



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
TECHNOLOGII I SYSTEMÓW
INFORMATYCZNYCH**

pod redakcją:

Jana Studzińskiego

Ludostawa Drelichowskiego

Olgierda Hryniewicza



**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII
I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH**

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 28

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2001

ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII I SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

pod redakcją

Jana Studzińskiego, Ludosława Drelichowskiego
i Olgierda Hryniewicza

Wydano z wykorzystaniem dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju technologii, modeli i systemów informatycznych oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Wyodrębnioną grupę stanowią artykuły aplikacyjne omawiające wyniki projektów badawczych i celowych KBN.

Recenzenci artykułów:

Dr hab. inż. Ryszard Budziński, prof. US

Prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk

Dr hab. Adam Kopiński, prof. AE we Wrocławiu

Doc dr hab. inż. Marek Libura

Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2001

ISBN 83-85847-59-6

ISSN 0208-8028

Rozdział 5

**Modele i systemy wspomaganie decyzji
w zarządzaniu i technice**

SYMULACYJNY SYSTEM WSPOMAGANIA DECYZJI Z INTELIGENTNYM MODULEM PLANOWANIA EKSPERYMENTÓW

Małgorzata Łatuszyńska¹, Marek Jankowski²

¹Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania US,

²Wydział Mechaniczny ATR

W artykule przedstawiono koncepcję symulacyjnego systemu wspomagania decyzji, do którego obok najczęściej wymienianych w literaturze elementów (banku danych, banku metod i banku modeli) proponuje się dołączenie modułu planowania eksperymentów symulacyjnych typu „co będzie gdy”, zbudowanego na bazie algorytmu genetycznego. Włączenie metod sztucznej inteligencji do systemu symulacyjnego polega w praktyce na zdefiniowaniu obiektów posiadających właściwości określane przez techniki inteligentne. Takie inteligentne obiekty zwykle potrafią odpowiadać na pytania i rozwiązywać problemy związane z typowymi obiektami symulacyjnymi. Są one umieszczane w systemie symulacyjnym jak każdy inny obiekt i bezpośrednio uczestniczą w procesie symulacji wspomagając jej przebieg. Jako przykład realizacji proponowanej koncepcji autorzy prezentują symulacyjny model systemu wspomagania decyzji zbudowany dla przedsiębiorstwa transportu samochodowego.

1. Wprowadzenie

System ekonomiczny jako część systemu społecznego należy do klasy systemów szczególnie złożonych¹. Ze względu na specyficzne cechy tego typu systemów² bierna obserwacja daje ograniczone możliwości wnioskowania o jego dynamice. Złożoność i spójność systemu ekonomicznego, ścisła integracja z otoczeniem utrudniają, a często wręcz uniemożliwiają bezpośrednią identyfikację zachodzących związków przyczynowo-skutkowych. W tej sytuacji niewątpliwą pomocą, zarówno

¹ Zob.: Gościński J., *Zarys teorii sterowania ekonomicznego*, Warszawa 1977, s. 69; Łukaszewicz R., *Dynamika Systemów Zarządzania*, PWN Warszawa 1975, s.25; Forrester J.W., *Urban Dynamics*, The MIT Press, Massachusetts 1969.

² Ciekawe spostrzeżenia odnośnie cech systemów szczególnie złożonych przedstawiono w pracy: Forrester J.W., *Principles of Systems*, Second Preliminary Edition, MIT Press, Cambridge, Mass 1968

w sensie poznawczym, jak i przy rozwiązywaniu różnorodnych problemów decyzyjnych, są komputerowe modele symulacyjne³.

Model jest uproszczonym obrazem rzeczywistości i organizuje nasze myślenie o problemie. Dzięki niemu miejsce przypadkowych spostrzeżeń może zająć uporządkowana analiza⁴. Dla potrzeb tej pracy przyjęto, że komputerowy model symulacyjny to model numeryczny, który z użyciem komputera można zastosować wielowariantowo do przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych typu „co by było, gdyby...”⁵.

W procesie tworzenia i rozwiązywania komputerowego modelu symulacyjnego można wyróżnić kilka podstawowych etapów⁶. Są to: sformułowanie problemu, tworzenie modelu matematycznego, zaprogramowanie modelu na maszynę cyfrową, sprawdzenie poprawności modelu, zaplanowanie eksperymentów oraz wykonanie przebiegów symulacyjnych i analiza wyników. Sposób realizacji tych etapów jest zależny od przyjętej techniki modelowania symulacyjnego, która determinuje zarówno konwencję opisu modelu jak i przyjęty do symulacji język programowania⁷.

Badania symulacyjne mają za cel udzielenie odpowiedzi na konkretne pytania dotyczące zachowania się lub właściwości badanego systemu ekonomicznego i tym samym ułatwienie rozwiązania określonego problemu decyzyjnego. W tym celu planuje się eksperymenty symulacyjne, które następnie przeprowadza się na modelu. Przez eksperyment rozumie się „serię doświadczeń, umożliwiającą (między innymi) poprawienie działania rozważanego systemu”⁸. Innymi słowy eksperyment powinien umożliwić optymalizację badanego systemu.

Wykonanie eksperymentu na modelu to po prostu uruchomienie programu, ale przykładowo, przebadanie wpływu ośmiu parametrów, z których każdy przybie-

³ Por. Gutenbaum J., Inkielman M. (red.), *Symulacyjny model gospodarki Polski*, PAN-IBS, Seria Badania Systemowe tom 20, Warszawa 1998, s. 10; Radościński E., *Symulacja komputerowa jako metoda poznania systemów ekonomicznych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1988, ss. 4-5

⁴ Czarny B., *Narzędzia ekonomisty*, Nowe życie Gospodarcze nr 41/1996

⁵ Lipiec-Zajchowska M., *Metody symulacji komputerowej w prognozowaniu makroekonomicznym*, PWE, Warszawa 1990, s. 27

⁶ Por. Gordon G., *Symulacja systemów*, WNT, Warszawa 1974, ss.37-39, .: Łukaszewicz R., *Dynamika Systemów Zarządzania*, op.cit., ss. 151-152; Souček Z., *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, PWN Warszawa 1979, ss. 184-233; Naylor T.H., *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, PWN, Warszawa 1975, s. 33

⁷ Wiele informacji na ten temat znajdzie czytelnik w następujących pozycjach literatury: Lipiec-Zajchowska M., *Metody symulacji komputerowej*, op.cit., ss. 27-33, Lewandowski A., *Modele komputerowe i metody symulacji*, [w:] Analiza systemowa – podstawy i metodologia., Findeisen W. (red.), PWN, Warszawa 1985, ss.427 – 429; Gordon G., *Symulacja systemów*, op.cit., Naylor T.H., *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, op.cit., ss. 33-40

⁸ Mańczak K., *Planowanie eksperymentu*, [w:] Analiza systemowa – podstawy i metodologia, op.cit., s. 371

ra 8 wartości, wymaga rozwiązania modelu dla 8^8 (czyli 16 777 216) stanów układu. Przypuśćmy teraz, że każdy z tych 16 777 216 stanów układu, stanowiący jeden przebieg symulacyjny, odpowiada 20 latom symulowanego doświadczenia. Ostrożnie szacując, można przyjąć, że wymagany czas komputera dla 20-letniego przebiegu wyniesie około 2 sekund, co daje ponad 9 320 godzin nieprzerwanej pracy komputera, czyli ponad 388 dni. Każda więc możliwość skrócenia czasu obliczeń wydaje się cenna. Zgodnie z doniesieniami literaturowymi⁹ taką możliwość daje zastosowanie odpowiednio zaprojektowanego algorytmu genetycznego, dobierającego optymalny zestaw wartości rozważanych parametrów zgodnie z przyjętą funkcją celu, zwaną w przypadku algorytmów genetycznych funkcją przystosowania.

Algorytm genetyczny jest jedną z technik sztucznej inteligencji. Podstawową hipotezą leżącą u podstaw tej techniki jest założenie, że pewne klasy problemów mogą być efektywnie rozwiązywane poprzez stosowanie technik imitujących działanie dwóch głównych siły ewolucyjnych: dziedziczenia genetycznego i doboru naturalnego¹⁰. Poprzez wielokrotne wykonywanie cyklu podstawowych operacji genetycznych "reprodukcja – krzyżowanie – mutacja" algorytm genetyczny potrafi wygenerować rozwiązanie optymalne dla wielu problemów obliczeniowych, przy których zawiodły metody analityczne i symulacyjne.

2. Problemy integracji technik inteligentnych i symulacyjnych

Badacze posługujący się symulacją komputerową długo czekali na możliwość włączenia technik sztucznej inteligencji do języków symulacyjnych. Niestety języki programowania nadające się do implementacji sztucznej inteligencji, nie były odpowiednie do definiowania zadań symulacyjnych. Takie możliwości stworzyły dopiero współczesne języki zorientowane na obiekty, które szczególnie intensywnie rozwinęły się w ciągu ostatnich kilkunastu lat¹¹.

⁹ zob.: Radosiński E., *Algorytmy genetyczne w projektowaniu ekonomicznych eksperymentów symulacyjnych*, [w:] materiały III Krajowej Konferencji Naukowej nt. „Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe”, Wrocław 1997; Kasperska E., *Sztuczna inteligencja w badaniach symulacyjnych dla wspomagania planowania i organizowania w przedsiębiorstwie przemysłowym o produkcji ciągłej*, w: Inteligentne systemy wspomagania decyzji w zarządzaniu, Akademia Ekonomiczna, Katowice 1995, s.231-236, ; Fishwick P.A., *Computer Simulation: Growth through Extension*, European Simulation Multiconference, Barcelona, Spain 1994 URL: <http://www.cis.ufl.edu/~fishwick/paper.htm>

¹⁰ por. Goldberg D.E., *Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie*, WNT, Warszawa 1995; Michalewicz Z., *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa 1996

¹¹ Por. Bolte J.P., Fisher J.A., Ernst D.H., *An Object-Oriented, Message-Based Environment for Integrating Continuous, Event-Driven and Knowledge-Based Simulation*, [w:] materiały na konferencję „Application of Advanced Information technologies: Effective Management of Natural Resources”, ASAE, Czerwiec 1993, Spokane, WA; Fishwick P.A., *Computer Simulation: Growth through Extension*, op.cit.

Obecnie obserwuje się, w niemal wszystkich dziedzinach informatyki, dążenie do stosowania technologii obiektowych. Złożoność rozwiązywanych problemów, silne zdeterminowanie czasowe i kosztorysowe, wywołały masowe przejście do obiektowego postrzegania zadań koncepcyjnych i projektowych. Podejście obiektowe ma szereg zalet, do których można zaliczyć:

- dostępność narzędzi programistycznych i obszernych bibliotek,
- możliwość wielokrotnego użycia kodów programu,
- wierne i przystępne pojęciowo odzwierciedlenie zdarzeń i procesów zachodzących w rzeczywistym świecie,
- stosunkowo łatwe modernizowanie prawidłowo zaprojektowanych systemów.

Podejście obiektowe można określić¹² jako próbę modelowania, odwzorowania rzeczywistych bytów jako obiektów. W podejściu tym zadania rozpatrywane są w kategoriach obiektów i komunikatów pomiędzy nimi. Obiekt, zgodnie z definicją podaną przez Yourdon'a i Argila¹³, jest niezależną, asynchroniczną jednostką, która przechowuje dane (atrybuty), wykonuje zadania (metody), komunikuje się z innymi obiektami (komunikaty). Obiekt posiada cechy i zachowania odróżniające go od innych obiektów tworzących system.

Pojęciem ogólniejszym jest klasa obiektów, która może być rozumiana jako szablon. Szablon taki określa, jakie atrybuty ma dana klasa i w jaki sposób obiekty funkcjonują. Działająca aplikacja uaktywnia potrzebne egzemplarze (instancje) klasy – w ten sposób generuje kolejne obiekty.

Do podstawowych własności, które obowiązują dla środowisk obiektowych należą¹⁴: hermetyzacja danych, abstrakcja danych, dziedziczenie oraz polimorfizm.

Hermetyzacja danych to wewnętrzne dla obiektu umiejscowienie definicji danych. Dane są udostępniane na zewnątrz wyłącznie przez specjalne procesy nazywane komunikatami. Z danych (atrybutów) obiektu korzystają (oraz je modyfikują lub generują) protokoły postępowania właściwe dla określonego obiektu – metody. Abstrakcja danych jest procesem grupowania cech (atrybutów) i czynności (metod) w jednostkę logiczną – klasę. Dziedziczenie natomiast jest procesem powstawania podklas z zachowaniem atrybutów i metod właściwych dla klasy podstawowej. Podklasy najczęściej dodatkowo posiadają kolejne atrybuty i metody. Z kolei polimorfizm to mechanizm manipulowania abstrakcyjnymi typami danych, który nie wymaga definiowania typów danych

¹² MacVittie D.W., MacVittie L.A., *Programowanie zorientowane obiektowo*, MIKOM, Warszawa 1996, s.14

¹³ Yourdon E., Argila C., *Analiza obiektowa i projektowanie*, WNT, Warszawa 2000, ss.26-27

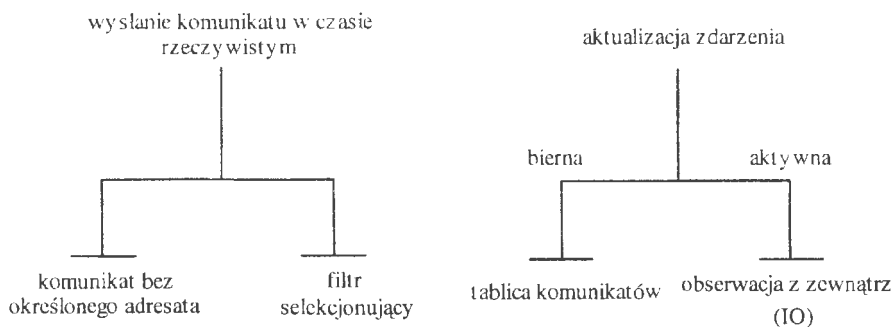
¹⁴ MacVittie D.W., MacVittie L.A., *Programowanie zorientowane obiektowo*, op.cit., ss. 19-23

Wymienione wyżej cechy podejścia obiektowego pozwalają na włączenie metod sztucznej inteligencji do modelu symulacyjnego. Proces ten polega w praktyce na zdefiniowaniu obiektów posiadających właściwości określane przez techniki inteligentne. Takie inteligentne obiekty (IO – ang. Intelligent Objects) zwykle potrafią odpowiadać na pytania i rozwiązywać problemy związane z typowymi obiektami symulacyjnymi. Są one umieszczane w środowisku symulacyjnym jak każdy inny obiekt i bezpośrednio uczestniczą w procesie symulacji wspomagając jej przebieg.

Typowe obiekty symulacyjne mogą komunikować się z IO na jeden z czterech sposobów przedstawionych schematycznie na rysunku 1.

Komunikacja pomiędzy obiektami jest niezbędnym elementem każdej symulacji. Poszczególne obiekty biorące udział w symulacji, w tym IO, wysyłają komunikaty do innych obiektów w celu wykonania jakiegoś zadania lub otrzymania żądanej informacji. Komunikaty mogą być wysyłane bez określenia konkretnego obiektu - adresata, ale wówczas nie spowodują one wykonania żadnego zadania, będą skierowane "w pustkę". Aby komunikaty trafiły do odpowiednich obiektów potrzebny jest pewien mechanizm, polegający na tym, że poszczególne obiekty symulacji nadają do otoczenia komunikaty o tym, jakimi informacjami są zainteresowane. W ten sposób tworzy się swoisty filtr selekcyjny, który wyłapuje ze wszystkich komunikatów w otoczeniu te, które spełniają określone warunki.

Rysunek 1. Cztery możliwości komunikacji IO z innymi obiektami¹⁵.



Trzeci sposób komunikacji pomiędzy obiektami polega na zastosowaniu tzw. tablicy komunikatów. Obiekty biorące udział w symulacji wysyłają komunikaty do tablicy, gdzie są przechowywane i udostępniane pozostałym obiektom zgodnie z ich potrzebami. Różnica pomiędzy zwykłym wysyłaniem komunikatów przez obiekty a gromadzeniem ich w tablicy jest widoczna w prędkości dostępu. Wysyłanie i usu-

¹⁵ Opracowano na podstawie: Bolte J.P., Fisher J.A., Ernst D.H., *An Object-Oriented...*, op.cit.

wanie komunikatów odbywa się w czasie rzeczywistym, natomiast komunikaty z tablicy są przechowywane do określonego momentu symulacji. Przedział czasu pomiędzy wysłaniem komunikatu do tablicy a jego pobraniem jest nieokreślony.

Czwarty ze sposobów komunikacji międzyobiektywnej polega na tym, że IO obserwuje stan symulacji obiektów z zewnątrz i w odpowiednim momencie wkracza do akcji.

3. Idea obiektowo-zorientowanego systemu symulacyjnego z inteligentnym modułem planowania eksperymentów

W celu rozwiązania wybranych ekonomicznych problemów decyzyjnych buduje się pewien system modeli symulacyjnych, który następnie przez systematyczną rozbudowę może być przekształcony w symulacyjny system wspomagania decyzji, obejmujący bank danych, bank metod i bank modeli¹⁶.

Nazwa „system symulacyjny”¹⁷ ma z jednej strony podkreślić, że chodzi o coś więcej niż o zwykły język symulacyjny, a także o coś więcej niż pakiet symulacyjny¹⁸. Przyjmuje się, że system symulacyjny w procesie symulacji komputerowej spełnia następujące funkcje¹⁹: specyfikacja formalnej struktury modelu, specyfikacja i generowanie danych potrzebnych do obliczeń symulacyjnych, prezentacja i analiza wyników modelu, sterowanie procesem dokonywania eksperymentów symulacyjnych, zapewnienie różnorodnych połączeń pojedynczych modeli, organizacja wywoływania modeli, zarządzanie danymi, modelami i metodami.

Zasadniczo system symulacyjny umożliwia pełną integrację najróżniejszych metod, modeli i danych w procesie modelowania. Jest tu zatem także miejsce dla proponowanego inteligentnego modułu planowania eksperymentów symulacyjnych. Komunikację pomiędzy elementami systemu symulacyjnego, a użytkownikiem

¹⁶ Biniek Z., Buczyński P., Drażek Z., Kappel R., Krallmann H., *Symulacja komputerowa dynamiki systemów gospodarczych*, Rozprawy i Studia T. 42, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 1988, s.240

¹⁷ Zwickert E., *Simulation und Analyse dynamischer Systeme*, Walter de Gruyter, Berlin-New York 1981, s. 522

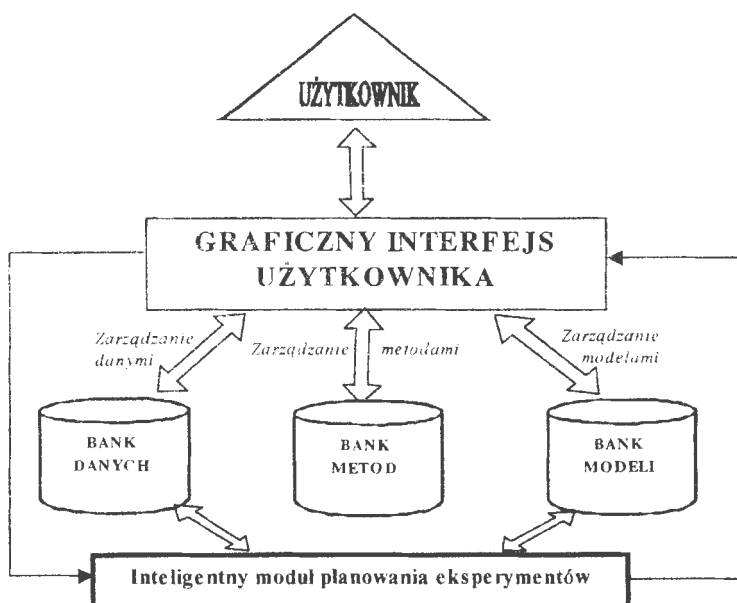
¹⁸ Zwykło się przyjmować, iż pakiet symulacyjny obejmuje cztery elementy: język symulacyjny sensu stricto, bibliotekę programów (funkcje i procedury standardowe do obliczeń matematyczno-statystycznych), program organizujący (sterujący) oraz kompilator [Lipiec-Zajchowska M., *Metody symulacji komputerowej w prognozowaniu makroekonomicznym*, op.cit., ss.28-29]. Typowym pakietem symulacyjnym jest pakiet Professional Dynamo Plus, zbudowany specjalnie dla potrzeb modelowania systemowo-dynamicznego. Wiele współczesnych pakietów symulacyjnych jest wyposażonych dodatkowo w moduł graficzny, umożliwiający modelującemu opisywanie struktury modelowanego systemu w postaci sformalizowanego schematu (np. VENSIM, STELLA, ITHINK). Na podstawie takiego schematu generowana jest częściowo procedura symulacyjna dla danego modelu.

¹⁹ Modellierungssoftware, Proceedings der GMD - Tagung - Status und Anforderungen auf dem Gebiet der Modell-Software, IPES Bericht Nr 76.102, Bonn 1976, s.227

powinien zapewniać graficzny interfejs użytkownika, umożliwiający wypełnianie wymienionych wcześniej funkcji systemu symulacyjnego (rysunek 2).

Bank danych powinien zawierać dane empiryczne w postaci np. szeregów czasowych, dotyczące modelowanego systemu ekonomicznego. Dane te mogą być wykorzystywane do określania warunków początkowych symulacji, parametrów i związków funkcjonalnych pomiędzy zmiennymi modeli. Bank metod z kolei winien obejmować dostępne procedury i funkcje matematyczno-statystycznych, które są niezbędne do obróbki danych empirycznych, w przypadku szacowania struktury i parametrów modelu, jak również walidacji modeli symulacyjnych.

W ujęciu obiektowym strukturę funkcjonalną proponowanego systemu symulacyjnego prezentuje rysunek 3. Zakłada się tu istnienie niezależnych, wirtualnych klas obiektów, generujących poszczególne instancje obiektów w zależności od potrzeb. Są to klasy: SYM_OB (do realizacji procesu modelowania i symulacji),

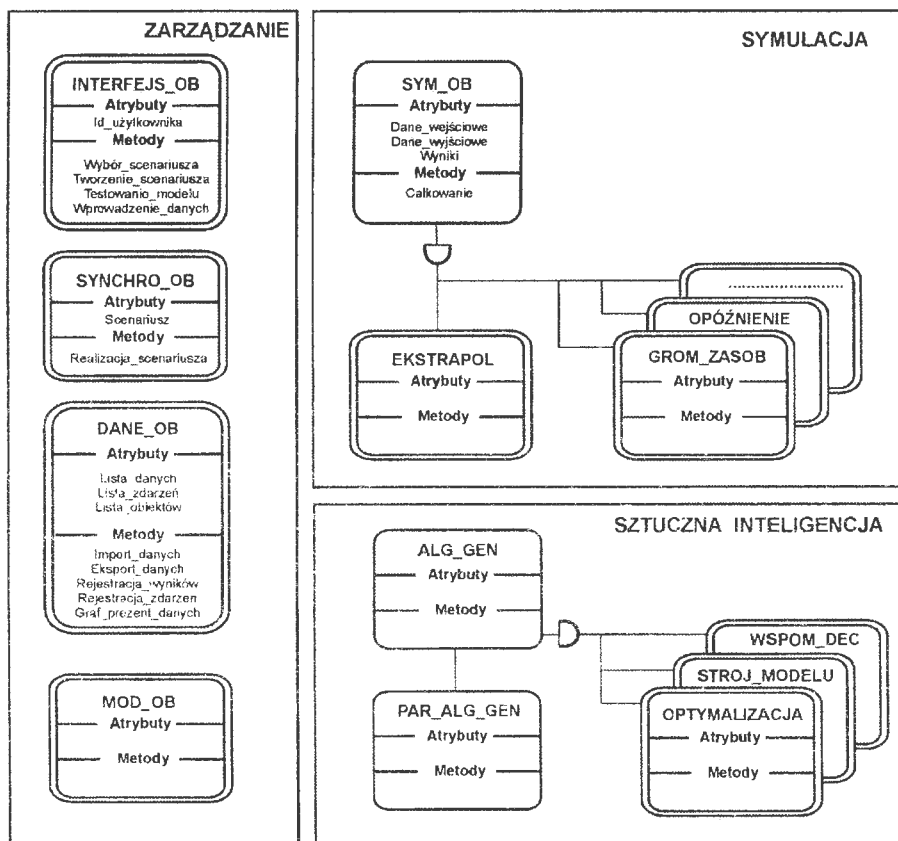


Rysunek 2. Architektura systemu symulacyjnego z inteligentnym modułem planowania eksperymentów

ALG_GEN (o własnościach sztucznej inteligencji), DANE_OB (do gromadzenia danych, ich przetwarzania statystycznego i wizualizacji), SYNCHRO_OB (do sterowania procesem symulacji), INTERFEJS_OB (do komunikacji z użytkownikiem systemu), MOD_OB (do dokonywania zmian w systemie, definiowania nowych klas, modernizacji istniejących lub likwidacji).

Powyższe klasy obiektów zgrupowano w tematy zgodnie z ich zastosowaniami i właściwościami. W temacie ZARZĄDZANIE zawarto klasy obiektów odpowiedzialne za konfigurowanie systemu według potrzeb użytkownika i sterowanie prze-

biegiem zdarzeń. W temacie SYMULACJA umieszczono klasy pozwalające na zbudowanie modelu symulacyjnego i wykonanie obliczeń symulacyjnych. Temat SZTUCZNA INTELIGENCJA zawiera klasy implementujące właściwości i zastosowania algorytmów genetycznych. Komunikacja pomiędzy obiektami możliwa jest metodami podanymi na rysunku 1.



Rysunek 3. Warstwa tematów symulacyjnego systemu wspomaganie decyzji

Zadaniem klasy SYM_OB jest obsługa zawartego w systemie symulacyjnym banku modeli oraz banku metod. Identyfikuje ona możliwie proste, podstawowe procedury potrzebne do obliczeń (np. całkowanie) oraz atrybuty danych wejściowych i wyjściowych. Przewidując możliwość zastosowania w trakcie konstrukcji modelu symulacyjnego idei modelowania modularnego²⁰, zakłada się także tworze-

²⁰ Idea modelowania modularnego bazuje na założeniu, że modelowanie systemów ekonomicznych polega na tworzeniu „modelu modeli”, czyli struktury niejednorodnej, składającej się z wielu powtarzalnych bloków, które można pobierać z biblioteki modułów. Więcej informacji na ten temat zaprezentowano w artykule: Łatuszyńska M., *Modelowanie modularne*

nie podklas wywodzących się z SYM_OB, w których zostaną umieszczone metody opisujące przykładowo procesy opóźnienia, gromadzenia zasobów i inne typowe dla systemów ekonomicznych zjawiska.

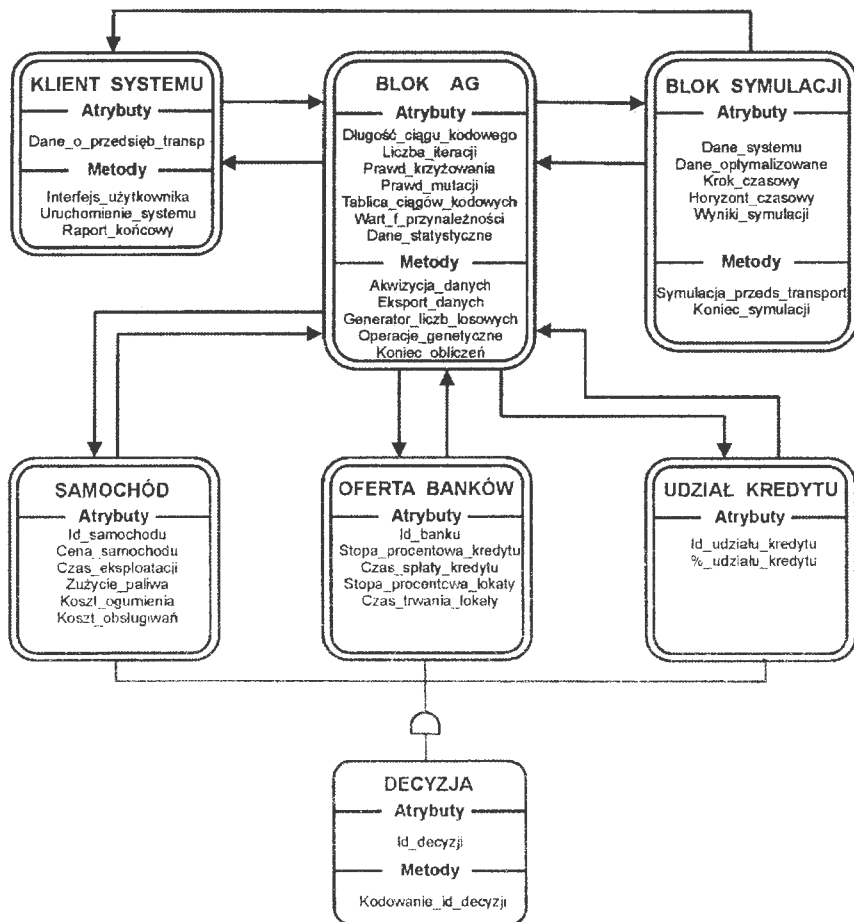
W temacie SZTUCZNA INTELIGENCJA istnieje klasa ALG_GEN pozwalająca na przeprowadzenie operacji genetycznych. Klasa ta może generować obiekty obliczeniowe o strukturze dopasowanej do wymagań rozwiązywanego problemu. Dla łatwiejszego posługiwania się systemem symulacyjnym, założono dziedziczenie metod i atrybutów ALG_GEN przez obiekty nazwane zgodnie z ich przeznaczeniem: OPTYMALIZACJA, STROJ_MODELU (strojenie modelu), WSPOM_DEC (wybór decyzji) itd. Poza klasami implementującymi bezpośrednio algorytmy inteligentne, założono istnienie klas pomocniczych, które bezpośrednio działają na rzecz konkretnych obiektów. Ich zadaniem jest dobór parametrów pracy w zależności od struktury przetwarzanych danych. Np. klasa PAR_ALG_GEN ustala długość ciągu kodowego, liczbę generacji, liczbę równoległe przetwarzanych ciągów kodowych, prawdopodobieństwo krzyżowania i mutacji.

W proponowanym systemie, istnieje potrzeba wymiany informacji i danych pomiędzy obiektami. W celu zapewnienia bezpieczeństwa takiej wymiany, zaprojektowano specjalną platformę: DANE_OB. Platforma ta odpowiada wybranej metodzie komunikacji, polegającej na generowaniu komunikatów ogólnodostępnych, które są filtrowane przez potencjalnych odbiorców. Założono, że obiekty klasy DANE_OB będą wykonywały dokumentację procesu zachodzącego w systemie, tzn. rejestrowały zdarzenia i odpowiadające im wyniki. Stąd ważna i przydatna metoda: generowania automatycznych wykresów i raportów.

Klasa SYNCHRO_OB zawiera scenariusze prowadzenia obliczeń i eksperymentów symulacyjnych. Atrybutami tej klasy są listy zdarzeń potrzebnych do wykonania określonego zadania oraz listy dostępnych obiektów. Zrealizowanie zadania sprowadzone zostaje do odpowiedniego wypełnienia listy z podaniem potrzebnych obiektów i chronologicznych zdarzeń. Użytkownik systemu za pośrednictwem INTERFEJS_OB wybiera gotowe szablony czynności zgromadzone w SYNCHRO_OB lub buduje samodzielnie środowisko tworząc scenariusz działania na podstawie listy możliwych do powołania obiektów.

4. Kierunki dalszych prac i wnioski

Przedstawiona wyżej koncepcja symulacyjnego systemu wspomagania decyzji z inteligentnym modułem planowania eksperymentów jest aktualnie w fazie realizacji na przykładzie modelu przedsiębiorstwa transportu samochodowego. Strukturę tego modelu w ujęciu obiektowym prezentuje rysunek 4.



Rysunek 4. Model symulacyjnego systemu wspomagania decyzji dla przedsiębiorstwa transportowego

Zasadniczą klasą obiektów, istotną ze względu na opisywane zastosowanie, jest BLOK SYMULACJI przedsiębiorstwa transportowego. Klasa ta zaopatrzona jest w metodę symulacja_przedsiębiorstwa_transp, zbudowaną w konwencji Dynamiki Systemowej²¹. Pozwala ona na śledzenie podstawowych wskaźników ekonomiczno-organizacyjnych przedsiębiorstwa. Do symulacyjnego systemu wspomagania decyzji wprowadzono także klasę BLOK AG, zawierającą metodę organizującą prowadzenie operacji genetycznych. Operacje genetyczne wykorzystane są do przyspieszenia obliczeń optymalizacyjnych. Inna klasą zawartą w omawianym systemie jest abstrakcyjna klasa DECYZJA. Konkretnie zastosowanie posiadają klasy potom-

²¹ Jest to metoda szczególnego podejścia do problemów z dziedziny zarządzania zaproponowana przez J.W. Forrester'a i jego współpracowników z MIT.

ne: SAMOCHÓD, OFERTA BANKÓW, UDZIAŁ KREDYTU, gromadzą one możliwe wartości zmiennych decyzyjnych. Odpowiednie adresowanie komunikatów do podklas wywodzących się z DECYZJA wykonywane przez BLOK_AG zapewnia właściwy dobór reguł decyzyjnych.

Kolejna klasa - KLIENT SYSTEMU - obsługuje zdarzenie, polegające na dostarczeniu danych i pobudzeniu systemu do działania. Interfejs_użytkownika pozwala na wprowadzenie danych, opisujących strukturę przedsiębiorstwa i realizowane zadania. Użytkownik wprowadza również dane o ofercie rynkowej otoczenia przedsiębiorstwa. Skompletowanie danych uruchamia działanie systemu. Metoda Uruchomienie_obliczeń powoduje wysłanie komunikatu inicjującego do BLOKU AG. Komunikat zawiera uporządkowane dane, które są analizowane przez BLOK AG i dalej przesyłane do BLOKU SUMULACJI (dane statyczne) i do obiektów gromadzących zmienne decyzyjne.

Blok AG ustala zasadniczy parametr jego pracy: Długość_ciągu_kodowego i przechodzi do wykonania obliczeń zgodnie z zaimplementowanym algorytmem genetycznym (metoda Operacje_genetyczne). Każdorazowy cykl iteracji (wygenerowania ciągu kodowego) powoduje uruchomienie obliczeń symulacyjnych Symulacja_przeds_transport. Komunikat wyzwalający zawiera zestaw danych które powstają przez dekodowanie ciągu kodowego z kolejnych pozycji aktualnej tablicy ciągów kodowych wygenerowanych przez operacje genetyczne. Po zakończeniu obliczeń symulacyjnych przesyłany jest komunikat zwrotny zawierający obliczone parametry przedsiębiorstwa: zysk, zasoby finansowe, itd. Te parametry zgodnie z obranym kryterium optymalizacyjnym powodują oszacowanie wartości funkcji przynależności. Funkcja przynależności z kolei steruje sposobem prowadzenia następnych operacji genetycznych.

Pomiędzy Blokiem AG a obiektami, pamiętającymi zestawy zmiennych decyzyjnych istnieje ciągła wymiana komunikatów. W ciągach kodowych zawarta jest informacja pozwalająca na określenie identyfikatora zbioru decyzji i pobranie aktualnych danych do obliczeń. Wykazano, że algorytm genetyczny w znacznym stopniu zwiększa efektywność poszukiwania optymalnego zestawu reguł decyzyjnych w zastosowaniu do omawianego zastosowania²².

Końcowy komunikat z BLOKU SYMULACYJNEGO zawiera wyniki - zestaw wybranych danych zgromadzonych w obiektach klasy DECYZJA, wybrany według wskaźników ekonomicznych przedsiębiorstwa.

Aktualnie trwają prace nad opracowaniem graficznego interfejsu użytkownika dla opisanego wyżej systemu.

²² Jankowski M., Łatuszyńska M., *Dobór wartości parametrów do modelu symulacyjnego za pomocą algorytmu genetycznego*, referat przyjęty na II Międzynarodową Konferencję Naukowo-Techniczną MOTROL 2001, Lublin-Nałęczów, wrzesień 2001

W planach jest opracowanie skryptu pozwalającego na interaktywne korzystanie z systemu przez użytkowników sieci INTERNET oraz rozbudowa opisanej wyżej koncepcji w kierunku włączenia do środowiska symulacyjnego obiektów opartych na innych technikach sztucznej inteligencji. Przykładowo zagnieżdżenie systemu ekspertowego w strukturze systemu symulacyjnego może stworzyć sprzyjające warunki do²³: sugerowania sposobu realizacji eksperymentu symulacyjnego, objaśniania wyników uzyskanych w trakcie eksperymentu symulacyjnego, automatycznego konstruowania nowych równań modelowych na podstawie analizy dotychczas wykonanych eksperymentów. Sieci neuronowe są kolejną propozycją metodologiczną, która może być użyta w środowisku symulacyjnym w trakcie konstruowania modelu, na przykład przy doborze elementów modelu czy odkrywaniu istotnych powiązań między nimi. Dzięki możliwości filtracji danych, sieci neuronowe nadają się również do stosowania na etapie opracowywania danych wejściowych do modelu symulacyjnego. Przydatność sieci neuronowych do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych pozwala także na zastosowanie ich do poszukiwania najlepszego rozwiązania wśród uzyskanych w wyniku eksperymentowania na modelu²⁴. W symulacji komputerowej można wreszcie zastosować teorię zbiorów rozmytych. W literaturze wykazuje się przydatność tej techniki w sytuacji braku danych potrzebnych do przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych. Przydaje się ona szczególnie w przypadku niemożności zebrania danych statystycznych dla określonych zmiennych modelu²⁵.

5. Wnioski

Efektom rozważań przedstawionych w niniejszym artykule jest koncepcja zorientowanego obiektowo, symulacyjnego systemu wspomagania decyzji, z inteligentnym modułem planowania eksperymentów, opartym na idei algorytmu genetycznego. Opracowano pogrupowane w tematy zestawy klas obiektów, które zdolne są do efektywnego rozwiązywania problemów optymalizacyjnych oraz podano przykład istniejącej aplikacji, przeznaczonej do wspomagania procesu podejmowania decyzji ekonomicznych w przedsiębiorstwie transportowym.

Badania działającego środowiska, w którym eksperyment symulacyjny wspomagany jest przez algorytm genetyczny wskazują, że możliwe i uzasadnione jest kojarzenie technik symulacyjnych z technikami właściwymi dla sztucznej inteligencji. Przez kilka dziesiątek lat obie dyscypliny – symulacja komputerowa i

²³ Radosiński E., *Techniki inteligentne w analizie ekonomicznej firmy*, materiały wirtualne Szkoły Symulacji Systemów Gospodarczych, Zakopane-Antałówka 1998, <http://chimera.ae.-krakow.pl/~ketril/skrzypek/szkola/a98/>

²⁴ por. Fishwick P., *Neural Network Models in Simulation: A Comparison with Traditional Modelling Approaches*, Winter Simulation Conference, Washington 1989, ss. 702-710

²⁵ Propozycje zastosowań logiki rozmytej do modelowania symulacyjnego systemów słabo ustrukturalizowanych prezentują Bontempi i Bonarini [Bonarini A., Bontempi G., *A Qualitative Simulation Approach for Fuzzy Dynamical Models*, ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation, Vol. 4, October 1994, ss. 285-313]

sztuczna inteligencja - były rozwijane osobno. Dopiero w ostatnim dziesięcioleciu poczyniono pewne znaczące wysiłki zmierzające do zintegrowania zalet i potencjału obu podejść, w celu uzyskania efektywniejszego i bardziej wiarygodnego warsztatu badawczego dla systemów szczególnie złożonych. Stało się to możliwe dzięki rozwojowi obiektowych języków programowania. Zdaniem autorów dalszy postęp metod symulacji będzie ściśle związany z podejściem obiektowym.

Literatura

- Biniek Z., Buczyński P., Drażek Z., Kappel R., Krallmann H. (1988) *Symulacja komputerowa dynamiki systemów gospodarczych*, Rozprawy i Studia T. 42, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin.
- Bolte J.P., Fisher J.A., Ernst D.H. (1993) *An Object-Oriented, Message-Based Environment for Integrating Continuous, Event-Driven and Knowledge-Based Simulation*, w: materiały na konferencję „Application of Advanced Information technologies: Effective Management of Natural Resources”, ASAE, Czerwiec, Spokane, WA.
- Bontempi i Bonarini [Bonarini A., Bontempi G. (1994) *A Qualitative Simulation Approach for Fuzzy Dynamical Models*, ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation, Vol. 4, October, ss. 285-313.
- Czarny B. (1996) *Narzędzia ekonomisty*, Nowe życie Gospodarcze nr 41.
- Fishwick P. (1989) *Neural Network Models in Simulation: A Comparison with Traditional Modelling Approaches*, Winter Simulation Conference, Washington, ss. 702-710.
- Fishwick P.A. (1994) *Computer Simulation: Growth through Extension*, European Simulation Multiconference. Barcelona, Spain URL: <http://www.cis.ufl.edu/~fishwick/paper.htm>.
- Forrester J.W. (1968) *Principles of Systems*, Second Preliminary Edition, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Forrester J.W. (1969) *Urban Dynamics*, The MIT Press, Massachusetts.
- Goldberg D.E. (1995) *Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie*, WNT, Warszawa.
- Gordon G. (1974) *Symulacja systemów*, WNT, Warszawa.
- Gościński J. (1977) *Zarys teorii sterowania ekonomicznego*, Warszawa.
- Gutenbaum J., Inkielman M. (red.) (1998) *Symulacyjny model gospodarki Polski*, PAN-IBS. Scria Badania Systemowe tom 20, Warszawa.
- Jankowski M., Łatuszyńska M. (2001) *Dobór wartości parametrów do modelu symulacyjnego za pomocą algorytmu genetycznego*, referat przyjęty na II Międzynarodową Konferencję Naukowo-Techniczną MOTROL 2001, Lublin-Nałęczów, wrzesień.
- Kasperska E. (1995) *Sztuczna inteligencja w badaniach symulacyjnych dla wspomaganie planowania i organizowania w przedsiębiorstwie przemysłowym o produkcji ciągłej*, w: Inteligentne systemy wspomaganie decyzji w zarządzaniu, Akademia Ekonomiczna, Katowice, s.231-236.

- Lewandowski A. (1985) *Modele komputerowe i metody symulacji*, w: Analiza systemowa – podstawy i metodologia., Findeisen W. (red.), PWN, Warszawa, ss.398-435.
- Lipiec-Zajchowska M. (1990) *Metody symulacji komputerowej w prognozowaniu makroekonomicznym*, PWE, Warszawa.
- Łatuszyńska M. (1999) *Modelowanie modułowe w symulacyjnym badaniu dynamiki systemów ekonomicznych*, w: Informatyka i Zarządzanie Strategiczne, Budziński R. (red.), PAN, US, PS, PTI, AR, Szczecin, ss. 337-352.
- Łukaszewicz R. (1975) *Dynamika Systemów Zarządzania*, PWN Warszawa.
- MacVittie D.W., MacVittie L.A. (1996) *Programowanie zorientowane obiektowo*, MIKOM, Warszawa.
- Mańczak K. (1985) *Planowanie eksperymentu*, w: Analiza systemowa – podstawy i metodologia, Findeisen W. (red.), PWN, Warszawa, ss.371-396.
- Michalewicz Z. (1996) *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne*, WNT, Warszawa.
- Modellierungssoftware, Proceedings der GMD - Tagung - Status und Anforderungen auf dem Gebiet der Modell-Software, IPES Bericht Nr 76.102, Bonn 1976.
- Naylor T.H. (1975) *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, PWN, Warszawa.
- Radosiński E. (1997) *Algorytmy genetyczne w projektowaniu ekonomicznych eksperymentów symulacyjnych*, w: materiały III Krajowej Konferencji Naukowej nt. „Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe”, Wrocław.
- Radosiński E. (1988) *Symulacja komputerowa jako metoda poznania systemów ekonomicznych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Radosiński E. (1998) *Techniki inteligentne w analizie ekonomicznej firmy, materiały wirtualne Szkoły Symulacji Systemów Gospodarczych*, Zakopane-Antałówka, <http://chimera.ac.krakow.pl/~ketril/skrzypek/szkola/a98/>.
- Souček Z. (1979) *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, PWN Warszawa.
- Yourdon E., Argila C. (2000) *Analiza obiektowa i projektowanie*, WNT, Warszawa.
- Zwicker E. (1981) *Simulation und Analyse dynamischer Systeme*, Walter de Gruyter, Berlin-New York.

ISSN 0208-8028
ISBN 83-85847-59-6

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: bibliote@ibspan.waw.pl**