

УДК 521.21

Р.В. Лаврухіна, О.В. Шульга

АНАЛІЗ БАЗИСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИЛИХ ДАЛЬНОСТЕЙ ДО ШТУЧНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

Постановка проблеми

В даний час наявність у навколосемному просторі величезної кількості «космічного сміття» (уламки ракетноносіїв, відпрацьовані супутники) являє реальну загрозу для ШСЗ і космічних апаратів, які знаходяться в космічному просторі або виведені на орбіту. Тому, для запобігання зіткнень ШСЗ із «космічним сміттям» при виведенні на орбіту і русі по ній, а також для точного визначення по ШСЗ місця розташування наземних, надводних і підводних об'єктів і рішення інших науково-дослідних і прикладних задач необхідно підвищувати точність визначення елементів орбіт ШСЗ і положення ШСЗ у космічному просторі в будь-який момент часу.

Рішення проблеми точного визначення елементів орбіт можливо завдяки облікові окрім даних спостережень, координат ШСЗ, ще й похилих дальностей від наземних пунктів спостереження до ШСЗ.

Аналіз останніх досліджень

Існує можливість визначення похилих дальностей до ШСЗ за допомогою лазерних або радіотехнічних далекомірів, але не усі супутники мають кутові відбивачі.

Також існують методики визначення похилих дальностей на підставі елементів орбіт, але не завжди ми маємо змогу користуватися цими даними. Тому необхідно мати можливість визначати похилі дальності аналітичними методами на підставі тільки даних спостережень.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Дана робота присвячена аналізу базисного метода визначення похилих дальностей до штучних супутників Землі на підставі даних спостережень та оцінки точності визначення.

Основна частина

В основі алгоритму обчислення похилих дальностей базисним методом лежить супутникова триангуляція, що являє собою геометричну побудову, заснована на визначенні взаємного положення

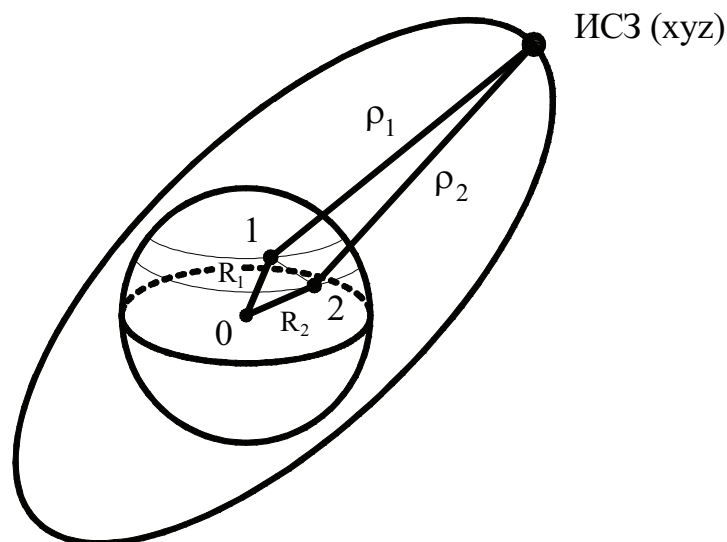
пунктів по синхронно спостереженим на них миттєвим положенням ШСЗ.

Методика визначення похилих дальностей базисним методом ґрунтується на використанні даних синхронних спостережень ШСЗ із двох наземних пунктів. У ході спостережень визначаються значення топоцентричних координат ШСЗ: прямого сходження α , годинного кута γ і відмінювання δ супутника, що визначаються щодо станцій спостереження в системі координат, заданої опорними зірками. При цьому зображення зірок і супутника на знімку виходять у миттєвій системі координат, а вихідними є координати опорних зірок у системі деякого зоряного каталогу.

Зв'язок положення ШСЗ із деяким наземним пунктом описується вираженням:

$$R_i = r - \rho_i, \quad (1)$$

де ρ_i – обмірюваний топоцентричний вектор; r – радіус-вектор ШСЗ; R – радіус-вектор наземного пункту (малюнок 1).



Малюнок 1 – Принцип побудови геодезичних мереж за допомогою ШСЗ

Координати супутника можна одержати по цілком очевидних формулах:

$$\begin{aligned} x &= X_k + \rho l = X_k + \rho \cos \gamma \cos \delta, \\ y &= Y_k + \rho m = Y_k + \rho \sin \gamma \cos \delta, \\ z &= Z_k + \rho n = Z_k + \rho \sin \delta. \end{aligned} \quad (2)$$

де γ - значення годинного кута, узятє зі зворотним знаком; l , m , n – направляючі косинуси напрямків на ШСЗ, що зв'язані з

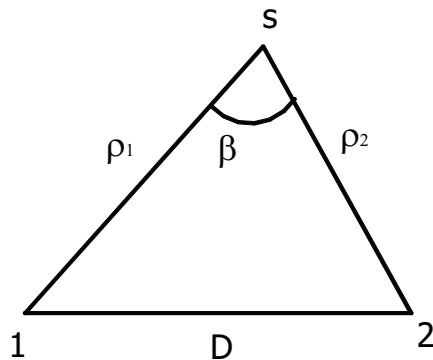
обмірюваними сферичними координатами відомими співвідношеннями [3]:

$$\begin{aligned} l &= \rho \cos \gamma \cos \delta, \\ m &= \rho \sin \gamma \cos \delta, \\ n &= \rho \sin \delta. \end{aligned} \quad (3)$$

Координати наземних станцій спостереження X_k, Y_k, Z_k виражаються через геодезичні координати: геодезичну широту B , довготу L і висоту H .

Нехай на пунктах 1 і 2 з відомими координатами обмірювані напрямки на супутник (малюнок 2). Вираження для координат крапки s мають вигляд:

$$\begin{aligned} x &= X_1 + \rho_1 l_1 = X_2 + \rho_2 l_2, \\ y &= Y_1 + \rho_1 m_1 = Y_2 + \rho_2 m_2, \\ z &= Z_1 + \rho_1 n_1 = Z_2 + \rho_2 n_2. \end{aligned} \quad (4)$$

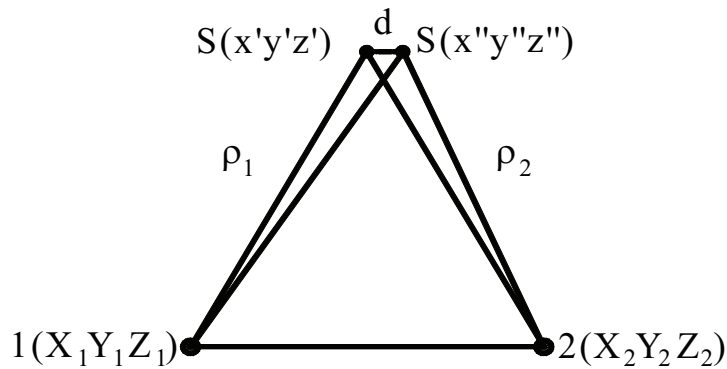


Малюнок 2 – Синхронний трикутник

Система (4) має деякі особливості. Для її рішення необхідно знати відстані від вихідних пунктів до супутника ρ_1 і ρ_2 . Запис системи (4) вірна тільки в тому випадку, якщо прямі $1s$ і $2s$ у просторі перетинаються. У загальному випадку, унаслідок помилок виміру, ці прямі перехресні (малюнок 3), тому система (4) буде мати вигляд

$$\begin{aligned} x' &= X_1 + \rho_1 l_1, & x'' &= X_2 + \rho_2 l_2, \\ y' &= Y_1 + \rho_1 m_1, & y'' &= Y_2 + \rho_2 m_2, \\ z' &= Z_1 + \rho_1 n_1, & z'' &= Z_2 + \rho_2 n_2, \end{aligned} \quad (5)$$

де $x', x'', y', y'', z', z''$ - координати крапок зустрічі прямих $1s$ і $2s$. [3]



Малюнок 3 – Супутникова триангуляція

У системі (5) як і раніше невідомі відстані ρ_1 і ρ_2 . Для їхнього визначення можна використовувати ті обставини, що відстань між крапками зустрічі

$$d = \sqrt{(x'' - x')^2 + (y'' - y')^2 + (z'' - z')^2} \quad (6)$$

є найкоротшим і з обліком (5) дорівнює:

$$d = \sqrt{[(X_2 - X_1) + \rho_2 l_2 - \rho_1 l_1]^2 + [(Y_2 - Y_1) + \rho_2 m_2 - \rho_1 m_1]^2 + \sqrt{+ [(Z_2 - Z_1) + \rho_2 n_2 - \rho_1 n_1]^2}} \quad (7)$$

Умова мінімуму запишеться у виді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial d}{\partial \rho_1} = 0; \\ \frac{\partial d}{\partial \rho_2} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Вирішуючи систему (6) з урахуванням вираження (7), одержимо:

$$\begin{cases} \rho_1 - \rho_2 \cos \beta - F_1 = 0; \\ \rho_2 - \rho_1 \cos \beta + F_2 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

де β - кут зарубки при супутникові дорівнює $\beta = \arccos(l_1 \cdot l_2 + m_1 \cdot m_2 + n_1 \cdot n_2)$.

Для спрощення вираження (7) уведемо позначення:

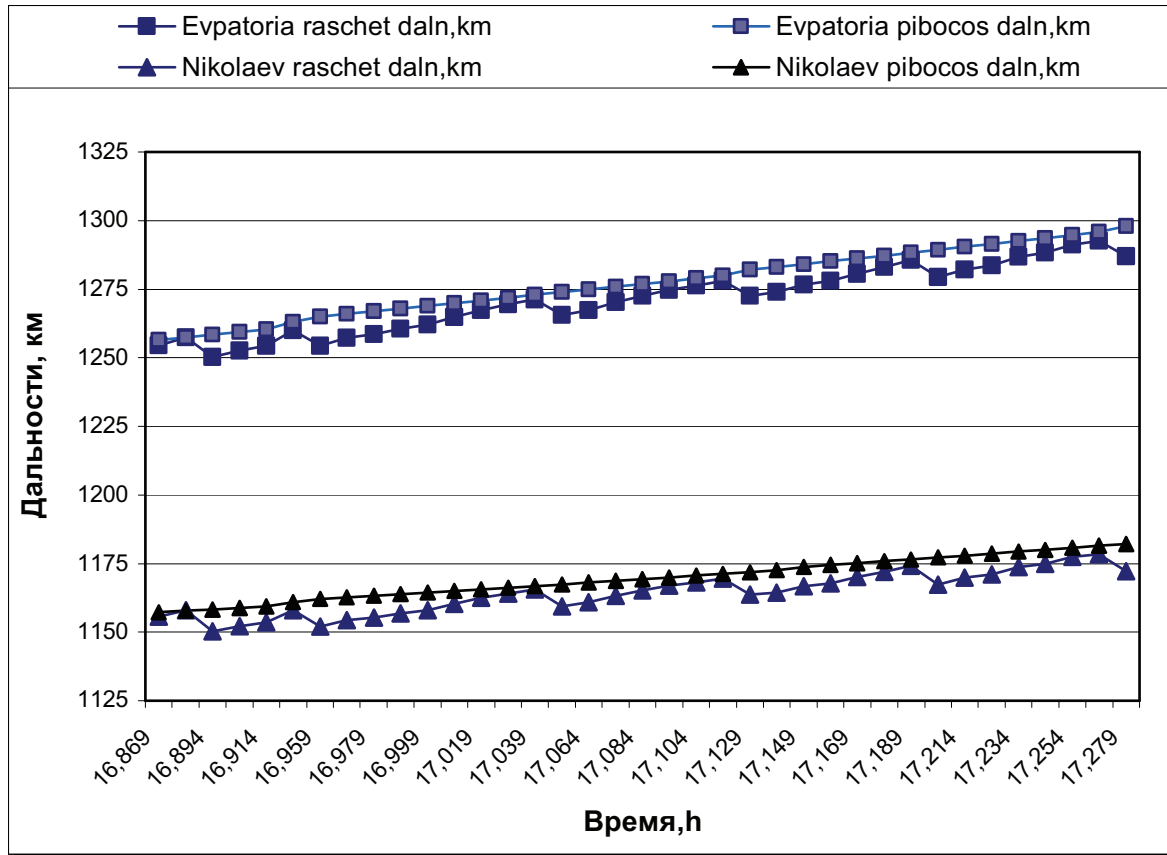
$$\begin{aligned} F_1 &= (X_2 - X_1) \cdot l_1 + (Y_2 - Y_1) \cdot m_1 + (Z_2 - Z_1) \cdot n_1, \\ F_2 &= (X_2 - X_1) \cdot l_2 + (Y_2 - Y_1) \cdot m_2 + (Z_2 - Z_1) \cdot n_2. \end{aligned}$$

Із системи (9) знайдемо шукані відстані:

$$\rho_1 = \frac{F_1 - F_2 \cos \beta}{\sin^2 \beta}; \quad \rho_2 = \frac{F_1 \cos \beta - F_2}{\sin^2 \beta}. \quad (10)$$

Як показують результати (малюнок 3), похила дальність до ШСЗ може бути обчислена за синхронними спостереженнями з двох

наземних станцій базисним методом з точністю до 5 км (відносно метода рібосос з урахуванням диференціального виправлення).



Малюнок 3 - Результати обчислення похилих дальностей за реальними спостереженнями ІСЗ № 10702 на ШАК і КOS АЗТ-28.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Універсальність цієї методики полягає в можливості визначати похилі дальності до ШСЗ без використання дорогих далекомірів (тим більше що не всі супутники мають кутові відбивачі) і одержувати ці значення аналітичними методами, причому, використовуючи тільки дані спостережень, а не дані про елементи орбіт ШСЗ.

Для калібрування похилої дальності, отриманої базисним методом, необхідні спостереження навігаційних транспондерів (ШСЗ із навігаційними станціями на борту). Однак навіть попередньо обчислені похилі дальності, отримані за допомогою описаної вище методики, дозволяють на порядок підвищити точність визначення елементів орбіт ІСЗ (у порівнянні з методикою визначення елементів орбіт ШСЗ за даними спостережень з урахуванням диференціального виправлення і без обліку похилих дальностей).

Наші подальші дослідження будуть присвячені спостереженню навігаційних транспондерів для отримання значень похилих дальностей до ШСЗ, калібруванню похилих дальностей, отриманих базисним методом та підвищенню точності визначення елементів орбіт штучних супутників Землі з урахуванням похилих дальностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абалакин В.К., Аксьонов Е.П., Гребенников Е.А., Рябов Ю.А., Довідковий посібник з небесної механіки й астродинаміки, М.: Наука, 1976, 864 с.
2. Космічна геодезія: Підручник для вузів/ В.Н. Баранів, Е.Г. Бойко, И.И. Краснокрылов і ін. – М.: Надра, 1986. – 407с.
3. Довідник геодезиста: У 2-х книгах. Кн.1/Під ред. В.Д.Большакова і Г.П.Левчука. – 3-і изд., перераб. і доп. – М.: Надра, 1985. – 455с.

Получено 03.04.2006 г.