

УДК 528.2:629.78+528.16

М. О. Литвин

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680, МСП, Київ, вул. Академіка Заболотного, 27

Алгоритм отримання комбінованого розв'язку за даними сучасних методів космічної геодезії

Запропоновано метод отримання спільного розв'язку за результатами спостережень сучасних методів космічної геодезії. Розроблений метод базується на поєднанні нормальних рівнянь, отриманих після вторинної обробки РНДБ-, GPS- чи ЛЛС-спостережень, а також інформації про локальні прив'язки для станцій колокації. Розглянуто застосування методу на прикладі комбінації GPS- та РНДБ-спостережень геодезичного експерименту CONT02.

АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО РЕШЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ, Литвин М. А. — Предложен метод получения комбинированного решения по результатам наблюдений методов современной космической геодезии. Разработанный метод основывается на объединении нормальных уравнений, полученных после вторичной обработки РСДБ-, GPS- или ЛЛС-наблюдений, а также информации о локальных привязках для станций коллокации. Рассмотрено применение метода на примере комбинации GPS- и РСДБ-наблюдений геодезического эксперимента CONT02.

A METHOD FOR OBTAINING COMBINED SOLUTION FROM MODERN SPACE GEODESY TECHNIQUE OBSERVATIONS, Lytvyn M. O. — A combination method for VLBI, GPS and SLR observations is presented. The method is based on the combination of normal equation systems provided by analysis centres and of local ties information for sites with collocated techniques. The combined solution for CONT02 geodesy experiment is considered.

ВСТУП

Однією з основних задач космічної геодезії є побудова реалізацій земної та небесної систем координат, а також обчислення параметрів перетворення між ними. Існує кілька сучасних методів спостережень, які дають змогу розв'язати вказані задачі: супутникові радіонавігаційні системи (GPS, ГЛОНАСС), лазерна локація супутників (SLR), радіоінтерферометрія з наддовгими базами (РНДБ), доплерівські спостереження супутників (DORIS) і лазерна локація поверхні Місяця (LLR). Кожен з цих методів дає свою реалізацію земної системи координат і параметри орієнтації Землі (ПОЗ), а РНДБ дає змогу отримати ще й реалізацію небесної системи координат [13]. Оскільки кожен метод має свої систематичні відхилення [15], для отримання узгоджених реалізацій небесної та земної систем координат і ПОЗ потрібно виконати комбіноване розв'язування. Така можливість існує завдяки наявності спільних параметрів у розв'язках для окремих методів.

До спільних параметрів відносять ПОЗ, параметри, які пов'язані з атмосферною затримкою сигналу (зенітна затримка), координати і швидкості станцій колокації.

Існує кілька підходів до отримання спільних розв'язків. Найпростіший з них полягає у комбінації окремих розв'язків, отриманих з аналізу спостережень різних методів, шляхом визначення і врахування поправок для приведення їх в єдину систему [8, 10]. Саме таким способом зараз отримуються ряди ПОЗ С04 [9]. Перевагою такого підходу є те, що можна отримати комбінований розв'язок, не маючи інформації про системи рівнянь, з яких отримано вихідні розв'язки. Недоліком є складність правильного визначення ваг вихідних розв'язків.

Другий підхід полягає у поєднанні систем нормальних рівнянь, отриманих у процесі аналізу спостережень різних методів [12]. У цьому підході використовують процедуру переходу до однакових спільних апіорних значень у вихідних системах [6]. У деяких випадках, для того щоб збільшити число ступеней вільності системи, проводять попереднє виключення неспільних параметрів [4]. Перевагою комбінації на рівні нормальних рівнянь є врахування статистичної інформації про кожен з розв'язків, наявність великої кількості розв'язків з повною коваріаційною інформацією. Недоліками даного підходу є складність гарантувати використання однакових моделей і наборів параметрів при отриманні вихідних розв'язків.

Найбільш правильним був би підхід, коли комбінація відбувається на етапі складання умовних рівнянь. При такій процедурі гарантується використання однакових моделей параметрів та процедур оцінювання. Проте така стратегія комбінації є і найважчою, оскільки потрібно розробити універсальне програмне забезпечення, здатне виконувати обробку спостережень всіх методів. Програмних комплексів такого типу дуже небагато [3, 14], всі вони далекі від досконалості.

Слід зазначити, що з математичної точки зору немає різниці між останніми двома підходами, проте при об'єднанні розв'язків на рівні нормальних рівнянь дуже важко досягти використання однакових моделей параметрів, а також уникнути перенесення похибок програмного забезпечення у остаточний розв'язок [11].

Усі три підходи мають своїх прихильників і розвиваються незалежно один від одного.

В даній роботі розглядається алгоритм, який реалізує другий підхід, тобто комбінацію нормальних рівнянь індивідуальних розв'язків.

АЛГОРИТМ ОТРИМАННЯ КОМБІНОВАНОГО РОЗВ'ЯЗКУ

Будемо вважати, що ми маємо розв'язки центрів аналізу у форматі SINEX [http://www.iers.org/documents/ac/sinex/sinex_v202.pdf], а також значення локальних прив'язок та їхніх похибок для станцій колокації [2]. Комбінований розв'язок отримуємо за наступною схемою.

1. Усуваємо з вихідних розв'язків апіорну інформацію, яка була використана для задання систем координат. Цю процедуру виконуємо згідно з рівнянням

$$\mathbf{N}_{free} \quad \mathbf{N} \quad \mathbf{N}_{constr},$$

де \mathbf{N}_{free} — матриця нормальних рівнянь розв'язку без апіорних обмежень, \mathbf{N} — матриця нормальних рівнянь розв'язку, \mathbf{N}_{constr} — матриця нормальних рівнянь апіорних обмежень.

2. Зводимо системи рівнянь до однакових апіорних значень для спільних параметрів. Спільними параметрами будемо вважати параметри орієнтації Землі, координати станцій колокації за умови наявності локальних прив'язок, а також планові швидкості станцій колокації.

Виведемо основне співвідношення процедури зведення систем нормальних рівнянь до однакових значень апіорних параметрів. Нехай маємо n систем умовних рівнянь

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= \mathbf{A}_1 \mathbf{x}_1 + \mathbf{e}_1, \\ \mathbf{y}_2 &= \mathbf{A}_2 \mathbf{x}_2 + \mathbf{e}_2, \\ &\dots, \\ \mathbf{y}_n &= \mathbf{A}_n \mathbf{x}_n + \mathbf{e}_n, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_n$ — вектори спостережень, $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \dots, \mathbf{A}_i$ — твірні матриці систем умовних рівнянь, $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ — вектори оцінюваних величин, $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_n$ — похибки спостережень.

Системам умовних рівнянь (1) відповідають системи нормальних рівнянь

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_1 \mathbf{x}_1 &= \mathbf{b}_1, \\ \mathbf{N}_2 \mathbf{x}_2 &= \mathbf{b}_2, \\ &\dots, \\ \mathbf{N}_n \mathbf{x}_n &= \mathbf{b}_n, \end{aligned} \tag{2}$$

де $\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2, \dots, \mathbf{N}_n$ — твірні матриці систем нормальних рівнянь, $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_n$ — поправки до апріорних величин, $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_n$ — вектори правих частин систем нормальних рівнянь.

Величини в рівняннях (2) пов'язані з величинами рівнянь (1) такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_i &= \mathbf{A}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{A}_i, \\ \mathbf{b}_i &= \mathbf{A}_i^T \mathbf{P}_i \mathbf{y}_i, \end{aligned} \tag{3}$$

де $i = 1, 2, \dots, n$, \mathbf{P}_i — матриці ваг.

Як вже зазначалося, отримання об'єднаного розв'язку має сенс, якщо вектори \mathbf{x}_i мають спільні параметри. Перейдемо до однакових змінних в рівняннях (1):

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{B}_i \mathbf{x}_0 + \mathbf{c}_i, \tag{4}$$

де \mathbf{x}_0 — вектор спостережень, що включає спільні і не спільні параметри векторів \mathbf{x}_i . Алгоритм формування \mathbf{x}_0 , \mathbf{B}_i і \mathbf{c}_i наведено в Додатку. Підставивши (4) у (1), маємо систему умовних рівнянь відносно \mathbf{x}_0 :

$$\begin{aligned} y_1 &= \mathbf{A}_1 \mathbf{c}_1 + \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1 \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_1, \\ y_2 &= \mathbf{A}_2 \mathbf{c}_2 + \mathbf{A}_2 \mathbf{B}_2 \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_2, \\ &\dots, \\ y_n &= \mathbf{A}_n \mathbf{c}_n + \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_n. \end{aligned} \tag{5}$$

Систему (5) можна переписати у матричному вигляді:

$$\begin{aligned} y_1 &= \mathbf{A}_1 \mathbf{c}_1 + \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1 \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_1 \\ y_2 &= \mathbf{A}_2 \mathbf{c}_2 + \mathbf{A}_2 \mathbf{B}_2 \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_2 \\ &\dots \\ y_n &= \mathbf{A}_n \mathbf{c}_n + \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n \mathbf{x}_0 + \mathbf{e}_n \end{aligned} \tag{6}$$

Рівнянню (6) відповідає система нормальних рівнянь

$$\mathbf{N} \mathbf{x}_0 = \mathbf{b}, \tag{7}$$

де

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1^T \mathbf{P}_1 & 0 & \dots & 0 & \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{A}_2 \mathbf{B}_2^T \mathbf{P}_2 & 0 & \mathbf{P}_2 & \dots & 0 & \mathbf{A}_2 \mathbf{B}_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n^T \mathbf{P}_n & 0 & 0 & \dots & \mathbf{P}_n & \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n \end{pmatrix}, \tag{8}$$

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1^T \mathbf{P}_1 & 0 & \dots & 0 & y_1 & \mathbf{A}_1 \mathbf{c}_1 \\ \mathbf{A}_2 \mathbf{B}_2 & 0 & \mathbf{P}_2 & \dots & 0 & y_2 & \mathbf{A}_2 \mathbf{c}_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n & 0 & 0 & \dots & \mathbf{P}_n & y_n & \mathbf{A}_n \mathbf{c}_n \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Розкривши дужки в (8) і (9) та враховуючи (3), отримуємо

$$\mathbf{N} \sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{N}_i \mathbf{B}_i, \quad (10)$$

$$\mathbf{b} \sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{b}_i \sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{N}_i \mathbf{c}_i. \quad (11)$$

Отже, отримуємо спільну систему нормальних рівнянь

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{N}_i \mathbf{B}_i \mathbf{x}_0 = \sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{b}_i \sum_{i=1}^n \mathbf{B}_i^T \mathbf{N}_i \mathbf{c}_i.$$

3. Накладаємо додаткові обмеження, щоб зафіксувати систему координат.

Існує кілька способів фіксації системи координат. Найпростіший спосіб — апіорно задати координати двох станцій спостережень, такий підхід часто застосовують при обробці спостережень лазерної локації штучних супутників Землі. Інший підхід полягає у заданні апіорної похибки координат деякого набору станцій. Так часто роблять при обробці GPS-спостережень. При обробці даних, отриманих з глобальної мережі, можна застосовувати так звані No-Net-умови (відсутність загального обертання та зсуву набору станцій). Останній спосіб застосовують при обробці РНДБ-спостережень.

Накладання додаткових умов описується простими співвідношеннями:

$$\begin{matrix} \mathbf{N}_{fixed} & \mathbf{N}_{free} & \mathbf{N}_{constr} \\ \mathbf{b}_{fixed} & \mathbf{b}_{free} & \mathbf{b}_{constr} \end{matrix}.$$

КОМБІНОВАНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗА ДАНИМИ ЕКСПЕРИМЕНТУ CONT02

CONT02 — РНДБ-кампанія, в якій брало участь вісім станцій (Gilmore Creek, Kokee Park, Algonquin, Westford, Ny Alesund, Wettzell, HartRAO, Onsala), шість з яких є станціями колокації з відомими локальними прив'язками (Gilmore Creek, Algonquin, Westford, Wettzell, HartRAO, Onsala) до GPS-пунктів.

Для отримання комбінованого розв'язку було використано добові РНДБ-розв'язки, обчислені у Центрі космічних польотів Годдарда (США). Добові GPS-розв'язки було отримано за допомогою програмного забезпечення GAMIT/GLOBK 10.2 [7]. Спочатку було отримано

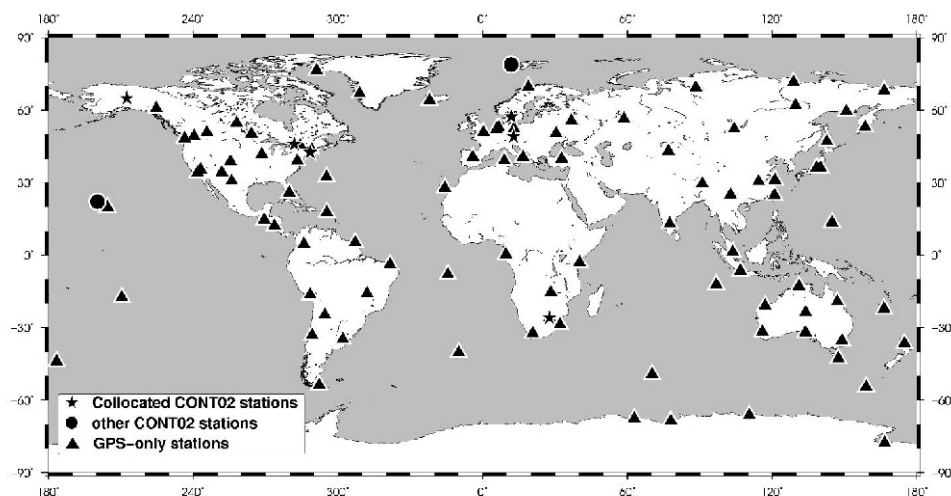


Рис. 1. Розташування станцій космічної геодезії

добові розв'язки для мережі з восьми станцій, які знаходяться поблизу радіотелескопів, що приймали участь у CONT02 (стратегія обробки описана в [1]). Для задання системи координат GPS-розв'язку отримані розв'язки були поєднані з розв'язками центру аналізу SIO. На рис. 1 зображено розподіл станцій, які були використані для побудови комбінованого розв'язку. Для фіксації системи координат розв'язку було використано умови відсутності обертання і руху системи станцій експерименту CONT02.

На кожен день експерименту було отримано комбінований GPS-РНДБ-розв'язок. На рис. 2 показано координати станції Wettzell у комбінованому та індивідуальних розв'язках, а також каталожні координати цієї станції на середню епоху експерименту.

Аналізуючи ряди координат для станції Wettzell, можна сказати, що всі три системи узгоджуються у межах похибки розв'язків, повторюваність координати X для комбінованого розв'язку найкраща. Середні квадратичні відхилення (СКВ) об'єднаного розв'язку в деяких точках перевищують відповідні значення для індивідуальних розв'язків. Останнє пояснюється тим, що СКВ комбінованого розв'язку включає СКВ локальної прив'язки. Комбінований розв'язок узгоджується з ITRF у межах похибок, крім оцінки ординати на 24 жовтня. Останнє можна пояснити великою похибкою оцінки ординати станції HartRAO з GPS-розв'язку на вказану епоху (рис. 3, *a*). У таких випадках потрібно застосовувати зважування вихідних розв'язків або виключати параметри з великою похибкою зі списку спільних параметрів. Виключення координат станції HartRAO з переліку спільних параметрів на 24 жовтня усуває викид (рис. 3, *б*).

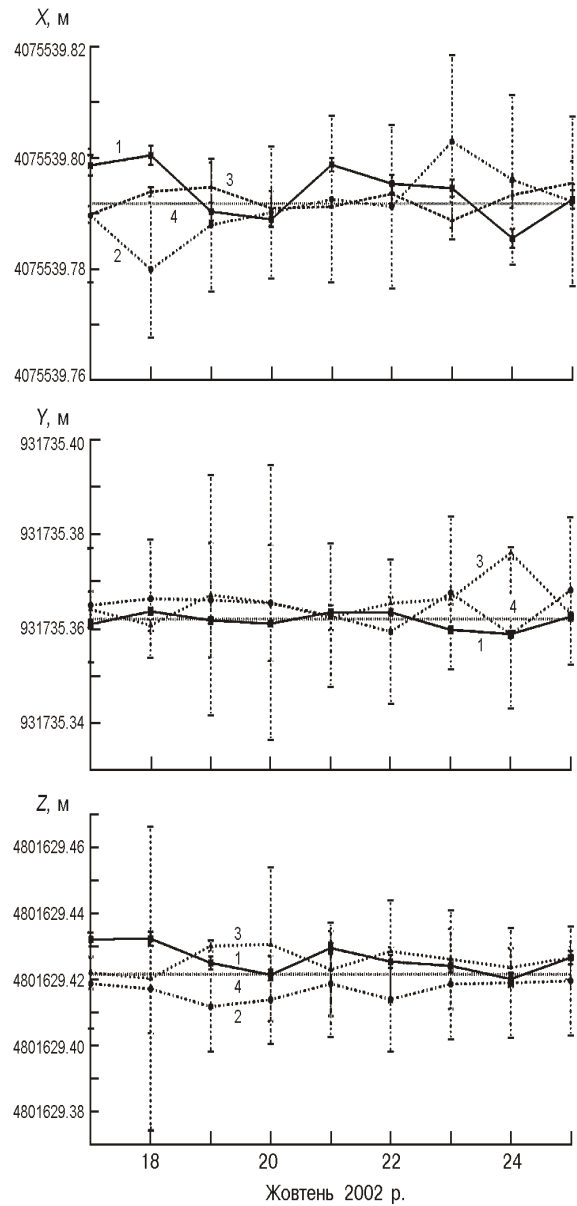


Рис. 2. Зміни координат станції Wetzzel (1 — РДНБ-розв'язок, 2 — GPS-розв'язок — прив'язка, 3 — комбінований розв'язок, 4 — ITRF2000)

Для визначення взаємної орієнтації систем було обчислено сім параметрів перетворення Гельмерта. Параметри перетворення показані на рис. 4. Видно, що зсуви між вихідними системами знаходяться у межах точності локальних прив'язок. Повороти між системами незначні. Можна бачити, що для випадку систем «РНДБ» та «комбінований розв'язок» зміна масштабного множника приблизно в два рази менша, ніж для випадку систем «РНДБ» та «GPS — локальні прив'язки». Слід зазначити, що параметри Гельмерта оцінено за шести спільними пунктами, тобто оцінки параметрів не є надто надійними.

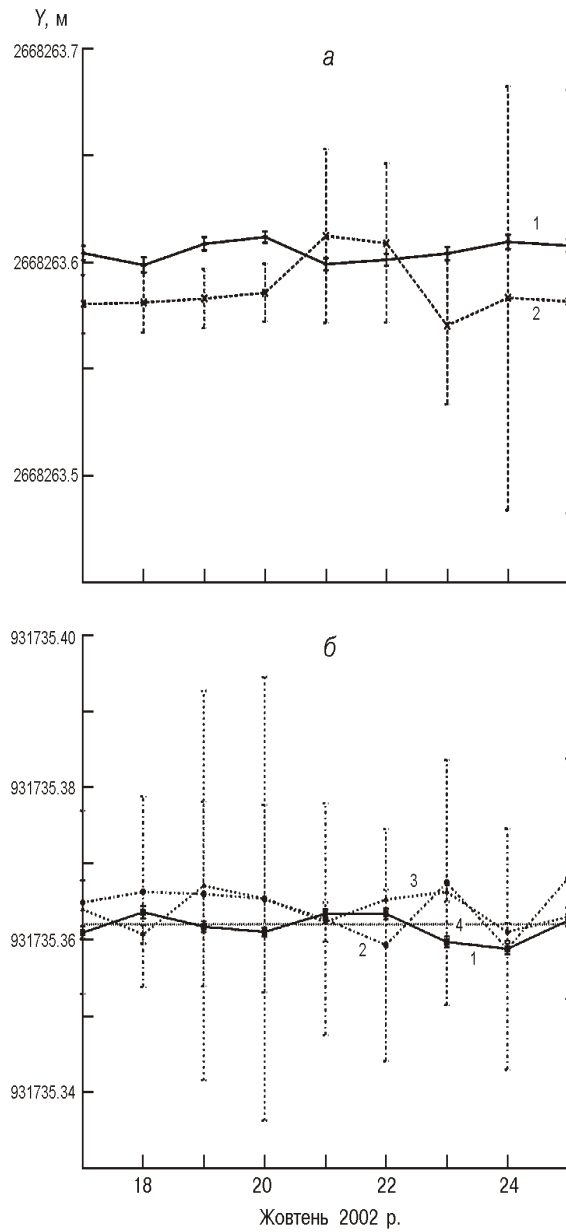


Рис. 3. Зміни ординат станцій: *а* — HartRAO, *б* — Wettzel (1 — РДНБ-розв'язок, 2 — GPS-розв'язок — прив'язка, 3 — комбінований розв'язок, 4 — ITRF2000)

ВИСНОВКИ

Розроблено методуку отримання комбінованого розв'язку на основі даних сучасних методів космічної геодезії. Перевагами алгоритму є простота формування системи нормальних рівнянь, можливість отримання комбінованого розв'язку навіть при відсутності локальних прив'язок для станцій колокації.

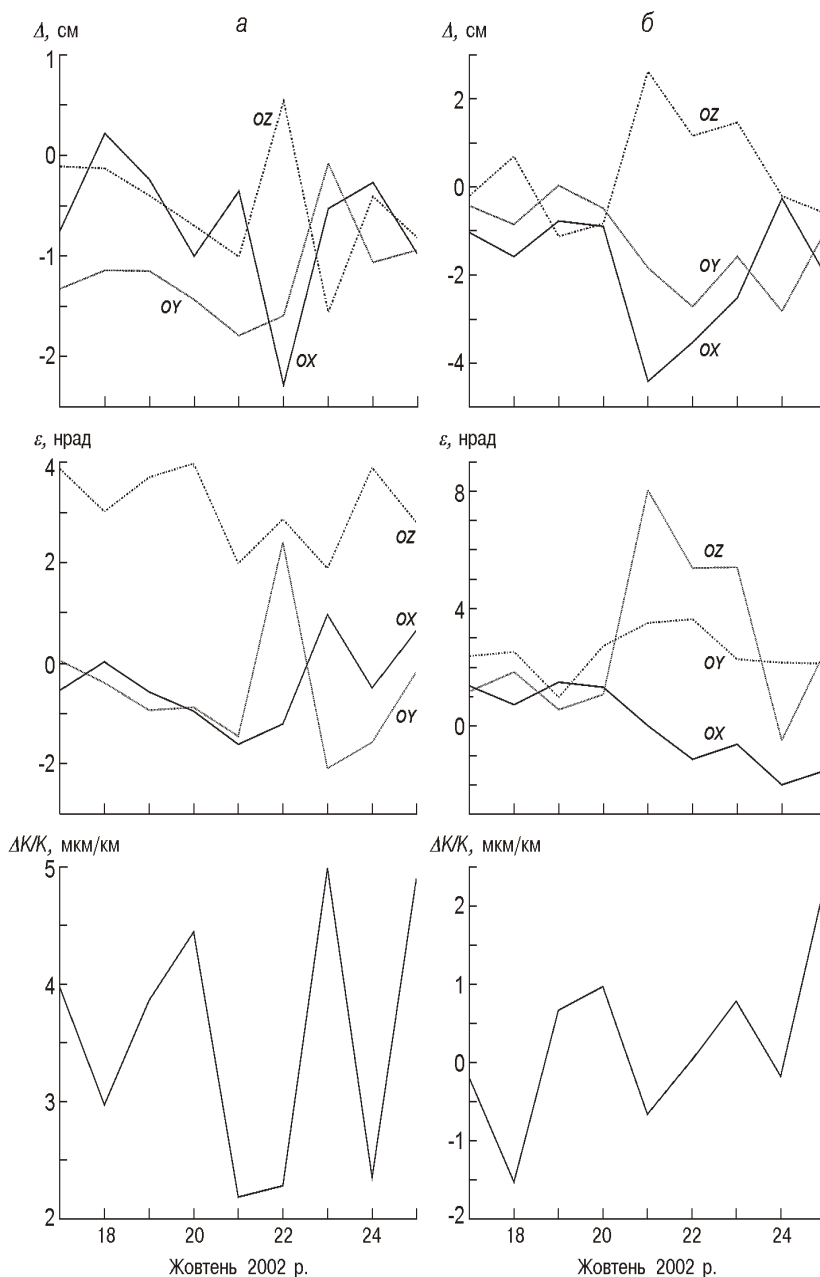


Рис. 4. Зсув , повороти та зміна масштабного множника K : *a* — для систем «РНДБ» і «GPS — локальні прив'язки», *б* — для систем «РНДБ» і «комбінований розв'язок»

Для апробації алгоритму отримано комбінований розв'язок за результатами спостережень РНДБ-кампанії CONT02 та спостережень GPS-станцій. Аналіз розв'язків показав, що для покращення комбінованого розв'язку необхідно застосувати зважування вихідних розв'язків або виключати зі списку спільних параметрів параметри з великими похибками.

ДОДАТОК

Нехай маємо вектори оцінюваних параметрів для двох вхідних розв'язків $\mathbf{x}_1 = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14})^T$ та $\mathbf{x}_2 = (x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}, x_{28})^T$, серед яких спільними параметрами є x_{11} та x_{24} ; x_{13} та x_{22} ; x_{14} та x_{27} .

Вектор оцінюваних параметрів для спільного розв'язку \mathbf{x}_0 формується таким чином: перші елементи цього вектора є елементи вектора \mathbf{x}_1 , решта — неспільні елементи вектора \mathbf{x}_2 . Для наведеного прикладу \mathbf{x}_0 набуде вигляду

$$\mathbf{x}_0 = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{11} \\ x_{02} & x_{12} \\ x_{03} & x_{13} \\ x_{04} & x_{14} \\ x_{05} & x_{21} \\ x_{06} & x_{23} \\ x_{07} & x_{25} \\ x_{08} & x_{26} \end{pmatrix}.$$

Тоді рівняння зв'язку (4) запишуться так:

$$\begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ x_{14} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{\mathbf{B}_1} \begin{pmatrix} x_{01} \\ x_{02} \\ x_{03} \\ x_{04} \\ x_{05} \\ x_{06} \\ x_{07} \\ x_{08} \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{c}_1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{c}_1}, \quad (12)$$

$$\begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{23} \\ x_{24} \\ x_{25} \\ x_{26} \\ x_{27} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_{\mathbf{B}_2} \begin{pmatrix} x_{01} \\ x_{02} \\ x_{03} \\ x_{04} \\ x_{05} \\ x_{06} \\ x_{07} \\ x_{08} \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ x_{22} & x_{13} \\ 0 \\ x_{24} & x_{11} \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{c}_2 \end{pmatrix}}_{\mathbf{c}_2}. \quad (13)$$

Як видно з рівняння (13), ненульові елементи вектора \mathbf{c}_2 — це локальні прив'язки, якщо відповідні параметри є координатами станцій колокації. Рівняння зв'язку, записані у вигляді (12), (13), дають змогу вважати координати станцій колокації, для яких відсутні локальні прив'язки, спільними параметрами. У такому випадку можна формувати елементи вектора \mathbf{c}_1 як різниці відповідних апріорних значень параметрів. Такий підхід має певні переваги перед іншими алгоритмами, оскільки комбінований розв'язок можна отримати, маючи мінімальний набір інформації. Наприклад, процедура отримання системи ITRF [5], вимагає наявності значень швидкостей станцій, які не можуть бути оцінені з добового інтервалу спостережень.

1. *Литвин М. О.* Порівняння результатів обробки даних української перманентної GPS-мережі програмним комплексом GAMIT/GLOBK з результатами Локального центру аналізу GPS-даних ГАО НАН України // *Космічна наука і технологія*.—2005.—**11**, № 5/6.—С. 56—63.
2. *Altamimi Z.* ITRF and co-location sites // *IERS Technical Note*.—2003.—**33**.—Р. 8—15.—(Proc. IERS Workshop on site co-location. — Matera (Italy)).
3. *Andersen P. H.* Combination of VLBI, GPS and SLR observations at the observation level // *Geophys. Res. Abstracts*.—2003.—**5**.—Р. 14037—14052.
4. *Bernese GPS Software Version 5.0.* / Dach R., Hugentobler U., Frider P., Meindl M. — Bern: Stampfli Publishing AG, 2007—612 p.
5. *Boucher C., Altamimi Z, Scillard P., Feissel-Vernier M.* The ITRF2000 // *IERS Technical Note*.—2004.—**31**.—270 p.
6. *Brockmann E.* Combination of solutions for geodetic and geodynamic application of the Global Positioning System (GPS): Ph.D Dissertation. — Bern, 1997.—211 p.
7. *Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software* / Eds R. King, Y. Bock. — Boston: Massachusetts Institute of Technology, 2003.—320 p.
8. *Gambis D.* Monitoring Earth orientation using space-geodetic techniques: state-of-art and prospective // *J. Geodesy*.—2004.—**78**, N 4-5.—Р. 295—303.
9. *Gambis D., Johnson T., Gross R., Vondrak J.* General Combination of EOP Series // *IERS Technical Note*.—2003.—**30**.—Р. 39—48.—(Proc. IERS workshop on combination research and global geophysical fluids. — Munich (Germany)).
10. *Ge L., Chen H.-Y., Han S., et al.* The integration of collocated GPS, VLBI and SLR results // *Proc. ION GPS 2000*. — Salt Lake City (Utah, USA), 2000.—Р. 1525—1535.
11. *Gerstl M.* Numerical aspects of combination at the observation equation and normal equation level // *IERS Technical Note*.—2003.—**30**.—Р. 89—93.—(Proc. IERS workshop on combination research and global geophysical fluids. — Munich (Germany)).
12. *Gross R. S.* Combinations of the Earth Orientation Measurements: SPACE2001, COMB2001 and POLE2001. — JPL Publ. 02-08.—2002.—19 p.
13. *Fey A.* The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-EXT.1 // *Astron. J.*—2004.—**127**.—Р. 3587—3607.
14. *Meyer U., Charlot P., Biancale R.* GINS: A new multi-technique software for VLBI analysis // *Proc. IVS 2000 General Meeting*. — Kotzting (Germany), 2000.—Р. 324—328.

15. *Nothangel A., Dill R., Feissel-Vernier M.* EOP Alignment Campaign IDS/IGS/ILRS/IVS EOP Combinations, Systematic Errors // Proc. IERS workshop on combination research and global geophysical fluids. — Munich (Germany), 2003.—P. 51—62.

Надійшла до редакції 18.09.08