NR 6/2006

Σ Ο Φ Ι Α

ISSN 1642-1248

Artykuły, rozprawy

Статьи, публикации

Aleksy Mołczanow

UR Rzeszów

Ujęcie logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych w modelach sztucznej inteligencji

Представление разветвляющихся кванторов в моделях искусственного интеллекта

1. Uwagi wstępne

Problematyka kwantyfikatorów rozgałęzionych stanowi jedną z kluczowych kwestii we współczesnych badaniach logicznych. Pomimo eksplozji prac dotyczących interesującego nas zagadnienia, zdawać by się mogło, że podstawowe pytania wciąż pozostają otwarte. Warto również podkreślić, iż nowa perspektywa analiz w ramach logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych wiąże się ściśle z badaniami nad sztuczną inteligencją. Tytułem przykładu – problem kwantyfikacji kognitywnych i wolicjonalnych stanów danego systemu wymaga doprecyzowania zakresu stosowalności terminów *kwantyfikator*, *predykat* czy *zmienna* oraz wyznaczenia relacji między nimi. Wydaje się zatem, że wzajemna interakcja logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych i badań nad sztuczną inteligencją umożliwia bardziej ścisłe ujęcie wewnętrznych problemów właściwych każdej z tych dziedzin.

2. Problem ujęcia kwantyfikatorów rozgałęzionych

Za genezę badań nad kwantyfikatorami rozgałęzionymi uznaje się koncepcję kwantyfikatorów Henkina (Henkin 1961, Enderton 1970, Walkoe 1970), natomiast za jej filozoficzną podstawę powszechnie uważane jest dokonane przez Wittgensteina określenie składni języka jako swoistego rodzaju gry, które zostało asymilowane w ramy koncepcji sformułowanej przez Hintikkę. Niemniej jednak, możliwość rzeczywistego wyjaśnienia zjawiska kwantyfikacji w ramach kierunku zaznaczonego przez Hintikkę budzi poważne wątpliwości.

Mimo prawie powszechnego uznania teorii Hintikki, zaproponowany przez niego schemat wyjaśniania kwantyfikacji rozgałęzionej wydaje się zawierać wewnętrzne sprzeczności. Za dobitny przykład posłużyć może jego teza o tożsamości struktury rozgałęzionej ze strukturą *stricte* linearną. Rozpatrując jego tłumaczenie formuły (1)

(1)
$$\begin{array}{ll} (\exists x) & \\ & R(x, y) \\ (\forall y) & \end{array}$$

jako struktury linearnej reprezentowanej przez formułę (2)

(2) $(\exists x)(\forall y)R(x, y)$

oraz formuły (3)

(3)
$$\begin{array}{ll} (\forall x)(\exists y) & \\ & R(x, y, z) \\ (\forall z) & \end{array}$$

jako
(4) $(\forall x)(\exists y)(\forall z)R(x, y, z)$,
dobitnie świadczy o sprzeczności zawartej w koncepcji Hintikki. Sprzeczność ta polega na wzajemnej identyfikacji szyków kwantyfikatorowych w rozpatrywanych formułach, ponieważ struktura rozgałęziona w (1) przedstawiona jest jako zawarta w strukturze linearnej (2), natomiast struktura linearna (4) – rozgałęzionej (3). Można zatem stwierdzić, iż teza Hintikki o tożsamości struktury linearnej i rozgałęzionej implikuje niemożność precyzyjnego zdefiniowania terminu *szyk kwantyfikatorowy*. Nieprecyzyjność ujęcia tego terminu wyraźnie ilustruje przykład (zob. Jackendoff 1972):

(5) *I told three of the stories to many of the men*,

posiadający dokładnie trzy interpretacje, w tym dwie ujęte przez Hintikkę (Hintikka 1974) jako linearne:

a) każdemu z wielu mężczyzn (OSOBNO) opowiedziano trzy ROŻNE historie,

b) każdemu z wielu mężczyzn (OSOBNO) opowiedziano trzy TE SAME historie, opisywane w ramach logik standardowych. Natomiast trzeciej:

c) każdemu z wielu mężczyzn (ZARAZEM) opowiedziano trzy TE SAME historie,

(kodyfikacja której, jak wskazuje Hintikka, w aparaturze logiki standardowej (linearnej) okazuje się niemożliwa) używa jako przykład interpretacji eksplikowalnej wyłącznie przez zastosowanie struktury rozgałęzionej. Niemniej jednak, jedna z dwóch struktur uznawanych przez Hintikkę za linearne (struktura (b)) stanowi interpretację struktury też rozgałęzionej w jej linearnej translacji, podobnie jak w utożsamieniu struktury rozgałęzionej (1) z jej linearnym tłumaczeniem (2):

$$\left.\begin{array}{l} (\exists x) \\ (\forall y)\,. \end{array}\right> R(x, y) = (\exists x)(\forall y)R(x, y)$$

Warto przy tym zaznaczyć, że między strukturą (a) i strukturą (b) relacja jest identyczna, jak pomiędzy dwoma logicznymi reprezentacjami zdania: *All the boys danced with a girl* (Fauconnier 1975), mianowicie:

$$\text{a')}\qquad \begin{array}{c} \exists y \\ \text{girl} \end{array}\ \begin{array}{c} \forall x \\ \text{boy} \end{array}\quad (\text{DANCE } (x, y))$$

$$\text{b)}\qquad \begin{array}{c} \forall x \\ \text{boy} \end{array}\ \begin{array}{c} \exists y \\ \text{girl.} \end{array}\quad (\text{DANCE } (x, y)),$$

gdzie (a') pomimo linearnego zapisu jest *de facto* strukturą rozgałęzioną (a), tj.:

$$\text{a)}\qquad \left.\begin{array}{c} \forall x \\ \text{boy} \\ \\ \exists y \\ \text{girl} \end{array}\right> (\text{DANCE } (x, y))$$

Wynika stąd, iż sprzeczności ujawnione w sposobie przedstawienia powyższych formuł stanowią konsekwencję stosowania przez Hintikkę nieprecyzyjnej aparatury pojęciowej w rozstrzyganiu węzłowych problemów logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych. Wydaje się zatem, że faktyczne własności i bardziej adekwatny opis terminu *rozgałęzienie* osiągnąć można nie poprzez analizę opartą o instrumentarium matematycznej teorii gier (tak jak czyni to Hintikka), lecz poprzez, jak przypuszczamy, posiadający większą, w tym przypadku, moc eksplanacyjną – aparat matematycznej teorii chaosu deterministycznego. Konkluzja ta zdaje się wynikać z faktu, iż podobnie jak w teorii chaosu, tak w logice kwantyfikatorów rozgałęzionych opis natury układów bifurkacyjnych (w przypadku matematycznej teorii chaosu – rzeczywistości fizycznej, zaś w przypadku logiki kwantyfikatorów – struktury abstrakcyjnej) traktować można jako deskrypcje o charakterze przestrzennym. Dla logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych oznacza to konieczność dokonania opisu w terminach n-wymiarowej przestrzeni kwantyfikatorowej, którą uznać można także za aplikację terminologii teorii sztucznej inteligencji (*scil*. teorii sieci semantycznych), związanej z zastosowaniem analogii do następujących terminów: *węzeł, łuk* czy *wnioskowanie kondycjonalne*. Przytoczony argument implikuje zatem dwojakiego rodzaju konsekwencje dla logiki kwantyfikatorów rozgałęzionych. Po pierwsze, z faktu, iż abstrakcyjna struktura logiczna stanowi układ bifurkacyjny wynika, że linearna (nie rozgałęziona) interpretacja szyku kwantyfikatorowego, podobnie jak każda struktura rozgałęziona, stanowi jedynie pochodną struktury wobec niej nadrzędnej. Pojęcie *bifurkacji* prowadzi bowiem do stwierdzenia, że interpretacja formuł w logice kwantyfikatorów rozgałęzionych nie jest ujęciem deterministycznym ze względu na możność wielorakiej ich interpretacji (por. interpretacje zdania *I told three of the stories to many of the men*). Po drugie, odwołanie się do aparatury pojęciowej stosowanej w kręgu badań nad AI (*łuk, węzeł*) w sposób oczywisty zezwala mówić o przestrzennej (nie tylko i wyłącznie dwuwymiarowej, co ma miejsce w standardowym ujęciu kwantyfikatorów rozgałęzionych) naturze „szyku” kwantyfikatorowego. Stąd też przypuszczać można, że zastosowanie zarysowanego programu badawczego dla analiz w ramach logiki kwantyfikatorów pozwala mieć nadzieję na doprecyzowanie podstawowych pojęć i wykluczenie niejasności w obrębie tej dyscypliny.

3. Deterministyczna struktura wynikania w przestrzeni rozgałęzionej

Powracając do zasygnalizowanej powyżej problematyki doprecyzowania podstawowych terminów w logice kwantyfikatorów, jest oczywistym, że struktura rozgałęziona posiada bardziej złożony charakter, niż ten, który sugerują ujęcia standardowe. Wydaje się bowiem, iż rozgałęzienie nie stanowi wyłącznie prostej negacji linearności jako braku rozgałęzienia. Można wszakże wykazać, że wewnątrz samego rozgałęzienia istnieją relacje, które są analogiczne do relacji występujących pomiędzy strukturą rozgałęzioną a linearną. Porównując przykłady (3):

(3) $$\left.\begin{array}{l}(\forall x)(\exists y)\\ (\forall z)\end{array}\right\rangle R(x, y, z)$$

oraz (6):

(6) $$\left.\begin{array}{l}(\exists y)(\forall x)\\ (\forall z)\end{array}\right\rangle R(x, y, z)$$

jest widocznym, że formuła (3) posiada translację w postaci:

(4) $(\forall x)(\exists y)(\forall z)R(x, y, z)$,

natomiast formuła (6) nie posiada tłumaczenia w postaci linearnej, ponieważ (6) nie tłumaczy się jako formuła (7):

(7) $(\exists y)(\forall x)(\forall z)R(x, y, z)$.

Dzieje się tak, ponieważ formuła (6) w przeciwieństwie do formuły (4) jest niewyrażalna za pośrednictwem aparatu logiki drugiego rzędu. Nie istnieje bowiem funkcja wyszukująca (skolemowska), która przysługiwałaby temu wyrażeniu. Ponadto próba kolokacji formuły (6) w notacji logiki drugorzędowej implikuje trudności oscylujące wokół jednoznacznego wyznaczenia szyku kwantyfikatorowego tej formuły (por. Krynicki, Mostowski 1995, 208 oraz Barwise 1979, 54). Funkcyjne ujęcie rozgałęzienia występującego w wyrażeniu (6) nie zezwala bowiem odpowiedzieć na pytanie o kierunek wynikania logicznego, a co się z tym wiąże – o stosunek nadrzędności występujących w formule kwantyfikatorów. Nie jest bowiem wiadomym, czy kwantyfikator szczegółowy implikuje własności zmiennych związanych kwantyfikatorem ogólnym, czy odwrotnie. Co więcej, trudno również stwierdzić, czy kwantyfikacja tego typu ma postać jakiegokolwiek prawa obowiązującego na gruncie standardowej logiki kwantyfikatorów. Jeżeli bowiem logika ma być uprawiana na wzór matematycznej teorii gier, to naturalne, zgodnie z tym ujęciem, jest przeświadczenie, że formuła (6) posiada linearną translację o postaci (7). Jest jednak jasnym, iż nie istnieje dowód, który stwierdzałby, iż zbiór własności kwantyfikowanych szczegółowo implikuje jakiekolwiek uniwersum kwantyfikowane ogólnie. Dla przykładu: z faktu, że pewne samochody są czerwone, nie wynika przecież, że wszystko, co czerwone jest samochodem oraz to, że wszystko, co jest samochodem – jest czerwone. Taka zaś paradoksalna konstatacja stanowi konsekwencję zastosowania aparatu teorii gier do badań nad naturą kwantyfikacji rozgałęzionej.

Wykluczenie wskazanego paradoksu jest możliwe jedynie poprzez zastosowanie metody o właściwej, dla wagi tego problemu, mocy eksplanacyjnej. Jak przypuszczamy, metoda ta jest bardzo naturalnym rozszerzeniem matematycznej teorii chaosu deterministycznego, którą w ramach badań logicznych należy rozważyć w postaci jej transpozycji w teorię n-wymiarowej przestrzeni kwantyfikatorowej.

Pod pojęciem *n-wymiarowej przestrzeni kwantyfikatorowej* rozumiemy nie fizyczną, lecz abstrakcyjną strukturę wyższego rzędu zawierającą kolejne substruktury rozgałęzione. Oznacza to, iż każda substruktura rozgałęziona (lub też nie rozgałęziona) jest semantycznie zdeterminowana przez formalną (syntaktyczną) strukturę rzędu wobec niej wyższego. Ujmując rzecz innymi słowy, powiedzieć należy, iż każda substruktura rozgałęziona jest *kauzalnie* zależna od struktury wobec niej nadrzędnej. Stąd też, co w sposób oczywisty wynika z zasady bifurkacji, wszystkie własności semantyczne jednej z dowolnych substruktur (s_1 ... s_n) zawarte są w strukturze wobec nich nadrzędnej. Rozpatrując na przykład formułę:

a)
$$\begin{array}{ll} \forall x & \\ \text{boy} & \\ & (\text{DANCE }(x, y)) \\ \exists y & \\ \text{girl} & \end{array}$$

będącej, rzecz jasna, strukturą dwuwymiarową, widzimy, iż formuła

b)
$$\begin{array}{lll} \forall x & \exists y & (\text{DANCE }(x, y)), \\ \text{boy} & \text{girl.} & \end{array}$$

będąca formułą przyczynowo zależną od formuły (a), na mocy zasady bifurkacji jest uporządkowana również w sensie wynikania logicznego, ponieważ zdanie logiczne:

(8) $$\exists x \forall y Fxy \rightarrow \forall y \exists x Fxy$$

wyraża nic innego jak relację pomiędzy treścią zapisów (a) i (b), czyli fakt, iż z treści logicznej struktury n-wymiarowej (w tym przypadku (a)) wynika treść logiczna struktury (n-1) – wymiarowej (w naszym przypadku (b)).

Zatem, w świetle zaproponowanej przez nas teorii, jest oczywistym, że rozwiązanie paradoksów wynikających z zastosowania matematycznej teorii gier do badań nad semantyką kwantyfikacji rozgałęzionej uznać należy za banalne. W ramach *n-wymiarowej teorii przestrzeni rozgałęzienia kwantyfikatorowego* formuła:

6)
$$\begin{array}{ll} (\exists y)(\forall x) & \\ & R(x, y, z) \\ (\forall z) & \end{array}$$

jest strukturą trójwymiarową, gdyż dodatkowy (w tym wypadku trzeci) wymiar stanowi naturalną funkcję rozgałęzienia w $(\exists y)(\forall x)$ występującego jako część pozornie dwuwymiarowej formuły (6). Dlatego też, formuła:

(7) $$(\exists y)(\forall x)(\forall z)R(x, y, z)$$

może stanowić linearną translację formuły (3):

(3) $$\begin{array}{l} (\forall x)(\exists y) \\ \\ (\forall z) \end{array} \Big> R(x, y, z).$$

Diametralnie inaczej jest w przypadku formuły (6), gdyż sprowadzenie jej do postaci linearnej *jest w ogóle niemożliwe* ze względu na fakt, iż formuła ta jest sama w sobie tłumaczeniem *par excellence*. Jest więc oczywistym, iż wykazany wyżej brak precyzji pojęciowej w standardowej teorii kwantyfikacji rozgałęzionej w sposób zadawalający rozwiązuje oparta na matematycznej teorii chaosu – aparatura *n-wymiarowej przestrzeni rozgałęzienia kwantyfikatorowego.* Podejście to w sposób naturalny wspiera się również rozstrzygnięciami wypracowanymi w ramach badań nad sztuczną inteligencją. Co więcej, może ono stanowić teoretyczną podstawę dla wniosków formułowanych w obrębie AI.

4. *N*-wymiarowe sieci semantyczne jako sieci bifurkacyjne

Teoria *sieci semantycznych* ma swoje źródła w badaniach z zakresu psychologii poznawczej (Rumelhart 1975, Quillan 1968). Początkowo miała ona stanowić model ludzkiej pamięci, a nawet działania ludzkiego umysłu. Zrębem tej idei było m.in. przekonanie, iż ludzka pamięć stanowi koneksyjną strukturę złożoną z węzłów (reprezentujących pojęcia) oraz łuków (wyrażających relacje między pojęciami). Pomysł ten znalazł także swoje zastosowanie w AI, ponieważ sztuczna inteligencja jest *ex definitione* modelem działania ludzkiego umysłu. Jako że eksperymenty przeprowadzane w ramach psychologii poznawczej zdawały się potwierdzać tezę o koneksyjnej naturze umysłu, w trakcie badań nad sztuczną inteligencją powszechnym stało się przeświadczenie, że to teoria sieci semantycznych, nie zaś logika pierwszego rzędu będąca pierwotnie konceptualnym rdzeniem badań nad AI, stanowi najbardziej adekwatny model reprezentacji wiedzy w komputerowych systemach przetwarzania informacji. Za jeszcze jeden argument na rzecz potrzeby zwrotu od dotychczas przyjmowanej aparatury logicznej do koncepcji zaczerpniętych z badań psychologicznych uznano zjawisko tzw. *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.

Jednakże stwierdzić należy, że podobnie jak w przypadku metod opartych o rachunek pierwszego rzędu, okazało się, iż również sieci semantyczne jawią się jako nieadekwatny model ujęcia wynikania logicznego. Rozpatrzmy na przykład zdanie: *Ptaki posiadają skrzydła*, które w ramach koncepcji sieci semantycznych zostaje przedstawione jak następuje:

ptak --------------------------- skrzydła
ma – jako – część.

Ponieważ teoria sieci semantycznych była *de facto* antytezą logiki pierwszego rzędu, położyło to tym samym kres zastosowaniu pojęcia kwantyfikacji. Na skutek tego, w przedstawionym schemacie w żaden sposób nie można odczytać, czy skrzydła przysługują wszystkim, czy tylko niektórym ptakom. Zatem schemat ten w sposób oczywisty też stanowi wyraz nieprecyzyjności przyjętej aparatury pojęciowej. Nic dziwnego więc, że wnioskowanie, w którym powyższe zdanie zostaje użyte jako przesłanka, w sposób nieuniknioy prowadzi do sprzeczności (okazuje się np., iż pingwin jest i jednocześnie nie jest ptakiem). W związku z tym, staje się jasnym, że skoro celem badań nad sztuczną inteligencją jest wynalezienie właściwego symbolizmu reprezentacji wiedzy, to całkowita rezygnacja z aparatury logicznej wydaje się być nieuprawniona. Zatem teoria sieci semantycznych w sposób oczywisty wymaga uzupełnienia o bardziej precyzyjne, niż standardowe, ujęcie kwantyfikacji rozgałęzionej, ponieważ uzupełnienie tego rodzaju gwarantuje precyzyjność stosowanego w obrębie badań nad AI symbolizmu, a w konsekwencji – symbolizm ten umożliwia przeprowadzanie niesprzecznych wnioskowań w celu konstrukcji koherentnych modeli wiedzy. Trudno bowiem definiować wiedzę jako zbiór twierdzeń pojmowanych jako, by tak rzec, obiekty same w sobie, wzajemnie logicznie w żaden sposób nie powiązane z sobą. Jeśli zaś inteligencja (niezależnie od tego, czy jest ona sztuczna, czy naturalna) formułuje nową wiedzę na podstawie wiedzy już posiadanej, to jako fundamentalne, w obrębie badań nad AI, jawi się więc znalezienie sposobu przedstawienia istoty wynikania logicznego. Jednakże podjęte dotychczas próby połączenia teorii kwantyfikacji z koncepcją sieci semantycznych nie przyniosły oczekiwanych rezultatów (por. Scragg, 1976). Przyczyna takiego stanu rzeczy leży bowiem w tych ograniczeniach standardowej teorii kwantyfikacji rozgałęzionej, które ujawniliśmy wyżej. Rozwiązanie problemów związanych z owymi ograniczeniami za pomocą konceptualnych narzędzi matematycznej teorii chaosu, nie zaś za pomocą pojęciowej aparatury matematycznej teorii gier przywiązanej wyłącznie do semantyki kwantyfikatorów Henkina, pozwala nie tylko na przedstawienie bardziej adekwatnego, naszym zdaniem, obrazu kwantyfikacji rozgałęzionej, lecz również na zastosowanie go w obrębie badań nad sztuczną inteligencją. Zastosowanie to ma bowiem dwojakie konsekwencje: z jednej strony – rozwiązuje centralne, węzłowe problemy AI oraz z drugiej, co nie mniej ważne – może również stanowić niezbity argument wspierający proponowaną tu koncepcję bifurkacyjnej natury rozgałęzienia kwantyfikatorów.

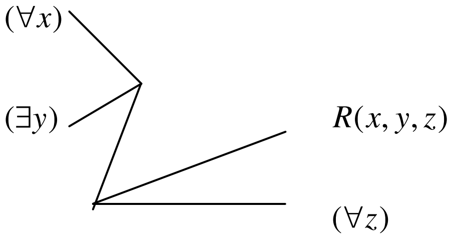
Uzupełnienie teorii sieci semantycznych przez koncepcję *n*-wymiarowego rozgałęzienia kwantyfikatorowego naturalnie implikuje koncepcję *n-wymiarowych sieci semantycznych* w ramach badań nad sztuczną inteligencją. Postępując tym tokiem wywodu, *n*-wymiarowa **sieć semantyczna okazuje się** tak naprawdę niczym innym jak **strukturą rozgałęzioną rekursywnie izomorficzną *n*-wymiarowemu rozgałęzieniu kwantyfikatorów**. Jest to naturalne z uwagi na bifurkacyjny charakter zarówno kwantyfikacji, tak i również, jak sądzimy, sieci semantycznych. Wszakże z samej tylko matematycznej definicji bifurkacji już wynika, że w przypadku jednych i drugich mamy do czynienia z tego samego rodzaju indeterministycznym determinizmem, który obowiązuje przecież w każdej strukturze niezależnie od jej charakterystyki *stricte* ontologicznej, czyli zarówno w układach fizycznych i abstrakcyjnych.

Rozpatrując rekursywny izomorfizm *n*-wymiarowej bifurkacji kwantyfikatorowej, która oddaje właściwy charakter zarówno rozgałęzienia kwantyfikatorów, jak i *n*-wymiarowej sieci semantycznej, zwróćmy uwagę na fakt, iż bifurkacja ta jest zarazem wyrażeniem relacji pomiędzy łukami i węzłami jako elementami sieci semantycznej. Aby wyraźnie oddać naturę tego przypadku izomorfizmu posłużmy się przykładem, który wykazuje przede wszystkim bifurkacyjno-deterministyczny (czyli na pozór nieuporządkowany, ale podlegający swym immanentnym prawom) charakter interesujących nas struktur abstrakcyjnych:

(6) $$\begin{matrix} (\exists y)(\forall x) \\ (\forall z) \end{matrix} \Big\rangle \; R(x, y, z)$$

Ponieważ formuła (6) została wyrażona jako struktura dwuwymiarowa, jej n-przestrzenną (w tym przypadku trójwymiarową) podstawą jest:

(9)



Widzimy zatem, iż formuła (9) jest już sama w sobie siecią semantyczną. W odróżnieniu od standardowych modeli sieci semantycznych, nasza sieć ujmuje węzły nie jako pojęcia, lecz jako zmienne związane. Łuki zaś przedstawiane są jako rozgałęzienia, ponieważ wyrażają one nie linearnie, lecz bifurkacyjnie zdeterminowane relacje pomiędzy węzłami. Zatem model bifurkacyjny sieci staje się czymś więcej niż tylko siecią semantyczną. Pozwala on bowiem nie tylko na ujęcie wyłącznie samej semantyki, lecz również wynikania semantycznego, które w naszym przypadku zostaje odzwierciedlone w sposób czysto formalny. Jako że *n*-wymiarowa sieć bifurkacyjna już z samej definicji jest strukturą deterministyczną, nie może ona także nie określać, i to w sposób zupełnie jednoznaczny, również wynikania pomiędzy elementami struktury. Podkreślić więc należy, że przestrzenne ujęcie natury wynikania w koncepcji *n*-wymiarowego (czyli bifurkacyjnego) rozgałęzienia kwantyfikatorów i proponowanym przez nas modelu AI jest z konieczności uwarunkowane faktem, że implikacja w sposób bezpośredni związana jest z przyczynowością. Zresztą na fakt ów wskazywał już Frege, uzasadniając wprowadzenie znaku implikacji w paragrafie piątym swojego *Pisma pojęć* (Frege, 1879).

5. Uwagi końcowe

Przedstawiony w artykule sposób myślenia o kwantyfikacji rozgałęzionej zdaje się mieć ważne konsekwencje nie tylko dla samej logiki i badań nad AI, ale dla nauk kognitywnych w ogóle. Nauki te, jako dyscyplina *ex definitione* badająca strukturę i charakter procesów poznawczych (głównie za pomocą metod obliczeniowych), nie może w swych rozważaniach pomijać namysłu nad naturą kwantyfikacji rozgałęzionej, ponieważ refleksja nad tym na pozór skrajnym przypadkiem kwantyfikacji *explicite* zezwala na rozstrzygnięcie węzłowych problemów tejże dyscypliny. Wydaje się bowiem, że od sposobu ujęcia kwantyfikacji rozgałęzionej w znacznej mierze zależy rozwiązanie sporu o monadyczny lub niemonadyczny sposób istnienia procesów poznawczych danego systemu (por. Fodor, 1999), czy też możliwość ujęcia kognitywnych i wolicjonalnych stanów systemu za pomocą sieci (por. de Garis, 1996). Z tej więc przyczyny adekwatna teoria kwantyfikacji rozgałęzionej zdaje się stanowić podstawę kognitywistycznego programu badawczego. Mamy nadzieję, że wykorzystanie naszej koncepcji w obrębie nauk kognitywnych pozwoli, choćby w części, odpowiedzieć na fundamentalne pytania immanentne tej dziedzinie wiedzy.

Bibliografia

Barwise J. (1979), *On Branching Quantifiers in English*, „Journal of Philosophical Logic”, nr 8.

De Garis H. (1996), *CAM-BRAIN. the evolutionary engineering of a billion neuron artificial brain by 2001 which grows/evolves at electronic speed inside a cellular automata machine (CAM)*, [w:] Sanchez E., Tomassini M. (red.), *Towards Evolvable Hardware. The Evolutionary Engineering Approach. Springer Verlag*, Berlin.

Enderton H.B. (1970), *Finite Partially-Ordered Quantifiers*, „Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik”, 16b.

Fauconnier G. (1975), *Do Quantifiers Branch?*, „Linguistic Inquiry”, nr 6.

Fodor J. (1999), *Jak grać w reprezentacje umysłowe*, tłum. Z. Chlewiński, [w:] Z. Chlewiński (red.), *Modele umysłu*, Warszawa.

Frege G. (1879), *Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*, L. Nebert, Halle.

Henkin L. (1961), *Some remarks on infinitely long formulas*, [w:] *Infinistic Methods. Proceedings of the Symposium on Foundations of Mathematics, Warsaw, (2–9 September 1959)*. Pergamon Press, New York.

Hintikka J. (1974), *Quantifiers vs. Quantification Theory*, „Linguistic Inquiry", nr 5.

Jackendoff R. (1972), *Semantic Interpretation in Generative Grammar*, MIT Press, Cambridge, Mass.

Krynicki M., Mostowski M. (1995), *Henkin Quantifiers*, [w:] Krynicki M., Mostowski M., Szczerba L.W. (red.), *Quantifiers: Logics, Models and Computation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Quillan R. (1969), *Semantic Memory*, [w:] Minsky (red.), *Semantic Information Processing*, MIT Press.

Rumelhart D.E. (1975), *Notes on a schema for stories*, [w:] Bobrow D.G., Collins A. (red.), *Representation and Understanding,* Academic Press, Orlando.

Scragg G. (1976), *Semantic nets as memory models*, [w:] Charniak, Wilks (red.), *Computational semantics*, North Holland, Amsterdam.

Walkoe W.J. (1970), *Finite Partially-Ordered Quantification*, „Journal of Symbolic Logic", nr 35.

Одной из наиболее трудно решаемых проблем, встающих перед исследователями в области искусственного интеллекта, является вопрос взаимного отношения а также взаимодействия синтаксиса и семантики. В статье предлагается новая концепция многомерного пространственного представления синтаксиса кванторов Хенкина. Рассмотрение свойств данной топологической модели позволяет показать её способность представлять важные семантические отношения между предложениями, такие как отношения логического следования, определяемых в виде собственно топологических свойств определяемых непосредственно на самой модели. Полученные результаты указывают на наличие упорядоченного изоморфизма между синтаксическими и семантическими процессами, снимая тем самым наиболее принципиальное препятствие стоящее на пути дальнейших исследований в области искуственного интеллекта.

One of the biggest dilemmas that AI researchers face is how to bridge the gap between semantics and syntax. The paper proposes a novel conception of multidimensional syntax of branching (Henkin) quantifiers. The topological model employed in the proposed multidimensional representation of quantifiers is shown to be capable of rendering relevant semantic relations between quantified sentences, such as logical inference, directly in terms of strictly topological *characteristics. The obtained results point to the existence of an orderly isomorphism between the syntactic processes and the semantic processes capable of giving a new thrust to the research in AI proper.*