

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 629.7.02+004.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.26-36](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.26-36)

О.О. Майданик, асп., **Є.В. Мелешко**, проф., д-р техн. наук, **А.М. Мацуї**, проф., д-р техн. наук, **С.В. Шимко**, асп.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: maidanyksmail@gmail.com, elisemeleshko@gmail.com, matsuyan@ukr.net,
shymko.sv@meta.ua*

Дослідження методів стабілізації відео та будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для безпілотних літальних пристроїв

Метою даної роботи було дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для дронів, що застосовуються для механічної стабілізації відео при відеоспостереженні або візуальній навігації. Від якості стабілізації відео залежить і якість отриманого зображення з дрону, а отже і кількість одержаної корисної інформації. Існує дві основні групи методів стабілізації відео: оптико-механічна та цифрова стабілізація. Для максимального покращення якості зображення з відеокамери безпілотного літального апарату (БПЛА) та зведення до мінімуму наслідків дрижання камери, необхідно в першу чергу виконувати механіко-оптичну стабілізацію відео, а потім за необхідності доповнювати її цифровою стабілізацією. Тільки цифрова стабілізація без механіко-оптичної виконується лише з метою здешевлення дрону. Оптико-механічна стабілізація зазвичай базується на показах гіроскопу. У даній роботі було проведено порівняльне дослідження наступних методів механічної стабілізації відео з БПЛА: на основі 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером та на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами і декількома мікроконтролерами.

дрон, безпілотний літальний апарат, гіростабілізовані підвіси відеокамер, цифрова стабілізація відео, механічна стабілізація відео, відеоспостереження

Постановка проблеми. Гіростабілізовані підвіси відеокамер на БПЛА використовуються не тільки для стабілізації відео, а й для керування кута нахилу відеокамери з пульта управління оператором. Кут нахилу відеокамери відносно горизонту також може використовуватись для визначення координат об'єкта зйомки, що може бути потрібним, наприклад, у відеоспостереженні або візуальній навігації. Від якості стабілізації відео залежить якість отриманого зображення при відеоспостереженні, а отже і кількість одержаної корисної інформації з дрону. Таким чином дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для БПЛА є важливою науково-практичною задачею, адже від якості їх роботи залежить і якість виконання перерахованих вище задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наш час дрони з відеокамерами використовуються у різних сферах, таких як боротьба зі стихійними лихами, перевірка інфраструктури, моніторинг дорожнього руху, моніторинг натовпу, пошуково-рятувальні роботи, відеоспостереження тощо.

Системи відеоспостереження на дронах фактично розміщені на нестабільних або вібруючих платформах. Механічний зв'язок відеокамери з дроном призводить до її кутової вібрації. Це призводить до розмиття зображення та, як наслідок, втрати роздільної здатності. Додатковими збуреннями є хвилеподібне зображення для детекторів на основі механізму рухомих затворів і дратівливе переміщення зображення на низьких частотах.

Існує дві основні групи методів стабілізації відео [1-5]: оптико-механічна стабілізація та цифрова стабілізація.

Невеликі дрони, що літають низько, зазвичай мають фіксовані камери без механічної стабілізації, хоча можуть мати цифрову стабілізацію відео [1, 2]. Відео та зображення з фіксованих камер не є гладкими через вібрацію пропелера та вплив навколишнього середовища. Отримані нестабільні відео часто потрібно згладжувати для подальшої роботи з ними. Цифрова стабілізація може дещо виправити становище, але найбільш якісне зображення дозволяє отримати механічна стабілізація на основі гіростабілізованих підвісів відеокамери, а також поєднання механічної та цифрової стабілізації [3]. Механічна стабілізація зазвичай базується на показах гіроскопа [3-5].

Таким чином, для максимального покращення якості зображення з відеокамери БПЛА та зведення до мінімуму наслідків дрижання камери, необхідно в першу чергу виконувати механіко-оптичну стабілізацію відео, а потім за необхідності доповнювати її цифровою стабілізацією. Тільки цифрова стабілізація без механіко-оптичної виконується лише з метою здешевлення дрону. Повна відсутність стабілізації застосовується лише в найдешевших моделях дронів і для задач, що не вимагають високої точності результатів.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної роботи є дослідження будови гіростабілізованих підвісів відеокамер для БПЛА, що застосовуються для механічної стабілізації відео.

Виклад основного матеріалу. В даній роботі було досліджено основні методи механічної стабілізації відео на основі гіростабілізованих підвісів для камер БПЛА.

Слід спочатку сказати декілька слів про застосування дронів без механічної стабілізації відео, адже існують випадки, коли їх використання більш доцільне.

Жорстко закріплені відеокамери на дронах без механічної стабілізації

Жорстко закріплені камери без гіростабілізованого підвісу використовуються в декількох випадках та досить рідко. Через неможливість дрону переміщуватися в просторі абсолютно рівно відносно горизонту, жорстко закріплену камеру використовують для орієнтації пілота в ручному режимі польоту. Тобто як курсову камеру, яка встановлена на зручному куті для пілота відносно горизонту або просто прямо вперед. Такі курсові камери використовують в деяких випадках в парі з окремим підвісом, наприклад, індустриальні дрони з тепловізором, які призначені для обстеження промислових об'єктів. Таке рішення дозволяє пілоту перемикатись між камерами та не втрачати положення дрона у просторі. Також жорстко закріплені камери використовуються в змаганнях з дрон-рейсінгу. Під час польоту на змаганнях, як правило на високій швидкості, корпус їх нахилений вперед та камера стоїть під кутом для зручної видимості.

Перейдемо до дослідження механічної стабілізації відео. У даній роботі будуть досліджені наступні системи механічної стабілізації відео з дронів, засновані на:

- 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером.
- гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами.

Механічна стабілізація відео на основі 3-х та 2-х осьових гіростабілізованих підвісів з одним мікроконтролером

Гіростабілізовані підвіси – це пристрої для стабілізації відеокамери в просторі, які змонтовані на дроні (літак, квадрокоптер), який через свою фізику польоту знаходиться постійно в русі, тобто камера змонтована на 2-х або 3-х осьовому карданному підвісі (рідше на 1-но осьовому). На кожній з осей знаходиться двигун, який в залежності від зворотнього зв'язку від гіроскопа, що знаходиться на самій камері,

повертає на заданий кут вісь для підтримання камери в горизонті або на кут, який задається пілотом.

Вісі називаються як і в авіації: тангаж, крен та рискання (Pitch, Roll, Yaw).

На рис. 1 зображено конструкцію 3-х осьового гіростабілізованого підвісу, який є наймасовішим і найпростішим. Така будова підвісу має свою перевагу в простоті конструкції. Кожна з осей змонтована через двигун, який відхиляє вісь в потрібному напрямку. Керування виконується одним мікроконтролером та окремим гіроскопом, який змонтовано на одній і тій же вісі з камерою. Функціональна схема роботи підвісу представлена на рис.2.

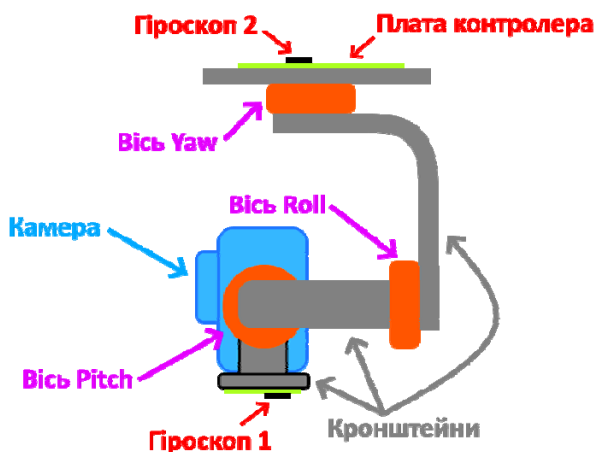


Рисунок 1 – Схема будови 3-х осьового гіростабілізованого підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]



Рисунок 2 – Функціональна схема роботи гіростабілізованого підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Гіроскопи потрібні для орієнтації в просторі. В даному випадку мікросхема гіроскопа оснащена акселерометром. Це зумовлено тим, що сам по собі гіроскоп у вигляді мікросхеми має дуже багато погрешностей через те, що він є електромеханічною системою. Тобто, на кристалі кремнію витравлено складний підвіс, який рухається всередині корпусу мікросхеми, а вимірювання відхилень відбувається за рахунок вимірювання ємності. Тому дані гіроскопи при рухах накопичують дуже велику похибку. Для мінімізації цього використовують акселерометр, який в свою чергу вимірює прискорення. Завдяки акселерометру вираховується похибка положення гіроскопа в даний момент часу. Саме таким методом можна отримати положення гіроскопа в просторі. Тобто гіроскоп показує відхилення від горизонту (початкового положення) по 3-х осях (мікросхема має 3-х осьовий гіроскоп та 3-х осьовий акселерометр). Мікроконтролер постійно зчитує положення гіроскопа в просторі та вираховує, на який кут необхідно повернути ту чи іншу вісь, гіроскоп виконує функцію зворотного зв'язку. Другий гіроскоп, який стоїть на платі з мікроконтролером потрібен для початкового калібрування положення гіроскопів.

В даному випадку найчастіше використовуються безщіткові 3-х фазні на постійних магнітах двигуни осей (BLDC - brushless DC motor). Застосування таких двигунів зумовлено їх надійністю, простотою та забезпеченням плавності роботи. Але керування таким двигуном достатньо складне. Мікроконтролер рахує вектор повороту ротора двигуна та генерує 3-х фазну напругу ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), яка в кінцевому вигляді на обмотках статора має форму синусоїди. Силова частина кожного двигуна виконана у вигляді мікросхеми, яка має в собі 3-х фазний транзисторний міст (6 транзисторів включених так, щоб кожний з кінців фаз комутувати на живлення або на землю) [1].

При загальній простоті конструкції така система має ряд проблем з завантаженістю мікроконтролера, який постійно зчитує показання гіроскопа та акселерометра і вираховує вектори на кожен з двигунів осей. В такому виконанні осей може бути три та дві, а рідше одна. На рис. 3 зображені різновиди 2-х осьових підвісів.

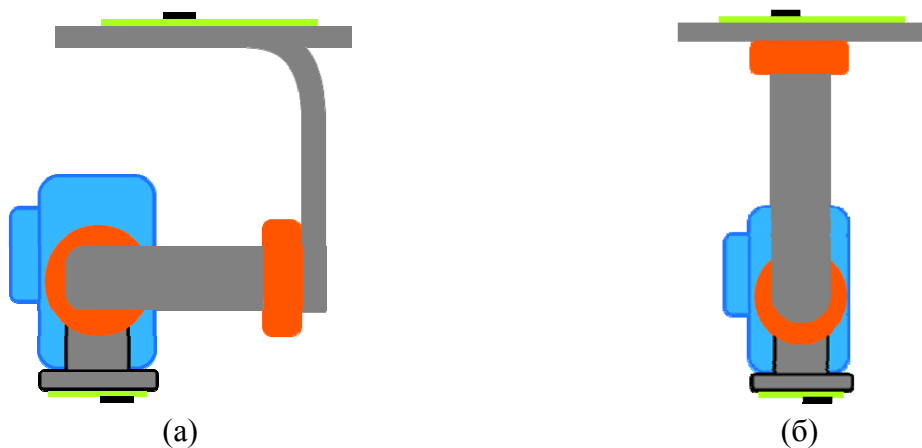


Рисунок 3 – Схеми будови 2-х осьових гіростабілізованих підвісів відеокамери:

а) підвіс з осями Pitch, Roll; б) підвіс з осями Pitch, Yaw

Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

2-х осьові підвіси з осями Pitch, Roll, як і 3-х осьові, використовуються на квадрокоптерах, рідше на літаках. Підвіси Pitch, Yaw використовуються на літаках. Одноосьові підвіси використовуються дуже рідко на літаках з віссю Roll.

Розглянемо також механічну стабілізацію відео на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами.

Механічна стабілізація відео на основі гіростабілізованих підвісів з енкодерами та декількома мікроконтролерами

Описані раніше системи стабілізації мають ряд недоліків, а саме те, що обчислення положення осей виконує один мікроконтролер відносно гіроскопа та акселерометра, які в цій системі є зворотнім зв'язком. Саме по собі зчитування та фільтрація даних з гіроскопа та акселерометра є затратним, з точки зору обчислень, а для нормальної роботи треба зчитувати значення з високою частотою. Тому стабільність такої системи невисока. При тому, що дані гіроскопа та акселерометра потребують ресурсів треба рахувати вектори положень двигунів осей. Це також не проста задача, яка потребує обчислень з плаваючою точкою та більш потужного мікроконтролера, який буде заздалегідь дорожче коштувати.

Для вирішення цієї проблеми використовують систему на основі розділених мікроконтролерів зі зворотнім зв'язком відносно енкодера змонтованого на кожній вісі.

Енкодер – це пристрій (датчик), який дає значення положення повороту вісі (по аналогії з потенціометром, але енкодер може здійснювати повні оберти на 360°). Потенціометри не використовуються через свою ненадійність. Як правило, використовуються магнітні енкодери, оскільки не мають ніяких частин, які труться та зношуються, як у потенціометра. Магнітний енкодер (мікросхема) працює в парі з діаметрально намагніченим магнітом. На рис. 4 зображено магнітний енкодер з магнітом [2].

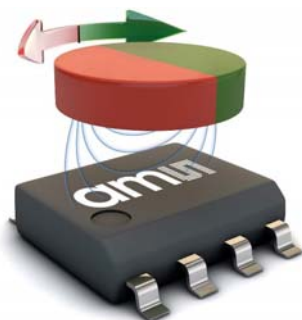


Рисунок 4 – Магнітний енкодер з магнітом

Джерело: Документація до AS5600 Position Sensor, URL: <https://ams.com/zh/as5600>

Позиціонування магніту рівно над мікросхемою дуже важливе для точного вимірювання його положення, оскільки магнітне поле буде нерівномірно проходити через датчики Холла, які знаходяться всередині мікросхеми. Таким чином, не допускається ексцентричність осей магніту та мікросхеми (геометричного центру мікросхеми). Дану особливість варто враховувати при конструюванні осей підвісу.

Поворотний магнітний датчик положення робиться на основі планарних датчиків Холла, які перетворюють на напругу магнітне поле, що знаходиться перпендикулярно до поверхні мікросхеми. Сигнали, що надходять від датчиків Холла, спочатку посилюються і фільтруються перед перетворенням за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Значення кута, надане алгоритмом обчислення вектора напрямку магнітного поля в середині мікросхеми датчика, може виводитись в декількох варіантах: ШІМ, рівень напруги (аналоговий вихід), цифрова шина I2C або цифрова високошвидкісна шина SPI.

Для побудови системи підходять датчики, які видають готове цифрове значення через послідовну шину I2C або SPI. Інші варіанти не підходять так, як не мають прив'язки до початкової точки обертання. Без цього систему буде неможливо відкалібрувати без додаткових датчиків [3]. На рис. 5 зображено схему відповідності значення положення магнітного енкодера та магніта.

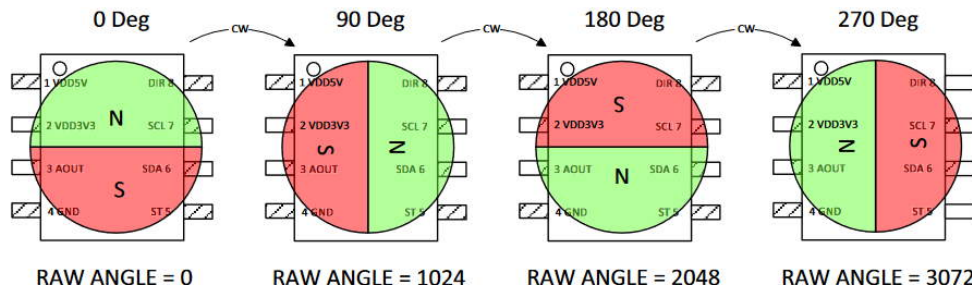


Рисунок 5 – Схема відповідності між значеннями положення магнітного енкодера та магніта
 Джерело: документація до AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer, URL:
https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf

Використання таких датчиків на кожній з осей з окремим мікроконтролером дає змогу точно позиціонувати осі. Тобто при динамічних рухах і зривах магнітного поля в двигунах, мікроконтролер точно зчитує значення поточного положення осі двигуна та повертає його в нормальне. Також значення кутів нахилу відеокамери можна використовувати для обчислення координат положення об'єкту, за яким ведеться спостереження.

Конструкція підвісу передбачає модульність. Тобто, для роботи треба один головний модуль та модуль гіроскопа, який змонтовано прямо на осі з камерою, а модулі керування двигунами включаються послідовно в залежності від потреби кількості осей стабілізації (одної, двох або всіх трьох).

Модуль керування двигуном складається з самого двигуна та плати керування, змонтованої на задній нерухомій кришці двигуна. По центру плати із сторони осі двигуна розташована мікросхема магнітного енкодера, а на зворотній частині змонтовано логічну частину керування: мікроконтролер та силову мікросхему (як правило збірка транзисторів включених напівмостом). На рис. 6 зображено функціональну схему модуля керування двигуном.

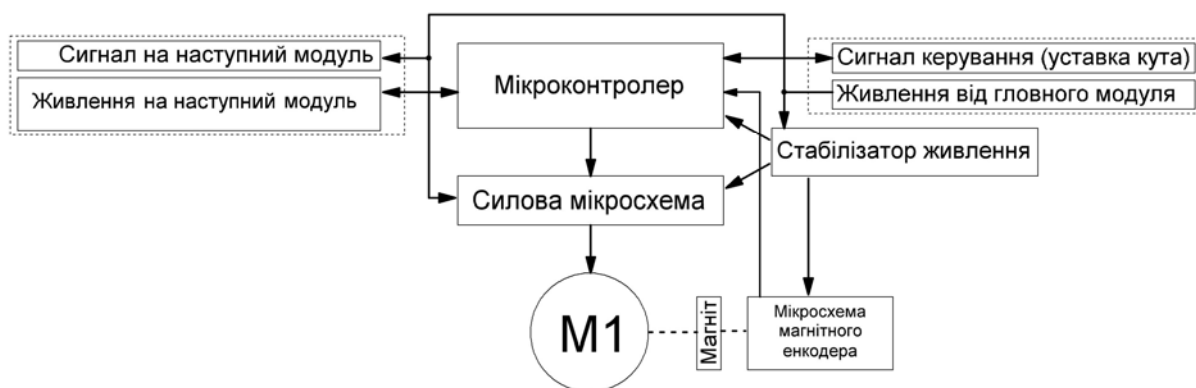


Рисунок 6 – Функціональна схема модуля керування двигуном осі підвісу відеокамери
 Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Дані положення ротора двигуна зчитуються постійно та фільтруються. Потім відносно уставки від головного контролера корегується положення ротора. Також при динамічній взаємодії на вісь підвісу (активне маневрування дрону) модуль керування двигуном дуже швидко та чітко може повертати (підтримувати) положення осі відносно значень енкодера. Алгоритм роботи такого модуля керування двигуном значно простіший за алгоритм роботи керування одразу трьома осями (двигунами), а саме в зчитуванні уставки (значення кута повороту заданого головним контролером, який вираховує кут відносно гіроскопа та акселерометра зі значенням кута заданим пілотом) та зчитуванням значення магнітного енкодера. Далі значення фільтруються та через ПІД-регулятор обраховуються вектори керування двигуном. Після обраховування векторів положення ротора значення передаються на таймери лічильники, які видають ШІМ сигнал на силову частину модуля. Силова частина модуля (мікросхема) включає в себе драйвери затворів транзисторів та самі силові транзистори включені напівмостом (3 напівмости, так як двигун має 3 фази). Функціональна схема роботи модуля керування двигуном зображена на рис. 7.



Рисунок 7 – Функціональна схема роботи модуля керування двигуном осі підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Головною вимогою до конструктивного виконання є строга соосність магніту та мікросхеми енкодера. На рис. 8 зображено конструкцію розміщення плати керування відносно двигуна.

Плату керування не обов'язково розміщувати на кришці двигуна. Її можна розмістити на кронштейні кріплення самої осі (як правило це виглядає як скоба), а сам датчик відділити та розмістити вже на двигуні або на протилежній стороні кронштейна (магніт також закріплюється на протилежній опорі). Головною вимогою є розміщення

геометричних центрів двигуна, магніта та енодера. Це дає змогу гнучко використовувати простір конструкції для більш вигідного розміщення дротів (шлейфів) та інших елементів конструкції та можливість розподілити виділення тепла від двигуна та силової мікросхеми, тому що при роботі ці елементи нагріваються.

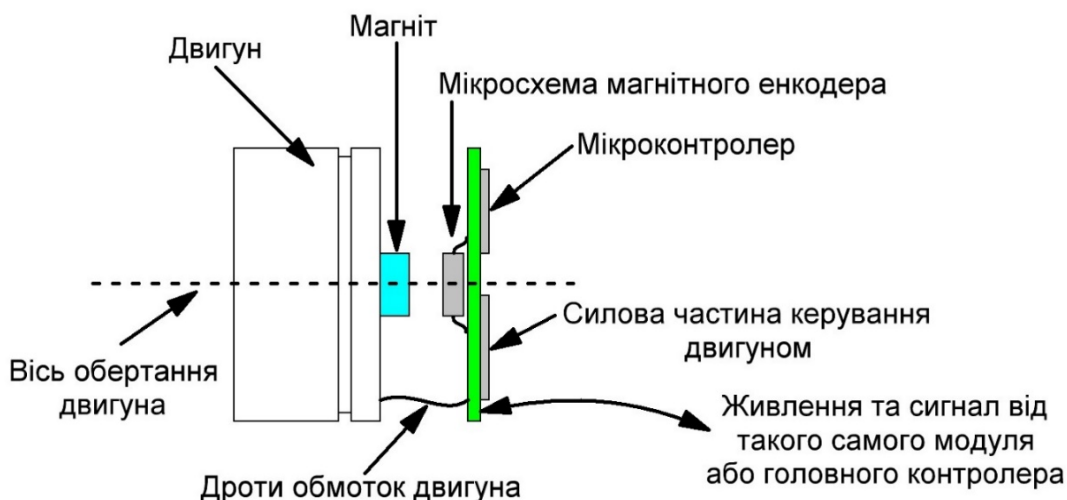


Рисунок 8 – Розміщення плати керування відносно двигуна осі підвісу відеокамери
Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Головний модуль включає в себе гіроскоп та акселерометр, мікроконтролер та стабілізатор силової напруги. Гіроскоп та акселерометр потрібні для початкового калібрування системи при старті роботи. Мікроконтролер займається зчитуванням команд від контролера польоту та значень гіроскопу модуля керування камери. Стабілізатор силової напруги потрібен для адаптації живлення від акумулятора. Так як акумулятор має високу напругу для живлення системи, а сама система має в собі двигуни, які споживають відносно великий струм, даний стабілізатор є потужнішим за ті, що використовуються для живлення мікроконтролерів та інших мікросхем. Стабілізатори живлення логічної частини включені після силового стабілізатора для розподілення потужності, яка виділяється при зменшенні напруги до потрібної логічній частині. Тому силовий стабілізатор, який займає значно більше місця на платі, використовується лише один і розміщений на головному модулі.

Модуль гіроскопа та керування камерою має в собі найважливішу частину – це мікросхему гіроскопа та акселерометра, яка є зворотнім зв'язком для всієї системи при корегуванні динамічних взаємодій в системі (стабілізації). Мікроконтролер цього модуля призначений для зчитування гіроскопа і акселерометра та підготовки даних для головного модуля, а також для видачі керуючих сигналів на камеру [4]. Загальний вигляд системи зображено на рис. 9.

Дана система на основі магнітних енодерів хоч і є складнішою за звичайну, реалізовану на одному мікроконтролері, але має ряд переваг в модульності, точності стабілізації та керуванні.

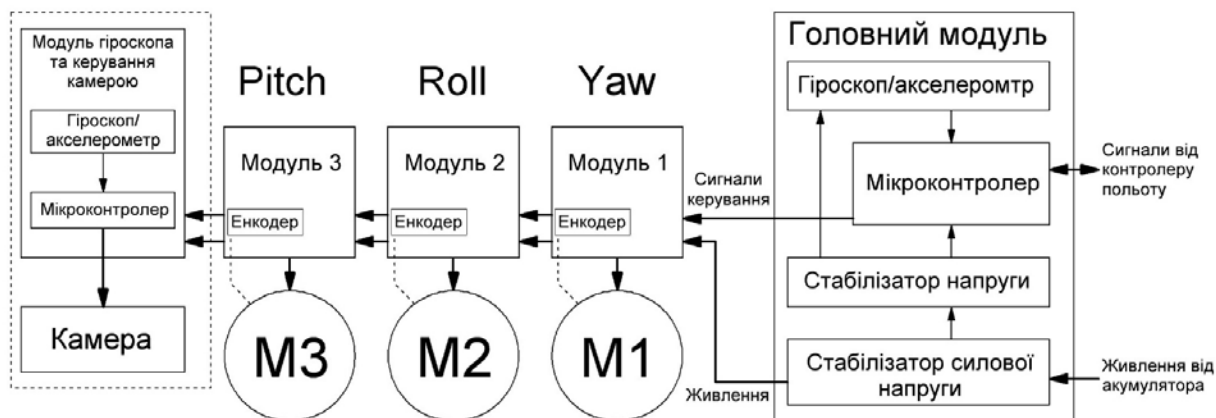


Рисунок 9 – Загальний вигляд системи механічної стабілізації відеокамери на декількох мікроконтролерах

Джерело: розроблено авторами на основі джерел [1-9]

Висновки. В даній статті було проведено аналіз систем стабілізації відеокамер в просторі. Який показав, що з розвитком дронів та камер з оптичним приближенням та високою роздільною здатністю без механічної системи стабілізації не обійтись. Також механічна стабілізація окрім вирівнювання положення камери при маневруванні дрону дозволяє повертати камеру на зручний кут огляду для пілота оператора.

Найбільше розповсюдження отримали 2-х та 3-х осьові підвіси через свою зручність та практичність. Рідше використовуються 1-но осьові підвіси або взагалі жорстко закріплені камери.

Жорстко закріплені камери використовуються як курсові для орієнтації в просторі пілотом. Тобто така камера дає змогу зрозуміти відхилення дрону від горизонту та скоригувати команду операторові для коректного польоту. Також жорстко закріплені камери використовують на дронах для змагань з дрон-рейсінгу.

Модульна система на основі магнітних енкодерів тільки починає розвиватися, але така система має ряд переваг хоч і є складнішою та дорожчою. Система забезпечує високу точність та надійність стабілізації, оскільки кожен модуль системи виконує свою задачу, тому ресурси мікроконтролерів розподіляються. Головною її особливістю є підтримання положення роторів осей відносно показів енкодера, що дає змогу дуже точно реагувати на динамічні дії на систему при активному маневруванні дрону.

Перспективою подальших досліджень є розробка системи керування стабілізації відеокамер на основі магнітних енкодерів.

Список літератури

1. Aswini, N., Uma, S.V. Video Stabilization for Drone Surveillance System / In: Venugopal, K.R., Shenoy, P.D., Buyya, R., Patnaik, L.M., Iyengar, S.S. (eds) Data Science and Computational Intelligence (ICInPro 2021), *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 1483. Springer, Cham. 2021. P. 468-480. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91244-4_37
2. Kowal D. Considerations for opto-mechanical vs. digital stabilization in surveillance systems // Proceedings, vol. 9451, Infrared Technology and Applications XLI, 94510B, Event: SPIE Defense + Security, 2015, Baltimore, Maryland, United States. 2015. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2178123>
3. Aguilar W.G., Angulo C. Real-Time Model-Based Video Stabilization for Microaerial Vehicles // *Neural Process Lett* 43. P. 459-477. 2016. URL: <https://doi.org/10.1007/s11063-015-9439-0>
4. Zhou X., Zhang H., Yu R. Decoupling control for two-axis inertially stabilized platform based on an inverse system and internal model control // *Mechatronics*, Vol. 24, Issue 8. 2014. P. 1203-1213. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415814001317>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.09.004>

5. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення: монографія / В.Я. Канченко та ін.; Чорнобиль: Інститут проблем безпеки атомних електростанцій. 2015. 180 с. URL: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf>
6. STorm32 NT brushless gimbal controller. URL: http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/Main_Page
7. AS5600 Position Sensor . URL: <https://ams.com/zh/as5600>
8. AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer. URL: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf (Last accessed: 29.10.2022)
9. Tstorm32. URL: <http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/File:Tstorm32-wiring-scheme-sketch.jpg> (Last accessed: 29.10.2022)

Referencis

1. Aswini, N. & Uma, S.V. (2021). Video Stabilization for Drone Surveillance System. In: Venugopal, K.R., Shenoy, P.D., Buyya, R., Patnaik, L.M., Iyengar, S.S. (eds) . Data Science and Computational Intelligence (ICInPro 2021). *Communications in Computer and Information Science, Vol. 1483*. Springer, Cham, P. 468-480. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91244-4_37
2. Kowal, D. (2015). Considerations for opto-mechanical vs. digital stabilization in surveillance systems. *Proceedings, Vol. 9451, Infrared Technology and Applications XLI, 94510B*, Event: SPIE Defense + Security, 2015, Baltimore, Maryland, United States. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2178123>
3. Aguilar, W.G. & Angulo, C. (2016). Real-Time Model-Based Video Stabilization for Microaerial Vehicles. *Neural Process Lett 43*, P. 459-477. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11063-015-9439-0>
4. Zhou, X., Zhang, H. & Yu, R. (2014). Decoupling control for two-axis inertially stabilized platform based on an inverse system and internal model control. *Mechatronics, Vol. 24, Issue 8*, P. 1203-1213. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415814001317> . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.09.004>
5. Kanchenko, V.Ya., Karnausenko, R.V., Kliuchnykov, O.O., Marynoshenko, O.P. & Chepur, M.L. (2015). Unmanned aerial vehicles for radiation reconnaissance and agricultural purpose. Chernobyl: Institute of Safety Problems of Nuclear Power Plants, 180 p. URL: <http://www.ispnpp.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/mono/khan-2015.pdf> (in Ukrainian)
6. STorm32 NT brushless gimbal controller. *olliw.eu*. URL: http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/Main_Page
7. AS5600 Position Sensor. *ams.com*. URL: <https://ams.com/zh/as5600>
8. AS5600 12-Bit Programmable Contactless Potentiometer. *ams.com*. URL: https://ams.com/documents/20143/36005/AS5600_DS000365_5-00.pdf
9. Tstorm32. *olliw.eu*. URL: <http://www.olliw.eu/storm32bgc-wiki/File:Tstorm32-wiring-scheme-sketch.jpg>

Oleksandr Maidanyk, post-graduate, **Yelyzaveta Meleshko**, Prof., DSc., **Anatolii Matsui**, Prof., DSc., **Serhii Shymko**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Research of Video Stabilization Methods and of the Construction of Video Camera Gyro-stabilized Suspensions for Drones

The goal of this paper was to research the construction of gyro-stabilized video camera suspensions for drones used for mechanical video stabilization during video monitoring or aerial exploration. The quality of the image received from the drone depends on the quality of the video stabilization, and therefore the amount of useful information received.

There are two main groups of video stabilization methods: optical-mechanical and digital stabilization. In order to maximize the quality of the image from the video camera of the unmanned aerial vehicle and to minimize the effects of camera shake, it is necessary to first perform mechanical-optical video stabilization, and then, if necessary, supplement it with digital stabilization. Only digital stabilization without mechano-optical is performed only for the purpose of making the drone cheaper. Optical-mechanical stabilization is usually based on gyroscope readings.

In this work, comparative research of the following methods of mechanical stabilization of video from drones was conducted: based on 3-axis and 2-axis gyro-stabilized suspensions with one microcontroller and based on gyro-stabilized suspensions with encoders and several microcontrollers. Mechanical stabilization, in addition to leveling the position of the camera when maneuvering the drone, allows you to turn the camera to a convenient viewing angle for the operator of a drone. 2-axis and 3-axis suspensions with one microcontroller have become the most popular because of their convenience and practicality. 1-axis suspensions or rigidly fixed cameras are used less often. Rigidly fixed cameras are used as course guides for orientation in space by the operator of a drone. That is, such a camera makes it possible to understand the deviation of the drone from the

horizon and to adjust the command to the operator for correct flight. Rigid cameras are also used on drones for drone racing competitions. A modular system based on magnetic encoders and several microcontrollers is just beginning to develop, but such a system has a number of advantages, although it is more complicated and expensive. The system provides high accuracy and reliability of stabilization. Each module of the system performs its task. In this way, the resources of microcontrollers are distributed. But its main feature is maintaining the position of the axis rotors relative to the encoder readings. This makes it possible to react very precisely to dynamic actions on the system during active maneuvering of the drone.

drone, unmanned aerial vehicle, gyro-stabilized video camera suspensions, digital video stabilization, mechanical video stabilization, video monitoring, aerial exploration

Одержано (Received) 05.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022