

Systemy zabezpieczeń przed kolizjami dla robotów inspekcyjnych

Szymon Kostrzewski

Podczas pracy z użyciem robotów inspekcyjnych zachodzą sytuacje mogące prowadzić do uszkodzenia lub zniszczenia ich elementów. W wielu przypadkach można wykryć działania niebezpieczne, prowadzące do kolizji i opracować zapobiegające im algorytmy, co podnosi bezpieczeństwo i komfort pracy.

Według podziału zaproponowanego w [1] roboty inspekcyjne pracują najczęściej jako teleoperatory, co oznacza, że do sterowania wykorzystuje się bezpośrednio elementy operatorskie pulpitu przedstawionego na rys. 1.

Operator podczas pracy zdalnej korzysta z obrazu przedstawiającego widok z wybranej kamery znajdującej się na robocie oraz ze schematycznego rysunku manipulatora umieszczonego na monitorze pomocniczym. Pomimo znacznego rozbudowania systemu graficznego stanowiącego sprzężenie zwrotne dla operatora, uszkodzenia spowodowane przez nieuwagę, brak doświadczenia lub stres zdarzają się często. Przykładowe sytuacje kolizyjne pokazano na rys. 2 i 3. Aby zapewnić wymagany poziom bezpieczeństwa pracy, system zabezpieczający przed kolizjami – nazywany dalej systemem bezpieczeństwa – powinien mieć następujące cechy:

- uniemożliwiać kolizje manipulatora z robotem i jego wyposażeniem
- pozwalać na zmianę konfiguracji manipulatora w celu wycofania się z obszaru niebezpiecznego.

Zaproponowano następujący podział rozwiązań:

- 1) zabezpieczenia sprzętowe:
 - położeniowe
 - siłowe;
- 2) zabezpieczenia programowe:
 - ogólne
 - działające na podstawie przypadków szczególnych.

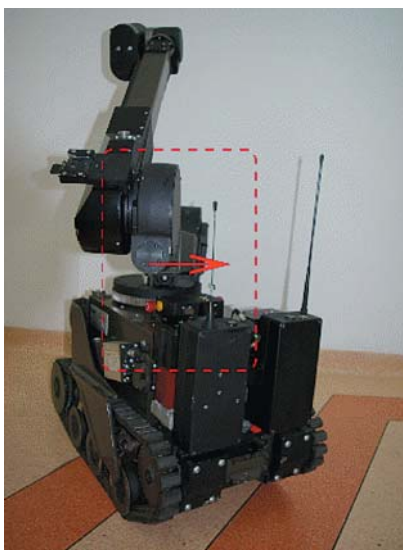
Zabezpieczenia sprzętowe wymagają stosowania rozbudowanego systemu czujników. Przy podejściu położeniowym nakłada się fizyczne ograniczenia na ruch członów, np. poprzez wyłączniki krańcowe odcinające zasilanie silników. Zabezpieczenia siłowe wymagają pomiaru siły lub momentu (czujniki tensometryczne, pomiar prądu silników) i polegają na zatrzymywaniu ruchu członu przy przekroczeniu wartości dopuszczalnych. Wadą rozwiązań sprzętowych jest ograniczenie przestrzeni roboczej spowodowane możliwością korzystania jedynie z prostych warunków logicznych oraz to, że w niektórych przypadkach detekcja może nastąpić dopiero po kolizji.

Od powyższych wad wolne są zabezpieczenia programowe zrealizowane w postaci algorytmów czasu rzeczywistego wykonywanych w mikroprocesorowych układach sterowania robota. Rozwiązania ogólne są oparte na zbiorach opisujących obiekty w przestrzeni (manipulator i otoczenie). Bada się warunki zbudowane na podstawie funkcji skalarnych zdefiniowanych na tych zbiorach [2, 3]. Ze względu na ograniczenia w realizacji skomplikowanych operacji numerycznych przy użyciu mikrokontrolerów stało przecinkowość czasu obliczeń, wdrożenie takiego systemu w tym zastosowaniu jest zadaniem trudnym.

System bezpieczeństwa oparty na przypadkach szczególnych wymaga doświadczenia w pracy z konkretnym modelem robota w celu określenia sytuacji niebezpiecznych. Wykorzystując tę wiedzę, można opracować zbiór procedur zapobiegających kolizjom.



Rys. 1. Pulpit operatora robota inspekcyjnego

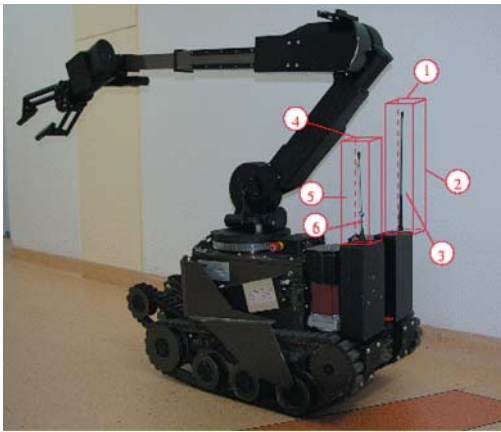


Rys. 2. Uszkodzenie anten na skutek obrotu wieży



Rys. 3. Uszkodzenie przedniej kamery oraz elementów nadgarstka spowodowane złą koordynacją ruchu ramion

mgr inż. Szymon Kostrzewski – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Warszawa



Rys. 4. Strefa bezpieczeństwa anten

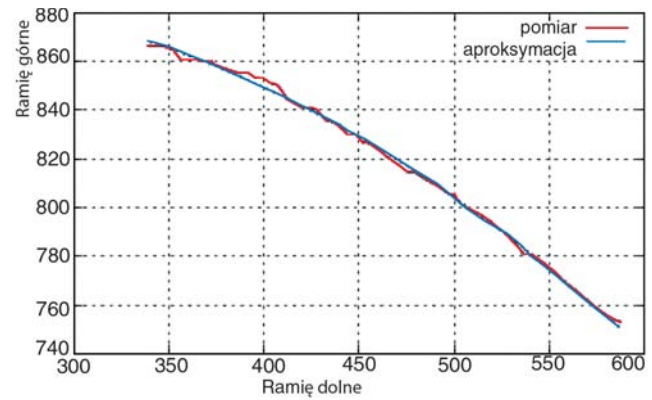


Rys. 5. Pomiar strefy bezpieczeństwa ramion

Procedury te tworzą system bezpieczeństwa. Nie jest to rozwiązanie ogólne, jednakże pozwala na znaczną oszczędność czasu i pamięci procesora oraz w tym zastosowaniu jest łatwiejsze w realizacji. Dalej zostanie opisane wdrożenie rozwiązania zabezpieczenia programowego, którego działanie jest oparte na przypadkach szczególnych.

Uniknięcie kolizji najczęściej można sprowadzić do zdefiniowania ograniczeń zakresów ruchu poszczególnych członów. Takie podejście tworzy strefy zabronione dla elementów manipulatora. Często zachodzi potrzeba modyfikacji granic tych stref w zależności od konfiguracji manipulatora. Kształt strefy powinien być dobrany w taki sposób, aby zapewnić bezpieczeństwo wykonywania operacji oraz w znaczący sposób nie ograniczać przestrzeni roboczej manipulatora. Na rys. 4 pokazano strefę bezpieczeństwa anten. Kolejne numery reprezentują płaszczyzny ograniczające strefę. Płaszczyzny te definiuje się w programie za pomocą stałych odnoszących się do kątów obrotu wieży i ramienia dolnego. Warunek logiczny wynika z faktu, że strefę wieży należy włączać dla odpowiednio nisko opuszczonego ramienia. Strefa ramienia powinna być aktywowana, gdy obrót wieży znajduje się pomiędzy płaszczyznami 2 i 3 oraz 5 i 6. Procedurę śledzącą można łatwo przystosować do sterowania w systemie rozproszonym, dzieląc zadania między moduły sterujące poszczególnymi członami.

W celu zabezpieczenia robota przed rodzajem kolizji pokazanym na rys. 3 należy znaleźć zależność pomiędzy kątami obrotu ramion górnego i dolnego. Ze względu na złożony kształt wynikowej strefy bezpieczeństwa wyznaczono tę funkcję doświadczalnie zgodnie ze schematem pokazanym na rys. 5.



Rys. 6. Pomiar i aproksymacja strefy ramion

W wyniku otrzymano krzywą, którą można zdefiniować w pamięci mikrokontrolera w postaci:

- tablicy – zwiększenie prędkości wykonywania programu kosztem pamięci
- aproksymowanej – oszczędność pamięci kosztem czasu obliczeń.

Wyniki pomiaru wraz z aproksymacją wielomianem drugiego rzędu przedstawiono na rys. 6.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga problem opuszczenia przez manipulator strefy zabronionej. Należy również przewidzieć możliwość poruszania się członu wzdłuż krawędzi strefy oraz zgodne z intuicją działanie układu sterowania ograniczające jedynie te ruchy, które powodują zagłębianie się w strefę. Powyższe problemy można rozwiązać, wprowadzając system ogólnie pojętych marginesów do granic stref. W obszarze granicznym układ sterowania zezwala na ruchy wprowadzające ze strefy, blokując jednocześnie te, które powiększają niebezpieczeństwo kolizji. Po przekroczeniu granicy i marginesu strefy następuje blokowanie wszystkich ruchów, ponieważ układ sterowania nie jest w stanie określić kierunków bezpiecznych.

Omówiony system został wdrożony w robocie inspekcyjnym SMR-100 Expert, produkowanym w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów. Dzięki systemowi stref bezpieczeństwa zwiększono bezpieczeństwo pracy z użyciem robota i ułatwiono zadania manipulacji z punktu widzenia operatora. Dodatkową zaletą systemu jest fakt, że działa on na istniejącym sprzęcie, nie wymagając żadnych zmian w elementach mechanicznych i elektronicznych.

Bibliografia

1. M. Olszewski i in., *Manipulatory i roboty przemysłowe*, WNT, Warszawa 1992.
2. A. Morecki i in., *Podstawy robotyki*, WNT, Warszawa 1999.
3. K. Kozłowski, P. Dutkiewicz, W. Wróblewski, *Modelowanie i sterowanie robotów*, Wyd. PWN, Warszawa 2003.
4. W. Hejmo, *Sterowanie robotami i manipulatorami przemysłowymi*, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1997. ■