ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z.115 Nr kol. 1251

Henryk KOWALOWSKI
Politechnika Śląska

OSOBLIWOŚCI INTELIGENTNEGO STEROWANIA W SYSTEMACH CZASU RZECZYWISTEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono podstawowe różnice pomiędzy konwencjonalnymi i czasowo-rzeczywistymi aplikacjami metod sztucznej inteligencji z punktu widzenia problemów procesów generowania sterowań, gdzie można zastosować doskonalone, wciąż rozwijane systemy eksperckie. Podano propozycję współpracy inteligentnego sterowania z zadaniami tradycyjnego sterowania w więzach Systemów Czasu Rzeczywistego. Wiele zadań nie jest gotowych do takich zastosowań. Należą tu przede wszystkim problemy gwarantowania czasu odpowiedzi w procesie wnioskowania, szybka i efektywna reprezentacja wiedzy i wnioskowanie równoległe. W artykule prezentuje się niektóre idee pokonywania tych trudności.

UNIQUE FEATURES OF REAL-TIME INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

Summary: In this work basic differences between classic and real time applications of artificial intelligence have been discussed. In particular the problems of generation of control algorithms supported by the use of expert systems are considered. An idea of cooperation between the intelligent controller and classic tasks within the frame work of real time systems is presented. Many control tasks are not ready for this class of applications. The main problem is a time delay during the solution generation, fast and efficient knowledge representation and parallel reasoning. Chosen ideas leading to the solution of these problems are presented in this paper.

DIE BESONDERHEITEN DER INTELLIGENTEN STEUERUNGSAUFGABEN IN DEN REAL-ZEIT SYSTEMEN

Zusammenfassung: In der Arbeit wurden die wesentlichen Unterschiedlichkeiten zwischen konventionellen und Real-Zeit Applikationen der Methoden und Modellen der Künstlicher Intelligenz zur Generierung der Steuerungen in Strukturen der Expertsysteme dargestellt. Die Intelligentsteuerung in Real-Zeit Systemen soll die Antwort zur bestimmten Zeit sichern, wo die Zeit mit dynamischen Verhalten der Intelligenten Produktionssysteme eng verbunden ist.

Bisher angewandte Intelligente Generierung der Steuerungen gründete sich vor allem auf statischen Daten und Wissensrepräsentationen, wo die Anworten in kritischen Zeiten nicht bedingt waren. Zeitkritische Steuerungsgenerierungen realisierte in Real-Zeit, welche auf in der Zeit verendlichen Informationsfunktion gegründet sind, erzeugen in Berechnungsprozessen neue Probleme, welche in den Intelligenten Steuerungen berücksichtigt sein sollen. In der Arbeit sind einige Ideen zur überwinden dieser Hindernisse präsentiert.

1. Wprowadzenie

Autor rozwijający poprzednio metodologię tworzenia wybranej klasy modeli Sztucznej Inteligencji (SI) do generowania sterowań w Inteligentnych Systemach Produkcji (ISP) [1,2,3] przedstawia w pracy nowe problemy, które rodzi bezpośrednie sterowanie eksperckie.

Współczesne, komputerowo zintegrowane, robotyzowane, elastycznie automatyzowane systemy produkcji w swej wielopoziomowej hierarchicznej strukturze łączą sterowanie oparte o wiedzę i mechanizmy wnioskowania w racjonalnej symbiozie ze sterowaniem konwencjonalnym na podstawie modeli matematycznych, identyfikacji i metod optymalizacji klasycznej teorii sterowania. Przyjmijmy dalej, że w takich przypadkach mamy do czynienia ze sterowaniem inteligentnym.

W sterowaniu inteligentnym ważną rolę odgrywają różne typy informacji. Niektóre dotyczą struktury systemu oraz sterowników, inne są bardziej związane z niższymi poziomami, sygnałami we/wy i ich interpretacją. Każdy typ informacji ma swoją własną reprezentację. Na wyższym poziomie przetwarzania informacji ważną rolę odgrywa jasność reprezentacji wiedzy. Odpowiednią reprezentację wiedzy znajduje się w obiektowo zorientowanym opisie wysokiego poziomu złożonych powłok eksperckich. Przetwarzanie sygnałów odgrywa również ważną rolę na niższych poziomach automatyzacji, gdyż jest wykorzystywane np. w sieciach neuronowych oraz konwencjonalnych optymalizacyjnych modelach matematycznych.
Integracja wszystkiego w myśl idei inteligentnego sterowania wymaga wielowarstwowej struktury, która skupia różne metody przetwarzania informacji leżące u podstaw matematycznych obliczeń.
Wielowarstwowa struktura systemu eksperckiego, w tym czasu rzeczywistego (sterownika inteligentnego), którą uważa się za podstawę mechanizmu sterowania inteligentnego, grupuje warstwy zgodnie z zasadą IPDI (Increasing Precision Decreasing Inteligence - mniej zdefiniowany system wymaga większej inteligencji). Ideę IPDI można upowszechnić w rozwoju niższych poziomów sterownika inteligentnego, złożonego z wielu części, z własnym rodzajem inteligencji. Na najniższym poziomie użytkownik zapisuje np. polecenia i zależności w logice boolowskiej, natomiast na wyższych poziomach umieszcza się odpowiednio bardziej zawansowane strategie wnioskowania - np. logiki rozmytej czy struktur obiektowo zorientowanych.

Sieci neuronowe, które odgrywają ważną rolę w komunikacji inteligentnego sterowania w kombinacji z symbolicznymi reprezentacjami SI, tworzą ważniejsze instrumenty realizacji. Uznaje się, że sieci neuronowe mogą być stosowane na wszystkich poziomach struktury inteligentnego sterowania. Mogą one modelować niezupełnie znane przebiegi i silnie nieliniowe procesy, a także mogą być wykorzystywane do nauczania sieci w odtworzeniu szczególnych zadań sterowania. Główną korzyścią takiego podejścia w sterowaniu jest

zbyteczność posiadania dokładnych informacji, natomiast mniej korzystny jest zbyt długi czas potrzebny na uczenie sieci, który musi być nadzorowany ze względu na stabilność i zbieżność sieci.

Gdy w bezpośrednim sterowaniu eksperckim są niepewne gwarantowane czasy odpowiedzi, nie idzie to w parze z wymaganiami stawianymi prędkości przetwarzania w systemie w korelacji z prawidłowym rozmieszczaniem zadań między sterowanie w czasie rzeczywistym oraz - z kontrolą środowiska sterowania i systemu eksperckiego.

Systemy Czasu Rzeczywistego (SCR) są ważnym obszarem zastosowań metod SI do sterowania. Obecnie techniki rozwiązywania problemów, oparte na bazie wiedzy i mechanizmach wnioskowania, stosuje się tradycyjnie tam, gdzie problemy są statyczne, a odpowiedzi nie zawsze są wymagane w ograniczonych przedziałach czasu (prognozowanie problemów, autonomiczne projektowanie w systemach CAD/CAM, dowodzenie twierdzeń, przetwarzanie obrazów i scen, wspomaganie decyzyjne systemów i inne).

Na awaryjność technik SI w sterowaniu systemów zwrócili uwagę Verbrugen H.B. i Astrom K.J. w 1989 r. na 2 IFAC Workshop on AI in Real - Time Control w Chinach [4]. Ważność problemów zastosowań SI w SCR potwierdzono także w Proceedings of the 3-rd IFAC Workshop California, USA 1991 r. [5].
Zwraca się uwagę na to, aby nie izolować rozwiązywanego problemu generowania inteligentnych sterowań (decyzji) od fizycznego i/lub logicznego przetwarzania zachodzącego w środowisku w tym samym czasie.

Celem pracy jest analiza podstawowych różnic pomiędzy wymaganiami stawianymi rozwiązaniom problemów statycznych metodami SI oraz czasowo-rzeczywistymi zastosowaniami SI w inteligentnym sterowaniu. Zrodziła się konieczność rozwoju i wprowadzania. zmian w dotąd nie uwzględniających wymogów sterowania w SCR dostępnych, komercyjnych powłokach systemów eksperckich.

2. Czas rzeczywisty a systemy eksperckie generowania sterowań

Zachowania w czasie rzeczywistym jest łatwiej zauważyć niż zdefiniować. Czas rzeczywisty łączymy z pojęciem "szybki", rozumiejąc, że system przetwarza szybko dane. Próbując sformalizować definicję SCR można powiedzieć, że jest to system, którego poprawność działań zależy nie tylko od logicznych wyników obliczeń, ale także od czasu, w jakim te wyniki uzyskano.

Wyróżniającą własnością, która definiuje SCR, jest więc zdolność systemu do zagwarantowania odpowiedzi przed upływem określonego czasu, gdzie czas jest powiązany z dynamicznym zachowaniem się systemu.

Dotychczas stosowane techniki rozwiązywania problemów generowania sterowań inteligentnych opierały się przede wszystkim na danych i reprezentacji wiedzy statycznej, gdzie nie wymagano odpowiedzi w czasie krytycznym. Czasowo - krytyczne generowanie sterowań, jako że musi być rozwiązywane w czasie rzeczywistym w oparciu o informację zmienne w funkcji czasu, rodzi w procesie obliczeń nowe, interesujące problemy do uwzględnienia w inteligentnym sterowaniu.

Problemy te stanowią:

a. niemonotoniczność danych; nietrwałe, względnie niestałe dane podczas procesu obliczeń tracą ważność i wszystkie zależne od nich wnioski muszą być usuwane.

b. chwilowość wnioskowania; sterowanie w systemie czasu rzeczywistego powinno wyciągać wnioski na podstawie wydarzeń przeszłych, teraźniejszych i przyszłych w czasie.

c. potrzeba dopasowywania wszystkich współpracujących oprogramowań; inteligentne sterowanie SCR musi być zintegrowane z oprogramowaniem konwencjonalnym przetwarzania sygnałów i użytkowaniem funkcji we/wy.

d. uwzględnianie zdarzeń asynchronicznych; SCR musi dopuszczać do przerwań oraz akceptować wejścia od nie zaplanowanych zdarzeń i zdarzeń asynchronicznych.

e. potrzeba koncentracji uwagi; gdy ma miejsce coś szczególnie osobliwego, system musi być zdolny do zmiany skupienia uwagi: jeśli więc SCR wyodrębni kilka źródeł wiedzy z własnymi obszarami obserwacji, ma on mieć możliwość szybkiego skupienia uwagi na poszczególnych źródłach wiedzy bez pogarszania wykonywania zadania pierwotnego.

Wymagania powyższe nie są uwzględniane w przeważającej części dostępnych komercyjnych powłok systemów eksperckich.

Obok wyszczególnionych wymagań projektowane SCR z inteligentnym sterowaniem powinny zapewniać bezkolizyjną integrację z konwencjonalnymi systemami sterowania, tworząc hybrydy sprzęgające obliczenia symboliczne i numeryczne w połączeniu z wnioskowaniem heurystycznym i jakościowym.

3. Trzy trendy w uwzględnianiu wymagań SCR w powłokach Systemów Eksperckich

Badania literatury dotyczącej SI nieustannie odkrywają, że SI nie jest jedynym paradygmatem, lecz zbiorem tez, określeń, metod, które są wykorzystywane w różnych permutacjach do tworzenia modeli systemów odpowiednio do poziomu złożoności, stopnia abstrakcji i możliwości realizacyjnych zadań.

Jedna z dróg tworzenia systemów eksperckich (SE) czasu rzeczywistego opiera się na metodach rozproszonej inteligencji, przy czym wymagania inteligentnego sterowania SCR

skupiają się na obszarach zarządzania wiedzą, czasem i udostępnianiem. Taka strategia rozwoju inteligentnych systemów czasu rzeczywistego wymaga systemowego podejścia do projektowania i zastosowań. Główny nacisk kładzie się na rozwój powłoki unifikującej właśnie zarządzanie wiedzą, czasem i udostępnianiem. Koncepcję rozwiązania takiej powłoki nazwanej ADROIT (A Distributed Real-time Object-oriented Inteligent Testbed), przedstawił w 1991r. Macleod I.M. i V. Vlun [5, str.1-7].

Inny nowy paradygmat rozwoju sterowania inteligentnego SCR zaproponował L.Motus [5, str.9-13]. Autor nazwał go paradygmatem refleksowym, a jego idea ma uwzględniać kombinację indukcyjnych i dedukcyjnych metod wnioskowania imitujących zasadę działania refleksowego obowiązującą w przetwarzaniu informacji ludzi i zwierząt.

Rozwiając paradygmat refleksowy L.Motusa zauważamy, że zasadność stosowania metod SI w oparciu o narzędzia CASE (Computer Aided Software Enginering) i podejście dedukcyjne lub indukcyjne nie zostały potwierdzone w zastosowaniach do rozwiązań problemów krytycznie bezpiecznych w SCR, chociaż i tu nieraz uzyskane wyniki były przyjmowane jako zadowalające.

Podejście indukcyjne rozumowania prowadzące do praw ogólnych w oparciu o dostrzeżenie ich w przypadkach szczególnych jest w metodach SI obiecujące w zastosowaniach czasowo-rzeczywistych od momentu uzyskania dobrego czasu odpowiedzi i niezbyt dużej nieokreśloności w odniesieniu do tego czasu wykonania.
Praktyka nie wymaga często lepszego przybliżenia z wnioskowania opartego o wnioskowanie indukcyjne, w szczególności od chwili, gdy czas potrzebny na otrzymanie decyzji zadowala wymaganie użytkownika. Problem narasta z probabilistycznym charakterem rozwiązania otrzymanego przez nieprzybliżone wnioskowanie. Może to prowadzić do braku sukcesów nawet w bezpiecznych zastosowaniach krytycznych; pojedyncza błędna odpowiedź może przyczynić się do awarii pracy całego ISP.

Wnioskowania dedukcyjne, pozwalające wyprowadzić jedno twierdzenie z innych, udowodnionych poprzednio lub przyjętych bez dowodu aksjomatów, są z zasady lepsze z punktu widzenia bezpieczeństwa i pewności, chociaż czas ich wykonania ma tendencje do wydłużania się i raczej nie jest zdeterminiowany. Próby skracania czasu obliczeń i jego zdeterminowanie drogą ograniczenia poszukiwań rozwiązań odniosły wprawdzie sukcesy, ale wyniki mogą okazać się znowu bardziej przypadkowe i w konsekwencji nie bardzo bezpieczne.

Śledząc wybrane przykłady zachowania się ludzi, np. kierowcy samochodu, karateki i tancerza, które zamierzamy zinterpretować z punktu widzenia SCR zauważamy, że we wszystkich tych przypadkach człowiek wykorzystuje do rozwiązywania swych problemów inteligencję, a więc swoisty zespół zdolności umysłowych umożliwiających sprawne

korzystanie z nabytej wiedzy oraz skuteczne zachowanie się wobec nowych zadań i warunków życia.

I tak, kierowca pojazdu prowadzi go bezpiecznie i do celu, karateka dąży do pokonania napastników, tancerz porusza się w takt muzyki i ewentualnie ruchów partnera.

Wszystkie te aplikacje są trudne, pochłaniające dużo czasu początkującym, ale po pewnym czasie większość potrafi rozwiązywać swe problemy w stopniu co najmniej satysfakcjonującym. Wydaje się oczywiste, że doświadczony kierowca nie skraca drzewa przeszukiwań podejmowania decyzji,aby otrzymać decyzję w czasie krótszym niż wymagany i że w rzeczywistości dokonuje on więcej skomplikowanych, wysokiej jakości przekształceń decyzji w sprawie prowadzenia pojazdu, podejmując je w krótszym czasie i coraz doskonalej.

Zachowanie się ludzi (i zwierząt) działających w czasie rzeczywistym opiera się bowiem na refleksie, którego mechanizm nie jest satysfakcjonująco poznany z punktu widzenia przetwarzania informacji i procesów wnioskowania. Sądzi się, na podstawie prac Chomsky'ego, że wnioskowanie (oparte na tzw. głębokiej wiedzy) oraz doświadczenie (oparte na tzw. płytkiej wiedzy) tworzą kombinacje w momencie powstawania refleksu. Widocznie upoważnia nas to do dokonywania krótkich cięć w drzewie przeglądowym bez utraty precyzji i na uzyskanie decyzji w krótkim czasie bez konieczności przechodzenia przez wszystkie możliwe sytuacje znane z procesów szkolenia.

Podejście L.Motusa przedstawia bardziej abstrakcyjne spojrzenie na spełnienie wymagań stawianych rozwiązywaniu problemów metodami SI w SCR, ale niewątpliwie wymaga dalszych badań.

Bardziej dojrzały, w sensie możliwości aplikacyjnych inteligentnego sterowania w czasie rzeczywistym, jest projekt DICE (Delft Intelligent Control Environment) zaproponowany . przez A.I.Kijgsmana, R.Jagera, H.B.Verbrugena i P.M.Bruijna z Delft University of Technology w 1991 r. [5, str 13-19].

Struktura DICE składa się z trzech jąder SE, tablicy służącej do magazynowania danych i innych informacji globalnych oraz serwera, który steruje strumieniem informacji pomiędzy oprogramowaniem działającym w innych komputerach współpracujących w sieci. Operator zadań wydaje polecenia do trzech jąder SE. Monitor prezentuje użytkownikowi rozwiązanie w sposób graficzny. Użytkownik opisuje problem w tzw. zbiorze zadaniowym, w którym zapisuje się reguły, które muszą być zestawione w poszczególnych jądrach SE oraz informacje, które reguły uaktywnią zapis, które zmienne muszą być wprowadzone i które zmienne muszą być opisane przez wprowadzającego zadanie.
Zbiór zadaniowy jest kompilowany i w wyniku tworzy trzy zadania: zadanie systemu eksperckiego, zadanie operatora i zadanie wyprowadzenia rezultatów.

W cyfrowym systemie sterowania w czasie rzeczywistym ważniejszym parametrem jest okres próbkowania, który należy dobrać. Minimalny okres próbkowania, który może być

użyty, jest określony poprzez czas konieczny do niezbędnych obliczeń. Może on być np. definiowany przez liczbę reguł mechanizmu wnioskowania, ale wpływ ten minimalizuje się w DICE poprzez użycie efektywnego mechanizmu sortującego, który sortuje reguły w odniesieniu do ich szybkości egzekucji.

System DICE minimalizuje czasy obliczeń poprzez zastosowanie idei wnioskowania progresywnego (wprowadzonej przez Lattimera w 1986 r.[6]), według której wnioskowanie jest podzielone na kilka części reguł. Każda grupa reguł zajmuje się coraz to bardziej szczegółowym rozwiązywaniem problemu. To podejście prezentuje progresywne zagłębianie się, gdy po wykorzystaniu części bazy pozostaje nie wykorzystany czas, wówczas kolejna głębsza baza wiedzy rozpoczyna dalsze oszacowania w celu znalezienia lepszego rozwiązania. Zasady progresywnego wnioskowania mogą być z powodzeniem wykorzystywane w procesie generowania sterowań. Zastosowanie bezpośredniego cyfrowego sterowania bazującego na technikach SI rodzi bowiem problemy w momencie, gdy wybrany okres próbkowania jest mniejszy niż czas potrzebny do oszacowania rozwiązania w oparciu o wiedzę i reguły wnioskowania. Może to spowodować sytuację, kiedy mechanizm wnioskujący nie będzie w stanie udowodnić hipotezy, a ponieważ wszystkie hipotezy są pośrednio sprzężone z sygnałami sterowania, system ekspercki nie będzie mógł sterować procesem produkcji.

W celu rozwiązania tego problemu baza reguł podzielona jest na zbiory różnych warstw wiedzy, przy czym pierwsza warstwa wiedzy generuje ten pierwszy, surowy wniosek dotyczący sygnału sterowania. Następna warstwa zobowiązana jest do generacji doskonalszego sterowania wykorzystującego więcej informacji o sterowanym procesie. Zasady wnioskowania progresywnego są więc wykorzystywane w najniższej warstwie do uruchomienia bezpośredniego eksperckiego sterownika, podczas gdy warstwy następne służą do generowania bardziej zaawansowanej formy sterowania typu nadrzędnego względnie adaptacyjnego.

Wielowarstwowa struktura SE czasu rzeczywistego DICE została przetestowana metodą symulacji komputerowej. Wyniki badań symulacyjnych potwierdziły, że DICE może stanowić odpowiednie narzędzie sterowania inteligentnego w systemach czasu rzeczywistego.

4. Wnioski

Poprawność działania inteligentnego sterowania w systemach czasu rzeczywistego wymaga ścisłych powiązań problemu generowania sterowań od fizycznego i/lub logicznego przetwarzania informacji zachodzącego w środowisku w tym samym czasie. System Czasu Rzeczywistego jest bowiem takim systemem, którego poprawność działania nie zależy tylko od logicznych wyników obliczeń, ale także od czasu, w jakim te wyniki uzyskano. W pracy wypunktowano ważniejsze wymagania, które wnosi sterowanie inteligentne w SCR

w porównaniu z inteligentnym sterowaniem konwencjonalnym. Przedstawiono trendy umożliwiające uwzględnienie tych wymagań w powłokach Systemów Eksperckich konkludując, że problemy te wymagają dalszych badań i weryfikacji w ramach metod Inżynierii Wiedzy. Podstawowy kierunek badań powinien dotyczyć rozwoju powłok systemów eksperckich w zakresie zarządzania wiedzą, czasem i udostępnianiem. Najbardziej perspektywiczny z punktu widzenia możliwości aplikacyjnych inteligentnego sterowania w czasie rzeczywistym wydaje się wielowarstwowy system ekspercki czasu rzeczywistego DICE.

LITERATURA

[1] Kowalowski H.: Podstawy metodologiczne konstrukcji baz wiedzy systemów eksperckich projektowania elastycznie automatyzowanej produkcji. Materiały I KKN Inżynieria Wiedzy i Systemy Eksperckie, ISiTS. Wrocław 1990.

[2] Kowalowski H.: Sztuczna Inteligencja w automatyzowanych systemach sterowania produkcją. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s.Automatyka, z.109. Gliwice 1992

[3] Kowalowski H.: Modele Sztucznej Inteligencji w generowaniu sterowań integrowanych elastycznych systemów produkcji. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej s.Automatyka z.64. Kraków 1993.

[4] Verbrugen H., Astrom K.: Artificial Intelligence and Feedback Control. 2 IFAC Workshop on Artificial Intelligence in real-time control. China 1989.

[5] Artificial Intelligence in real-time control 1991. IFAC Workshop Series, 1992. Number 5, Pergamon Press - Oxford, New York, Seoul, Tokyo.

[6] Lattimer M. and co-workers. An expert system for real-time control. IEEE Software, pp. 16-24 March 1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Konrad Wala

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994 r.

Abstract

In this work basic differences between classic and real time applications of artificial intelligence have been discussed. In particular the problems of generation of control algorithms supported by the use of expert systems are considered. An idea of cooperation between the intelligent controller and classic tasks within the frame work of real time systems is presented. Many control tasks are not ready for this class of applications. The main problem is a time delay during the solution generation, fast and efficient knowledge representation and parallel reasoning. Different types of information play the crucial rolle in problems of intelligent control. Some of them concern system structure and controllers, others are more related to the lower layers, input/output signals and their interpretation. Each type of information has a unique representation. The quality of this representation of knowledge is a key factor during

the high level data processing. An appropriate knowledge representation is provided by the object-oriented description in sophisticated shells of expert systems. Signal processing is also important in lower layers of automation protocols. The results are utilised by neural networks and optimising models.

Integration of these components into intelligent control system requires multilayer structure employing different methods of data processing. If the response time for the expert controller can not be guaranteed then we have a conflict between speed of information processing and task assignment in real time expert system. Featuring property defining the Real Time Systems is the ability to guarantee the response in a period of time not exceeding the specified delay resulting from the dynamic properties of the system.

Currently applied method of design of intelligent controllers is mainly based on statistic data and its representation. The critical time control generation must be performed in real time by using the time dependent data. This enforces the consideration of new problems appearing in intelligent control. Between these problems one can mention:

- nonmonotonous data,
- temporary nature of conclusion,
- necessity to link all software modules,
- effects of asynchronous events,
- flexible assets allocation while handling unique events.

These problems are not taken into account by currently available commercial shells of expert systems. Selected ideas leading to the solution of these problems are presented in this paper.