AUTOMATYKA • 2008 • Tom 12 • Zeszyt 3

Tadeusz Szuba*, Paweł Skrzyński*

Próba wyjaśnienia paradygmatu „niewidzialnej ręki rynku Adama Smitha" w oparciu o model obliczeniowy kolektywnej inteligencji

1. Wprowadzenie

Tematem artykułu jest przedstawienie koncepcji modelu symulacyjnego (aktualnie realizowanego jako rozprawa doktorska), który to ma umożliwić uchwycenie i na tej bazie analizę fenomenu nazywanego potocznie „niewidzialną ręka rynku Adama Smitha" (NRRAS). Koncepcja naukowa modelu zakłada że rynek jako taki tworzy w sposób nieuświadomiony (dla uczestników) żywy komputer; taki jaki można zdefiniować na bazie teorii kolektywnej inteligencji [4]. Uczestnicy rynku prowadząc swoją działalność biznesową, administracyjną, etc., nieświadomie odgrywają także rolę elementów obliczeniowych, transportujących i magazynujących informacje takiego żywego komputera. Sam proces obliczeniowy w takim komputerze można opisać (bazując na teorii kolektywnej inteligencji) w kategoriach logiki matematycznej; ma on charakter nieciągły, równoległy i chaotyczny. Wnioskowania realizowane przez taki meta-komputer dotyczą samoregulacji rynku – czego objawy zauważył już w 1776 A. Smith [2].

Tak więc celem autorów jest stworzenie takiego modelu symulacyjnego abstrakcyjnego rynku, w którym możliwe będzie wywołanie takich zjawisk – na kształt samopodtrzymującej się reakcji jądrowej w reaktorze. Analogia do reaktora i problemów, jakie mieli twórcy pierwszego reaktora jądrowego, jest b. silna. Podobnie jak wtedy, nie jest wiadomo, jaki elementy prawdziwego rynku należy uwzględnić w modelu, nie wiadomo, jaki musi być jego minimalny rozmiar, jakie oddziaływania ekonomiczne i psychiczne należy zamodelować, aby taki samopodtrzymujący się proces logiczny spontanicznie się ujawnił się i potem nie wygasł. Mimo dysponowania teorią kolektywnej inteligencji i świadomością „jakie zjawiska mają finalnie nastąpić w modelu", autorzy artykułu zdają sobie sprawę, jak dalece „poruszają się po omacku" w tym temacie.

Niemniej nawet częściowy sukces będzie miał dużą wartość poznawczą zarówno dla problematyki kolektywnej inteligencji, jak i dla problematyki ekonomicznej dynamiki ryn-

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

ków. W związku z tym, że prace programistyczne nad implementacją modelu zostały właśnie zakończone, celem tego artykułu oprócz prezentacji pomysłu badawczego, jest chęć jego przedyskutowania w szerszym gronie.

2. Teoria kolektywnej inteligencji

Aktualnie postaramy się przedstawić w skrócie podstawy teorii kolektywnej inteligencji [4].

Podstawą teorii jest model obliczeniowy [3], w którym nastąpiło odejście od uporządkowanego, deterministycznego procesu obliczeń – takiego jaki jest realizowany w typowym dzisiejszym procesorze cyfrowym → na rzecz molekularnego, niedeterministycznego procesu obliczeniowego[1]. Szczególnym przypadkiem takiego modelu obliczeń (który udało się fizycznie zaimplementować) jest biochemiczny tzw. DNA-komputer Adlemana [9]. Utrata niedeterminizmu w takim modelu obliczeń jest w znakomity sposób skompensowana poprzez pojawiającą się naturalną równoległość obliczeń – czyli komputer taki uzyskuje przewagę w wielowątkowych obliczeniach. Okazuje się, że taki model wymaga rezygnacji z algebr Boole'a jako podstawy obliczeń (rachunek 0/1) na rzecz obliczeń w rachunku predykatów 1-rzędu; czyli następuje przeniesienie obliczeń na obszar logiki matematycznej. Ciekawostką jest to, że model taki w sensie strukturalnym dalej jest binarny, w komputerze cyfrowym do kodowania informacji i podczas jej przetwarzania stosujemy tylko dwa symbole 0/1, natomiast w omawianym komputerze stosuje się tylko dwa typy obiektów: *molekuła informacyjna/membrana*; z których budowana jest struktura procesora – implikująca przebieg obliczeń.

W dużym uproszczeniu, w omawianym modelu informacja jest przenoszona przez tzw. molekuły informacyjne transportujące fakty, reguły i cele obliczeń. Molekuły informacyjne przemieszczają się quasi-chotycznie[2] w środowisku skonfigurowanym poprzez membrany. W momencie spotkania (ogólnie rozumianego[3], które dalej będziemy nazywać rendez-vous), jeśli spotkają się właściwe wyrażenia logiczne, następuje proces wnioskowani i w rezultacie pojawiają się potomne molekuły, transportujące dalej konkluzje z wnioskowania. W takim systemie wnioskującym, proces logiczny odbywa się wielowątkowo, chaotycznie, równolegle, wątki się przeplatają i zazębiają, wnioskowanie odbywa się jednocześnie

---

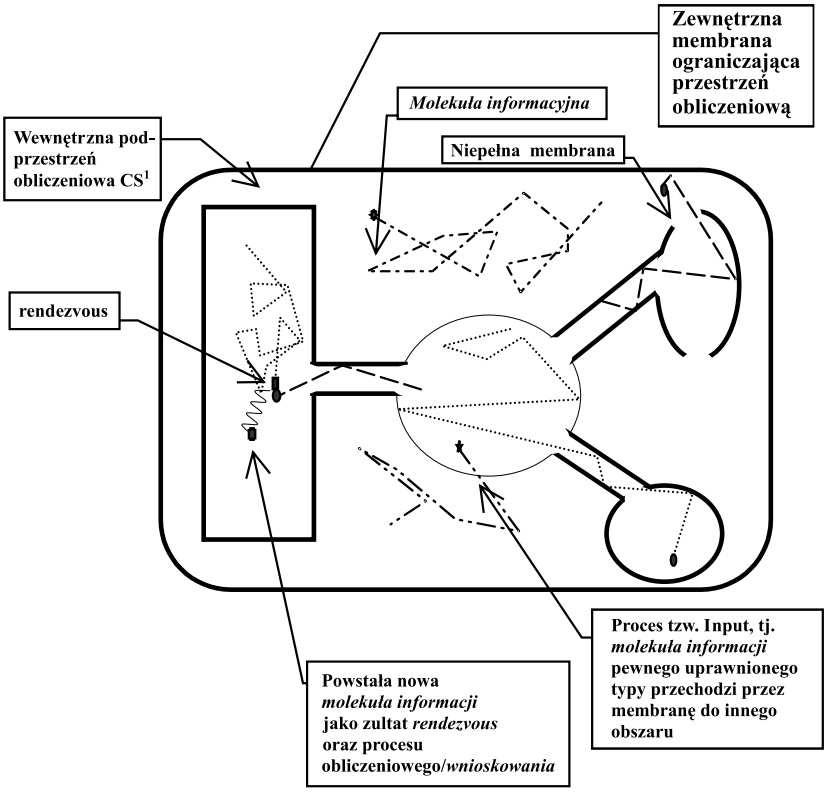
1) Taki komputer (podobnie jak analogowy) jest non-Turing.

2) Rozróżnienie co jest losowe, a co chaotyczne, jest w tym przypadku b. trudne. Okazuje się np. że osoby o b. dużej inteligencji, posiadające środki finansowe zapewniające im swobodę decyzji – w rezultacie „poruszają" się w sposób, który dla postronnego obserwatora najlepiej opisuje proces losowy – mimo że ich działania są przemyślane (obliczone). Ich działania są b. czułe na zmianę warunków początkowych, a więc powinien być to proces chaotyczny.

3) Koncepcja rendez-vous zależy od tego, jaką metrykę zastosujemy w danej przestrzeni obliczeniowej.

„w przód”, „wstecz” oraz „od środka”. Okazało się podczas symulacji, że taki model obliczeniowy jest zaskakująco szybki i efektywny [3] – natomiast zasadniczym problemem jest jak go fizycznie zrealizować. Głównym problemem jest więc znalezienie w otaczającym nas świecie zjawisk fizycznych, które da się opanować i użyć do budowy takiego komputera.

Rysunek 1 przedstawia prostą, ogólną koncepcje, przykład takiego procesora. Rysunek 2 pokazuje, przy wykorzystaniu diagramów Feynmana [10], przebieg procesu obliczeniowego (wnioskowania) w takim komputerze.

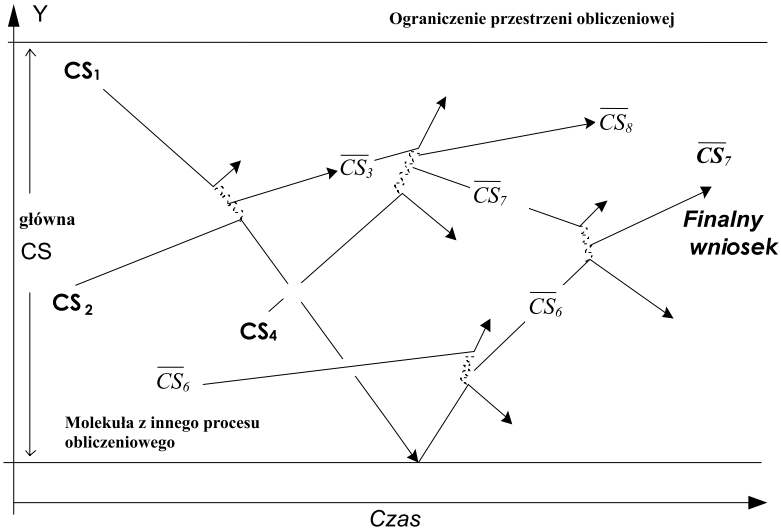


Rys. 1. Prosty przykład przestrzeni obliczeniowej *CS* z wewnętrzną strukturą i molekułami informacyjnymi

Mając już bazę intuicyjną można już formalnie zdefiniować proces obliczeniowy w takim procesorze (Definicje 1, 2).

Definicje 1 oraz 2 formalnie opisują to, co zostało graficznie przedstawione na rysunku 2. Definicja 1 mówi, że jeśli spotkają się w sensie formalnym dwie molekuły informacyjne niosące fakty, reguły lub cele obliczeń (spotkanie zależy to od tego jak zdefiniowana jest metryka przestrzeni), które „pasują do siebie”, to pojawiają się molekuły potomne, które niosą dalej wyniki (konkluzje) wnioskowania. Molekuły „rodzicielskie” mogą (lub nie)

zostać zlikwidowane. Definicja 2 formalnie podaje warunki na zaistnienie sieci przeplatających się wnioskowań, prowadzących od faktów, które istniały na wstępie, aż do finalnego wniosku. Sieć takich wnioskowań nazywana jest dalej *N*-elementowym wnioskowaniem.



Rys. 2. Diagramy Feynmana świetnie nadają się do opisu procesu wnioskowania w takim procesorze

Dysponując takim modelem obliczeniowym można już pokusić się o formalnie zdefiniowanie, co to jest i jak funkcjonuje kolektywna inteligencja danej struktury socjalnej (Definicje 3, 4).

Definicja 1: Uogólnione wnioskowanie w CS^n

Niech $CS = \{...CS_j^i ...CS_l^k ...\}$ oraz

zachodzą relacje

CS_j^i ® CS_l^k (R oznacza rendezvous),

U(CS_j^i, CS_l^k) (U oznacza udaną unifikacje zadanego typu),

C(jedna lub wiecej CS_n^m konkluzji) (C oznacza że jedna lub

więcej konkluzja jest spełnialna) ⇒

powstaje jedna lub wiecej molekuła konkluzji CS_n^m

oraz ewentualnie R(CS_j^i lub CS_l^k) gdzie R oznacza usunięcie

Definicja 2: N-elementowe wnioskowanie w CS^n

Niech będzie dana przestrzeń obliczeniowa CS dowolnego poziomu $CS^n = \{CS_1^{a_1}, ...CS_m^{a_m}\}$,

dozwolony zbiór wnioskowań SI postaci $\{\text{zbiór przesłanek } CS\} \xrightarrow{I_j} \{\text{zbiór konkluzji } CS\}$

i jedna lub więcej molekuła informacyjna celu CS_{goal}.

Mówimy, że $\{I_{a0}, ..., I_{a_{N-1}}\} \subseteq$ SI jest N-elementowym wnioskowaniem w CS^n, jeśli

dla każdego wnioskowania $I \in \{I_{a0}, ..., I_{a_{N-1}}\}$ jego przesłanki $\in$ w CS^n

w momencie zawnioskowania, ponadto

wszystkie $\{I_{a0}, ..., I_{a_{N-1}}\}$ mogą być połączone w jeden graf wspólnymi konkluzjami

i przesłankami, oraz finalnie $CS_{goal} \in \{\text{zbiór konkluzji dla } I_{a_{N-1}}\}$

Popatrzmy jednak najpierw, dlaczego taki model obliczeniowy świetnie pasuje do fenomenu kolektywnej inteligencji, a dalej do próby uchwycenia tą drogą paradygmatu „niewidzialnej ręki rynku A. Smitha” [1, 2].

1) Jednostki w strukturach socjalnych współpracują ze sobą w sposób chaotyczny, nieciągły.
2) Zachowują się (np. rozpatrując położenie) quasi-chaotycznie, ze względu na kłopoty i szanse codziennego życia.
3) Ich działania są w większości nieskoordynowane, równoległe, procesy wnioskowania/produkcji są inicjowane, przerywane, wznawiane.
4) Procesy współpracy przenikają się i oddziaływają na siebie w sposób niekontrolowany przez jednostkę.
5) Trudno odseparować rezultaty pokojowych i wrogich „ścieżek” współpracy.
6) Często w ramach struktury socjalnej istnieją w tym samym czasie sprzeczne ciągi wnioskowań.
7) Zasoby i środki są rozproszone w czasie, przestrzeni i pomiędzy indywidua. Ponadto pojawiają się i znikają w sposób niedeterministyczny.
8) Jest trudno jednoznacznie zinterpretować elementy procesów kolektywnej inteligencji: np. dane indywiduum może być różnie interpretowane z punktu widzenia rożnych przenikających się procesów logicznych.
9) Bardzo często obserwujemy zjawisko, ale nie potrafimy nadać mu interpretacji w sposób „wiarygodny”.
10) Kolektywna inteligencja jest procesem „chwilowym”, tj. może się „zamanifestować” a po chwili zaniknąć.

Widzimy wyraźnie, że oba procesy mają bardzo podobną naturę, co uzasadnia użycie takiego modelu obliczeń do formalizowania kolektywnej inteligencji. Zasadnicza trudność

polega jednak na tym, że efektywne liczenie kolektywnej inteligencji wymaga, aby najpierw odwzorować daną strukturę socjalna na odpowiadający jej molekularny model obliczeń – co nie jest łatwe (ani jednoznaczne).

Koncepcja Definicji 3 i 4 jest następująca. Struktura społeczna w przypadku braku współpracy posiada ograniczona zdolność rozwiązania pewnej puli problemów na zasadzie przetestowania na osobności (aby uniknąć pozytywnej lub negatywnej interakcji), co kto potrafi i kto jest najlepszy dla danego problemu. W oparciu o taki test można sporządzić listę „co da się zrobić" i jaki jest najlepszy rezultat dla danego problemu. Kolektywna inteligencja pojawia się, gdy na wskutek współpracy, współzawodnictwa, wzajemnej obserwacji etc. albo pojawią się całkiem nowe problemy, które dana struktura socjalna potrafi rozwiązać, albo też wzrośnie szybkość rozwiązywania, złożoność, ekonomika, etc. problemów, które już wcześniej były rozwiązywane.

Definicja 3: Kolektywna Inteligencja jako chwilowa własność struktury socjalnej

Podstawowe oznaczenia

* ***Niech będzie dany zbiór S $\{...\}$ istnień $indiv_1$,..., $indiv_n$ w środowisku Env. Nic nie trzeba o nich zakładać, poza tym, że te istoty lub byty są obserwowalne.***
* ***Niech będzie dany okres czasowy t_{start} - t_{end} celem oceny Kolektywnej Inteligencji struktury socjalnej utworzonej przez S{...}***
* ***Niech będzie dane uniwersum problemów U dla środowiska Env, oraz ocena złożoności problemów $Probl_i$ oznaczona przez $f_o^{Probl_i}(n)$.***

Ponieważ Kolektywna Inteligncja może dotyczyć problemów formalnych jak również typu fizycznego, musimy napisać:

$$f_o^{Probl_i}(n) \overset{def}{=} \begin{cases} \text{jeśli } Probl_i \text{ jest problemem obliczeniowym, stosuj standardową} \\ \text{definicję złożoności obliczeniowej, gdzie } n \text{ podaje rozmiar problemu;} \\ \text{jeśli } Probl_i \text{ jest problemem fizycznym, zastosuj jednostki fizyczne np.} \\ \text{wagę, ciężar, rozmiar dla wyrażenia } n. \end{cases}$$

Oznaczmy zdolność rozwiązywania problemów przez zbiorowisko S{...}, jeśli na siebie nie oddziaływują formułą

$$Abl_U^{all\ indiv} \overset{def}{=} \bigcup_{Probl_i \in U} \max_S \left(\max_n f_O^{Probl_i}(n) \right)$$

teraz możliwe jest podanie definicji Kolektywnej Inteligencji jako:

Definicja 3 (cd.): Kolektywna Inteligencja jako chwilowa własność struktury socjalnej

Właściwa definicja

Mówimy, że Kolektywna Inteligencja zaistniała w omawianym okresie dla S{...}

lub oddziaływujących na siebie, wtedy i tylko wtedy, jeśli ∃ przynajmniej jeden problem Probl'

który może być rozwiązany przez jednostkę lub grupowo, taki, że:

$$f_o^{Probl_i} \overset{significantly}{>} f_o^{Probl_i}(n) \in Abl_U^{all\ indiv}$$

lub

$$\exists\, Probl \ \ such\ that \left(\forall n\ Probl \notin Abl_U^{all\ indiv}\right) \wedge \left(Probl \in U\right)$$

Można na bazie poprzednich definicji też zdefiniować miarę Kolektywnej inteligencji, tj. jej iloraz IQ tutaj nazywany IQS (IQ Social). Istotnym jest tutaj uświadomienie sobie faktu, że takie chaotyczne, równoległe procesy wnioskowania jakie zachodzą w strukturze socjalnej można oceniać jedynie w kategoriach prawdopodobieństwa: „inteligentniejsza struktura socjalna z większym prawdopodobieństwem szybciej rozwiąże dany problem niż konkurencyjna struktura socjalna”. Oczywiście inteligentniejsza struktura socjalna będzie miała większą realną domenę problemów jakich potrafi rozwiązać, ale ta druga konkurencyjna też może takie problemy rozwiązać; tyle że z b. małym prawdopodobieństwem – w wyjątkowo sprzyjających sytuacjach. Koncepcja IQS podana jest w Definicji 4.

Ciekawostką jest, że IQS może przyjmować wartości ujemne – innymi słowy jednostki (uczestnicy struktury socjalnej) stają się w pewnych sytuacjach inteligentniejsi niż cała struktura [5, 6].

Definicja 4: Iloraz Kolektywnej Inteligencji IQS

W oparciu o N-elementowe wnioskowanie możemy podać definicje IQS dla S {...} nad domeną

problemów U jako prawdopodobieństwo P, że konkluzja CS_{goal} wyłoni się w CS^n po czasie t

w rezultatcie zaistniałego N-elementowego wnioskowania.

Oznaczamy to przez IQS = P(t, N)

W dalszej części artykułu termin molekuła informacyjna zastąpimy bardziej intuicyjnym pojęciem „agent”. Termin molekuła informacyjna jest bardziej ogólny i w pewnych badaniach nad naturą kolektywnej inteligencji pojęcie agent nie jest właściwym [5].

Czego zatem oczekujemy od teorii kolektywnej inteligencji w przypadku NRRAS?

Chcemy zbudować model symulacyjny uproszczonego rynku, a następnie tak go dostroić, aby spontanicznie zaczęły się pojawiać się ciągi wnioskowań pełniące funkcje samoregulacyjne dla tego rynku; ciągi te będziemy mogli uznać za mechanizm Niewidzialnej Ręki Rynku A. Smitha.

To powinno otworzyć nam drogę do analizy tego zjawiska.

Należy tutaj przypomnieć koncepcje programowania deklaratywnego [11], która tak wspaniale zrealizowała się w koncepcji systemu programowania PROLOG. W takim systemie nie musimy explicite budować programu, aby coś on zrealizował; wystarczy dostarczyć systemowi PROLOG-u odpowiednie fakty, reguły oraz cele. Program jaki mamy na myśli, powinien sam się wyłonić. Zwykle jednak PROLOG na początku (pomijając błędy) tworzy z naszych komponentów logicznych inny program, niż ten który zamierzyliśmy. Analizując co się stało, musimy dopiero zmusić system do takich działań, jakie oczekujemy.

Podobnie jest tutaj. Musimy tak zdefiniować elementy rynku, aby:

a. Zachowana była zgodność z rzeczywistością.
b. W momencie zakłócenia rynku przez jakiś czynnik (nieodpowiedzialny polityk, anomalia, etc.) elementy logiczne składające się na opisy agentów i elementów rynku z b. dużym prawdopodobieństwem i intensywnością (w sensie oddziaływań na rynek) „połączyły się" w ciągi wnioskowań prowadzące do uruchomienia mechanizmów samoregulacyjnych (obronnych rynku).

W dalszej części artykułu skoncentrujemy się już na kwestiach związanych z konstrukcją modelu rynku, tak aby „wywołać fenomen NRRAS".

3. Adam Smith i paradygmat „niewidzialnej ręki rynku"

Adam Smith w swojej książce z 1776 opisuje zjawisko niewidzialnej ręki rynku jako proces, w którym każda jednostka pracuje w sposób, który zagwarantuje największy zysk strukturze socjalnej, której jest elementem, pomimo iż nie zamierza tego robić i nic nie wie o interesie publicznym, kierując się jedynie własnym interesem i chęcią maksymalizowania swojego zysku. Twierdzi nawet, że każdy robi więcej dobrego dla interesu publicznego nie zdając sobie z tego sprawy i kierując się tylko własnym interesem, niż jak próbuje coś uczynić w sposób w pełni świadomy.

W ujęciu współczesnym niewidzialna ręka rynku rozumiana jest w sposób znacznie bardziej ogólny. Jest to proces, którego rezultaty osiągane są w sposób zdecentralizowany bez jawnych uzgodnień pomiędzy jego uczestnikami. Pierwszą wyróżniająca cechą tego procesu jest to, iż jest on niezamierzony, a cele, do jakich dążą pojedynczy uczestnicy rynku, nie są ani zsynchronizowane ani identyczne z wynikami tego procesu – wynik osiągany jest niejako „przy okazji". Dodatkowo proces ten zachodzi, pomimo iż uczestniczący w nim agenci mogą być tego nieświadomi – dlatego proces nazywany jest „niewidzialnym". Systemem, w którym powszechnie uważa się, iż zachodzi proces niewidzialnej ręki rynku, jest wolny rynek. Adam Smith dowodził, iż poprzez fakt, iż konsumenci chcą nabywać dobra po możliwie najniższej cenie, z kolei producenci chcą osiągać możliwie największe przychody, co zmusza ich do inwestowania w najbardziej dochodowe gałęzie przemysłu (tj. te, na które jest największy popyt) – w rezultacie przyczynia się to do ogólnego wzrostu ekonomicznego/gospodarczego. Jednym z najbardziej pozytywnych aspektów wolnego rynku jest fakt, iż zmusza on ludzi do pośredniego myślenia o tym, czego inni ludzie potrzebują – bowiem „biznesowa" chęć zaspokojenia tych potrzeb prowadzi do poprawy własnej sytuacji. Na tych prostych przesłankach został oparty nasz model symulacyjny, który jak oczekujemy pozwoli nam zaobserwować proces niewidzialnej ręki rynku.

4. Koncepcja modelu symulacyjnego

Model symulacyjny rynku oparty jest na przesłankach podanych w poprzednim rozdziale: w skład rynku wchodzą agenci, którzy wymieniają pomiędzy sobą dobra, które są przedmiotem obrotu na rynku. Ponieważ jest to model, liczba dóbr będących obrotem na rynku została ograniczona do kilku. Możliwe jest zbudowanie z dóbr prostej hierarchii: istnieją dobra pozyskiwane przez agentów bezpośrednio ze środowiska oraz dobra, które są wytwarzane z innych dóbr (dobra wyższego rzędu).

W skład modelu symulacyjnego rynku wchodzą następujące elementy:

- **Środowisko**: umożliwia egzystencję agentów dostarczając zasobów niezbędnych do ich przetrwania w postaci energii, która jest (z ich punktu widzenia) nieskończona i może być nierównomiernie rozłożona.
- **Agent**: uczestnik rynku działający w środowisku przeprowadzający transakcje z innymi agentami. Wyróżnić można następujące rodzaje agentów (więcej informacji o agentach znajdzie się w rozdziale 3):
  - agent podstawowy – reprezentuje konsumenta i wytwórcę dóbr;
  - agent finansowy – reprezentuje Bank – pozwala zwykłym agentom na branie kredytów i zakładanie lokat;
  - agent reprezentujący Państwo – symuluje działanie Państwa, jego główne zadania to zbieranie podatków i subsydiowanie agentów.
- **Dobra**: przedmiot obrotu na rynku, transakcje zawierane pomiędzy agentami dotyczą dóbr. Dobra są wytwarzane przez agentów a następnie sprzedawane innym agentom.
- **Pieniądz**: jest odzwierciedleniem wartości dobra. Agent kupując dobro, płaci za nie pieniądzem.
- **Czas**: istotne jest zamodelowania upływu czasu w modelu – czas jest kwantowany w postaci tur.

4.1. Elementy rynku w modelu symulacyjnym

Poniżej przedstawione są dokładne założenia dotyczące poszczególnych elementów rynku oraz ich powiązań z innymi elementami.

Środowisko

Środowisko dostarcza agentom funkcjonującym w ramach rynku zasobów niezbędnych do ich przetrwania w postaci energii, która jest z niego czerpana, oraz elementarnych zasobów, które reprezentują dobra pierwotne i które mogą być przez agentów z niego czerpane i mogą służyć do przekształcania w dobra wyższego rzędu. Możliwe jest określenie ilości energii dostarczanej przez środowisko – w skrajnym przypadku środowisko jedynie odbiera energię agentom, którzy muszą zwiększać jej poziom za pomocą spożywanych dóbr.

Z pobraniem zasobu ze środowiska wiąże się pewien wydatek energetyczny. To zużycie energii może być modyfikowane dla każdego agenta. Dodatkowo rozmieszczenie zasobów w środowisku może być niejednorodne.

Ze środowiskiem wiąże się też pewna przestrzeń w obrębie, której agenci się poruszają.

Dodatkowym parametrem związanym ze środowiskiem jest wysokość stóp procentowych, czyli cena pieniądza. Parametr ten jest wykorzystywany przez agentów w transakcjach, których przedmiotem jest pieniądz (udzielenie kredytu lub lokata).

Dobra pierwotne powstają w określonych lokalizacjach środowiska. Z każdym takim miejscem związana jest liczba jednostek dobra wytwarzanego w czasie tury. Dobra nie są rozmieszczone równomiernie. W zaimplementowanym systemie konfiguracja rozmieszczenia tych miejsc odbywa się za pomocą pliku XML.

Przedmiot obrotu na rynku – dobra

Przedmiotem obrotu na rynku są dobra, które są pozyskiwane przez agentów ze środowiska lub wytwarzane z dóbr pozyskanych ze środowiska i/lub innych dóbr. Z procesem tym wiąże się wydatek energii i/lub zasobów agenta, który podnosi wartość dobra. Dobra oprócz tego, że stanowią przedmiot obrotu, mogą być konsumowane przez agentów w celu zwiększenia dwóch atrybutów – energii życiowej i zadowolenia. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest wyróżnienie dóbr elementarnych, które są niezbędne do przeżycia oraz dóbr luksusowych, które wpływają tylko na zadowolenie agenta.

Z dobrami są związane następujące atrybuty:

- Czas przydatności „do skonsumowania” – dobro musi być skonsumowane w ciągu określonego czasu od wyprodukowania lub zamienione na inne dobro. Ten czas może wynosić nieskończoność.
- Wskaźnik przyrostu wartości – procent, o jaki zmienia się wartość produktu po każdej turze (może być dodatnie lub ujemne).
- Przyrost energii życiowej po skonsumowaniu dobra.
- Przyrost zadowolenia po skonsumowaniu dobra.
- Czas, po którym jednostka dobra staje się nieprzydatna do spożycia
- Liczba jednostek dobra, pobieranych przez jednego agenta w ciągu jednej tury.
- Koszt energetyczny pobrania jednej jednostki dobra ze środowiska.
- Kolor – do reprezentacji graficznej w silniku wizualizacyjnym.

Dobra wytwarzane są przez środowisko, następnie są one pobierane przez agentów i przetwarzane do dóbr wyższych lub konsumowane. W aplikacji dobra definiowane są w pliku XML konfiguracji środowiska. Konfiguracja obejmuje zarówno powyższe parametry, jak i drzewo przetwarzania dóbr z dóbr prostych w dobra wyższe.

Dodatkowo w systemie możliwe jest okresowe włączanie i wyłączanie generowania wybranych dóbr przez środowisko (co umożliwia zasymulowanie wprowadzenia na rynek nowego produktu).

Pieniądz

Pieniądz jest w systemie abstrakcyjnym środkiem płatniczym, używanym przez agentów do przeprowadzania transakcji. Każdy agent otrzymuje na starcie od systemu pewną ilość pieniędzy. Wartość pieniądza nie jest stała – z powodu negocjacji cen i wprowadzania/usuwania z rynku jednostek pieniądza występuje zjawisko inflacji/deflacji.

Każde dobro posiada bazową cenę określaną w pliku konfiguracyjnym, ewoluuje ona jednak w skutek działania mechanizmów rynkowych.

Czas

Czas w systemie jest „skwantowany”. Oznacza to, iż jest on podzielony na tury, przy czym każda tura reprezentuje umownie jeden tydzień.

Upływ czas jest w przedstawionym modelu symulacyjnym istotny, gdyż:

- Wytworzenie dobra zabiera agentowi określoną ilość czasu.
- Agent zużywa swoją energię życiową wraz z upływem czasu.
- Lokaty i kredyty finansowe zawierane są na określony okres czasowy.
- Zasady działania agenta „Państwo” zmieniają się z czasem, co pozwala zasymulować „wybory”.

Pewne akcje, mające miejsce w systemie, takie jak zbieranie podatków czy wybory, są wykonywane co określoną liczbę tur.

Agenci działający w systemie

Agent rynkowy to uczestnik rynku umieszczony w środowisku. Agent może wchodzić w interakcje z innym agentem. Elementarną i główną interakcją jest zawarcie transakcji, które polega na sprzedaży bądź zakupie określonego zasobu od innego agenta.

Wyróżnić można następujące rodzaje agentów:

- „Podstawowy agent rynkowy” – zajmuje się wytwarzaniem i/lub obrotem dobrami.
- „Finansowy agent rynkowy” – transakcje, które zawiera dotyczą pieniądza: agent taki udziela kredytu innym agentom lub sam zaciąga kredyt u innych agentów. Cena kredytu jest uzależniona od parametru środowiska stopa procentowa. Żeby agent taki mógł odnosić zyski muszą istnieć przynajmniej 2 stopy procentowe: stopa kredytowa oraz stopa lokaty (parametr określony prze stopę kredytową określa minimalną stopę kredytową po jakiej agent może udzielać kredytu, podobnie parametr określający stopę procentową lokaty).
- Agent „Państwo” – agent specjalny zajmujący się zbieraniem podatków (procent od zysków netto agentów za określony czas) od wszystkich innych agentów oraz ich dystrybucją pomiędzy wszystkich innych agentów.

Każdy agent dąży do maksymalizacji swoich zysków, poziomu energii i zadowolenia, oraz do wyprodukowania jak największej liczby swoich potomków[4)]. W dążeniu do maksymalizacji sowich zysków zachowuje się w sposób egoistyczny.

[4)] Termin ten należy rozumieć (interpretować) nie jako potomek w sensie biologicznym, ale np. jako kolejną filię danej firmy np. w innym mieście.

Wyróżnić można następujące atrybuty agenta:

- Poziom energii życiowej – w chwili osiągnięcia wartości 0 agent umiera.
- Poziom zadowolenia (satysfakcji) zależny od konsumowanych dóbr wyższych i posiadanych pieniędzy/dóbr (rzeczywista wartość parametru zwiększana jest o pewien współczynnik wynikający z zasobów agenta).
- Reguły w oparciu, o które działa – reguły te reprezentują wiedzę agenta i można podzielić je na dwie grupy: wiedza wrodzona (reguły działania dostępne od początku) oraz reguły nabyte (nabywane z czasem w skutek zawierania transakcji z innymi agentami). Reguły te w podstawowym zakresie dotyczą akcji, jakie ma agent podejmować: kiedy kupić jakieś dobro, ile go kupić, od kogo je kupić, oraz analogiczne działania dla sprzedaży. Kolejnym elementem jest wnioskowanie dotyczące sposobu zmiany swojego położenia: agent powinien poszukiwać optymalnych rynków zbytów na swoje produkty. Integralną częścią agenta powinien być zatem moduł, który umożliwia przeprowadzenie wnioskowania zasoby pieniężne, którymi dysponuje – w oparciu o ich wielkość i reguły wnioskowania podejmuje akcje związane z produkcją dóbr, które są przedmiotem obrotu na rynku (wyprodukowanie dobra pochłania jakąś ilość zasobów oraz zajmuje określoną ilość czasu. Zasoby są następnie odzyskiwane poprzez sprzedaż dóbr).
- Położenie – umiejscowienie agenta w środowisku – agent następnie może się komunikować z agentami znajdującymi się w jego otoczeniu. Zatem możliwość zawarcia transakcji z innym agentem oraz wielkość/wolumen tej transakcji jest zależny od odległości pomiędzy agentami. Przed zawarciem transakcji dochodzi do komunikacji, która polega na podaniu agentowi sprzedającemu informacji o wielkości zapotrzebowania na każde dobro i cenie, jaką jest w stanie za nie zapłacić. W odpowiedzi agent sprzedający podaje swoją cenę, jaką by chciał za dane dobro uzyskać.
- Pamięć – zbiór parametrów dotyczący rynku, który agent przechowuje po każdej turze. Jest to suma informacji o zapotrzebowaniu na dane dobro pobrana od sąsiednich (w metryce położenia) agentów, jest następnie rejestrowana w pamięci agenta i wykorzystywana następnie w procesie podejmowania decyzji, co i w jakiej ilości produkować. W pamięci przechowywane są również informacje dotyczące transakcji, jakie zostały zawarte. Informacje te mogą i powinny być wykorzystywane w procesie podejmowania decyzji, czy z jakimś agentem zawrzeć transakcję, czy nie.
- Przystosowanie agenta do środowiska mierzone jest wielkością jego zasobów pieniężnych, wartością dóbr jakie posiada, energii życiowej jaką posiada i poziomem zadowolenia

Ponieważ agenci dokonują ze sobą wymiany dóbr poprzez zawarcie transakcji istotny jest sposób realizacji negocjacji ceny przed dokonaniem transakcji. Algorytm składa się z dwóch części – pierwsza część to ustalenie ceny za towar przez sprzedawcę, tak aby pokryła ona koszt wydobycia, transportu, oraz aby agent mógł na tym jeszcze zarobić. Oprócz tego każdy agent prowadzi rejestr historii transakcji i bazując na nim, może zaproponować

jakąś cenę wyjściową. Następnie przekazuje ją agentowi, który będzie wyraża chęć zakupu danego produktu. Agent kupujący towar wyliczy, korzystając ze swojego rejestru historii, cenę, jaką on jest skłonny zapłacić za ten towar. Jeżeli ceny te różnią się nieznacznie, to rozpoczyna się etap negocjacji. Jeśli towar będzie dużo droższy, negocjacje zostaną przerwane. Etap negocjacji polega tym, iż każdy z agentów podaje, jaką maksymalnie kwotę może zapłacić/za jaką minimalną kwotę może sprzedać towar. Po pozytywnie zakończonej transakcji, dodaje informacje o zakupie do historii wykonanych transakcji oraz zmodyfikować tablicę Q dla danego produktu (agent sprzedający).

Po dokonaniu transakcji zakupu lub sprzedaży do historii agenta oraz agentów znajdujących się w ustalonym od niego promieniu (w metryce odległości), dodawana jest informacja o transakcji. Jego wiedza składa się z tablicy, która zawiera przedmiot transakcji, cenę oraz lokalizację, w której dokonana została transakcja.

Ważne jest, aby zachowania agenta rynkowego oraz zachowanie się środowiska były w kontrolowanym procencie losowe. Ten czynnik ma za zadanie uwzględnić efekty zewnętrzne, których nie potrafimy uwzględnić poprzez reguły, np. pogoda, urodzaj, etc. Parametr nieoznaczoności jest „regulowalny” poprzez pewną losowość ilości wydobywanych surowców. Każdy agent ma ustawiony parametr oznaczający ilość surowca, którą może wydobyć w ciągu jednej tury –wartość ta jest zmieniana o losowy parametr, który może być zmieniany przez użytkownika na początku symulacji. W zależności od wielkości wylosowanego parametru, wydobycie będzie uznawane jako urodzaj (duża wartość parametru losowego) lub klęska (ujemna wartość wylosowanego parametru).

Czynności wykonywane przez agenta

Dla potrzeb symulacji przyjęto, że upływ czasu jest kwantowany. Tura reprezentuje jeden kwant czasowy. W każdej turze agent (poza agentem specjalnym, jakim jest „Państwo”) wykonuje następujące czynności:

- Pobranie energii ze środowiska.
- Pobranie zasobów ze środowiska.
- Pobranie informacji o wielkości potrzeb sąsiednich agentów (faza negocjacji).
- Uruchomienie reguł wnioskujących, które mają ustalić:
  - Co i w jakiej ilości pobrać ze środowiska.
  - Co i w jakiej ilości wyprodukować.
  - Co i w jakiej ilości jest sprzedawane (komu, sprzedaje tak by maksymalizować swój zysk ze sprzedaży).
  - Co w jakiej ilości należy zakupić (od kogo, kupuje tak by cena zakupu była jak najniższa).
  - Co i w jakiej ilości skonsumować.
  - Jaką część zasobów pieniężnych i zasobów w postaci dóbr jest przeznaczana na produkcję.
  - Ustalenie środków pieniężnych, jakie chce pożyczyć od agenta finansowego lub dać w lokatę agentowi.

- Sprzedaż dóbr/zakup dóbr/lokata/kredyt.
- Opodatkowanie – wysokość podatków jest ustalana przez agenta „Państwo”. Podatki są zbierane raz na kilka tur (do ustalenia ile).
- Migracja w kierunku lepszego rynku (pod koniec tury agent zmienia swoje położenie w kierunku „lepszego rynku”.

Przemieszczenie jest zmodyfikowaną wersją algorytmu [12] podanego przez Hisao Ishibuchi Chi-Hyon Oh oraz Tomoharu Nakashima z Osaka Prefecture University. Wykorzystana zostanie strategia „Q-Learning-based strategy”. Trochę zmodyfikowany algorytm wygląda następująco: każdy agent posiada tablicę Q[i, j] (i = 1, …, n, gdzie n – liczba transakcji towarem; j – historia zakupów/sprzedaży, j = 1, …, m, gdzie m – liczba wszystkich produktów). Agent na podstawie swojego inwentarza i aktualnej tablicy Q wybiera lokację, do której powinien się udać np. przez policzenie, gdzie sprzedaż wszystkich jego towarów da mu największy zysk. Na początku można dla każdego agenta ustalić tę tablicę jako losową, albo wszędzie wpisać zera.

Czynności wykonywane przez agenta „Państwo”

Agent ten zbiera podatki od wszystkich innych agentów oraz dystrybuuje zebrane podatki pomiędzy innych agentów (interpretacja: subwencje). Podatki zbierane są, co 4 tury. Może również uczestniczyć w transakcjach z innymi agentami (interpretacja: zamówienia publiczne).

Ponieważ agent „Państwo” ma możliwość dotowania innych agentów według uznania (na podstawie swoich reguł) a jego reguły działania powinny być zakłócane, co określony upływ tur (wybory) każdy inny agent w środowisku będzie miał parametr „zadowolenie z Państwa”. Zadowolenie to jest liczone przez agenta jako suma profitów, jakie płyną z działalności Państwa czyli:

- Ile od Państwa dostałem.
- Ile Państwo ode mnie kupiło (czyli ile na nim zarobiłem).
- Ile Państwo mi zabrało.
- Co Państwo zrobiło, że zwiększyłem swojej zyski.

W oparciu o to jest liczony „globalny nastrój społeczny” (suma zadowolenia wszystkich agentów w środowisku). W oparciu o ten wskaźnik zadowolenia modyfikowane są reguły działania Państwa w taki sposób by maksymalizować ten parametr.

Użytkownik ma możliwość wprowadzenia początkowych reguł działania Państwa:

- Wysokość podatków oraz wielkość progów podatkowych.
- Reguły dotyczące subsydiowania.
- Reguły dotyczące zamówień publicznych (transakcji z innymi agentami).

Wybory

Wybory mają na celu zmianę aktualnego sposobu pobierania podatków i subsydiowania agentów. Odbywają się one co 4 lata, czyli w systemie co 208 tur (parametr domyślny, który może być zmieniony przez użytkownika).

Zadowolenie agenta: każdy agent ma swój wskaźnik zadowolenia, jako wartość z przedziału np. –100 – 100 (najmniej do najbardziej zadowolony). Wskaźnik ten jest liczony jako:

$$H = P - S,$$

gdzie:

P – procentowa wartość dochodów, zabrana jako podatek;

S – procentowa wartość dochodów jaką ktoś uzyskał od państwa, przy czym wartość ta może być równa co najwyżej 100 (jeśli ktoś dostał od państwa więcej niż wynosi cały jego dochód to wartość tego parametru wynosi 100); chodzi tutaj o to, że jeśli agent będzie działał jak rząd populistyczny, żeby ludzie, którzy dostają duże subsydia nie mieli tej wartości za dużej, przez co agent będzie się mógł zmieniać szybciej.

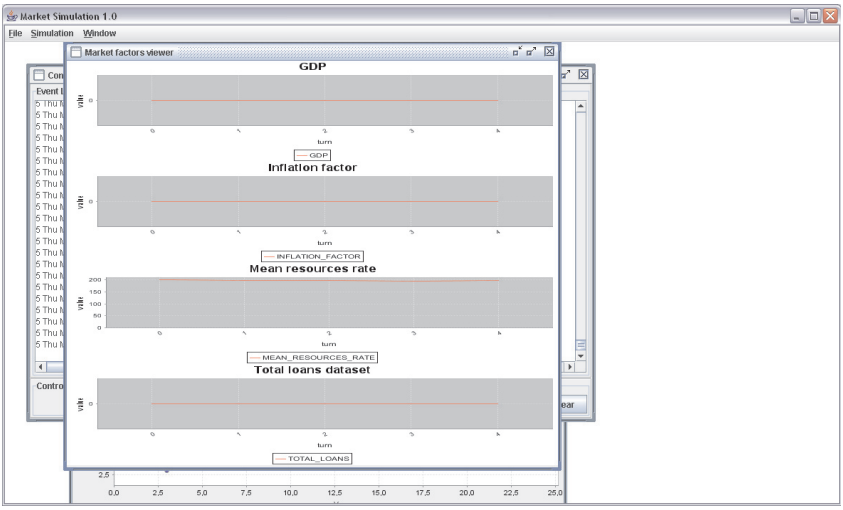
Wybory składają się z dwóch etapów: pierwszy polega na wylosowaniu kilku opcji pobierania podatków oraz subsydiowania. Losowane opcje, są pewnymi fluktuacjami poprzedniej „opcji politycznej” (np. jak były podatki 20% dla wszystkich, to teraz będą podatki 18% lub 23%). Wielkość zmian zależy od sumy zadowolenia wszystkich agentów. Im zadowolenie agentów jest mniejsze, tym większe zmiany występują w sposobie naliczania podatków i subsydiów. Jeśli więc ogólne zadowolenie agentów jest wysokie kolejne wybory niewiele zmieniają w sposobie rządzenia. Czasem może się zdarzyć jakaś zupełnie nowa opcja (np. zamiast progów, podatek liniowy). Po tym losowaniu, każdy agent dla każdej opcji liczy swoje zadowolenie i głosuje na tą opcję, która najbardziej mu odpowiada. Po głosowaniu, agent państwa zaczyna działać zgodnie z nowym wyborem.

Agresja

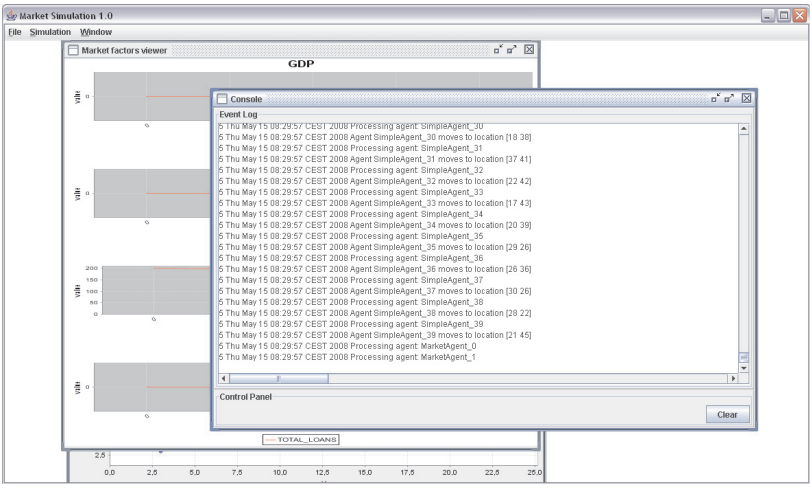
Agresja jest jednym ze sposobów obrony własnego interesu agenta, gdy pojawia się inny agent, który produkuje i sprzedaje dobra dużo taniej, niż inni. Agresja polega na „wypchnięciu” nowego na określoną odległość od danego miejsca oraz „zakazanie” agentowi dostępu do tego rynku na okres n tur. Aby zrealizować agresję, każdy agent, będący na danym rynku i chcący usunąć nowego agenta, musi poświęcić cześć swojej energii życiowej. Energia ta liczona jest jako suma strat, które agent ponosi przez pojawienie się nowego agenta. Następnie energia od wszystkich agentów, „realizujących” agresję jest sumowana i na jej podstawie wyznaczana jest odległość oraz czas na jaką nowy agent jest odsuwany od bieżącego rynku. W agresji mogą uczestniczyć agenci, którzy znajdują się nie dalej niż pewna wcześniej ustalona odległość.

5. Aplikacja

Poniżej przedstawionych jest kilka zrzutów ekranowych z aplikacji implementującej symulator według wymagań podanych w poprzednich rozdziałach (rys. 3–6).

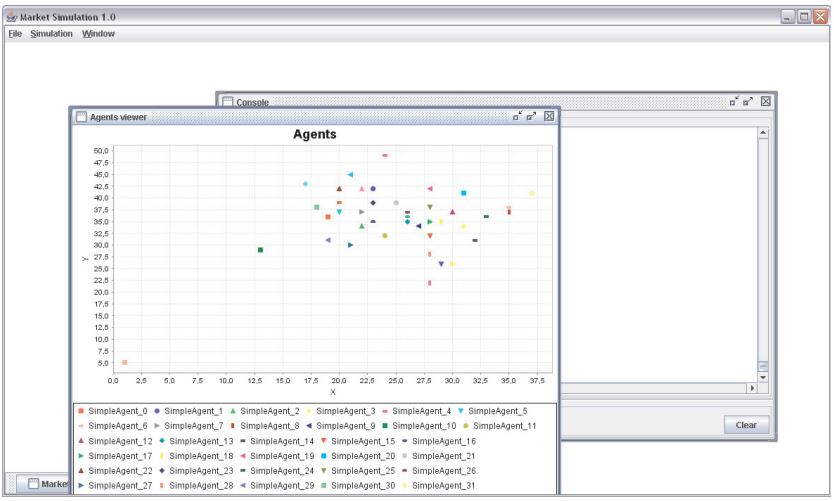


Rys. 3. Okno główne aplikacji wraz z oknem wewnętrznym do podglądu zmian parametrów ekonomicznych w czasie (PKB, Inflacja, Wartość udzielonych kredytów, Wartość produkcji)



Rys. 4. Główne okno aplikacji oraz okno wewnętrzne z komunikatami informacyjnymi (informacje o wczytanych plikach konfiguracyjnych: agenci, dobra, informacje o zawieranych transakcjach i migracjach agentów)

Rys. 5. Główne okno aplikacji oraz okno wewnętrzne
z podglądem rozmieszczenia dóbr w środowisku



Rys. 6. Główne okno aplikacji oraz okno wewnętrzne z podglądem rozmieszczenia agentów

6. Podsumowanie

Tematem artykułu była prezentacja wstępnej postaci modelu symulacyjnego, który w zamiarze ma pozwolić na uchwycenie i analizę fenomenu niewidzialnej ręki rynku A. Smitha (NRRAS). Zjawisko to *a priori* zostało potraktowane jako przejaw kolektywnej

inteligencji rynku. Na tej podstawie, wykorzystując teorie kolektywnej inteligencji, staramy się zbudować taki model symulacyjny, w którym spontanicznie zaczną pojawiać się ciągi wnioskowań, które będą ten rynek regulowały (może nawet optymalizowały); a które będziemy mogli uznać za podstawę NRRAS. W chwili obecnej model zbliża się do etapu, w którym rozpoczną sie żmudne i długotrwale (prowadzone w dużym stopniu po omacku) prace nad strojeniem modelu, jego rozbudową tak, aby wzmiankowane powyżej ciągi wnioskowań zaczęły się pojawiać.

Literatura

[1] Joyce H., *Adam Smith and the invisible hand*. Millennium Mathematics Project, University of Cambridge, 2001.
[2] Smith A., *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów.* 1773 (1954 wydanie polskie).
[3] Szuba T., *A Molecular Quasi-random Model of Computations Applied to Evaluate Collective Intelligence*. Future Generation Computing Journal. volume/issue: 14/5–6, Elsevier, 1998.
[4] Szuba T., *A formal definition of the phenomenon of collective intelligence and its IQ measure.* Future Generation Computing Journal. 17, Elsevier, 2001.
[5] Szuba T., *Computational Collective Intelligence*. Monografia, twarda oprawa, 420 stron, New York, Wiley Series on Parallel and Distributed Computing 2001.
[6] Szuba T., *Was there Collective Intelligence Before Life on Earth?* (Considerations on the Formal Foundations of Intelligence, Life and Evolution), World Futures – The Journal of General Evolution, Gordon and Breach Publishing. 58/1, 2002.

Strony internetowe:

[7] Invisible Hand of Market: http://en.wikipedia.org/wiki/Invisible_hand.
[8] Collective Intelligence: http://en.wikipedia.org/wiki/Collective_intelligence.
[9] DNA computing: http://en.wikipedia.org/wiki/DNA_computer.
[10] Diagram Feynmana: http://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_Feynmana.
[11] Declarative programming: http://en.wikipedia.org/wiki/Declarative_programming.
[12] http://www.complexity.org.au/ci/vol06/ishibuchi-oh/ishibuchi-oh.html.