

ОБРОБКА ДАНИХ ІНЕРЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИБОРУ

Вишнякова А. О.

Науковий консультант: д.т.н., професор Антощенко Р. В.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

м. Харків, Україна

Обробка даних інерційно-вимірювального пристрою, що найчастіше складається з акселерометру та гіроскопу є складним завданням [1]. Для його вирішення застосовують фільтр Маджвіка. Особливістю фільтра Маджвіка є те, що він функціонує на основі показань інерційних датчиків (прискорення, кутова швидкість) і характеристик магнітного поля Землі, оптимізує свою роботу за рахунок градієнтного методу. Аналіз показав, що цей фільтр – один із сучасних комплексуються фільтрів для визначення орієнтації в просторі [2].

Фільтр існує в двох реалізаціях:

- на основі акселерометра і гіроскопа (AHRS);
- на основі акселерометра, гіроскопа і магнетометр (MARG).

Відмінні риси фільтра Маджвіка:

- один (AHRS) або два (MARG) регульованих параметра, що розраховуються на основі реакції системи;
- висока ефективність при невеликих частотах дискретизації;
- висока продуктивність (109 арифметичних операцій на кожну ітерацію оновлення фільтра в першій реалізації і 277 арифметичних операцій в другій варіації).

Застосування кватерніонів для орієнтації в тривимірному просторі дозволяє уникнути проблеми «шарнірного замку» (блокування обертання або gimbal lock), пов'язаних з кутами Ейлера-Крилова.

Фільтр дозволяє компенсувати дрейф гіроскопа і магнітні спотворення в поточний момент роботи. Помилка орієнтації розраховується за допомогою методу градієнта.

Комплексування даних, отриманих з датчиків, виконується за допомогою пропорційного ланки і дискретного інтегрування, кути Ейлера-Крилова використовуються в якості опорних координат, щодо яких розраховується помилка швидкості обертання.

Вважаємо, що раціональний варіант повинен бути заснований на компліментарному фільтрі Маджвіка в реалізації MARG. У фільтрі Маджвіка в реалізації MARG виконується компенсація магнітних дисторсій (перекручувань) і корекція дрейфу гіроскопа по осі ризику.

Схему фільтра в реалізації MARG представлено на рис. 1.

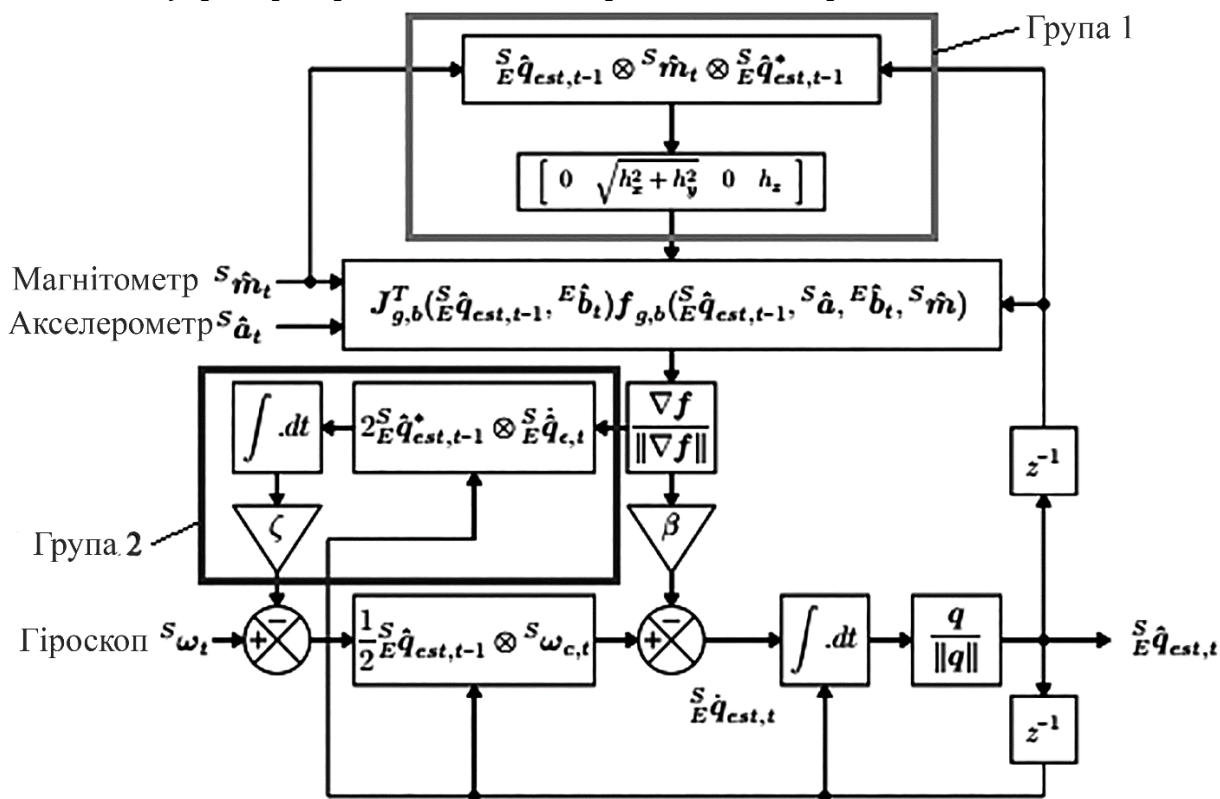


Рисунок 1 – Схема фільтру Маджвіка, що включає корекцію магнітних спотворень (група 1) і корекцію дрейфу гіроскопа (група 2)

Магнітні спотворення компенсуються в блоці «група 1», виділеної на схемі фільтра. Напрямок магнітного поля Землі в момент часу – $E \hat{h}_t$ розраховується як нормоване значення даних магнітометра, що обертається орієнтацією, розраховане комплексну функцією $S \hat{q}_{est,t-1}$, в свою чергу комплексну функцію описується наступним виразом:

$$E \hat{h}_t = \begin{bmatrix} 0 & h_x & h_y & h_z \end{bmatrix} = S \hat{q}_{est,t-1} \otimes S \hat{m}_t \otimes S \hat{q}_{est,t-1}^* \quad (1)$$

Нахил корпусу магнітометра як наслідок неправильної проєкції магнітного поля Землі на магнітометр в контрольованому напрямку, коригується за умови, якщо відносно напрямку магнітного поля Землі – $E \hat{b}_t$ має однаковий нахил протягом всього часу, це досягається розрахунком ортогональних векторів $E \hat{b}_t$ та $E \hat{h}_t$ тільки по на осі крену і тангажа, що описується наступним виразом:

$$E \hat{b}_t = \begin{bmatrix} 0 & \sqrt{h_x^2 + h_y^2} & 0 & h_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Даний спосіб корекції нівелює магнітні спотворення по осях крену і тангажа, магнітні збурення впливають тільки по осі рискання.

Корекція дрейфу гіроскопа здійснюється в «блоці 2», виділеного на схемі фільтра. Дрейф гіроскопа представлений як частина помилки від швидкості зміни орієнтації – ${}^S_E \hat{q}_\varepsilon$, виражена як кутова похибка по кожній осі гіроскопа, вона описується наступним виразом:

$${}^S \omega_{\varepsilon,t} = 2 {}^S_E \hat{q}_{\varepsilon,t-1} \otimes {}^S_E \hat{q}_{\varepsilon,t}^* \quad (3)$$

Дрейф гіроскопа ${}^S \omega_b$ представлений як постійна складова ${}^S \omega_\varepsilon$, яка може бути видалена, так як частина ${}^S \omega_\varepsilon$ є середньозваженим з відповідним коефіцієнтом посиленням ζ . Даний підхід частково компенсує дрейф гіроскопа і описується наступними виразами:

$${}^S \omega_{b,t} = \zeta \sum_t {}^S \omega_{\varepsilon,t} \Delta t, \quad (4)$$

$${}^S \omega_{c,t} = {}^S \omega_t - {}^S \omega_{b,t}. \quad (5)$$

Скомпенсований дрейф ${}^S \omega_{c,t}$ використовується замість вихідних вимірювань гіроскопа.

Фільтр в реалізації MARG має два коефіцієнта посилення:

- коефіцієнт β представляє сумарні помилки гіроскопа, представлені як величина похідного кватерніона;
- коефіцієнт посилення ζ характеризує швидкість збіжності для нівелювання помилок вимірювань гіроскопа, не пов'язаних з нулем, виражений як похідна кватерніона.

Дані помилки описують зміщення гіроскопа. Коефіцієнти представлені як кутові величини,

де: ω_β – оцінка середньої похибки виміру дрейфу гіроскопа по кожній осі;

ω_ζ – розрахункова швидкість дрейфу гіроскопа в кожній осі. Коефіцієнт посилення β розраховується за такою формулою:

$$\beta = \left\| \frac{1}{2} \hat{q} \otimes \begin{bmatrix} 0 & \hat{\omega}_\beta & \hat{\omega}_\beta & \hat{\omega}_\beta \end{bmatrix} \right\| = \sqrt{\frac{3}{4}} \hat{\omega}_\beta, \quad (6)$$

де \hat{q} – одиничний кватерніон;

\otimes – добуток матриць.

Коефіцієнт посилення ζ розраховується за формулою:

$$\zeta = \sqrt{\frac{3}{4}} \hat{\omega}_\zeta. \quad (7)$$

У задачі орієнтації використовується система гіперкомплексних чисел (кватерніони), яку можливо коригувати показаннями акселерометра і гіроскопа для виконання аналітичних обчислень. Система гіперкомплексних чисел оптимізується методом градієнта для розрахунку вектора напрямку похибки гіроскопа у вигляді

похідної системи гіперкомплексних чисел. Оптимізація роботи методом градієнта дозволяє задавати режим роботи фільтра одним або двома коефіцієнтами, які можливо коригувати в процесі роботи. Низькі вимоги до лічильно-вирішального пристрою дозволяють реалізувати АСМП на МК або ПЛІС [3].

Список літератури

1. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоелементних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Х.: ХНТУСГ. «Міськдрук», 2017. 244 с.
2. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник / Р.В. Антощенко, О.В. Нанка, А.Т. Лебедєв, В.М. Антощенко, В.М. Кісь, І.В. Галич – Харків: ХНТУСГ, 2020 р. 219 с.
3. Антощенко Р. В., Антощенко В. М. Спосіб та вимірювальна система для визначення енергетичних витрат мобільної машини // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – №. 145. – С. 211-216.