

РОЗРОБКА ДВОМОДУЛЬНОЇ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ АЛГОРИТМІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто проектування та практичну реалізацію розподіленої мікропроцесорної системи для автоматичного відстеження рухомих цілей. Проаналізовано апаратну структуру дворівневої турелі та трирівневу ієрархію програмного забезпечення. Показано переваги використання алгоритму CSRT та пропорційно-диференційного регулятора для забезпечення динамічної стабільності та плавності позиціонування відеосенсора в режимі реального часу.

Ключові слова: комп'ютерний зір, мікроконтролер, ESP32-CAM, Arduino Nano, трекінг об'єктів, CSRT, PD-регулятор, сервопривод.

Abstract

The paper considers the design and practical implementation of a distributed microprocessor system for automatic tracking of moving targets. The hardware structure of the two-axis turret and the three-level hierarchy of the software are analyzed. The advantages of using the CSRT algorithm and a proportional-derivative controller to ensure dynamic stability and smooth positioning of the video sensor in real time are demonstrated.

Keywords: computer vision, microcontroller, ESP32-CAM, Arduino Nano, object tracking, CSRT, PD-controller, servo motor.

Вступ

Сучасний розвиток робототехніки та інтелектуальних систем моніторингу вимагає створення компактних і доступних комплексів для активного позиціонування оптичних сенсорів. Камери з фіксованим кутом огляду мають обмежену ефективність через появу «сліпих зон». Для усунення цього недоліку застосовуються поворотні платформи з алгоритмами комп'ютерного зору. Проте розробка таких пристроїв на базі периферійних систем стикається із суперечністю між обмеженими ресурсами мікроконтролерів та високою обчислювальною складністю алгоритмів обробки зображень.[1] Це зумовлює актуальність оптимізації процесів трекінгу та раціонального розподілу навантаження між апаратними вузлами. [1]

Результати дослідження

Розроблену програмно-апаратну систему побудовано за модульним принципом. Для уникнення блокування основного циклу програми під час важких обчислень функції системи децентралізовано між двома мікроконтролерами:

- Модуль відеозахоплення та мережевого шлюзу реалізовано на базі системи-на-кристалі ESP32-CAM (процесор Xtensa LX6, CMOS-матриця OV2640). Він забезпечує трансляцію відеопотоку у форматі VGA (640x480) по мережі Wi-Fi та прийом HTTP-команд керування рухом.
- Контролер керування приводами на базі плати Arduino Nano (мікроконтролер ATmega328P) виконує прецизійне формування сигналів широтно-імпульсної модуляції (PWM) для виконавчих механізмів у режимі реального часу.

Міжмодульна взаємодія організована через послідовний інтерфейс UART на швидкості 9600 біт/с із використанням резистивного подільника для узгодження логічних рівнів 3.3 В та 5 В.[2] Виконавча частина складається з двох сервоприводів MG90S із металевим редуктором та кутами повороту 120°. Механічну конструкцію типу Pan/Tilt спроектовано у середовищі Fusion 360 та виготовлено методом 3D-друку з пластиків PLA та PETG. Підсистема живлення розділена на два незалежні канали на основі

перетворювачів LM2596 із фільтруючими конденсаторами ємністю 1000 мкФ для захисту логіки від імпульсних навантажень сервоприводів. [3]

Програмне забезпечення системи має ієрархічну тривірневу структуру:

1. Високорівневий скрипт на мові Python 3.10. Для забезпечення нульової затримки (zero-latency) мережевий обмін MJPEG-потоків винесено в окремий потік виконання (Thread), де кадри виокремлюються за байтовими маркерами 0xff 0xd8 та 0xff 0xd9. Супроводження об'єкта здійснюється дискримінантним трекером CSRT із побудовою просторової карти надійності, що гарантує інваріантність до змін освітлення за рахунок колірної сегментації в просторі HSV.
2. Математична модель PD-регулювання. Відхилення центру об'єкта від геометричного центру кадру нормалізується (від -1.0 до 1.0) та обробляється за пропорційно-диференціальним алгоритмом:
$$\text{Output} = K_p * \text{error} + K_d * (d_error / dt)$$
Експериментально визначено оптимальні коефіцієнти: $K_p = 4.0$, $K_d = 4.8$. Для усунення дрижання механіки від електричних наводок впроваджено зону нечутливості (Dead Zone = 0.08 від ширини кадру).
3. Низькорівневе згладжування руху. Веб-сервер ESP32-CAM приймає HTTP-запити /move та ретранслює текстові команди виду RxxTxx\n в UART.[1] Прошивка Arduino Nano реалізує маркерну синхронізацію та алгоритм інкрементального наближення (крок 1° кожні 15–40 мс). Це усуває ефект розмиття зображення (motion blur) та захищає редуктори сервоприводів.

Висновки

Створений програмно-технічний комплекс забезпечує замкнений цикл автоматичного стеження за рухомими об'єктами в реальному часі з частотою 15–25 кадрів на секунду. Розподіл обчислювальних функцій між ЕОМ та двома мікроконтролерами дозволив досягти високої динамічної точності й плавності ходу турелі при використанні бюджетної елементної бази.[1] Модульна архітектура системи забезпечує перспективу її масштабування для інтеграції локальних нейромережевих класифікаторів та фільтрів Калмана.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисюк В. О., Цирульник С. М. Мікропроцесорні системи управління: навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2021. – 204 с.
2. Цирульник С. М., Лисенко Г. Л. Проектування мікропроцесорних систем: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 191 с.
3. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. – Cambridge University Press, 2015.

Кацан Ярослав Сергійович — здобувач вищої освіти факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії група ІСП-23Б Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, Україна email: yaroslav.katsap@gmail.com

Марценюк Роман Володимирович — здобувач вищої освіти факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії група ІСП-23Б Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, Україна email: mister.roman240706@gmail.com

Katsap Yaroslav Serhiyovych — higher education student, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, group 1SP-23B, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine email: yaroslav.katsap@gmail.com

Martseniuk Roman Volodymyrovych — higher education student, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, group 1SP-23B, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine email: mister.roman240706@gmail.com