



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Jarosław Stanisław Gośliński Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Inżynierii Informatycznej

Stypendysta projektu pt. „Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski”, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki

Estymacja wektora stanu w układzie bezzałogowego robota latającego

Praca doktorska dotyczy estymacji wektora stanu bezzałogowego robota latającego. Estymacja polega na wnioskowaniu statystycznym mającym na celu odszukanie wartości najbliższej prawdziwej. W przypadku robota, estymacji podlega stan oznaczający wektor zmiennych lub po prostu ich zbiór. Zmienne te definiują położenie robota, jego orientację (kąty obrotu), temperaturę, prędkości liniowe, prędkości kątowe, przyspieszenia oraz aktualne zużycie energii. Wiedza na temat stanu robota jest kluczowa ze względu na potrzebę prawidłowego sterowania. Zgodnie z powyższym, można zdefiniować hipotezy pracy doktorskiej: „Estymacja stanu w oparciu o model matematyczny oraz pomiary pozwala na poprawne sterowanie, również w sytuacjach uszkodzeń aparatury pomiarowej” oraz że:



Fot. Jarosław Gośliński

"Zastosowanie wybranych metod filtracji pozwala na zwiększenie odporności sterowania robotem latającym". Quadrotor, czyli robot wykorzystywany w omawianych badaniach, posiada cztery silniki elektryczne, które wraz ze śmigłami wytwarzają siłę ciągu powodując unoszenie się maszyny. Podczas wznoszenia się czy też wykonywania manewrów w powietrzu, za sprawą sprzężenia zwrotnego algorytm sterujący (regulator) zapobiega nagłym zmianom orientacji i położenia. Regulator przyjmuje informacje o stanie robota (wektorze stanu), a następnie wpływa na prędkości obrotowe silników tak, aby utrzymać żądaną wartość położenia lub orientacji. W przypadku wykorzystania samego systemu sensorycznego układ może działać poprawnie tylko wtedy, gdy sensory są bardzo dobrej jakości. Oznacza to, że sensory niskobudżetowe nie spełniają swojego zadania w

aplikacjach tego typu. W przypadku uszkodzenia jednego z czujników, układ przestaje działać, prowadzi do upadku i ostatecznie rozbicia robota.

Nieprzewidywalne działanie robotów latających (ogólnie *UAV – Unmanned Aerial Vehicle*) w sytuacjach awaryjnych ogranicza ich wykorzystanie w przestrzeni bliskiej człowiekowi. Obecnie prowadzone są badania nad zapewnieniem i zagwarantowaniem bezpieczeństwa osób przebywających blisko tego typu maszyn (wytyczne Komisji Europejskiej). Pomimo stosowania różnego typu czujników wykrywających osoby znajdujące się



Fot. Badany Quadrotor (autor: Tomasz Gajewski)

w pobliżu, nie można zapewnić bezpieczeństwa bez wcześniejszego zagwarantowania utrzymania wartości zadanych dotyczących wektora stanu. Podstawą jest tu utrzymywanie stałej orientacji robota w stosunku do przestrzeni, w której się porusza. W przypadku awarii tego modułu nie jest możliwe utrzymanie orientacji, nawet jeśli robot nie wykonuje w danej chwili skomplikowanego manewru. Uszkodzenie prowadzi zatem do upadku maszyny. Poza stratami związanymi ze zniszczeniem urządzenia, awaria może prowadzić też do obrażeń u osób znajdujących się w zasięgu robota. W celu wyeliminowania tego typu sytuacji, należy uodpornić algorytmy sterujące na błędy i uszkodzenia układów pomiarowych. W opisywanej pracy podjęto się tego wyzwania wprowadzając inteligentne mechanizmy estymujące stan robota, nawet w sytuacji licznych usterek układu pomiarowego. Mechanizmy tego typu stosuje się od wielu lat w samolotach, gdzie bezpieczeństwo osób podróżujących jest na pierwszym miejscu. Jednak i tu zdarzają się błędy, co prawie zawsze prowadzi do katastrofy. Problem ten nie został całkowicie rozwiązany pomimo, że nakłady finansowe na systemy pomiarowo-estymujące w samolotach przewyższają budżet przeznaczony na badania kwestii bezpieczeństwa w maszynach bezzałogowych. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że w samolotach załogowych, bez względu na awarie układów pomiarowych to piloci ostatecznie decydują o sterowaniu maszyną. Stąd, w przypadku robotów bezzałogowych omawiane zagadnienie wymaga zwielokrotnienia zabezpieczeń.

W opisywanej pracy zakłada się stworzenie oraz zaimplementowanie wybranych metod estymujących w robocie latającym. Pierwszy etap badań polegał na wyprowadzeniu modelu matematycznego quadrotora. Następnie przeprowadzono identyfikację jego struktury. Dzięki tym działaniom, poznano dokładną charakterystykę modelu. W dalszej kolejności przeprowadzono testy zachowania się robota w warunkach zakłóceń dynamicznych. Na podstawie zebranych wyników określono jakość dotychczasowych algorytmów sterujących i estymujących. Następnie zastosowano równania algorytmu

estymującego opartego o transformację bezśladową (*Unscented Transformation*). Wykorzystując bezśladowy filtr Kalmana (UKF - *Unscented Kalman Filter*) dokonano estymacji offline i udowodniono, że możliwe jest sterowanie robotem tylko przy użyciu danych z modelu matematycznego (w przypadku awarii systemu pomiarowego). W dalszych pracach skupiono się na ulepszeniu metody estymującej. Dodatkowo autor zmodyfikował pierwotny plan i opracował kolejną koncepcję opierającą się na metodzie jednoczesnej estymacji wektora stanu oraz parametrów modelu matematycznego. Przeprowadzone badania stanu wiedzy pozwoliły ocenić, że zaproponowane rozwiązania są konkurencyjne i często lepsze od dotychczas stosowanych.

Kolejne działania koncentrować się będą wokół: estymacji, identyfikacji oraz regulacji odpornej. W pierwszej kolejności przeprowadzone zostaną próby identyfikacji parametrów modelu matematycznego w oparciu o znane algorytmy minimalno - wariacyjne oraz algorytmy sztucznej inteligencji (algorytm roju), które pozwolą na udoskonalenie algorytmu estymacji orientacji robota (kątown obrotu oraz prędkości kątowych w osiach X, Y i Z).

Po zakończeniu wyżej wymienionych działań, autor rozpocznie kolejne prace. Dotyczyć będą one modelu matematycznego odpowiedzialnego za przyspieszenia, prędkości i położenia liniowe oraz orientację określaną przy użyciu kwaternionów (specjalnej notacji stosowanej w rotacjach w wielu osiach). Bazując na tym modelu, zaprojektowany zostanie kolejny estymator stanu, dzięki któremu możliwe będzie nawigowanie robota w przestrzeni. Jest to najtrudniejsza, ale jednocześnie najistotniejsza część pracy nad quadrotorem. Obecnie, określanie położenia jest możliwe tylko w przypadku posiadania systemu referencyjnego (najczęściej są to nadajniki radiowe), gdyż robot bez odniesienia nie jest w stanie określić swojego przesunięcia. W pracy półautonomicznej jest to dozwolone, wtedy to operator określa, jakie jest przesunięcie w osiach X, Y, Z oraz jakie korekty należy wykonać, aby robot osiągnął cel. Na dzień dzisiejszy, bazując tylko na dostępnych pomiarach (jednostki inercyjne oraz GPS), nie można określić położenia robota z wystarczającą dokładnością. Jest to jednak możliwe przy użyciu estymatorów stanu. Temat ten zostanie zakończony w momencie, kiedy estymator stanu będzie dokonywał oszacowania w obrębie modułu orientacyjnego oraz przesunięć liniowych. Tak przeprowadzone prace pozwolą na używanie robotów latających w warunkach przestrzeni zurbanizowanej. Jest to wielka szansa dla aplikacji wykorzystujących tego typu roboty. Można je wykorzystać w celach monitoringu, badania zanieczyszczeń, rekonesansu czy nawet transportu. Ich zastosowanie na terenach naszego regionu (zarówno zurbanizowanych jak i rolniczych) może podnieść bezpieczeństwo oraz jakość naszego życia. Wprowadzania tego typu robotów obniży koszty związane z używaniem ciężkiego sprzętu czy wyspecjalizowanych kadr oraz odciążą ludzi w zadaniach szczególnie trudnych oraz niebezpiecznych dla ich życia.