УДК 623.4.023.4

В. Корольов
Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут

АЛГОРИТМ СУМІСНОЇ ОБРОБКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМІ НАВІГАЦІЇ НАЗЕМНОГО РУХОМОГО ОБ'ЄКТА

© Корольов В., 2005

Отдельно ни АСН, ни АП СРНС не могут быть использованы для определения местоположения наземного подвижного объекта как основная, поскольку не могут обеспечить определение непрерывной навигационной информации необходимой точности. Алгоритм совместной обработки навигационной информации, поступающей с АСН и СРНС обеспечит непрерывность и необходимую точность и содержит два этапа – компенсации систематических составляющих ошибки определения местоположения наземного подвижного объекта и фильтрации случайных составляющих

Separately not ANS not SRNS can not be used for determination of location of land g mobile object as basic, so far as can not secure determination of continuous navigation information of necessary exactness.The algorithm of joint treatment of navigation information acting with ANS and SRNS will secure continuity and necessary exactness and contains two stages – compensations of systematic constituents of error of determination of location of land mobile object and filtration of accidental constituents.

Постановка проблеми. Оснащення наземного рухомого об'єкта (НРО) системою навігації (СН) дає можливість визначати його поточні координати $x(t), y(t)$ і дирекційний кут $\alpha(t)$, тобто розв'язувати так звану першу навігаційну задачу [5]. Системи навігації, якими останні десятиріччя обладнувалися спеціальні наземні машини, визначають їх поточні координати з точністю порядку 1,3 %, від шляху, що пройдений. Для розв'язання штатних задач у сучасних умовах необхідна більш точна навігаційна інформація. Точність визначення цих параметрів залежить від похибок

визначення вихідних координат x_0, y_0 та дирекційного кута α_0, швидкості руху об'єкта $V(t)$, ступеня спрацювання рушія, характеристик траси тощо. Тому розробка алгоритмів, яки підвищують точність визначення цих параметрів, що підвищує точність розв'язання першої навігаційної задачі, є актуальним завданням.

Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Системи навігації дають змогу розв'язувати традиційні задачі (маршова навігація, топографічна прив'язка НРО, організація штатного використання), а при налагодженому обміні інформацією створюються передумови для розв'язання завдань взаємодії як між окремими НРО, так і для забезпечення їхніх сумісних дій у складі груп [6]. Ефективність розв'язання цих задач залежить насамперед від точності визначення поточних координат і дирекційного кута НРО.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Принцип вирішення 1 НЗ викладено в роботі [5]. Там же обговорюються джерела складових похибки визначення поточних координат НРО, без декомпозиції їх на систематичні та випадкові складові та без пропозицій по їх компенсації. В [3] обговорюються загальні вимоги до навігаційної інформації, яким вона повинна задовольняти, щоб НРО був спроможним розв'язувати штатні задачі, але також не проводиться порівняння складових похибки визначення координат НРО і не дається рекомендацій щодо їх мінімізації.

Питання підвищення точності визначення координат НРО шляхом зменшення лише однієї з декількох складових – врахування впливу пересіченості рельєфу місцевості розглядає робота [3].

Постановка завдання. Точності координат НРО, що визначаються при розв'язанні першої навігаційної задачі, є основною характеристикою СН, якими обладнуються сьогодні більшість наземних спеціальних машин. Знання систематичних та випадкових складових загальної похибки визначення координат НРО дасть змогу визначити доцільні напрямки їх компенсації.

Невирішена частина загальної проблеми. Необхідно декомпозувати похибку визначення координат НРО на складові. Проаналізувати внесок систематичних та випадкових складових і запропонувати алгоритм їх компенсації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Штатний процес, у якому використовуються сучасні НРО, що перебігає в просторі і часі, характеризується великою динамікою. При цьому необхідна інформація про місце розташування своєї машини й інших об'єктів, що беруть участь у розв'язанні поставленої задачі, тобто необхідна НІ. Керівні документи декларують, що керування цим процесом повинно бути безупинним, твердим і гнучким. Це потребує від НІ безперервності, постійної наявності за достатньої точності.

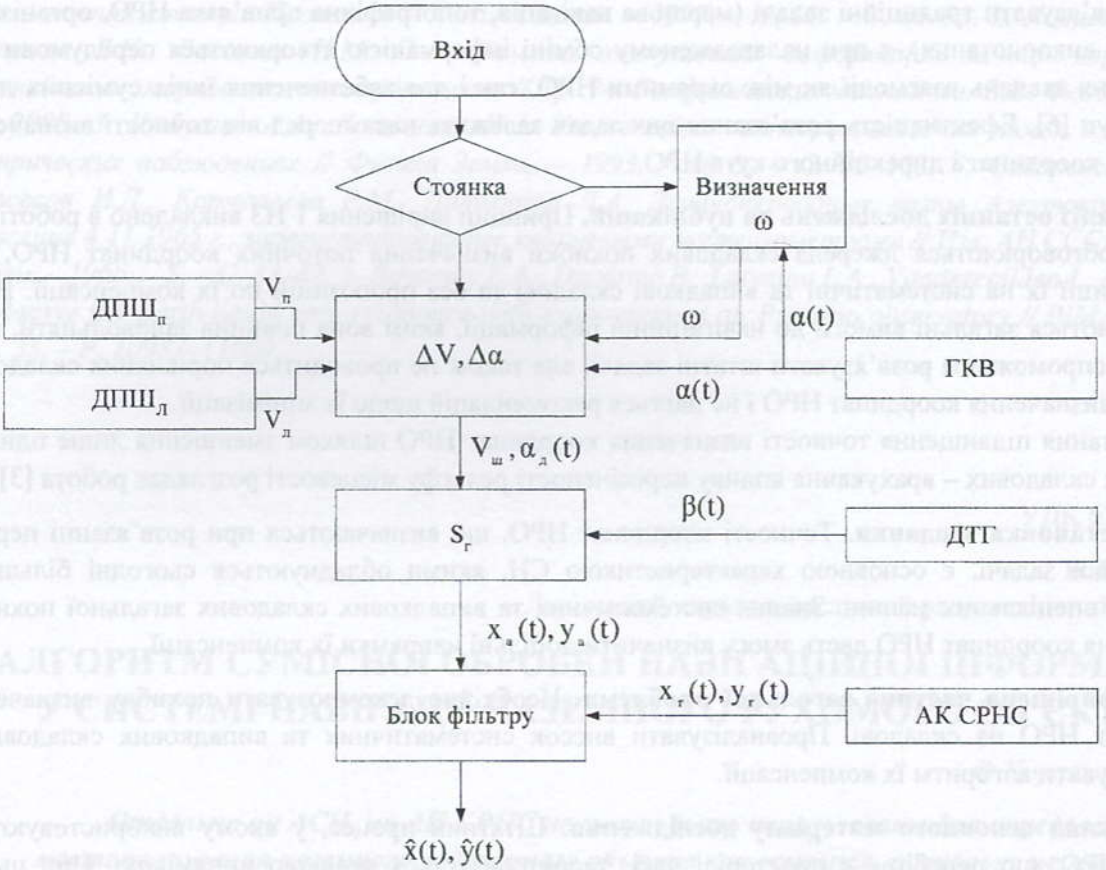
Автономні системи навігації одометричні, інерціальні мають великі миттєві точності, тобто НІ, що надходить з них, – безупинна. Вони не залежать від будь-яких інших систем, тобто є цілком автономні. Головний їхній недолік – нагромадження систематичної помилки внаслідок власного дрейфу гіроскопічного датчика, що призводить через визначений проміжок часу до значної втрати точності. Через це автономні СН не можуть бути використані як основні.

НІ, яка надходить з апаратури користувача супутникових радіонавігаційних систем (АК СРНС), має точності в межах "σ" і за природою свого визначення є дискретною. Можливі зриви спостереження, викликані затіненнями навігаційних супутників, поганий геометричний фактор, а головне, селективний доступ до СРНС можуть призвести до втрати точності, а то й зовсім до неможливості робити навігаційні визначення. Отже, АП СРНС також не може бути основний СН на НРО.

Вихід із становища, що створилося, полягає в комплексуванні автономних систем навігації (АСН) і АК СРНС. У цьому випадку НІ, що надходить з комплексної СН, буде безупинною (за рахунок інерціальної компоненти) і її погрішність буде не гіршою, ніж в АК СРНС.

Вторинну обробку НІ необхідно проводити в два етапи. На першому – необхідно обидва інформаційні потоки за можливості "очистити" від систематичної складової помилки, а на другому – зробити їхню спільну обробку алгоритмом оптимальної фільтрації.

Крупну блок-схему алгоритму сумісної обробки НІ у системі навігації НРО, що охоплює обидва етапи, показано на рисунку.



Крупна блок-схема алгоритму сумісної обробки НІ

Перший етап. Поточні координати $x(t), y(t)$ НРО визначаються з таких співвідношень [5]:

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \int_0^t V(\tau)\cos\alpha(\tau)\,d\tau \\ y(t) &= y_0 + \int_0^t V(\tau)\sin\alpha(\tau)\,d\tau \end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

де x_0, y_0 – координати точки старту НРО; t – поточний час; τ – змінна інтегрування; $V(\tau)$ поточна швидкість НРО; $\alpha(\tau)$ – поточний дирекційний кут НРО.

Для врахування горизонтального прокладення шляху, що пройдений, пропонується встановити на машині датчик тангажу. Тоді поточні координати $x(t), y(t)$ НРО будуть визначатися із співвідношень [3]:

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \int_0^t V(\tau)\cos\alpha(\tau)\cos(\beta(\tau))d\tau \\ y(t) &= y_0 + \int_0^t V(\tau)\sin\alpha(\tau)\cos(\beta(\tau))d\tau \end{aligned}\right\}, \quad (2)$$

де $\beta(\tau)$ – поточне значення кута тангажу.

Сумісна обробка НІ, що надходить з курсової та шляхової систем НРО, дає змогу компенсувати похибки визначення місцерозташування НРО, що виникають завдяки різним швидкостям бортів при поворотах машини, проковзуванню того чи іншого борту. Для цього на машині по кожному борту встановлюється власний датчик швидкості, що дає можливість визначення швидкостей правого та лівого бортів $V_п$, $V_л$, відповідно. Тоді на кожний момент часу можна утворити дві різниці, а саме: $\Delta V = V_п - V_л$ та $\Delta\alpha = \alpha_i - \alpha_{i-1}$. Значення α_i, α_{i-1} є показниками гірокурсовказівника (ГКВ) для двох послідовних моментів часу. Співвідношення знаків величин ΔV, $\Delta\alpha$ і дає змогу здійснити компенсацію похибок повороту та проковзування [4].

Для компенсації власного дрейфу гіроскопа ГКВ використаємо його кутову швидкість ω(t).

Тоді поточні координати $x(t), y(t)$ НРО будуть визначатися із співвідношень

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \int_0^t V(\tau)\cos(\alpha_0 - \omega(\tau)\tau)\cos(\beta(\tau))d\tau \\ y(t) &= y_0 + \int_0^t V(\tau)\sin(\alpha_0 - \omega(\tau)\tau)\cos(\beta(\tau))d\tau \end{aligned}\right\}, \quad (3)$$

де α_0 – значення вихідного дирекційного кута машини.

Виходячи з того, що для доволі великих проміжків часу (до декількох годин) $\omega(t)$ можна приймати за сталу, то вводячи час від часу заздалегідь підготовлені її значення $\{\omega_i\}$, що відповідають власному дрейфу гіроскопа на поточний час, можна забезпечити визначення $x(t), y(t)$, у яких відповідна систематична складова похибки місцезнаходження буде скомпенсованою.

На практиці, як правило, не вдається мати достатньо досконалого набору $\{\omega_i\}$, оскільки він є індивідуальним для кожного гіроскопа, а його визначення – процес трудомісткий та вимагає спеціального обладнання. Крім того, у процесі експлуатації гіроскопа ці характеристики, як правило, змінюються. Здається доцільним розраховувати значення ω для НРО, коли він є нерухомим як відношення різниці зміни дирекційного кута до самого проміжку часу стоянки. Моделювання на стенді з ГКВ типу "Маяк-22" показує, що оптимальний час поновлення становить величину порядку 2 годин. За менші проміжки часу зміни ω є незначні. При цьому похибка місцезнаходження з врахуванням компенсації власного дрейфу осі ГКВ не перевищує 200 м упродовж 4–5 годин руху.

Слід зауважити, що розрахунок ω вимагає зупинки НРО на 5–7 хвилин, а вони не завжди можливі, а іноді й недоцільні. Вигідніше об'єднувати у часі розрахунок ω з початковим чи контрольним орієнтуванням або використовувати для оновлення ω будь-яку зупинку, що перевищує 5–7 хвилин. За наявності в СН процесора ця операція здійснюється автоматично без участі членів екіпажу.

Для компенсації систематичної похибки визначення місцерозташування НРО за допомогою АК СРНС можна використати псевдодиференційний метод. Він полягає у визначенні поправок для точки, яка геодезично прив'язана з високою точністю. Ці поправки мало змінюються для достатньо

великих регіонів (до двохсот кілометрів), тому їх можна використовувати для компенсації систематичної похибки СРНС [7].

Другий етап. Позначимо координати НРО, що отримані з АСН, через $x_a(t), y_a(t)$, а з АК СРНС – через $x_r(t), y_r(t)$. Для фільтрації випадкових складових похибок визначення місцерозташування НРО та отримання оцінок його координат $\hat{x}(t), \hat{y}(t)$ скористаємось алгоритмом на базі методу максимальної правдоподібності, який завдяки малому обсягу пам'яті та невеликим витратам процесорного часу є доцільним для використання в СН з вбудованим обчислювачем [2]. Тоді значення величин $\hat{x}(t), \hat{y}(t)$ отримаємо із співвідношень

$$\hat{x} = \frac{\sigma^2_{x_a} x_r + \sigma^2_{x_r} x_a}{\sigma^2_{x_a} + \sigma^2_{x_r}};$$
$$\hat{y} = \frac{\sigma^2_{y_a} y_r + \sigma^2_{y_r} y_a}{\sigma^2_{y_a} + \sigma^2_{y_r}}, \quad (4)$$

де σ_{x_a}, σ_{y_a}, σ_{x_r}, σ_{y_r} – дисперсії відповідних величин.

Величини $\hat{x}(t), \hat{y}(t)$ надходять до системи відображення інформації або до інших підсистем НРО.

Висновки. Окремо ні АСН, ні АК СРНС не можуть забезпечити навігаційної інформації властивості неперервності та необхідної точності. Тому жодна з них не може бути використана для визначення місцезнаходження НРО як основна.

Алгоритм сумісної обробки НІ, що надходить з АСН та АК СРНС, що запропоновано, забезпечить її неперервність та необхідну точність і повинен містити два етапи – компенсації систематичних складових похибки визначення місцерозташування НРО та фільтрації випадкових складових.

1. Вимоги до характеристик навігаційної інформації й систем навігації НРО в сучасному штатному процесі / В.М. Корольов, В.І. Іванов, В.Д. Макаревич та ін. // Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – 2000. – С. 280–283. 2. Корольов В.М. Алгоритм комплексної обробки навігаційної інформації, яка поступає від одометричної та радіотехнічних навігаційних систем на базі методу максимальної правдоподібності // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – 2001. – № 6. – С. 79–82. 3. Корольов В.М. Оцінка впливу обчислення кута нахилу на точність визначення координат наземного рухомого об'єкта (НРО) // Геодез., картогр. та аерофотознім. – 1999. – № 59. – С. 15–17. 4. Корольов В.М. Підвищення точності вирішення координат наземного рухомого об'єкта (НРО) шляхом сумісної обробки інформації, що надходить із датчиків курсу та швидкості // Геодез., картогр. та аерофотознім. – 2004 – № 65 – С. 39–43. 5. Кузнецов М.И., Преснов В.К., Сурат Л.И. Танковые навигационные системы. – М., 1978. – 120 с. 6. Корольов В.М., Волчко П.І., Жидков В.Ю., Макаревич В.Д. ГІС-технології в інформаційно-керуючих системах підрозділів Сухопутних військ // Вісн. геод. та картогр. – 2004. – № 3. – С. 67–71. 7. Шуландт А. Использование дифференциальных поправок для высокоточной спутниковой навигации // Зб. доп. III Міжнар. наук.-техн. конф. з гіротехнології, навігації, управління рухом та конструювання рухомих об'єктів. – К., 2001. – С. 220–223.