

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego

Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa

Instytut Techniki Rakietowej i Mechatroniki

## **Streszczenie rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Michał SIWEK

### **MODELOWANIE RUCHU I SYNCHRONICZNE STEROWANIE GRUPĄ ROBOTÓW MOBILNYCH O STRUKTURZE ROZPROSZONEJ**

Promotor: dr hab. inż. Leszek BARANOWSKI, prof. WAT, WML WAT

Promotor pomocniczy: dr inż. Jarosław PANASIUK, WML WAT

Prezentowana praca dotyczy opracowania algorytmu synchronicznego sterowania grupą robotów mobilnych o strukturze rozproszonej. Proponowane autorskie rozwiązanie jest nowym podejściem do zagadnień minimalizacji uchybów zadanych odległości pomiędzy robotami, powstających podczas sterowania grupą robotów o strukturze rozproszonej.

W pracy przedstawiono przegląd literatury, który skupia się głównie na algorytmach sterowania grupami robotów mobilnych oraz algorytmach realizujących zadanie śledzenia trajektorii przez jednego robota. Ze względu na obszar systemów zrobotyzowanych dedykowanych do zadań transportowych (co było przedmiotem zainteresowania autora) dużą uwagę poświęcono metodom sterowania grupami zdecentralizowanymi, błędom wpływającym na dokładność pozycjonowania robotów w grupie i błędom śledzenia trajektorii. Ze względu na bezprzewodową komunikację pomiędzy robotami oraz fakt, że jest ona wysoce podatna na zakłócenia, zauważono, że szczególną uwagę należy poświęcić na wyeliminowanie błędów właśnie w tym obszarze. Dryft czasu może doprowadzić nawet do przerwania komunikacji pomiędzy robotami. W tym miejscu zauważono możliwość poprawy jakości sterowania grupą rozproszoną wprowadzając w algorytmie synchronizację czasową jednostek w grupie.

Jako przedmiot badań wybrano laboratoryjne roboty TURTLEBOT 2, które były dostępne w Laboratorium Mechatroniki Instytutu Techniki Rakietowej i Mechatroniki WML WAT. Wybrane roboty dedykowane są do współpracy z systemem operacyjnym Linux i platformą Robot Operating System (ROS) – w oparciu o którą opracowano przedmiotowy system sterowania dla przykładowej grupy uwzględniającej trzy roboty. Po zapoznaniu się z budową robota TURTLEBOT 2 opracowano jego model matematyczny złożony z modelu kinematycznego oraz modelu dynamicznego. Model dynamiczny robota zawierał cztery nieznane parametry, których wartości uzyskano w drodze identyfikacji offline i online. W tym zagadnieniu zastosowano autorskie podejście, pokazujące połączenie tych dwóch metod w celu minimalizacji błędów identyfikacji. Następnie przeprowadzono analizę wrażliwości, która wykazała wpływ poszczególnych parametrów modelu dynamicznego na uchyby śledzenia trajektorii i prędkości wzorcowej. W kroku ostatnim przeprowadzono walidację modelu matematycznego polegającą na porównaniu trajektorii otrzymanej w wyniku symulacji i zrealizowanej przez rzeczywistego robota w odpowiedzi na zadane wymuszenie.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania rozpoznawcze dokładności pozycjonowania robotów w grupie o strukturze rozproszonej. Miały one na celu rozpoznanie charakteru i wielkości

błędów wywołanych opóźnieniami transmisji danych sterujących. W tym przypadku przeprowadzono dwa badania symulacyjne w środowisku MATLAB/Simulink i MSC Adams, oraz dwa badania laboratoryjne z wykorzystaniem rzeczywistych robotów. Podczas badań zauważono, że nawet niewielkie opóźnienia czasowe (rzędu 300 -500 ms) w transmisji sygnałów sterujących mają znaczący wpływ na osiągnięte przez roboty położenie (błąd rzędu 0.12 m).

Po uzyskaniu wiedzy na temat źródeł pochodzenia, charakteru i wartości opóźnień czasowych sygnałów sterujących przystąpiono do opracowania autorskiego algorytmu synchronicznego sterowania grupą robotów o strukturze rozproszonej. W opracowaniu przyjęto dwuwarstwową ideę sterowania. Warstwa zewnętrzna realizowała ruch grupy robotów i utrzymanie zadeklarowanej formacji. W tym celu zastosowano założenia algorytmu Wirtualnej Struktury i Consensus Tracking, który rozbudowano o synchronizację czasową sygnałów. Warstwa wewnętrzna algorytmu realizowała ruch nadążny pojedynczego robota polegający na śledzeniu trajektorii wzorcowej.

W celu potwierdzenia poprawności opracowania autorskiego algorytmu sterowania przeprowadzono badania symulacyjne w środowisku MATLAB/Simulink. Badania zrealizowano w dwóch etapach. W pierwszej kolejności przeprowadzono symulacje śledzenia trajektorii wzorcowych przez jednego robota co realizowane było przez warstwę wewnętrzną algorytmu sterowania. Następnie przeprowadzono badania symulacyjne warstwy zewnętrznej, która odpowiadała za synchronizację i utrzymanie zadanej formacji grupy robotów. Badania symulacyjne śledzenia trajektorii przez pojedyncze roboty przeprowadzono dla trzech rodzajów trajektorii testowych: kołowej, sinusoidalnej i w kształcie cyfry osiem oraz trzech konfiguracji systemu sterowania. Śledzenie trajektorii za pomocą kontrolera kinematycznego, kinematyczno-dynamicznego oraz kinematyczno-dynamicznego z adaptacją. Zastosowanie trzeciej konfiguracji systemu sterowania pozwoliło na zredukowanie błędów śledzenia trajektorii i prędkości wzorcowej w stosunku do konfiguracji pierwszej o ok. 50% w przypadku trajektorii „koło” i ok. 75% w przypadku trajektorii sinus i ósemka oraz skrócenie czasu regulacji o ok. 50% dla wszystkich przypadków.

Badania symulacyjne warstwy zewnętrznej systemu sterowania przeprowadzono uwzględniając wyłącznie konfigurację systemu sterowania pojedynczego robota obejmującą kontroler kinematyczno-dynamiczny z adaptacją. Badania te przeprowadzono w celu sprawdzenia odporności algorytmu sterowania na opóźnienia czasowe sygnałów sterujących i zakłócenia wynikające z niesprawności robotów wchodzących w skład grupy. W badaniach algorytmu sterowania z synchronizacją czasową uzyskano wartości błędów odległości pomiędzy robotami mniejsze średnio o 80% mniejsze niż dla przypadku bez synchronizacji czasowej.

W kolejnym etapie algorytm sterowania zaimplementowano z wykorzystaniem ROS na rzeczywistych robotach TURTLEBOT 2 i przebadano w warunkach laboratoryjnych. W celu potwierdzenia wyników uzyskanych w symulacjach, zakres, metodyki, nastawy kontrolerów i warunki początkowe w badaniach doświadczalnych przyjęto takie same jak w symulacjach. Analizując wyznaczone w badaniach doświadczalnych uchyby położenia, orientacji, prędkości i odległości pomiędzy robotami, stwierdzono zgodność z wynikami uzyskanymi drogą symulacji i prawidłowe opracowanie autorskiego algorytmu sterowania.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zaproponowany autorski algorytm sterowania z wykorzystaniem zmodyfikowanej metody Consensus Tracking realizuje synchroniczny ruch grupy z zachowaniem zadanego kształtu formacji nawet w przypadku występowania błędów w komunikacji pomiędzy robotami. Wyznaczone w badaniach doświadczalnych wartości uchybów były dopuszczalne z punktu widzenia zastosowania grupy robotów do zadań transportowych.

Przeprowadzone w ramach pracy badania symulacyjne (z wykorzystaniem modeli matematycznych i środowiska MATLAB/Simulink) i doświadczalne (z wykorzystaniem rzeczywistych robotów) potwierdziły prawidłowe opracowanie algorytmu synchronicznego sterowania grupą robotów o strukturze rozproszonej co było celem naukowym dysertacji.