

УДК 621.391.83:629.783(043.2)

О.П. Сушич, к.т.н., доц.

ВТОРИННА ОБРОБКА НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ГЛОБАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ

Національний авіаційний університет
E-mail: ans@nau.edu.ua

Наведено експериментальні результати вторинного згладжування оцінок місцеположення споживача адаптивним фільтром Калмана.

Ключові слова: вторинна обробка, глобальна навігаційна супутникова система, навігаційна інформація, фільтр Калмана.

Постановка проблеми

Апаратура споживача Глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) призначена для визначення місцеположення споживача, оцінювання в реальному часі його координат по далекомірним спостереженням за навігаційними супутниками.

У результаті первинної обробки навігаційної інформації навігаційний приймач формує оцінки місцеположення споживача. Отримані оцінки містять у собі похибки, які можуть становити близько десятків метрів та мають статистичні характеристики подібні до нормального розподілу (гауссів розподіл) [1; 2; 3; 4].

Отже, для отримання високоточних координатних вимірів необхідно виконувати вторинне згладжування (фільтрацію) оцінок місцеположення споживача.

Аналіз досліджень і публікацій

Цифрова обробка сигналів забезпечує операції згладжування, прогнозування та виділення корисних сигналів на тлі шумів.

Основними методами цифрової фільтрації сигналів є оптимальна фільтрація.

Застосування методів оптимальної фільтрації передбачає використання інформації про спектральний склад та кореляційні і взаємно кореляційні характеристики як корисного сигналу, так і шуму [2; 5; 6].

Основним критерієм оптимальної фільтрації в більшості випадків є критерій мінімуму середньоквадратичного відхилення профільованого сигналу від його справжнього значення [2; 5; 6].

Такому критерію оптимальної фільтрації відповідає рекурсивний фільтр Калмана, який дозволяє в реальному часі забезпечувати оптимальну оцінку стану споживача. При цьому вектор вимірювань обтяжений шумом (похибки вимірювань місцеположення споживача), а вектор стану підлягає визначенню (справжнє місцеположення споживача) [2; 5; 6].

Мета роботи – програмна реалізація цифрової обробки експериментальних оцінок місцеположення споживача з застосуванням методів оптимальної фільтрації.

Навігаційна інформація

Математична модель вторинного згладжування експериментальних оцінок місцеположення споживача фільтром Калмана передбачає [2; 5; 6], що у момент часу k супутниковий навігаційний приймач споживача вимірює справжнє значення вектора стану споживача x_k – вектор вимірювань z_k .

Вектор вимірювань z_k лінійно пов'язаний з істинним вектором стану x_k :

$$z_k = x_k + v_k,$$

де v_k – похибка оцінки вектору вимірювань z_k у момент часу k (нормальний випадковий процес із нульовим математичним сподіванням і коваріаційною матрицею R_k).

При цьому справжнє значення вектора стану в момент часу k виходить зі справжнього стану в момент часу $k-1$ відповідно до рівняння:

$$x_k = x_{k-1} + w_k,$$

де x_k – оцінка місцеположення споживача в момент часу k ;

x_{k-1} – оцінка місцеположення споживача в момент часу $k-1$;

w_k – похибка оцінки місцеположення споживача в момент часу k (нормальний випадковий процес із нульовим математичним сподіванням і коваріаційною матрицею Q_k).

Запропонована експериментальна модель не використовує матрицю еволюції та керування.

Ітерації фільтра Калмана діляться на дві фази [2; 5; 6]:

- екстраполяція;
- корекція.

Під час екстраполяції фільтр отримує попередню оцінку стану системи $\hat{x}_{k|k-1}$ на поточний крок по підсумковій оцінці стану з попереднього кроку.

Для корекції оцінки апріорна екстраполяція доповнюється відповідними поточними вимірами.

Скоригована оцінка називається апостеріорною оцінкою стану, або оцінкою вектора стану $\hat{x}_{k|k}$.

Корекцію раніше отриманої екстраполяції вектора стану (оновлена оцінка стану системи) визначають за формулою

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \tilde{y}_k,$$

де $\hat{x}_{k|k-1}$ – екстраполяція вектора стану споживача;

K_k – оптимальна за Калманом матриця коефіцієнтів підсилення;

\tilde{y}_k – відхилення вимірювань від очікувань.

Для реалізації цифрової обробки експериментальних оцінок місцеположення споживача на кафедрі аеронавігаційних систем Національного авіаційного університету був створений експериментальний апаратно-програмний комплекс, до складу якого входить супутниковий навігаційний приймач OEMV Family фірми NovAtel Inc (Канада) та ліцензійне і оригінальне програмне забезпечення.

Як вхідні дані для моделювання використовуються логічні файли, отримані з супутникового навігаційного приймача:

- оцінка місцеположення споживача в географічній системі координат (лог BESTPOS);
- оцінка місцеположення споживача в геоцентричній рухомій системі координат (лог BESTXYZ).

Місцеположення споживача записувалось в різний час та для різних конфігурацій навігаційних сузір'їв:

- лише Глобальна система позиціонування (GPS – США);
- лише ГЛОНАСС (Російська Федерація);
- GPS та ГЛОНАСС разом.

Під час експерименту приймач був настроєний на видачу даних з частотою 1 Гц та періодом згладжування 2 та 100 с, що дозволило:

- оцінити якість, з якою приймач виконує згладжування даних вимірювання місцеположення споживача;
- порівняти отримані результати з результатами згладжування адаптивним фільтром Калмана.

Для оптимізації роботи фільтра Калмана під конкретне завдання дуже важливо виконати його настроювання.

Для настроювання фільтра Калмана необхідно скорегувати характеристики максимальної похибки вимірювального устаткування (у нашому випадку супутникового навігаційного приймача OEMV Family [7]) і максимальної помилки визначення координат за сигналами конкретної супутникової навігаційної системи. У нашому випадку це заявлена точність GPS і ГЛОНАСС [8; 9].

Експериментальні результати вторинного згладжування оцінок місцеположення споживача в географічній системі координат з періодом згладжування 2 та 100 с показано на рис. 1.

Настроювання фільтра Калмана видно на рис. 2, де показано результати вторинного згладжування оцінки місцеположення споживача за координатою Z у геоцентричній фіксованій системі координат з періодом згладжування 2 с для скоригованих і нескоригованих характеристик адаптивного фільтра Калмана.

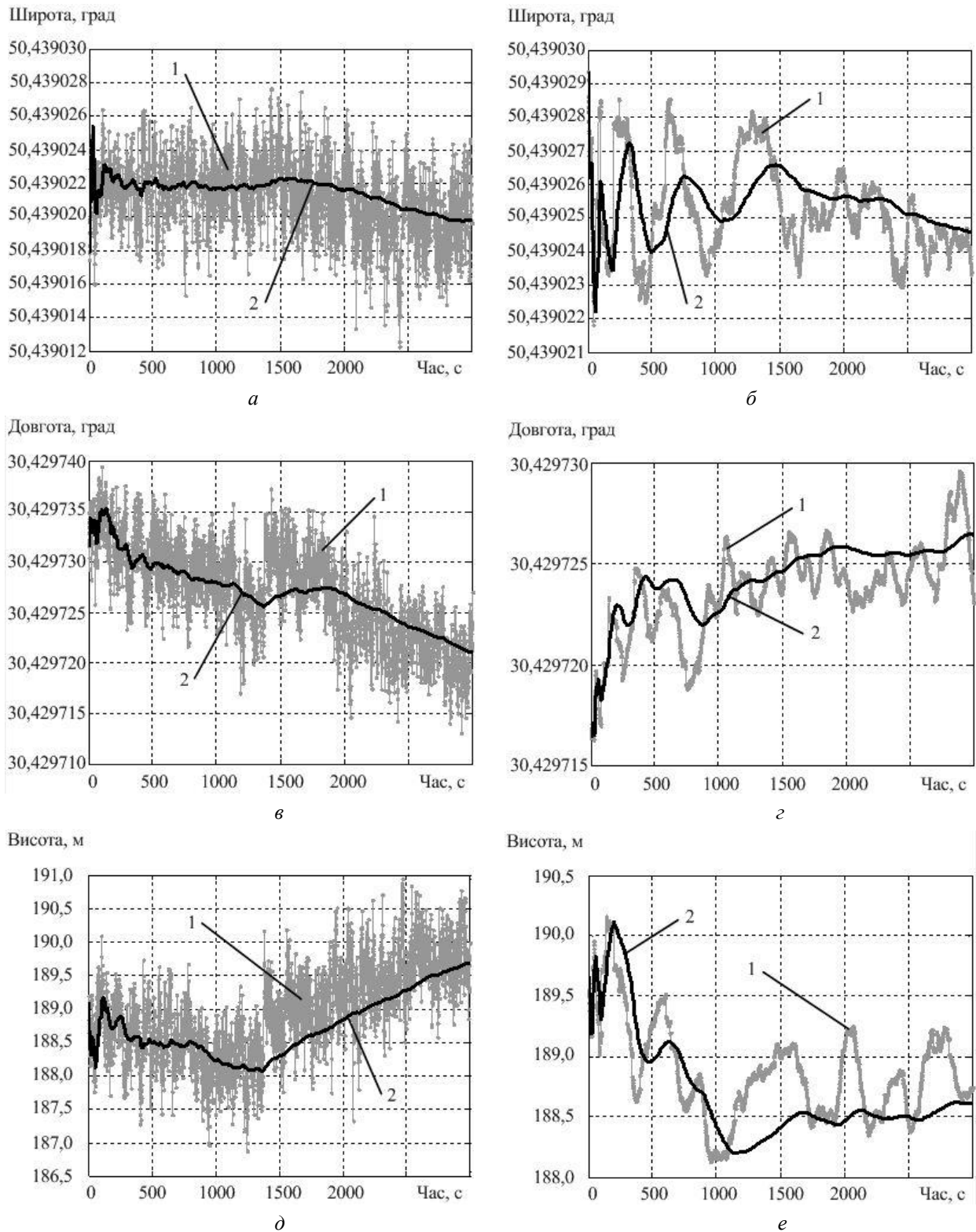


Рис. 1. Результати вторинного згладжування оцінок місцеположення споживача:
a – по широті з періодом згладжування 2 с; *б* – по широті з періодом згладжування 100 с;
в – по довготі з періодом згладжування 2 с; *г* – по довготі з періодом згладжування 100 с;
д – по висоті з періодом згладжування 2 с; *е* – по висоті з періодом згладжування 100 с;
 1 – оцінки місцеположення споживача до фільтрації;
 2 – оцінки місцеположення споживача після фільтрації

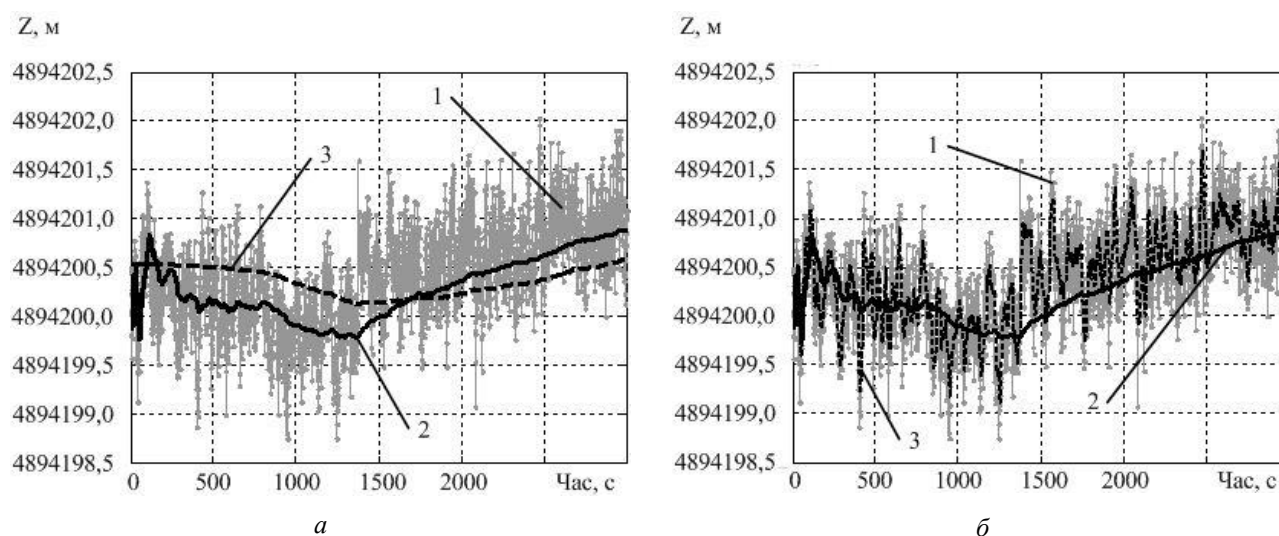


Рис. 2. Результати вторинного згладжування оцінок місцеположення споживача для скоригованих і нескоригованих характеристик адаптивного фільтра Калмана:

- а* – нескориговані характеристики приймача;
- б* – нескориговані характеристики моделі GNSS;
- 1 – оцінки місцеположення споживача до фільтрації;
- 2 – оцінки місцеположення споживача після оптимальної фільтрації;
- 3 – оцінки місцеположення споживача після неоптимальної фільтрації

Висновки

Результати експериментального дослідження вторинної обробки навігаційної інформації показали, що використання оптимальної фільтрації забезпечує достатньо суттєве нівелювання впливу похибок на результати вимірювання місцеположення споживача.

Однак застосування калманівської фільтрації вимагає особливої уваги до побудови моделі дослідження.

Література

1. *Радионавигационные средства*. Приложение 10 к Конвенции о Международной гражданской авиации // ICAO. – 2006. – Т. 1. – 598 с.
2. *Конин В.В.* Системы спутниковой радионавигации / В.В. Конин, В.П. Харченко. – К.: Холтех, 2010. – 520 с.
3. *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, Assistant for GPS, Positioning and Navigation 6000 Defense Pentagon Washington, DC 20301-6000, Sep. 2008.

4. *Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standard*, Assistant for GPS, Positioning and Navigation 6000 Defense Pentagon Washington, DC 20301-6000, Feb. 2007.

5. *Global Positioning System: Theory and Applications*. Vol. 1 / edited by B.W. Parkinson and J.J. Spilker Jr. – Washington, DC 20024-25, 1995.

6. *Синицын И.Н.* Фильтры Калмана и Пугачева: учеб. пособие / И.Н. Синицын. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 640 с.

7. *OEMV Installation and Operation*. – Режим доступу: <http://www.novatel.com/support/firmware-software-and-manuals/product-manuals-and-doc-updates/oemv-family/>

8. *Global Positioning System Wing Systems Engineering & Integration*, 300 N. Sepulveda Blvd., Suite 3000. El Segundo, CA 90245, Jun. 2010.

9. *Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС*. Интерфейсный контрольный документ. – М.: РНИИ КП, 2008. – 74 с.

Стаття надійшла до редакції 13.03.2012.