



Algorytmy stabilizacji i konfiguracja FC (Betaflight/ ArduPilot/ iNav)

Karta opisu przedmiotu

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Inżynieria multikopterów		Cykl dydaktyczny 2026/2027
Edycja Wszystkie		Kod przedmiotu MIMSPS.P2.20169.26
Jednostka organizacyjna Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej		Języki wykładowe polski
Poziom kształcenia Studia podyplomowe		Obligatoryjność Obowiązkowy
Forma studiów Stacjonarne		Blok zajęciowy Studia podyplomowe
Profil studiów Podyplomowe		Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi Nie
Koordynator przedmiotu	Andriy Milenin	
Prowadzący zajęcia	Krzysztof Bzowski	
Okres Semestr 2	Forma zaliczenia Zaliczenie	Liczba punktów ECTS 3
	Forma prowadzenia i godziny zajęć Zajęcia warsztatowe: 14	

Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Zrozumienie specjalizacji systemów sterowania: Wykształcenie umiejętności doboru odpowiedniego oprogramowania do konkretnego zadania: od Betaflight (minimalizacja opóźnień i ekstremalna wydajność w lotach FPV), przez iNav (balans między akrobacją a stabilną nawigacją GPS), po ArduPilot (zaawansowane misje autonomiczne i standardy przemysłowe).
C2	Opanowanie inżynierii sygnałów i filtracji: Praktyczna nauka optymalizacji pętli PID oraz konfiguracji filtrów (RPM, Dynamic Notch) w celu uzyskania "czystego" lotu, przy jednoczesnym zrozumieniu, jak różne systemy radzą sobie z szumem w zależności od przeznaczenia drona.
C3	Projektowanie systemów bezpieczeństwa i autonomii: Nabycie kompetencji w konfigurowaniu procedur failsafe i trybów automatycznych, z krytycznym uwzględnieniem różnic w logice działania algorytmów powrotu do domu (RTH) oraz stabilizacji pozycji w badanych ekosystemach.

Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
Wiedzy - Student zna i rozumie:			
W1	Architektoniczne różnice między systemami: rozumie, dlaczego Betaflight dąży do najniższego latencji, podczas gdy ArduPilot priorytetyzuje estymację stanu przez filtr Kalmana (EKF) dla misji profesjonalnych.	IMSP_W03	Kolokwium, Odpowiedź ustna
W2	Teorię regulatora PID i wpływ parametrów dodatkowych (Feedforward, I-term Relax, TPA) na charakterystykę lotu w różnych scenariuszach operacyjnych.	IMSP_W03	Kolokwium, Odpowiedź ustna
W3	Możliwości i ograniczenia sprzętowe oraz software'owe w zakresie obsługi peryferiów (GPS, LIDAR, optyczny przepływ) w zależności od wybranego ekosystemu.	IMSP_W03	Kolokwium, Odpowiedź ustna
Umiejętności - Student potrafi:			
U1	Skonfigurować i nastroić drona wyścigowego w Betaflight, wykorzystując zaawansowane filtrowanie RPM do eliminacji drgań własnych ramy.	IMSP_U02	Odpowiedź ustna
U2	Zaprogramować bezpieczną jednostkę Long-Range w iNav, poprawnie konfigurując kompas i tryby ratunkowe oparte na GPS.	IMSP_U02	Odpowiedź ustna
U3	Przeprowadzić pełny proces wdrożenia drona do misji autonomicznej w ArduPilot, wykorzystując Mission Planner do kalibracji parametrów i planowania lotu po punktach (Waypoints).	IMSP_U02	Odpowiedź ustna
Kompetencji społecznych - Student jest gotów do:			
K1	Podjmowania świadomych decyzji inżynierskich dotyczących wyboru platformy sterującej, biorąc pod uwagę bezpieczeństwo lotu oraz specyfikę misji.	IMSP_K01, IMSP_K02	Kolokwium, Odpowiedź ustna

Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Przedmiot skupia się na praktycznym zastosowaniu teorii sterowania w technologii BSP. Uczestnicy zgłębiają architekturę pętli PID, działanie filtrów programowych (Lowpass, Notch) oraz logikę systemów autonomicznych. Kurs pozwala zrozumieć różnice filozoficzne między systemami: agresywnym sterowaniem w Betaflight, nawigacyjną stabilnością iNav oraz

przemysłową niezawodnością ArduPilot. Zajęcia kończą się samodzielnym „strojeniem” drona pod konkretne scenariusze misji.

Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Zajęcia warsztatowe	14
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	30
Przygotowanie do zajęć	44
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 88
Liczba godzin kontaktowych	Liczba godzin 14

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	1. Matematyka pętli PID. Co robią poszczególne człony? Analiza wykresów odpowiedzi skokowej. Slider-y vs. wpisywanie wartości manualne. (2g) 2. Walka z szumem – Filtry. Dlaczego filtry wprowadzają opóźnienie (latency)? Filtrowanie kaskadowe i filtry adaptacyjne. (2g) 3. Logika systemów nawigacyjnych. Jak działa EKF (Extended Kalman Filter) w ArduPilot i iNav. Integracja GPS z akcelerometrem. (2g) 4. Betaflight – Wydajność i Responsywność. Konfiguracja pętli PID pod kątem „freestyle” i „racing”. Włączanie RPM Filtering (bidirectional DSHOT) – walka z szumem u źródła. Strojenie parametrów Rates – personalizacja czucia drona. (2g) 5. iNav – Nawigacja i Long Range. Konfiguracja czujników zewnętrznych: GPS, Barometr, Magnetometr (kompas). Ustawianie trybów RTH (Return to Home) oraz Position Hold. Planowanie prostych misji waypoint w terenie. (2g) 6. ArduPilot – Profesjonalne systemy autonomiczne. Obsługa Mission Planner – „kombajnu” do zarządzania dronem. Procedury AutoTune – jak pozwolić algorytmowi na samodzielne znalezienie nastaw PID. Zaawansowane parametry: Zarządzanie zasilaniem, integracja MAVLink z komputerem pokładowym. (4g)	W1, W2, W3, U1, U2, U3, K1	Zajęcia warsztatowe

Informacje rozszerzone

Metody i techniki kształcenia :

Metoda warsztatowa (ang. workshop), Dyskusja

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Zajęcia warsztatowe	Kolokwium, Odpowiedź ustna	Pozytywna ocena kolokwium

Dodatkowy opis

Ten przedmiot to „szkoła przetrwania” dla inżyniera drona. Zamiast latać na ustawieniach fabrycznych, które rzadko są optymalne, nauczysz się wyciskać z maszyny 100% jej możliwości. Umiejętność konfiguracji ArduPilota otwiera drzwi do przemysłu (drony rolnicze, inspekcyjne), a biegłość w Betaflight pozwala budować najszybsze jednostki uderzeniowe i wyścigowe. Student kończy kurs z umiejętnością „czytania” zachowania drona i korygowania go w kodzie lub konfiguratorze.

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu Podaje Prowadzący na pierwszych zajęciach w semestrze

Sposób obliczania oceny końcowej

OK=Ocena z kolokwium

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach Podaje Prowadzący na pierwszych zajęciach w semestrze

Wymagania wstępne i dodatkowe

Od studenta wymaga się posiadania fundamentalnej wiedzy o budowie multikopterów, podstaw elektroniki oraz biegłości w obsłudze komputera, aby sprawnie poruszać się w gąszczu parametrów i suwaków nowoczesnych konfiguratorów lotu.

Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa

Zajęcia warsztatowe: Studenci wykonują zadania zgodnie z materiałami udostępnionymi przez prowadzącego. Student jest zobowiązany do przygotowania się w przedmiocie wykonywanego zadania, co może zostać zweryfikowane kolokwium w formie ustnej lub pisemnej. Zaliczenie zajęć odbywa się na podstawie zaprezentowania rozwiązania postawionego problemu. Zaliczenie modułu jest możliwe po zaliczeniu wszystkich zajęć warsztatowych.

Literatura

Obowiązkowa

1. ArduPilot Dev Team Documentation <https://ardupilot.org/copter/index.html>
2. Betaflight Wiki - PID Tuning Guide <https://betaflight.com/docs/wiki/guides/current/PID-Tuning-Guide>
3. Norman S. Nise Control Systems Engineering
https://books.google.pl/books?id=sEL2DwAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Kierunkowe efekty uczenia się

Kod	Treść
IMSP_K01	Jest gotów do przyjmowania odpowiedzialności za bezpieczeństwo własne, osób trzecich oraz mienia podczas wykonywania operacji lotniczych i testowania prototypów.
IMSP_K02	Jest gotów do pracy w interdyscyplinarnych zespołach technicznych, skutecznie komunikując się z ekspertami z zakresu mechaniki, elektroniki i informatyki.
IMSP_U02	Potrafi skonfigurować, zaprogramować i zoptymalizować jednostkę sterującą (Flight Controller) oraz dobrać optymalny układ napędowy do założeń misji.
IMSP_W03	Zna i rozumie architekturę systemów sterowania, w tym działanie algorytmów stabilizacji, filtracji sygnałów oraz logikę planowania misji autonomicznych.