



**POLYTECHNICA
STETINENSIS**

**HONORIS CAUSA
DOCTORIS**

**ZDISLAVO
BUBNICKI**

232789

POLYTECHNICA STETINENSIS

Prof. zw. dr hab. inż. Zdzisław Bubnicki

HONORIS CAUSA DOCTORIS

ZDISLAVO BUBNICKI

Stetinae 2001

20231.000000 783



CZ. 65924

**Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ . 65924**



001-065924-00-0

Sylwetka

Prof. zw. dr hab. inż. Zdzisław Bubnickiego

Prof. Zdzisław Bubnicki urodził się 17 czerwca 1938 roku we Lwowie. Studia wyższe na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej ukończył w 1960 roku. Od roku 1962 do chwili obecnej pracuje w Politechnice Wrocławskiej. Pracował również w instytutach Polskiej Akademii Nauk, a obecnie – w Instytucie Badań Systemowych PAN. Pracę naukową rozpoczął jeszcze na studiach. Już jako 20-letni student uzyskał oryginalne rezultaty z zakresu wielowymiarowych układów regulacji i układów łańcuchowych, opublikowane m.in. w „IEEE Transactions” oraz został zaproszony do napisania rozdziału w książce Podstawy Automatyki (wyd. PWN).

Stopnie i tytuły naukowe uzyskiwał rekordowo szybko: stopień naukowy doktora nauk technicznych w roku 1964, stopień naukowy doktora habilitowanego w roku 1967, tytuły naukowe profesora nadzwyczajnego w roku 1973 i profesora zwyczajnego w roku 1979.

W ciągu przeszło 40 lat pracy zawodowej działalność naukowa prof. Z. Bubnickiego dotyczyła czterech związanych z sobą kierunków w dziedzinie informatyki i automatyki: dyskretnych i cyfrowych systemów sterowania, rozpoznawania i identyfikacji, zastosowań badań operacyjnych w automatyce i informatyce oraz kontynuowanego do dzisiaj kierunku „inżynieria wiedzy i komputerowe systemy ekspertowe”. Do najważniejszych osiągnięć należy stworzenie i rozwinięcie teorii identyfikacji globalnej wraz z licznymi zastosowaniami, stworzenie i rozwinięcie ważnego działu teorii sterowania kompleksami operacji z zastosowaniem do systemów informatycznych oraz sterowania i zarządzania produkcją, opracowanie metody logiczno-algebraicznej dla projektowania komputerowych systemów ekspertowych, a w ostatnich latach – opracowanie nowej koncepcji systemów uczenia się z rozproszoną bazą wiedzy oraz opracowanie oryginalnych podstaw projektowania inteligentnych systemów niepewnych z zastosowaniem koncepcji tzw. zmiennych niepewnych. Uzupełnieniem prac podstawowych były liczne opracowania o charakterze praktycznym, m.in. projekty i wdrożenia systemów informatycznych dla zarządzania, sterowania wybranymi procesami produkcyjnymi oraz dla potrzeb medycznych, a w szczególności – dla komputerowo wspomaganej diagnostyki medycznej.

Wyniki zostały przedstawione w ok. 200 publikacjach, w znacznej części w renomowanych międzynarodowych periodykach i wydawnictwach oraz w pięciu książkach, z których książka

Identification of Control Plants wydana przez Elsevier przyniosła jej autorowi światowy rozgłos. Prace prof. Z. Bubnickiego były i są rozwijane przez Jego uczniów i współpracowników oraz w innych ośrodkach krajowych i zagranicznych. Wywarły znaczący wpływ na rozwój określonych działów informatyki i automatyki w skali światowej i stanowią trwały wkład w rozwój tych dziedzin.

Od wielu lat prof. Bubnicki odgrywa ważną rolę w rozwoju, organizacji i integracji polskiego środowiska naukowego – nie tylko w dziedzinie automatyki i informatyki. Był m.in. przewodniczącym Rad Naukowych Instytutu Podstaw Informatyki PAN oraz Instytutu Komputerowych Systemów Automatyki i Pomiarów, przewodniczącym Sekcji Kształcenia w Polskim Komitecie Pomiarów i Automatyki NOT, członkiem Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej (obecnej CK ds. stopni i tytułu naukowego) przy Prezesie Rady Ministrów oraz członkiem Zespołu Elektroniki, Telekomunikacji, Informatyki i Automatyki w Komitecie Badań Naukowych. Jako wieloletni członek Prezydium Polskiej Akademii Nauk, przewodniczący Rady Naukowej Instytutu Badań Systemowych PAN, przewodniczący Komitetu Automatyki i Robotyki PAN oraz organizator cyklicznych konferencji krajowych nt. inżynierii wiedzy i systemów ekspertowych, a także przewodniczący serii wydawniczej „Monografie Automatyki i Robotyki” i rady redakcyjnej kwartalnika „Archives of Control Sciences” oraz członek Komitetu Informatyki PAN i innych krajowych zespołów – wniósł i wnosi znaczący wkład w integrację polskiego środowiska naukowego w dziedzinie informatyki i automatyki oraz w ukierunkowaniu jej rozwoju. Jako przewodniczący Komitetu Automatyki i Robotyki oraz członek zespołu ekspertów Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego (obecnie MEN) odegrał jedną z czołowych ról w tworzeniu i ukształtowaniu kierunku „automatyka i robotyka” w polskich ośrodkach akademickich.

Prof. Bubnicki jest jedną z czołowych postaci wrocławskiego środowiska naukowego. Jako prezes Oddziału PAN przyczynił się do tego, że aktywność i ciekawe inicjatywy tego Oddziału (liczne imprezy naukowe, Wszechnica PAN, biuletyn „Nauka Wrocławska”, program prac interdyscyplinarnych) są znane i cenione w innych polskich ośrodkach. Zorganizowana przez Oddział ogólnopolska sesja „50 lat rozwoju nauki na Ziemiach Zachodnich i Północnych” oraz wydanie książki pod tym tytułem były ważnym wydarzeniem w krajowym życiu naukowym. Obecnie Profesor przewodniczy Wrocławskiej Radzie Nauki zajmującej się problemami wspólnymi dla całego wrocławskiego środowiska naukowego. Jest również kierownikiem zorganizowanej we Wrocławiu Pracowni Systemów Wiedzy i Sztucznej Inteligencji Instytutu Badań Systemowych PAN.

W ciągu 38 lat pracy w Politechnice Wrocławskiej prof. Bubnicki wywarł znaczący wpływ na rozwój tej uczelni, przede wszystkim jako organizator i wieloletni dyrektor Instytutu Sterowania i Techniki Systemów. Stworzył znaną wrocławską szkołę systemów sterowania i informatyki, wypromował 43 doktorów, z których 12 zajmuje obecnie stanowiska profesorskie. Był inicjatorem i realizatorem eksperymentalnych form kształcenia młodej kadry i odegrał czołową rolę w kształtowaniu obecnych form kształcenia automatyków i informatyków na Wydziale Elektroniki oraz na Wydziale Informatyki i Zarządzania (którego był współorganizatorem).

Prof. Bubnicki jest wybitnym przedstawicielem nauki polskiej na arenie międzynarodowej. Aktywnie pracuje w wielu gremiach naukowych o zasięgu światowym. W środowisku automatyków i informatyków jest niekwestionowanym, wybitnym autorytetem naukowym. Miarą tego autorytetu jest zapraszanie Go do udziału w komitetach naukowych licznych Kongresów i Konferencji organizowanych przez renomowane ośrodki naukowe i uniwersyteckie na całym świecie a także do wygłaszania na tych kongresach i konferencjach referatów plenarnych. Jest członkiem wielu rad redakcyjnych znanych czasopism naukowych o zasięgu światowym.

Dużą popularność w swojej dziedzinie zdobył także jako wieloletni organizator międzynarodowych konferencji SYSTEMS SCIENCE oraz redaktor naczelny międzynarodowego kwartalnika „Systems Science”. Konferencje SYSTEMS SCIENCE organizowane już przeszło ćwierć wieku przez ośrodek wrocławski (od pewnego czasu przemienne z ośrodkami w USA i Anglii) – są najstarszą i jedną z najpoważniejszych tego typu imprez w Europie.

Za swe osiągnięcia zawodowe prof. Z. Bubnicki otrzymał wiele prestiżowych nagród i wyróżnień krajowych i międzynarodowych oraz odznaczenia państwowe, m.in. Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski.

Bogata działalność naukowa i działalność w dziedzinie rozwoju kadry naukowej a także poważne zaangażowanie w rozwój współpracy naukowej między uniwersytetami Europy i Świata, stały się podstawą podjęcia przez Senat Politechniki Szczecińskiej uchwały o nadaniu Profesorowi Zdzisławowi Bubnickiemu tytułu i godności doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej.

R e k t o r

Politechniki Szczecińskiej

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Wysiecki

Promotor prof. zw. dr hab. inż. Krzysztof Marchelek

Laudacja
poświęcona Panu Prof. zw. dr. hab. inż. Zdzisławowi Bubnickiemu

Magnificencjo Rektorze!

Wysoki Senacie!

Szanowny Doktorze Honorowy!

Szanowni Państwo!

Jest dla mnie wielkim zaszczytem przedstawienie sylwetki oraz dokonań i zasług Profesora Zdzisława Bubnickiego, Członka Rzeczywistego Polskiej Akademii Nauk, Dyrektora Instytutu Sterowania i Techniki Systemów Politechniki Wrocławskiej.

Bardzo bogaty i znaczący w skali światowej jest dorobek naukowy prof. Zdzisława Bubnickiego. Głównym obszarem Jego aktywności naukowej są: Automatyka i Informatyka z głębokimi implikacjami i aplikacjami w dziedzinie dyskretnych i cyfrowych systemów sterowania, w dziedzinie rozpoznawania i identyfikacji, w zakresie zastosowań badań operacyjnych w automatyce i robotyce, w dziedzinie inżynierii wiedzy i komputerowych systemów ekspertowych.

Do najważniejszych osiągnięć profesora Zdzisława Bubnickiego w dziedzinie Dyskretnych i Cyfrowych Systemów Sterowania należy opracowanie algebraicznych metod badania stabilności i wyznaczania parametrów cyklu granicznego cyfrowych systemów sterowania oraz opracowanie podstaw projektowania cyfrowych systemów sterowania. Zwieńczeniem badań w tym obszarze była Jego rozprawa doktorska pt.: „Dynamika cyfrowych układów automatycznej regulacji z taktem zewnętrznym”. Równie ważnym osiągnięciem prof. Z. Bubnickiego w tym obszarze Jego aktywności naukowej jest twórcze zastosowanie twierdzenia Banacha o punkcie stałym oraz zasady odwzorowań zwężających w przestrzeni Banacha do badania zbieżności procesów aproksymacyjnych w systemach dyskretnych. Wyniki prac z tego zakresu prof. Z. Bubnicki podsumował w monografii p.t. „Zbieżność procesów automatycznej aproksymacji w układach dyskretnych” wydanej przez PWN w roku 1966.

Następnym bardzo ważnym osiągnięciem prof. Z. Bubnickiego z zakresu cyfrowych systemów sterowania jest probabilistyczna wersja warunków zbieżności i liniowa hipoteza dla przypadku losowo zmiennych parametrów obiektu oraz związana z tym oryginalna

koncepcja degresywnego sprzężenia zwrotnego dla przypadku pomiaru wyjścia z losowymi zakłóceniami.

Niemal równolegle z pracami z zakresu dyskretnych i cyfrowych systemów sterowania prof. Z. Bubnicki prowadził bardzo intensywne prace badawcze w obszarze identyfikacji i rozpoznawania. Opracowana przez Niego problematyka zbieżności procesów automatycznej aproksymacji w systemach dyskretnych oraz uprzednio wspomniana koncepcja degresywnego sprzężenia zwrotnego dla przypadku pomiaru wyjścia z losowymi zakłóceniami stały się inspiracją do podjęcia prac z zakresu rekurencyjnych metod identyfikacji.

Prof. Zdzisław Bubnicki sformułował i rozwinął oryginalne koncepcje: identyfikacji globalnej i wielostopniowej oraz identyfikacji systemu złożonego przy ograniczonych możliwościach pomiarowych. Koncepcje te zainicjowały nowy kierunek badawczy, nazwany identyfikacją systemów złożonych.

Podsumowaniem osiągnięć prof. Z. Bubnickiego w zakresie identyfikacji jest Jego książka pt. „Identyfikacja obiektów sterowania” wydana w 1974 roku przez PWN, która w wersji uzupełnionej pt. „Identification of Control Plants” została wydana w 1980 roku przez Wydawnictwo Elsevier. Dzieło to, zaliczane w literaturze światowej do podstawowych, z zakresu identyfikacji systemów sterowania, przyniosło Autorowi szeroki rozgłos na arenie międzynarodowej.

Równolegle z zagadnieniami identyfikacji prof. Z. Bubnicki realizował badania w obszarze rozpoznawania. Najważniejszym rezultatem tego etapu prac było opracowanie podstaw rozpoznawania z uczeniem przy zastosowaniu empirycznych rozkładów prawdopodobieństwa i opracowanie oryginalnego algorytmu rozpoznawania z uczeniem, zwanego algorytmem LI (Least Interval). Opracowania te stały się podstawą rozwoju nieparametrycznych metod rozpoznawania i identyfikacji oraz rozwoju problematyki sterowania z rozpoznawaniem przy bardziej skomplikowanych modelach rozpoznawania a w szczególności rozpoznawania ciągu obiektów tworzących łańcuch Markowa.

Prace z obszaru identyfikacji systemów złożonych i rozpoznawania zaliczyć można do wybitnych osiągnięć naukowych prof. Z. Bubnickiego. Prace te wywarły bardzo znaczący wpływ na rozwój nauki światowej w tym zakresie. Wpłynęły także inspirująco na inne krajowe i zagraniczne ośrodki naukowe, które podjęły i rozwijają tą tematykę.

Ważnym obszarem aktywności naukowej prof. Z. Bubnickiego jest problematyka sterowania kompleksami operacji. Z Jego inspiracji i pod Jego kierunkiem w ośrodku wrocławskim, opracowano podstawy i algorytmy sterowania kompleksami operacji

w warunkach probabilistycznych oraz jednolitą teorię i algorytmy optymalnego rozdziału zadań i zasobów. Osiągnięcia prof. Z. Bubnickiego i Jego szkoły naukowej w zakresie tej problematyki sprawiły, że sterowanie kompleksami operacji uważane jest za jedną z czołowych polskich specjalności w całym obszarze automatyki, informatyki i techniki systemów.

W ostatnim dziesięcioleciu prace naukowe prof. Z. Bubnickiego koncentrują się w zakresie systemów z reprezentacją wiedzy i komputerowych systemów ekspertowych. Opracował znaną i wysoko cenioną metodę logiczno-algebraiczną rozwiązywania zadań analizy i podejmowania decyzji z logiczną reprezentacją wiedzy, zwanej metodą Bubnickiego. Owocem prac prof. Z. Bubnickiego z zakresu systemów ekspertowych jest Jego książka pt. „Wstęp do systemów ekspertowych” wydana przez PWN w 1990 r., która niewątpliwie przyczyniła się w znacznym stopniu do rozwoju tej problematyki w Polsce. Najważniejszym rezultatem prac w ostatnim okresie jest nowa metodyka projektowania systemów uczących się oraz stworzenie i rozwinięcie teorii zmiennych niepewnych w zastosowaniu do podejmowania decyzji w systemach niepewnych. Teoria ta stworzyła nowe podstawy rozwoju inteligentnych systemów informatycznych i była przedmiotem sesji specjalnych na kilku międzynarodowych kongresach, a ostatnio – wykładu prof. Z. Bubnickiego na światowym kongresie komputerów.

Prof. Zdzisław Bubnicki w swej działalności naukowo-badawczej zawsze dbał o utrzymanie właściwych proporcji między wiedzą podstawową i stosowaną, doceniając przenoszenie wyników o charakterze poznawczym do rozwiązywania konkretnych zagadnień praktycznych. Na szczególne podkreślenie i wysoką ocenę zasługują prace dotyczące programów i projektów systemu komputerowego do analizy i symulacji oraz użytkowo zorientowane systemy informatyczne do bezpośredniego sterowania wybranymi procesami produkcji w hutnictwie miedzi i w produkcji cementu, a także szereg systemów komputerowych na potrzeby diagnostyki medycznej. Doświadczenia w zakresie zarządzania zostały przedstawione w Jego książce pt. ”Podstawy Informatycznych Systemów Zarządzania”, wydanej w 1993 r. Przedstawione, z konieczności w olbrzymim skrócie, imponujące osiągnięcia naukowe prof. Zdzisława Bubnickiego stanowią bardzo znaczący i trwały wkład w rozwój nauki światowej. Prof. Z. Bubnicki jest uznanym w kraju i za granicą wybitnym autorytetem naukowym w dziedzinie Teorii Sterowania i Techniki Systemów. Jego prace naukowe z tego zakresu są wielokrotnie cytowane jako podstawowe w publikacjach innych, bardzo często wybitnych uczonych.

Profesor Zdzisław Bubnicki bardzo aktywnie współpracuje naukowo i organizacyjnie z wieloma czołowymi ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą. Wymienię tylko najważniejsze z nich: na gruncie krajowym to przede wszystkim Instytut Badań Systemowych PAN, Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, Wojskowa Akademia Techniczna, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Politechnika Śląska w Gliwicach, Politechnika Poznańska, Politechnika Szczecińska i wiele innych; na gruncie międzynarodowym to przede wszystkim ośrodki akademickie w Paryżu, Lille, Coventry, Dreźnie, Lipsku, Innsbrucku, Kijowie, Rzymie, Bolonii, Hanowerze, w Japonii (Uniwersytety w Kyoto i Oita), w USA (Wright State University i Nevada State University), oraz Instytut Problemów Sterowania Akademii Nauk w Moskwie.

Bardzo owocna jest współpraca naukowa prof. Z. Bubnickiego z Politechniką Szczecińską a w szczególności z Wydziałem Elektrycznym. Liczne prace naukowo-badawcze wykonane w Instytucie Automatyki Przemysłowej z zakresu identyfikacji były inspirowane i konsultowane przez prof. Z. Bubnickiego. W wykonanej pod Jego kierunkiem pracy doktorskiej Stanisława Bańki, przedstawione zostały nowe wyniki dotyczące identyfikacji niestacjonarnych obiektów dynamicznych. Profesor również bardzo aktywnie działał na rzecz rozwoju kadr naukowych Wydziału Elektrycznego. Jego udział w tym procesie przejawiał się nie tylko w recenzowaniu rozpraw doktorskich i habilitacyjnych pracowników Wydziału lecz także w nadawaniu kierunków poszukiwań naukowych dokonywanych w ramach tych rozpraw.

Profesor Z. Bubnicki był członkiem Komitetu Programowego wszystkich dotychczasowych międzynarodowych Sympozjów nt. „Methods and Models in Automation and Robotics” organizowanych cyklicznie od 1994 r. przez Instytut Automatyki Przemysłowej Politechniki Szczecińskiej. Sympozjum to stało się jedną ze znaczących międzynarodowych konferencji z zakresu automatyki i robotyki organizowanych w Polsce. Udział prof. Z. Bubnickiego w promowaniu tego sympozjum na arenie międzynarodowej jest niepodważalny.

Szczególne są osiągnięcia Prof. Z. Bubnickiego we współpracy międzynarodowej i reprezentacji nauki polskiej za granicą. Wymienię tylko niektóre. Wygłaszał zaproszone wykłady w ośrodkach uniwersyteckich większości krajów europejskich, w USA, Japonii, Kanadzie, Indiach, Chinach, Meksyku i Australii. Przedstawiał referaty na wielu międzynarodowych kongresach i konferencjach naukowych. Jest m.in. przedstawicielem Polski we władzach Międzynarodowej Federacji Informatyki IFIP, członkiem Komitetu Sztucznej Inteligencji tej Federacji, członkiem Komitetu Edukacji Międzynarodowej

Federacji Automatyki IFAC, członkiem Zarządu Międzynarodowego Instytutu Badań Systemowych w USA, członkiem Rosyjskiej Akademii Nauk Przyrodniczych oraz Nowojorskiej Akademii Nauk. Profesor Zdzisław Bubnicki jest członkiem rady redakcyjnej serii monografii „Advances in Computing Sciences” wydawanej przez Springer Verlag oraz członkiem rady redakcyjnej wielu międzynarodowych czasopism naukowych jak „Artificial Life and Robotics” wydawanego w Japonii, „Control and Computers” wydawanego w Kanadzie, „Advances in Systems Science” w USA.

Profesor Zdzisław Bubnicki ma wybitne osiągnięcia w zakresie kształcenia młodej kadry naukowej. Stworzył uznaną w świecie szkołę naukową „Systemów Sterowania i Informatyki”. Wypromował 43 doktorów z których 10-ciu zajmuje stanowiska profesorskie, w tym jeden jest członkiem rzeczywistym Polskiej Akademii Nauk.

Od wielu lat prof. Z. Bubnicki odgrywa ważną rolę w rozwoju, organizacji i integracji polskiego środowiska naukowego automatyki i informatyki. Był m.in. przewodniczącym rad naukowych Instytutu Podstaw Informatyki PAN oraz Instytutu Komputerowych Systemów Automatyki i Pomiarów, przewodniczącym Sekcji Kształcenia w Polskim Komitecie Pomiarów i Automatyki NOT, członkiem Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej i CK przy Prezesie Rady Ministrów (przez wiele kadencji), członkiem Prezydium Polskiej Akademii Nauk i prezesem wrocławskiego Oddziału PAN, członkiem Zespołu Elektroniki, Telekomunikacji, Informatyki i Robotyki PAN, redaktorem naczelnym kwartalnika „Systems Science” a także członkiem Komitetu Informatyki PAN oraz Komitetu PAN d/s Współpracy z Europejską Fundacją Nauki.

Za swoje wybitne dokonania na polu naukowym, organizacyjnym i dydaktycznym prof. Zdzisław Bubnicki otrzymał liczne odznaczenia i honorowe wyróżnienia.

W uznaniu zasług Profesora Zdzisława Bubnickiego dla rozwoju nauk technicznych oraz szczególnych zasług jakie położył dla naszej Uczelni, Senat Akademicki Politechniki Szczecińskiej przy poparciu Senatów Akademickich Politechniki Warszawskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Politechniki Poznańskiej podjął 18 grudnia 2000 roku uchwałę o nadaniu Mu godności i tytułu

Doktora Honoris Causa Politechniki Szczecińskiej.

Fakt ten został udokumentowany dyplomem następującej treści:



W IMIENIU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ
MY

REKTOR I SENAT POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ
ORAZ PROMOTOR PRAWNIE USTANOWIONY
ZA WSPÓLNĄ ZGODĄ SENATÓW
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ W WARSZAWIE
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE
POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ W POZNANIU

NADALIŚMY

PROFESOROWI ZWYCZAJNEMU DOKTOROWI HABILITOWANEMU INŻYNIEROWI

ZDZISŁAWOWI BUBNICKIEMU

wybitnemu uczonemu w dziedzinie automatyki i informatyki, twórcy wrocławskiej szkoły naukowej systemów informatyki i sterowania, organizatorowi i wieloletniemu dyrektorowi Instytutu Sterowania i Techniki Systemów Politechniki Wrocławskiej, członkowi rzeczywistemu Polskiej Akademii Nauk oraz członkowi Rosyjskiej Akademii Nauk Przyrodniczych i Nowojorskiej Akademii Nauk, wieloletniemu członkowi Prezydium PAN i prezesowi wrocławskiego Oddziału PAN, przewodniczącemu Komitetu Automatyki i Robotyki PAN i rady naukowej Instytutu Badań Systemowych PAN, członkowi Komitetu Informatyki PAN i Komitetu PAN ds. Współpracy z Europejską Fundacją Nauki, członkowi Komitetu Sztucznej Inteligencji Międzynarodowej Federacji Informatyki IFIP oraz członkowi wielu organizacji i rad naukowych, krajowych i międzynarodowych

w uznaniu

Jego wybitnych zasług dla Politechniki Szczecińskiej oraz dla Pomorza i Ziemi Zachodnich Polski w zakresie rozwoju i pogłębiania nauk technicznych i wkładu w rozwój kadr dla nowoczesnych działów techniki i gospodarki narodowej, a zwłaszcza w rozwój kadry naukowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej

ZASZCZYTNY TYTUŁ

DOKTORA HONORIS CAUSA

ORAZ PRAWA I PRZYWILEJE Z NIM ZWIĄZANE

I W DOWÓD WIARYGODNOŚCI TEGO WYDARZENIA NINIEJSZY DYPLÓM
OPATRZONY W PIECZĘĆ POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ WYSTAWILIŚMY

SZCZECIN, DNIA 2 KWIETNIA 2001 ROKU

REKTOR

MIECZYSLAW WYSIECKI

DZIEKAN

STEFAN BERCZYŃSKI

PROMOTOR

KRZYSZTOF MARCHELEK



IN NOMINE REIPUBLICAE POLONORUM
NOS
POLYTECHNICAЕ STETINENSIS RECTOR ET SENATUS
ATQUE PROMOTOR DECRETO CONSTITUTUS
COMMUNI CONSENSU SENATUUM
POLYTECHNICAЕ VARSOVIENSIS VARSOVIAE
ACADEMIAE METALLORUM ET INDUSTRIAЕ METALLURGICAЕ CRACOVIAE
POLYTECHNICAЕ POSNANIENSIS POSNANIAE

CONTULIMUS

PROFESSORI ORDINARIO DOCTORI HABILITATO INGENIARIO

ZDISLAVO BUBNICKI

Egregio viro docto in disciplina artis automatariaе scientiaе et informaticaе, creatori wratislaviensis scholae scientialis systematum informaticaе et gubernandi organisatori et diuturno directori Instituti Gubernandi et Systematum Technicaе Polytechnicaе Wratislaviensis, socio ordinario Academiae Scientiarum Polonae, Academiae Scientiarum Physicarum Russiae et Academiae Scientiarum Novi Eboraci, diuturno socio summi Consilii Academiae Scientiarum Polonae et praesidi wratislaviensis Filiae Academiae Scientiarum Polonae, praesidi Consilii Automaticaе et Roboticae Academiae Scientiarum Polonae atque consilii scientialis Instituti Investigationum Systematum Academiae Scientiarum Polonae, socio Consilii Informaticaе Academiae Scientiarum Polonae ad res Operae Mutuae cum Europaea Fundatione Scientiae, socio Consilii Ficticae Intelligentiae Internationalis Foederationis Informaticaе IFIP et socio multarum societatum et consiliorum scientialium domesticarum et internationalium

aestimantes

Eius eminentia merita pro Polytechnica Stetinensi atque Pomerania et Terris Occidentalibus Poloniae in dominio incrementi penitusque cognoscendi scientias technicas et tributis in incrementum hominum studiis deditorum novis technicis atque oeconomiae domesticae, praecipue in incrementum hominum studiis deditorum Facultatis Electricae Universitatis Stetinensis

TITULUM DECORUM HONORIS CAUSA DOCTORIS ET IURA ATQUE PRIVILEGIA EI DEBITA

ET IN EIUS EVENTI FIDEM HOC DIPLOMA
SIGILLO POLYTECHNICAЕ STETINENSIS MUNITO PARAVIMUS

DATUM: STETINAE, DIE SECUNDO MENSIS APRILIS ANNO BIS MILLESIMO PRIMO

RECTOR

MIECZYSLAW WYSIECKI

DECANUS

STEFAN BERCZYŃSKI

PROMOTOR

KRZYSZTOF MARCHELEK

INTELIGENTNE SYSTEMY INFORMATYCZNE – PERSPEKTYWY, SZANSE I ZAGROŻENIA

Zdzisław Bubnicki

1. Wstęp

W dobie internetu i komputerowych technik multimedialnych, zafascynowani aktualnymi i przewidywanymi możliwościami techniki komputerowej w gromadzeniu, wyszukiwaniu, przesyłaniu i przetwarzaniu dużych ilości różnorodnych informacji – czasem zapominamy o chyba najważniejszej, a z pewnością najtrudniejszej funkcji komputera jako środka do rozwiązywania trudnych problemów wymagających tego, co popularnie nazywamy wiedzą i inteligencją. Bierze się to stąd, że zastosowania komputerów do realizacji czynności odtwórczych, rutynowych są znacznie częstsze, bardziej rozpowszechnione i zrozumiałe przez szerokie grono użytkowników niż zastosowania do komputeryzacji procesów twórczych, intelektualnych – z natury rzeczy bardziej elitarne i doceniane przez stosunkowo wąskie grono „wtajemniczonych”. Jest to odzwierciedleniem sytuacji w społeczności ludzkiej, w której twórcy stanowią grupę elitarną, a znaczenie ich działalności nie zawsze jest zrozumiałe i doceniane. Taka – prymitywna zresztą – próba analogii „socjologicznej” nie może być rozwinięta nie tylko dlatego, że zbiór komputerów nie tworzy społeczności i „komputerowi intelektualiści” nie mogą na przykład zorganizować w tym zbiorze protestu przeciw niedocenianiu ich roli, co nam się z konieczności zdarza. Przede wszystkim jednak dlatego, że zastosowana tu dychotomia, tj. podział na konsumentów cudzego wysiłku intelektualnego i twórców jest w społeczności ludzkiej ogromnym uproszczeniem (każdemu z nas na co dzień zdarza się pełnić obie te role), a w zbiorze komputerów jest w ogóle niemożliwy. Ten sam komputer traktowany jako narzędzie może bowiem pełnić różne funkcje w zależności od jego wyposażenia intelektualnego, tj. systemu oprogramowania użytkowego, który może być oddzielony od części materialnej i funkcjonować jako niezależny produkt. O komputerach mó-

wimy tu zatem umownie, mając na myśli systemy programowe implementowane na odpowiednim sprzęcie.

Komputeryzacja rozwiązywania trudnych problemów wymagających nie tylko określonej wiedzy, ale i odpowiedniego rozumowania bywa nazywana umownie i nieprecyzyjnie sztuczną inteligencją (ang. *Artificial Intelligence* – AI). Jej produktem są różnego rodzaju inteligentne systemy informatyczne. Celem niniejszego wykładu jest przedstawienie moich osobistych – a zatem oczywiście subiektywnych – uwag i refleksji na temat znaczenia i perspektyw rozwojowych tej ważnej dziedziny współczesnej informatyki, której rola – poprzez liczne związki z innymi dyscyplinami i różnorodne zastosowania – znacznie wykracza poza wąsko pojęte ramy techniki komputerowej i techniki systemów informacyjnych, czyli wąsko pojęte ramy tego obszaru nauki i techniki, który u nas zwykle nazywamy informatyką, a który powszechnie obecnie określa się nazwą *Information Technology* (IT). Chciałbym również na tle tych ogólnych refleksji przekazać pewne uwagi i informacje na temat własnych prac z tego zakresu oraz prac współpracującego ze mną zespołu.

2. Przedmiot i zakres

Wśród szerokiego grona specjalistów w naszej branży (naukowców i praktyków) często można spotkać się z krańcowo różnymi poglądami na temat sztucznej inteligencji; od opinii, że jest to tematyka, która rozwijała się w latach 50. i 60. i dziś ma już tylko znaczenie historyczne – do zdania, że jest to dziedzina przyszłościowa, która znajduje się w początkowym stadium rozwoju i można mówić tylko o perspektywach jej rozwoju w rozpoczętym stuleciu; a także od opinii negujących poważny naukowy charakter tej dziedziny – do zdania, że jest to dziedzina o ugruntowanych podstawach naukowych, zajmująca się wyraźnie sprecyzowanym zakresem poważnych i trudnych problemów naukowych i technicznych. Można powiedzieć, że obie te antynomie są poniekąd uzasadnione, a prawda, jak to zwykle bywa, leży po środku. Wynika to z ogromnej różnorodności występujących w tej dziedzinie pojęć różnie określanych i rozumianych oraz z ogromnej różnorodności problemów w różnym stylu formułowanych i rozwiązywanych. Z pewnością sztuczna inteligencja jest kategorią historyczną w tym sensie, że zbiór i znaczenie występujących w niej pojęć, problemów, metod oraz jej praktycznych produktów zmieniał się w ciągu kilkudziesięciu lat rozwoju tej dziedziny, i to co nazywano sztuczną inteligencją, czy sztucznym myśleniem przed czterdziestoma laty wydaje się dziś prymitywne i różni się od współczesnego rozumienia jej zakresu.

Z drugiej strony termin „sztuczna inteligencja” nie ma jednoznacznej i precyzyjnej definicji, nie jest to bowiem termin sprecyzowany w zaciśniętych naukowych gabinetach, lecz – jak to w informatyce bywało i bywa – termin wprowadzony przez praktyków i z konieczności zaadoptowany przez naukowców. Według miarodajnej opinii Komitetu Sztucznej Inteligencji

w Międzynarodowej Federacji Informatyki IFIP – w którym zresztą mam przyjemność reprezentować Polskę – nie jest celowe i możliwe ustalenie precyzyjnej definicji sztucznej inteligencji, natomiast ważne i niezbędne jest precyzyjne definiowanie konkretnych problemów, które rozpatruje się pod tą umowną nazwą. Aktualnie są to głównie problemy i metody związane z komputeryzacją operacji logicznych, podejmowaniem decyzji w warunkach niepewności, komputeryzacją procesów rozpoznawania i uczenia oraz projektowaniem komputerowych systemów ekspertowych, które generują rozwiązanie problemu na podstawie reprezentacji wiedzy z zastosowaniem rozumowania. Moje dalsze uwagi dotyczyć będą właśnie tego zakresu zagadnień. Dla ich umiejscowienia w całokształcie zagadnień IT wydaje się pożyteczne odniesienie do stosowanego w naszym zespole zestawienia podstawowych funkcji komputera jako środka wspomagającego pracę umysłową. Można tu wymienić następujące role i związane z nimi zestawy zagadnień metodologicznych i technicznych:

1. Komputer jako komputer (w znaczeniu etymologicznym), tj. środek do obliczeń i związana z tym problematyka zwana *inżynierią obliczeń*.
2. Komputer jako środek do rozwiązywania problemów według precyzyjnych programów opracowanych przez projektanta i odpowiadająca tej funkcji *inżynieria rozwiązywania problemów*.
3. Komputer jako środek do gromadzenia i przetwarzania informacji i związana z tym *inżynieria informacji*.
4. Komputer jako ekspert, czyli środek do rozwiązywania problemów na podstawie reprezentacji wiedzy z zastosowaniem rozumowania, i odpowiadająca tej funkcji *inżynieria wiedzy*.

Problemy, metody i techniki sztucznej inteligencji wiążą się głównie z ostatnią funkcją, a więc z inżynierią wiedzy. Jest to problematyka aktualnie „wiodąca” w dziedzinie informatyki, automatyki i techniki systemów, intensywnie rozwijana w wielu światowych ośrodkach, o czym świadczą liczne międzynarodowe konferencje poświęcone sztucznej inteligencji i systemom inteligentnym oraz oddzielne czasopisma poświęcone tej tematyce. Na ostatnim Światowym Kongresie Komputerów zorganizowanym przez Międzynarodową Federację Informatyki w Chinach jedna z kilku części tematycznych (oddzielna konferencja) poświęcona była Inteligentnym Systemom Informatycznym. Wspólnie z kolegami tworzącymi międzynarodowy komitet programowy tej konferencji uznaliśmy ją za duży sukces i obecnie przygotowujemy kolejną konferencję na ten temat w ramach najbliższego Światowego Kongresu Komputerów, który odbędzie się w przyszłym roku w Kanadzie. Również w Polsce naukowa problematyka sztucznej inteligencji oraz systemów inteligentnych rozwijana jest nie tylko w naszym ośrodku, ale niemal we wszystkich krajowych ośrodkach informatyki i automatyki, m.in. w Instytucie Podstaw Informatyki PAN oraz w Instytucie Badań Systemowych PAN. Spory dorobek w tej dziedzinie prezentowany jest m.in. na organizowanych we Wrocławiu

cyklicznie konferencjach krajowych nt. inżynierii wiedzy i systemów ekspertowych i międzynarodowych SYSTEMS SCIENCE, a także w wydawanym we Wrocławiu kwartalniku międzynarodowym pod tą samą nazwą.

3. Koncepcje ogólne

Wydaje się, że w rozwoju metod i technik sztucznej inteligencji niezwykle płodne okazały się dwie generalne idee, które stwarzają szansę i nowe perspektywy rozwoju tej problematyki oraz jej praktycznych produktów i zastosowań. Jest to idea uniwersalizacji algorytmów rozwiązywania problemów (uniwersalizacji oprogramowania użytkowego w przypadku realizacji programowej) oraz idea rezygnacji z tradycyjnej koncepcji imperatywnych programów generacji rozwiązań, na korzyść rozbudowanej, złożonej struktury sprzętowej. Obie idee w pewnym sensie odwołują się do analogii z mechanizmami rozwiązywania „inteligentnych” problemów przez człowieka.

U podstaw pierwszej idei stał zamiar opracowania i implementacji komputerowej w miarę uniwersalnego *mechanizmu rozumowania* (obejmującego w szczególności *reguły wnioskowania*), który dla szerokiej klasy problemów pozwalałby komputerowi na realizację algorytmu generacji rozwiązania na podstawie *bazy wiedzy* o problemie, obejmującej odpowiednio formułowane i zapisane fakty i reguły dotyczące fragmentu wiedzy wykorzystywanej do rozwiązania problemu. Ideę tę uzupełnia inne podejście do uniwersalizacji, przydatne w zasadzie do rozwiązywania problemów obliczeniowych i polegające na próbach opracowania i implementacji w miarę uniwersalnej formy algorytmu rozwiązywania szerokiej klasy zadań obliczeniowych, który przez odpowiednie nastrojenie parametrów można byłoby adaptować do konkretnego zadania z tej klasy.

Druga idea nawiązywała do tego, że człowiek rozwiązuje różne problemy nie według wprowadzonych do jego pamięci programów, lecz dzięki odpowiedniemu działaniu komórek nerwowych w jego mózgu. Koncepcję imperatywnych programów można więc zastąpić odpowiednio złożoną siecią współdziałających elementów imitujących neurony, która to sieć może się nauczyć rozwiązywania szerokiej klasy zadań. Obie idee – ściśle ze sobą związane – nawiązywały wprawdzie do tradycyjnych koncepcji z lat 60., ale je twórczo wzbogaciły i zaowocowały takimi ważnymi rezultatami i realizacjami jak systemy ekspertowe z logiczną reprezentacją wiedzy oraz sieci neuronalne (czyli sztuczne sieci neuronowe, lub krótko – sieci neuronowe) i neurokomputery. Koncepcje te i ich dotychczasowe rezultaty stwarzają nowe perspektywy rozwoju nie tylko problematyki inteligentnych systemów informatycznych, ale całej informatyki i jej zastosowań, m. in. do sterowania i zarządzania.

Na tle opisanej tu charakterystyki idei ogólnych można przedstawić kilka wybranych uwag bardziej szczegółowych, które odniesiemy do problemów podejmowania decyzji – o podstawowym znaczeniu dla komputeryzacji projektowania, sterowania i zarządzania.

4. Komputeryzacja operacji logicznych

Komputeryzacja rozwiązywania zadań logicznych należy niewątpliwie do najstarszych i najlepiej rozwiniętych działów sztucznej inteligencji. Jest to uzasadnione tym, że wśród różnorodnych procesów myślowych człowieka myślenie czy rozumowanie logiczne może najbardziej nadaje się do formalizacji, a w konsekwencji do przedstawienia w formie algorytmów niezbędnych do realizacji komputerowej. Ścisłe reguły poprawnego rozumowania od dawna były precyzowane na gruncie klasycznej logiki formalnej i mogły stanowić gotową bazę dla opracowywania odpowiednich programów komputerowych. Były to najczęściej algorytmy dla komputeryzacji procesów wnioskowania i dowodzenia twierdzeń, wykorzystujące bogaty zbiór znanych reguł wnioskowania. Wkrótce jednak okazało się, że możliwości takiego bezpośredniego sięgania do znanych reguł poprawnego rozumowania są ograniczone. W bardziej skomplikowanych zadaniach tego typu pojawiły się trudności znane wszystkim, którzy sami próbowali udowadniać twierdzenia wymagające skomplikowanego dowodu, dla którego zaprogramowanie z góry ciągu wnioskowań z wyborem na każdym etapie przesłanek i reguł wnioskowania z bardzo dużego zbioru możliwości – mogło być bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. W przypadku komputerowego wnioskowania zbiór faktów i reguł w bazie wiedzy jest wprawdzie ograniczony, ale i tak algorytm wnioskowania wymaga indywidualnej inwencji dostosowanej do konkretnego przypadku.

Stosowanie przekształceń logicznych jest niezbędne w zadaniach analizy i podejmowania decyzji dla realnych obiektów (np. dla obiektów sterowania i zarządzania lub w problemie rozpoznawania) opisanych w formie logicznej reprezentacji wiedzy. Jest ona zbiorem podanych przez eksperta faktów, tj. formuł logicznych skomponowanych z formuł elementarnych, czyli elementarnych własności dotyczących wielkości występujących w opisie wiedzy. Najczęstsze zadanie analizy rozwiązywane w tym przypadku przez komputerowy system ekspertowy z logiczną bazą wiedzy polega na tym, że użytkownik stawia pod adresem komputera-eksperta pytanie, sprecyzowane w postaci formuły logicznej zbudowanej wyłącznie z formuł elementarnych występujących w reprezentacji wiedzy, a więc pytanie dotyczące zapisanej w komputerze wiedzy o rozpatrywanym fragmencie rzeczywistości i formułowane w akceptowalny sposób. Generacja odpowiedzi oznacza faktycznie proces dedukcji na podstawie faktów. Potrzeby praktyczne skłaniają do formułowania bardziej złożonego zadania analizy, polegającego na wyznaczeniu własności wyjściowej dla zadanej własności wejściowej. Obie własności formułowane są w postaci formuł logicznych i stanowią uogólnienie

wejścia i wyjścia – czyli decyzji i jej efektu dla obiektów sterowania i zarządzania, opisywanych za pomocą klasycznych, konwencjonalnych modeli. Podstawowe znaczenie praktyczne ma jednak zadanie odwrotne: jak dla zadanej własności wyjściowej (przedstawiającej np. wymaganie użytkownika dotyczące efektów sterowanego procesu produkcyjnego) wyznaczyć decyzję, tj. odpowiednią własność wejściową taką, której realizacja spowoduje spełnienie wymagania.

Takie jednolite ujęcie problemów analizy i podejmowania decyzji na podstawie logicznej reprezentacji wiedzy jest od kilkunastu lat przedmiotem pracy naszego zespołu w zakresie systemów ekspertowych z bazą wiedzy. Najważniejszym rezultatem tych prac jest opracowanie i rozwinięcie tzw. *metody logiczno-algebraicznej*. Podstawowa idea tej metody polega na tym, że różne koncepcje rozumowania opracowywane indywidualnie dla różnych przypadków i oparte na regułach wnioskowania – zastąpione zostały przez uniwersalne procedury algebraiczne oparte na regułach algebry logiki dwuwartościowej. Otrzymane w ten sposób algorytmy można traktować jako ujednolicenie i uogólnienie różnych indywidualnych procedur rozumowania dla szerokiej klasy systemów z logiczną reprezentacją wiedzy. Do rozwiązania zadania analizy nie jest wymagana szczególna postać reprezentacji wiedzy (np. zestaw reguł w postaci implikacji, dla których stosuje się znane algorytmy wnioskowania). Co więcej, zadanie odwrotne (tj. wyznaczanie decyzji) nie przedstawia tu dodatkowych pryncypialnych trudności. Metoda logiczno-algebraiczna była rozwijana i modyfikowana dla różnych przypadków (w szczególności dla problemu rozpoznawania i dla dynamicznej reprezentacji wiedzy), stosowana w opracowaniach praktycznych oraz stanowiła podstawę opracowania systemów ekspertowych ogólnego przeznaczenia CONTROL-LOG i CLASS-LOG.

Oceniając stan aktualny i przyszłe potrzeby można powiedzieć, że szansą otwierającą nowe perspektywy rozwoju komputeryzacji rozwiązywania skomplikowanych zadań logicznych jest rozwój logik nieklasycznych, a przede wszystkim formalnych podstaw rozumowania i wnioskowania w warunkach niepewności. Istotną rolę odegrały i odgrywają tu tzw. logiki rozmyte, choć wydaje się, że ich możliwości w zastosowaniu do projektowania odpowiednich systemów komputerowych zostały już w zasadzie wykorzystane. Dalszy rozwój metod formalizacji skomplikowanych procesów logicznego myślenia realizowanych przez człowieka i być może pojawienie się nowych idei w tym zakresie musi współgrać z nowymi koncepcjami techniki komputerowej, umożliwiającymi komputerową realizację tych formalizmów. Może to stworzyć nowe możliwości komputeryzacji złożonych wieloetapowych procesów decyzyjnych, w których logiczne procedury wyboru decyzji na poszczególnych etapach uwzględniają nie tylko stan aktualny, ale także prognozę zachowania otoczenia i jego skutków oraz różne rodzaje niepewności. Sytuację taką i związane z nią problemy

dobrze egzemplifikuje komputeryzacja gier (np. oprogramowanie komputera grającego w szachy, który potrafi wygrać z mistrzem), choć w istocie mają one znacznie poważniejsze zastosowania praktyczne, np. w zarządzaniu skomplikowanymi przedsięwzięciami lub w kompleksowym sterowaniu złożonymi elastycznymi procesami produkcyjnymi.

5. Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności

Do podstawowych funkcji tzw. inteligentnych systemów informatycznych, a tym samym do najważniejszych problemów sztucznej inteligencji należy wyznaczanie decyzji w warunkach niepewności. Zakładanie determinizmu i kompletnej informacji dotyczącej przedmiotu decyzji jest główną przyczyną ograniczającą praktyczną przydatność konwencjonalnych systemów informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji (ang. Decision Support Systems). Z drugiej strony właśnie w rozwiązywaniu zadań podejmowania decyzji w warunkach niepewności może się ujawnić odpowiedni poziom inteligencji, doświadczenia i inwencji człowieka-decydenta, a komputeryzacja tego rodzaju zadań może być godna nazwy „sztuczna inteligencja” we współczesnym rozumieniu tego pojęcia. Inaczej mówiąc, właśnie współczesne metody i narzędzia sztucznej inteligencji, takie jak algorytmy genetyczne, sieci neuronalne, formalizmy rozmyte, algorytmizacja procedur rozumowania i procesów uczenia, algorytmizacja strategii growych itp. są niezbędne do komputeryzacji skomplikowanych zadań decyzyjnych w warunkach niepewności.

Istnieje ogromna różnorodność definicji, podejść i metod w tej dziedzinie. W odniesieniu do zadań decyzyjnych ich wspólną cechą jest to, że przyjmuje się pewien formalny opis (czyli model) niepewności i w konsekwencji problem decyzyjny formułuje się w sposób adekwatny do tego opisu, tzn. tak, aby problem ten miał odpowiedni sens praktyczny i dał się rozwiązać. Istotne jest tu sformułowanie wymagania dotyczącego efektu decyzji, które nie może być tak precyzyjne i ostre jak w przypadku deterministycznym. Mimo ogromnego dorobku w tej dziedzinie, od klasycznych już metod podejmowania decyzji z probabilistycznym opisem niepewności poprzez stosowanie formalizmów rozmytych i pokrewnych – praktyczne efekty często bywają niezadowolające. Wydaje się, że można wskazać na dwa powiązane z sobą powody tej sytuacji:

1. Projektowanie i realizacja algorytmów decyzyjnych są zwykle związane z dużymi komplikacjami obliczeniowymi, co jest szczególnie istotnym utrudnieniem, gdy kolejne decyzje muszą być podejmowane i realizowane szybko, w systemach pracujących w czasie rzeczywistym. W dodatku efekt tych obliczeń jest często oparty na nieuzasadnionych praktycznie założeniach i jest bardzo wrażliwy na zmiany wartości arbitralnie przyjmowanych danych, którymi są parametry w modelach niepewności.

2. Nader często formalna stylizacja niepewności ma niewiele wspólnego z rzeczywistością, a nieprecyzyjna lub niejednoznaczna interpretacja modeli niepewności utrudnia lub uniemożliwia praktyczną interpretację rezultatów. Po prostu w wielu opracowaniach niepewność jest bardzo różnie rozumiana, co prowadzi do wielu nieporozumień.

Z pewnością warto wprowadzić rozróżnienie pomiędzy *niepewnością obiektu* decyzyjnego (oznaczającą brak determinizmu w działaniu obiektu, ujawniający się w tym, że efekty decyzji nie są jednoznacznie określone przez decyzje) od *niepewności eksperta* formułującego wiedzę o obiekcie na podstawie niepełnych lub niedokładnych informacji, i wreszcie od *niepewności decydenta*, będącej konsekwencją dwóch poprzednich niepewności. Jeśli problem decyzyjny rozwiązuje komputer, to niepewność decydenta oznacza podanie rozwiązań wielowariantowych z ewentualną oceną poszczególnych wariantów. W efekcie mamy do czynienia z komputerowym systemem wspomagającym podejmowanie decyzji, a wybór odpowiedniego wariantu decyzyjnego należy do użytkownika. W warstwie interpretacyjnej, dla uniknięcia nieporozumień warto również rozróżniać określenia „stopień prawdy”, „stopień pewności” i „stopień spełnienia własności”, stosowane w różnych sytuacjach dla wartości logicznych w logice wielowartościowej i w konsekwencji dla tzw. własności (predykatów) miękkich, czyli takich, które dla konkretnych wartości zmiennych stają się zdaniami w logice wielowartościowej.

Perspektywy rozwojowe budowy i zastosowań praktycznych inteligentnych systemów informatycznych wyznaczających decyzje lub wspomagających podejmowanie decyzji w warunkach niepewności zależą w dużej mierze od dwóch czynników:

1. Opracowywania takich formalizmów niepewności, które z jednej strony w większym stopniu byłyby adekwatne do sytuacji rzeczywistych, a z drugiej – przy aktualnym i przewidywanym stanie techniki komputerowej umożliwiały komputerową realizację odpowiednich algorytmów decyzyjnych i sensowną, akceptowalną przez praktyków interpretację wyników.
2. Uporządkowania, ujednolicenia i ewentualnie uogólnienia formalnych podstaw analizy i podejmowania decyzji w systemach niepewnych. Opracowanie takiej zwartej, jednolitej i praktycznie przydatnej *teorii systemów niepewnych* na bazie dotychczasowego ogromnego dorobku w tej dziedzinie jest moim zdaniem jednym z podstawowych wyzwań w dziedzinie współczesnej informatyki, automatyki i techniki systemów, od którego realizacji zależą możliwości racjonalnego projektowania, efektywnego działania i zwiększenia zakresu przydatności praktycznej informatycznych systemów decyzyjnych, a więc zależy dalszy rozwój tego typu inteligentnych systemów informatycznych.

Badania w tym zakresie przynoszące obiecujące efekty prowadzone są w wielu ośrodkach. W naszym ośrodku można tu wymienić opracowaną w ostatnich latach i dalej rozwijaną koncepcję tzw. *zmiennych niepewnych* przydatną w tych sytuacjach, gdy ekspert charaktery-

zuje możliwe przybliżone wartości nieznanej wielkości liczbowej za pomocą tzw. rozkładu pewności, a także próbę opracowania zunifikowanych podstaw podejmowania decyzji w systemach niepewnych, traktującą jednolicie opis niepewności o charakterze liczbowym za pomocą zmiennych losowych, niepewnych i rozmytych, i wyjaśniającą relacje pomiędzy tymi opisami. Reakcje na publikacje oraz prezentacje wyników, które miałem okazję przedstawić na kilku ważnych konferencjach międzynarodowych (m.in. na ostatnim Światowym Kongresie Komputerów IFIP), a także na wykładach w ośrodkach zagranicznych – świadczą o tym, że koncepcje te i uzyskane wyniki spotkały się z zainteresowaniem.

6. Komputeryzacja procesów uczenia

Również i ta problematyka sztucznej inteligencji ma duże tradycje i jest reprezentowana dużym dorobkiem, a także licznymi zastosowaniami praktycznymi, np. w komputerowo wspomaganej diagnostyce technicznej i medycznej, w komputeryzacji sterowania oraz w konstrukcji inteligentnych robotów. Można tu wymienić udane koncepcje i realizacje pierwszych perceptronów, które stały się pierwowzorem późniejszego intensywnego rozwoju metod i programów dla komputeryzacji procesów „uczenia się na błędach” i „uczenia się na przykładach”, algorytmizację procesów uczenia w pewnej klasie adaptacyjnych systemów sterowania, a przede wszystkim ogromny rozwój sieci neuronalnych, których istota działania wiąże się z procesami uczenia. Podstawowa i bardzo płodna idea uczenia się podejmowania decyzji z tzw. nauczycielem lub trenerem zaowocowała realizacjami inteligentnych systemów informatycznych, w których wyznaczanie decyzji odbywa się nie według algorytmu opracowanego na bazie modelu matematycznego obiektu, lecz w wyniku odpowiednio sformalizowanej umiejętności lub doświadczenia nauczyciela, przekazywanego komputerowi w procesie uczenia. Z jednej strony daje to ogromne możliwości bezpośredniego wykorzystania wiedzy i doświadczenia wysokiej klasy ekspertów, z drugiej – może paradoksalnie – powoduje też pewne zagrożenia, do których jeszcze wrócimy.

Ważne znaczenie dla przyszłego rozwoju i możliwości zastosowań komputerowych systemów ekspertowych ma problematyka procesów uczenia w systemach z reprezentacją wiedzy. Ogólnie mówiąc, uczenie polega tu na sukcesywnej walidacji wiedzy i jej ewentualnym uaktualnianiu na podstawie bieżących informacji (w szczególności na podstawie wyników obserwacji) oraz na wyznaczaniu bieżących decyzji na podstawie uaktualnionej wiedzy. Warto przy tym rozróżnić dwie podstawowe koncepcje, nie zawsze jasno formułowane, czego konsekwencją są liczne nieporozumienia i niepowodzenia w praktycznych realizacjach. Według jednej koncepcji (podejście deskryptywne) decyzje wyznacza się na podstawie podanej przez eksperta wiedzy o obiekcie podejmowania decyzji, czyli o związku pomiędzy decyzją i jej efektem. Jest to wiedza o tym JAK JEST. Druga koncepcja (podejście preskryptywne)

polega na tym, że ekspert bezpośrednio formułuje wiedzę o podejmowaniu decyzji, czyli o związku pomiędzy danymi do podjęcia decyzji i decyzją. Jest to zatem wiedza o tym JAK DZIAŁAĆ. W obu przypadkach opis wiedzy odbiega od klasycznych funkcjonalnych modeli i zawiera niepewności. W efekcie także w drugim przypadku pozostaje zadanie do wykonania dla projektanta systemu, a mianowicie opracowanie deterministycznego algorytmu decyzyjnego na podstawie wiedzy sformułowanej przez eksperta. Drugie podejście w zastosowaniu do systemów sterowania jest charakterystyczne dla tzw. regulatorów rozmytych. Rozróżnienie wymienionych koncepcji dotyczy również uczenia. W pierwszym przypadku bezpośrednio uaktualnia się wiedzę o obiekcie i w konsekwencji pośrednio – sposób podejmowania decyzji, w drugim natomiast – bezpośrednio uaktualnia się wiedzę o podejmowaniu decyzji. Warto zauważyć, że dwa wymienione podejścia dotyczą nie tylko zadań decyzyjnych, lecz ogólnie – rozwiązywania problemów na podstawie reprezentacji wiedzy i odnoszą się do różnych sytuacji praktycznych, a także do potocznego rozumienia pojęć „wiedza” i „uczenie się”. Dlatego stanowią one tak ważny element współczesnej problematyki sztucznej inteligencji i dlatego tak ważnym wydaje się zadanie ich porównania, właściwej oceny oraz opracowania wynikających stąd rekomendacji praktycznych dla projektowania i eksploatacji odpowiedniej klasy inteligentnych systemów informatycznych, w których wystąpią bazy wiedzy i programy uczenia.

W ostatnich czasach podjęliśmy próbę porównania obu podejść dla pewnej klasy systemów decyzyjnych oraz opisu niepewności w formie probabilistycznej i rozmytej. Wyniki sformułowane w postaci tzw. zasad równoważności, a także badania symulacyjne, wskazują na duże różnice w efektywności obu podejść, co skłania do pewnego dystansu i krytycyzmu wobec rozpowszechnionych opinii o zaletach i praktycznej przydatności regulatorów rozmytych. Podstawowym rezultatem prac naszego ośrodka w omawianym zakresie jest natomiast rozwinięcie oryginalnej koncepcji procesów uczenia (tj. *walidacji i uaktualniania wiedzy*) dla szerokiej klasy systemów z tzw. relacyjną reprezentacją wiedzy, a także opracowanie odpowiednich algorytmów, ocena ich efektywności w wyniku badań symulacyjnych oraz zastosowanie w praktycznym problemie sterowania rozdziałem surowca w pewnym procesie produkcyjnym oraz rozdziale obciążenia w systemie komputerowym. Część tych prac realizowana była w ramach jednego z programów Europejskiej Fundacji Nauki. Muszę nieskromnie stwierdzić, że obecnie problematyka uczących się systemów z reprezentacją wiedzy jest swego rodzaju wizytówką naszego zespołu, a spektakularnym wyrazem uznania dla cyklu naszych publikacji jest organizacja sesji specjalnych na ten temat, które prowadziłem na kilku międzynarodowych imprezach na zaproszenie organizatorów, publikacja w specjalnym milennym wydaniu czasopisma „Kybernetes” na zaproszenie redakcji oraz artykuł na temat uczących się systemów sterowania z reprezentacją wiedzy zamówiony przez międzynarodową

redakcję przygotowywanego obecnie wielotomowego dzieła o charakterze encyklopedycznym pod tytułem „Life Support Systems”. Zawarty tam obszerny dział poświęcony automatyce, informatyce, i technice systemów świadczy o znaczeniu naszych dziedzin w zastosowaniu do biologii, medycyny, ochrony zdrowia, rolnictwa itp. problematyki, która składa się na treść wymienionej bardzo obszernej encyklopedii.

W uzupełnieniu uwag o wiedzy i uczeniu chciałbym wymienić jeszcze jeden aspekt ważny dla obecnych i przyszłych zastosowań. Otóż przewidywane rozszerzenie zakresu funkcjonalnego inteligentnych systemów informatycznych w ogólności, a systemów decyzyjnych w szczególności wymaga uwzględnienia tego, że decyzje mogą być podejmowane na podstawie wielu niekoniecznie uporządkowanych informacji pochodzących z różnych źródeł i w różnym stopniu przydatnych. Dlatego tak ważnego znaczenia dla przyszłych realizacji nabierają opracowania poświęcone różnie nazywanemu porządkowaniu dużych ilości informacji, wydobywaniu lub eksploracji danych (ang. *data mining*) oraz dekompozycji wiedzy i podejmowaniu decyzji na podstawie wiedzy rozproszonej. Naszym skromnym udziałem w tym zakresie jest rozszerzenie wcześniej opracowanych algorytmów i programów uczenia z uaktualnianiem wiedzy na pewien przypadek rozproszonej bazy wiedzy o określonej strukturze. Rozproszenie takie ma istotne implikacje nie tylko metodologiczne, ale i techniczne związane z implementacją komputerową. Było to m.in. tematem mojego wykładu na ostatnim Światowym Kongresie Komputerów IFIP.

7. Zastosowania

Możliwości realnych zastosowań, a przede wszystkim zrealizowane już (często spektakularne) zastosowania wpływają oczywiście stymulująco na rozwój metod i środków sztucznej inteligencji. Realizacje, możliwości i perspektywy zastosowań wymagają jednak właściwej oceny, wolnej od komercyjnych aspektów i reklamarskiej przesady pozwalającej używać modnego określenia „inteligentny” nie tylko w stosunku do komputerów, ale nawet zwykłego proszku do prania. W istocie chodzi o to, że użytkownik w swojej pracy umysłowej wymagającej wiedzy i inteligencji może korzystać z pomocy realizatora lub „rozwiązywacza problemu” (ang. *problem solver*), którym może być inny człowiek lub grupa ludzi, albo urządzenie techniczne zwane umownie komputerem. W realizatorze umieszczony został pewien fragment wiedzy eksperta oraz procedura posługiwania się tą wiedzą, którą realizator na życzenie eksperta i z dodatkowymi konkretnymi danymi może wykonać. Odpowiedni sposób zapisu wiedzy i procedury oraz sposób jej realizacji zostały zaprojektowane przez projektanta systemu. W efekcie realizator może wspomagać naszego użytkownika w rozwiązywaniu ściśle określonego zakresu problemów, zdefiniowanego zakresem wprowadzanej wiedzy i umiejętnością posługiwania się nią według ściśle określonych reguł. To, czy takiego reali-

zatora, a w przypadku komputera – komputerowego eksperta można nazwać „inteligentnym ekspertem” jest poniekąd rzeczą gustu, i – jak już wspominaliśmy – nie nazwy są tu najważniejsze, a zakres funkcjonalny i stopień trudności rozwiązywanych problemów. Faktycznie, nasz komputer-ekspert jest swego rodzaju „imitatorem” eksperta w wyrażnie określonym zakresie lub pośrednikiem, którym z konieczności musi się zadowolić użytkownik, bo ekspert jest jeden, a użytkowników wielu.

Przechodząc do konkretów, zwróćmy uwagę na kilka znaczących sfer zastosowań, które w istotny sposób determinują kierunki i perspektywy rozwoju metod i technik sztucznej inteligencji, i odwrotnie – dla których szansą dalszego rozwoju mogą być nowe metody i techniki stanowiące podstawę projektowania inteligentnych systemów informatycznych. Są to przede wszystkim wspomniane już wielokrotnie komputerowe systemy wspomagające podejmowanie decyzji, a w szczególności komputerowe systemy projektowania, diagnostyki, sterowania i zarządzania. Projektowanie i działanie w czasie rzeczywistym komputerowego systemu sterującego złożonym tzw. dyskretnym procesem produkcyjnym z wieloma ruchomymi realizatorami poszczególnych operacji (np. operacji montażowych) a nawet przemieszczającymi się obiektami tych operacji – może być dobrym przykładem zastosowania wszystkich wymienionych tu metod i technik sztucznej inteligencji: rozwiązywania trudnych zadań logicznych, generacji decyzji sterujących w warunkach niepewności na podstawie relacyjnej i logicznej reprezentacji wiedzy, zastosowania procesów uczenia dla przystosowywania się do zmieniających się wymagań i warunków zewnętrznych itp. Przykładem prac naszego zespołu może być zastosowanie procesów uczenia i formalizmów zmiennej niepewnej do opracowania podstaw projektowania systemu ekspertowego dla sterowania rozdziałem surowców i produktów w wybranym procesie produkcyjnym z uwzględnieniem transportu.

O wadze i popularności tematyki ekspertowych i inteligentnych systemów sterowania może świadczyć duża liczba publikacji, a także znaczący udział tej tematyki w cyklicznych Europejskich Konferencjach Sterowania, na których miałem przyjemność prowadzić zorganizowane na zaproszenie organizatorów sesje specjalne na temat niepewnych i inteligentnych systemów sterowania.

Warto zwrócić uwagę na zastosowania metod sztucznej inteligencji w zewnętrznym i wewnętrznym sterowaniu komputerowym tzw. inteligentnych robotów. Jest to sytuacja, w której decyzje sterujące stosowane są bezpośrednio do sterowania czynnościami manipulacyjnymi, a efektem są urządzenia kontaktujące się z otoczeniem i wykonujące skomplikowane czynności manipulacyjne z określonym zakresem inteligencji. Zakres ten już obecnie może być imponujący, o czym po raz kolejny mogłem przekonać się przed miesiącem, w czasie demonstracji robotów-zabawek i robotów grających w piłkę podczas dorocznej konferencji „Artificial Life and Robotics” w Japonii. Nazwa ta warta jest przytoczenia, świadczy bowiem

o tym, że obecnie Sztuczna Inteligencja traktowana jest jako część szerszej dziedziny zwanej Sztucznym Życiem. I choć kryją się pod tą nazwą poważne prace naukowe, interesujące rezultaty i pożyteczne praktyczne produkty, to lansowanie takiej nazwy (jeszcze bardziej pretensjonalnej niż „sztuczna inteligencja”) może wzbudzać uzasadnione opory. Sam jestem tu nie bez grzechu jako wieloletni członek międzynarodowego komitetu programowego i uczestnik tych konferencji, a także członek redakcji wydawanego przez japoński oddział Springer'a kwartalnika naukowego o tej samej nazwie.

Obiecującym i perspektywicznym obiektem zastosowań metod sztucznej inteligencji może być złożony system komputerowy. Komputer występuje tu zatem w dwóch rolach: jako obiekt oraz jako komputer-ekspert stosowany do projektowania i sterowania systemem komputerowym. Mogą to być oddzielne komputery lub jeden zintegrowany system komputerowy z wewnętrznym „inteligentnym” sterowaniem. Często mówimy o inteligentnym systemie informatycznym nawet wówczas, gdy funkcja podstawowego komputera nie polega na rozwiązywaniu problemów ale np. na wspomaganiu transmisji czy przetwarzania informacji, natomiast inteligentne jest sterowanie tym podstawowym narzędziem. Rozwój metod i technik sztucznej inteligencji stwarza niewątpliwie nowe możliwości i perspektywy budowy systemów informatycznych, które zbierają, gromadzą, uczestniczą w transmisji lub przetwarzają duże ilości różnorodnych informacji i dla których pierwszorzędno znaczenia nabierają problemy i techniki właściwego gromadzenia, organizacji i segregacji tych informacji oraz eksploracji danych. Aktualnie jeden z kierunków badawczych w naszym zespole poświęcony jest właśnie zastosowaniu metod sztucznej inteligencji do projektowania i sterowania złożonych systemów komputerowych, a wyniki dotyczące np. zastosowania metody-logiczno algebricznej, zmiennych niepewnych i procesów uczenia do sterowania rozdziałem obciążeń w grupie komputerów opisanej logiczną lub relacyjną reprezentacją wiedzy oraz zastosowania sieci neuronalnej i adaptacyjnych regulatorów rozmytych do sterowania przyjmowaniem zgłoszeń w sieciach komputerowych typu ATM – wydają się pożyteczne i interesujące.

Przytoczone tu uwagi o komputerowych systemach sterowania i zarządzania oraz o zastosowaniach metod sterowania i zarządzania w złożonych systemach komputerowych skłaniają do jeszcze jednej refleksji. Otóż sztywne podziały pomiędzy takimi dyscyplinami jak automatyka, informatyka, zarządzanie, analiza systemowa itp. mają może znaczenie historyczne, ale dzisiaj nie są już możliwe i potrzebne. Są to powiązane z sobą grupy zagadnień metodologicznych i technicznych rozwijające się na bazie dwóch dyscyplin podstawowych: inżynierii systemów oraz inżynierii wiedzy. Realizacje praktyczne wykorzystują środki techniki komputerowej do: identyfikacji, modelowania, analizy, podejmowania decyzji, projektowania i sterowania – natomiast zastosowania mogą dotyczyć realnych obiektów i systemów o różnej naturze.

8. Inne problemy i uwagi końcowe

Wspominaliśmy już wielokrotnie, że perspektywy rozwojowe i możliwości rozszerzania zakresu funkcjonalnego inteligentnych systemów informatycznych zależą w równej mierze od dwóch czynników: rozwoju metod formalizacji wiedzy i procesów myślowych oraz rozwoju narzędzi komputerowych do realizacji tych metod i procedur. Czy obecnie możemy mówić o barierze „sprzętowej” uniemożliwiającej zastosowania coraz bardziej zaawansowanych i wyrafinowanych metod i algorytmów sztucznej inteligencji? Chyba nie. Wydaje się, że raczej przeciwnie – chyba zbliżamy się do kresu możliwości takiego formalizowania procesów intelektualnych i pokrewnych, by mogły być realizowane w sposób sztuczny, poza ludzkim mózgiem. Oba sądy są jednak o tyle dyskusyjne, że opierają się na istniejących i wyobrażalnych w przyszłości możliwościach techniki komputerowej, ogólniej – możliwościach materialnych struktur przydatnych do realizacji procesów myślowych. Potrzeby, możliwości formalne i aspiracje dotyczące rozwoju sztucznej inteligencji mogą być ważnym stymulatorem dla jakościowych innowacji dotyczących struktur materialnych. Używając dzisiejszego języka, powiedzielibyśmy, że mogą być stymulatorem nie tylko dla doskonalenia obecnej techniki komputerowej (miniaturyzacji, niezawodności, efektywności) – ale dla wprowadzania nowej filozofii, nowych podstaw działania narzędzi przydatnych do realizacji skomplikowanych procesów intelektualnych. Po części już są, żeby wymienić tylko neurokomputery oraz prace związane z wykorzystaniem osiągnięć genetyki i biologii molekularnej w zakresie dotyczącym gromadzenia i przetwarzania informacji. Obiecujący może być również tzw. *soft computing* lub *soft programming*, jeśli kierunek ten realnie doprowadzi do przeniesienia „miękości” i „rozmytości” z metod, algorytmów i programów na struktury materialne. Były już zresztą udane koncepcje, a nawet realizacje złożonych struktur działających w sposób losowy na poziomie mikro i w sposób praktycznie deterministyczny na poziomie makro.

Brak miejsca nie pozwala mi już na szersze scharakteryzowanie ewentualnych zagrożeń wymienionych w tytule. Ograniczę się tylko do stwierdzenia, że nie chodzi o dość powszechnie formułowane, często nieuzasadnione lub przesadne opinie o zagrożeniach cywilizacyjnych związanych z rozwojem techniki komputerowej w ogóle, ale o ewentualne negatywne skutki rozwoju i rozpowszechniania *inteligentnych* systemów informatycznych. Spośród kilku takich aspektów chciałbym wybrać i zaakcentować jeden, o którym już wspominałem i który wiąże się z uwagami na temat użytkownika, realizatora i eksperta na początku punktu 7. Otóż możliwość korzystania z wiedzy i inteligencji nielicznych wybitnych ekspertów przez szerokie rzesze użytkowników za pośrednictwem komputerowego „imitatora” w takim sensie, w jakim to zostało przedstawione – jest niewątpliwie fascynująca. Zauważmy jednak, że jest to nieco inna sytuacja niż np. korzystanie przez rzesze czytelników z książki wybitnego autora. W przypadku naszego komputera-imitatora jest to wyręczanie użytkownika

w rozwiązywaniu konkretnych problemów i to bynajmniej nie problemów rutynowych, lecz wymagających określonego wysiłku intelektualnego. Jeśli dodamy do tego pożyteczne skądinąd dążenia do uniwersalizacji, o której była mowa w p. 3, to uzasadnione mogą być niepokoje związane z – obserwowanym zresztą – pogłębianiem się różnic pomiędzy coraz mniejszą grupą ekspertów rozwiązujących problemy i rosnącą grupą użytkowników, czyli odbiorców rozwiązań przedstawianych w gotowej proceduralnej formie i masowo powielanych.

Zastosowana tu dychotomia (dwustanowy podział na mądrych ekspertów i rozleniwionych intelektualnie odbiorców) jest wprawdzie ogromnym uproszczeniem, a problem został przejawiony – niemniej jednak jest to zagrożenie realne, o dalekosiężnych i różnorodnych skutkach. Można go pogłębiać przez niewłaściwą edukację lub częściowo mu przeciwdziałać przez odpowiedni proces kształcenia. Mam tu na myśli edukację na różnym poziomie i w różnym zakresie, ale przede wszystkim kształcenie informatyków na poziomie wyższym i wyrabianie przekonania, że warto uczyć się nie tylko budowy, działania i obsługi systemu komputerowego jako narzędzia, ale również metod i technik *rozwiązywania problemów* z użyciem tego narzędzia. Trzeba jednak przyznać, że wyrabianie takiego przekonania jest w naszej obecnej krajowej rzeczywistości z różnych powodów bardzo trudne.

Według licznych prognoz jednym z wyznaczników postępu cywilizacyjnego w rozpoczynającym się stuleciu będzie rozwój tego, co dziś nazywamy sztuczną inteligencją i sztucznym życiem. Trudno obecnie ocenić formy oraz ewentualne pozytywne i negatywne skutki tego rozwoju. Przechodząc natomiast do bardziej realnych i bliższych nam konkretów możemy z przekonaniem stwierdzić, że obecne oraz przewidywane w najbliższych latach osiągnięcia w dziedzinie teorii i techniki inteligentnych systemów informatycznych mogą stworzyć szansę budowy i zastosowań znacznie bardziej efektywnych komputerowych systemów wspomagających podejmowanie decyzji, przydatnych do komputeryzacji projektowania, diagnostyki, sterowania i zarządzania, a także do budowy i zastosowań inteligentnych robotów o znacznie zwiększonych możliwościach funkcjonalnych. Realne potrzeby i możliwości stwarzają również duże zapotrzebowanie na dalsze prace badawcze poświęcone formalizacji i komputeryzacji rozwiązywania różnorodnych problemów na podstawie reprezentacji wiedzy z zastosowaniem rozumowania w ogólności, a złożonych i trudnych problemów decyzyjnych w szczególności. Nasze uczestnictwo w licznej, bardzo aktywnej i dobrze zorganizowanej społeczności międzynarodowej pracującej w tej dziedzinie ma również i tę zaletę, że pozwala nam na utrzymanie przekonania o przydatności i użyteczności naszych prac.



Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ. 65924



001-065924-00-0

CZYTELNIA BG ZUT

14.12

CZYTELNIA BG ZUT