

Sterowanie poznawcze

Inżynieria sterowania stale ewoluuje, a jej horyzonty wraz ze wzrostem dostępnej pamięci oraz szybkości komputerów poszerzają się. Początkowe układy oparte były tylko na prostych regulatorach PID, później pojawiły się regulatory predykcyjne wykorzystujące model wewnętrzny, a następnie regulatory predykcyjne zostały wyposażone w mechanizmy adaptacji, szacowania niepewności oraz radzenia sobie z sytuacjami awaryjnymi.

Znaleźć można również wiele prac, które opisują rozwiązania inspirowane biologią, takie jak algorytmy genetyczne czy obliczenia immunologiczne. Ze względu na złożoność poszczególnych algorytmów, a co za tym idzie wymaganą moc obliczeniową, pewne prostsze mechanizmy implementowane są w warstwie sterowania bezpośredniego, a te bardziej złożone - w warstwie nadrzędnej. W wyniku tego powstała hierarchiczna struktura sterowania, która będąc przedmiotem licznych badań, dorobiła się solidnych podstaw teoretycznych oraz licznych aplikacji praktycznych. Powstaje pytanie - co dalej?

Odpowiedzią na to pytanie może być sterowanie poznawcze, którego istota opiera się na poznawaniu, tj. tworzeniu wiedzy i wykorzystaniu jej w kontroli procesu. Można powiedzieć z dużym prawdopodobieństwem, że przyszłe systemy sterowania będą silnie integrowały ze sobą procesy wnioskowania, planowania i uczenia się, tworząc w ten sposób wiedzę, która pozwoli znacznie poszerzyć zakres ich stosowania. Sterowanie poznawcze może być jednym z głównych bodźców dla nowych technologii w wielu różnych obszarach. Przykładem jest robotyka, gdzie systemy sterowania nowej generacji do bezzałogowych pojazdów mogą pozwolić na osiągnięcie wyższego stopnia autonomii tych ostatnich, dzięki czemu możliwe będzie realizowanie zadań, których obecnie nie można wykonać bez udziału człowieka.

Szczególnie istotne jest to w przypadku, kiedy środowisko, w którym odbywa się praca, jest niebezpieczne lub wręcz niedostępne dla człowieka - np. skażone, napromieniowane lub zagrożone wybuchem. Prawdopodobnie wydaje się również zastosowanie systemów kognitywnych (poznawczych) do sterowania procesów w zakładach produkcyjnych (chemicznych, energetycznych) czy kontroli ruchu. Te systemy będą odgrywały rolę partnerów dla operatorów kontrolujących procesy oraz inżynierów odpowiedzialnych za utrzymanie ruchu. Większa autonomia poznawczych systemów sterowania oznaczać będzie mniejszą konieczność interwencji człowieka, co przełoży się na podniesienie bezpieczeństwa (obecnie cały czas człowiek jest najbardziej niepewnym czynnikiem) i wydajności procesu.

Technologie wspomagające życie osób starszych czy niepełnosprawnych są kolejnym obszarem, w którym systemy poznawcze mogą odgrywać znaczącą rolę - szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych, które cechuje stosunkowo duży odsetek osób w podeszłym wieku.

Dlaczego Cognitive Control?

Aktualnie systemy sterowania projektowane są głównie do sterowania pracą instalacji w normalnych, nominalnych warunkach. Elementy niepewności wynikające ze zmian procesu rozwiązywane są z sukcesem poprzez mechanizmy adaptacji. Metody te jednak są dość ograniczone i wymagają znacznej ingerencji człowieka z powodu sytuacji nieoczekiwanych, które nie zostały uwzględnione na etapie projektowania układu sterowania. Sytuacje takie mogą wynikać z dyskretnych lub ekstremalnie szybkich zmian w środowisku, które nie mogą być uwzględniane w obecnych algorytmach adaptacyjnych. Nieoczekiwane sytuacje są często wynikiem zmian strukturalnych w systemie mogących wystąpić jako następstwo np. uszkodzenia. Oczekuje się, że poznawcze systemy sterowania będą znacznie bardziej inteligentne od obecnych rozwiązań, a inteligencja ta będzie objawiać się zdolnościami do postrzegania, podejmowania decyzji, uogólnienia rzeczywistości i w efekcie uczenia się. W efekcie wzrośnie użyteczność systemów sterowania również do sytuacji nieplanowanych, awaryjnych, co przełoży się na efektywność procesów i bezpieczeństwo pracy instalacji. Poznawcze aspekty będą odgrywać główną rolę w przyszłych systemach sterowania.

Jednakże aspekty te nie mogą występować niezależnie (jak to ma miejsce obecnie) - mu-

szą powstać mechanizmy komunikacji oraz koordynacji modułów (agentów) realizujących poszczególne funkcje. Sposób wymiany informacji, struktura oraz język będą z pewnością wyróżnikami nowych systemów sterowania, jak też głównym problemem do rozwiązania przez projektantów je tworzących.

Sterowanie poznawcze

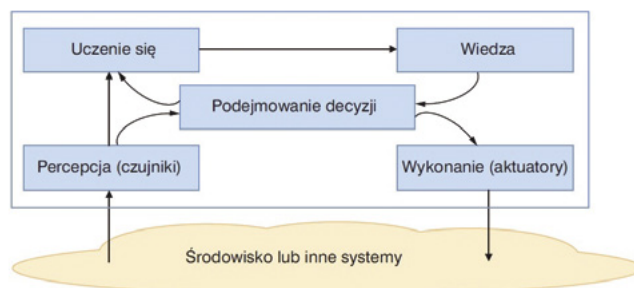
Przedstawione cechy sterowania poznawczego nasuwają pytanie, czym tak właściwie jest sterowanie poznawcze? Okazuje się, że określenie pojęcia „poznanie” i „system poznawczy” nie jest jednoznaczne - w różnych źródłach występuje kilkadziesiąt definicji mniej lub bardziej różniących się wzajemnie.

Poniżej wymieniono główne cechy, które charakteryzują systemy sterowania poznawczego:

- wszystkie funkcje (pomiar, wnioskowanie, uczenie) zorientowane są na cel,
- cele i zachowania zmieniają się w sposób elastyczny w zależności od kontekstu sytuacyjnego i doświadczenia,
- może działać w nieznanym środowisku bez interwencji człowieka,
- jest w stanie współdziałać z ludźmi i innymi systemami poznawczymi, aby wspólnie rozwiązać złożone zadanie.

Aby osiągnąć te właściwości, system musi być w stanie:

- „zrozumieć bieżącą sytuację” - w tym celu system kontroli poznawczej musi realizować kilka funkcji, takich jak (aktywne) wykrywanie, wydobywanie i pozyskiwanie istotnych informacji z doświadczeń i wiedzy wcześniej zdobytej; również musi on dbać o aktualizację tych informacji,
- „świadomie” działać na rzecz zmiany obecnej sytuacji i reagować na wszelkie nieprzewidziane zmiany w uzasadniony (niekoniecznie optymalny) sposób, działania obejmują podejmowanie decyzji, planowanie, rozumowanie, uczenie się i adaptację; ważną cechą jest to, że pełna informacja jest rzadko dostępna do budowy modeli, w związku z tym mechanizmy dla oceny



Rysunek 1. Ogólna struktura poznawczego systemu sterowania

obecnego stanu, jak również celowe zmiany tego stanu muszą być przeprowadzane na podstawie informacji częściowych/niepełnych.

Na **rysunku 1** pokazano propozycję architektury poznawczego systemu sterowania, a dalej opisano jego kluczowe elementy:

Percepcja. Moduł odpowiedzialny za zbieranie danych z czujników oraz ich przetwarzanie. Dane dotyczące pomiarów realizowanych przez sensory stanowią informację dla modułu uczącego i pozwalają modułowi sterowania na podejmowanie decyzji na bieżąco, które następnie wysyłane są do obiektu. Główny problem, który pojawia się w tym przypadku, to wydobywanie z ogromu danych informacji istotnych, a pominięcie tych nieważnych lub też nieprawdziwych (np. będących wynikiem zakłócenia czy awarii), których uczenie się jest niepożądane.

Uczenie się. Moduł odpowiedzialny za ciągłą aktualizację wiedzy o środowisku i adaptację do warunków aktualnych. Obok wspomnianych wcześniej problemów z kompletnością oraz poprawnością danych pojawiają się problemy z samą reprezentacją wiedzy w systemie oraz dezaktualizacją faktów już nieprawdziwych. Dużym wyzwaniem jest wyszukiwanie relacji czasowych i dynamicznych zależności, które w każdym rzeczywistym systemie występują i w sposób istotny wpływają na jego zachowanie.

Wiedza. Moduł ten stanowi fundamentalną właściwość poznawczych systemów sterowania. Jest to pamięć systemu, w której zapisana jest wiedza o obiekcie. W odróżnieniu od klasycznych systemów sterowania, wiedza podlega ciągłemu procesowi aktualizacji i adaptacji. Wyzwaniem dla projektantów będzie określenie reprezentacji informacji oraz dobór struktury, w której przechowywany jest zasób wiedzy.

Podejmowanie decyzji. Zadaniem modułu decyzyjnego jest wyznaczenie akcji, które mają być zastosowane do obiektu. Moduł ten w oparciu o aktualne pomiary zebrane z sensorów oraz doświadczenia (zapisane w module wiedzy) wyznacza decyzje. Przesyłane są one do modułu wykonawczego i uczącego się. Moduł wykonawczy przesyła decyzje do obiektu, natomiast uczący uwzględnia decyzje w procesie uczenia do późniejszej oceny skutków decyzji. Głównym wyzwaniem dla projektantów systemu będzie stworzenie algorytmów, które mogą podejmować poprawne decyzje w sytuacji niepełnej informacji.

Wykonanie. Zadaniem modułu wykonawczego jest przekazanie sygnału sterującego (wyznaczonego przez moduł decyzyjny) do obiektu. Patrząc na cechy poszczególnych modułów, można stwierdzić, że obecnie istnieją już algorytmy, które mogłyby zostać częściowo lub nawet w pełni wykorzystane w budowie systemu sterowania poznawczego. Głównie są to zdobycze sztucznej inteligencji, rozwiązania inspirowane biologią, neurologią, ewolucją czy nawet systemami immunologicznymi. Algoryt-

mów tych używano z powodzeniem w badaniach operacyjnych, optymalizacji, klasyfikacji, w rozpoznawaniu wzorców, przetwarzaniu sygnałów i są one nadal rozwijane. Poniżej przedstawiono najbardziej pokrewne dziedziny i ich wkład w rozwój przyszłych systemów kontroli poznawczej.

Sztuczna inteligencja

Algorytmy sztucznej inteligencji obejmujące zaawansowane metody rozumowania, planowania, podejmowania decyzji i uczenia się były badane w ciągu ostatnich dziesięcioleci i z powodzeniem stosowane w systemach informacyjnych.

Jednak użycie ich w systemach sterowania, gdzie decyzje bardzo silnie zależą od dynamiki procesów oraz opierają się głównie na sprzężeniu zwrotnym od stanu lub wyjścia, jest ograniczone. W związku z powyższym istniejące algorytmy muszą być opracowane pod kątem dynamicznych właściwości systemu.

W szczególności należy zwrócić uwagę na zagadnienia z obszaru:

- teorii rozumowania w warunkach niepewności, wnioskowania i systemów regulowe,
- reprezentacji wiedzy, eksploracji wiedzy,
- uczenia maszynowego, probabilistycznych metod uczenia, uczenia ze wzmocnieniem.

Kognitywistyka

Kognitywistyka, nazywana inaczej nauką kognitywną lub nauką o poznaniu, zajmuje się zjawiskami dotyczącymi działania umysłu, w szczególności jego modelowaniem. Jest to nauka multidyscyplinarna, znajdująca się na pograniczu wielu dziedzin, takich jak psychologia poznawcza, neurobiologia, filozofia umysłu, fizyka i logika. Główne obszary badawcze w obrębie tej dziedziny to reprezentacja wiedzy, język, uczenie się, myślenie, percepcja, świadomość, podejmowanie decyzji oraz inteligencja (inteligencja kognitywna). Wyniki badań właśnie w tych obszarach mogą mieć kluczowe znaczenie w rozwoju poznawczych systemów sterowania, gdyż:

- mogą pozwolić na poznanie mechanizmów natury w takim stopniu, żeby możliwe było stworzenie ich sztucznych odpowiedników, modeli które byłyby w stanie naśladować procesy: rozumienia, podejmowania decyzji i uczenia się,
- mogą również umożliwić lepsze poznanie współpracy człowiek- maszyna i projektowanie maszyn z funkcjami poznawczymi, które pomagają ludziom skuteczniej wykonywać ich zadania.

Głównym wyzwaniem dla inżynierów będzie uzyskanie ilościowych modeli dynamicznych nadających się do wykorzystania w poznawczych systemach sterowania.

REKLAMA



Moduły zwiększające transmisję USB oraz Video i USB (KVM)



Rozszerzenie transmisji USB

- > transmisja przez skrętkę kategorii 5 lub światłowód
- > rozszerzenie transmisji nawet do 10 km
- > bardzo łatwa instalacja Plug&Play

Rozszerzenie transmisji Video i USB (KVM)

- > transmisji po skrętkę kategorii 5 lub przez sieć LAN
- > rozszerzenie transmisji nawet do 500 m
- > obsługa standardu DVI
- > bardzo łatwa instalacja Plug&Play

www.elmark.com.pl

ELMARK Automatyka sp. z o.o.
05-075 Warszawa-Wesoła ul. Niemcewicza 76
Tel. 22 541-84-60; Fax. 22 541-84-61
elmark@elmark.com.pl



Klasyczna teoria sterowania

Inżynierowie projektujący przyszłe inteligentne systemy oparte na kognitywistyce nie mogą zapomnieć o wykorzystaniu klasycznej teorii sterowania, która jest niezastąpiona w zagadnieniach związanych ze stabilnością i odpornością - czyli bezpieczeństwem. Rozwinięty aparat matematyczny, metody analizy i syntezy struktur regulacji pracujących w pętli sprzężenia zwrotnego, algorytmy modelowania i identyfikacji, teoria stabilności, teoria optymalności - wszystkie te zagadnienia stanowią dorobek dziedziny, jaką jest teoria sterowania.

Nie jest możliwe rozwinięcie koncepcji sterowania poznawczego w oderwaniu od klasycznej teorii sterowania. Klasyczna teoria sterowania powinna odegrać wiodącą rolę w rozwoju przyszłych nowoczesnych systemów, gdyż tylko w ten sposób może zostać spełniony warunek bezpieczeństwa, który jest dla systemów sterowania podstawowy.

Wyzwania

Obecny stopień zaawansowania systemów poznawczych jest z pewnością niewystarczający, żeby myśleć o takich ich wdrożeniach, które w pełni przejęłyby kontrolę nad całym procesem w rzeczywistych aplikacjach przemysłowych. Architektura systemów agentowych, która obecnie najlepiej pasuje do koncepcji budowy systemu sterowania poznawczego, na razie wykorzystywana jest jedynie w inżynierii oprogramowania. Rozwiązania tego typu są naturalnie przystosowane do uruchamiania w dużych lub niepewnych środowiskach - np. w sieciach komputerowych, gdzie może zająć awaria łącza, awaria komputera lub ktoś może sabotować obliczenia, wysyłając błędne dane. Jednak liczba sytuacji nieprzewidywalnych w takim środowisku jest o rzędy mniejsza od liczby możliwych awarii w dużych instalacjach przemysłowych. Oprócz wielości sytuacji awaryjnych, bardziej istotna jest ich duża różnorodność i właśnie to stanowi jeden z głównych problemów stojących na drodze wdrożeń poznawczych systemów sterowania.

Drugim problemem, jakiemu muszą sprostać twórcy tego typu rozwiązań, jest zapewnienie determinizmu działania i, co za tym idzie, bezpieczeństwa pracy instalacji. Stwierdzić można, że obecnie znane metody i algorytmy nie są na tyle rozwinięte, aby można nazywać je kompletnymi systemami sterowania poznawczego, niemniej jednak mają już pewne cechy, którymi tego typu systemy powinny się charakteryzować.

Rozwój tego typu aplikacji będzie postępował, szczególnie że tematyka systemów poznawczych wyszła poza mury uczelni i stanowi przedmiot badań dużych korporacji. Potwierdzeniem może być system do zarządzania zdmuchiwaniami sadzy w kotle energetycznym, który opisano w artykule.

Sebastian Plamowski, APA



Inteligentny system zdmuchiwania sadzy w kotle energetycznym

Podczas spalania paliw organicznych w kotłach energetycznych zachodzi proces przemiany energii chemicznej w energię termiczną. Ze względu na fakt, że proces spalania i same paliwa nie są idealne, powstają produkty uboczne, takie jak sadze i popioły, będące mieszaniną składników niepalnych oraz cząstek niespalonego paliwa. Lotne cząstki popiołu porywane są przez strumień przepływających spalin i osadzają się bezpośrednio na wymiennikach ciepła w ciągu konwekcyjnym. Powierzchniami narażonymi są głównie: przegrzewacze pary oraz podgrzewacze wody i powietrza. Osadzony popiół działa jak warstwa izolacyjna, powodując pogorszenie sprawności wymienników, co negatywnie wpływa na sprawność całego bloku energetycznego. W konsekwencji może dojść do osadzenia tak dużej ilości popiołów, że konieczne jest wyłączenie bloku i czyszczenie mechaniczne przegrzewaczy. Straty wynikające z przestoju oraz ponownego rozruchu i koszty czyszczenia powodują, że takie podejście nie jest praktykowane.

Jak usuwać?

Najskuteczniejszym sposobem utrzymania wymienników w stanie czystym jest używanie zdmuchiwczy sadzy, które uruchamiane są podczas normalnej pracy kotła. Zdmuchiwcze są w praktyce urządzeniami zabudowanymi na stałe w kotle, które za pomocą specjalnych dysz wprowadzanych do wnętrza kotła wstrzykują parę pod wysokim ciśnieniem.

Ze względu na to, że czyszczenie jest punktowe, w kotle zwykle jest zabudowanych kilkadziesiąt zdmuchiwczy, które uruchamiane są sekwencyjnie. Określenie kolejności sekwencji oraz częstotliwości, z jaką zdmuchiwalnym mają być uruchamiane, jest zadaniem nietrywialnym.

Zbyt częste używanie zdmuchiwczy powoduje straty w postaci: zwiększonego zużycia pary, zwiększonych kosztów utrzymania wdmuchiwczy oraz efektu korozji w kotle. Zbyt rzadkie używanie powoduje zaś straty związane ze spadkiem sprawności kotła oraz karami za przekroczenie limitów chwilowej emisji pyłów.

Dodatkowe warunki

Złożoność zadania podwyższa fakt, że warunki pracy kotła nie są stałe. Zmienia się jakość paliwa oraz jego wilgotność, różna jest moc, z jaką pracuje blok, przez co zmienia się ilość dostarczanego paliwa oraz konfiguracja pracujących młynów, co z kolei zmienia warunki procesu spalania.

Tyle zmiennych czynników powoduje, że nie jest możliwe wypracowanie optymalnych reguł a priori i tym samym określenie, które sekwencje zdmuchiwczy i z jaką częstotliwością mają być uruchamiane. Dlatego też trudne było zautomatyzowanie tego procesu i za zadanie uruchamiania sekwencji zdmuchiwczy odpowiadał operator, który w oparciu o szereg danych procesowych, takich jak temperatura pary świeżej i wtórnej, ilość wody chłodzącej, wskaźniki sprawnościowe, informację kiedy ostatnio uruchomiono daną sekwencję oraz własną intuicję podejmował decyzję o uruchomieniu danej sekwencji. Obecnie istnieje system inteligentnego zdmuchiwania sadzy, który przejął funkcję operatora.

Jak działa system

Działanie systemu głównie opiera się o wskaźniki, które określają czystość sekcji wymiany ciepła. Pomiary wskaźników nie są dostępne wprost, jedynie mogą być aproksymowane numerycznie w oparciu o inne pomiary (temperatury, ciśnienia, przepływy). Do aproksymacji wskaźników używana jest sieć neuronowa, która estymuje wskaźnik wymiany ciepła dla stanu idealnego (czystego). Sieć po każdym cyklu czyszczenia jest douczana, dzięki czemu zapewniona jest aktualizacja informacji o stanie „czystym” instalacji.

Wartość dla stanu idealnego uzyskana z sieci neuronowej porównywana jest ze stanem bieżącym i na tej podstawie podejmowana jest wstępna decyzja o załączeniu zdmuchiwczy. Informacja przesyłana jest do systemu reguł, którego zadaniem jest sprawdzenie, czy warunki w danej chwili pozwalają na uruchomienie danej sekwencji, dodatkowo system reguł ma za zadanie wybranie najlepszej z dostępnych obecnie sekwencji.

Łatwo dostrzec, że architektura zaprezentowanego systemu inteligentnego zdmuchiwania sadzy w dużym stopniu przypomina ogólną architekturę systemu poznawczego przedstawioną na rys. 1. Użyta sieć neuronowa pełni funkcję uczące i reprezentują wiedzę. Moduł reguł natomiast wykonuje funkcje decyzyjne.

Standardowy odczyt i zapis wartości punktów procesowych odpowiada funkcjonalności sensorów i aktuatorów. Nazwanie systemu inteligentnego zdmuchiwania sadzy systemem sterowania poznawczego jest jednak określeniem mocno na wyrost. System zdmuchiwania sadzy działa lokalnie w ramach danego podsystemu. Dodatkowo jest to obszar, który nie jest krytyczny i gdzie decyzje podejmowane są dość rzadko (zdmuchiwcze uruchamiane są co kilka godzin).

Jednak fakt zbudowania i uruchomienia takiego systemu oraz bardzo dobre wyniki uzyskane podczas pracy (system został wdrożony w kilkunastu elektrowniach, głównie w USA) pozwalają potwierdzać tezę, że systemy sterowania będą rozwijane w stronę systemów sterowania poznawczego, a uruchomienie „pełnoprawnych” systemów sterowania poznawczego jest tylko kwestią czasu.