



POLITECHNIKA LUBELSKA  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki



Prof. dr hab. inż.

**Witold  
PEDRYCZ**

**Doktor Honoris Causa**  
Politechniki Lubelskiej

Lublin 2024



Rada Dyscypliny Naukowej  
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
Politechnika Lubelska



Wydział Elektrotechniki  
i Informatyki  
Politechnika Lubelska



POLITECHNIKA  
LUBELSKA



# Doktor Honoris Causa

## Politechniki Lubelskiej

Prof. dr hab. inż.

**Witold**  
**PEDRYCZ**



Lublin 2024





**Uchwała Nr 48/2023/IX  
Senatu Politechniki Lubelskiej  
z dnia 30 listopada 2023 r.**

**w sprawie nadania  
prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi  
tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej**

Działając zgodnie z § 7 ust. 2 oraz § 23 ust. 1 pkt 2 Statutu Politechniki Lubelskiej, na wniosek Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Lubelskiej, Senat u c h w a l a, co następuje:

**§ 1.**

Senat Politechniki Lubelskiej, po zapoznaniu się z opiniami prof. dr. hab. inż. Janusza Kacprzyka z Instytutu Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk, prof. dr. hab. inż. Stanisława Kozielskiego z Politechniki Śląskiej oraz prof. dr. hab. inż. Ryszarda Tadeusiewicza z Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, oceniając dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny jako wybitny

**n a d a j e**

**prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi**

**tytuł**

**DOKTORA HONORIS CAUSA  
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

**§ 2.**

Uchwała wchodzi w życie z dniem podpisania przez rektora Politechniki Lubelskiej.

Przewodniczący  
Senatu Politechniki Lubelskiej



R e k t o r

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater



SUMMIS AUSPICIIS  
SERENISSIMAE REI PUBLICAE POLONORUM  
NOS  
RECTOR  
CONSILIUM DISCIPLINAE INFORMATICAE TECHNICAЕ ET TELECOMMUNICATIONIS  
DECANUS FACULTATIS ELECTROTECHNICAЕ ET INFORMATICAE  
NEC NON  
PROMOTOR RITE CONSTITUTUS  
SENATU POLYTECHNICAЕ LUBLINENSIS IUUVANTE  
SENTENTIAS LAUDATIONES PROFESSORUM STANISLAI KOZIELSKI, IANUSSII  
KACPRZYK, RICHARDI TADEUSIEWICZ CONSULTORUM SECUTI  
SENATIBUS POLYTECHNICAЕ SILESIENSIS ATQUE ACADEMIAE METALLURGICAE-  
AERARIAE CRACOVIENSIS NOMINI STANISLAI STASZIC DICATAE FOVENTIBUS

IN  
CLARISSIMUM DOMINUM  
PROFESSOREM ORDINARIUM SCIENTIARUM TECHNICARUM  
IN MATERIE ARTIFICIALIS INTELLIGENTIAE AUCTORITATE, QUAE IN ORBEM  
TERRARUM PATET, VIRUM DOCTISSIMUM  
SOCIUM ACADEMIAE SCIENTIARUM POLONAE

## VITOLDUM PEDRYCZ

QUI DISCIPLINAM INFORMATICAM, ARTIS AUTOMATARIAE AC ROBOTICAE  
STUDIOSISSIME EXCOLUIT ET AUXIT  
COMMUNITATEM STUDIORUM DOCTORUMQUE IN POLONIA INTEGRAVIT  
NEC MINUS SUCCESSUS POLONORUM PEREGRE DIVULGAVIT

## DOCTORIS HONORIS CAUSA SCIENTIARUM TECHNICARUM

NOMEN AC DIGNITATEM, IURA AC PRIVILEGIA CONTULIMUS IN EIUSQUE REI  
FIDEM HOC DIPLOMA SIGILLO POLYTECHNICAЕ LUBLINENSIS SANCIENDUM  
CURAVIMUS

SBYGNEUS PATER

H. T. RECTOR MAGNIFICUS

GEORGIUS MONTUSIEWICZ

PAULUS WĘGIEREK

PROMOTOR

H. T. DECANUS

LUBLINI, DIE XVI MENSIS MAII A. D. MMXXIV



# Laudacja







*Dr hab. inż. Jerzy Montusiewicz, prof. uczelni  
Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej  
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*

## LAUDACJA

z okazji uroczystego nadania  
prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi  
godności Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej

*Magnificencjo Rektorze,  
Wysoki Senacie,  
Czcigodni Doktorzy Honoris Causa,  
Profesorowie Honorowi Politechniki Lubelskiej,  
Wielce Dostojni Goście*

Z woli Senatu Politechniki Lubelskiej, na wniosek Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, wobec wysoce pozytywnych opinii dorobku prof. dr. hab. inż. Witolda Pedrycza przedstawionych przez profesorów powołanych na recenzentów w procedurze nadania najwyższej godności akademickiej: Janusza Kacprzyka, Ryszarda Tadeusiewicza i Stanisława Kozielskiego, a reprezentujących znakomite polskie ośrodki naukowe: Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz Politechnikę Śląską w Gliwicach, a także z woli Wysokich Senatów tych uczelni, mam zaszczyt wygłosić laudację komplementującą osiągnięcia naukowe i zasługi Uhonorowanego.



Profesor Witold Pedrycz, Członek Zagraniczny Polskiej Akademii Nauk, jest cenionym w kraju i za granicą autorytetem w środowisku naukowym skupiającym specjalistów z dziedziny nauk technicznych w zakresie szeroko rozumianej informatyki. To światowej sławy uczoney w obszarze zbiorów rozmytych, sztucznej inteligencji, a zwłaszcza inteligencji obliczeniowej. Jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie zdobywał kolejne stopnie naukowe: mgr. inż. z wyróżnieniem w 1977 roku, dr. w 1980 roku oraz dr. hab. w 1984 roku. Tytuł profesora nauk technicznych otrzymał w Instytucie Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w 2001 roku. Profesor Witold Pedrycz urodził się w tym samym roku, w którym do życia została powołana nasza Alma Mater. Przyznanie Profesorowi Witoldowi Pedryczowi w 2023 roku godności Doktora Honoris Causa jest piękną klamrą zwieńczającą jubileusz 70-lecia Politechniki Lubelskiej.

W latach 1977–1990 swoją karierę naukową Profesor Witold Pedrycz związał z macierzystym Wydziałem Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Wiedziony ciekawością świata i wewnętrznym imperatywem pogłębiania wiedzy podjął decyzję o wyjeździe na staż do Delft University of Technology w Niderlandach, a następnie do University of Manitoba w Kanadzie. W 1990 roku zamieszkał na stałe w Kanadzie, gdzie w latach 1990–1998 pracował na etacie profesora w University of Manitoba, by następnie przenieść się do University of Alberta. Pomimo piastowania wielu znaczących funkcji i stanowisk na uniwersytetach i w organizacjach naukowo-technicznych w Kanadzie, pielęgnował więzi z Polską. W 2001 roku uzyskał w Polsce tytuł profesora, w 2009 roku został członkiem zagranicznym PAN, w latach 2012–2017 pracował na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim Jana Pawła II, a od 2019 pracuje jako profesor wizytujący w Politechnice Lubelskiej, prowadząc zajęcia na kierunku Informatyka na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki.

Profesor Witold Pedrycz wniósł wybitny wkład w rozwój wielu gałęzi informatyki technicznej, budując ich podstawy teoretyczne i wprowadzając rozwiązania praktyczne. Jego rozważania naukowe w zakresie: inteligencji obliczeniowej, obliczeń granularnych i relacyjnych, modelowania i sterowania rozmytego, metod grupowania, modeli ziarnistych i modeli rozmyto-neuronowych, rozpoznawania wzorców, a także modeli grupowego podejmowania decyzji są studiami pionierskimi i oryginalnymi. Prace te wywarły znaczący wpływ na postęp badań w skali światowej. W rozwijanej koncepcji obliczeń ziarnistych Profesor Witold Pedrycz

zapropował oryginalne podejście do wykorzystania ziaren informacji. Stworzył zaawansowane metody grupowania, dotyczące między innymi sposobów włączenia wiedzy dziedzinowej wraz ze zbiorem posiadanych danych do algorytmów grupowania. Wprowadził oryginalny paradygmat modelowania systemów, polegający na włączeniu ziaren informacji istotnych dla przetwarzania niejednorodnych danych i oceny jakości wyników. Ponadto opracował oryginalne modele wieloatrybutowego i grupowego podejmowania decyzji, pokazując przy tym, w jaki sposób skutecznie poradzić sobie z aspektami niepewności danych oraz z informacjami w postaci lingwistycznej.

O doniosłości Jego pionierskich badań naukowych świadczą wskaźniki bibliometryczne: wartości indeksu Hirscha – 131 oraz 77, odpowiednio według bazy Google Scholar oraz Web of Science, a także liczba cytoowań, przekraczająca odpowiednio 97 tys. i 30 tys. Od wielu lat Profesor Witold Pedrycz zajmuje znaczącą pozycję na liście World's TOP 2% Scientists. W roku 2023 była to pozycja 725., natomiast w obszarze Networking & Telecommunications – 10., a w obszarze Information & Communication Technologies – 26.

Zdobytą wiedzę i doświadczeniem Profesor Witold Pedrycz chętnie dzielił się ze środowiskiem naukowym, w tym z młodymi adeptami nauki, między innymi recenzując ponad 120 dysertacji doktorskich. Pomimo że wypromował blisko 70 doktorantów, nie stroni od bezpośredniego kontaktu ze studentami, prowadząc również zajęcia na kierunku Informatyka w Politechnice Lubelskiej. Takie właśnie zajęcia prowadził Profesor Witold Pedrycz przez ostatnie dni poprzedzające tę wspaniałą uroczystość.

Profesor Witold Pedrycz realizował kilkadziesiąt międzynarodowych projektów naukowo-badawczych we współpracy z naukowcami z całego świata, między innymi z: Australii, Chin, Kanady, Polski, Singapuru, Taiwanu, Włoch, czy Ameryki Południowej. Pełnił funkcję redaktora naczelnego czasopism naukowych o wysokich współczynnikach wpływu: Information Sciences (Elsevier), WIREs on Data Mining and Knowledge Discovery (Wiley), Journal of Granular Computing (Springer), a także współredaktora wielu innych czasopism oraz opracowań zbiorowych. Uczestniczył aktywnie w organizacji Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), będąc między innymi członkiem komitetów: IEEE CIS Task Force on Explainable Fuzzy Systems, IEEE CIS Distinguished Lecture Programme, IEEE Frank Rosenblatt Award Committee czy IEEE L.A. Zadeh Award Committee.

Profesor Witold Pedrycz został uhonorowany godnością doktora honoris causa Azerbaijan State Oil and Industry University oraz Macao University of Science and Technology, a także uzyskał tytuł honorowego profesora Hebei University (China) oraz School of Computer Science, Nottingham University (UK). Jest członkiem Royal Society of Canada, Engineers Canada oraz International Society of Management Engineers. W 2007 roku otrzymał prestiżową Nagrodę Norberta Wienera, a w 2009 – Międzynarodową Nagrodę Soft Computing. Uzyskał również nagrody: IEEE Fuzzy Systems Pioneer Award, Hispanic American Fuzzy Systems Association, IEEE Canada Computer Engineering Silver Medal oraz K-S Fu NAFIPS Award.

Profesora Witolda Pedrycza miałem przyjemność poznać osobiście w czerwcu 2019 roku, gdy współorganizował wraz z pracownikami Katedry Informatyki konferencję International Conference on Computational Intelligence, Information Technology and Systems Research. W bezpośrednich rozmowach dał się poznać jako ciepły i wrażliwy człowiek, który w każdej chwili jest gotowy na podjęcie wspólnych działań w celu rozwiązania ważkich problemów naukowych. Współpraca Profesora z pracownikami Katedry Informatyki Politechniki Lubelskiej zaowocowała wieloma artykułami w międzynarodowych czasopiśmie naukowych i materiałach konferencyjnych oraz uzyskaniem wspólnych nagród za patent czy wybitny artykuł konferencyjny. Współpraca ta była bez przeszkód kontynuowana nawet w trudnym czasie pandemii.

Dzisiejsza uroczystość nadania godności Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej Profesorowi Witoldowi Pedryczowi to wielkie święto dla naszej społeczności akademickiej i całego środowiska informatycznego w Polsce.

Panie Profesorze, jestem zaszczycony, że wspólnie możemy świętować to doniosłe wydarzenie.

Lublin, 16.05.2024 r.





*Prof. Jerzy Montusiewicz, D.Sc, Ph.D., M.Sc (Eng.)  
Chairman of the Scientific Discipline Council  
Technical Informatics and Telecommunications*

## LAUDATION

on the occasion of the ceremonial awarding  
of Professor Witold Pedrycz with the dignity  
of Doctor Honoris Causa of the Lublin University of Technology

*Magnificence Rector,  
Honourable Senate,  
Venerable Doctors Honoris Causa,  
Honorary Professors of the Lublin University of Technology,  
Very Distinguished Guests*

By the will of the Senate of the Lublin University of Technology, at the request of the Council of the Scientific Discipline of Technical Informatics and Telecommunications, in view of the highly positive opinions about the achievements of Professor Witold Pedrycz presented by professors appointed as reviewers in the procedure of awarding the highest academic dignity: Janusz Kacprzyk, Ryszard Tadeusiewicz and Stanisław Kozielski, and representing outstanding Polish research centres: the Systems Research Institute of the Polish Academy of Sciences, the AGH University of Krakow and the Silesian University of Technology, and also by the will of the High Senates of these universities, I have the honour to deliver a laudation complimenting the scientific achievements and merits of the Honoured Person.

Professor Witold Pedrycz, Foreign Member of the Polish Academy of Sciences, is an authority respected in Poland and abroad in the scientific community bringing together specialists in the field of technical disciplines of broadly understood computer science. He is a world-renowned scientist in the field of fuzzy sets, artificial intelligence, and especially computational intelligence. He is a graduate of the Silesian University of Technology, where he obtained successive degrees: M.Sc. with honours in 1977, Ph.D. in 1980 and habilitation in 1984. He received the title of professor of technical sciences at the Systems Research Institute of the Polish Academy of Sciences in 2001. Prof. Witold Pedrycz was born in the same year in which our Alma Mater was founded. Awarding Prof. Witold Pedrycz in 2023 with the dignity of Doctor Honoris Causa is a beautiful highlight of the 70th anniversary of the Lublin University of Technology.

In the years 1977–1990 Prof. Witold Pedrycz pursued his scientific career at his home Faculty of Automation and Computer Science, the Silesian University of Technology. Driven by curiosity about the world and an internal imperative to deepen his knowledge, he decided to go for an internship at the Delft University of Technology in the Netherlands, and then to the University of Manitoba in Canada. In 1990, he settled permanently in Canada, where in 1990–1998 he worked as a professor at the University of Manitoba, and then moved to the University of Alberta. Despite holding many important functions and positions in universities and scientific and technical organisations in Canada, he cultivated ties with Poland. In 2001, he obtained the title of professor in Poland, in 2009 he became a foreign member of the Polish Academy of Sciences, in 2012–2017 he worked at the John Paul II Catholic University of Lublin, and since 2019 he has been working as a visiting professor at the Lublin University of Technology, conducting classes in the field of Computer Science at the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science.

Prof. Witold Pedrycz made an outstanding contribution to the development of many branches of technical computer science by building their theoretical foundations and introducing practical solutions. His scientific considerations in the field of: computational intelligence, granular and relational computations, fuzzy modelling and control, grouping methods, granular models and fuzzy-neural models, pattern recognition as well as models of group decision-making are

pioneering and original studies, with a high impact on the progress research on a global scale. In the developed concept of granular computing, Prof. Witold Pedrycz proposed an original approach to the use of information grains. He created advanced grouping methods, including ways of incorporating domain knowledge together with the set of existing data into grouping algorithms. He introduced an original systems modelling paradigm, which involved the inclusion of information grains important for processing heterogeneous data and assessing the quality of results. In addition, he developed original models of multi-attribute and group decision-making, showing how to effectively deal with aspects of data uncertainty and linguistic information.

The importance of his pioneering scientific research is evidenced by bibliometric indicators: Hirsch index values – 131 and 77, according to the Google Scholar and Web of Science databases, respectively, as well as the number of citations exceeding, respectively, 97,000 and 30,000. For many years, prof. Witold Pedrycz has held a significant position on the World's TOP 2% Scientists list. In 2023, he was 725th, in the Networking & Telecommunications area – 10th, and in the Information & Communication Technologies area – 26th.

His acquired knowledge and experience Prof. Witold Pedrycz willingly shared with the scientific community, reviewing over 120 doctoral dissertations, and with young science adepts entering the path of scientific development. Even though he has supervised nearly 70 PhD students, he does not shy away from direct contact with students, also conducting classes in the field of Computer Science at the Lublin University of Technology. These were the classes conducted by Professor Pedrycz in the last days preceding this wonderful celebration.

Prof. Witold Pedrycz has carried out several dozen international scientific and research projects in cooperation with scientists from all over the world, including: Australia, China, Canada, Poland, Singapore, Taiwan, Italy and South America. He served as editor-in-chief of scientific journals with high impact factors: Information Sciences (Elsevier), WIREs on Data Mining and Knowledge Discovery (Wiley), Journal of Granular Computing (Springer), as well as co-editor of many other journals and collective works. He actively participated in the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), being a member of, among others, the following committees: IEEE CIS Task

Force on Explainable Fuzzy Systems, IEEE CIS Distinguished Lecture Programme, IEEE Frank Rosenblatt Award Committee, and IEEE L. A. Zadeh Award Committee.

Prof. Witold Pedrycz was honoured with an honorary doctorate from Azerbaijan State Oil and Industry University and the Macao University of Science and Technology, he was awarded the title of honorary professor at Hebei University (China) and the School of Computer Science, Nottingham University (UK), he is a member of the Royal Society of Canada, Engineers Canada and the International Society of Management Engineers. In 2007, he received the prestigious Norbert Wiener Award, and in 2009 – the International Soft Computing Award, as well as the following awards: IEEE Fuzzy Systems Pioneer Award, Hispanic American Fuzzy Systems Association, IEEE Canada Computer Engineering Silver Medal and the K-S Fu NAFIPS Award.

I had the pleasure of meeting Professor Witold Pedrycz in person in June 2019, when he co-organised the International Conference on Computational Intelligence, Information Technology and Systems Research together with employees of the Department of Computer Science. In direct conversations, he became known as a warm and sensitive person who is ready at any time to take joint action to solve interesting scientific problems. The Professor's cooperation with the employees of the Department of Computer Science of the Lublin University of Technology resulted in many articles in international scientific journals and conference materials, as well as obtaining joint awards for a patent or an outstanding conference article. This cooperation continued without any problems even during the difficult time of the pandemic.

Today's ceremony of awarding the dignity of Doctor Honoris Causa of the Lublin University of Technology to Professor Witold Pedrycz is a great celebration for our academic community and the entire IT environment in Poland.

Professor, I am honoured that we can celebrate this momentous event together.

Lublin, May 16, 2024



# Opinie i uchwały









POSIEDZENIE SENATU AGH  
w dniu 5 lipca 2023 r.

PKT 16

Uchwała nr 122/2023

Senatu AGH z dnia 5 lipca 2023 r.

w sprawie przyjęcia recenzji prof. dr. hab. inż. Ryszarda Tadeusiewicza do wniosku Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa prof. Witoldowi Pedryczowi

Na podstawie §15 ust. 4. Statutu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (uchwała nr 92/2023 Senatu AGH z dnia 28 czerwca 2023 r.), Senat AGH uchwała, co następuje:

**§1.**

1. Senat AGH postanawia przyjąć recenzję prof. dr. hab. inż. Ryszarda Tadeusiewicza do wniosku Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa prof. Witoldowi Pedryczowi.
2. Pełny tekst recenzji stanowi załącznik do niniejszej uchwały.

**§2.**

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

REKTOR  
Akademii Górniczo-Hutniczej  
im. Stanisława Staszica w Krakowie

prof. dr hab. inż. Jerzy Lis

*Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz*  
rtad@agh.edu.pl; www.tadeusiewicz.pl; 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30

*No Senat*  
R E K T O R  
Akademii Górniczo-Hutniczej  
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Kraków, 2023-06-05  
prof. dr hab. inż. *Ryszard Lis* 06

## **Opinia dla Senatu AGH do wniosku Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa dla prof. zw. dr hab. inż. Witolda Pedrycza**

Profesor **Witold Pedrycz** jest bez wątpienia jednym z najwybitniejszych polskich Uczonych. Podkreślam, że celowo używam tu słowa „Uczony” a nie popularniejszego określenia „Naukowiec”, gdyż właśnie Uczonym, i to najprzedejszej próby, jest Opiniowany Kandydat, wybrany przez Senat **Politechniki Lubelskiej** do wysokiej (i bardzo zasłużonej!) godności Doktora Honoris Causa. Za chwilę scharakteryzuję bliżej ilościowo i jakościowo dokonania prof. Pedrycza, które upoważniają mnie do takiego właśnie twierdzenia, zanim jednak przejdę do szczegółów pozwolę sobie wskazać kilka faktów i okoliczności ogólniejszej natury.

Ogólnym spostrzeżeniem, które chciałbym podkreślić, jest obserwacja, że prof. Pedrycz jest szeroko znany na świecie i powszechnie szanowany jako Osoba w ogromnym dorobku naukowym, jako Intelktualista mający niezwykle śmiałe pomysły i wyjątkowo przenikliwe sądy, a wreszcie także jako Wspaniały Człowiek, zycżliwy, zawsze skłonny do pomocy, ale jednocześnie kryształowo uczciwy i bardzo pryncypialny jeśli idzie o sprawy naukowe. Wspomniane cechy charakteru prof. Pedrycza sprawiają, że jest On nie tylko otoczony powszechnym szacunkiem, ale także bardzo lubiany, co między innymi sprawia, że chętnie są Mu powierzane funkcje, w których obok kwalifikacji czysto fachowych trzeba także dysponować sporą życiową mądrością. Przykładem (bardzo dobitnym) tej opisanej wyżej reguły było powierzenie Mu funkcji Redaktora Naczelnego w renomowanych czasopismach naukowych: Information Science (Elsevier), WIREs on Data Mining and Knowledge Discovery (Wiley) oraz Journal of Granular Computing (Springer).

Przechodząc po tych uwagach ogólnych do krótkiej charakterystyki prof. Pedrycza i Jego imponującego dorobku, pozwolę sobie przywołać ogólnie znane fakty z życiorysu Kandydata, opatrując je dodatkowo krótkim komentarzem.

Studia ukończył (z wyróżnieniem) w 1977 roku na Politechnice Śląskiej w Gliwicach. Na tejże Politechnice uzyskał w 1980 roku doktorat i w 1984 roku habilitację, pracując w latach 1977-1988 na Wydziale Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej kolejno jako asystent, adiunkt i profesor (uczelniany). W tym czasie odbył staż podoktorski (1981-1982) na Uniwersytecie Technicznym w Delft (Holandia).

Zasadniczy zwrot w karierze zawodowej profesora Witolda Pedrycza nastąpił w 1988 roku. Wyjechał on w tym roku do Kanady, gdzie pracował jako Visiting Professor (1988), Associate Professor (1989-1990) oraz Professor and Associate Chair (1990 – 1998) na University of Manitoba, a następnie przeniósł się do University of Alberta gdzie jest zatrudniony do dziś. W 2012 zaczął dodatkowo współpracować z uczelniami lubelskimi – najpierw z KUL (do 2017 roku), a potem z Politechniką Lubelską (od 2020 roku).

Do szybkiego rozwoju naukowego prof. Pedrycza przyczyniły się zapewne także podstawowe obszary Jego badań. Od początku domeną działań Kandydata stała się wybitnie twórczo traktowana teoria informatyki technicznej, przy czym w przynajmniej sześciu obszarach problemowych prof. Pedrycz jako pierwszy na świecie wytyczał nowe szlaki, a także jako pierwszy formułował i rozwiązywał różne problemy, które potem weszły do kanonu wiedzy w zakresie teoretycznych podstaw informatyki. Jak wspominałem, można wskazać sześć obszarów, w których prace prof. Pedrycza istotnie poszerzyły i pogłębiły zasoby wiedzy w skali autentycznie międzynarodowej.

Pierwszy obszar dotyczy obliczeń granularnych. Wprowadzone przez prof. Pedrycza metody konceptualizacji, konstruowania, przetwarzania i stosowania ziaren informacji (czyli właśnie obliczeń granularnych) otworzyły nowy obszar rozważań teoretycznych, ale także bardzo istotnych zastosowań w nowoczesnych systemach informatyki. Osobiście za szczególnie interesujący element tego fragmentu badań naukowych prof. Pedrycza uważam powiązanie obliczeń granularnych z teorią zbiorów rozmytych zapoczątkowaną przez Lofti Zadeha, co istotnie wzbogaciło obydwie rozważane tu dziedziny nowoczesnej informatyki.

Drugim obszarem w którym badania prof. Pedrycza wzbogaciły ważną dziedzinę analizy danych było wykorzystanie metod wstępnego przetwarzania i reprezentowania danych przed zastosowaniem analizy skupień. Tak zwana klasteryzacja danych jest potrzebna

w kontekście wielu zastosowań, a opracowania prof. Pedrycza znacząco usprawniły ten proces, więc dokonanie to ma sporą wartość naukową i praktyczną.

Trzeci obszar znaczących osiągnięć badawczych prof. Pedrycza wiąże się z tym, że stosuje on do wielu zagadnień modele hybrydowe, granularne i neuronowo-rozmyte. Dzięki temu między innymi powstał granularny opis szeregów czasowych, oryginalny i wysoce użyteczny. Prof. Pedrycz wprowadził też wielomianowe sieci neuronowe o dobrej zdolności do aproksymacji wejściowych danych.

Czwarty obszar aktywności naukowej prof. Pedrycza dotyczy uczenia maszynowego w którym uwzględnia się obok uwarunkowań technicznych aspekty dodatkowe, między innymi społeczne a także związane z zagadnieniami ekologii, prywatności i uczciwości. W tym zakresie owe prace są naprawdę unikatowe!

Piąty obszar badawczy, w którym prof. Pedrycz uzyskał wartościowe i oryginalne wyniki naukowe, dotyczył modeli grupowego podejmowania decyzji. Oryginalność wspomnianego podejścia polegała między innymi na werbalnej kwalifikacji celów i ograniczeń, użyciu granularnych relacji preferencji oraz optymalnej alokacji ziarnistości informacji.

Szesty obszar, w którym prof. Pedrycz także osiągnął niebanalne sukcesy, dotyczył zastosowań przemysłowych. Opracował modele regułowe procesu spiekania rudy żelaza w hutnictwie, neuronowo-rozmyte modele systemu gazu wielkopiecowego, a także w obszarze zrównoważonego rozwoju środowisk przemysłowych i farm wiatrowych.

Podsumowując tę część opinii muszę powiedzieć, że chociaż stykałem się wcześniej incydentalnie z publikacjami prof. Pedrycza i niekiedy opierałem moje własne badania na jego koncepcjach, to jednak nie zdawałem sobie sprawy z ogromu i wieloaspektowego charakteru jego osiągnięć.

Warto podkreślić, że prace naukowe prof. **Pedrycza** były publikowane w najlepszych na świecie czasopismach naukowych, co spowodowało, że jest on wymieniany na listach najlepiej na świecie publikujących uczonych (zwłaszcza informatyków) i legitymuje się niesłychanie wysokim indeksem Hirscha wynoszącym 124 przy blisko 85 tysiącach cytowań jego prac. Liczne wyróżnienia i nagrody, jakie w związku z tym uzyskał z różnych źródeł potwierdzają, że mamy tu do czynienia z naprawdę wybitnym Uczonym,



dbającym także o rozwój młodej kadry naukowej, był on bowiem promotorem 67 obronionych prac doktorskich i recenzentem 120 doktoratów.

Długa jest też lista projektów realizowanych przez prof. Pedrycza, w tym także projektów realizowanych wspólnie pracownikami Politechniki Lubelskiej. Zresztą współpraca naukowa z naukowcami na całym świecie jest też cechą pozytywnie wyróżniającą prof. Pedrycza, gdyż wskazał on w materiałach informacyjnych 8 instytucji z którymi współpracował, głównie na Dalekim Wschodzie (co ciekawe, na tej liście znajdują się obok siebie instytucje z Chin i z Tajwanu!), ale także Singapur, Australia, a w Europie Włochy. W Polsce poza wspomnianą wyżej współpracą z Politechniką Lubelską również miejscem jego pracy był Instytut Badań Systemowych PAN w Warszawie.

Wielu wybitnych naukowców stroni od pełnienia funkcji publicznych, gdyż trudno jest zwykle połączyć je z intensywną pracą badawczą. Profesor **Pedrycz** jest jednak także i w tym zakresie pozytywnym wyjątkiem, o czym świadczy jego wyjątkowo bogata i owocna działalność organizacyjna w różnych komitetach IEEE oraz (wzmiankowana już wyżej) w redakcjach wielu czasopism.

Przy scharakteryzowanym wyżej dorobku i osiągnięciach nie dziwi fakt, że prof. **Witold Pedrycz** zgromadził liczne nagrody, odznaczenia i wyróżnienia. Nie wymieniam ich tutaj szczegółowo, ale znajdująca się materiałach wniosku lista obejmuje ponad 20 pozycji.

Podsumowując wyszczególnione fakty, a także odwołując się do ogólnej ale bardzo pozytywnej opinii, którą przytoczyłem w początkowej części tej recenzji – pozwalam sobie na sformułowanie następującego wniosku końcowego:

Nie znam nikogo, kto by bardziej zasługiwał na kolejne godności i wyróżnienia akademickie, niż Profesor **Witold Pedrycz**. Co więcej, wnioskująca o tytuł Doktora Honoris Causa dla Niego Politechnika Lubelska bardzo wiele Mu zawdzięcza, szczególnie w ostatnim okresie działalności Profesora. Dlatego **gorąco rekomenduję Wysokiemu Senatowi AGH, żeby wyrazić poparł wniosek Senatu Politechniki Lubelskiej nadający Profesorowi Pedryczowi godność Doktora Honoris Causa** tejże Politechniki. Twierdząc, że podejmując taką decyzję Senat AGH przyczyni się do właściwego uhonorowania Człowieka, wyjątkowo godnego tych honorów.

SEKRETARIAT  
REKTORA  
Wpłynęło dnia 2023-06-05  
Zarejestrowano pod nr 512  
podaje

PTad



Politechnika  
Śląska

## Monitor Prawny Politechniki Śląskiej

poz. 1312

**UCHWAŁA NR 45/2023**  
**SENATU POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**  
z dnia 30 października 2023 r.

### **w sprawie zaopiniowania wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi**

Na podstawie art. 28 ust. 1 pkt 9 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.) Senat Politechniki Śląskiej postanawia, co następuje:

§ 1

Po zapoznaniu się z opinią opracowaną przez prof. dr. hab. inż. Stanisława Kozielskiego pozytywnie opiniuje się wniosek Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi.

§ 2

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

REKTOR

prof. dr. hab. inż. Aleksander Mężyk

## Opinia

w sprawie wniosku Senatu Politechniki Lubelskiej  
o nadanie tytułu doktora honoris causa prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi

Prof. dr hab. inż. Witold Pedrycz jest uczonym rozwijającym badania w zakresie modelowania rozmytego i przetwarzania granularnego, odkrywania wiedzy i eksploracji danych, sterowania rozmytego, rozpoznawania wzorców, sieci neuronowych opartych na wiedzy, obliczeń relacyjnych i inżynierii oprogramowania.

Swymi pionierskimi pracami otworzył nowe kierunki badań i znacząco wpłynął na rozwój przede wszystkim zbiorów rozmytych i obliczeń granularnych, a ogólniej inteligencji obliczeniowej i uczenia maszynowego.

Prof. dr hab. inż. Witold Pedrycz urodził w r. 1953 w Kielcach i tam zdobył wykształcenie podstawowe i średnie. Studiował na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej i tu uzyskał kolejne stopnie naukowe. Studia ukończył z wyróżnieniem w r. 1977, stopień doktora zdobył w r. 1980, doktora habilitowanego w r. 1984, a tytuł profesora nauk technicznych uzyskał w r. 2001 w IBS PAN w Warszawie.

Pracował w Politechnice Śląskiej do r. 1990, przy czym już w r. 1988 został profesorem wizytującym w University of Manitoba w Kanadzie. W kolejnych latach pracował na tym uniwersytecie, a od r. 1998 pracuje w University of Alberta w Kanadzie, w Department of Electrical & Computer Engineering. Zajmuje obecnie wysokie stanowisko badawcze Professor and Canada Research Chair (Tier 1).

### 1. Osiągnięcia naukowe

Prof. Witold Pedrycz wniósł wybitny wkład w rozwój badań powiązanych ze zbiorami rozmytymi. Wprowadzone przez Prof. W. Pedrycza nowe koncepcje, metody i rozwiązania dotyczą m.in. obliczeń granularnych, modelowania granularnego i neronowo-rozmytego, grupowania danych, uczenia maszynowego, modeli grupowego podejmowania decyzji. Kolejno podkreślone zostaną najważniejsze wyniki uzyskane w tych obszarach.

#### Zbiory rozmyte i obliczenia granularne

Podstawą i punktem wyjścia do znacznej części badań prowadzonych przez Prof. W. Pedrycza była teoria zbiorów rozmytych.

Zbiory i wywodzące się z nich modele rozmyte tworzą jedną z kilku alternatywnych możliwości opisu wielkości niepewnych lub niedokładnie określonych. Inne znane możliwości opisu takich wielkości stwarza probabilistyka i statystyka matematyczna, a także zbiory przybliżone, czy arytmetyka przedziałowa. Ciekawą możliwością udostępnianą przez zbiory rozmyte jest lingwistyczna forma opisu wielkości, dla których brak możliwości dokładnego określenia. Zbiory rozmyte są powszechnie stosowane w procesach sterowania, w podejmowaniu decyzji w warunkach niepewności, przetwarzaniu obrazów i ogólnie – przetwarzaniu informacji niepewnej.

Prace nad zbiorami rozmytymi rozpoczął, wtedy jeszcze mgr inż. W. Pedrycz, w Politechnice Śląskiej razem z Prof. Ernestem Czogałą, tej tematyki dotyczyła Jego rozprawa doktorska, wykonana i obroniona na Wydziale Automatyki, Elektroniki



i Informatyki, a także napisany wspólnie z Prof. Ernestem Czogałą skrypt i podręcznik. Nowe wyniki uzyskane przez Prof. W. Pedrycza w tym okresie dotyczyły szczególnie sterowania rozmytego w układach i procesach technicznych.

Teoria zbiorów rozmytych została przez Prof. W. Pedrycza niezwykle efektywnie wykorzystana w rozwoju obliczeń granularnych. Pojęcie granuli informacyjnej zostało wprowadzone przez twórcę teorii zbiorów rozmytych Lotfi A. Zadeha, a koncepcję operacji na granulach można budować przy wykorzystaniu różnych podejść, w tym m.in. zbiorów przybliżonych, zbiorów rozmytych, czy też arytmetyki przedziałowej. Prof. W. Pedrycz stworzył, przy wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych, oryginalne podstawy obliczeń granularnych, umożliwiające konstruowanie, przetwarzanie i stosowanie granul (ziaren) informacji w wielu obszarach praktycznych zastosowań.

Szczególne znaczenie w tych pracach miało wskazanie jak wykorzystanie ziaren informacji pozwala uzyskać w modelowaniu systemu lepsze dopasowanie do danych eksperymentalnych. Podejście to jest znane jako idea optymalnej alokacji ziarnistości informacji.

### **Modelowanie granularne i neronowo-rozmyte**

Prof. Witold Pedrycz rozwinął tematykę modelowania granularnego, gdzie modele granularne stanowią uogólnienie modeli numerycznych, które powstają w wyniku optymalnej alokacji granul informacji. Wskazał, jak ziarna informacji ułatwiają modelowanie systemu wykorzystującego dane heterogeniczne. Zaproponował oryginalne architektury modeli przetwarzających i uczących się ziaren informacji, co pozwala na stworzenie granularnego odpowiednika rozmytych map kognitywnych o dużych zdolnościach uczenia się.

Prof. Witold Pedrycz zaproponował koncepcję sieci z logiką rozmytą, o topologii sieci neuronowych. Opracował granularny opis szeregów czasowych i algorytmów umożliwiających dla tych szeregów realizację predykcji, strumieniowania danych i redukcji atrybutów. Opracował systemy neuronowo-rozmyte dla strumieni danych i zbadał dla tych systemów techniki uczenia się ze wzmocnieniem. Wprowadził wielomianowe sieci neuronowe, uzyskując usprawnienie uczenia się i poprawę zdolności aproksymacji.

### **Zaawansowane metody grupowania danych**

Grupowanie (klasteryzacja) danych (nazywana też analizą skupień) jest jednym z podstawowych kroków eksploracji danych. Prof. W. Pedrycz wniósł bogaty wkład w rozwój już znanych i stworzenie nowych metod grupowania. Wskazał na potrzebę włączenia wiedzy dziedzinowej do algorytmów grupowania i przedstawił nowe metody realizacji takiego podejścia. Rozwinął metody grupowania z wykorzystaniem technik rozmytych, w tym: grupowanie z wykorzystaniem rozmytych K-średnich, grupowanie rozmyte z częściowym nadzorem, warunkowe grupowanie rozmyte, rozmyte grupowanie danych szeregów czasowych, grupowanie posybilistyczne, grupowanie wykorzystujące transformatę falkową. Przedstawił metody grupowania danych granularnych.

### **Modele grupowego podejmowania decyzji**

Rozwijając badania dotyczące podejmowania decyzji Prof. Witold Pedrycz rozpatrzył różne warianty niepewności i lingwistyczny charakter informacji napotykanych w sytuacjach decyzyjnych. Dla tak postawionego zadania zaproponował oryginalne modele wieloatributowego i grupowego podejmowania decyzji. Opracował rozwiązania problemów decyzyjnych konstruując algorytmy budowania konsensusu traktowanego jako nieliniowy problem optymalizacji. Wprowadzone oryginalne modele grupowego podejmowania decyzji wyróżniają się takimi rozwiązaniami jak: werbalne kwalifikacje celów i ograniczeń,

granularne relacje preferencji, sposoby alokacji granularności informacji oraz oryginalne procedury maksymalizacji konsensusu dla procesów decyzyjnych. Optymalna alokacja ziarnistości informacji została przedstawiona jako narzędzie algorytmiczne zapewniające elastyczność w wyrażaniu wiedzy i redukujące poziom sprzecznych poglądów, które są zazwyczaj obecne w złożonych scenariuszach decyzyjnych.

### **Zastosowania i realizowane projekty**

Rozległe badania prowadzone przez Prof. Witolda Pedrycza w zakresie metodologii obliczeń granularnych, modelowania rozmytego i systemów neuronowo-rozmytych przyniosły również wiele interesujących wyników o znaczeniu praktycznym. Należy do nich zaliczyć m.in.: modele regułowe procesu spiekania rudy żelaza w hutnictwie, obróbka zasumionych danych przemysłowych, neuronowo-rozmyte modelowanie procesu pozyskiwania gazu wielkopięcowego, identyfikacja tworzyw sztucznych za pomocą modeli neuronowo-rozmytych, długoterminowa predykcja dla systemów energetycznych w hutnictwie z wykorzystaniem modeli granularnych i sterowania rozmytego. Grupowe mechanizmy decyzyjne zostały wykorzystane w projektowaniu farm wiatrowych.

Prof. Witold Pedrycz zrealizował kilkadziesiąt projektów naukowo-badawczych finansowanych przez jednostki i agencje badawcze wielu krajów. Wśród projektów z ostatnich lat pięć projektów było finansowanych przez instytucje badawcze z Kanady, trzy projekty – z Australii, a jeden projekt – z Polski.

### **2. Wskaźniki bibliometryczne**

Wybitny dorobek naukowy Prof. Witolda Pedrycza potwierdzają Jego wyjątkowe wskaźniki bibliometryczne. W serwisie Web of Science jest odnotowanych 1307 publikacji, których autorem bądź współautorem jest Prof. W. Pedrycz, liczba cytowań wynosi 19 201 (bez autocytowań: 18 439), a indeks Hirscha: 75. W Google Scholar całkowita liczba cytowań wynosi 84 668, a h-index 124.

Effektem takich wskaźników jest obecność Prof. Witolda Pedrycza w najważniejszych rankingach wybitnych światowych naukowców.

Prof. W. Pedrycz znalazł się w roku 2021, a także 2022, na liście *Highly cited researcher* (tworzonej przez Clarivate – lista autorów, których cytowane artykuły plasują się w górnym 1% pod względem liczby cytowań z danej dziedziny i roku publikacji w Web of Science).

Na liście *World's TOP 2% Scientists* (prowadzonej przez Stanford University) Prof. W. Pedrycz w roku 2022 zajął 779 miejsce wśród najczęściej cytowanych światowych naukowców, przy czym wśród informatyków: 11 miejsce w obszarze *Networking & Telecommunications* oraz 25 miejsce w obszarze *Information & Communication Technologies*.

Na liście *Best Computer Science Scientists* prowadzonej przez Research.com (9 edycja - rok 2022) Prof. W. Pedrycz został sklasyfikowany na 71 miejscu w dyscyplinie *Computer Science* (D-index – 123, 76 187 cytowań, 1873 publikacje) oraz 82 miejscu w dyscyplinie *Electronics and Electrical Engineering* (100, 38 058, 1042).

Prof. W. Pedrycz wypromował 67 doktorów, wykonał też 120 recenzji rozpraw doktorskich.

### **3. Współpraca międzynarodowa**

Prof. Witold Pedrycz prowadzi intensywną współpracę naukową z uczonymi z całego świata. Wybrane przykłady z ostatnich 10 lat obejmują m.in. następujące uczelnie i tematy badań: Nanyang University of Technology (Singapur) – przetwarzanie strumieni danych,

Wuhan University (Chiny) – modele podejmowania decyzji z wykorzystaniem metod rozmytych, Beijing Normal University (Chiny) – dane tymczasowe i obliczenia granularne, University of Technology Sydney (Australia) - obliczenia granularne, *transfer learning* i metody podejmowania decyzji, University of Salerno (Włochy) – zbiory rozmyte i web-mining, University of Science and Technology, Taipei (Tajwan) – inteligencja obliczeniowa, IBS, Warszawa - inteligencja obliczeniowa, Dalian University Technology (Chiny) - zbiory aksjomatyczne i granularne szeregi czasowe.

#### 4. Komitety redakcyjne czasopism naukowych

Prof. Witold Pedrycz działa niezwykle aktywnie jako redaktor wiodących międzynarodowych wydawnictw naukowych. Sprawuje, lub też sprawował w ubiegłych latach, m.in. następujące funkcje:

- Redaktor naczelny (*Editor in Chief*) trzech czasopism:
  - Information Sciences (Elsevier, IF=8.1)
  - WIREs on Data Mining and Knowledge Discovery (Wiley, IF=7.56)
  - Journal of Granular Computing (Springer, IF=5.5)
- Współredaktor (*Co-editor*) Handbook of Granular Computing (Springer)
- Współredaktor kolejnych tomów wydawnictwa Springer poświęconych aktualnej tematyce obliczeń granularnych, sieci społecznościowych, analizy wzorców, analizy emocji, ontologii i Big Data
- Redaktor prowadzący (*Associate Editor*) lub członek Rad redakcyjnych kilkunastu czasopism z zakresu zbiorów rozmytych, rozpoznawania wzorców, systemów inteligentnych; np. International Journal of Applied Soft Computing (Elsevier), IEEE Transactions on Fuzzy Systems, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.
- Redaktor gościnny lub współredaktor kilkunastu wydań specjalnych (*special issue*) powyższych czasopism dotyczących zastosowania zbiorów rozmytych w Big Data, inteligencji obliczeniowej, bioinformatyki, zastosowań technik Soft Computing i innych.

#### 5. Członkostwo komitetów naukowych

Prof. Witold Pedrycz jest członkiem szeregu komitetów naukowych i komisji znaczących nagród naukowych, wśród nich m.in.:

- IEEE Computational Intelligence Society Fuzzy Systems Pioneer Award Committee,
- IEEE CIS Task Force on Explainable Fuzzy Systems (TF-EXFS),
- IEEE Frank Rosenblatt Award Committee,
- IEEE CIS Distinguished Lecture program (DLP),
- IEEE Systems, Man, and Cybernetics (SMC) Technical Achievement Award Committee,
- IEEE L.A. Zadeh Award Committee

Prof. W. Pedrycz był członkiem licznych komitetów programowych konferencji IEEE z zakresu zbiorów rozmytych i neuroinformatyki.

#### 6. Nagrody i wyróżnienia

Prof. Witold Pedrycz otrzymał kilkadziesiąt nagród i wyróżnień:

W 2007 otrzymał prestiżową nagrodę Norbert Wiener Award, przyznaną w „Uznaniu znaczącego wkładu w badania w dziedzinie nauki i inżynierii systemów, systemów człowiek-maszyna i cybernetyki”. Nagroda jest przyznawana przez IEEE Systems

Man and Cybernetics Society jednemu uczonemu w roku. Cztery lata wcześniej nagrodę tę otrzymał Lotfi Zadeh, twórca teorii zbiorów rozmytych.

W 2009 roku otrzymał nagrodę Cajastur International Prize for Soft Computing przyznawaną przez European Centre for Soft Computing za „pionierski i wieloaspektowy wkład w przetwarzanie granularne”.

W 2013 r. otrzymał Killam Prize - najważniejszą kanadyjską nagrodę naukową, przyznawana każdego roku pięciu wybitnym przedstawicielom nauki za ich osiągnięcia.

W 2001 Prof. W. Pedryczowi został nadany tytuł i stanowisko Canada Research Chair (Tier 1).

Spośród dalszych nagród otrzymanych przez Prof. W. Pedrycza wymienić należy: IEEE Fuzzy Systems Pioneer Award (2013), IEEE Pioneer Award (2012), Fu NAFIPS Award (2006).

Poza nagrodami Prof. Witold Pedrycz został uhonorowany wieloma **wyróżnieniami**.

W 2009 roku Prof. W. Pedrycz został wybrany członkiem zagranicznym Polskiej Akademii Nauk. W 2012 roku został wybrany członkiem Royal Society of Canada.

Prof. Witold Pedrycz otrzymał dwa doktoraty honorowe:

- Honorary Doctorate of Macau University of Science and Technology (Taipa, Macau, China), 2019
- Honorary Doctorate of Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU), 2022

Prof. Witold Pedrycz został wyróżniony godnością Honorary Professor of Hebei University, China 2008 oraz Special Professor in Computational Intelligence, School of Computer Science, 2009, Nottingham, Wielka Brytania.

Już w 1999 r. Prof. W. Pedrycz został wyróżniony tytułem IEEE Fellow, przyznawanym za wyjątkowe osiągnięcia w jednej z dziedzin zainteresowań IEEE. W tym przypadku wyróżnienie przyznano za rozwój metodologii, algorytmów i zastosowań modelowania rozmytego i neurorozmytego oraz sterowania rozmytego.

Poza tym tytułem Prof. W. Pedrycz został wyróżniony czterema innymi tytułami „fellow”: Fellow Engineering Institute of Canada, Distinguished Fellow of IETI, Life Fellow International Society of Management Engineers, Japan Society for Promotion of Science – Senior Fellow.

Tak znaczące nagrody i wyróżnienia, przyznane w wielu krajach, są świadectwem uznania dla dorobku Prof. W. Pedrycza i wyrazem wysokiej oceny uzyskanych przez Niego wyników.

## **7. Współpraca z Politechniką Lubelską**

Wśród wielu uczelni, z którymi współpracuje Prof. Witold Pedrycz, ważne miejsce zajmuje Politechnika Lubelska, a dokładniej Katedra Informatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki. Prof. W. Pedrycz został zatrudniony od 2019 r. na tym Wydziale na etacie profesora wizytującego i prowadzi zajęcia na kierunku Informatyka.

Poza działalnością dydaktyczną Prof. W. Pedrycz aktywnie współpracuje naukowo z pracownikami Katedry Informatyki: uczestniczył w projekcie naukowym „Zastosowanie analizy dużych zbiorów danych do modelowania procesów w operacjach inteligentnej logistyki”, kierowanym przez Prof. Pawła Karczmarka. Dwukrotnie (2019, 2020) brał udział, jako Chair komitetu programowego, organizowanej przez Katedrę Informatyki konferencji *International Conference on Computational Intelligence, Information Technology and Systems Research*.



Wspólne publikacje Prof. W. Pedrycza z pracownikami Katedry Informatyki obejmują 18 pozycji. Wyniki prowadzonych badań zostały nagrodzone: tytułem "Best Paper Award" na konferencji International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) 2020 za artykuł: *The Concept of Detecting and Classifying Anomalies in Large Data Sets on a Basis of Information Granules* oraz srebrnym medalem za wynalazek System wykrywania anomalii w logistyce z zastosowaniem rozszerzeń metody *Isolation Forest* na drugiej edycji Międzynarodowego Konkursu Wynalazków InnoWings.

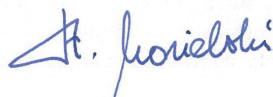
### **Podsumowanie**

Prof. Witold Pedrycz jest światowej sławy uczonym, jednym z twórców obliczeń granularnych. Wniósł wybitny wkład w rozwój tej dziedziny, a ponadto w zakresie modelowania i sterowania rozmytego, odkrywania wiedzy i eksploracji danych, sieci neuronowych i uczenia maszynowego, i najogólniej inteligencji obliczeniowej. Jego prace otwały i zapoczątkowały kierunki nowych badań, kontynuowanych i rozwijanych obecnie w wielu ośrodkach na całym świecie.

Ma ogromne zasługi w działalności redakcyjnej jako redaktor naczelny kilku wysokiej rangi czasopism naukowych oraz współredaktor wielu tomów wydawnictw dotyczących tematyki prowadzonych badań.

Wybitny dorobek naukowy z wyjątkowymi wskaźnikami bibliometrycznymi oraz międzynarodowe uznanie potwierdzone wieloma prestiżowymi nagrodami wyróżniają Prof. W. Pedrycza w gronie światowych uczonych.

Jestem całkowicie przekonany, że wymienione osiągnięcia, a także efektywna współpraca Profesora Witolda Pedrycza z Politechniką Lubelską, w pełni uzasadniają nadanie Profesorowi Witoldowi Pedryczowi przez władze tej Uczelni najwyższego honorowego stopnia naukowego – tytułu doktora honoris causa.





**Systems Research Institute  
Polish Academy of Sciences**

**Newelska 6, 01-447 Warszawa,  
Poland**

Phone: (48) 22 38 10 100  
Directors: (48) 22 38 10 275  
Fax: (48) 22 38 10 105  
E-mail: [ibs@ibspan.waw.pl](mailto:ibs@ibspan.waw.pl)  
Web: [www.ibspan.waw.pl](http://www.ibspan.waw.pl)  
Tax no.: 525 000 86 08

Professor Janusz Kacprzyk, Ph.D., D.Sc., Dr. h.c. mult.

Fellow, IEEE (Life), IET, EurAI, IFIP, AAAA, IFSA, I2CICC, SMIA

Członek rzeczywisty, Polska Akademia Nauk  
Członek, Academia Europaea (Informatyka)  
Członek, European Academy of Sciences and Arts  
Członek, European Academy of Sciences  
Członek zagraniczny, Bułgarska Akademia Nauk  
Członek zagraniczny, Hiszpańska Królewska Akademia Nauk  
Ekonomicznych i Finansowych (RACEF)  
Członek zagraniczny, Fińskie Towarzystwo Nauk i Literatury  
Członek zagraniczny, KVAB – Królewska Flamandzka Belgijska  
Akademia Nauk i Sztuk  
Członek zagraniczny, Litewska Akademia Nauk  
Członek zagraniczny, Narodowa Akademia Nauk Ukrainy

Warszawa, 20.07.2023

### **Recenzja dorobku prof. dr. hab. inż. Witolda Pedrycza w związku z wszczęciem postępowania o nadanie Mu tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej**

Niniejsza recenzja dorobku naukowo-dydaktycznego, organizacyjnego itp. prof. dr. hab. inż. Witolda Pedrycza jest przygotowana w odpowiedzi na prośbę prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Patera, JM Rektora Politechniki Lubelskiej, wyrażoną w piśmie L.Dz. R-583/2023 z dn. 5 maja 2023 r. w związku z podjęciem przez Senat Politechniki Lubelskiej uchwały w sprawie wszczęcia postępowania o nadanie prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.

W mojej opinii, z jednej strony, ustosunkuję się do tego, o co prosi mnie w swoim piśmie JM Rektor, czyli o opinię o dorobku, ale – z drugiej strony – wezmę też pod uwagę inne, mniej lub bardziej formalne wymagania co do dorobku kandydatów do tego najbardziej znaczącego wyróżnienia akademickiego, jakie się zwykle przyjmuje w naszym kraju, ale właściwie także w innych krajach o podobnych systemach akademickich wywodzących się jeszcze ze średniowiecznych uniwersytetów europejskich, czyli w praktycznie całej Europie, ale też w USA, Kanadzie, Australii oraz w większości innych krajów na całym świecie.

Prof. dr. hab. inż. Witold Pedrycz jest absolwentem Wydziału Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, który ukończył z wyróżnieniem w 1977 r. Był to, i do dziś

jest, jeden z czołowych wydziałów automatyki, a potem – “ewoluując”, jak wiele innych wydziałów automatyki, elektrotechniki, elektroniki itp. w Polsce – także informatyki. Profesor Pedrycz, który już wtedy był jednym z najlepszych młodych naukowców na tym Wydziale i zresztą w całej Polsce, szybko zrobił doktorat (w 1980 r.) i habilitację (w 1984 r.), Dobrze pamiętam, że te, tak szybko uzyskane stopnie naukowe, ale przede wszystkim Jego bardzo ciekawe i oryginalne prace naukowe, na których były oparte Jego rozprawy, doktorska i habilitacyjna, odbiły się szerokim echem w kraju i zagranicą. Zaowocowało to licznymi zaproszeniami z wielu prestiżowych uniwersytetów, jakie prof. Pedrycz otrzymał, a w konsekwencji Jego wyjazd do Kanady w drugiej połowie lat 1980-tych, w trudnych czasach po stanie wojennym. To spowodowało, że profesurę tytułarną w Polsce uzyskał po latach, będąc już słynnym w świecie naukowcem.

Droga naukowa prof. Pedrycza jest bardzo ciekawa. Otóż, w pierwszym okresie swej działalności naukowo-badawczej oraz dydaktycznej był związany z Wydziałem Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach, znanym w Polsce i w świecie, potem dość długo przebywał na tzw. “postdoku” w Politechnice w Delft w Holandii, także bardzo znanej w świecie placówce naukowo-badawczej, a w końcu, od późnych lat 1980-tych do chwili obecnej, jest już związany z uniwersytetami kanadyjskimi, najpierw University of Manitoba w Winnipeg, a obecnie University of Alberta w Edmonton. Są to uniwersytety należące do ścisłej czołówki uniwersytetów kanadyjskich, wypadające bardzo dobrze we wszystkich rankingach światowych. Nie można mieć więc żadnych wątpliwości co do tego, że przez całą swoją karierę był zawsze związany z czołowymi placówkami naukowymi oraz naukowo-dydaktycznymi.

W tym kontekście należy wspomnieć, że prof. Pedrycz jest także przez praktycznie cały czas swego pobytu za granicą bardzo silnie związany z nauką polską w kraju. Po pierwsze, jest tytułarnym polskim profesorem, a po drugie od wielu lat ściśle współpracuje z wieloma polskimi instytucjami naukowymi i naukowo-dydaktycznymi. Od wielu lat jest zatrudniony zarówno w Instytucie Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, jak też w uczelniach polskich, w szczególności najpierw w Katolickim Uniwersytecie Lubelskim, a obecnie w Politechnice Lubelskiej. Jest to, niewątpliwie bardzo ważne i cenne dla tych placówek naukowych i naukowo-dydaktycznych, ponieważ mogą łączyć w jednych zespołach najlepszych ludzi ze swoich szeregów oraz czołowych polskich naukowców z zagranicy. Daje to świetne wyniki, o czym świadczą liczne sukcesy tych zespołów z Politechniki Lubelskiej, w których aktywnie działa prof. Pedrycz.

W tym kontekście trzeba też wspomnieć o dużych zasługach prof. Pedrycza w zakresie inspiracji, a potem przygotowywania bardzo ważnych i ambitnych projektów badawczych, finansowanych przez różne agencje grantowe w kraju, głównie Narodowe Centrum Nauki. Projekty te odegrały niewątpliwie ważną rolę w intensyfikacji badań naukowych na uczelniach w kraju, także na Politechnice Lubelskiej, pozwalając na uzyskanie synergii między bardzo dobrymi zespołami badawczymi uczelni oraz bardzo znanym i uznanym naukowcem polskim działającym w kraju i poza granicami kraju. Ważne przy tym bez wątpienia było też wielkie doświadczenie prof. Pedrycza w zakresie pozyskiwania funduszy na badania naukowe w ramach różnych grantów w Kanadzie i Australii. Wspomniana tu działalność prof. Pedrycza w zakresie szerokiego wsparcia finansowania działalności naukowej poprzez fundusze z różnych projektów jest niezwykle ważna w obliczu coraz powszechniejszego opierania finansowania badań poprzez granty, co zaobserwować można na całym świecie.

Najważniejszym elementem dorobku naukowca jest oczywiście dorobek naukowy, w sensie oryginalnych prac naukowych i naukowo-badawczych oraz ich odbiór przez światowe środowiska naukowe.

Już jeśli weźmie się pod uwagę wskaźniki bibliometryczne, które są powszechnie stosowane jako jedno z podstawowych kryteriów oceny naukowców, to dorobek w tym zakresie prof. Pedrycza jest niezwykle wysoki, jeden z najwyższych w świecie w dyscyplinie Jego działalności, a na pewno jeden z najwyższych, jeśli nie najwyższy, wśród Polaków, zarówno pracujących w kraju, jak poza krajem. A mianowicie (podaję to dane ze stycznia 2023 r. tak jak w oficjalnych dokumentach, obecnie te wskaźniki są wyższe):

Google Scholar: liczba cytowań – 84668, indeks Hirscha  $h = 124$ ,  
Web of Science: liczba cytowań – 16573, indeks Hirscha  $h = 69$ .

Są to niezwykle wysokie liczby, świadczące wyraźnie o wielkim uznaniu, jakim cieszą się prace prof. Pedrycza w świecie, oraz ich roli w nauce światowej.

W konsekwencji, prof. Pedrycz jest na bardzo wysokich miejscach we wszystkich klasyfikacjach naukowców z różnych dziedzin i różnych krajów, np. w World Top 2% Scientists, ostatnio w 2022 r., w "research.com" itp. Jak widać, działalność prof. Pedrycza cieszy się wielkim uznaniem na całym świecie.

W dorobku prof. Pedrycza jest bardzo wiele najbardziej prestiżowych nagród i wyróżnień przyznanych Mu przez czołowe uniwersytety oraz organizacje naukowe i naukowo-techniczne na całym świecie. Wśród najważniejszych można wymienić np. najbardziej prestiżowe nagrody IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) typu Fellow, Wiener Medal, Fuzzy Systems Pioneer Award, itp., kanadyjską Killam Prize, doktoraty honorowe znanych uniwersytetów, tytuły "fellow" znanych organizacji naukowych i inżynierskich itp. Na szczególne podkreślenie zasługuje tu wybranie go na członka zagranicznego Polskiej Akademii Nauk w 2009 r. oraz na "Fellowa" (członka) Royal Society of Canada w 2012 r. Te i inne wyrazy uznania dla działalności i klasy naukowej prof. Pedrycza, których lista jest wyjątkowo długa, świadczą o wielkim uznaniu, jakim się On cieszy na całym świecie i Jego wyjątkowej roli w nauce światowej.

Bardzo ważnym elementem oceny dorobku badawczego jest oczywiście ocena w aspekcie tematyki badań, zarówno jej oryginalności i istotności, dla teorii i praktyki, a potem tego, jakie są osiągnięcia Kandydata.

Po pierwsze, zainteresowania badawcze prof. Pedrycza są bardzo szerokie, co jest niewątpliwie związane z Jego bardzo aktywną, prowadzoną na szeroką skalę współpracą naukową z wieloma czołowymi grupami badawczymi na całym świecie. Dla jasności i związku dobrze jest podzielić te obszary Jego zainteresowań na pewne grupy tematyczne.

Po pierwsze, prof. Pedrycz jest chyba najbardziej znany ze swych oryginalnych koncepcji i rozwiązań w zakresie tzw. obliczeń granularnych, które umożliwiają przeprowadzenie obliczeń, rozumowań, analiz itp. w skomplikowanych zadaniach, w których użycie "surowych" danych, np. liczb rzeczywistych, powodowałoby problemu pojęciowe, ale przede wszystkim obliczeniowe. Po pierwszych próbach granulacji poprzez użycie zbiorów rozmytych (prof. Zadeh) czy zbiorów przybliżonych (prof. Pawlak), pojawiło się podejście prof. Pedrycza, dużo bardziej ogólnie i konstruktywne. To podejście jest bez wątpienia



najczęściej stosowane obecnie, a prof. Pedrycz stał się niewątpliwie postacią ikoniczną w zakresie obliczeń granularnych i ich zastosowań.

Innym obszarem badań, w którym prof. Pedrycz jest również autorem całego szeregu oryginalnych podejść i algorytmów, są metody grupowania danych i klasyfikacji. Na szczególne podkreślenie zasługują tu Jego nowe propozycje zawierające elementy obliczeń granularnych. W tej grupie prac należy wspomnieć też o nowych koncepcjach dotyczących drzew decyzyjnych, pamięci asocjacyjnych itp., a także – ogólniej – nowych koncepcji uczenia maszynowego, w szczególności z uwzględnieniem aspektów pozaalgorytmicznych oraz pozatechnicznych. Jego prace dotyczące uczenia ze wzmocnieniem są też wysoce oryginalne.

Nowe koncepcje w zakresie obliczeń granularnych zaproponowane przez prof. Pedrycz znalazły zastosowanie w całym szeregu Jego wysoce oryginalnych prac dotyczących modelowania systemów, w szczególności z użyciem rozmytych systemów regulowych, sieci neuronowych oraz systemów neuronowo-rozmytych.

W tym obszarze należy też wspomnieć o wielkim dorobku prof. Pedrycz w zakresie zastosowania zarówno elementów obliczeń granularnych jak też nowych podejść dotyczących analizy strumieni danych oraz szeregów czasowych. Tego typu dane mają wielkie znaczenie praktyczne, ale są trudne i stanowią wielkie wyzwanie dla nauki i techniki. Prof. Pedrycz uzyskał tu bardzo ciekawe wyniki teoretyczne i algorytmiczne, o wielkim potencjale zastosowaniowym.

Wśród prac prof. Pedrycz, które się odbiły także wielkim echem w środowisku, są też liczne prace na temat nowych podejść i modeli podejmowania oraz wspomagnia podejmowania decyzji, w szczególności wielokryterialnych i wieloatrybutowych oraz kolektywnych, zwłaszcza grupowych. Zaproponował on w tym zakresie wiele oryginalnych modeli, w szczególności z wykorzystaniem informacji lingwistycznej np. do opisu preferencji. W tej grupie prac ważną rolę odgrywają też prace prof. Pedrycz na temat modelowania procesu osiągnięcia konsensusu w grupie ekspertów, które pojawiły się zwłaszcza w ostatnim okresie. Nie trzeba dodawać, że wprowadzenie elementów obliczeń granularnych daje tu nową jakość.

Należy tu wspomnieć też o bardzo ważnych pracach prof. Pedrycz dotyczących zastosowań praktycznych, głównie biznesowych i przemysłowych np. w energetyce, zwłaszcza odnawialnych źródłach energii, hutnictwie itp.

Podsumowując ten krótki z konieczności przegląd głównych osiągnięć naukowych prof. Pedrycz, należy stwierdzić, że jego dorobek publikacyjny jest ogromny, w wielu dziedzinach osiągnął bardzo oryginalne wyniki, które odbiły się szerokim echem na całym świecie, ma w dorobku zarówno bardzo dużo prac teoretycznych i algorytmicznych, ale też zastosowaniowych. Należy też tu podkreślić jeden aspekt, często niedoceniany w naszym kraju, a mianowicie olbrzymia większość Jego prac jest wieloautorska, co jest w świecie uważana za wielką zaletę, świadcząca o umiejętności inspirowania współpracowników, kierowania zespołami oraz prowadzenia poważnych prac, które muszą być wykonywane w zespołach. W tym zakresie umiejętności prof. Pedrycz są bardzo poważne. Świadczy o tym także Jego bardzo efektywna współpraca z zespołami Politechniki Lubelskiej.

Na szczególne podkreślenie zasługuje w kontekście niniejszej opinii współpraca prof. Pedrycz z Politechniką Lubelską. Jest ona on lat bardzo intensywna i obejmuje przede wszystkim działalność naukowo-dydaktyczną w formie zatrudnienia, z prowadzeniem zajęć

dla pracowników i studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Drugim, niezwykle ważnym aspektem tej ścisłej współpracy jest prowadzenie wspólnych badań naukowych, kończących się publikacjami, wspólnym grantem, a także uzyskaniem znaczących wyróżnień za wspólne prace teoretyczne i zastosowaniowe. Ta współpraca jest niezwykle intensywna i owocna.

Podsumowując tę krótką opinię, chciałbym jednoznacznie i w pełni poprzeć inicjatywę Senatu Politechniki Lubelskiej o wszczęciu postępowania zmierzającego do nadania godności doktora honoris causa prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi. Uważam to za całkowicie uzasadnione z wielu powodów.

Po pierwsze, jest On wybitnym i bardzo w świecie znanym naukowcem, którego dorobek mierzyć można nie tylko olbrzymią liczbą publikacji, zarówno książkowych, opublikowanych w renomowanych wydawnictwach, i artykułowych w czołowych czasopismach, z olbrzymią liczbą cytowań i bardzo wysokimi wskaźnikami bibliometrycznymi, ale także wielką wizją i dostrzeganiem prawdziwych wyzwań stojących przed nauką.

Po drugie, Jego związki z polską nauką są bardzo intensywne i owocne, a Jego wkład merytoryczny i organizacyjny w działalność naukową w kraju jest olbrzymi. W szczególności dotyczy to Jego współpracy z zespołami naukowo-badawczymi Politechniki Lubelskiej, w której w sposób wyraźny osiągnięto efekt synergii.

A zatem, nie mam żadnych wątpliwości co do zasadności wszczęcia przez Senat Politechniki Lubelskiej postępowania o nadanie prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi prestiżowego tytułu doktora honoris causa Politechniki Lubelskiej.





# Listy gratulacyjne







**Szanowny Pan  
Profesor Witold Pedrycz**

Szanowny Panie Profesorze,

z okazji nadania Panu Profesorowi przez Senat Politechniki Lubelskiej najwyższego tytułu akademickiego

*DOKTORA HONORIS CAUSA*

składamy najserdeczniejsze gratulacje, wyrazy uznania i głębokiego szacunku.

Dyrekcja i wszyscy pracownicy naszego Instytutu z radością przyjęli wiadomość, że ta zaszczytna godność została przyznana Uczonemu, naszemu Wybitnemu Koledze, który wniósł tak ogromny wkład w rozwój wielu dziedzin nauki, w szczególności informatyki, automatyki i badań systemowych. To kolejne wyróżnienia dla Pana Profesora stanowi potwierdzenie zarówno niezaprzeczalnego autorytetu Pana Profesora, zbudowanego na wielkich osiągnięciach, jak i powszechnego uznania dla tych osiągnięć ze strony wszystkich środowisk naukowych w kraju i na całym świecie. Cała społeczność naukowa niezwykle też wysoko ceni życzliwość Pana Profesora, w szczególności dla młodych adeptów nauki.

Życzymy Panu Profesorowi dalszych osiągnięć i sukcesów na niwie nauki oraz wszelkiej pomyślności w życiu osobistym.



Z wyrazami szacunku,

Profesor Sławomir Zadrozny  
Dyrektor

Warszawa, dnia 14 lutego 2024 roku



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
DIPARTIMENTO DI  
INFORMATICA - SCIENZA E INGEGNERIA

Professor Witold Pedrycz  
Department of Electrical and Computer Engineering  
University of Alberta  
Edmonton, Alberta  
Canada

Bologna, 3rd February 2024

**Subject: Congratulations**

Dear Witold,

I have heard with immense joy about your upcoming honorary doctorate from Lublin University of Technology, Lublin, Poland. I think that this degree honours you and also honours the institution that awards it to you.

I am not making such statement as a compliment, but because I have seen your scientific and academic achievement throughout the years. I will now articulate my thoughts. I will not refer to your well known scientific leadership: as of today you have an h-index of 131 in Google Scholar, and this speaks for itself. I will refer to how I have perceived you as a leader, an administrator, a colleague, and as a friend.

I start from the end. It is midnight, I got a message from a worried PhD student of mine who was asking me the possibility to talk to you for an intricate problem in Artificial Intelligence for which I could not help. This is you, a scientific leader who is required worldwide because of your unique science and wisdom.

I heard about you the first time 30 years ago, in 1994 from an Italian professor, Mario Fedrizzi, at that time Dean of the Faculty of Economics at the University of Trento. Already at that time, he was referring to you as one of the world leaders in Fuzzy Systems.

Then, about 5 years later, I found you as a prominent professor in Canada, a worldwide leader of Computational Intelligence, a founder of the discipline of Granular Computing, and an experienced software engineer. I started to collaborate with you, and, I would say, I built my career learning from you, and it is you who convinced me to get interested in what is now called Data Science and on its application on Software Engineering and then to move to the University of Alberta, where you have been my Department Chair.

Under your scientific and academic guidance, I had the opportunity to grow my research profile both in terms of significant publications and of research grants, in a way that would have not been possible otherwise. What you were researching then, clustering on software data, machine learning models to understand requirements, extend productivity models with Computational Intelligence, etc., at that time was perceived as some esoteric subject and now it is the hottest topic.

Even when I moved back to Italy for family reasons I had the privilege to continue our collaboration and your friendship, and, I should say, your mentorship. The collaboration is ongoing, I am still learning from you practically daily, and I still resort to you when I have problems that I cannot solve or even I cannot understand. It is still you that I refer to when someone asks me about an academic and scientific leader.

Altogether, the doctorate that you are being awarded is a recognition of your uniqueness, of your amazing and inspiring leadership, of the contribution you have provided to several younger scientists.

like me, and, as I mentioned earlier, also honours the Lublin University of Technology, as this university will be able to refer the direct connection with you in the time to come and will be linked to your amazing scientific results and to the results of the people who you lead, advised, mentored, and guided.

I also hope that this new achievement will be a step further in our scientific collaboration, that has been so immensely deep and fruitful for me.

With admiration,



Giancarlo Succi, PhD, PEng  
Professor  
Department of Computer Science and Engineering  
Alma Mater Studiorum, Università di Bologna  
Italy



February 12, 2024

Dear Professor Pedrycz,

Greetings from Regina!

I am pleased to learn about your honorary doctorate. Let me offer my enthusiastic congratulations on this well-deserved high calibre academic recognition.

I would like to take this opportunity to celebrate your exceptional achievements in research and professional activities. Your excellent research in a number of fields, including fuzzy sets and fuzzy cluster analysis, granular computing, rough sets, shadowed sets, and many others, has inspired and influenced many researchers around the world. Your research in particular has made a very positive impact on mine.

In 1982, Professor Pawlak introduced the concept of rough sets for approximating a set by a pair of definable sets, or equivalently three pairwise disjoint positive, negative, and boundary regions. By extending the ideas of decision-making with three regions, in 2009 I introduced and started working on a theory of three-way decision. The main theme of the theory is thinking in threes, problem solving in threes, and computing in threes. It was soon becoming clear to me that your works on fuzzy cluster analysis, granular computing, and shadowed sets are very relevant. Your works have motivated me to investigate new ways of three-way decision and helped me clarify some of fundamental issues.

There two basic approaches to extend and adapt the concept of fuzzy sets proposed by Professor Zadeh in 1965. One direction is to generalize the set of membership values to account for various types of uncertainty. This has led to the introduction of many different types of fuzzy sets. The other direction is pioneered by you with the introduction of the concept of shadowed sets in 1998. In constructing a shadowed set, you offered the wisdom of thinking differently from the crowd, a turn of attention from a mathematically more complex theory to a practically simpler applied theory. Instead of making the set of membership values more complex, you suggested to simplify the set of membership values into a set of three values. Categorically speaking, the three represents the two extremes of the values close to 1 and 0, respectively, and the middle. Given a fuzzy set, you proposed to construct a shadowed set by elevating membership values close to 1 to 1, reducing membership values close to 0 to 0, and mapping the rest to the unit interval  $[0, 1]$ . A shadowed set approximates a fuzzy set by three regions, a core region, a negative region, and a shadowed region. This interpretation gives rise to a particular model of granular computing with three granules. The philosophy of shadowed sets is in line with human cognitive capacity for information processing and problem solving and fits well human preference to thinking in threes. A shadowed set, as a three-way approximation of a fuzzy set, is therefore easy-to-interpret and simple-to-use for many real-world applications.

The tripartite characteristics of a shadowed set shed new light on the theory of three-way decision. In particular, the use of three regions make a shadowed set one of the most suitable

tools for building in an interpretable theory. A combination of shadowed sets, granular computing, and three-way decision will play important roles in the age of interpretable artificial intelligence (XAI). In fact, we have witnessed a surge of published papers on shadowed sets in the last few years. Researchers worldwide have generalized, adapted, and applied your theory of shadowed sets in many fields and disciplines. My research associates and I have worked on shadowed sets, and we have future plans and projects on shadowed sets. I can confidently predict that your shadowed sets will have a long-lasting influence and high impact on future research on computational intelligence and interpretable intelligent systems.

In the past ten plus years, I have the honor to serve as an Associate Editor of Information Sciences, under your great leadership as the Editor-in-Chief. The journal has a significant growth in terms of impact, influence, scopes, and volumes. Many researchers highly regard Information Sciences as a very top venue to publish their best results. You are positive, encouraging, and forward thinking, which makes a difference for everyone around you. It is rewarding and is always a great joy working with you!

Finally, I would like to say a few words beyond our academy and professional collaboration. I am privileged knowing you, learning from you, and having a mutual friendship with you. You are kind, warm-hearted, and caring; you have set the highest standard; you have impacted on the life of many of us. I thank you for your friendship, support, and collaboration in all these years. Thank you!

Again, my best congratulations and wishes on the occasion of your honorary doctorate.

Your sincerely,



Yiyu Yao, PhD,  
Professor of Computer Science  
President, Web Intelligence Academy (2023-)  
President, International Rough Set Society (2017-2018)



UNIVERSITÀ DI PISA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLA INFORMAZIONE

Pisa, February 10, 2024

Dear Witold,

with this special occasion, accept my sincere congratulations on your numerous academic successes.

I recall our first meeting long ago in Enschede, The Netherlands, during the workshop on Soft Computing applied to Software Engineering (SCASE-01), in February 2001. We engaged in very interesting and stimulating discussions on soft computing and its applications. I was impressed by how you handled various topics with extreme competence and suggesting innovative ideas. Even after more than twenty years, this impression remains vivid, especially considering your scientific career and your numerous publications across different topics, always with significant innovative contributions.

Since then, we have embarked on an interesting and fruitful collaboration on issues related to computational intelligence. We have developed joint research on the use of multilayer perceptrons as receptive fields in the design of neural networks, on genetic interval neural networks for granular data regression, on fuzzy decision trees for big data and on federated approaches to learn fuzzy rule-based systems. Three PhD students (Mario GCA Cimino, Armando Segatori, José Luis Corcuera Barcena) from my research group visited your group for a period of study and research. These collaborations have resulted in significant publications and, thanks to your experience, competence and constructive observations, have opened interesting lines of research for them and my group.

Among the joint publications, I particularly cherish the paper "On Distributed Fuzzy Decision Trees for Big Data", by A. Segatori, F. Marcelloni, W. Pedrycz, published in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 26, no. 1, pp. 174-192, February 2018, which was honored with the 2021 IEEE TFS Outstanding Paper award.

What has always amazed me is that every time I delve into a new line of research, I discover that you have already made some contributions to the topic in literature: it is as if you are always one step ahead of the state of the art. This is evidenced by your numerous innovative contributions

to various topics in computational intelligence and more in general in artificial intelligence, which have positioned you as one of the most cited researchers in these fields.

It is with great admiration and sympathy that I congratulate you once again on this unique occasion.

Sincerely,



Francesco Marcelloni  
PhD, Professor  
AI Group Coordinator  
IT2PAO Lab Coordinator  
Multidisciplinary GoodAI Lab Coordinator  
Department of Information Engineering  
University of Pisa



prof. dr hab. inż., czł. kor. PAN  
**Marek Pawełczyk**  
Prorektor ds. Nauki i Rozwoju

RN.042.2.2024

Gliwice, 12.02.2024 r.

Jego Magnificencja Rektor  
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pater  
Politechnika Lubelska

Magnificencjo Rektorze,

z wielką radością przyjąłem informację o nadaniu tytułu Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej naszemu szanownemu Profesorowi Witoldowi Pedryczowi. Jest to najwyższe wyróżnienie jakie może nadać uczelnia akademicka. Docenia ono niezwykle osiągnięcia oraz wkład Profesora Pedrycza w rozwój nauki i kształcenia młodych badaczy. Cieszę się, że Politechnika Śląska została wybrana przez Senat Politechniki Lubelskiej spośród grona polskich uczelni i poproszona o wyrażenie opinii w tym postępowaniu.

Profesor Witold Pedrycz należy do najwybitniejszych na świecie naukowców legitymujących się olbrzymimi osiągnięciami w obszarze informatyki, w szczególności metod sztucznej inteligencji oraz systemów informacyjnych. Jego wkład w rozwój nauki jest nieoceniony, a publikacje naukowe cytowane blisko 100 tysięcy razy stanowią fundament wiedzy dla badaczy na całym świecie. Profesor Pedrycz posiada wyjątkowy dar inspirowania innych naukowców, wspierania ich oraz budowania zespołów podejmujących się wymagających wyzwań badawczych.

Politechnika Śląska jest dumna z faktu, że jednym z jej wychowanków jest tak znakomity naukowiec. To w naszej Uczelni Profesor Pedrycz studiował, z wyróżnieniem obronił pracę magisterską w 1977 roku, doktorską w 1980 roku i uzyskał stopień doktora habilitowanego w 1984 roku. Wyjątkowy talent Pana Profesora został zauważony w środowisku międzynarodowym. Jest w nim uznawany jako niekwestionowany autorytet, zapraszany na najszacowniejsze uczelnie i z honorami przyjmowany na najważniejszych konferencjach.

**Politechnika Śląska**

Rektorat

ul. Akademicka 2A, pok. 24, 44-100 Gliwice

+48 32 237 24 53 / +48 32 237 22 98

[rn@polsl.pl](mailto:rn@polsl.pl)

NIP 631 020 07 36

ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Wśród licznych instytucji, które chętnie gościły Profesora w swoich murach, szczególne miejsce zajmuje University of Alberta w Kanadzie, z którym Profesor Pedrycz związał się na wiele lat. Jednak, przez cały okres swojej naukowej wędrówki utrzymywał bardzo bliskie kontakty z Politechniką Śląską i wieloma uczelniami oraz instytutami w Polsce, wzorowo wspierając nasz kraj i godnie reprezentując go w środowisku naukowym. Dla nas olbrzymim wyróżnieniem jest, że Profesor Pedrycz powrócił na Politechnikę Śląską. Czuję się szczególnie zaszczycony bezpośrednim osobistym kontaktem i współpracą z Panem Profesorem.

Składam serdeczne gratulacje Dostojnemu Bohaterowi tej uroczystości. Jestem przekonany, że tytuł Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej, ambitnej i szybko rozwijającej się uczelni, stanowi ważny element w bogatej karierze naukowej Profesora Pedrycza. Życzę wielu dalszych sukcesów naukowych, realizacji niezliczonych pomysłów oraz znakomitego zdrowia i osobistego szczęścia. Gratuluję także Politechnice Lubelskiej, która przyjmuje dziś do swojej Społeczności tak wybitnego Naukowca, a przede wszystkim tak wyjątkowego Człowieka.

Z najwyższym szacunkiem,



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

IL RETTORE

*My Dear Witold,*

honorary doctorate is a unique recognition of your academic pursuits. Accept my sincere congratulations on your successes and numerous creative accomplishments.

Your unwavering commitment to excellence has not only enriched your own journey but has also inspired countless individuals around you. We have met a long time ago in Italy and engaged in interesting pursuits in fuzzy sets, with the culmination of collaborative research efforts resulting in the recent "Contemporary Fuzzy Logic" published by Springer.

Again, let me wholeheartedly congratulate on this very special occasion. Let me convey congratulations and wishes of further academic achievements and all the best in your personal life.

Fisciano, February 8th 2024

Vincenzo Loia, PhD, Professor  
Rector of the University of Salerno

---

Professor Witold Pedrycz  
University of Alberta  
11-293 Donadeo Innovation Centre For Engineering  
9211-116 St – Edmonton - AB

Dear Witold,

It is with the greatest respect and sincere appreciation that I write to congratulate you on the award of an honorary doctorate from the Lublin University of Technology in Poland. This distinguished honor is a clear testimony to your tireless dedication, exceptional expertise, and significant contributions to the academic field. It not only represents a significant achievement for every individual in the academic field, but also serves as a beacon of excellence and a source of inspiration for scholars worldwide.

On this momentous occasion, I feel compelled to reflect and share with you my thoughts on the foundations of fuzzy sets, an area that has been at the forefront of our joint research endeavors. Your invaluable contributions to this field have profoundly expanded our collective knowledge base. More importantly, they have played an indispensable role in enriching our understanding of both the theoretical foundations and wide-ranging applications of fuzzy sets. Their work in this area is not only academically rigorous but also highly practical, combining theoretical concepts with real-world applications.

In addition, I would like to share my perspective on the Journal of Information Science, especially from my point of view as associate editor. As Editor-in-Chief, you have played an important role in this constantly evolving and expanding discipline. Not only have you set the direction of scholarly discourse in the field, but you have also had a profound and lasting impact on both the academic community and the broader field of modern technology. Your visionary leadership and editorial acumen have been instrumental in taking the journal to new heights of scientific excellence and relevance.

I congratulate you once again on this well-deserved recognition of your honorary doctorate, thinking of the wider impact of your work and its lasting legacy in the academic community. Your journey has been marked by a relentless pursuit of knowledge, an unwavering commitment to academic excellence and an enduring passion for scientific research.

I look forward to our continued collaboration and am excited to see the impact your work will have on the international academic and scientific stage. Here's to many more years of success, innovation, and ground-breaking achievements in your illustrious career.

Sincerely,

Tofiq Allahviranloo, PhD, Professor  
Head of the Research Centre for Performance and Productivity Analysis  
Istinye University, Istanbul, Turkey

<http://www.linkedin.com/in/allahviranloo>

Date: 02/09/2024



Ayazağa, Azərbaycan Cd. No: 4/a, 34396 Sarıyer/İstanbul  
0850 283 6000







Campinas, February 2024

Dear Witold,

I am very happy to write this letter to congratulate you for your honorary doctorate by the Lublin University of Technology, Lublin, Poland. As you may recall, we first met in San Diego, USA, by occasion of the 1992 IEEE Conference on Fuzzy Systems. I confess I was impressed by your work on a multilayer architecture driven by fuzzy logic operations, and its application in a multicriteria optimization. Your ideas to use linguistic variables and fuzzy decision theory to quantitatively reveal pattern structure in self-organizing maps you anticipated in 1994 are of the most relevance even today. Linguistic variables and self-organization offer a way to transparency in AI makes decisions. Nowadays, this is called AI explainability! I feel fortunate that our 1992 meet translated into a long standing, fruitful, and friendly academic collaboration.

Your pioneering work on fuzzy neural logic networks in the early nineties was unique. Today we witness substantial advances and a diversity of neural fuzzy models based on fuzzy operations you suggested. The ideas on fuzzy logic neural nets also induced innovations in unexpected areas such as fuzzy Petri nets. The principle of justifiable granulation you introduced was a major step towards a theory of fuzzy information granulation. The innovative, and the many pioneering ideas and methodologies you developed put you amongst the most distinguished professor and researcher of fuzzy systems and computational intelligence worldwide. We are very grateful to you for all you have done to us during the last decades.

I have also been impressed with your voluntary work as President of NAFIPS, President of IFSA, chair of IFSA and NAFIPS conferences, Editor-in-Chief of Information Sciences of Elsevier, IEEE Transaction on Systems, Men, and Cybernetics, and as Co-Editor-in-Chief of Granular Computing of Springer, and many other activities.

Your honorary doctorate is a highly deserved recognition. It fully complies with your profile as a bright and virtuoso educator, scientist, and human being. I wholehearted wish to count with you as a continuing source of trust and inspiration in our journey to the future.

Sincerely yours,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Fernando Gomide", written in a cursive style.

Prof. Fernando Gomide, Fellow IFSA, Fellow IEEE  
School of Electrical and Computer Engineering  
University of Campinas  
13083-852 Campinas, SP, Brazil  
Phone: +55 19 98176-1135  
Email: gomide@unicamp.br



**Congratulations on Receiving the Honorary Doctorate!**

Feb. 13, 2024

Dear Prof. Pedrycz,

I believe that you are experiencing immense joy as you receive this esteemed recognition from Lubin University in the form of an honorary doctorate. Allow me to extend my heartfelt congratulations to you on this momentous occasion.

Your dedication, passion, and unwavering commitment to your field have inspired countless students and significantly contributed to the advancement of knowledge and scholarship. Your groundbreaking research, innovative teaching methods, and profound insights have left an indelible mark on academia and beyond.

Receiving an honorary doctorate is a testament to your remarkable achievements and the profound impact you have had on the academic community. It is a well-deserved recognition of your tireless efforts and exceptional contributions.

As your colleague and admirer, I am truly honored to witness this milestone in your illustrious career. Your intellectual curiosity, integrity, and generosity of spirit serve as a guiding light for aspiring scholars and educators around the world.

May this prestigious honor serve as a source of inspiration and motivation as you continue to pursue excellence in your academic endeavors. Your legacy will continue to resonate for generations to come, inspiring future scholars to push the boundaries of knowledge and make meaningful contributions to society.

Once again, congratulations on this well-deserved honor. Your remarkable achievements serve as a shining example of the transformative power of dedication, perseverance, and intellectual curiosity.

With warmest regards and admiration,

Jin Hee Yoon 

Dept. of Mathematics and Statistics, Sejong University, Korea  
Co-Representative of Korea, IFSA(International Fuzzy Systems Association)  
Vice Chair of Communications and Education, IEEE Fuzzy System TC



Rome, February 12 2024

Dear Witold,

On this special occasion, accept sincere congratulations on your numerous academic successes.

It is a great honor for me to write a letter of commendation to one of the leading experts on fuzzy theory and one of the most brilliant and fruitful interpreters of the insights and teachings of the founder of Fuzzy Sets Theory, Professor Lotfi Zadeh.

You are an internationally acclaimed authority in the fuzzy systems area and in the study of the synergistic interaction between fuzzy sets (and granular computing, in general), neurocomputing and evolutionary methods. You published an impressive number of original and relevant scientific papers in the computational intelligence field, many of them dealing with specific fuzzy clustering aspects. You have also proved your mastery of writing monographs on these subjects which have been well received by students and specialists. Your brilliant and fruitful studies have been for me a source of great inspiration for many of my papers and for this I will be forever grateful.

With regard to your intense editorial activity, in particular as Editor in Chief of Information Sciences, I was able to admire as Associate Editor your systematicity, organicity and great strategic ability and prospective vision in the management of a top journal that attracts a very large number of potential authors.

I am confident that your teachings and brilliant scientific insights will inspire future generations of scientists around the world.  
I congratulate you again on the honorary doctorate.

With gratitude and affection,

Pierpaolo D'Urso, PhD  
Professor of Statistics  
Sapienza - University of Rome

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'P. D'Urso'.



Szanowny Pan

Profesor dr hab. inż. Witold Pedrycz

Szanowny Panie Profesorze,

w tym wyjątkowym dniu, w którym Politechnika Lubelska uhonoruje Pana Profesora najwyższą godnością akademicką – tytułem *doktora honoris causa* – pragnę złożyć najserdeczniejsze gratulacje.

Jest to wyróżnienie szczególnej wagi, przyznawane jako wyraz ogromnego uznania dla osiągnięć naukowych, jak również zaszczytny akt dla społeczności uniwersyteckiej, która włącza Pana Profesora do swojego grona. Znaczące dokonania Pana Profesora ubogacają naukę i kulturę, wyznaczając nowe kierunki badań w obszarze informatyki, w szczególności modelowania rozmytego i inteligencji obliczeniowej.

Z okazji uniwersyteckiego święta, jakim jest nadanie doktora honoris causa, proszę przyjąć największe wyrazy uznania i głębokiego szacunku dla osiągnięć Pana Profesora, które przekazuję w imieniu wszystkich pracowników Katedry Informatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej i swoim własnym. Składam nie tylko słowa podziękowania, ale również najlepsze życzenia zdrowia, niegasnącego zapału i pomyślności w realizacji kolejnych, twórczych zamierzeń. Oby nie opuszczała Pana Profesora pasja badawcza oraz radość z dzielenia się swoją wiedzą i doświadczeniem.

Kierownik Katedry Informatyki

dr hab. Tomasz Zientarski, prof. uczelni

Lublin, 16 maja 2024 r.



# Wykład





# Granular Computing and Machine Learning: A Unified Perspective and Pursuits of New Development Horizons

**Witold Pedrycz** | Department of Electrical & Computer Engineering University of Alberta,  
Edmonton Canada;  
Systems Research Institute, Polish Academy of Sciences Warsaw, Poland  
e-mail: wpedrycz@ualberta.ca

## 1. Introduction

The apparent reliance on data and experimental evidence in system modeling, decision-making, pattern recognition, and control engineering, just to enumerate several representative spheres of interest, entails the centrality of data and emphasizes their paramount role in data science. To capture the essence of data, facilitate building their essential descriptors and reveal key relationships, as well as having all these faculties realized in an efficient manner as well as deliver transparent, comprehensive, and user-oriented results, we advocate a genuine need for transforming data into information granules. In the realized setting, information granules become regarded as conceptually sound knowledge tidbits over which various models could be developed and deployed in real-world environment.

A tendency, which is being witnessed more visibly nowadays, concerns human centricity. Data science and big data revolve around a two-way efficient interaction with users. The same applies to Machine Learning in conjunction to the deployment of this technology to areas of high criticality. Users interact with data analytics processes meaning that the terms such as data quality, actionability, transparency are of relevance and are provided in advance. With this regard, information granules emerge as a sound conceptual and algorithmic vehicle owing to their way of delivering a more general view at data, ignoring irrelevant details and supporting a suitable level of abstraction aligned with the nature of the problem at hand.



Our objective is to provide a general overview of Granular Computing, identify the main items forming a comprehensive research agenda and identify its far-reaching and impactful role in addressing challenges in Machine Learning and fostering their new directions. To organize our discussion in a coherent way and highlight the main trends as well as deliver a self-contained material, the study is structured in a top-down manner. Some introductory material offering some motivating insights and main concepts and objectives are presented in Section 2. The formal frameworks of information granules into the existing formalisms are covered in Section 3. Section 4 is devoted to the design of information granules with the use of the principle of justifiable granularity. We also show linkages of this principle with unsupervised learning and clarify a role of clusters as data-driven information granules. The key conceptual and design challenges emerging in Machine Learning are highlighted in Section 5. We also offer some insights as to the function of information granules in addressing these quests. A new and promising direction of knowledge-data Machine Learning (ML) is identified in Section 6. Some prospects and main conclusions are covered in Section 7.

## **2. Information granules and information granularity**

The framework of Granular Computing along with a diversity of its formal settings offers a critically needed conceptual and algorithmic environment. A suitable perspective built with the aid of information granules is advantageous in realizing a suitable level of abstraction. It also becomes instrumental when forming sound and pragmatic problem-oriented tradeoffs among precision of results, their easiness of interpretation, value, and stability (where all of these aspects contribute vividly to the general notion of actionability).

Information granules are intuitively appealing constructs, which play a pivotal role in human cognitive and decision-making activities [27][32][47]. We perceive complex phenomena by organizing existing knowledge along with available experimental evidence and structuring them in a form of some meaningful, semantically sound entities, which are central to all ensuing processes of describing the world, reasoning about the environment, and support decision-making activities.

The terms information granules and information granularity themselves have emerged in different contexts and numerous application areas. Information granule carries various meanings. One can refer to Artificial Intelligence (AI) in which case information granularity is central to a way of problem solving through problem decomposition, where various subtasks could be formed and solved individually. Information granules and the area of intelligent computing revolving around them being termed Granular Computing are quite often presented with a direct association with the pioneering studies by Zadeh [47]. He coined an informal, yet highly descriptive and compelling concept of information granules. Generally, by information granules one regards a collection of elements drawn together by their closeness (resemblance, proximity, functionality, etc.) articulated in terms of some useful spatial, temporal, or functional relationships. Subsequently, Granular Computing is about representing, constructing, processing, and communicating information granules. The concept of information granules is omnipresent and this becomes well documented through a series of applications, cf. [6][8][9][10][12][25][26][28][30][31][34].

Granular Computing exhibits a variety of conceptual developments; one may refer here to selected and representative pursuits including graphs, information tables, knowledge representation.

It is again worth emphasizing that information granules permeate almost all human endeavors. No matter which problem is taken into consideration, we usually set it up in a certain conceptual framework composed of some generic and conceptually meaningful entities – information granules, which we regard as being of relevance to the problem formulation, further problem solving, and a way in which the findings are communicated to the community. Information granules realize a framework in which we formulate generic concepts by adopting a certain level of generality.

Information granules naturally emerge when dealing with data, including those coming in the form of data streams. The ultimate objective is to describe the underlying phenomenon in an easily understood way and at a certain level of abstraction. This requires that we use a vocabulary of commonly encountered terms (concepts) and discover relationships between them and reveal possible linkages among the underlying concepts.

Information granules are examples of abstractions. As such, they naturally give rise to hierarchical structures: the same problem or system can be perceived at different levels of specificity (detail) depending on the complexity of the problem, available computing resources, and particular needs to be addressed. A hierarchy of information granules is inherently visible in processing of information granules. The level of captured details (which is represented in terms of the size of information granules) becomes an essential facet facilitating a way a hierarchical processing of information with different levels of hierarchy indexed by the size of information granules.

Even such commonly encountered and simple examples presented above are convincing enough to lead us to ascertain that (a) information granules are the key components of knowledge representation and processing, (b) the level of granularity of information granules (their size, to be more descriptive) becomes crucial to the problem description and an overall strategy of problem solving, (c) hierarchy of information granules supports an important aspect of perception of phenomena and deliver a tangible way of dealing with complexity by focusing on the most essential facets of the problem, (d) there is no universal level of granularity of information; commonly the size of granules is problem-oriented and user dependent.

Human-centricity comes as an inherent feature of intelligent systems. It is anticipated that a two-way effective human-machine communication is imperative. Human perceive the world, reason, and communicate at some level of abstraction. Abstraction comes hand in hand with non-numeric constructs, which embrace collections of entities characterized by some notions of closeness, proximity, resemblance, or similarity. These collections are referred to as information granules. Processing of information granules is a fundamental way in which people process such entities. Granular Computing has emerged as a framework in which information granules are represented and manipulated by intelligent systems. The two-way communication of such intelligent systems with the users becomes substantially facilitated because of the usage of information granules.

It brings together the existing plethora of formalisms of set theory (interval analysis) under the same banner by clearly visualizing that in spite of their visibly distinct underpinnings (and ensuing processing), they exhibit some fundamental commonalities. In this sense, Granular

Computing establishes a stimulating environment of synergy between the individual approaches. By building upon the commonalities of the existing formal approaches, Granular Computing helps assemble heterogeneous and multifaceted models of processing of information granules by clearly recognizing the orthogonal nature of some of the existing and well-established frameworks (namely, probability theory coming with its probability density functions and fuzzy sets with their membership functions). Granular Computing fully acknowledges a notion of variable granularity, whose range could cover detailed numeric entities and very abstract and general information granules. It looks at the aspects of compatibility of such information granules and ensuing communication mechanisms of the granular worlds. Granular Computing gives rise to processing that is less time demanding than the one required when dealing with detailed numeric processing.

### 3. Frameworks of information granules

There are numerous formal frameworks of information granules; for illustrative purposes, we recall some selected alternatives.

*Sets (intervals)* realize a concept of abstraction by introducing a notion of dichotomy: we admit a certain element to belong to a given information granule or to be excluded from it. Along with the set theory comes a well-developed discipline of interval analysis [3][18][19].

*Fuzzy sets* deliver an important conceptual and algorithmic generalization of sets [20][32][46]. By admitting partial membership of an element to a given information granule, we bring an important feature which makes the concept to be in rapport with reality. It helps working with the notions, where the principle of dichotomy is neither justified, nor advantageous. Furthermore, owing to the smooth nature of membership functions, fuzzy sets are helpful in realizing optimization tasks, in particular those engaging gradient-based optimization schemes. Fuzzy sets come with a spectrum of operations, usually realized in terms of triangular norms.

*Shadowed sets* [24] offer an interesting description of information granules by distinguishing among three categories of elements. Those are the elements, which (i) fully belong to the concept, (ii) are excluded from it (iii) their belongingness is completely *unknown* [43].

*Rough sets* [22][23] are concerned with a roughness phenomenon, which arises when an object (pattern) is described in terms of a limited vocabulary of certain granularity. The description of such nature gives rise to so-called lower and upper bounds of concepts forming the essence of a rough set.

The list of formal frameworks is quite extensive; as interesting examples, one can recall here probabilistic sets and axiomatic fuzzy sets. At the practical end, one should emphasize that while the existing approaches come with some conceptual motivation pointing at their relevance, it is of paramount importance to have them equipped with sound development mechanisms and estimation procedures; in several cases this is not the case.

### ***Information granules of higher type and higher order***

There are two important directions of generalizations of information granules, namely information granules of higher *type* and information granules of higher *order*. The essence of information granules of higher type comes with a fact that the characterization (description) of information granules is described in terms of information granules rather than numeric entities [29][37]. Well-known examples are fuzzy sets of type-2 [16][45], granular intervals, or imprecise probabilities. For instance, a type-2 fuzzy set is a fuzzy set whose grades of membership are not single numeric values (membership grades in  $[0,1]$ ) but fuzzy sets, intervals or probability density functions truncated to the unit interval. There is a hierarchy of higher type information granules, which are defined in a successive manner. Therefore, we talk about type-0, type-1, type-2 fuzzy sets, etc. In this hierarchy, type-0 information granules are numeric entities, namely, numeric measurements. With regard to higher order information granules, those are granules defined in some space whose elements are information granules themselves.

## **4. Design of information granules – a principle of justifiable granularity**

A task of building information granules constitutes a central item on the agenda of Granular Computing with far-reaching implications on its applications.

Information granules are designed through the process of abstracting available experimental evidence. Let us start with an illustrative example. Consider a collection of numbers representing readings of temperature over the past month. By eyeballing them and without any computing, we conclude that we witnessed high temperature. What has been done, we build an information granule by arranging the existing data in a form of a single descriptor located at the higher level of abstraction. The principle of justifiable granularity guides a construction of an information granule based on available experimental evidence [26]. The resulting information granule becomes a summarization of data (viz. the available experimental evidence).

This principle mimics this process by admitting that the constructed information granule is meaningful (semantically sound) and well justified in light of the existing data. Formally, these two intuitively appealing criteria are expressed by the coverage and specificity measures. The first one expresses an extent to which the granule “covers” (includes) the data, viz. it is supported by available experimental evidence. The specificity measure quantifies an extent to which the granule is specific (precise) and stresses semantics (meaning) of the granule.

In case of one-dimensional numeric data  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  as witnessed in the above example and an information granule given in the form of a numeric interval  $A=[a, b]$ , these two criteria are expressed as  $\text{cov}(A) = \text{card}\{x_k \mid x_k \in [a, b]\}$  and  $\text{spec}(A) = g(\text{length}(A))$  with  $g$  standing for the monotonically decreasing function,  $\text{length}(A) = b - a$ , respectively. The criteria are in conflict; with the objective to maximize both of them, the optimization problem could be posed as the maximization of the product of coverage and specificity completed with respect to the bounds  $a$  and  $b$ , namely  $\arg \max_{a,b} [\text{cov}(A)\text{spec}(A)]$ .

The principle can be extended to multidimensional data and as a result of optimization, we arrive at the optimal parameters of the granule describing its geometry; for instance  $A(x;m;\rho)$  with  $\rho$  and denoting the parameters (geometry) of the granule.

The generic design process can be extended in different ways. In general, the principle can be developed and applied to the construction of information granules expressed in different formal settings. Furthermore, interesting considerations involve the design scenarios

where information contents are also involved that stems from the ML context:

- (i) data belonging to different classes and the design is intended to build the granule of data belonging to a single class (homogeneous granule); in this construction, inhibitory information is considered,
- (ii) building granule in the presence of weighted data,
- (iii) building granules of the lowest variability with respect to some auxiliary variable. In these cases, not only geometric characteristics are formed but the information content  $I$  becomes quantified in the obtained granule  $A(x;m;p;l)$ .

The principle is also useful in expressing equivalency between two information granules being expressed in the presence of available experimental data. An information granule is equivalent to in terms of the principle when the equality  $\text{cov}(A)_{\text{spec}(A)} = \text{cov}(B)_{\text{spec}(B)}$  is satisfied. This helps us determine the parameters of  $A$ . Likewise, one can build an information granule expressed in different formalisms such as building a fuzzy set equivalent with probabilistic information granule  $B$ . If some underlying probabilistic characteristics of data are available, the above requirement can be read as  $\text{cov}(A)_{\text{spec}(A)} = p \text{cov}(B)_{\text{spec}(B)}$  with  $p$  denoting the underlying probability density function.

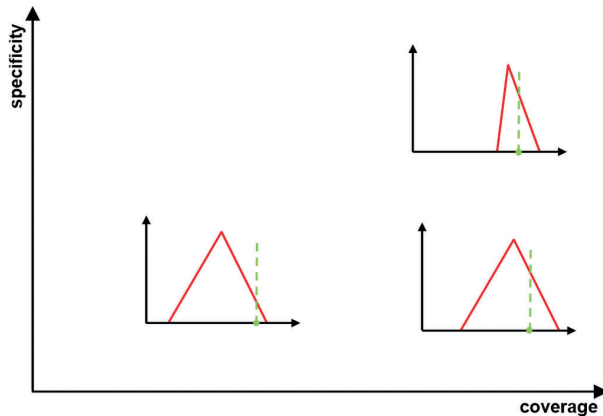
The principle of justifiable granularity highlights an important facet of elevation of the type of information granularity: the result of capturing a number of pieces of numeric experimental evidence comes as a single abstract entity – information granule. As various numeric data can be thought as information granule of type-0, the result becomes a single information granule of type-1. This is a general phenomenon of elevation of the type of information granularity. The increased level of abstraction is a direct consequence of the diversity present in the originally available granules. This elevation effect is of a general nature and can be emphasized by stating that when dealing with experimental evidence composed of information granules of type-, the result becomes a single information granule of type- $(n + 1)$ . Thus, we can express this finding in the form: a number of data of type- $n$  are abstracted to a single type- $(n + 1)$  information granule.

For instance, numeric data (which are type-0) give rise to a single information granule (type-1), type-1 data (e.g., fuzzy sets) give rise to type-2 information granule (viz. type-2 fuzzy set), etc.



As a way of constructing information granules, the principle of justifiable granularity exhibits a significant level of generality in two essential ways. First, given the underlying requirements of coverage and specificity, different formalisms of information granules can be engaged. Second, experimental evidence could be expressed as information granules articulated in different formalisms and on this basis certain information granule is being formed.

The use of the coverage and specificity criteria provide an interesting insight into a way in which a location of information granule and numeric datum is characterized as illustrated in Figure 1. The numeric datum and information granule (in this case a triangular fuzzy set) show the highest level of compatibility when both coverage and specificity are made the highest, namely the product of these two measures becomes maximized.



**Fig.1.** Distribution of numeric datum and information granule visualized in the coverage-specificity space

The design of information granules can be carried out through clustering. Along with a truly remarkable diversity of detailed algorithms and optimization mechanisms of clustering, the paradigm itself delivers a viable prerequisite to the formation of information granules (associated with the ideas and terminology of fuzzy clustering, rough clustering, and others) and applies both to numeric data and information granules. Information granules built through clustering are predominantly data-driven, viz. clusters (either in the form of fuzzy sets, sets, or rough sets) are a manifestation of a structure encountered (discovered) in the data.



Numeric prototypes are formed through invoking clustering algorithms, which yield a partition matrix and a collection of the prototypes. Clustering realizes a certain process of abstraction producing a small number of the prototypes based on a large number of numeric data. Interestingly, clustering can be also completed in the feature space. In this situation, the algorithm returns a small collection of abstracted features (groups of features) that might be referred to as meta-features.

As a matter of fact, in view of the general definitions of clusters and key objectives of clustering, clusters can be sought as information granules. In this sense, the clustering techniques and the principle of justifiable granularity intertwine and build a coherent environment: clustering could identify some initial locations of information granules (for instance, in the form of numeric prototypes as typically build in K-Means or FCM methods) and the principle can elevate such prototypes to their granular counterparts. An overall organization of the relationships among the resulting constructs are displayed in Figure 2.

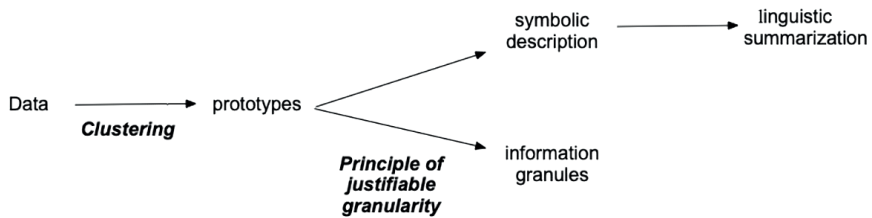


Fig. 2. From data to information granules and linguistic summarization

It is worth stressing that there is a striking difference between clustering and the principle of justifiable granularity. First, clustering leads to the formation at least two information granules (clusters) whereas the principle of justifiable granularity produces a single information granule. Second, when positioning clustering and the principle vis-à-vis each other, the principle of justifiable granularity can be sought as a follow-up step facilitating an augmentation of the numeric representative of the cluster (such as e.g., a prototype) and yielding granular prototypes where the facet of information granularity is retained.

## 5. Challenges of Machine Learning and a perspective of Granular Computing

With the rapid advances in ML, it becomes apparent that there are a number of evident challenges. Addressing them is required to further foster the progress in the area and expand a spectrum of application areas. We identify several of them and point out that information granules offer some interesting, conceptually and algorithmically viable solutions.

### **Confidence/credibility of ML results**

As data are central to all ML models, the quality produced by the models are directly implied by the location of a new situation vis-à-vis data being used for training purposes. Obviously, going beyond some boundaries of acquired “expertise” of the model associated with substantial risks that have to be assessed. Questions emerge: given  $x$ , what confidence/credibility level could one associated with the produced result? Is the result credible? Could the result trigger some legitimate action or the system so that actionability becomes secured.

Information granularity plays a pivotal role with this regard. Instead of a numeric result produced by the model, information granule produced by the ML can offer a useful and quantifiable solution to the problem. The specificity of the output information granule can serve as a sound measure describing the quality of the result.

Different formal approaches could be envisioned here. We recall the two of them:

- (i) *granular embedding* Numeric parameters,  $a$ , of the ML model  $M(x; a)$  are elevated to their granular counterparts by forming information granules distributed around them. The transformation  $G, A = G(a; \varepsilon)$ , denotes the mapping of  $a \in R^p$  (with  $p$  standing for the number of parameters of the model) to a  $p$ -dimensional vector of information granules  $A$ . The hyperparameter  $\varepsilon$  denotes a level of information granularity and its value is optimized through the maximization of the product of coverage and specificity of results of the model  $M(x; G(A; \varepsilon))$  with the coverage being computed for the data  $D$  used initially to learn the numeric model.
- (ii) *Gaussian Process (GP)* model [13][36] produces results that come in the form of probabilistic information granules described by

Gaussian distributions. The process  $GP(m, \kappa(x, x'))$  is characterized by some mean function  $m$  and covariance function  $\kappa(x, x')$ . For any  $x$ , the  $GP$  model  $GP(y|x, D)$  gives rise to the corresponding output viewed in the form of a Gaussian distribution,  $N(m; \sigma)$  inferred on a basis of training data  $D$  where the standard deviation  $\sigma$  describes the level of granularity of the obtained result for given input  $x$ . Several design alternatives are sought with regard to the selection of kernels realizing the covariance function. A two-phase design process is invoked: a numeric model is built first and then a representative subset of training data is used to construct the  $GP$  model thus augmenting the numeric results with the probabilistic granules.

While the formats of information granules arising from (i) and (ii) are different, the results could be treated uniformly by engaging the principle of justifiable granularity. Another general observation, which is self-explanatory, is worth making here: there are no ideal ML models. While type- $n$  information granules are used to build the model, to be in rapport with reality, the results produced by the model have to be type- $(n + 1)$  information granules. In granular embedding, we advocate granular format of parameters (assuming numeric data and optimal numeric parameters) which entails granular results. In the model, eventually built on a basis of a numeric model, the results arise in the form of probabilistic information granules.

The above augmentations can endow the ML design methodology with a useful self-awareness mechanism, Figure 3, where the quality (granularity) of the result not only quantifies the confidence (and eventually offer some visualization mechanism) but helps the model to become aware of its limitations and potentially invoke further learning through the mechanisms of active learning [7][14][38][44].

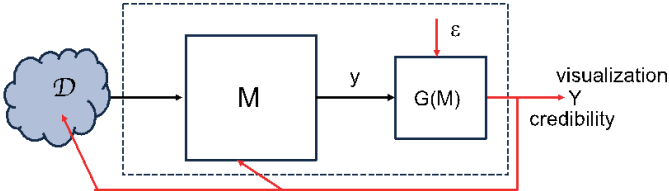


Fig. 3. Realization of self-awareness mechanism in ML

*Interpretability and explainability* of ML architectures [2][4] is one of the crucial requirements well-articulated in Explainable AI (XAI). Information granules are conceptually and algorithmically viable as demonstrated in [33].

### ***Computing sustainability – knowledge transfer***

ML design processes are power hungry. The required computing resources (and electricity usage) will skyrocket making rapid progress in the discipline not sustainable in a long run. Achieving slightly better results demand significant computing overhead. The return on investment becomes very limited and will likely show a rapidly decreasing tendency. The agenda of Green AI [5][35][39][40] identifies at this tendency.

Different variants of knowledge transfer (coming under different names including learning transfer, learning by analogy, pretraining, etc.) along with knowledge distillation offer some interesting solution [21]. Knowledge transfer is about knowledge reuse: the model built in a certain so-called source domain is transferred to a new (target domain). The domains are not identical; the tasks are also not identical. Hence the knowledge (model) being transferred is not ideal in the new environment, however it could substantially reduce the development time and associated costs. Nevertheless, in order to carry out efficient realization of such transfer, the quality of the transferred model needs to be quantified and with this regard one can view the results being information granules which contribute to the optimization of the loss function. The ML model is built in the target domain using a small set of data  $D$  by minimizing the loss function consisting of two parts. The first one is the one commonly encountered that involves training based on  $D$  while the second one, which could be referred to as a granular regularization, aims to maximize closeness between the output of the constructed model and the granular output of the transferred model.

### ***Privacy and distributed data – federated learning***

Usually, Data in ML are abundant. There are essential constraints of privacy and security. Data could be available locally and cannot be released to support learning; they form so-called data islands. Such situations hamper the learning and call for a paradigm shift. This has

resulted in federated learning [1][11][41][42] where the design of the overall ML model is carried out based on some guidance provided by owners of data (clients) with the model constructed by the server through some iterative interaction among the clients and the server. There are numerous schemes of federated learning depending upon the mode of existing data and the design mechanisms. They give rise to averaged federated learning and gradient-based federated learning depending upon a way what is being communicated to the server (either parameters of local models or the gradients of the loss functions are computed and communicated by the clients). In light of the diversity of data islands (in terms of the underlying probabilistic characteristics), the key challenge is about the quality of the model built by the server. The confidence of the results needs to be quantified and with this regard, a direct link with the discussion on credibility/confidence becomes evident. Quantifying the confidence of the results of the model built by the server and forming granular results is relevant here. An underlying process can be envisioned as follows: the model is provided to the individual clients where it is confronted with data islands and optimal level of information granularity (obtained through granular embedding) is determined. These optimal levels are communicated to the server, which aggregates them and releases the granular results produced with this aggregated level of information granularity.

## **6. Knowledge-data environment of design of ML**

Data are a holy grail of Machine Learning. They are behind the undisputable successes of the discipline. They also come with challenges that are imminent, in particular in light of the diversity and the nature of data and their volume. The key observations concern some essential characteristics of the multitude of ML constructs, their design and deployment (and very likely the ones emerging in the future):

- (i) in virtue of the underlying complexity and distributed architectures (for example, consider deep learning networks) are black boxes,
- (ii) going beyond the boundaries of data used to build the ML architectures (built on the principle of inductive reasoning) brings a question of credibility/confidence/relevance of the produced results (which becomes of central importance when deploying the models in

- critical environments requiring a high level of autonomy, consider autonomous vehicles),
- (iii) learning is commonly realized from scratch, which brings a high level of computing overhead,
  - (iv) loss functions emphasize the quality expressed in terms of prediction or classification accuracy,
  - (v) any possible data attack impacts the construction and the functioning of the model. In light of the arguments put forward and to emphasize this point on reliance on data in the ML design methodology, we can refer to the resulting mapping  $D \rightarrow M_D$  with the subscript emphasizing the origin of the ML model  $M_D$ .

In every real-world problem, there is some knowledge that as of now is not accommodated when designing ML architectures. Going beyond the data in the development of ML models, sounds attractive and deserves careful attention. One may anticipate far reaching ramifications of this conceptualization. The main direction emerging in this way could be referred to as knowledge-data ML or KD-ML in brief. In essence, denoting the knowledge as  $K$ , the resulting construct could be expressed as  $M_{DK}$ . There are different ways of representing knowledge and using it in the realization of the model. Quite commonly, one can envision that the design of  $M_{DK}$  is guided by a general (extended) loss function whose important component is a regularization term reflecting the knowledge conveyed in the problem.

For the sake of completeness, one could also remark that the standard practice of ML is to augment the loss function by admitting a so-called regularization term whose role is to avoid possible memorization effect. When pursuing the agenda of KD-ML, the two fundamental questions that need to be posed and carefully addressed concern the origin and taxonomy of knowledge as well as its suitable representation.

When it comes to the origin and taxonomy of knowledge, there are several key categories encountered [15]:

### ***Scientific knowledge***

This knowledge is articulated through universal laws of physics, chemistry and invariants of mass conservation, etc. For instance, one can refer to Newton's law of motion, Maxwell's law of electromagnetics and conservation laws (conservation of mass, moment, energy, ...).

Interestingly, the considerations developed within this realm have led to the recent developments of physics-informed ML.

### ***World knowledge***

This category of knowledge comprises everyday life facts; it is intuitive and validated by human reasoning (subsumes linguistics) and validated through empirical studies; various levels of abstraction (information granules) are present.

### ***Expert knowledge***

Again, this represents common knowledge being held by a particular group of experts. Various levels of abstraction (specificity of information granules) are also present.

The theme of knowledge representation has been central on the agenda of AI. There have been fundamental discussions on the symbolic and connectionist perspective of knowledge representation with the associated benefits and limitations, as convincingly advocated by Minsky [17]. Interestingly, he made compelling arguments on the role of heuristics being played in the representation schemes. ... *our purely numeric connectionist networks are inherently deficient in abilities to reason well; or purely symbolic logical systems are inherently deficient in abilities to represent the all-important heuristic connections between things – the uncertain approximate or analogical links, ...*

There are numerous and highly diversified formal ways aimed at knowledge representation including:

- algebraic equations, differential equations, simulation results, spatial invariances (translations and rotations). These fall under the umbrella of ways in which scientific knowledge is being represented.
- logic rules and rule-based models, knowledge graphs, relations and relational calculus, semantic networks, frames with default assignments. These are the schemes proposed and intensively studied in the area of AI.

The key point worth making is that knowledge is inherently represented at the higher than numeric level of abstraction. Hence the role of information granules becomes inherently visible and their usage in KD-ML turn out to be apparent. Essential is the crucial symbolic and numeric duality of information granules.

There are two main levels of knowledge integration in KD-ML, namely knowledge integration completed at the data level and the integration carried out at the level of architectures of ML models

**Knowledge integration at the data level**

This one displayed in Figure 4 is concerned with accommodation of constraints imposed on the available data  $D$ . The constraints are formalized through information granules and relations and becomes provided in the form of logic expressions forming a layer of constraint satisfaction and subsequently evaluating the data prior to their usage in the design of the ML model. For instance, such constraints could be expressed as logic expressions, “*high* values of  $x_k$  associate with *low* values of  $x_1$ ” where  $x_k$  and  $x_1$  are some variables while *high* and *low* are terms of natural language realized as information granules. Given a collection of constraints-knowledge  $K$  imposed on  $D$ , they augment data by some weighting (describing levels of constraint satisfaction). In the sequel, the enhanced weighted data structure  $(D, w)$  is used in the buildup of the model  $M_{KD}$ .

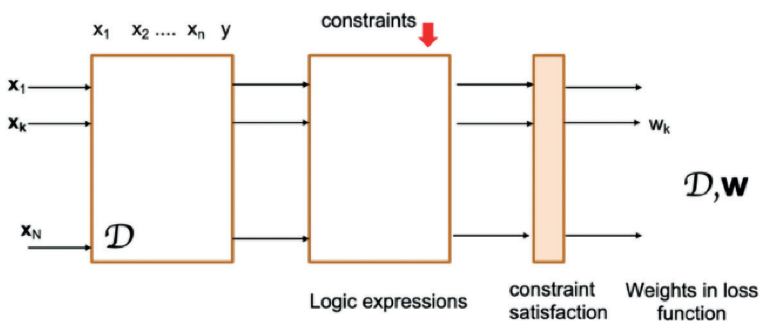


Fig. 4. Knowledge integration realized at data level

**Knowledge integration at the model level**

Here we are faced with a number of possibilities depending upon the knowledge available; refer to Figure 5.



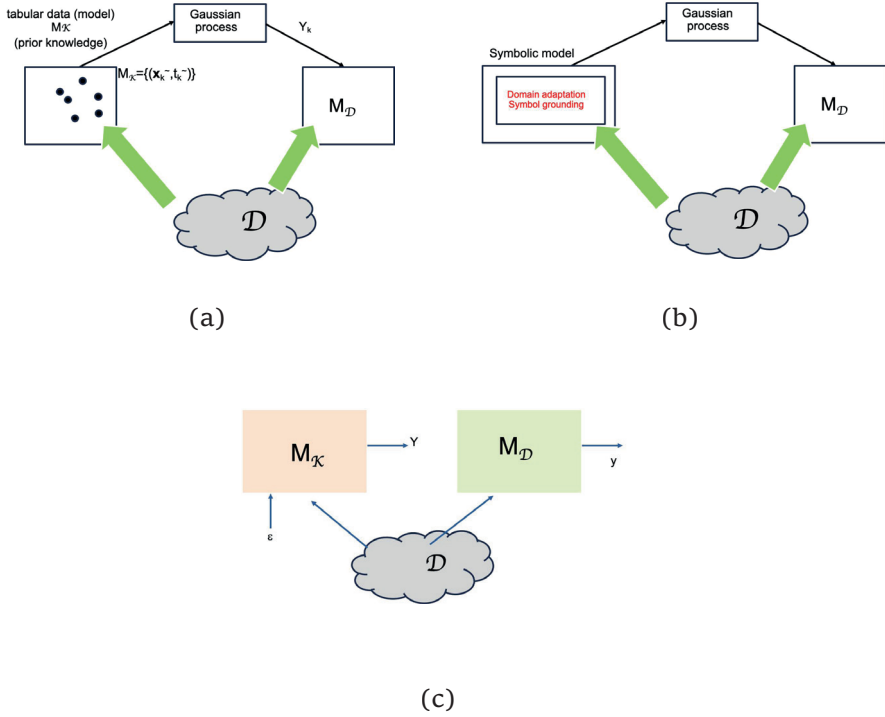


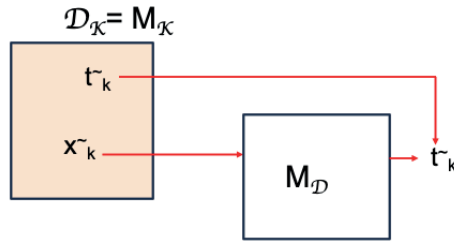
Fig. 5. Examples of knowledge integration: (a) tabular knowledge model, (b) symbolic model, (c) parametric scientific knowledge-based model

*Tabular knowledge model* The knowledge is conveyed in a form of a small number of tabular data  $\{(x_k, t_k)\}$  that form the knowledge-based model  $M_K$ , Figure 5(a). These data offer some useful guidance to build the ML model by augmenting the design based on  $D$ . The *GP* block provides some granular results aimed to construct  $M_D$ . To realize this mechanism of knowledge-based guidance, the loss function  $L$  used to guide the construction of the  $M_{KD}$  models is expanded as follows

$$\begin{aligned}
 L = & \lambda_1 \sum_D (M_D(x_k) - t_k)^2 - cov(M_D(x_k), Y_k) \\
 & + \lambda_2 \sum_D (M_D(x_k) - m(x_k))^2 cov(M_D(x_k), Y_k) sp(Y_k) + \\
 & + \lambda_3 \sum_{D_K} (M_D(x_k) - t_k)^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

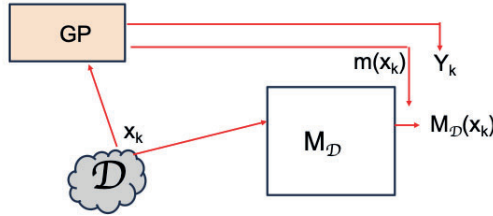
Where the role of the three components is illustrated in Figure 6;  $\lambda_1, \lambda_2$ , and  $\lambda_3$  are some adjustable weighting hyperparameters.

(a)



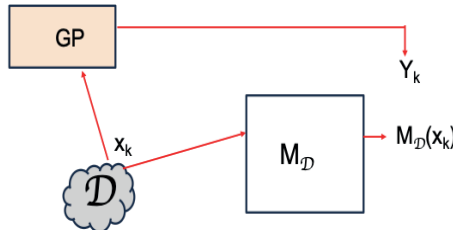
$$\sum_{D_k} (M_D(x_k) - t_k)^2$$

(b)



$$\sum_D (M_D(x_k) - m(x_k))^2 \text{cov}(M_D(x_k), Y_k) \text{sp}(Y_k)$$

(c)



$$\sum_D (M_D(x_k) - t_k)^2 [1 - \text{cov}(M_D(x_k), Y_k) \text{sp}(Y_k)]$$

Fig. 6. Formation of the loss function used in the tabular knowledge model

### Knowledge represented through symbolic models

Qualitative models  $M_K$  based on symbol processing have been an area of intensive studies in AI. Building a sound interface between quantitative model and ML model, Figure 5(b), becomes critical and this requires symbol grounding, for instance through domain adaptation where the symbols are mapped onto a certain numeric domain with the optimized parameters  $w$  of grounding being a part of the optimized loss function

$$L = \sum_D (M_D(x_k) - t_k)^2 [1 - cov(M_D(x_k), Y_k) sp(Y_k)] \quad (2)$$

The optimization is realized as follows

$$\min_{MD, w} L \quad (3)$$

where  $Y_k = \text{Gran}[GP(y_k | x_k, D\sim)]$  and the domain adaptation is expressed through some monotonic mapping with parameters  $w$ ,  $\Phi(x, w)$  and numeric representatives of symbols are denoted by  $D\sim$ .

### **Parametric knowledge-based models**

The model  $M_K$  based upon some scientific knowledge-based model and commonly described by some algebraic equations, differential equations or partial differential equations. The model also accommodates some parameters  $A$  whose nominal values are sought as a reasonable guess.  $M_K$  can be regarded as general yet not completely describing all factors present in a particular real-world scenario. Granular embedding is applied to  $M_K$  yielding  $Y_k = MK(x_k, A(\epsilon))$  with  $\epsilon$  standing for the level of information granularity. The ML data-driven model comes in the form  $y_k = M_D(x_k, w)$ . The loss function consists of two components

$$L = \sum_D (M_D(x_k, w) - t_k)^2 [1 - cov(M_K(x_k, \epsilon), Y_k) sp(M_K(x_k, \epsilon))] \quad (4)$$

whose optimization is completed with respect to the parameters of the model as well as the level of information granularity,  $\min_{w, \epsilon} L$ .

## **7. Concluding comments**

The study has offered a focused overview of the fundamentals of Granular Computing positioned in the context of advanced system modeling. We identified a multifaceted role of information granules as meaningful conceptual entities being formed at the required level of abstraction. It has been emphasized that information granules are not only reflective of the nature of the data (the principle of justifiable granularity highlights the reliance of granules on available experimental evidence)

but can efficiently capture some auxiliary domain knowledge conveyed by the user and in this way reflect the human-centricity aspects of the investigations and enhances the actionability aspects of the results. The interpretation of information granules at the qualitative (linguistic) level and their emerging characteristics such as e.g., stability enhancement of the interpretability capabilities of the framework of processing information granules is another important aspect of data analytics and Machine Learning that directly aligns with the requirements expressed by the user. Several key avenues of system modeling based on the principles of Granular Computing were highlighted; while some of them were subject of intensive studies, some other require further investigations.

The study can be regarded as a solid departure point identifying main directions of further far-reaching human-centric data analysis investigations. A number of promising avenues are open that are well aligned with the current challenges of data analytics including the reconciliation of results realized in the presence of various sources of knowledge (models, results of analysis), hierarchies of findings, quantification of tradeoffs between accuracy and interpretability (transparency).

### **Abstract**

In the plethora of conceptual and algorithmic developments supporting system modeling and Machine Learning, we encounter growing challenges associated with the complexity of systems, diversity of available data, and a variety of requests imposed on the quality of the models. The accuracy of models is important. At the same time, their interpretability and explainability are equally important and of high practical relevance. We advocate that the level of abstraction at which models are constructed (and which could be flexibly adjusted), is conveniently realized through Granular Computing. Granular Computing is concerned with the development and processing information granules – formal entities which facilitate a way of organizing and representing knowledge about the available data and relationships existing there. This study identifies the principles of Granular Computing, elaborates on the landscape of formal frameworks behind Granular Computing and discusses how it links with Machine Learning and addresses its challenges and delivers interesting methodological and algorithmic solutions.

**Keywords:** Granular Computing, Machine Learning, information granules, fuzzy sets, rough sets, principle of justifiable granularity, knowledge-data Machine Learning.

## References

- [1] S. Abdulrahman, H. Tout, H. Ould-Slimane, A. Morad, C. Talhi, M. Guizani, "A survey on federated learning: the journey from centralized to distributed on-site learning and beyond," *IEEE Internet of Things Journal*, 8, 7, 2021, 5476–5497. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3030072.
- [2] A. Adadi, M. Berrada, "Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI)," *IEEE Access*, 6, 2018, 52138–52160.
- [3] G. Alefeld, J. Herzberger, *Introduction to Interval Computations*, Academic Press, New York, 1983.
- [4] A.B. Arrieta et al., „Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI," *Information Fusion*, 58, 2020, 82–115.
- [5] R.C. Castanyer, S. Martínez-Fernández, X. Franch, "Which design decisions in AI-enabled mobile applications contribute to Greener AI?," *Empirical Software Engineering*, 29, 1, 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2109.15284.
- [6] A. Gacek, W. Pedrycz, "Clustering granular data and their characterization with information granules of higher type," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23, 4, 2015, 850–860.
- [7] R. He, S. Liu, S. He, K. Tang, "Multi-domain active learning: literature review and comparative study," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 7, 3, 2023, 791–802.
- [8] L. Hu, K.C.C. Chan, "Fuzzy clustering in a complex network based on content relevance and link structures," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 24, 2016, 456–470.
- [9] X. Hu, Y. Shen, W. Pedrycz, X. Wang, A. Gacek, B. Liu, "Identification of fuzzy rule-based models with collaborative fuzzy clustering," *IEEE Trans on Cybernetics*, 52, 7, 2022, 6406–6419.
- [10] X. Hu, W. Pedrycz, X. Wang, "Granular fuzzy rule-based models: a study in a comprehensive evaluation and construction of fuzzy models," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25, 2017, 1342–1355.
- [11] P. Kairouz, "Advances and open problems in federated learning," *arXiv:1912.04977*, 2019. DOI: 10.1561/22000000083.
- [12] J. Leng, Q. Chen, N. Mao, P. Jiang, "Combining granular computing technique with deep learning for service planning under social manufacturing contexts," *Knowledge-Based Systems*, 143, 2018, 295–306.
- [13] M. Lifshits, "Lectures on Gaussian Processes," Springer, Cham, 2012.

- [14] M. Liu, W.L. Buntine, G. Haffari, "Learning how to actively learn: A deep imitation learning approach," in: „Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Long Papers)”, 2018, 1874–1883.
- [15] L.von Rueden, S. Mayer et al., "Informed Machine Learning-a taxonomy and survey of integrating prior knowledge into learning systems," *IEEE Trans on Knowledge Engineering*, 35, 1, 2023, 614–633.
- [16] J.M. Mendel, R.I. John, F. Liu, "Interval Type-2 fuzzy logic systems made simple," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14, 2006, 808–820.
- [17] M. Minsky, "Logical versus analogical or symbolic versus connectionist or neat versus scruffy," *AI Magazine*, 12, 2, 1991, 34–51.
- [18] R. Moore, "Interval Analysis," Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1966.
- [19] R. Moore, R.B. Kearfott, M.J. Cloud, "Introduction to Interval Analysis," SIAM, Philadelphia, 2009.
- [20] H. Nguyen and E. Walker, "A First Course in Fuzzy Logic," Chapman Hall, CRC Press, Boca Raton, 1999.
- [21] S.J. Pan, Q. Yang, "A survey on transfer learning," *IEEE Trans on Knowledge Engineering*, 22, 10, 2010, 1345–1359.
- [22] Z. Pawlak, "Rough sets," *International Journal of Information and Computer Science*, 11, 15, 1982, 341–356.
- [23] Z. Pawlak, "Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning About Data," Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- [24] W. Pedrycz, "Shadowed sets: representing and processing fuzzy sets," *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part B*, 28, 1998, 103–109.
- [25] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Morfeq, A. Balamash, "The design of free structure granular mappings: the use of the principle of justifiable granularity," *IEEE Transactions on Cybernetics*, 43, 6, 2013, 2105–2113.
- [26] W. Pedrycz, W. Homenda, "Building the fundamentals of granular computing: A principle of justifiable granularity," *Applied Soft Computing*, 13, 10, 2013, 4209–4218.
- [27] W. Pedrycz, "Granular Computing," CRC Press, Boca Raton, FL, 2013.
- [28] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. S. Balamash, A. Morfeq, "Hierarchical granular clustering: an emergence of information granules of higher type and higher order," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23, 6, 2015, 2270–2282.
- [29] W. Pedrycz, "Fuzzy sets of higher type and higher order in fuzzy modeling," in: A. Sadeghian, H. Tahayori (eds.), *Frontiers of Higher Order Fuzzy Sets*, Springer, New York, 2015, 31–49.
- [30] W. Pedrycz, "Granular computing for data analytics: a manifesto of human-centric computing," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 5, 2018, 1025–1034.

- [31] W. Pedrycz, R. Al-Hmouz, A. Balamash, A. Morfeq, “Granular autoencoders: concepts and design,” *Soft Computing*, 23, 20, 2020, 9869–9880.
- [32] W. Pedrycz, “An Introduction to Computing with Fuzzy Sets – Analysis, Design, and Applications,” Springer, 2020.
- [33] W. Pedrycz, S.M. Chen (eds.), “Interpretable Artificial Intelligence: A Perspective of Granular Computing,” Springer 2021.
- [34] W. Pedrycz, “Evaluating quality of models via prediction information granules, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 30, 2022, 5551–5556.
- [35] W. Pedrycz, “Towards green machine learning: challenges, opportunities, and developments,” *Journal Smart Environ Green Computing*, 2, 2022, 163–74.
- [36] C.E. Rasmussen, C.K.I. Williams, “Gaussian Processes for Machine Learning,” MIT Press, 2006.
- [37] A. Sadeghian, H. Tahayori (eds.), “Frontiers of Higher Order Fuzzy Sets,” Springer, New York, 2015.
- [38] B. Settles, “Active learning literature survey,” University of Wisconsin-Madison Department of Computer Sciences, 1648, 2009.
- [39] R. Schwartz, J. Dodge, N.A. Smith, O. Etzioni, “Green AI,” arXiv:1907.10597v3, 13 Aug 2019. DOI:10.48550/arXiv.1907.10597.
- [40] T. Tornede, A. Tornede, J. Hanselle, M. Wever, F. Mohr, E. Hullermeier, “Green automated Machine Learning: status quo and future directions,” arXiv: 2111.058550, 2022, DOI:10.48550/arXiv.2111.05850.
- [41] Q. Yang, Y. Liu, Y. Cheng, Y. Kang, T. Chen, H. Yu, “Federated Learning,” Morgan & Claypool Publishers, San Rafael, 2019. DOI:10.2200/S00960ED2V01 Y201910AIM043.
- [42] Q. Yang, L. Fan, H. Yu (eds.), “Federated Learning. Privacy and Incentive,” Springer, 2020.
- [43] Y. Yao, S. Wang, X. Deng, “Constructing shadowed sets and three-way approximations of fuzzy sets,” *Information Sciences*, 412–413, 2017, 132–153.
- [44] D. Yoo, I. S. Kweon, “Learning loss for active learning,” in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, 2019, 93–102.
- [45] D. Wu, R. Peng, J.M. Mendel, “Type-1 and interval type-2 fuzzy sets,” *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2, 2023, 81–83.
- [46] L.A. Zadeh, “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I, II, III,” *Information Sciences*, 8, 1975, 199–251.
- [47] L.A. Zadeh, “Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic,” *Fuzzy Sets and Systems*, 90, 1997, 111–117.

# Spis treści

Uchwała Nr 48/2023/IX Senatu Politechniki Lubelskiej z dnia 30 listopada 2023 r.	5
Dyplom Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej	7
<b>Laudacja</b>	
Laudacja z okazji uroczystego nadania prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi godności Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej, wygłoszona przez dr. hab. inż. Jerzego Montusiewicza, prof. uczelni	11
Laudation on the occasion of the ceremonial awarding of Professor Witold Pedrycz with the dignity of Doctor Honoris Causa of the Lublin University of Technology delivered by prof. Jerzy Montusiewicz	15
<b>Opinie i uchwały</b>	
Uchwała nr 122/2023, Senat AGH z dnia 5 lipca 2023 r.	21
Opinia prof. dr. hab. inż. Ryszarda Tadeusiewicza dla Senatu Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa dla prof. zw. dr. hab. inż. Witolda Pedrycza	22
Uchwała nr 45/2023 Senatu Politechniki Śląskiej z dnia 30 października 2023 r.	26
Opinia prof. dr. hab. inż. Stanisława Kozielskiego w sprawie wniosku Politechniki Lubelskiej o nadanie tytułu Doktora Honoris Causa prof. dr. hab. inż. Witoldowi Pedryczowi	27
Recenzja prof. dr. hab. inż. Janusza Kacprzyka dorobku prof. dr. hab. inż. Witolda Pedrycza w związku z wszczęciem postępowania o nadanie mu tytułu Doktora Honoris Causa Politechniki Lubelskiej	33



## Listy gratulacyjne

List gratulacyjny, Instytut Badań Systemowych PAN, Polska	41
List gratulacyjny, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Italy	42
List gratulacyjny, University of Regina, Canada	44
List gratulacyjny, Università di Pisa, Italy	46
List gratulacyjny, Politechnika Śląska, Polska	48
List gratulacyjny, Università Degli Studi di Salerno, Italy	50
List gratulacyjny, Istinye Iniversity Istanbul, Türkiye	51
List gratulacyjny, Sejong University, Korea	52
List gratulacyjny, University of Campinas, Brazil	53
List gratulacyjny, Sapienza Università di Roma, Italy	54
List gratulacyjny, Politechnika Lubelska, Polska	55

## Wykład

Wykład Prof. Witolda Pedrycza, pt.: <i>Granular Computing and Machine Learning: A Unified Perspective and Pursuits of New Development Horizons</i>	59
---	----

Publikacja wydana za zgodą  
**Rektora Politechniki Lubelskiej**

**ISBN:** 978-83-7947-583-4  
(wersja drukowana)

**ISBN:** 978-83-7947-584-1  
(wersja elektroniczna)

**Wydawca:** Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
wpl.pollub.pl  
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin  
tel. (81) 538-46-59



**WYDAWNICTWO  
POLITECHNIKI  
LUBELSKIEJ**

**Elektroniczna wersja książki** dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)

Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

**Nakład:** 150 egz.