

УДК 629:78

О.О. Білобородов¹, Г.В. Рибалка²¹Національний університет оборони України, Київ²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У статті наведені результати досліджень процесу застосування космічних систем дистанційного зондування Землі при виконанні завдань зйомки площинних об'єктів. Запропоновані напрямки підвищення оперативності зйомки при обмеженні показника просторової повноти за рахунок застосування еволюційного методу стохастичної оптимізації.

Ключові слова: застосування космічних систем дистанційного зондування Землі, оцінювання просторово-часових можливостей.

Вступ

Розвиток технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в останні десятиліття призвів до поширення кола завдань, що вирішуються на основі використання матеріалів космічної зйомки: екологія, сільське та лісове господарство, архітектура та будівництво, проекти розвитку інфраструктури, оцінювання негативного впливу антропогенних факторів, прогноз наслідків техногенних аварій тощо. В Україні розвиток космічних технологій знайшов відображення в планах розвитку космічної галузі, нормативно-правових документах, міжнародних програмах співробітництва та міжнародних комерційних проектах [1 – 3]. Характер орбітального руху та технічні характеристики знімальної апаратури визначають особливості процесу виконання завдань, що полягають у можливостях ведення зйомки в межах смуги захоплення маневром кута відхилення оптичної осі знімальної апаратури (діапазон часу затримки для систем радіолокаційного спостереження). При цьому, при оцінюванні просторово-часових можливостей систем існує невизначеність положення смуги огляду в межах смуги захоплення, що визначає актуальність дослідження питань визначення потенційних можливостей космічних систем щодо оперативного забезпечення необхідного обсягу даних.

Дослідженню процесів оцінювання ефективності застосування систем ДЗЗ присвячено широке коло публікацій [4 – 9]. Результати досліджень стосуються переважно невеликих (порівняно з шириною смуги огляду) об'єктів. Вказується також і на необхідність розглядати показник просторової повноти [9], але напрямків забезпечення необхідного інтегрального значення просторового показника не запропоновано. Крім того, недостатньо уваги приділялось оцінюванню сукупних можливостей систем ДЗЗ з різними орбітальними параметрами та характеристиками знімальної апаратури.

Виходячи з цього, метою статті було визначено обґрунтування методу оцінювання просторово-часових можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі при виконанні завдань зйомки районів, розміри яких перевищують ширину смуги огляду знімальної апаратури.

Основний матеріал

Значення оперативності та просторової повноти зйомки заданих районів оцінюється шляхом визначення модельного часу послідовного додавання смуг захоплення, що перетинають задані райони. Зазначений підхід не дозволяє забезпечити максимізацію показника просторової повноти при обмеженому часі та не дозволяє здійснювати оперативну зйомку заданих районів із необхідним ступенем повноти. Використання показника просторової повноти для кожного окремого сеансу зйомки максимізує просторову повноту для окремих сеансів зйомки, але не дозволяє визначити максимальні можливості для декількох сеансів на заданому інтервалі. З рис. 1 можна переконатись в багатоекстремальному характері функції просторової повноти для послідовної зйомки залежно від варіантів застосування знімальної апаратури навіть для одного космічного апарата (КА). Для різномірної апаратури залежність просторової повноти від варіанту застосування не дозволяє знайти навіть евристичні оцінки сукупних можливостей систем ДЗЗ.

Таким чином, функція просторової повноти характеризується багатоекстремальністю, відсутністю або неявним градієнтом при збільшенні інтервалу моделювання, залежністю значень від попередніх варіантів застосування. Достовірне значення та положення екстремуму таких функцій дозволяє отримати метод повного перебору. Але розмірність такої задачі при збільшенні інтервалу моделювання не дозволяє розглядати цей метод для вирішення практичних задач оптимізації.

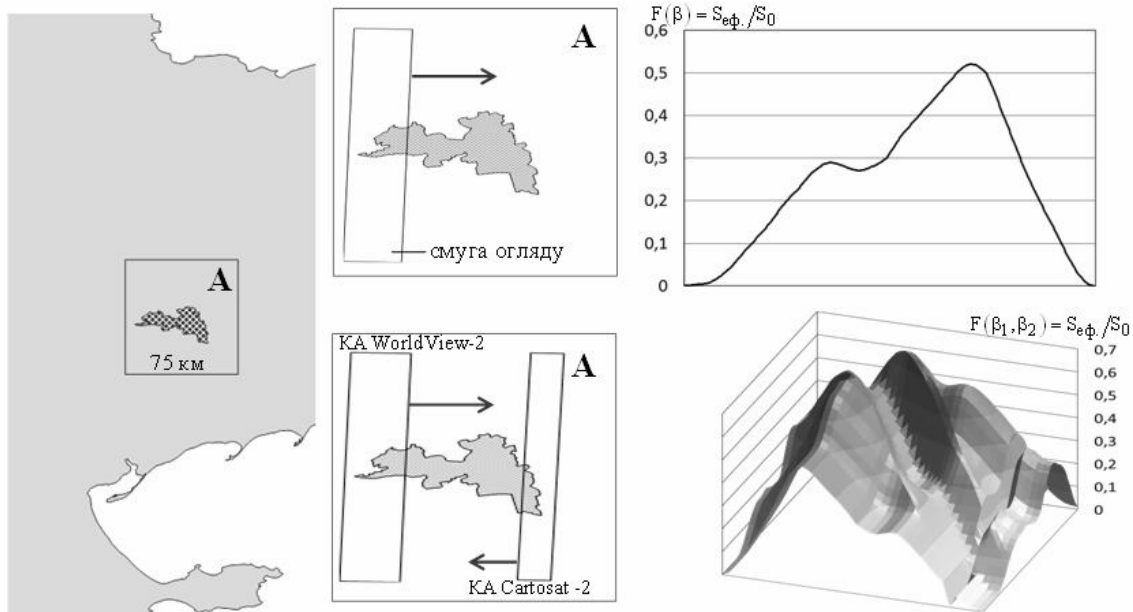


Рис. 1. Реалізація послідовної стратегії оцінювання просторових можливостей залежно від кута відхилення оптичної осі β для одного та двох сеансів знімання: моделювання контролю стану рослинності в районі сіву зернових (Запорізька обл., Україна, КА WorldView-2, Cartosat-2):
 $S_{\text{эф}}$ – ефективна площа зйомки, S_0 – загальна площа заданого району

В останні роки для рішення такого класу задач широко застосовуються еволюційні стохастичні алгоритми [10 – 15]. Враховуючи визначені властивості функції просторової повноти та неможливість обчислення градієнта, в якості методу оптимізації було обрано алгоритм рою часток PSO (Particle Swarm Optimization). Метод використовує віртуальний рій часток, кожна з яких являє собою можливе рішення задачі оптимізації. Розглянемо можливість реалізації обраного методу для вирішення задачі оцінювання максимальних просторово-часових можливостей космічної системи ДЗЗ.

Введемо наступні позначення:

інтервал моделювання (обмеження часу або вимога до оперативності): $T = (t_0, t_{\text{max}})$;

діапазон кутів відхилення оптичної осі, що забезпечують попадання смуги захоплення в заданий район Ψ ($\Psi = [\beta_-, \beta_+]$), рис. 2);

полігон, що визначає заданий район, описується вершинами в обраній системі координат: Λ^P ($\Lambda^P = ABCD$, рис. 2);

смуга огляду на інтервалі можливої зйомки при заданому куті відхилення оптичної осі β : $\Lambda^Z(\beta)$ ($\Lambda^Z(\beta) = KLMN$, рис. 2);

частина району, що може бути знята при заданому куті відхилення оптичної осі: $\Lambda(\beta)$ ($\Lambda(\beta^-) = \Lambda^P \cap \Lambda^Z(\beta^-) = EFBGH$, рис. 2);

площа певного полігону: $S(\Lambda)$;

інтервал можливої зйомки $\theta = (t^{\text{вх.}}, t^{\text{вих.}})$, який

визначається перетином переднього краю смуги захоплення заданого району.

При дослідженні просторово-часових можливостей протягом певного часу моделювання додається нижній індекс i , що відповідає порядковому номеру інтервалу зйомки.

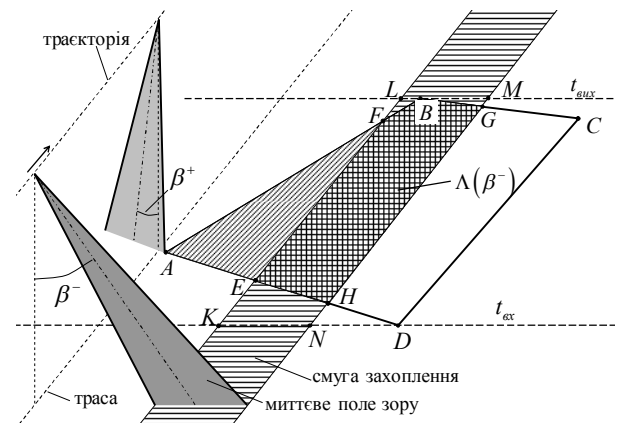


Рис. 2. Пояснення процесу знімання КА ДЗЗ

Задача оцінювання просторово-часових можливостей може формулюватись двома способами: 1) знайти мінімальний час, що забезпечує зйомку певної частки заданого району; 2) знайти максимальні просторові можливості зйомки заданого району до визначеного часу. Відмінність алгоритму буде полягати у тому, що для вирішення задач першого типу для кожного наступного інтервалу зйомки за оцінками максимальної просторової повноти приймається рішення про забезпечення вимог повноти та припинення подальших обчислень. Для вирішення задач другого типу оцінювання здійснюється з урахуванням всіх інтервалів зйомки до заданого часу.

Оцінювання просторово-часових можливостей будемо здійснювати через вирішення оптимізаційної однокритеріальної задачі: максимум функції просторової повноти при обмеженні часу. Нехай на інтервалі моделювання T можна здійснити I спостережень. Задача оптимізації буде полягати у визначенні такого вектору $V^* = \|\beta^{*(1)}, \beta^{*(2)}, \dots, \beta^{*(I)}\|$, значення кутів відхилення оптичної осі знімальної апаратури якого забезпечують максимум цільової функції:

$$F(V) = \frac{1}{S(\Lambda_p)} S\left[\Lambda_1(\beta^{(1)}) \cup \Lambda_2(\beta^{(2)}) \cup \dots \cup \Lambda_I(\beta^{(I)})\right] = \frac{1}{S(\Lambda_p)} \cdot S\left[\bigcup_{i=1}^I \Lambda_i(\beta^{(i)})\right] \rightarrow \max.$$

На підготовчому етапі методики готуються початкові дані:

матриця інтервалів можливої зйомки

$$\Phi = \begin{pmatrix} t_1^{BX} & t_2^{BX} & t_1^{BX} \\ t_1^{Вих} & t_2^{Вих} & t_1^{Вих} \end{pmatrix};$$

область допустимих значень кутів відхилення для кожного інтервалу Ψ_i .

Обчислення поля зору знімальної апаратури географічним типом даних дозволяє вирішити практичну задачу визначення площі перетину смуг захоплення із заданим районом з використанням існуючого програмно-математичного забезпечення географічних інформаційних систем або систем управління базами даних шляхом використання функцій обчислення перетину полігонів [16 – 18] (ESRI.ArcGIS.AnalysisTools.Intersect інтерфейсу Geoprocessor ArcGIS або Microsoft. SqlServer.Types.STIntersection в SQL Express). В якості критерію зупинки обраного методу оптимізації пропонується вибрати задану кількість ітерацій, що не дають покращення шуканого значення максимуму цільової функції.

Основний етап методики. Для практичної реалізації обраного методу оптимізації вибираємо кількість часток в рої Q . Кожній частці відповідає координата V_q в просторі рішень та швидкість v_q . Нехай p_q – краще положення q -ї частки, а g – найкращий відомий стан рою в цілому. Тоді загальний вигляд методу рою часток наступний:

Для кожної частки $q = \overline{1, Q}$:

1. Згенерувати початкове положення за допомогою випадкового вектору:

$$V_q = \left(\text{rnd}[\beta^-(\theta_1), \beta^+(\theta_1)], \text{rnd}[\beta^-(\theta_2), \beta^+(\theta_2)], \dots \right),$$

що має багатомірний рівномірний розподіл.

2. Присвоїти найкращому відомому положенню частки його початкове значення: $p_q \leftarrow V_q$.

3. Якщо $F(p_q) < F(g)$, то оновити найкращий відомий стан рою: $g \leftarrow p_q$.

4. Присвоїти значення швидкості частки:

$$v_{q,t+1} = \alpha v_{q,t} + U[0, \varphi_1] \otimes (V_{q,t}^* - V_{q,t}) + U[0, \varphi_2] \otimes (V_{g,t} - V_{q,t}).$$

Поки не виконаний критерій зупинки, повторювати для кожної частки $q = \overline{1, Q}$:

1. Згенерувати випадкові вектори $r_p, r_g \sim U(0, 1)$.

2. Оновити швидкість частки: $v_q \leftarrow \omega v_q + \phi_p r_p \times (p_q - x_q) + \phi_g r_g (g - x_q)$, де операція \times означає покомпонентний добуток.

3. Оновити положення частки перенесенням V_q на вектор швидкості: $V_q \leftarrow V_q + v_q$. Цей крок виконується незалежно від покращення значення цільової функції.

4. Якщо $F(V_q) < F(p_q)$, то:

4.1 Оновити найкраще відоме значення положення частки: $p_q \leftarrow V_q$.

4.2 Якщо $F(V_q) < F(g)$, то оновити найкращий відомий стан рою в цілому: $g \leftarrow p_q$.

На виході g буде утримувати найкраще із знайдених рішень. Параметр ω – коефіцієнт інерції, ϕ_p, ϕ_g – вагові коефіцієнти, які необхідно підбирати.

На прикладі дослідження процесу оцінювання стану рослинності за результатами ДЗЗ було проведено перевірку удосконаленої методики (рис. 3).

Результати моделювання свідчать про підвищення показника оперативності при заданій просторовій повноті, що еквівалентно підвищенню показника просторової повноти при обмеженнях часу.

На основі отриманих оцінок просторово-часових можливостей космічних систем ДЗЗ в наземному комплексі управління можна обґрунтувати вибір режимів роботи знімальної апаратури, що будуть покладені в основу програми її роботи при виконанні завдань зйомки площинних об'єктів.

Висновки

У статті удосконалено методику оцінювання просторово-часових можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі при виконанні завдань знімання площинних об'єктів (протяжних районів), яка, на відміну від існуючих, базується на методі еволюційної стохастичної оптимізації показника просторової повноти при обмеженому часі, що дозволяє підвищити оперативність зйомки заданої частини визначеного району.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення запропонованого підходу на показник інформативності матеріалів зйомки, що актуально при вирішенні завдань виявлення та класифікації об'єктів, а також визначення їх положення в заданому районі.

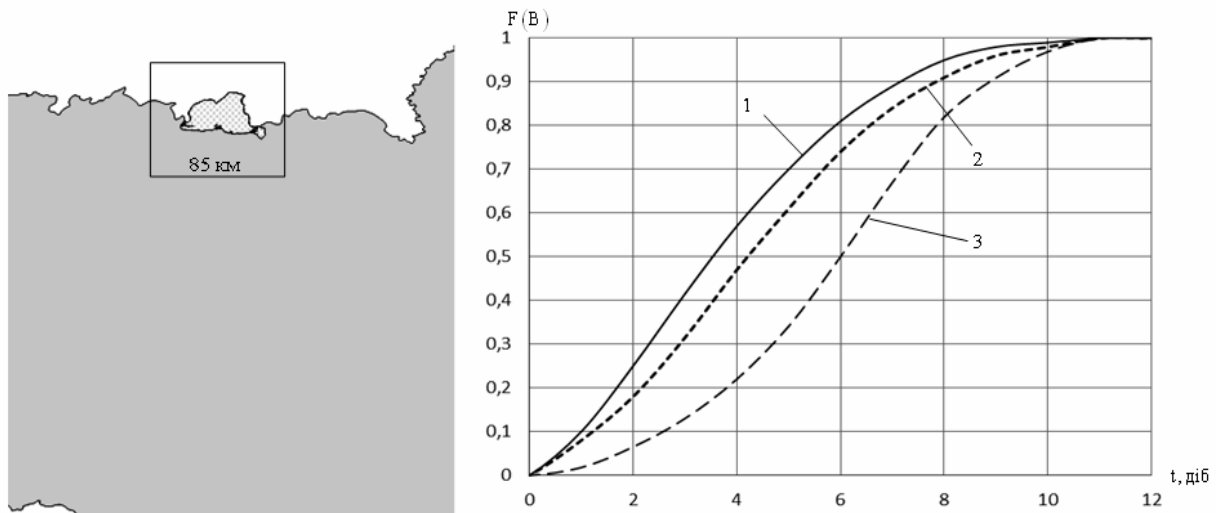


Рис. 3. Результати оцінювання просторово-часових можливостей контролю незаконної вирубки лісів (Житомирська обл., Україна, КА Ikonos-2, Egos-B): математичне сподівання оцінки граничних значень можливостей (1, метод рою часток), оцінки методом послідовної максимізації просторової повноти (2) та евристичної оцінки (3, метод послідовного додавання смуг огляду)

Список літератури

1. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. N 238-р.

2. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми на 2013-2017 роки. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2012 р. № 79-р.

3. Про затвердження плану заходів з розвитку космічної діяльності та виробництва космічної техніки на 2013 рік. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 р. № 790-р.

4. П'яковський Д.В. Формалізація задачі планування космічного радіолокаційного спостереження на основі графової моделі / Д.В. П'яковський, С.В. Водоп'ян, Р.В. Дзюбчук // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 7. – С. 185-193.

5. Савчук А.В. Побудова адаптивної системи оперативного планування роботи апаратури космічного апарата дистанційного зондування Землі з застосуванням єдиної інформаційної моделі / А.В. Савчук // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2004. – № IV (31), том II. – С. 58-64.

6. Машков О.А. Методика оптимізації планування роботи орбітальних засобів космічних систем спостереження / О.А. Машков, С.П. Фриз // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: Зб. наук. пр. – Житомир: ЖВІРЕ, 2003. – Вип. 6. – С. 80-91.

7. Баранов Г.Л. Підвищення ефективності застосування космічних систем спостереження та оперативного планування режимів роботи бортової апаратури космічного апарату / Г.Л. Баранов, А.В. Савчук, О.О. Білобородов, Р.В. Гришук // Труды академії. – № 56. – С. 312-318.

8. Куліков С.П. Методика оптимального розподілу космічних комплексів інформаційного забезпечення за об'єктами спостереження / С.П. Куліков, Д.А. Іщенко, О.О. Білобородов // Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту збройних сил України. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2003. – №4 (25). – С. 86-93.

9. Фриз С.П. Методика розрахунку очікуваного коефіцієнта накриття заданого району спостереження смугою

огляду космічного апарату / С.П. Фриз // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації систем космічного та наземного базування: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖВІРЕ, 2002. – Вип. 5. – С. 42-50.

10. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчук, В.М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.

11. Riccardo Poli. Analysis of the Publications on the Applications of Particle Swarm Optimisation / Riccardo Poli // Journal of Artificial Evolution and Applications. Volume 2008, Article ID 685175, 10 pages.

12. Граничин О.Н. Рандомизированные алгоритмы оптимизации и оценивания при почти произвольных помехах / О.Н. Граничин, Б.Т. Поляк; отв. ред. А.В. Назин. – М.: Наука, 2003. – 291 с.

13. Граничин О.Н. Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания: Учеб. пособие / О.Н. Граничин. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2003. – 131 с.

14. Войтишек А.В. Дискретно-стохастические модификации стандартного метода Монте-Карло: Учеб. пособие / А.В. Войтишек. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2009. – 104 с.

15. Субботін С.О. Неітеративні, еволюційні та мультіагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / С.О. Субботін, А.О. Олійник, О.О. Олійник; під заг. ред. С.О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

16. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение. Пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос. – М.: Мир, 1989. – 487 с.

17. ArcObject SDK 10 Microsoft .NET Framework. ArcObjects Library Reference (GeoDatabase): IFeatureClass Interface. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://help.arcgis.com/>.

18. Корпорация Microsoft (Microsoft Corporation), 2010. Работа с пространственными данными (компонент Database Engine). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://msdn.microsoft.com/>.

Надійшла до редколегії 22.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

О.О. Белобородов, Г.В. Рыбалка

В статье приведены результаты исследования процесса применения космической системы дистанционного зондирования Земли при выполнении задач съёмки площадных объектов. Предложены пути повышения оперативности съёмки при ограничении показателя пространственной полноты за счет использования эволюционного метода стохастической оптимизации.

Ключевые слова: применение космических систем дистанционного зондирования Земли, оценивание пространственно-временных возможностей.

METHOD OF EVALUATION OF SPACE-TIME OPPORTUNITY SPACE REMOTE SENSING SYSTEMS

O.O. Biloborodov, G.V. Rybalka

The results of a study of the process of space remote sensing system for tasks shooting polygon objects. The ways of expediting shooting while limiting the spatial index of fullness due to the use of evolutionary stochastic optimization technique.

Keywords: the use of space systems for remote sensing, estimation of space-time opportunities.