

Соколов К.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чмельов В.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТНОЮ РОБОТИЗОВАНОЮ ВІДЕОКАМЕРОЮ PTZ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ ONVIF

У даній статті розглядається питання реалізації програмно-апаратної системи керування виявлення і відстеження малогабаритних літальних безпілотних апаратів за допомогою системи відеокамер. Авторами зазначено контексти постановки завдання з огляду на застосування отриманого рішення у сфері безпеки. Продемонстровано загальну логіку запропонованого комплексу а також наведено структурну схему взаємодії комплексу з зовнішнім керуючим алгоритмом та наявності оператора. Розглянуті типові рішення, які вже існують на ринку та підлягають серійному виробництву, зазначено альтернативи таких рішень та обґрунтована доцільність їх використання. Зазначено переваги модульності таких систем та високу здатність сучасного обладнання до інтеграції зі сторонніми системами.

У роботі висвітлено два різних підходи до керування поворотною роботизованою PTZ камери. У першому випадку розглянуто створення алгоритмів керування IP PTZ камерою з використанням API ONVIF протоколу. Показано основний механізм взаємодії користувача (клієнта) з роботизованою камерою на протокольному рівні. Описано специфіку формування запитів керування з оглядом на синтаксис і параметри команд. Розглянуто попередні налаштування на IP PTZ камері, що відповідають за користувача ONVIF та аутентифікацію. Детально описано процес налагодження та тестування запитів з використанням утиліти Postman. Продемонстровані результати виконання типових запитів по отриманню інформації з камери а також по передачі їй команд керування. Авторами надано алгоритм переходу від абсолютних до нормованих величин систем координат камери і навпаки.

Також надано демонстраційний результат відпрацювання тестового алгоритму, створеному у середовищі MATLAB, на практиці з одночасним переглядом живої трансляції організованою за допомогою VLC media player.

Другий підхід полягає у проектуванні системи керування поворотними механізмами з використанням крокових двигунів та контролеру STM32. Авторами показано синтез PID-регулятора для виконання поставленої задачі із заданими характеристиками з огляду на зразок. Також наведено аналіз характеристик отриманого PID-регулятора. У висновках зазначені результати дослідження а також окреслені перспективи продовження роботи

Ключові слова: PTZ, поворотна камера, PID-регулятор, керування, ONVIF, алгоритм керування, камера, API, IP, система координат, координати, МБПЛА, повітряний об'єкт.

Постановка проблеми. Малогабаритні безпілотні літальні апарати (МБПЛА) стрімко знаходять застосування у різних сферах використання. Масовість даного явища сприяє заповненню повітряного простору великою кількістю об'єктів. Виникає потреба контролювати повітряний простір для запобігання небажаних ситуацій. Ще одним аспектом необхідності моніторингу повітряного простору є захист приватної власності від несанкціонованого втручання, запобігання іншим видам загроз, які можуть нести МБПЛА – дрони,

оскільки останні можуть оснащуватися додатковим обладнанням, таким як такелажні системи, камери, направлені джерела випромінювання, тощо. Тому безпекова сфера потребує ефективних, мобільних та відносно дешевих засобів моніторингу повітряного простору, які будуть використовуватися для виявлення, супроводження, та за можливості, ідентифікації повітряних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальна інформація про призначення та особливості застосування IP PTZ (Pan-Tilt-Zoom) камер висвіт-

лена у фундаментальних працях [1, 2] та статтях [3, 4]. Повна документація щодо функціонування та побудови протоколу ONVIF (Open Network Video Interface Forum) знаходиться у відкритому доступі на офіційному сайті [5]. Авторами роботи надані варіанти прикладного використання проколу ONVIF у системах відеоспостереження [6]. Моделювання та дослідження систем у середовищі MATLAB подані у роботах [7–9]. Основні теоретичні відомості щодо синтезу PID-регуляторів висвітлені у працях [10–12]. Також у статті використані посилання на готові вироби, що перебувають у серійному виробництві.

Постановка завдання. Метою статті є розробка алгоритмів керування поворотною IP PTZ [1] камерою з використанням протоколу ONVIF, а також обрахунку альтернативної системи керування поворотною платформою з використанням крокових двигунів. Дане завдання постає в рамках виявлення та відслідковування малогабаритних літальних об'єктів за кутовими координатами за допомогою системи відеокамер.

Виклад основного матеріалу. Для виконання поставленого завдання розглянемо наступну систему на рисунку

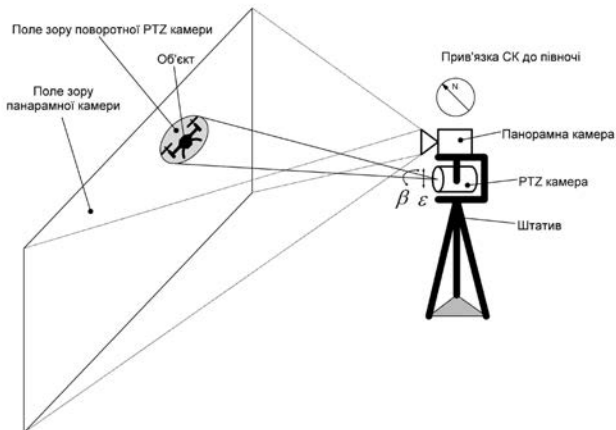


Рис. 1. Запропонована система стеження та визначення координат

Система складається з панорамної камери з малою фокусною відстанню та поворотної роботизованої PTZ камери. Зазначимо також що на рисунку не зазначено пункт керування, який

в найпростішому випадку являє собою електронно-обчислювальну машину з встановленим спеціалізованим ПЗ (програмним забезпеченням), що може додатково використовуватися як автоматизоване робоче місце оператора. Уточнимо, що системи координат камер є узгодженими між собою і приведені до загальної абсолютної, оптичної осі в нульовому положенні співнаправлені. Допускається виконання панорами за рахунок суміщення камер з фіксованою фокусною відстанню з подальшим зшиванням зображення. В такому випадку необхідно проводити додаткові по обробці зображення, усунення дисторсії та т.ін., в даному дослідженні ці питання не висвітлюються. На противагу існуючим рішенням на ринку IP PTZ [2] камер (рис. 2) є можливість створення власних модульних збірок за рахунок високої потенційної здатності сучасних IP камер відеоспостереження до інтеграції у сторонні системи. Це дозволяє створювати більш вузькоспеціалізовані під технічне завдання комплекси, які можна дооснащувати за потреби додатковими модулями, як наприклад далекомірами.



Рис. 2. Сучасні IP PTZ відеокамери з вбудованим панорамним модулем

Розглядувана система (рис. 3) має виконувати наступні дії. Алгоритм видачі координат, який працює з панорамною камерою видає кутові координати до спеціалізованого ПЗ. Останнє виконує нормування координат до формату закладеного ПЗ самої PTZ камери, формує та надсилає запит на серверну частину IP PTZ камери. Камера виконує поворот за заданим напрямком. Оператор спостерігає об'єкт та може скоректувати кутові координати PTZ камери на об'єкт за рахунок візуального відстеження зображення і повернути їх на рівень вище.



Рис. 3. Блок-схема роботи комплексу моніторингу

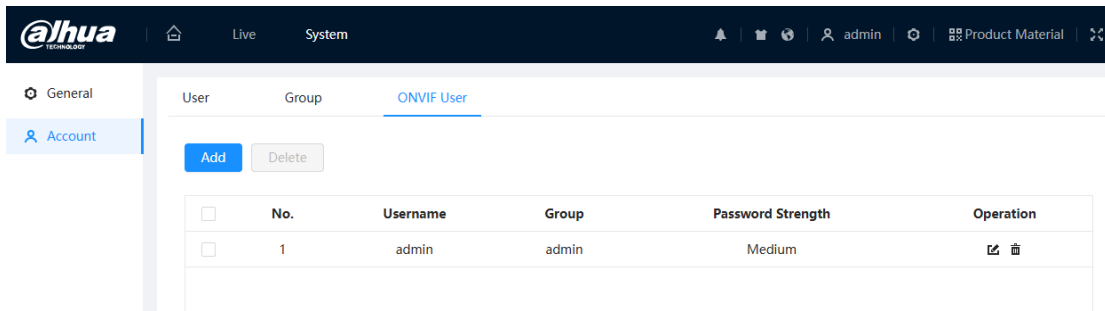


Рис. 4. Інформація щодо існуючого користувача ONVIF

Для керування камерою PTZ камерою за протоколом ONVIF перш за все потрібно провести попереднє налаштування самої камери. Камера має бути активована, їй має бути присвоєна власна IP адреса, створений користувач ONVIF з адміністративними правами (рис. 4) та має бути налаштований тип аутентифікації для отримання доступу до керування камерою (рис. 5). Попередні налаштування проводяться на веб-інтерфейсі камери з клієнта який підключений до камери у локальній IP мережі.

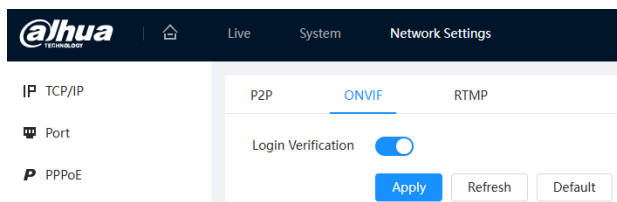


Рис. 5. Налаштування типу аутентифікації ONVIF

Документація протоколу ONVIF та API знаходяться у вільному доступі в різних форматах, що дозволяє ефективно їх використовувати. API (Application Programming Interface) ONVIF працює з використанням HTTP (HyperText Transfer Protocol) запитів у форматі SOAP (Simple Object Access Protocol) з синтаксисом XML та використанням WSDL (Web Services Description Language) для опису операцій. Власне взаємодія клієнта з камерою показана на рисунку 6.

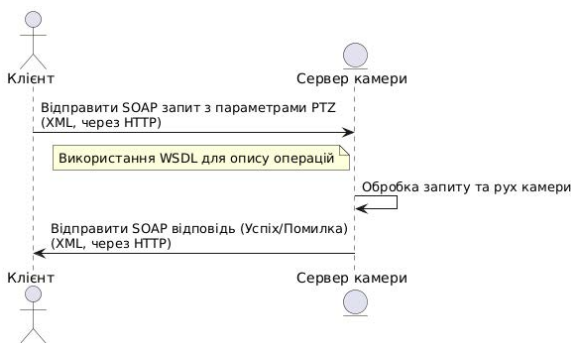


Рис. 6. Процес взаємодії з API

WSDL – це мова описання веб-сервісів [13]. На рисунку 7 наведено частину опису WSDL файлу, який показує які операції доступні на сервері (в нашому випадку PTZ камери) та які параметри необхідно передавати для виконання команд передбачених у WSDL файлі, а також зазначено які параметри та дані повертає сервер камери після виконання певної операції.

Попереднє тестування взаємодії з API ONVIF задля керування поворотом камери проводилось у ПЗ Postman [14]. Дане програмне забезпечення призначене для тестування та налагодження роботи різноманітних API. Postman надає можливість формувати та надсилати запити на сервер для виконання певних команд, а також отримувати відповіді від сервера.

Процес налагодження починається з проходження аутентифікації на сервері нашої PTZ камери для отримання доступу на її керування (рис. 8). Тип аутентифікації Digest вхід за логіном та паролем які зазначені на камері у розділі користувач ONVIF, IP адреса – локальна адреса камери призначена користувачем.

Надалі формуються тестові запити (рис 9, 10) на основі документації ONVIF [5] та виконується перевірка опрацювання запитів сервером. На рисунку можна побачити сам запит, а також дані, які повертаються з серверу PTZ камери після його виконання. Серед повернутих даних можна побачити модель камери, її серійний номер, версію програмного забезпечення.

На рисунках 9 та 10 продемонстровано склад запиту який необхідно надіслати камери для виконання певних функцій. В даному випадку це функція отримати інформацію про пристрій, завдяки якій ми можемо дізнатися модель пристрою, його серійний номер, версію прошивки, а також наведено команду для виставлення камери у певну позицію за координатами. Як можна помітити, координати передаються у нормованих величинах. Отже наступним етапом

ONVIF® <http://www.onvif.org/ver20/ptz/wsd/2.2>

Operations

Port type PTZ

1. AbsoluteMove

Description:
 Operation to move pan,tilt or zoom to a absolute destination.
 The speed argument is optional. If an x/y speed value is given it is up to the device to either use the x value as absolute resolving speed vector or to map x and y to the component speed. If the speed argument is omitted, the default speed set by the PTZConfiguration will be used.

SOAP action:
<http://www.onvif.org/ver20/ptz/wsd/AbsoluteMove>

Input:

```
[AbsoluteMove]
  • ProfileToken [ReferenceToken]
    A reference to the MediaProfile.
  • Position [PTZVector]
    A Position vector specifying the absolute target position.
  • Speed - optional; [PTZSpeed]
    An optional Speed.
    • PanTilt - optional; [Vector2D]
      Pan and tilt speed. The x component corresponds to pan and the y component to tilt. If omitted in a request, the current (if any) PanTilt movement should not be affected.
    • Zoom - optional; [Vector1D]
      A zoom speed. If omitted in a request, the current (if any) Zoom movement should not be affected.
```

Output:

```
[AbsoluteMoveResponse]
```

Рис. 7. WSDL файл

POST ▼ <http://192.168.110.87/onvif/PTZ> Send ▼

Params **Authorization** Headers (8) Body ● Scripts Settings Cookies

Auth Type
 Digest Auth ▼

The authorization header will be automatically generated when you send the request. Learn more about [Digest Auth](#) authorization.

By default, Postman will extract values from the received response, add it to the request, and retry it. Do you want to disable this?

Yes, disable retrying the request

Username: admin

Password: qwer0987 ⚠

> Advanced configuration

ⓘ Heads up! These parameters hold sensitive data. To keep this data secure while working in a collaborative environment, we recommend using variables. [Learn more about variables.](#) ✕

Рис. 8. Налаштування Postman

буде пов'язання нормованих величин камери з абсолютними величинами у загальній системі координат. Для того щоб перейти до більш зрозумілої сферичної системи координат (СК) застосуємо вирази (2). Залежності при перерахунку координат лінійні, отже маємо можливість транслювати координати з однієї СК у іншу та навпаки. Додатково аналогічним чином обрахується коефіцієнт наближення (Zoom)

$$R = R_{\min} + \frac{(N - N_{\min})}{(N_{\max} - N_{\min})} \cdot (R_{\max} - R_{\min}) \quad (1)$$

$$N = N_{\min} + \frac{(R - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} \cdot (N_{\max} - N_{\min})$$

де: R – поточне значення у сферичній СК, N – поточне значення у нормованій СК, $R_{\max}, R_{\min}, N_{\max}, N_{\min}$ – граничні значення повороту та нахилу камери у сферичній та нормованій СК відповідно.

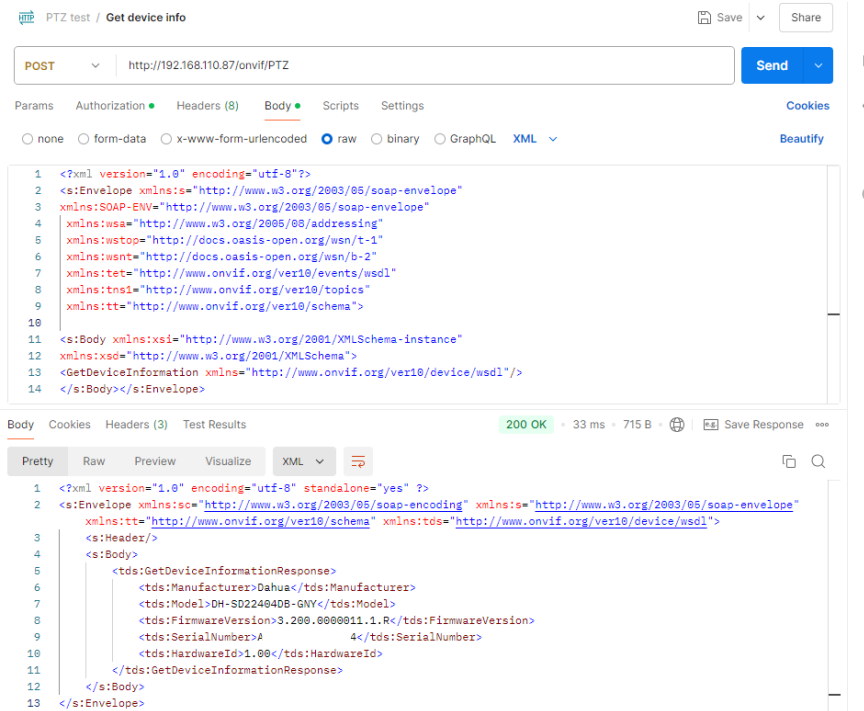


Рис. 9. Запит GetDeviceInformation

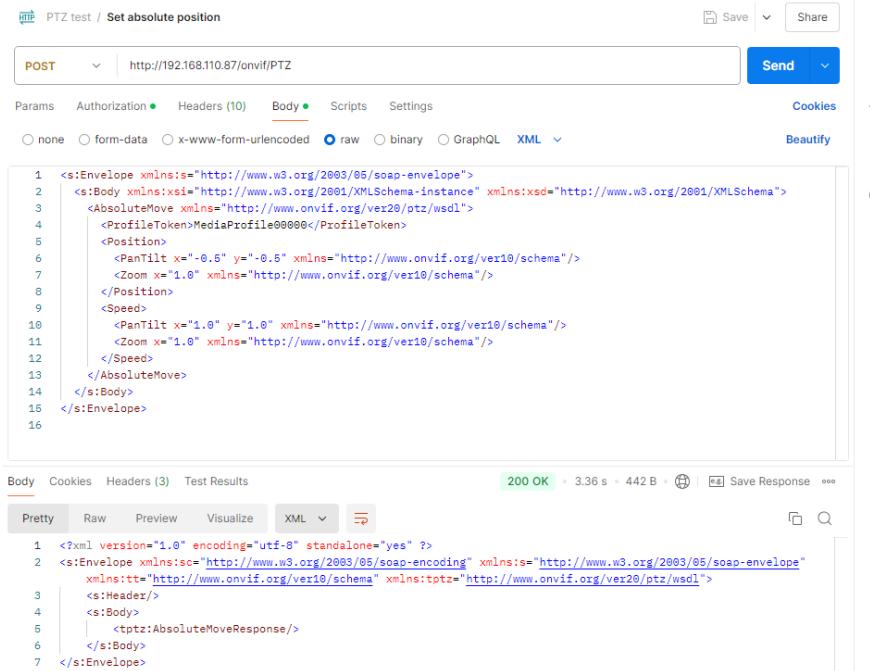


Рис. 10. Запит AbsoluteMove

У таблиці 1 наведено дані для розрахунку переходів між СК взяті з документації ONVIF [5] та DH-SD22404DB-GNY [15], яка використовувалась у дослідженні. Значення Pan та Tilt наведені в градусах, Zoom в разях. Мінімальні та максимальні значення вказані з врахуванням віддзеркалення сцени на по вертикалі.

Таблиця 1

Змінна	R		N	
	min	max	min	max
Pan	0	355	1	-1
Tilt	0	90	1	-1
Zoom	1	4	0.25	1

На рисунку 11 наведено частину програмного коду модуля керування PTZ камерою, що містить рядки генерації SOAP запиту у рамках взаємодії з API ONVIF у виконанні GUI інтерфейсу у середовищі MATLAB для зручності оператора.

Для перевірки роботи алгоритму спрямування поворотної роботизованої камери за заданими координати створимо невеликий алгоритм випадкової видачі координат. Алгоритм генерує координати виходячи з обмеженнями поворотної камери які, власне, зазначені у документації камери в розділі PTZ (Pan, Tilt, Zoom). Та були наведені вище у таблиці 1.

На рисунку можна побачити результат відпрацювання тестового алгоритму, створеному у середовищі MATLAB [7], на практиці з одночасним переглядом живої трансляції організованою за допомогою VLC media player (рис. 12). Дане ПЗ [16] є безкоштовним мультимедійним плеєром з відкритим вихідним кодом, який здатен відтворювати мультимедійні файли різних форматів а також різноманітні потокові протоколи. В нашому випадку використовується поточковий протокол передачі відео RTSP (Real Time Streaming Protocol) [17]. Даний протокол є універсальним протоколом передачі відео у сучасних

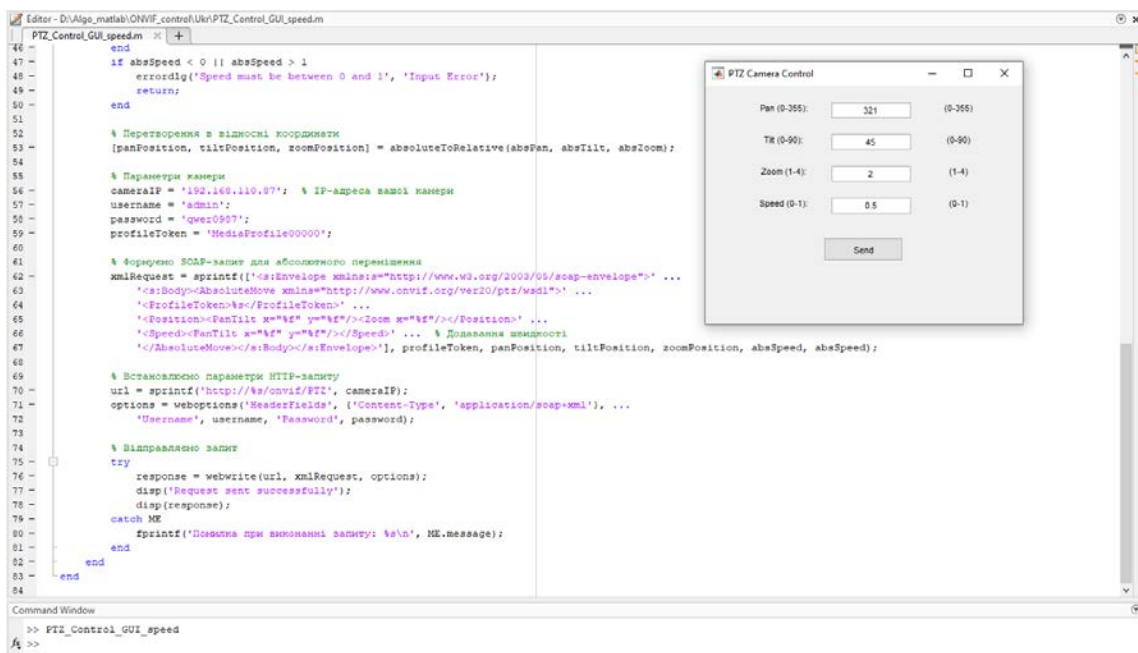


Рис. 11. GUI інтерфейс керування камерою

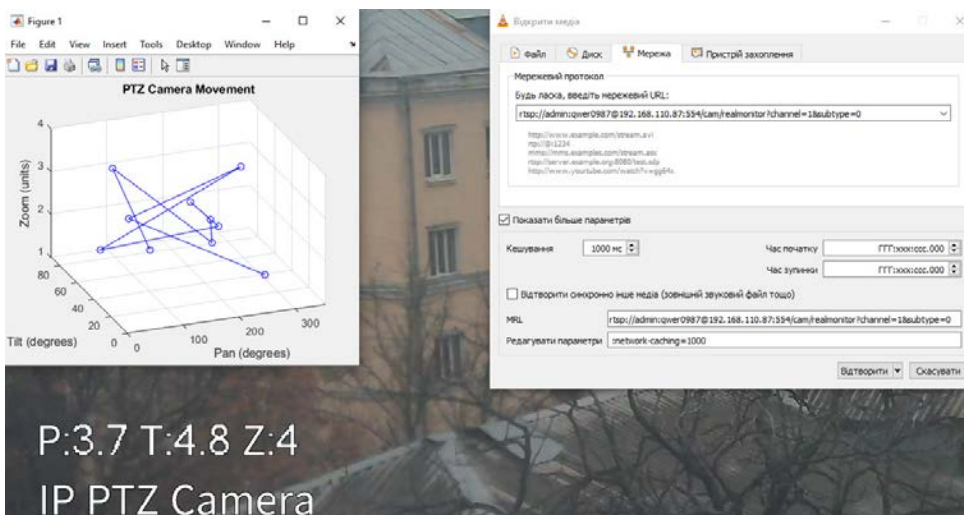


Рис. 12. Демонстрація роботи PTZ камери

системах відеоспостереження і використовується для інтеграції у сторонні системи.

Інший варіант реалізації системи керування – створення власної поворотної платформи, що керується кроковими двигунами. Опираючись на готові зразки розглянемо будову типової PTZ камери (рис. 13).

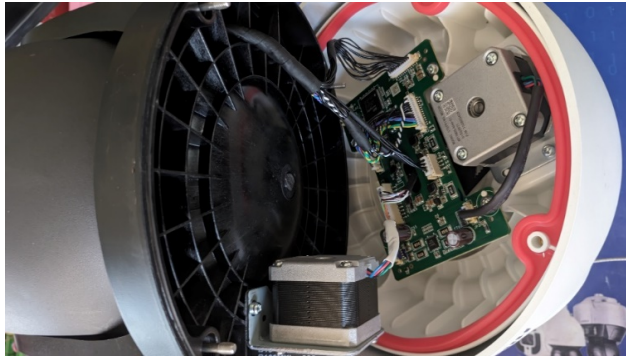


Рис. 13. Будова типової PTZ камери

У розібраній камері можна побачити крокові двигуни [18], характеристики яких наведені на рисунку 14.

Детальніше зупинимося на кроковому двигуні та опишемо процес взаємодії з ним. Система позиціонування PTZ камери використовує по одному двигуні в кожній площині та скеровує оптичну вісь за азимутом та кутом місця відповідно. Надалі опишемо систему керування поворотом за каналом керування азимутальним кутом. За кутом місця роз'яснення буду такі ж самі за винятком кутових обмежень поворотного механізму обумовлених конструктивною будовою PTZ камери.

Зауважимо, що існують стандартні та прецизійні крокові двигуни. З розглянутих нами перші мають крок 1,8 градуса [18], другі – 0,9 градуса. Проте у поєднанні з редукторами можна досягнути і більш високої точності.

За зразок для визначення динамічних характеристик поворотної платформи візьмемо камеру DH-SDT4E425-4F-GB-A-PV1 [19]. На рисунку 15 наведено паспортні дані PTZ камери Dahua типу X-Spans TiOC. В рамках дослідження нас цікавлять параметри описані у пункті PTZ, які відповідають за можливість камери до повороту а також швидкості її реагування на сигнали керування.

Для керування кроковим двигуном будемо використовувати PID-регулятор [11]. Даний регулятор є одночасно простим та універсальним і підходить для виконання задачі керування кроковим двигуном. Класичний PID-регулятор містить пропорційний компонент, інтегральний компонент та диференціальний компонент, які мають свої переваги та недоліки. Об'єднання цих компонентів дозволяє нівелювати недоліки і поєднати переваги [10]. Математична модель роботи PID-регулятора, який формує керуючу дію на основі поточної помилки

$$u(t) = Ke(t) + K_I \int_0^t e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

де $u(t)$ – керуюча дія, $e(t)$ – помилка, K – коефіцієнт підсилення пропорційної складової, K_I – коефіцієнт підсилення інтегральної складової, K_D – коефіцієнт підсилення диференціальної складової.

Синтез PID-регулятора проводився в середовищі Simulink. PID регулятор був розрахований за виразом 3 у S-площині (з перетворенням Лапласа)

$$C(s) = P + I \cdot \frac{1}{s} + D \cdot \frac{N}{1 + N \cdot \frac{1}{s}} \quad (3)$$

Об'єкт який піддається регуляції в нашому випадку складається з крокового двигуна, редуктора та корпуса камери, що представляють собою відповідно інтегральну ланку, ланку підсилення та аперіодичну ланку першого порядку [12].

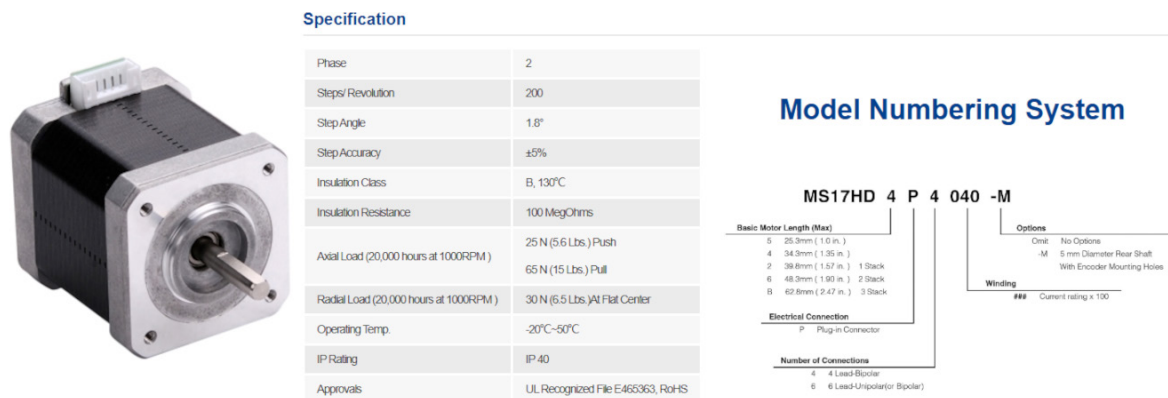


Рис. 14. Характеристики крокового двигуна



Lens				
Focal Length	Panorama: 2.8 mm; Detail: 5 mm–125 mm			
Max. Aperture	Panorama: F1.0; Detail: F1.6–F3.6			
Field of View	Panorama: H: 101°; V: 53°; D: 120°; Detail: H: 51.9°–3.0°; V: 39.7°–2.2°; D: 63.1°–3.7°			
Optical Zoom	Panorama: NA; Detail: 25x			
Focus Control	Auto; semi-auto; manual			
Close Focus Distance	Panorama: 0.2 m (0.66 ft); Detail: 0.1 m–0.5 m (0.33 ft–1.64 ft)			
Iris Control	Auto; manual			
DORI Distance	Detect	Observe	Recognize	Identify
	2500 m (8202.10 ft)	987.5 m (3239.83 ft)	500 m (1640.42 ft)	250 m (820.21 ft)
	PTZ			
	Pan/Tilt Range			
Manual Control Speed		Preset Speed		
Pan: 0.1°/s–200°/s; Tilt: 0.1°/s–120°/s		Pan: 240°/s; Tilt: 200°/s		

Рис. 15. Камера DH-SDT4E425-4F-GB-A-PV1 та її характеристики

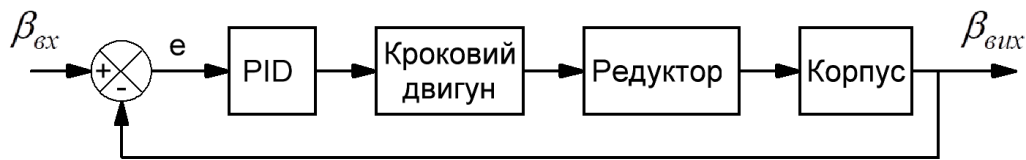


Рис. 16. Загальна модель керування

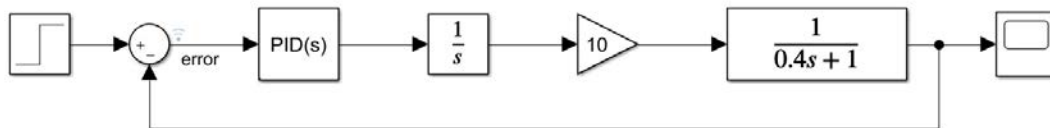


Рис. 17. Фактична модель керування

Коливальною ланкою можна знехтувати, оскільки вважаємо, що корпус має низьку інерційність. Загальна модель представлена на рис. 16.

На рисунку 17 наведено фактичну модель зібрану в середовищі Simulink над якою проводилося дослідження.

Синтез оптимального PID-регулятора проводився в системі MATLAB методом підбору коефіцієнтів, що дало змогу забезпечити необхідні параметри його роботи. Час встановлення стаціонарного режиму за вимогами задамо до 200 мс.

Формула 4 показує передавальну характеристику PID контролера розрахованого із зазначеними вище параметрами

$$C(s) = \frac{5221s^2 + 1.15 \cdot 10^4 s + 2942}{s^2 + 3860s} \quad (4)$$

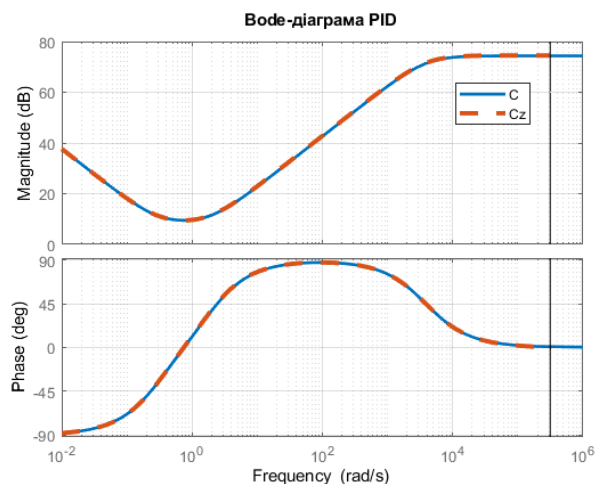
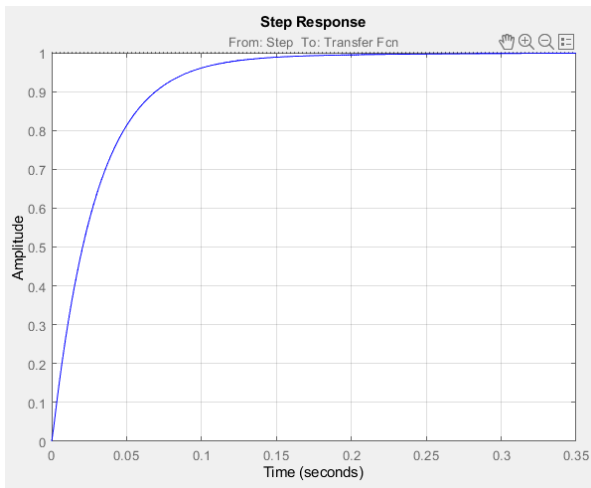
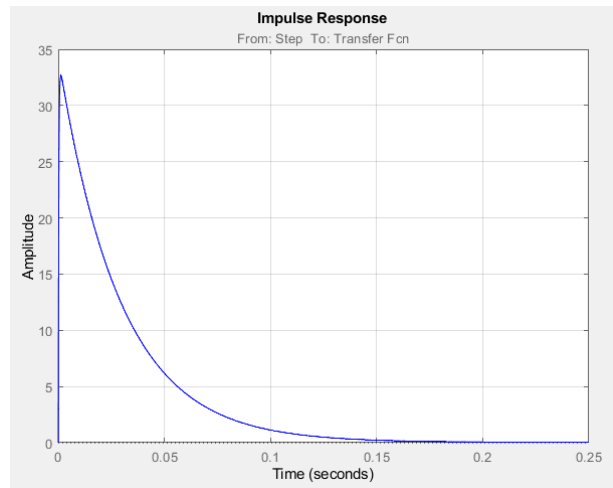


Рис. 18. ЛАЧХ та ФЧХ PID-регулятора

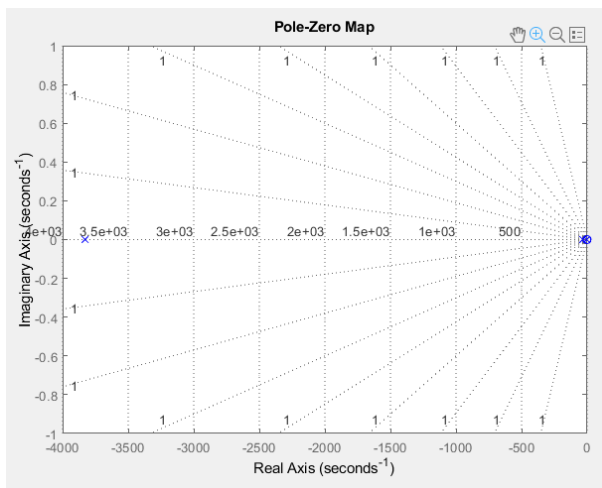


а)

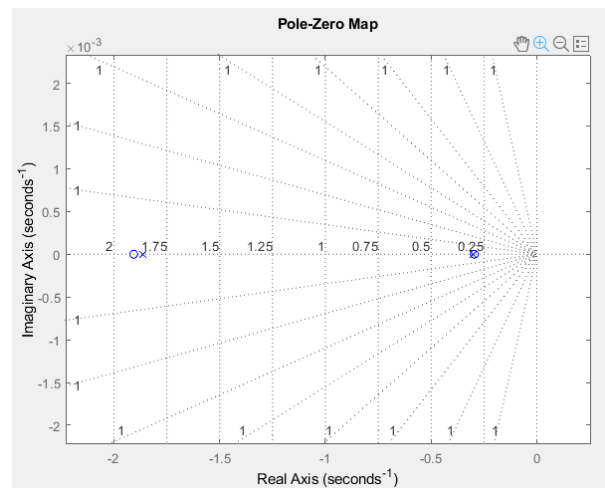


б)

Рис. 19. Перехідна (а) та імпульсна (б) характеристики моделі



а)



б)

Рис. 20. Карта нулів та полюсів

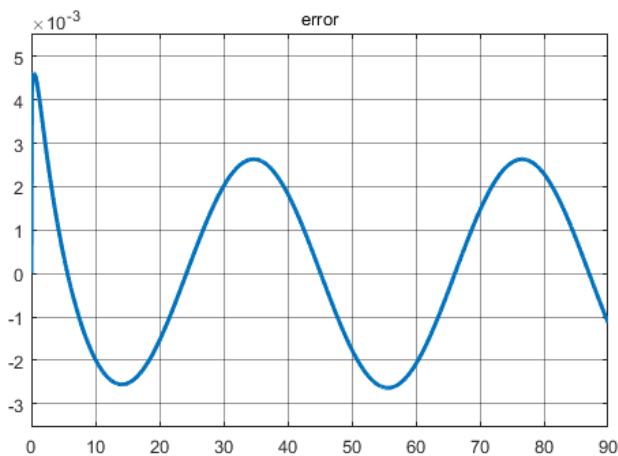


Рис. 21. Графік помилки при відпрацюванні

Формула 5 визначає передавальну характеристику після дискретизації з частотою 100 кГц

$$C(z) = \frac{5221z^2 - 1.044 \cdot 10^4 z + 5221}{z^2 - 1.962z + 0.9621} \quad (5)$$

Про якість та точність дискретизації нашої функції PID-регулятора свідчить повна сходимость вищевказаних виразів на логарифмічній амплітудно-частотній та фазо-частотній характеристиках.

На рисунку 19 наведено перехідну та імпульсну характеристики досліджуваної моделі. Як бачимо, на рисунку 19 а) перехідний процес триває до 0.2 секунди, що задовольняє вимогам які ми окреслили раніше.



- Reset and power management
 - Digital & I/Os supply: $V_{DD} = 2.4\text{ V to }3.6\text{ V}$
 - Analog supply: $V_{DDA} = V_{DD}$ to 3.6 V
 - Power-on/Power down reset (POR/PDR)
 - Low power modes: Sleep, Stop, Standby
- Clock management
 - 4 to 32 MHz crystal oscillator
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
 - Internal 8 MHz RC with x6 PLL option
 - Internal 40 kHz RC oscillator

Рис. 22. Плата контролера STM32F030 та його характеристики

На рисунку 20 наведено карту нулів та полюсів нашої моделі. Всі полюси знаходяться в лівій напівплощині, що свідчить про стійкість даної системи.

На рисунку 21 зображено графік який демонструє похибку системи при виконанні керуючому впливі. Дана похибка не перевищує ± 0.003 від максимального амплітудного значення в стаціонарному режимі, що становить 0.3 %, якщо на вході системи подається еталонна синусоїда однічної амплітуди, яка моделює плавні повороти PTZ камери.

Для реалізації такої системи можна обрати, у якості контролера керування, контролер STM32F030 [20] який є широко розповсюдженим, відносно дешевим та має всі необхідні показники, які задовольняють нашим вимогам. Також, варто зазначити, що контролер має можливість підключення периферії для того щоб керувати сигналами. Даний контролер здатний забезпечити 100 кГц частоту дискретизації, саме цю частоту ми вказували при дискретизації виразу нашого PID-регулятора. Детальні налаштування та програмування контролера розглядати не будемо оскільки це виходить за рамки дослідження. На рисунку 22 показана плата контролера STM32, також зазначені деякі його часткові характеристики, взяті з паспортних даних.

Висновки. В рамках даного дослідження розроблено алгоритм керування поворотною роботизованою камерою з використанням відкритого протоколу ONVIF. Дана система дозволяє спрямовувати камеру за потрібним напрямком, який може бути виданий будь-яким зовнішнім алгоритмом керування. Розглянута конфігурація, що складається з двох сумішених камер

(PTZ та панорамної оглядової камери) передбачає комплексну роботу. Алгоритм визначення об'єкту у повітряному просторі обробляє відеопотік з панорамної камери, за потреби передаючи вказівки на рухому поворотну камеру, що дозволяє більш детально побачити об'єкт, та за наявності оператора системи підкоригувати більш точно PTZ камеру (детальний вид). Таким чином уточнивши положення об'єкту та передавши команду керування зворотного зв'язку. Така комбінація не тільки дає змогу стежити за об'єктом, а більш точно ідентифікувати його. Альтернативою керування IP PTZ камерою може бути проектування власної поворотної платформи на обраній, відповідно до заданих умов технічного завдання елементній базі. Це спрощує систему і зменшує її собівартість, оскільки велика частина функціоналу IP PTZ камери не використовується. Проте це вимагає додаткової розробки, розрахунків, написання алгоритмів по проектуванню готового пристрою.

Дообладнання такої системи можливо іншими пристроями, що надасть додаткову інформацію про об'єкт. У простій реалізації це може бути лазерний далекомір або FMCW-радар у виконанні готових продуктів чи відповідних модулів. Що дозволить, в одному випадку додатково виміряти відстань до об'єкта в результаті точного визначення його кутового положення, а в іншому випадку також отримати дані про швидкість руху об'єкту. Більш складна та високовартісна система може включати додаткові давачі різної фізичної природи, як наприклад тепловізор. Проте, це збільшує на порядки вартість системи і виходить за рамки поставленого завдання, а лише демонструє можливі модифікації.

Список літератури:

1. Kolekar M. H. Intelligent Video Surveillance Systems: An Algorithmic Approach. Taylor & Francis Group, 2018. 180 p.
2. Nilsson F., Nilsson F., Axis C. Intelligent Network Video. New York : Routledge, 2017. : CRC Press, 2016. URL: <https://doi.org/10.1201/9781315399904> (date of access: 26.11.2024).
3. Lee S.-G., Batkhisig R. Implementation of a Real-Time Image Object Tracking System for PTZ Cameras. Convergence and Hybrid Information Technology. Berlin, Heidelberg, 2011. P. 121–128. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-24106-2_16.
4. Real-time video tracking using PTZ cameras / S. Kang et al. Quality Control by Artificial Vision, Gatlinburg, United States / ed. by K. W. Tobin, Jr., F. Meriaudeau. 2003. URL: <https://doi.org/10.1117/12.514945>.
5. December 2023 - ONVIF. ONVIF. URL: <https://www.onvif.org/profiles/specifications/specification-history/december-2023>.
6. Di H. W., Luo C. Y., Cai X. C. Research and Application of ONVIF Protocol in IP Camera. Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 568-570. P. 1399–1402. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.568-570.1399>.
7. Attaway S. Matlab: A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. Elsevier Science & Technology, 2022.
8. Davis T. A. MATLAB Primer. Taylor & Francis Group, 2010. 248 p.
9. Moore H. MATLAB for Engineers. Pearson Education, Limited, 2009. 624 p.
10. Advances in PID Control / T. K. Kiong et al. London : Springer London, 1999. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0861-0>.
11. Pid Control Of Dynamic Systems. Tapir Forlag, 2004. 272 p.
12. Candelino N. W., Jalili N. Dynamic Systems and Control Engineering. Cambridge University Press, 2023.
13. Werner C., Buschmann C., Fischer S. WSDL-Driven SOAP Compression. International Journal of Web Services Research. 2005. Vol. 2, no. 1. P. 18–35. URL: <https://doi.org/10.4018/jwsr.2005010102>.
14. Postman: The World's Leading API Platform | Sign Up for Free. Postman API Platform. URL: <https://www.postman.com/>.
15. SD22204DB-GNY - Dahua International. Dahua Technology. URL: <https://www.dahuasecurity.com/products/All-Products/PTZ-Cameras/WizSense-Series/SD2/SD22204DB-GNY>.
16. VLC: Official site - Free multimedia solutions for all OS! - VideoLAN. - VideoLAN. URL: <https://www.videolan.org/>.
17. RFC 2326: Real Time Streaming Protocol (RTSP). IETF Datatracker. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2326>.
18. NEMA 17 Standard Hybrid Stepper Motors. MOONS. URL: <https://www.moonsindustries.com/series/nema-17-standard-hybrid-stepper-motors-b020105>.
19. SDT4E425-4F-GB-A-PV1 - Dahua International. Dahua Technology. URL: <https://www.dahuasecurity.com/products/All-Products/PTZ-Cameras/X-Spans-Series/SDT4E425-4F-GB-A-PV1>.
20. STM32F0Series - STMicroelectronics. STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f0-series.html>.

Sokolov K.A., Chmelov V.O. SOFTWARE AND HARDWARE IMPLEMENTATION OF A MOTION CONTROL SYSTEM FOR A PTZ ROBOTIC VIDEO CAMERA USING THE ONVIF PROTOCOL

This paper addresses the implementation of a software and hardware system for detecting and tracking small unmanned aerial vehicles (UAVs) using a video camera system. The authors outline the task's context, emphasizing the application of the proposed solution in the field of security. The overall logic of the proposed system is demonstrated, along with a structural diagram illustrating its interaction with an external control algorithm and, if present, an operator. Existing solutions available on the market and suitable for mass production are reviewed, alternatives to these solutions are highlighted, and the feasibility of their use is justified. The advantages of the modularity of such systems and the high integration capabilities of modern equipment with third-party systems are noted.

The paper explores two distinct approaches to controlling a robotic PTZ camera. The first approach involves developing control algorithms for an IP PTZ camera using the ONVIF protocol API. The primary mechanism of user (client) interaction with the robotic camera at the protocol level is demonstrated. The specifics of forming control requests, considering the syntax and parameters of the commands, are described. Preliminary configurations on the IP PTZ camera responsible for ONVIF user settings and authentication are reviewed. The process of debugging and testing requests using the Postman utility is detailed. Results of typical requests for retrieving information from the camera and sending control commands are presented. The authors provide an algorithm for transitioning between absolute and normalized values of the camera's coordinate system and vice versa.

Additionally, a demonstration of the test algorithm developed in the MATLAB environment is provided, showcasing its practical application while simultaneously viewing a live stream organized using VLC media player.

The second approach involves designing a control system for the rotational mechanisms using stepper motors and an STM32 controller. The synthesis of a PID controller to meet the specified task requirements with given characteristics is shown, considering a reference sample. The characteristics of the resulting PID controller are analyzed. The conclusions summarize the research results and outline the prospects for further work.

Key words: PTZ, pan-tilt camera, PID controller, control, ONVIF, control algorithm, camera, API, IP, coordinate system, coordinates, small UAV, aerial object.