистеми орієнтації та стабілізації(зйомка не заявленого району);
- оцінка залишкового інформаційного ресурсу при використанні стиснення інформації, тощо.

Вищевикладене показує, що з'являється досить важлива проблема – необхідна розробка ефективного алгоритму для обробки інформації з підсистем КА бортовим комплексом управління, комплексного її аналізу, а в загальному створення алгоритму функціонування бортового планувальника. По своїй суті алгоритм планувальника статичний, тобто логіка його роботи не міняється з плином часу та зводиться до того, що на виконання вибирається задача з най-

вищим пріоритетом. Але в роботі планувальника існує ряд тонкощів, таких, як розрахунок динамічного пріоритету задачі, критерії оцінки її інтерактивності, тривалості кванту часу і багато іншого зумовленого специфікою конструкції КА та його призначенням. В залежності від задач, які вирішує КА виникає необхідність використання різних підходів до реалізації даних тонкощів.

Ключові моменти роботи планувальника – його

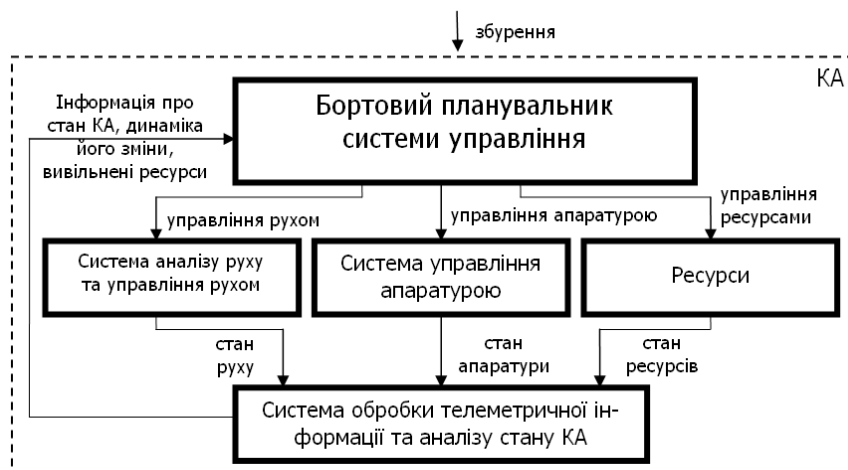


Рис. 2. КА ОЕР, як об'єкт управління при автономному функціонуванні

тонкі настройки необхідно ввести при розробці алгоритму в набір констант, які можуть оперативного змінені та відображають ту чи іншу специфіку роботи планувальника.

Висновки

Проведені дослідження дають можливість впевнено стверджувати що запропоновані підходи до аналізу стану та оцінки обстановки КА спостереження дозволять значно підвищити автономність функціонування КА, оперативність реагування на нештатні ситуації, оптимальніше використання бортових ресурсів КА та перепланування роботи КА при їх вивільненні і, як наслідок, дозволить покращити ефективність функціонування космічної системи в цілому.

Поряд з тим чітко зрозумілими стають напрямки подальших досліджень:

- розробка алгоритму аналізу руху центру мас КА(оцінки достовірності інформації з АСН) бортовими комп'ютерами підсистеми орієнтації та стабілізації;
- розробка алгоритму аналізу стану апаратури та стану ресурсів з використанням динамічних оцінок телеметричних параметрів з використанням апарату нечіткої логіки підсистемою обробки та аналізу телеметричної інформації;
- розробка алгоритму оцінки якості отриманого знімку;
- розробка алгоритму функціонування бортового планувальника КА, та перерозподіл задач виконуваних бортовими та наземними засобами.

Список літератури

1. Загорулько А.Н. Координатно-временной способ управления космическими аппаратами в условиях однопунктной технологии. // Проблемы управления и информатики. Международный научно-технический журнал / А.Н. Загорулько, А.А. Моргунов, В.И. Богомья, В.Н. Мироненко, В.В. Ожгинский. – К.: Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Институт космических

исследований НАН Украины и НКА Украины. – 2007. – № 1. – С. 104-109.

2. Загорулько О.М. Математичне моделювання в системі управління космічними апаратами дистанційного зондування Землі. / О.М. Загорулько, В.В. Ожгинський, Ю.І. Міхеев, В.П. Фриз // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир.: ЖДТУ – 2008. – №2 (45). – С. 127-130.

3. Пат. № 26698 Україна, МПК В64G 1/24. Спосіб динамічної оцінки телеметричного параметра: Пат. № 26698 Україна, МПК В64G 1/24./ О.М. Загорулько, В.В. Ожгинський, О.М. Моргунов, С.В. Козелков (Україна). № 2007 00827; Заявл. 26.01.07; Опубл.10.10.07; Бюл №16. – 6 с.

4. Космические радиотехнические комплексы / Под общ. ред. Г.В. Стогова. – М.: МО СССР, 1986 – 626 с.

5. Застосування космічних систем для забезпечення дій збройних сил: навчальний посібник / За ред. В.І. Каченка – Х.: ХВУ, 2001 – 192 с.

6. Глазов Б.И. Автоматизация управления средствами и частями полигонных и космических комплексов / Б.И. Глазов. – М.: МО СССР, 1988 – 326 с.

7. Моделирование и оценка эффективности применения космических систем: уч. пособие / Под общ. ред. Н.С. Пастушенко, В.П. Деденка. – Х.: ХВУ, 1997 – 278 с.

8. Андреев В.П. Программе та математичне забезпечення обчислювальних засобів АСУ / В.П. Андреев. – ЖВІРЕ, МО України, 1998 – 164 с.

9. Організація системи управління космічними засобами в умовах однопунктної технології / С.Т. Черепков, О.А. Моргунов, О.М. Загорулько, С.Д. Ставицький. – К.: НАОУ, 2005. – 57 с.

10. Рось А.А. Логическое программирование и его применение для моделирования поведения сложных систем. / А.А. Рось // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Сборник научных трудов. Х.: Вища школа. 1987. – С13-21.

11. Агаджанов П.А. Основы радиотелеметрии / П.А. Агаджанов, Б.М. Горшков, Г.Д. Смирнов. – М.: Воениздат, 1971 – 248 с.

12. Степкин В.С. Автоматизированная обработка и анализ телеметрической информации / В.С. Степкин, С.С. Шмыголь. – М.: МО СССР, 1980 – 516 с.

Надійшла до редколегії 25.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральний НДІ навігації і управління, Київ.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТА ОЦЕНКА ОБСТАНОВКИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ КООРДИНАТНО-ЧАСОВОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ

В.В. Ожгинский

В статье предложены подходы к автоматическому анализу состояния КА и его бортового ресурса при применении координатно-часового способа управления, проанализированы проблемы работы бортовых систем КА и определены направления перспективных исследований.

Ключевые слова: способы управления, анализ, состояние, бортовые системы, космический аппарат.

AUTOMATIC ANALYSIS OF THE STATE THAT ESTIMATION OF SITUATION BY SPACE VEHICLES OF SUPERVISION AT XY-SENTINEL METHOD OF MANAGEMENT

В.В. Ozhinskiy

In the article offered approach to the automatic analysis of the state space vehicle and his side resource at application of XY-sentinel method of management, the problems of work of the side systems are analysed space vehicle and certainly directions of long-range researches.

Keywords: management methods, analysis, state, side systems, space vehicle.