

## Elżbieta Hajnicz

### Autoreferat

#### 3. Wykształcenie — posiadane dyplomy

06.1981 VI Liceum Ogólnokształcące im. Tadeusza Reytana w Warszawie

Świadectwo maturalne w klasie matematyczno-fizycznej ze średnią ocen 4,86 (przy maksymalnej 5,0).

17.09.1986 Uniwersytet Warszawski, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki

Dyplom ukończenia studiów magisterskich w zakresie **informatyki** specjalność **oprogramowanie i metody informatyki** z wynikiem bardzo dobrym

Praca magisterska pt. *Logika temporalna. System wnioskowania o zależnościach czasowych między zdarzeniami* napisana pod kierunkiem prof. dr. hab. Leonarda Bolca.

19.11.1992 Instytut Podstaw Informatyki Polskiej Akademii Nauk

Dyplom uzyskania stopnia doktora nauk matematycznych uzyskany na podstawie rozprawy doktorskiej *Reprezentacja i opis formalny struktur czasu nieliniowego na potrzeby sztucznej inteligencji* napisanej pod kierunkiem prof. dr. hab. Leonarda Bolca.

#### 4. Zatrudnienie

Od 10.1986 Instytut Podstaw Informatyki PAN

— 10.1986–06.1986 zatrudnienie na stanowisku stażysty w wymiarze pełnego etatu,

— 07.1986–06.1989 zatrudnienie na stanowisku asystenta w wymiarze pełnego etatu,

— 07.1989–02.1993 zatrudnienie na stanowisku starszego asystenta w wymiarze pełnego etatu,

— 03.1993–10.2006 zatrudnienie na stanowisku adiunkta w wymiarze pełnego etatu,

— 10.2006– zatrudnienie na stanowisku starszego specjalisty

(10.2006–09.2007 w wymiarze pełnego etatu, 10.2007–02.2011 w wymiarze 3/4 etatu i od 03.2011 ponownie w wymiarze pełnego etatu).

#### 5. Podstawowe osiągnięcie

Jako podstawowe osiągnięcie przedkładam pracę

Hajnicz, E. (2011) *Automatyczne tworzenie semantycznych słowników walencyjnych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa

Dziedzina, którą się zajmuję, czyli *przetwarzanie języka naturalnego*, wymaga istnienia rozbudowanych zasobów językowych stanowiących podstawę przetwarzania danych językowych. W szczególności, przeprowadzenie analizy semantycznej w jakimkolwiek ze znanych formalizmów (por. poniższy punkt 6.2) wymaga znajomości ograniczeń narzucanych przez poszczególne występujące w zdaniach predykaty, przede wszystkim czasowniki, na ich argumenty. Określenie takich zależności, zwanych

walencyjnymi, należy do zadań semantyki leksykalnej. Istniejące słowniki walencyjne czasowników polskich (Polański, 1980–1992; Świdziński, 1994; Vetulani, 2000, 2004; Mędak, 2005) jedynie w ograniczonym stopniu, o ile w ogóle, zawierają informację semantyczną. Stworzenie semantycznego słownika walencyjnego stało się więc warunkiem *sine qua non* rzeczywistej analizy semantycznej wypowiedzi polskich.

Opracowanie metody automatycznego tworzenia semantycznego słownika walencyjnego czasowników polskich stało się tematem moich badań zawartych w przedstawianym przeze mnie osiągnięciu. Jest ono w przeważającym zakresie wynikiem prowadzonego przeze mnie w latach 2007–2009 projektu habilitacyjnego nr NN516 0165 33 *Automatyczne wykrywanie zależności semantycznych w strukturze argumentowej czasowników w dużych korpusach tekstów anotowanych syntaktycznie*.

Automatyczne tworzenie, a przynajmniej wspomaganie ręcznego opracowywania zasobów lingwistycznych (np. słowników) ma wiele zalet. Przede wszystkim opiera się ono na aktualnym, szerokim (głównie w wypadku zasobów ogólnojęzykowych) i adekwatnym (głównie w wypadku zasobów dedykowanych pojedynczym zastosowaniom dotyczącym języka specjalistycznego) materiale językowym. Zapobiega to pominięciu istotnych haseł słownikowych i umożliwia dodanie informacji o frekwencji, bardzo przydatnej w przetwarzaniu języka naturalnego. W pełni automatyczne tworzenie zasobów jest też znacznie szybsze od ręcznego. Automatyczne wspomaganie prac ręcznych także znacznie je ułatwia i przyspiesza, zmniejsza ryzyko popełnienia błędu przez leksykografów oraz harmonizuje pracę dużych zespołów ludzkich. Istnienie narzędzi do automatycznego tworzenia zasobów także ułatwia ich korektę, modyfikację i aktualizację.

Zaproponowana przeze mnie metoda automatycznego tworzenia semantycznego słownika walencyjnego składa się z pięciu etapów:

1. oznakowanie korpusu (banku drzew składniowych) znaczeniami (sensami) występujących w nim wyrazów;
2. wydobywanie z oznakowanego korpusu ram syntaktyczno-semantycznych czasowników będących predykatami zdań składających się na korpus.
3. agregacja uzyskanych ram syntaktyczno-semantycznych;
4. wykrycie alternacji pomiędzy schematami syntaktycznymi poszczególnych czasowników;
5. określenie czysto semantycznych ram czasowników i powiązanie ich z realizującymi je schematami syntaktycznymi.

Na powyższej liście nie zostało uwzględnione wydobywanie z banku drzew schematów syntaktycznych czasowników, czyli tworzenie syntaktycznego słownika walencyjnego, gdyż zadanie takie zostało już zrealizowane (Dębowski i Woliński, 2007; Dębowski, 2009; Fast i Przepiórkowski, 2005; Przepiórkowski, 2006, 2007, 2009, 2008, rozdz. 10).

Znakowanie korpusu sensami występujących w nim wyrazów, czyli ujednoznacznianie znaczenia wyrazów (ang. *word sense disambiguation*, WSD), jest odrębną dziedziną przetwarzania języka naturalnego i w zasadzie do procesu tworzenia słownika walencyjnego nie należy. Jednak zadanie to narzuca specjalne wymagania na oznakowany semantycznie bank drzew: oznakowane muszą zostać wszystkie (a przynajmniej dostatecznie liczne) wyrazy będące centrami fraz stanowiących argumenty czasowników, które mają być umieszczone w słowniku. Wszystkie zaproponowane dotychczas dla języka polskiego podejścia do WSD (Baś *et al.*, 2008; Broda i Piasecki, 2009, 2011; Kobyliński, 2011; Młodzki i Przepiórkowski, 2009) wymagają trenowania klasyfikatora dla każdego wyrazu oddzielnie, nie spełniają więc tego wymagania. WSD jest jednak dziedziną szeroką, wśród istniejących rozwiązań są też takie, które nie posiadają takiego ograniczenia. Przede wszystkim dotyczy to podejść *opartych na wiedzy* (ang. *knowledge-based*, np. Lesk, 1986; Galley i McKeon, 2003; Patwardhan *et al.*, 2003; Erkan i Radev, 2004; Mihalcea, 2005). Wśród nich należy wyróżnić metody wykorzystujące pojęcie preferencji selekcyjnych (ang. *selectional preferences*) predykatu względem jego argumentów (Resnik, 1997; Agirre i Martinez, 2001). Zaproponowane przeze mnie rozwiązanie należy do grupy podejść opartych na preferencjach selekcyjnych. Metoda ta jest adaptacją algorytmu selekcji EM (ang. *EM selection algorithm*) zaproponowanego przez Dębowskiego (2009) do wyznaczania schematu syntaktycz-

nego zdania. Repertuar sensów znakowanych rzeczowników pochodził z polskiego wordnetu zwanego *Słowsięcią* (Piasecki *et al.*, 2009). Metoda została zaprezentowana środowisku międzynarodowemu w (Hajnicz, 2009d) dla znakowania kategoriami semantycznymi i w (Hajnicz, 2009b, 2011a) dla znakowania faktycznymi synsetami wordnetowymi. W tym ostatnim przypadku istotne jest dopuszczenie hiperonimów<sup>1</sup> do reprezentacji znaczenia wyrazów, co we wspomnianych wcześniej rozwiązaniach nie ma miejsca.<sup>2</sup>

Bank drzew z centrami semantycznymi fraz oznakowanymi sensami stanowi podstawę do utworzenia syntaktyczno-semantycznego słownika walencyjnego, w którym każde wymaganie syntaktyczne opatrzone jest sensem, z jakim dany argument może być realizowany w rzeczywistych wypowiedzeniach. Nie są to rzecz jasna sensy poszczególnych występujących w korpusie wyrazów, lecz ich dostatecznie ogólne hiperonimy. Każda uzyskana w ten sposób rama syntaktyczno-semantyczna opatrzona jest frekwencją w banku drzew. Proces ekstrakcji ram komplikuje zjawisko elipsy argumentów oraz występowanie zaimków w wypowiedzeniach z jednej strony, a z drugiej zaszumienie danych będących wynikiem automatycznej analizy składniowej i automatycznego znakowania semantycznego. Poziom zaszumienia można zmniejszać filtrując uzyskany zestaw ram, lecz grozi to odrzuceniem rzadko występujących ram poprawnych (Hajnicz, 2009c).

Uzyskany w powyższy sposób syntaktyczno-semantyczny słownik walencyjny jest nadmiernie rozproszony, i jednemu znaczeniu czasownika przypisane jest wiele haseł w zależności od stopnia rozdrobnienia sensów jego argumentów. Przeciwdziałaniu takiemu stanowi rzeczy służy agregacja słownika. Idea agregacji polega na obserwacji, że argumenty wystąpień czasownika w tym samym znaczeniu powinny być zbliżone semantycznie. Podstawą agregacji jest więc zdefiniowanie relacji podobieństwa pomiędzy sensami (kategoriami semantycznymi bądź synsetami szczytowymi (ang. *top synsets*); podobieństwo pozostałych synsetów wyznacza położenie w hierarchii hiperonimii). Podjęte zostały próby automatycznego wyznaczania takiej relacji podobieństwa (Hajnicz i Wiech, 2008), jednak okazały się niesatysfakcjonujące. Dlatego zdecydowałam się na ręczne opracowanie takiej relacji (Hajnicz, 2009e). Agregacja przy użyciu opracowanej relacji podobieństwa sensów dokonana została za pomocą dwóch algorytmów analizy skupień (ang. *clustering algorithms*). Pierwszym z nich był prosty algorytm aglomeracyjny wykorzystujący informację o frekwencji agregowanych ram, a drugim algorytm grafowy minimalnych drzew rozpinających (ang. *minimal spanning trees*, Zahn, 1971). Wyniki agregacji zostały zaprezentowane na międzynarodowym workshopie *Verbs* (Hajnicz, 2010).

Kolejny etap pracy stanowiło wykrycie alternacji schematów czasowników. Alternacja jest to „regularna wariantywność w syntaktycznym uzewnętrznieniu argumentów czasownikowych” (Levin i Rappaport Hovav, 2005), czyli możliwość wyrażania tej samej treści za pomocą odrębnych konstrukcji składniowych (np. *Chłopak posłał książkę koledze / do kolegi*).

Agregacja ram syntaktyczno-semantycznych jest moją własną koncepcją, gdyż nigdzie w literaturze nie spotkałam się z taką procedurą. Jest tak prawdopodobnie dlatego, że wordnet angielski jest silnie powiązany (ma jedynie 11 synsetów szczytowych), w przeciwieństwie do *Słowsięci* (340 synsetów szczytowych, które udało mi się zredukować do 75). Natomiast wykrywanie alternacji schematów syntaktycznych czasowników jest zadaniem bardzo popularnym i często opisywanym (Lapata, 1999; Merlo i Stevenson, 2001; Joanis *et al.*, 2008). Wśród nich warto wyróżnić metody wykorzystujące preferencje selekcyjne (Resnik, 1993; McCarthy, 2000, 2001). W swoich badaniach dokonałam adaptacji zaproponowanej przez McCarthy metody polegającej na porównaniu rozkładów prawdopodobieństwa preferencji selekcyjnych alternujących argumentów czasownika: im bardziej rozkłady są podobne, tym wyższe prawdopodobieństwo zajścia alternacji (Hajnicz, 2011c). Adaptacja ta zawierała dwa istotne rozszerzenia. Po pierwsze, uwzględniłam preferencje selekcyjne czasownika względem wszystkich argumentów występujących w obu schematach, a nie tylko tych bezpośrednio uczestniczących w alternacji.

<sup>1</sup> Hiperonimem wyrazu jest inny wyraz będący uogólnieniem jego znaczenia, np. *człowiek* jest hiperonimem *kobiety*, która jest z kolei hiperonimem *pielęgniarki*. Relację łączącą te wyrazy nazywamy hiperonimią.

<sup>2</sup> Z punktu widzenia tworzenia słownika walencyjnego, w zdaniu *Pielęgniarka napisała list*, istotne jest jedynie, że piszącym podmiotem jest *człowiek*.

Po drugie, McCarthy przeprowadzała eksperymenty dla równej liczby czasowników uczestniczących i nie uczestniczących w alternacji. Ograniczenie to uniemożliwia zastosowanie metody do rzeczywistej oceny, czy dany czasownik uczestniczy w alternacji, gdyż proporcja taka nie jest wówczas znana, a jej wartość jest różna dla odmiennych alternacji. W moim podejściu zaproponowałam oszacowanie proporcji pomiędzy parami schematów czasowników uczestniczących i nie uczestniczących w alternacji za pomocą danych treningowych.

Zachodzenie alternacji może być zaznaczane w słowniku walencyjnym o budowie syntaktyczno-semantycznej. Takie rozwiązanie przyjęto na przykład w czeskim VALLEKSIE (Žabokrský i Lopatková, 2007). Moim celem było jednak stworzenie słownika, w którym walencja semantyczna oddzielona jest od jej możliwych realizacji składniowych (adekwatnych schematów syntaktycznych), tak jak np. w PropBanku (Kingsbury i Palmer, 2002; Kingsbury *et al.*, 2002). Dlatego zaproponowałam metodę wykorzystania alternacji do pogrupowania wiązanych przez nie schematów (Hajnicz, 2011b) z wyznaczeniem i porangowaniem występujących w nich wymagań (argumentów). Hasło ostatecznego semantycznego słownika walencyjnego stanowi więc lista argumentów semantycznych wraz z ich preferencjami selekcyjnymi (opatrzonymi frekwencjami uzyskanymi z danych korpusowych użytych w procesie tworzenia słownika) wyznaczająca pojedyncze znaczenie czasownika. Każde hasło powiązane jest z listą schematów, za pomocą których czasownik w tym znaczeniu może być realizowany na powierzchni, wraz ze spójnym porangowaniem argumentów.

Cały proces został zweryfikowany za pomocą serii eksperymentów przeprowadzonych na jednym, niewielkim zestawie danych. Ze względu na statystyczny charakter większości przeprowadzanych operacji wystąpiło zjawisko kumulacji błędów mające negatywny wpływ na uzyskiwane wyniki. Jednak każda z zastosowanych metod może być wykorzystana do wspomaganie ręcznego tworzenia zasobów przez specjalistów leksykografów (choćby ręcznej weryfikacji wyników uzyskanych automatycznie). Wykorzystanie na wejściu kolejnych etapów zasobów poddanych weryfikacji pozwala uniknąć tej niedoskonałości.

## 6. Pozostałe osiągnięcia

Całą moją dotychczasową działalność naukową można podzielić na dwa okresy. W pierwszym okresie zajmowałam się logikami temporalnymi, a konkretniej rzecz ujmując logicznym opisem struktur czasu pod kątem reprezentacji wiedzy zmieniającej się w czasie. W drugim okresie zajmowałam się semantycznymi aspektami przetwarzania języka naturalnego.

### 6.1.

Tematyką formalizmów temporalnych zainteresowałam się już pod koniec studiów, uczestnicząc w seminarium *Systemy wyszukiwania informacji*<sup>3</sup> prowadzonym przez prof. L. Bolca, u którego pisałam pracę magisterską (Hajnicz, 1986).

Logiki temporalne swój rozwój zawdzięczają szerokiemu zastosowaniu w dziedzinie weryfikacji programów komputerowych (np. Pnueli, 1977), przede wszystkim działających współbieżnie (np. Pnueli, 1979; Gabbay *et al.*, 1980; Manna i Pnueli, 1981; Pnueli, 1981; Clarke *et al.*, 1986; Manna i Pnueli, 1992). Mają one także szereg innych zastosowań, np. w planowaniu (np. Fikes i Nilsson, 1977; Sacerdoti, 1977; Morgenstern, 1987; Hayes, 1989). Moje zainteresowania badawcze skupiały się jednak na formalizmach temporalnych służących do reprezentacji wiedzy codziennej (ang. *common knowledge*) (np. McCarthy i Hayes, 1969; Forbus, 1984), w tym formułowanej w języku naturalnym (np. Reichenbach, 1966; Partee, 1984; Dowty, 1986; Moens i Steedman, 1988).

Prace dotyczące formalizmów temporalnych można podzielić na trzy sposoby. Po pierwsze, pod kątem rodzaju samego formalizmu. Zależności czasowe można reprezentować w logikach klasycznych

<sup>3</sup> Nie było to seminarium magisterskie *sensu stricto*, gdyż taki podział formalny seminariów wówczas na Wydziale Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego nie funkcjonował.

(np. I rzędu), w których zmienna czasowa reprezentowana jest bezpośrednio (np. McDermott, 1982; van Benthem, 1983; Allen, 1984; Allen i Hayes, 1985; Artale i Franconi, 1994). Można je też reprezentować w logikach modalnych, w których zmienna czasowa nie pojawia się bezpośrednio, lecz jest reprezentowana za pomocą operatorów temporalnych (np. Prior, 1967; Rescher i Urquhard, 1971; Burgess, 1982a,b; van Benthem, 1983; Halpern i Shoham, 1991; Crouch i Pulman, 1993; Goranko, 1995). Typowe takie operatory to możliwe w przyszłości F, konieczne w przyszłości G, możliwe w przeszłości P oraz konieczne w przeszłości H. Po drugie, pod kątem rozważanych jednostek czasu. Typowe jednostki to punkty (np. Prior, 1967; Rescher i Urquhard, 1971; McDermott, 1982; Goranko, 1995) i przedziały (np. Burgess, 1982b; van Benthem, 1983; Allen, 1984; Forbus, 1984; Allen i Hayes, 1985; Halpern i Shoham, 1991; Crouch i Pulman, 1993; Artale i Franconi, 1994) czasu, choć istnieją formalizmy, w których podstawowymi jednostkami są zdarzenia (np. Kamp, 1980; Kowalski i Sergot, 1986; Lansky, 1986).

Po trzecie wreszcie, prace mogą skupiać się na opisie samej struktury czasu i jej formalnej charakteryzacji (np. van Benthem, 1983; Allen i Hayes, 1985; Ladkin, 1986, 1987; Tsang, 1987) bądź też na sposobie reprezentacji zależności czasowych w określonej strukturze czasu (np. McCarthy i Hayes, 1969; McDermott, 1982; Allen, 1984). Kwestie te nie są rzecz jasna od siebie niezależne.

W zastosowaniach związanych z reprezentacją wiedzy niejednokrotnie przyjmuje się, że podstawową jednostką czasu jest przedział. Wynika to z faktu, że wszelkie działania ludzkie trwają (zajmują czas) i mogą zostać rozłożone na drobniejsze fragmenty. Istnienie elementów niepodzielnych jest kwestią umowną i zależy od przyjętego poziomu granulacji. W szczególności, Hayes i Allen (1987) wprowadzili pojęcie *momentu czasu*, będącego niepodzielnym przedziałem, a nie punktem czasu.

W moich pracach zajmowałam się głównie strukturami czasu przedziałowego. Punktem wyjścia była algebra relacyjna czasu przedziałowego Allena (1983), oparta na 13 rozłącznych relacjach prymitywnych (poprzedza, spotyka, zachodzi na itd.) wraz z algorytmem propagacji będącym podejściem do algebr relacyjnych jako do przypadku problemu spełnialności więzów (ang. *constraints satisfaction problem*). Podstawą algorytmu jest operacja składania relacji, definiowana dla relacji prymitywnych, lecz dająca się rozszerzyć na dowolne relacje między przedziałami. Istnieje też prostsza wersja tej algebry (3 relacje prymitywne) dla czasu punktowego (Vilain i Kautz, 1986).

Adaptacji algorytmu Allena (Hajnicz, 1986, 1987) dokonałam pod kątem reprezentacji wiedzy temporalnej w systemie z dostępem w języku polskim tworzonym wówczas w Zespole Komunikacji Człowiek-Komputer IPI PAN (Hajnicz i Pilitowski, 1989; Dobryjanowicz *et al.*, 1991). Zastosowanie to wymogło rozbudowę algebry o daty bezwzględne i względne (Hajnicz, 1988, 1989a) oraz o odniesienia względem teraźniejszości (Hajnicz, 1990). Daty bezwzględne są to zwykłe daty kalendarzowe. Natomiast daty względne służą do reprezentowania takich wyrażań języka naturalnego jak *trzy dni po* czy *dwie godziny wcześniej*. W szczególności, dotyczy to zwrotów odwołujących się do teraźniejszości, np. *Miesiąc temu, jutro, w przyszłym roku*. Algorytm Allena umożliwia reprezentowanie informacji niepełnej i własność ta przenosi się na daty, co umożliwia reprezentowanie zwrotów typu *od 1 do 5 września, we wtorek lub piątek, za 2 do 4 dni*.

Algorytm Allena został przeze mnie sformalizowany (Hajnicz, 1989b, 1991a) względem struktury czasu punktowego  $\mathcal{T} = \langle T, < \rangle$  oraz przedziałowego  $\mathcal{I} = \langle I, <, \subseteq \rangle$  zgodnie z aksjomatyzacją w rachunku predykatów I rzędu przedstawioną przez van Benthema (1983). Formalizacja ta obejmowała daty bezwzględne i względne (Hajnicz, 1991b).

Allen sformułował swoją algebrę przy założeniu, że czas stanowi porządek liniowy, czyli istnieje zarówno jedna przeszłość, jak i jedna przyszłość. W wielu zastosowaniach logik temporalnych takie ograniczenie jest jednak nadmierne. Na przykład w dziedzinie weryfikacji programów komputerowych instrukcje wyboru umożliwiają ich alternatywne realizacje zależne od konkretnych wartości danych, czyli istnienie wielu ścieżek. Oznacza to nieustaloną przyszłość, czyli porządek lewostronnie liniowy. Programowanie współbieżne dodatkowo komplikuje sytuację, sprowadzając problem do ogólnego porządku częściowego.

Także w zakresie reprezentacji wiedzy liniowe uporządkowanie czasu nie jest wystarczające. Wynika to z niepełności wiedzy o świecie, jaką dysponuje system. Dotyczy to zarówno planowania (por.

McDermott, 1982), jak i systemów dialogowych. I nie chodzi tu o nieznaną kolejność występowania poszczególnych zdarzeń, co jest podstawą algorytmu Allena, ale o możliwość reprezentacji różnych toków zdarzeń, w których występują odmienne zdarzenia wymagające innych działań. Na przykład w tak prostym przypadku jak podawanie połączeń komunikacji miejskiej może istnieć kilka sposobów dotarcia z punktu A do punktu B, a ich optymalność może zależeć od preferencji klienta.

Przeciwstawienie znanej przeszłości nieznanej, niepewnej przyszłości prowadzi do wizji czasu jako porządku lewostronnie liniowego. Ale niepełność ludzkiej wiedzy (nie mówiąc już o danych znajdujących się w dyspozycji systemów reprezentacji wiedzy) dotyczy także faktów przeszłych, co powoduje konieczność zwrócenia się do porządku częściowego.

W moich pracach skupiłam się więc na rozszerzeniu algorytmu Allena na przypadek (przedziałowego) czasu nieliniowego. W tym celu do zestawu relacji prymitywnych dodałam relację wykluczającą mającą wskazywać, że dane dwa zdarzenia występują na różnych osiach czasu. Moim zadaniem było z jednej strony opracować operację składania relacji dla tak rozszerzonego zestawu relacji prymitywnych, a z drugiej strony sformułować aksjomatyzację nieliniowego czasu przedziałowego, na podstawie której można poddać weryfikacji poprawność operacji składania relacji.

Prace nad aksjomatyzacją wymagały zastanowienia się nad samym pojęciem przedziału czasu. Termin *przedział* sugeruje wypukły zbiór punktów, o jednoznacznie wyznaczonym początku i końcu, najlepiej liniowo uporządkowany (własność tę nazwałam *normalnością* przedziału). Jednak w strukturze  $\mathcal{J}$  w ogóle nie ma punktów; przedziały są pojęciami pierwotnymi. Wszystkie powyższe własności muszą być zdefiniowane za pomocą relacji pomiędzy przedziałami. Wszystkie też mogą zostać zakwestionowane.

Istnieją podejścia wykorzystujące przedziały niewypukłe (np. Ladkin, 1986), jednak w moich pracach takowymi się nie zajmowałam. W czasie liniowym wszystkie przedziały są z definicji normalne. W czasie lewostronnie liniowym jednoznaczne ustalenie początku i końca przedziału oraz jego normalność wzajemnie się warunkują, zaś w czasie uporządkowanym częściowo normalność podprzedziału narzuca jeden porządek i koniec, ale nie odwrotnie. W moich pracach zajmowałam się przedziałami normalnymi, ale się do nich nie ograniczałam. Na przykład przedział, w którym reprezentowane miałyby być dotarcie z punktu A do punktu B na wszystkie dostępne sposoby nie spełnia warunku normalności. Jako że idea przedziału nieposiadającego jednoznacznych końców jest jeszcze mniej oczywista, pozwolę sobie przedstawić ją na bardziej złożonym przykładzie. Rozważmy zdarzenie wspinaczki na skałę. Podstawowy jego przebieg jest liniowy: alpinista wspina się na sam szczyt, chwilę odpoczywa, a następnie schodzi na dół. Ale wydarzenie to może mieć też inny przebieg. Może zacząć padać deszcz, co zmusi alpinistę do zawrócenia w połowie drogi. Może też zdarzyć się nieszczęście, w wyniku którego alpinista spadnie ze skały. Zdarzenie takie ma więc jeden początek, ale trzy przebiegi (trzy gałęzie czasu) i trzy zakończenia.

Analiza takich zdarzeń doprowadziła mnie do sformułowania nowej własności przedziałów czasu, którą nazwałam *solidnością*. Opisuje ona zachowanie przedziałów w obszarze rozgałęziania się czasu i w przypadku liniowym spełniona jest w sposób trywialny. Mówi ona, że przedziały czasu muszą posiadać zakończenie na wszystkich gałęziach znajdujących się w obszarze ich występowania, nie może bowiem być tak, że na jednej gałęzi przedział „urywa się” bez przyczyny, tzn. zdarzenie zachodzące w tym przedziale nie ma w tym kursie zdarzeń momentu kulminacyjnego. Wszystkie podprzedziały leżące na wspólnej gałęzi przed rozgałęzieniem należą bowiem do obu ścieżek czasu. Wracając do naszego przykładu, nawet jeśli wspinaczka zostanie przerwana nagłym upadkiem, upadek ten musi być reprezentowany, na początku odrębnej gałęzi. Upadek też zajmuje czas, jak każde inne zdarzenie. Warto podkreślić, że reprezentacja tranzycyjna (np. logika dynamiczna; ang. *dynamic logic*), w której w strukturze czasu reprezentowane są jedynie stany (zbiory własności), a zdarzenia stanowią funkcje przejść pomiędzy stanami (np. Pinto-Ferreira i Martins, 1990; Lamport, 1991; Bonner i Kifer, 1994; Harel *et al.*, 2000) to całkowicie odmienne podejście, w którym własność solidności przedziałów czasu nie ma zastosowania.

Omówione badania były podstawą mojej pracy doktorskiej (Hajnicz, 1991c). Przedstawiłam w niej

aksjomatyzację czterech struktur czasu przedziałowego, lewostronnie liniowego i częściowo uporządkowanego z jednej strony oraz zawierający przedziały normalne bądź nie. We wszystkich wypadkach wymagana była solidność przedziałów. Dla tych czterech struktur sformułowana została operacja składowania relacji prymitywnych między przedziałami oraz udowodniona została jej poprawność. Kwestie związane z aksjomatyzacją struktur czasu, przede wszystkim własność solidności, zostały dokładniej omówione w (Hajnicz, 1995b), zaś modyfikacja algorytmu Allena — w (Hajnicz, 1996a).

Poza „klasycznym” opisem czasu przedziałowego za pomocą relacji poprzedzania  $<$  i zawierania  $\subseteq$  (struktura  $\mathcal{J} = \langle I, <, \subseteq \rangle$ ) istnieją też inne. Kamp (1980) posługuje się relacją nierozłączności przedziałów  $\mathcal{O}$  w miejsce relacji zawierania (struktura  $\mathcal{G} = \langle G, <, \mathcal{O} \rangle$ ), zaś Allen i Hayes (1985) ograniczają się do relacji stykania się przedziałów  $\parallel$  (struktura  $\mathcal{J} = \langle J, \parallel \rangle$ ). Tsang (1987) rozbudował aksjomatyzację Kampa w celu porównania jej z formalizacją Allena i Hayesa. W (Hajnicz, 1995a) dokonałam porównania wszystkich trzech formalizacji poprzez dokonanie translacji struktur  $\mathcal{G}$  i  $\mathcal{J}$  na  $\mathcal{J}$  i *vice versa*. Wykazałam przy tym, że ograniczenie się Allena i Hayesa do pojedynczej relacji  $\parallel$  uniemożliwia analizę wewnętrznej budowy przedziału, czyli odróżnienie przedziałów wypukłych od niewypukłych. Innymi słowy, teorię tę analizować (i porównywać z innymi) można jedynie w klasie przedziałów wypukłych.

W (Hajnicz, 1996b) dokonałam systematycznego przeglądu metod reprezentacji wiedzy zmieniającej się w czasie za pomocą formalizmów logicznych. Rozważone zostały systemy oparte na czasie punktowym i przedziałowym, wykorzystujące logiki klasyczne i modalne. W książce tej dokonałam oceny i porównania omawianych podejść.

Kompletną analizę struktur czasu przedstawiłam w (Hajnicz, 1996c). Poza strukturami czasu przedziałowego, opisałam tam struktury czasu punkowego, liniowego i nieliniowego, oraz metrycznego, w tym cyklicznego. Dla wszystkich tych struktur zaprezentowana została adaptacja algorytmu Allena, czyli adekwatny zestaw relacji prymitywnych wraz z operacją ich składowania. Wszystkie wersje algorytmu zostały poddane formalnej weryfikacji względem właściwej dla nich aksjomatyzacji.

Wszystkie wspomniane aksjomatyzacje wyrażane były w rachunku predykatów I rzędu. W (Hajnicz, 1996c) omówione zostały także modalne logiki temporalne dla czasu punkowego i przedziałowego (por. s. 4). Wszystkie te logiki posiadają znane aksjomatyzacje. W wypadku czasu przedziałowego, zaproponowałam modalne odpowiedniki aksjomatów sformułowanych przeze mnie w rachunku predykatów. Dla uzyskania kompletności opisu, dokonałam translacji formalnego zapisu algorytmu Allena dla różnych struktur czasu na odpowiednie logiki modalne.

W (Hajnicz, 1996c) zostały także przedstawione metody reprezentowania przedziałów w czasie punktowym i *vice versa*, jednak wyłącznie dla czasu liniowego. W ciągu kolejnych kilku lat zajmowałam się kwestiami reprezentowania przedziałów w nieliniowym czasie punktowym. Istnieją dwa sposoby reprezentowania przedziałów za pomocą punktów: jako zbiory (McDermott, 1982; van Benthem, 1983) lub jako pary punktów (Halpern i Shoham, 1991; Venema, 1990). W czasie liniowym reprezentacje te są bardzo zbliżone (dla przedziałów wypukłych), kontrowersyjna jest tylko kwestia otwartości/domkniętości przedziałów. W czasie nieliniowym zbiory punktów identyfikują znacząco większą klasę przedziałów. W (Hajnicz, 1998) zaprezentowałam definicje przedziałów i łączących je relacji za pomocą tych dwóch paradygmatów. Dla zbiorów punktów zaproponowałam trzy różne definicje relacji poprzedzania, w zależności od wzajemnego położenia przedziałów na różnych gałęziach czasu. Okazało się, że rozważany wcześniej zestaw aksjomatów nie wystarcza do uzyskania izomorfizmu pomiędzy strukturami  $\mathcal{J}$ , w których przedziały czasu są pojęciami prymitywnymi, a strukturami  $\mathcal{J}(\mathcal{T})$ , w których przedziały czasu definiowane są w czasie punktowym. Zestawy aksjomatów zostały zmodyfikowane w sposób adekwatnych dla poszczególnych wersji  $\mathcal{J}(\mathcal{T})$ . W szczególności, została rozważona kwestia solidności przedziałów.

Analizując definiowanie przedziałów czasu w strukturach nieliniowego czasu punkowego, musiałam dokładniej przyjrzeć się tym ostatnim. Szczególnie istotna jest charakterystyka struktury czasu w obszarze rozgałęzień. Punkty czasu mogą tworzyć porządek dyskretny bądź gęsty. Okazuje się, że w drugim przypadku punkt rozwidlenia gałęzi w ogóle nie musi istnieć, dodałam więc narzucające

to aksjomaty (Hajnicz, 1999c). W pracy tej rozważałam też kwestie ciągłości porządku (w znaczeniu Dedekinda, 1872) dla porządku częściowego.

Zakładając nieliniowość czasu, dodałam do zestawu relacji tylko jedną relację prymitywną, wykluczając, oznaczającą, że przedziały nie są współliniowe. Relacja ta oznacza jednak tylko tyle, że dwa przedziały nie są powiązane żadną z 13 „liniowych” relacji prymitywnych (w algebrze relacyjnej suma relacji prymitywnych musi dawać uniwersum). Dla przedziałów czasu zdefiniowanych jako pary punktów oznacza to, że oba początki lub oba końce przedziałów nie są współliniowe. A to oznacza wiele możliwych wzajemnych położenia pozostałych końców tych przedziałów, czyli de facto wiele relacji prymitywnych. W (Hajnicz, 1999b) opisałam zestaw takich relacji dla przedziałów będących parami punktów. Dla dowolnych par punktów uzyskałam 16 nowych relacji prymitywnych (w wypadku porządku lewostronnie liniowego 6), a uwzględniając przypadki, że któryś z przedziałów rozpoczyna się bądź kończy w punkcie rozwidlenia gałęzi (co nie zmienia relacji między końcami, lecz wpływa na operację składania relacji), trzeba było dodać kolejne 37 relacji (w wypadku porządku lewostronnie liniowego znów 6). Jest to tak ogromna liczba relacji, że nie podjęłam się zdefiniowania operacji ich składania. Jednak po ograniczeniu się do solidnych par punktów liczba ta spadła do 12 dla porządku częściowego (4 dla porządku lewostronnie liniowego). Dla takich zestawów relacji operacją składania została zdefiniowana.

Definiowanie przedziałów w czasie nieliniowym jako par punktów ma ograniczoną siłę wyrazu. Z drugiej strony korzystne jest, gdy znane jest położenie początku i końca przedziału. Dlatego postanowiłam rozszerzyć taki sposób definiowania przedziału czasu na przypadek kilku początków i końców położonych na różnych gałęziach czasu, wprowadzając pojęcie *szkieletu punkowego* przedziału (Hajnicz, 1999a). Szkielety punkowe przedziałów spełniających warunek solidności omówione zostały w (Hajnicz, 2000).

## 6.2.

W międzyczasie prace nad systemem z dostępem w języku naturalnym zostały zarzucone. W rezultacie moje prace znalazły się w próżni, oderwały się od możliwości praktycznych zastosowań i stawały się coraz bardziej abstrakcyjne. Doprowadziło mnie to do decyzji zmiany tematyki badań. Moje przygotowanie z zakresu logiki spowodowało, że skierowałam się ku badaniom nad semantyką języka naturalnego.

Semantyka języka naturalnego to bardzo szeroki dział lingwistyki. Jego gałąź mającą zastosowanie w przetwarzaniu języka naturalnego stanowi teoriomodelowa semantyka formalna, która sama w sobie jest niezmiernie bogatą dziedziną, podzieloną na wiele nurtów.

Za prekursora teoriomodelowego podejścia do opisu semantyki języka naturalnego uważa się Richarda Montague (1970a,b,c, 1973). Jego podejście polegało na ścisłym zespoleniu gramatyki kategoryjnej (Ajdukiewicz, 1935) z logiką intensjonalną w taki sposób, że każdej regule gramatycznej odpowiada jedna reguła semantyczna. Dlatego niejednokrotnie mówi się nie tyle o *semantyce Montague*, ile o *gramatyce Montague*. Wprowadzona przez Montague logika intensjonalna (ang. *intensional logic*, IL) jest modalnym (operatory modalne dotyczą zarówno czasu, jak i wiedzy o świecie)  $\lambda$ -rachunkiem rzędu  $\omega$ . Montague skupia się na opisie kwantyfikacji i zależności anaforycznych, ograniczając przy tym analizę do pojedynczego zdania.

Do reprezentacji semantyki tekstu wykraczającego poza pojedyncze zdanie służy *teoria reprezentacji dyskursu* (ang. *Discourse Representation Theory*, DRT) opracowana przez Kampa i Reylego (1993). Jest to formalizm pierwszego rzędu, w którym w miejsce formuł wprowadzone zostały *struktury reprezentacji dyskursu* (ang. *discourse representation structures*, DRS). W podejściu tym główny nacisk położony został na reprezentację zależności anaforycznych.

W (Hajnicz, 2003) omówiłam i porównałam te formalizmy, dodając jeszcze *semantykę opartą na zasobach leksykalnych* (ang. *Lexical Resource Semantics*, LRS) (Richter, 2000; Richter i Sailer, 1999, 2003; Richter *et al.*, 1999) powiązaną z gramatyką HPSG (Pollard i Sag, 1987, 1994).



Gramatyka Montague opracowana została dla języków pozycyjnych. W (Hajnicz, 2006c, 2009a) zaproponowałam jej adaptację dla języka polskiego uwzględniającą jego fleksyjny charakter. Ponadto w (Hajnicz, 2006b) przeanalizowałam niektóre formalne własności logiki IL, przede wszystkim pod kątem wykorzystywanej w niej semantyki możliwych światów.

Poziom złożoności formalnej, a przede wszystkim ograniczenie do pojedynczego zdania, zmniejsza możliwość praktycznego zastosowania semantyki Montague. Dlatego dokonałam też adaptacji dla języka polskiego *teorii reprezentacji dyskursu* (Hajnicz, 2003). Szczególny nacisk położyłam na kwestię określoności wystąpień fraz rzeczownikowych (Hajnicz, 2006a), którą komplikuje brak rodzajników w języku polskim, a która ma decydujące znaczenie dla identyfikacji obiektów występujących w dyskursie.

### 6.3.

Jako załącznik do tej części autoreferatu przedkładałam następujące „wybrane prace dodatkowe habilitanta”:

1. Hajnicz, E. (1995) Some Considerations on Non-linear Time Intervals, *Journal of Logic, Language and Information* 4, s. 335–357
2. Hajnicz, E. (1996) Applying Allen's Constraint Propagation Algorithm for Non-linear Time, *Journal of Logic, Language and Information* 5, s. 157–175
3. Hajnicz, E. (1999) Some Considerations on Branching Areas of Time. *Journal of Logic, Language and Information* 8, s. 17–43
4. Hajnicz, E. (2009) Adaptacja gramatyki Montague do języka polskiego. *Polonica* XXIX, s. 13–43

Pierwsze trzy publikacje dotyczą badań opisanych w punkcie 6.1, zaś czwarta dotyczy badań opisanych w punkcie 6.2. Prawa wydawnictwa Springer uniemożliwiają mi udostępnienie książki *Time Structures. Formal Description and Algorithmic Representation* w wersji elektronicznej, jednak z przyjemnością dostarczę je w wersji drukowanej na późniejszym etapie.

Elżbieta Hajnicz

## Literatura

- E. Agirre, D. Martinez (2001) *Learning class-to-class selectional preferences*, w: *Proceedings of the Conference on Natural Language Learning*, s. 15–22, Tuluza, Francja.
- K. Ajdukiewicz (1935) *Die syntaktische Konnexität*, *Studia Philosophica*, t. 1, s. 1–27.
- J. F. Allen (1983) *Maintaining Knowledge about Temporal Intervals*, *Communications of ACM*, t. 26, nr 11, s. 832–843.
- (1984) *Towards a general Theory of Action and Time*, *Artificial Intelligence*, t. 23, nr 2, s. 123–154.
- J. F. Allen, P. J. Hayes (1985) *A Common-Sense Theory of Time*, w: *Proceedings of the 9th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'85)*, s. 528–531, Morgan Kaufmann, Los Angeles, CA.
- A. Artale, E. Franconi (1994) *A computational approach for a description logic of time and action*, w: *Proceedings of the 4th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, s. 3–14, Bonn, Niemcy.
- D. Baś, B. Broda, M. Piasecki (2008) *Towards Word Sense Disambiguation of Polish*, w: *Proceedings of the International Multiconference on Computer Science and Information Technology (IMCSIT 2008)*, s. 73–78, PTI, Wisła.
- J. F. A. K. van Benthem (1983) *The Logic of Time*, Synthese Library, D. Reidel, Dordrecht / Boston / Londyn.
- A. J. Bonner, M. Kifer (1994) *An overview of transaction logic*, *Theoretical Computer Science*, t. 133.
- P. Bouvry, M. A. Kłopotek, F. Leprevost, M. Marciniak, A. Mykowiecka, H. Rybiński (red.) (2011) *International Joint Conference on Security and Intelligent Information Systems*, t. 7053 serii *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag, Warszawa.
- B. Broda, M. Piasecki (2009) *Semi-supervised Word Sense Disambiguation Based on Weakly Controlled Sense Induction*, w: *Proceedings of the 4th International Symposium on Advances in Artificial Intelligence and Applications*, s. 17–24.
- (2011) *Evaluating Lexicographer Controlled Semi-automatic Word Sense Disambiguation Method in a Large Scale Experiment*, *Control and Cybernetics*, t. 40, nr 2, s. 419–436.
- J. P. Burgess (1982a) *Axioms for Tense Logic I. "Since" and "Untill"*, *Notre Dame Journal of Formal Logic*, t. 23, nr 4, s. 367–374.
- (1982b) *Axioms for Tense Logic II. Time periods*, *Notre Dame Journal of Formal Logic*, t. 23, nr 4, s. 375–383.
- E. M. Clarke, E. A. Emerson, A. P. Sistla (1986) *Automatic Verification of Finite-state Concurrent Systems Using Temporal Logic Specifications*, *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, t. 8, nr 2, s. 244–263.
- R. s. Crouch, S. G. Pulman (1993) *Time and modality in a natural language interface to a planning system*, *Artificial Intelligence*, t. 63, nr 2–3, s. 265–304.
- J. W. R. Dedekind (1872) *Stetigkeit und irrationale Zahlen*, Braunschweig.
- E. Dobryjanowicz, E. Hajnicz, M. Marciniak, A. Mykowiecka, A. Sawicka-Wójcik (1991) *System z do-  
stępem w języku polskim. Stan prac*, Rap. tech. 712, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- D. R. Dowty (1986) *The effect of aspectual classes on the temporal structure of discourse: semantics or pragmatics*, *Linguistics and Philosophy*, t. 9, nr 1, s. 37–61.
- Ł. Dębowski (2009) *Valence extraction using the EM selection and co-occurrence matrices*, *Language Resources & Evaluation*, t. 43, s. 301–327.
- Ł. Dębowski, M. Woliński (2007) *Argument co-occurrence matrix as a description of verb valence*, w: Z. Vetulani (red.), *Proceedings of the 3rd Language & Technology Conference*, s. 260–264, Poznań.
- G. Erkan, D. R. Radev (2004) *Lexrank: Graph-based centrality as salience in text summarization*, *Journal of Artificial Intelligence Research*, t. 22, s. 457–479.
- J. Fast, A. Przepiórkowski (2005) *Automatic Extraction of Polish Verb Subcategorization: An Evalu-*

- ation of Common Statistics, w: Z. Vetulani (red.), *Proceedings of the 2nd Language & Technology Conference*, s. 191–195, Poznań.
- R. Fikes, N. J. Nilsson (1977) *STRIPS: A New Approach to Application of Theorem Proving to Problem Solving*, *Artificial Intelligence*, t. 2, s. 189–208.
- K. D. Forbus (1984) *Qualitative Process Theory*, *Artificial Intelligence*, t. 24, s. 85–165.
- D. Gabbay, A. Pnueli, S. Shelah, J. Stavi (1980) *On the Temporal Analysis of Fairness*, w: *Proceedings of the 78th ACM SIGACT-SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages*, s. 163–173, Las Vegas.
- M. Galley, K. McKeon (2003) *Improving word sense disambiguation in lexical chaining*, w: *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'03)*, s. 1486–1488, Acapulco, Meksyk.
- V. Goranko (1995) *Temporal Logic with Reference Pointers*, w: D. Gabbay, H. J. Ohlbach (red.), *Proceedings of the 1st International Conference on Temporal Logic*, t. 827 serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, s. 133–148, Springer-Verlag, Bonn, Niemcy.
- E. Hajnicz (1986) *Logika temporalna. System wnioskowania o zależnościach czasowych między zdarzeniami*, Praca magisterska, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- (1987) *System wnioskowania o zależnościach czasowych między zdarzeniami. Koncepcja i implementacja*, Rap. tech. 603, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1988) *Implementacja dat względnych w systemie wnioskowania o zależnościach czasowych między zdarzeniami*, Rap. tech. 628, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1989a) *Absolute Dates and Relative Dates in an Inferential System on Temporal Dependencies between Events*, *International Journal of Man–Machine Studies*, t. 30, s. 537–549.
- (1989b) *Formalizacja systemu wnioskowania o zależnościach czasowych między zdarzeniami*, Rap. tech. 658, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1990) *Role of the Present in Temporal Representation in Artificial Intelligence*, *International Journal of Man–Machine Studies*, t. 32, s. 263–274.
- (1991a) *Another Approach to Formalizing the Point and Interval Calculi*, *International Journal of Man–Machine Studies*, t. 34, s. 703–716.
- (1991b) *A Formalization of Absolute Dates and Relative Dates Based on the Point Calculus*, *International Journal of Man–Machine Studies*, t. 34, s. 717–730.
- (1991c) *Reprezentacja i opis formalny struktur czasu nieliniowego na potrzeby sztucznej inteligencji*, Rozprawa doktorska, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1995a) *An Analysis of Structure of Time in the First Order Predicate Calculus*, w: L. Bolc, A. Szalas (red.), *Time and Logic. a computational approach*, s. 279–322, UCL Press, Londyn.
- (1995b) *Some Considerations on Non-linear Time Intervals*, *Journal of Logic, Language and Information*, t. 4, s. 335–357.
- (1996a) *Applying Allen's Constraint Propagation Algorithm for Non-linear Time Intervals*, *Journal of Logic, Language and Information*, t. 5, s. 157–175.
- (1996b) *Reprezentacja logiczna wiedzy zmieniającej się w czasie*, *Problemy Współczesnej Nauki. Teoria i Zastosowania: Informatyka*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- (1996c) *Time Structures. Formal Description and Algorithmic Representation*, t. 1047 serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- (1998) *Intervals in non-linear point time. The longer paper*, Rap. tech. 868, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1999a) *Defining intervals by means of point skeletons: generalization of pairs of points*, Rap. tech. 900, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1999b) *Representing mutual locations of intervals being pairs of points in non-linear point time*, Rap. tech. 879, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- (1999c) *Some Considerations on Branching Areas of Time*, *Journal of Logic, Language and Infor-*

- mation, t. 8, s. 17–43.
- (2000) *Representing solid intervals by means of point skeletons*, Rap. tech. 912, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
  - (2003) *Przegląd formalnych metod semantycznych*, Rap. tech. 965, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
  - (2006a) *Definiteness of Polish noun phrases modified by relative clauses in DRT framework*, w: M. A. Kłopotek, S. T. Wierzchoń, K. Trojanowski (red.), *Proceedings of the Intelligent Information Systems New Trends in Intelligent Information Processing and Web Mining IIS:IIPWM'06*, Advances in Soft Computing, s. 341–346, Springer-Verlag, Ustroń.
  - (2006b) *O poszukiwaniu jednoróżców, czyli semantyka możliwych światów w gramatyce Montague*, Rap. tech. 995, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
  - (2006c) *Syntaktyczna i semantyczna analiza wybranych konstrukcji języka polskiego za pomocą gramatyki Montague*, Rap. tech. 996, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
  - (2009a) *Adaptacja gramatyki Montague do języka polskiego*, Polonica, t. XXIX, s. 13–43.
  - (2009b) *Generalizing the EM-based semantic category annotation of NP/PP heads to wordnet synsets*, w: Vetulani (2009), s. 432–436.
  - (2009c) *Problems with Pruning in Automatic Creation of Semantic Valence Dictionary for Polish*, w: V. Matoušek, P. Mautner (red.), *Proceedings of the International Conference on Text, Speech and Dialogue TSD 2009*, t. 5729 serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, s. 131–138, Springer-Verlag, Pilsno, Czechy.
  - (2009d) *Semantic annotation of verb arguments in shallow parsed Polish sentences by means of EM selection algorithm*, w: Marciniak i Mykowiecka (2009), s. 211–240.
  - (2009e) *Similarity measure between frames for Polish semantic valence dictionary*, w: Vetulani (2009), s. 205–209.
  - (2010) *Aggregating Entries of Semantic Valence Dictionary of Polish Verbs*, w: P. M. Bertinetto, A. Korhonen, A. Lenci, A. Melinger, S. Schulte im Walde, A. Villavicencio (red.), *Proceedings of the Interdisciplinary Workshop on the Identification and Representation of Verb Features (Verb 2010)*, s. 49–54, Scuola Normale Superiore and Università di Pisa, Piza, Włochy.
  - (2011a) *The EM-Based Synset Annotation of NP/PP Heads*, w: Z. Vetulani (red.), *Human Language Technology. Challenges of the Information Society. 4th Language & Technology Conference*, t. 6562 serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, s. 423–434, Springer-Verlag. Revised Selected Papers.
  - (2011b) *Grouping Alternating Schemata in Semantic Valence Dictionary of Polish Verbs*, w: I. Habeln, V. Matoušek (red.), *Proceedings of the International Conference on Text, Speech and Dialogue TSD 2011*, t. 6836 serii *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, s. 155–162, Springer-Verlag, Pilsno, Czechy.
  - (2011c) *Similarity-based Method of Detecting Diathesis Alternations in Semantic Valence Dictionary of Polish Verbs*, w: Bouvry et al. (2011), s. 345–358.
- E. Hajnicz, A. Pilitowski (1989) *Reprezentowanie w hierarchii dziedzin informacji zmieniającej się w czasie*, Rap. tech. 675, Instytut Podstaw Informatyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
- E. Hajnicz, M. Wiech (2008) *Applying grade methods to detect similarity of semantic categories of nouns for semantic valence dictionary creation*, w: M. A. Kłopotek, A. Przepiórkowski, S. T. Wierzchoń (red.), *Proceedings of the Intelligent Information Systems XVI (IIS'08)*, Challenging Problems in Science: Computer Science, s. 259–268, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Zakopane.
- J. Y. Halpern, Y. Shoham (1991) *A Propositional Modal Logic of Time Intervals*, *Journal of the Association for Computing Machinery*, t. 38, nr 4, s. 935–962.
- D. Harel, D. Kozen, J. Tiuryn (2000) *Dynamic Logic*, MIT Press, Cambridge, MA.
- C. C. Hayes (1989) *A Model of Planning for Time Efficiency: Taking Advantage of operator Overlap*, w: *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'89)*, s. 949–953, Morgan Kaufmann, Detroit, MI.
- P. J. Hayes, J. F. Allen (1987) *Short Time Periods*, w: *Proceedings of the 10th International Joint*

- Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'87)*, s. 981–984, Morgan Kaufmann, Mediolan, Włochy.
- E. Joanis, S. Stevenson, D. James (2008) *A general feature space for automatic verb classification*, *Natural Language Engineering*, t. 14, nr 3, s. 337–367.
- H. Kamp (1980) *Some Remarks on the Logic of Change. Part I*, w: F. Guenther (red.), *Proceedings of the Stuttgart Conference on the Logic of Tense and Quantification*, s. 135–179, North Holland.
- H. Kamp, U. Reyle (1993) *From Discourse to Logic*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holandia.
- P. Kingsbury, M. Palmer (2002) *From TreeBank to PropBank*, w: *Proceedings of the 3rd International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC-2002)*, s. 1989–1993, Las Palmas, Hiszpania.
- P. Kingsbury, M. Palmer, M. P. Marcus (2002) *Adding Semantic Annotation to the Penn TreeBank*, w: *Proceedings of the Human Language Technology Conference*, s. 252–256, San Diego, CA.
- E. Kobyliński (2011) *Mining Class Association Rules for Word Sense Disambiguation*, w: Bouvry et al. (2011), s. 307–317.
- R. Kowalski, M. Sergot (1986) *Logic Based Calculus of Events*, *New Generation Computing*, t. 4, s. 67–95.
- P. Ladkin (1986) *Time Representation: A Taxonomy of Interval Relations*, w: *Proceedings of the 5th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'86)*, s. 360–366, Morgan Kaufmann, Filadelfia, PA.
- (1987) *Models of Axioms for Time Intervals*, w: *Proceedings of the 6th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'86)*, s. 234–239, Morgan Kaufmann, Seattle, WA.
- L. Lamport (1991) *The Temporal Logic of Actions*, Technical Report 7, Digital Equipment Corporation, Systems Research Center.
- A. L. Lansky (1986) *A representation of parallel activity based on events, structure and causality*, w: *Proceedings of the Workshop on Reasoning about Action and Plans*, s. 123–159, Morgan Kaufmann, Timberline, OR.
- M. Lapata (1999) *Acquiring lexical generalizations from corpora: a case study for diathesis alternations*, w: *Proceedings of the 37th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'99)*, s. 397–404, College Park, MA.
- M. Lesk (1986) *Automatic sense disambiguation using machine readable dictionaries: How to tell a pine cone from an ice cream cone*, w: *Proceedings of the ACM-SIGDOC Conference*, s. 24–26, Toronto, Kanada.
- B. Levin, M. Rappaport Hovav (2005) *Argument Realisation*, Cambridge University Press, Cambridge, Wielka Brytania.
- Z. Manna, A. Pnueli (1981) *Verification of Concurrent Programs. The Temporal Framework*, w: R. S. Boyer, J. S. Moore (red.), *The Correctness Problem in Computer Science*, International Lecture Series in Computer Science, s. 215–273, Academic Press, Londyn.
- (1992) *The Temporal Logic of Reactive and Concurrent Systems*, Springer-Verlag, Nowy Jork, NY.
- M. Marciniak, A. Mykowiecka (red.) (2009) *Aspects of Natural Language Processing*, t. 5070 serii *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag.
- D. McCarthy (2000) *Using semantic preferences to identify verbal participation in role switching alternations*, w: *Proceedings of the 1st Meeting of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL-2000)*, s. 256–263, Seattle, WA.
- (2001) *Lexical Acquisition at the Syntax-Semantics Interface: Diathesis Alternations, Subcategorization Frames and Selectional Preferences*, Rozprawa doktorska, University of Sussex.
- J. McCarthy, P. J. Hayes (1969) *Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence*, *Machine Intelligence*, t. 4, s. 463–502.
- D. McDermott (1982) *A Temporal Logic for Reasoning about Processes and Plans*, *Cognitive Science*, t. 6, nr 2, s. 101–155.
- P. Merlo, S. Stevenson (2001) *Automatic verb classification based on statistical distributions of argument structure*, *Computational Linguistics*, t. 27, nr 3, s. 373–408.

- R. Mihalcea (2005) *Large vocabulary unsupervised word sense disambiguation with graph-based algorithms for sequence data labelling*, w: *Proceedings of the Joint Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing Conference (HLT/EMNLP)*, s. 411–418, Vancouver, Kanada.
- M. Moens, J. Steedman (1988) *Temporal Ontology and Temporal Reference*, *Computational Linguistics*, t. 14, nr 1, s. 15–28.
- R. Montague (1970a) *English as a Formal Language*, w: B. Visentini (red.), *Linguaggi nella e nella Tecnica*, s. 189–224, Edizioni di Comunità, Mediolan, Włochy.
- (1970b) *Pragmatics and intentional logic*, *Synthese*, t. XXII, s. 6–34.
- (1970c) *Universal grammar*, *Theoria*, t. 36, s. 373–398.
- (1973) *The proper treatment of quantification in ordinary English*, w: J. Hintikka, J. Moravcsik, P. Suppes (red.), *Proceedings of the 1970 Stanford Workshop on Grammar and Semantics*, s. 221–242, D. Reidel, Dordrecht, Holandia.
- L. Morgenstern (1987) *Knowledge Preconditions for Actions and Plans*, w: *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'89)*, s. 867–874, Morgan Kaufmann, Mediolan, Włochy.
- S. Mędak (2005) *Praktyczny Słownik Łączliwości Składniowej Czasowników Polskich*, Universitas, Kraków.
- R. Młodzki, A. Przepiórkowski (2009) *The WSD Development Environment*, w: Vetulani (2009), s. 185–189.
- B. H. Partee (1984) *Nominal and Temporal Anaphora*, *Linguistics and Philosophy*, t. 7, s. 243–286.
- S. Patwardhan, S. Banerjee, T. Pedersen (2003) *Using measures of semantic relatedness for word sense disambiguation*, w: A. F. Gelbukh (red.), *Proceedings of the 4th Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing CICLing-2003*, t. 3878 serii *Lecture Notes in Computer Science*, s. 241–257, Springer-Verlag, Heidelberg.
- M. Piasecki, S. Szpakowicz, B. Broda (2009) *A Wordnet from the Ground Up*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- C. Pinto-Ferreira, J. P. Martins (1990) *A formal system for reasoning about change*, w: *Proceedings of the 9th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'90)*, s. 503–508, Pitman Publishing, Sztokholm, Szwecja.
- A. Pnueli (1977) *The Temporal Logic of Programs*, w: *Proceedings of the 18th Annual Symposium on the Foundations of Computer Science*, s. 46–57, IEEE.
- (1979) *The Temporal Semantics of Concurrent Programs*, w: *Proceedings of the International Symposium on Semantics of Concurrent Computation*, Evian.
- (1981) *The Temporal Semantics of Concurrent Programs*, *Theoretical Computer Science*, t. 13, s. 45–60.
- K. Polański (red.) (1980–1992) *Słownik syntaktyczno-generatywny czasowników polskich*, t. I–V, Zakład Narodowy imienia Ossolińskich, Wrocław · Warszawa · Kraków · Gdańsk.
- C. Pollard, I. A. Sag (1987) *Information-based syntax and semantics I: Fundamentals*, CSLI Publications, Stanford, CA.
- (1994) *Head-driven Phrase Structure Grammar*, CSLI Publications, Chicago University Press, Chicago, IL.
- A. Prior (1967) *Past, Present and Future*, Clarendon Press, Oksford.
- A. Przepiórkowski (2006) *What to acquire from corpora in automatic valence acquisition*, w: V. Koseska-Toszeńska, R. Roszko (red.), *Semantyka a konfrontacja językowa*, t. 3, Slawistyczny Ośrodek Wydawniczy & Fundacja Slawistyczna, Warszawa.
- (2007) *On Heads and Coordination in Valence Acquisition*, w: A. Gelbukh (red.), *Proceedings of the 8th Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing CICLing-2007*, t. 4394 serii *Lecture Notes in Computer Science*, s. 50–61, Springer-Verlag, Heidelberg.
- (2008) *Powierzchniowe przetwarzanie języka polskiego*, *Problemy Współczesnej Nauki. Teoria i*

- Zastosowania: Inżyniera Lingwistyczna, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa.
- (2009) *Towards the Automatic Acquisition of a Valence Dictionary for Polish*, w: Marciniak i Mykowiecka (2009), s. 191–210.
- H. Reichenbach (1966) *Elements of Symbolic Logic*, The Free Press, Nowy Jork, NY.
- N. Rescher, A. Urquhart (1971) *Temporal Logic*, Library of exact Philosophy, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- P. Resnik (1993) *Selection and Information: A Class-Based Approach to Lexical Relationships*, Rozprawa doktorska, University of Pennsylvania, Filadelfia, PA.
- (1997) *Selectional Preference and Sense Disambiguation*, w: *Proceedings of the ACL Workshop on Tagging Text with Lexical Semantics, Why, What and How?*, s. 52–57, Washington, DC.
- F. Richter (2000) *A Mathematical Formalism for Linguistic Theories with an Application in Head-driven Phrase Structure Grammar*, Rozprawa doktorska, Universität Tübingen.
- F. Richter, M. Sailer (1999) *Underspecified semantics in HPSG*, w: H. Bunt, R. Muskens (red.), *Computing Meaning*, Studies in Linguistics and Philosophy, s. 95–112, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holandia.
- (2003) *Basic concepts of Lexical Resource Semantics*. W przygotowaniu.
- F. Richter, M. Sailer, G. Penn (1999) *A formal interpretation of relations and quantification in HPSG*, w: G. Bouma, E. Hinrichs, G.-J. M. Kruijff, R. Oehle (red.), *Constraints and resources in natural language syntax and semantics*, s. 281–298, CSLI Publications, Stanford, CA.
- E. D. Sacerdoti (1977) *A Structure for Time and Behaviour*, Elsevier North Holland.
- E. P. K. Tsang (1987) *Time Structures for AI*, w: *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'87)*, s. 456–461, Morgan Kaufmann, Mediolan, Włochy.
- Y. Venema (1990) *Expressiveness and Completeness of an Interval Tense Logic*, Notre Dame Journal of Formal Logic, t. 31, nr 4, s. 529–547.
- Z. Vetulani (2000) *Electronic language resources for Polish: POLEX, CEGLEX and GRAMLEX*, w: *Proceedings of the 2nd International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC-2000)*, s. 367–374, Athens, Greece.
- (2004) *Komunikacja człowieka z maszyną. Komputerowe modelowanie kompetencji językowej*, Problemy Współczesnej Nauki. Teoria i Zastosowania: Inżyniera Lingwistyczna, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa.
- Z. Vetulani (red.) (2009) *Proceedings of the 4th Language & Technology Conference*, Poznań.
- M. B. Vilain, H. Kautz (1986) *Constraint Propagation Algorithm for Temporal Reasoning*, w: *Proceedings of the 5th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI'86)*, s. 377–392, Morgan Kaufmann, Filadelfia, PA.
- Z. Žabokrtský, M. Lopatková (2007) *Valency Information in VALLEX 2.0: Logical Structure of the Lexicon*, The Prague Bulletin of Mathematical Linguistics, t. 87, s. 41–60.
- C. T. Zahn (1971) *Graph-theoretical methods for detecting and describing Gestalt clusters*, IEEE Transactions on Computers, t. C-20, nr 1.
- M. Świdziński (1994) *Syntactic Dictionary of Polish Verbs*, Uniwersytet Warszawski / Universiteit van Amsterdam.

Elżbieta Hajnicz