

УДК 629. 7.062.2

С.П. Фриз

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Житомир

МЕТОД ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ДЕТАЛЬНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАДАНИХ ОБ'ЄКТІВ У СУПУТНИКОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Запропоновано метод формування раціональних маршрутів детальних спостережень заданих об'єктів. Він дозволяє завчасно розділити задану множину наземних об'єктів (НО) на об'єктивно придатні і об'єктивно непридатні для спостереження. В основу методу покладено ряд формалізованих типових стратегій, які дозволяють сформувати раціональні маршрути обслуговування множини НО в межах смуги захоплення.

Ключові слова: супутникова інформаційно-телекомунікаційна система, планування знімання, траса космічного апарату, смуга огляду, смуга захоплення.

Вступ

Постановка проблеми. В Україні відповідно до Загальнодержавної (Національної) космічної програми на 2013–2017 роки передбачене провадження космічної діяльності щодо забезпечення розвитку космічних технологій та їх інтеграції до реального сектору національної економіки і сфери національної безпеки та оборони з таких напрямків, як здійснення дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) із космосу та удосконалення космічних систем телекомунікації та навігації та інших космічних інформаційних систем (КІС) [1, 2]. Будь-яка КІС поєднує в собі інформаційну та телекомунікаційну підсистеми, які у процесі отримання та обробки інформації діють як єдине ціле. З огляду на це КІС фактично являє собою супутникову інформаційно-телекомунікаційну систему (ІТКС).

Тенденція створення сучасних космічних систем (КС) ДЗЗ полягає в тому, що в них планується використовувати бортову цільову апаратуру (БЦА) оптико-електронного спостереження (ОЕСп) з вузьким миттєвим полем зору [3 – 5]. Цим досягається прийнятна якість одержання або передачі цільової інформації (ЦІ), однак, обмежуються розміри та кількість обслуговуваних ділянок Землі, окремих НО, тобто знижуються об'єми ЦІ. Через це передбачають режим програмного *перенацілювання* КА з одного об'єкта на інший у межах смуги захоплення [6]. Але, оскільки в цій смузі може знаходитися велика кількість різних за важливістю НО, виникає **актуальне завдання** вибору раціональних маршрутів обслуговування (спостереження) цих НО.

Під *маршрутом обслуговування* НО розуміємо *траєкторію руху* проекції зони огляду КА на земну поверхню, тобто його смугу огляду, яка в загальному випадку може не збігатися з трасою КА за рахунок відхилення візирної осі БЦА від надира.

В ряді випадків під маршрутом обслуговування НО достатньо розуміти траєкторію руху *точки візування* (ТВ) земної поверхні, як точки перетину Землі візирної віссю БЦА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій
Процес перенацілювання БЦА здійснюють за рахунок *некерованого* орбітального й *керованого* кутового руху КА. При цьому керування кутовим рухом реалізують за допомогою бортових систем орієнтації та стабілізації (СОС), що мають *обмежений ресурс* і відносно *невеликі швидкості* (одиниці градусів за секунду) переорієнтації КА [5, 6]. Крім того, при таких обмеженнях СОС може знадобитися обслужити на одному витку *кілька* НО, розташованих у смузі захоплення КА. Однак через близьке взаємне розташування цих об'єктів уздовж траси та значні віддалі поперек траси може виникати дефіцит часу на їх обслуговування, що призведе або до пропуску окремих НО, або до помилкового обслуговування та марної витрати бортового ресурсу. У таких умовах доцільно поставити завдання на обслуговування *максимальної* кількості найбільш *важливих* об'єктів.

У зв'язку з цим виникає потреба в організації такого маршруту (траси) візирної осі БЦА, щоб якнайкраще у деякому сенсі задовольнити максимум заявок споживачів ЦІ. Інакше кажучи, необхідно розробити стратегію *раціонального* (в ідеалі – оптимального) обслуговування НО. Для вирішення такого завдання необхідно синтезувати геометричну модель переміщення поля зору КА на задані НО, а потім розробити відповідні критерії та показники, а також правило прийняття рішень.

Постановка завдання. Необхідно розробити методику за допомогою якої можливо частково вирішити проблему організації раціонального обслуговування заданої кількості НО поодиноким КА за рахунок комплексного використання його поступального й обертового рухів.

Виклад основного матеріалу

Процес перенацілювання БЦА здійснюють за рахунок *некерованого* орбітального й *керованого* кутового руху КА. При цьому керування кутовим рухом реалізують за допомогою бортових систем орієнтації та стабілізації (СОС), що мають *обмежений ресурс* і відносно *невеликі швидкості* (одиниці градусів за секунду) переорієнтації КА [5, 6].

Крім того, при таких обмеженнях СОС може знадобитися обслужити на одному витку *кілька* НО, розташованих у смузі захоплення КА. Однак через близьке взаємне розташування цих об'єктів уздовж траси та значні віддалі поперек траси може виникати дефіцит часу на їх обслуговування, що призведе або до пропуску окремих НО, або до помилкового обслуговування та марної витрати бортового ресурсу. У таких умовах доцільно поставити завдання на обслуговування *максимальної* кількості найбільш *важливих* об'єктів. У зв'язку з цим виникає потреба в організації такого маршруту (траси) візирної осі БЦА, щоб якнайкраще у деякому сенсі задовольнити максимум заявок споживачів ЦІ. Інакше кажучи, необхідно розробити стратегію *раціонального* (в ідеалі – оптимального) обслуговування НО. Для вирішення такого завдання необхідно синтезувати геометричну модель переміщення поля зору КА на задані НО, а потім розробити відповідні критерії та показники, а також правило прийняття рішень.

Розглянемо спрощену модель переорієнтації КА. Вважатимемо, що спостереження за НО проводять на коротких часових інтервалах і при невеликих відхиленнях візирної осі БЦА від надира. У такому разі можна нехтувати добовим обертанням Землі та її сферичністю.

Приймемо, що керування кутовим рухом КА здійснюють тільки за двома каналами СОС (за креном η і тангажем ϑ). У такому разі рухома точка перетину візирної осі БЦА з поверхнею Землі – точка візування (ТВ) – рухаючись певним маршрутом, утворюватиме *трасу візирної осі*, яка в межах смуги захоплення відхилятиметься від траси КА (рис. 1, а).

При обслуговуванні двох НО в ситуації, зображеній на рис. 1, б, маршрут ТВ можна виразити через суму векторів її орбітального і кутового, $\bar{S}_{1,2'}(R)$ та $\bar{S}_{2',2}(\eta)$, переміщень:

$$\bar{S}_{1,2}(\Sigma) = \bar{S}_{1,2'}(R) + \bar{S}_{2',2}(\eta). \quad (1)$$

При обслуговуванні двох НО в ситуації, зображеній на рис. 1, в, маршрут ТВ можна за аналогією описати як

$$\bar{S}_{1,2}(\Sigma) = \bar{S}_{1,2'}(R) + \bar{S}_{2',2}(\eta), \quad (2)$$

$$\bar{S}_{2',2}(\psi) = \bar{S}_{2',2''}(\vartheta) + \bar{S}_{2''2}(\eta), \quad (3)$$

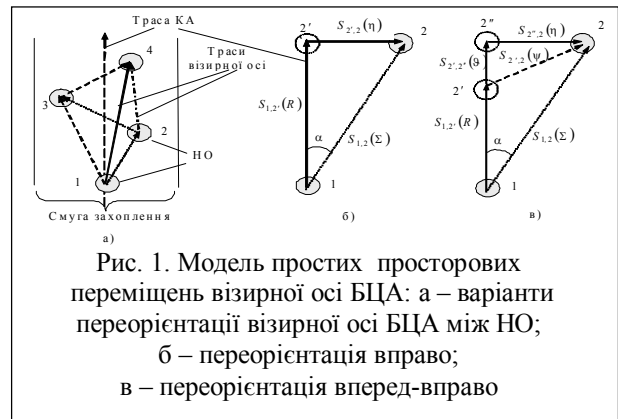


Рис. 1. Модель простих просторових переміщень візирної осі БЦА: а – варіанти переорієнтації візирної осі БЦА між НО; б – переорієнтація вправо; в – переорієнтація вперед-вправо

Далі для спрощення записів, де це прийнятно, цифрові праві нижні індекси замінитимемо за принципом $S_{1,2'}(R) = S_*(R)$.

Особливістю вектора орбітального переміщення $\bar{S}_*(R)$ є те, що в даному випадку він є *некерованим*. Його модуль можна визначити так [8, 9]:

$$S_*(R) \approx V_{пт} \tau_*^R, \quad (4)$$

де $V_{пт} = V \frac{R_3}{R_3 + H}$ – лінійна швидкість підсупутникової точки (ПТ); $V = \sqrt{\mu_0 / (R_3 + H)}$ – лінійна швидкість КА; $\mu_0 = 3,98602 \text{ км}^3 / \text{с}^2$ – гравітаційний параметр Землі; $R_3 = 6371 \text{ км}$ – середній радіус Землі; H – висота орбіти; $\tau_*^R = t_2^R - t_1^R$ – інтервал часу орбітального польоту КА від НО 1 до зображення (проекції на трасу) 2' НО 2 (рис. 1, б); t_2^R і t_1^R – моменти обслуговування НО 2' і 1.

Складові вектора кутового переміщення ТВ (3) визначають за висотою орбіти H і кутовою швидкістю КА за креном $\dot{\eta}(t)$ або тангажем $\dot{\vartheta}(t)$. Якщо прийняти $\dot{\eta}(t) = \dot{\eta} = const$, $\dot{\vartheta}(t) = \dot{\vartheta} = const$, що часто застосовують на практиці, то

$$S_*(\vartheta) \approx W_\vartheta \tau_*^\vartheta; \quad (5)$$

$$S_*(\eta) \approx W_\eta \tau_*^\eta, \quad (6)$$

$$W_\eta \approx H \dot{\eta}; \quad (7)$$

де $W_\vartheta \approx H \dot{\vartheta}$ –

лінійні швидкості руху ТВ на Землі в площині крену і тангажа відповідно (рис. 2, а); $\tau_*^\eta = t_2^\eta - t_1^\eta$ – інтервал часу переорієнтації з об'єкта 2'' на об'єкт 2 за креном; $\tau_*^\vartheta = t_2^\vartheta - t_1^\vartheta$ – інтервал часу переорієнтації з об'єкта 2' на об'єкт 2'' за тангажем.

Якщо для узагальнення ввести кінцевий t_k^* та початковий t_0^* моменти відповідних часових інтервалів, то можна подати розглянуті ситуації так, як показано на рис. 2, б. У такому разі зауважимо:

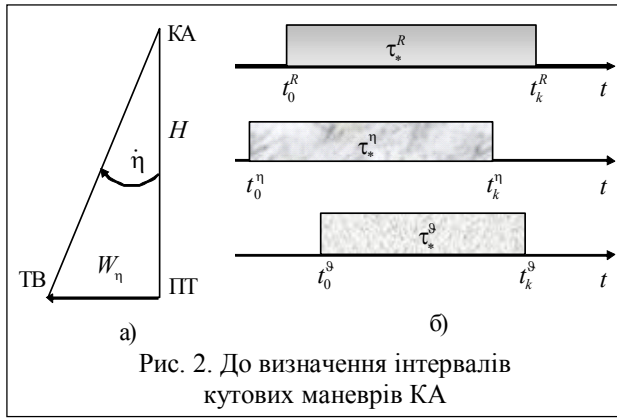


Рис. 2. До визначення інтервалів кутових маневрів КА

а) на модуль вектора $\bar{S}_*(R)$ можна впливати лише через вибір моментів початку t_0^R і кінця t_k^R відліку інтервалу часу τ_*^R ;

б) на модулі векторів $S_*(g)$ та $S_*(\eta)$ можна впливати як через вибір моментів початку t_0^* і кінця t_k^* відліку інтервалів часу τ_*^g та τ_*^η , так і через вибір відповідних швидкостей переорієнтації КА (7) і (8);

в) залежно від величини і взаємного розташування відповідних часових інтервалів (див. рис. 2б) можливі такі варіанти кутових маневрів КА:

якщо $(\tau_*^\eta = \tau_*^R) \wedge (\tau_*^\eta \in \tau_*^R) = 1$, то керування за тангажем не потрібне;

якщо $(\tau_*^\eta < \tau_*^R) \vee [(t_0^\eta < t_0^R) \wedge (\tau_*^\eta = \tau_*^R)] = 1$, то потрібне керування за тангажем “вперед”;

якщо $(\tau_*^\eta > \tau_*^R) \vee [(t_0^\eta > t_0^R) \wedge (\tau_*^\eta = \tau_*^R)] = 1$, то потрібне керування за тангажем “назад”.

Використовуючи вирази (2)...(8), можна обчислювати модуль результуючого вектора (1), а також кут його орієнтації відносно траси польоту КА – **трасовий кут** α (рис. 1, б, в), який однозначно визначає стратегію перенацілювання візирної осі БЦА з об’єкта 1 на об’єкт 2.

Приклади типових стратегій перенацілювання:

Стратегія 1. Перенацілювання вправо (рис. 1, б). Модуль результуючого вектора перенацілювання можна записати (індекси опущені) як

$$S(\Sigma) = \sqrt{[S(R)]^2 + [S(\eta)]^2}, \quad (9)$$

а його орієнтацію задати трасовим кутом

$$\alpha = \arctg\{S(\eta)/[S(R)]\}.$$

Стратегія 2. Перенацілювання вправо-вперед (рис. 1, в). Модуль результуючого вектора перенацілювання визначається як

$$S(\Sigma) = \sqrt{S^2(R) + S^2(\psi) + 2S(R)S(g)}; \quad (10)$$

$$S^2(\psi) = S^2(g) + S^2(\eta), \quad (11)$$

а його орієнтація – через трасовий кут

$$\alpha = \arctg\{S(\eta)/[S(R) + S(g)]\}. \quad (12)$$

Стратегія 3. Перенацілювання вправо-назад (рис. 3, а). Відповідні параметри можна визначити:

$$S(\Sigma) = \sqrt{S^2(R) + S^2(\Psi) - 2S(R)S(g)} \quad (13)$$

$$\alpha = \arctg\{S(\eta)/[S(R) - S(g)]\} \quad (14)$$

Стратегія 4. Перенацілювання вліво-вправо-вперед (рис. 3, б). Це одна із складних стратегій, коли необхідно в темпі орбітального польоту встигнути навести поле зору на об’єкт 2 ліворуч, а потім переорієнтуватися на об’єкт 3 праворуч від траси польоту КА.

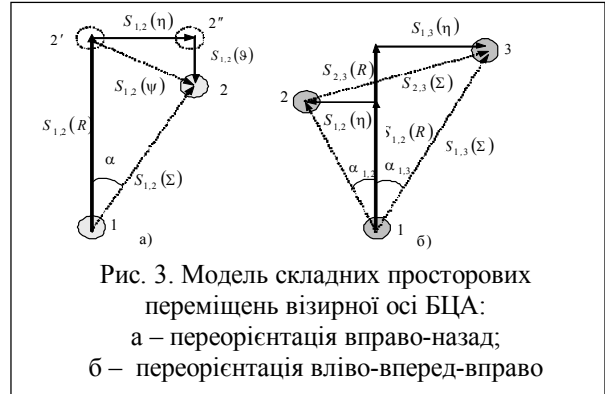


Рис. 3. Модель складних просторових переміщень візирної осі БЦА:
а – переорієнтація вправо-назад;
б – переорієнтація вліво-вперед-вправо

Як видно із рис. 3, б, відповідні параметри для стратегії 4 можна визначити в такій спосіб:

$$S_{1,2}(\Sigma) = \sqrt{S_{1,2}^2(R) + S_{1,2}^2(\eta)}; \quad (15)$$

$$\alpha_{1,2} = \arctg [S_{1,2}(\eta)/S_{1,2}(R)]; \quad (16)$$

$$S_{2,3}(\Sigma) = \sqrt{S_{2,3}^2(R) + [S_{1,2}(\eta) + S_{1,3}(\eta)]^2}; \quad (17)$$

$$\alpha_{2,3} = \alpha_{1,2} + \alpha_{1,3}; \quad (18)$$

$$S_{1,3}(\Sigma) = \sqrt{[S_{1,2}(R) + S_{2,3}(R)]^2 + S_{1,3}^2(\eta)}; \quad (19)$$

$$\alpha_{1,3} = \arctg\{S_{1,3}(\eta)/[S_{1,2}(R) + S_{2,3}(R)]\}. \quad (20)$$

Наведений перелік стратегій не є вичерпним, а лише є прикладом технології визначення інших можливих стратегій. Як видно із отриманих залежностей (1)...(20), для колових і майже колових орбіт успішність процедури перенацілювання поля зору КА з одного НО на інший залежить від взаємного розташування цих об’єктів, їх координат відносно траси, а також від швидкодії та ресурсу СОС.

Рациональні маршрути обслуговування об’єктів. Розроблені моделі дозволяють сформулювати рациональні маршрути обслуговування НО. Для цього необхідно побудувати потенційно можливі маршрути, а потім вибрати із них рациональні.

Кількість *потенційно можливих* маршрутів залежить від кількості заданих НО, а також від їх взаємного розташування і може виявитися непомірно великою. Тому для спрощення завдання необхідно ввести ряд *обмежень і уточнень*, а саме:

1. Нумерацію об’єктів у смузі захоплення здійснювати за певними правилами, наприклад, *зліва на-*

право по ходу руху КА (див. рис. 1а), причому поряд зі звичайною нумерацією 1, 2, ... застосовуватиме, коли це необхідно, також імена НО, наприклад, $p_1, p_2 \dots p_g, \dots p_f, \dots$. У цьому випадку можна реалізувати такі маршрути, коли НО з меншими номерами обслуговуються не пізніше НО з більшими.

2. Будь-який маршрут повинен починатися з одного і того ж НО, наприклад, з НО p_1 (рис. 4а). Це означає, що НО p_1 вважається уже обслугованим і далі необхідно побудувати маршрут обслуговування решти НО.

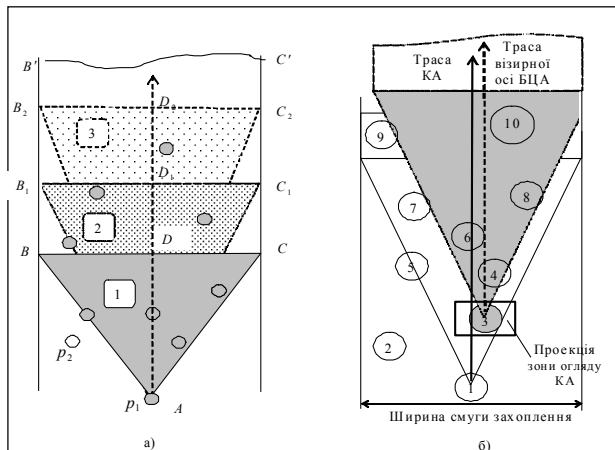


Рис. 4. До поняття миттєвої зони обслуговування та вибору маршрутів:
а – миттєві смуги обслуговування;

1 – потенційна; 2 – раціональна; 3 – допустима;
б – до вибору маршрутів обслуговування

3. Керування кутовим рухом КА здійснюють тільки за креном η . Тоді стають неприйнятними маршрути, де потрібно “озиратися”, тобто відпадає стратегія типу вправо-назад (див. рис. 3а).

4. Із декількох НО, розташованих на одній лінії перпендикулярно до траси КА, планують до обслуговування тільки один НО.

Далі необхідно:

а) розбити множину заданих НО на дві неперетинні підмножини: об'єктивно *придатні* для обслуговування (ОПО) $p^+ = \{p_f^+\}, f = \overline{1, F^+}$ та об'єктивно *непридатні* (ОНО) $p^- = \{p_f^-\}, f = \overline{1, F^-}$ об'єкти;

б) розробити множину *допустимих маршрутів* \mathfrak{R}_μ^d обслуговування ОПО об'єктів;

в) із цієї множини вибрати раціональні (переважні, квазіоптимальні, оптимальні) маршрути \mathfrak{R}_μ^p .

Для розбивання множини заданих НО на підмножини ОПО й ОНО введемо поняття *миттєвої смуги обслуговування* (МСО), яка є частиною смуги захоплення у формі рівнобедреного трикутника ΔABC (рис. 4а), що переходить далі в прямокутник з нескінченно віддаленою стороною $B'C'$.

Така смуга рухається на плоскій поверхні Землі трасою візирної осі БЦА зі швидкістю ПТ. Вершина A трикутника ΔABC тимчасово розташовується в центрі першого із запланованих до обслуговування НО (об'єкт p_1 на рис. 4а), а бісектриса цього кута – паралельно трасі польоту КА.

Висоту AD трикутника однозначно визначають за шириною смуги захоплення КА, кутовою швидкістю $\dot{\eta}$ і максимальним часом програмних розворотів КА за креном $t^{np} = \tau_{\max}^\eta$, тобто часом досягнення візирною віссю БЦА максимального кутового положення $\eta = \eta_{\max}$ (межі смуги захоплення) у сталому режимі. Оскільки ширина смуги захоплення КА і його кутова швидкість прийняті постійними, то висота AD трикутника залежить тільки від часу t^{np} , на який можна тим чи іншим чином впливати. Об'єкти, що потрапили в МСО, віднесемо до ОПО об'єктів, а решту (наприклад, об'єкт p_2 на рис. 4, а) – до категорії ОНО.

Далі необхідно розташувати вершину A в центрі чергового за номером ОПО об'єкта (об'єкт 3 на рис. 3б) паралельно трасі КА та визначити наступну підмножину ОПО об'єктів тощо.

Для автоматизації розрахунків необхідно перейти від геометричної моделі МСО до аналітичної. Для цього можна скористатися таким підходом.

Визначальним параметром ΔABC є кут α_{\max} при вершині A , який можна розрахувати для кута $\eta = \eta_{\max}$ за аналогією із формулами (4)...(10) як

$$\alpha_{\max} = \arctg [S_{\max}(\eta) / S_{\max}(R)] \quad (21)$$

$$S_{\max}(\eta) = H \eta_{\max} = W_\eta \tau_{\max}^\eta; \quad (22)$$

$$S_{\max}(R) = V_{nm} \tau_{\max}^\eta. \quad (23)$$

Із виразів (21)...(23) видно, що кут α_{\max} визначають тільки за співвідношенням лінійних швидкостей ТВ у площині крену W_η та ПТ V_{nm} , тобто динамікою візирної осі БЦА:

$$\alpha_{\max} = \arctg [W_\eta / V_{nm}]. \quad (24)$$

Як впливає із формули (24), кут α_{\max} , а отже, і МСО можна збільшити при фіксованих параметрах орбіти тільки за рахунок збільшення кутової швидкості КА за креном, чого можна досягти через додаткові енерговитрати або удосконалення СОС.

Застосовуючи отримані вирази для визначення кутових положень окремих НО p_g і p_f , можна розрахувати відповідні *трасові кути*

$$\alpha_{g,f} = \arctg [\alpha_{\max} \tau_{g,f}^\eta / \tau_{g,f}^R]. \quad (25)$$

Порівнюючи трасові кути окремих НО (25) з максимальним кутом (24), можна віднести об'єкти до ОПО або ОНО категорій за правилом:

$$\mathfrak{R}_\mu = \begin{cases} p^+, & \text{якщо } |\alpha_{g,f}| < \alpha_{\max}; \\ p^0, & \text{якщо } \alpha_{g,f} = \alpha_{\max}; \\ p^-, & \text{якщо } |\alpha_{g,f}| > \alpha_{\max}, \end{cases} \quad (26)$$

де p^0 – підмножина не визначених з погляду можливостей обслуговування НО, розташованих на межі розділу (наприклад, на лініях AB і AB' на рис. 4, а). Для розробки множини допустимих маршрутів обслуговування ОПО об'єктів можна скористатися методом прямого перебору та задати їх послідовністю, упорядкованою за ходом руху КА, у вигляді

$$\mathfrak{R}_\mu^+ = \{p_1, \dots, p_g, \dots, p_f, \dots\}, \quad \mu = 1, 2, \dots \quad (27)$$

Наприклад, для ситуацій, наведених на рис. 4, б, можна сформуванати таку множину допустимих маршрутів:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1^+ &= \{p_1, p_3\}; \quad \mathfrak{R}_2^+ = \{p_1, p_3, p_4\}; \\ \mathfrak{R}_3^+ &= \{p_1, p_3, p_4, p_8\}; \\ \mathfrak{R}_4^+ &= \{p_1, p_3, p_6, p_7\}. \end{aligned} \quad (28)$$

У цьому прикладі всі маршрути починаються з одного і того ж НО, а всі НО розташовані послідовно в порядку зростання їх номерів. Це дозволяє суттєво спростити евристичну процедуру формування множини прийнятних маршрутів.

У подальшому планується розробити науково-методичний апарат для автоматизованого формування раціональних маршрутів обслуговування НО на основі оптимізаційних процедур.

Висновки

1. Для формування раціональних маршрутів обслуговування НО в задачах космічних спостережень запропоновано спрощену модель переорієнтації поля зору БЦА на задані НО в межах зони захоплення КА з урахуванням його орбітального та кутового руху. Основу цієї моделі становлять аналітичні залежності, що параметрами векторів лінійних переміщень ТВ на обмежених часових інтервалах.

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДЕТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗАДАНЫХ ОБЪЕКТОВ В СПУТНИКОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

С.П. Фриз

Предложен метод формирования рациональных маршрутов детальных наблюдений заданных объектов. Он позволяет заблаговременно разделить заданное множество наземных объектов на объективно пригодные и объективно непригодные для наблюдения. В основу метода положен ряд формализованных типовых стратегий, которые позволяют формировать рациональные маршруты обслуживания множества наземных объектов в пределах полосы захвата.

Ключевые слова: спутниковая информационно-телекоммуникационная система, планирование съемки, трасса космического аппарата, полоса обзора, полоса захвата.

METHOD OF FORMING RATIONAL SERVICE ROUTES OF DETAIL OBSERVATION THE ASSETS IN SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

S.P. Fryz

A method of forming rational routes detailed observations of the assets. It allows you to share advance given set of ground objects to objectively suitable and unsuitable for objective observation. The method laid typical number of formal strategies that enable service routes form a rational set of ground objects within the band capture.

Keywords: satellite information-telecommunication system planning removal track spacecraft Swath strip delight.

2. Для прийняття рішень щодо можливості або неможливості обслуговування (спостереження) заданих НО введено поняття МСО. На основі аналізу поточних ситуацій з використанням моделі (шаблону) МСО можна розбити множину заданих НО на дві неперетинні підмножини: ОПО і ОНО об'єкти, а далі планувати маршрути спостереження тільки першої категорії НО, тобто раціонально розподіляти обмежені можливості орбітальних засобів супутникової ІТКС.

Список літератури

1. *Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки, затверджена Законом України від 5 вересня 2013 року № 439-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>.*
2. *Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. № 238-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>.*
3. *Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення. Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку / О.О. Негода, В.Б. Толубко, С.П. Мосов, М.Ф. Пічугін. – К.: НАОУ, 2005. – 271 с.*
4. *Дистанционное зондирование Земли из космоса: получение и использование информации: монография / Е.И. Бушуев, В.И. Волошин, Е.И. Капустин и др.; под общ. ред. С.П. Мосова. – Дн-ск: Стилус, 2012. – 320 с.*
5. *Фриз С. П. Технология моделирования кутового руху космічних апаратів спостереження Землі / С. П. Фриз // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2013. – № 1(10). – С. 209–213.*
7. *Фриз С.П. Систематизований математичний апарат для розрахунків розмірів контрольованих ділянок земної поверхні в задачах космічних спостережень кінцевою зоною огляду при її відворотах від надира за креном / С.П. Фриз // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2013 – Вип. № 1 (64). – С. 100–109.*

Надійшла до редколегії 28.01.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.