AUTOMATYKA • 2007 • Tom 11 • Zeszyt 1–2

Grzegorz Dobrowolski*, Jarosław Koźlak*, Edward Nawarecki*

# Modelowanie anomalii i kryzysów w systemach zdecentralizowanych

## 1. Wprowadzenie

Problem powstawania sytuacji niepożądanych, czy wręcz zagrożeń w różnych dziedzinach życia współczesnego, stał się ostatnio przedmiotem powszechnego zainteresowania. W prowadzonych dalej rozważaniach ograniczono się do anomalii i zakłóceń w funkcjonowaniu pewnej klasy systemów określanych jako systemy zdecentralizowane.

Przez pojęcie systemu zdecentralizowanego rozumiany będzie system złożony ze zbioru współdziałających ze sobą jednostek posiadających autonomię, zdolnych do podejmowania decyzji i prowadzenia działań w określonym środowisku. Decyzje podejmowane są w kontekście celu, którego realizacja leży w zamierzeniu poszczególnych jednostek. Podejmowanie decyzji oparte jest na wiedzy, którą mają decydenci, dotyczącej innych jednostek oraz środowiska, w którym działają.

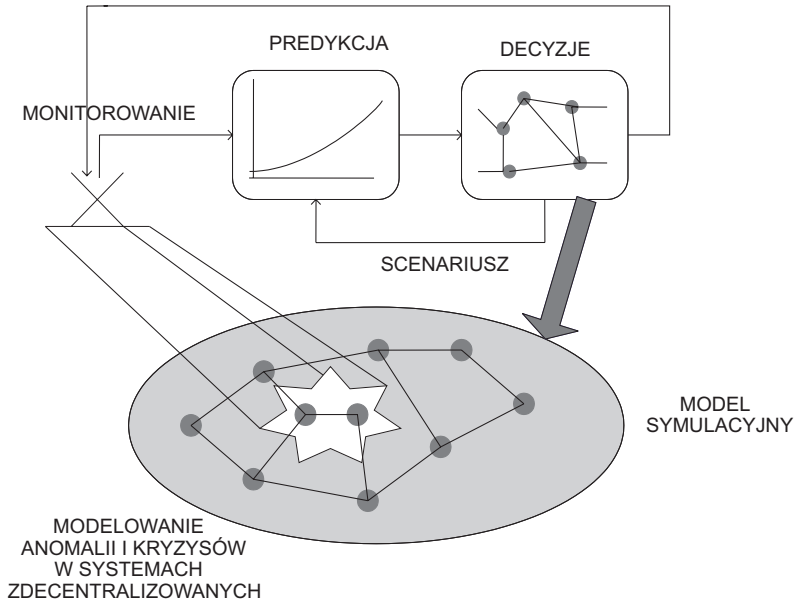
Podane powyżej właściwości, które posiadają liczne systemy działające w świecie rzeczywistym, odnieść można do klasy systemów projektowanych i realizowanych według określonych zasad, które w literaturze [3] nazywane są systemami agentowymi. Zastosowanie koncepcji i technologii charakterystycznych dla systemów agentowych do modelowania anomalii i sytuacji kryzysowych jest właśnie przedmiotem dalszych rozważań.

Kryzysem nazywane będą wszelkiego rodzaju poważne zakłócenia działania systemu, które powodują (a przynajmniej mogą spowodować) utratę jego funkcjonalności, czyli uniemożliwiają realizację globalnego celu systemu oraz realizację celów lokalnych znacznej części należących do niego jednostek. Jako anomalie traktowane będą wszelkiego rodzaju nietypowe sytuacje występujące w systemie, które mogą (choć nie muszą) stanowić zapowiedź (przesłankę) wystąpienia sytuacji kryzysowej.

Zamierzeniem pracy jest przedstawienie przykładów rozwiązań systemów informatycznych, stanowiących modele rzeczywistych systemów zdecentralizowanych, które mogą być wykorzystane do symulacyjnego badania możliwości wykrywania anomalii i prowadzenia działań zapobiegających powstaniu sytuacji kryzysowych.

* Katedra Informatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Schemat ideowy, ilustrujący koncepcję budowy tej klasy systemu, przedstawiony został na rysunku 1. Obok modelu badanego systemu rzeczywistego, występuje tam moduł monitoringu (realizujący obserwacje bieżącej sytuacji), moduł predykcji (prognozowanie sytuacji, które mogą zaistnieć w przyszłości) oraz moduł decyzyjny (określający działania antykryzysowe). Sprzężenie pomiędzy modułem decyzyjnym oraz modułem monitoringu i predykcji umożliwia oddziaływanie na sposób realizacji obserwacji oraz przewidywanie różnych wariantów (scenariuszy) ewolucji bieżącej sytuacji. Schemat ten stwarza tylko ogólny pogląd na przyjętą metodykę realizacji danej klasy modeli. Dlatego też w dalszej części artykułu przedstawiono przykłady rozwiązań odniesionych do konkretnych obszarów zastosowań.




**Rys. 1.** Schemat ideowy systemu

## 2. Modelowanie łańcuchów dostaw

### 2.1. Założenia i postulaty

Zagadnienie konstruowania efektywnych łańcuchów produkcyjnych posiada doniosłe znaczenie zarówno z ekonomicznego, jak i technicznego punktu widzenia. W najbardziej ogólnym ujęciu problem ten sprowadza się do możliwie najlepszego dostosowania strategii przedsiębiorstwa do aktualnej sytuacji rynkowej, możliwości współpracy z innymi przedsiębiorstwami oraz dostępu do źródeł surowców i materiałów.

W tym kontekście, przez łańcuch produkcyjny rozumiany jest zbiór współdziałających przedsiębiorstw, których zadania obejmują planowanie, produkcję, wymianę dóbr na rynku oraz dystrybucję produktów i usług do klientów końcowych zgodnie z życzeniami odbiorców.

Wśród licznych prac dotyczących aspektów metodologicznych i algorytmicznych konstruowania łańcuchów produkcyjnych, znaczną grupę stanowią rozwiązania oparte na zastosowaniu podejścia agentowego [2, 9–11]. Za zastosowaniem takiego podejścia przemawiają, m.in. decentralizacja zarządzania, autonomia kooperujących zakładów, a także konieczność zachowania poufności pewnych danych związanych ze specyfiką poszczególnych przedsiębiorstw.

W prowadzonych tu rozważaniach zrezygnowano z odnoszenia się do niuansów dotyczących konstrukcji agentowych modeli łańcuchów produkcyjnych, koncentrując się na wskazaniu możliwości ich wykorzystania w zakresie przewidywania sytuacji kryzysowych oraz reagowania na ich wystąpienie. Aspekty te nie były dotychczas rozważane w dostępnej literaturze z zakresu modelowania łańcuchów produkcyjnych.

Ocena sytuacji kryzysowych może być odnoszona zarówno do całego systemu, jak i do pojedynczych przedsiębiorstw. Jako kryteria globalne można przyjęć:

- wartość produktu globalnego wytworzonego w systemie,
- sumaryczny kapitał (dochód) przedsiębiorstw.

Odpowiednio do tego, kryteria lokalne stanowią:

- lokalny kapitał (dochód) przedsiębiorstwa w danym przedziale czasu,
- wskaźnik zawierający kapitał i prestiż przedsiębiorstwa, z odpowiednimi wagami.

Jako przejawy sytuacji kryzysowej można traktować:

- w skali globalnej: znaczący spadek produkcji, gwałtowny spadek kapitału;
- w skali przedsiębiorstwa: bankructwo, załamanie produkcji.

Anomalie stanowiące zapowiedź możliwości wystąpienia sytuacji kryzysowej będą rozumiane jako:

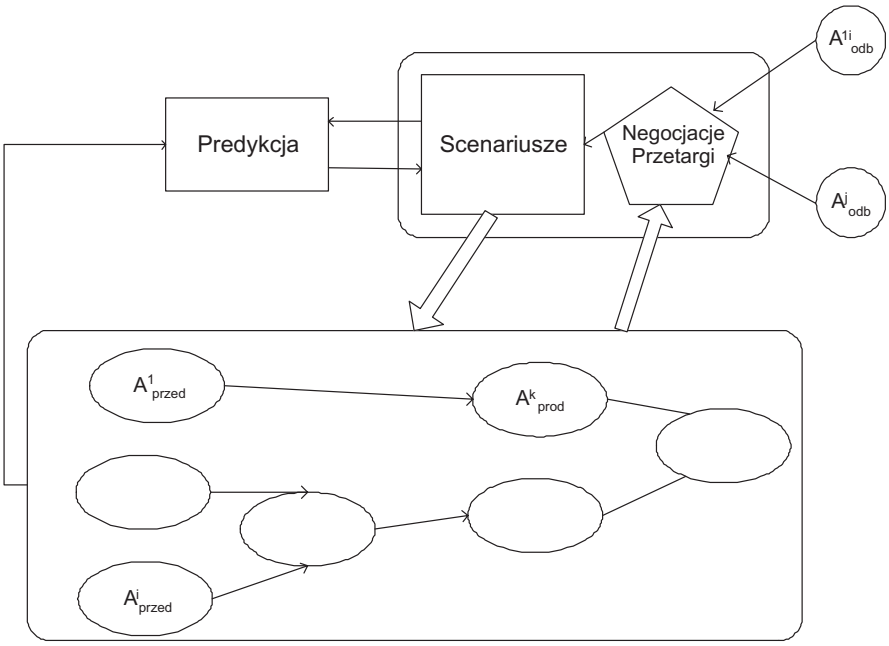
- spadek dochodu lub zmniejszanie się kapitału,
- wyraźny spadek produkcji,
- spadek jakości wyrobów i/lub prestiżu przedsiębiorstwa.

## 2.2. Koncepcja modelu

Zrealizowany model łańcucha produkcyjnego [1] złożony jest z dwóch rodzajów autonomicznych jednostek:

1) agentów-przedsiębiorstw ($A_{prod}$),
2) agentów-klientów ($A_{odb}$).

Rozpatrywane są także zasoby różnych typów (surowce, półprodukty, wyroby końcowe). Agenci-przedsiębiorstwa dysponują liniami produkcyjnymi, które umożliwiają przekształcanie jednego rodzaju zasobów w inne. Schemat modelu przedstawiono na rysunku 2.




**Rys. 2.** Schemat ideowy łańcucha dostaw

Agenci są opisywani przez zbiory parametrów, które można podzielić na trzy grupy:

1) parametry konfiguracyjne opisujące działanie linii produkcyjnych (koszt utrzymania linii, koszt produkcji, moc produkcyjna, jakość wyrobów);
2) parametry opisujące działania przedsiębiorstwa (zależne od oceny sytuacji), oraz parametry opisujące samego agenta (zbiory decyzji agenta oraz współczynniki wagowe);
3) parametry opisujące efekty uzyskane przez agenta, będące wynikiem działań jego i innych agentów (efekty finansowe, prestiż przedsiębiorstwa, sumaryczny budżet przedsiębiorstwa).

Decyzje agentów uwarunkowane są potrzebami klientów (odbiorców), którzy w pewnych odstępach czasowych generują zlecenia na dostarczenie produktów finalnych. Agenci, którzy są w stanie wykonać dane zlecenie, próbują zbudować łańcuch dostaw zapewniający uzyskanie odpowiednich komponentów umożliwiających realizację zamówienia.

Wśród zależności opisujących łańcuch dostaw, kluczową rolę odgrywają powiązania pomiędzy zmiennymi decyzyjnymi a wielkościami charakteryzującymi efekt działania danego wariantu (scenariusza) realizacji zleceń. W prezentowanym modelu, w sposób arbitralny przyjęto opis reprezentujący zależności pomiędzy poszczególnymi wielkościami. Linia produkcyjna opisana jest zależnością typu

$$K = f_k(Q, C, W, \alpha_Q, \alpha_C, \alpha_W) \tag{1}$$

gdzie:

$K$ – koszty utrzymania linii produkcyjnej,
$Q$ – jakość produkcji na danej linii produkcyjnej,
$C$ – koszty wyrobu,
$W$ – aktualna wydajność produkcji,
$\alpha_Q, \alpha_C, \alpha_W$ – współczynniki wagowe przypisywane odpowiednim wielkościom.

Poza sferą produkcji, istotną rolę odgrywają zależności charakteryzujące przebieg negocjacji pomiędzy przedsiębiorstwami i odbiorcami. Oferta zakupu formułowana przez potencjalnego odbiorcę, a oceniana przez produkujące przedsiębiorstwo, wyrażana jest następująco

$$O_z = f_z(P, \beta_P, T, \beta_T, Y, \beta_Y) \tag{2}$$

gdzie:

$P$ – miara prestiżu sprzedającego,
$T$ – zalecany czas realizacji zlecenia,
$Y$ – ilość zamawianych wyrobów,
$\beta_P, \beta_T, \beta_Y$ – współczynniki wagowe przypisane odpowiednim wielkościom.

Oferta sprzedaży przedstawiana przez przedsiębiorstwo-producenta, zawiera wielkości

$$O_s = f_s(P, Y, Q, T, C, \gamma_P, \gamma_Q, \gamma_T, \gamma_C) \tag{3}$$

gdzie:

$P, T, Y$ – wielkości jak w (2), ale oferowane przez producenta,
$Q$ – oferowana jakość towaru,
$C$ – koszt oferty,
$\gamma_P, \gamma_Q, \gamma_T, \gamma_C$ – odpowiednie współczynniki wagowe.

Konkretna postać zależności $f_k$, $f_z$, $f_s$ dobierana jest odpowiednio do klasy rozważanych procesów produkcyjnych, co wymaga drobiazgowej ich analizy. Interakcje pomiędzy klientami i przedsiębiorstwami oraz pomiędzy przedsiębiorstwami odbywają się poprzez przetargi, w których wybierana jest spośród wielu ofert ta najbardziej korzystna i zawierane jest odpowiednie porozumienie.

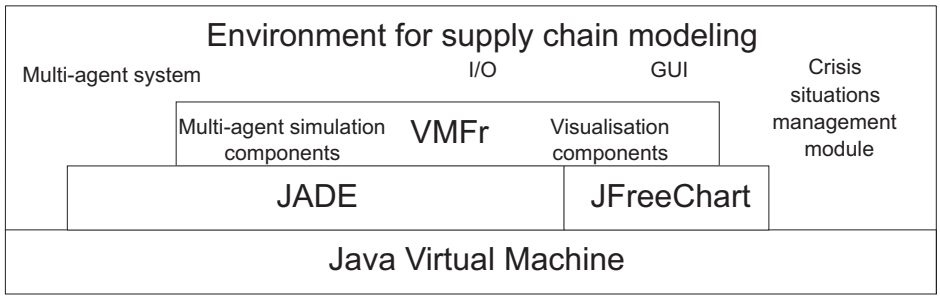
Algorytm decyzyjny przedsiębiorstwa jest oparty na badaniach scenariuszowych. Reprezentujący przedsiębiorstwo agent tworzy populację osobników zawierających swoje parametry decyzyjne i w momencie rozpoczęcia nowego okresu symulacyjnego (pewien zadany przedział czasu) poddaje je mutacjom przy użyciu algorytmu ewolucyjnego. Następnie dla każdej konfiguracji parametrów decyzyjnych wykonywana jest symulacja dla przyjętego przedziału czasu. Wynikiem symulacji dokonywana jest ocena osobnika, której podstawę stanowi szacowany wzrost majątku przedsiębiorstwa w danym czasie, z uwzględnieniem rozpoczętych inwestycji i napraw oraz przewidywanych zysków.

Następnie dokonuje się porównania wyników uzyskanych dla poszczególnych scenariuszy i przeprowadza symulację dla wartości parametrów decyzyjnych, które przyniosły najlepszy efekt. Przy rozpoczęciu nowego okresu symulacyjnego tworzona jest nowa popu-

lacja, w skład której wchodzą osobniki reprezentujące konfiguracje, jakie uzyskały poprzednio najlepsze wyniki, oraz osobniki uzyskane z nich poprzez mutację lub w wyniku generacji losowej.

### 2.3. Realizacja i przykłady wyników symulacji

System został zaprogramowany w języku Java i wykorzystuje platformę JADE [6]. Język Java został wybrany ze względu na jego uniwersalność oraz dostępne darmowe komponenty, biblioteki i platformy. JADE jest najszerzej stosowaną platformą do tworzenia systemów agentowych. Ponadto, jest ona zgodna ze standardem FIPA [4], który został udokumentowany w licznych specyfikacjach.




**Rys. 3.** Warstwy oprogramowania

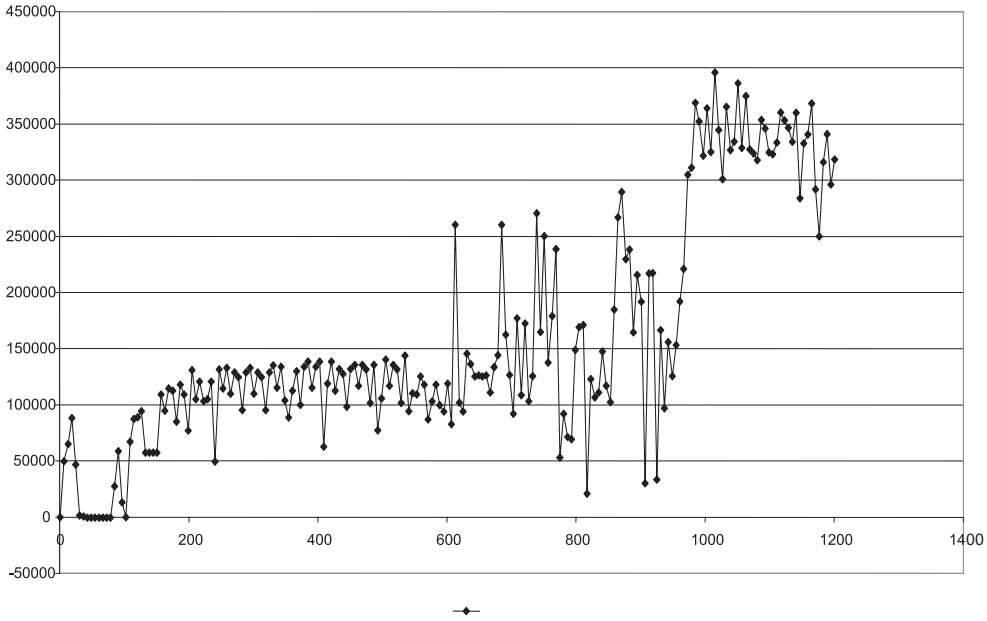
W systemie można wyróżnić następujące warstwy oprogramowania (rys. 3):

- warstwa maszyny wirtualnej Java,
- warstwa platformy agentowej JADE zgodnej z platformą FIPA,
- warstwa biblioteki JFreeChart wykorzystywana do rysowania wykresów dokumentujących zmiany parametrów systemu,
- środowisko VMFr przeznaczone do realizacji symulacyjnych systemów agentowych,
- środowisko do modelowania łańcuchów produkcyjnych z uwzględnieniem sytuacji kryzysowych.

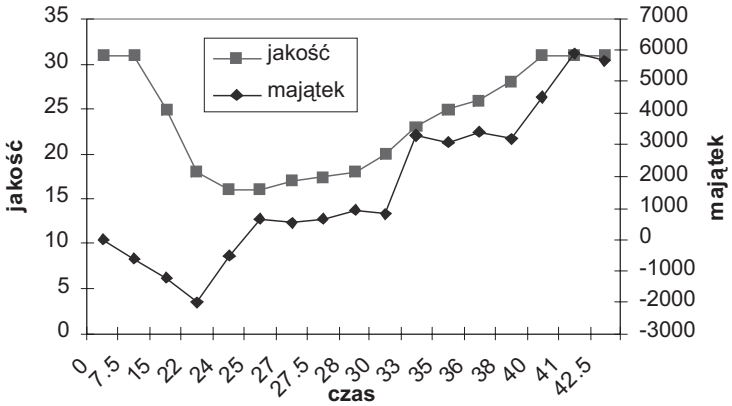
Dwie ostatnie warstwy stanowią oryginalne rozwiązanie, opracowane specjalnie do celów badania łańcuchów produkcyjnych.

Przy zastosowaniu opisanego systemu przeprowadzono szereg eksperymentów w zakresie wyznaczania optymalnych konfiguracji parametrów decyzyjnych dla danej sytuacji rynkowej, a także badań dotyczących wykrywania i przewidywania sytuacji kryzysowych oraz odnośnych działań zapobiegawczych.

Na rysunku 4 przedstawiona jest zmiana wartości funkcji celu obserwowanego przedsiębiorstwa, które optymalizuje swoją strategię działania. Funkcja celu bierze pod uwagę aktualny majątek przedsiębiorstwa oraz przewidywany zarobek, który nastąpi w najbliższej przyszłości w wyniku poczynionych inwestycji.




**Rys. 4.** Zmiana wartości funkcji celu wybranego przedsiębiorstwa przy zastosowaniu algorytmu optymalizacyjnego opartego na badaniach scenariuszowych




**Rys. 5.** Zmiany jakości produkcji i majątku przedsiębiorstwa po zajściu sytuacji kryzysowej

Wykres na rysunku 5 przedstawia zmianę oferowanej jakości produkcji oraz budżetu przedsiębiorstwa, będące skutkiem występowania awarii. Jakość produkcji spada, aż do momentu rozpoczęcia naprawy, po czym wzrasta osiągając stan początkowy. Budżet przedsiębiorstwa początkowo spada, z braku odbiorców towaru o niskiej jakości. Równolegle do wzrostu jakości następuje powiększenie zasobów finansowych przedsiębiorstwa.

Oprócz raportowanych powyżej, wykonano szereg eksperymentów dotyczących różnych zagadnień związanych z łańcuchami dostaw. W zakresie analizy strategii przedsiębiorstwa badane były zmiany kapitału posiadanego przez wybrane przedsiębiorstwa. Porównywano sytuacje przedsiębiorstw produkujących zbliżony asortyment towarów. Obserwowano zmiany wartości ich prestiżu, ilości zawartych transakcji i zysków z nimi związanych. Inne testy dotyczyły wpływu wysokości marży i pozostałych elementów strategii marketingowych przedsiębiorstw (jakości produktów i skłonności do płacenia wyższych cen) na zmianę ich dochodu. W zakresie produkcji rozważany był stopień wykorzystania mocy produkcyjnej poszczególnych linii przedsiębiorstwa, zmiany jakości produkcji oraz kosztów utrzymania linii.

## 3. Modelowanie ruchu ulicznego i sytuacje kryzysowe

### 3.1. Zasady modelowania

Kolejnym obszarem, gdzie naturalne jest stosowanie podejścia agentowego, jest modelowanie ruchu miejskiego. Często stosowanym wariantem jest możliwie wierne modelowanie tego ruchu zarówno na poziomie natężenia ruchu w całym mieście, jak i na poziomie odwzorowania zachowań poszczególnych pojazdów na konkretnych ulicach i pasach ruchu. Uzupełnieniem powyższego ujęcia jest modelowanie mechanizmów kontroli ruchu, które mają na celu zwiększenie jego płynności, a zatem zapobieganie występowaniu sytuacji kryzysowych i anomalii. Takie właśnie rozwiązanie przedstawione zostało poniżej. Zastosowaniu podejścia agentowego sprzyja tutaj decentralizacja problemu decyzyjnego (który można rozpatrywać na poziomie poszczególnych pojazdów), rozproszone zbieranie danych z czujników monitorujących ruch oraz względnie autonomiczne sterowania światłami na poszczególnych skrzyżowaniach.

Wiele znanych modeli ruchu miejskiego opartych jest na idei automatu komórkowego. Modelowanymi jednostkami zazwyczaj są pojazdy, a oddziaływania pomiędzy nimi mają wpływ na stan systemu. Interesujący model został zaproponowany w pracy [8]. W modelu tym rozpatruje się jednopasmowe odcinki drogi, reprezentowane jako tablice komórek. Prędkości pojazdów zawarte są w zakresie od 0 do obowiązującej prędkości maksymalnej (vmax). Prędkość przeliczana jest na liczbę komórek pokonanych w ciągu jednej tury modelowania.

Tura składa się z następujących kroków:

1. przyspieszenie – pojazd przyspiesza, jeśli jego prędkość jest mniejsza od maksymalnej oraz jeśli ma odpowiednią odległość do pojazdu przed sobą;
2. zwalnianie – jeśli odległość od następnego pojazdu nie jest dostatecznie duża;
3. uwzględnienie udziału czynnika losowego – prędkości pojazdów są zmniejszane o jedną jednostkę z zadanym prawdopodobieństwem;
4. wykonanie przemieszczeń pojazdów.

Ten podstawowy model został następnie udoskonalony w celu odwzorowania sytuacji na drogach w sposób bliższy realiom (bardziej rozbudowany model zmian prędkości, re-

agowanie na odległość od poprzedzających pojazdów czy też uwzględnienie wielu pasów ruchu).

Prace dotyczące sterowania sygnalizacją świetlną są prowadzone przy użyciu różnych podejść. Można tu wskazać między innymi techniki oparte na aktualnym natężeniu ruchu na poszczególnych pasach (SOTL – *Self Organizing Traffic Lights*) [5], podejście oparte na uczeniu ze wzmocnieniem [13], a wreszcie model inspirowany dynamiką ruchu obrotowego dysków fizycznych [12].

Przez pojęcie sytuacji kryzysowej mogą być tutaj rozumiane:
- drastyczny spadek średniej prędkości (poniżej wielkości zadanej) dla ciągu skrzyżowań należących do ważnej trasy komunikacyjnej,
- całkowite zablokowanie ruchu (na czas przekraczający dopuszczalną wartość) na jednym lub kilku skrzyżowaniach.

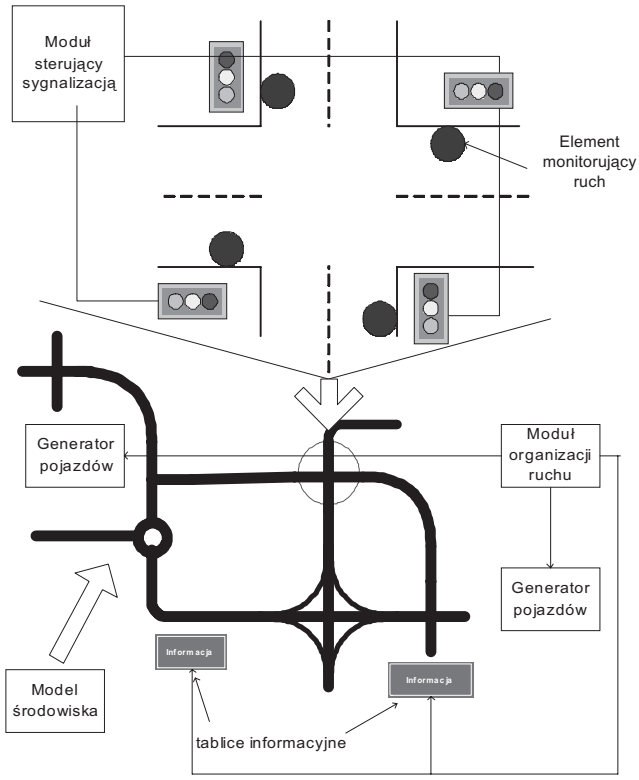
Jako anomalie, które pozwalają na przewidywanie zagrożenia kryzysowego, można uznać:
- zauważalny i długotrwały spadek średniej prędkości, przy pokonywaniu jednego lub kilku skrzyżowań (ewentualnie w pewnym kierunku/pasie ruchu);
- nadmierne zwiększenie liczby pojazdów znajdujących się w określonym sektorze sieci komunikacyjnej;
- znacząca różnica pomiędzy liczbą pojazdów opuszczającą skrzyżowanie (w określonym przedziale czasu) a liczbą pojazdów dojeżdżających do tego skrzyżowania.

Prowadzenie monitoringu umożliwia wykrycie tych anomalii i symulacyjne zbadanie ich oczekiwanych skutków. Sterowanie światłami zwiększa płynność ruchu (średnią prędkość pojazdów), przeciwdziałając powstawaniu anomalii. W przypadku ich wystąpienia, można jednak podjąć dodatkowe działania antykryzysowe, na poziomie szerzej pojętej organizacji ruchu. Należą do nich:
- zmiana algorytmu sterowania światłami, preferująca wybrane kierunki/pasy ruchu;
- przeorientowanie natężenia ruchu, poprzez udostępnienie kierowcom informacji o preferowanej zmianie trasy;
- wstrzymanie dopływu pojazdów do obszaru zagrożonego powstaniem kryzysu.

### 3.2. Koncepcja modelu

W prezentowanym modelu można wyróżnić moduły zaznaczone na rysunku 6. Moduł środowiska definiuje sieć komunikacyjną złożoną z dróg i skrzyżowań. Środowisko jest modelowane na podstawie modelu komórkowego wykorzystującego elementy koncepcji Nagla i Schreckenberga. Agenci reprezentują drogi, skrzyżowania, poszczególne automaty komórkowe reprezentują zaś elementy drogi. Komórki mogą się znajdować w różnych stanach, co umożliwia tworzenie różnorodnych struktur dróg. Istnieje także możliwość definiowania dla poszczególnych komórek sąsiadującej z nimi populacji mieszkańców, a także przypisywania prawdopodobieństw generacji punktów docelowych podróży, dla pojazdów wyjeżdżających z danych punktów. Każde skrzyżowanie może posiadać relacje pierwszeń-

stwa dochodzących doń pasów ruchu, jak również sygnalizatory świetlne. Zadaniem agentów jest koordynacja działania podległych im struktur środowiska (np. zmiana świateł na skrzyżowaniu) oraz zbieranie informacji o natężeniu ruchu (monitoring).




**Rys. 6.** Schemat ideowy modelu ruchu symulacyjnego

Model opisuje reguły zachowania pojazdów w obrębie skrzyżowań oraz dróg, jak również sposób generacji i konfiguracji pojazdów. Występują w nim dwa rodzaje agentów:

1) kierowcy/pojazdy,
2) agenci odpowiedzialni za organizację ruchu w mieście.

W przypadku agentów kierowców istnieje możliwość konfigurowania różnych zestawów cech opisujących ich zachowanie na drodze (preferowana prędkość, stosowane przyspieszenie oraz trasa jazdy). Uwzględniono także przestrzeganie podstawowych reguł kodeksu drogowego, co umożliwia symulowanie realnych sytuacji na drogach.

Agenci odpowiedzialni za organizację ruchu w mieście określają natężenie ruchu przez wskazanie liczby pojawiających się samochodów w jednostce czasu. Uwzględniają również przyjęte wartości wspomnianych powyżej cech opisujących zachowanie pojazdu na drodze. Określają preferowaną trasę jazdy, w skład czego wchodzi określenie punktu

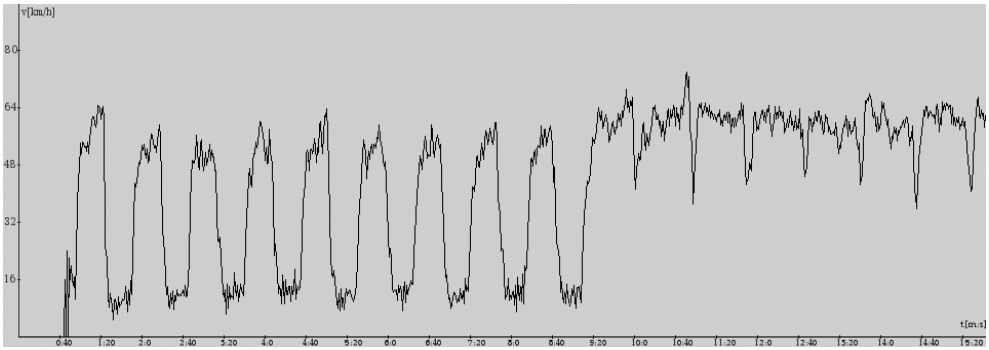
startowego (na podstawie populacji mieszkańców) oraz punktu docelowego (na podstawie zadanych rozkładów prawdopodobieństwa). Zalecenia dotyczące wyboru trasy podawane są na tablicach informacyjnych. Wpływ tych informacji na decyzje kierowców może być uwzględniany przez zmianę odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa. W przypadku wystąpienia zagrożenia kryzysem komunikacyjnym, zmiana organizacji ruchu polegać może na zablokowaniu lub ograniczeniu dopływu pojazdów na odpowiednich trasach dojazdowych (modelowane przez generatory pojazdów).

Moduł optymalizacji sterujący ruchem w rozważanym przypadku oparto na optymalizacji świateł drogowych. Konfiguracja świateł na danym skrzyżowaniu jest opisywana jako zbiór faz. Każda faza zawiera przyporządkowanie odpowiednich kolorów świateł (czerwony lub zielony) do poszczególnych podzbiorów pasów ruchu na skrzyżowaniu. W opisywanej wersji modelu pominięto fazę żółtą świateł, co pozwoliło na uproszczenie mechanizmu sterowania i szybkie przebadanie zastosowanego podejścia. W wersji kolejnej uproszczenie to zostanie wyeliminowane.

Zastosowany mechanizm sterowania światłami realizowano w oparciu o koncepcję wirujących dysków [12].

### 3.3. Wybrane eksperymenty sterowania ruchem

W celu przeanalizowania efektywności zastosowanych rozwiązań, w zakresie sterowania i koordynacji ruchu przy użyciu opisanego modelu, przeprowadzono szereg eksperymentów symulacyjnych. Jako najbardziej charakterystyczne, przedstawiono poniżej wybrane wyniki dotyczące optymalizacji sterowania światłami dla ciągu skrzyżowań.

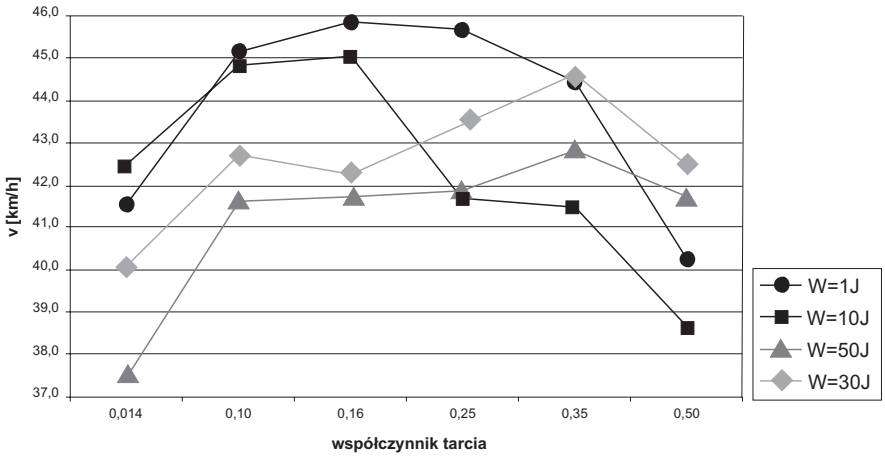



**Rys. 7.** Prędkość pojazdów dla prostej sieci dróg

W danym eksperymencie preferowana przez kierowców prędkość wahała się w granicach od 50 do 80 km/h. Na rysunku 7 przedstawione są wykresy prędkości ruchu pojazdów dla prostej sieci drogowej, zawierającej 20 krawędzi. Na podstawie eksperymentów symulacyjnych zostały dobrane parametry opisujące model (masa początkowa dysku, współczynnik tarcia, praca odpowiadająca dołączeniu samochodu do dysku, masa dodawana do

dysku przez pojazdy dojeżdżające do skrzyżowania). Z wykresu na rysunku 7 widać, że przed rozpoczęciem optymalizacji (która ma miejsce około 9:30) występuje zdecydowany brak płynności ruchu. Niewłaściwy dobór długości trwania oraz początków poszczególnych faz sygnalizacji świetlnej sprawiają, że występuje szereg trwających długo spadków prędkości pojazdów spowodowanej przestojami. Po zastosowaniu algorytmu optymalizacyjnego średnia prędkość wyraźnie wzrosła, a fazy spadku prędkości zostały ograniczone. Niewielkie oscylacje na grzbietach wykresu spowodowane są różnorodnością parametrów pojazdów oraz interakcjami, jakie zachodzą pomiędzy pojazdami w trakcie jazdy. Nagłe uskoki odpowiadają zatrzymaniu większości pojazdów. Średnia prędkość wzrosła z 35,78 km/h przed optymalizacją, do 59,23 km/h po dokonaniu optymalizacji.

Kolejny eksperyment przeprowadzono dla bardziej rozbudowanej sieci dróg. Uzyskane w tym przypadku zwiększenie prędkości średniej nie jest tak duże, można jednak zauważyć wyraźne wydłużenie czasów jazdy z dużą prędkości oraz zmniejszenie amplitudy wahań prędkości.




**Rys. 8.** Uzyskane efekty optymalizacji dla różnych parametrów konfiguracyjnych modelu optymalizacyjnego

Na rysunku 8 pokazane zostały efekty optymalizacji, reprezentowane przez osiągniętą średnią chwilową prędkość pojazdów w systemie, dla różnych wartości parametrów (czyli współczynnika tarcia wirującego dysku oraz pracy wykonywanej na dysku przez pojazdy wjeżdżające na skrzyżowanie) konfigurujących model optymalizacyjny

Przedstawione powyżej wyniki reprezentują jedynie fragment prowadzonych prac dotyczących modelowania i optymalizacji ruchu miejskiego. Wykonano badania eksperymentalne dla wybranych niewielkich sieci miejskich oraz dla grafu reprezentującego fragment sieci miejskiej w Krakowie. Uzyskane wyniki obejmują między innymi testy płynności ruchu dla różnych konfiguracji algorytmu i różnych natężeń ruchu. Testowano także zachowanie systemu dla różnych topologii skrzyżowań.

## 4. Podsumowanie

Zamierzeniem autorów było przedstawienie aspektów metodologicznych oraz realizacyjnych i narzędziowych związanych z budową agentowego systemu informatycznego, przeznaczonego do podejmowania decyzji i organizacji działań w sytuacjach kryzysowych lub w warunkach zagrożenia wystąpieniem takich sytuacji. Rozproszony charakter procesów i zjawisk świata rzeczywistego, których dotyczyć może potencjalne zagrożenie, jak również sam sposób pozyskiwania i przetwarzania informacji, a wreszcie zdecentralizowany tryb podejmowania decyzji i prowadzenia działań, uznano za wystarczające przesłanki zastosowania podejścia agentowego.

Formalizmy i pojęcia wprowadzone w części ogólnej opracowania przyjęto jako podstawę do naszkicowania koncepcji struktury systemu i zasady działania oraz wskazań metodologicznych dotyczących jego budowy. Pojęcie kryzysu oraz anomalii poprzedzających jego wystąpienie starano się sformułować w sposób na tyle uniwersalny, aby zachowały swą aktualność niezależnie od obszaru konkretnego zastosowania (w szczególności mogą one odnosić się zarówno do świata rzeczywistego, jak i środowisk wirtualnych).

Duży stopień złożoności rozważanej klasy systemów uniemożliwia kompletny opis wszystkich aspektów ich realizacji. Stworzeniu bliższego wyobrażenia odnośnie do realizacji proponowanych rozwiązań, mają służyć opisy dwu aplikacji zorientowanych na konkretne obszary zastosowania.

Wersje pilotowe obydwu tych systemów zostały zaimplementowane w Katedrze Informatyki AGH. Uzyskane dotychczas rezultaty eksperymentów są oczywiście niewystarczające do pełnej oceny walorów utylitarnych danych rozwiązań, jednakże stanowią wstępne potwierdzenie możliwości uzyskania zamierzonych efektów.

## Literatura


[1] Bogucki P.: *Platforma do rozwiązywania problemów planowania produkcji przy użyciu podejścia agentowego*. Kraków, Katedra Informatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2004 (praca magisterska)

[2] Bussman S., Jennings R.N., Wooldridge M.: *Multiagent Systems for Manufacturing Control. A Design Methodology*. Springer-Verlag, 2004

[3] Ferber J.: *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris 1995

[4] *Welcome to the Foundation for Intelligent Physical Agents*. http://www.fipa.org/

[5] Gershenson C.: *Self-organizing traffic lights*. Complex Systems, 16(1): 29–53, 2005

[6] *Jade-Java Agent Development Platform*, http://jade.tilab.com/

[7] Moyaux Th.: *Design, Simulation And Analysis Of Collaborative Strategies In Multi-Agent Systems: The Case Of Supply Chain Management*. L'université Laval, 2004 (Ph.D. Thesis)

[8] Nagel K., Schreckenberg M.: *A cellular automaton model for freeway traffic*. J. Phys. I France 2 (1992) 2221–2229

[9] Parunak V.: *Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry*. O'Hare and Jennings, eds., chapter 4, Foundations of Distributed Artificial Intelligence. Wiley Inter-Science, 1994. ITI TR 93–03.1

[10] Shen W., Norrie D.H.: *Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey.* Knowledge and Information Systems, an International Journal, 1(2), 129–156, 1999. Its extended HTML version is available at: http://imsg.enme.ucalgary.ca/publication/abm.htm

[11] Swaminathan J.M., Smith S. F., Sadeh N.M.: *Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach,* Decision Sciences, Volume 29, Number 3, 1998

[12] Świda P., Koźlak J., Créput J-Ch.: *Modeling and optimization of city traffic with the agent approach*, Information Control Problems In Manufacturing. A Proceedings volume from the 12th IFAC International Symposium, St Etienne, France, Elsevier Science, December, 2006

[13] Wiering M., Vreeken J., van Veenen J., Koopman A.: *Intelligent traffic light control*, Technical report UU-CS-2004-029, Institute of Information and Computing Sciences, Utrecht University, 2004