

Metody optymalizacyjne oparte na ogólnym schemacie modelu algebraiczno-logicznego

Lidia Dutkiewicz, Edyta Kucharska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział EAIiE, Katedra Automatyki

Streszczenie: W artykule przedstawiono metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych powstałe na podstawie ogólnego schematu modelu algebraiczno-logicznego. Schemat ten znajduje zastosowanie przede wszystkim w rozwiązywaniu skomplikowanych problemów, w których nie da się ustalić *a priori* skutków podejmowanych decyzji i konieczna jest symulacja procesu. W artykule opisano metodę zadań zastępczych oraz metodę poszukiwania rozwiązania z gromadzeniem informacji dla potrzeb sterowania. Przedstawiono również koncepcje kolejnych badań.

Słowa kluczowe: model algebraiczno-logiczny, proces decyzyjny, optymalizacja lokalna, symulacja dyskretna

1. Wprowadzenie

Problemy związane z podejmowaniem decyzji występują w różnych dziedzinach życia, między innymi w wielu gałęziach gospodarki (np. w sferze produkcji oraz w planowaniu i projektowaniu). Naturalnym dążeniem jest poszukiwanie jak najlepszych rozwiązań. W związku z tym do tej pory stworzono wiele różnych metod optymalizacji, zarówno dokładnych, jak i przybliżonych. Jednakże nierzadko specyficzne własności problemu uniemożliwiają użycie większości ze znanych metod optymalizacji dyskretnych. Dla pewnej klasy takich problemów powstało podejście oparte na ogólnym schemacie modelu algebraiczno-logicznego [1, 3].

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości rozwiązywania trudnych problemów optymalizacyjnych za pomocą metod wykorzystujących ogólny schemat modelu algebraiczno-logicznego. Prezentowane podejście jest dedykowane procesom, w których należy podjąć ciąg decyzji. Nie wiadomo jednak z góry, ile tych decyzji będzie, ani nieznane są momenty podjęcia poszczególnych decyzji. Podejmowane decyzje dotyczą całego procesu i wpływają na to, jakie kolejne decyzje będą możliwe do podjęcia; co więcej, mogą wpływać na parametry problemu (m.in. ilość i rodzaj dostępnych zasobów w poszczególnych momentach). Inaczej mówiąc, nie można ustalić *a priori* skutków podejmowanych decyzji. Wypracowanie rozwiązania wymaga więc budowania ciągu decyzji krok po kroku.

Zastosowanie modelu algebraiczno-logicznego umożliwia symulację procesu decyzyjnego z jednoczesną jego optymalizacją. Zaletą stosowania modelu jest możliwość przedstawienia rozważanego problemu w sposób formalny, który umożliwia analizę jego matematycznych właściwości i jednocześnie stanowi pewien sposób reprezentacji wiedzy o tym problemie.

2. Ogólny schemat modelu algebraiczno-logicznego

Ogólny schemat modelu algebraiczno-logicznego zaproponowany został w [1]. Jak już wspomniano, stanowi on pewien sposób reprezentacji wiedzy o problemie. Model algebraiczno-logiczny jest modelem w przestrzeni stanów i przeznaczony jest do optymalizacji procesów decyzyjnych. Określa on zatem stany, w jakich może znaleźć się proces, możliwe decyzje oraz sposób wyznaczania kolejnych stanów.

Generowanie trajektorii procesu za pomocą modelu algebraiczno-logicznego przebiega następująco: W każdym nowo wyznaczonym stanie procesu podejmowana jest decyzja, wybierana spośród decyzji możliwych (sensownych) dla danego stanu. Następnie dla rozważanego stanu i wybranej decyzji wyznaczany jest następny stan procesu oraz odpowiadająca mu chwila czasowa. Wielkości te oblicza się korzystając z funkcji przejścia procesu. Jeśli wyznaczony stan należy do zbioru stanów docelowych procesu, generowanie trajektorii jest zakończone pomyślnie i można dokonać jej oceny. Jeśli natomiast stan i związany z nim czas nie spełniają warunków ograniczających, to znajduje się on w zbiorze tzw. stanów niedopuszczalnych. Wtedy generowanie trajektorii jest przerywane (trajektoria jest niedopuszczalna).

Istotą modeli algebraiczno-logicznych jest fakt, że zarówno współrzędne stanu, jak i decyzje mogą być zmiennymi indywidualnymi lub zmiennymi wyższego rzędu (np. zbiorami, ciągami). Funkcja przejścia i ograniczenia mogą natomiast być zdefiniowane zarówno za pomocą zależności algebraicznych, jak i logicznych.

Jeśli przyjmujemy oznaczenia: X – zbiór stanów właściwych, $T \subset \mathbf{R}^+$ – podzbiór nieujemnych liczb rzeczywistych reprezentujących chwile czasowe, $S = X \times T$ – zbiór stanów uogólnionych, U – zbiór decyzji, to model można zdefiniować jako czwórkę:

$$P = (s_0, f, S_N, S_G) \quad (1)$$

gdzie:

- $s_0 = (x_0, t_0), s_0 \in S$ – uogólniony stan początkowy,
- $f: U \times S \rightarrow S$ – funkcja częściowa (określona tylko dla pewnych par $(u, s) \in U \times S$), zwana funkcją przejścia,
- $S_N \subset S$ – zbiór uogólnionych stanów niedopuszczalnych,
- $S_G \subset S$ – niepusty zbiór uogólnionych stanów docelowych.

Funkcja przejścia jest zdefiniowana przy pomocy dwóch funkcji $f = (f_x, f_t)$, gdzie:

- $f_x: U \times X \times T \rightarrow X$ – określa kolejny stan właściwy,
- $f_t: U \times X \times T \rightarrow T$ – określa następną chwilę czasową i spełnia warunek: $\Delta t = f_t(u, x, t) - t$ ma wartość dodatnią i skończoną.

Zbiór stanów docelowych S_G stanowi niepusty zbiór uogólnionych stanów końcowych, czyli stanów, w których proces powinien się znaleźć w wyniku działania właściwych decyzji. Natomiast pewne istniejące w systemie ograniczenia dotyczące zarówno czasu, jak i zasobów uwzględniane są w modelu poprzez definicję zbioru S_N uogólnionych stanów niedopuszczalnych.

Zdefiniowanie funkcji przejścia jako funkcji częściowej pozwala na uwzględnienie wszystkich ograniczeń dotyczących decyzji sterujących za pomocą tzw. zbiorów sterowań możliwych w stanie s , oznaczonych $U_p(s)$. Jeśli decyzja u jest możliwa (sensowna) w stanie s , to funkcja przejścia jest określona dla tej pary (u, s) . W przeciwnym wypadku nie jest określona. Ograniczenia dotyczące stanów uogólnionych definiujące S_N , można również uwzględnić za pomocą zbiorów sterowań dopuszczalnych w stanie s , oznaczonych $U_d(s)$.

Zadanie poszukiwania rozwiązania dopuszczalnego problemu z wykorzystaniem modelu algebraiczno-logicznego polega na znalezieniu ciągu decyzji wyznaczającego trajektorię dopuszczalną. Natomiast zadanie optymalizacji sterowania procesem polega na znalezieniu takiego ciągu decyzji dopuszczalnych, który ekstremalizuje przyjęte kryterium jakości. Zadanie optymalizacji jest określone zatem przez model procesu P oraz kryterium jakości Q i zapisywane jest jako para (P, Q) . Wyznaczenie trajektorii jest równoważne ze znalezieniem drogi w grafie stanów uogólnionych łączącej stan początkowy $s_0 = (x_0, t_0)$ ze zbiorem stanów końcowych, czyli docelowych S_G lub niedopuszczalnych S_N . Należy zwrócić uwagę na fakt, że nawet jeżeli dla dwóch stanów uogólnionych $s_1 = (x, t_1)$ i $s_2 = (x, t_2)$ stan właściwy x jest taki sam, to te stany uogólnione są różne, jeśli t_1 i t_2 nie są równe.

Przedstawiana metodologia ma szczególne zastosowanie w problemach, w których optymalizowane kryterium jest addytywnie separowalne i monotonicznie rosnące. Z tego typu kryterium mamy do czynienia dość często w rzeczywistych problemach.

3. Metody optymalizacji

Ogólny schemat modelu algebraiczno-logicznego umożliwia opracowanie wielu algorytmów, a nawet ogólnych metod rozwiązywania problemów optymalizacji. Opierając się na tym schemacie, można znaleźć rozwiązanie dokładne za pomocą algorytmu przeglądu zupełnego. Jednakże rozmiary rzeczywistych problemów, które dodatkowo należą zazwyczaj do klasy problemów NP-trudnych, nie pozwalają na uzyskanie rozwiązania dokładnego w sensownym czasie. Można je jedynie zastosować dla problemów o małych rozmiarach, np. w celu oszacowania błędów metod przybliżonych. Naturalnym wyborem zatem jest wykorzystanie metod przybliżonych różnego typu. Jak już wspomniano, w problemach, dla których dedykowane jest po-

dejście oparte na modelu algebraiczno-logicznym, nie jest możliwe zastosowanie wprost wielu sprawdzonych i uznanych metod heurystycznych (np. metod przeszukiwania sąsiedztwa, algorytmów ewolucyjnych). Specyfika tych problemów powoduje, że stworzenie *a priori* sensownego ciągu decyzyjnego jest zazwyczaj niemożliwe. Musi on być tworzony w trakcie generowania trajektorii procesu, co jest równoznaczne z symulacją tego procesu. Rozwiązywanie tych problemów wymaga zatem nieco odmiennego podejścia, które wykorzystuje właściwości modelu algebraiczno-logicznego.

Podstawą algorytmów opartych na ogólnym schemacie modelu algebraiczno-logicznego jest stworzenie ciągu decyzji. Wyboru decyzji w poszczególnych stanach procesu można dokonać na kilka sposobów. Jednym ze sposobów jest wygenerowanie wszystkich możliwych decyzji, a następnie wybranie jednej z nich na podstawie określonego kryterium. Odmiennym podejściem jest stworzenie specjalnych zasad opartych na heurystyce i dopasowanych do specyfiki problemu, dzięki którym od razu generowana jest tylko jedna, ostateczna decyzja możliwa w danym stanie (redukuje to ilość obliczeń w danym etapie). Możliwe jest też połączenie obu podejść przez generowanie pewnego podzbioru decyzji możliwych w danym stanie, a następnie wybór jednej z nich.

Stosując metody przybliżone, zazwyczaj nie poprzestajemy na pierwszym uzyskanym wyniku, ale staramy się znaleźć więcej rozwiązań, wśród których można by znaleźć najlepsze. W metodach opartych na modelu algebraiczno-logicznym możliwe jest albo generowanie niezależnych trajektorii, albo generowanie kolejnych przy wykorzystaniu informacji uzyskanych na podstawie analizy dotychczas otrzymanych rozwiązań (czyli na podstawie pewnej zgromadzonej wiedzy). W szczególności, nowe trajektorie mogą powstawać przez poprawianie końcowych odcinków wcześniej wygenerowanych trajektorii.

Przykładami opracowanych metod na bazie ogólnego schematu modelu algebraiczno-logicznego są metoda zadań zastępczych oraz metoda poszukiwania rozwiązania z gromadzeniem informacji dla potrzeb sterowania (metoda GIPS).

3.1. Metoda zadań zastępczych

W metodzie zadań zastępczych konstruowana jest w przestrzeni stanów pojedyncza trajektoria. Metoda ta charakteryzuje się szczególnym sposobem wyznaczania decyzji w danym stanie. Mianowicie, w każdym rozważanym stanie s procesu decyzja wyznaczana jest na podstawie specjalnie skonstruowanego zadania optymalizacji, zwanego zadaniem zastępczym $ZZ(s)$. Jako zadanie zastępcze $ZZ(s)$ rozumiana jest para (P_z, Q_z) , gdzie P_z jest pewnym procesem zastępczym, a Q_z – kryterium zastępczym. Celem tworzenia takich zadań jest ułatwienie wyznaczenia decyzji w danym stanie przez zastąpienie optymalizacji zadania globalnego prostszym zadaniem lokalnym.

Metoda zadań zastępczych realizowana jest w następujący sposób. W danym stanie procesu s przeprowadzana jest jego analiza. Na podstawie analizy określane jest zastępcze zadanie optymalizacji $ZZ(s)$, przy czym należy podkreślić, iż w różnych stanach procesu zadanie zastępcze

może mieć inną postać. Następnie wyznaczona zostaje decyzja $u^*(s)$, najlepsza z punktu widzenia zadania zastępczego. Po wyznaczeniu decyzji generowany jest następny stan trajektorii s' , dla którego ponownie przeprowadzana jest automatyczna analiza procesu. W wyniku tej analizy określane jest nowe, zmodyfikowane zadanie zastępcze. Generowanie trajektorii przerywane jest, gdy osiągnięty zostanie stan niedopuszczalny lub docelowy.

Bardzo ważnym elementem metody jest analiza procesu w danym stanie. Analizowany jest aktualny stan systemu, ograniczenia oraz kryterium. Na podstawie analizy, w sposób heurystyczny określane są tzw. cele pośrednie, które są następnie wykorzystywane do zdefiniowania zbioru stanów docelowych zadania zastępczego S_{Gz} . Jako cel pośredni d rozumiane jest jak najszybsze osiągnięcie przez proces stanu należącego do pewnego wyróżnionego zbioru stanów S_d . Po ustaleniu celów pośrednich określana jest najbardziej pożądaną kolejność, w jakiej trajektoria powinna przechodzić przez wyróżnione podzbiory stanów. Jest to równoznaczne z wprowadzeniem pewnej hierarchii ważności tych celów. Hierarchia ta ustalana jest za pomocą nadawania odpowiednich priorytetów poszczególnym celom pośrednim. Każdy cel pośredni d musi mieć określony swój priorytet, w związku z tym funkcja priorytetów obliczana jest za każdym razem, gdy jakiś nowy cel zostanie zdefiniowany. Dodatkowo, priorytety mogą być również aktualizowane w trakcie trwania symulacji na podstawie aktualnego stanu systemu. Wielokrotne wyznaczenie priorytetów jest uzasadnione w sytuacji, gdy wartość tych priorytetów może się istotnie zmieniać w zależności od stanu systemu.

Zadanie zastępcze ZZ określone jest przez proces zastępczy P_z oraz kryterium zastępcze Q_z . Proces zastępczy jest konstruowany w taki sposób, aby wszystkie ograniczenia procesu podstawowego wyrażone za pomocą definicji zbioru stanów niedopuszczalnych S_N oraz definicji funkcji przejścia f były zachowane, natomiast określony był nowy zbiór stanów docelowych. Konstrukcja zadania zastępczego w danym stanie s wymaga realizacji następujących kroków: określenie zbioru celów pośrednich, określenie priorytetów w zbiorze celów pośrednich, określenie zbioru celów pośrednich, które będą realizowane oraz określenie zbioru stanów docelowych S_{Gz} procesu zastępczego P_z .

Szczegółowo metoda zadań zastępczych została przedstawiona w pracy [2].

3.2. Metoda z gromadzeniem informacji

Drugim przykładem metod wykorzystujących ogólny schemat modelu algebraiczno-logicznego jest metoda poszukiwania rozwiązania z gromadzeniem informacji dla potrzeb sterowania (metoda GIPS) [9]. Metoda ta polega na specyficznym generowaniu skończonego ciągu trajektorii procesu. W trakcie generowania pojedynczej trajektorii procesu stosuje się specjalnie skonstruowaną lokalną procedurę wyboru decyzji, w której wykorzystano pojęcie semimetryki. Każda wygenerowana trajektoria jest analizowana, a uzyskane wyniki powiększają wiedzę o procesie i sterowaniu. Należy podkreślić, że istotne są nie tylko informacje dotyczące uzyskanych dopuszczalnych trajekto-

rii procesu. Równie ważne są informacje związane z uzyskanymi rozwiązaniami niedopuszczalnymi (trajektoriami niedopuszczalnymi). Oba źródła informacji wykorzystywane są w celu modyfikacji zadania lokalnego dla kolejnych trajektorii. Kolejną cechą metody jest przerywanie generowania trajektorii w przypadku uzyskania dla początkowej części trajektorii wartości wskaźnika jakości gorszej od wartości wcześniej wyznaczonego najlepszego rozwiązania dopuszczalnego. W ten sposób zredukowane są obliczenia dla końcowych odcinków trajektorii o gorszym wskaźniku jakości, jednakże informacja o początkowej części tej trajektorii jest wykorzystywana podczas generowania kolejnych trajektorii.

Wykorzystując metodę z gromadzeniem informacji dla potrzeb sterowania opracowano dwie klasy algorytmów należących do grupy algorytmów konstruujących rozwiązanie. Algorytmy należące do pierwszej z klas konstruują kolejno całe trajektorie. Generowanie trajektorii zawsze rozpoczyna się od stanu początkowego $s_0 = (x_0, t_0)$. Dla każdej wygenerowanej trajektorii, zarówno dopuszczalnej jak i niedopuszczalnej, zapamiętywana jest jej końcowa charakterystyka, wykorzystywana w dalszych obliczeniach.

Algorytmy należące do drugiej z klas są algorytmami wykorzystującymi możliwość poprawy danego rozwiązania przez zmiany końcowych części trajektorii. W tej klasie algorytmów wszystkie stany konstruowanych trajektorii są zapamiętywane wraz z odpowiednimi charakterystykami trajektorii. Po skonstruowaniu pierwszej trajektorii, kolejno generowane (konstruowane) są końcowe odcinki trajektorii. Generowanie następuje począwszy od jednego z wygenerowanych i zapamiętanych stanów. Stan taki może być wybrany losowo lub w z góry określony sposób. Jednym z takich sposobów jest zdefiniowanie dla stanów pewnego zestawu atrybutów, które ściśle zależą od rozpatrywanego problemu. Postaci tych atrybutów określane są na podstawie wiedzy uzyskanej w trakcie analizy problemu oraz pewnych obserwacji i intuicji projektanta. Generowanie końcowego odcinka trajektorii rozpoczyna się od tego z dotychczas wygenerowanych stanów, dla którego wartość wybranego atrybutu jest najlepsza (minimalna lub maksymalna). Możliwe są również sytuacje, w których trajektorie będą konstruowane od stanu początkowego $s_0 = (x_0, t_0)$.

Niezwykle istotnym elementem metody GIPS jest specjalnie skonstruowane zadanie optymalizacji lokalnej. Lokalne kryterium składa się z trzech części. Pierwsza część dotyczy wartości globalnego wskaźnika jakości generowanej trajektorii. W jej skład wchodzi przyrost wartości wskaźnika jakości wynikający z realizacji rozważanej decyzji oraz wartość związana z szacowaniem wartości wskaźnika jakości dla końcowego odcinka trajektorii po zrealizowaniu decyzji. Druga część zawiera składniki związane z dodatkowymi ograniczeniami lub wymaganiami. Składniki te szacują odległość w przestrzeni stanów między stanem wynikającym z podjęcia rozważanej decyzji a stanami należącymi do zbioru stanów niedopuszczalnych S_N , stanami niekorzystnymi lub wyróżnionymi stanami korzystnymi. Do określania odległości w przestrzeni stanów, która nie jest przestrzenią numeryczną, można wykorzystać

dowolną semimetrykę. Jak wiadomo, semimetryka, oznaczana tu jako ψ , różni się od metryki tym, że nie musi spełniać warunku $\psi(a,b) = 0 \Leftrightarrow a = b$. W skład trzeciej części wchodzi składniki odpowiadające za preferowanie pewnych typów decyzji. Podstawowa postać kryterium jest następująca:

$$q(u, x, t) = \Delta Q(u, x, t) + \hat{Q}(u, x, t) + a_1 \cdot q_1(u, x, t) + \dots + a_i \cdot q_i(u, x, t) + \dots + a_n \cdot q_n(u, x, t) + b_1 \cdot \rho_1(u, x, t) + \dots + b_j \cdot \rho_j(u, x, t) + \dots + b_m \cdot \rho_m(u, x, t) \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta Q(u, x, t)$ – przyrost wartości wskaźnika jakości w wyniku podjętej w stanie $s = (x, t)$ decyzji u ,

$\hat{Q}(u, x, t)$ – oszacowanie wartości wskaźnika jakości końcowego odcinka trajektorii po zrealizowaniu decyzji u ,

$q_i(u, x, t)$ – składniki odzwierciedlające dodatkowe ograniczenia lub dodatkowe wymagania w przestrzeni stanów, $i = 1, 2, \dots, n$,

a_i – współczynniki, które określają wagi składników szacujących wpływ powyższych dodatkowych ograniczeń lub wymagań w kryterium,

$\rho_j(u, x, t)$ – składniki odpowiadające za preferowanie pewnych typów decyzji, $j = 1, 2, \dots, m$,

b_j – współczynniki, które określają wagi składników odpowiadających za preferowanie poszczególnych typów decyzji.

Po określeniu wszystkich składników kryterium należy odpowiednio dobrać współczynniki a_i i b_j . Oczywiście im większe jest znaczenie danego składnika, tym wyższa powinna być wartość współczynnika. Odpowiedni dobór współczynników przekłada się na jakość uzyskanego rozwiązania, trudno jednak określić *a priori* optymalne wartości tych wag. Zależą one zarówno od rozważanego problemu optymalizacji, jak i danych konkretnego zadania (instancji problemu). Do zmiany tych współczynników wykorzystywane są informacje na temat jakości uzyskanych do tej pory trajektorii, ich wskaźników jakości, jak i różnych dodatkowych parametrów związanych z procesem. Jednocześnie gromadzona w trakcie eksperymentów wiedza jest zagregowana właśnie w postaci ustalonych wartości współczynników dla najlepszej znalezionej trajektorii.

W metodzie GIPS uwzględnione są dwa mechanizmy ustalania i modyfikacji kryterium lokalnego. Po pierwsze, modyfikacja może nastąpić dla kolejnej generowanej trajektorii i wynikać z analizy wszystkich dotychczasowych trajektorii. Po drugie, zmiana postaci kryterium może nastąpić w trakcie generowania pojedynczej trajektorii na skutek analizy bieżącego stanu procesu.

Na podstawie opisanych wyżej metod stworzono szereg algorytmów optymalizujących skomplikowane problemy decyzyjne. Algorytmy oparte na metodzie zadań zastępczych opracowano i przebadano dla problemu planowania tras dostaw [7] oraz dla problemu udostępniania pól eksploatacyjnych [2, 6]. Natomiast dla problemu szeregowa-

nia zadań na wielu maszynach z czasem przebrożeń zależnym od stanu, na bazie metody GIPS przygotowano zestaw algorytmów konstruujących całe trajektorie [4, 5, 9] oraz algorytmy poprawy, które konstruują końcowe odcinki trajektorii, począwszy od odpowiednio wybranego stanu wygenerowanej wcześniej trajektorii [8, 10].

3.3. Aktualne kierunki badań

Metody oparte na modelu algebraiczno-logicznym są rozbudowywane. Aktualnie dla metody GIPS powstają między innymi koncepcje dotyczące technik doboru wartości współczynników w lokalnym kryterium optymalizacji. Oczywiście w najprostszym przypadku dobór tych współczynników jest dokonywany przez eksperta. Wymaga to bezpośredniego udziału człowieka, który musi uwzględnić wiele informacji i często zdaje się na intuicję. Takie podejście jest nieefektywne. Dlatego konieczne jest opracowanie automatycznych metod ustalania wartości współczynników. Można w tym celu wykorzystać różne metody heurystyczne, przykładowo metody przeszukiwania sąsiedztwa, algorytmy genetyczne, czy strategie ewolucyjne. Aktualnie trwają prace w tym obszarze. Koncepcja algorytmu automatycznie dobierającego współczynniki w kryterium lokalnym jest następująca: tworzony jest początkowy zestaw wartości współczynników (chromosom). Następnie dla chromosomu przeprowadzana jest symulacja procesu, czyli współczynniki z chromosomu wstawiane są do kryterium lokalnego optymalizacji, po czym generowana jest trajektoria. Wartość kryterium jakości tak uzyskanej trajektorii przekłada się na wartość funkcji przystosowania danego chromosomu (osobnika). Następnie za pomocą odpowiednio skonstruowanego operatora mutacji tworzony jest nowy chromosom, czyli kolejny zestaw współczynników. W ten sposób wykonywane są kolejne iteracje, a algorytm kończy działanie w momencie zaistnienia ustalonego warunku stopu. Takie samo podejście może być zastosowane nie dla jednego zestawu wartości współczynników (jednego osobnika), a dla zbioru takich zestawów (chromosomów), czyli populacji. W takim przypadku symulacja przeprowadzana jest dla każdego osobnika z osobna, czyli każdy zestaw współczynników bierze udział w wygenerowaniu jednej trajektorii. Do stworzenia następnego pokolenia (następnego zestawu współczynników) wykorzystywany jest wtedy zarówno operator mutacji, jak i operator krzyżowania.

Kolejnym obszarem badań jest zastosowanie modelu algebraiczno-logicznego i bazujących na nim algorytmów w procesach, w których warunki zmieniają się dynamicznie. W rzeczywistych systemach często zdarzają się różnego rodzaju zakłócenia, awarie czy też czasowe zmiany w dostępności zasobów. W klasycznych modelach matematycznych problemów optymalizacji nie da się uwzględnić takich sytuacji. Konieczne jest wtedy tworzenie modelu od nowa i ponowne zastosowanie algorytmu, a nawet stworzenie nowego. Natomiast przy korzystaniu z modelu algebraiczno-logicznego zmiany takie zazwyczaj da się uwzględnić, modyfikując bezpośrednio wartości niektórych parametrów modelu. Możliwe jest to nawet w trakcie generowania trajektorii procesu, bez konieczności dostosowywania algorytmu.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania ogólnego schematu modelu algebraiczno-logicznego w optymalizacji problemów decyzyjnych. Zaprezentowano metody oparte na modelu algebraiczno-logicznym, które mogą być z powodzeniem zastosowane do rozwiązywania różnych skomplikowanych problemów. Przedstawiono także koncepcje kolejnych prac nad wykorzystaniem modelu algebraiczno-logicznego.

Dzięki oparciu na formalnym modelu algebraiczno-logicznym, algorytm pozostaje niezależny od konkretnego języka programowania i struktury danych. Dodatkowo, ze względu na fakt, że z modelu w prosty sposób można pozyskać potrzebne informacje, projektowanie i implementacja algorytmów są w znacznej mierze ułatwione. Precyzyjne określenie składników systemu zmniejsza nakład pracy przy wprowadzaniu ewentualnych modyfikacji w algorytmie czy też nawet przy całkowitej zmianie metody optymalizacji. Ponadto w sytuacji, w której dla tego samego problemu różne algorytmy zostały oparte na modelu algebraiczno-logicznym, mamy możliwość obiektywnego porównania ich efektywności i jakości.

Należy podkreślić, że przedstawiona metodologia jest bardzo uniwersalna i może znaleźć szerokie zastosowanie.

Bibliografia

1. Dudek-Dyduch E.: *Formalizacja i analiza problematyki dyskretnych procesów produkcyjnych*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” 54/1990.
2. Dudek-Dyduch E., Dutkiewicz L.: *Metoda zadań zastępczych do rozwiązywania NP-trudnych problemów szeregowania*. Wydawnictwo PŚ, 2006, 57–66.
3. Dudek-Dyduch E., Dyduch T.: *Learning algorithms for scheduling using knowledge based model*, [w:] Rutkowski L., Tadeusiewicz R., Zadeh L.A., Żurada J. (red.): *Artificial Intelligence and Soft Computing*, LNAI 4029, Springer, 2006, 1099–1100.
4. Dudek-Dyduch E., Kucharska E.: *Optimization learning method for discrete process control*, ICINCO 2011: Proceedings of the 8th International Conference on Informatics, Control, Automation and Robotics, 2011, 24–33.
5. Dudek-Dyduch E., Kucharska E., Dutkiewicz L.: *Algorytmy z szacowaniem kosztów w kryterium lokalnym dla problemu szeregowania zadań*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” t. 11 z. 3, 2007, 383–395.
6. Dutkiewicz L., Kucharska E.: *Dwupoziomowy algorytm dla problemu udostępniania pól eksploatacyjnych*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” t. 11 z. 3, 2007, 397–407.
7. Dutkiewicz L., Kucharska E.: *Algorytm planowania tras dostaw dla wielu komiwojazerów*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” t. 14 z. 3/2, 2010, 853–865.
8. Dutkiewicz L., Kucharska E., Kraszewska M.: *Szeregowanie prac przygotowawczych w kopalni – algorytmy symulacyjne*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” t. 24 z. 3/3, 2008, IGSMiE PAN, 79–93.
9. Kucharska E., Dutkiewicz L.: *Klasa algorytmów heurystycznych dla zagadnienia szeregowania zadań na maszynach z przebrojeniami*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” t. 10 z. 3, 2006, 531–541.
10. Kucharska E., Dutkiewicz L.: *Heurystyczne przeszukiwanie drzewa rozwiązań dla problemu szeregowania na maszynach równoległych*, Zesz. Nauk. AGH, „Automatyka” t. 12 z. 3, 2008, 945–956. ■

Optimization methods based on general schema of algebraic-logical model

Abstract: The aim of the paper is to present the optimization methods based on general schema of algebraic-logical model. This scheme is mainly used in problems, for which the effects of decisions cannot be determined a priori. Therefore, it is necessary to simulate the decision process. In particular, the article describes the substitution tasks method and the method with information gathering for the purpose of control. The paper also presents the concepts of further research.

Keywords: algebraic-logical model, decision process, local optimization, discrete simulation

dr inż. Lidia Dutkiewicz

Absolwentka Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W 2005 roku obroniła z wyróżnieniem pracę doktorską w dyscyplinie Automatyka i Robotyka. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Automatyki AGH. Zainteresowania naukowe: optymalizacja dyskretna, modelowanie procesów decyzyjnych.
e-mail: lidia@agh.edu.pl



dr inż. Edyta Kucharska

Ukończyła studia i obroniła pracę doktorską w Akademii Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Aktualnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki AGH. Zainteresowania naukowe: optymalizacja dyskretna, modelowanie procesów decyzyjnych, informatyczne systemy zarządzania.
e-mail: edyta@agh.edu.pl

