

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН КООРДИНАТ РЕФЕРЕНЦНИХ СТАНЦІЙ МЕРЕЖІ ZAKPOS

© Янків-Вітковська Л.М., 2010

Предложено использовать метод макромоделирования для исследования динамических изменений координат референтных станций. Для примера взята сеть станций ZAKPOS. Найдено оптимальные пути для высокоточного определения координат референтных станций сети.

We suggest using the method macromodelling to study dynamic changes of coordinates of reference stations. This method is good enough to determine the effect of ionosphere on the accuracy of GPS-coordinates of stations. For example, used a network of stations ZAKPOS. The main goal of our work was to study the best way is optimal for accurate positioning of the reference station network.

Постановка проблеми. Для повноцінного функціонування мережі активних референціальних станцій необхідно декілька важливих факторів. Одним із найважливіших факторів є встановлення вихідних координат базових станцій з тим, щоб їх можна було вважати референціальними станціями мережі. Координати цих станцій необхідно знати настільки точно, наскільки це можливо [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На підставі даних вимірювання координат декількох геодезичних пунктів визначено закономірності їхнього механічного переміщення [4]. Нами виконано обчислювальний експеримент, який ґрунтується на методі макромоделювання. Опрацювання експериментальних геодезичних вимірювань за допомогою цього методу дає змогу пояснити природу досліджуваних явищ, що впливають на точність визначення геодезичних координат GPS-станцій.

Для практичного упровадження запропонованої моделі як засобу прогнозного уточнення координат станцій регулярних супутникових спостережень необхідно накопичити масив даних (3), обчислити коефіцієнти апроксимації з розв'язку рівняння (6), і, вибираючи початкові умови в моменти реального часу (7), знаходити з прогнозного розв'язку (6) значення можливої похибки визначення координат, після узгодження окремих процедур регуляризованого розв'язування рівнянь (6).

Постановка завдання. Основною метою нашої роботи було дослідження оптимальних способів високоточного визначення координат GPS-станцій.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні ми застосували метод макромоделювання [2–4] для прогнозного моделювання коливної складової координат геодезичних станцій ZAKPOS, оскільки цей підхід придатний для застосування в системах реального часу.

Закарпатська служба визначення положення – ZAKPOS (Transcarpathian Positioning Service) є місцевою ініціативою та проектом встановлення однорідної базової інфраструктури диференційного GNSS (DGNSS) на території Закарпатської обл. За суттю це регіональна GNSS-система наземного базування, що працює за європейськими стандартами і забезпечує GNSS-даними спостережень та поправками до них в реальному часі (RTK) для високоточного визначення місцеположення. Нині мережа референціальних станцій ZAKPOS складається з 19 GNSS-станцій, однак нами взято лише дані з таких станцій, як: Рахів (RAKH), Міжгір'я (MIZG), Мукачево (MUKA), Хуст

(KHST), Великий Березний (VBER). Регулярні GNSS-спостереження на референцних станціях мережі ZAKPOS розпочалися 04 лютого 2009 р. (35 GPS-день, 1517 GPS-тиждень).

Для моделювання коливної складової координат геодезичної станції взято експериментально виміряні значення координат:

$$x_i(t_k), y_i(t_k), z_i(t_k) \quad (k = \overline{1, m}; i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

де x_i, y_i, z_i – просторові координати i -ї станції; n – кількість станцій ($n=5$ станцій ZAKPOS); t_k – моменти вимірювань координат; m – кількість таких вимірювань.

За даними (1) відновлено систему звичайних диференціальних рівнянь, яка наближено відтворює динамічну зміну цих даних. Зокрема, для моделювання зміни з часом координат (1) взято їхні щоденні значення за 26 тижнів. Зміну координати x двох станцій $i=1$ (hust), $i=2$ (rakh) змодельовано за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} x'_{11} &= x_{12}; x'_{12} = x_{13}; x'_{13} = x_{14}; x'_{14} = x_{15}; x'_{15} = x_{16}; \\ x'_{16} &= P_1(x_{11}, \dots, x_{16}; x_{24}, \dots, x_{26}); \\ x'_{21} &= x_{22}; x'_{22} = x_{23}; x'_{23} = x_{24}; x'_{24} = x_{25}; x'_{25} = x_{26}; \\ x'_{26} &= P_2(x_{21}, \dots, x_{26}; x_{14}, \dots, x_{16}); \end{aligned} \quad (2)$$

де P_1, P_2 – степеневі поліноми від багатьох аргументів; $x_{11} \equiv x_1$; $x_{21} \equiv x_2$. Розв'язки рівнянь (2) за початкових умов $x_{ij}^0 = x_{ij}(t_0)$ ($i=1,2$; $j=\overline{0,6}$), визначених на підставі залежностей (1), наближено відтворюють ці залежності.

Параметри c_1, c_2 поліномів P_1, P_2 знайдено з розв'язування таких ідентифікаційних задач

$$\begin{aligned} \min_{c_1} \sum_{k=1}^m \left[x_{11}^{(7)} - P_1 \left(x_{11}^{(0)}(t_k), \dots, x_{16}^{(6)}(t_k); x_{21}^{(4)}(t_k), \dots, x_{26}^{(6)}(t_k) \right) \right] \\ \min_{c_2} \sum_{k=1}^m \left[x_{21}^{(7)} - P_2 \left(x_{21}^{(0)}(t_k), \dots, x_{26}^{(6)}(t_k); x_{11}^{(4)}(t_k), \dots, x_{16}^{(6)}(t_k) \right) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Похідні $x_{11}^{(j)}(t)$ ($i=1,2$; $j=\overline{0,7}$) визначено за допомогою аналітичного диференціювання сплайнів. Задачі (3) розв'язано із застосуваннями регуляризації за допомогою стабілізуючого функціонала Тіхонова [5] та редукції апроксимаційного базису [6].

В основу структури (2)–(3) покладено припущення, що коливні зміни координати x двох близьких станцій динамічно залежні між собою.

На рис. 1–5 подано ілюстрації до виконаних обчислень. На рис. 1 відображено фрагмент графіків коливної складової координат $x_i(t)$ ($i=\overline{1,5}$) станцій ZAKPOS, які ілюструють типову зміну цих величин. На рис. 2 зображено графіки 7-х похідних $x_i^{(7)}(t)$ ($i=\overline{1,5}$) станцій ZAKPOS. За цими величинами виконано апроксимацію поліномами від багатьох аргументів у задачах (3). Типовий вид графіків модельованої коливної складової координати $x_i(t)$ та її модельного наближення $x_{11}(t)$ для станції $i=1$ (hust) зображено на рис. 3. На рис. 4, 5 показано графіки коливної складової координат $x_i(t)$ станцій $i=1,2$ (hust, rakh) та їхніх короткотривалих прогнозів, отриманих з рівнянь (2).

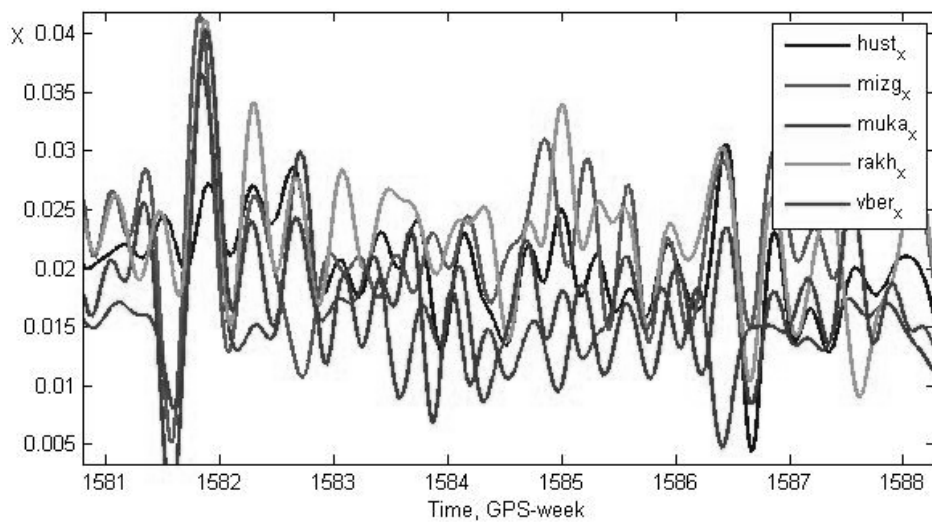


Рис. 1. Графіки коливної складової координат $x_i(t)$ ($i = \overline{1,5}$) станцій ZAKPOS

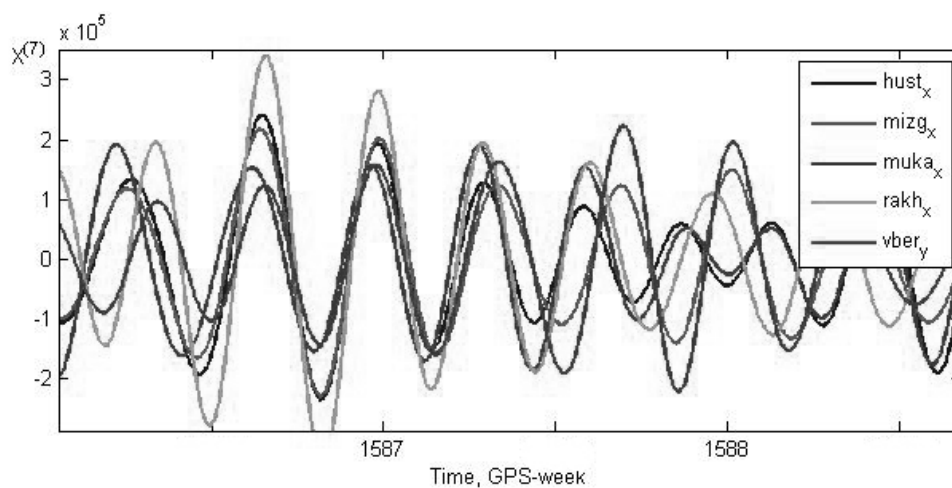


Рис. 2. Графіки похідних $x_i^{(7)}(t)$ ($i = \overline{1,5}$) від координат станцій ZAKPOS, за якими ідентифіковано параметри поліномів

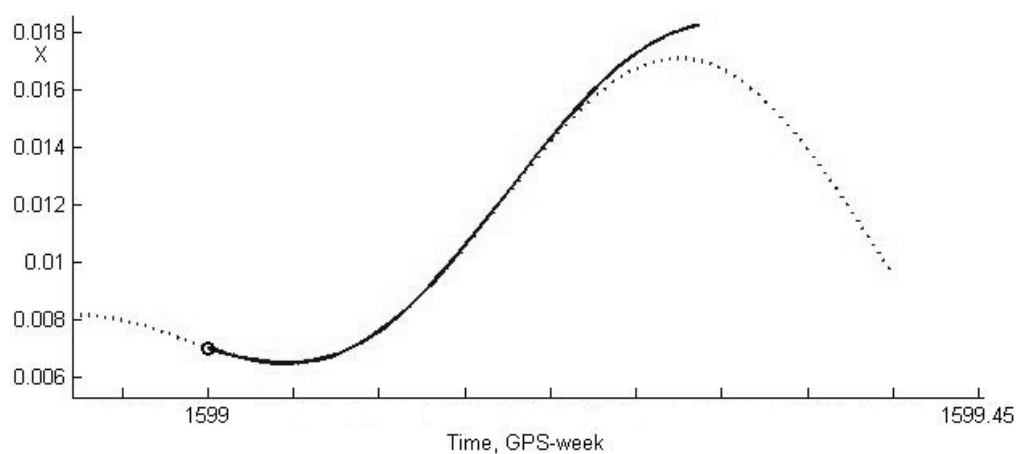


Рис. 3. Графік коливної складової координати $x_1(t)$ (крапками, станція hust) та її наближення $x_{11}(t)$, отриманого з розв'язку рівнянь (2)

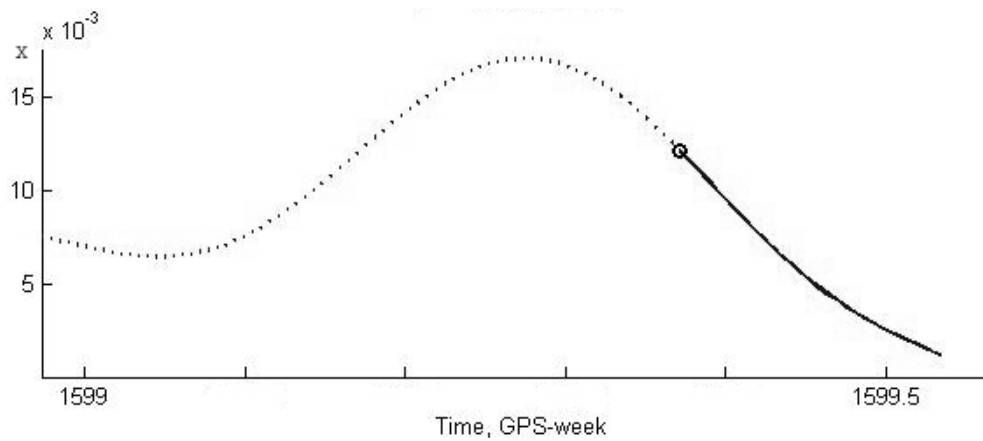


Рис. 4. Графік коливної складової координати $x_1(t)$ (крапками, станція hust) та її прогнозу $x_{11}(t)$, одержаного з розв'язку рівнянь (2)

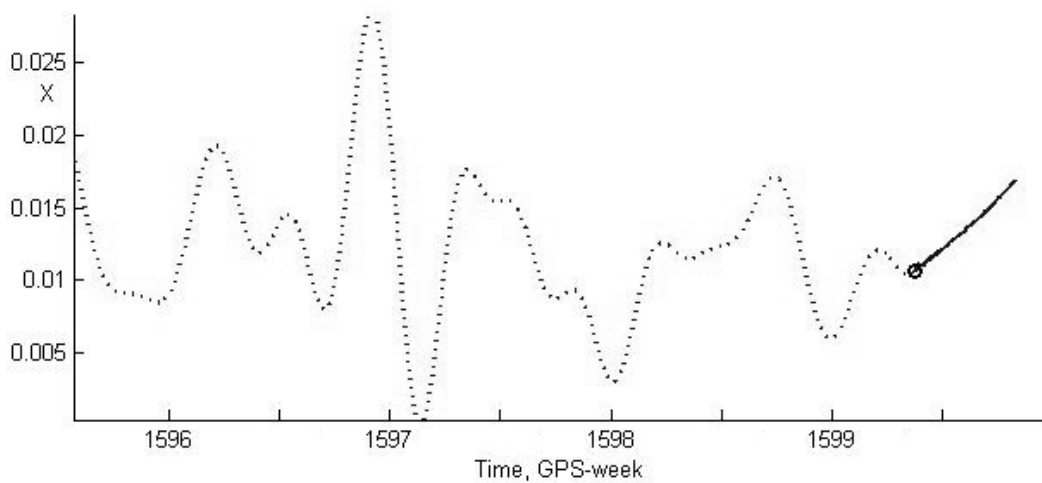


Рис. 5. Графік коливної складової координати $x_2(t)$ (крапками, станція rakht) та її прогнозу $x_{11}(t)$, отриманого з розв'язку рівнянь (2)

Висновки. Знайдені розв'язки ілюструють застосування короткотермінового прогнозування зміни координат двох геодезичних станцій з урахуванням їхнього взаємного динамічного зв'язку. Тому запропонований макромодельний підхід у дослідженні динаміки координат GPS-станцій придатний і для роботи в режимі реального часу для прогнозного уточнення координат станцій.

1. Савчук С., Гринишина-Полюга О. Методика встановлення вихідних значень координат українських перманентних станцій для високоточної геодезичної прив'язки // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів. – 2009. – С. 39–43. 2. Матвійчук Я.М. Математичне макромодельовання динамічних систем: теорія та практика. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2000. – 215 с. 3 Матвійчук Я.М. Регуляризована ідентифікація динамічних прогностичних макромоделей / Я.М. Матвійчук, В.К. Паучок // Теоретична електротехніка. – 2003. – Вип. 57. – С. 13–18. 4 Янків-Вітковська Л.М., Савчук С.Г., Паучок В.К. Дослідження динаміки змін координат перманентних GPS-станцій // Вісник геодезії і картографії. – Київ. – № 1, 2008. – С. 7–12. 5 Тихонов А.Н., Гончаровский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация. – М.: Наука, 1983. – 200 с. 6 Курганевич А., Матвійчук Я.М. Регуляризація задачі ідентифікації макромоделей нелінійних динамічних систем методом редукції.