

Zat. do spr. 7060

620

A

SEMINARIUM

**PROJEKTY BADAWCZE - GRANTY W DZIEDZINIE ROBOTYKI
FINANSOWANE PRZEZ KOMITET BADAŃ NAUKOWYCH**

7 - 8 grudnia 1993 r.

KONSPEKTY WYSTĄPIEŃ

**PRZEMYSŁOWY INSTYTUT
AUTOMATYKI I POMIARÓW PIAP
WARSZAWA**

49

SPIS TREŚCI

- Opracowanie metod i programów narzędziowych do komputerowego wspomagania projektowania mechanizmów i robotów - *kierownik projektu: prof. dr inż. A. Morecki, Politechnika Warszawska.*
- Opracowanie metod i algorytmów do komputerowego modelowania i automatycznej oceny lokomocji dwunożnej człowieka i czteronożnych maszyn kroczących - *kierownik projektu: prof. dr inż. A. Morecki, Politechnika Warszawska*
- Identyfikacja stanu otoczenia zrobotyzowanych układów mobilnych - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Andrzej Mastowski, PIAP Warszawa*
- System badań symulacyjnych zrobotyzowanych pojazdów dla osób niepełnosprawnych - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Andrzej Mastowski, PIAP Warszawa*
- Wieloprosesorowy 32-bitowy układ sterowania robota laboratoryjnego - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Leszek Trybus, Politechnika Rzeszowska.*
- System programowania robota IRp-6, jego model oraz sprzężenie z czujnikami do pomiaru sił i momentów - *kierownik projektu: dr inż. Krzysztof Kozłowski, Politechnika Poznańska*
- Metody rastrowe w systemie nawigacyjnym mobilnego robota - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Adam Borkowski, IPPT PAN, Warszawa.*
- Koordynacja pracy robota z wykorzystaniem zewnętrznej sensoryki - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Edward Jezierski, Politechnika Łódzka*
- Wspomagana komputerowo analiza i synteza [koparka-robot] - [trakcja elektryczna] w procesie urabiania i odstawy kopalin użytecznych - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Ludger Szklarski, AGH Kraków.*
- Systemy adaptacyjne w napędach i robotyce: cyfrowy symulator napędu prądu stałego ze śledzeniem modelu (AMFC) oraz symulacja sprzężeń zwrotnych od położenia obiektu za pomocą kamery CCD - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Mariusz Nieniewski, Instytut Elektrotechniki, Warszawa.*
- Opracowanie metod analizy ruchu w obrazach dla potrzeb videoserwomechanizmów - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Mariusz Nieniewski, Instytut Elektrotechniki, Warszawa.*
- Badania modelowe robota podwodnego - *kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Wiesław Ostachowicz, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk.*

SEMINARIUM

PROJEKTY
 BADAWCZE - GRANTY
 W ROBOTYCE
 FINANSOWANE PRZEZ
 KOMITET BADAŃ
 NAUKOWYCH

7÷8 grudnia 1993r.

KONSPEKTY
 WYSTĄPIEŃ

- Identyfikacja modeli robotów i ich zastosowanie do ich sterowania
- kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Józef Giergiel, AGH, Kraków.*
- Adaptacyjne układy pozycjonowania z wykorzystaniem siłowników pneumatycznych - kierownik projektu: *dr hab. inż. Krzysztof Janiszowski, Politechnika Warszawska*
- Metody topologiczno-różniczkowe w robotyce - kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Krzysztof Tchoń, Politechnika Wrocławska*
- Badanie fazy pozycjonowania w plynowych napędach maszyn manipulacyjnych - kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Wiesław Niewczas, Politechnika Warszawska*
- Nowe i ulepszone algorytmy sterowania robotów przemysłowych
- kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Anatol Gosiewski, Politechnika Warszawska*
- Badania doświadczalne ramienia nowego typu robota własnej konstrukcji i ocena jego własności manipulacyjnych na tle innych robotów przy zastosowaniu różnych metod i kryteriów - kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Andrzej Olędzki, Politechnika Warszawska*
- Robot przemysłowy szklarski - kierownik projektu: *mgr inż. Tadeusz Sarnowski, Zakłady Automatyki Przemysłowej ZAP S.A., Ostrów Wlkp.*
- Sterownik robotów dla celów badawczych - kierownik projektu: *dr inż. Cezary Zieliński, Politechnika Warszawska.*
- Automatyzacja sterowania ruchami wykonawczymi przejezdnych maszyn roboczych - kierownik projektu: *prof. dr hab. inż. Marek Trombski, Politechnika Łódzka, Filia w Bielsku-Białej.*
- Eksperymentalna weryfikacja cyfrowych algorytmów sterowania napędami robota przemysłowego - kierownik projektu: *dr inż. Piotr Jabłoński, PIAP Warszawa.*

SEMINARIUM

PROJEKTY
BADAWCZE - GRANTY
W ROBOTYCE
FINANSOWANE PRZEZ
KOMITET BADAŃ
NAUKOWYCH

7÷8 grudnia 1993r.

KONSPEKTY
WYSTĄPIEŃ

**OPRACOWANIE METOD I ALGORYTMÓW DO
KOMPUTEROWEGO MODELOWANIA I AUTOMATYCZNEJ
OCENY LOKOMOCJI DWUNOŻNEJ CZŁOWIEKA I
CZTERONOŻNYCH MASZYN KROCZĄCYCH**

Grant KBN 3 3001 9203

Kierownik projektu: prof. dr inż. A. Morecki
Wykonawcy: dr hab. inż. K. Jaworek, dr inż. T. Zielińska
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Lotniczej
i Mechaniki Stosowanej
ul. Nowowiejska 22/24
00-665 Warszawa

W wystąpieniu zostanie omówiona własna metoda oceny wskaźnikowej lokomocji dwunożnej człowieka (chodu, biegu). Analizowany jest ruch płaski. Istota metody wskaźnikowej sprowadza się do wyznaczenia czterech wskaźników oceny ruchu. Wskaźniki te są związane z wydolnością fizyczną organizmu osoby badanej.

Przy wyznaczaniu wskaźników oceny lokomocji uwzględnia się poszczególne stawy nóg. Fakt ten ma istotne znaczenie w praktyce klinicznej i rehabilitacyjnej bowiem można wykrywać i oceniać różne patologie chodu.

Opracowaną metodę oceny lokomocji przetestowano na populacji osobników obu płci w wieku od 19 do 72 lat. Stwierdzono, że patologie chodu uwiadcniają się jako zmiany wartości wskaźników. Ocenę wskaźnikową chodu można więc wykorzystać w procesach rehabilitacyjnych czy treningowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano hipotezę badawczą dotyczącą średniej mocy rozwijanej przez zespoły mięśniowe obsługujące poszczególne stawy nóg. Hipoteza brzmi: chód normalny człowieka można traktować jako okresowo-zmienną moc średnią rozwijaną przez zespoły mięśniowe obsługujące główne stawy nogi w fazie podporowej.

W celu rejestracji danych niezbędnych do wyznaczenia wskaźników oceny chodu opracowano projekt techniczny oraz zbudowano bezprzewodowy elektrogoniometr nowego typu. Urządzenie jest przenośne i pozwala prowadzić badania w otwartej przestrzeni.

Opracowana metoda może też znaleźć zastosowanie do oceny energetycznej lokomocji maszyn koczających.

W wystąpieniu zostaną omówione założenia teoretyczne opracowanej metody oceny lokomocji, wyniki badań oraz wnioski.

W zakresie lokomocji maszyn kroczących przedmiotem szczegółowych badań jest zasada koordynacji ruchów poszczególnych członów kończyn.

Prowadzone są badania wykorzystania oscylatorów sprzężonych van der Pol'a do generowania rytmu lokomocyjnego.

Stwierdzono, że zmiany wartości parametrów oscylatorów powodują w m.in zmiany typu chodu, np. przejście od chodu powolnego do biegu, skoku itd.

Wyznaczono parametry oscylatorów generujących rytm chodu normalnego. Uzyskane wyniki zastosowano do opracowania generatora rytmu chodu wykorzystującego sztuczne sieci neuronowe. Generator taki może być zastosowany do generowania rytmu chodu maszyny kroczącej.

W referacie zostaną przedstawione wyniki przeprowadzonych prac.

OPRACOWANIE METOD I PROGRAMÓW NARZĘDZIOWYCH DO KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA MECHANIZMÓW I ROBOTÓW.

Grant nr 3 1187 9101,

**Kierownik prof. A. Morecki
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Lotniczej
i Mechaniki Stosowanej**

Projekt badawczy dotyczy opracowania metody (algorytmów) oraz elementów systemu komputerowego, które umożliwiają pełną analizę dynamiczną dużych układów mechanicznych (roboty, mechanizmy maszyn) z otwartymi i zamkniętymi łańcuchami kinematycznymi.

Plan pracy jest następujący:

1. Dobór rodzaju algorytmu do analizy łańcuchów kinematycznych (rekurencyjny albo oparty na równaniach DAE).
2. Wybór współrzędnych w jakich jest analizowany ruch (naturalne, kąty, parametry Eulera).
3. Opis kinematyki układów wieloczłonowych. Rozwiązanie zadania prostego i odwrotnego. Analiza osobliwości.
4. Zadanie proste dynamiki - budowa i całkowanie różniczkowo - algebraicznych równań ruchu .
5. Rozszerzenie zadania o tarcie coulombowskie.
6. Schemat obliczeniowego systemu komputerowego.
7. Przykład obliczeniowy.

Obecnie opracowaniu podlegają końcowe etapy.

Projekt badawczy Nr 3 0229 91 01

Pod tytułem:

Identyfikacja stanu otoczenia zrobotyzowanych układów mobilnych

Kierownik projektu:

Prof. dr hab. Andrzej Masłowski

Zespół KBN: P4.3

Dyscyplina: automatyka i robotyka

Data rozpoczęcia realizacji projektu: 01.10.91

Data zakończenia realizacji projektu: 31.12.92

Słowa kluczowe:

Identyfikacja stanu; Układy zrobotyzowane mobilne; komputerowo wspomagana identyfikacja;

Opis uzyskanych wyników:

W projekcie badawczym opracowano podstawy algorytmów i procedur komputerowo wspomaganej identyfikacji stanu otoczenia układów mobilnych w warunkach niepełnej informacji, przy wykorzystaniu deterministycznego modelu matematycznego dynamiki zmian przestrzenno-czasowych otoczenia i obserwacji oraz przyjętego wskaźnika jakości identyfikacji. Niepełna informacja o stanie układu jest specyfikowana przez odpowiednio zdefiniowane wektory niepełnego opisu matematycznego dynamiki i obserwacji, które mogą zawierać w sobie również zakłócenia oddziałujące na układ lub jego otoczenie. Cechą charakterystyczną jest przy tym to, że nie wymaga się wstępnych założeń odnośnie do statystyki charakteryzującej dany układ lub wpływ otoczenia.

Przeanalizowano rozwiązanie problemu oszacowania stanu otoczenia rozważanej klasy układów metodami przybliżonymi, opartymi na technice układów skończonych, różnic skończonych i wielopoziomowej optymalizacji. Istotnym z punktu widzenia zastosowań praktycznych było rozważenie dyskretnych obserwacji zachowania się układu w skończonej liczbie punktów pomiarowych w obszarze przestrzenno-czasowym. Taki sposób obserwacji jest charakterystyczny przy wykorzystaniu komputera w układzie on-line bądź off-line do realizacji algorytmu identyfikacji, przy zastosowaniu inteligentnych układów sterowania.

Przedstawiona metodyka identyfikacji stanu otoczenia układów mechanicznych mobilnych w warunkach niepełnej informacji charakteryzuje się dwiema własnościami. Po pierwsze, zakłada się przeprowadzenie identyfikacji stanu tylko na podstawie zbioru wielkości obserwowanych, danych wektorem pomiarowym, bez potrzeby specjalnego oddziaływania na otoczenie. Pozwala to na przeprowadzenie eksperymentu w warunkach niezakłóconego przebiegu zmian dynamicznych przestrzenno-czasowych w otoczeniu układu. Także, z założenia nie wymaga się znajomości danych statystycznych o ewentualnym oddziaływaniu otoczenia na układ lub jego obserwacje, co jest szczególnie ważne gdy np. można uzyskać tylko jednokrotną obserwację układu.

W projekcie przygotowano podstawy algorytmów i procedur oprogramowania komputerowo wspomaganej identyfikacji stanu otoczenia klasy deterministycznych układów takich jak zrobotyzowane układy mechaniczne mobilne. Opracowano metodykę komputerowej identyfikacji stanu ukierunkowanej na oszacowanie otoczenia układów mobilnych, przy występujących procesach trudnych do diagnozowania tradycyjnymi metodami.

Publikacje

1. A. Maślowski

Method of Hazardous Environment State Identification for Robots
Int. Conf. ISMCR'92; November 15-19, 1992 ; Tsukuba, Japan

publikowane w : Proceedings of the Second International Symposium on Measurement and Control in Robotics, November 15 - 19, 1992; AIST Tsukuba Research Center, Tsukuba Science City, Japan, pp. 457 - 462

2. A. Maślowski

Appilcation of Finite Element Theory in State Estimation of Space-Time Distributed Systems

Zeszyty Naukowe PB, Nauki Techniczne Nr 88, Mechanika z.11, 1992, str. 1-11.

prof. dr hab. inż. Andrzej Masłowski
mgr inż. Anna Czerniewska-Majewska
mgr inż. Adam Andrzejuk
mgr inż. Piotr Szykarczyk

Pracownia Zrobotyzowanych Układów
Mobilnych
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT
AUTOMATYKI I POMIARÓW
Warszawa

Projekt Badawczy KBN nr 9S 604 022 04

SYSTEM BADAŃ SYMULACYJNYCH ZROBOTYZOWANYCH POJAZDÓW DLA OSÓB NIEPEŁNOSPRAWNYCH

Pojazdy samochodowe, którymi aktualnie poruszają się osoby niepełnosprawne są seryjnie produkowanymi w kraju pojazdami wyposażonymi jedynie w dodatkowe urządzenia uruchamiane ręcznie. Pojazdy te są dostosowane do potrzeb nielicznej grupy osób o określonych dysfunkcjach. Do tej pory nie były w Polsce prowadzone kompleksowe badania pozwalające na opracowanie uniwersalnego pojazdu samochodowego przeznaczonego dla osób niepełnosprawnych o różnym stopniu zdolności do prowadzenia samochodu. Pojazd taki ma być wyposażony w komputerowy system wspomagania kierowcy, który to system będzie pełnił funkcje ostrzegania przed niebezpieczeństwem, korygowania błędów kierowcy, wspomaganie w utrudnionych warunkach i umożliwienia automatycznego wykonywania niektórych manewrów.

Celem prezentowanej pracy jest stworzenie systemu badań symulacyjnych który pozwoli na zaprojektowanie i doświadczalną weryfikację układu decyzyjno-sterującego, sprecyzowanie wymagań stawianych czujnikom, układom pośredniczącym i wykonawczym. Przy pomocy opracowanego systemu będzie można przeprowadzić badania sprawdzające poprawność wykonywanych manewrów przez niepełnosprawnego kierowcę w symulowanych sytuacjach drogowych z zapewnieniem bezpieczeństwa. Problem bezpieczeństwa przy zwiększającym się natężeniu ruchu drogowego jest przedmiotem prac wielu ośrodków światowych zmierzających do wspomaganie każdego kierowcy. W działaniach tych następuje wyjątkowa zbieżność między kierowcą niepełnosprawnym i kierowcą, który nie potrafi w danych warunkach wybrać optymalnego wariantu prowadzenia pojazdu. W tym przypadku niezależnie od fizycznej sprawności kierowca wymaga czynnego wspomaganie lub nawet przejęcia przez inteligentne urządzenie inicjatywy prowadzenia pojazdu zgodnie z przepisami ruchu drogowego i z zachowaniem maksymalnego bezpieczeństwa. Dlatego wykonane badania w proponowanym systemie będą zmierzały w kierunku realizacji pojazdu który by:

- wspomagał kierowcę
- realizował intencje kierowcy (*drive by wire*)
- przejmował prowadzenie pojazdu na żądanie kierowcy lub w sytuacjach krytycznych

Wspomaganie kierowcy charateryzującego się pewną dysfunkcją polega na wyposażeniu pojazdu w inteligentne urządzenie które współpracując z kierowcą pozwoli na korektę jego ułomności.

Prowadzenie pojazdu *drive by wire* polega na zinterpretowaniu przez układ decyzyjno-sterujący, woli kierowcy i następnie wykonaniu danego manewru z zachowaniem przepisów ruchu drogowego i maksymalnego bezpieczeństwa.

Ostatni sposób realizacji to pojazd w pełni autonomiczny, który może poruszać się bez udziału kierowcy.

System badań symulacyjnych będzie zbudowany z poszczególnych podsystemow takich jak np.:

- symulacji pojazdu
- symulacji otoczenia
- symulacji kierowcy
- symulacji sensorów
- symulacji układów pośredniczących
- symulacji układów wykonawczych

Badania prowadzone będą w miarę możliwości w czasie rzeczywistym, przy użyciu systemu komputerowego i robota mobilnego. Wizualizacja wyników symulacji otoczenia, ruchu pojazdu, zachowania się kierowcy niepełnosprawnego wykonana będzie przy użyciu animacji komputerowej i wykresów graficznych na ekranie monitora. Poprawność działania układu decyzyjno sterującego w różnych sytuacjach drogowych, wykrywania przeszkód przy użyciu rzeczywistych sensorów będzie sprawdzona przy zastosowaniu robota mobilnego, poruszającego się w otoczeniu zamodelowanym dla potrzeb danego eksperymentu.

R. Leniowski, W. Irzeński, L. Trybus
POLITECHNIKA RZESZOWSKA
Zakład Automatyki i Informatyki

Wieloprocessorowy 32-bitowy układ sterowania robota laboratoryjnego

Z doświadczeń zespołu, dotyczących sterowania robotami wynika, że bardziej zaawansowane algorytmy można realizować wyłącznie przy pomocy komputerów posiadających znaczną moc obliczeniową. Moc tą stosunkowo łatwo można osiągnąć stosując systemy wieloprocessorowe. Jednak w przypadku typowych mikroprocesorów zapewnienie wzajemnej współpracy wymaga stosowania specjalnych rozwiązań układowych (np. układy arbitrażu), co stwarza dodatkowe komplikacje na etapie projektowania.

Alternatywnym rozwiązaniem, przyjętym przez autorów pracy, jest zastosowanie do budowy regulatora cyfrowego transputerów (procesor RISC posiadający pamięć lokalną oraz linki umożliwiające tworzenie sieci połączeń). Zasadnicze znaczenie w układzie sterowania robotem ma współpraca transputerów realizujących algorytm regulacji z urządzeniami zewnętrznymi (enkodery położenia, układy pomiaru prądu i odkształceń, układy wykonawcze). W przypadku transputerowych kart rozszerzenia przeznaczonych dla komputerów PC możliwe są różne strategie realizacji tego zadania. Zbudowany w oparciu o kartę Quintek-Fast-9 sterownik pozwala w pełni wykorzystać możliwości obliczeniowe oferowane przez sieć transputerową. Transputery komunikują się bezpośrednio z urządzeniami zewnętrznymi za pomocą linków. Ze względu na dużą szybkość transmisji (typowo 10 Mb/sek) zastosowano odpowiednie układy pośredniczące (adapтеры IMS C011). Przyjęto przy tym założenie, że z jednym przegubem robota *KREPY* współpracuje jeden transputer. Komunikuje się on (poprzez link) z master-transputerem z jednej strony, z drugiej zaś, przy pomocy dwóch ośmiobitowych, jednokierunkowych szyn, z podsystemem WE/WY. Układ transputerów tworzy strukturę pierścieniową. Podsystem WE/WY (trzy kanały) posiada 24-bitowy układ pomiaru położenia, 4 wejścia analogowe i jedno wyjście obsługiwane przez szybkie przetworniki. Ponadto zawiera lokalny multiplexer sygnałów umożliwiający jego elastyczne konfigurowanie.

Opracowana struktura systemu sterowania opartego na sieci transputerowej pozwala testować nowoczesne algorytmy sterowania (w tym adaptacyjne i wykorzystujące zasadę wyliczonego momentu).

Projekt badawczy nr 8 8512 9102

Tytuł: System programowania robota IRp-6, jego model oraz sprzężenie z czujnikami do pomiaru sił i momentów.

Kierownik projektu:

dr hab. inż. Krzysztof Kozłowski

Czas realizacji projektu: 27.04.92 - 31.12.92 .

Opis uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki dotyczą czterech zagadnień:

- systemu programowania robota,
- modelu matematycznego oraz eksperymentalnej identyfikacji parametrów dynamicznych tego modelu,
- badań eksperymentalnych nad identyfikacją parametrów ładunku uchwyconego przez robot,
- proponacji algorytmu sterowania z wykorzystaniem wcześniej zdjętego modelu robota.

Na Seminarium poświęconym prezentacji wyników dotyczących realizacji grantów w dziedzinie robotyki chcemy przedstawić wszystkie z wymienionych zagadnień, które teraz krótko scharakteryzujemy.

Napisany od podstaw system programowania jest zbiorem procedur, które służą do programowania robota IRp-6 w języku wysokiego poziomu. Wszystkie procedury zostały napisane w języku Pascal. System programowania rezyduje w pamięci komputera PC AT/486, który jest podłączony do sterownika robota za pomocą interfejsu bezpośredniego dostępu. System został tak napisany, aby łatwo służył celom badawczym. Jest całkowicie niezależny od standardowego oprogramowania, przy czym to ostatnie całkowicie akceptuje. W systemie wyspecyfikowano typy danych oraz operacje na nich. Następnie opracowano szereg procedur ruchu w przestrzeni wewnętrznej oraz zewnętrznej robota. Elementem systemu programowania jest też program symulacji standardowego panelu programowania robota IRp-6 na komputerze nadrzędnym, tzw. panel wirtualny.

Drugim ważnym wynikiem jest przeprowadzenie eksperymentu identyfikacji parametrów dynamicznych modelu całkowego pierwszych trzech stopni swobody robota IRp-6. Model całkowity wyprowadzono od podstaw oraz porównano z modelem różniczkowym znanym z literatury. Model całkowity zawiera łącznie 13 parametrów w postaci zagregowanej. Jako metodę identyfikacji

zastosowano metodę najmniejszych kwadratów w postaci rekurencyjnej z faktoryzacją Agee-Turnera.

Otrzymane wyniki porównano z wynikami znanymi z literatury. Identyfikacja parametrów dynamicznych modelu całkowego robota IRp-6 została przeprowadzona po raz pierwszy. W jej rezultacie uzyskano prawidłowe wyniki.

Trzecim wynikiem, będącym rezultatem badań, jest identyfikacja parametrów dynamicznych ładunku uchwyconego przez robot. Dokonano pomiarów statycznych, tj. gdy robot pozostaje w spoczynku. Do pomiarów wykorzystano dwa czujniki do pomiaru przestrzennego rozkładu sił i momentów sił: niemiecki DLR oraz amerykański JR3. Pomiary dynamiczne, tj. dokonywane w trakcie ruchu robota, przeprowadzono dla różniczkowego i całkowego modelu ładunku. W sytuacji, kiedy manipulator pozostaje w spoczynku (pomiary statyczne) możliwe jest wyznaczenie masy oraz środka masy na podstawie danych pomiarowych. W efekcie pomiarów dynamicznych możliwa jest identyfikacja wszystkich parametrów inercyjnych ładunku, tj. masy, współrzędnych momentu statycznego I-go rzędu oraz sześciu elementów górnego trójkąta macierzy inercji.

Dużo uwagi poświęcono również rozważaniom teoretycznym dotyczącym algorytmów sterowania adaptacyjnego w oparciu o nie w pełni określony model robota. Przedstawiono krótki syntetyczny przegląd różnych metod, a następnie sformułowano algorytm sterowania adaptacyjnego wykorzystujące zdjęty wcześniej model robota i przedstawiono wyniki symulacji.

METODY RASTROWE W SYSTEMIE NAWIGACYJNYM MOBILNEGO ROBOTA

GRANT P.4 3 P403 006 04

Kierownik grantu : prof. Adam Borkowski
IPPT PAN Samodzielna Pracownia Systemów Adaptacyjnych
tel. 26 12 81 w. 250

Główny wykonawca : mgr Barbara Siemiątkowska
Wykonawca : mgr Elżbieta Leśkiewicz

Celem pracy jest opracowanie oryginalnej metody sterowania autonomicznego, ruchomego robota. Przyjęto założenie, że robot jest wyposażony w sensory ultradźwiękowe. Sygnały pochodzące z sensorów są analizowane i określany jest stopień wiarygodności każdego pomiaru. Dane dotyczące obserwowanego obszaru są zapamiętywane w mapie globalnej. Dzięki skojarzeniu rastrowej reprezentacji mapy otoczenia z przetwarzaniem w sieciach neuronowych metoda ta umożliwi rozwiązywanie zadań nawigacyjnych w czasie rzeczywistym.

Prace rozpoczęto w marcu 1993 r, termin zakończenia grudzień 1994.

W roku 1993:

- Opracowano moduł tworzenia i aktualizacji mapy otoczenia ruchomego robota.
Mapa globalna powstaje w wyniku agregacji map lokalnych. Mapa globalna i mapy lokalne są reprezentowane jako zbiory rozmyte. Zbiór wszystkich rastrów stanowi przestrzeń, na której zbiory rozmyte są określone. Funkcja przynależności określa stopień zajętości każdego rastra. Rastrowa reprezentacja otoczenia umożliwia uwzględnienie zróżnicowanej wiarygodności sensorów.
- Stworzono moduł planowania bezkolizyjnej trajektorii w znanym i nieznanym otoczeniu.
W większości znanych nam algorytmów zadanie planowania ścieżki jest rozwiązywane metodą potencjałów. Metoda ta ma dwie wady : minima lokalne i oscylacje. W naszym systemie planowanie trajektorii jest realizowane przy pomocy jednowarstwowej sieci neuronowej. Opisana metoda ma następujące zalety : jest wielorównoległa i umożliwia automatyczne wycofywanie się robota ze ślepych uliczek. Jeśli cel lub robot otoczone są przeszkodami to system informuje o tym , że wolna droga nie istnieje . Nie ma problemów z oscylacjami i minimami lokalnymi. Algorytm jest mało wrażliwy na zaburzenia mapy tzn. niewielkie zaburzenia mapy powodują jedynie znikome zmiany zaplanowanej drogi.

W przyszłym roku (1994) planuje się:

- Stworzenie uczącej się wersji systemu. W trakcie poznawania otoczenia efektywność systemu powinna wzrastać.
- Testowanie systemu.

Do tego celu użyty będzie robot laboratoryjny, którym dysponuje Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Poznańskiej.

Streszczenie opisu projektu badawczego nr 8 S505 025 05
pt. "KOORDYNACJA PRACY ROBOTÓW Z WYKORZYSTANIEM ZEWNĘTRZNEJ SENSORYKI"

Kierownik projektu: dr hab. Edward Jezierski, prof. ndzw.

Współpraca dwóch lub większej liczby robotów przemysłowych stanowi obszar badań otwierających możliwości nowych rozwiązań zagadnień związanych z elastycznymi systemami produkcyjnymi. Skoordynowana praca robotów występuje podczas przenoszenia elementów, wspólnego obrabiania tych elementów lub wykonywania przez roboty ruchów bezkolizyjnych we wspólnej przestrzeni roboczej w trakcie wykonywania niezależnych zadań. We wszystkich wspomnianych przypadkach strategia sterowania musi zapewniać bezkolizyjną pracę każdego z manipulatorów w jego przestrzeni roboczej.

Śledząc publikacje poruszające tematykę współpracy robotów, można wyraźnie rozróżnić opisy stosunkowo prostych zastosowań praktycznych od bardzo zaawansowanych rozważań teoretycznych. W zagadnieniach praktycznych stosuje się rozwiązania, w których wejście jednego manipulatora we wspólną przestrzeń roboczą przypisuje tej przestrzeni status zabronionej dla innych manipulatorów. Jednocześnie okazuje się, że współpracujące roboty przemysłowe tracą większość swojego czasu oczekując na zwolnienie wspólnej przestrzeni roboczej. Poza tym, ten typ koordynacji działania jest opracowywany za każdym razem dla konkretnej sekwencji czynności roboczych manipulatorów. Z kolei, w prowadzonych aktualnie badaniach teoretycznych z reguły wykorzystuje się czasochłonne algorytmy optymalizacji i przeszukiwań do planowania bezkolizyjnych torów dla współpracujących manipulatorów.

Zrobotyzowane gniazda produkcyjne są coraz częściej wyposażane w systemy wizyjne zaliczane do układów zewnętrznej sensoryki. Najczęściej systemy te służą do ogólnego nadzoru, bądź też wykorzystywane są do rozpoznawania położenia i orientacji prostych detali. Pojawiają się już jednak laboratoryjne stanowiska badawcze, które wykorzystują systemy wizyjne jako aktywne elementy toru sprzężenia zwrotnego w układzie sterowania robota.

W projekcie badawczym, którego realizację rozpoczęto we wrześniu 1993 roku, zostanie opracowany oszczędny, z obliczeniowego punktu widzenia, algorytm sterowania potencjalnie kolidujących ze sobą manipulatorów. Przewiduje się implementację tego algorytmu dla dwóch manipulatorów. W szczególności będą prowadzone prace nad znalezieniem szybkiego rozwiązania zagadnienia odwzorowania przeszkody znajdującej się w polu operacyjnym, lokalizowanej przy

użyciu systemu wizyjnego, na przestrzeń wewnętrzną manipulatora.

Od kilku lat w Instytucie Automatyki Politechniki Łódzkiej tworzone jest stanowisko laboratoryjne przewidziane docelowo do prowadzenia kompleksowych badań nad koordynacją pracy funkcjonalnie różnych urządzeń zautomatyzowanego gniazda produkcyjnego, którego centralnymi elementami są współpracujące roboty. Zasadniczymi elementami stanowiska są roboty edukacyjne L1 i L2 produkcji Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Układów Napędu Elektrycznego w Toruniu, robot przemysłowy IRp-6 produkcji Zakładów Automatyki Przemysłowej w Ostrowie Wielkopolskim oraz pozycjoner obrotowy tej samej firmy. W celu realizacji badań współpracy wymienionych wyżej elementów dopasowano dwa funkcjonalnie różne systemy sterowania. Zastosowano do tego celu interfejs bezpośredniego dostępu komputera IBM AT do zasobów sterownika robota IRp-6, wykonany w Instytucie Automatyki Politechniki Warszawskiej. Komputer ten jest dodatkowo sprzęgnięty przy użyciu sieci lokalnej z komputerami podrzędnymi sterującymi robotami L1 i L2. Stanowisko jest już obecnie wyposażone w system wizyjny, składający się z kamery statycznej i procesora wizji. Realizowany sprzętowo proces skanowania i klasyfikacji punktów obrazu pozwoli na lokalizację położenia ramion współpracujących robotów oraz elementów znajdujących się na pozycjonerze obrotowym. Wzmocnione zostaną również możliwości przetwarzania informacji przez zastosowanie dodatkowego komputera wyposażonego w karty DSP.

Prace doświadczalne realizowane na rozbudowanym stanowisku obejmą następujące zagadnienia:

- planowanie trajektorii w przestrzeni kolizyjnej manipulatorów,
- przetwarzanie informacji wizyjnej dla potrzeb koordynacji robotów,
- dekompozycję zadań sterowania zespołem robotów z uwzględnieniem przetwarzania równoległego.

Efektom prac realizowanych w projekcie będzie stworzenie rozbudowanego stanowiska do wszechstronnych badań współpracy robotów i przetestowanie na nim opracowanego algorytmu pracy bezkolizyjnej.

Projekt badawczy Nr 885249102

pt. "Wspomagana komputerowo analiza i synteza sterowania systemu [koparka-robot]-[trakcja elektryczna] w procesie urabiania i odstawy kopalin użytecznych"

Kierownik prof.dr hab.inż. Ludger Szklarski

Syntetyczne omówienie badań.

Obiektem badań jest model systemu [koparka-robot]-[trakcja elektryczna] w procesie urabiania i odstawy kopalin. Według założeń autorów podstawowe mechanizmy koparki-roboty będą wyposażone w napęd elektryczny z silnikami prądu stałego i przemiennego zasilanymi z przekształtników tyrystorowych, napęd lokomotywy pociągu odstawczego stanowić będą silniki prądu stałego szeregowo zasilane z przekształtników tyrystorowych.

Celem badań jest opracowanie nowoczesnych metod wspomaganego komputerowo projektowania bloków napędowych i układów ich sterowania oraz sterowania nadrzędnego współpracujących maszyn.

Projekt badawczy stanowi istotny etap na drodze do osiągnięcia tego celu. Według zamierzeń autorów końcowym rezultatem badań będą :

matematyczne modele dynamiczne napędów ,
algorytmy cyfrowego sterowania napędów, w tym układy stabilizujące i nadążne,

algorytmy generowania trajektorii,

strukturalny układ zdalnego sterowania lokomotywy i struktura regulatora nadrzędnego dla przyjętych warunków pracy systemu,

biblioteka programów obliczeń numerycznych.

Badania wymagają metod z zakresu elektrotechniki, teorii układów dynamicznych, teorii sterowania, teorii sygnałów i robotyki. W szczególności autorzy korzystają z metod aproksymacji, esty-

macji, syntezy cyfrowych regulatorów optymalnych, przetwarzania równoległego informacji w sieci transputerowej oraz symulacji cyfrowej.

Z dotychczas osiągniętych wyników wymienia się tutaj ważniejsze. Opracowano pakiet programowy do analizy i wizualizacji pracy robota-koparki. Zrealizowano obliczenia równoległe przy rozwiązywaniu zagadnienia odwrotnego kinematyki robota-koparki. Obliczenia przeprowadzono w systemie 4-procesorowym wykorzystując transputery zmiennoprzecinkowe T-800, 2MB RAM każdy. Opracowano programy komputerowej analizy statycznych i dynamicznych właściwości napędów elektrycznych, algorytmy obliczeń regulatorów cyfrowych i programy do symulacji pracy napędów w różnych wersjach sterowania i regulacji. Opracowano dyskretną wersję sterowania od stanu z estymacją trudno mierzalnych zmiennych stanu. Skonstruowano analityczny, cyfrowy model z obserwatorem momentu obciążenia dla napędu prądu stałego. Określono właściwości dynamiczne pociągu z lokomotywą elektryczną w obszarze rozładowania łyżki i strukturę sterowania lokomotywy dla zadanej geometrii torowiska.

SYSTEMY ADAPTACYJNE W NAPĘDACH I ROBOTYCE: CYFROWY SYMULATOR NAPĘDU PRĄDU STAŁEGO ZE ŚLEDZENIEM MODELU

Grant Nr 8 8521 91 02

Kierownik projektu: prof.dr inż. Mariusz Nieniewski

Gł. wykonawca: mgr inż. Maria Kosicka

**Zakład Badań Podstawowych Elektrotechniki MPiH i PAN
w Instytucie Elektrotechniki, Warszawa**

Celem projektu było zbadanie wpływu zastosowania regulatora adaptacyjnego w typowym przemysłowym systemie regulacji prędkości silnika prądu stałego z tranzystorowym lub tyrystorowym wzmacniaczem mocy i zarazem opracowanie modelu matematycznego tego rodzaju układu adaptacyjnego ze śledzeniem modelu (AMFC - Adaptive Model Following Control). Trudności teoretyczne wynikają z faktu, że znane warunki hiperstabilności odnoszą się do systemów, w których rząd modelu odniesienia i rząd obiektu sterowanego jest ten sam. Założenie to nie może być spełnione dla istniejących systemów regulacji prędkości i położenia, ponieważ systemy te są systemami dość wysokiego rzędu, np. 5, ponadto rząd ten nie musi być stały, a parametry systemu też zmieniają się w bardzo szerokim zakresie. Z drugiej strony, model odniesienia powinien być niskiego rzędu, np. rzędu 1, bo tylko wtedy można w jasny sposób określić, jaką właściwie ma być dynamika systemu adaptacyjnego. Przeprowadzane wcześniej eksperymenty numeryczne wykazywały, że w systemach z wysokim rzędem modelu odniesienia i obiektu regulacji bieguny niedominujące obiektu regulacji nie były "podciągane" do biegunów modelu odniesienia.

W tej sytuacji przyjęto, że model odniesienia musi być rzędu 1. Natomiast rząd obiektu regulacji, tj. nieadaptacyjnego systemu regulacji prędkości przyjmowano od 1 do 5. W związku z tym wystąpiła w rozważaniach tzw. dynamika niemodelowana obiektu. Wpływ dynamiki niemodelowanej może być zbadany jedynie na drodze symulacji komputerowej lub eksperymentów fizycznych, natomiast badania analityczne są niewykonalne.

Jako obiekt regulacji w badaniach przyjęto kolejno:

- Silnik prądu stałego o stałym wzbudzeniu sterowany siłą elektromotoryczna. Jest to obiekt rzędu 1 pod warunkiem, że indukcyjność twornika jest pomijalnie mała.
- Silnik prądu stałego o niepomijalnej indukcyjności twornika. Jest to obiekt rzędu 2.
- System regulacji prędkości opisany modelem rzędu 4.
- System regulacji prędkości opisany modelem rzędu 5.

Oba systemy zawierają silnik prądu stałego oraz dwie pętle regulacyjne: zwnętrzną pętlę regulacji prędkości i podporządkowaną jej pętlę regulacji prądu. W obu zastosowano regulatory PI. System rzędu 5 zawiera dodatkowo filtr opóźniający na wejściu regulatora prędkości obrotowej zastosowany w celu

złagodzenia odpowiedzi dynamicznej na skoki sygnału odniesienia. We wszystkich przypadkach podstawowymi wielkościami regulowanymi są prędkość obrotowa i prąd silnika. Ponieważ rzędy modelu odniesienia i obiektu regulacji są różne, więc opracowano zasady upraszczania "na siłę" obiektu, tak by był on rzędu 1. Jest to nieodzowne, by można było dobrać realistyczny model odniesienia, tzn. model taki, że mechanizm adaptacji rzeczywiście poradzi sobie z doprowadzeniem dynamiki obiektu do dynamiki modelu odniesienia.

Parametrem, który ulega największym zmianom w układach serwomechanizmów, napędów przemysłowych i manipulatorów jest zwykle moment bezwładności, który wiąże się z przenoszonym ciężarem. Moment ten wpływa na wartość zastępczej stałej czasowej systemu regulacji prędkości.

Mechanizm adaptacyjny rozpatrywanego systemu zakłada, że współczynniki wzmocnienia członów proporcjonalnych są nieliniowymi funkcjami trzech sygnałów: sygnału wejściowego, wyjściowego i sygnału uchybu. W toku pracy, przyjęto następujący sposób postępowania:

- opisano obiekt regulacji analogowymi równaniami stanu,
- przekształcono opis do postaci transmitancyjnej i uproszczono do członu inercyjnego rzędu 1,
- przekształcono model z czasem ciągłym do równoważnego modelu z czasem dyskretnym, uproszczono model z czasem dyskretnym do członu inercyjnego rzędu 1,
- przeprowadzono symulacje systemu nieadaptacyjnego z czasem ciągłym i z czasem dyskretnym,
- przeprowadzono symulacje systemu adaptacyjnego dla następujących przypadków:
 - badanie przebiegu sygnałów w odpowiedzi na skok sygnału zadającego dla różnych wartości momentu bezwładności,
 - badanie przebiegu sygnałów w odpowiedzi na skok momentu obciążenia dla różnych wartości momentu bezwładności,
 - badanie przebiegu sygnałów w odpowiedzi na skok momentu obciążenia dla systemu adaptacyjnego w przypadku odłączonego mechanizmu adaptacji.

Ponieważ przyjęto dyskretny mechanizm adaptacji, więc otrzymane wyniki odnoszą się bezpośrednio raczej do systemu z czasem dyskretnym niż do systemu z czasem ciągłym.

Z porównania przebiegów dynamicznych dla systemu niadaptacyjnego i adaptacyjnego wynika, że zastosowanie mechanizmu adaptacji do systemu regulacji prędkości znacznie poprawia jakość działania systemu. Poprawa ta polega m.in. na:

- skróceniu czasu trwania odpowiedzi, szczególnie dla dużych wartości momentu bezwładności,
- zmniejszeniu maksymalnego spadku prędkości obrotowej przy skoku momentu obciążenia.

Porównanie przebiegów odpowiedzi czasowych dla systemu adaptacyjnego z modelem obiektu rzędu 1, 2, 4 i 5 potwierdza, że uproszczony model obiektu w zasadzie prawidłowo odzwierciedla działanie systemu rzędu 4 i 5. W szczególności

model rzędu 1 jest przydatny na etapie projektowania systemu adaptacyjnego. Natomiast po zaprojektowaniu systemu model rzędu 2 może służyć do reprezentacji przebiegów dynamicznych w modelach rzędu 4 i 5.

Uzyskane wyniki przedstawiono w 4 publikacjach:

- 1) M. Nieniewski and M. Kosicka: "How AMFC Improves DC Motor Dynamics," Proc. Int. AMSE Conf. on Appl. of Sign., Data, Syst. Methodol. to Eng. Probl., Alexandria, pp. 121-32, Dec. 1992.
- 2) M. Nieniewski and M. Kosicka, "AMFC of the DC Motor," IEEE Internat. Symp. on Industrial Electronics, pp. 379-84, Budapest, 1993.
- 3) M. Nieniewski and M. Kosicka: "Unmodelled Dynamics in the AMFC System of the DC Motor Speed," artykuł wysłany do redakcji pisma za granicę.
- 4) M. Nieniewski and M. Kosicka: "A Simplified Simulation of the DC Motor with Adaptive Model Following Control." Artykuł ukaże się w Pracach Instytutu Elektrotechniki w 1994 r.

OPRACOWANIE METOD ANALIZY RUCHU W OBRAZACH DLA POTRZEB VIDEOSERWOMECHANIZMÓW

Grant Nr 8 S505 014 05

Kierownik projektu: prof.dr inż. Mariusz Nieniewski

Gł. wykonawca: mgr inż. Maria Kosicka

Zakład Badań Podstawowych Elektrotechniki

MPIH i PAN w Instytucie Elektrotechniki, Warszawa

Projekt znajduje się w fazie początkowej, ponieważ jego wykonanie rozpoczęto we wrześniu 1993 r. Celem projektu jest rozwinięcie metod analizy ruchu w obrazach scen typowych dla roboczych warunków videoserwomechanizmów stosowanych w zautomatyzowanej produkcji. Videoserwomechanizmy charakteryzują się tym, że informacje o położeniu obiektów w przestrzeni otrzymuje się za pośrednictwem systemu wizyjnego. Zastosowanie tej informacji pozwala na działanie w bardzo zmiennych warunkach roboczych.

Występują jednakże trudności wynikające z zaszumienia obrazów, zmienności dynamiki obiektów w obrazie w zależności od usytuowania kamery względem obiektu oraz z długiego i zmiennego czasu przetwarzania informacji wizyjnej. Dla analizy ruchu niezmiernie istotne jest uzyskanie obrazów "ze świata rzeczywistego". W tym celu opracowano koncepcję budowy stanowiska badawczego. Posiadany system wizyjny SUPERVIST jest uzupełniany o elementy robotowe. W szczególności zakupiono stolik obrotowy, który realizuje jeden stopień swobody. W roku przyszłym zostanie zakupiony moduł ruchu posuwistego, który będzie realizował drugi stopień swobody. Prócz tego zostaną zakupione elementy sterowania obydwoma stopniami swobody. Możliwość zakupu praktycznie zmuszają do zastosowania silników skokowych. Mimo, że sterowanie takimi silnikami jest obciążone wadami, to jednak nawet w takich warunkach będą otrzymane realistyczne zdjęcia.

Najistotniejsze z punktu widzenia koncepcyjnego jest w tym projekcie opracowanie samych metod analizy ruchu. Możliwe jest sterowanie ruchem w ten sposób, że ruch rzeczywisty obiektu w przestrzeni 3-wymiarowej jest estymowany z obrazu 2-wymiarowego za pomocą skończonej liczby cech otrzymywanych z obrazu 2-wymiarowego albo za pośrednictwem pola przepływu optycznego, tj. pola zmian funkcji jasności w obrazie. Inną możliwością jest sterowanie bezpośrednio polem przepływu optycznego lub sterowanie cechami w obrazie. W tym przypadku zarówno sygnałami odniesienia jak i sygnałami sprzężenia zwrotnego są wielkości związane z polem przepływu optycznego lub cechami w obrazie. Ruch w przestrzeni 3-wymiarowej jest niejako "produktem ubocznym". Ponieważ ruch w przestrzeni 3-wymiarowej jest w zawiły sposób odwzorowywany na ruch w obrazie i zależy w szczególności od wzajemnego usytuowania kamery i obiektu, więc taki system regulacyjny charakteryzuje się dużymi zmianami parametrów, stąd pojawia się w oczywisty sposób

konieczność zastosowania sterowania adaptacyjnego, np. ze śledzeniem modelu odniesienia lub z regulatorem samodostrajającym się. Praktyczne doświadczenia uzyskane w toku wcześniejszych prac nad systemami adaptacyjnymi ze śledzeniem modelu odniesienia pozwalają na podjęcie próby zastosowania tego rodzaju algorytmu. W odniesieniu do pola przepływu optycznego i wynikającego stąd pola prędkości dotychczasowe doświadczenia odnoszą się głównie do modelowania ruchu za pomocą pól losowych Markowa-Gibbsa. Ogólnie mówiąc metoda taka opiera się na analizie organizacji przestrzennej obrazu i poszukiwaniu minimum energii w obrazie, która zależy od bardzo wielu zmiennych. Przeprowadzone uprzednio eksperymenty pozwalają uzyskać maski obiektów ruchomych w obrazach. Jest to sytuacja szczególna (binarna) ponieważ maska określa jedynie, czy ruch jest, czy nie, a nie określa intensywności ani kierunku ruchu. Tym niemniej możliwe są uogólnienia. Poszukiwanie minimum funkcji energii można przeprowadzać metodą symulowanego wyżarzania, co jednak jest zbyt czasochłonne na obecnych komputerach. Przeprowadzane próby wykazują, że bardziej praktyczną jest metoda iteracyjnych mod warunkowych (Iterative Conditional Mode). Metoda ta daje zmniejszenie czasu poszukiwania minimum i przy odpowiedniej inicjalizacji dochodzi w pobliże tego minimum. Obrazy otrzymywane w systemach wizyjnych charakteryzują się dużym zaszumieniem, którego natura jest trudna do określenia. Zaszumienie to ma jednak zasadniczy wpływ na funkcjonowanie pętli regulacji ruchu. Zastosowanie pól losowych Markowa do analizy ruchu w obrazach daje pewnego rodzaju niezależność od tego szumu.

Zarówno ostateczny dobór metod sterowania, algorytmów analizy ruchu, jak i badanie wpływu szumu będą przedmiotem dalszej pracy w omawianym projekcie i mogą ulec zmianom.

Badania modelowe robota podwodnego.

Projekt badawczy nr 8 8523 91 02

Kierownik: prof.zw. dr hab.inż. Wiesław Ostachowicz

Główny Wykonawca: dr inż Grzegorz Rożnowski

Praca jest kontynuacją badań, które prowadzono w latach 1986-1990 w ramach CPBR 7.1 "Roboty przemysłowe. Rezultatem było wytworzenie pełnej dokumentacji technicznej modelu robota do prac podwodnych przy kadłubie statku. Niektóre rozwiązania techniczne zostały uprzednio przebadane na układach modelowych.

Celem realizowanego projektu /grantu/ jest przeprowadzenie badań modelu robota do prac podwodnych z uwzględnieniem oceny dokładności identyfikacji położenia głowicy roboczej w obszarze pracy oraz określenie jej czułości na zaburzenia środowiskowe.

Zaprojektowane urządzenie może czyścić kadłub statku z porostów biologicznych ewentualnie rdzy, a po wyposażeniu w specjalne agregaty malarskie - może zabezpieczać przed korozją. Wyposażony w stosowne lampy halogenowe i kamerę telewizyjną robot może spełniać funkcje inspekcyjne i równocześnie transportowe - jako nośnik narzędzi do prac podwodnych. Wszystkie w/w czynności są bardzo ważne w ramach okresowych zabiegów konserwacyjnych i remontowych jednostek pływających. Mają duże znaczenie w uzyskiwaniu większej sprawności i obniżaniu kosztów eksploatacji statków.

Model robota zbudowany jest z głowicy roboczej, która stanowi część pracującą pod wodą i jest wyposażona w elektroniczny sterownik lokalny, zespół napędowy z kołami jezdnymi, szczotki czyszczące, agregat malarski, chwytaki i zbiorniki wypornościowe oraz jest połączona przewodami elektrohydraulicznego układu zasilającego i sterującego z elektrohydraulicznym agregatem zasilającym. Sterowanie w wyznaczonym obszarze pracy zapewnia komputerowo wspomagany system działający w oparciu o hydroakustyczny układ lokalizacji podwodnej. Komputer nadrzędny typu PC wraz z konsolą operatorską będą zainstalowane na pokładzie pomocniczego holownika.

W toku dotychczasowych prac wykonano uproszczony model funkcjonalny głowicy roboczej z modelem sterownika lokalnego, zespół pytający oraz odbiornik z czterema transponderami hydroakustycznego układu lokalizacji podwodnej oraz zbudowano agregat elektrohydraulicznego zasilania modelu robota.

Pracę badawczą podzielono na etapy, spośród których zrealizowano próby ruchowe głowicy roboczej na powietrzu i w wodzie. Dalsze badania przebiegać będą pod kątem uruchamiania głowicy przy użyciu komputerowego systemu sterowania w warunkach laboratoryjnych oraz w basenie doświadczalnym.

Ostateczne wyniki badań powstaną po przeprowadzeniu prób w warunkach "polowych" - na burcie statku.

Osobliwości kinematyki manipulatorów

Krzysztof Tchoń
Instytut Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej
ul. Janiszewskiego 11/17
50-372 Wrocław *

1. Definicja i istnienie osobliwości kinematyki.
2. Rola osobliwości w zadaniach odwracania kinematyki i sterowania manipulatorem.
3. Modele osobliwości kinematyk strukturalnie stabilnych.
4. Osobliwości kinematyki planarnej.
5. Osobliwości kinematyki przestrzennej typu $3R$.
6. Kwadratowa postać normalna kinematyki.
7. Odwrotne zadanie kinematyki dla kinematyki z osobliwościami: algorytm Newtona i uogólniony algorytm Newtona.
8. Podsumowanie i perspektywy dalszych badań.

1 Literatura

1. K. Tchoń : On Singular Kinematics of Robot Manipulators. **Archives of Control Sciences**, vol.1 (XXXVIII), No.1-2, 1993, ss.141-158, (w druku).
2. K. Tchoń , I. Duleba : On Inverting Singular Kinematics and Geodesic Trajectory Generation for Robot Manipulators. **Journal of Intelligent and Robotic Systems**, 1993, (w druku).
3. K. Tchoń : On normal form of singular kinematics of robot manipulators with smallest degeneracy. **IEEE Trans. Robotics & Automat.**, (przyjęte do druku), 1994.
4. K. Tchoń : Normal forms of kinematic singularities of $3R$ robot manipulators. **Twente University**, Memo No 1124, 1993.
5. T. Kubik, K. Tchoń, R. Muszyński : Zastosowanie algorytmu Newtona do odwracania kinematyk osobliwych. **Materiały IV KKR**, Wrocław, 1993, (przyjęte do druku).

^{1*} Referat dotyczy prac wykonanych w ramach tematu badawczego "Metody topologiczno-różniczkowe w robotyce", grant KBN nr 3 3204 92 03 .

Projekt nr: S5.5 8 8506 92 03

Adaptacyjne układy pozycjonowania z wykorzystaniem siłowników
pneumatycznych

Kier. projektu: Dr hab. Krzysztof Janiszowski,
Instytut Automatyki Przemysłowej Politechniki Warszawskiej
02-525 Warszawa, ul. Chodkiewicza 8,

Cel badań: Przebadanie możliwości budowy programowalnego, adaptacyjnego systemu pozycjonowania z siłownikiem pneumatycznym sterowanym zaworem proporcjonalnym, przy zamierzonej dokładności ca. 10-20 μm i prędkościach przesuwu 2-3 m/s.

Zakres prowadzonych prac obejmuje:

- 1) Oprogramowanie systemu modelowania działania układów pozycyjnych z siłownikiem pneumatycznym i zaworem proporcjonalnym jako elementem wykonawczym - dla symulacyjnego testowania algorytmów odtwarzania zmiennych stanu, obserwatorów, sposobu prowadzenia adaptacji i regulacji,
- 2) Zbudowanie stanowiska badawczego złożonego z uniwersalnego stanowiska do montażu różnych siłowników (od 200 do 1000 mm, jedno i dwustronne działanie) o zmiennym obciążeniu, procesora sygnałowego stanowiącego autonomiczny sterownik lub inteligentny interfejs i komputera nadrzędnego służącego do celów testowania algorytmów, edycji wyników i kompilacji programów dla sterownika autonomicznego,
- 3) Sprawdzenie użyteczności znanych i stosowanych algorytmów obliczeniowych w zakresie wyznaczania modelu obiektu (off-line i on-line), odtwarzania zmiennych stanu metodami za pomocą obserwatorów i pochodnych numerycznych, regulacji przy pomocy algorytmów zmiennych stanu o stałych optymalizowanych nastawach, nastawach adaptowanych do modelu i nastawach strojonych z wykorzystaniem logiki zbiorów rozmytych oraz algorytmów predykcyjnych z synteza trajektorii stanów.
- 4) Przetestowanie ww metod na zestawie różnych siłowników oraz opro-

gramowanie wybranych algorytmów na procesorze sygnałowym 16-bitowym, który jest stosowany w aplikacjach przemysłowych,

5) Opracowanie pakietów automatycznego strojenia regulatorów stałych i adaptacyjnych dla pozycyjnych układów z napędami siłownikowymi.

Badany układ pozycyjny jest potencjalnie bardzo atrakcyjny w zakresie konstrukcji szybkich, lekkich, precyzyjnych i tanich robotów i manipulatorów, ale jest również charakteryzowany przez złożonością zjawisk: posiada istotne nieliniowości, jest niestacjonarny i wymaga adaptacji. Z tych powodów wykorzystanie siłowników w precyzyjnych układach pozycyjnych stanowi ciągle problem otwarty i nierozwiązany przez największych producentów w tej dziedzinie. Badania laboratoryjne wykazują możliwość realizacji takich układów, lecz podstawowym problemem jest zmienność warunków pracy układów siłownikowych i zmienność ich właściwości.

Omówiony zostanie zakres zaawansowania prac w poszczególnych punktach. Przedstawione zostaną praktycznie osiągalne wyniki regulacji, problemy jakie występują wraz z wnioskami w jaki sposób należy je rozwiązywać, konkretne zadania, które zostały rozwiązane jak również program dalszych zamierzeń badawczych. Zostanie omówiony sposób prowadzenia badań i współpracy w tym zakresie z innymi instytucjami.

Prof.dr hab.inż. Wiesław Niewczas
Dr inż. Willi Mednis
Instytut Automatyki Przemysłowej
Politechnika Warszawska
02-525 Warszawa, ul. Chodkiewicza 8

KONSPEKT WYSTĄPIENIA

pt.: "Stan badań nad przyczynami nierównomierności ruchu
siłowników płynowych"

dot. Projektu badawczego KBN Nr. 332019203

W referacie zostanie omówiona teza projektu tj. istnienie zależności między drganiami relaksacyjnymi (zjawisko stick - slip'u) napędu płynowego a równomiernością ruchu siłownika oraz możliwą w danych warunkach do osiągnięcia dokładnością tego pozycjonowania.

Przedstawione będą schematy stanowisk laboratoryjnych umożliwiających badanie warunków wystąpienia zjawiska stick - slip'u w urządzeniach napędzanych siłownikami płynowymi.

Zostanie również omówiony ogólny zarys metodyki pomiarowej i przyjętego sposobu przetwarzania oraz analizy wyników. Zaprezentowane będą niektóre przebiegi mierzonych wielkości odzwierciedlające nierównomierność ruchu.

W końcowej części referatu sformułowane zostaną wstępnie ustalone tendencje i wpływy występujące w badanym układzie.

Nowe i ulepszone algorytmy sterowania robotów przemysłowych

Prof. dr hab. Anatol Gosiewski

Instytut Automatyki, Politechnika Warszawska

I. UZYSKANE WYNIKI BADAWCZE

W zakresie algorytmów sterowania pozycyjnego wykonano:

- Syntezę wielowymiarowego regulatora liniowego, stabilizującego i odsprzęgającego dynamikę manipulatora, przystosowanego do pracy w warunkach CPC. Regulator ten wykorzystuje sprzężenia typu "feedforward" [1].
- Projekt zdecentralizowanego układu regulacji pojedynczej osi oparty o rezultaty uzyskane dla regulatora wielowymiarowego [1].
- Środowisko programowe dla badania algorytmów sterowania pozycyjnego wykorzystującego sprzężenia typu "feedforward" od prędkości i przyspieszenia zadanego [2].
- Eksperymentalną weryfikację wyżej wymienionych algorytmów i dokonano ich selekcji dla potrzeb zastosowań przemysłowych [2].
- Syntezę układu sterowania czaso-optimalnego dla warunków PTPC wykorzystującego ideę odsprzęgania i linearyzacji dynamiki manipulatora (computed torque control) [6].
- Projekt układu sterowania nadrzędnego dla warunków CPC oparty o ideę celowego odkształcania trajektorii zadanej eliminującego w istotnym stopniu wpływ interakcji dynamicznych występujących w manipulatorze i poprawiającego jakość sterowania. Wykonano wielowariantową analizę działania układu wraz z weryfikacją algorytmu na rzeczywistym robocie IRp-6 [3,4,5].

W zakresie algorytmów sterowania w systemach wielorobotowych wykonano:

- Efektywne algorytmy planowania "off line" dopuszczalnych ścieżek ruchu dwóch robotów wspólnie przenoszących jeden sztywny obiekt (dla PTPC, dla dowolnej liczby stopni swobody). Przeprowadzono wszechstronną analizę zaprojektowanych algorytmów [11,13].
- Algorytm planowania prędkości ruchu wzdłuż uprzednio wyznaczonych ścieżek oparty na odpowiedniej parametryzacji czasowej ścieżek dopuszczalnych [11,12].

W zakresie algorytmów sterowania siłowego wykonano:

- Analizę porównawczą układów sterowania siłowego robotów dokonaną na podstawie aktualnego stanu wiedzy. Dokonano wstępnego wyboru struktur sterowania siłowego, które mogą być zastosowane w robotach przemysłowych sterowanych pozycyjnie [7].
- Opracowano koncepcję hybrydowej architektury układu regulacji siły/położenia dla robota IRp-6 o pięciu stopniach swobody. Zaproponowany algorytm należy do klasy algorytmów wykorzystujących bezpośrednio sprzężenie zwrotne od siły obejmujące "pierwotny" regulator położenia [8,9].
- Dokonano wstępnej implementacji algorytmu sterowania siłowego opartego na wyżej wymienionej architekturze oraz przeprowadzono pozytywne eksperymenty sterowania siły docisku w połączeniu z regulacją położenia. Eksperymenty zostały wykonane przy użyciu czujnika siły LORD zainstalowanego na końcówce robota IRp-6 [9].

II. WYKAZ PRAC

1. A.Grodecki Multivariable Decentralized Robot Control zgłoszone na MELECON'94 (Mediterranean Electrotechnical Conference), Antalya, Turcja, kwiecień 1994
2. A.Grodecki Implementacja sprzężeń typu "feedforward" od prędkości i przyspieszenia w robocie IRp-6 Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku
3. K.Szacka Zastosowanie odkształcania trajektorii zadanej w układach sterowania robotów przemysłowych Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku
4. K.Szacka Algorytmy sterowania z modyfikacją trajektorii zadanej w przestrzeni zewnętrznej robotów przemysłowych Raport wewnętrzny Instytutu Automatyki PW (przewidziane do publikacji)
5. K.Szacka Zastosowanie układów sterowania z modyfikacją trajektorii zadanej do robota IRp-6 Raport wewnętrzny Instytutu Automatyki PW (przewidziane do publikacji)
6. A.Gosiewski, M.Hajdukiewicz Układ sterowania czaso-optimalnego wykorzystujący sprzężenie odsprzęgająco-linearyzujące Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku
7. A.Grodecki Analiza porównawcza układów sterowania siłowego robotów przemysłowych Biuletyn Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów, przygotowane do druku
8. A.Grodecki, A.Gosiewski Hybrydowy sterownik siły/położenia dla robota IRp-6, cz.I: Opis kinematyczny Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku
9. A.Grodecki Hybrydowy sterownik siły/położenia dla robota IRp-6, cz.II, Struktura układu i wyniki eksperymentalne Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku

10. W.Szynkiewicz, A.Gosiewski Constraints Satisfaction Approach To Admissible Path Determination for Two Cooperating Robot Arms Archives of Control Sciences, przyjęte do druku
11. W.Szynkiewicz, A.Gosiewski Trajectory Planning for Two Coordinated Robot Arms Handling One Object Archives of Control Sciences, przygotowane do druku
12. W.Szynkiewicz Zastosowanie funkcji sklepanych do aproksymacji ścieżek ruchu dla dwóch współpracujących robotów Materiały 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław, wrzesień 1993, przygotowane do druku
13. W.Szynkiewicz Admissible Path Planning for Two Cooperating Robot Arms zgłoszone na MELECON'94 (Mediterranean Electrotechnical Conference), Antalya, Turcja, kwiecień 1994

III. OTWARTE PRZEWODY DOKTORSKIE

1. Andrzej Grodecki, temat: „Algorytmy sterowania robotów przemysłowych – modyfikacje i analiza porównawcza”, otw. 23.04.1991, promotor prof. dr hab. A. Gosiewski.
2. Wojciech Szynkiewicz, temat: „Algorytmy planowania trajektorii ruchu w systemach wielorobotowych”, otw. 27.04.1993, promotor prof. dr hab. A. Gosiewski.

BADANIA DOŚWIADCZALNE RAMIENIA NOWEGO TYPU ROBOTA WŁASNEJ KONSTRUKCJI
I OCENA JEGO WŁASNOŚCI MANIPULACYJNYCH NA TLE INNYCH ROBOTÓW
PRZY ZASTOSOWANIU RÓŻNYCH METOD I KRYTERIÓW

Nr projektu KBN: 8 S 505 042 04

Kierownik projektu: prof. dr hab. inż. Andrzej Olędzki

Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej

Politechniki Warszawskiej

W ramach projektu wykonywane są prace teoretyczne i doświadczalne. Część teoretyczna dotyczy rozwoju metod służących do opisu, oceny oraz kształtowania własności manipulacyjnych robotów.

Dokonywany jest obecnie przegląd dotychczasowych metod opisu i oceny własności dynamicznych manipulatorów. Zaproponowano własną metodę, która w prosty sposób określa zdolność ramienia manipulatora do wykonywania szybkich ruchów po różnych torach. W metodzie tej na podstawie analizy dynamicznej w przestrzeni kartezjańskiej wyznaczane są m. in. zakresy osiąganych przyspieszeń stycznych końcówki ramienia oraz jej przyspieszeń normalnych, określających dopuszczalne krzywizny torów przechodzących przez wybrany punkt przestrzeni roboczej, przy wykorzystaniu ruchów z prędkością nominalną. Łatwo można przy tym wyznaczyć taki fragment przestrzeni roboczej, w którym możliwe są ruchy prostoliniowe o dowolnym kierunku z ustaloną prędkością, nie przekraczającą prędkości nominalnej. Metoda ta jest obecnie wykorzystywana przy wstępnym projektowaniu szybkiego manipulatora o zredukowanych interakcjach dynamicznych.

Prowadzone są prace nad modelowaniem manipulatorów z uwzględnieniem podatności i tarcia w parach kinematycznych, ze szczególnym uwzględnieniem łożysk i przekładni śrubowych toczone. Stanowią one wstępną fazę prac nad metodami określania i kształtowania powtarzalności pozycjonowania na etapie projektowania i montażu manipulatora,

Część doświadczalną stanowią szczegółowe badania modelu-prototypu ramienia manipulatora własnej konstrukcji o nietypowej szeregowo-równoległej strukturze. Podobne konstrukcje pojawiają się ostatnio w robotach przeznaczonych do obróbki mechanicznej przedmiotów o skomplikowanych kształtach np. łopat śmigieł.

W pierwszej fazie realizacji projektu wykonano nowy, cyfrowy układ sterowania z obrotowo-impulsowymi przetwornikami położenia, zapewniający współpracę z komputerem. Zaprojektowano i wykonano elementy stanowiska

badawczego do wyznaczania sztywności i histerezy mechanicznej ramienia robota szeregowo-równoległego. Dokonano zakupu komputera 486 2DX/66 Mhz, SVGa, HD340 Mb oraz aparatury badawczej.

Wykonano badania wstępne podatności i histerezy mechanicznej siłownika elektrycznego z przekładnią śrubową toczną. W tym celu zaprojektowano, wykonano i uruchomiono własny układ zasilająco-sterujący oraz system pomiarowy pozwalający na wykonywanie badań zarówno w warunkach quasistatycznych jak i dynamicznych.

Dalsze badania doświadczalne obejmować będą: identyfikację parametrów przyjętych modeli dynamicznych robota, wyznaczanie sztywności i histerezy mechanicznej, badanie procesów przejściowych i drgań, badania dokładności pozycjonowania i odtwarzania zadanego toru oraz weryfikację metod opracowanych w części teoretycznej. Przewiduje się również dokonanie pewnych zmian w konstrukcji ramienia.

Na podstawie wyników analizy dynamicznej i badań doświadczalnych modelu-prototypu ramienia oraz dostępnych wyników badań dotyczących innych robotów, zostanie przeprowadzona ocena własności manipulacyjnych ramienia. Przewiduje się, że wnioski ogólne z badań oraz opracowane metody opisu i oceny własności manipulacyjnych znajdą zastosowanie zarówno przy projektowaniu nowych konstrukcji robotów, jak też w planowaniu zadań dla robotów istniejących.

DOTYCZĄCE PRZYGOTOWANE PUBLIKACJE:

- [1] Mianowski K.: Analityczno-doświadczalna metoda minimalizacji histerezy LOST MOTION w układach redukcji i transmisji napędu robota szeregowo-równoległego, materiały konferencji POLIOPTYMALIZACJA, Mielno 1993 (w druku),
- [2] Mianowski K.: Wyniki wstępnych badań sztywności i histerezy mechanicznej robota o szeregowo-równoległej strukturze ramienia, materiały IV Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław 1993 (w druku),
- [3] Nazarczuk K.: Określanie niektórych osiągnięć ramienia manipulatora, materiały IV Krajowej Konferencji Robotyki, Wrocław 1993 (w druku).

[4] Pachuta M., Jabłoński P., Wawerek Zb.: Cyfrowe sterowniki dla napędów robotów elektrycznych - pnemnatycznych". Materiały IX Krajowej Konferencji Robotyki Wrocław 1993r (w druku).

STEROWNIK ROBOTÓW WYPOSAŻONYCH W RÓŻNORODNE CZUJNIKI

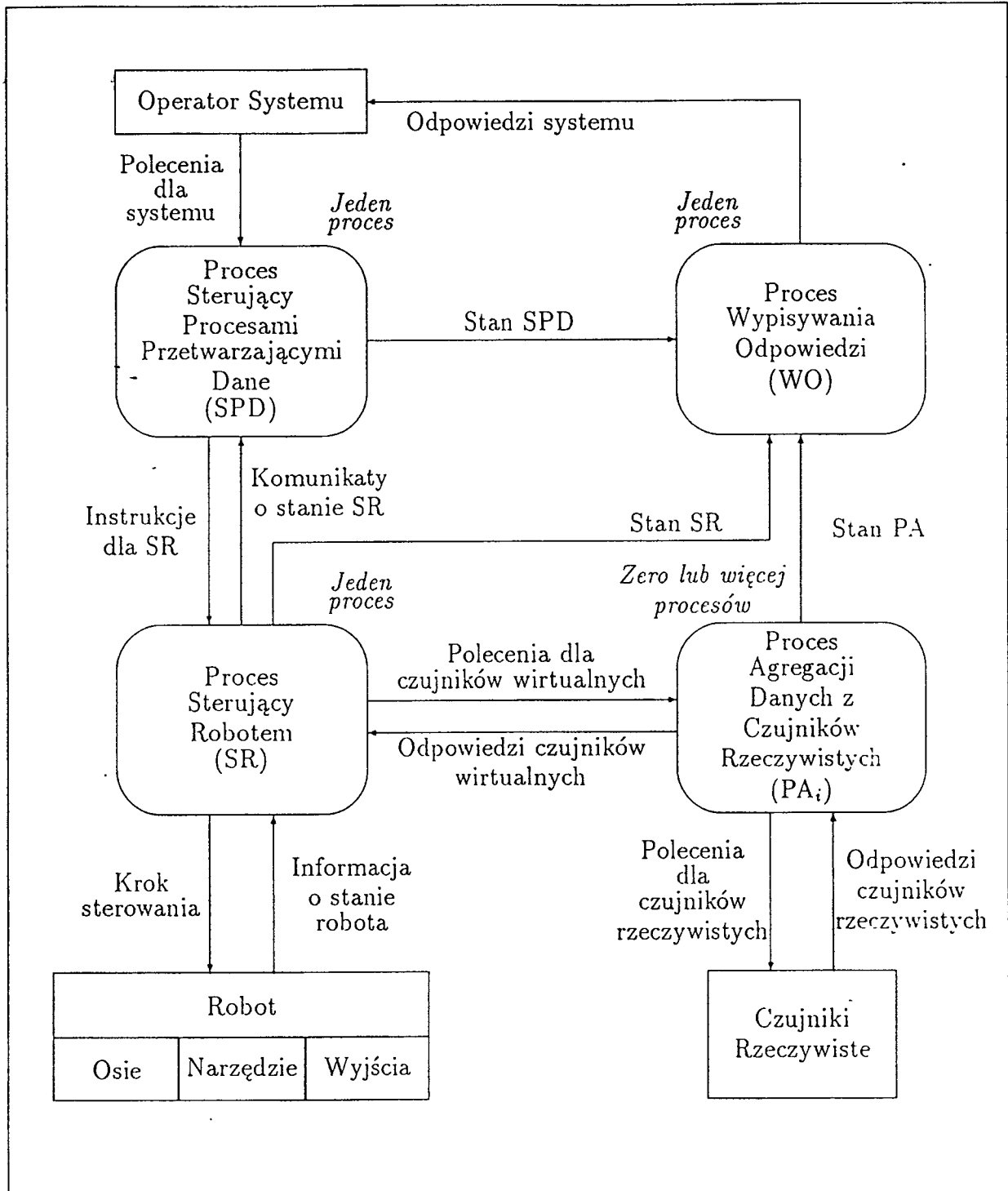
CEZARY ZIELIŃSKI

Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki, ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa

W referacie zostanie przedstawiony rekonfigurowalny sterownik robotów, który może być dostosowywany dokładnie do zadania, które ma być wykonane przez robota. Ponieważ w momencie wytwarzania robota nie można określić zadania, które będzie on wykonywał, to również nie można przewidzieć w jakie czujniki będzie wyposażony oraz jak będą musiały być przetwarzane i wykorzystane dane z tych czujników. W związku z tym określono ogólnie strukturę sterownika – szkielet – oraz stworzono bibliotekę modułów programowych, które mogą zostać wykorzystane do wypełnienia tego szkieletu. Jeżeli zadanie wymaga stworzenia nowych lub modyfikacji już istniejących modułów, to projektant sterownika (programista) może to zrobić, jedynie musi stosować się do pewnych reguł, aby nie zniszczyć szkieletu.

Ponieważ dane otrzymywane z czujników rzeczywistych (sprzętowych) rzadko bezpośrednio nadają się do sterowania, więc muszą być agregowane. Wynikowy agregat informacyjny nazywany jest czujnikiem wirtualnym. W przypadku kilku prostych czujników rzeczywistych dane są łączone tak, aby uzyskać pojedynczy pomiar użyteczny przy sterowaniu. W przypadku czujników złożonych – np. kamera – z uzyskanych danych wyodrębniane są poszczególne cechy. Każdy z czujników wirtualnych został zaimplementowany jako proces działający współbieżnie do innych procesów czujników wirtualnych oraz procesu sterującego ramieniem robota. Zadaniem procesu tworzącego czujnik wirtualny jest odczytywanie, a następnie agregacja danych otrzymanych z czujników rzeczywistych oraz przekazywanie wyniku przetwarzania do procesu sterującego ramieniem. Wszystkie procesy komunikują się za pomocą potoków danych, natomiast ich synchronizacja odbywa się za pomocą semaforów. Struktura systemu przedstawiona jest na rys.1.

Proces sterujący robotem może współpracować z procesami agregującymi dane w sposób interakcyjny (żądać danych, a następnie oczekiwać na ich uzyskanie) lub bez interakcji (odbierać dane w miarę jak są nadsyłane). Proces sterujący ramieniem konstruowany jest z wywołań procedur, które wytwarzają: wartości przyrostów położenia wałów silników, kąty pomiędzy poszczególnymi członami łańcucha kinematycznego lub trzy współrzędne kartezjańskie końca narzędzia i wersora osi narzędzia. Zakłada się, że narzędzie jest osiowo symetryczne, gdyż robot IRp-6, dla którego stworzono sterownik, ma jedynie pięć stopni swobody. Ponadto stworzono dodatkowe dwa procesy: nasłuchujący poleceń operatora systemu oraz wyświetlający komunikaty i dane w okienkach na ekranie monitora. Całość oprogramowania napisana jest we współbieżnej wersji języka C. Programista tworzący sterownik dostosowany do zadania, które robot ma wykonać, korzysta zarówno z biblioteki gotowych modułów jak i z dowolnych instrukcji języka C. Całość oprogramowania działa w podziale czasu na komputerze IBM PC/486-33MHz oraz wykorzystuje zasoby sprzętowe (np. serwomechanizmy i pakiety wej/wyj) oryginalnego układu sterowania robotem IRp-6 i interfejs równoległy sprzęgający obie części systemu. Zarówno metodologia tworzenia sterowników jak i działanie kilku takich sterowników zostało sprawdzone na zadaniu poszukiwania drogi w labiryncie z wykorzystaniem informacji uzyskanej z pięciobitowego czujnika dotykowego. Aktualnie prowadzone są prace nad dołączeniem czujnika sił i momentów sił oraz kamery do sterownika.



Rys. 1: Struktura programowa systemu

Marek Trombski, Jacek Kłosiński, Ludwik Majewski,
Stanisław Suwaj

AUTOMATYZACJA STEROWANIA RUCHAMI ROBOCZYMI
PRZEJEZDNYCH MASZYN ROBOCZYCH

Celem pracy jest zbudowanie modelu przestrzennego dźwigu przystosowanego do opracowania strategii sterowania ruchami roboczymi, których symulacja komputerowa byłaby pomocna w projektowaniu automatyzacji napędów maszyn roboczych.

Praca obejmuje budowę modelu przestrzennego dźwigu pozwalającego na analizę dynamiczną dźwigu podczas dowolnej sekwencji podstawowych ruchów roboczych a mianowicie: podnoszenia - opuszczania, obrotu, zmiany wysięgu. Model dźwigu jest modelem dyskretnym o osmiu stopniach swobody. Uwzględniono podatność układu podporowego oraz tłumienie w podstawowych członach dźwigu. Model ten umożliwia również analizę fazy odrywania ładunku od podłoża oraz posadowienia go na nim, co wymaga uwzględnienia zmiennej liczby stopni swobody modelu dla różnych faz pracy dźwigu. Określono warunki pozwalające rozróżnić stan w którym ładunek jest uniesiony oraz dwa przypadki przy ładunku leżącym na podłożu: lina swobodna, lina napięta. Równania ruchu wprowadzono z równań Lagrange'a i mają one postać:

$$A(\mathbf{x}, \mathbf{u})\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \mathbf{u}, t)$$

gdzie: $\mathbf{u} = \text{col}[\varphi(t), l_n(t), l_s(t)]$ oznacza wektor funkcji wymuszających poszczególne ruchy robocze: obrót, podnoszenie - opuszczanie, zmiana wysięgu. Przyjęto, że wymuszenia te są wymuszeniami kinematycznymi. Model ten umożliwia aktywną kontrolę stateczności w trakcie analizowanych ruchów roboczych poprzez obliczanie wartości reakcji w układzie podporowym w każdym kroku całkowania równań ruchu.

Do przeprowadzenia analizy dynamicznej dźwigu z uwzględnieniem luzu i tarcia w parach kinematycznych wysięgnika teleskopowego zbudowano przestrzenny model dźwigu o 10 stopniach swobody z dyskretnym rozkładem mas i sprężystości.

Do analizy sterowania ruchami roboczymi zastosowano uproszczone modele pozwalające analizować jeden z wybranych ruchów roboczych. Przy sterowaniu obrotem badano model z podwoziem na sprężystych podporach, z podwoziem posiadającym jedynie możliwość wykonywania ruchu obrotowego względem osi pionowej i z nieruchomym podwoziem. W modelu uwzględniono charakterystykę przekładni hydrostatycznej jako członu napędowego ruchu obrotowego. Ładunek potraktowano jako wahadło sferyczne. Celem pracy było znalezienie takiej strategii sterowania ruchem obrotowym dźwigu, aby wahania ładunku w punkcie końcowym ruchu obrotowego nadwozia były minimalne. Analizowano wpływ zastosowania różnych typów regulatorów i różnych przebiegów wymuszeń, jednak przy założeniu, że ruch obrotowy nadwozia składa się z trzech faz: rozruchu, obrotu z niemal stałą prędkością obrotową i hamowania z opóźnieniem identycznym jak przyspieszenie w fazie rozruchu.

W wyniku przeprowadzonych symulacji numerycznych sformułowano wnioski odnośnie poszukiwanej strategii sterowania.

1. Realizacja układu regulacji z wielkością wiodącą odpowiadająca założonemu przebiegowi rzutu wahań nosiwa na kierunku styczny do toru wykreślonego w trakcie ruchu obrotowego przez wierzchołek wysięgnika umożliwia osiągnięcie pożądanego zachowania się nosiwa, najczęściej jest to minimalizacja wahań ładunku w punkcie końcowym.
2. Przedstawiony układ sterowania jest mało wrażliwy na zmiany struktury modelu obiektu regulacji i w analizowanym zakresie również na przebieg wielkości wiodącej co prawdopodobnie pozwoli na realizację tej strategii z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z rzeczywistych charakterystyk elementów napędowych.
3. Najlepsze efekty przynosi takie sterowanie ruchem obrotowym dźwigu, przy którym ruch ładunku (przynajmniej w fazach rozruchu i hamowania) odbywa się w płaszczyznach pionowych - wówczas zagadnienie można aproksymować wielokrotnym rozwiązaniem płaskiego wahadła.

EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA CYFROWYCH ALGORYTMÓW STEROWANIA ROBOTAMI PRZEMYSŁOWYMI

Projekt badawczy nr 8 S 505 039 04

**Kierownik projektu: dr inż. Piotr Jabłoński
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów**

Celem projektu jest opracowanie metody weryfikacji różnych algorytmów regulacji napędów robota przemysłowego, praktyczne sprawdzenie tej metody i wybór optymalnego algorytmu do stosowania w robocie przemysłowym.

Do tej pory (w okresie kwiecień - listopad 1993 r.) wykonano:

- Opracowano podstawy teoretyczne algorytmów wykorzystujących sprzężenia typu " feedforward " od prędkości zadanej i przyspieszenia zadanego, dla wersji ciągłej i dyskretnej układu regulacji. Przeprowadzono badania symulacyjne opracowanych algorytmów.
- Opracowano urządzenie dla laboratorium robotowego Instytutu Automatyki PW. Urządzenie to umożliwi prowadzenie prac badawczych i zajęć dydaktycznych w zakresie napędów elektrycznych robotów przemysłowych.

Dotychczasowe rezultaty projektu były prezentowane na 4-tej Krajowej Konferencji Robotyki, a mianowicie:

1. Grodecki A. " Implementacja sprzężeń feedforward od prędkości i przyspieszenia w robocie IRp-6 ".
2. Pachuta M., Jabłoński P., Wawerek Zb. " Cyfrowe sterowniki dla napędów robotów przemysłowych ".
3. Jabłoński P., Pachuta M., Pilat Zb., Wawerek Zb. " Stanowisko edukacyjne do badań napędów elektrycznych robotów przemysłowych ".

ROBOT PRZEMYSŁOWY SZKLARSKI

Grant KBN 8 0582 91 0C

Kierownik projektu: mgr inż. T. Sarnowski
Zakłady Automatyki Przemysłowej ZAP S.A.
63-400 Ostrów Wlkp.
ul. Krotoszyńska 35

KONSPEKT WYSTĄPIENIA NA SEMINARIUM W ZAKRESIE PREZENTACJI GRANTÓW

- 1. Temat projektu:** Robot przemysłowy szklarski.
- 2. Zakres projektu:** Opracowanie, wykonanie i przebadanie prototypu robota szklarskiego.
- 3. Cel realizacji projektu:** Celem realizacji projektu było wykonanie prac rozwojowych umożliwiających uruchomienie produkcji przemysłowej robotów z przeznaczeniem do przemysłu szklarskiego.
- 4. Realizator prac B+R:** ZAP S.A. Zakład Robotów Przemysłowych, Politechnika Śląska Instytut Automatyki.
- 5. Przebieg realizacji:** W ramach projektu skonstruowano, wykonano i przebadano w warunkach przemysłowych prototyp kompletnej aplikacji z robotem szklarskim przeznaczonej do przenoszenia porcji szkła z pieca do automatu formującego.
- 6. Parametry techniczne:** Ilość osi 4 + 1 (tor jezdny)
Udźwig 6 kg
Obrót palicy 0+60 obr/min.
- 7. Stan aktualny:** Możliwość produkcji robotów szklarskich typu IRp-S.

prof. dr hab inż. Kazimierz Bisztyga
dr inż. Barbara Bisztyga - kierownik grantu

Katedra Automatyki Napędu i Urządzeń
Przemysłowych A G H

Temat Grantu:

SILNIK ASYNCHRONICZNY W UKŁADACH NAPĘDOWYCH
ROBOTYKI

Zadania określone we wstępnym etapie projektu są przedstawione w następujących publikacjach :

- [1] B.Bisztyga - "Analiza porównawcza metod syntezy układów o zmiennej strukturze",
Zeszyty Naukowe AGH, Z12, Nr3, Kraków 1993 (w druku).

Zawiera obszerną analizę metod syntezy układów o zmiennej strukturze (VSS). Przedstawiono zarówno klasyczne metody (metoda osobliwej funkcji Lapunova, czy sterowania hierarchicznego), jak i nowoczesne ujęcie problematyki z wykorzystaniem definicji i twierdzeń geometrii różniczkowej. Rozważono także zagadnienia szczegółowe jak: warunki istnienia ruchu ślizgowego na zadanej rozmaitości, interakcje i odsprzęganie w wielowymiarowych nieliniowych układach sterowania (VSS) oraz możliwości linearyzacji tych układów. Przeprowadzono badania symulacyjne dynamiki ruchu mas robota przemysłowego o dwóch stopniach swobody, dla sygnałów sterujących, wyznaczonych różnymi metodami. W metodzie sterowania hierarchicznego sygnałami sterującymi są momenty zewnętrzne określone przez liniowe sprzężenia zwrotne od stanu. W metodzie Lapunova momenty sterujące wyznaczane są w nieliniowej pętli sprzężenia zwrotnego. Dla pozostałych metod, związanych z transformacją sterowań (i zmiennych stanu), sygnały sterujące są przyspieszeniami i mają postać liniowych sprzężeń zwrotnych od stanu. Metody te pozwalają na łatwą weryfikację właściwości dynamicznych układu w etapie projektowania systemu sterowania, w szczególności pozwalają na zbadanie dynamiki ruchu ślizgowego dla każdego ramienia niezależnie.

- [2] B.Bisztyga - "Badania symulacyjne dynamiki ruchu mas robota przemysłowego w układzie sterowania VSS (sliding mode)", Referat wygłoszony na KKR-Wrocław, wrzesień 1993.

Przedstawiono problematykę sterowania ruchem robota w układzie VSS. Założono, że ruch ślizgowy odbywa się na płaskiej rozmaitości. Wykorzystano twierdzenia geometrii różniczkowej o linearyzacji i odsprzęganiu. Wprowadzono regularne statyczne sprzężenie zwrotne (jako wystarczające) w celu eliminacji interakcji oraz transformację zmiennych stanu, prowadzącą do pełnej linearyzacji układu. Dla poszczególnych ramion robota wyznaczono sterowania realizujące zadane trajektorie ślizgowe. Badania ukierunkowano na problem dokładności modelu mate-

matycznego dynamiki układu mas robota. Na podstawie modelu bowiem, wyznacza się transformację pętli odsprzęgającej. Przeprowadzono analizę teoretyczną wpływu niedokładności realizacji pętli odsprzęgającej na charakterystyki dynamiczne układu, a zwłaszcza procesu ślizgowego. W wyniku syntezy sterowania - zmodyfikowano strukturę sterowania, przyjętą dla układu "idealnego" tak, aby wyeliminować pojawiające się zakłócenia w pętli odsprzęgającej. Na tej podstawie i w rezultacie wykonanych badań symulacyjnych stwierdzono, że metoda sterowania VSS pozwala na zaprojektowanie układu niewrażliwego na niedokładności modelu występujące w realizacji wewnętrznych nieregulacyjnych sprzężeń zwrotnych. Badania dotyczyły układu o 2-ch stopniach swobody.

[3] B.Biszyta - "Badania symulacyjne dynamiki wielowymiarowego obiektu w układzie sterowania VSS", Referat przyjęty wstępnie na KKA - Gdynia 1994.

Rozwinięto problematykę przedstawioną w referacie [2] tzn. problem dokładności realizacji pętli odsprzęgającej i jej wpływu na dynamikę układu mas robota o trzech stopniach swobody. Rozszerzono zagadnienie praktycznej realizacji zadanych trajektorii ślizgowych przy ograniczeniach wynikających z warunków realnych prowadzenia procesu sterowania. W układzie sterowania uwzględniono niedokładności pomiaru zmiennych obserwowalnych w tym także błędy dyskretyzacji i kwantyzacji oraz interpolacji prędkości na podstawie cyfrowego pomiaru kąta obrotu.

[4] K. Biszyta - "Silniki elektryczne dla robotyki", Artykuł przygotowany do druku.

Omówiono w nim obecne tendencje rozwojowe w dziedzinie konstrukcji maszyn elektrycznych i układów napędowych, uwzględniające wymagania stawiane silnikom stosowanym w mechanizmach robotów. Wprowadzono pojęcie wydolności dynamicznej, które może służyć jako wielkość porównawcza silników różnych typów i konstrukcji. Zgodnie z główną problematyką opracowywanego tematu, poddano szczegółowej analizie silniki asynchroniczne pod kątem ich właściwości dynamicznych oraz granicznych parametrów statycznych, przy osłabionym polu. Zaznaczono wpływ przełożenia przekładni mechanicznej na dynamikę układu elektromechanicznego. Krótko nakreślono perspektywy silników synchronicznych ze stałymi magnesami z ziem rzadkich, ich szerokie możliwości w układach sterowania pozycyjnego przy niskich prędkościach obrotowych i znacznych momentach. Podano najważniejsze kryteria doboru silników dla mechanizmów robota, do których zaliczono: koszt silnika i koszt układu zasilania, moc w jednostce objętości i ciężar na jednostkę mocy oraz zakres regulowanej prędkości obrotowej.

Zwrócono uwagę na straty i pojemność cieplną, na gładkość momentu obrotowego ważną w precyzyjnych układach robotów montażowych.

[5] K.Biszyta - "Modele matematyczne silnika asynchronicznego dla sterowania napędami robotów", Artykuł przygotowany do druku.

Przeprowadzono krytyczną ocenę modeli matematycznych silnika asynchronicznego. Zmodyfikowano schemat zastępczy, wprowadzając jego wersję "T" (w odróżnieniu od klasycznej "T") oraz wersję "T", szczególnie ilustratywnie w układach regulacji ze stałym strumieniem stojana Ψ_s lub wirnika Ψ_r . Zmodyfikowane układy zastępcze rozszerzono na stany dynamiczne, wprowadzając strumienie jako zmienne stanu, względnie kombinację prądów i strumieni, szczególnie korzystną w układach regulacji według polowo zorientowanych składowych prądu. Otrzymane modele poddano dyskretyzacji dla celów symulacyjnych oraz dla późniejszej cyfrowej regulacji układu napędowego. Podano zasady syntezy regulatora prądu (momentu). Wprowadzone schematy zmodyfikowane "T" oraz "T" pozwalają na szybką pomiarową estymację parametrów, niezbędnych

dla wyprowadzenia równań stanu. W następnych etapach przewiduje się opracowanie metody identyfikacji.

W projekcie zostaną wykorzystane przedstawione metody syntezy sterowania VSS . Realizacja teoretycznie wyznaczonych momentów sterujących zostanie zweryfikowana dla układów napędowych, których elementami wykonawczymi są silniki asynchroniczne. Zasadniczym celem badań jest ocena możliwości praktycznej realizacji pewnych trajektorii fazowych dla układu mas robota.

Projekt badawczy Nr 3.0646 91 01

Pod tytułem: "Dynamika i sterowanie wielomaszynowymi układami elektromechanicznymi robotów i procesów technologicznych o charakterze ciągłym i mieszanym".

Kierownik projektu:

Prof.zw.dr hab.inż.Ryszard KOZIOŁ,

Adres:

30-161 Kraków

ul.Kolberga 8/11

tel. 33-64-52

Data rozpoczęcia projektu 29.11.91 r.

Data zakończenia realizacji projektu 30.09.94 r.

Projekt jest kontynuacją prac, finansowanego w pierwszym półroczu przez MEN (DNS-T/02/107/90). Częściowe wyniki tych prac zostały opublikowane w licznych publikacjach a także w dwóch książkach:

- (1) Kozioł R., Sawicki J, Szklarski L.: Digital Control of Electric Drives Elsevier, Amsterdam 1992.
- (2) Hejmo W., Kozioł R.: Sterowanie optymalne i adaptacyjne. Ossolineum, Wrocław 1991.

Opis uzyskanych wyników

W ramach badań w projekcie wykonano następujące zadania:

- opracowano metodykę komputerowe^{-go} wyboru nastaw cyfrowych regulatorów parametrycznie optymalnych dla napędu elektrycznego.
- zrealizowano i przetestowano symulacyjnie metody syntezy estymatorów stanu deterministycznego (liniowych i nieliniowych) oraz stochastycznych (rozszerzony filtr Kalmana) dla sygnałów napędu prądu przemiennego.
- opracowano wytyczne dla wyboru metod całkowania numerycznego w symulacji układów elektromechanicznych.
- przetestowano i przeprowadzono analizę porównawczą języków symulacyjnych i pakietów zorientowanych problemowo na symulacje układów napędu elektrycznego.
- metody topologii różniczkowej w syntezie sterowania napędami elektrycznymi.
- dynamika i modelowanie robota przemysłowego (wg rotacji Denavita-Hartenberga).

- czasooptymalne sterowanie napędów pozycyjnych (roboty) z uwzględnieniem nieciągłości i nieliniowości oporów ruchu (Rozwiązanie Caratheodory'ego, Filippowa i Krasowskiego), przypadek deterministyczny i stochastyczny.
- analiza dynamiki układu wielowymiarowego z uwzględnieniem powiązań materiałowych (walcownie) i uwarunkowania czasowe (linie zrobotyzowane).
- synteza struktury sterowania wielomaszynowych układów elektromechanicznych w oparciu o Sieci Petriego, metody geometrii różniczkowej, metody modelowania i symulacji komputerowej.

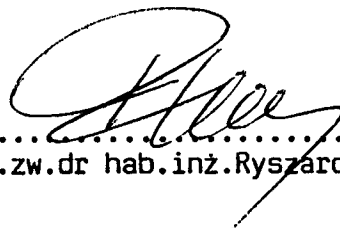
Ważniejsze publikacje

- 1) Hejmo W., Kozioł R.,: Systemy mikroprocesorowe w automatyce napędu elektrycznego. WNT, Warszawa, Wyd. II całkowicie zmienione (w druku).
- 2) Kozioł R., Sawicki J.,: Metody doboru okresu próbkowania dla nieliniowych obiektów sterowania . ,XV - SPETO , 1992.
- 3) Kozioł R., Sawicki J.,: Some problems in analysis and synthesis of rolling mills control systems. Journal of Materials Processing, 34 (1992) Elsevier.
- 4) Kuzniecov B.J. Kozioł R.: Matematическая модель многоклетового стана холодной прокатки как объекта регулирования толщины полосы. Известия Высших Учебных Заведений. Чёрная Металлургия 6, 1992.
- 5) Kuzniecov B.J., Kozioł R.,: Modelowanie na EWM trzechkietowego stana chołodnoy prokutki. Чёрная Металлургия 4, 1992.
- 6) Kuzniecov B.J. , Kozioł R. : Issledowanie na EWM dynamiczeskich charakteristik dwuchkanalnogo elektropriwoda z uprugim zbierom dlja portalnogo robota. Чёрная Металлургия 1, 1993.
- 7) Kozioł R., Sawicki J.: Rozszerzony filtr Kalmana w identyfikacji parametrów nieliniowego obiektu dynamicznego, XVI - SPETO 1993.
- 8) Stankiewicz A., Świątek B.,: Komputerowo wspomagana synteza suboptymalnego regulatora w układzie elektromechanicznym, XV - SPETO 1992.
- 9) Stankiewicz A., Świątek B.,: Zastosowanie komputerowych metod obliczeniowych do wyznaczania optymalnych trajektorii układu dynamicznego. XV-SPETO 1993
- 10) Dzieża J.,: Dobór sprzężenia zwrotnego odsprzęgającego układ nieliniowy od zakłóceń na przykładzie silnika indukcyjnego. XVI- SPETO 1993.

Liczba publikacji zespołu realizującego projekt wynosi 26 pozycji.

Powyższe publikacje podano wrywkowo.

Wszystkie one zostaną zamieszczone w końcowym raporcie.



.....
Prof.zw.dr hab.inż.Ryszard Kozioł