

Halina Kwaśnicka

Wydziałowy Zakład Informatyki, Politechnika Wrocławska
E-mail: kwasnicka@ci.pwr.wroc.pl, <http://www.ci.pwr.wroc.pl/~kwasnick>

ALGORYTMY EWOLUCYJNE W GRACH MENEDŻERSKICH

1. Projektowanie gier komputerowych

Gra jest to rywalizacja, prowadzona przez jej uczestników zgodnie z ustalonymi regułami, mająca na celu osiągnięcie wyznaczonego celu (lub celów). Można wyróżnić gry całkowicie losowe (np. ruletka), gry, w których jakiś element losowy wpływa na rozgrywkę (np. brydż) oraz gry całkowicie deterministyczne, jak np. warcaby czy szachy. Gry stanowią interesującą dziedzinę dla tych wszystkich, którzy chcieliby nauczyć komputer myślenia i logicznego działania. Są tu już pewne osiągnięcia, np. Deep Blue, zwycięzca nad szachowym mistrzem świata A. Kasparowem. Nadal jednak nauczenie komputera grać jest trudnym zadaniem dla projektantów i programistów.

W latach pięćdziesiątych powstały pierwsze gry menedżerskie (kierownicze, decyzyjne), ich rozwój opierał się na osiągnięciach w dziedzinie gier wojennych i modelowania symulacyjnego. Dają one dobre możliwości praktycznego sprawdzania i doskonalenia umiejętności w sztucznym środowisku. W symulacyjnej grze decyzyjnej biorą udział ludzie (uczestnicy gry), podejmują oni decyzje w symulowanym systemie. Każdy etap gry to podjęcie decyzji przez graczy, reakcja systemu na podjęte przez graczy decyzje i przekazanie graczom informacji zwrotnych o skutkach ich decyzji (wyników). Wyróżnia się gry konkurencyjne (gracze rywalizują o wspólne dobro), niekonkurencyjne (brak bezpośredniego wpływu poszczególnych graczy na siebie), kooperacyjne (gracze współpracują ze sobą), mieszane. Współcześnie, technika komputerowa umożliwia większą realność i atrakcyjność gier, przez co czyni je odpowiedniejszymi dla edukacji, zarazem bardziej „zabawnymi”, co z kolei wywołuje większe zaangażowanie się uczestników w grę.

Gra rozpoczyna się od przyjęcia stanu początkowego, następnie gracze kolejno wykonują swoje posunięcia (podejmują decyzje), aż do osiągnięcia stanu końcowego. Można wtedy określić skuteczność poszczególnych graczy w osiąganiu celu gry (ustalić zwycięzcę). Rozgrywkę można postrzegać jako poszukiwanie takich ruchów (decyzji) gracza, które zapewniają mu zwycięstwo. Taki proces poszukiwania można opisać za pomocą drzewa rozwiązań, którego korzeń jest stanem początkowym gry, a kolejne węzły są stanami, jakie będą aktualne po wykonaniu każdego ruchu spośród możliwych na danym etapie gry (Bolc, Cytowski, 1989). Potomkowie każdego z tych węzłów będą reprezentować stany gry po możliwych ruchach przeciwników. Liście takiego drzewa oznaczają stany końcowe gry: wygrane, remisowe lub przegrane dla gracza. Już dla dwóch graczy i stosunkowo prostej gry, drzewo takie jest bardzo duże: jest to reprezentacja wszystkich możliwych rozgrywek (z danego stanu początkowego). Dla warcabów drzewo zawiera około 10^{40} węzłów, dla szachów jest to już rzędu 10^{120} . Dlatego takie zaprogramowanie komputera, by zawsze on wygrywał stanowi problem, należałoby przeszukiwać ogromne drzewa, co nawet przy dzisiejszym stanie rozwoju komputerów nie jest możliwe. Do oceny aktualnego stanu gry i wyboru kolejnych posunięć stosuje się różne heurystyki, by nie budować całego drzewa. Jakość poszczególnych węzłów (stanów gry) szacuje się na podstawie wybranych cech charakteryzujących daną pozycję gry.

Człowiek grający np. w szachy czy warcaby ocenia przyszły układ na planszy (stan gry) decydując się na kolejny ruch. W jaki sposób dokonuje tej oceny? Na ile korzysta tu z intuicji i doświadczenia, bo przecież nie sprawdza drzewa rozwiązań ani nie przeprowadza obliczeń funkcji oceniającej, nawet jej nie definiuje. Dla komputera potrzebne jest jednoznaczne kryterium, według którego może on ocenić poszczególne układy na planszy. W tym celu buduje się właśnie *funkcje oceniające*. Należy przy tym brać pod uwagę specyfikę gry, wybrać cechy ważne dla strategii danej gry, (np. w warcabach może to być liczba pionków gracza i przeciwnika, w grze w kółko i krzyżyk może to być liczba rzędów, w których można ustawić trójkę). Z reguły, w programach grających w gry logiczne, funkcje oceniające mają postać ważonej sumy wartości cech uznanych za istotne.

Ostatnio, wraz ze wzrostem popularności algorytmów ewolucyjnych (**EA**) coraz częściej podejmowane są próby ich wykorzystania do tworzenia programów grających. Wyróżnić tu można dwa główne podejścia:

1. Zastosowanie **EA** jako narzędzia wspomagającego do znalezienia dobrej strategii gry (Goldberg, 1989, Dąbrowski, 1998). W podejściu tym program grający nie wykorzystuje algorytmu ewolucyjnego, ma wbudowaną znalezioną z pomocą **EA** strategię, która jest strategią programu. Przystosowanie osobników powinno odzwierciedlać wyniki, jakie uzyskuje dana strategia, bądź jakie uzyskuje się z zastosowaniem danego zestawu wag w prowadzonych rozgrywkach. Osobniki z populacji mogą prowadzić rozgrywki między sobą,

można wykorzystać „zewnętrznych trenerów”, którymi może być dobrany odpowiednio zestaw programów grających lub/i ludzie.

- Nasuwającym się wykorzystaniem **EA** jest konstrukcja odpowiedniej funkcji oceniającej ustawienie na planszy (stan gry). Można tu optymalizować wagi dla wybranego zestawu cech istotnych w danej grze. Do tego zadania nadaje się klasyczny algorytm genetyczny: chromosomem może być wektor wag, przystosowaniem zaś wyniki w rozgrywkach uzyskiwanych z zastosowaniem danego wektora wag. Takie podejście można znaleźć w pracy (Dąbrowski, 1998), gdzie algorytm genetyczny został zastosowany do doboru wag dla funkcji oceniającej w grze OTHELLO. Inna możliwość, to zastosowanie programowania genetycznego do konstrukcji postaci funkcji oceniającej układ na planszy. W obu podejściach, pierwotny zestaw istotnych dla danej gry cech musi być podany. Program grający wykorzystuje znaną przez **EA** funkcję oceniającą węzły w drzewie gry.
 - Drugie podejście, to zdefiniowanie chromosomu osobników jako potencjalnej strategii gry. Rozwiązanie dawane przez **EA** jest wprost strategią gry, która może być zaimplementowana w programie grającym. Taki program nie wymaga budowy drzewa rozwiązań ani żadnych heurystyk do oceny sytuacji na planszy. Podejście to wydaje się naturalne, aczkolwiek jest trudniejsze, ponieważ sama reprezentacja osobników może stwarzać trudności. Przykładem takiego podejścia jest zadanie *Iterowanego dylematu więźnia* (Goldberg, 1989). Takie podejście zastosowano w pracy R. Kozieja (Kozieja 1997) do szukania strategii gry menedżerskiej (gra PRAGNIENIE).
2. Zastosowanie **EA** jako wbudowanego modułu do programu grającego, który na każdym etapie gry odpowiada za podjęcie optymalnej decyzji przez program grający. Wydaje się, że szczególnie odpowiednimi dla tego podejścia są gry menedżerskie. Zaproponowany na bazie *K-Modelu* (Kwaśnicka, 1999, 1999a) ewolucyjny model rozwoju przemysłu (Kwaśnicki, 1994/96), może być z powodzeniem wykorzystany w grach menedżerskich (Nowicki, 1992, Kot, 1997).

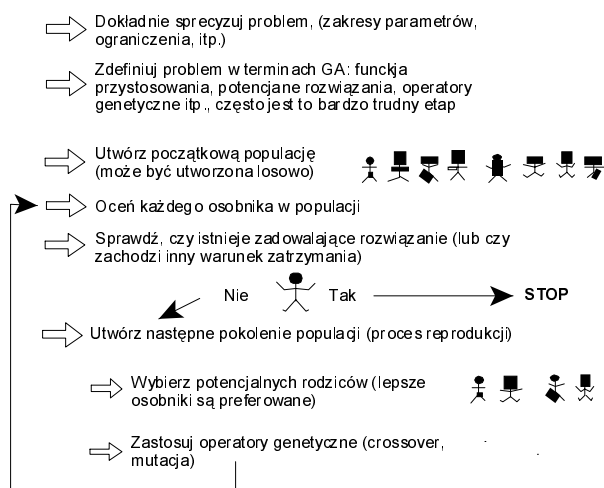
Zarówno w pierwszym podejściu, jak i w drugim, program może reprezentować kilku graczy, grających różnymi strategiami.

2. Algorytmy ewolucyjne

Obserwując ewolucję biologiczną i modelując ją możemy uzyskać wiele inteligentnych zachowań. Wszelkie metody symulacji ewolucji z wykorzystaniem komputera noszą nazwę **Obliczeń ewolucyjnych (EC, ang. Evolutionary Computation)**, algorytmy stosowane w takich symulacjach, to **Algorytmy ewolucyjne (EA, ang. Evolutionary Algorithms)**. W ostatnich latach, paradygmat obliczeń ewolucyjnych stał się bardzo popularny, zwiększa się liczba różnych

dziedzin, w których znajdują zastosowanie, od zadań modelowania dynamiki populacji, poprzez zastosowania czysto techniczne, po nauki ekonomiczne – popularny ostatnio paradygmat ekonomii ewolucyjnej. Najbardziej znane są zaproponowane przez Hollanda (1976) *Algorytmy genetyczne*. (**GA**, ang. *Genetic Algorithms*), gdzie stosuje binarne kodowanie potencjalnych rozwiązań i proste operatory krzyżowania i mutacji. Aby zastosować **GA** do rozwiązania rzeczywistego problemu należy wykonać czynności pokazane na Rysunku 1. Zwykle argumenty funkcji celu (tzn. potencjalne rozwiązania) są kodowane za pomocą binarnego łańcucha, dla funkcji wielu zmiennych zakodowane wartości umieszczone są najczęściej na jednym łańcuchu, nazywanym *chromosomem*, stanowiącym genotyp pojedynczego *osobnika* w ewoluującej populacji. Wartość *funkcji celu* obliczona dla zdekodowanego chromosomu niesie informację o *przystosowaniu* (*fitness*) danego osobnika. Od przystosowania osobnika zależy liczba jego potomków w następnym pokoleniu.

Podczas reprodukcji osobników działają operatory genetyczne (krzyżowanie i mutacja) powodujące, że pokolenie potomne różni się od rodzicielskiego. Powstałe osobniki są oceniane – liczona jest ich wartość przystosowawcza. Kończy to jeden cykl życia populacji. Jeśli w nowo powstałym pokoleniu nie jest spełniony warunek zatrzymania **GA**, to rozpoczyna się kolejny cykl życia populacji – selekcja i reprodukcja osobników.



Rysunek 1. Etapy w stosowaniu algorytmów genetycznych – schemat ogólny

3. Ewolucja strategii dla gry menedżerskiej – gra PRAGNIENIE

W pracy (Kozieja, 1997) podjęto próbę wykonania prostej gry menedżerskiej o nazwie PRAGNIENIE, w której konkurują między sobą producenci napojów. Jednym z uczestników gry mógłby być komputer, grałby on, stosując strategię znaną przez algorytm genetyczny.

W grze PRAGNIENIE, podstawowe decyzje gracza to wielkość i rodzaj zamówionych surowców, wielkość produkcji oraz cena sprzedaży. Miarą trafności

podejmowanych przez gracza decyzji jest zysk „jego” firmy. Model obejmuje konkurujących producentów napojów, konsumentów, oraz dostawców surowców. Jednostką czasu (symulacji) jest umowny kwartał. System obejmuje zamknięty rynek producentów napojów. Na początku gry każdy producent dysponuje takimi samymi zasobami. Producenci mogą wytwarzać trzy produkty: *soki*, *napoje* i *syropy*. Do produkcji każdego z nich wykorzystuje się dwa spośród czterech surowców (*owoce*, *koncentrat*, *granulat* i *cukier*), zależnie od rodzaju wyrobu. Każdy wyrób może być produkowany za pomocą dwóch technologii (I i II), o różnym (ustalonym z góry) zapotrzebowaniu na surowce. Każdy producent posiada *kapitał* wyrażony w umownych jednostkach płatniczych. Przyjęto, że każdy producent ma swoją *markę* (jednakową na początku gry), wyrażoną w wartościach liczbowych, która odzwierciedla poziom zaufania konsumentów.

Producenci zaopatrują się na rynku surowców. Założono, że rynek jest idealnie elastyczny, surowce nie są limitowane. Rynek surowców ustala jedynie ceny surowców, co determinuje koszty produkcji. Cena uwzględnia popyt i sezonowość (opartą na czasie symulacji). Producent zamawiając surowce nie zna ich cen, deklaruje on zakup po ustalonej przez rynek cenie. Zamawianie surowców i ustalanie ich cen odbywa się w trzech krokach:

1. Każdy gracz zamawia dowolną ilość surowców,
2. Po złożeniu zamówień przez wszystkich graczy, ustalana jest podstawa ceny dla danej jednostki symulacji.
3. Podstawa ceny jest zwiększana lub zmniejszana w zależności od współczynnika zmiany popytu na ten surowiec w danym kwartale w stosunku do poprzedniego. Gracze otrzymują taką ilość surowców, jaką zamówili, po ustalonej wg powyższego algorytmu cenie. Graczowi, który nie ma odpowiedniego kapitału na zakup surowców udzielany jest kredyt, który musi być spłacony po zakończeniu jednego cyklu, tj. po sprzedaży wyrobów (inaczej gracz bankrutuje).

Gotowe wyroby mogą być sprzedawane na rynku konsumentów. Rynek ten ustala wielkość sprzedaży każdego produktu, dla każdego gracza. Działa tu prawo podaży i zasada podziału rynku, a kryteriami są marka producenta i cena wyrobu. Popyt dla każdego wyrobu na każdy czas gry jest ustalany z góry. Gracze nie znają ani popytu ani wielkości podaży innych producentów. Każdy gracz może wytworzone przez siebie wyroby sprzedać lub przechować w magazynie, czekając na lepszą koniunkturę. Wiąże się to z pewnymi kosztami, są one jednakowe dla wszystkich uczestników gry i wszystkich produktów. Maksymalny czas przechowywania poszczególnych wyrobów jest ustalony.

Marka każdej firmy jest wielkością względną, tzn. ważne jest ile wynosi marka danego gracza na tle innych producentów. Ponosząc nakłady na inwestycje i/lub promocję można zwiększyć swoją markę. Atrakcyjność marki *i*-tego producenta, mająca wpływ na ustalenie części przypadającego mu popytu, ustalana jest biorąc pod uwagę udział jego marki w sumie marek wszystkich producentów.

Podział rynku konsumentów dokonuje się w każdym kroku gry, dla każdego produktu v i każdego producenta i . Bierze się przy tym pod uwagę: oferowaną cenę produktu v przez i -tego producenta, udział ceny produktu v firmy i w sumie cen tego produktu, atrakcyjność ceny v -tego produktu i -tej firmy, atrakcyjność oferty i -tego producenta w odniesieniu do produktu v , atrakcyjność marki i -tej firmy. Trzech najlepszych producentów (o najlepszych ofertach) dostaje bonifikatę, po 15%, 10% i 5% rynku. Gra nie uwzględnia wpływu żadnych czynników losowych, np. gwałtownych zmian pogody.

Każdy uczestnik gry wpływa na ceny surowców poprzez wielkość swoich zamówień. Decyzje graczy dotyczące ceny wyrobów i wydatków na inwestycje i promocje wpływają na ich udział w rynku konsumentów.

Dla potrzeb algorytmów genetycznych potencjalne strategie są zakodowane w postaci chromosomów. Na poziomie genotypowym każdy osobnik reprezentuje strategię gry. Poziom fenotypowy to zestaw decyzji podejmowanych przez gracza. Jakość danej strategii (przystosowanie osobnika) ocenia się wg wyników, jakie daje dana strategia. Do oceny strategii wykorzystuje się uśrednione wyniki rozgrywek przeprowadzonych przez daną strategię z losowo wybranymi członkami populacji (średni zdobyty kapitał). Chromosom osobnika składa się z dwóch zasadniczych części. Pierwsza część chromosomu to ciąg sześciu funkcji opisujących wartości zmiennych określanych w fazie produkcji, czyli wielkość produkcji: syropu technologią I, syropu II, soku I, soku II, napoju I, napoju II (F_1 do F_6). Funkcja F_i opisuje matematyczne zależności pomiędzy *zmiennymi informacyjnymi* a *zmienną decyzyjną*, z którą jest związana. Każda funkcja reprezentowana jest w postaci drzewa (jak w programowaniu genetycznym), gdzie węzły zawierają *argumenty* (listę argumentów) oraz *operatory*. *Argumentem* może być dowolna zmienna informacyjna, stała całkowita, lub wartość innego węzła.

Zmienne informacyjne (zmienne warstwy wejściowej) to:

- aktualna cena surowców (owoców, koncentratu, granulatu, cukru, numery 1-4),
- wielkość ostatniej sprzedaży poszczególnych produktów (syropu, soku, napoju, zmienne o numerach od 5 do 7),
- aktualny kapitał firmy (nr 8),
- aktualna marka firmy (nr 9),
- ilość zapasów produktów w magazynie (nr 10 do 12),
- zysk z ostatniej sprzedaży (nr 13),
- krok symulacji (nr 14),
- koszt produkcji poszczególnych produktów technologią I i II (nr 15 do 20),
- średni ważony koszt produkcji poszczególnych produktów (nr 21 do 23).

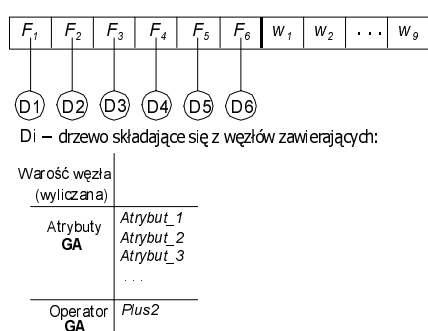
Wartości zmiennych od nr 15 zmieniają się w poszczególnych fazach rozgrywki: w fazie produkcji są to dane ustalone w poprzednim kroku rozgrywki, w fazie sprzedaży jest to odpowiedź systemu na podjęte przez graczy decyzje odnośnie produkcji. Operatorem w węźle może być dowolny operator ze zdefiniowanej do

tego celu bazy operatorów (np. suma dwóch pierwszych argumentów, maksimum z argumentów, drugi argument jeśli pierwszy jest większy od zera, itp.).

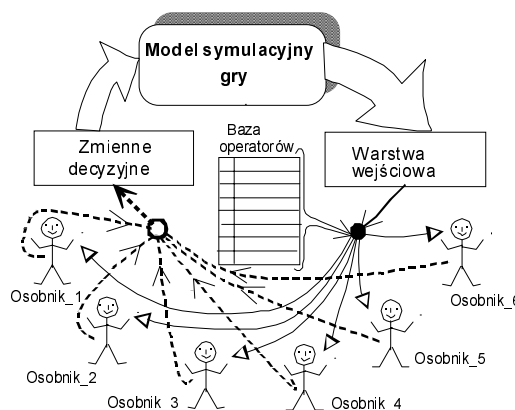
Drugą część chromosomu stanowi ciąg dziewięciu wskaźników w_1, w_2, \dots, w_9 opisujących fazę sprzedaży:

- część zapasów przeznaczona do sprzedaży: syropu, soku napoju (w_1 do w_3),
- marża na: syrop, sok, napój (w_4 do w_6),
- część kapitału przeznaczona na fundusz rozwoju (inwestycje plus promocje) w_7 ,
- część z tego przeznaczona na: inwestycje, promocję (w_8, w_9).

Rysunek 2 pokazuje schemat chromosomu. Za dobór atrybutów i operatora w węzłach drzewa odpowiada algorytm genetyczny. Cała struktura drzew (liczba węzłów i ich połączenia) też jest efektem działania algorytmu genetycznego.



Rysunek 2. Reprezentacja osobnika (zakodowana strategia)



Rysunek 3. Schemat rozgrywki osobników w ewoluującej populacji

Aby osobnik mógł być oceniony, rozgrywa pewną liczbę rozgrywek razem z pięcioma innymi, wybranymi losowo. Do tego celu służy odpowiedni model symulujący grę (Rysunek 3). Stosując strategię zakodowaną w chromosomie określone są wielkości produkcji poszczególnych wyrobów oboma technologiami i liczone jest zapotrzebowanie na surowce. Mając zamówienia od wszystkich uczestników gry, rynek surowców oblicza ich aktualną cenę. Gracze podejmują decyzje odnośnie wielkości poszczególnych produktów przeznaczonych do sprzedaży oraz ich ceny, jak również odnośnie wydatków na inwestycje i promocję. Uaktualniany jest stan konta graczy. Kończy to jeden krok gry, jedna rozgrywka to gra przez 32 umowne jednostki czasu. Każdy osobnik z populacji wykonuje założoną liczbę rozgrywek, po czym średni zysk osiągnięty w tych rozgrywkach jest traktowany jako jego przystosowanie. GA dokonuje generacji następnego pokolenia populacji. Do reprodukcji wybierane są osobniki metodą ruletki lub (opcjonalnie) metodą elitarną. Stosowane są podstawowe operatory

genetyczne: krzyżowanie i mutacja. Na poszczególne elementy chromosomu nałożone są ograniczenia, odnośnie ich dziedziny.

Otrzymane w przeprowadzonych eksperymentach strategie nie są wyszukanyymi, dostosowanymi do skomplikowanej rzeczywistości. Ale też przyjęte w modelu założenia dalekie są od rzeczywistych. Ponieważ założonym celem była maksymalizacja zysku (na nierzeczywistym, idealnie elastycznym rynku), to najczęściej wygrywały strategie kierujące się wysokimi cenami sprzedaży i nakładami na inwestycje. Jest to przejaw „inteligencji” zaimplementowanego algorytmu. Potrafił on wykryć i wykorzystać przyjęte uproszczenia odnośnie rynku surowców i rynku konsumentów. Rynek surowców zwiększa ceny na surowce jeśli zwiększają się na nie zamówienia. To z kolei podnosi koszty produkcji wszystkich napojów. Jednak rynek konsumentów reaguje jedynie na ceny danego producenta w stosunku do cen innych producentów. Nie uwzględniono w modelu reakcji konsumentów na bezwzględny wzrost cen produktów. Zatem optymalną strategią było sprzedawanie z jak największym zyskiem. Strategia taka spełnia założony cel gry, nic dziwnego, że algorytm genetyczny ją preferował.

4. Konkurencyjna gra ekonomiczna oparta na ewolucyjnym modelu przemysłu (EMP)

Opracowany przez W. Kwaśnickiego (Kwaśnicki, 1994/96) ewolucyjny model przemysłu posłużył jako inspiracja do opracowania gry kierowniczej (Nowicki, 1992, Kot, 1997). W tej grze, algorytm genetyczny jest aktywny przez cały czas, podejmując decyzje w każdej umownej jednostce czasu. Jednym graczem jest człowiek, pozostałymi firmami steruje komputer.

4.1. Ewolucyjny model przemysłu (EMP)

EMP opisuje zachowanie się pewnej liczby firm produkujących funkcjonalnie podobne produkty (tzn. produkty zaspokajające określoną potrzebę), funkcjonujących na określonym rynku. Decyzje każdej firmy odnoszące się do wielkości inwestycji, ceny produktów, wielkości pożądanego zysku, itp. dokonywane są na podstawie oceny przyszłego zachowania się konkurentów i oczekiwanej reakcji rynku (konsumentów) na wprowadzenie na rynek określonej liczby produktów danej firmy. Decyzje podejmowane są przez każdą firmę niezależnie w tym samym momencie (np. na początku każdego roku, lub kwartału).

Firmy produkują taką liczbę produktów, jaką spodziewają się sprzedać na rynku. Rzeczywista liczba produktów danej firmy kupionych przez klientów zależy od względnej ceny ich produktów, względnej oceny ich jakości oraz nasycenia rynku. Na rynku mogą wystąpić stany niezaspokojenia lub nadprodukcji zarówno w skali globalnej całego rynku jak i w skali ‘lokalnej’ na poziomie specyficznych

produktów. Dokładny opis modelu znaleźć można w (Kwaśnicki, 1994/1996, Kwaśnicki, Kwaśnicka, 1992).

Symulacja rozwoju przemysłu w proponowanym **EMP** odbywa się w dyskretnym czasie, w czterech etapach:

1. Poszukiwanie *wynalazków*, których wprowadzenie do produkcji (*innowacje*) może zastąpić 'stare', aktualnie stosowane produkty (metody produkcji).
2. Oszacowanie i porównanie wielkości inwestycji, produkcji, dochodu netto, zysku oraz innych charakterystyk rozwoju firmy wymaganych do kontynuowania produkcji 'starymi' metodami oraz przy zastosowaniu nowo odkrytych. W efekcie podjęcie decyzji o: (1) kontynuowaniu produkcji starymi metodami lub dokonanie modernizacji produkcji oraz (2) otwarciu nowego zakładu, gdzie istotnie nowe sposoby produkcji będą zastosowane.
3. Wejście nowych firm na rynek.
4. Rynkowa ocena całej puli produktów oferowanych przez wszystkie firmy do sprzedaży. Obliczenie charakterystyk firm (produkcji sprzedanej, udziału firm na rynku) oraz globalnych charakterystyk rozwoju gałęzi przemysłu.

Każdy proces twórczy jest procesem ewolucyjnym, należy jednak określić co to jest informacja dziedziczna. Zgodnie z ujęciem Josepha A. Schumpetera oraz Richarda Nelsona i Sidneya Wintera (Nelson, Winter, 1982), będziemy stosować termin '*rutyna*'¹ dla określenia podstawowej jednostki informacji dziedzicznej (wiedzy) na poziomie firm (odpowiednik genu w biologii). Zbiór rutyn stosowanych przez daną firmę jest jedną z podstawowych charakterystyk firm w **EMP**. Każda firma poszukuje nowych rutyn oraz nowych kombinacji rutyn.

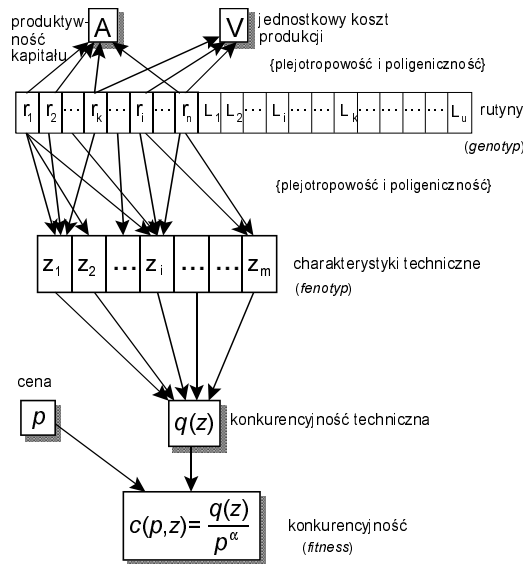
Reprezentacja firm w EMP

Do reprezentacji firm wykorzystano model ewolucyjny nazwany *K-Modelem* (Kwaśnicka, 1999, 1999a), w którym inny jest sposób kodowania osobnika niż w klasycznym **GA** oraz uwzględnione są pewne dodatkowe mechanizmy (geny nadmiarowe, makromutacje, i in.). Zakładamy, że każda firma charakteryzowana jest przez zbiór (zbiory) rutyn (Rysunek 4). Wyróżniamy dwa rodzaje rutyn: *aktywne*, tzn. rutyny rzeczywiście stosowane przez firmę w jej codziennej praktyce – odpowiadają genom fenotypowym w *K-Modelu*, oraz rutyny *nadmiarowe (ukryte)*, które są dostępne dla firmy by je użyć w praktyce, ale z różnych powodów nie są stosowane – odpowiadają genom nadmiarowym. Rutyny nadmiarowe mogą być włączane do zbioru rutyn aktywnych. Cały zbiór rutyn

¹ Nelson i Winter (1982, str. 14) definiują rutynę jako „regularne i przewidywalne zachowanie się firm, ... techniczne rutyny odnoszące się do sposobów produkcji ... procedury naboru pracowników i ich zwalniania, składania zamówień i magazynowania, zwiększania produkcji na którą istnieje popyt, polityki dotyczące inwestowania, prowadzenie badań i rozwoju, prowadzenia kampanii reklamowych, strategii prowadzenia interesów dotyczących dywersyfikacji produkcji i inwestycji zagranicznych”. W dużym stopniu działalność badawcza jest też zrutynizowana. „Rutyny kierują wyborem jak również opisują metody, są odzwierciedleniem praktyki zarządzania i socjologii organizacji oraz odnoszą się do technologii produkcji.” (Winter, 1984).

podzielony jest na rozłączne podzbiory, zwane segmentami (chromosomy), składające się z rutyn stosowanych przez firmę w różnych sferach jej działalności (produkcyjnej, zarządzania i organizacji firmy, marketingu, reklamy, itp.). W każdym segmencie mogą istnieć zarówno rutyny aktywne jak i nadmiarowe. Zbiór rutyn może ewoluować. Istnieją cztery podstawowe ewolucyjne mechanizmy generowania nowych zbiorów rutyn, mianowicie: *mutacje*, *rekombinacje*, *tranzycje* i *transpozycje*.

Prawdopodobieństwo odkrycia całkowicie nowej rutyny (*mutacja*) zależy od wielkości funduszy przeznaczonych przez firmę na autonomiczne badania prowadzone przez tę firmę. Firma może przeznaczyć też część swojego funduszu badawczego na zdobycie wiedzy od konkurentów i próbować naśladować rozwiązania stosowane przez konkurujące firmy (*rekombinacje*). Zakładamy, że rekombinacje mogą zachodzić pomiędzy całymi segmentami. Dlatego, dzięki rekombinacji firma, może uzyskać odpowiednią wiedzę dotyczącą całej sfery działalności innej firmy, np. poprzez zakup licencji.



Rysunek 4. Reprezentacja firmy: od rutyn do jednostkowego kosztu produkcji, produktywności kapitału i konkurencyjności (za: Kwaśnicki, 1994/96)

Konkurencyjna gra menedżerska DYPŁOM

W opracowanej przez W. Kota (Kot, 1997) grze firmy mają formę spółek akcyjnych, zatem muszą płacić dywidendy akcjonariuszom oraz muszą upubliczniać niektóre informacje o nich, np. przychody, obroty, zysk, dywidenda, zatrudnienie. Do produkcji niezbędne są: zatrudnienie, energia, linie produkcyjne, zakup materiałów (Rysunek 5). Firma może zaciągać kredyt bankowy, emitować akcje lub obligacje. Obligacje nie dają możliwości zmiany właściciela firmy (przejęcie przez konkurenta), ale muszą być zwrócone w określonym terminie wraz z oprocentowaniem. Gracz może zakupić akcje innej firmy i ewentualnie mieć wpływ na jej decyzje. Wolny kapitał można także lokować na oprocentowanym koncie w banku lub w obligacjach innych firm. Firmy płacą podatek dochodowy (można zaobserwować wpływ wysokości podatku na działanie firmy zmieniając jego wysokość). Produkcja powoduje zanieczyszczanie środowiska, od poziomu

zanieczyszczania zależy wysokość kar nakładanych na firmę przez lokalne władze. Zarówno podatek jak i kary pobierane są automatycznie z kont firm na koniec każdego umownego roku. Firma podejmując decyzję może wykorzystywać raporty finansowe. W grze istnieje możliwość zakupu analiz, prognoz i ekspertyz zewnętrznych. Firma może zbankrutować, jeśli zajdzie jeden z warunków:

- niewypłacenie dywidendy przez ustalony okres czasu,
- wielkość kredytów przekroczy wartość majątku firmy,
- niezapłacenie podatku dochodowego lub kar za zanieczyszczenie środowiska,
- niewypłacenie pensji pracownikom przez okres dwóch umownych miesięcy,
- zerowy stan konta firmy,
- udział firmy w rynku spadnie poniżej 1%.

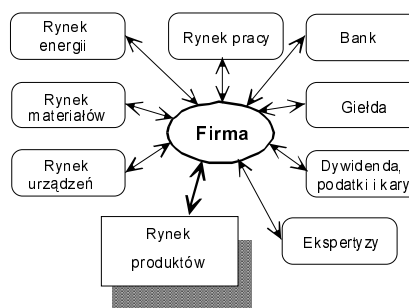
Każda firma jest opisana poprzez zbiór rutyn, które wpływają na charakterystyki firmy, takie jak techniczna jakość jej produktów, poziom organizacyjny, efektywność produkcji, itp. Wszystkie firmy dążą do polepszenia swojej sytuacji na rynku poprzez wprowadzenie nowych kombinacji rutyn.

Każdy gracz (firma) podejmuje decyzje dotyczące:

- ceny produktu,
- wielkości produkcji (zakup/sprzedaż linii produkcyjnych, zatrudnianie/zwalnianie pracowników, zakup/sprzedaż surowców, zakup energii),
- wydatków na marketing,
- wydatków na badania i rozwój (R&D) (rozwój technologiczny produktów, inwestycje związane z organizacją i zarządzaniem),
- wydatków na remonty linii produkcyjnych,
- wysokości dywidendy,
- zaciągania/splaty kredytów (globalna stopa procentowa jest zadana),
- lokowanie kapitału w banku,
- emisji i sprzedaży akcji/obligacji,
- zakupu ekspertyz,
- zakupu patentów, licencji, wywiad gospodarczy.

Każdy gracz może na żądanie otrzymać powstające raporty z gry. Są to:

- raport na temat rynku (poziom podatek, kary, wskaźnik globalnej koniunktury),
- raport finansowy (stan konta, wpływy, wydatki, procentowy udział firmy na rynku, wielkość zaciągniętych kredytów, wysokość dywidendy, kursy akcji poszczególnych firm, itp.),



Rysunek 5. Otoczenie firmy na symulowanym rynku (za Kot, 1997)

- raport produkcyjny (wielkość produkcji, koszty jednostkowe i całkowite, zużycie linii, zatrudnienie, wysokość pensji),
- raport o konkurencji (dane o poziomie sprzedaży, zatrudnieniu, konkurencyjności technicznej produktów, konkurencyjności marketingowej).

Na początku gry ustalane są parametry dotyczące:

- stanu nowej firmy na rynku (początkowe zasoby finansowe i produkcyjne),
- rynku jako całości (elastyczność cenowa, współczynnik zmiany globalnej koniunktury, współczynnik straty rynku w przypadku braku zaspokojenia popytu, prawdopodobieństwo wejścia nowej firmy na rynek, początkowa liczba firm, początkowa wielkość rynku, minimalna płaca, koszt ekspertyzy, sezonowość sprzedaży),
- stopy procentowej (zakres zmiany stopy procentowej, zakres zmiany oprocentowania obligacji),
- podatków i kar (wysokość podatku dochodowego, wysokość kar za zanieczyszczenie, możliwości zmiany podatku i kar),
- produkcji (miesięczne zużycie linii produkcyjnych, koszt naprawy linii, maksymalna wydajność linii, zasoby potrzebne do wyprodukowania jednostki produktu),
- gry: czas trwania rozgrywki i liczba „miesięcy” wykorzystana do tworzenia raportów, oraz
- parametry algorytmu genetycznego.

W (Kot, 1997) zastosowano algorytm ewolucyjny z diploidalną reprezentacją osobnika, tzn. osobnik składa się z par odpowiadających sobie chromosomów (nazywanych chromosomami homologicznymi). Każdy z odpowiadających sobie chromosomów koduje te same charakterystyki firmy, ale zawiera inne wartości rutyn. Która rutyna (z pierwszego czy drugiego chromosomu homologicznego) będzie brana pod uwagę przy obliczaniu charakterystyk firmy zależy od tego, która z nich zostanie uznana za dominacyjną. Zastosowano model dominacji Hollstiena-Hollanda¹. Mutacje, rekombinacje, tranzycje i transpozycje mają takie samo znaczenie jak w **EMP**. Parametry określające stan firmy, takie jak produktywność kapitału, zmienny koszt produkcji oraz charakterystyki produktu wyznaczone są na podstawie rutyn. Inwestycje, modernizacja, produkcja i cena są wyznaczone według kryteriów funkcjonowania firmy na rynku, np. maksymalizacja zysku. Przyjęte do obliczeń wzory muszą opisywać różne sytuacje, np. globalny niedobór na rynku danych produktów, niedobór produktów jednej firmy a nadmiar innych, itp. (Kwaśnicki, 1994/96 i Kot, 1997).

¹ Diploidalny trialleliczny GA Hollstiena-Hollada: alfabet składa się z trzech symboli{-1,0,1}, jedynka jest dominująca w stosunku do zera, -1 oznacza recesywną jedynkę: 0,0→0; 0,-1→0; 0,1→1;-1,0→0; -1,-1→-1; -1,1→1; 1,0→1; 1,-1→1;1,1→1 (Goldberg, 1989).

Zbudowano pierwszą wersję programu DYPLOM (Kot, 1997). Za jednostkę gry przyjęto umowny miesiąc. W każdym kroku wyróżnia się trzy fazy gry:

- fazę decyzyjną, firmy podejmują decyzje,
- fazę symulacji, wykonywane są obliczenia – efekty podjętych decyzji,
- fazę analityczną – gracze mogą „analizować” efekty swoich decyzji, korzystają przy tym z dostępnych raportów.

Przeprowadzono szereg symulacji, które wykazały przydatność programu dla celów edukacyjnych. Uwzględnienie w konkurencji firm (poza konkurencyjnością technologiczną) takich elementów jak wizerunek firmy, kampania reklamowa czy sposób zarządzania firmą pozwala na tworzenie bardziej skomplikowanych strategii konkurencji na rynku. Zdarzenia losowe – pojawiające się nowe firmy na rynku, czy też załamanie na giełdzie (Nowicki, 1992) pozwalają graczowi sprawdzić swoje zdolności menedżerskie w zmiennym środowisku. Gra pozwala testować różne strategie podejmowania decyzji, np. maksymalizacja wydatków na badania własne firmy czy duże nakłady inwestycyjne. Dopracowania wymagają strategie podejmowania niektórych decyzji przez komputer. W programie DYPLOM zaimplementowana strategia uwzględnia takie reguły jak: jeśli firma nie pokrywa swojego segmentu rynku, to zakup linię; jeśli ponad połowa firm ma lepszy wizerunek (image) to zwiększ o 10% wydatki na marketing; jeśli stan techniczny linii jest zużyty w ponad 75% to zwiększ wydatki na remont, itp. Poprawienie tego elementu gry umożliwiłoby opracowanie w pełni profesjonalnej, dydaktycznej gry menedżerskiej.

5. Podsumowanie

Wraz z szybko rosnącą popularnością algorytmów ewolucyjnych zwiększa się zakres tematyczny ich zastosowań. Niewątpliwie programowanie gier jest jedną z dziedzin, którą pasjonują się młodzi informatycy. Do zaprojektowania dobrej, dydaktycznej gry menedżerskiej konieczna wydaje się współpraca informatyków ze specjalistami od modelowania rynku i strategii rozwoju firm. Pierwsze doświadczenia z wykorzystaniem szeroko rozumianych algorytmów ewolucyjnych do projektowania gier menedżerskich są zachęcające. Interesujące byłoby zaprojektowanie gry menedżerskiej, w której poszczególne firmy (agenci zajmujący wspólny rynek) mogłyby kierować się różnymi strategiami. Wtedy, poza zadaniem dydaktycznym można byłoby wykorzystać grę do testowania i analizowania zachowania się poszczególnych strategii na różnych rynkach, np. np. gdy inne firmy kierują się takimi samymi strategiami, na zróżnicowanym rynku, itp. Etapem wstępnym do opracowania takiej gry powinno być określenie (zdefiniowanie) różnych strategii, jakimi mogą posługiwać się firmy na konkurencyjnym rynku.

LITERATURA

- Bolc L., Cytowski J. (1989), *Metody przeszukiwania heurystycznego* (tom I i II), PWN, Warszawa.
- Dąbrowski T. (1998) *Konstrukcja funkcji oceniającej w grach logicznych za pomocą algorytmów genetycznych*, Praca magisterska, Wydziałowy Zakład Informatyki, Politechnika Wroclawska, Wroclaw.
- Goldberg D.E., (1995), *Algorytmy genetyczne i ich zastosowania*, WNT, Warszawa.
- Kot W. (1997), *Konkurencja firm na rynku – gra symulacyjna*, Praca magisterska, Wydziałowy Zakład Informatyki, Wydział Informatyki i Zarządzania, Politechnika Wroclawska, Wroclaw.
- Holland J.H., (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan, USA.
- Kozieja R. (1997), *Zastosowanie algorytmów genetycznych w modelowaniu ekonomicznym: poszukiwanie optymalnej strategii gry kierowniczej*, Praca magisterska, Wydziałowy Zakład Informatyki, Wydział Informatyki i Zarządzania, Politechnika Wroclawska, Wroclaw.
- Kwaśnicka H., (1999), *Obliczenia ewolucyjne w sztucznej inteligencji*, praca złożona do druku w Oficynie Wydawniczej PWr.
- Kwaśnicka H., (1999a), *K-Model – An Evolutionary Algorithm With New Schema of Representation*, praca przyjęta do druku w materiałach konferencyjnych CIMAF'99, Havana 22-26.03.1999, Kuba.
- Kwaśnicki W. (1996), *Knowledge, Innovation, and Economy An Evolutionary Exploration*, Cheltenham, UK, Brookfield, US: Edward Elgar Publishing Limited (pierwsze wydanie: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw, 1994).
- Kwaśnicki W., Kwaśnicka H. (1992), *Market, Innovation, Competition. An Evolutionary Model of Industrial Dynamics*, Journal of Economic Behavior and Organization, vol. 19, 343-68.
- Nelson R.R., Winter S.G. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Nowicki A. (1992), *Analiza możliwości wykorzystania ewolucyjnego modelu rozwoju przemysłu do modelowania postępu technicznego w symulacyjnej grze menedżerskiej*, Praca magisterska, Wydziałowy Zakład Informatyki, Politechnika Wroclawska, 1992.