

Autoreferat

1 Imię i nazwisko: Krzysztof Pancierz

Katedra Informatyki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy
Uniwersytet Rzeszowski
ul. Pigonia 1, 35-310 Rzeszów

2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

1998 Tytuł magistra inżyniera na kierunku *Elektrotechnika* w specjalności *Aparatura elektroniczna*. Wydział Elektryczny (obecnie Wydział Elektrotechniki i Informatyki) Politechniki Rzeszowskiej (studia ukończone z wyróżnieniem). Tytuł pracy magisterskiej: *Wykorzystanie metody przekształceń konforemnych do wyznaczania parametrów wybranej klasy elementów grubowarstwowych*.

2006 Stopień doktora nauk technicznych w zakresie informatyki. Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Tytuł rozprawy: *Zastosowanie zbiorów przybliżonych do identyfikacji modeli systemów współbieżnych*.

3 Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych

Zatrudnienie podstawowe:

2001-2013 Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie.

2013-2015 Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Zamościu.

2015-obecnie Uniwersytet Rzeszowski.

Zatrudnienie dodatkowe:

2006-2008 Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Zamościu.

2008-2009 Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Zamościu.

4 Podstawowe osiągnięcie naukowe

Jako podstawowe osiągnięcie naukowe przedstawiam cykl dziewięciu publikacji monotematycznych pt.:

Systemy informacyjne nad grafami ontologicznymi - wybrane aspekty.

Na cykl publikacji składają się:

- trzy artykuły w czasopismach z listy JCR - pozycje (A1), (A2), (A4),

- artykuł w czasopiśmie *Transactions on Rough Sets*, wydawanym w serii *Lecture Notes in Computer Science* wydawnictwa *Springer*, indeksowanym w bazie *Web of Science* - pozycja (A3),
- cztery publikacje z materiałów konferencji międzynarodowych indeksowanych w bazie *Web of Science* (w tym dwóch wydanych w serii *Advances in Intelligent Systems and Computing* wydawnictwa *Springer* - pozycje (A7), (A9), oraz dwóch indeksowanych również w bazie *IEEE Xplore* - pozycje (A6), (A8)).
- jedna publikacja z materiałów konferencyjnych wydanych w serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence* wydawnictwa *Springer* - pozycja (A5).

4.1 Artykuły w czasopismach naukowych

- (A1) Pancierz, K., Lewicki, A.: Encoding symbolic features in simple decision systems over ontological graphs for PSO and neural network based classifiers. *Neurocomputing*, Vol. 144, Elsevier, 2014, pp. 338-345.
- Wkład własny: 90%.
 - Lista A MNiSW (31 grudnia 2014): 30 pkt.
 - IF (5-letni): 2,471; IF (2014): 2,083.
- (A2) Pancierz, K., Lewicki, A., Tadeusiewicz, R.: Ant-Based Extraction of Rules in Simple Decision Systems over Ontological Graphs. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 25(2), 2015, pp. 377-387.
- Wkład własny: 85%.
 - Lista A MNiSW (23 grudnia 2015): 25 pkt.
 - IF (5-letni): 1,151; IF (2015): 1,037.
- (A3) Pancierz, K.: Toward Qualitative Assessment of Rough Sets in Terms of Decision Attribute Values in Simple Decision Systems over Ontological Graphs. [W:] J.F. Peters, A. Skowron, D. Ślęzak, S. Nguyen, J. Bazan, (Eds.), *Transactions on Rough Sets XIX, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8988, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2015, pp. 83-94.
- Indeksowana w bazie *Web of Science*.
- (A4) Pancierz, K.: Paradigmatic and Syntagmatic Relations in Information Systems over Ontological Graphs. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 148(1-2), IOS Press, Amsterdam, 2016, pp. 229-242.
- Lista A MNiSW (9 grudnia 2016): 20 pkt.
 - IF (5-letni): 0,674; IF (2016): 0,658.

4.2 Artykuły w materiałach konferencyjnych

- (A5) Pancierz, K.: Toward Information Systems over Ontological Graphs. [W:] J.T. Yao et al. (Eds.), *Proceedings of the 8th International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC'2012)*, Chengdu, China, August 17-20, 2012, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Vol. 7413, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, pp. 243-248.

(A6) Pancierz, K.: Dominance-Based Rough Set Approach for Decision Systems over Ontological Graphs. [W:] M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki (Eds.), Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2012), Wroclaw, Poland, September 9-12, 2012, pp. 323–330.

– Indeksowana w bazie Web of Science.

(A7) Pancierz, K.: Decision Rules in Simple Decision Systems over Ontological Graphs. [W:] R. Burduk, K. Jackowski, M. Kurzynski, M. Wozniak, A. Zolnierek (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Computer Recognition Systems CORES 2013, Milkow, Poland, May 27-29, 2013, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 226, Springer International Publishing, 2013, pp. 111-120.

– Indeksowana w bazie Web of Science.

(A8) Pancierz, K.: Semantic Relationships and Approximations of Sets: An Ontological Graph Based Approach. [W:] Proceedings of the 6th International Conference on Human System Interaction (HSI'2013), Sopot, Poland, June 6-8, 2013. IEEE Xplore.

– Indeksowana w bazie Web of Science.

(A9) Pancierz, K.: Some Remarks on Complex Information Systems over Ontological Graphs. [W:] A. Gruca, T. Czachórski, S. Kozielski (Eds.), Man-Machine Interactions 3. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 242, Springer International Publishing, Switzerland, 2014, pp. 377-384.

– Indeksowana w bazie Web of Science.

4.3 Omówienie podstawowego osiągnięcia naukowego

Badania stanowiące podstawowe osiągnięcie naukowe dotyczą wybranych aspektów systemów informacyjnych nad grafami ontologicznymi. Systemy informacyjne rozumiane są w sensie Z. Pawłaka jako systemy reprezentacji wiedzy [25], [27]. Formalnie, system informacyjny IS jest czwórką postaci $IS = (U, A, \{V_a\}_{a \in A}, f_{inf})$, gdzie:

- U jest niepustym skończonym zbiorem obiektów,
- A jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów,
- $\{V_a\}_{a \in A}$ jest rodziną zbiorów wartości atrybutów,
- $f_{inf} : A \times U \rightarrow \bigcup_{a \in A} V_a$ jest funkcją informacyjną taką, że $f_{inf}(a, u) \in V_a$ dla każdego $a \in A$ oraz $u \in U$.

W wielu zastosowaniach (np. uczenie nadzorowane), w zbiorze atrybutów systemu informacyjnego wyróżnia się dwie ich klasy, tzw. atrybuty warunkowe oraz atrybuty decyzyjne. System informacyjny z wyróżnionymi dwoma klasami atrybutów nazywa się systemem decyzyjnym. Formalnie, system decyzyjny DS jest krotką postaci $DS = (U, C, D, \{V_a\}_{a \in C \cup D}, f_{inf}, f_{dec})$, gdzie:

- U jest niepustym skończonym zbiorem obiektów,
- C jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów warunkowych,
- D jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów decyzyjnych,

- $\{V_a\}_{a \in C \cup D}$ jest rodziną zbiorów wartości atrybutów warunkowych i decyzyjnych,
- $f_{inf} : C \times U \rightarrow \bigcup_{c \in C} V_c$ jest funkcją informacyjną taką, że $f_{inf}(c, u) \in V_c$ dla każdego $c \in C$ oraz $u \in U$.
- $f_{dec} : D \times U \rightarrow \bigcup_{d \in D} V_d$ jest funkcją decyzyjną taką, że $f_{dec}(d, u) \in V_d$ dla każdego $d \in D$ oraz $u \in U$.

Bardzo często rozważa się systemy decyzyjne z jednym atrybutem decyzyjnym, tj. gdy $D = \{d\}$.

Tematyka badań wpisuje się w obszar odkrywania wiedzy z danych (ang. *knowledge discovery*), ze szczególnym uwzględnieniem procesów eksploracji danych (ang. *data mining*). W szerszym sensie, prowadzone badania można zakwalifikować do badań nad sztuczną inteligencją (ang. *artificial intelligence*). Obszar odkrywania wiedzy z danych jest już od kilkudziesięciu lat jednym z głównych obszarów badań w informatyce. W ostatnich latach nabiera on coraz większego znaczenia w kontekście przetwarzania i analizowania bardzo dużych zbiorów danych (ang. *Big Data*), w większości przypadków nieustrukturyzowanych oraz dynamicznie się zmieniających. Opracowywanie nowych metodologii, algorytmów oraz narzędzi eksploracji danych uwzględniających charakter danych jest nadal istotnym wyzwaniem prac naukowo-badawczych. Metodyka odkrywania wiedzy z danych jest w dużej mierze uwarunkowana charakterem tych danych. Generalnie, dane, ze względu na ich charakter, można zakwalifikować do trzech kategorii:

- dane ilościowe (numeryczne) i jakościowe (nominalne),
- dane tekstowe,
- dane obrazowe i dźwiękowe.

Jednym z mocno rozwijanych trendów przetwarzania danych oraz odkrywania wiedzy z danych jest, zainspirowane przez L. Zadeha symbolicznym określeniem *computing with words* (por. [41]), operowanie na słowach, pojęciach i stwierdzeniach języka naturalnego. Głównym zamierzeniem L. Zadeha było zastąpienie liczb słowami i pojęciami w różnorodnych procesach obliczeniowych oraz wnioskowaniu. Ma to swoje uzasadnienie w fakcie zdolności człowieka do wykonywania wielu zadań bez jakichkolwiek pomiarów i obliczeń na liczbach. Jednym z pierwszych podejść pozwalających operować na zmiennych o charakterze lingwistycznym była teoria zbiorów rozmytych zaproponowana przez L. Zadeha [40]. Z czasem, zaproponowano wiele metodologii pozwalających na operowanie na danych o takim charakterze. Tematyka badań stanowiących podstawowe osiągnięcie naukowe wpisuje się w ten trend. Głównym przedmiotem badań są systemy informacyjne lub decyzyjne, w których wartościami atrybutów są słowa, lub ogólnie pojęcia (złożone ze słów), będące reprezentacjami obiektów lub zjawisk. Dane to nie tylko liczbowe wyniki obserwacji i pomiarów, ale to także pojęciowy opis otaczającego nas świata. Dotyczy to nie tylko percepcji człowieka. Na wyższych poziomach abstrakcji, dla maszyn (np. robotów) budowany jest również pojęciowy model środowiska, w którym one działają (por. [11]).

Aby efektywnie przeprowadzać procesy eksploracji danych, wymagane jest wzięcie pod uwagę wiedzy dziedzinowej powiązanej z semantyką danych [37]. Taka wiedza okazuje się być użyteczna zarówno w przypadku danych numerycznych jak i nominalnych. Wiedza dziedzinowa dostarcza istotnej informacji o różnych aspektach drążonych danych. Jednym ze znaczących aspektów jest informacja o relacjach pomiędzy wartościami atrybutów opisujących obiekty, w szczególności relacjach semantycznych. Eksploracja danych z wykorzystaniem wiedzy dziedzinowej jest jednym z intensywnie badanych obszarów odkrywania wiedzy z danych w ostatnich latach. W opracowywanych metodach wykorzystuje się różne postaci wiedzy dziedzinowej, np.:

- porządek preferencyjny w dziedzinach atrybutów (zob. np. [10]),
- hierarchie pojęć, m.in. taksonomia wartości atrybutów (attribute value taxonomies) (zob. np. [5], [39], [42], [43]), ontologia wartości atrybutów (attribute value ontology) (zob. np. [16]),
- ontologie i sieci semantyczne (zob. np. [3], [30]).

W przypadku ontologii, bardzo często mamy do czynienia z dziedzinowymi ontologiami pojęć. Wówczas, wiedza dziedzinowa wyrażona jest w postaci zbioru pojęć wraz ze zdefiniowanymi relacjami pomiędzy pojęciami stanowiącymi słownictwo danej dziedziny (por. [21]).

W pracy (A5), zaproponowane zostało bezpośrednie włączenie wiedzy dziedzinowej w postaci ontologii do systemów informacyjnych w sensie Z. Pawlaka. W klasycznych systemach informacyjnych, brak jest informacji o semantyce danych, tzn. z każdym atrybutem opisującym obiekty z przestrzeni rozważań, powiązany jest tylko zbiór jego wartości. Aby uwzględnić znaczenie danych, zdefiniowano formalnie tzw. proste systemy informacyjne nad grafami ontologicznymi oraz złożone systemy informacyjne nad grafami ontologicznymi. Jak do tej pory, brak było w literaturze takiej jednolitej definicji wiążącej systemy informacyjne z ontologiami poprzez wartości atrybutów będących pojęciami z ontologii. Jedynie w pracy [17], zdefiniowano systemy decyzyjne z acyklicznymi grafami skierowanymi (ang. *DAG-decision systems*). W systemach tych, klasy decyzyjne wyznaczone przez wartości atrybutu decyzyjnego formują acykliczny, skierowany graf pojęć reprezentujący ontologię tych pojęć. Formalnie, w definicji systemu decyzyjnego z acyklicznym grafem skierowanym dołączona jest relacja \succ częściowego porządku nad zbiorem V_d wartości atrybutu decyzyjnego. Jeśli $v, v' \in V_d$, to $v \succ v'$ oznacza, że v jest bardziej ogólne niż v' . W podejściu opartym na systemach decyzyjnych z acyklicznymi grafami skierowanymi, ontologia uwzględniana jest tylko dla atrybutu decyzyjnego. Idea zaproponowana w pracy (A5) jest taka, aby wiedza dziedzinowa w postaci ontologii mogła być uwzględniana dla każdego atrybutu w systemie informacyjnym. Poza tym, jak to zostanie pokazane później, ontologie mogą modelować różne relacje semantyczne pomiędzy pojęciami, nie tylko te tworzące hierarchie pojęć (tak jak jest to w przypadku relacji generalizacji). W przypadku innych podejść proponowanych w literaturze (jak na przykład wspomniane wcześniej taksonomie wartości atrybutów oraz ontologie wartości atrybutów), wiedza dziedzinowa w postaci taksonomii lub ontologii nie jest formalnie częścią definicji systemu informacyjnego lecz dołączana jest z zewnątrz do procesów eksploracji danych.

Według definicji podanej w pracy (A5), w przypadku prostych systemów informacyjnych, wartości danego atrybutu są pojęciami dziedziny opisywanej przez ten atrybut. Dziedzina ta modelowana jest za pomocą ontologii. Ontologia ta prezentowana jest w sposób uproszczony za pomocą struktury grafowej, zwanej grafem ontologicznym. W takim grafie, każdy węzeł jest jednym z pojęć ontologii, zaś każda krawędź odpowiada relacji pomiędzy dwoma pojęciami. Zakłada się, że graf ontologiczny reprezentuje całą dziedzinę danego atrybutu, tj. tylko pojęcia występujące w grafie ontologicznym mogą być wartościami atrybutu. W przypadku złożonych systemów informacyjnych, wartości danego atrybutu są podgrafami (nazywanymi lokalnymi podgrafami ontologicznymi) grafu ontologicznego powiązanego z tym atrybutem. Wartość atrybutu nie jest w tym przypadku pojedynczym pojęciem, ale strukturą grafową.

Jak to zostało przedstawione wcześniej, w podstawowej definicji systemu informacyjnego wartością danego atrybutu może być tylko element ze zbioru jego wartości (dziedziny). W monografii [27], przedstawione zostały inne sposoby prezentacji danych w systemach informacyjnych, m.in.:

- wielowartościowe systemy informacyjne, w których wartością danego atrybutu jest dowolny podzbiór zbioru jego wartości (za wyjątkiem zbioru pustego), tj. funkcja informacyjna ma postać $f_{inf} : A \times U \rightarrow 2^V$, gdzie $V = \bigcup_{a \in A} V_a$, przy czym $f_{inf}(a, u) \subseteq V_a$ dla każdego $a \in A$ oraz $u \in U$,

- stochastyczne systemy informacyjne, w których funkcja informacyjna ma postać $f_{inf} : A \times V \times U \rightarrow 2^{[0,1]}$, gdzie $V = \bigcup_{a \in A} V_a$, tj. przypisuje ona każdemu atrybutowi $a \in A$, każdej wartości $v \in V_a$ oraz każdemu obiektowi $u \in U$, podzbiór zbioru $[0, 1]$ określający prawdopodobieństwo posiadania przez u własności (a, v) .

Przypadek złożonych systemów informacyjnych nad grafami ontologicznymi jest kolejnym rozszerzeniem możliwości prezentacji danych w systemach informacyjnych, w tym przypadku za pomocą struktur grafowych. Taka możliwość nie była do tej pory rozważana w literaturze.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w proponowanym w pracy (A5) podejściu, w definicjach formalnych używane jest pojęcie grafu ontologicznego, nie zaś pojęcie ontologii. Ma to swoje uzasadnienie, gdyż pojęcie ontologii jest pojęciem dużo szerszym, a sposób przedstawiania ontologii nie sprowadza się tylko do struktury grafowej opisującej pojęcia i relacje pomiędzy nimi. Formalnie, ontologie definiowane są na bazie logik opisowych, np. w postaci aksjomatów w trzech głównych blokach: bloku terminologii (ang. *TBox*), bloku asercji (ang. *ABox*) oraz bloku ról (ang. *RBox*) (zob. np. [14]). Grafy ontologiczne są więc uproszczonym sposobem reprezentowania części wiedzy zawartej w ontologiach. Niech \mathcal{O} będzie daną ontologią. Formalnie, graf ontologiczny jest czwórką postaci $OG = (\mathcal{C}, E, \mathcal{R}, \rho)$, gdzie:

- \mathcal{C} jest niepustym skończonym zbiorem wierzchołków będących pojęciami w ontologii \mathcal{O} ,
- $E \subseteq \mathcal{C} \times \mathcal{C}$ jest skończonym zbiorem krawędzi reprezentujących relacje pomiędzy pojęciami ze zbioru \mathcal{C} ,
- \mathcal{R} jest rodziną opisów semantycznych (w języku naturalnym) rodzajów relacji (reprezentowanych przez krawędzie) pomiędzy pojęciami,
- $\rho : E \rightarrow \mathcal{R}$ jest funkcją przypisującą opis semantyczny relacji do każdej krawędzi.

Niech $OG = (\mathcal{C}, E, \mathcal{R}, \rho)$ będzie grafem ontologicznym. Lokalny podgraf ontologiczny LOG grafu OG jest grafem postaci $LOG = (\mathcal{C}_L, E_L, \mathcal{R}_L, \rho_L)$, gdzie $\mathcal{C}_L \subseteq \mathcal{C}$, $E_L \subseteq E$, $\mathcal{R}_L \subseteq \mathcal{R}$, oraz ρ_L jest funkcją ρ zredukowaną do zbioru E_L .

Formalnie, prosty system informacyjny SIS^{OG} nad grafami ontologicznymi jest krotką postaci

$$SIS^{OG} = (U, A, \{OG_a\}_{a \in A}, f_{inf}),$$

gdzie:

- U jest niepustym skończonym zbiorem obiektów,
- A jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów,
- $\{OG_a\}_{a \in A}$ jest rodziną grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami,
- $f_{inf} : A \times U \rightarrow \bigcup_{a \in A} \mathcal{C}_a$, jest funkcją informacyjną taką, że $f_{inf}(a, u) \in \mathcal{C}_a$ dla każdego $a \in A$ oraz $u \in U$, przy czym \mathcal{C}_a jest zbiorem pojęć z grafu OG_a .

Nie wymaga się aby funkcja f_{inf} była suriekcją. Oznacza to, że tylko część pojęć zdefiniowanych w grafie ontologicznym powiązanych z danym atrybutem może wystąpić jako wartości tego atrybutu. Jednak wiedza o powiązaniach semantycznych tych pojęć z innymi pojęciami występującymi w opisywanej przez atrybut dziedzinie jest bardzo istotna z punktu widzenia procesów odkrywania wiedzy z danych.

W kolejnych pracach rozważano również proste systemy decyzyjne nad grafami ontologicznymi. Formalnie, prosty system decyzyjny SDS^{OG} nad grafami ontologicznymi jest krotką postaci

$$SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_a\}_{a \in C \cup D}, f_{inf}, f_{dec}),$$

gdzie:

- U jest niepustym skończonym zbiorem obiektów,
- C jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów warunkowych,
- D jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów decyzyjnych,
- $\{OG_a\}_{a \in C \cup D}$ jest rodziną grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami warunkowymi i decyzyjnymi,
- $f_{inf} : C \times U \rightarrow \bigcup_{c \in C} \mathcal{C}_c$ jest funkcją informacyjną taką, że $f_{inf}(c, u) \in \mathcal{C}_c$ dla każdego $c \in C$ oraz $u \in U$, \mathcal{C}_c jest zbiorem pojęć z grafu OG_c
- $f_{dec} : D \times U \rightarrow \bigcup_{d \in D} \mathcal{C}_d$ jest funkcją decyzyjną taką, że $f_{dec}(d, u) \in \mathcal{C}_d$ dla każdego $d \in D$ oraz $u \in U$, \mathcal{C}_d jest zbiorem pojęć z grafu OG_d .

Warto zwrócić uwagę na fakt, że można również rozważać hybrydowe systemy informacyjne lub decyzyjne, w których grafy ontologiczne są powiązane tylko z wybranymi atrybutami, np. tylko z atrybutami warunkowymi albo tylko z atrybutami decyzyjnymi. Rozważane były, między innymi, proste systemy decyzyjne nad grafami ontologicznymi w postaci

$$SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec}),$$

gdzie zbiory U , C , D mają znaczenie takie jak w poprzedniej definicji, zaś:

- $\{OG_c\}_{c \in C}$ jest rodziną grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami warunkowymi,
- $\{V_d\}_{d \in D}$ jest rodziną zbiorów wartości atrybutów decyzyjnych,
- $f_{inf} : C \times U \rightarrow \bigcup_{c \in C} \mathcal{C}_c$ jest funkcją informacyjną taką, że $f_{inf}(c, u) \in \mathcal{C}_c$ dla każdego $c \in C$ oraz $u \in U$, \mathcal{C}_c jest zbiorem pojęć z grafu OG_c
- $f_{dec} : D \times U \rightarrow \bigcup_{d \in D} V_d$ jest funkcją decyzyjną taką, że $f_{dec}(d, u) \in V_d$ dla każdego $d \in D$ oraz $u \in U$.

Podejście oparte na prostych i złożonych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi różni się od podejść wiążących ontologie z systemami informacyjnymi lub decyzyjnymi poprzez obiekty tych systemów. W tych drugich podejściach, można powiedzieć, generalizując, że obiekty traktowane są jako instancje (indywidua) pojęć występujących w ontologiach. Tak więc pojęcia wyznaczane są w sposób dokładny lub przybliżony przez zbiory obiektów w systemach informacyjnych lub decyzyjnych (zob. np. [2], [12], [22], [33]). W prostych i złożonych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, jak to już wcześniej zostało wspomniane, ontologie są powiązane z tymi systemami poprzez wartości atrybutów, które są pojęciami definiowanymi w ontologiach.

W ogólności, ontologie modelują różnorodne relacje semantyczne pomiędzy pojęciami. Na początku, szczególna uwaga została zwrócona na te bazowe w lingwistyce nazywane paradygmatycznymi relacjami semantycznymi (lub w skrócie relacjami paradygmatycznymi) takie jak synonimia,

antonimia, hiponimia, hiperonimia, meronimia, holonimia (por. [19]). Wspomniane relacje są m.in. wyróżnione w *WordNet* [8] - leksykalna baza danych języka angielskiego (istnieje także jej polski odpowiednik o nazwie *Słowskięć*) oraz w projekcie Wikisaurus [1], którego celem jest stworzenie teaurusu powiązanych semantycznie terminów. Synonimia dotyczy pojęć o tym samym lub bardzo zbliżonym znaczeniu. Antonimia dotyczy pojęć o przeciwnym znaczeniu. Hiponimia/hiperonimia dotyczy uszczegóławiania/uogólniania pojęć. Hiponimia ma miejsce gdy dane pojęcie ma bardziej szczegółowe znaczenie niż inne pojęcie zaś hiperonimia, przeciwnie, czyli gdy dane pojęcie ma bardziej ogólne znaczenie niż inne pojęcie. Meronimia/holonimia definiują tzw. relacje część-całość. Meronimia ma miejsce gdy dane pojęcie jest częścią całości reprezentowanej przez inne pojęcie. Holonimia ma miejsce gdy dane pojęcie reprezentuje całość części reprezentowanych przez inne pojęcia. Jednakże, badania w takich obszarach jak inżynieria wiedzy, lingwistyka, logika, psychologia kognitywna doprowadziły do różnorodnych taksonomii relacji semantycznych oraz różnych ich typów (zob. np. [4], [6], [18], [35], [36]). Gruntowny przegląd literatury dotyczącej relacji semantycznych można znaleźć w publikacji [20]. Jak zauważyli autorzy, prawie każda próba analizy relacji semantycznych prowadzi do ich nowej listy.

Relacje binarne nad zbiorami obiektów w systemach informacyjnych lub decyzyjnych definiowane są na bazie relacji binarnych nad zbiorami wartości poszczególnych atrybutów. Bazując na relacjach paradygmatycznych, w przypadku prostych systemów informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, można zdefiniować relacje binarne nad zbiorami wartości poszczególnych atrybutów. Dla uproszczenia, zamiast opisów semantycznych (w języku naturalnym) rodzajów relacji paradygmatycznych używane będą następujące ich etykiety: R_{\sim} - synonimia, R_{\leftrightarrow} - antonimia, R_{\triangleleft} - hiponimia, R_{\triangleright} - hiperonimia, R_{\subset} - meronimia, R_{\supset} - holonimia. Poniżej przedstawiono zestawienie wybranych relacji binarnych nad zbiorem wartości danego atrybutu proponowanych i wykorzystywanych w pracach (A1)-(A8). Oczywiście ten zbiór relacji nie wyczerpuje wszystkich możliwych do zdefiniowania relacji mających znaczenie praktyczne. Niech $OG_a = (\mathcal{C}_a, E_a, \mathcal{R}, \rho_a)$ będzie grafem ontologicznym powiązonym z atrybutem a oraz τ_1, τ_2 będą dwoma ustalonymi wartościami całkowitymi takimi, że $0 < \tau_1 < \tau_2$. Przyjmując oznaczenia:

- $[v_1, v_2]$ - ścieżka prosta w grafie OG_a pomiędzy $v_1, v_2 \in \mathcal{C}$,
- $\mathcal{E}([v_1, v_2])$ - zbiór wszystkich krawędzi ze zbioru E należących do ścieżki prostej $[v_1, v_2]$,
- $\mathcal{P}(OG)$ - zbiór wszystkich ścieżek prostych w grafie OG ,

otrzymujemy następujące relacje binarne nad zbiorem wartości atrybutu a .

- Relacja znaczenia dokładnego

$$EMR_a = \{(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a : v_1 = v_2\}.$$

- Relacja znaczenia synonimicznego

$$SMR_a = \{(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a : (v_1, v_2) \in E_a \text{ oraz } \rho_a((v_1, v_2)) = R_{\sim}\}.$$

- Relacja znaczenia antonimicznego

$$AMR_a = \{(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a : (v_1, v_2) \in E_a \text{ oraz } \rho_a((v_1, v_2)) = R_{\leftrightarrow}\}.$$

- Relacja generalizacji GR_a

$$GR_a = \{(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a : \exists_{[v_1, v_2] \in \mathcal{P}(OG_a)} \forall_{e \in \mathcal{E}([v_1, v_2])} \rho(e) \in \{R_{\sim}, R_{\triangleleft}\}\}.$$

Można rozważać także właściwą relację generalizacji PGR_a , w przypadku gdy wyklucza się możliwość pojawienia się synonimii na opisach krawędzi należących do ścieżki prostej $[v_1, v_2]$. Ponadto, można rozważać relację generalizacji GR_a^k co najwyżej k -tego rzędu, gdzie $k = 1, 2, \dots$. Wówczas wymaga się aby $card(\{e \in \mathcal{E}([v_1, v_2]) : \rho_a(e) = R_{\triangleleft}\}) \leq k$.

- Relacja specjalizacji SR_a

$$SR_a = \{(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a : \exists_{[v_1, v_2] \in \mathcal{P}(OG_a)} \forall_{e \in \mathcal{E}([v_1, v_2])} \rho_a(e) \in \{R_{\sim}, R_{\triangleright}\}\}.$$

Można rozważać także właściwą relację specjalizacji PSR_a , w przypadku gdy wyklucza się możliwość pojawienia się synonimii na opisach krawędzi należących do ścieżki prostej $[v_1, v_2]$. Ponadto, można rozważać relację specjalizacji SR_a^k co najwyżej k -tego rzędu, gdzie $k = 1, 2, \dots$. Wówczas wymaga się aby $card(\{e \in \mathcal{E}([v_1, v_2]) : \rho_a(e) = R_{\triangleright}\}) \leq k$.

- Relacja znaczenia hiperonimicznego $HprMR_a$, która jest zbiorem wszystkich par $(v_1, v_2) \in \mathcal{C}_a \times \mathcal{C}_a$ wartości atrybutu a , dla których istnieje $v_3 \in \mathcal{C}_a$ takie, że:

$$\exists_{[v_1, v_3] \in \mathcal{P}(OG_a)} \forall_{e \in \mathcal{E}([v_1, v_3])} \rho_a(e) \in \{R_{\sim}, R_{\triangleleft}\}$$

oraz

$$\exists_{[v_2, v_3] \in \mathcal{P}(OG_a)} \forall_{e \in \mathcal{E}([v_2, v_3])} \rho_a(e) \in \{R_{\sim}, R_{\triangleleft}\}$$

Można rozważać relację znaczenia hiperonimicznego $HprMR_a^k$ co najwyżej k -tego rzędu, gdzie $k = 1, 2, \dots$. Wówczas wymaga się aby $card(\{e' \in \mathcal{E}([v_1, v_3]) : \rho_a(e') = R_{\triangleleft}\}) \leq k$ oraz $card(\{e' \in \mathcal{E}([v_2, v_3]) : \rho_a(e') = R_{\triangleleft}\}) \leq k$. Ponadto, niech $d_1 = card(\{e' \in \mathcal{E}([v_1, v_3]) : \rho_a(e') = R_{\triangleleft}\})$ oraz $d_2 = card(\{e' \in \mathcal{E}([v_2, v_3]) : \rho_a(e') = R_{\triangleleft}\})$. W pracy (A3), wyróżniono trzy typy relacji znaczenia hiperonimicznego:

- Relacja odległego znaczenia hiperonimicznego $FHprMR_a$ jeśli

$$max(d_1, d_2) > \tau_2.$$

- Relacja pośredniego znaczenia hiperonimicznego $MHprMR_a$ jeśli

$$\tau_1 < max(d_1, d_2) \leq \tau_2.$$

- Relacja bliskiego znaczenia hiperonimicznego $CHprMR_a$, w przeciwnym razie.

Relacje EMR_a , SMR_a oraz $HprMR_a$ są relacjami równoważnościowymi, zaś relacje GR_a oraz SR_a są relacjami zwrotnymi i przechodnimi. Warto zwrócić uwagę na różnicę pomiędzy relacją generalizacji oraz relacją znaczenia hiperonimicznego. W pierwszym przypadku, relacja zachodzi pomiędzy dwoma pojęciami v_1, v_2 takimi, że v_1 jest generalizowane przez v_2 . W drugim przypadku relacja zachodzi pomiędzy dwoma pojęciami v_1, v_2 takimi, że istnieje na pewnym poziomie abstrakcji ich wspólny hiperonim - pojęcie v_3 . Ponieważ relacja generalizacji jest zwrotna, łatwo zauważyć, że jest ona szczególnym przypadkiem relacji znaczenia hiperonimicznego. Jednak w niektórych zastosowaniach wskazane jest jej oddzielne wyróżnienie.

W pracy (A5), wskazano również na możliwość rozważania tzw. relacji generalizacji z dewaluacją oraz relacji specjalizacji z rewaluacją. Na przykład, pojęcie *mężczyzna* jest generalizowane przez pojęcie *człowiek*. W tym przypadku generalizacja nie dewaluje pierwotnego pojęcia *mężczyzna*. Jednak, gdy pojęcie *samochód typu SUV* jest generalizowane przez pojęcie *samochód osobowy*, w pewnych sytuacjach następuje proces dewaluacji pojęcia *samochód typu SUV*, gdyż pojęcie *samochód osobowy* może oznaczać również mały samochód miejski. Gdy analizowane dane mają

odzwierciedlać stan posiadania pewnej osoby, to generalizacja powoduje utratę pewnej istotnej informacji. W przeciwnym kierunku, specjalizacja pojęcia *samochód osobowy* przez pojęcie *samochód typu SUV* może być traktowane jako rewaluacja.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w zaproponowanych prostych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, wartości atrybutów mogą być dowolnymi pojęciami występującymi w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami. W przypadku uwzględniania relacji hiponimii/hiperonimii, mogą to być pojęcia z dowolnego poziomu abstrakcji w hierarchii wyznaczonej przez te relacje. Ma to swoje uzasadnienie praktyczne. Na przykład, jeśli pojęcia będące wartościami atrybutów reprezentują obiekty rozpoznawane przez robota w otaczającym go środowisku, to system rozpoznający może, na podstawie dostępnej informacji, zidentyfikować obiekt dokładnie i przypisać mu bardziej szczegółową nazwę, co będzie odpowiadało pojęciu na niższym poziomie abstrakcji (np. w przypadku agrorobota, dany obiekt może zostać rozpoznany jako roślina określonego gatunku). Jednak, w pewnych warunkach, system rozpoznający nie jest w stanie dokładnie zidentyfikować obiektu i na podstawie dostępnej informacji może zakwalifikować go do pewnej klasy obiektów (np. w przypadku agrorobota, dany obiekt może zostać rozpoznany jako roślina będąca warzywem albo jako roślina będąca chwastem, albo wręcz tylko jako roślina). Podobna sytuacja ma miejsce przy przypisywaniu obiektom wartości atrybutów decyzyjnych. Na przykład, na podstawie dostępnej informacji, pacjentowi można przypisać konkretną lub bardziej ogólną jednostkę chorobową (np. zgodnie z Międzynarodową Klasyfikacją Chorób ICD-10). Możliwość występowania dowolnych pojęć zdefiniowanych w ontologii odróżnia proponowane podejście od podejść, w których jako dane wejściowe (reprezentowane np. przez systemy informacyjne lub decyzyjne) występują tylko pojęcia z najniższego poziomu abstrakcji (tj. pojęcia najbardziej szczegółowe). Natomiast pojęcia z wyższych poziomów abstrakcji (tj. pojęcia bardziej ogólne) pojawiają się w procesie uogólniania wiedzy w procedurach eksploracji danych (zob. np. [5], [9], [23], [34], [39]).

W pracy (A7), rozważano reguły decyzyjne w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi przy uwzględnieniu paradygmatycznych relacji semantycznych pomiędzy wartościami atrybutów. Analogicznie do języka logiki decyzyjnej dla systemów decyzyjnych (zob. [25]), zaproponowano język logiki decyzyjnej dla prostych systemów decyzyjnych nad grafami ontologicznymi. Znaczenie formuł tego języka zdefiniowano w kontekście trzech relacji pomiędzy wartościami atrybutów warunkowych: relacji znaczenia dokładnego, relacji znaczenia synonimicznego oraz relacji znaczenia hiperonimicznego. Niech $SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec})$ będzie prostym systemem decyzyjnym nad grafami ontologicznymi, $c \in C$, oraz niech R_c będzie relacją binarną nad \mathcal{C}_c , gdzie \mathcal{C}_c jest zbiorem pojęć zdefiniowanych w grafie ontologicznym OG_c powiązanych z atrybutem $c \in C$, oraz $v_1, v_2 \in \mathcal{C}_c$. Równoważność znaczeniowa \mathcal{M}_{R_c} pojęć v_1 oraz v_2 ze względu na relację R_c ma miejsce wtedy i tylko wtedy, gdy $(v_1, v_2) \in R_c$. Ten fakt oznaczany jest przez $\models \mathcal{M}_{R_c}(v_1, v_2)$. Wyróżniono trzy równoważności znaczeniowe: $\mathcal{M}_=$ - dokładna równoważność znaczeniowa ze względu na relację EMR_c , \mathcal{M}_\sim - synonimiczna równoważność znaczeniowa ze względu na relację SMR_c , $\mathcal{M}_\triangleleft$ - hiperonimiczna równoważność znaczeniowa ze względu na relację $HprMR_c$. Mapa równoważności znaczeniowych powiązana ze zbiorem atrybutów warunkowych systemu SDS^{OG} jest krotką $\mathcal{M}(C) = (\mathcal{M}_{R_{c_1}}, \mathcal{M}_{R_{c_2}}, \dots, \mathcal{M}_{R_{c_m}})$, gdzie $m = card(C)$. Zaproponowano aby reguły decyzyjne w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi rozważać w kontekście ustalonej mapy równoważności znaczeniowych powiązanej ze zbiorem atrybutów warunkowych. Niech $\mathcal{C} = \bigcup_{c \in C} \mathcal{C}_c$, gdzie \mathcal{C}_c jest zbiorem pojęć zdefiniowanych w grafie ontologicznym

OG_c powiązanych z atrybutem $c \in C$ oraz niech $D = \{d\}$. Dla systemu SDS^{OG} definiujemy deskryptory warunkowe będące wyrażeniami postaci (c, v) nad C oraz \mathcal{C} , gdzie $c \in C$ oraz $v \in \mathcal{C}$ oraz deskryptory decyzyjne będące wyrażeniami postaci (a, v) nad D oraz V_d , gdzie $v \in V_d$. Zbiór $\mathcal{F}(C, \mathcal{C})$ formuł warunkowych nad C oraz \mathcal{C} jest najmniejszym zbiorem zawierającym wszystkie

formuły atomowe nad C oraz C domkniętym ze względu na spójniki logiczne \wedge (koniunkcję), \vee (dysjunkcję) oraz \neg (negację). Analogicznie definiowany jest zbiór $\mathcal{F}(D, V_d)$ formuł decyzyjnych nad D oraz V_d . Znaczenie $\|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)}$ formuły warunkowej ϕ w systemie SDS^{OG} ze względu na $\mathcal{M}(C)$ jest zbiorem wszystkich obiektów w U z własnością ϕ zdefiniowanym indukcyjnie:

- $\|(a, v)\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} = \{u \in U : \models \mathcal{M}_{R_a}(a(u), v)\}$,
- $\|\phi \wedge \phi'\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} = \|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} \cap \|\phi'\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)}$,
- $\|\phi \vee \phi'\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} = \|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} \cup \|\phi'\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)}$,
- $\|\neg\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} = U - \|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)}$.

Znaczenie formuł decyzyjnych definiowane jest w standardowy sposób, tak jak w klasycznych systemach decyzyjnych (zob. [25]). Reguła decyzyjna w systemie SDS^{OG} ze względu na mapę równoważności znaczeniowych $\mathcal{M}(C)$ jest wyrażeniem postaci $\phi \Rightarrow \psi$, gdzie $\phi \in \mathcal{F}(C, C)$, $\psi \in \mathcal{F}(D, V_d)$, oraz $\|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} \neq \emptyset$. Reguła decyzyjna jest prawdziwa (pewna) w systemie SDS^{OG} ze względu na $\mathcal{M}(C)$ wtedy i tylko wtedy, gdy $\|\phi\|_{SDS}^{\mathcal{M}(C)} \subseteq \|\psi\|_{SDS}$.

W pracy (A9), omówiono wybrane zagadnienia dotyczące złożonych systemów informacyjnych nad grafami ontologicznymi zdefiniowanych w pracy (A5). Formalnie, złożony system informacyjny CIS^{OG} nad grafami ontologicznymi jest krotką postaci

$$CIS^{OG} = (U, A, \{OG_a\}_{a \in A}, f_{inf}),$$

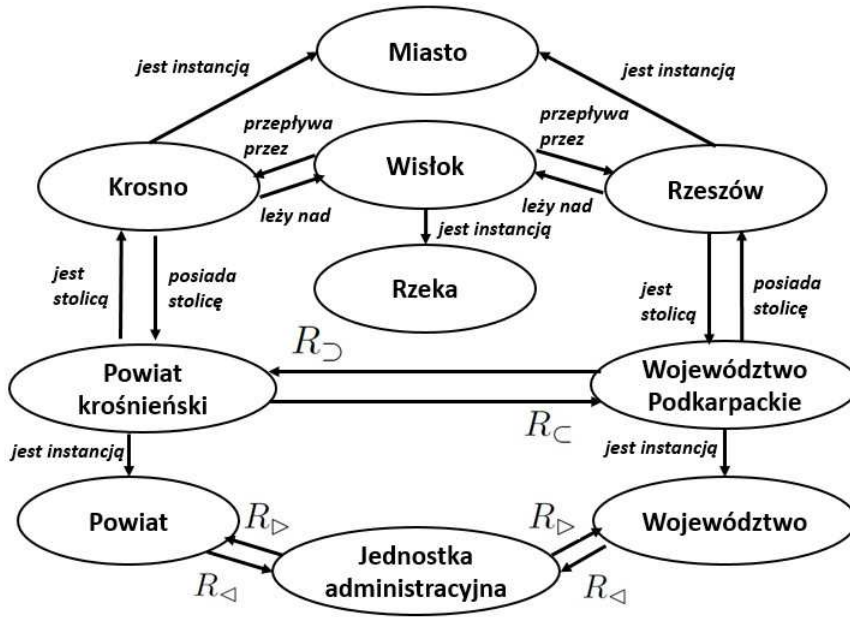
gdzie:

- U jest niepustym skończonym zbiorem obiektów,
- A jest niepustym skończonym zbiorem atrybutów,
- $\{OG_a\}_{a \in A}$ jest rodziną grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami,
- $f_{inf} : A \times U \rightarrow \bigcup_{a \in A} \text{LOG}_a$ jest funkcją informacyjną taką, że $f(a, u) \in \text{LOG}_a$ dla każdego $a \in A$ oraz $u \in U$, LOG_a jest rodziną wszystkich lokalnych podgrafów ontologicznych grafu OG_a .

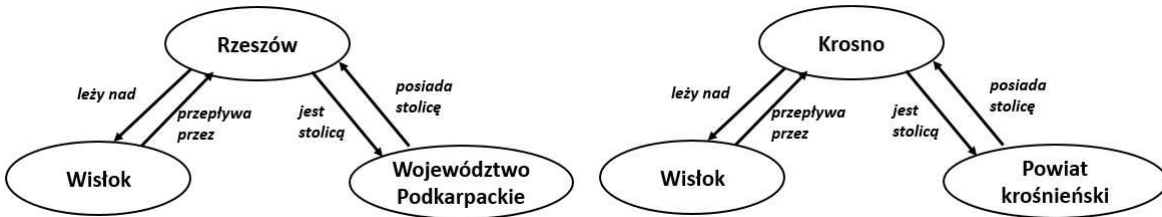
Przykładowo, gdy graf ontologiczny powiązany z pewnym atrybutem reprezentuje ontologię miejscowości (fragment takiego grafu przedstawiony jest na rysunku 1), to wartościami atrybutu mogą być lokalne podgrafy ontologiczne przedstawione na rysunku 2.

W pracy (A9), zwrócono uwagę na definiowanie relacji pomiędzy wartościami atrybutów w takich systemach. Wskazano na dwa przykładowe podejścia. Pierwsze z nich może zostać oparte o uwzględnienie różnych morfizmów lokalnych podgrafów ontologicznych, w tym morfizmów rozmytych (zob. [28]). W drugim podejściu możliwe jest wyszukiwanie odpowiedniości pomiędzy lokalnymi podgrafami ontologicznymi przy wykorzystaniu algorytmów dopasowania ontologii (zob. [7]).

Relacje paradygmatyczne takie jak hiponimia/hiperonimia oraz meronimia/holonimia pozwalają budować hierarchię pojęć. W takim przypadku, relacje te pozwalają wprowadzić częściowy porządek w zbiorach wartości atrybutów w prostych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi. W pracy (A6), zaproponowano aby rozważać proste systemy decyzyjne SDS^{OG} nad grafami ontologicznymi w kontekście podejścia zbiorów przybliżonych opartego na relacji dominacji (ang. *Dominance-Based Rough Set Approach*, w skrócie *DRSA*). Podejście DRSA zaproponowane



Rysunek 1: Fragment grafu ontologicznego reprezentującego ontologię miejscowości.



Rysunek 2: Przykładowe lokalne podgrafy ontologiczne będące wartością pewnego atrybutu, z którym powiązany jest graf ontologiczny reprezentujący ontologię miejscowości.

przez S. Greco, B. Matarazzo oraz R. Słowińskiego [10], wykorzystuje wiedzę dziedzinową w postaci informacji o uporządkowaniu dziedzin atrybutów według preferencji. Jest to porządek liniowy. W przypadku prostych systemów decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, zaproponowano aby relacja generalizacji identyfikowana była z relacją dominacji, zaś relacja specjalizacji identyfikowana była z odwrotną relacją dominacji. W pracy (A6) pokazano jak budować pozytywne i negatywne stożki dominacji dla zbiorów atrybutów, w których pojęcia są powiązane relacjami generalizacji i specjalizacji. Przedstawiono również interpretację elementarnych reguł decyzyjnych budowanych z wykorzystaniem relacji dominacji. Niech $SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec})$ będzie prostym systemem decyzyjnym nad grafami ontologicznymi, $D = \{d\}$ oraz niech $C = \bigcup_{c \in C} C_c$, gdzie C_c jest zbiorem pojęć z grafu ontologicznego OG_c powiązanego z atrybutem $c \in C$. Dla systemu SDS^{OG} , definiujemy:

- deskryptory warunkowe będące wyrażeniami postaci $(c, v)^\geq$ nad C oraz C , gdzie $c \in C$ oraz $v \in C_c$, o znaczeniu c jest co najmniej v zgodnie z częściowym porządkiem zdefiniowanym w OG_c ,
- deskryptory decyzyjne będące wyrażeniami postaci $(d, v)^\geq$ nad D oraz V_d , gdzie $d \in D$ oraz $v \in V_d$, o znaczeniu d jest co najmniej v zgodnie z liniowym porządkiem zdefiniowanym dla d .

Analogicznie definiujemy:

- deskryptory warunkowe będące wyrażeniami postaci $(c, v)^\leq$ nad C oraz \mathcal{C} , gdzie $c \in C$ oraz $v \in \mathcal{C}_c$, o znaczeniu c jest co najwyżej v zgodnie z częściowym porządkiem zdefiniowanym w OG_c ,
- deskryptory decyzyjne będące wyrażeniami postaci $(d, v)^\leq$ nad D oraz V_d , gdzie $d \in D$ oraz $v \in V_d$, o znaczeniu d jest co najwyżej v zgodnie z liniowym porządkiem zdefiniowanym dla d .

Jak pokazano w pracy (A6), w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi postaci $SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec})$ możemy rozważać dwa typy elementarnych reguł decyzyjnych:

1. D_{\geq} -elementarna reguła decyzyjna:

$$(c, v_c)^\geq \Rightarrow (d, v_d)^\geq,$$

2. D_{\leq} -elementarna reguła decyzyjna:

$$(c, v_c)^\leq \Rightarrow (d, v_d)^\leq,$$

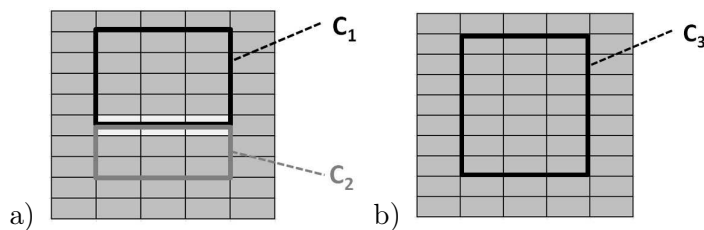
gdzie $c \in C$, $v_c \in \mathcal{C}_c$, $d \in D$, $v_d \in V_d$. Prawdziwość (pewność) elementarnych reguł w systemie SDS^{OG} definiowana jest na podstawie stożków dominacji zgodnie z podejściem DRSA.

Problem generowania reguł decyzyjnych w prostych systemach decyzyjnych SDS^{OG} nad grafami ontologicznymi z wykorzystaniem relacji dominacji rozważany był również w pracy (A2). W pracy tej zaproponowano wykorzystanie podejścia heurystycznego do generowania złożonych reguł decyzyjnych opartego o mrówkowy algorytm klasteryzacji. W przypadku złożonych reguł decyzyjnych, rozważane reguły posiadają w swoich poprzednikach koniunkcje formuł atomowych. Ogólnie rzecz biorąc, problem wyznaczania wszystkich reguł decyzyjnych, z minimalną liczbą formuł atomowych w ich poprzednikach, jest problemem NP-trudnym (zob. [32]). W przypadku prostych systemów decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, dochodzi jeszcze problem uwzględniania formuł atomowych zawierających pojęcia niebędące bezpośrednio wartościami atrybutów w tych systemach ale występujące w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami tych systemów. W systemach decyzyjnych o dużej liczbie atrybutów i obiektów oraz z rozbudowanymi grafami ontologicznymi, skutecznymi metodami są metody oparte o podejścia heurystyczne. Przestrzeń przypadków grupowanych przez algorytm mrówkowy to przestrzeń formuł atomowych zawierających pojęcia występujące w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami. Algorytm składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie, generowane są elementarne reguły decyzyjne prawdziwe w systemie SDS^{OG} . Następnie wszystkie pojęcia występujące w formułach atomowych w poprzednikach reguł są usuwane. W drugim etapie, mrówkowy algorytm klasteryzacji łączy formuły atomowe zawierające pozostałe pojęcia w grupy tak, aby budować reguły ze złożonymi poprzednikami (koniunkcje formuł atomowych). Funkcje prawdopodobieństwa podniesienia lub opuszczenia obiektu przez mrówkę wyznaczone są na bazie współczynnika dokładności powstałej reguły decyzyjnej przy uwzględnieniu relacji dominacji. W przypadku gdy powstałą regułę decyzyjną charakteryzuje współczynnik dokładności równy 1, nie są dokładane kolejne formuły atomowe do poprzednika reguły. Zaproponowany algorytm posiada wielomianową złożoność czasową.

Jednym z problemów rozważanych w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe była charakterystyka aproksymacji zbiorów w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi przy uwzględnieniu wiedzy dziedzinowej zawartej w grafach ontologicznych. Aproksymacja zbiorów jest jednym z fundamentalnych pojęć teorii zbiorów przybliżonych [25]. Główną ideą zbiorów przybliżonych jest aproksymacja danego zbioru obiektów przy pomocy innych zbiorów obiektów nazywanych zbiorami elementarnymi formującymi tzw. podstawowe granule wiedzy. W oryginalnym podejściu Z. Pawłaka podstawowe granule wiedzy indukowane są przez relację nierozróżnialności pomiędzy obiektami. Jednak, pojęcie zbiorów przybliżonych może zostać uogólnione na dowolną

relację binarną pomiędzy obiektami (por. [38]). Aproksymacja może być albo dokładna, albo przybliżona. W pracy (A8) przedstawiono problemy w definiowaniu zbiorów przybliżonych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi przy uwzględnieniu paradygmatycznych relacji semantycznych pomiędzy wartościami atrybutów zarówno warunkowych jak i decyzyjnych. Uwzględnienie tych relacji pozwala uzyskiwać różnorodne podstawowe granule wiedzy w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi.

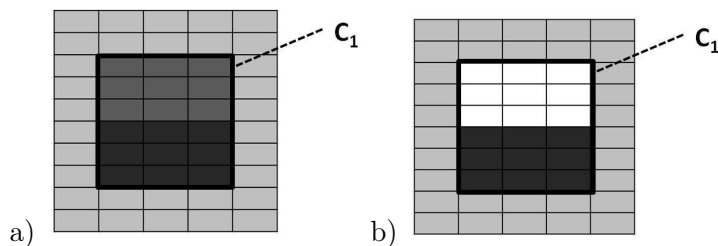
W przypadku uwzględnienia relacji paradygmatycznych pomiędzy wartościami atrybutów decyzyjnych, możliwy wpływ uwzględnienia tych relacji przedstawiony został symbolicznie na rysunku 3. Na rysunku 3 (a), przedstawiona jest sytuacja gdy podstawowe granule wiedzy zaznaczone ko-



Rysunek 3: Aproksymacja: (a) dwóch zbiorów definiowanych przez pojęcia C_1 oraz C_2 , (b) zbioru definiowanego przez pojęcie C_3 .

lorem jasnym znajdują się obszarze brzegowym aproksymacji zbiorów definiowanych przez pojęcia C_1 oraz C_2 . Jest to typowa sytuacja niespójności w systemie decyzyjnym, modelowana za pomocą zbiorów przybliżonych. Uwzględniając wiedzę dziedzinową zawartą w grafie ontologicznym powiązany z atrybutem decyzyjnym, może okazać się, że istnieje pojęcie C_3 , które jest hiperonimem zarówno pojęcia C_1 jak i pojęcia C_2 . W związku z tym sytuacja przedstawiona na rysunku 3(a) sprowadza się do sytuacji przedstawionej na rysunku 3(b). W tym przypadku, nie występuje obszar brzegowy, a zbiór definiowany przez pojęcie C_3 jest zbiorem dokładnym.

Uwzględnienie relacji paradygmatycznych pomiędzy wartościami atrybutów warunkowych pozwala porównać podstawowe granule wiedzy aproksymujące dany zbiór z punktu widzenia semantyki wartości atrybutów warunkowych. Na rysunku 4 przedstawiono dwie charakterystyczne sytuacje spośród wielu możliwych. Taka jakościowa ocena podstawowych granul wiedzy aproksymujących dany



Rysunek 4: Zbiór definiowany przez pojęcie C_1 : (a) aproksymowany za pomocą podstawowych granul wiedzy semantycznie bliskich, (b) aproksymowany za pomocą podstawowych granul wiedzy, z których jedna ich część jest semantycznie odległa od drugiej ich części.

zbiór wzbogaca analizę danych zawartych w prostym systemie decyzyjnym nad grafami ontologicznymi.

Tematyka jakościowej oceny zbiorów przybliżonych definiowanych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi kontynuowana była w pracy (A3). W pracy tej, zaproponowano jakościową ocenę aproksymacji z punktu widzenia wartości atrybutu decyzyjnego oraz wiedzy dziedzinowej zawartej w grafie ontologicznym powiązany z atrybutem decyzyjnym. Podstawowym

współczynnikiem określającym jakość aproksymacji danego zbioru X jest współczynnik wyznaczany ze wzoru:

$$\alpha_R(X) = \frac{\text{card}(\underline{R}(X))}{\text{card}(\overline{R}(X))},$$

gdzie $\underline{R}(X)$ jest dolną aproksymacją zbioru X , zaś $\overline{R}(X)$ jest górną aproksymacją zbioru X , ze względu na relację R . Jak pokazano w pracy (A3), uwzględnienie paradygmatycznych relacji semantycznych pomiędzy wartościami atrybutu decyzyjnego umożliwia jakościową charakteryzację zbioru przybliżonego. Zaproponowano następującą taksonomię:

- zbiór pseudo-przybliżony,
- zbiór marginalnie przybliżony,
- zbiór umiarkowanie przybliżony,
- zbiór znacząco przybliżony.

Przypisanie odpowiedniej charakterystyki jakościowej odbywa się na podstawie semantycznej analizy wartości atrybutu decyzyjnego przyjmowanych przez obiekty należące do obszaru brzegowego. W zaproponowanym podejściu rozważano sytuację najgorszego przypadku (ang. *worst case*). Proces charakteryzacji zbioru przybliżonego można rozpisać na następujące kroki:

1. Jeżeli istnieje co najmniej jeden obiekt należący do obszaru brzegowego aproksymacji, który przyjmuje wartość na atrybucie decyzyjnym będącą pojęciem, które jest w relacji znaczenia antonimicznego z pojęciem definiującym przybliżony zbiór, to wówczas zbiór przybliżony nazywany jest zbiorem znacząco przybliżonym. W przeciwnym razie:
2. Jeżeli istnieje co najmniej jeden obiekt należący do obszaru brzegowego aproksymacji, który przyjmuje wartość na atrybucie decyzyjnym będącą pojęciem, które jest w relacji odległego znaczenia hiperonimicznego z pojęciem definiującym przybliżony zbiór, to wówczas zbiór przybliżony nazywany jest zbiorem umiarkowanie przybliżonym. W przeciwnym razie:
3. Jeżeli istnieje co najmniej jeden obiekt należący do obszaru brzegowego aproksymacji, który przyjmuje wartość na atrybucie decyzyjnym będącą pojęciem, które jest w relacji pośredniego znaczenia hiperonimicznego z pojęciem definiującym przybliżony zbiór, to wówczas zbiór przybliżony nazywany jest zbiorem marginalnie przybliżonym. W przeciwnym razie:
4. Jeżeli wszystkie obiekty, należące do obszaru brzegowego aproksymacji, przyjmują wartości na atrybucie decyzyjnym będące pojęciami, które są albo w relacji bliskiego znaczenia hiperonimicznego albo w relacji znaczenia synonimicznego albo w relacji znaczenia dokładnego z pojęciem definiującym przybliżony zbiór, to wówczas zbiór przybliżony nazywany jest zbiorem pseudo-przybliżonym.

W pracy (A3) przedstawiono przykład prostego systemu decyzyjnego nad grafami ontologicznymi oraz cztery aproksymacje zadanych zbiorów, dla których przy ocenie ilościowej otrzymano ten sam współczynnik jakości aproksymacji, zaś przy zaproponowanej ocenie jakościowej otrzymano różne charakterystyki. Przykład ten pokazał, że zaproponowana ocena jakościowa wzbogaca charakterystykę definiowanych zbiorów przybliżonych.

W pracy (A4) pokazano, że proste systemy informacyjne nad grafami ontologicznymi pozwalają na uwzględnienie nie tylko paradygmatycznych relacji semantycznych ale również syntagmatycznych relacji semantycznych. Pierwotnie podział relacji semantycznych na paradygmatyczne oraz syntagmatyczne został zaproponowany w lingwistyce przez F. de Saussure (zob. [31]). Relacje

paradygmatyczne były nazywane przez F. de Saussure relacjami asocjacyjnymi. Ogólnie relacje paradygmatyczne zachodzą pomiędzy dwoma elementami, które mogą się wzajemnie zastępować (w przypadku lingwistyki, dotyczy to pojęć należących do tej samej kategorii gramatycznej). Relacje syntagmatyczne zachodzą pomiędzy pojęciami znajdującymi się w określonym porządku (ważne jest następstwo pojęć). Jak pokazano w pracy (A4), relacje syntagmatyczne mogą w ogólności dotyczyć pojęć ułożonych w pewnym określonym kontekście. Nie musi więc to być tylko kontekst wynikający np. z budowy zdań. W przypadku uwzględniania relacji syntagmatycznych, zbiór atrybutów w prostym systemie informacyjnym $SIS^{OG} = (U, A, \{OG_a\}_{a \in A}, f_{inf})$ nad grafami ontologicznymi jest krotką (uporządkowaną n-tką), tj. $A = \langle a_i : i = 1, 2, \dots, n \rangle$. Wówczas każdy obiekt w SIS^{OG} nazywany jest syntagmą, zaś krotka atrybutów nazywana jest schematem syntagm. W przypadku tablicy informacyjnej reprezentującej prosty system informacyjny nad grafami ontologicznymi zawierający dane syntagmatyczne, na relacje paradygmatyczne należy patrzeć wertykalnie (tj. według atrybutów), zaś na relacje syntagmatyczne należy patrzeć horyzontalnie (tj. według obiektów). W przypadku syntagm, kolejność pojęć będących wartościami atrybutów ma znaczenie. Każde pojęcie w danej syntagmie, z wyjątkiem ostatniego pojęcia, antycypuje pojawienie się pojęcia następnego. W przypadku takiej antycypacji pojęć mogą pojawić się pewne niejednoznaczności, które mogą zostać opisane za pomocą podejścia opartego o zbiory przybliżone.

W pracy (A4) zdefiniowano dolną i górną antycypację oraz brzeg antycypacji pojęć. Definicje dotyczą antycypacji pojęć będących wartościami danego atrybutu przez pojęcia będące wartościami atrybutu poprzedniego w schemacie syntagm. W definicjach tych uwzględniono również relacje paradygmatyczne takie jak synonimia oraz hiperonimia. Definicje te są analogiczne do definicji antycypacji stanów w systemach tranzycyjnych zaproponowanych w pracy (C17) wymienionej w rozdziale o innych osiągnięciach naukowych. Niech $SIS^{OG} = (U, A, \{OG_{a_i}\}_{a_i \in A}, f_{inf})$, gdzie $A = \langle a_i : i = 1, 2, \dots, n \rangle$, będzie prostym systemem informacyjnym nad grafami ontologicznymi opisującym dane syntagmatyczne oraz c będzie jednym z pojęć z grafu ontologicznego OG_{a_i} powiązanego z atrybutem a_i z A , gdzie $i = 2, 3, \dots, n$. Przez \widehat{X}_c , oznaczamy zbiór wszystkich obiektów u takich, że $(c, f_{inf}(a_i, u)) \in EMR_{a_i}$ lub $(c, f_{inf}(a_i, u)) \in SMR_{a_i}$ lub $(c, f_{inf}(a_i, u)) \in SR_{a_i}$. Dolna antycypacja $\underline{Ant}(c)$ pojęcia c definiowana jest jako

$$\underline{Ant}(c) = \{c' \in \mathcal{C}_{a_{i-1}} : \widehat{X}_{c'} \neq \emptyset \text{ oraz } \widehat{X}_{c'} \subseteq \widehat{X}_c\}.$$

Dolna antycypacja pojęcia c zawiera wszystkie pojęcia (włączając ich synonimy i hiponimy), na pozycji $i-1$ w syntagmach, które pewnie antycypują pojawienie się na pozycji i pojęcia c (włączając jego synonimy i hiponimy). Górna antycypacja $\overline{Ant}(c)$ pojęcia c definiowana jest jako

$$\overline{Ant}(c) = \{c' \in \mathcal{C}_{a_{i-1}} : \widehat{X}_{c'} \cap \widehat{X}_c \neq \emptyset\}.$$

Górna antycypacja pojęcia c zawiera wszystkie pojęcia (włączając ich synonimy i hiponimy), na pozycji $i-1$ w syntagmach, które możliwie antycypują pojawienie się na pozycji i pojęcia c (włączając jego synonimy i hiponimy). Zbiór $BN_{\underline{Ant}}(c) = \overline{Ant}(c) - \underline{Ant}(c)$ jest brzegowym obszarem antycypacji pojęcia c . Jeśli $BN_{\underline{Ant}}(c) = \emptyset$, to antycypacja pojęcia c , na bazie pojęć poprzedzających, jest dokładna. W przeciwnym razie (tj. gdy $BN_{\underline{Ant}}(c) \neq \emptyset$), antycypacja pojęcia c jest przybliżona. Ponadto, w pracy (A4), przedstawiono definicję antycypacji pojęć opartą o podejście VPRSM (Variable Precision Rough Set Model) zaproponowane przez W. Ziarko [44]. W podejściu VPRSM, standardowa inkluzja zbiorów występująca w definicji dolnego przybliżenia zastąpiona jest parametryzowaną inkluzją większościową, która sprawia, że definicja jest pozbawiona rygoryzmu standardowej inkluzji oraz jest elastyczna. W przypadku podejścia VPRSM, otrzymujemy uogólnione pojęcie dolnej antycypacji, tzw. β -dolną antycypację. Niech $0 \leq \beta < 0.5$. β -dolna antycypacja $\underline{Ant}^\beta(c)$ pojęcia c definiowana jest jako

$$\underline{Ant}^\beta(c) = \{c' \in \mathcal{C}_{a_{i-1}} : \widehat{X}_{c'} \neq \emptyset \text{ oraz } \widehat{X}_{c'} \stackrel{\beta}{\subseteq} \widehat{X}_c\}.$$

U/A	HST	$AofBDS$	$AofMDS$	$SofE$
u_1	Liceum ogólnokształcące	Matematyka	Matematyka	Edukacja
u_2	Technikum	Systemy informacyjne	Sztuczna inteligencja	Branża ICT
u_3	Technikum	Wizja komputerowa	Sztuczna inteligencja	Przemysł wytwórczy
u_4	Technikum	Inżynieria oprogramowania	Inżynieria oprogramowania	Wytwarzanie oprogramowania
u_5	Liceum ogólnokształcące	Systemy informacyjne	Matematyka	Wytwarzanie oprogramowania
u_6	Liceum ogólnokształcące	Inżynieria oprogramowania	Inżynieria oprogramowania	Wytwarzanie oprogramowania

Tablica 1: Tablica informacyjna zawierająca dane syntagmatyczne (syntagmy opisujące ścieżki edukacji i kariery zawodowej)

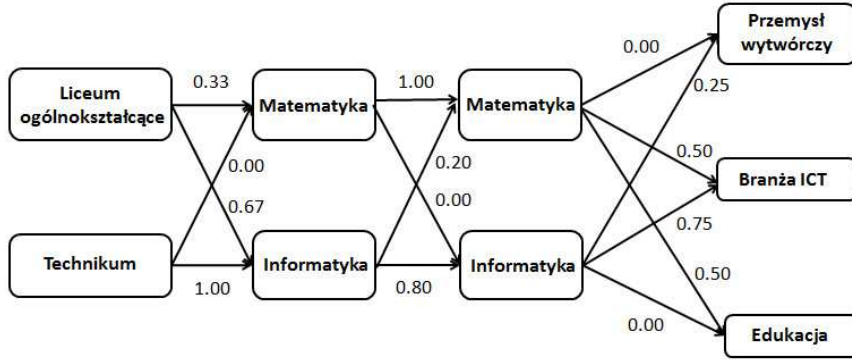
β -dolna antycypacja pojęcia c zawiera wszystkie pojęcia (włączając ich synonimy i hiponimy), na pozycji $i - 1$ w syntagmach, które w większości przypadków (w sensie inkluzji większościowej) antycypują pojawienie się na pozycji i pojęcia c (włączając jego synonimy i hiponimy).

W pracy (A4) przedstawiono również możliwość wykorzystania grafów przepływu Z. Pawłaka [26] do modelowania przepływu informacji w syntagmach prostego systemu informacyjnego SIS^{OG} nad grafami ontologicznymi. W każdej wertykalnej warstwie grafu umieszczone są wierzchołki odpowiadające wszystkim pojęciom występującym w grafie ontologicznym powiązanych z danym atrybutem systemu SIS^{OG} . Krawędzie grafu opisywane są przez współczynniki siły i pewności. Graf pozwala charakteryzować możliwość pojawienia się danej syntagmy w opisywanym systemie. Dzięki uwzględnieniu relacji paradygmatycznych, możliwe jest charakteryzowanie syntagm zawierających pojęcia na różnych poziomach abstrakcji zdefiniowanych w grafach ontologicznych. Jako przykład, możemy rozważyć modelowanie ścieżek edukacji i kariery zawodowej młodych ludzi. Model zawiera sukcesywną informację o ścieżce edukacyjnej, a następnie o karierze zawodowej. W danych tego typu, porządek pojęć opisujących ścieżkę edukacji i kariery zawodowej odgrywa rolę. Oznacza to, że pojęcia są ułożone w pewnym kontekście syntagmatycznym. Dla rozważanych danych, otrzymujemy następujący schemat syntagm:

$$\text{typ szkoły średniej (HST)} \rightarrow \text{specjalność studiów licencjackich (AofBDS)} \rightarrow \text{specjalność studiów magisterskich (AofMDS)} \rightarrow \text{sektor gospodarki (SofE)}.$$

Przykładowe syntagmy (na wybranym poziomie generalizacji) opisujące ścieżki edukacji i kariery zawodowej są zebrane w tabeli 1 reprezentującej prosty system informacyjny SIS^{OG} nad grafami ontologicznymi. Fragment grafu przepływu Pawłaka $RSFG$, zawierającego tylko pojęcia na wybranym poziomie generalizacji przedstawiony jest na rysunku 5.

W prostych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, wartościami atrybutów są pojęcia występujące w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami. Mamy więc do czynienia z atrybutami nominalnymi. Część podejść wykorzystywanych w odkrywaniu wiedzy z danych oraz w inteligencji obliczeniowej wymaga aby atrybuty opisujące obiekty były atrybutami numerycznymi. Przykładami takich podejść są sztuczne sieci neuronowe lub optymalizacja rojem cząstek (ang. *Particle Swarm Optimization*). Aby wykorzystać podejścia wymagające atrybutów numerycznych, w sytuacji gdy atrybuty są atrybutami nominalnymi, należy przeprowadzić proces kodowania wartości nominalnych za pomocą wartości numerycznych. Jednym z podejść jest kodowanie 1 z n . W tym kodowaniu, obiekty reprezentowane są przez wektory binarne o rozmiarze równym ilości wartości nominalnych atrybutów opisujących te obiekty (tj. każdej wartości nominalnej odpowiada jeden element wektora). Dla danego obiektu wektor tworzony jest w następujący sposób. Jeżeli dana wartość nominalna opisuje ten obiekt, to odpowiadający jej element w wektorze binarnym przyjmuje wartość 1, w przeciwnym razie, element w wektorze binarnym przyjmuje wartość 0 (por. [13]). W pracy (A1), zaproponowano metodę kodowania wartości atrybutów w prostych systemach



Rysunek 5: Fragment grafu przepływu Pawlaka (każda krawędź opisana jest współczynnikiem pewności) dla prostego systemu informacyjnego SIS^{OG} nad grafami ontologicznymi przedstawionego w tabeli 1

decyzyjnych nad grafami ontologicznymi wzorowaną na metodzie $1 z n$. Dzięki tej metodzie można budować, na bazie danych zawartych w takich systemach, klasyfikatory oparte o sztuczne sieci neuronowe oraz optymalizację rojem cząstek. Ideą działania takich klasyfikatorów jest znalezienie numerycznych funkcji odwzorowujących znane wartości wejściowe (wartości atrybutów warunkowych) w odpowiadające im wartości wyjściowe (wartości atrybutów decyzyjnych). Zaproponowana metoda uwzględnia wiedzę dziedzinową (wiedzę o relacji znaczenia dokładnego, relacji znaczenia synonimicznego oraz relacji generalizacji pomiędzy wartościami atrybutów) zawartą w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami. Jak pokazano w pracy (A1), metoda kodowania może wykorzystywać ostre lub rozmyte funkcje charakterystyczne. Niech SDS^{OG} będzie prostym systemem decyzyjnym nad grafami ontologicznymi w postaci $SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec})$. Ostra funkcja charakterystyczna, $\chi_c^u : C_c \rightarrow \{0, 1\}$, gdzie C_c jest zbiorem pojęć z grafu ontologicznego OG_c , dla $c \in C$ oraz $u \in U$, ma postać:

$$\chi_c^u(v) = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } (v, f_{inf}(c, u)) \in EMR_c \text{ lub } (v, f_{inf}(c, u)) \in SMR_c \text{ lub } (v, f_{inf}(c, u)) \in GR_c, \\ 0 & \text{w przeciwnym razie,} \end{cases}$$

dla każdego $v \in C_c$. Rozmyta funkcja charakterystyczna, $\tilde{\chi}_c^u : C_c \rightarrow [0, 1]$, gdzie C_c jest zbiorem pojęć z grafu ontologicznego OG_c , dla $c \in C$ oraz $u \in U$, ma postać:

$$\tilde{\chi}_c^u(v) = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } (v, f_{inf}(c, u)) \in EMR_c \text{ lub } (v, f_{inf}(c, u)) \in SMR_c \\ & \text{lub } (v, f_{inf}(c, u)) \in GR_c, \\ s(v, f_{inf}(c, u)) & \text{jeśli } (v, f_{inf}(c, u)) \in SR_c \text{ lub } (v, f_{inf}(c, u)) \in HprMR_c, \\ 0 & \text{w przeciwnym razie,} \end{cases}$$

dla każdego $v \in C_c$, gdzie $s(v, v')$ jest rozmytą miarą podobieństwa pomiędzy dwoma pojęciami v oraz v' . Jako miarę s można wykorzystać jedną z miar podobieństwa pomiędzy dwoma pojęciami zaproponowanych w literaturze dla sieci semantycznych o strukturze hierarchicznej (zob. np. [15], [29]). Miara zaproponowana w pracy [15] uwzględnia informację na którym poziomie abstrakcji w hierarchii znajdują się porównywane pojęcia. Pojęcia na wyższych poziomach abstrakcji w hierarchii posiadają bardziej ogólną semantykę i są mniej podobne semantycznie do siebie, podczas gdy pojęcia na niższych poziomach abstrakcji posiadają bardziej szczegółową semantykę i są bardziej podobne semantycznie do siebie. Podobieństwo pomiędzy pojęciami v oraz v' może być rozważane w funkcji długości l najkrótszej ścieżki pomiędzy v oraz v' w sieci semantycznej oraz w funkcji głębokości h mierzonej jako odległość najbliższego pojęcia uogólniającego pojęcia v oraz v' do pojęcia

znajdującego się najwyżej w hierarchii, tj.:

$$s(v, v') = f_1(l)f_2(h).$$

W ogólności, funkcje f_1 oraz f_2 są funkcjami nieliniowymi. Dla funkcji f_1 przyjmuje się, że:

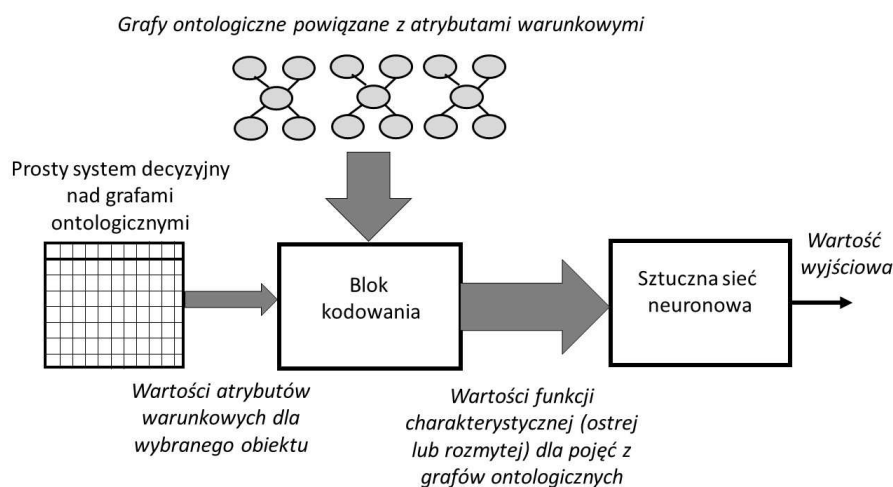
- jeśli długość l najkrótszej ścieżki maleje do 0, to $f_1(l)$ rośnie do 1,
- jeśli długość l najkrótszej ścieżki rośnie do nieskończoności, to $f_1(l)$ maleje do 0.

W pracy [15], zaproponowano następujące funkcje:

- $f_1(l) = e^{-\alpha l}$,
- $f_2(h) = \frac{e^{\beta h} - e^{-\beta h}}{e^{\beta h} + e^{-\beta h}}$,

gdzie α jest stałą a β jest współczynnikiem wygładzania.

Klasyfikator w postaci sztucznej sieci neuronowej uczony na danych zawartych w prostym systemie decyzyjnym SDS^{OG} nad grafami ontologicznymi zawiera w warstwie wejściowej tyle neuronów ile istnieje pojęć w grafach ontologicznych powiązanych z atrybutami warunkowymi systemu SDS^{OG} . Schemat procesu klasyfikacji danych zawartych w prostym systemie decyzyjnym nad grafami ontologicznymi przy użyciu sztucznej sieci neuronowej przedstawiony jest na rysunku 6.



Rysunek 6: Proces klasyfikacji danych zawartych w prostym systemie decyzyjnym nad grafami ontologicznymi przy użyciu sztucznej sieci neuronowej.

Podsumowując, do głównych wyników uzyskanych w ramach badań stanowiących podstawowe osiągnięcie naukowe można zaliczyć:

- formalne zdefiniowanie prostych i złożonych systemów informacyjnych i decyzyjnych nad grafami ontologicznymi,
- propozycje rozpatrywania reguł decyzyjnych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi w kontekście map równoważności znaczeniowych powiązanych ze zbiorami atrybutów warunkowych oraz w kontekście podejścia zbiorów przybliżonych opartego na relacji dominacji (DRSA) wraz z propozycją wykorzystanie podejścia heurystycznego do generowania złożonych reguł decyzyjnych w kontekście DRSA,

- propozycję jakościowej charakterystyki zbiorów przybliżonych definiowanych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi,
- propozycję kodowania wartości atrybutów w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi tak, aby można było na ich bazie wykorzystywać metody eksploracji danych działające na wartościach numerycznych oraz tak, aby w kodowanych wartościach zawarta była pewna informacja o relacjach semantycznych pomiędzy pojęciami będącymi oryginalnymi wartościami atrybutów,
- propozycje modelowania i analizy danych, powiązanych paradygmatycznymi i syntagmatycznymi relacjami semantycznymi, w prostych systemach informacyjnych nad grafami ontologicznymi, między innymi przy wykorzystaniu teorii zbiorów przybliżonych oraz grafów przepływu Z. Pawlaka.

W rozdziale 5, wskazano możliwości praktycznego wykorzystania zdefiniowanych prostych systemów informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi.

Wśród zagadnień, które będą rozważane w dalszych pracach można wymienić m.in.: uwzględnianie innych relacji semantycznych pomiędzy pojęciami (szczególnie tych niebudujących hierarchii pojęć), analiza danych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi w kontekście uogólnionych funkcji decyzji, algorytmy generowania reduktów i reguł dla prostych systemów informacyjnych i decyzyjnych nad grafami ontologicznymi, relacje nad zbiorami obiektów w złożonych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi. Ważnym obszarem badań będzie wykorzystanie prostych i złożonych systemów informacyjnych i decyzyjnych nad grafami ontologicznymi w odkrywaniu wiedzy z danych pozyskiwanych przez roboty z otaczającego ich środowiska. Na wyższym poziomie abstrakcji, dane te są pojęciami opisującymi zidentyfikowane obiekty.

Wykaz cytowanej literatury

- [1] The Wikisaurus Homepage: <http://en.wiktionary.org/wiki/Wiktionary>: Wikisaurus
- [2] Bazan, J.G.: Hierarchical classifiers for complex spatio-temporal concepts. In: Peters, J.F., Skowron, A., Rybiński, H. (eds.) Transactions on Rough Sets IX, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5390, pp. 474–750. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2008)
- [3] Bloehdorn, S., Hotho, A.: Ontologies for machine learning. In: Staab, S., Studer, R. (eds.) Handbook on Ontologies, pp. 637–661. Springer, Berlin, Heidelberg (2009)
- [4] Brachman, R.: What IS-A is and isn't: An analysis of taxonomic links in semantic networks. *Computer* 16(10), 30–36 (1983)
- [5] Cagliero, L., Garza, P.: Improving classification models with taxonomy information. *Data & Knowledge Engineering* 86, 85–101 (2013)
- [6] Chaffin, R., Herrmann, D.J.: The nature of semantic relations: A comparison of two approaches. In: Evens, M. (ed.) *Relational Models of the Lexicon: Representing Knowledge in Semantic Networks*, pp. 289–334. Cambridge University Press, New York (1988)
- [7] Euzenat, J., Shvaiko, P.: *Ontology Matching*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2007)
- [8] Fellbaum, C. (ed.): *WordNet - An Electronic Lexical Database*. MIT Press (1998)
- [9] Feng, Q., Miao, D., Cheng, Y.: Hierarchical decision rules mining. *Expert Systems with Applications* 37(3), 2081–2091 (2010)

- [10] Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R.: The use of rough sets and fuzzy sets in MCDM. In: Gal, T., Stewart, T.J., Hanne, T. (eds.) *Multicriteria Decision Making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory, and Applications*, pp. 397–455. Springer US, Boston, MA (1999)
- [11] Hertzberg, J., Saffiotti, A.: Using semantic knowledge in robotics. *Robotics and Autonomous Systems* 56(11), 875–877 (2008)
- [12] Ishizu, S., Gehrmann, A., Nagai, Y., Inukai, Y.: Rough ontology: Extension of ontologies by rough sets. In: Smith, M.J., Salvendy, G. (eds.) *Human Interface and the Management of Information. Methods, Techniques and Tools in Information Design, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4557, pp. 456–462. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2007)
- [13] Jelonek, J., Krawiec, K., Słowiński, R.: Rough set reduction of attributes and their domains for neural networks. *Computational Intelligence* 11(2), 339–347 (1995)
- [14] Krötzsch, M., Simancik, F., Horrocks, I.: Description logics. *IEEE Intelligent Systems* 29(1), 12–19 (2014)
- [15] Li, Y., Bandar, Z., Mclean, D.: An approach for measuring semantic similarity between words using multiple information sources. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 15(4), 871–882 (2003)
- [16] Lukaszewski, T., Józefowska, J., Lawrynowicz, A.: Attribute value ontology - using semantics in data mining. In: Maciaszek, L.A., Cuzzocrea, A., Cordeiro, J. (eds.) *Proceedings of the 14th International Conference on Enterprise Information Systems*. pp. 329–334. Wroclaw, Poland (2012)
- [17] Midelfart, H., Komorowski, J.: A rough set framework for learning in a directed acyclic graph. In: Alpigini, J.J., Peters, J.F., Skowron, A., Zhong, N. (eds.) *Rough Sets and Current Trends in Computing, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2475, pp. 144–155. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2002)
- [18] Milstead, J.L.: Standards for relationships between subject indexing terms. In: Bean, C.A., Green, R. (eds.) *Relationships in the organization of knowledge*, pp. 53–66. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2001)
- [19] Murphy, M.L. (ed.): *Semantic relations and the lexicon: antonymy, synonymy, and other paradigms*. Cambridge University Press, Cambridge, UK (2003)
- [20] Nastase, V., Nakov, P., Séaghdha, D.O., Szpakowicz, S.: *Semantic Relations Between Nominals*. Morgan & Claypool Publishers (2013)
- [21] Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., Swartout, W.: Enabling technology for knowledge sharing. *AI Magazine* 12(3), 36–56 (1991)
- [22] Nguyen, S.H., Bazan, J., Skowron, A., Nguyen, H.S.: Layered learning for concept synthesis. In: Peters, J.F., Skowron, A., Grzymała-Busse, J.W., Kostek, B., Świniarski, R.W., Szczuka, M.S. (eds.) *Transactions on Rough Sets I, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3100, pp. 187–208. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [23] Núñez, M.: The use of background knowledge in decision tree induction. *Machine Learning* 6(3), 231–250 (1991)
- [24] Pawlak, Z.: Rough sets. *International Journal of Information and Computer Sciences* 11, 341–356 (1982)
- [25] Pawlak, Z.: *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1991)
- [26] Pawlak, Z.: Flow graphs and data mining. In: Peters, J., Skowron, A. (eds.) *Transactions on Rough Sets III, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3400, pp. 1–36. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2005)
- [27] Pawlak, Z.: *Systemy Informacyjne. Podstawy Teoretyczne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa (1983)
- [28] Perchant, A., Bloch, I.: Fuzzy morphisms between graphs. *Fuzzy Sets and Systems* 128(2), 149–168 (2002)

- [29] Rada, R., Mili, H., Bicknell, E., Blettner, M.: Development and application of a metric on semantic nets. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 19(1), 17–30 (1989)
- [30] Ristoski, P., Paulheim, H.: Semantic web in data mining and knowledge discovery: A comprehensive survey. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 36, 1–22 (2016)
- [31] de Saussure, F.: *Course in General Linguistics*. Open Court, Chicago and La Salle (1986)
- [32] Skowron, A., Rauszer, C.: The discernibility matrices and functions in information systems. In: Słowiński, R. (ed.) *Intelligent Decision Support: Handbook of Applications and Advances of the Rough Sets Theory*, pp. 331–362. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1992)
- [33] Skowron, A., Wasilewski, P.: Interactive information systems: Toward perception based computing. *Theoretical Computer Science* 454, 240–260 (2012)
- [34] Srikant, R., Agrawal, R.: Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems* 13(2), 161–180 (1997)
- [35] Storey, V.C.: Understanding semantic relationships. *The VLDB Journal* 2, 455–488 (1993)
- [36] Winston, M.E., Chaffin, R., Herrmann, D.: A taxonomy of part-whole relations. *Cognitive Science* 11(4), 417–444 (1987)
- [37] Witten, I.H., Frank, E.: *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann (2005)
- [38] Yao, Y., Lin, T.: Generalization of rough sets using modal logics. *Intelligent Automation and Soft Computing* 2(2), 103–120 (1996)
- [39] Ye, M., Wu, X., Hu, X., Hu, D.: Knowledge reduction for decision tables with attribute value taxonomies. *Knowledge-Based Systems* 56, 68–78 (2014)
- [40] Zadeh, L.: Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 338–353 (1965)
- [41] Zadeh, L.: Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 4(2), 103–111 (1996)
- [42] Zhang, J., Honavar, V.: Learning decision tree classifiers from attribute value taxonomies and partially specified data. In: Fawcett, T., Mishra, N. (eds.) *Proceedings of the 20th International Conference on Machine Learning (ICML’2003)*. pp. 880–887. Washington D.C., USA (2003)
- [43] Zhang, J., Kang, D.K., Silvescu, A., Honavar, V.: Learning accurate and concise naïve bayes classifiers from attribute value taxonomies and data. *Knowledge and Information Systems* 9(2), 157–179 (2006)
- [44] Ziarko, W.: Variable precision rough set model. *Journal of Computer and System Sciences* 46(1), 39–59 (1993)

5 Prace powiązane z tematyką osiągnięcia naukowego

5.1 Artykuły w czasopismach naukowych

- (B1) Pancierz, K., Lewicki, A.: Extracting Decision Rules from Linguistic Data Describing Economic Phenomena. The Approach Based on Decision Systems over Ontological Graphs and PSO. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, Vol. 12 (1), 2014, pp. 133-140.
 - Lista B MNiSW (31 grudnia 2014): 8 pkt.
- (B2) Pancierz, K., Mich, O.: Numerical Data Clustering Algorithms in Mining Real Estate Listings. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, Vol. 12(3), 2014, pp. 43-50.
 - Lista B MNiSW (31 grudnia 2014): 8 pkt.

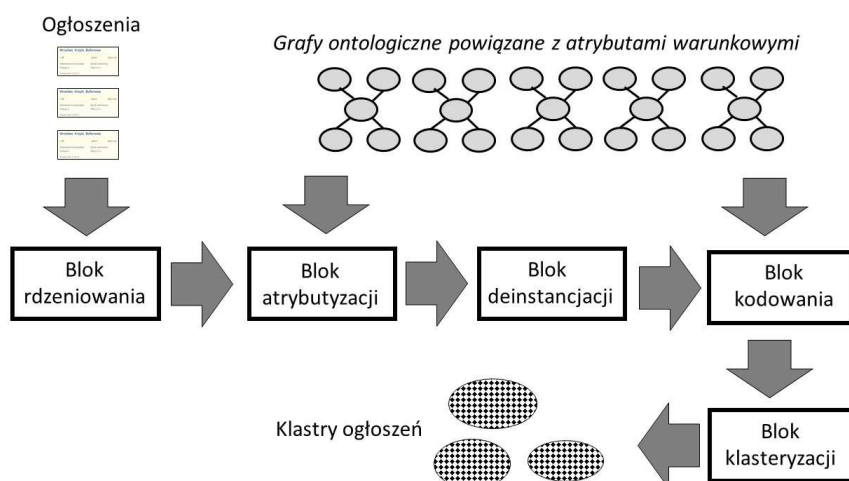
5.2 Ogólne omówienie prac powiązanych z podstawowym osiągnięciem naukowym

Prace (B1) oraz (B2) przedstawiają możliwości wykorzystania proponowanych prostych systemów informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi w procesach eksploracji szeroko rozumianych danych ekonomicznych. W większości przypadków dane opisujące zjawiska ekonomiczne mają charakter numeryczny. W przypadku danych numerycznych, istnieje wiele metod statystycznych i ekonometrycznych pozwalających analizować takie dane. Jednakże, można również spotkać sytuacje gdy zjawiska ekonomiczne opisywane są przez dane nominalne, np. pojęcia. W pracy (B2) podano przykład takich danych zawartych w ogłoszeniach z rynku nieruchomości. W tym przypadku, dane mogą być umieszczone w prostych systemach informacyjnych lub decyzyjnych nad grafami ontologicznymi. W pracy (B1) przedstawiono ideę heurystycznego wyszukiwania najbardziej ogólnych reguł decyzyjnych w prostych systemach decyzyjnych nad grafami ontologicznymi opisującymi zjawiska ekonomiczne przy uwzględnieniu relacji generalizacji i specjalizacji występujących pomiędzy częścią tych danych. Podejście to wykorzystuje optymalizację rojem cząstek (PSO). Niech $SDS^{OG} = (U, C, D, \{OG_c\}_{c \in C}, \{V_d\}_{d \in D}, f_{inf}, f_{dec})$ będzie prostym systemem decyzyjnym nad grafami ontologicznymi, gdzie $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ oraz $OG_c = (C_c, E_c, R, \rho_c)$ dla każdego $c \in C$. Wyszukiwanie reguł wykonywane jest dla ustalonej części decyzyjnej (d, v_d) , gdzie $d \in D$ oraz $v_d \in V_d$. W proponowanym podejściu, cząstki umieszczone są w przestrzeni zawierającej pojęcia z grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami warunkowymi w SDS^{OG} , tj. przestrzeń przeszukiwań ma postać $\Pi = C_{c_1} \times C_{c_2} \times \dots \times C_{c_m}$. Każda cząstka w roju charakteryzowana jest przez trójelementowy wektor zawierający informację o bieżącej pozycji cząstki, najlepszej pozycji do tej pory znalezionej oraz o prędkości cząstki. Pozycja cząstki jest więc wektorem składającym się z pojęć z grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami warunkowymi w SDS^{OG} , tj. $\mathbf{c} = [v_{c_1}, v_{c_2}, \dots, v_{c_m}]$, gdzie $v_{c_i} \in C_{c_i}$ dla $i = 1, 2, \dots, m$. Najlepsza pozycja do tej pory znaleziona przez cząstkę określana jest na podstawie funkcji dopasowania $\delta(v_{c_i})$ uwzględniającej poziomy, na których umieszczone są pojęcia $v_{c_1}, v_{c_2}, \dots, v_{c_m}$ w grafach ontologicznych ze względu na hierarchie wyznaczone przez relacje generalizacji. I tak, $\delta(v_{c_i}) = 0$ jeśli v_{c_i} jest pojęciem najwyżej w hierarchii, $\delta(v_{c_i}) = 1$ jeśli v_{c_i} jest pojęciem na pierwszym poziomie w hierarchii od korzenia, itd. Funkcja dopasowania jest minimalizowana. Każda nowa pozycja $\mathbf{c}' = [v_{c'_1}, v_{c'_2}, \dots, v_{c'_m}]$ cząstki określa regułę decyzyjną postaci

$$(c_1, v_{c'_1}) \wedge (c_2, v_{c'_2}) \wedge \dots \wedge (c_m, v_{c'_m}) \Rightarrow (d, v_d).$$

W pracy (B2) przedstawiono problem eksploracji danych tekstowych w postaci ogłoszeń z rynku nieruchomości przy wykorzystaniu algorytmów działających na danych numerycznych. Jako przykład algorytmu podano algorytm aglomeracyjnej klasteryzacji hierarchicznej wykorzystujący standardową odległość Euklidesową. Dane do algorytmu klasteryzacji prezentowane są w postaci systemu informacyjnego, w którym wartości atrybutów są wartościami numerycznymi. Ponieważ dane wejściowe mają charakter tekstowy wymagane jest wstępne przetworzenie tych danych. Cały proces klasteryzacji ogłoszeń przy użyciu algorytmów działających na danych numerycznych przedstawiony jest schematycznie na rysunku 7. W procesie tym, można wyróżnić kilka kroków wstępnego przetwarzania danych:

- Rdzeniowanie (ang. *stemming*) - znajdowanie rdzeni wyrazów występujących w tekstach ogłoszeń. Wyrazy występujące w różnych formach fleksyjnych zastępowane są swoimi niezmiennymi częściami (rdzeniami).
- Atrybutyzacja - przypisanie pojęć (złożonych z wyrazów określonych na podstawie rdzeni) do odpowiednich atrybutów jako ich wartości. Znalezienie odpowiedniego atrybutu dokonywane jest przy wykorzystaniu grafów ontologicznych powiązanych z atrybutami.



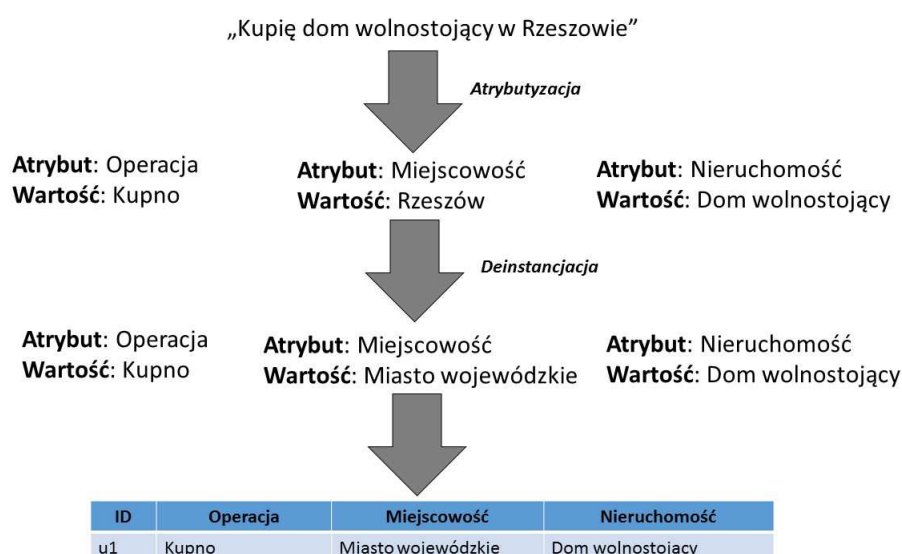
Rysunek 7: Proces klasteryzacji ogłoszeń przy użyciu algorytmów działających na danych numerycznych.

- Deinstancjacja - zastąpienie wszystkich indywidualów występujących w ogłoszeniach najbardziej szczegółowymi pojęciami (ze względu na relację generalizacji/specjalizacji), których to instancjami one są. W przypadku ogłoszeń z rynku nieruchomości, deinstancjacja może przede wszystkim dotyczyć nazw miejscowości.
- Kodowanie - zastąpienie wektorów składających się z pojęć, będących wartościami atrybutów, odpowiednimi wektorami numerycznymi przy uwzględnieniu relacji semantycznych występujących pomiędzy pojęciami. Na etapie kodowania może zostać wykorzystane podejście zaproponowane w pracy (A1).

Po etapie deinstancjacji otrzymujemy prosty system informacyjny nad grafami ontologicznymi. Natomiast po etapie kodowania otrzymujemy system informacyjny z numerycznymi wartościami atrybutów, dla którego to mogą zostać użyte algorytmy eksploracji danych działające na danych numerycznych, np. wspomniany algorytm klasteryzacji. Zaproponowana idea wstępnego przetwarzania danych, pozwalającego przekształcić ogłoszenie w postaci tekstowej w obiekt w prostym systemie informacyjnym nad grafami ontologicznymi, została schematycznie przedstawiona na rysunku 8.

6 Inne osiągnięcia naukowe

Całość mojego dorobku naukowo-badawczego obejmuje znacznie więcej publikacji niż te zakwalifikowane do podstawowego osiągnięcia naukowego. Łącznie opublikowane zostało 145 prac. Poza pracą (C18), wszystkie prace napisane zostały w języku angielskim. 119 prac opublikowanych zostało po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w 2006 roku. Poza tym, w dorobku naukowo-badawczym znajdują się dwie pozycje książkowe wydane w wydawnictwie *Springer*, których byłem współedytorem. Zestawienie rodzajów prac umieszczono w tabeli, zaś wykaz prac, z wyłączeniem wcześniej omówionych (A1)-(A9) oraz (B1)-(B2), umieszczono w rozdziałach 6.2, 6.3, 6.4 oraz 6.5. Pominęty został, ze względu na ilość, wykaz prac w materiałach konferencyjnych. Większość prac była efektem projektów naukowo-badawczych, którymi kierowałem lub w których brałem udział jako wykonawca.



Rysunek 8: Idea wstępnego przetwarzania danych pozwalającego przekształcić ogłoszenie w postaci tekstowej w obiekt w prostym systemie informacyjnym nad grafami ontologicznymi.

Zestawienie wszystkich publikacji		
Rodzaj	Liczba prac przed doktoratem	Liczba prac po doktoracie
Artykuły w czasopismach naukowych (w tym z listy JCR)	8 (7)	24 (14)
Redakcja monografii i prac zbiorowych	0	2
Rozdziały w monografiach i pracach zbiorowych	2	13
Artykuły w materiałach konferencyjnych (w tym indeksowane w Web of Science)	16 (7)	80 (34)
Razem	26	119

Aktywność naukowa obejmuje m.in. takie działania jak:

- Czynnny udział w międzynarodowych konferencjach naukowych odbywających się w kraju i za granicą:
 - Bio-inspired Information and Communications Technologies (BICT): 2015,
 - Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC): 2010, 2011, 2012, 2014,
 - Concurrency, Specification and Programming (CS&P): 2002, 2003, 2004, 2006, 2009, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016,
 - Computational Collective Intelligence Technologies and Applications (ICCCI): 2012,
 - Computational Intelligence for Modelling Control and Automation (CIMCA): 2005,
 - Computer Recognition Systems (CORES): 2013,
 - Computer Systems and Applications (AICCSA): 2005,
 - Cybernetic Modeling of Biological Systems (MCSB): 2015,
 - Data Mining (DMIN): 2005,
 - Digital Technologies (DT): 2011, 2013, 2014,

- Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS): 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016,
 - Human System Interaction (HSI): 2008, 2009, 2010, 2011, 2013,
 - Information and Digital Technologies (IDT): 2015, 2016,
 - Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems (IPMU): 2006, 2008,
 - Intelligent Systems Design and Applications (ISDA): 2005, 2010,
 - International Joint Conference on Rough Sets (IJCRS): 2015,
 - Joint Rough Set Symposium (JRS): 2012,
 - Man-Machine Interactions (ICMMI): 2009, 2013,
 - Next Generation Intelligent Medical Decision Support Systems (MedDecSup): 2012,
 - Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular Computing (RSFDGrC): 2005,
 - Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC): 2004, 2008,
 - Rough Sets and Knowledge Technology (RSKT): 2007, 2010, 2011,
 - Rough Sets in Knowledge Discovery Foundations and Applications (RSKD): 2007,
 - Rough Sets in Knowledge Discovery and Soft Computing (RSKD): 2003,
 - Rough Set Theory (RST): 2015,
 - Soft Computing and Distributed Processing (SCDP): 2002,
 - Soft Computing for Knowledge Technology (SCKT): 2008,
 - Systems Science (ICSS): 2010.
- Członkostwo w komitetach programowych międzynarodowych konferencji naukowych:
 - Advanced Machine Learning Technologies and Applications (AMLTA): 2012,
 - Bio-inspired Information and Communications Technologies (BICT): 2015,
 - Bio-inspired Systems and Signal Processing (BIOSIGNALS): 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018,
 - Biomedical Informatics and Biometric Technologies (BT): 2012,
 - Digital Technologies (DT) 2013, 2014,
 - Human System Interaction (HSI): 2009, 2010,
 - Information and Digital Technologies (IDT): 2015,
 - International Joint Conference on Rough Sets (IJCRS): 2015, 2017,
 - Joint Rough Set Symposium (JRS): 2012, 2013,
 - Knowledge Discovery and Information Retrieval (KDIR): 2013, 2014, 2015, 2016, 2017,
 - Physiological Computing Systems (PhyCS) 2014, 2015, 2016, 2017,
 - Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC): 2006, 2010,
 - Rough Sets and Knowledge Technology (RSKT): 2008, 2009, 2010, 2011.
 - Recenzje artykułów dla czasopism naukowych o zasięgu międzynarodowym:
 - Advances in Artificial Neural Systems (Hindawi) - 1 artykuł,
 - Applied Soft Computing (Elsevier) - 24 artykuły,

- Computational Statistics and Data Analysis (Elsevier) - 1 artykuł,
 - Engineering Applications of Artificial Intelligence (Elsevier) - 1 artykuł,
 - Expert Systems with Applications (Elsevier) - 5 artykułów,
 - International Journal of Approximate Reasoning (Elsevier) - 3 artykuły,
 - Information Sciences (Elsevier) - 14 artykułów,
 - Journal of Computer and System Sciences (Elsevier) - 1 artykuł,
 - International Journal of Electrical Power and Energy Systems (Elsevier) - 1 artykuł,
 - Neural Computing and Applications (Springer) - 1 artykuł,
 - Pattern Recognition (Elsevier) - 1 artykuł.
- Członkostwo w organizacjach naukowych:
 - Towarzystwo Naukowe w Rzeszowie, Komisja informatyczna – od 2002 r.
 - International Rough Set Society (IRSS) – od 2009 r.
 - Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication (INSTICC) – od 2014 r.

6.1 Ogólna charakterystyka innych osiągnięć naukowych

Dorobek naukowo-badawczy cechuje różnorodność podejmowanej tematyki, która wpisuje się ogólnie w takie obszary jak eksploracja danych, odkrywanie wiedzy z danych, inteligencja obliczeniowa, ontologie i semantyczne modelowanie danych, komputerowe wspomaganie diagnostyki medycznej, obliczenia niekonwencjonalne. W wielu pracach rozważane są zagadnienia dotyczące wykorzystania metod teorii zbiorów przybliżonych. Do oryginalnych propozycji należą podejścia oparte o tzw. rozszerzenia systemów informacyjnych oraz dynamicznych systemów informacyjnych, jak również podejście wykorzystujące zbiory przybliżone do modelowania niejednoznaczności zachowania się systemów opisywanych przez systemy tranzycyjne.

Wśród głównych tematów badawczych należy wymienić:

- odkrywanie modeli procesów z danych przy wykorzystaniu metod teorii zbiorów przybliżonych (tematyka rozważana głównie w rozprawie doktorskiej) - prace (C01), (C03), (C04), (C05), (C07), (C12), (C13), (C18), (C32), (C33),
- rozszerzenia systemów informacyjnych i dynamicznych systemów informacyjnych w analizie danych (kontynuacja tematyki rozważanej w rozprawie doktorskiej) - prace (C08), (C10), (C19), (C34), (C35),
- komputerowe wspomaganie diagnostyki wybranych chorób krtani w oparciu o sygnał głosowy - prace (C14), (C20), (C21), (C39),
- komputerowe wspomaganie diagnostyki chorób psychicznych w oparciu o dane z testu osobowości MMPI - prace (C11), (C36), (C37), (C40), (C42),
- komputerowe wspomaganie diagnostyki chorób ze spektrum autyzmu w oparciu o dane z arkusza oceny badanych - praca (C26),
- modelowanie i symulacja zachowania się *Physarum polycephalum* w realizacji wybranych obliczeń niekonwencjonalnych przy wykorzystaniu m.in. sieci Petriego, systemów tranzycyjnych, zbiorów przybliżonych - prace (C16), (C17), (C25), (C27), (C43), (C44), (C45),

- wykorzystanie metod uczenia maszynowego w analizie danych ekonomicznych - prace (C15), (C23), (C24).

Wymiernym efektem badań naukowych są m.in. własne realizacje (projekt i implementacja) oprogramowania dla celów naukowo-badawczych:

- ROSECON (ROugh SEts and CONcurrency) - narzędzie wspomagające budowę modeli systemów procesów współbieżnych z tablic danych w oparciu o metody teorii zbiorów przybliżonych.
- CLAPSS (Classification and Prediction Software System) - narzędzie wspomagające rozwiązywanie różnych problemów klasyfikacji i predykcji danych wykorzystujące m.in. własne specjalizowane podejścia bazujące głównie na teorii zbiorów przybliżonych.
- PhysarumSoft - narzędzie programowania i symulacji obliczeń niekonwencjonalnych realizowanych w środowisku *Physarum polycephalum*. W narzędziu zaimplementowano m.in. kompilator własnego obiektowo zorientowanego języka modelowania zachowania się *Physarum polycephalum* przy wykorzystaniu systemów tranzycyjnych oraz sieci Petriego.
- COPERNICUS - narzędzie analizy danych pochodzących z testu osobowości MMPI. W narzędziu zaimplementowano wiele metod inteligencji obliczeniowej, analizy statystycznej oraz wizualizacji danych.

Należy też wspomnieć o współautorstwie oprogramowania LARDISS wspomagającego bezinwazyjną diagnozę wybranych chorób krtani w oparciu o sygnał głosowy.

6.2 Artykuły w czasopismach naukowych z listy JCR

- (C01) Pancierz, K., Suraj, Z.: Synthesis of Petri Net Models: A Rough Set Approach. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 55 (2), IOS Press, Amsterdam, 2003, pp. 149-165.
- (C02) Fryc, B., Pancierz, K., Peters, J.F, Suraj, Z.: On Fuzzy Reasoning Using Matrix Representation of Extended Fuzzy Petri Nets. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 60 (1-4), IOS Press, Amsterdam, 2004, pp. 143-157.
- (C03) Pancierz, K., Suraj, Z.: Discovering Concurrent Models from Data Tables with the ROSECON System. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 60 (1-4), IOS Press, Amsterdam, 2004, pp. 251-268.
- (C04) Pancierz, K., Suraj, Z.: Discovery of Asynchronous Concurrent Models from Experimental Tables. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 61 (2), IOS Press, Amsterdam, 2004, pp. 97-116.
- (C05) Suraj, Z., Pancierz, K.: Restriction-Based Concurrent System Design Using the Rough Set Formalism. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 67 (1-3), IOS Press, Amsterdam, 2005, pp. 233-247.
- (C06) Suraj, Z., Fryc, B., Matusiewicz, Z., Pancierz, K.: A Petri Net System - an Overview. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 71 (1), IOS Press, Amsterdam, 2006, pp. 101-119.
- (C07) Suraj, Z., Pancierz, K.: Reconstruction of Concurrent System Models Described by Decomposed Data Tables. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 71 (1), IOS Press, Amsterdam, 2006, pp. 121-137.
- (C08) Suraj, Z., Pancierz, K.: Towards Efficient Computing Consistent and Partially Consistent Extensions of Information Systems. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 79 (3-4), IOS Press, Amsterdam, 2007, pp. 553-566.

- (C09) Grochowalski, P., Pancierz, K.: The Outline of an Ontology for the Rough Set Theory and its Applications. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 93 (1-3), IOS Press, Amsterdam, 2009, pp. 143-154.
- (C10) Pałasiński, M., Pancierz, K.: On Computing Extensions and Restrictions of Information Systems Noting Some Order Properties. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 101 (1-2), IOS Press, Amsterdam, 2010, pp. 91-103.
- (C11) Gomuła, J., Pancierz, K., Szkoła, J.: Rule-Based Classification of MMPI Data of Patients with Mental Disorders: Experiments with Basic and Extended Profiles. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 4 (5), Atlantis Press, 2011, pp. 1022-1031.
- (C12) Suraj, Z., Pancierz, K.: ROSECON: a Computer Tool for Synthesis and Verification of Concurrent Systems Specified by Information Systems. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 126 (4), IOS Press, Amsterdam, 2013, pp. 335-351.
- (C13) Pancierz, K., Suraj, Z.: A Rough Set Approach to Information Systems Decomposition. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 127 (1-4), IOS Press, Amsterdam, 2013, pp. 257-272.
- (C14) Pancierz, K., Lewicki, A., Tadeusiewicz, R., Warchoń, J.: Ant-Based Clustering in Delta Episode Information Systems Based on Temporal Rough Set Flow Graphs. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 128 (1-2), IOS Press, Amsterdam, 2013, pp. 143-158.
- (C15) Czyżewska, M., Szkoła, J., Pancierz, K.: Towards Assessment of Innovativeness Economy Determinant Correlation: the Double Self-Organizing Feature Map Approach. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 129 (1-2), IOS Press, Amsterdam, 2014, pp. 37-48.
- (C16) Schumann, A., Pancierz, K.: Towards an Object-Oriented Programming Language for Physarum Polycephalum Computing: A Petri Net Model Approach. *Fundamenta Informaticae*, Vol. 133 (2-3), IOS Press, Amsterdam, 2014, pp. 271-285.
- (C17) Pancierz, K., Schumann, A.: Rough Set Models of Physarum Machines. *International Journal of General Systems*, Vol. 44 (3), Taylor & Francis, 2015, pp. 314-325.

6.3 Artykuły w pozostałych czasopismach naukowych

- (C18) Pancierz, K., Suraj, Z.: Automatyczne odkrywanie modeli współbieżnych z danych eksperymentalnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr 199, Matematyka, Zeszyt 26, Oficyna Wyd. PRz, Rzeszów, 2002, ss. 205-226.*
- (C19) Pancierz, K.: Extensions of Information Systems: the Rough Set Perspective. In: J.F. Peters, A. Skowron, M. Chakraborty, W.-Z. Wu, M. Wolski (Eds.), *Transactions on Rough Sets X, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5656, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, pp. 157-168.
- (C20) Szkoła, J., Pancierz, K., Warchoń, J.: Computer Diagnosis of Laryngopathies Based on Temporal Pattern Recognition in Speech Signal. *Bio-Algorithms and Med-Systems*, Vol. 6, No. 12, 2010, pp. 75-80.
- (C21) Szkoła, J., Pancierz, K., Warchoń, J.: Recurrent Neural Networks in Computer-Based Clinical Decision Support for Laryngopathies: An Experimental Study. *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2011, Article ID 289398, 2011.

- (C22) Jaskuła, B., Pancierz, K.: Toward Interactive Computer Systems Based on Eye-tracking Technology Modernizing Didactics of Visual Art Perception. *CYBEREmpathy*, Issue 1, 2012.
- (C23) Burda, A., Pancierz, K.: Clustering and Visualization of Bankruptcy Patterns Using the Self-Organizing Maps. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, Vol. 12 (3), 2014, pp. 133-138.
- (C24) Bielał, J., Kowerski, M., Burda, A., Pancierz, K.: Modelling and Forecasting Cash Withdrawals in the Bank. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, Vol. 13 (4), 2015, pp. 165-177.
- (C25) Schumann, A., Pancierz, K., Szalc, A.: The Swarm Computing Approach to Business Intelligence. *Studia Humana*, Vol. 4, Issue 3, De Gruyter, 2015, pp. 41-50.
- (C26) Pancierz, K., Derkacz, A., Mich, O., Gomuła, J.: Computer-aided analysis of data from evaluation sheets of subjects with autism spectrum disorders. *Bio-Algorithms and Med-Systems*, Vol. 12, Issue 3, De Gruyter, 2016, pp. 109-116.
- (C27) Schumann, A., Pancierz, K.: Logics for Physarum Chips. *Studia Humana*, Vol. 5, Issue 1, De Gruyter, 2016, pp. 16-30.
- (C28) Pancierz, K., Grochowalski, P., Derkacz, A.: Towards the Ontology of Places in Poland: an Example of the Mazowieckie Voivodship. *Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy*, Vol. 14 (3), 2016, pp. 127-134.

6.4 Redakcja monografii i prac zbiorowych

- (C29) Pancierz, K., Zaitseva, E. (Eds.): *Computational Intelligence, Medicine and Biology: Selected Links*. *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 600, Springer International Publishing, Switzerland, 2015.
- (C30) Bris, R., Majernik, J., Pancierz, K., Zaitseva, E. (Eds.): *Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology*. *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 606, Springer International Publishing, Switzerland, 2016.

6.5 Rozdziały w monografiach i pracach zbiorowych

- (C31) Fryc, B., Pancierz, K., Suraj, Z.: On Modelling of Approximate Reasoning Using Fuzzy Petri Nets. In: K. T. Atanassov, O. Hryniewicz, J. Kacprzyk (Eds.), *Soft Computing. Foundations and Theoretical Aspects*, Academic Publishing House EXIT, Warsaw, 2004, pp. 205-219.
- (C32) Pancierz, K., Suraj, Z.: An Application of Rough Set Methods to Concurrent Systems Design. In: P. Grzegorzewski, M. Krawczak, S. Zadrożny (Eds.), *Soft Computing. Tools, Techniques and Applications*, Academic Publishing House EXIT, Warsaw, 2004, pp. 229-244.
- (C33) Pancierz, K., Suraj, Z.: Rough Sets for Discovering Concurrent System Models from Data Tables. In: A.E. Hassanién, Z. Suraj, D. Ślęzak, P. Lingras (Eds.), *Rough Computing. Theories, Technologies and Applications*, Information Science Reference, Hershey, 2008, pp. 239-268.
- (C34) Pancierz, K.: Some Issues on Extensions of Information and Dynamic Information Systems. In: A. Abraham, A.E. Hassanién, V. Snasel (Eds.), *Foundations of Computational Intelligence, Volume 5: Function Approximation and Classification*. *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 205, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, pp. 79-106.

- (C35) Pancierz, K.: Consistency-Based vs. Similarity-Based Prediction Using Extensions of Information Systems – An Experimental Study. In: Hippe, Z.S., Kulikowski, J.L. (Eds.), Human-Computer Systems Interaction. Backgrounds and Applications. Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 60, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009, pp. 67-81.
- (C36) Gomuła, J., Pancierz, K., Szkoła, J.: Analysis of MMPI profiles of patients with mental disorders - the first unveil of a new computer tool. In: Grzech, A., Świątek, P., Brzostowski, K. (Eds.), Applications of Systems Science, Academic Publishing House EXIT, Warsaw, 2010, pp. 297-306.
- (C37) Gomuła, J., Paja, W., Pancierz, K., Szkoła, J.: Rule-Based Analysis of MMPI Data Using the Copernicus System. In: Hippe, Z.S., Kulikowski, J.L., Mroczek, T. (Eds.), Human-Computer Systems Interaction. Backgrounds and Applications 2. Part II. Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 99, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, pp. 191-203.
- (C38) Suraj, Z., Grochowalski, P., Pancierz, K.: Knowledge Representation and Automated Methods of Searching for Information in Bibliographical Data Bases: A Rough Set Approach. In: Skowron, A., Suraj, Z. (Eds.), Rough Sets and Intelligent Systems - Professor Zdzisław Pawlak in Memoriam. Intelligent Systems Reference Library, Vol. 43, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2013, pp. 515-538.
- (C39) Gurdak, D., Pancierz, K., Szkoła, J., Warchol, J.: Computer-Aided Diagnosis of Laryngopathies in the LabVIEW Environment: Exemplary Implementation. In: Kountchev, R., Iantovics, B. (Eds.), Advances in Intelligent Analysis of Medical Data and Decision Support Systems. Studies in Computational Intelligence, Vol. 473, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2013, pp. 157-167.
- (C40) Jachyra, D., Gomuła, J., Pancierz, K.: Rule-Based Classification of Patients Screened with the MMPI Test in the Copernicus System. In: Iantovics, B., Kountchev, R. (Eds.), Advanced Intelligent Computational Technologies and Decision Support Systems. Studies in Computational Intelligence, Vol. 486, Springer International Publishing, Switzerland, 2014, pp. 31-42.
- (C41) Zaitseva, E., Kvassay, M., Levashenko, V., Kostolny, J., Pancierz, K.: Estimation of a Healthcare System based on the Importance Analysis. In: Pancierz, K., Zaitseva, E. (Eds.), Computational Intelligence, Medicine and Biology: Selected Links. Studies in Computational Intelligence, Vol. 600, Springer International Publishing, Switzerland, 2015, pp. 3-22.
- (C42) Pancierz, K., Mich, O., Burda, A., Gomuła, J.: A Tool for Computer-Aided Diagnosis of Psychological Disorders Based on the MMPI Test: An Overview. In: Bris, R., Majernik, J., Pancierz, K., Zaitseva, E. (Eds.), Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology. Studies in Computational Intelligence, Vol. 606, Springer International Publishing, Switzerland, 2016, pp. 201-213.
- (C43) Pancierz, K., Schumann, A.: Some Issues on an Object-Oriented Programming Language for Physarum Machines. In: Bris, R., Majernik, J., Pancierz, K., Zaitseva, E. (Eds.), Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology. Studies in Computational Intelligence, Vol. 606, Springer International Publishing, Switzerland, 2016, pp. 185-199.
- (C44) Schumann, A., Pancierz, K.: p-Adic Computation with Physarum. In: Adamatzky, A. (Ed.), Advances in Physarum Machines: Sensing and Computing with Slime Mould. Emergence, Complexity and Computation, Vol. 21, Springer International Publishing, Switzerland, 2016, pp. 619-649.

- (C45) Pancerz, K., Schumann, A.: Rough Set Description of Strategy Games on Physarum Machines. In: Adamatzky, A. (Ed.), *Advances in Unconventional Computing, Volume 2: Prototypes, Models and Algorithms. Emergence, Complexity and Computation*, Vol. 23, Springer International Publishing, Switzerland, 2017, pp. 615-636.

6.6 Projekty naukowo-badawcze

Jedną z istotnych aktywności naukowych jest udział w realizacji projektów naukowo-badawczych. W zestawieniach projektów zamieszczonych w rozdziałach 6.6.1, 6.6.2 oraz 6.6.3 szczególną uwagę należy zwrócić na udział w międzynarodowym projekcie badawczym finansowanym w ramach 7 Programu Ramowego (FP7) oraz na kierowanie projektem badawczym na szczeblu krajowym, finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (następnie Narodowe Centrum Nauki).

6.6.1 Projekty międzynarodowe

1. Projekt badawczy w ramach 7 Programu Ramowego (FP7): PhyChip (Physarum Chip: Growing Computers from Slime Mould), okres realizacji: lata 2013-2016 (charakter udziału: **wykonawca**).
2. Projekt badawczy nr SK-PL-0023-12 w ramach Polsko-Słowackiego Programu Wykonawczego: Systemy wspomagające podejmowanie decyzji w medycynie (Support systems for medical decision making), okres realizacji: lata 2013-2014 (charakter udziału: **koordynator po stronie polskiej**).

6.6.2 Projekty krajowe

1. Projekt badawczy promotorski Ministerstwa Nauki i Informatyzacji nr 3 T11C 012 28: Zastosowanie zbiorów przybliżonych do identyfikacji modeli systemów współbieżnych, okres realizacji: rok 2005 (charakter udziału: **wykonawca**).
2. Projekt badawczy własny Ministerstwa Nauki i Informatyzacji nr 3 T11C 005 28: Metody automatycznego odkrywania wiedzy z tablic danych oparte na teorii zbiorów przybliżonych i podejściach pokrewnych, okres realizacji: lata 2005–2007 (charakter udziału: **wykonawca**).
3. Projekt badawczy własny Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (następnie Narodowego Centrum Nauki) nr N N516 423938: Inteligentne metody komputerowego wspomagania bezinwazyjnej diagnostyki chorób krtani, okres realizacji: lata 2010-2012 (charakter udziału: **kierownik**).
4. Projekt badawczy własny Narodowego Centrum Nauki nr N N516 482640: Badania nad algorytmami syntezy statycznych obrazów znamion melanocytowych, okres realizacji: lata 2011-2013 (charakter udziału: **wykonawca**).
5. Projekt badawczy własny Narodowego Centrum Nauki nr N N519 654540: Mechanizmy inteligencji roju w zagadnieniach analizy dyskryminacyjnej i analizy skupień, okres realizacji: lata 2011-2014 (charakter udziału: **wykonawca**).

6.6.3 Projekty uczelniane

1. Projekt w ramach wewnętrznego grantu naukowo-badawczego Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie: Metody automatycznego odkrywania wiedzy z danych oparte na teorii zbiorów przybliżonych i podejściach pokrewnych, okres realizacji: lata 2005-2006 (charakter udziału: **wykonawca**).

2. Projekt w ramach wewnętrznego grantu naukowo-badawczego Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie: Nowe podejścia wspomagające klasyfikację i predykcję danych oparte na metodach odkrywania wiedzy z danych, okres realizacji: lata 2007-2008 (charakter udziału: **kierownik**).
3. Projekt w ramach wewnętrznego grantu naukowo-badawczego Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie: Inteligentne metody komputerowego wspomagania diagnostyki chorób psychicznych bazującej na testach osobowości, okres realizacji: lata 2010-2012 (charakter udziału: **kierownik**).

6.7 Organizacja międzynarodowych konferencji naukowych i sesji specjalnych

Przejawem aktywności organizacyjnej w obszarze nauki jest m.in. organizacja konferencji naukowych. Byłem współorganizatorem następujących międzynarodowych konferencji naukowych oraz sesji specjalnych:

- International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2011) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2011), Szczecin, Poland, September 18-21, 2011 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- Rough Sets and Knowledge Technology (RSKT'2011), Banff, Canada, October 9-12, 2011 – współorganizator sesji specjalnej: *Rough Sets in Process Mining: Theory, Technologies and Applications*.
- International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2012) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2012), Wrocław, Poland, September 9-12, 2012 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2013) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2013), Kraków, Poland, September 8-11, 2013 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2014) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2014), Warsaw, Poland, September 7-10, 2014 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- 1st International Workshop on Biological, Chemical and Physical Computations (BCPC'2015) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2015), Lodz, Poland, September 13-16, 2015 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- 5th International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2015) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2015), Lodz, Poland, September 13-16, 2015 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- 6th International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA'2016) w ramach Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS'2016), Gdansk, Poland, September 11-14, 2016 – główny współorganizator (**Event Chair**).
- The International Conference on Information and Digital Technologies (IDT'2016), July 5-7, 2016, Rzeszów, Poland – główny współorganizator (**Co-chair**).

Na szczególną uwagę zasługuje fakt cyklicznej organizacji konferencji pt. International Workshop on Artificial Intelligence in Medical Applications (AIMA). Do tej pory odbyło się już sześć edycji tej konferencji. W bieżącym roku planowana jest organizacja siódmej edycji.

7 Dane bibliometryczne

Poniżej zestawiono dane bibliometryczne dostępne w ogólnosiwiatowych bazach bibliograficznych.

- Web of Science:
 - indeks Hirsha: 6,
 - liczba indeksowanych publikacji: 69,
 - sumaryczna liczba cytowań (bez autocytowań): 70,
 - liczba cytowanych publikacji (bez autocytowań): 60.
- Scopus:
 - indeks Hirsha: 5 (bez autocytowań),
 - liczba indeksowanych publikacji: 100,
 - sumaryczna liczba cytowań (bez autocytowań): 77.
- IEEE Xplore Digital Library:
 - liczba indeksowanych publikacji: 24.
- DBLP:
 - liczba indeksowanych publikacji: 97.
- Google Scholar:
 - indeks Hirsha: 13,
 - liczba indeksowanych publikacji: 135.

8 Działalność dydaktyczna

W pracy dydaktycznej prowadziłem wiele różnych przedmiotów w formie wykładów, ćwiczeń, laboratoriów i projektów, zarówno na studiach I i II stopnia jak i na studiach podyplomowych. Większość prowadzonych przeze mnie przedmiotów dotyczyła obszaru programowania komputerów. Byłem promotorem prac magisterskich, inżynierskich i licencjackich. Byłem autorem programów i kierownikiem studiów podyplomowych *Informatyka dla nauczycieli* oraz *Technologie internetowe* prowadzonych w Wyższej Szkole Zarządzania i Administracji w Zamościu. Część zajęć prowadzona była z wykorzystaniem nowatorskich metod w formie interaktywnej na odległość w ramach tzw. *Akademii w chmurze*.

Aktywność dydaktyczna obejmuje również takie działania jak:

- Współautorstwo skryptu akademickiego:
 - Pancierz, K., Szkoła, J.: Środowisko MATLAB w obliczeniach numerycznych, analizie sygnałów oraz przetwarzaniu obrazów. Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, s. 164, 2011, ISBN 978-83-60583-76-0.
- Koordynowanie (w latach 2009-2010) projektu *Informatyka - kompetencje dla rozwoju* realizowanego w Wyższej Szkole Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie w ramach programu POKL (Poddziałanie 4.1.2: Zwiększenie liczby absolwentów kierunków o kluczowym znaczeniu dla gospodarki opartej na wiedzy - tzw. *kierunki zamawiane*).

- Wyjazdy w ramach programu ERASMUS:
 - Dania, Business Academy WEST, Esbjerg Handelsskole, 2008.
 - Dania, Roskilde Handelsskole, 2009.
 - Portugalia, Polytechnic Institute of Guarda, 2011.
 - Litwa, Vilnius Business College, 2012.
 - Turcja, Yasar University, 2013.
 - Portugalia, Polytechnic Institute of Santarem, 2013.
- Wykład w ramach 5th Education and Technology PhD Summer School, Linz, Austria, 2012.

9 Działalność organizacyjna

Pracując na Uczelniach pełniłem kilka ważnych funkcji kierowniczych. Na szczególną uwagę zasługuje pełnienie funkcji Rektora Wyższej Szkoły Zarządzania i Administracji w Zamościu. Poniżej zestawiono ważniejsze funkcje kierownicze.

2008-2009 Prodzikan Wydziału Administracyjno-Informatycznego Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie.

2008-2011 Zastępca dyrektora Instytutu Informatyki Biomedycznej, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie.

2011-2013 Dyrektor Instytutu Informatyki Biomedycznej, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie.

2013-2015 Prorektor, a następnie Rektor, Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Zamościu.

Krzysztof Pancerz