

УДК 004. 942

АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ

Паришин О.М.

Донецький національний технічний університет

У докладі розглянуті проблеми створення системи, яка розраховує координати руху повільно рухомого водного транспорту, використовуючи дані від декількох навігаційних систем. Виконано аналіз сучасних навігаційних систем. Розглянуто математичні моделі руху судна. Зроблено висновок про адаптацію інтегрованої навігаційної системи і фільтра Кальмана до математичної моделі руху судна.

5 У цьому докладі досліджується створення системи розрахунку координат повільно рухомого об'єкта з високою інертністю. Сучасний розвиток технологій призвів до появи цілого ряду вимог щодо навігації. Протягом багатьох століть термін «навігація» означав сукупність вказаних значень. У наш час поняття навігації придбало наступний характер: «навігація» — розділ науки про способи проведення морських, повітряних суден та космічних літальних апаратів з однієї точки простору в іншу.

Це завдання вирішується методами і приладами морехідної, повітряної і космічної навігації, які дозволяють визначити місцеположення і орієнтацію рухомого об'єкта щодо прийнятої системи координат, величину і напрям швидкості руху, напрямок і відстань до місця призначення і т.д. До завдань навігації також належить визначення оптимального маршруту руху, під яким розуміється вимога забезпечення максимальної безпеки та економічності виведення об'єкта в задану точку простору у визначений момент часу з установленою точністю.

Тема цього доповіді має актуальне значення, так як з кожним роком зростають вимоги до точності визначення координат рухомого об'єкта. Завдання полягає в тому, щоб розробити систему, яка

могла б підвищити точність місцевизначення об'єкта, гарантувати стабільність і правдоподібність результатів у процесі накопичення помилки в навігаційній системі.

Існує кілька навігаційних систем, які використовуються на сьогоднішній день: інерціальна навігаційна система, супутникова, радіонавігаційна.

Інерціальні навігаційні системи: це точні автоматичні пристрої, засновані на застосуванні вимірювачів прискорень (акселерометрів), стабілізаторів для утримання акселерометрів в певному положенні щодо інерційної системи координат, лічильно-обчислювальних пристроїв для обчислення місцезнаходження рухомих об'єктів.

ІНС за способом визначення координат місцезнаходження відносяться до систем числення шляху. Вони використовуються для вирішення наступних навігаційних завдань:

- неперервного вимірювання за допомогою акселерометрів прискорень центру мас під дією активних (негравітаційного) сил;
- моделювання навігаційних систем координат (НСК);
- обчислення складових швидкості шляхом одноразового інтегрування і координат місцезнаходження центру мас шляхом дворазового інтегрування вимірюваних прискорень [4].

Супутникова система навігації - комплексна електронно-технічна система, що складається із сукупності наземного і космічного устаткування, призначена для визначення місця розташування (географічних координат і висоти), а також параметрів руху (швидкості та напрямку руху і т. д.) для наземних, водних і повітряних об'єктів. Крім навігації координати, одержувані, завдяки супутниковим системам, використовуються в наступних галузях народного господарства.

- Геодезія: за допомогою систем навігації визначаються точні координати точок і межі земельних ділянок
- Картографія: системи навігації використовуються в цивільній і військовій картографії

- Навігація: із застосуванням систем навігації здійснюється як морська, так і дорожня навігація
- Супутниковий моніторинг транспорту: з допомогою систем навігації ведеться моніторинг за становищем, швидкістю автомобілів, контроль за їх рухом[3]

Ці системи мають ряд суттєвих недоліків, які не задовольняють сучасним вимогам. Деякі з них:

- накопичення помилки з плином часу
- низька частота даних, що надходять (СНР)
- високий рівень шумів
- немає можливості передустановки (ІНС)

Тому більшу популярність в останні роки отримала інтегрована навігаційна система. Інтегрована навігаційна система - це синтез двох самостійних систем - інерціальної навігаційної системи (ІНС) і супутникової навігаційної системи (СНС), що дозволяє об'єднати переваги і компенсувати недоліки, притаманні кожній з систем окремо.

5 Перевагами інтегрованої ІСНС в порівнянні з автономними вимірниками є:

- підвищення надійності;
- істотне зниження вартості, за рахунок можливості використання низькою вартістю інерціальних датчиків;
- більш високий ступінь резервування;
- висока точність визначення координат, складових вектора швидкості, кутів орієнтації і кутовий швидкості;
- забезпечення безперервності високоточних навігаційних визначень;
- високий темп видачі даних.

Максимального виграшу від інтеграції навігаційних вимірників можна досягти вирішивши завдання синтезу що дозволяє знайти оптимальну структуру і характеристики ІНС. Теоретичним базисом такого синтезу є теорія оптимальної фільтрації, в якій даний напрямок одержав назву комплексної фільтрації.

У найбільш загальному вигляді завдання синтезу комплексної системи фільтрації може бути сформульована наступним чином.

Нехай X_k - вектор стану в момент часу k , що підлягає оцінюванню (фільтрації), та містить координати споживача, складові його вектора швидкості і прискорення, кути орієнтації та відповідні кутові швидкості, задані, наприклад, в інерціальній системі координат. Інерціальний датчик (ІНС) вимірює деякі компоненти вектора стану X_k (зазвичай це складові векторів прискорення та кутової швидкості), тому можна записати

$$y_{\text{ІНС},k} = HX_k + \eta_k, \quad (1)$$

де H - матриця відповідної структури; η_k - вектор похибок вимірювань.

На вхід СНС надходять радіосигнали $S_j(X, t), j = \overline{1, N}$ від усіх видимих НС

$$y(t) = \sum_{j=1}^N S_j(X, t) + n(t),$$

які в СНР піддаються посиленню, фільтрації та аналого-цифровому перетворенню. У результаті маємо відліки супутникових спостережень в моменти часу $t_{k-1,i} = t_{k-1} + iT_d, i = \overline{1, n}$, де T_d - крок дискретизації.

$$y_{\text{СНС}}(t_{k-1,i}) = \sum_{j=1}^N S_j(X_{k-1,i}, t_{k-1,i}) + n_{k-1,i}, \quad (2)$$

де $n_{k-1,i}$ - внутрішній шум.

В (1), (2) для простоти вважаємо, що вимірювання ІНС і вхідні сигнали СНС синхронізовані. Задаючи динаміку зміни вектора X в часі, завдання синтезу комплексної системи фільтрації можна сформулювати як отримання найкращої оцінки X (наприклад, в сенсі мінімуму дисперсії помилки фільтрації) при спільній обробці спостережень (1) та (2). У результаті синтезу маємо схему оптимальної ІНС, як на рис. 1.

У теорії оптимальної фільтрації сказано, що при певних умовах замість спостережень (2) можна використовувати достатню статистику:

$$y_{\text{корр}}, k = \sum_{j=1}^n y_{\text{СНС}}(t_{k-1,i}) S(X_{k-1,i}, t_{k-1,i}), \quad (3)$$

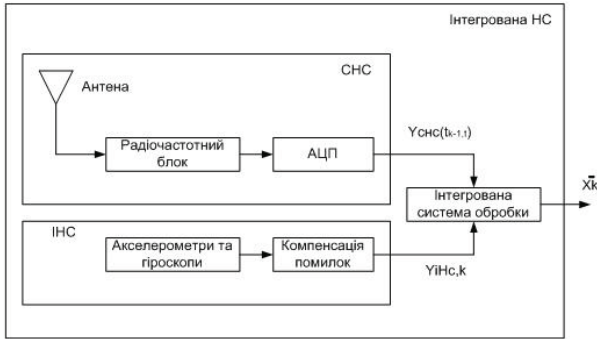


Рисунок 1 – Схема інтегрованої навігаційної системи

де $S(X_{k-1,i}, t_{k-1,i}) = |S(X_{k,i}, t_{k,i}) \dots S_N(X_{k,i}, t_{k,i})|^T$ - вектор опорних сигналів.

5

Вираз (3) є не що інше, як векторний корелятор. При такому поданні еквівалентних спостережень у СНР схема оптимальної ІНС приймає вигляд, наведений на рис. 2 [6].

У даній схемі до блоку СНС, крім антени, радіочастотного блоку і АЦП, входить багатовимірний корелятор, а комплексний фільтр є загальним для СНС і ІНС. Широке застосування в качестве фільтра знайшов себе фільтр Кальмана.

Запропонований Рудольфом Кальманом у 1960 році алгоритм цифрової фільтрації отримав позитивні відгуки фахівців, а крім того існував ряд завдань (наприклад, спільне використання

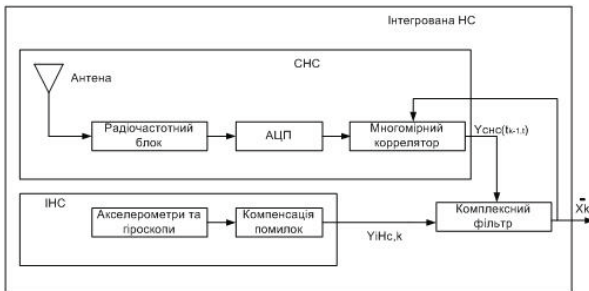


Рис 2. Схема інтегрованої навігаційної системи

навігаційних систем різної природи), які вимагали зручного засобу обробки даних в реальному часі. Проте незабаром було визнано, що застосування фільтра Калмана, вимагає особливої уваги до побудови математичних моделей оброблюваних процесів, а також до точності комп'ютерної арифметики [1].

Фільтр Калмана є різновидом рекурсивних фільтрів. Для обчислення оцінки стану системи на поточний такт роботи йому необхідні оцінка стану (у вигляді оцінки стану системи і оцінки похибки визначення цього стану) на попередньому такті роботи та вимірювання на поточному такті. Дана властивість відрізняє його від пакетних фільтрів, що вимагають у поточний такт роботи знання історії вимірювань та / або оцінок. На рис. 3 наведена примітивна схема роботи фільтра Кальмана [2].

Розробка навігаційної системи, що містить у своєму складі фільтр Калмана змушує враховувати ряд особливостей: частину фільтра, що займається коваріаційним аналізом, не вимагає для своєї роботи ані конкретних значень оцінок стану системи, ні вимірювань; необхідні тільки величини, що характеризують їх похибки. Ця властивість використовується розробником для апріорної оцінки точності результатів, одержуваних за допомогою того чи іншого виду апаратури, і тим самим дозволяє здійснити вибір придатного обладнання [1].

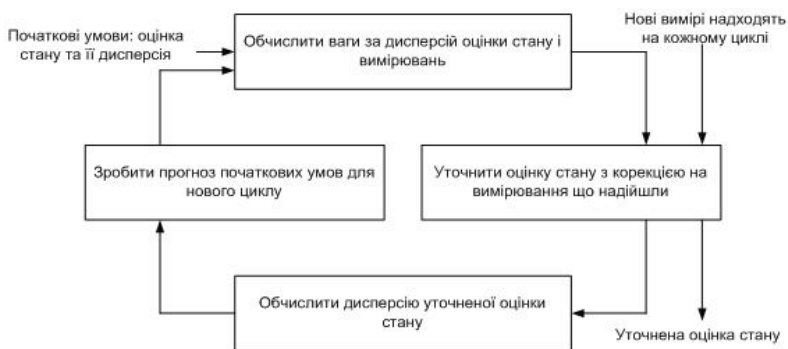


Рисунок 3 – Примітивна схема роботи фільтра Кальмана

Щоб розробити програмне забезпечення для експериментального досліджування алгоритмів розрахунку координат повільно рухомого об'єкту з великою інертністю треба використовувати конкретну математичну модель руху об'єкту. У якості такої моделі була обрана математична модель руху судна (4), яка є класичним приміром повільно рухомого об'єкту з великою інертністю.

$$\left\{ \begin{array}{l} dx_0 / dt = v \cos (q - \beta); \\ dy_0 / dt = v \sin (q - \beta); \\ dq / dt = w; \\ \frac{dv}{dt} = -vws \sin \beta \cos \beta \left(\frac{1}{1+k_{11}} - \frac{1}{1+k_{22}} \right) - \frac{(\sum F_{yi}) \sin \beta}{(1+k_{22})pV} + \frac{(\sum F_{xi}) \cos \beta}{(1+k_{11})pV}; \\ \frac{d\beta}{dt} = w \left(\frac{\sin^2 \beta}{1+k_{11}} - \frac{\cos^2 \beta}{1+k_{22}} \right) - \frac{(\sum F_{xi}) \sin \beta}{(1+k_{11})pV} + \frac{(\sum F_{yi}) \cos \beta}{(1+k_{22})pV}; \\ \frac{dw}{dt} = \frac{\sum M_i}{(1+k_{66})I_z}; \\ \sum F_{xi}(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = X_\sigma + X_p + T_E + X_{\text{внеш}}; \\ \sum F_{yi}(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = Y_\sigma + Y_p + T_{\text{ПУ}} + Y_{\text{внеш}}; \\ \sum M_i(t, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)) = M_\sigma + M_p + M_{\text{ПУ}} + M_{\text{внеш}}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Будь-яка з існуючих математичних моделей включає в себе систему рівнянь (4) в повному або спрощеному і огрубленому вигляді, доповнену сукупністю формул, які задають залежність всіх сил і моментів ($X_{\text{в}}, Y_{\text{в}}, M_{\text{в}}, X_{\text{п}}, Y_{\text{п}}, M_{\text{п}}, T_{\text{Е}}, T_{\text{ПУ}}, M_{\text{ПУ}}, X_{\text{внеш}}, Y_{\text{внеш}}, M_{\text{внеш}}$) від факторів ($T, C, v(t), w(t), \beta(t), x_0(t), y_0(t), q(t), U(t), L(t), E(t)$). Саме вигляд цих формул визначає специфіку кожної математичної моделі [5].

У цій доповіді була висвітлена проблема створення високоточної навігаційної системи. В якості основи була взята інтегрована навігаційна система і математична модель руху судна. Видно, що цю систему можна побудувати. Вона підвищить безпеку руху об'єктів і знизить ризик аварії через недостовірність даних або людського фактора.

Література

- [1] <http://www.geo-garant.ru/cgi-bin/content.pl?p=123> Статья подготовлена по материалам опубликованным в журнале GPS World, Сентябрь 1997 Advanstar Communications, 859 Willamette Street, Eugene, OR 97401, USA Larry J. Levy, The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory
- [2] Вільна енциклопедія Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: http://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_Калмана
- [3] Вільна енциклопедія Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: http://ru.wikipedia.org/wiki/Спутниковая_система_навигации
- [4] Вільна енциклопедія Вікіпедія [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: http://ru.wikipedia.org/wiki/Инерциальная_навигация
- [5] Юдин Ю.И., Сотников И.И. «Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ» – Мурманск, 2006р.
- [6] Перов А.И., Харисов В.Н. «ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования» , Радиотехника, 2005р.