



Tytuł: **Związek logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych i teorii sieci semantycznych w badaniach nad sztuczną inteligencją**

Autor: Piotr Kołodziejczyk; pkolodziejczyk@interia.pl

Źródło: <http://kognitywistyka.net>; mjkasperski@kognitywistyka.net

## 0. Uwagi wstępne

Tematyka tego artykułu oscyluje wokół jednego z kluczowych problemów badań nad sztuczną inteligencją, a mianowicie – zagadnienia reprezentacji wiedzy przez systemy przetwarzające informacje. Analiza tej kwestii wydaje się być istotna z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, pomimo licznych koncepcji reprezentowania wiedzy (por. np. Schank 1980, Fodor 1981, Rumelhart i Norman 1983), podstawowe problemy pozostają otwarte. Tytułem przykładu można tutaj wymienić zagadnienie wynikania logicznego i semantycznej interpretacji tworzonych przez system formuł oraz pytanie o warunki ich przedmiotowej referencji [por Bobryk 1994]. Po drugie zaś, można zauważyć, iż konkurujące ze sobą teorie niejednokrotnie wykluczają podstawowe kwestie z obszaru rozważanych przez siebie zagadnień. Dla przykładu, teoria sieci semantycznych nie ustosunkowuje się do problemu wynikania logicznego, co w konsekwencji prowadzić może do niemożności eksplikacji relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi łukami sieci. Wydaje się jednak, że uzupełnienie koncepcji sieci semantycznych o pewne rozstrzygnięcia z zakresu logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych (zob. Mołczanow 2001, 2002) może (w ramach badań nad SI) stanowić adekwatny opis wynikania logicznego, a tym samym – wyjaśnić niektóre problemy związane z naturą reprezentacji wiedzy.

Strukturalnie artykuł podzielony jest na dwie zasadnicze części. W pierwszej omawiam niektóre problemy reprezentowania wiedzy w ramach teorii sieci semantycznych, w drugiej natomiast proponuję rozszerzenie tej teorii o koncepcję wielowymiarowego rozgałęzienia kwantyfikatorowego (zob. Mołczanow 2001) w celu deskrypcji charakteru wynikania logicznego w „inteligentnych” systemach przetwarzających informacje.



## 1. Niektóre problemy reprezentacji wiedzy w ramach teorii sieci semantycznych

Teoria sieci semantycznych ma swoje źródła w badaniach z zakresu psychologii poznawczej (zob. np. Quillan i Collins 1972). Początkowo koncepcja ta miała stanowić model ludzkiej pamięci, a nawet - działania ludzkiego umysłu. Zrębem tej idei było przekonanie, iż pamięć ludzka stanowi koneksyjną strukturę złożoną z węzłów (reprezentujących pojęcia) oraz łuków (wyrażających relacje między pojęciami). Pomysł ten znalazł również zastosowanie w badaniach nad sztuczną inteligencją, ponieważ teoretycy SI jako oczywiste przyjmowali twierdzenie Turinga głoszące, iż systemy komputerowe nieodróżnialne od człowieka pod względem dokonywania operacji poznawczych są z definicji modelem działania ludzkiego umysłu. Jako, że eksperymenty przeprowadzane w ramach psychologii poznawczej zadawały się potwierdzać tezę o koneksyjnej strukturze umysłu, w trakcie badań nad SI powszechnym stało się przekonaniem, że to teoria sieci semantycznych, nie zaś logika pierwszego rzędu będąca pierwotnie podstawą analiz dokonywanych przez badaczy sztucznej inteligencji, jest najbardziej adekwatnym, modelem reprezentacji wiedzy w komputerowych systemach przetwarzających informacje. Za dodatkowy argument na rzecz potrzeby zwrotu od dotychczas stosowanej aparatury logicznej ku koncepcjom zaczerpniętym z badań psychologicznych uznano zjawisko *eksplozji kombinatorycznej*, czyli sytuacji, w której na podstawie zaimplementowanych w systemie przesłanek wyprowadza się często fałszywe wnioski, ponieważ systemom tym (mimo, iż są one oparte na bazie logicznej) brakuje algorytmów wyznaczających kierunek wynikania logicznego.

Stwierdzić jednakże należy, że podobnie jak w przypadku metod opartych o logikę pierwszego rzędu, także i sieci semantyczne jawią się jako niepełny model reprezentacji wiedzy. Rozpatrzmy na przykład zdanie: „Ptaki posiadają skrzydła”, które za pomocą schematu stosowanego w ramach teorii sieci semantycznych przedstawić można następująco:

PTAK \_\_\_\_\_ SKRZYDŁA  
MA – JAKO – CZĘŚĆ

Jest widocznym, iż na podstawie przedstawionego schematu nie można odczytać, czy skrzydła przysługują wszystkim, czy tylko niektórym ptakom. Przyczyną tej sytuacji jest zapewne fakt, że koncepcja sieci semantycznych (będąc teorią konkurencyjną wobec logiki pierwszego rzędu) położyła kres zastosowaniu pojęcia kwantyfikacji w analizach dotyczących komputerowych metod reprezentacji wiedzy. Stąd też, w ramach koncepcji sieci semantycznych trudno mówić o wynikaniu logicznym i jego kierunku. Nie jest bowiem wiadomym czy na mocy przedstawionego schematu uprawione będzie, na przykład, wnioskowanie przebiegające zgodnie z prawem subalternacji ( $\forall x\beta \rightarrow \exists x\beta$ ). W świetle schematu nie jest więc jasne, czy skoro wszystkie ptaki posiadają skrzydła, to istnieje co najmniej jeden ptak mający skrzydła.

W związku z zarysowaną trudnością wydaje się, że refutacja aparatury logiki pierwszego rzędu przez badaczy pracujących w paradygmacie sieci semantycznych nie jest uprawniona. Jeżeli przyjąć (por. Chalmers 1995), że podstawowym celem badań nad sztuczną inteligencją jest konstrukcja systemów reprezentacji wiedzy, to konsekwencję takiego podejścia stanowi



wymóg koherencyjności elementów będących składnikami tych systemów. Trudno wszakże definiować wiedzę jako zbiór obiektów pojmowanych (by tak rzec) jako „obiekty same w sobie”, wzajemnie logicznie w żaden sposób nie powiązane ze sobą. Jeśli więc inteligencję (niezależnie od tego, czy jest ona sztuczna, czy naturalna) określa się jako zdolność rozwiązywania problemów, czyli formułowanie nowej wiedzy na podstawie informacji już posiadanych, to jako fundamentalne w obrębie badań nad AI, jawi się zdefiniowanie sposobu przedstawienia natury wynikania logicznego. Podkreślić jednak należy, że korelacja teorii sieci semantycznych ze standardową logiką pierwszego rzędu nie uchyla wskazanych wyżej trudności. Jest tak, ponieważ sama ta logika (szczególnie zaś teoriogrowa koncepcja kwantyfikatorów rozgałęzionych Hintikki) napotyka na problem precyzyjnego określenia kierunku wynikania logicznego i szyku kwantyfikatorowego (zob. Mołczanow 2001). Wydaje się zatem, iż teoria sieci semantycznych winna zostać uzupełniona o koncepcję n – wymiarowego rozgałęzienia kwantyfikatorowego.

## 2. Logika kwantyfikatorów a teoria sieci semantycznych

Podstawą koncepcji n – wymiarowego rozgałęzienia kwantyfikatorowego jest przekonanie o zasadności stosowania pewnej analogii fizycznej w opisie wynikania logicznego w logice kwantyfikatorów rozgałęzionych. Analogia ta prowadzi do stwierdzenia, że podobnie jak struktury fizyczne, również struktury abstrakcyjne (np. logiczne) podlegają deskrypcji w kategoriach struktury przestrzennej. Ponadto, ujęcie to wolne jest od wieloznaczności interpretacyjnych. Na przykład, zdanie „*All the boys danced with a girl*” można interpretować następująco:

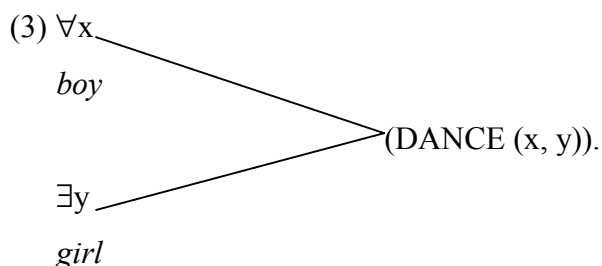
$$(1) \exists y \quad \forall x \text{ (DANCE (x, y))}$$

*girl boy*

$$(2) \forall x \quad \exists y \text{ (DANCE (x, y))}$$

*boy girl.*

Na mocy tych schematów trudno jednakże jednoznacznie określić kierunek wynikania logicznego. Jest tak, ponieważ jedna z formuł wyrażonych w sposób linearny zawiera w swej strukturze rozgałęzienie. Łatwo wszakże dostrzec, iż formuła (1) jest *de facto* strukturą rozgałęzioną:



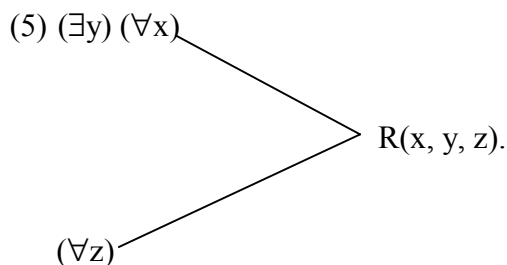


Stąd zaś wynika, że formuły (1) i (2) są translacjami formuły (3). Można także powiedzieć, że własności tychże translacji są zdeterminowane relacjami zachodzącymi w strukturze wobec nich nadrzędnej. Translacje te są zależne od struktury nadrzędnej również w sensie wynikania logicznego, gdyż relacja zachodząca pomiędzy treścią zapisów formuł (3) oraz (2) jest równoważna treści zapisu zdania logicznego

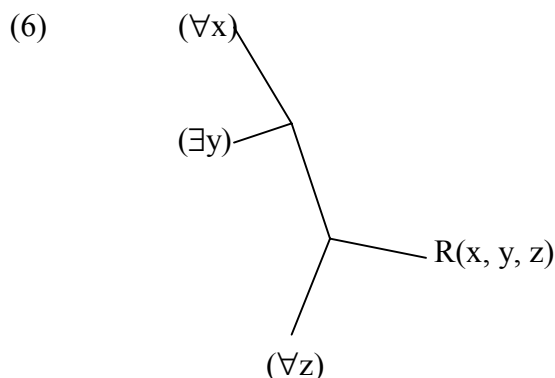
$$(4) \exists x \forall y F(x, y) \rightarrow \forall y \exists x F(x, y).$$

Dlatego też, można stwierdzić, że z treści logicznej struktury o większej liczbie wymiarów (w omawianym przypadku – z treści formuły (3)) wynika treść logiczna struktur podrzędnych (tutaj – treść logiczna formuły (2)). Inaczej rzecz wysławiając,  $n$ -wymiarowa struktura kwantyfikatorowa w sposób kauzalny i logiczny implikuje własności struktur  $(n - 1)$  wymiarowych.

Na podstawie powyższych rozważań można naturalnie postawić pytanie o związek tak rozumianej logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych i teorii sieci semantycznych. Traktując rozgałęzienie kwantyfikatorowe oraz sieci semantyczne jako struktury o charakterystyce przestrzennej okazuje się, iż sieć semantyczna jest strukturą rozgałęzioną rekursywnie izomorficzną  $n$ -wymiarowemu rozgałęzieniu kwantyfikatorowemu. Rozpatrując ten izomorfizm należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku sieci semantycznych rozgałęzienie jest wyrażeniem relacji, jakie zachodzą pomiędzy łukami sieci. Aby wyjaśnić naturę tej relacji, analizie poddamy następującą strukturę:



Ponieważ formuła (5) została wyrażona jako struktura dwuwymiarowa jej  $n$ -wymiarową (w tym przypadku trójwymiarową) jest struktura





Jest widocznym, że formuła (6) sama w sobie jest siecią semantyczną. W odróżnieniu od standardowych modeli, sieć ta ujmuje węzły nie jako pojęcia, lecz jako zmienne związane. Natomiast łuki przedstawiane są jako rozgałęzienia, gdyż wyrażają one przyczynowe i logiczne relacje zachodzące między węzłami. Zatem, proponowany model sieci semantycznej można traktować jako strukturę bogatszą niż standardowe sieci semantyczne. Model ten zezwala bowiem nie tylko na ujęcie własności semantycznych danej struktury, lecz również wynikania semantycznego, które jest odzwierciedlone jest w sposób *stricte* formalny. Model ten określa również charakter wynikania pomiędzy samymi elementami struktury. Za jego pomocą można w sposób jednoznaczny wyznaczyć zależności pomiędzy zmiennymi związanymi, a tym samym konstruować niesprzeczne systemy reprezentujące wiedzę.

### 3. Uwagi końcowe

Przedstawiony w artykule sposób myślenia o związku kwantyfikacji rozgałęzionej z teorią sieci semantycznych zdaje się mieć ważne konsekwencje nie tylko dla samej logiki i badań nad SI, ale dla nauk kognitywnych w ogóle. Nauki te jako dyscyplina z definicji badająca strukturę i charakter procesów poznawczych (głównie za pomocą metod obliczeniowych) winne w swych rozważaniach zawierać refleksję nad kwantyfikacją rozgałęzioną, ponieważ refleksja nad tym na pozór skrajnym przypadkiem kwantyfikacji może przyczynić się do rozwiązania węzłowych problemów kognitywistyki. Wydaje się bowiem, że od sposobu rozumienia kwantyfikacji rozgałęzionej zależy możliwość ujęcia kognitywnych stanów danego systemu przetwarzającego informację za pomocą sieci (por. de Garis 1996) Z tej więc przyczyny proponowany w artykule model zasługuje na uwagę. Nawet, jeśli jest on błędny, to jego odrzucenie i budowa modelu abstrahującego od usterek przedstawionego wyżej może przyczynić się do rozwiązania fundamentalnych kwestii w obrębie nauk kognitywnych.

#### Bibliografia:

- [1] J. Bobryk, *Znaczenie „znaczenia” w świetle badań psychologii poznawczej i teorii sztucznej inteligencji*, [w:] J. Pelc (red.), *Znaczenie i prawda*, PWN, Warszawa 1994, s. 103 – 122.
- [2] D. Chalmers, *On Implementing a Computation*, [w:] „Minds and Machines” nr 4/1995, s. 391 – 402.
- [3] J. Fodor, *Representations. Philosophical Essays on the Foudation of Cognitive Science*, MIT Press, Cambridge Mass. 1981.
- [4] H. de Garis, *CAM – Brain: ATR’s Billion Neuron Artificial Brain Project*, [w:] T. Furuhashi, Y. Uchikawa (red.), *Fuzzy Logic, Neutral Networks and Evolutionary Computation*, Springer, Berlin 1996, s. 215 – 243.
- [5] A. Molczanow, *Branching quantifier prefixes and logical entailment*, [ 2001, artykuł nie publikowany].
- [6] A. Molczanow, *Kwantyfikacja i egzystencja*, [w:] A. L. Zachariasz (red .), *Sofia* nr 2, Wydawnictwo UR, Rzeszów 2002, [w druku].
- [7] M. R. Quillan, A. M. Collins, *Experiments of Semantic Memory and Language Comprihesion*, Wiley, New York 1972.
- [8] D. E. Rumelhart, D. A. Norman, *Representation in Memory*, California University Press, San Diego 1983.
- [9] R. C. Schank, *Language and Memory*, [w:] *Cognitive Science*” nr 4/1980, s. 243 – 284.