Tytuł: **Obliczanie, semantyka i superweniencja**

Autor: Piotr Kołodziejczyk ; e-mail: pkolodziejczyk@interia.pl

Źródło: http://kognitywistyka.net ; e-mail: mjkasperski@kognitywistyka.net

Data: czerwiec 2003

1. Krytyka ujęcia semantyki w mocnej wersji Sztucznej Inteligencji

Przyjmując, iż podstawę formułowania koncepcji semantycznych stanowią formalne reguły operowania symbolami, teoretycy AI narażają się na szereg zarzutów, które ująć można następująco:

(1) 'Inteligentne' systemy przetwarzające informacje niejednokrotnie nie uwzględniają problemu ekstensji generowanych przez siebie ciągów wyrażeń.

> Z tego punktu widzenia – pisze Bobryk – jest czymś mało istotnym, że sądy 'Edyp poślubia Jokastę' i 'Edyp poślubia swoją matkę' mają tę samą denotację, czyli dotyczą tych samych faktów. Ważne jest natomiast, czy w umyśle utrwalona jest informacja 'Jokasta jest matką Edypa'.[1]

Toteż, systemom tym trudno orzec, czy wypowiedzi wyjściowe typu: "Aleksander Kwaśniewski" i "obecny prezydent RP" odnoszą się do tego samego obiektu. Trudność ta związana jest z tzw. zagadnieniem 'wąskiej treści'. Mówiąc słowami Putnama, nietrudno wykazać, że znaczenia generowane przez dowolny system poznawczy "nie są w głowie".

(2) "Znaczenia nie są w głowie". Pisze Putnam:

> Jeśli idzie o mózgi w naczyniu – jakim sposobem fakt, że język ma ustalone przez program związki z odbieranymi bodźcami zmysłowymi, które ani ze swej istoty, ani na żadnej konwencjonalnej zasadzie nie reprezentują (...) niczego zewnętrznego, może sprawić, by cały system reprezentacji, język w jego użyciu rzeczywiście odnosił się do drzew, lub reprezentował drzewa, bądź cokolwiek zewnętrznego? Odpowiedź brzmi: nie może.[2]

Jest tak, ponieważ, treść semantyczna tworzona przez sztuczne podmioty poznawcze jest 'wąska'. Oznacza to, iż odnosi się ona do symboli (wyrażeń) zaimplementowanych w danym systemie, nie zaś do obiektów zewnętrznych wobec siebie. Za Putnamem można zatem stwierdzić, że gdyby te systemy posiadały zdolność bezpośrednich interakcji ze

[1] J. Bobryk, *Akty świadomości i procesy poznawcze,* Wrocław 1996, s. 101.
[2] H. Putnam, *Mózgi w naczyniu*, s. 295-324, w: tenże, *Wiele twarzy realizmu i inne eseje*, tłum. A. Grobler, Warszawa 1998, s. 313.

środowiskiem, wówczas miałyby zdolność do tworzenia takich samych kategorii semantycznych jak podmioty ludzkie[3]. Wtedy jednak treść semantyczna traktowana byłaby 'szeroko'. Takie ujęcie prowadziłoby do ugruntowania zbioru symboli tworzących dany system, a w konsekwencji do skonstruowania semantyki robotycznej.

Semantyka tego rodzaju zakładała, iż symbole składające się na dany system oraz reguły operowania nimi nie są dostatecznym warunkiem dla generowania semantyki. Odrzucam bowiem stanowisko funkcjonalistyczne i związaną z nim tezę o niezależności realizacji własności poznawczych. Moje stanowisko jest, rzecz jasna, narażone na konieczność odrzucenia teorii obliczalności jako podstawy rozstrzygnięć semantycznych. Wydaje się jednak, iż ma ono tą zaletę, że nie miesza poznania z obliczaniem. Uważam bowiem, że aby możliwe było tworzenie kategorii semantycznych przez dany system, musi być on być wyposażony w organy sensomotoryczne. Stąd też, za Harnardem, można stwierdzić, że:

> własności symboliczne muszą być ugruntowane we własnościach robotycznych. Wiele sceptycznych rzeczy można powiedzieć o robocie (...), ale nie można powiedzieć, że wewnętrzne symbole tego robota dotyczą przedmiotów, zdarzeń i stanów rzeczy, do których się odnoszą tylko dlatego, że są w taki sposób przeze mnie interpretowane, ponieważ ten robot sam może i faktycznie oddziałuje, autonomicznie i wprost na te przedmioty (...) w sposób, który odpowiada interpretacji. (...) Cena jednak, jaką trzeba zapłacić za ugruntowanie systemu jest to, że nie jest on już jedynie obliczeniowy. Dla robotycznego ugruntowania (semantyki, przyp. P.K.) niezbędne jest przynajmniej przetwarzanie sensomotoryczne, a przetwarzanie nie jest obliczaniem.[4]

Ugruntowanie to umożliwia jednakże przypisanie systemowi robotycznemu własności intencjonalności, a więc wyposażenia go w te własności poznawcze, co podmiot naturalny.

2. Superweniencja a semantyka obliczeniowa

O ile prawomocność zasygnalizowanej powyżej propozycji Harnarda i wynikającej z niej koncepcji semantyki robotycznej oceniać można wyłącznie w perspektywie temporalnej, czyli poprzez odwołanie się do potencjalnych rozstrzygnięć inżynierii i logiki, to nie można zarazem twierdzić, iż podstawowe problemy semantyczne są w jej ramach rozwiązane. Dlatego też w poniższych rozważaniach podejmę próbę rozwiązania zagadnień semantycznych w oparciu o dzisiejszy stan wiedzy, głównie zaś – o metody matematyczne.

Fundamentalne problemy semantyczne, które pozostają w centrum zainteresowania badaczy sztucznej inteligencji, za Duchem[5] można przedstawić następująco:

- centralny paradoks poznania:

> Jeśli teoria uznająca umysł za funkcję mózgu jest słuszna to, w jaki sposób symbole, idee, znaczenie, cały świat umysłu wyłonić się może z procesów obliczeniowych wykonywanych przez mózg?[6]

- problem znaczenia symboli: jeżeli

---

[3] Por. tamże, s. 305-306.

[4] S. Harnard, *Computation is just interpretable manipulation. Cognition isn't*, ss. 379-390, w: "Minds and Machines", N 4, 1995, s. 388.

[5] Por. W. Duch, *Czym jest kognitywistyka?*, ss. 9-50, w: „Kognitywistyka i Media w Edukacji", N 1, 1998, ss. 30-42.

[6] Tamże, s. 30.

> symbole w systemach formalnych definiowane są przez inne symbole, skąd więc w komputerach mogło się wziąć ‘prawdziwe rozumienie’.[7]

Problemy te, jak wskazuje Żegleń[8] ująć można w szerszej perspektywie. Otóż, jeśli przyjmie się, że dowolny system przetwarzający informacje jest przede wszystkim ‘maszyną syntaktyczną’, to w naturalny sposób pojawia się pytanie o to, czy syntaktyczne reguły operowania symbolami zezwalają na dostęp, opis i analizę niesyntaktycznych poziomów jego organizacji. Mówiąc inaczej, powstaje pytanie, czy zasadnym jest twierdzić, że przekonanie ‘jeśli jest pochmurno, to zanosi się na deszcz’ żywione przez dowolny podmiot jest wynikiem przeprowadzanych przez niego operacji obliczeniowych. Nie trudno zauważyć, że formalnie przekonanie to ująć można w postaci implikacji $p \rightarrow q$. Może się wydawać, iż

> implikacja ta odzwierciedla stosunek przyczynowy zachodzący między stanami mentalnymi znajdującymi się w umyśle osoby żywiącej dane przekonanie. Bycie w danym stanie jest procesem psychicznym, który w języku wewnętrznym ma swoją reprezentację mentalną zapisaną powyżej symbolicznie.[9]

Jednakże, jak trafnie zauważa Żegleń[10], a o czym i ja pisałem wyżej, podstawowy problem związany z tym ujęciem zasadza się na niewspółmierności praw logicznych i psychologicznych opisujących zachowanie się danego systemu. Eksternalistyczne podejście do umysłu i języka pozwala bowiem wnosić, że stanów poznawczych systemu nie można rozpatrywać w abstrakcji od jego otoczenia. Zasadniczą trudność w ujęciu semantyki przez badaczy AI rodzi zatem pogodzenie eksternalizmu z paradygmatem obliczeniowym.

Na poniższych stronach podejmę próbę rozwiązania tej kwestii. Będę przy tym wykorzystywał następujące rozstrzygnięcia:

- teorię niedeterministycznych maszyn Turinga;
- twierdzenie Rice’a;
- koncepcję superweniencji psychofizycznej.

W moich analizach zakładam, że dany system przetwarzający informacje i posiadający charakterystykę semantyczną jest układem złożonym. Złożoność rozumiem w sensie matematycznym. Nie jej definiuję przy tym, zgodnie z propozycją Shannona, jako wartości rekursywnie izomorficznej z modelem obliczalności, jaki stanowi maszyna Turinga. Ujmuję ją raczej w sensie funkcyjnym. Wychodząc bowiem od pojęcia funkcji Ackermanna[11], z konieczności należy przyjąć następujący lemat:

---

[7] Tamże, s. 30.
[8] Por. U. Żegleń, *Wprowadzenie do problematyki filozofii umysłu*, ss. 11-130, w: „Kognitywistyka...”, N 1, 1998, ss. 121-126.
[9] Tamże, ss. 121-122.
[10] Zob. tamże, s. 124
[11] Funkcję Ackermanna w ujęciu informatycznym można zdefiniować poprzez odwołanie się do następujących schematów rekursji pierwotnej:
1. $[(x + y) = y = (0 \rightarrow x)]$;
2. $[(x * y) = y = (0 \rightarrow 0)]$;
3. [potęga $(x, y) = y = (0 \rightarrow 1)$];
4. [superpotęga $(x, y) = y = (0 \rightarrow 1)$];

Z punktów 1 - 4 wynika, że jest możliwe określenie ciągu nieskończonego f_n, $n \geq 0$, funkcji takich, że:
1. f_0 = bezpośredni następnik;
2. f_1 = suma;
3. f_2 = iloczyn;

LEMAT 1: Funkcja Ackermanna rośnie szybciej niż dowolna funkcja pierwotnie rekurencyjna.

Założenie lematu:

1. Funkcja Ackermanna nie jest pierwotnie rekurencyjna.

Dowód:

Niech f będzie funkcją Ackermanna. Przypuśćmy, że f jest pierwotnie rekurencyjna.

1. Niech funkcja $g(x) = f(x, x)$.
2. Na mocy twierdzenia Hermesa[12] istnieje liczba c taka, że $\forall x\ (x_1 \ldots x_n)$:

$$g(c) < f(c, (x_1 + \ldots + x_n))$$

3. Zatem: $g(x) < f(c, x)$
4. Jeśli przyjąć, że $x = c$, to otrzymamy:
5. $f(c, c) = g(c) < f(c,c)$.

W kroku (5) otrzymaliśmy sprzeczność, a zatem założenie lematu jest prawdziwe. Zatem na mocy lematu możemy określić pojęcie złożoności.

TWIERDZENIE 1 (O ZŁOŻONOŚCI):

Funkcja g jest złożona wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje funkcja f, która przyporządkowuje funkcji pierwotnie rekurencyjnej g liczbę złożoności (f).

Dowód:

1. Istnieje funkcja f będąca funkcją złożoną
2. Dla każdego $n \geq 0$ można określić podzbiór S_n zbioru funkcji pierwotnie rekurencyjnych (PR) zawierający wszystkie funkcje o złożoności (Z) co najwyżej n:

$$S_n = \{f \in PR: Z(f) \leq n\}$$

3. Dla $n \geq 0$ zbiory mają następujące własności $S_0 \subseteq S_1 \subseteq S_2 \ldots \subseteq \ldots S_n$
4. Jako, że każda funkcja g ze zbioru PR należy do pewnego S_n to: $\cup S_n = PR$.

---

4. f_3 = potęga;
5. f_4 = superpotęga.

Dla $n \geq 1$ uzyskujemy:

1. $f_n(x, y) = y = [0 \rightarrow g_n(x)]$;
2. $f_{n-1}(x, y) = (x, f_n(x, y - 1))$.

Zakładamy przy tym, że $f_1(x, y) < f_2(x, y) < f_3(x, y) < f_4(x, y)$.

Idea Ackermanna bazuje na zastąpieniu ciągu nieskończonego $\{f_n: n \geq 1\}$ funkcją f z dodatkowym parametrem n tak, że: $f(n, x, y) = f_n(x, y)$. W interpretacji Hermesa w funkcji f 'zanurzone' są wszystkie funkcje f_n. Zatem funkcja $f(n, x, y)$ przyjmuje następującą postać: $f(n, x, y) = f(n - 1, x, f(n, x, y - 1))$.

Łatwo zauważyć, że zmienna x jest nieistotna, a więc można ją wyeliminować. Eliminacja ta prowadzi do rekurencyjnego schematu definiującego funkcję Ackermanna: $f(n, y) = f(n- 1, f(n, y - 1))$.

[12] Zob. L. Hermes, *Enumerability, Decidability and Computability,* Berlin-Heildelberg 1965, s. 84.

Ciąg o postaci S_n: $n \geq 0$ można za Bradym nazwać hierarchią[13]. W badaniach nad sztuczną inteligencją hierarchia oznaczałaby zaś wielość poziomów organizacji danego systemu przetwarzającego informacje. Stąd też można by wnosić, iż poziom semantyczny jest względnie niezależny od poziomu syntaktycznego. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, iż własności semantyczne są częściowo zdeterminowane przez reguły obliczeniowe. Z definicji funkcji Ackermanna można bowiem wnosić, że własności semantyczne oraz relacje między nimi są bardziej skomplikowane (złożone) od własności obliczeniowych danego systemu. Mówiąc inaczej, o ile poziom formalny (symboliczny) jest zdeterminowany przez reguły obliczeniowe, to poziom semantyczny podlega tej determinacji co najwyżej w sensie przyczynowej. Oznacza to, że reguły obliczeniowe są jedną z przyczyn występowania własności semantycznych w danym systemie. Kategorie semantyczne superweniują zatem na zbiorze symboli wraz z regułami operowania nimi. Nie jest jednak możliwa redukcja tych kategorii (a w szczególności znaczenia) do zbioru reguł obliczeniowych.

Założenie hierarchiczności w dowolnych systemach przetwarzających informacje pozwala traktować je jak niedeterministyczne maszyny Turinga. Wówczas można by rozwiązać postawiony wcześniej problem zależności kategorii semantycznych od reguł obliczeniowych. Co więcej, podejście to można pogodzić z ideą eksternalizmu semantycznego. Pisałem bowiem wyżej, że charakterystyczny dla mocnej wersji AI postulat oparcia badań semantycznych na analizach syntaktycznych i związany z nim semantyczny internalizm prowadzi do problemu tak zwanej ‘martwej pętli’, czy szerzej – kwestii końca pracy danego systemu[14]. Wydaje się zaś, że proponowane przeze mnie podejście nie jest narażone na tego rodzaju trudności teoretyczne. Konstruując pewną wersję semantyki pozostającą w zgodzie z paradygmatem AI warto wyjść od następującego twierdzenia, które jest transpozycją twierdzenia Rice’a.

<u>TWIERDZENIE 2:</u>

Jeżeli S nadbudowane nad językiem A jest systemem przetwarzania informacji, zaś D jest zbiorem dostarczonych systemowi danych, to:

1. Dla dowolnej danej istnieje jej interpretacja wyrażona w A i zawarta w S.
2. Dla dowolnych języków formalnych L, $N \subseteq A$ jeżeli L opisuje D oraz $L \subseteq N$, to N opisuje D.

<u>Dowód</u>[15]:

1. Zakładamy (dla uproszczenia), że A ma przynajmniej dwie litery. Niech 0 i 1 stanowią wyróżnione litery języka A.
2. Niech $D_1 \subseteq A$ będzie daną wyrażoną w języku A.
3. Niech $W = \{0, 1, x \in A: (0 \in N \wedge x \in L) \vee x \in N\}$.
4. Przyjmując, że L i N są językami rozpoznawalnymi przez niedeterministyczną maszynę Turinga, należy założyć, że W również jest językiem rozpoznawalnym.

[13] Zob. J. Brady, *Informatyka teoretyczna w ujęciu programistycznym*, tłum. A. Skowron, Warszawa 1983, s. 139.
[14] Problem końca pracy jest równoważny zagadnieniu końca pracy maszyny Turinga. Idzie zatem o to, czy w dowolnym dającym się precyzyjnie wyznaczyć się czasie program zakończy, czy nie zakończy działania.
[15] Por. A. Kościelski, *Teoria obliczeń*, Wrocław 1997, ss. 119-122.

5. Język W można skonstruować następująco:

   $W(0,1) = L$ jeżeli $0 \notin N$;

   $W(0,1) = N$ jeżeli $0 \notin L$.

6. Jeżeli $0 \notin N$, to w definicji W nie jest prawdziwy pierwszy człon alternatywy. Zatem: $(0, 1, x) \in W \equiv x \in L$. Tak więc: $W(0, 1) = L$.

7. Jeżeli 0 należy do N i $W \subseteq N$, to z prawdziwości drugiego członu alternatywy wynika prawdziwość członu pierwszego. Mamy zatem: $(0, 1, x) \in W \equiv x \in N$, a tym samym $W(0, 1) = N$.

8. Niech f będzie całkowitą funkcją obliczalną taką, że: $B_x(y) = B_f(x, y)$. Ponadto, wybierzmy takie $J \in A$ takie, że $L_J = W$.

9. Stąd: $B_f(J, 0, 1) = L$, jeżeli $0 \notin N$; $B_f(J, 0, 1) = N$, jeżeli $0 \notin L$.

   a. Równość ta pozwala na konstrukcję algorytmu rozpoznającego dopełnienie N. Algorytm ten przedstawia się następująco:

   $$(0 \notin N) \equiv f(J, 0, 1) \in S.$$

Zgodnie z zaproponowanym algorytmem zbadanie, czy dana D_1 jest interpretowana w języku N polega na sprawdzeniu, czy N jest zapisane wyłącznie przy użyciu wyróżnionej litery 0 należącej do języka A, dopisaniu do otrzymanego słowa jedynki, obliczeniu wartości $f(J, D_1, 1)$ oraz zbadaniu czy obliczona wartość należy do S. Zatem język N oraz jego dopełnienie są rozpoznawalne. Stąd zaś N jest językiem rozstrzygalnym.

Podobnie można dowieść pierwszej części tezy:

1. Załóżmy, że język $L \subseteq A$ opisuje D. Niech M będzie maszyną Turinga rozpoznającą język N.

2. Zdefiniujmy język W jako $W = \{(0, 1, x) \in A\colon x \in L \wedge$ słowo 0 nie zostało zaakceptowane przez M podczas wykonywania $|x|$ pierwszych jej ruchów.

3. Aby wykazać, że język W jest rozpoznawalny wystarczy skonstruować M dzielące dane słowo na blok zer kończących się jedynką i resztą x, zapamiętującą x oraz sprawdzającą czy $x \in L$. Jeżeli tak, to procedura ta uruchamia M.

4. Z definicji W wynika, że $W = (0, 1)$ jest podzbiorem L. Jeżeli $0 \notin N$ to drugi człon koniunkcji W jest prawdziwy. Zatem $W(0, 1) = L$. W innym przypadku drugi człon koniunkcji w definicji W jest prawdziwy tylko dla słów x o długości mniejszej od liczby ruchów potrzebnych do zaakceptowania przez M słowa x.

5. Niech f będzie całkowitą funkcją obliczalną taką, że: $B_x(y) = B_f(x, y)$. Ponadto, wybierzmy takie $J \in A$, że $W = Bj$.

6. Na mocy przyjętych oznaczeń możemy skonstruować następujący algorytm:

$$(0 \notin N) \equiv f(J, 0, 1) \in S.$$

W świetle tego algorytmu wydaje się być oczywiste, że docierające do systemu dane są przetwarzane na pewne ciągi słów, które z kolei stają się składową systemu. Dla rozwiązania problemów semantycznych w ramach badań nad AI stwierdzenie to ma tą oto konsekwencję: własności semantyczne są funkcją zaimplementowanych w systemie symboli wraz z regułami ich transformacji. Jest przy tym ważne, iż wbrew badaczom pracującym w paradygmacie mocnej wersji sztucznej inteligencji zakładam, że własności semantyczną nie wynikają wprost ze zbioru symboli stanowiących ich podstawę. Są one zależne również od procedur dekodujących.

> Można wykazać – pisze w tej kwestii Drew McDermott – że twierdzenia o znaczeniu zawsze zależą od interpretacji, ponieważ charakterystyka symboli i obliczania zawsze zależy od dekodowania (...). Procedury dekodujące ukazują, że pewne symbole są zaimplementowane w systemie, lecz nie wyjaśniają natury związanych z nimi obliczeń. Jeżeli, na przykład, maszyna sumuje jakieś liczby z uwzględnieniem dekodowania, wówczas wyjaśnienie sposobu dodawania nie uwzględnia dekodowania. Eksplikacja ta pozwala wytłumaczyć dlaczego (kiedy) stan A i B występuje w danym momencie, zaś bit (informacji, przyp. P.K.) później stan rozkodowujący A + B – w innym. Jednakże fakt występowania stanów rozkodowujących nie pełni żadnej roli w tego typu wyjaśnianiu. (...) Procedura dekodująca jest jedynie opisem pewnych stanów (obliczeniowych, przyp. P.K.) (...) Za pomocą tak rozumianej semantyki można zbudować pomost pomiędzy symbolami a ich denotatami (...).[16]

Aby skonstruować semantykę opartą o procedury dekodujące należy założyć istnienie dwóch poziomów analizy w 'inteligentnych' systemach przetwarzania informacji. Pierwszy z nich jest poziomem symboli i reguł operowania nimi. Drugi – to superweniujący na zbiorze symboli poziom występowania własności semantycznych. Zakładając istnienie relacji superweniencji pomiędzy symbolami a własnościami semantycznymi odrzucam jednakże możliwość definicyjnej (logicznej) redukcji tych własności do zbioru symboli wraz z regułami obliczeniowymi. Gdyby bowiem taka redukcja była możliwa, zdolność do generowania treści semantycznych przez dany system byłaby wyjaśnialna poprzez odwołanie się do poziomu symbolicznego. Wówczas jednak proponowane ujęcie semantyki nie różniłoby się o propozycji zwolenników mocnej wersji AI, a tym samym – byłoby narażone na wszystkie trudności o których pisałem wyżej. Niemożność przeprowadzenia redukcji logicznej na własnościach semantycznych świadczy zatem, że są one względnie niezależne od poziomu symbolicznego. Niezależność tą można przedstawić następująco[17]:

(1) Niech S będzie zbiorem zaimplementowanych w systemie symboli, zaś W – zbiorem własności semantycznych superweniujących na S.

(2) Transponując tezę Kima o korelacji psychofizycznej można stwierdzić, że dla każdej własności W istnieje obliczeniowa konfiguracja S taka, że własność W występuje w danym systemie jeżeli występuje w nim również konfiguracja S:

$$\forall_S \exists_W (S \rightarrow W).$$

(3) Tezę tą można rozszerzyć poprzez włączenie w jej ramy procedur dekodujących i uzyskać następującą charakterystykę własności semantycznych:

[16] D. McDermott, *Minds and Mechanism,* Cambridge Mass., 2001, ss. 208-209.
[17] Por. J. Kim, *Psychophisical supervenience,* ss. 51-70, w: "Philosopfical Studies", N 1, 1982, ss. 54-58.

i. Dana konfiguracja obliczeniowa może być dekodowana przez różne procedury. Stąd też, pewna konfiguracja obliczeniowa S może być zinterpretowana w różnych znaczeniach:

$$\forall_S \exists_W \exists_D \exists_P \{P \neq D \rightarrow [(S(P) \rightarrow W_1) \wedge (S(D) \rightarrow W_2)]\}$$

3. Wnioski

Zdaje się być widocznym, że wprowadzenie procedur dekodujących uniemożliwia zredukowanie własności semantycznych generowanych w danym systemie do zbioru symboli i reguł obliczeniowych. Proponowane przeze mnie podejście neguje tym samym stanowisko funkcjonalistyczne. Niemożność przeprowadzenia redukcji logicznej na własnościach semantycznych prowadzi do negacji możliwości ich ujęcia wyłącznie za pomocą reguł obliczeniowych. Tym samym zaś wyklucza ona możliwość realizacji własności semantycznych na różnym podłożu fizycznym za pomocą tego samego zbioru symboli oraz reguł ich transformacji. Bezpośrednie konsekwencje przyjętego przeze mnie rozumienia semantyki są bowiem następujące:

1. Relację wiążącą własności semantyczne i własności symboliczne można rozpatrywać tylko w obrębie danego systemu przetwarzającego informacje.

2. Możliwe są systemy obliczeniowo izomorficzne z pewnym systemem A, które generują/realizują własności semantyczne inne niż A.

3. Wystąpienie w systemie A własności semantycznej W będącej pochodną obliczeniowej konfiguracji S jest zdeterminowane dekodowaniem S przez pewną procedurę P.

W związku z powyższym wydaje się, iż możliwość realizacji własności semantycznych w danym systemie przetwarzającym informacje warunkowana jest w takiej samej mierze przez zaimplementowany w systemie algorytm obliczeń, jak i możliwością interakcji tego systemu ze swoim otoczeniem. Interakcje te są konieczne chociażby z tego względu, że wzrost wiedzy sztucznych i naturalnych podmiotów poznawczych warunkowany jest ilością dostarczanych do nich danych oraz umiejętnością ich dekodowania i adaptacji. Przetwarzanie tych danych może odbywać się (co mam nadzieję udało mi się pokazać) w sposób obliczeniowy. Ich implementacja do systemu zakłada jednak, iż system musi być wyposażony we własność intencjonalności, której rozwój jest faktem niebagatelnym dla rozwoju badań nad AI, ponieważ teorie intencjonalności sformułowane w ramach mocnej wersji sztucznej inteligencji narażone są na szereg trudności teoretycznych.