

Spis treści

Jednostki, przyjęte skróty i oznaczenia	9
Przedmowa	13
1. Wstęp	17
2. Rys historyczny	25
2.1. Pokonywanie barier ludzkiego umysłu – pierwowzory lotnictwa i bezzałogowych statków powietrznych	25
2.2. Nowa era lotnictwa – pierwsze loty załogowe a stan dzisiejszy	29
2.3. Geneza bezzałogowych statków powietrznych	32
2.4. Konstrukcje wirnikowe	37
2.5. Era współczesnych UAV – wybrane ważniejsze konstrukcje militarne na przestrzeni lat	42
3. Klasyfikacja współczesnych załogowych i bezzałogowych statków powietrznych	53
3.1. Aspekty prawne i przyjęta klasyfikacja statków powietrznych	53
3.2. Obowiązujące regulacje prawne w zakresie UAV	61
3.3. Definicje i klasyfikacja UAV	68
4. Współczesne oraz potencjalne zastosowania i kierunki rozwoju UAV	77
4.1. Obecne zastosowania bezzałogowych statków powietrznych	77
4.2. Wybrane współczesne bezzałogowe statki powietrzne	79
4.2.1. Konstrukcje zagraniczne	79
4.2.2. Polskie bezzałogowe statki powietrzne	85
4.3. Potencjalne zastosowania i rozwój bezzałogowych statków powietrznych	92
5. Wprowadzenie do charakterystyki wielowirnikowych robotów latających	103
5.1. Klasyfikacja wiroplątów bezzałogowych	103
5.2. Klasyfikacja wielowirnikowych UAV	104
5.3. Zalety i wady wielowirnikowych UAV	105
6. Budowa fizyczna wielowirnikowych robotów latających	109
6.1. Elementy konstrukcji wielowirnikowych UAV	109
6.2. Rama nośna	110

6.3. Układ jednostek napędowych	111
6.4. Układ zasilający	114
6.5. System awioniki pokładowej	116
6.5.1. Płyta główna z AHRS	117
6.5.2. Sensory stosowane w wielowirnikowcach	118
6.5.3. Układ komunikacji z operatorem i stacją naziemną	126
6.6. Wyposażenie dodatkowe	127
6.7. Podsumowanie	128
7. Architektury sterowania wielowirnikowymi UAV	131
7.1. Sterowanie manualne wielowirnikowymi UAV na przykładzie czterowirnikowca koaksjalnego	131
7.2. Kaskadowy układ śledzenia pozycji referencyjnej i kąta odchylenia	139
8. Modele matematyczne wielowirnikowych UAV	145
8.1. Wprowadzenie do modelowania wielowirnikowych UAV	145
8.2. Obecne tendencje w modelowaniu wielowirnikowych UAV	146
8.3. Model matematyczny czterowirnikowca koaksjalnego	150
8.3.1. Postać ogólna modelu czterowirnikowego UAV (Newtona–Eulera) ...	150
8.3.2. Notacja kątowa Eulera (Taita–Bryana)	151
8.3.3. Prędkość kątowa	154
8.3.4. Przyspieszenie kątowe	155
8.3.5. Przyspieszenie liniowe	161
8.3.6. Postać finalna modelu czterowirnikowca koaksjalnego	163
8.3.7. Porównanie modeli czterowirnikowców klasycznego i koaksjalnego	164
8.3.8. Adaptacja modelu czterowirnikowca do modelu trójwirnikowca koaksjalnego	165
8.4. Przykład wyznaczenia parametrów modelu czterowirnikowca koaksjalnego i jego walidacji	166
8.5. Model uogólniony Eulera–Lagrange’a	171
9. Wybrane metody estymacji a wielowirnikowe UAV	179
9.1. Wprowadzenie	179
9.2. Identyfikacja parametrów modelu klasycznego czterowirnikowca oparta na algorytmie PSO	180
9.3. Bezśladowy filtr Kalmana w estymacji wektora stanu wielowirnikowego UAV	185
9.4. Adaptacyjny pierwiastkowy, bezśladowy filtr Kalmana w odpornej na uszkodzenia estymacji wektora stanu klasycznego czterowirnikowca	191

9.5. Estymacja parametrów modelu czterowirnikowca koaksjalnego z użyciem zmodyfikowanego algorytmu SRUKF	197
9.6. Ku odpornej estymacji wysokości i prędkości przemieszczania się w pionie wielowirnikowych UAV	207
10. Sterowanie niskiego poziomu	221
10.1. Modelowanie jednostek napędowych	221
10.1.1. Akwizycja danych pomiarowych z prób jednostek napędowych	221
10.1.2. Dobór jednostek napędowych	222
10.1.3. Graficzne metody estymacji parametrów modeli jednostek napędowych	224
10.1.4. Modelowanie rozmyte w estymacji siły ciągu koaksjalnych jednostek napędowych	227
10.2. Regulacja prędkości obrotowej i siły ciągu jednostek napędowych	231
10.2.1. Wprowadzenie	231
10.2.2. Metoda diagramu współczynnikowego w problemach śledzenia zmian wartości referencyjnych prędkości obrotowej	233
10.2.3. Kompensacja zjawiska <i>windup</i> w przypadku regulatorów PID strojonych metodą lokowania biegunów w zadaniu śledzenia zmian wartości referencyjnych siły ciągu	245
10.2.4. Regulatory ułamkowego rzędu w problemach śledzenia zmian wartości referencyjnych siły ciągu i prędkości obrotowej	249
10.3. Optymalne regulatory PID dla modułu orientacji czterowirnikowego UAV strojone z użyciem algorytmu PSO	263
11. Sterowanie wysokiego poziomu – wybrane metody syntezy układów śledzenia pozycji i orientacji UAV	269
11.1. Regulacja wysokości lotu czterowirnikowych UAV	269
11.1.1. Rozmyty regulator PD	269
11.1.2. Optymalny regulator wysokości w strukturze FOPD strojony z użyciem algorytmu PSO	274
11.2. Symultaniczna regulacja orientacji czterowirnikowego UAV oparta na nieliniowym regulatorze kwaternionowym P^2	276
12. Układy sterowania lotem grupy robotów latających	287
12.1. Wprowadzenie	287
12.2. Śledzenie trajektorii w układzie lider–śledzący	288
12.3. Wybrane aspekty tworzenia algorytmów zwiększenia bezpieczeństwa lotów	293
12.3.1. Procedury antykolizyjne	293
12.3.2. Algorytm awaryjnego lądowania	297

Podsumowanie	303
Załącznik – metoda optymalizacji rojem cząstek (PSO)	305
Bibliografia	309
Spis ilustracji	327