

# Współczesna Gospodarka



Contemporary Economy  
Electronic Scientific Journal  
www.wspolczesnagospodarka.pl

Vol. 6 Issue 4 (2015) 1-23  
ISSN 2082-677X

## WYBRANE PARADYGMATY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W INFORMATYCZNYCH SYSTEMACH FINANSOWYCH

**Jerzy Balicki**

### Streszczenie

W artykule omówiono wybrane paradygmaty sztucznej inteligencji w kontekście ich zastosowań w informatycznych systemach finansowych. Zaproponowane podejście cechuje się istotnym potencjałem w zakresie wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw, w tym instytucji finansowych. Wymaga jednak efektywnego wykorzystania superkomputerów, gridów i chmur obliczeniowych. W tym kontekście odniesiono się do środowiska obliczeniowego dla cyberwaluty *Bitcoin*. Ponadto, scharakteryzowano programowanie genetyczne i sztuczne sieci neuronowe do przygotowania strategii inwestycyjnych na giełdzie papierów wartościowych.

**Słowa kluczowe:** informatyczne systemy finansowe, paradygmaty sztucznej inteligencji, programowanie genetyczne, sztuczne sieci neuronowe

### Wstęp

W ostatniej dekadzie obserwuje się znaczące nakłady na poprawę infrastruktury informacyjnej w celu usprawnienia dostępu przedsiębiorstw, w tym instytucji finansowych do superkomputerów, gridów obliczeniowych i chmur komputerowych. Istotnym powodem tej tendencji jest fakt, że udostępnienie wydajnych systemów rozproszonych umożliwia szybkie i precyzyjne wyznaczenie prognoz czy rozwiązań, a także przeprowadzenie symulacji za pomocą metod sztucznej inteligencji dla wielu firm, które mogłyby uzyskać przewagi konkurencyjnej.

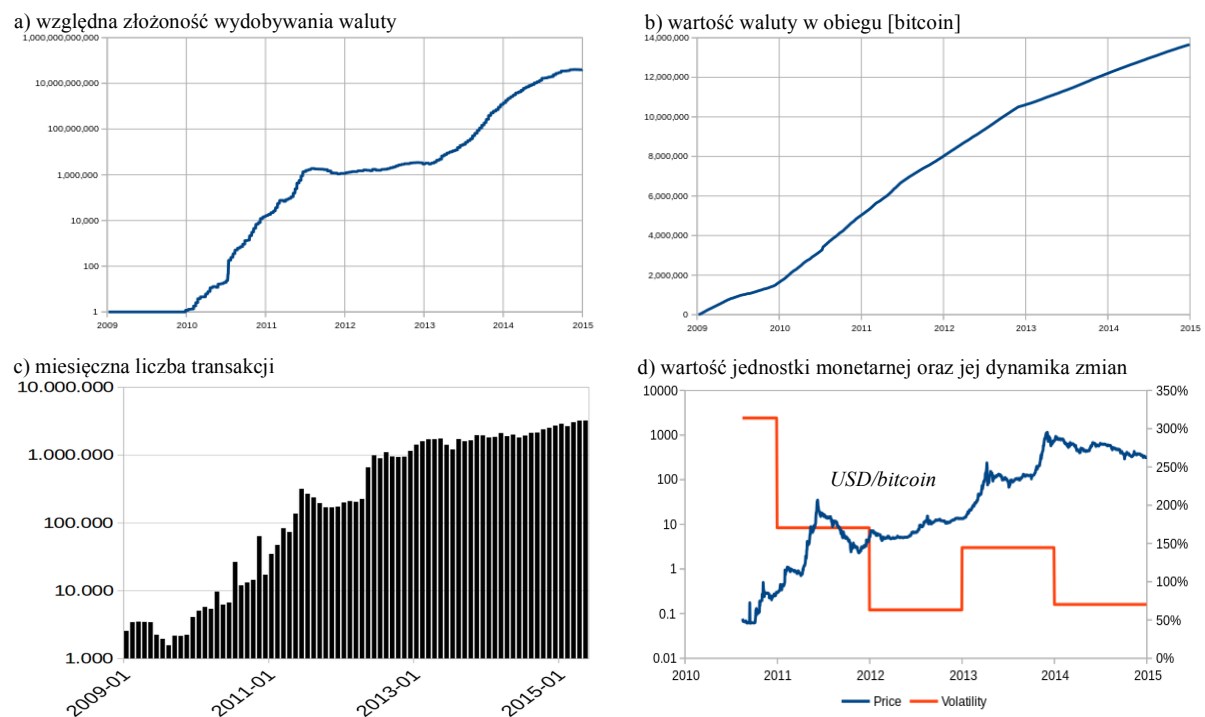
Warto zaznaczyć, że obecnie w Polsce dostępna jest już odpowiednia infrastruktura informatyczna o wystarczającej i jeszcze nie w pełni wykorzystanej mocy obliczeniowej. Amerykański superkomputer *Roadrunner* firmy *IBM*, który wiosną 2008 roku stał się pierwszą maszyną na świecie o wydajności 1 petaflops (kwadrylion operacji na sekundę), cechuje się mniejszą mocą obliczeniową niż dostępny na Politechnice Gdańskiej od marca 2015 roku superkomputer *Tryton* o mocy 1,25 petaflopsów. Wprawdzie najszybszym komputerem na świecie jest *Tianhe-2* z *China's National University of Defense Technology* o wydajności 34 petaflopsów, ale za to superkomputery amerykańskie cechują się łączną mocą obliczeniową przekraczającą możliwości swoich odpowiedników w Unii Europejskiej, Chinach lub Japonii. Zauważalna jest także korelacja między poziomem rozwoju gospodarczego a zaawansowaniem technologii komputerowej.

Superkomputery mogą zapewnić zaawansowaną wirtualizację dla wielu symulacji w zakresie transportu, marketingu czy biznesu. Konstruowanie fizycznych modeli nowych produktów jest długotrwałe, ale można symulować te modele w środowiskach wirtualnych, aby w krótkim czasie sprawdzić, jak produkty będą się sprzedawać lub użytkować. W ten sposób można zaoszczędzić kilka tygodni lub nawet miesięcy na etapie projektowania i testowania, uzyskując chwilową przewagę nad konkurentami.

Artykuł zorganizowany jest następująco. W sekcji drugiej omówiono superkomputery, gridy i chmury komputerowe. Następnie w sekcji trzeciej scharakteryzowano system walutowy *Bitcoin*. Z kolei sekcja czwarta opisuje aspekty szkolenia dotyczącego efektywnego wykorzystania systemów rozproszonych. Koncepcje europejskie w zakresie wykorzystania superkomputerów omówiono w sekcji piątej, a w sekcji szóstej przedyskutowano modelowanie i wirtualizację za pomocą kart graficznych. Natomiast sekcja siódma poświęcona jest niezwykle ważnemu paradygmatowi sztucznej inteligencji, jakim jest programowanie genetyczne. Inteligentne agenty programistyczne scharakteryzowano w sekcji ósmej. Na zakończenie w sekcji dziewiątej odniesiono się do sztucznych sieci neuronowych do wspomaganie inwestycji giełdowych.

## 1. Superkomputery, gridy obliczeniowe i chmury komputerowe

Superkomputery, gridy i chmury komputerowe to nowoczesne systemy komputerowe, które można wykorzystać do uzyskania przewagi przedsiębiorstwa nad konkurencją rynkową poprzez realizację unikatowych obliczeń z wykorzystaniem komputerów dużej mocy. Przykładowo, gridy wykorzystywane są do realizacji transakcji za pomocą cyberwaluty *Bitcoin*, tworząc dość nietypowy model cyberwaluty (rys. 1). Bez sieci wydajnych komputerów nie byłoby możliwe wprowadzenie i tak dynamiczny rozwój tego społecznościowego systemu walutowego.



**Rysunek 1.** Wybrane trendy związane ze wzrostem znaczenia cyberwaluty Bitcoin<sup>1</sup>: a) względna złożoność wydobywania waluty b) wartość waluty w obiegu c) miesięczna liczba transakcji d) wartość jednostki monetarnej oraz jej dynamika zmian

Wydajność utrzymywanego przez społeczność internautów gridu *Bitcoin* jest o kilka rzędów wielkości większa niż wydajność najszybszych superkomputerów i gridów.

Prognozowanie trendów w finansach jest kolejnym ważnym zagadnieniem rozwiązywanym za pomocą równoległych algorytmów sztucznej inteligencji, które cechują się wysokimi wymaganiami odnośnie mocy obliczeniowej komputerów<sup>2</sup>. Predykcja trendów finansowych może zatem być zrealizowana z wykorzystaniem gridów obliczeniowych, Wydajność obliczeniowa jednego z najszybszych gridów *Folding@home* szacowana jest na 48 [PFLOPS] w oparciu o dane z listopada 2015 roku. Aby uzyskać tak wysoką intensywność przetwarzania danych, połączono 182 tys. komputerów. W Polsce największym gridem jest ogólnokrajowy *Pl-Grid*. Warto także wspomnieć o gridzie *Comcute PG*, w którym zrealizowano paradygmat wolontariatu obliczeniowego w oparciu o oprogramowanie wytworzone na Politechnice Gdańskiej<sup>3</sup>.

Najszybszy krajowy komputer *Prometheus* cechuje się mocą obliczeniową 1,658 Peta-Flopsów, którą zapewnia 1 728 serwerów platformy HP Apollo 8000 połączonych siecią *Infini-Band* o przepustowości 56 Gbit/s. Łącznie dostępnych jest 41 472 rdzeni obliczeniowych (najnowszej generacji procesorów *Intel Haswell*). Wielkość sumarycznej pamięci operacyjnej wynosi 216 TB (technologia DDR4). Pojemność pamięci dyskowej (dwa systemy plików) to 10 PB, które są dostępne z szybkością 180 GB/s.

Również kryzysy sektora bankowego w danym kraju można przewidzieć za pomocą implementacji metod sztucznej inteligencji na superkomputerach. Powyższe jest niezwykle istotne, gdyż przesilenia systemów bankowych mogą zachwiać stabilnością sektora finansowego nawet w skali globalnej. System bankowy przypomina naczynia połączone, a kłopoty czy upadłość jednego z banków mogą wywołać efekt domina i pogrążyć cały sektor. Istotna jest zatem kooperacja banków, czego zabrakło w wypadku upadłości banku *Lehman Brothers Holdings Inc* w 2008 roku. Bank ten był jednym z największych banków inwestycyjnych w USA. Warto podkreślić, że wprawdzie kryzysy finansowe występują relatywnie często, to kryzysy w zakresie bankowości obserwuje się rzadko. W ciągu ostatnich czterdziestu lat zaobserwowano około 100 kryzysów bankowych w różnych częściach świata. Kryzys bankowy w Polsce w 2009 roku zachwiał naszą gospodarką, co objawiło się rocznym obniżeniem PKB o prawie 14%. Dzięki funduszom unijnym już w 2010 roku PKB wrócił do poziomu 360 mld euro, a w 2014 roku wartość PKB osiągnęła 408 mld euro<sup>4</sup>.

Skutki kryzysu mogą być jednak znacznie poważniejsze, co potwierdza fakt, że Czechy, Hiszpania, Węgry czy Włochy dopiero w 2013 roku zbliżyły się do poziomu PKB z 2008 roku. Co ciekawe, redukcja PKB w USA miała miejsce dwa lata wcześniej w 2007 roku i trwała przez dwa kolejne lata. Odnotowano spadek PKB w USA z poziomu 1,103 bln euro w 2006 roku do 1,056 bln euro w 2007 roku, a następnie do 1,001 bln euro w 2008 roku.<sup>5</sup> Na ogół kryzys bankowy poprzedzony jest dwuletnim okresem łagodnego obniżania PKB, a następnie trwa

<sup>1</sup> Bitcoin.org, <https://bitcoin.org/en/faq#what-is-bitcoin>, dostęp: 10.11.2015

<sup>2</sup> Mylonakis J., Diacogiannis G.: *Evaluating the likelihood of using linear discriminant analysis as a commercial bank card owners credit scoring model*. International Business Research, Vol. 3, No. 2, 2010, p. 12.

<sup>3</sup> Balicka H., Balicki J., Korlub W., Paluszak J., Pastewski M., Przybyłek P., Zadroga M., Zakidalski M.: *Metody sztucznej inteligencji do wspomagania bankowych systemów informatycznych*. W: K. Kreft, D. Wach, J. Winiarski (red.): *Systemy informatyczne w gospodarce*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 127.

<sup>4</sup> Eurostat. <http://ec.europa.eu/eurostat/>, dostęp: 12.11.2015

<sup>5</sup> Ibid.

przez kolejne dwa lata cechujące się znaczącym spadkiem PKB (kilkanaście procent). Wycho-  
dzenie z kryzysu bankowego to kolejne dwa-cztery lata<sup>6</sup>.

Jednakże w niektórych wypadkach przebieg kryzysu bankowego jest bardziej dramatyczny. Długotrwały kryzys bankowy w Grecji wywołał redukcję PKB tego kraju do poziomu z 2003 roku, a także niepokoje społeczne i przesilenie polityczne. W konsekwencji prawdopodobne było opuszczenie strefy euro przez Grecję w połowie 2015 roku. Warto zauważyć, że od 2010 r. Grecja otrzymała od Unii Europejskiej i Międzynarodowego Funduszu Walutowego 240 miliardów euro w ramach programów ratunkowych, co przekracza jej PKB. Trudno sobie wyobrazić, jakie byłyby negatywne skutki, gdyby takiej pomocy Grecja nie otrzymała. Na tym tle interesującym zagadnieniem jest szacowanie ryzyka sektora bankowego za pomocą metody wektorów wspierających w celu wczesnego ostrzegania przed nieprawidłowościami w bankowości, co stwarza pewien obszar na decyzje łagodzące skutki kryzysu<sup>7</sup>.

Ciekawymi metodami wymagającymi superkomputerów są metody ewolucyjno-neuronowe w kontekście badań nad wiarygodnością kredytobiorców. Zbyt liberalne udzielanie kredytów w niezbyt zamożnym społeczeństwie i przy wysokim bezrobociu może doprowadzić do upadłości banków lub też do dużego niezadowolenia społecznego w wypadku probankowego prawa spadkowego oraz restrykcyjnego ściągania długów. Dlatego też potrzebny jest kompromis między strategią liberalnego udzielania kredytów w celu pobudzania gospodarki a pojawiającą się z kilkuletnim opóźnieniem tendencją wzrostu nieregularnie spłacanych kredytów.

## 2. Waluta społecznościowa w gridzie *Bitcoin*

Unikanie wdrażania innowacji w systemach finansowych, może w szczególności doprowadzić do niekontrolowanego rozwoju nowego systemu walutowego, tak jak ma to miejsce w wypadku waluty *Bitcoin*. Warto podkreślić, że *Bitcoin* jest zarówno nazwą gridu oraz nazwą waluty cyfrowej, za pomocą której można realizować płatności na całym świecie między internautami posiadającymi konto w tym systemie. Grid opiera się na architekturze *P2P* (ang. *peer-to-peer*), a w modelu bankowości nie zakłada się istnienia banku centralnego oraz kontroli nadzoru finansowego, przez co model tzw. bankowości społecznościowej jest niezwykle oryginalny. Wcześniej wydawało się, że takie modele systemów walutowych nie mogą być konkurencyjne do tradycyjnych.

Pierwsza wersja systemu wraz z wczesną jego specyfikacją została opublikowana w 2009 roku przez *Satoshi Nakamoto*<sup>8</sup>. Obecnie projekt jest aktywnie rozwijany z wykorzystaniem oprogramowania typu *open-source*<sup>9</sup>. Poprawność transakcji weryfikowana jest automatycznie przez węzły należące do sieci, co przyczynia się do obniżenia kosztów przeprowadzenia płatności. Istotną cechą są: brak możliwości anulowania wykonanej transakcji finansowej oraz większa anonimowość jej uczestników.

Wykonanie płatności przez użytkownika gridu *Bitcoin* nie jest trudniejsze niż w przypadku tradycyjnych usług. W tym celu uruchamia się aplikację portfela na komputerze osobistym, tablecie bądź smartfonie. Podczas zakładania konta użytkownik otrzymuje adres oraz prywatny klucz, co można porównać do zakładania tradycyjnego konta bankowego, w którym adres odpowiada numerowi konta, a klucz prywatny - hasłu. W przeciwieństwie jednak do zakładania konta, adres *Bitcoina* przydzielany jest bez rejestracji jakichkolwiek danych użyt-

<sup>6</sup> Balicka H., Balicki J., Korlub W., Paluszak J., Pastewski M., Przybyłek P., Zadroga M., Zakidalski M., op. cit., s. 128.

<sup>7</sup> Balicka H., Balicki J., Korlub W., Paluszak J., Zadroga M.: Superkomputery do wspomaganie procesów gospodarczych ze szczególnym uwzględnieniem sektora bankowego. *Współczesna Gospodarka*, Vol. 4, Issue 5, 2014, s. 12.

<sup>8</sup> Bitcoin.org, op.cit.

<sup>9</sup> Specyfikacja Bitcoin, <http://nakamotoinstitute.org/bitcoin/>, dostęp: 11.02.2015

kownika oraz podpisów<sup>10</sup>. Saldo portfela obliczane jest na podstawie łańcucha bloków, który jest wyznaczany w oparciu o zasady kryptografii<sup>11</sup>.

Natomiast płatność w systemie porównać można do wysyłania wiadomości e-mail. Transfer między portfelami polega na utworzeniu nowego rekordu, który zawiera uprzednio wygenerowane adresy portfeli oraz podpis wyznaczony za pomocą klucza prywatnego osoby płacącej. Dla rekordu można określić, kto jest płatnikiem w transakcji. Jednym z zadań podpisu jest zapobieganie próbom ponownego wykorzystania waluty. Rekord zostaje wysłany do odbiorcy oraz do komputerów kontrolnych, które powinny potwierdzić transakcję.

Proces zatwierdzania transakcji polega na dodaniu do łańcucha bloków nowego wpisu. Poszukiwanie tzw. dowodu, nazywane także wydobywaniem, opiera się na zasadzie rywalizacji, po której zwycięzca otrzymuje za odnalezienie dowodu kwotę wyrażoną w *Bitcoinach*. Po odnalezieniu dowodu system przechodzi do kolejnego wyzwania<sup>12</sup>. W wyniku rozwoju tego systemu walutowego, rośnie również złożoność niezbędna do wyznaczenia wyzwania<sup>13</sup>.

Moc komputerów wyrażona w liczbie przeprowadzonych dowodów w jednostce czasu odgrywa istotną rolę. Klasyczne procesory w komputerach klasy PC cechują się intensywnością wydobywania mniejszą niż 4 *kH/s*, przy czym *H* jest jednostką obliczeniową odpowiadającą wyznaczeniu wartości tzw. funkcji skrótu (haszującej). Bardziej zaawansowany procesor *Xeon E5-2650* cechuje się wydajnością rzędu 130 *kH/s*, przy czym koszt procesora to 5 tys. zł. Wraz z rozwojem gridu *Bitcoin* do wydobywania waluty zaczęto stosować karty graficzne, których szybkość wydobywania wahała się w przedziale od 50 do 1 500 *kH/s*.<sup>14</sup> Najczęściej wykorzystywano system *CUDA* firmy *NVIDIA*, który umożliwiał łączenie wielu kart graficznych, zwielokrotniając moc obliczeniową.

Od 2014 roku te rozwiązania nie zapewniają bilansu między kosztem za sprzęt, zużyciem energii a zyskiem z przeprowadzania dowodu. Do wydobywania używa się specjalistycznych układów scalonych klasy *Application Specific Integrated Circuit (ASIC)*, które projektowane są do wykonywania określonego zadania obliczeniowego, przez co są mniejsze, tańsze, szybsze, zużywają mniej energii i bardziej niezawodne od uniwersalnych procesorów. Koszt wydajnego układu o nazwie *SP35 Yukon Power* to 1 564 *USD* przy zużyciu energii 3,6 *KWh*.<sup>15</sup> Moc wydobywania tych układów osiąga 5,5 *TH/s*, a więc jest prawie 4 000 razy większa niż wydajność kart graficznych. Nieco wydajniejszy i droższy jest układ *BitCrane T-720* o mocy 7,2 *TH/s*, zużyciu energii ok. 8 *kWh* i cenie 2 500 *USD*. Jednym z najszybszych rozwiązań jest *Antminer S5* o wydajności 112 *TH/s* i cenie ok. 28 000 *USD*.<sup>16</sup>

Pomimo rosnącej popularności waluty *Bitcoin*, kwestie prawne nie są uregulowane w wielu państwach. Sytuacja taka ma miejsce w Polsce, gdzie nie powstał do tej pory akt prawny regulujący wykorzystanie *Bitcoina*. Stwierdza się, iż wykorzystanie *Bitcoina* jest legalne, chociaż nie może być traktowane jako prawny środek płatniczy oraz nie jest również pieniądzem elektronicznym.<sup>17</sup> Wiele instytucji finansowych, w tym Europejski Urząd Nadzoru

<sup>10</sup> *How do Bitcoin Transactions Work*, <http://www.coindesk.com/information/how-do-bitcoin-transactions-work/>, dostęp 11.02.2015

<sup>11</sup> *How does Bitcoin work*, <https://bitcoin.org/en/how-it-works>, dostęp: 11.02.2015

<sup>12</sup> *How does Bitcoin work*, op. cit.

<sup>13</sup> *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, dostęp 12.02.2015

<sup>14</sup> *Mining hardware comparison*, [https://litecoin.info/Mining\\_hardware\\_comparison](https://litecoin.info/Mining_hardware_comparison), dostęp 12.02.2015

<sup>15</sup> *Ibid.*

<sup>16</sup> Balicki J., Beringer M., Korłub W., Przybyłek P., Tyszka M., Zadroga M.: *Collective Citizens' Behavior Modeling with Support of the Internet of Things and Big Data*. Proc. of the 8th Int. Conf. on Human-System-Interaction HSI'2015, Warsaw, Poland, June 25-27, 2015, pp. 63

<sup>17</sup> *Specyfikacja Bitcoin*, op. cit.

Bankowego, ostrzegają przed wykorzystaniem walut wirtualnych, takich jak *Bitcoin* ze względu na brak odpowiednich regulacji oraz brak gwarancji stabilności kursu waluty tego typu.<sup>18</sup>

*Bitcoin* cieszy się rosnącym zainteresowaniem na rynkach wschodzących, np. w części krajów Afryki, gdzie brakuje rozwiniętych systemów płatniczych.<sup>19</sup> Przyczyn takiego stanu dopatrywać się można w szerokiej dostępności usługi, jak również jej przejrzystości. Coraz więcej firm umożliwia realizację płatności przy pomocy *Bitcoina*, np. *Microsoft* akceptuje taką płatność za swoje produkty. Niestety, anonimowość niesie za sobą zagrożenia w postaci zainteresowania się tą walutą grup przestępczych<sup>20</sup>.

### 3. Warunki efektywnego wykorzystania systemów rozproszonych

Zasadniczy problem w wykorzystaniu możliwości obliczeń o wysokiej wydajności przez firmy biznesowe, które tworzą przecież miejsca pracy, jest brak przygotowanej kadry projektantów tej klasy aplikacji. Tysiące firm zapewne skorzystałyby z superkomputerów, ale ze względów finansowych nie mogą sobie na to pozwolić, pozostawiając swój potencjał gospodarczy w dużej mierze niewykorzystany<sup>21</sup>. Powyższe skłoniło niektóre uczelnie i instytucje naukowe w USA do uruchomienia projektów, które zapewnią firmom dostęp do systemów o wysokiej wydajności, a także pomoc techniczną. Warto wspomnieć o projekcie *Centrum Superkomputerów Ohio* w *Columbus* oraz *Instytutu Spawalnictwa im. Edisona*, który prowadzi badania nad zastosowaniami technologii spawalniczych w gospodarce.

W jednej z aplikacji na superkomputery za pomocą webowego interfejsu użytkownika udostępnia się inżynierom szeroki zakres danych dotyczących łączenia materiałów. Inżynierowie mogą prowadzić symulacje, które z niewielkim opóźnieniem pokazują, w jaki sposób niektóre spawy będą się zachowywały przy zadanych obciążeniach konstrukcji. Aplikacja udostępnia zasoby superkomputerów za pomocą przeglądarki, bez potrzeby stosowania czasochłonnego i zaawansowanego programowania. Stwierdzono, że modelowanie i symulacja mogą znacząco zwiększyć konkurencyjność produkcji w oparciu o tę klasę aplikacji. Wydaje się zatem, że umiejętne wykorzystanie oprogramowania na superkomputery może poprawić konkurencyjność także polskiego przemysłu, a zwłaszcza przemysłu stoczniowego.

W projekcie realizowanym przez *Indiana University* i *Purdue University* udostępnia się moc obliczeniową z centrum *IBM Indiana* dla firm w przemyśle farmaceutycznym i samochodowym, które już mają spore doświadczenia odnośnie wykorzystania wysokiej klasy systemów informatycznych. W szczególności możliwe jest udostępnienie standardowych pakietów oprogramowania, jak również przyjaznych narzędzi do implementacji własnego kodu aplikacji. Ważna jest także pomoc specjalistyczna w zrównoleglaniu aplikacji.

Istotnym zastosowaniem superkomputerów jest weryfikacja projektów wzorów użytkowych pod kątem praw autorskich. Weryfikacja jest niezbędnym zadaniem wykonywanym przez korporacyjnych radców prawnych po to, aby upewnić się, czy zastrzeżony produkt nie będzie naruszał praw autorskich oraz licencji innych firm. Aplikacja powyższej klasy jest jednym ze sprawdzonych systemów realizowanych w centrum obliczeniowym *IBM Indiana*.

<sup>18</sup> *EBA warns consumers on virtual currencies*, <http://www.eba.europa.eu/-/eba-warns-consumers-on-virtual-currencies>, dostęp 11.02.2015

<sup>19</sup> *Forbes*, <http://www.forbes.com/sites/teconomy/2014/08/07/bitcoin-momentum-grows-in-emerging-markets/>, dostęp 11.02.2015

<sup>20</sup> Frankel J. A., Rose A. K.: *Currency crashes in emerging markets: an empirical treatment*. *Journal of International Economics*, vol. 41, no. 3-4, 1996, p. 355.

<sup>21</sup> Balicki J., Korlúb W., Paluszak J.: *Big Data Processing by Volunteer Computing Supported by Intelligent Agents*. Proc. of 6th Int. Conf., PReMI 2015, Warsaw, Poland, June 30 - July 3, 2015, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9124, p. 277.

W projekcie realizowanym przez *Louisiana State University* wspólnie z *Electronic Arts Inc* z *Kalifornii* dąży się do zapewnienia jakości w projektowaniu gier komputerowych i innego interaktywnego oprogramowanie rozrywkowego. Projekt powiązany jest z rozwojem mediów cyfrowych, który obejmuje akademickie badania z zakresu wizualizacji za pomocą superkomputerów. Powodem zaangażowania dużej ilości państwowych środków finansowych jest chęć zbudowania gospodarki opartej na wizualizacji i wirtualizacji produktów. Ten etap na drodze do gospodarki opartej na wiedzy jest już możliwy, gdyż opracowano architekturę komputerów, oprogramowanie i infrastrukturę sieci, która obsługuje środowisko tego rodzaju działalności gospodarczej.

*Cloud computing* oferuje alternatywny sposób na uzyskanie dostępu do zasobów superkomputerów, który także może być zastosowany do wspomaganie procesów przemysłowych. Naukowcy z *Rice University* w *Houston* używali w tym celu usług dostępnych w chmurach: *Amazon.com Inc Elastic Compute Cloud* oraz *EC2*. Zauważyli jednak, że dostęp do wysokiej mocy obliczeniowej jest tylko jednym z istotnych aspektów. Przede wszystkim aplikacje w zastosowaniach gospodarczych powinny być dostosowane do pracy w środowiskach równoległych, co powoduje, że rośnie zapotrzebowanie na projektantów umiejących adaptować tej klasy systemy. Dlatego też wykładowcy z *Rice University* prowadzą niedrogie i łatwo dostępne szkolenia na temat programowania równoległego. W ramach tego projektu odpowiednie książki można pobrać z Internetu, przy czym niektóre z nich powstają w drodze konkursu na autorów książek o równoległych zagadnieniach obliczeniowych. Z uniwersytetem współpracują firmy *Chevron Corp*, *Sun Microsystems Inc* i *Nvidia Corp*, które wspomagają projekt oraz dążą do pozyskania wysokokwalifikowanych współpracowników.

Szczególnie zaangażowane w liczne projekty z wykorzystaniem superkomputerów są amerykańskie banki inwestycyjne, które zatrudniają niemal wszystkich absolwentów uczelni z umiejętnością modelowania komputerowego. To podejście obserwuje się także w odniesieniu do innych sektorów gospodarki. Na przykład, *Purdue University* udostępnia interaktywny portal klasy *Web 2.0* o nazwie *Hubzero.org*, który jest używany do edukacji środowisk naukowych pod kątem wykorzystania interaktywnych narzędzi symulacyjnych.

Panuje przekonanie, że gospodarka amerykańska odnosi sukcesy ze względu na agresywną absorpcję technologii. Obawy o konkurencję rynkową stanowią jeden z powodów dynamicznego wzrostu wykorzystania superkomputerów. Warto zauważyć, że także producenci z Azji wspomagają swoje działania za pomocą superkomputerów do opracowania produktów, co obniża konkurencyjność firm spoza Chin.

W ramach gospodarczego pakietu stymulacyjnego w USA nastąpiło finansowanie laboratoriów i ośrodków badawczych, a także uczelni wyższych w zakresie wykorzystania superkomputerów. Ponadto zainteresowanie modelowaniem klimatu spowodowało duże postępy w rozwoju superkomputerów. Również duże nadzieje pokłada się w finansowaniu edukacji, która mogłaby pomóc w gospodarczym wykorzystaniu superkomputerów.

*Rada ds. Konkurencyjności w Waszyngtonie*, w skład której wchodzi przedstawiciele dużych firm i uczelni, rekomenduje upowszechnienie HPC w gospodarczych zastosowaniach jako ważny cel na najbliższe lata. W szczególności wezwano amerykański sektor obrony, który rozwija technologie „podwójnego zastosowania”, do udostępnieniu mocy obliczeniowej swoich superkomputerów dla amerykańskich producentów, innowatorów i przedsiębiorców. Podkreślono, że postrzega się technologię HPC jako jeden z aktywów strategicznych kraju.

Interesującym przykładem łączenia sztucznej inteligencji i obliczeń równoległych jest superkomputer *IBM Watson* (*Thomas Watson* to współzałożyciel firmy *IBM*), który w 2011 roku wygrał quiz *Jeopardy* (w Polsce był to teleturniej pod nazwą *Va Banque*). Po pokonaniu mistrzów świata w warcaby, szachy czy tryktraka, kolejna zatem aplikacja okazała się lepsza od człowieka. Oczywiście nie byłoby to możliwe bez odpowiedniego wykorzystania zasobów obliczeniowych, w tym 32 400 ośmio-rdzeniowych procesorów *Power7* o łącznej mocy 80



TFlopsów i pamięci 16 TB. Superkomputer ten znajdzie zapewne zastosowanie w analizie biznesowej, a także przeznaczony zostanie do wyszukiwania w rozległych bazach wiedzy. Może być pomocny w podejmowaniu decyzji, w tym w diagnostyce medycznej, w której szacuje się, że zaledwie 50% diagnoz jest poprawnych. Obecnie wyposażony w sztuczną inteligencję superkomputer umożliwi poprawną diagnostykę w 90% przypadków w zakresie nowotworów płuc. Planowane jest także szerokie wykorzystanie IBM *Watsona* w edukacji – w maju 2011 roku program komputerowy zdał egzaminy na drugim roku studiów medycznych.<sup>22</sup>

Wspomaganie wyboru sposobu terapii raka płuc to pierwsze poważniejsze komercyjne wykorzystanie tego komputera, co udało się zrealizować w *Memorial Sloan Kettering Cancer Center* w 2013 roku. Program odpowiada na pytania „*Na co choruje pacjent cechujący się następującymi symptomami oraz historią choroby?*”, a także podaje sposób leczenia z ostrzeżeniami o przeciwwskazaniach z zastosowaniem określonych leków. Medyczna baza wiedzy zawiera: 605 000 sposobów przygotowania konkretnych diagnoz medycznych, 12 milionów stron wyselekcjonowanego tekstu z 290 czasopism oraz 200 monografii, a także 25 000 wzorców treningowych. Trening oprogramowania wymagał ponad 14 700 godzin nauki komputerowej w warunkach szpitalnych.

W ciągu roku sprzedano kilkadziesiąt egzemplarzy superkomputera w średniej cenie 1,5 mln USD. Oferowany jest serwer z oprogramowaniem lub też można uzyskać dostęp do aplikacji zainstalowanej w chmurze komputerowej, aby korzystać z jego ekspertyz. Dzięki współpracy IBM z firmą handlową *Wellpoint* kolejne kontrakty będą realizowane w najbliższym czasie z *WestMed Practice Partners* oraz *the Maine Center for Cancer Medicine & Blood Disorders*.

IBM rozpoczął współpracę z *Nuance Communications Inc.*, w ramach której *Watson* ma zostać wyposażony w umiejętność rozpoznawania mowy i w jeszcze większą wiedzę medyczną, co pozwoliłoby szerzej zastosować go w diagnostyce medycznej. Przy pomocy lekarzy z *Columbia University* i *University of Maryland* badane są możliwości zastosowania tej technologii w praktyce medycznej.

IBM bada również możliwości zastosowania *Watsona* jako asystenta dla prawników. Istotnym planowaniem zastosowaniem systemu będą także finanse<sup>23</sup>.

#### 4. Europejskie koncepcje w zakresie inteligentnych superkomputerów

Europa stara się dotrzymać kroku Stanom Zjednoczonym (45% zasobów), Chinom (12%) i Japonii (10%) pod względem zapewnienia przedsiębiorcom dostępu do odpowiedniej mocy obliczeniowej, co dotyczy zwłaszcza Wielkiej Brytanii, Francji i Niemiec<sup>24</sup>.

Europejska sieć superkomputerów *DEISA* (ang. *Distributed European Infrastructure for Supercomputing Applications*) wspomaga modelowanie syntezy jądrowej w reaktorach termojądrowych. Wykorzystanie superkomputerów zapewnia akcelerację badań nad zaspokojeniem potrzeb energetycznych Europy i w pewnym sensie może doprowadzić do uniezależnienia się od dostaw gazu i ropy naftowej. Powyższy cel jest bardzo prawdopodobny do osiągnięcia, tym bardziej, że energia uwolniona z jednego grama szeroko dostępnego paliwa do syntezy jądrowej odpowiada energii otrzymanej z jedenastu ton węgla. Symulacje syntezy jądrowej oraz badanie właściwości materiałów za pomocą superkomputerów jest konieczne, aby możliwe było wykonanie rzeczywistych eksperymentów w dziedzinie syntezy jądrowej. Ważne jest, aby eksperymen-

<sup>22</sup> Balicki J., Korłub W., Tyszka M.: *Harmony search to self-configuration of fault-tolerant grids for big data*. In: Z. Kowalczyk: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 386, 2016, pp. 411-424.

<sup>23</sup> Shouwei L., Mingliang W., Jianmin H.: *Prediction of Banking Systemic Risk Based on Support Vector Machine*. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2013, April 2013, s. 5.

<sup>24</sup> Balicki J., *Multi-criterion Decision Making by Artificial Intelligence Techniques*. Proc. on the 8th Int. Con. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 2009, Cambridge, pp. 322.



menty z wykorzystaniem energii termojądrowej były bezpieczne i spełniały standardy ekologiczne.

Rozproszona Europejska Infrastruktura dla Aplikacji Superkomputerowych *DEISA* wykorzystuje sieć komputerową *GÉANT2*, która umożliwia wymianę danych z intensywnością 10 Gb/s. *DEISA* udostępnia wysokowydajne usługi komputerowe i moc obliczeniową na 12 ze 100 najszybszych superkomputerów na świecie, tworząc potężne, jednorodne i łatwe w obsłudze środowisko superkomputerowe.

Europejska agencja *Euratom* planuje zbudowanie reaktora *ITER* w *Cadarache* na południu Francji. Celem światowego projektu badawczego *ITER* jest weryfikacja, czy synteza jądrowa może być ekologicznym, bezpiecznym i trwałym źródłem energii. Unia Europejska zapewnia prawie połowę środków finansowych, obok współfinansowania z Japonii, Chin, Indii, Korei Płd., Rosji i USA.

Warto także wspomnieć, że naukowcy wykorzystali infrastrukturę superkomputerową w ramach realizacji projektu finansowanego ze środków UE na badania nad wpływem turbulencji wody morskiej na infrastrukturę rurociągów i platform. Prace mogą doprowadzić do poprawy konstrukcji platform wiertniczych z prawdopodobnymi korzyściami dla środowiska naturalnego i bezpieczeństwa pracowników. Turbulencje mogą być poważnym problemem, gdy woda przepływa wokół platformy lub rurociągu, tworząc małe wiry z dużą intensywnością. W konsekwencji wiry wodne wywierają ogromną siłę na zabezpieczeniach infrastruktury, indukując wibracje. Im większe turbulencje, tym większe są drgania spowodowane wirami. Nawet w warunkach relatywnie niewielkiego falowania zachodzą drgania. W strukturach podwodnych szybów naftowych, takich jak morskie rury pionowe i rurociągi na platformach wiertniczych, problem jest bardzo poważny.

Konstrukcje tego rodzaju często są narażone na duże i szkodliwe obciążenia. Naukowcy starają się opracować wystarczająco szczegółową wiedzę na temat interakcji między turbulencjami wody morskiej a elementami konstrukcyjnymi, aby opracować nowe sposoby projektowania rurociągów, które minimalizują występowanie wibracji. W tym celu poddano analizie działania modelu turbulencji za pomocą symulacji komputerowej dla różnych scenariuszy, co w rzeczywistości jest ogromnym i skomplikowanym zadaniem. Dynamika płynów jest jednym z najtrudniejszych problemów w matematyce i informatyce, gdyż nawet dla stosunkowo niewielkich turbulencji, zapotrzebowanie algorytmów symulacji na moc obliczeniową może przekroczyć wydajność najpotężniejszych superkomputerów.

*PRACE* (ang. *the Partnership for Advanced Computing in Europe*) to kolejny ważny projekt europejski, którego celem jest zbudowanie infrastruktury o wydajności 1 *Exaflops*. Aktualnie w skład podstawowej infrastruktury wchodzi sześć superkomputerów o wydajności co najmniej 1 *PetaFlopsa*. Istotnym wymaganiami narzuconymi na architekturę komputerów jest ich niewielkie zużycie energii elektrycznej.

Najważniejszym projektem, w ramach którego obliczenia prowadzone są na superkomputerach *PRACE*, to badania nad grafenem. Zrealizowano już ponad 90 milionów godzin symulacji współbieżnej na komputerach w celu zbadania różnorodnych własności tej dwuwymiarowej struktury o jednoatomowej grubości i złożonej z atomów węgla, połączonych w sześciokąty. Grafen może zastąpić krzem w procesorach oraz nadaje się do wytwarzania związanych w rolkę wyświetlaczy dotykowych. Ponadto może być stosowany do wytwarzania energii odnawialnej z paneli słonecznych i magazynowania jej. Sensory grafenowe rejestrują pojedyncze molekuly szkodliwej substancji, co można zastosować w monitoringu i ochronie środowiska.

Udostępnienie 7 milionów godzin równoległych obliczeń na rdzeniach procesorów w sieci superkomputerów *PRACE* pozwoliło na przeprowadzenie niezbędnych symulacji w ciągu niespełna miesiąca, a nie dziesięciu lat w ramach projektu *DNANANO*, w którym bada się przydatność do celów leczniczych wariantów struktur DNA w różnych temperaturach. Wykonano

symulacje dynamiki molekularnej i scharakteryzowano na podstawie badań eksperymentalnych struktury DNA wybranych molekuł.

**Tablica 1.** Europejskie superkomputery w ramach projektu *PRACE*

Nazwa superkomputera	Nazwa centrum, kraj	Architektura	Moc obliczeniowa
<i>MareNostrum</i>	<i>BSC, Hiszpania</i>	<i>iDataPlex</i>	1 Petaflops
<i>CURIE</i>	<i>GENCI@CEA, Francja</i>	<i>Bullx cluster</i>	2 Petaflops
<i>FERMI</i>	<i>CINECA, Włochy</i>	<i>BlueGene/Q</i>	2 Petaflops
<i>SuperMUC</i>	<i>GCS@LRZ, Niemcy</i>	<i>iDataPlex</i>	3 Petaflops
<i>Hermit</i>	<i>GCS@HLRS, Niemcy</i>	<i>Cray XE6</i>	5 Petaflops
<i>JUQUEEN</i>	<i>GCS@FZJ, Niemcy</i>	<i>BlueGene/Q</i>	5,87 Petaflops

Francuskie przedsiębiorstwo *ARIA Technologies* prowadzi obliczenia na komputerach *PRACE* w celu predykcji dla towarzystw ubezpieczeniowych ryzyka powodzi poprzez symulację ekstremalnych opadów. Podejście to jest szczególnie przydatne w sytuacjach, w których danych dotyczących rzeczywistych zdarzeń ekstremalnych jest niewiele. Ponadto symuluje się wpływ zmian klimatu na zagrożenia naturalne.

Warto wspomnieć o jeszcze jednym ciekawym projekcie, który realizowany jest w Lozanie, Szwajcaria. Superkomputer IBM *Blue Brain* to nieco inne podejście do połączenia sztucznej inteligencji i superkomputerów. Zadanie wpisuje się *Europejski Projekt Flagowy Human Brain Project*, na który Unia Europejska w latach 2014-2020 ma przeznaczyć miliard Euro.

W projekcie *Blue Brain* symuluje się fragmenty mózgu szczura, pszczoły i człowieka. Skala symulacji jest ogromna, gdyż obejmuje modele o 10 000, 10 000 000 i więcej neuronów różnych rodzajów. Tych klas neuronów może być 200, a w niektórych modelach nawet 1 000. Duża liczba neuronów wymaga rozważenia jeszcze większej liczby połączeń synaptycznych, których może być 30 milionów lub nawet miliard. Dążąc do symulacji ludzkiego mózgu należy liczyć się z modelowaniem 100 miliardów neuronów i 1 trylionu połączeń neuronalnych. Prawdopodobnie będzie to możliwe w 2020 roku. Aktualnie wykorzystuje się superkomputer *Blue Gene/P* o wydajności 56 TFLOPS do symulacji co najwyżej miliona neuronów i miliarda synaps tworzących wielowarstwową sieć o 100 warstwach.

Warto podkreślić, że pierwszy kompletnie odtworzony konektom (kompletna sieć połączeń neuronów w mózgu) został opracowany przy użyciu mikroskopu elektronowego i należał do nicienia *Caenorhabditis elegans*, którego mózg składał się z zaledwie 302 neuronów i 5 000 synaps. Obecnie wykorzystuje się obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego z wykorzystaniem tomografów, a zatem do przetwarzania obrazów wymagana jest duża moc obliczeniowa i pamięć superkomputerów. Planuje się wykorzystać pamięć RAM rzędu 1 *Exabajta* do modelowania ludzkiego mózgu, przy czym najszybszy superkomputer dysponuje obecnie pamięcią 1 000 razy mniejszą. Podobnie do IBM *Watsona*, *Blue Brain* będzie miał szerokie zastosowania w wielu obszarach biznesu i przemysłu, w tym w finansach i bankowości. Można zatem stwierdzić, że niekoniecznie zastosowania medyczne IBM *Watsona* będą najważniejsze<sup>25,26</sup>.

<sup>25</sup> Balicki J., Szymański J., Kępa M., Draszawka K., Korlub W.: *Improving effectiveness of svm classifier for large scale data*. Proc. on 14th Int. Conf., ICAISC 2015, Zakopane, Poland, June 14-18, 2015, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9119, pp. 677

<sup>26</sup> Hanschel E., Monnin P.: *Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland*. Investigating the Relationship between the Financial and Real Economy, BIS Papers, no. 22, 2005, pp. 435

Reasumując, europejskie zastosowania obliczeń na superkomputerach dotyczą następujących obszarów<sup>27</sup>:

- przetwarzanie transakcji kart kredytowych;
- prognoza pogody;
- symulacja zmian klimatycznych;
- analiza symulacji wybuchów nuklearnych;
- projektowanie statków i samolotów;
- dynamika płynów;
- sekwencjonowanie ludzkiego genomu;
- modelowanie molekularne;
- kryptologia;
- zaawansowane animacje graficzne;
- analiza danych geologicznych;
- zarządzanie energią;
- poszukiwanie gazu łupkowego;
- astronautyka.

## 5. Wirtualizacja za pomocą procesorów graficznych

Superkomputery cechują się dużym zużyciem energii elektrycznej, które w wypadku *Tianhe-2* wynosi 17,8 MW. Ponadto tej klasy komputery ważą nawet kilka ton, co utrudnia ich mobilność. Dlatego poszukuje się alternatywnych rozwiązań, które mogą rozszerzać obecne architektury obliczeniowe. Jednym z nich są procesory graficzne GPU (ang. *Graphics Processing Unit*), które były początkowo dedykowane do wyświetlania obrazu na ekranie komputera. Obecnie procesory GPU są wykorzystywane do wirtualizacji i realizacji obliczeń ogólnego przeznaczenia tak jak koprocessor obliczeniowy *NVIDIA Tesla K80*. Karty graficzne składają się zazwyczaj z kilkuset, a nawet kilku tysięcy jednostek wykonawczych, które mogą równolegle przetwarzać zbiory punktów obrazu, aby przedstawić go na monitorze o wysokiej rozdzielczości.

Karty graficzne do realizacji obliczeń uniwersalnych określane jako *GPGPU* (ang. *General-Purpose computing on Graphics Processing Units*) nie posiadają zazwyczaj interfejsu do monitora. Natomiast posiadają wbudowaną pamięć operacyjną o przepustowości znacznie przekraczającej możliwości pamięci RAM używanej przez procesory CPU. Karta graficzna *Tesla K80* cechuje się przepustowością 480 GB/s, a *Intel Xeon E5-2697* – 68 GB/s. Kolejną zaletą GPU jest korzystny współczynnik mocy obliczeniowej do zużytej energii<sup>28</sup>.

Wymienione cechy sprawiają, że procesory graficzne są często wykorzystywane do budowy superkomputerów<sup>29</sup>. Z drugiej strony obecność kart graficznych w komputerach klasy PC sprawia, że obliczenia wysokiej wydajności są dostępne dla znacznie szerszego grona odbiorców. W efekcie rozwija się dynamicznie zakres zastosowań tych urządzeń w różnych dziedzinach gospodarki, mimo sporych trudności w programowaniu tej klasy urządzeń.

Jednym z obszarów, w których udokumentowano efektywne wykorzystanie kart graficznych, jest analiza modeli ekonometrycznych. *Aldrich et al.* pokazują, że układy GPU pozwalają na uzyskanie 200-krotnego przyspieszenia obliczeń w stosunku do procesorów CPU

<sup>27</sup> Balicki J., Przybyłek P., Zadroga M., Zakidalski M.: *Sztuczne sieci neuronowe oraz metoda wektorów wspierających w bankowych systemach informatycznych*. „Współczesna Gospodarka”, Vol. 4, 2013, ss. 1-14.

<sup>28</sup> Abe Y. et al.: *Power and performance analysis of GPU-accelerated systems*. Proc. of the 2012 USENIX Conf. on Power-Aware Computing and Systems (HotPower'12), USENIX Association, Berkeley, USA, 2012, p. 12.

<sup>29</sup> *TOP 500 The List*, <http://www.top500.org/>, dostęp: 12.11.2015

w czasie analizy cykli koniunkturalnych na rynkach<sup>30</sup>. Zyski z wykorzystania koprocessorów obliczeniowych w tej dziedzinie zostały odnotowane również przez *Dziubinskiego et al.*<sup>31</sup>.

Superkomputery oparte o układy graficzne mają znaczny potencjał w dziedzinie przetwarzania i analizy dużych zbiorów danych (ang. *big data*). Ze względu na wysoką przepustowość pamięci i możliwości równoległego wykonywania zadań koprocessory mogą znacząco przyspieszyć operacje bazodanowe, takie jak: agregacje, łączenia czy też filtrowanie wyników. Otwiera to drogę do wykorzystania kart graficznych w tych obszarach gospodarki, w których istotna jest wydajność operacji na dużych zbiorach danych. Dotyczy to zwłaszcza logistyki i transportu. *Govindaraju et al.* porównali czasy wykonania zapytań bazodanowych w języku SQL wykonanych na karcie graficznej *NVIDIA GeForce 6800* oraz na procesorze *Intel Xeon* taktowanym zegarem 2.8 GHz. Wyniki ich testów pokazują czasy o rząd wielkości lepsze dla układu GPU w porównaniu z procesorem CPU.<sup>32</sup>

Karty graficzne są projektowane pod kątem wykonywania operacji na punktach i podstawowych figurach geometrycznych, np. trójkątach. Możliwości te są wykorzystywane podczas wyświetlania trójwymiarowych scen na ekranie komputera, do czego układy graficzne były wcześniej przeznaczone. Te same operacje, które wykonywane są na elementach trójwymiarowej sceny, wykorzystuje się przy pracy z mapami zapisanymi w przestrzennych bazach danych. *Bandi et al.* wykorzystali układy GPU w silniku bazodanowym *Oracle 9I*, aby poprawić wydajność operacji przestrzennych.<sup>33</sup> W efekcie możliwe są symulacje związane z budową autostrad, infrastruktury lotniczych i portów morskich.

Kolejne zastosowanie kart graficznych w obszarze analizy dużych zbiorów informacji wiąże się z ich zdolnością do strumieniowego przetwarzania danych. Możliwości te wynikają z oryginalnego przeznaczenia koprocessorów do pracy ze strumieniem obrazu wideo, co wymaga wysokiej przepustowości pamięci. Cechy te pozwalają na zastosowanie układów graficznych do eksploracji danych (ang. *data mining*), gdzie źródłowy strumień informacji może zostać natychmiast przetworzony przez koprocessor. Pozwala to na zmniejszenie ilości danych, które muszą zostać zapisane – aplikacja korzystająca z karty graficznej dokonuje wstępnej selekcji oraz ułatwia późniejszą analizę informacji.

W szczególności oprogramowanie współbieżne w środowisku GPU pozwala na symulację przedsięwzięcia gospodarczego w celu oszacowania ryzyka. Złożone obliczeniowo metody statystyczne mogą być stosowane w wielu dziedzinach inwestowania, takich jak: wycena aktywów spółki, przewidywanie scenariuszy zmian cen akcji, czy wycena opcji na giełdzie papierów wartościowych<sup>34</sup>. Analizy te mogą być prowadzone szybciej na superkomputerach oraz mogą dostarczać precyzyjniejsze wyniki, co istotnie wspomaga podejmowanie decyzji. Metoda modelowania matematycznego *Monte Carlo* w środowisku GPU cechuje się wzrostem wydajności od 77 do 124 razy w porównaniu do CPU<sup>35</sup>.

<sup>30</sup> Aldrich E., Fernández-Villaverde M., Gallant J.R., Rubio-Ramírez A., Juan F.: *Tapping the supercomputer under your desk: Solving dynamic equilibrium models with graphics processors*, Journal of Economic Dynamics and Control, Elsevier, Vol. 35(3), 2011, p. 387.

<sup>31</sup> Dziubinski M.P., Grassi S.: *Heterogeneous Computing in Economics: A Simplified Approach*, CREATES Research Papers 2012-15, School of Economics and Management, University of Aarhus, 2012, p. 23.

<sup>32</sup> Govindaraju N. K., Lloyd B., Wang W., Lin M., Manocha D.: *Fast computation of database operations using graphics processors*. Proc. of the 2004 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, June 2004, p. 217.

<sup>33</sup> Bandi N., Sun C., Agrawal D., El Abbadi A.: *Hardware acceleration in commercial databases: A case study of spatial operations*, 2004, p. 1025.

<sup>34</sup> Solomon S.: *Option Pricing on the GPU*, High Performance Computing and Communications (HPCC), 2010, s. 23.

<sup>35</sup> NVIDIA, *Computational Finance*, [http://www.nvidia.com/object/computational\\_finance.html](http://www.nvidia.com/object/computational_finance.html), dostęp 20 listopad 2014.

## 6. Zastosowanie programowania genetycznego

Programowanie genetyczne stosowane jest od dekady jako metoda predykcji w systemach finansowych z dwóch istotnych powodów. Pierwszym z nich jest fakt, iż programowanie genetyczne uwzględnia dynamicznie zmieniające się środowisko, co jest nieodłączną cechą współczesnego rynku. Drugim powodem jest to, iż strategie zachowania graczy na giełdzie często bywają skomplikowane i wymagają szerokiego spojrzenia na problem w celu wybrania odpowiedniego rozwiązania<sup>36</sup>.

Programowanie genetyczne jest alternatywą do klasycznych aplikacji giełdowych opierających się na analizie technicznej, takich jak system CRISMA, który pojawił się już w 1988 roku i jak pokazali jego autorzy *Pruitt* i *White* wyznaczył dodatni zwrot z inwestycji w ciągu 10 lat przy kosztach transakcji wynoszących 2%<sup>37</sup>.

W aplikacjach finansowych, programowania genetycznego używa się najczęściej do wygenerowania strategii zachowania inwestora na giełdzie. Programy w populacji genetycznej za pomocą reguł i danych o aktualnym stanie rynku, powinny wskazać, czy sytuacja decyzyjna jest odpowiednia, żeby sprzedawać lub kupować aktywa. Wygenerowane strategie są oceniane za pomocą funkcji przystosowania, w której uwzględnia się zdolność wygenerowania zysku przez agenta programistycznego. W powyższym modelu za argumenty przyjmuje się dane z giełdy w wybranym okresie czasu. Wybór procedur tworzących program zależy od analityka, przy czym zazwyczaj ogranicza się go do podstawowych działań matematycznych, relacji większościowych oraz operatorów logicznych. Możliwe jest też zastosowanie bardziej zaawansowanych operacji, jak np. operacji trygonometrycznych czy też funkcji statystycznych. Algorytm ewolucyjny, który przetwarza struktury programistyczne dokonuje selekcji najlepszych reguł, a następnie za pomocą przekształceń wytwarza jeszcze lepsze programy. W rezultacie, powstaje zaawansowany finalny program, który automatycznie podejmuje decyzje o strategii gry na giełdzie.

Do uczenia i testowania programów w populacji wykorzystuje się zazwyczaj dane z giełdy dotyczące pewnego okresu, który dzieli się na trzy interwały<sup>38</sup>. Pierwszy z nich, nazywany interwałem *szkoleniowym*, służy do nauki programów. Pozwala na opracowanie reguł zachowania się aplikacji genetycznej na giełdzie. Następnie interwał *walidacyjny* ma za zadanie sprawdzić zachowanie osobników na nowych wartościach, a także ma pomóc w ocenie populacji i selekcji najlepszego osobnika do następnego etapu. Wreszcie realizowany jest interwał *testowania*, w którym wyselekcjonowany program jest testowany w celu sprawdzenia jego wydajności. Wyniki działalności programów są zazwyczaj porównywane ze strategiami biznesowymi w celu sprawdzenia ich przydatności. Najczęściej jest to strategia „kup i trzymaj”<sup>39</sup>, ale mogą to być bardziej zaawansowane metody autoregresji<sup>40</sup>. Pomimo, iż badania pokazują zalety programowania genetycznego w takim porównaniu, to dostępne są publikacje, w których ocenia się, że metoda ta się nie sprawdziła. Skuteczność programowania genetycznego dla finansów w dużej mierze zależy od doboru danych uczących. Programy bez

<sup>36</sup> Bechler A., *Porównanie efektywności sieci neuronowych i modeli ekonometrycznych we wspomaganie decyzji kredytowych*, Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych, StatSoft Polska, Kraków 2003, s. 28

<sup>37</sup> Pruitt SW, White RE. *The CRISMA trading system: who says technical analysis can't beat the market?* Journal of Portfolio Management, 1988, Vol. 14, p. 57.

<sup>38</sup> Chen S.-H., Kuoand T.-W. Hoi K.-M.: *Genetic Programming and Financial Trading: How Much about "What we Know"*. In: 4th NTU International Conference on Economics, Finance and Accounting, April 2006, s. 2-11, 29-32.

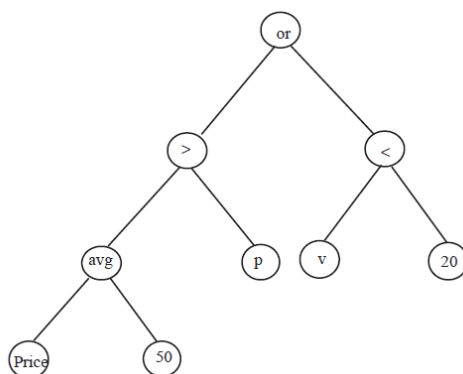
<sup>39</sup> Schwaerzel R.: *Financial Time Series Prediction and Evaluation by Genetic Programming with Trigonometric Functions and High-Order Statistics*. Ph.D. Dissertation. The University of Texas at San Antonio. Advisor(s) Tom Bylander 2006.

<sup>40</sup> Svangard, N.; Nordin, P.; Lloyd, S.; Wihlborg, C.: *Evolving short-term trading strategies using genetic programming*. Proc. of the Congress on Evolutionary Computation, vol. 2, 2002, pp. 2006-2010.

adekwatnych wzorców zachowują się nieprzewidywalnie w nowych sytuacjach, a w konsekwencji wypadają gorzej wobec innych rozwiązań.

Potvin, Soriano i Vall zaproponowali programowanie genetyczne do opracowania reguł podejmowania decyzji podczas dynamicznie zmieniających się warunków na giełdzie. Ponieważ analiza techniczna ma na celu opracowanie reguł sprzedaży akcji do wykorzystania w krótkim terminie, to może być realną alternatywą do podejścia, w którym aktywa są przechowywane w stosunkowo długim okresie czasu. Klasyczne podejście typu *buy-and-hold* może być stosowane, jeśli firma i jej sektor działalności oceniane są obiecująco, wówczas inwestor kupuje akcje tej firmy i trzyma swoje aktywa w stosunkowo długim okresie czasu, a sprzedaje wówczas, kiedy osiągnie zamierzony zysk<sup>41</sup>.

Programowanie genetyczne wytwarza reguły *kupna-sprzedaży*, które mogą się uaktywniać w wypadku spełnienia określonych warunków. Przykładowo reguła na rysunku 2 generuje decyzję „kupić”, jeśli średnia cena akcji zadanego przedsiębiorstwa w ciągu ostatnich 50 dni jest większa niż aktualna jej cena lub też wielkość aktualnej transakcji jest mniejsza niż 20 akcji. W przeciwnym wypadku akcje należy sprzedać. Jeśli reguła podejmuje decyzję o kupnie, to istotna jest jeszcze możliwość zrealizowania transakcji, która może być „open” lub „close”. W wypadku kupna akcji opcja powinna być ustawiona przez inwestora na „open”, a podczas sprzedaży na „close”. Oczywiście rozpatrywana reguła nie może być stosowana w każdym przypadku. Dlatego też w programowaniu genetycznym oceniane są wyznaczone reguły wg preferencji inwestora, które są związane zazwyczaj z kompromisem między dynamiką osiągania zysku a ponoszonym ryzykiem.



Rysunek 2. Przykładowa reguła *kupna* akcji na giełdzie

## 7. Inteligentne agenty programistyczne

Sztuczna inteligencja stosowana jest w grach komputerowych w oparciu o modele zachowań, co stało się inspiracją do analogicznych zastosowań w systemach finansowych. Agenty programistyczne wykorzystywane są najczęściej w dwóch obszarach: do symulacji zjawisk zachodzących na rynkach kapitałowych oraz do wspomagania decyzji podejmowanych na giełdach. Systemy agentowe posiadają zestaw cech, dzięki którym sprawdzają się w modelowaniu zjawisk. Niektóre z tych cech w wyjątkowy sposób wpisują się w wymagania związane z analizą rynków kapitałowych, czyniąc to podejście szczególnie efektywnym<sup>42</sup>.

<sup>41</sup> Potvin J.-Y., Soriano P., Vall M.: *Generating trading rules on the stock markets with genetic programming*. Computers & Operations Research, Vol. 31, 2004, pp. 1033–1047.

<sup>42</sup> Henley W.E., Hand D.J.: *A k-nearest-neighbour classifier for assessing consumer credit risk*, The Statistician, Vol. 45, Issue 1, 1996, p. 77.

Agenty wirtualne powinny podejmować decyzje finansowe, uwzględniając preferencje swoich właścicieli w zakresie dążenia do osiągnięcia zysku i zachowań ostrożnościowych. Zakłada się, że skłonność do podjęcia ryzyka zależy od osobowości inwestora, a zatem wirtualny agent, który go reprezentuje w systemie finansowym powinien się zachowywać podobnie. Te psychologiczne aspekty odróżniają agenty od innych podejść.

Agentom przypisuje się zdolność do działania w warunkach niepewności. Algorytmy i architektury opisujące zachowania agentów, takie jak *belief-desire-intention*, architektury warstwowe, czy też oparte na drzewach zachowań, pozwalają na podejmowanie decyzji przy niekompletnej wiedzy. Niektóre z nich cechują się zorientowaniem akcji agenta na określone cele. Na drodze do ich osiągnięcia wykonywane mogą być działania reaktywne – w odpowiedzi na zmiany zachodzące w środowisku, a także działania proaktywne – niewymagające zewnętrznej motywacji<sup>43</sup>.

Odpowiada to sytuacji na parkietach finansowych, gdzie liczba czynników wpływających na aktualne trendy przekracza możliwości kompletnej analizy, a decyzje podejmowane są w warunkach niepewności. Każda operacja jest równocześnie ukierunkowana na cel, jakim jest zazwyczaj zysk. Rynek kapitałowy modelowany jest jako zbiór autonomicznych podmiotów, z których każdy ma ten sam cel. Możliwość modelowania interakcji między rywalizującymi agentami ułatwia symulację i analizę zachodzących zjawisk. Uwzględnia się także strategie: kooperacji i negocjacji agentów.

Istotną cechą agentów programistycznych jest możliwość działania w dynamicznym środowisku i adaptacja do szybko zachodzących zmian.<sup>44</sup> Drzewa zachowań, poza zorientowaniem na cel agenta, pozwalają na nadawanie różnym zachowaniom priorytetów, które mogą zmieniać się w trakcie działania aplikacji. Dekompozycja strategii agenta do postaci atomowych zachowań, grupowanych w poddrzewach, z których każde służy pewnemu celowi, dodatkowo ułatwia reagowanie na zachodzące zmiany i modyfikację aktualnych intencji.<sup>45</sup>

Symulacja parkietów finansowych z użyciem agentów pozwala na weryfikowanie, w jaki sposób zachowa się rynek w odpowiedzi na określone wydarzenia. W szczególności pozwala na predykcję wpływu zmian stóp procentowych na gospodarkę albo określenie reakcji na zachodzące na rynku sytuacje wyjątkowe bez zagrożenia stabilności rzeczywistego systemu finansowego<sup>46</sup>.

Z drugiej strony symulacja sytuacji rynkowej pozwala na przewidywanie trendów i opracowanie rekomendacji dotyczących transakcji<sup>47</sup>. Co więcej, agenty mogą zostać wprowadzone do rzeczywistego systemu, aby na podstawie rekomendacji automatycznie wykonywać operacje w imieniu inwestorów<sup>48</sup>. Komputerowy agent przewyższa przecież człowieka-inwestora pod względem długości czasu pracy oraz czasu reakcji, które często są kluczowe dla powodzenia transakcji. Potrafi także kupić, a następnie sprzedać akcje w ułamku sekundy.

<sup>43</sup> Wooldridge M.: *Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, June 2002, p. 223.

<sup>44</sup> Leyton-Brown K., Shoham Y.: *Multiagent Systems: Algorithmic, Game- Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press, 2008, p. 73.

<sup>45</sup> Kaminsky G. L., Reinhart C. M.: *The twin crises: the causes of banking and balance-of-payments problems*. American Economic Review, vol. 89, no. 3, 1999, p. 477.

<sup>46</sup> Bosse T., Siddiqui G.F., Treur J.: *Supporting Financial Decision Making by an Intelligent Agent Estimating Greed and Risk*. Proc. the IEEE/WIC/ACM Int. Conf. on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, vol. 3, Aug. 31-Sept. 3 2010, p. 367.

<sup>47</sup> Majer I.: *Application scoring: logit model approach and the divergence method compared*, Department of Applied Econometrics, Working Paper, No. 10-06, 2006, p. 21.

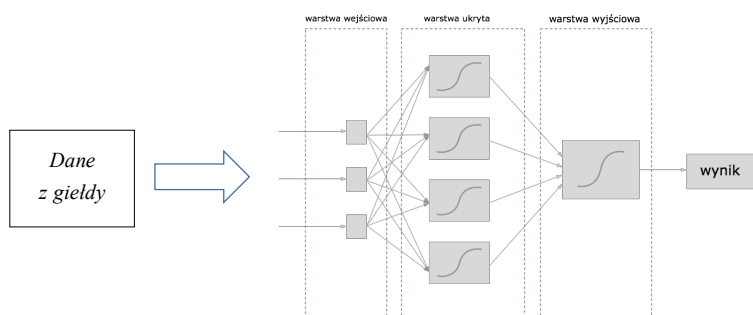
<sup>48</sup> Pandey V., Wee-Keong Ng, Ee-Peng Lim: *Financial advisor agent in a multi-agent financial trading system*. Proc. 11th Int. Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2000, p. 487.



## 8. Sztuczne sieci neuronowe do wspomagania inwestycji giełdowych

Oprócz programowania genetycznego oraz inteligentnych agentów, sztuczne sieci neuronowe (ANN, od ang. *Artificial Neural Networks*) stosowane są także do wspomagania inwestycji giełdowych. Z reguły aplikacje neuronowe używane są jako jedna z wielu platform doradczych, co szeroko opisał w swojej pracy *Gately*<sup>49</sup>. ANN są uczone w oparciu o dane historyczne, które dostępne są w ramach analizy technicznej<sup>50</sup>.

Klasyczna sieć jednokierunkowa złożona jest zazwyczaj z trzech warstw neuronów: wejściowej, ukrytej i wyjściowej (rys. 3). Sieci wielowarstwowe pozwalają na przewidywanie wartości badanych cech<sup>51</sup>. Predykcja może dotyczyć zarówno cech o wartościach liczbowych jak i symbolicznych. W przypadku antycypacji wartości liczbowych mówimy o regresji, natomiast w przypadku wartości symbolicznych - o klasyfikacji. Działanie sieci neuronowej polega na wykrywaniu niejawnych zależności między cechami w procesie uczenia, który wymaga dostarczenia zbioru przykładów uczących. W kontekście predykcji giełdowej mamy do czynienia ze specyficznym problemem przewidywania szeregów czasowych<sup>52</sup>.



**Rysunek 3.** Diagram jednokierunkowej sieci neuronowej do wspomagania inwestycji giełdowych

Możliwe jest uczenie z nauczycielem, kiedy na wejścia sieci podawane są dane testowe z giełdy, a następnie sieć oblicza wynik. Rezultat ten jest porównywany z wzorcowym wynikiem, co umożliwia skorygowanie wag<sup>53</sup>. Predykcja giełdowa w oparciu o dane z historycznych notowań jest trudnym zadaniem<sup>54</sup>. Przyczyną problemów jest charakterystyka danych, które w dużej mierze podlegają wpływowi czynników losowych. Zazwyczaj występują duże rozmiary zbiorów uczących. Wielkości zbiorów uczących zależą od częstotliwości pobierania danych z giełdy, która może odbywać się nawet co sekundę. Analiza tak licznych zbiorów uczących wymaga dużej mocy obliczeniowej, którą mogą zapewnić jedynie superkomputery. Z tego powodu niektórzy autorzy proponują znaczące zmniejszenie intensywności pobierania danych z giełdy<sup>55</sup>.

<sup>49</sup> Gately E. *Sieci Neuronowe. Prognozowanie finansowe i projektowanie systemów transakcyjnych*. Warszawa: WIG-Press, 1999, s. 232.

<sup>50</sup> Chaveesuk R., Srivaree-Ratana C., Smith A.E.: *Alternative neural network approaches to corporate bond rating*. Journal of Engineering Valuation and Cost Analysis, vol. 2, 1999, p. 123.

<sup>51</sup> Nazari M., Alidadi M.: *Measuring credit risk of bank customers using artificial neural network*. Journal of Management Research, vol. 5, No. 2, 2013, p. 322

<sup>52</sup> Baesens B., Setiono R., Mues C., Vanthien J.: *Using neural network rule extraction and decision tables for credit-risk evaluation*. Management Science, Vol. 49, No. 3, March 2003, pp. 317.

<sup>53</sup> Davis E. P., Karim D.: *Comparing early warning systems for banking crises*. Journal of Financial Stability, vol. 4, no. 2, 2008, p. 89.

<sup>54</sup> Srivastava R. P.: *Automating judgmental decisions using neural networks: a model for processing business loan applications*. Proceedings of the 1992 ACM Annual Conf. on Communications, p. 355.

<sup>55</sup> Demircuc-Kunt A., Detragiache E.: *Monitoring banking sector fragility: a multivariate logit approach*. World Bank Economic Review, vol. 14, no. 2, 2000, p. 287.

Bardziej realna wydaje się analiza notowań o interwale o długości jednego dnia, gdyż ceny akcji oraz instrumentów finansowych na otwarciu i zamknięciu sesji giełdowej stabilizują się. Wynika to z charakterystyki faz sesji giełdowej. W fazie przed otwarciem i przed zamknięciem można składać i anulować zlecenia kupna i sprzedaży. Transakcje realizowane są natomiast dopiero w kolejnych fazach - otwarciu i zamknięciu. Dzięki temu kurs akcji na zamknięciu i otwarciu jest mniej wrażliwy na wahania spowodowane emocjami inwestorów.

Ponadto, od każdej transakcji kupna i sprzedaży makler pobiera prowizję w wysokości około 0,3%. W konsekwencji w celu uzyskania zysku trzeba sprzedać akcje po cenie przynajmniej 0,6% większej od ceny, po której zostały zakupione. Stosunkowo wysokie prowizje maklerów wykluczają zyskowość bardzo częstych transakcji rynkowych dla instrumentów finansowych o stabilnym kursie. Z tego względu problem rozwiązują kontrakty terminowe.

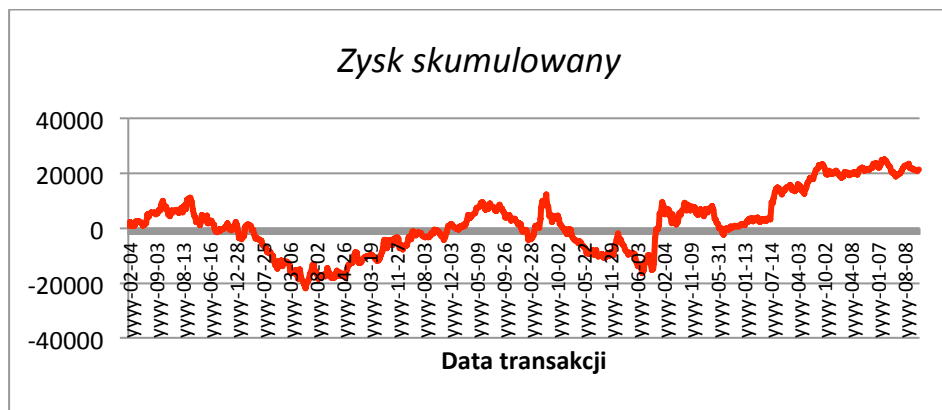
Przyjęcie utrudnia też niewielka ilość informacji w notowaniach. Notowania dostarczone przez Giełdę Papierów Wartościowych składają się z pięciu kolumn: cena otwarcia, najwyższa cena danego dnia, najniższa cena danego dnia, cena zamknięcia oraz wolumen obrotu. Sieć neuronowa musi opierać się na zaledwie pięciu cechach bazowych, które w dodatku w dużym stopniu zależą od czynników losowych. Zagadnienie jest o tyle trudne, że mimo potencjalnie niskiego stopnia złożoności, wynikającego z niewielkiej liczby cech, ludzki umysł nie jest w stanie go rozwiązać z wysoką skutecznością.

W ramach próby wydobycia z danych większej ilości informacji, przed wykorzystaniem ich w uczeniu sieci, należy poddać je procesowi wstępnego przetwarzania. Pierwszym krokiem jest sprowadzenie problemu do analizy szeregów czasowych. W pojedynczym przykładzie uczącym znalazły się procentowe zmiany wartości bazowych dla wybranej liczby kolejnych sesji giełdowych. Następnie, przykłady uczące powinny być rozbudowane o wartości wskaźników giełdowych. Wskaźniki można podzielić na dwie grupy: wskaźniki zależne lub niezależne od opóźnienia.

Wskaźniki zależne od opóźnienia to takie, których parametrem jest liczba kolejnych wartości, a przykładem takiego wskaźnika jest średnia krocząca. W jej przypadku wartość opóźnienia określa, z jakiej liczby historycznych wartości obliczana jest wartość średniej. Takie wskaźniki pozwalają wyznaczyć kierunek trendu, a także pomagają przewidywać jego zmianę oraz agregować informacje z dłuższego okresu. W proponowanym modelu wskaźniki oblicza się dla każdej z wartości bazowych oraz dla opóźnień wynoszących 3, 7, 14 i 30 dni. Wyznacza się także inne wskaźniki: regresja liniowa, kierunek regresji liniowej, tempo zmian, indeks względnej stabilności, a także wykładnicza średnia krocząca. Ponadto oblicza się wskaźniki niezależne od opóźnienia: miara zbieżności i rozbieżności średnich ruchomych, indeks równowagi ceny do liczby akcji, czy oscylator *Chaikina*<sup>56</sup>.

Na rysunku 4 zobrazowano symulowaną zależność osiągniętego zysku przez neuronowy predyktor od daty przeprowadzenia transakcji. Eksperyment przeprowadzono w odniesieniu do akcji WIG20.

<sup>56</sup> Pietrzak E., Markiewicz M. (red.): *Finanse, bankowość i rynki finansowe*, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2006, s. 27.



**Rysunek 4.** Symulacja osiągnięcia skumulowanego zysku od daty przeprowadzenia transakcji<sup>57</sup>

Okres symulacji obejmuje przedział czasu od 03.01.1997 do 23.12.2014. Uczenie zachodzi na zbiorze 50 sesji giełdowych. Warto podkreślić, że nie udało się opracować strategii, która zawsze będzie wygrywała, a możemy raczej mówić o sieciach wygrywających w pewnym (raczej dłuższym) okresie czasu.

Sieci neuronowe wykorzystywane są także do optymalizacji portfela akcji, gdyż sprawdziły się do optymalizacji kombinatorycznych problemów NP-trudnych<sup>58</sup>. Wśród zadań związanych z działalnością finansową, dla których udało się zastosować wspomaganie oparte o sztuczne sieci neuronowe, można wymienić analizę zdolności kredytowej klientów banków<sup>59</sup>, analizę ryzyka związanego z udzieleniem kredytu hipotecznego<sup>60</sup>, budowanie strategii ofertowych, prognozowanie wartości indeksów<sup>61</sup> i kierunków trendów na giełdzie, określenie klas ryzyka giełdowych instrumentów finansowych, wykrywanie regularności w zmianach cen instrumentów finansowych oraz prognozowanie bankructw i upadłości firm<sup>62</sup>.

Z reguły efektywnego rozwiązania finansowego nie można przewidzieć za pomocą modelu matematycznego. Wpływ czynnika losowego – brany pod uwagę w wielu modelach – jest zazwyczaj zbyt silny. Sieci neuronowe nie zawierają żadnego założenia *a priori* dotyczącego opisywanego zjawiska. Z tego powodu mogą identyfikować lokalne zaburzenia rynku czy też zależności występujące przez krótki czas na rynkach finansowych<sup>63</sup>.

Alternatywnym sposobem stosowania systemów wspomagających inwestycje giełdowe jest implementacja wirtualnych maklerów do automatycznego wykonywania transakcji na rynku. Automatycznych systemów transakcyjnych używa się podczas bardzo intensywnej wymiany walorów (ang. *High Frequency Trading* HFC), obejmującej tysiące transakcji podczas jednej sesji. Zazwyczaj w takich systemach stosuje się właśnie algorytmy oparte o sztuczne sieci neuronowe. Do 1998 roku inwestor mógł posiadać akcje przez kilkanaście

<sup>57</sup> Gis A.: *Wielowątkowa aplikacja wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe i algorytm roju do predykcji na giełdzie*. Praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2015, s. 97.

<sup>58</sup> Staniec I., *Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych i wybranych metod statystycznych do wspomaganie decyzji kredytowych*, Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych II, StatSoft Polska, Kraków 2003, s. 20.

<sup>59</sup> Yobas M.B., Crook J.N., Ross P.: *Credit scoring using neural and evolutionary techniques*. IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry, Vol. 11, 2000, p. 112.

<sup>60</sup> Zan H. et al.: *Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study*. Decision Support Systems, vol. 37, 2004, ss. 543–558.

<sup>61</sup> *Benchmark z danymi kredytowymi*, <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog+%28German+Credit+Data%29>, dostęp: 2.09.2015.

<sup>62</sup> Brown C.: *Technical Analysis for the Trading Professional, Second Edition: Strategies and Techniques for Today's Turbulent Global Financial Markets*, The McGrawHill Companies, New York 2011, s. 226.

<sup>63</sup> Oet M., Eiben R., Bianco T., Gramlich D., Ong S., Wang J.: *SAFE: an early warning system for systemic banking risk*. Proc. of the 24th Australasian Finance and Banking Conference, SSRN, 2011, p. 243.

sekund, po czym je sprzedawał. Obecnie na ważniejszych giełdach można być właścicielem akcji przez mili-, a nawet mikrosekundy.

Jednakże ryzyko związane z bardzo intensywnym prowadzeniem działalności inwestycyjnej jest dużo większe. Przekonała się o tym firma *Knight Capital Group*, broker na amerykańskim rynku akcji, która ze względu na błąd w ich automatycznym systemie transakcyjnym *HFC* podczas sesji na nowojorskiej giełdzie 1 sierpnia 2012 straciła 440 milionów dolarów w 30 minut<sup>64</sup>.

W celu prognozy kursów akcji zdobywane są informacje o firmach w różny sposób. Nowoczesne metody wykorzystują wiadomości o firmach w elektronicznym formacie tekstowym, które są dostępne z wielu źródeł, w tym od komercyjnych dostawców, takich jak *Bloomberg*, publicznych serwisów informacyjnych, czy serwisów społecznościowych, takich jak *Twitter*. Aplikacje mogą identyfikować nazwy firm, słowa kluczowe, a także semantykę wiadomości. Docelowo planuje się wykorzystać podejście oparte na regułach działania superkomputera *IBM Watson*.

Zaprezentowane w artykule wybrane metody sztucznej inteligencji nie wyczerpują ogromnego potencjału zastosowań innych metod sztucznej inteligencji w systemach finansowych. Przykładowo za pomocą algorytmu harmonicznego możliwe jest znaczące skrócenie czasu reakcji systemu bankowego *online*, co umożliwia istotny wzrost wydajności, redukcję kosztów oraz zwiększenie odporności systemu na ataki hakerskie. Z kolei na usprawnienie i zwiększenie bezpieczeństwa transakcji internetowych wpływa zastosowanie nowszych generacji zbliżeniowych kart mikroprocesorowych. Warto także podkreślić znaczenie wieloprocessorowych kart graficznych do implementacji złożonych modeli ekonometrycznych.

## Zakończenie

W artykule zaproponowano wykorzystanie infrastruktury superkomputerów wirtualnych do obliczeń inteligentnych w finansach. W szczególności scharakteryzowano system walutowy *Bitcoin*. Zaproponowano programowanie genetyczne do implementacji inteligentnych agentów, które mogą realizować transakcje finansowe. Ponadto, doprecyzowano zastosowania sieci neuronowych do inwestycji giełdowych.

Interesującym kierunkiem dalszych badań jest opracowanie metody wektorów nośnych do szacowania wartości papierów dłużnych i oceny ryzyka sektora bankowego. Zbudowanie krajowego systemu wczesnego ostrzegania dla bankowości w oparciu o zaawansowane metody sztucznej inteligencji zaimplementowane na superkomputerze zwiększy poziom bezpieczeństwa rynku finansowego, a także wytworzy niezbędny obszar na decyzje łagodzące skutki kryzysów bankowych w przyszłości. Ponadto, ważnym problemem jest zastosowania sztucznych sieci neuronowych nie tylko do inwestycji giełdowych, ale także do badania wiarygodności potencjalnych kredytobiorców, co może być także zrealizowane za pomocą metod ewolucyjno-neuronowych.

## Bibliografia

1. Abe Y. et al.: *Power and performance analysis of GPU-accelerated systems*. Proc. of the 2012 USENIX Conf. on Power-Aware Computing and Systems (HotPower'12), USENIX Association, Berkeley, USA, 2012, pp. 10-18
2. Aldrich E., Fernández-Villaverde M., Gallant J.R., Rubio-Ramírez A., Juan F.: *Tap-ping the supercomputer under your desk: Solving dynamic equilibrium models with*

<sup>64</sup> <http://www.bloomberg.com/bw/articles/2012-08-02/knight-shows-how-to-lose-440-million-in-30-minutes>

- graphics processors*, Journal of Economic Dynamics and Control, Elsevier, vol. 35(3), 2011, pp. 386-393
3. Baesens B., Setiono R., Mues C., Vanthien J.: *Using neural network rule extraction and decision tables for credit-risk evaluation*. Management Science, Vol. 49, No. 3, March 2003, pp. 312–320
  4. Balicka H., Balicki J., Korłub W., Paluszak J., Pastewski M., Przybyłek P., Zadroga M., Zakidalski M.: *Metody sztucznej inteligencji do wspomagania bankowych systemów informatycznych*. W: K. Kreft, D. Wach, J. Winiarski (red.): Systemy informatyczne w gospodarce. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, ss. 125-138
  5. Balicka H., Balicki J., Korłub W., Paluszak J., Zadroga M.: *Superkomputery do wspomagania procesów gospodarczych ze szczególnym uwzględnieniem sektora bankowego*. Współczesna Gospodarka, Vol. 4, Issue 5, 2014, ss. 1-15
  6. Balicki J., Beringer M., Korłub W., Przybyłek P., Tyszka M., Zadroga M.: *Collective citizens' behavior modelling with support of the Internet of Things and Big Data*. Proceedings of the 8th International Conference on Human-System-Interaction HSI'2015, Warsaw, Poland, June 25-27, 2015, pp. 61-67
  7. Balicki J., Korłub W., Paluszak J.: *Big data processing by volunteer computing supported by intelligent agents*. Proc. of 6th International Conference, PReMI 2015, Warsaw, Poland, June 30 - July 3, 2015, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9124, pp. 268-278
  8. Balicki J., Korłub W., Tyszka M.: *Harmony search to self-configuration of fault-tolerant grids for big data*. In: Z. Kowalczyk: Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 386, 2016, pp. 411-424.
  9. Balicki J., *Multi-criterion decision making by artificial intelligence techniques*. Proc. on the 8th Int. Con. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases, February 2009, Cambridge, pp. 319-324
  10. Balicki J., Przybyłek P., Zadroga M., Zakidalski M.: *Sztuczne sieci neuronowe oraz metoda wektorów wspierających w bankowych systemach informatycznych*. Współczesna Gospodarka, Vol. 4, 2013, ss. 1-14
  11. Balicki J., Szymański J., Kępa M., Draszawka K., Korłub W.: *Improving effectiveness of svm classifier for large scale data*. Proceedings on 14th International Conference, ICAISC 2015, Zakopane, Poland, June 14-18, 2015, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9119, pp. 675-686
  12. Bandi N., Sun C., Agrawal D., El Abbadi A.: *Hardware acceleration in commercial databases: A case study of spatial operations*, 2004, pp. 1021–1032
  13. Bechler A., *Porównanie efektywności sieci neuronowych i modeli ekonometrycznych we wspomaganiu decyzji kredytowych*, Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych, StatSoft Polska, Kraków 2003
  14. Bosse T., Siddiqui G.F., Treur J.: *Supporting financial decision making by an intelligent agent estimating greed and risk*. Proc. the IEEE/WIC/ACM Int. Conf. on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, vol. 3, Aug. 31-Sept. 3 2010, pp. 365-370
  15. Brown C.: *Technical analysis for the trading professional, Second Edition: Strategies and techniques for today's turbulent global financial markets*. The McGrawHill Companies, New York 2011
  16. Chaveesuk R., Srivaree-Ratana C., Smith A.E.: *Alternative neural network approaches to corporate bond rating*. Journal of Engineering Valuation and Cost Analysis, vol. 2, 1999, ss. 117-131

17. Chen S.-H., Kuoand T.-W. Hoi K.-M.: *Genetic programming and financial trading: How much about "What we Know"*. In: 4th NTU International Conference on Economics, Finance and Accounting, April 2006, s. 2-11, 29-32
18. Davis E. P., Karim D.: *Comparing early warning systems for banking crises*. Journal of Financial Stability, vol. 4, no. 2, 2008, pp. 89–120
19. Demirguc-Kunt A., Detragiache E.: *Monitoring banking sector fragility: a multivariate logit approach*. World Bank Economic Review, vol. 14, no. 2, 2000, pp. 287–307
20. Dziubinski M.P., Grassi S.: *heterogeneous computing in economics: A Simplified approach*, CREATES Research Papers 2012-15, School of Economics and Management, University of Aarhus, 2012
21. Frankel J. A., Rose A. K.: *Currency crashes in emerging markets: an empirical treatment*. Journal of International Economics, vol. 41, no. 3-4, 1996, pp. 351–366
22. Gately E.: *Sieci Neuronowe. Prognozowanie finansowe i projektowanie systemów transakcyjnych*. WIG-Press, Warszawa 1999
23. Gis A.: *Wielowątkowa aplikacja wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe i algorytm roju do predykcji na giełdzie*. Praca magisterska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2015.
24. Govindaraju N. K., Lloyd B., Wang W., Lin M., Manocha D.: *Fast computation of database operations using graphics processors*. Proc. of the 2004 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, June 2004, pp. 215–226
25. Hanschel E., Monnin P.: *Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland*. Investigating the Relationship between the Financial and Real Economy, BIS Papers, no. 22, 2005, pp. 431-449
26. Henley W.E., Hand D.J.: *A k-nearest-neighbour classifier for assessing consumer credit risk*, The Statistician, Vol. 45, Issue 1, 1996, pp. 75 – 95
27. Kaminsky G. L., Reinhart C. M.: *The twin crises: the causes of banking and balance-of-payments problems*. American Economic Review, vol. 89, no. 3, pp. 473–500, 1999
28. Leyton-Brown K., Shoham Y.: *Multiagent systems: algorithmic, game- theoretic, and logical Foundations*. Cambridge University Press, 2008
29. Majer I.: *Application scoring: logit model approach and the divergence method compared*, Department of Applied Econometrics, Working Paper, No. 10-06, 2006
30. Mylonakis J., Diacogiannis G.: *Evaluating the likelihood of using linear discriminant analysis as a commercial bank card owners credit scoring model*. International Business Research, Vol. 3, No. 2, 2010
31. Nazari M., Alidadi M.: *Measuring credit risk of bank customers using artificial neural network*. Journal of Management Research, vol. 5, No. 2, 2013
32. Oet M., Eiben R., Bianco T., Gramlich D., Ong S., Wang J.: *SAFE: an early warning system for systemic banking risk*. Proc. of the 24th Australasian Finance and Banking Conference, SSRN, 2011
33. Pandey V., Wee-Keong Ng, Ee-Peng Lim: *Financial advisor agent in a multi-agent financial trading system*. Proc. 11th Int. Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2000, pp. 482-486
34. Pietrzak E., Markiewicz M. (red.): *Finanse, bankowość i rynki finansowe*, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2006
35. Potvin J.-Y., Soriano P., Vall M.: *Generating trading rules on the stock markets with genetic programming*. Computers & Operations Research, Vol. 31, 2004, pp. 1033–1047
36. Pruitt SW, White RE. *The CRISMA trading system: who says technical analysis can't beat the market?* Journal of Portfolio Management 1988;14:55–8

37. Schwaerzel R.: *Financial time series prediction and evaluation by genetic programming with trigonometric functions and high-order statistics*. Ph.D. Dissertation. The University of Texas at San Antonio. Advisor(s) Tom Bylander 2006
38. Shouwei L., Mingliang W., Jianmin H.: *Prediction of banking systemic risk based on support vector machine*. Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2013, April 2013, s. 5-12
39. Solomon S.: *Option pricing on the GPU*, High Performance Computing and Communications, 2010, pp. 223-234
40. Srivastava R. P.: *Automating judgmental decisions using neural networks: a model for processing business loan applications*, Proceedings of the 1992 ACM annual conference on Communications, pp. 351-357
41. Staniec I., *Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych i wybranych metod statystycznych do wspomagania decyzji kredytowych*, Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych II, StatSoft Polska, Kraków 2003, s. 20
42. Svangard N., Nordin P., Lloyd S., Wihlborg C.: *Evolving short-term trading strategies using genetic programming*. Proc. of the Congress on Evolutionary Computation, vol. 2, 2002, pp. 2006-2010
43. Wooldridge M.: *Introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, June 2002
44. Yobas M.B., Crook J.N., Ross P.: *Credit scoring using neural and evolutionary techniques*. IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry, Vol. 11, 2000, pp. 111-125
45. Zan H. et al.: *Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study*. Decision Support Systems, vol. 37, 2004, ss. 543-558
46. Benchmark z danymi kredytowymi,  
<http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Statlog+%28German+Credit+Data%29>, dostęp: 2.09.2015.
47. Bitcoin.org, <https://bitcoin.org/en/>, dostęp: 11.02.2015
48. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, dostęp 12.02.2015
49. *EBA warns consumers on virtual currencies*, <http://www.eba.europa.eu/-/eba-warns-consumers-on-virtual-currencies>, dostęp 11.02.2015
50. *Eurostat*. <http://ec.europa.eu/eurostat/>, dostęp: 17.02.2015
51. Forbes, <http://www.forbes.com/sites/techonomy/2014/08/07/bitcoin-momentum-grows-in-emerging-markets/>,dostęp 11.02.2015
52. *How do Bitcoin Transactions Work*. <http://www.coindesk.com/information/how-do-bitcoin-transactions-work/>, dostęp 11.02.2015
53. *How does Bitcoin work*. <https://bitcoin.org/en/how-it-works>, dostęp: 11.02.2015
54. Knight shows how to lose 440 million in 30 minutes,  
<http://www.bloomberg.com/bw/articles/2012-08-02/knight-shows-how-to-lose-440-million-in-30-minutes>, dostęp: 20.02.2015r.
55. *Mining hardware comparison*, [https://litecoin.info/Mining\\_hardware\\_comparison](https://litecoin.info/Mining_hardware_comparison), dostęp 12.02.2015
56. NBP: *Raport na temat pełnego uczestnictwa RP w trzecim etapie Unii Gospodarczej i Walutowej*, [http://www.nbp.pl/Publikacje/O\\_Euro/RE1.pdf](http://www.nbp.pl/Publikacje/O_Euro/RE1.pdf), dostęp: 29.11.2015
57. NUMTECH: *GPGPU and financial business*.  
<http://www.numtech.co.jp/files/documents/seminar/20101019/20101019E.pdf>, dostęp: 20.11.2014



58. NVIDIA: *Computational Finance*,  
[http://www.nvidia.com/object/computational\\_finance.html](http://www.nvidia.com/object/computational_finance.html), dostęp: 12.11.2015
59. *Specyfikacja Bitcoin*. <http://nakamotoinstitute.org/bitcoin/>, dostęp: 11.02.2015.
60. *TOP 500 The List*, <http://www.top500.org/>, dostęp: 12.11.2015

## SOME PARADIGMS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FINANCIAL COMPUTER SYSTEMS

### Summary

The article discusses some paradigms of artificial intelligence in the context of their applications in computer financial systems. The proposed approach has a significant potential to increase the competitiveness of enterprises, including financial institutions. However, it requires the effective use of supercomputers, grids and cloud computing. A reference is made to the computing environment for *Bitcoin*. In addition, we characterized genetic programming and artificial neural networks to prepare investment strategies on the stock exchange market.

Keywords: financial information systems, paradigms of artificial intelligence, genetic programming, artificial neural networks

dr hab. inż. Jerzy Balicki, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Matematyki i Nauk Informatycznych  
Zakład Strukturalnych Metod Przetwarzania Wiedzy  
00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75  
e-mail: J.Balicki@mini.pw.edu.pl