

**Jadwiga Sobieska-Karpińska, Marcin Hernes**

## **METODY REPREZENTACJI WIEDZY AGENTÓW W MULTIAGENCKICH SYSTEMACH WSPOMAGAJĄCYCH PODEJMOWANIE DECYZJI FINANSOWYCH**

### **1. Wstęp**

Podjęcie decyzji finansowych jest problemem trudnym i skomplikowanym. W celu wspomaganie podejmowania decyzji finansowych wykorzystuje się obecnie metody sztucznej inteligencji. Są to m.in. systemy eksperckie, stosowane np. w bankach przy określaniu zdolności kredytowej klienta, sieci neuronowe służące do diagnozowania obserwacji i rozpoznawania zjawisk ekonomicznych, systemy rozmyte umożliwiające wspomaganie decyzji w sytuacjach, gdy zjawiska nie mogą być jednoznacznie charakteryzowane. Coraz szersze zastosowanie mają programy agencje i systemy multiagenckie, ponieważ w odróżnieniu od innych technologii sztucznej inteligencji mają możliwość samodzielnego działania, podejmowania decyzji bez ingerencji użytkownika czy też czynników zewnętrznych. W wyniku swojego funkcjonowania agent uzyskuje wiedzę na temat środowiska, w którym działa. Jeżeli chcemy korzystać z tej wiedzy, to musi być ona reprezentowana w postaci konkretnej struktury. Struktury takie zostały zdefiniowane w wielu pracach (np. [Hernes 2004; Hernes, Nguyen 2004; Nguyen 2002]), jednakże nie została zdefiniowana struktura, którą można zastosować na potrzeby systemów wspomaganie decyzji finansowych. Powinna ona pozwolić nie tylko na wyrażenie przez agenta swojej opinii, ale także jej stopnia pewności. Struktura ta powinna także reprezentować udział poszczególnych elementów decyzji w całej decyzji. Mówiąc o elementach decyzji, mamy na myśli obiekty, których wykorzystanie reprezentuje decyzja (np. portfel akcji jest reprezentowany przez pewien podzbiór akcji poszczególnych firm). Struktura spełniająca te warunki zostanie zaprezentowana w tym artykule.

### **2. Program agencji**

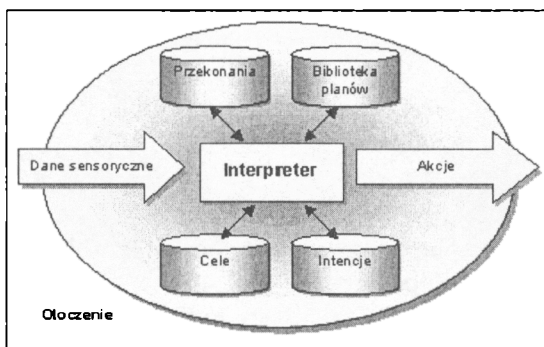
Aby wprowadzić w problematykę definiowania struktur wiedzy agentów, krótko scharakteryzujemy sam program agencji.

Według Ferbera [1999], agentem nazywamy jednostkę mającą postać fizyczną lub tylko logiczną, która:

- jest zdolna do podejmowania działań w środowisku, w którym się znajduje,
- może się komunikować bezpośrednio z innymi agentami,
- jest kierowana przez zbiór zwyczajów, skłonności będących konkretnymi celami bądź też optymalizowaną funkcją korzyści,
- posiada własne zasoby,
- jest zdolna do odbierania danych z jej otoczenia,
- może posiadać częściową wiedzę o tym otoczeniu, ale bardzo często może nie mieć jej wcale,
- posiada umiejętności działania i wnioskowania i może oferować usługi,
- może się reprodukować, klonować,
- zachowuje się tak, aby dążyć do osiągnięcia celów, biorąc pod uwagę dostępną wiedzę, zasoby i umiejętności oraz polegając na zdolności odbierania bodźców z otoczenia i komunikowania się.

Definicja ta podkreśla, że program agencki musi mieć zdolność nie tylko rozumowania, ale także działania w swoim środowisku.

W pracy [Dudek, Zgrzywa 2000] został opisany model programu agenckiego. Autorzy zaznaczają, że jednym z istotnych podejść do modelowania systemów agenckich jest paradygmat BDI (*Belief–Desire–Intention*), rozwijany od połowy lat osiemdziesiątych i wiążący się ściśle z systemami praktycznego wnioskowania (*Practical Reasoning Systems* – PRS). Paradygmat BDI w swoich założeniach nawiązuje do wnioskowania przeprowadzanego przez człowieka i opiera się na pojęciach przekonania (*belief*), pragnienia (*desire*) oraz intencji (*intention*). Przekonania wyrażają posiadaną przez agenta wiedzę o otaczającym go świecie, pragnienia – stany świata, które są potencjalnymi celami agenta, intencje zaś – rzeczywiste cele agenta, które on wybrał spośród dostępnych opcji i do których zobowiązał się dążyć, angażując swoje zasoby. Działanie agenta BDI polega na ciągłym uaktualnianiu swojej bazy przekonań, rozpoznawaniu dostępnych opcji – pragnień, wyborze spośród nich intencji i wykonywaniu akcji w celu ich realizacji.



Rys. 1. Składniki typowej architektury agenckiej BDI

Źródło: na podstawie [Dudek, Zgrzywa 2001].

Przez architekturę agencją rozumiemy zespół środków realizacyjnych, służący do budowy agentów, a funkcjonujący w sposób zgodny z modelem formalnym, na którym jest oparty. Jest to więc pewien szkielet, na podstawie którego tworzone są programy agencje do konkretnych zastosowań. Typowa architektura BDI składa się z czterech struktur danych: przekonań, celów, intencji oraz biblioteki planów, a także z interpretera, który odpowiedzialny jest za proces wnioskowania, przetwarzania danych sensorycznych i wykonywania akcji na otoczeniu (zob. rys. 1).

W przypadku agentów wspomagających podejmowanie decyzji finansowych celami oraz intencjami jest podjęcie decyzji (np. o udzieleniu kredytu, zakupie akcji), plany określają działania, jakie należy podjąć, aby osiągnąć cel (np. odczytać dane i przetworzyć je), przekonania wyrażają decyzje podjęte w procesie wnioskowania (np. udzielić kredytu, kupić akcje danych firm). Zawierają one zatem wiedzę agenta. Dane sensoryczne są to dane potrzebne do podjęcia decyzji, akcje zaś są to wszelkie działania agenta na obiektach zewnętrznych (np. odczyt danych, pokazanie decyzji użytkownikowi). Interpreter jest to proces odpowiedzialny za wszystkie elementy modelu (np. metoda budowy portfela akcji).

### 3. Definicja struktury wiedzy agenta

Każdy agent, podejmując decyzję przedstawia ją w postaci określonej struktury wiedzy. Należy zatem zdefiniować taką strukturę – decyzję. Zauważmy, że decyzja składa się z pewnych elementów decyzji, mogą to być elementy aktywne – działania (np. zaciągnięcie kredytu, zatrudnienie pracownika) lub elementy nieaktywne (np. akcje, towary). Zatem decyzja jest to sposób wykorzystania tych elementów. Przedstawimy teraz formalną definicję tej decyzji.

#### Definicja

Decyzją  $D$  skończonego zbioru elementów decyzji  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_N\}$  nazywamy dowolny ciąg

$$P = \langle \{EW^+\}, \{EW^\pm\}, \{EW^-\}, Z, SP, DT \rangle \text{ gdzie:}$$

1.  $EW^+ = \langle e_o, pe_o \rangle, \langle e_q, pe_q \rangle, \dots, \langle e_p, pe_p \rangle$ . Dwójka  $\langle e_x, pe_x \rangle$ , gdzie:  $e_x \in E$  oraz  $pe_x \in [0,1]$ , oznacza element decyzji oraz jego udział w zbiorze  $EW^+$ .

Elementy decyzji  $e_x \in EW^+$  będziemy oznaczać  $e_x^+$ .

Zbiór  $EW^+$  nazywamy zbiorem pozytywnym decyzji, tzn. jest to zbiór elementów decyzji, które należy wykorzystać.

2.  $EW^\pm = \langle e_r, pe_r \rangle, \langle e_s, pe_s \rangle, \dots, \langle e_t, pe_t \rangle$ . Dwójka  $\langle e_x, pe_x \rangle$ , gdzie:  $e_x \in E$  oraz  $pe_x \in [0,1]$ , oznacza element decyzji oraz jego udział w zbiorze  $EW^\pm$ .

Elementy decyzji  $e_x \in EW^\pm$  będziemy oznaczać  $e_x^\pm$ .

Zbiór  $EW^\pm$  nazywamy zbiorem neutralnym decyzji, tzn. jest to zbiór elementów decyzji, dla których nie można określić, czy je wykorzystać czy też ich nie wykorzystywać.

3.  $EW^- = \langle e_u, pe_u \rangle, \langle e_v, pe_v \rangle, \dots, \langle e_w, pe_w \rangle$ . Dwójka  $\langle e_x, pe_x \rangle$ , gdzie:  $e_x \in E$  oraz  $pe_x \in [0,1]$ , oznacza element decyzji oraz jego udział w zbiorze  $EW^-$ .

Elementy decyzji  $e_x \in EW^-$  będziemy oznaczać  $e_x^-$ .

Zbiór  $EW^-$  nazywamy zbiorem negatywnym decyzji, tzn. jest to zbiór elementów decyzji, których nie należy wykorzystywać.

4.  $Z \in [0,1]$  – oznacza procentowy zysk z podjętej decyzji.

5.  $SP \in [0,1]$  – oznacza stopień pewności zysku  $Z$ .

6.  $DT$  – data podjętej decyzji.

Zbiór pozytywny decyzji zawiera wszystkie te elementy decyzji, które należy wykorzystać, aby osiągnąć dany zysk. Na przykład, jeżeli chcemy zadecydować, którym klientom pożyczymy pieniądze, to w zbiorze pozytywnym znajdują się klienci, którym wcześniej już pożyczaliśmy i w terminie oddali nam dług. Zbiór neutralny decyzji zawiera te wszystkie elementy decyzji, o których nie mamy zdania, tzn. nie wiemy, czy należy je wykorzystać czy też nie. Mogą to być np. klienci, którzy oddali nam pożyczone pieniądze, jednak nie w wyznaczonym terminie. Zbiór negatywny decyzji mówi nam, jakich elementów decyzji w żadnym wypadku nie należy wykorzystywać. W naszym przykładzie będą to klienci, którzy nie oddali nam pożyczonych pieniędzy.

Decyzja spełnia następujące warunki:

$$1. EW^+ \cap EW^\pm \cap EW^- = \emptyset.$$

Elementy zbiorów pozytywnego, neutralnego i negatywnego muszą być rozłączne, ponieważ agent musi jednoznacznie określić przynależność danego elementu decyzji. Zakładamy tak, ponieważ podjęta decyzja musi być konkretna. Nie możemy np. powiedzieć, że danemu klientowi jednocześnie pożyczamy pieniądze i mu ich nie pożyczamy.

$$2. EW^+ \neq \emptyset \Rightarrow \sum_{i=0}^p pe_i^+ \geq 1.$$

$$3. EW^\pm \neq \emptyset \Rightarrow \sum_{i=0}^l pe_i^\pm \geq 1.$$

$$4. EW^- \neq \emptyset \Rightarrow \sum_{i=0}^w pe_i^- \geq 1.$$

Procentowy udział elementu decyzji w danym zbiorze jest to wartość z zakresu 0..1. Jednakże suma procentowych udziałów elementów w zbiorze może być większa od 1, ponieważ zdarza się tak, że każdy element danego zbioru należy w 100% do tego zbioru. Problem ten wyjaśnia poniższy przykład.

### Przykład

W przypadku określenia portfela akcji dla inwestora giełdowego, zbiór  $E$  stanowią akcje występujące na giełdzie. Zbiór pozytywny decyzji określa, które akcje należy kupić, zbiór neutralny mówi nam o tym, że jeśli posiadamy, akcje z tego zbioru, to ich nie sprzedajemy, z kolei jeżeli tych akcji nie posiadamy, to ich nie kupujemy, natomiast zbiór negatywny określa, które akcje należy sprzedać.

Niech zbiór  $E = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}$ .

Oto przykładowe decyzje – portfele akcji zbioru  $E$ :

$$D1 = \{(\langle a_1, 0.2 \rangle, \langle a_3, 0.5 \rangle, \langle a_5, 0.3 \rangle), \{\langle a_2, 1 \rangle\}, \{\langle a_4, 1 \rangle, \langle a_6, 1 \rangle, \langle a_7, 1 \rangle\}, 0.3, 0.7, 22-09-2005\}.$$

$$D2 = \{(\langle a_2, 0.2 \rangle, \langle a_3, 0.8 \rangle), \{\emptyset\}, \{\langle a_1, 1 \rangle, \langle a_4, 1 \rangle, \langle a_5, 1 \rangle, \langle a_6, 1 \rangle, \langle a_7, 1 \rangle\}, 0.6, 0.3, 14-05-2005\}.$$

$$D3 = \{(\emptyset), \{\langle a_2, 1 \rangle, \langle a_3, 1 \rangle\}, \{\langle a_1, 1 \rangle, \langle a_4, 1 \rangle, \langle a_5, 1 \rangle, \langle a_6, 1 \rangle, \langle a_7, 1 \rangle\}, 0.7, 0.3, 0\}.$$

W przykładzie pierwszym zbiory  $EW^+, EW^-, EW^- \neq \emptyset$ . W przykładzie drugim zbiór  $EW^\pm = \emptyset$ , natomiast w przykładzie trzecim  $EW^+ = \emptyset$ . Zauważmy, że w zbiorach  $EW^\pm$  oraz  $EW^-$  udziały poszczególnych elementów są równe 1. Sytuację tę tłumaczymy w następujący sposób: jeżeli dane akcje mamy kupić, to należy określić, jaki procent kwoty przeznaczonej na zakup wszystkich akcji stanowią poszczególne akcje. Jeżeli danej akcji nie sprzedajemy ani nie kupujemy, to określanie udziału tych akcji w zbiorze neutralnym nie ma sensu, ponieważ wszystkie w równym stopniu (w pełni) należą do tego zbioru (dlatego udział oznaczony jako 1 (czyli pełny udział)). W przypadku zbioru negatywnego sytuacja wygląda identycznie jak w zbiorze neutralnym (jednakże w przypadku podjęcia decyzji, że nie należy sprzedawać wszystkich akcji danej firmy, w zbiorze negatywnym należałoby jednak określić udział akcji).

Przedstawiona definicja decyzji umożliwia przedstawienie wniosków wyciągniętych przez poszczególnych agentów w postaci jednolitej struktury. Może się bowiem zdarzyć, że dany agent nie będzie wiedział, czy element decyzji należy wykorzystać czy też nie (na przykład agent ma mało informacji dotyczących danej akcji). Dlatego potrzebny jest zbiór  $EW^\pm$ . Przedstawiona struktura jest strukturą złożoną, wielowartościową występują w niej różne typy danych. Zauważmy, że zbiory  $EW^+, EW^\pm, EW^-$  stanowią pewnego rodzaju podział zbioru  $E$ . Wyróżniamy tutaj bowiem trzy klasy elementów decyzji:

- elementy, które należy wykorzystać,
- elementy niepewne,
- elementy, których nie należy wykorzystać.

Nasuwa się pytanie: czy procentowy udział elementów w zbiorach „rozmywa” klasyfikację? W tym przypadku nie, ponieważ nie mamy tutaj do czynienia z prawdopodobieństwem przynależności do zbioru (mamy 100% pewności, że element należy do zbioru), a tylko z procentowym udziałem elementu w zbiorze.

## 4. Podsumowanie

Opracowana w niniejszym artykule struktura wiedzy agenta pozwala na przedstawienie podjętej decyzji finansowej. W systemach multiagenckich pojawia się możliwość porównywania decyzji poszczególnych agentów i, jeżeli są one różne, określenia jednej, wspólnej decyzji systemu przedstawionej następnie użytkownikowi. Wspólną decyzję można uzgodnić np. za pomocą metod wyboru, w których dokonywany jest wybór rozwiązania przedstawionego przez jednego z agentów, pozostałe rozwiązania nie są brane pod uwagę. Coraz częściej stosowane są jednak metody consensusu, w których każde rozwiązanie jest brane pod uwagę, decyzja nie jest jednym z wyników proponowanych przez agentów, lecz jest ona zbliżona do tych wyników.

## Literatura

- Dudek D., Zgrzywa A., *Modelowanie programów agenckich z wykorzystaniem architektury Belief Desire Intention*, [w:] *Multimedialne i sieciowe systemy informacyjne*, Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2000.
- Ferber J., *Multi-Agent Systems*, Addison Wesley, New York 1999.
- Hernes M., *Uzgadnianie niespójności wiedzy w systemach rozproszonych metodą consensusu*, [w:] *Multimedialne i Sieciowe Systemy Informacyjne*, Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2004.
- Hernes M., Nguyen N.T., *Deriving Consensus for Incomplete Ordered Partitions*, [w:] N.T. Nguyen (ed.), *Intelligent Technologies for Inconsistent Knowledge Processing*, Advanced Knowledge International, Australia 2004.
- Katarzyna R., Nguyen N.T., *Model systemu wieloagentowego z procedurami grupowej aktualizacji wiedzy opartymi na metodach teorii konsensusu*, Raport z serii SPR nr 3, ISiTS PW, Wrocław 2000.
- Nguyen N.T., *Metody wyboru consensusu i ich zastosowanie w rozwiązywaniu konfliktów w systemach rozproszonych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002.

## METHODS OF KNOWLEDGE REPRESENTATION IN MULTI-AGENT SYSTEMS SUPPORTING FINANCIAL DECISION MAKING

### Summary

The article presents structure of agents knowledge representation in multiagents systems aiding financial decisions. Definition of agent, model of agents programme in BDI architecture and definition of agents knowledge's structure are presented. The structure consides contribution of decisions elements at the whole of decision and it considers rank of certain agents opinions.

---

**Jadwiga Sobieska-Karpińska** – dr hab., prof. AE w Katedrze Komunikacji Gospodarczej Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.

**Marcin Hernes** – mgr, doktorant studiów zaocznych na Wydziale Zarządzania i Informatyki Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.