

*О.С. Погурельський, В.В. Конін, д.т.н., проф.
(Національний авіаційний університет, Україна)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СИСТЕМ GPS ТА ГЛОНАСС

Аналізується ефективність розв'язання навігаційної задачі за алгоритмом спільної обробки даних, що поступають від систем GPS і ГЛОНАСС. Зазначаються умови, за яких приймач з можливістю спільної обробки даних від різних супутникових навігаційних систем матиме переваги над "односистемними".

На сучасному етапі супутникові радіонавігаційні системи є високотехнологічною галуззю із найбільшими темпами розвитку. Відбувається зростання кількості навігаційних пристроїв і їх проникнення у найрізноманітніші галузі застосування. Разом із тим, за інформацією оприлюдненою бюджетно-контрольним управлінням США, а згодом підтвердженою головним конструктором системи GPS Бредом Паркінсоном, вже у 2010 році число працездатних космічних апаратів цієї системи впаде нижче критичного рівня. Існує ймовірність, що кількість працездатних GPS-супутників може виявитись меншою за 24. Як наслідок, найбільш розвинена на сьогоднішній день супутникова радіонавігаційна система не зможе гарантувати користувачам глобальність та безперебійність постачання навігаційних послуг.

В той же час система ГЛОНАСС, підпорядкована Міністерству оборони Російської Федерації, продовжує розгортання супутникового угруповування і модернізацію вже виведених на орбіту навігаційних космічних апаратів. Карта інтегральної доступності системи ГЛОНАСС на сайті інформаційно-аналітичного центра Роскосмоса свідчить про стабільність рівня параметра середньодобової доступності навігації за сигналами системи як на території Росії (на рівні 96%), так в світі вцілому (85%). На противагу GPS можливості ГЛОНАСС зростають, і найближчій перспективі складатимуть їм суттєву конкуренцію.

З точки зору користувачів, яких цікавить можливість отримання якісних послуг супутникової навігації протягом наступних кількох років, а також їх незалежність від політичних і економічних чинників, оптимальним варіантом виглядає не вибір якоїсь конкретної системи, а можливість роботи з супутниковими сузір'ями різних існуючих систем. Причому можливість одночасної обробки даних від супутників GPS, ГЛОНАСС, а в перспективі і GALILEO, здатна компенсувати окремі недоліки, пов'язані з неповною комплектацією космічного сегменту, короткотривалими відмовами окремої системи, навмисним загрубленням точності.

На сьогоднішній день на ринку навігаційних приймачів існує достатня кількість пристроїв, що поєднують в собі функції GPS та ГЛОНАСС приймача, тобто приймають і обробляють сигнали, як від однієї, так і від іншої системи. В переважній більшості користувачу необхідно самому зробити вибір, за сигналами якої системи він бажає отримати розв'язок навігаційної задачі. Приймачі з можливістю одночасної обробки навігаційної інформації від обох систем і винайденням спільного розв'язку місцеположення наразі складають одиниці. Пошук в літературних джерелах математичного обґрунтування алгоритму спільної обробки сигналів від супутників різних систем показує явну недостатність інформації з цього питання. Частково це пояснюється комерційною зацікавленістю розробників навігаційної апаратури в дослідженнях подібного спрямування. В той же час, аналіз загальних принципів побудови та функціонування супутникових навігаційних систем GPS і ГЛОНАСС дозволяє припустити можливість спільної обробки навігаційної інформації від обох цих систем.

При розрахунку місцеположення навігаційного приймача найбільш поширеним є псевдовіддалемірний метод.

В основі методу лежить рівняння:

$$PR_i^{uzm.} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + h_n + \Delta_i, \quad (1)$$

де

x, y, z – координати, які необхідно визначити,

x_i, y_i, z_i – координати навігаційного супутника з номером i ,

$PR_i^{uzm.}$ – виміряна псевд віддаль до навігаційного супутника з номером i ,

h_n – помилка вимірювання псевдовіддалі внаслідок розходження шкал часу супутника та приймача.

Δ_i – похибки визначення псевдо віддалі до i -го супутника внаслідок похибок прогнозу ефемерид, похибок частотно-ефемеридного забезпечення, похибок швидкості розповсюдження радіохвиль в тропосфері і іоносфері на трасах « i -тий навігаційний супутник-користувач», похибок через багатопроменеве розповсюдження сигналів навігаційних супутників в місці прийому, шумів приймального каналу апаратури користувача та похибок внаслідок природних та навмисних завад.

В рівнянні (1) присутні чотири невідомих, які необхідно визначити: x, y, z, h_n . Для обрахунку координат x, y, z та помилки h_n , необхідно мати вимірювання псевдовіддалей не менш ніж до чотирьох супутників. При одномоментних вимірюваннях h_n для всіх вимірювань однакова і при наявності чотирьох нелінійних рівнянь (1) може бути отриманий точний розв'язок.

Якщо навігаційний приймач виконує вимірювання псевдовіддалей по системам GPS і ГЛОНАСС, що працюють в різних системних шкалах часу, то додається ще одна невідома величина – помилка вимірювань псевдовіддалі внаслідок розходження шкал часу супутника ГЛОНАСС і приймача (h_k). Для визначення координат x, y, z і помилки h_k рівняння (1) приймає вигляд:

$$PR_j^{uzm.} = \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2} + h_k + \Delta_j, \quad (2)$$

де

x, y, z – координати, які необхідно визначити;

x_j, y_j, z_j – координати навігаційного супутника ГЛОНАСС з номером j ,

$PR_j^{uzm.}$ – виміряна псевдовіддаль до навігаційного супутника ГЛОНАСС з номером j ,

h_k – помилка вимірювань псевдовіддалі внаслідок розходження шкал часу супутника ГЛОНАСС і приймача,

Δ_j – похибки визначення псевдо віддалі до j -го супутника внаслідок похибок прогнозу ефемерид, похибок частотно-ефемеридного забезпечення, похибок швидкості розповсюдження радіохвиль в тропосфері і іоносфері на трасах « i -тий навігаційний супутник-користувач», похибок через багатопроменеве розповсюдження сигналів навігаційних супутників в місці прийому, шумів приймального каналу апаратури користувача та похибок внаслідок природних та навмисних завад.

Таким чином, якщо розрахунок координат користувача виконується із застосуванням вимірювань псевдовіддалей до супутників GPS і ГЛОНАСС необхідно визначити п'ять невідомих: x, y, z, h_n, h_k . Для визначення п'яти невідомих необхідно мати мінімум п'ять рівнянь типу (1, 2). Причому ці рівняння мають відноситись до різних супутникових систем в будь-яких кількісних комбінаціях, наприклад: 4 GPS + 1 ГЛОНАСС, 3 GPS + 2 ГЛОНАСС, 2 GPS + 3 ГЛОНАСС, 1 GPS + 4 ГЛОНАСС.

Оскільки в зоні видимості навігаційного приймача може знаходитись від 6 до 11 супутників GPS і стільки ж супутників ГЛОНАСС (при повному розгортанні ГЛОНАСС), то розрахунок координат користувача доцільно виконувати при використанні вимірювань псевдовіддалей до усіх видимих супутників.

Запропонований метод було реалізовано в програмному середовищі MatLab у вигляді програми. Окремими функціями створеної програми виконуються:

- декодування ефемерид супутників системи GPS;

- декодування ефемерид супутників системи ГЛОНАСС;
- зчитування вимірної приймачем псевдовіддалі до супутників GPS;
- зчитування вимірної приймачем псевдовіддалі до супутників GPS;
- розмноження отриманих ефемерид на час визначення псевдовіддалі до видимих супутників обох систем;
- розв'язання навігаційної задачі окремо за даними системи GPS;
- розв'язання навігаційної задачі окремо за даними системи ГЛОНАСС;
- розв'язання навігаційної задачі у спільному алгоритмі.

Отримані результати розв'язання навігаційної задачі порівнювались із апріорі відомим положенням антени приймача, який використовувався для запису навігаційних повідомлень GPS та ГЛОНАСС. Накоплена за інтервал виконання експерименту сферична помилка виводилась на екран у вигляді графіків зміни помилки в часі окремо для випадків: розв'язання навігаційної задачі за даними системи GPS, розв'язання навігаційної задачі за даними системи ГЛОНАСС, результат обробки у спільному алгоритмі. Визначались математичне очікування помилки визначення місцеположення та середньоквадратичне відхилення.



Рис. 1. Видимі навігаційні супутники на момент запису даних

На рис.1 зафіксовано розташування видимих супутників на момент проведення запису ефемерид та вимірних псевдовіддалей. Супутники з номерами 1-32 відносяться до системи GPS, з номерами 33-64 до системи ГЛОНАСС.

Графічні результати роботи програми з обробки записаних даних для інтервалу у 220 секунд приведені на рис.2.

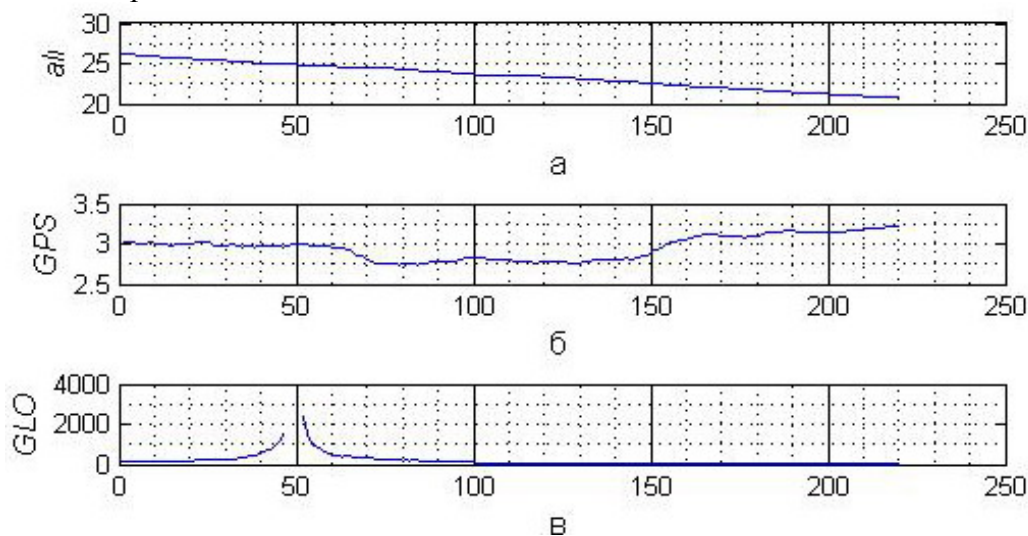


Рис.2. Сферична помилка визначення місцеположення для 220 відліків
 а) при спільній обробці даних від систем GPS та ГЛОНАСС
 б) при обробці даних окремо від системи GPS
 в) при обробці даних окремо від системи ГЛОНАСС

Незважаючи на те, що точнісні характеристики розв'язання навігаційної задачі при спільній обробці даних виявились гіршими, ніж при окремій обробці даних від систем GPS та ГЛОНАСС, необхідно відзначити наявність короткотривалого інтервалу часу, коли розрахунок в системі ГЛОНАСС був взагалі неможливий внаслідок відсутності даних від одного з чотирьох видимих супутників. Цей момент на графіку (рис.2в) відобразився розривом розрахунку помилки місцевизначення. Проте на графіку спільної обробки цей стрибок погіршення точності і розрив відсутні (рис.2а), тобто короткотривала відсутність від одного із задіяних супутників ГЛОНАСС успішно компенсувалась доданими дев'ятьма супутниками GPS.

В табл.1 приведено результати розрахунків математичного очікування та середньоквадратичного відхилення помилки визначення місцеположення для різних кількісних комбінацій навігаційних супутників, виміряні псевдовіддалі до яких використовувались у розрахунках.

Таблиця 1.

Комбінація супутників	9 GPS	4 ГЛОНАСС	9 GPS + 4 ГЛОНАСС	4 GPS + 4 ГЛОНАСС	6 GPS + 4 ГЛОНАСС	3 GPS + 3 ГЛОНАСС	9 GPS + 1 ГЛОНАСС
m, м	2,95	17,63	23,47	20,09	9,13	87,54	6,77
σ , м	0,27	2,12	2,69	2,34	1,08	8,25	0,54

На рис.3-5 приведені графіки зміни сферичної похибки визначення місцеположення при різних комбінаціях використаних супутників.

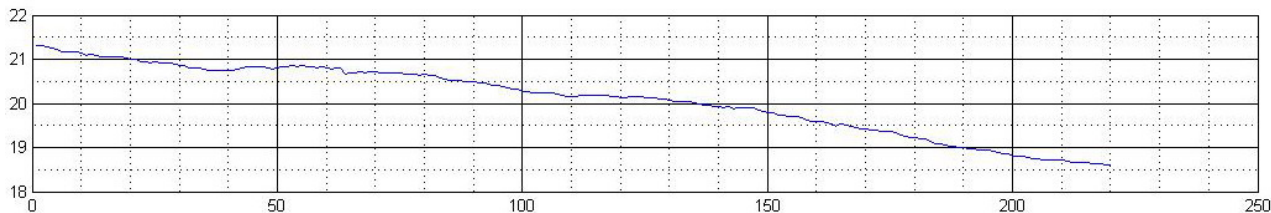


Рис.3 Сферична помилка визначення місцеположення для сузір'я 4GPS+4ГЛОНАСС

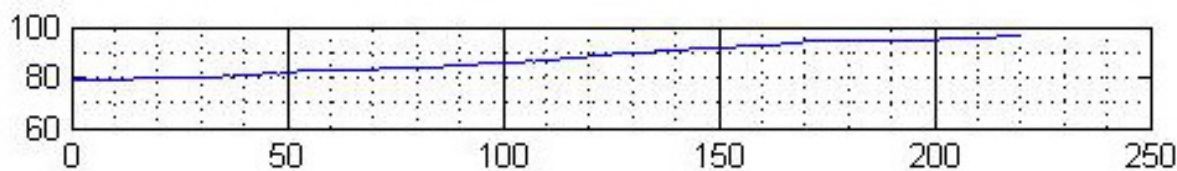


Рис.4 Сферична помилка визначення місцеположення для сузір'я 3GPS+3ГЛОНАСС

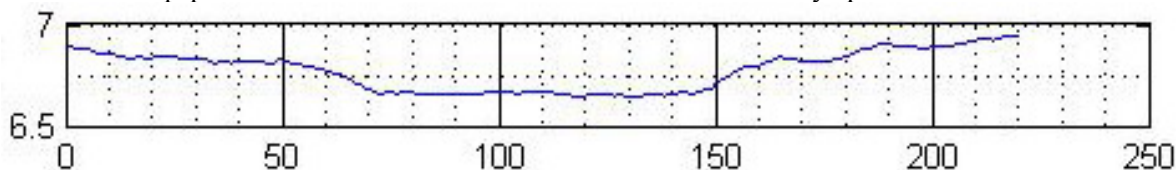


Рис.5 Сферична помилка визначення місцеположення для сузір'я 9GPS+1ГЛОНАСС

Висновки

Результати роботи програми зі спільної обробки даних підтвердили можливість додавання в разі необхідності до сузір'я супутників однієї системи додаткових супутників із іншої. Виграш по точності при цьому не спостерігався, проте збільшення загального числа супутників, які можуть бути використані, підвищує цілісність послуги супутникової навігації. Так у випадку доступності лише 3-х супутників GPS розв'язання навігаційної задачі неможливе, а при додаванні до них 2-х чи 3-х супутників ГЛОНАСС, спільний алгоритм обробки даних цю задачу розв'язати спроможний.

Існуючий на сьогодні стан, коли послуги супутникової навігації в глобальному масштабі можна одержувати від паралельно функціонуючих систем GPS, ГЛОНАСС та в перспективі GALILEO, доцільно використовувати заради отримання більш високих якісних показників сервісу вцілому.