

PIOTR FILIPKOWSKI¹

Racjonalność inteligentnego agenta

1. Wstęp

Punktem wyjścia pracy jest kartezjańskie postrzeganie świata, lapidarnie ujęte w obiegu formuły: „licz co obliczalne, mierz co mierzalne, a co niemierzalne – uczynź mierzalnym”. Dynamiczny rozwój architektury komputerów i technik komputerowych w ich warstwach sprzętowych i oprogramowania pociąga za sobą jeszcze szybszy rozwój metod obliczeniowych i ukształtował dyscyplinę matematyczną zwaną matematyką eksperymentalną. Nastąpił rozkwit badań systemowych, zastosowań modelowania matematycznego w postaciach analitycznych właściwych dla projektowania inżynierskiego, zagadnień gospodarczych i społecznych, ochrony zdrowia i środowiska itp., a także w postaciach logicznych, właściwych między innymi dla inżynierii wiedzy, metod sztucznej inteligencji, robotyki czy nanobiotechnologii, często wspartych mechanizmami modelowania algorytmicznego.

W kontekście technologii komunikacji mobilnej społeczeństwo nie jest zwykłym zbiorem jednostek, lecz przede wszystkim zbiorem relacji i interakcji między nimi. W każdym środowisku stosunki społeczne, konstytuujące społeczeństwo, są tworzone i przetwarzane za pośrednictwem rozmaitych technologii, obiektów, tekstów i idei². Możliwość kontaktowania się w każdym miejscu i czasie wzmacnia więzi międzyludzkie i sprzyja powstawaniu wspólnot wirtualnych, łączących ludzi o podobnych zainteresowaniach, potrzebach, niezależnie od położenia geograficznego. Realność i ważność kulturowa wspólnot wirtualnych są retorycznie konstruowane z dialektyki anonimowości i mobilności³. Coraz bardziej zaawansowane interfejsy pozwalają na taktylność doznań, pracę

¹ Zakład Zarządzania Informatyką, Instytut Informatyki i Gospodarki Cyfrowej, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie.

² A.Z. Wassilew, *Technologie komunikacji mobilnej – implikacje społeczno-kulturowe*, w: *Komunikacja mobilna – nowe oblicza gospodarki, społeczeństwa i biznesu*, M. Goliński, K. Polańska (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2010, s. 116–117.

³ Ibidem, s. 123.

w rzeczywistości rozszerzonej, a nawet wkraczają w domenę typowo ludzką – obszar decyzji.

2. Racjonalność obliczeniowa

Systemowe spojrzenie na problematykę racjonalności wymusza dokładniejsze niż potocznie rozumienie systemów. W kontekście dużej liczby zastosowań rozwiązań systemowych nie dziwi więc fakt mnogości definicji pojęcia „system”. Zatem szukając inspiracji w naukach matematyczno-przyrodniczych, ekonomicznych oraz technicznych, pod pojęciem systemu rozumie się pewną celowo zorganizowaną całość, istniejącą w pewnym otoczeniu, będącą efektem synergii powiązanych ze sobą relacjami niezależnych i dynamicznych części. Części te istnieją w jakimś celu, a współdziałając ze sobą, realizują cel istnienia systemu jako szczególnej całości, która jest zupełna i kompletna. W procesie realizacji celu istnienia systemu następuje zużycie zasobów energetycznych i/lub informacyjnych, prowadząc do degradacji właściwości systemu. W związku z tym uwzględniając dynamikę istnienia systemu w pewnej arystotelesowskiej całości, ważnym jest dbałość o jego części. Z pełną świadomością drugiej zasady termodynamiki należy przyjąć postępujący wzrost entropii w systemie za naturalny i nieuchronny proces degradacji jego struktury i organizacji, co w praktyce wzbudza potrzebę odtwarzania stanu rzeczy⁴.

Racjonalność ekonomiczna jest oparta na teorii decyzji, która łączy logikę i teorię prawdopodobieństwa z teorią użyteczności i umożliwia podejmowanie decyzji w warunkach niepewności⁵. Niestety, racjonalność ekonomiczna charakteryzuje się dużą złożonością obliczeniową. Osobowość jednostki budują: mądrość i inteligencja w tym sensie, że mądrość konstytuuje strategiczne podstawy, na których człowiek opiera swoje działania, natomiast inteligencja reguluje sprawność procesów myślowych⁶.

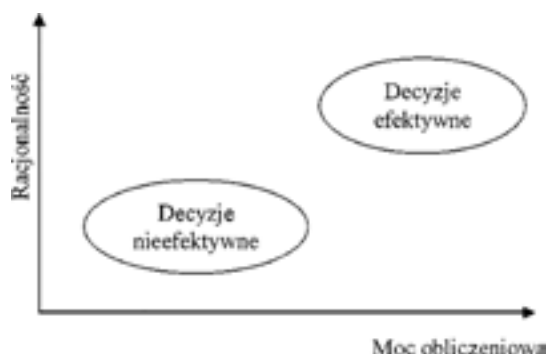
Osoba dokonująca dowolnego wyboru rynkowego musi przejść skończony proces porównania swoich celów z dostępnymi wariantami wyboru. Mianem racjonalności określa się skłonność i zdolność do kalkulacji, będącej często

⁴ P. Filipkowski, *Istota i cel systemu*, w: *Wstęp do informatyki gospodarczej – zajęcia laboratoryjne*, K. Polańska (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2015, s. 11.

⁵ M.N. Huhns, *Being and Acting Rational*, „IEEE Internet Computing” 2003, vol. 7, no. 2, s. 92.

⁶ B. Stefanowicz, *Informacja. Wiedza. Mądrość*, GUS, Warszawa 2013, s. 107.

synonimem tego procesu. W ekonomii racjonalność jest fundamentalnym pojęciem i wiele teorii ekonomicznych opiera się na założeniu pełnej racjonalności decyzji człowieka. Teoria kosztów transakcyjnych mówi o ograniczonej racjonalności jako czynniku podnoszącym koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa i trudno jest się z tym twierdzeniem nie zgodzić. H. Simon zasugerował, że jesteśmy racjonalni, ale tylko w pewnym stopniu⁷. A. Rubinstein zaproponował więc modelowanie ograniczonej racjonalności przez modelowanie procedur decyzyjnych agentów⁸. Z obliczeniowego punktu widzenia procedury te mogą być zakodowane w heurystykach i algorytmach komputerowych. Zgodnie z teorią CIDER (ang. *Computational Intelligence Determines Effective Rationality*) efektywna racjonalność agenta jest określona przez jego moc obliczeniową⁹. Dlatego też z obliczeniowego punktu widzenia ograniczonej racjonalności można stopniować efektywność decyzji agenta przez zmianę możliwości obliczeniowych (rysunek 1).



Rysunek 1. Obszary efektywności decyzji

Źródło: opracowanie własne na podstawie: E.P.K. Tsang, *Computational Intelligence Determines Effective Rationality*, „International Journal on Automation and Control” January 2008, vol. 5, no. 1.

W sytuacji określenia pełnej racjonalności jako optymalnych decyzji dla każdego wypadku, uzasadnione jest stwierdzenie, że możliwe jest stopniowanie optymalności tak, że pewne optimum lokalne definiuje racjonalność efektywną obliczeniowo. W związku z tym opracowanie lepszych algorytmów i heurystyk pomaga zmniejszyć ograniczenia racjonalności.

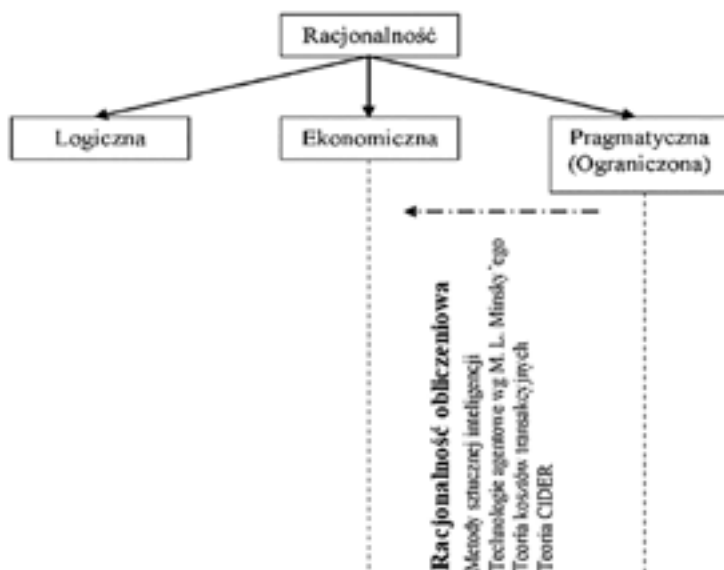
⁷ E.P.K. Tsang, *Computational Intelligence Determines Effective Rationality*, „International Journal on Automation and Control” January 2008, vol. 5, no. 1, s. 64.

⁸ Ibidem.

⁹ Ibidem.

Racjonalność obliczeniowa jest tu rozumiana systemowo, jako postępowanie decyzyjne inteligentnego agenta/agencji, wykorzystujące techniki obliczeniowe do zwiększania użyteczności decyzji, a tym samym działań prowadzących do osiągnięcia założonych celów (rysunek 2).

Gdy optymalne rozwiązania nie są możliwe do osiągnięcia, to moc obliczeniowa decyduje o tym, na ile efektywne rozwiązanie można uzyskać. Pomocnym kryterium oceny jakości rozwiązań bywa zatem złożoność czasowa rozwiązań, ponieważ inteligentni agenci nie mogą w nieskończoność czekać na wynik pracy systemu typu DSS (ang. *Decision Support System*) na przykład agenta pośredniczącego.



Rysunek 2. Klasyfikacja racjonalności

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M.N. Huhns, *Being and Acting Rational*, „IEEE Internet Computing” 2003, vol. 7, no. 2, s. 92.

W rzeczywistości inteligentni agenci (np. maklerzy) nie zawsze próbują znaleźć optymalną decyzję. Inteligentny agent zmuszony jest do podjęcia decyzji na podstawie skończonego zbioru potencjalnych decyzji, spełniających ograniczenia między innymi czasowe¹⁰. Gdy nie występuje duża złożoność obliczeniowa,

¹⁰ A.Z. Wassilew, *Oszacowanie kryteriów niemierzalnych przy określaniu efektywności systemów informatycznych*, w: *Efektywność zastosowań systemów informatycznych*, J.K. Grabara, J.S. Nowak (red.), Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001, s. 344.

rozwiązania optimum lokalnego są dużo prostsze niż rozwiązania problemu optymalizacji i wyniki mogą być niezadawalające. Przy występującej istotnej złożoności teoretycznej rozwiązania problemu optimum lokalnego mogą się okazać jedynym racjonalnym rozwiązaniem, tak aby jak najszybciej zaspokoić zmieniające się w czasie oczekiwania inteligentnych agentów.

Dzięki zastosowaniu technologii agentowych do zarządzania relacjami inteligentna agencja – inteligentnej agencji możliwy jest wzrost poziomu racjonalności oraz przesunięcie rozwiązań bliżej obszaru efektywnych decyzji. Dzięki powiązaniu teorii kosztów transakcyjnych oraz teorii CIDER w technologiach agentowych według M.L. Minsky’ego możliwe stało się pokonanie złożoności czasowej obliczeń przez Buildera – agencji pośredniczącej oraz zwiększenie jego możliwości obliczeniowych (rysunek 2). Tym samym osiągnięto racjonalność obliczeniową zbliżającą się do granicy racjonalności ekonomicznej, wychodząc poza pragmatyczną racjonalność i techniczne (tu: informatyczne) postrzeganie problemu pośrednictwa.

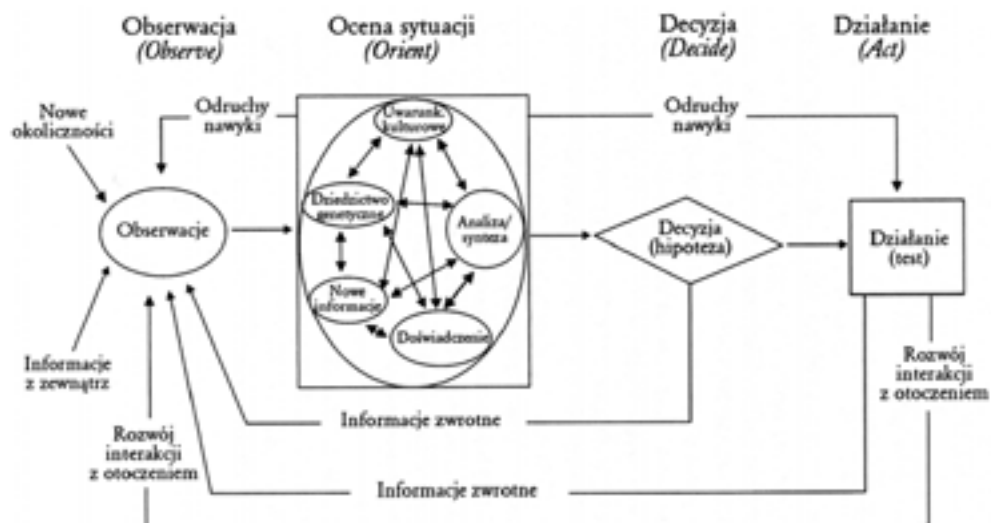
3. Racjonalne postępowanie

Agenci kierujący się racjonalnością ekonomiczną podejmują działania, aby osiągnąć swoje cele na podstawie pełnej wiedzy. Działania te zbliżają ich do zamierzonych celów, ale jednocześnie weryfikują założenia co do warunków tych działań.

Ważnym elementem procesu decyzyjnego jest sprzężenie zwrotne, które warunkuje poznanie przez doświadczenie. To jeden z ważniejszych mechanizmów poznania i tworzenia wiedzy u dzieci czy osób funkcjonujących we wrogim otoczeniu (rysunek 3).

Podobnie w życiu gospodarczym nie powinniśmy jedynie opierać swych wniosków i działań na tym, co usłyszymy, przeczytamy, zwłaszcza w czasach, gdy docierająca informacja może być narzędziem w grach rynkowych. Obecnie wiedza podana czy encyklopedyczna traci swoje znaczenie na rzecz umiejętności posługiwania się tą wiedzą. Pojawia się więc potrzeba myślenia o wiedzy w kontekście metodologii jej wydobywania, przechowywania i przekazywania oraz sposobu, w jaki powinna być używana¹¹.

¹¹ A.Z. Wassilew, *Modelowanie procesów poznawczo-decyzyjnych użytkownika systemów informatycznych*, w: *Human – Computer Interaction 2001 w reorganizacji procesów gospodarczych*

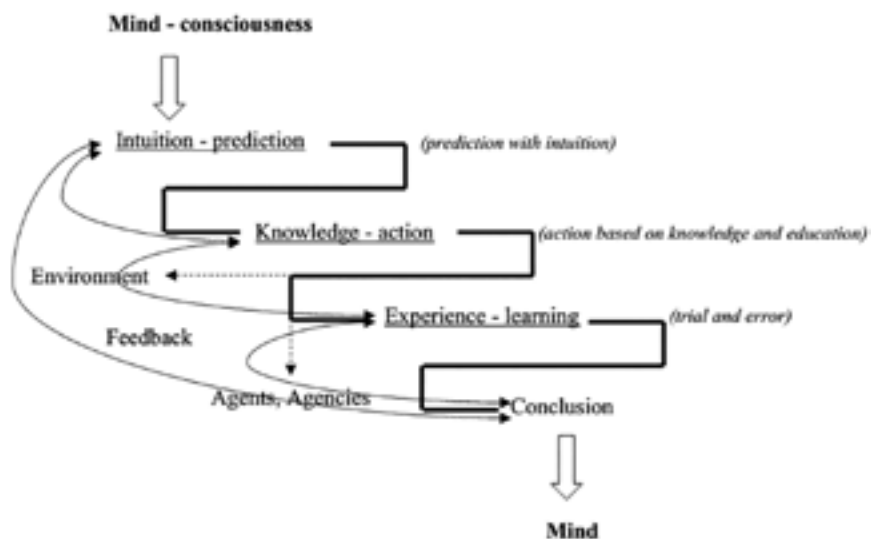


Rysunek 3. OODA loop – John Boyd

Źródło: opracowanie własne na podstawie: F. Osinga, *Science, Strategy and War. The Strategic Theory of John Boyd*, Eburon Academic Publishers, CW Delft, 2005, http://www.projectwhitehorse.com/pdfs/ScienceStrategyWar_Osinga.pdf, s. 270.

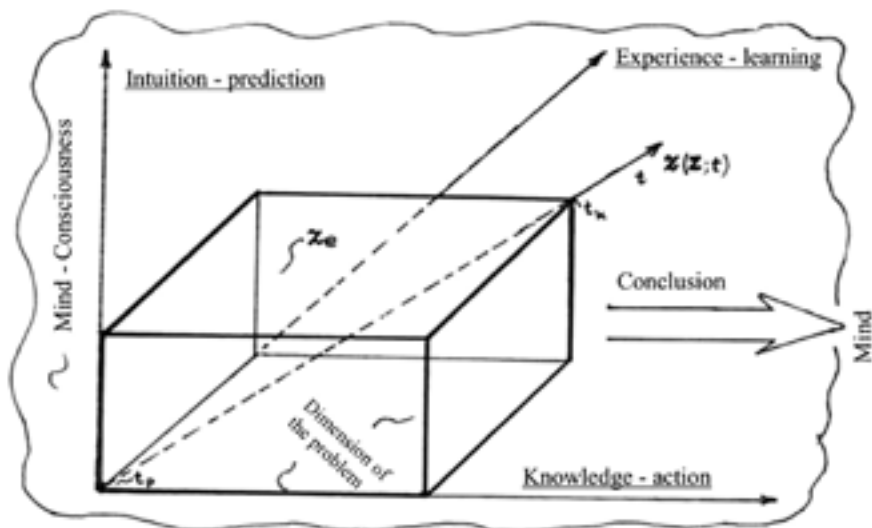
Racjonalne lub inaczej – zdroworozsądkowe postępowanie człowieka, który świadomie i inteligentnie się zachowuje, rozumiane jest tu jako zachowanie podporządkowane logice pewnej cyklicznie powtarzalnej sekwencji czterostopniowych interakcji (rysunek 4).

Przyjmujemy, że postępowanie człowieka jest pewnym procesem życiowym, który z formalnego punktu widzenia może być opisywany przez proces: $Z(z, t)$, gdzie: z oznacza tzw. zmienną zachowań elementarnych o charakterze rozmytym (niepewnym), zaś t oznacza czas. Niech będzie dany zbiór D działań d podejmowanych przez danego człowieka (lub przez „cyborga”): $d \in D$ oraz $d = f(z)$, gdzie: z jest danym zachowaniem elementarnym w określonej przestrzeni zachowań oznaczonej przez Z_e jako przestrzeni czterowymiarowej (4D). Łatwo spostrzec, że zmienna Z przyjmuje wartości pewnej dziedziny zachowań elementarnych, zawartej w spójnej przestrzeni Z_e zilustrowanej na rysunku 5.



Rysunek 4. Schemat racjonalnego postępowania człowieka

Źródło: A. Janicki, *Schemat zdroworozsądkowego postępowania człowieka*, materiały wewnętrzne, Katedra Technologii Społeczeństwa Informatycznego KUL, Lublin 2011.



Rysunek 5. Przestrzeń zachowań elementarnych Z_e

Źródło: A. Janicki, *Schemat zdroworozsądkowego postępowania człowieka*, materiały wewnętrzne, Dyrekcja Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej, Warszawa 2012.

Jak dobrze wiadomo z praktyki, wiedza bez działania jest pusta, a działanie bez wiedzy ślepe. Zatem układ wiedza i działanie jest siłą motoryczną zmian i rozwoju w ramach procesu $Z(z,t)$. Zwracamy uwagę, że wiedza jest pojęciem należącym do kategorii nauki związanej ze światem abstrakcyjnych modeli rzeczywistości, teoriami i metodami badawczymi dla celów poznawczych. Natomiast działanie jest pojęciem należącym do kategorii prakseologii ściśle związanej z codzienną praktyką i określającej zasady tzw. dobrej praktyki, a wyrosłej na gruncie filozofii.

Należy tu podkreślić znaczenie i aktualność pewnej empirycznej formuły w jej potocznym brzemieniu: „nie ma nic lepszego dla praktyki niż dobra teoria”. Dobra, czyli taka, która adekwatnie opisuje rzeczywistość i poprawnie formułuje zaistniałe problemy, a także zapewnienia skuteczne i mierzalne ich rozwiązywanie¹². Do takich teorii w kontekście racjonalności postępowania niewątpliwie należy między innymi teoria systemów, teoria podejmowanych decyzji, teoria optymalizacji, teoria złożoności, teoria chaosu, teoria organizacji i zarządzania.

4. Ekonomiczny aspekt racjonalności obliczeniowej

Opierając się na możliwościach komunikacyjnych oraz obliczeniowych, należy stwierdzić, że trafne jest określenie platformy transakcyjnej jako miejsca, w którym przygotowanie, prowadzenie i kontrola transakcji gospodarczych lub intelektualnych przeprowadzana jest przez odpowiednio zorganizowane systemy telematyczne, wykorzystujące rozwinięte technologie społeczeństwa informacyjnego (TSI)¹³ w układzie transakcyjnym typu inteligentny agent – inteligentny agent. Na gruncie rynku elektronicznego, dla którego charakterystyczne są transakcje intelektualne¹⁴, pojawia się problem tworzenia relacji typu zamawiający – oferujący w związku z ich wielością i różnorodnością. Dostęp do zasobów staje się problemem w kontekście aktualności prezentowanych ogłoszeń. Wprowadzenie na platformę transakcyjną autonomicznego mechanizmu

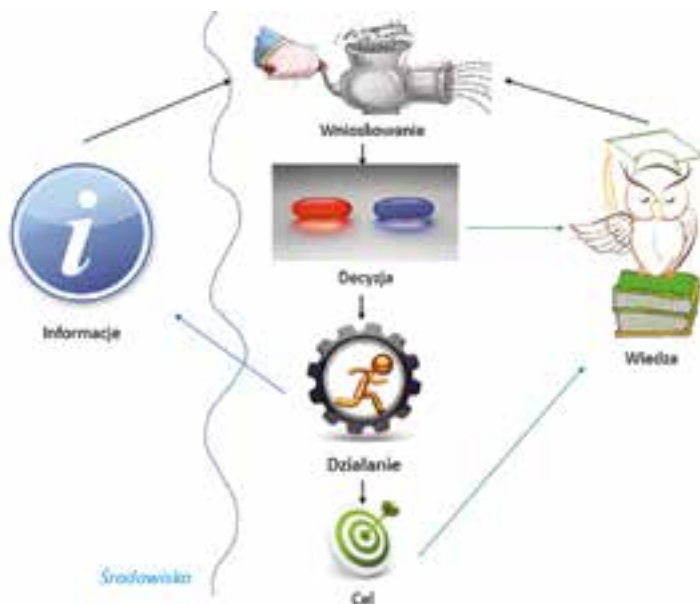
¹² A. Janicki, *Technologie społeczeństwa informacyjnego*, wykład, Katedra Technologii Społeczeństwa Informacyjnego, KUL, Lublin 2010.

¹³ P. Filipkowski, *Technologie Społeczeństwa Informacyjnego*, VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Społeczeństwo Informacyjne. Stan i kierunki rozwoju w świetle uwarunkowań regionalnych”, Rzeszów, Lwów, 19–21.09.2016 r.

¹⁴ Idem, *Technologie agentowe w komputerowym modelowaniu i symulacjach*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2016, z. 40.

agenta pośredniczącego wykazuje wyższą użyteczność i efektywność¹⁵, którego funkcjonowanie jest ekonomicznie uzasadnione z powodu zmniejszenia kosztów transakcyjnych w danym układzie transakcji.

W celu zapewnienia racjonalności obliczeniowej rozwiązań inteligentnych agentów/agencji programowych należy zwrócić szczególną uwagę na budowanie wiedzy na podstawie doświadczenia uzyskiwanych rozwiązań (rysunek 6).



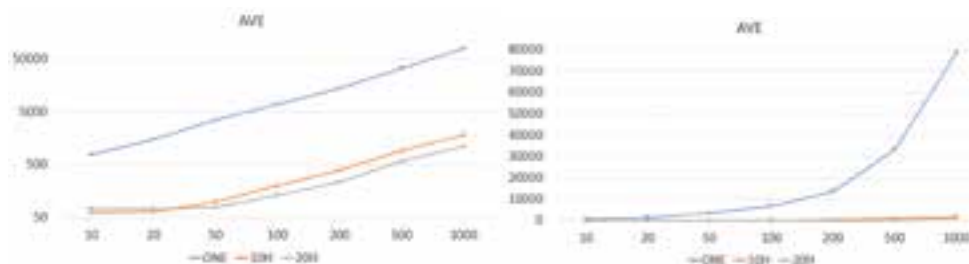
Rysunek 6. Proces racjonalnego obliczeniowo działania

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 7 zaprezentowano czasy obliczeń agenta pośredniczącego w kontekście liczby wykorzystanych maszyn obliczeniowych rozproszonych na platformie modelowania i symulacji w Wirtualnym Laboratorium Modelowania i Symulacji IiiGC SGH dla scenariusza przeciętnego pod względem złożoności teoretycznej.

Na osi odciętych przedstawiono liczbę obliczanych scenariuszy, a na rzędnych – czas trwania symulacji. Analizowany problem dostępu do zasobów za pośrednictwem inteligentnego agenta w tym przypadku jest problemem o średniej złożoności teoretycznej.

¹⁵ Idem, *Synteza algorytmu agenta pośredniczącego w e-platformach transakcyjnych*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2015, z. 36.



Rysunek 7. Złożoność czasowa algorytmu PPZ w skali liniowej i logarymicznej

Źródło: P. Filipkowski, M. Horodelski, *Badania nad algorytmem PPZ*, Materiały ECTSI, Lublin 2017.

Czas obliczeń dla zadanego problemu i 1000 scenariuszy na jednej maszynie trwa 78640,8 sek. (~1300 min; ~22 godz.), na 10 maszynach – 1778,6 sek. (~30 min), na 20 maszynach – 1109,8 sek. (18 min). Jak można zaobserwować, zwiększenie liczby maszyn z 1 do 10 daje duży zysk (~1280 min) w czasie obliczeń, jednak dodanie kolejnych 10 maszyn już nie aż tak spektakularne (~11 min). W związku z tym należy istotnie zwrócić uwagę na ekonomiczny aspekt kosztu zakupu i użycia kolejnych jednostek obliczeniowych na potrzeby czasu obliczeń inteligentnego agenta, a tym samym na potrzeby racjonalności obliczeniowej.

5. Zakończenie

W obszarze racjonalnego postępowania należy uwzględnić, że na decyzje agenta wpływa jego wiedza, bieżące informacje oraz wiedza i informacje wynikające z doświadczenia oraz interakcji z otoczeniem. W związku z ograniczonymi możliwościami obliczeniowymi człowieka należy zwrócić istotną uwagę na modele i systemy wspomaganie decyzji z punktu widzenia wykorzystania inteligentnych obliczeń maszynowych w celu zwiększenia racjonalności decyzji. Obliczenia współbieżne i rozproszone są jednym z głównych kierunków rozwoju systemów informatycznych ze względu na ograniczenia technologii krzemowej. Są niejako odpowiedzią na rosnące potrzeby przetwarzania i obecnie są realizowane pod postacią systemów chmurzastych.

W pracy autor zwraca uwagę na konieczność zdroworozsądkowego podejścia do zwiększania mocy obliczeniowych w kontekście systemów współbieżnych i rozproszonych, szczególnie w aspekcie ilościowym. Złożoność systemów obliczeniowych powinna być kontrolowana pod kątem ich efektywności. W dalszych pracach zostanie przeanalizowana zależność oszczędności czasu obliczeń

w stosunku do nakładów technicznych i organizacyjnych uruchomienia współbieżnej i rozproszonej platformy na potrzeby racjonalności obliczeniowej.

Bibliografia

- Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G., *Distributed Systems: Concepts and Design*, Addison-Wesley, Boston 2012.
- Filipkowski P., *Istota i cel systemu*, w: *Wstęp do informatyki gospodarczej – zajęcia laboratoryjne*, K. Polańska (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2015, s. 11.
- Filipkowski P., *Synteza algorytmu agenta pośredniczącego w e-platformach transakcyjnych*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2015, z. 36.
- Filipkowski P., *Technologie Społeczeństwa Informacyjnego*, VII Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Społeczeństwo Informacyjne. Stan i kierunki rozwoju w świetle uwarunkowań regionalnych”, Rzeszów, Lwów, 1–21.09.2016 r.
- Filipkowski P., *Technologie agentowe w komputerowym modelowaniu i symulacjach*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2016, z. 40.
- Huhns M.N., *Being and Acting Rational*, „IEEE Internet Computing” 2003, vol. 7, no. 2.
- Janicki A., *Technologie społeczeństwa informacyjnego*, wykład, Katedra Technologii Społeczeństwa Informacyjnego, KUL, Lublin 2010.
- Osinga F., *Science, Strategy and War. The Strategic Theory of John Boyd*, Eburon Academic Publishers, CW Delft, 2005.
- Stefanowicz B., *Informacja. Wiedza. Mądrość*, GUS, Warszawa 2013.
- Tsang E.P.K., *Computational Intelligence Determines Effective Rationality*, „International Journal on Automation and Control” January 2008, vol. 5, no. 1.
- Wassilew A.Z., *Modelowanie procesów poznawczo-decyzyjnych użytkownika systemów informatycznych*, w: *Human – Computer Interaction 2001 w reorganizacji procesów gospodarczych i tworzeniu zintegrowanych systemów informacyjnych*, B. Kubiak, A. Korowicki (red.), Akwila, Gdańsk 2001.
- Wassilew A.Z., *Oszacowanie kryteriów niemierzalnych przy określaniu efektywności systemów informatycznych*, w: *Efektywność zastosowań systemów informatycznych*, J.K. Grabara, J.S. Nowak (red.), Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
- Wassilew A.Z., *Technologie komunikacji mobilnej – implikacje społeczno-kulturowe*, w: *Komunikacja mobilna – nowe oblicza gospodarki, społeczeństwa i biznesu*, M. Goliński, K. Polańska (red.), Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2010.

* * *

Rationality of an Intelligent Agent

Summary

Many economic theories are built on the assumption that decision makers are fully rational, eg, hypothesis of the efficient market, according to Eugene E. Fama. But in fact, the information on which decisions are made is, in most cases, incomplete. From a computational point of view, decision procedures can be coded in algorithms and heuristics. The purpose of this article is to approximate the concept of rationality of an intelligent agent in systematic terms, taking into account decision-making in a computing context.

Keywords: rationality, decisions, agent.