

Halina Kwaśnicka, dr hab. inż.
Wydziałowy Zakład Informatyki
Politechnika Wroclawska, Wrocław

SZTUCZNA INTELIGENCJA – MEANDRY PRZESZŁOŚCI I KIERUNKI DALSZEGO ROZWOJU

Streszczenie

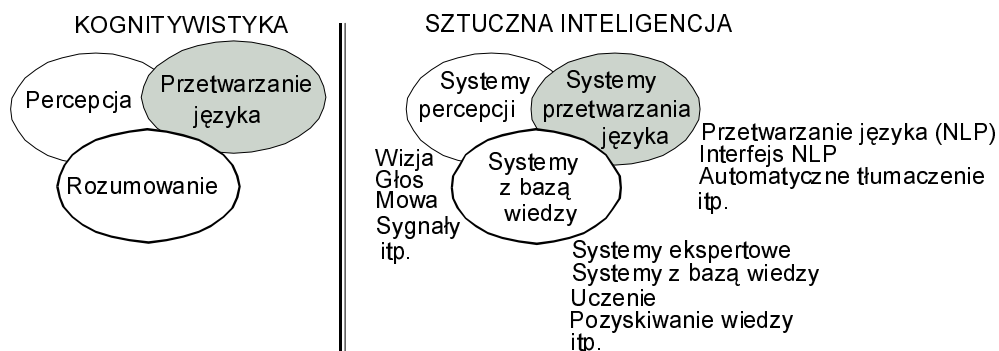
Sztuczna inteligencja to dziedzina, która wciąż wzbudza kontrowersje. Niezależnie od filozoficznych dyskusji na temat, czy maszyna może być inteligentna, w ostatnich latach obserwuje się wzrost zastosowań systemów informatycznych, w których zawarta jest inteligencja wzorowana na inteligencji człowieka. Niniejsze opracowanie prezentuje, z konieczności bardzo krótko, dotychczasowy rozwój sztucznej inteligencji oraz wyłaniający się nowy paradygmat – hybrydyzacja różnych technik, połączenie symbolicznego i numerycznego przetwarzania, mniej reprezentacji wiedzy.

1. Wprowadzenie

Mówiąc – w ujęciu historycznym i perspektywicznym – o sztucznej inteligencji (skrót **AI**, od ang. *Artificial Intelligence*) należałoby rozpocząć od próby jej zdefiniowania. Wg Encyklopedii PWN, *sztuczna inteligencja jest to rozwiązywanie problemów sposobami wzorowanymi na naturalnych działaniach i procesach poznawczych człowieka za pomocą symulujących je programów komputerowych*. R.I. Schalkoff [14] definiuje szeroko sztuczną inteligencję jako *dziedzinę badań, które usiłują wyjaśnić i naśladować zachowanie inteligentne w terminach procesów obliczeniowych*. Widać tu interdyscyplinarną naturę **AI**: nie jest ona czystą nauką (część objaśniająca) ani tylko podstawą nowatorskiej, inżynierskiej dyscypliny (część emulacyjna). Oba punkty widzenia obejmuje stwierdzenie, iż *celem AI jest zrozumienie inteligencji, aby możliwe było wykorzystanie jej do prowadzenia obliczeń*.

Można znaleźć wiele definicji sztucznej inteligencji [11,7,12,14], jednakże wszystkie one mówią o tym, iż *AI jest próbą modelowania aspektów ludzkiego rozumowania (myślenia) za pomocą komputerów, czy też próbą rozwiązywania za pomocą komputera takich problemów, które człowiek rozwiązuje szybciej*. Termin *Artificial Intelligence* zaproponował J. McCarty w 1956 roku, na konferencji w Dartmouth [18].

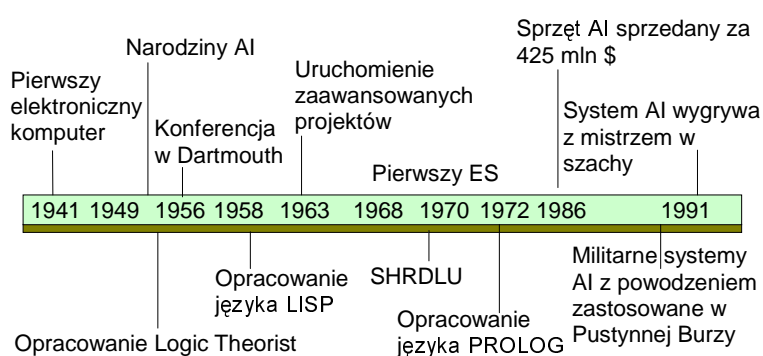
Jak wynika z powyższych definicji, **AI** to szeroka dziedzina. W podręcznikach można spotkać różne jej podziały na poddziedziny [10,13,6]. B.H. Far [6] dzieli **AI** w analogii do kognitywistyki (rys. 1). W związku z brakiem powszechnie uznanego podziału sztucznej inteligencji na poddziedziny, uzasadnione wydaje się uwzględnianie dwóch kryteriów: (1) klasę zadań rozwiązywanych w ramach szeroko rozumianej **AI** (zastosowania), np. w [13], oraz (2) stosowaną technikę np. w [11].



Rysunek 1. Odpowiadające sobie subdyscypliny kognitywistyki¹ i AI

2. Rozwój sztucznej inteligencji – ujęcie historyczne

Początków sztucznej inteligencji można upatrywać nawet u starożytnych filozofów, kiedy to 1000 lat p.n.e. astrologowie badali wzajemne relacje w systemie planetarnym w trzech ortogonalnych wymiarach [2]. Arystoteles (300 lat p.n.e.) – znaczenie i sens człowieczeństwa, Descartes (1637) – myślę, więc jestem, to podwaliny filozofii, na której również opiera się AI. Bliższy dzisiejszej AI jest Charles Babbage (1792-1871) – możliwość wykorzystania „Mechanizmu Analitycznego” do gry w szachy.



Rysunek 2. Wybrane wydarzenia z rozwoju AI

Rys. 2. pokazuje schemat wybranych wydarzeń w rozwoju AI (m.in. na podstawie [1, 2, 5, 7, 17, 18]). Lata 50. naszego stulecia w rozwoju AI nazywane bywają *średniowieczem* [5] lub – okresem *sieci neuronowych* [7]. W 1943r. McCulloch i

Pitts zaproponowali, by inteligencję tworzyć za pomocą architektury sieci neuronowych (NN). W 1950 r. A. Turing (1912-1954) zaproponował tzw. *test Turinga*, pozwalający stwierdzić, czy dany program jest inteligentny. Ideę tego testu pokazuje rys. 3. Norbert Wiener (1948) głosił teorię, wg której każde inteligentne zachowanie jest wynikiem mechanizmów sprzężenia zwrotnego (które mogą być symulowane na maszynach). System *The Logic Theorist* (1955r., Newell, Simon) przez wielu jest uznawany za pierwszy program AI. Na uwagę zasługują prace Chomsky’ego (*Syntactic Structures*) nad rozumieniem języka naturalnego.

¹ *Nauki Kognitywne* to badania nad procesami poznawczymi człowieka. Obejmują psychologię poznawczą, neurofizjologię, fizykę umysłu, lingwistykę kognitywną, logikę, informatykę, filozofie umysłu i kilka innych dyscyplin. W. Duch, <http://www.uni.torun.pl/~cogsci/coto.html>



Rysunek 3. Idea „Testu Turinga”

Dalej badania idą w kierunku tworzenia efektywnego rozwiązywania problemów poprzez ograniczanie przeszukiwań GPS (*The General Problem Solver*, 1957r.). Równocześnie prowadzone są prace nad imitacją mózgu – rozwojem NN, kluczowy system to PERCEPTRON (Rosenblatt, 1959r.).

Lata 60. to wiek *rozumowania* lub *heurystycznych przeszukiwań*. Pionierami tego podejścia są A. Newell i H. Simon, którzy szczególnie nacisk kładli na heurystyczne poszukiwanie. Początek dekady to dobry okres dla AI. W 1963 r. ARPA² przeznaczyła dużą kwotę dla MIT na prace w dziedzinie AI. Późniejsze lata są gorsze, zwłaszcza rok 1966 – trudności z maszynowym tłumaczem, 1969r. – obcięcie finansów na badania w zakresie NN. Kolejna dekada, to *okres romantyczny* lub *‘wiedza jest siłą’*. To, co ludzki specjalista ma, to *‘know-how’*. Jako karykatura ludzkiego eksperta zrodził się *system ekspertowy (ES)*. Rok 1972 jest podobny do 1966: dotychczasowe niepowodzenia (przy nadmiernych oczekiwaniach) oraz ostra krytyka Dreyfus’a³ i innych doprowadzają do znacznego obciążenia funduszy na rozwój AI (zwłaszcza w USA, przez DARPA⁴: projekt z robotyki w Stanford). W 1976r. DARPA zaprzestała finansowania badań nad rozumieniem mowy. AI miała już jednak swoich pasjonatów. Feingebaum, Lenat, i in. zintensyfikowali prace nad ES (DENDRAL, MYCIN i jego ‘klony’, PROSPECTOR). W połowie dekady nastąpił też powrót do badań nad NN, kontynuowano badania nad rozpoznawaniem obrazów. Dekada kończy się przygotowaniem do pierwszej konferencji poświęconej AI (Stanford, 1980r.). Lata 80. to *okres komercjalizacji* lub *‘systemy percepcji’*. Nastąpiło przesunięcie AI w kierunku sektora korporacji [17]. J. Hopfield ‘reanimuje’ NN. DARPA (1983r. Strategic Computing Initiative) przeznacza dla AI 600mln dolarów na pięć lat. Prace Minsky’ego i Marr’a pozwoliły na rozwój systemów wizyjnych. W latach 1986-87 zapotrzebowanie na systemy z AI znacznie spadło. Rozczarowania dostarczył projekt „smart truck” finansowany przez DARPA, w 1989r. cofnięto finansowanie. Mimo to AI powoli odzyskiwała siły. W czasie operacji „Pustynna Burza” amerykańska armia przetestowała sprzęt z AI. Wzrastało również zainteresowanie produktami z AI w gospodarstwach domowych, uznane znalazły wideokamery i inny sprzęt z logiką rozmytą.

² Advanced Research Projects Agency

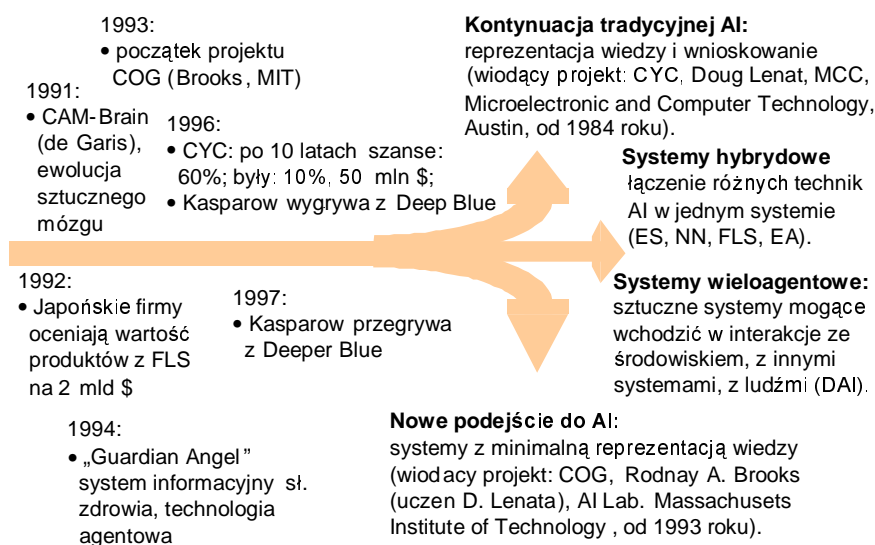
³ Dreyfus publikuje *Czego komputery nie mogą zrobić*. Mówi: Uczni w MIT skonstruowali ramię robota, ale zadanie układania klocków było zbyt trudne dla niego. Robot zaczął budowę wieży z klocków od górnego klocka, układał go na danej wysokości i puszczał. W Edynburgu komputer rozpoznaje filizankę, trwa to 10 minut. Poruszanie się i widzenie (Stanford University): 15 minut myślenia dla jednego ruchu.

⁴ Defence Advanced Research Project Agency.

Mówiąc o latach 80. nie sposób pominąć roku 1984 i Doug'a Lenat'a. W 1984r., w MCC⁵ Lenat zaczął program "CYC" (nazwa od EnCYClopedia) – tworzenie encyklopedii podstawowej wiedzy zdroworozsądkowej. Realizacja projektu miała trwać 10 lat i kosztować 50mln. dolarów. Zaczynając projekt Lenat oceniał szanse jego sukcesu na 10%, po 10 latach zwiększył je do 60%. Lata dziewięćdziesiąte – *hybrydyzacja* lub *gotyckie przebudzenie*. Historia **AI** zatoczyła koło, powracając do obliczeń neuronowych. Kontynuowane są prace nad 'komputerowym szachistą'. 17.02.1996 G. Kasparow wygrał w szachy z Deep Blue, budowanym przez 5 lat, kosztującym 2,5mln dolarów. Maj 1997r. – G. Kasparow przegrywa z Deeper Blue. W tle zaczynają pojawiać się nowe podejścia.

3. Ostatnie lata w sztucznej inteligencji – zmiana paradygmatu

Kierunki prac, jakie obserwuje się ostatnio w ramach **AI** pokazuje rys. 4. Następuje zmiana paradygmatu z obliczeń symbolicznych na połączenie obliczeń symbolicznych i numerycznych oraz na podejście zwane hasłowo 'mniej reprezentacji wiedzy'.



Rysunek 4. Obserwowane trendy rozwoju AI

Przedstawicielem kontynuacji tradycyjnego podejścia, w którym nacisk kładzie się na pozyskanie wiedzy, jej formalizację i metody przetwarzania, jest wspomniany już wcześniej projekt CYC. CYC obejmuje 6 składników:⁶ baza wiedzy (VLKB, *Very Large Knowledge Base*), mechanizm wnioskujący, język reprezentacji wiedzy (CYCL), podsystem przetwarzania języka naturalnego, szyna integracji semantycznej, zestaw narzędzi dla rozwoju systemu. Wiedza (reprezentacja ramowa) podzielona jest na mikroteorie – zbiory stwierdzeń i terminów bazujących na wspólnych

⁵ Microelectronics and Computer Technology Corporation w Austin (Cycorp, <http://www.cyc.com>).

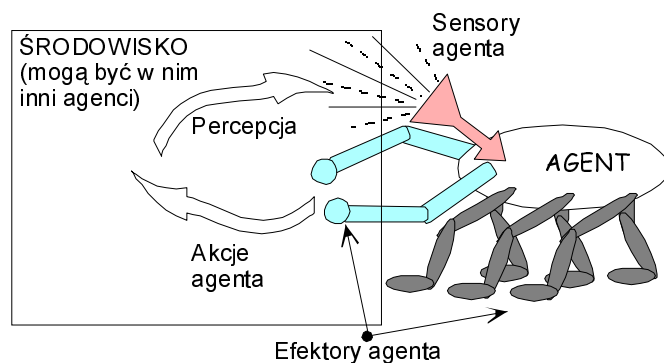
⁶ Schemat serwera wiedzy systemu CYC jest na stronie <http://www.cyc.com/products2.html>.

założeniach. Mikroteorie dzielone są na dziedziny wiedzy, poziomy szczegółowości, czy przedziały czasowe.

Hybrydowe systemy inteligentne to systemy, w których zastosowano połączone techniki logiki rozmytej (FL), obliczeń neuronowych (NN), algorytmów genetycznych (GA) i innych adekwatnych dla zadania metod, aby uzyskać wysoki maszynowy iloraz inteligencji.⁷ Są różne modele integrowania systemów inteligentnych (za [11]): (1) Pełna integracja (*full integration*) – systemy dzielą strukturę danych i reprezentację wiedzy. (2) Zwarte systemy (*tight coupling*) – niezależnie stosowane składniki (ES i NN) przekazują sobie informacje poprzez struktury danych w pamięci. (3) Luźno połączone (*loose coupling*) – są zintegrowanymi systemami, aplikacja jest dekomponowana na dwa inteligentne systemy, które komunikują się ze sobą przez pliki danych (preprocessing, itp.). (4) Oddzielne systemy (*stand alone*) – systemy działają niezależnie, możliwość porównania efektywności metod, weryfikacja rozwiązań. Ten model wymaga nadmiarowości przetwarzania. (5) Przemieniające się (*transformational*) – też niezależne systemy, jednakże tu system zaczyna się jako jeden typ, a kończy jako drugi typ. Wiele przykładów systemów hybrydowych można znaleźć w literaturze [11, 3].

Wieloagentowe systemy inteligentne składają się z pewnej liczby agentów. Agent jest to system komputerowy, umieszczony w pewnym środowisku, zdolny do *autonomicznego działania* w tym środowisku w celu osiągnięcia założeń projektowych [20]. Autonomia agenta jest rozumiana jako zdolność do działania bez interwencji ludzi bądź innych systemów oraz do kontroli swojego stanu i zachowania. *Inteligentny agent* to taki, który w celu spełnienia założeń projektowych jest zdolny do elastycznego i autonomicznego działania (rys.5). Elastyczność oznacza: (1) proaktywność – agenci podejmują inicjatywę by zrealizować cele, (2) zdolność reagowania – obserwacja środowiska i w porę odpowiadanie na zachodzące w nim zmiany, (3) zdolność do interakcji – zdolność do współdziałania z innymi agentami (także ludźmi). Mianem *agentów* określa się zarówno obiekty fizyczne (np. fizycznie zrealizowane roboty) jak i komputerowe systemy.

Systemy wieloagentowe, to systemy, w których każdy agent ma w swoim otoczeniu nie tylko środowisko, ale i innych agentów, z którymi wchodzi w interakcje. Często



Rysunek 5. Inteligentny agent

⁷ Dobrze byłoby posiadać miarę inteligencji systemów komputerowych, nie wiadomo jednak jak definiować taki maszynowy iloraz inteligencji MIQ (Machine Intelligence Quotient)

mówi się o *agentach zespołowych* – są to sztuczni uczestnicy, którzy wykonują specjalistyczne funkcje w otoczeniu grupy.

Przykładem systemu wieloagentowego jest **system zarządzający sytuacjami wyjątkowymi środowiska** [20]. Sytuacja wyjątkowa wiąże się z negatywnymi zdarzeniami, mogącymi powodować straty w ludziach i sprzęcie. Stosowanie zaawansowanych systemów z wbudowanymi technikami **AI** ułatwiłoby efektywne i bezpieczne zarządzanie. Unia Europejska popiera prace nad aplikacjami stosującymi takie właśnie podejścia w kilku projektach.⁸

Mniej reprezentacji, stopniowe uczenie się, to nowy paradygmat obecny m.in. w projekcie Rodney A. Brooks'a, rozpoczętym latem 1993r. o nazwie COG.⁹ Jego celem jest zbudowanie robota podobnego do człowieka [4]. Opierając się na badaniach, COG korzysta z czterech kluczowych aspektów ludzkiej inteligencji, są to: zdolność do rozwoju (*developmental organization*), interakcje społeczne (*social interactions*), fizyczne połączenie ducha i materii (*embodiment and physical coupling*), integracja różnych sposobów i podejść (*multimodal integration*).

4. Perspektywy sztucznej inteligencji

Zdaniem niektórych badaczy, sztuczna inteligencja jest i pozostanie w najbliższych latach „obiecującą technologią i ciągle marzeniem”.¹⁰ Problemy wynikają z dezintegracji prac w środowisku naukowym **AI** i braku dobrze sprecyzowanego celu badań. Dziedzina ta wzbudza fascynację badaczy, ale również i duże kontrowersje. W raporcie sygnowanym przez AAAI¹¹, wykonanym dla ARPA, przedstawiona jest prognoza rozwoju (na następną dekadę) inteligentnych systemów o znaczącej użyteczności dla USA. Wyróżniono 4 grupy zastosowań [8].

Inteligentna symulacja ISS (*Intelligent Simulation Systems*): Systemy generujące realistyczne, symulowane światy mogą ułatwić i poszerzyć możliwości edukacji, mogą być dostępne wszędzie i w dowolnym czasie. W nowej generacji możliwości metod symulacji wspomogą konstrukcję programów, które będą modelować złożone sytuacje, włączając zarówno urządzenia, jak i znaczącą liczbę symulowanych inteligentnych osób. Użyteczność takich systemów to od zarządzania kryzysem do oceny produktów i rozwiązań.

Inteligentne zasoby informacji IRSS (*Information-Resource Specialist Systems*): IRSS powinien zapewniać efektywne wykorzystanie szerokich zasobów krajowej infrastruktury informacyjnej. System powinien się

⁸ Np. projekt ARTEMIS w obszarze *Teleinformatyka dla Środowiska*, związany z zarządzaniem przy ulatnianiu się gazów i powodziach.

⁹ Artificial Intelligence Lab. w MIT, <http://www.ai.mit.edu/projects/cog>.

¹⁰ <http://www.cit.ics.saitama-u.ac.jp/~far/Lectures/KE2/>

¹¹ AAAI: American Association for Artificial Intelligence, ARPA: Advanced Research Project Agency.

adoptować do zmian w potrzebach użytkownika i zmian w zasobach. Powinien komunikować się z użytkownikami w zrozumiały dla człowieka sposób. Wskazane byłoby, by specjalizowane systemy komunikowały się między sobą w celu znalezienia odpowiedniej informacji.¹²

Inteligentny kreator projektów IPC (*Intelligent Project Coaches*): IPC powinien pracować przez długi czas jako członek zespołu. Taki kreator może wspomagać projektowanie złożonych urządzeń (np. samolotu) lub dużych programów komputerowych pomagając w zabezpieczaniu wiedzy o zadaniu oraz pozyskiwaniu informacji odnoszących się do problemu. Nie musi być systemem ekspertowym, powinien raczej pobudzać, wzmacniać możliwości i produktywność współpracy z ekspertami.

Zespoły robotów RT (*Robot Teams*): Zespoły inteligentnych robotów mogą wykonywać zadania, które są niebezpieczne (np. usuwanie min, gaszenie pożaru, uwolnienie zakładników), jako pomoc domowa (otwieranie drzwi, proste prace pielęgnacyjne w starzejących się społeczeństwach), lub zwykłe prace, ale żmudne dla człowieka. Wymagania w stosunku do robotów realizujących takie cele daleko wyprzedzają obecne możliwości robotów przemysłowych.

Zidentyfikowano siedem obszarów badań, które powinny umożliwić wyjście AI poza tradycyjne ograniczenia. Obejmują one zadania rozumienia fundamentalnej natury inteligencji, ludzkiej i maszynowej, potrzebne są również badania komplementarne, które nie są tu strategicznie zdefiniowane. Wyniki tych badań są trudne do przewidzenia.

Obszary badań naukowych ważne z punktu widzenia realizacji postawionych wyżej zadań, to [8]: (1) Uczenie, dostrajanie informacji i automatyczna adaptacja (2) Koordynacja percepcji, planowania i działania (3) Koordynacja i współpraca (4) Percepcja (5) Komunikacja człowiek-komputer na wiele sposobów (6) Pozyskiwanie interesującej informacji (7) Wnioskowanie i reprezentacja.

5. Podsumowanie

Pół wieku to stosunkowo długi czas, ale jak na rozwój dyscypliny naukowej, okazuje się za krótki, by powiedzieć iż jest to dziedzina o ustalonym zakresie i metodach. Kontrowersje towarzyszące odwiecznym marzeniom ludzkim – by uczynić komputer inteligentnym na wzór inteligencji człowieka, nie ustały do dziś [15].¹³ Możemy uznać mózg za

¹² Przykładem może być projekt OXYGEN, oraz GALAXY, (system Jupiter), *Rozmowa z komputerem*, Victor Zue, Świat Nauki, Nr 10, Październik 1999.

¹³ J. Searle zaprezentował w 1980 roku w *Behavioral and Brain Science*. tzw. dowód chińskiego pokoju. P. M. i P. S. Churchlandowie polemizują w: *Czy maszyna może myśleć? Klasyczna AI jest niezdolna do stworzenia myślących maszyn, lecz systemy naśladowujące mózg mogą tego dokonać*, Świat Nauki, Nr 1, 1991. H.L. Dreyfus, *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*, New York, 1972. Tematyka możliwości sztucznej inteligencji jest ciekawie przedstawiona w pracy *Artificial Intelligence and Creativity*, Terry Dartnall (Ed). Seria *Studies in Cognitive Systems*, Kluwer Academic Pub., 1994.

pewien rodzaj komputera, ale większość jego funkcji nadal oczekuje na zbadanie. Test Turinga jest już dość powszechnie odrzucany jako narzędzie wystarczające do sprawdzenia *świadomej* inteligencji.

W [9] można znaleźć opinie wielu znanych badaczy **AI** na temat jej rozwoju. Pokazują one, że nadal **AI** nie jest pozbawiona kontrowersji.

Konferencja na temat SZTUCZNEJ INTELIGENCJI, mająca w podtytule hasła BADANIA, ROZWÓJ, ZASTOSOWANIA, może jest dobrą okazją, by rozpocząć dyskusję nad miejscem sztucznej inteligencji w Polsce: w badaniach i zastosowaniach. Warto zastanowić się, czy potrzebne są badania, na wzór tych przeprowadzonych dla ARPA [8]. Takie badania, poza pewnego rodzaju inwentaryzacją stanu aktualnego, dałyby odpowiedź na następujące pytania: czy w Polsce jest zainteresowanie wytwarzaniem produktów zawierających techniki sztucznej inteligencji, ewentualnie, kto jest tym zainteresowany? Czy potrzebne są badania podstawowe w tym zakresie? Jakie są możliwości (w tym kadra, finanse) takich badań? Jakie są perspektywy w tej dziedzinie?

LITERATURA

- [1] AI timeline. <http://www.robotwisdom.com/ai/timeline.html>.
- [2] AI timeline. <http://www.robotwisdom.com/ai/prehistory.html>.
- [3] BONISSONE P., CHEN YO-TO, GOEBEL K., KHEDKAR P.,S.: Hybrid Soft Computing Systems: Industrial and Commercial Applications. Proc. of the IEEE, vol. 87, No.9, 1999, pp. 1641-1666.
- [4] BROOKS R.A., BREAZEL C., MARJANOVIĆ M., SCASSELLATI B., WILIAMSON M.: The Cog Project: Building a Humanoid Robot, <http://www.ai.mit.edu/projects/cog>.
- [5] CHWIĄŁKOWSKA E.: Sztuczna Inteligencja w Systemach Ekspertkich. Warszawa, 1991.
- [6] FAR B.H.: Materiały dydaktyczne. Department of Information and Computer Scences, Saitama University, Japonia. <http://www.cit.ics.saitama-u.ac.jp/~far/Lectures/KE2/01kaime/sld010.htm>.
- [7] FORSYTH R.: Expert Systems. Principles and case studies. Chapman and Hall, Ltd, 1984.
- [8] GROSZ B., DAVIS R. (Ed.): A Report to ARPA on Twenty-First Century Intelligent Systems. AAAI. <http://www.aaai.org/Policy/Papers/arpa-report.html>.
- [9] HEARST M.A., HIRSH H.: AI's greatest trends and controversies. IEEE Intelligent Systems. January/February 2000, pp. 8-17.
- [10] MARCISZEWSKI W.: Sztuczna inteligencja. Znak, 1998.
- [11] MEDSKER L.,R.: Hybrid Intelligent Systems. Kluwer Akademic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 1995.
- [12] MITCHELL T.M.: Machine Learning. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.
- [13] MULAWKA J.J.: Systemy ekspertowe. Wydawnictwa Naukowo-Techn., Warszawa, 1996.
- [14] SCHALKOFF R.J.: AI: An Engineering Approach. McGraw-Hill Pub. Comp., 1990.
- [15] SEARLE J.R.: Umysł, mózg i nauka. PWN, Warszawa, 1995. skrót w: Świat Nauki, Nr 1, 1991.
- [16] SUSAC D.: Coming in 30 Years to a Theatre as Near as You Think – Superhuman Cyborgs and Androids, March 1, 1998. <http://ai.about.com/compute/ai/library/weekly/aa030198a.htm>
- [17] The History of Artificial Intelligence. <http://library.thinkquest.org/2705/history.html>.
- [18] Timeline. <ftp://ftp.cs.cmu.edu/user/ai/pubs/faqs/ai/timeline.txt> by Mark Kantowitz i in.
- [19] WALTZ D.L.: Artificial Intelligence: Realizing the Ultimate Promisses of Computing. <http://www.cs.washington.edu/homes/lazowska/cra/ai.html>
- [20] WEISS G. (Ed.): Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. The MIT Press, 1999.