STRESZCZENIE

Autor: mgr inż. Paweł Wojciech Herbin

Promotor: Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor

Promotor pomocniczy: dr inż. Kamil Stateczny

Tytuł: Zastosowanie skanera ruchu kończyny górnej człowieka do sterowania urządzeniami dźwigowymi z wykorzystaniem siłowego sprzężenia zwrotnego.

Zwiększenie poziomu interaktywności współpracy operatorów z maszynami stanowi jeden z najważniejszych aspektów rozpatrywanych podczas opracowywania interfejsów komunikacyjnych współczesnych maszyn. Do sterowania robotami przemysłowymi stosowane są metody haptyczne, umożliwiające przekazanie operatorowi informacji o stanie maszyny w sposób siłowy. Sposób ten wymaga zastosowania specjalnie zaprojektowanego urządzenia sterującego w postaci joysticka. Współcześnie stosowane metody sterowania urządzeniami dźwigowymi są realizowane za pomocą manetek zaworów proporcjonalnych odpowiedzialnych za ruch poszczególnych przegubów żurawia przeładunkowego. Stosując konwencjonalne metody sterowania urządzeniem dźwigowym operator nie otrzymuje żadnych dodatkowych informacji o stanie żurawia przeładunkowego podczas jego pracy.

Rozprawa doktorska podejmuje problematykę sterowania żurawiem przeładunkowym z siłowym sprzężeniem zwrotnym. Celem pracy było opracowanie urządzenia oraz metody umożliwiającej przekazanie wrażeń dotykowych do systemu taktylnego człowieka na podstawie zachowania urządzenia sterowanego (żurawia przeładunkowego). Opracowane w ramach prac nad rozprawą doktorską urządzenie to skaner ramienia operatora (SKRO) posiadający siedem aktywnych przegubów. Struktura kinematyczna opracowanego oraz wykonanego urządzania jest zgodna ze strukturą kończyny górnej człowieka i umożliwia swobodny ruch w wyznaczonych zakresach ruchomości stawów operatora. Urządzenie jest wyposażone w autorskie czujniki momentu napędowego zintegrowane z przekładnią cięgnową łączącą przeguby SKRO z napędami. Stanowisko skanera ramienia operatora wyposażono w autorski system

sterowania umożliwiający realizację interakcji siłowej z operatorem za pomocą każdego z przegubów SKRO.

Ponadto, w celu zwiększenia precyzji sterowania momentem interakcji z operatorem, zastosowano w przekładni napinacz sprężynowy, którego sztywność dobierana jest na podstawie zaprezentowanego w pracy algorytmu, działającego w oparciu o model matematyczny przekładni cięgnowej. Podczas testów układów sterowania przegubów rejestrowano położenie przegubów oraz momenty interakcji generowane przez urządzenie. Dzięki przeprowadzonym badaniom zidentyfikowano cechy układu napędowego oraz opracowano efektywną metodę sterowania momentem generowanym przez przeguby urządzenia. Stosując napędy typu SEA oraz metodę sterowania momentowego, zaprojektowane urządzenie może precyzyjnie wywierać obciążenie na operatora, co przekłada się na efektywną realizację siłowego sprzężenia zwrotnego.

W ramach rozprawy opracowano również algorytmy sterowania żurawiem przeładunkowym z wykorzystaniem skanera ramienia operatora. Współpracę skanera ramienia operatora z żurawiem przeładunkowym zrealizowano za pomocą czterech autorskich algorytmów:

- jednostronna teleoperacja,
- dostosowanie dynamiki ruchu obiektu sterującego do dynamiki urządzenia sterowanego,
- przeniesienie wrażenia podnoszenia ładunku,
- przekazywanie informacji o kontakcie końcówki roboczej żurawia z wirtualnymi obiektami.

Przedstawione metody sterowania umożliwiają efektywną realizację siłowego sprzężenia zwrotnego od urządzenia sterowanego. Ponadto, stosując opracowane algorytmy, możliwe jest połączenie urządzeń o całkowicie odmiennej strukturze kinematycznej. Wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych z żurawiem przeładunkowym podkreślają utylitarny charakter urządzenia oraz opracowanych metod sterowania.

Całość rozprawy doktorskiej podsumowano analizą możliwości aplikacji opracowanych metod sterowania oraz nakreśleniem kierunków przyszłych badań.

Praca podzielona została na 6 rozdziałów, w których opisano poszczególne podzespoły zaprojektowanego urządzenia, jak i drogę prowadzącą do opracowania w pełni funkcjonalnego systemu dwustronnej teleoperacji żurawiem przeładunkowym.

W rozdziale 1 zaprezentowano szeroki przegląd literatury dotyczący sposobów sterowania maszyn oraz budowy egzoszkieletów. W przeglądzie znajdują się także informacje na temat aktualnego stanu wiedzy w zakresie zdalnego sterowania urządzeniami z siłowym sprzężeniem zwrotnym.

Rozdział 2 prezentuje cel oraz tezę pracy, która wynika z przeprowadzonego przeglądu literatury.

Rozdział 3 przedstawia budowę stanowiska doświadczalnego. Pierwsza część rozdziału poświęcona jest budowie oraz modelom matematycznym egzoszkieletu SKRO, natomiast druga część dotyczy budowy oraz opisu matematycznego żurawia przeładunkowego Hiab XS 111 duo.

W rozdziale 4 opisano zaimplementowane metody sterowania przegubami egzoszkieletu (podrozdziały 4.1 – 4.3). W podrozdziale 4.4 omówiono szczegółowo zaproponowaną metodę doboru sztywności przekładni napędowej egzoszkieletu. W podrozdziale 4.5 zawarto wnioski z przeprowadzonych testów układów sterowania przegubami egzoszkieletu i wytypowano metodę sterowania momentem generowanym przez przegub do kolejnego etapu pracy.

Rozdział 5 opisuje opracowane przez autora metody sterowania urządzeniem dźwigowym za pomocą SKRO w układzie teleoperacji. Obszerną cześć rozdziału zajmuje opis przeprowadzonych testów współpracy badanych urządzeń z siłowym sprzężeniem zwrotnym.

Ostatni rozdział został poświęcony ocenie uzyskanych wyników badań doświadczalnych metod sterowania żurawiem przeładunkowym z siłowym sprzężeniem zwrotnym. Zawiera on wnioski wyciągnięte podczas przygotowywania niniejszej rozprawy oraz wyznacza kierunki przyszłych badań.