



**Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii
Biomedycznej**

KATEDRA AUTOMATYKI I ROBOTYKI

Kraków, dn. 01.06.2026

Prof. dr hab. inż.

Adam Władysław Kowalewski

Tel. 48126172851

email: ako@agh.edu.pl

**Recenzja osiągnięć naukowych dr inż. Anny Bryniarskiej w związku z
przewodem habilitacyjnym toczącym się na Wydziale Informatyki Politechniki
Opolskiej w Opolu**

Formalną podstawą do przedłożenia tej recenzji jest pismo Jego Magnificencji Rektora Politechniki Opolskiej dr hab. inż. Marcina Lorenca z dnia 24 marca 2026 roku dotyczące powołania mojej osoby do pełnienia funkcji recenzenta komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego dr inż. Annie Bryniarskiej.

Zgodnie z otrzymanymi zaleceniami z Rady Doskonałości Naukowej sporządzona recenzja musi obejmować ocenę „osiągnięcia naukowego” oraz „aktywności naukowej” Habilitantki.

Obecnie przejdę do oceny „osiągnięcia naukowego” dr inż. Anny Bryniarskiej będącego podstawą do podjęcia decyzji o nadaniu Jej stopnia naukowego doktora habilitowanego. O przyznaniu Kandydatce stopnia naukowego doktora habilitowanego w określonej dyscyplinie naukowej mogę wnioskować tylko wtedy, gdy stwierdzę, że wspomniane osiągnięcie naukowe może zostać ocenione jako stanowiące znaczący wkład Autorki w rozwój tej dyscypliny naukowej.

Po zapoznaniu się z przedłożoną mi dokumentacją stwierdzam, że dr inż. Anna Bryniarska, adiunkt w Katedrze Systemów Informatycznych i Sterowania na Wydziale Informatyki Politechniki Opolskiej posiada takie osiągnięcie oraz że osiągnięcie to

**Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Automatyki i Robotyki
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 28 30
e-mail: kair@agh.edu.pl**

stanowi znaczący wkład Autorki w rozwój dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja lokującej się w obszarze Nauk Inżynieryjno-Technicznych.

Osiągnięciem naukowym Habilitantki uzyskanym po otrzymaniu stopnia doktora stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny „Informatyka Techniczna i Telekomunikacja” określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy, jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych zatytułowany:

„Granulacja i wyszukiwanie wiedzy rozmytej w sieciach semantycznych”.

Cykl powiązanych tematycznie artykułów, zgodnie z art. 219 ust. 1, pkt 2b Ustawy.

Cykl publikacji, o których mowa w osiągnięciu naukowym, obejmuje 13 artykułów. Przy nazwisku habilitantki podano procentowy udział w poszczególnych publikacjach:

[P1] Bryniarska, A. [100%]: Certain Information Granule System as a Result of Sets Approximation by Fuzzy Context, International Journal of Approximate Reasoning, 111, Elsevier, s. 1-20, 2019, DOI: 10.1016/j.ijar.2019.04.012. Punktacja ministerialna: 140 pkt; liczba cytowań (Scopus): 8.

[P2] Bryniarska, A. [100%]: Mathematical Models of Diagnostic Information Granules Generated by Scaling Intuitionistic Fuzzy Sets, Applied Sciences, 2022, 12(5), 2597. DOI: 10.3390/app12052597. Punktacja ministerialna: 100 pkt; liczba cytowań (Scopus): 4.

[P3] Bryniarska, A. [100%]: The Auto-Diagnosis of Granulation of Information Retrieval of the Web, Algorithms, 2020, 13, 264. DOI: 10.3390/a13100264. Punktacja ministerialna: 40 pkt; liczba cytowań (Scopus): 2.

[P4] Bryniarska, A. [100%]: The n-Pythagorean Fuzzy Sets, Symmetry, 2020, 12, 1772. DOI: 10.3390/sym12111772. Punktacja ministerialna: 70 pkt; liczba cytowań (Scopus): 11.

[P5] Bryniarski, E.; Bryniarska, A. [50%]: Rough Search of Vague Knowledge, w: Thriving Rough Sets, Studies in Computational Intelligence, t. 708, red. G. Wang, A. Skowron, Y. Yao, D. Ślęzak, L. Polkowski, Springer, 2017, s. 283-303. Liczba cytowań (Scopus): 5.

[P6] Bryniarska, A. [100%]: Autodiagnosis of Information Retrieval on the Web as a Simulation of Selected Processes of Consciousness in the Human Brain, w: Biomedical Engineering and Neuroscience, red. W.P. Huneck, S. Paszkiel, Advances in Intelligent Systems and Computing, t. 720, Springer, 2018, s. 111-120. Liczba cytowań (Scopus): 5.

[P7] Bryniarska, A. [100%]: Granulation of Technological Diagnosis in the Algebra of the n-Pythagorean Fuzzy Sets, AINA 2021, w: Lecture Notes in Networks and

Systems, t. 226, Springer, 2021, s. 358-369. DOI: 10.1007/978-3-030-75075-6. Punktacja ministerialna: 70 pkt.

[P8] Bryniarska, A. [100%]: Information Granule System Induced by a Perceptual System, Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS 2019), Lipsk, 2019, s. 19-27. DOI: 10.15439/2019F147.

[P9] Bryniarska, A. [100%]: An Uncertain Diagnostic System of Constructional and Technological Preferences, Proceedings of the 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR 2016), Międzyzdroje, 29.08-1.09.2016, s. 256-260.

[P10] Bryniarska, A. [100%]: A Data Granulation Model for Searching Knowledge about Diagnosed Objects, w: Trends in Advanced Intelligent Control, Optimization and Automation (Proceedings of KKA 2017), Advances in Intelligent Systems and Computing, t. 577, Springer, 2017, s. 681-690.

[P11] Bryniarska, A. [100%]: The Model of Possible Web Data Retrieval, Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF 2015), Gdynia, 24-25 czerwca 2015, s. 348-353. Liczba cytowań (Scopus): 5.

[P12] Bryniarska, A. [100%]: Fuzzy Granular Calculations for the Semantic Web Using Some Mathematical Morphology Methods, w: R. Matoušek (red.), Recent Advances in Soft Computing (MENDEL 2017), Springer, 2018, s. 233-244. DOI: 10.1007/978-3-319-97888-8_20.

[P13] Bryniarska, A. [80%]; Pakuła, W.: Ontology-Based Knowledge Representation in the IoT Cybersecurity System, Semantic Web Journal, IOS Press, ISSN: 1570-0844, 2025, w druku. Punktacja ministerialna: 140 pkt.

4.3 Omówienie celu naukowego wykazanych powyżej prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

Numeracja zacytowanych rozdziałów, podrozdziałów, przykładów, rysunków, tabel, twierdzeń oraz zacytowanych pozycji bibliograficznych jest identyczna z numeracją rozdziałów, podrozdziałów, przykładów, rysunków, tabel, twierdzeń oraz zacytowanych pozycji bibliograficznych w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym.

4.3.3 Reprezentacja wiedzy w sieci semantycznej – zastosowanie

W pracy [P9] zastosowano logikę wyszukiwania informacji do diagnostyki obiektów technicznych na podstawie klasyfikatora konstrukcyjno-technologicznego. W badaniach wykazano, w jaki sposób można zastosować sieć semantyczną oraz logikę wyszukiwania informacji do zdefiniowania agenta diagnostycznego, który wyszukuje informacje o charakterze konstrukcyjnym i technologicznym, odpowiadające preferencjom klientów względem referencyjnego obiektu technicznego. Na podstawie zaprezentowanej metody można wdrożyć system niepewny, korzystając z

nieprecyzyjnych danych wejściowych od klientów, potrafi określić ich preferencje i dostarczyć precyzyjne informacje techniczne. Takie podejście znacząco usprawnia proces obsługi klienta i personalizuje rekomendacje.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Praca jest interesująca naukowo i ma dość niezwykle obszar zastosowań, dlatego w mojej ocenie zdecydowanie ją wyróżniam.

4.3.5 Rozszerzenia strukturalne i granularne logiki IRL

System t-norm i algebra możliwych zbiorów danych Web

W pracy [P11] przedstawiono zastosowanie systemu t-norm w teorii dowodów Dempstera-Shafera [13] oraz wykazano, że logika IRL może być interpretowana w ramach algebry możliwych zbiorów danych Web (ang. *algebra of possible Web data sets*), co umożliwia opis i przetwarzanie niepewnej wiedzy w środowiskach rozproszonych. Wprowadzono system dowodów (ang. *evidence system*)

$$ES = \langle U, D, A \rangle$$

gdzie: U jest skończonym zbiorem możliwych danych, D – zbiór danych reprezentujących wiedzę, a $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ jest zbiorem atrybutów $a: U \rightarrow D$. Na tej podstawie zdefiniowano atrybutową sieć wartościowania (ang. *attribute valuation network*),

$$AVN = \langle V_{AVN}, V_{gen}, \cdot, \downarrow, 0, 1 \rangle$$

gdzie: V_{AVN} jest zbiorem wartościowań generowanych przez V_{gen} , kropka oznacza ich kombinację, a $\downarrow$ – marginalizację. Symbol 0 i 1 oznaczają odpowiednio puste i pełne zbiory generatorów. Pokazano, że wyrażenia logiki IRL mogą być interpretowane w algebrze wartościowania:

$$LA = \langle V_{AVN}, \boxtimes, \boxplus, \rightarrow, \leftrightarrow, 0, 1 \rangle$$

oraz w algebrze możliwych zbiorów danych Web:

$$\mathcal{P} = \langle P, \wedge^P, \vee^P, \rightarrow^P, c^P, e^P, 0^P, 1^P, M, P_0 \rangle$$

W pracy zdefiniowano operacje: koniunkcji $\boxtimes$, alternatywy $\boxplus$, negacji $\rightarrow$ i równości $\leftrightarrow$ dla algebry wartościowania, oraz wszystkie operacje algebry możliwych zbiorów danych Web. W szczególności: $\wedge^P$ i $\vee^P$ oznaczają przecięcie i sumę możliwych zbiorów danych, $\rightarrow^P$ – ich dopełnienie, c^P określa stopień zawierania, e^P – stopień równości, M jest funkcją modyfikacji, zaś P_0 wyróżnioną rodziną możliwych zbiorów. W artykule przedstawiono układ t-norm w teorii dowodów Dempstera-Shafera oraz struktury algebraiczne umożliwiające interpretację logiki IRL w modelu możliwych zbiorów danych Web.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Habilitantka wykazała szeroką wiedzę w trudnej dziedzinie sztucznej inteligencji oraz umiejętność jej twórczego zastosowania dla nowych i oryginalnych rezultatów o charakterze teoretycznym i aplikacyjnym. Pracę oceniam bardzo wysoko.

Morfologia matematyczna i granule w logice IRL

W pracy [P12] opisano metody morfologii matematycznej oraz obliczeń granularnych, pokazując, że nawet przy niejasnych i niepewnych informacjach można otrzymać precyzyjne wyniki wyszukiwania w sieci Web. Pozytywny wynik zależy zarówno od właściwości doboru dopuszczalnych stopni rozmycia konceptów i ról, jak i od odpowiedniego określenia ich interpretacji w algebrze zbiorów rozmytych. Zaproponowane podejście łączy narzędzia morfologii matematycznej, rozmytej logiki deskrypcyjnej oraz obliczeń granularnych. Praca rozwija wcześniejsze wyniki Habilitantki dotyczące uzyskiwania dokładnych odpowiedzi mimo niepewności danych [7]. Wykazano tam, że operacja wyostrzania pozwala otrzymać wyniki mieszczące się w zakresie ufności ustalonym przez ekspertów. W [P12] rozszerzono te koncepcje o narzędzia morfologiczne i granularne, co umożliwiło bardziej formalne określenie interpretacji konceptów i ról w kontekście rozmytym. W pracy [P12] zdefiniowano operacje dylatacji i erozji granul algebry F , oraz wprowadzono granulę $B(G)$, zwaną elementem strukturalnym:

$$B(G) = \{\mu_g: g \in G, y \in X \cup (X \times X), \alpha \leq g(y) \Rightarrow \mu_g(y) = 0, \alpha > g(y) \Rightarrow \mu_g(y) = g(y)\} \cup \{0^F\}$$

Element strukturalny wskazuje te adresy sieci Web, gdzie stopnie rozmycia należy zwiększyć za pomocą dualnych zbiorów rozmytych zbioru $B(G)$. W pracy [P12] wprowadzono nowe postulaty: **P10**, **P11**, **P12**.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Podsumowując stwierdzam, że przedstawione w pracy rezultaty zasługują na wyróżnienie.

System granul diagnostycznych

Badania zostały dalej rozwinięte w pracy [P10], gdzie wprowadzono granulację w wyszukiwaniu informacji w sieci semantycznej dla danych diagnostycznych. Najpierw zdefiniowano system granul [19, 23] w postaci:

$$GrS = \langle G, \mathcal{O}, EL, \nu, cl \rangle$$

gdzie: G – zbiór granul uzyskanych ze skończonego zbioru granul elementarnych EL przy zastosowaniu operacji ze zbioru $\mathcal{O}$, ν – funkcja zawierania się granul (ang. *granules inclusion*), cl – funkcja bliskości granul (ang. *closeness of granules*).

Dla systemu granul zdefiniowano operacje erozji i dylatacji, a następnie przedstawiono system granul diagnostycznych. Dla tego systemu określono procedury wyznaczania tezaursusa i ontologii oraz wprowadzono rozmyty stopień zaufania (ang. *fuzzy confidence range*), który służy do ustalenia, czy wyszukane informacje wskazują na szukany obiekt. W tym celu stosuje się wskaźnik podobieństwa (ang. *similarity indicator*) określony wzorem:

$$c(x, y) = \begin{cases} \frac{1 - |x - y|}{x}, & x > y \\ \frac{1 - |x - y|}{y}, & x \leq y \end{cases}$$

gdzie: x, y oznaczają stopnie ważności wyszukiwania informacji o pierwszym i drugim obiekcie. Zwykle, gdy stopień zaufania wynosi 0.9, oznacza to, że zgodnie z wiedzą ekspercką akceptuje się różnicę w podobieństwie dwóch obiektów i ważność ich podobieństwa do poziomu 10%.

Pokazano również, że w systemie granul można przeprowadzić rozmywanie sieci semantycznej zgodnie z warunkami $F1-F3$, $F6-F7$, $F10-F12$, $F18$, $F20$. Jeśli granulacja danych spełnia te warunki, to zachodzi rozmywanie konceptu. Natomiast jeśli w wyniku rozmywania otrzymuje się wyłącznie funkcje charakterystyczne będące funkcjami przynależności dla wszystkich konceptów i ról w sieci, to taka granulacja nazywana jest dokładną.

Zaprezentowane osiągnięcie naukowe oceniam bardzo wysoko. Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%.

Przybliżona pragmatyczna logika opisowa (RPDL)

Praca [P5] wskazuje nowy kierunek, w którym do wyszukiwania wiedzy niepewnej, niejasnej lub niekompletnej, obok teorii zbiorów rozmytych, można zastosować również teorię zbiorów przybliżonych (ang. *rough sets*) [17]. Wprowadzono pojęcie przybliżonej pragmatycznej logiki opisowej (ang. *Rough Pragmatic Description Logic* – RPDL), zdefiniowano 34 aksjomaty tej logiki oraz przedstawiono jej semantykę i interpretację rozszerzoną o zbiory przybliżone. Dla systemu pojmowania określono adekwatne zasady pojmowania (ang. *adequate rules of conceiving*), opisujące relacje logiczne między aksjomatami. Jeśli agenci systemu reprezentacji wiedzy stosują te reguły, oznacza to, że właściwie pojmują interpretację aksjomatów w strukturze zbiorów przybliżonych. Na tej podstawie zdefiniowano system pojmowania (ang. *system of conceiving*) dla sieci semantycznej:

$$\text{Con}(\text{SN}) = \langle N, C, R, N_0, C_0, R_0 \rangle$$

gdzie N to zbiór stałych wystąpień konceptów, a C i R są zbiorami konceptów i ról wyprowadzonymi zgodnie z syntaktyką RPDL.

Pojmowanie w sieci semantycznej rozumiane jest jako określanie relacji między węzłami sieci poprzez koncepty i role. Drogi pojmowania (ang. *conceiving ways*) to uporządkowane ciągi: $(x_1, x_2, \dots, x_i)$, opisujące powiązania między wystąpieniami konceptów i ról z sieci **SN**. W systemie pojmowania zdefiniowano także zamknięcie obiektu pojmowania oraz minimalizację obiektu pojmowania. Aby określić adekwatność i dokładność relacji pojmowania opisano drogi pojmowania za pomocą obliczeń na multistrukturach. Badania doprowadziły do opisu aproksymacji obiektu pojmowania, w tym: bazy pojmowania (def. 23, [P5]), przybliżonego obiektu pojmowania (def. 27, [P5]) oraz relacji nierozróżnialności obiektu pojmowania (def. 26, [P5]). Zaproponowany aparat teoretyczny pokazuje, że znalezienie zbioru wszystkich dróg pojmowania w systemie RPDL – w warunkach wiedzy niejasnej - jest równoważne z odnalezieniem wiedzy o danym obiekcie.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym jest istotny i wynosi 50%. Pracę oceniam jako bardzo dobrą.

System granul informacji jako aproksymacja rozmytego kontekstu

Przeprowadzone badania doprowadziły do określenia systemu granul informacji jako aproksymacji rozmytego kontekstu w sieciach semantycznych, co opisano w pracy [P1]. W celu jednolitej interpretacji wyrażeń języka atrybutów AL w różnych teoriach granul (zbiorów prawdopodobieństwa, możliwych zbiorów danych, zbiorów zacięzionych, zbiorów rozmytych oraz przybliżonych), przyjmuje się, że wyrażenia te interpretuje się w wybranym systemie granul, formalnie zdefiniowanym przez habilitantkę. W artykule przeprowadzono formalną definicję systemu granul informacji i przykład jego konstrukcji w klasie kontekstowych zbiorów przybliżonych. Wiedza niejasna lub niekompletna jest tam opisywana przez rozmyte relacje kontekstowe (ang. *fuzzy context relations*).

System granul dla języka AL zdefiniowany jako:

$$G = \langle G, M_G, \cup_G, \cap_G, \setminus_G, (\cdot)^G, \{ \}_G, \in_G, \subseteq_G, =_G, 0_G, 1_G, G_{inst}, G_{set}, G_0 \rangle$$

gdzie: $G = G_{inst} \cup G_{set}$, M_G jest zbiorem funkcji $m_G: G \rightarrow G$, zaś pozostałe operacje określają uogólnione działania na granulach. Zbiór G_0 zawiera wyróżnione granule singletonów instancji. Dla funkcji $\{ \}_G: U_{INST} \rightarrow G_0$ zachodzi:

$$G_0 = \{x \in G: \exists z \in G_{inst}(x = \{z\}_G)\}$$

Ponadto system G spełnia warunki G1–G8, obejmujące m.in. relacje zawierania i bliskości granul, konstrukcję granul jako sum singletonów oraz własności operacji $\cup_G, \cap_G, \setminus_G$. Wyrażenia języka GAL (ang. *generalized language*) interpretuje się w formalnym języku GL opisującym system granul, z translacją:

$$I: GAL \rightarrow G \cup GL$$

Za precyzyjne koncepty i role uznaje się te, które mają deskrypcje AL interpretowane w podsystemie G^+ spełniającym warunki $G1-G8$. Podsystem ten nazywa się adekwatnym podsystemem systemu G , a język GAL^+ ma interpretację w G^+ .

W systemie granul zdefiniowano także rozmyty kontekst (ang. *fuzzy context*) jako zbiór rozmyty określony na parach zbiorów instancji z U_{gen} . Stopień α w relacji kontekstowej określa błąd i niedokładność wiedzy. Tezaurus zapisany w sieci semantycznej SN opisano za pomocą jednorodnej klasyfikacji hierarchicznej (ang. *homogeneous hierarchical classification*), co umożliwiło zdefiniowanie rozmytej przestrzeni kontekstowej oraz aproksymacji $C_{\alpha}^-(X), C_{\alpha}^+(X)$.

W pracy [P1] określono także system precyzyjnych granul $G_{precise}$ i funkcję homomorfizmu:

$$h: G_{precise} \rightarrow G^+$$

która przypisuje elementom precyzyjnych granul ich reprezentanty w systemie G^+ . Homomorfizm ten spełnia warunki $H1-H7$ dla operacji zawierania, bliskości oraz $\cup_G, \cap_G, \setminus_G, (\cdot)^G$.

Wyniki pracy [P1] pokazują, że wyróżnione aksjomaty języka GAL i reguły pojmowania są spełnione w systemie G , co czyni go silnie adekwatnym dla tego języka. Ustalono także adekwatny podsystem G^+ oraz homomorfizm podsystemu $G_{precise}$ względem G^+ .

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Zaprezentowane osiągnięcie naukowe zostało opublikowane w wysoko notowanym czasopiśmie zagranicznym „International Journal of Approximate Reasoning”, 111, Elsevier znajdującym się na liście filadelfijskiej. Podsumowując stwierdzam, że przedstawione w pracy [P1] rezultaty zasługują na szczególne wyróżnienie.

Percepcja opisów w systemach residuum

Praca [P8] przedstawia percepcję opisów w systemach residuum, w których wiedza jest reprezentowana za pomocą granul wiedzy – rozmytych lub przybliżonych. Wykorzystano tu elementy percepcyjnej teorii bliskości w kontekście zbliżenia wiedzy wyszukiwanej w sieciach Web do wiedzy adekwatnej reprezentowanej w tezausie. W pracy zdefiniowano logiczny system residuum:

$$S_{logic} = \langle L, \cdot, \rightarrow, 0_L, 1_L \rangle$$

Dla sieci semantycznej $SN = \langle U, AS, DS \rangle$, obiektem percepcji są instancje o wartościach w systemie residuum S_{logic} , czyli elementy zbioru U_{gen} , gdzie $L_0 \subseteq L$ jest zbiorem wartości instancji. Dane wartości mają interpretację jako percepcje lub funkcje próbkujące (ang. *probe functions*).

Percepcję opisuje funkcja

$$\varphi: U_{gen} \rightarrow L_0$$

określająca właściwości obiektów pojmowania [20,21]. Zakłada się, że każdy opis $\varphi \in DS$ odpowiada pewnej percepcji $\varphi: U_{gen} \rightarrow L_0$.

System percepcji (ang. *perceptual system*) definiuje się jako:

$$PS = \langle U_{gen}, F, S_{logic} \rangle$$

gdzie: F jest zbiorem percepcji $\varphi: U_{gen} \rightarrow L_0$, a elementy L_0 są wartościami percepcji. Najważniejsze twierdzenia wynikające z pracy [P8] są następujące:

Twierdzenie 1. Każdy system percepcji $PS = \langle U_{gen}, F, S_{logic} \rangle$ może zawierać bazę granul informacji:

$$G_{base} = \langle G, \{G, \cup_G, \subseteq_G, =_G, 0_G, 1_G, G_{inst}, G_{set}, G_0 \rangle$$

Twierdzenie 2. W każdej bazie granul informacji można określić system granul:

$$G = \langle G, \cup_G, \cap_G, \setminus_G, 'G, \{G, \in_G, \subseteq_G, =_G, 0_G, 1_G, G_{inst}, G_{set}, G_0 \rangle$$

W pracy [P8] sformułowano teorię baz granul informacji w sieciach semantycznych, której aksjomaty spełniają standardowe twierdzenia teorii zbiorów. Modelem tej teorii jest system granul. Wykazano również, że złożone interpretacje wyrażeń języka AL w systemach granul można uprościć, sprowadzając je do interpretacji w bazach granul indukowanych przez systemy percepcji. Ponieważ dowolne granule są sumami singletonów, obliczenia można znacząco uprościć, wykonując je na reprezentantach tych elementów.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Praca [P8] jest napisana z wysoką kulturą matematyczną. Pracę oceniam bardzo wysoko.

Autodiagnoza systemu IRL

Praca [P6] opisuje, w jaki sposób aksjomaty i reguły pojmowania opisane w granularnym systemie wyszukiwania informacji w sieci semantycznej można porównać do naturalnych procesów poznawczych zachodzących w mózgu człowieka.

Większość algorytmów sztucznej inteligencji opiera się na zjawiskach naturalnych, które próbujemy naśladować za pomocą modeli matematycznych i algorytmów komputerowych. Podobnie w tym przypadku, agent wyszukujący informacje w sieci przetwarza skończone zestawy opisów wiedzy.

Przez analogię do procesów świadomości, wiedza może być rozumiana jako: (1) twierdzenia – co podmiot wie, (2) pojęcia – co agent rozumie, oraz (3) aksjomaty – co agent pojmuje, tworząc reguły.

System wyszukiwania informacji, w którym agent ma zdolność poznawania własnych procesów, nazywany jest autodiagnozą wyszukiwania informacji w sieci semantycznej Web. W pracy przedstawiono teoretyczny opis takiego systemu, jego autodiagnostykę oraz odniesienia do zagadnień neuropsychologii związanych z procesami świadomości i percepcji. System ten diagnozuje składnię i semantykę w określonym zakresie ufności, a agent autodiagnostyczny wykorzystuje reguły pojmowania jako symulację procesów świadomości.

Kandydatka wykazała szeroką wiedzę w trudnej dziedzinie sztucznej inteligencji i umiejętność jej twórczego zastosowania do uzyskania nowych rezultatów. Pracę oceniam jako bardzo wartościową merytorycznie. Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%.

Operacje analizy, redukcji, dedukcji i syntezy

Praca [P3] przedstawia definicje operacji analizy, redukcji, dedukcji i syntezy, wykonywanych w systemie granul sieci semantycznej podczas wyszukiwania informacji. Abstrakcyjne operacje indukowania granul wykorzystano do zaprojektowania systemów logicznych odpowiedzialnych za te cztery typy przetwarzania.

W procesie wyszukiwania wiedzy porównuje się informację szukaną z reprezentowaną przez tezaurus, co odpowiada autodiagnozie systemu. Dla nieostrych danych zdefiniowano systemy norm trójkątnych (ang. *triangular norms*), pełniące funkcję systemu percepcji informacji. W tych systemach interpretowane są wartości logiczne: problematyczność, hipotetyczność, zasadność i rozstrzygalność, co umożliwia określenie granulacji wyszukiwanej informacji zależnie od typu rozumowania. Opracowano również algorytm pozwalający ustalić, jak agent autodiagnozy interpretuje cztery wspomniane heurystyczne metody wyszukiwania. W pracy [P3] przedstawiono procedurę sprawdzania zgodności wyrażenń wyszukanych w sieci Web z wyrażeniami tezaury, opartą na etapach: analizy, redukcji, dedukcji i syntezy.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Pracę oceniam jako bardzo wartościową merytorycznie.

Teoria rozmytych zbiorów n-pitagorejskich (n-PFS)

Praca [P4] wprowadza teorię rozmytych zbiorów n-pitagorejskich (ang. *n-Pythagorean Fuzzy Sets*, skr. n-PFS), które w kolejnych badaniach zostały połączone z systemem wyszukiwania wiedzy w sieciach semantycznych opartych na granulach informacji (publikacje [P7], [P2]).

Teoria n-PFS stanowi uogólnienie:

- intuicyjnych zbiorów rozmytych Atanassova (*Intuitionistic Fuzzy Sets*, IFSs) [1],

- pitagorejskich zbiorów rozmytych Yagera (*Pythagorean Fuzzy Subsets*, PFSs) [28].

W klasycznych teoriach funkcje przynależności μ i nieprzynależności ν opisuje się w skali liniowej (1:1) lub kwadratowej. W n-PFS dopuszcza się jednak dowolne skale potęgowe, dzięki czemu stopnie przynależności i nieprzynależności mogą przyjmować postać:

$$0 \leq \mu^n + \nu^n \leq 1$$

W pracy [P4] zdefiniowano aparat pojęciowy analogiczny do klasycznej teorii zbiorów rozmytych Zadeha, zachowując formalną strukturę algebry n-PFS. Pozwala to formułować dodatkowe lokalne dedukcje w przestrzeni n-PFS, rozszerzając modelowanie wiedzy niepewnej i częściowo rozmytej w sieciach semantycznych.

Stanowi to istotę zaprezentowanego osiągnięcia naukowego. Pracę oceniam jako wyróżniającą. Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%.

4.3.6 Zastosowania granulacji informacji w IRL

Opracowane metody granulacji informacji w IRL zostały wykorzystane w systemach diagnostycznych do wnioskowania o usterkach urządzeń technicznych. Znalazły również zastosowanie w projekcie CyberEva, gdzie służą do oceny cyberbezpieczeństwa urządzeń IoT oraz analizy synergii zagrożeń.

Granulacja informacji w diagnostyce technicznej

Publikacja [P7] skupia się na granulacji informacji w zastosowaniu do diagnostyki technicznej, gdzie pary symptom-usterka (ang. *symptom-fault*) są modelowane jako intuicyjne zbiory rozmyte (ang. *intuitionistic fuzzy sets*), a także z wykorzystaniem badań nad n-pitagorejskimi zbiorami rozmytymi (ang. *n-Pythagorean Fuzzy Sets*, n-PFS) opisanych w pracy [P4].

W pracy opracowano aparat pojęciowy do budowy algorytmów pozyskiwania wiedzy diagnostycznej o obiekcie technicznym, dla którego testy relacji symptom-usterka wykazują charakter binarny. Gdy wiedza o symptomie i usterce jest rozmyta, to przy odpowiednim skalowaniu można parę (symptom, usterka) rozważyć jako intuicyjny zbiór rozmyty.

Granulacja jest w tym ujęciu interpretacją języka deskryptywnego diagnostyki urządzeń technicznych w pełnej algebrze n-PFS zdefiniowanej na rozmytych parach symptom-usterka.

System granul diagnozy technicznej

Przykładowo analizowano dane z diagnostyki kotła gazowego, opracowane na podstawie rozprawy doktorskiej Anny Bryniarskiej [8]. Zastosowano aparat pojęciowy diagnostyki oraz jego interpretację w teorii n -PFS.

Dla każdej diagnozy (s_i, f_i) , odpowiadającej parze symptom-usterka, przyjmuje się odpowiadające im funkcje rozmyte:

$$\mu_i: X \rightarrow [0,1], \nu_i: X \rightarrow [0,1]$$

Ponieważ obserwacje symptomów i usterek są rozłączne, ich wartości spełniają warunek:

$$\mu_i(o)^n + \nu_i(o)^n \leq 1$$

Para (μ_i, ν_i) jest zatem rozmytym zbiorem n -pitagorejskim (n -PFS) zwanym granulą diagnozy technicznej. Dla relacji binarnej R każdej interpretacji diagnozy dowolnemu symptomowi przypisuje się jedną usterkę lub żadną, zatem $X = S$.

Liczbę n w skali potęgowej wyznacza się dla każdej pary (μ, ν) poprzez znalezienie najmniejszej liczby naturalnej n , dla której:

$$\mu^{n-1} + \nu^{n-1} > 1 \text{ oraz } \mu^n + \nu^n \leq 1$$

Wtedy $(\mu, \nu) \in n\text{-PFS}$, a spośród wszystkich wyznaczonych wartości wybiera się największą n .

Zaprezentowano Przykłady 1 oraz 2 [P7]. Natomiast w Tabeli 4.1 przedstawiono przykładowe symptomy, usterki, ich stopnie rozmycia zgodnie z teorią zbiorów rozmytych oraz wyznaczone wartości n dla zbiorów n -PFS [P7].

Zaprezentowano granulację diagnozy technicznej w algebrze n -PFS.

W pracy [P7] po raz pierwszy zaprezentowano aplikację teorii n -PFS i zaproponowano język diagnozy L_{diag} posiadający interpretację w algebrze n -PFS. Pojęcie diagnozy ograniczono do pozyskiwania wiedzy o układzie symptom-usterka, zakładając, że relacja wiążąca symptomy i usterki jest binarna, a usterki są jednoznacznie przypisane symptomom.

Stanowi to istotę zaprezentowanego osiągnięcia naukowego. Pracę oceniam bardzo wysoko. Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%.

W publikacji [P2] kontynuowane są prace opisane w artykule [P4] dotyczące n -pitagorejskich zbiorów rozmytych (n -PFS) oraz zastosowania operacji analizy, redukcji, dedukcji i syntezy opisanych w [P3] do rozszerzania systemu granul stosowanego w sieci semantycznej. Na tej podstawie utworzono **diagnostyczny system granul** oraz **diagnostyczną bazę granul**. Zbudowano system granul informacji indukowany przez bazę G_{base} .

Bazę granul informacji określono jako:

$$G_{base} = \langle G, \{\cdot\}_G, \cup_G, \subseteq_G, =_G, 0_G, 1_G, G_{inst}, G_{set}, G_0 \rangle$$

W tej bazie operacja $\cup_G$ jest uogólnieniem sumowania singletonów, a operacja $\{\cdot\}_G$ przekształca instancje ze zbioru G_{inst} jako elementarne granule w singletony granul. Ze zbioru G_{inst} , przy użyciu wymienionych operacji, otrzymuje się dowolne granule informacji. Jeśli baza granul G_{base} wyznacza granule: $y'_G, y \cap y^G, y \cup y^G$ oraz $y \setminus y^G$ zdefiniowane w publikacji [P2] to system:

$$G = \langle G, \cup_G, \cap_G, \setminus_G, 'G, \{\cdot\}_G, \in_G, \subseteq_G, =_G, 0_G, 1_G, G_{inst}, G_{set}, G_0 \rangle$$

nazywany jest systemem granul informacji indukowanym przez bazę G_{base} .

Modelem takiego systemu jest standardowy system granul diagnozy opisany w pracy [P2]. Stanowi on jeden z możliwych modeli wykorzystujących granulację informacji.

Prowadzone badania doprowadziły do wniosku, że granule informacji zdefiniowane są przez ogólne aksjomaty bazy granul informacji. Aplikacja teorii granul diagnozy realizowana w ramach projektu dotyczącego diagnostyki niezawodności obiektów technicznych używanych w życiu codziennym pozwala na właściwy dobór funkcji skalowania, norm triangularnych oraz normy powtórzeń wykonywania diagnozy tych obiektów. Badania skupiają się na zastosowaniach diagnostycznych, jednak możliwości wykorzystania tej teorii są znacznie szersze, czego przykładem jej zastosowanie w projekcie z obszaru cyberbezpieczeństwa.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym wynosi 100%. Habilitantka wykazała się bardzo szeroką wiedzą i umiejętnościami niezbędnymi dla samodzielnego rozstrzygania nowych, oryginalnych problemów naukowo-technicznych w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja. Pracę oceniam jako wyróżniającą.

System oceny cyberbezpieczeństwa urządzeń IoT

Przeprowadzone badania teoretyczne zostały zaimplementowane w projekcie badawczo-rozwojowym „CyberEva”, pt. „System oceniający i monitorujący poziom cyberbezpieczeństwa urządzeń IoT obywateli Rzeczypospolitej Polskiej”. W ramach projektu powstała sieć semantyczna przetwarzająca dane dotyczące cyberzagrożeń występujących w badanych sieciach komputerowych oraz urządzeniach internetu rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT).

Badania powiązane z tym systemem zostały opisane w publikacji [P13]. W projekcie opracowano oryginalny system, który zbiera dane ze skanu sieci komputerowej zawierającej mobilne urządzenie skanujące. Podczas skanu ustala się podstawowe parametry związane z cyberbezpieczeństwem danego urządzenia. Następnie zanonimizowane dane są przesyłane do podsystemu analizy danych, w którym utworzono moduł wykorzystujący sieci semantyczne do dalszej analizy. W module sieci semantycznej wszystkie informacje są przechowywane z wykorzystaniem

ontologii i asercji zapisanych w sieci semantycznej, której struktura została przygotowana zgodnie z autorskim schematem (Rys. 4.5). W sieci zamodelowane są również asercje, których implementacją są właściwości utworzonych obiektów.

Kolejnym etapem była **granulacja** danych w sieci semantycznej. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że najlepsze wyniki osiąga się przy granulacji przeprowadzanej na podstawie producenta oraz typu urządzenia. Dla każdej granuli wyznaczono reprezentanta granuli, którego wartości poszczególnych metryk obliczano jako średnie arytmetyczne metryk ze wszystkich urządzeń przynależnych do danej granuli. Reprezentant granuli jest następnie wykorzystywany w systemie do uzupełniania brakujących metryk dla urządzeń z tej granuli. System prezentuje także wyliczony poziom cyberbezpieczeństwa oraz poziom wprowadzonego ryzyka przez urządzenia przynależne do danej granuli. Poziom cyberbezpieczeństwa określa, w jaki sposób dane urządzenie jest zabezpieczone przed atakami w cyberprzestrzeni, natomiast poziom wprowadzonego ryzyka określa potencjalne zagrożenie, jakie urządzenie stwarza względem innych elementów tej samej sieci komputerowej. Ocena taka umożliwia analizę podatności grup urządzeń oraz identyfikację typów urządzeń stanowiących istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa infrastruktury sieciowej.

Synergia cyberzagrożeń w module sieci semantycznej

Kolejnym zadaniem modułu sieci semantycznej w systemie CyberEva jest obliczenie synergii cyberzagrożeń występujących w określonym obszarze geograficznym. Ze względu na anonimizację danych, mapę Polski podzielono na tzw. geopiksele, a w systemie nie zapisuje się dokładnego położenia zeskanowanego urządzenia, lecz jedynie jego przynależność do konkretnego geopiksela. Dla każdej lokalizacji określa się, jakie urządzenia w niej występują oraz do których granul przynależą.

W pierwszym etapie badań poziom bezpieczeństwa obszaru (ang. *Location Total Security Score*, LTSS) wyznaczany jest jako średnia arytmetyczna poziomów bezpieczeństwa urządzeń wykrytych w danej lokalizacji. W kolejnym kroku, zgodnie z teorią zbiorów rozmytych [29], wprowadzono funkcję przynależności, która określa stopień rozmycia wiedzy w zależności od liczby urządzeń należących do danej granuli w lokalizacji. Natomiast poziom bezpieczeństwa w danej lokalizacji z uwzględnieniem synergii (ang. *Location Total Synergy Security Score*, LTSSS) można obliczyć zgodnie z publikacją [P13]. Obliczony w ten sposób synergiczny poziom bezpieczeństwa jest wyświetlany na mapie z zaznaczonymi geopikselami. Autorzy pracy [P13] opracowali własny schemat działania modułu sieci semantycznych systemu CyberEva.

Udział dr inż. Anny Bryniarskiej w zaprezentowanym osiągnięciu naukowym jest bardzo znaczący i wynosi 80%. Zaprezentowane osiągnięcie naukowe zostało opublikowane w wysoko notowanym czasopiśmie zagranicznym *Semantic Web Journal* IOS Press, ISSN: 1570-0844 znajdującym się na liście filadelfijskiej.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawione w pracy [P13] rezultaty zasługują na szczególne wyróżnienie.

Stwierdzam zatem, że zbiór osiągnięć Kandydatki zawarty w zestawie publikacji wskazanych jako „osiągnięcie naukowe” jest bardzo bogaty. Biorąc pod uwagę całość dokonań Habilitantki, można mieć pewność, że mamy tutaj do czynienia z **osiągnięciem naukowym spełniającym wymogi aktualnie obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i o tytule naukowym.**

Na podkreślenie zasługuje starannie zestawiona, bardzo obszerna dokumentacja zawierająca potwierdzenia procentowego udziału wszystkich autorów prac wieloautorskich składających się na wykazywane „osiągnięcie naukowe”. Przypomnę, że z tych potwierdzonych przez współautorów procentowych udziałów wynika jednoznacznie, że dr inż. Anna Bryniarska była we wszystkich tych pracach twórcą dominującym.

Po przestudiowaniu udostępnionych publikacji i po zapoznaniu się z dołączonym do wniosku autoreferatem Kandydatki stwierdzam, że wkład do Informatyki Technicznej i Telekomunikacji, jaki wnoszą wszystkie wymienione wyżej prace dr inż. Anny Bryniarskiej, jest znaczący.

Obecnie przejdę do oceny „aktywności naukowej” Pani dr inż. Anny Bryniarskiej.

Zajmę się teraz tą częścią dorobku naukowego Kandydatki, która nie wchodzi w skład wybranych kilkunastu prac wskazanych jako „osiągnięcie naukowe”.

W dostarczonych mi materiałach został podany pełny wykaz dorobku naukowego Kandydatki po doktoracie, poszerzający istotnie obraz Jej sylwetki naukowej widziany całościowo, a także zostały przedłożone do oceny wybrane publikacje. Wykaz ten i wspomniana próbka dorobku poza „osiągnięciem naukowym” robi bardzo dobre wrażenie. Jak wynika z uzyskanych danych, Kandydatka jest autorem lub współautorem 26 prac naukowych. Na Jej całkowity dorobek naukowy składają się:

- 7 artykułów w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports,
- 5 artykułów w czasopismach spoza bazy Journal Citation Reports,
- 9 rozdziałów w monografiach naukowych lub podręcznikach akademickich,
- 5 artykułów w materiałach konferencyjnych.

Wprawdzie w obecnym rozważanym awansie brane są pod uwagę wyłącznie prace po doktoracie, ale nie mogę nie odnotować faktu, że Kandydatka już przed doktoratem legitymowała się listą aż **14** wartościowych prac, wśród których były **2** prace w czasopismach. Zatem biorąc pod uwagę nie tylko ilość, ale także jakość tych prac (ocenianych na podstawie udostępnionej reprezentatywnej próbki), stwierdzam, że dr inż. Anna Bryniarska posiada dorobek w pełni uzasadniający Jej awans i przyznanie Jej stopnia naukowego doktora habilitowanego. Konkluzję tę potwierdzają dane

bibliometryczne dotyczące międzynarodowego znaczenia i naukowego wpływu prac Kandydatki. Otóż jak wynika z odpowiednich baz naukowych, sumaryczny Impact Factor Jej publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi $IF = 15,6$.

Prace Habilitantki były cytowane 103 razy według bazy Google Scholar, 66 razy według bazy Scopus oraz 54 razy według bazy Web of Science. Natomiast liczba cytowań (bez autocytowań) według bazy Scopus wyniosła 41 oraz według bazy Web of Science wyniosła 34. Ponadto należy stwierdzić, że indeks Hirscha cytowań prac Habilitantki według baz Google Scholar, Web of Science oraz Scopus wynosi odpowiednio: $h = 6$, $h = 5$ oraz $h = 5$.

Należy dodać, że żaden akt prawny nie nakazuje obecnie uzależniać nadania stopnia doktora habilitowanego od wysokości wskaźników bibliometrycznych w jakiegokolwiek dyscyplinie naukowej, a indywidualna recenzja osiągnięć naukowych jest oceną ekspercką.

Zatem stwierdzam, że osiągnięcie habilitacyjne (jednotematyczny cykl publikacji) oraz całość dorobku mogą być podstawą do nadania Pani dr inż. Annie Bryniarskiej stopnia naukowego doktora habilitowanego. Na korzyść pozytywnego wniosku końcowego przemawiają także osiągnięcia Habilitantki w pracy dydaktycznej i organizacyjnej w obszarze nauki i dydaktyki. Silną kartą osiągnięć Habilitantki jest Jej udział w 4 projektach oraz Jej oryginalne osiągnięcia projektowe.

Dr inż. Anna Bryniarska była recenzentem artykułów w wysoko notowanych czasopismach takich jak: Axioms (MDPI), Electronics (MDPI), Information Sciences (Elsevier), International Journal of Fuzzy System Applications (IGI Global), Mathematics (MDPI) oraz Symmetry (MDPI).

Habilitantka uczestniczyła w programach europejskich finansowanych przez Komisję Europejską w ramach programu Erasmus+ „Staff mobility for teaching”.

Pani dr inż. Anna Bryniarska jest od 2022 roku biegłą sądową przy Sądzie Okręgowym w Opolu w zakresie informatyki.

Podsumowując stwierdzam, że „osiągnięcie naukowe” oraz „aktywność naukowa” Pani dr inż. Anny Bryniarskiej w mojej ocenie w pełni predestynują Ją do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Dlatego jako recenzent i członek Komisji w tym przewodzie będę głosował za nadaniem Jej tego stopnia.

Adam W. Tarasiewicz Kowalewski