

О.П. Кривоносенко, к.т.н, доц. (Національний авіаційний університет)
Д.І. Бахтіяров, ктн, доц (Національний авіаційний університет)
В.І. Войтків, студент (Національний авіаційний університет)

Оптимальна фільтрація сигналів руху БПЛА

У системах навігації, стабілізації і наведення всіх рухомих об'єктів, в тому числі БПЛА, основними датчиками первісної інформації про кутові, а іноді і лінійні переміщення є гіроскопи різних типів і акселерометри. З розвитком мікроелектронних технологій тепер можуть бути виготовлені мініатюрні мікромеханічні інерційні вимірювачі. Однак головною проблемою будь-яких MEMS-датчиків є проблема підвищення точності. Зокрема для MEMS-гіроскопів це вплив так званої квадратурної похибки й вплив змін настроювання частоти вібрації MEMS-гіроскопів на точності характеристики вимірювання кутової швидкості. Випадковий шум як стохастичний процес завжди присутнє в вихідних сигналах датчиків. Його інтегрування разом з вимірами неминує веде до появи адитивної стохастичної шумової складової в визначених параметрах руху. Широке розповсюдження в існуючих ПНК здобули такі способи сумісної обробки інформації, що надходять від декількох вимірників:

- взаємна компенсація і фільтрація похибок вимірювальних приладів, що вимірюють один і той самий навігаційний параметр;
- оптимальне оцінювання вектора стану з використанням апріорної інформації про контрольований процес та поточні вимірювання, що реалізує алгоритм оптимальної фільтрації Калмана.

На рис. 1 показана структурна схема одержання оптимальних оцінок за методом найменших квадратів.

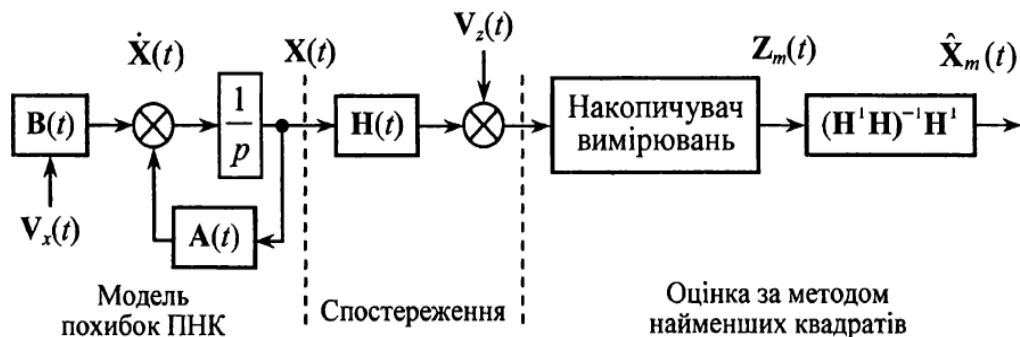


Рис. 1. Структурна схема одержання оптимальних оцінок методом НК

Схема фільтрації еквівалентна схемі компенсації, однак, з погляду практичної реалізації, перевага віддається саме схемі компенсації. Найбільш привабливою для застосування в комплексних системах навігації є, безумовно, Калманівська фільтрація (КФ). Проте, використання КФ зустрічає певних труднощів при її практичній реалізації на борті ЛА. Тому в роботі запропоновано використовувати для комплексування акселерометричного та гіроскопічного вимірювання параметрів кутової орієнтації алгоритми схеми компенсації. Розробка алгоритмів комплексування показів первинних датчиків інформації ММГВ та БІНС є задачею вельми актуальною.

Найпоширенішою для повного інтегрування показів ММА і ММДКШ є так званий додатковий фільтр, або схема фільтрації Калмана. Для вирішення проблеми інтегрованої обробки інформації в інтегрованих інформаційних системах, звичайно, найбільш цікавою є

фільтрація Калмана. Однак використання фільтра Калмана наштовхується на деякі труднощі під час його практичної реалізації на борту БПЛА.

Проте, в сучасних повітряно-навігаційних комплексах, крім алгоритмів, що дозволяють оптимально оцінювати вектор стану, існують й інші методи інтеграції, зокрема, метод взаємної компенсації, який був доведений в практиці. Використання методу компенсації при обробці відбитків ММА і ММДКШ обумовлено тим, що в цьому випадку похибки вимірювання знаходяться в різних діапазонах частот. Головною перевагою фільтрації Калмана є те, що в комплексоутворення інформаційних систем на виході фільтра Калмана відновлені оцінки всього вектору стану, у тому числі систематичні компоненти похибок лічильників, що дозволяє проводити їх калібрування в польоті. Але, на нашу думку, і з застосуванням компенсаційної системи разом із системами корекції існує така можливість.

Базуючись на пропонованих методиках в роботі були розроблені алгоритми перед польотного калібрування датчиків кутової швидкості. Процес калібрування – це наступний підготовчий етап работ ІСКВ. У багатьох дослідженнях пропонується калібрувати датчики БНС, використовуючи алгоритми калмановської фільтрації, що базуються на математичних моделях похибок інерціальних вимірників або на математичній моделі всієї інерціально-супутникової навігаційної системи (ІНС). Спрощений контур калібрування ДКШ представлений на рис. 2.

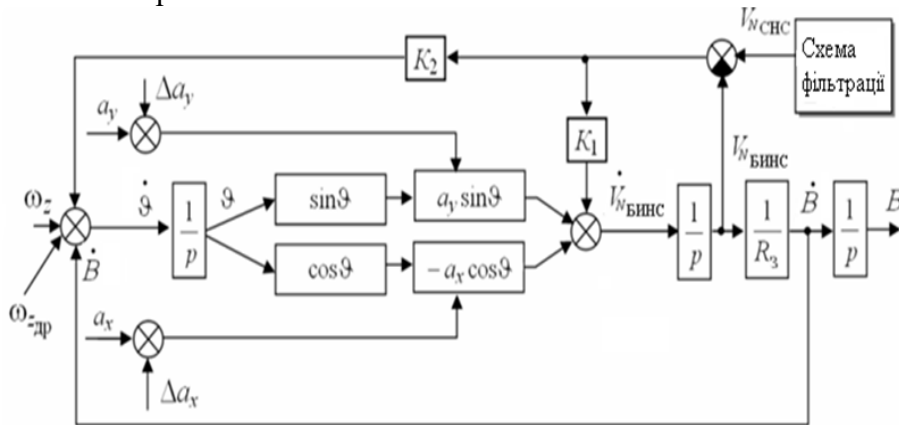


Рис. 2. Спрощений контур калібрування ДКШ

Алгоритм оцінювання за методом максимуму правдоподібності, як і алгоритм оцінювання за МНК, потребує накопичення вимірювань, тобто наявності вектору спостережень. Структурна схема отримання оптимальних оцінок за методом максимуму правдоподібності показана на рис.3.

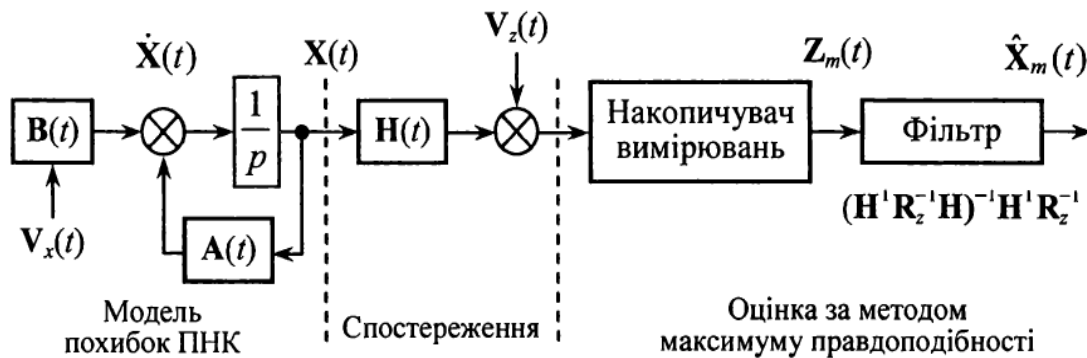


Рис.3 Структурна схема отримання оптимальних оцінок методом МП

Цей метод, як і для МНК можна використовувати лише при вимірюванні одного параметра декількома системами. В іншому випадку нова оцінка помилок ПНК не буде

співпадати з поточним значенням помилок на час, що дорівнює часу накопичення спостережень.

Аналіз похибок MEMS датчика кутової швидкості показує, що квазістаціонарна складова дрейфу датчика з часом змінюється, що суттєво впливає на похибки вимірювання кутової орієнтації, тому тільки одного передстартового калібрування недостатньо для забезпечення прийнятних точнісних характеристик вимірника. Виникає доцільність здійснювати періодичне або безперервне польотне калібрування ММДКШ та корекцію ГВВ за інформацією про оцінені значення параметрів кутової орієнтації.

Після завершення перехідних процесів у схемах комплексоутворення та калібрування (цей час головним чином визначається часом збіжності алгоритмів фільтрації), ГВВ переходить у робочий режим, показуючи гарні фільтруючі властивості і прийнятну точність вимірювання параметрів кутової орієнтації. Зокрема, точність каліброваного ГВВ не менше точності оцінки параметрів кутової орієнтації.

Результати досліджень схем компенсації похибок з динамічним фільтром третього порядку і одночасної роботи схем калібрування і корекції польоту ілюструються на рис. 3.

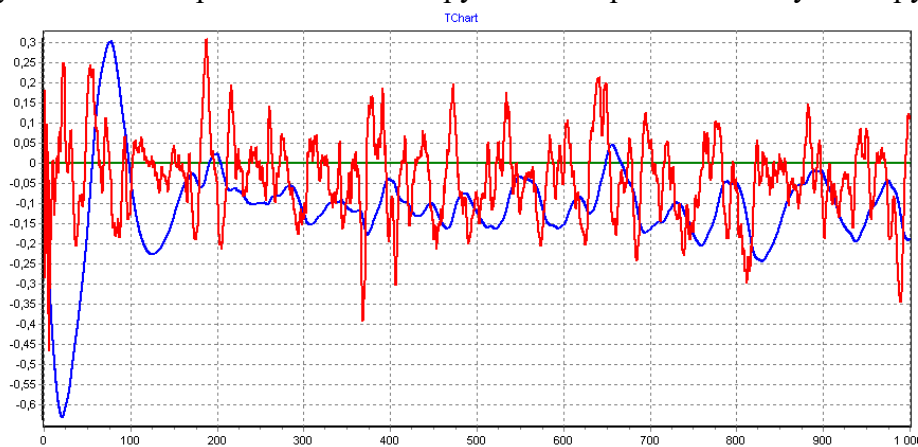


Рис. 3. Результати досліджень алгоритмів польотного калібрування та корекції

Підсумовуючи загальний зміст дослідження, можемо констатувати наступне:

1. В даній роботі був реалізований статичний алгоритм моделювання для формування оцінок параметрів моделі, здійснений експеримент з калібрування гіроскопа та акселерометра для MEMS датчика MPU-6050 та отриманих результатів. Моделювання та експеримент проводили при обсязі зразка 4000. В результаті роботи були вивчені існуючі методи калібрування MEMS датчиків з точки зору застосування їх на практиці. Результати калібрування MEMS методом ММРМ дозволяють зробити наступні висновки:
 - Похибка оцінок параметрів при заданій кількості положень БІНС суттєво залежить від їх інформативності, яка пов'язана з незалежно отримуваними даними по всім трьом осям.
 - Точність оцінки параметрів залежить від об'єму вибірки при кожному положенні датчика, що також збільшує час процедури. Встановлено, що при об'ємах вибірки більше 7000 суттєвого збільшення точності не спостерігається.
 - При малих об'ємах вибірки оцінки параметрів є зміщеними. При збільшенні вимірів оцінки стають не зміщеними і їх дисперсії зменшуються.
2. Результати дослідження інтегрованих гіровертикалей, побудованих на основі компенсаційних схем з фільтром третього порядку з одночасним функціонуванням схем калібрування і корекції, показують хороші фільтруючі властивості і прийнятну точність вимірювання параметрів кутової орієнтації. Аналіз результатів моделювання показує принципову можливість недовгого польоту з автономною ММГВ після роботи перемикача корекції.