

СЕНСОРНІ МОДУЛІ ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ РУХУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У дослідженні розглянуто сенсорні модулі, що застосовуються для вимірювання просторових параметрів у системах стабілізації руху. Описано призначення таких модулів, основні типи сенсорів та принципи їх функціонування. Способи об'єднання даних від різних датчиків для підвищення точності вимірювань та методи покращення роботи сенсорних модулів в різних умовах експлуатації.

Ключові слова: сенсорний модуль, стабілізація руху, просторові параметри, акселерометр, гіроскоп, магнітометр, фільтр Калмана.

Abstract

This study examines sensor modules used to measure spatial parameters in motion stabilization systems. It describes the purpose of such modules, the main types of sensors, and their operating principles. It also discusses methods for combining data from different sensors to improve measurement accuracy and techniques for enhancing the performance of sensor modules under various operating conditions.

Keywords: sensor module, motion stabilization, spatial parameters, accelerometer, gyroscope, magnetometer, Kalman filter.

Вступ

Сучасні системи стабілізації руху широко застосовуються в різноманітних технічних галузях: від авіації та робототехніки до систем відеоспостереження та побутової техніки. Точність роботи таких систем безпосередньо залежить від якості отриманої інформації про просторове положення об'єкта. Саме сенсорні модулі виконують функцію збору первинних даних, на основі яких формуються керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Раніше для визначення просторових параметрів використовувалися досить громіздкі та дорогі пристрої, що обмежувало сфери їх застосування. Сьогодні ж завдяки розвитку мікроелектромеханічних систем (МЕМС) сенсорні модулі стали компактними, доступними та енергоефективними, що дозволило інтегрувати їх у найрізноманітніші пристрої.

Типи сенсорів для вимірювання просторових параметрів

Для визначення просторових параметрів об'єкта використовуються різні типи сенсорів, кожен з яких має свої особливості, переваги та недоліки:

Акселерометри призначені для вимірювання лінійних прискорень об'єкта в одній, двох або трьох взаємно перпендикулярних осях. Вони дозволяють визначити прискорення руху, а також кут нахилу об'єкта відносно вектора гравітації. Сучасні МЕМС-акселерометри відрізняються малими розмірами, низьким енергоспоживанням та доступною ціною, однак вони чутливі до вібрацій та мають певний рівень шумів.

Гіроскопи використовуються для вимірювання кутової швидкості обертання об'єкта навколо однієї або кількох осей. Інтегруючи ці дані, можна отримати інформацію про кут повороту об'єкта. МЕМС-гіроскопи також є компактними та недорогими, але вони схильні до дрейфу нуля та накопичення похибки протягом тривалого часу.

Магнітометри вимірюють напруженість магнітного поля і дозволяють визначити орієнтацію об'єкта відносно магнітних полюсів Землі, фактично виконуючи функцію цифрового компаса. Вони допомагають скоригувати похибки гіроскопа, але чутливі до магнітних перешкод, які можуть створювати електродвигуни, струмопровідні елементи або металеві конструкції.

Для отримання повної та достовірної картини просторового положення об'єкта найчастіше використовують комбіновані сенсорні модулі, які об'єднують у собі акселерометр, гіроскоп, а іноді й магнітометр. Такі модулі, відомі як інерціальні вимірювальні блоки (IMU), дозволяють компенсувати недоліки окремих типів сенсорів та отримувати більш точні дані.

Принцип роботи сенсорного модуля

У загальному випадку робота сенсорного модуля для вимірювання просторових параметрів полягає у безперервному зчитуванні даних з чутливих елементів та перетворенні їх у цифрову форму. Спочатку фізичні величини (прискорення, кутова швидкість, напруженість магнітного поля) впливають на чутливі елементи сенсорів, викликаючи зміну їх електричних характеристик, наприклад, ємності або опору. Ці зміни перетворюються вбудованими аналогово-цифровими перетворювачами у цифрові значення, які передаються мікроконтролеру для подальшої обробки.

Отримані сирі дані зазвичай містять шуми та похибки, тому вони піддаються фільтрації. Найпростішим способом є застосування фільтрів низьких частот для усунення високочастотних вібрацій. Для об'єднання даних від різних типів сенсорів часто використовуються спеціальні алгоритми, найпопулярнішим з яких є фільтр Калмана. Цей фільтр дозволяє оцінювати поточний стан об'єкта, враховуючи як вимірювання від сенсорів, так і прогнозовані значення, що дає змогу значно підвищити точність визначення просторових параметрів.

Методи покращення роботи сенсорних модулів

Для підвищення точності та надійності вимірювань просторових параметрів використовуються різноманітні методи. Одним із ключових є калібрування сенсорів, яке дозволяє визначити та скоригувати систематичні похибки, такі як зміщення нуля гіроскопа або неточності масштабних коефіцієнтів акселерометра. Калібрування може проводитися на заводі-виробнику або безпосередньо перед початком роботи пристрою.

Ще одним важливим методом є об'єднання даних від різнотипних сенсорів. Як вже зазначалося, комбінування акселерометра, гіроскопа та магнітометра з використанням фільтра Калмана дозволяє отримати більш точну та стабільну оцінку орієнтації об'єкта, ніж при використанні кожного з сенсорів окремо.

Крім того, важливу роль відіграє правильне розташування сенсорного модуля на об'єкті та його конструктивний захист від зовнішніх впливів, таких як вібрації, перепади температури або електромагнітні перешкоди. Застосування екранів може значно покращити якість вимірювань в реальних умовах експлуатації.

Переваги використання сучасних сенсорних модулів

Застосування сучасних МЕМС-сенсорів для вимірювання просторових параметрів має низку суттєвих переваг. Перш за все, це компактні розміри та мала вага, що дозволяє інтегрувати їх навіть у мініатюрні пристрої, такі як дрони або носимі гаджети. Низьке енергоспоживання є критично важливим для автономних систем з живленням від акумуляторів.

Висока надійність та ударостійкість МЕМС-сенсорів робить їх придатними для використання в екстремальних умовах. Масове виробництво забезпечує низьку вартість таких компонентів, що робить технології стабілізації доступними для широкого кола застосувань. Крім того, сучасні сенсорні модулі часто мають вбудовані процесори для попередньої обробки даних, що розвантажує основний контролер системи та спрощує розробку.

Висновки

Сенсорні модулі є невід'ємною частиною сучасних систем стабілізації руху, забезпечуючи їх необхідною інформацією про просторове положення об'єкта. Розвиток МЕМС-технологій зробив ці модулі компактними, доступними та енергоефективними, що дозволило значно розширити сфери їх застосування. Використання комбінації різнотипних сенсорів, таких як акселерометри, гіроскопи та магнітометри, разом із сучасними методами обробки сигналів, зокрема фільтром Калмана, дає змогу досягти високої точності та надійності вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.В. Колесник, М. Черняк, «Автономна корекція інструментальних похибок інерціальних вимірювачів безплатформної навігаційної системи». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mgsys.kpi.ua/article/view/293127> (дата звернення: 19.03.2026).
- 2.С. Б. Артамонов, А. К. Жултинська, Т. І. Залозний, А. В. Радченко, і К. М. Радченко, «Використання фільтра Калмана для інтеграції даних GPS та IMU в зашумленому середовищі», теп, вип. 2(94), с. 69–80, Груд 2024.
- 3.С. Павлов, В. Вуйцік, Р. Голяка, О. Азаров, С. Богомолів, і Я. Лунінь, «Аналіз стану розвитку теплових сенсорів потоку загального, біомедичного та екологічного призначення», Опт-ел. інф-енерг. техн., вип. 43, вип. 1, с. 82–93, Груд 2022.
- 4.MPU-6050 Product Specification, TDK InvenSense. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf> (дата звернення: 19.03.2026).
- 5.BMI160 Inertial Measurement Unit Datasheet, Bosch Sensortec. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmi160-ds000.pdf> (дата звернення: 19.03.2026).

Богомолів Сергій Віталійович – к.т.н., доцент каф. ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bogomolovsergiy@vntu.edu.ua

Ганевич Назар Олександрович – студент групи ІКІ-22б факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: nazar.ganevych@gmail.com

Демчук Олександр Олександрович – студент групи ІКІ-22б факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: san4ikdemchuk2005@gmail.com

Костюхін Ростислав Сергійович – студент групи ІКІ-22б факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kostyuhinrost@gmail.com

Bohomolov Serhii – Ph.D., Ph.D., Associate Professor kaf. OT, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogomolovsergiy@vntu.edu.ua

Ganevych Nazar Oleksandrovyich – student of group 1KI-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nazar.ganevych@gmail.com

Demchuk Oleksandr Oleksandrovyich - student of group 1KI-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: san4ikdemchuk2005@gmail.com

Kostyukhin Rostyslav Serhiyovych – student of group 1KI-22b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kostyuhinrost@gmail.com