

Radosław Piotr KATARZYŃIAK*
Agnieszka PIECZYŃSKA-KUCHTIAK*

STRATEGIA WYBORU KOMUNIKATU MODALNEGO W DIALOGOWYM SYSTEMIE WSPOMAGANIA DECYZJI

Przedstawiono strategię udzielania odpowiedzi modalnych przez interaktywny system wspomaganie decyzji. Rozpatrzono sytuację niekompletności wiedzy systemu na temat stanu świata (obiektu sterowania), wymuszającą konieczność generowania odpowiedzi zbudowanych z modalnych operatorów przekonania i możliwości. Przyjęto, że system dysponuje językiem złożonym z modalnych rozszerzeń wybranych formuł rachunku zdań.

Słowa kluczowe: *system wspomaganie decyzji, interakcja człowiek-komputer, komunikacja semantyczna*

1. Wprowadzenie

Jedną z podstawowych funkcji dialogowych systemów wspomaganie decyzji w przedsiębiorstwach jest udzielanie odpowiedzi na pytania o bieżący stan obiektów sterowania. Konstruowanie dokładnej odpowiedzi na pytania o stan może okazać się niemożliwe, gdy system nie jest wyposażony w środki techniczne pozwalające na bezpośrednią obserwację obiektów oraz nie ma ciągłego dostępu do bieżąco aktualizowanej bazy danych. Częściowe rozwiązanie problemu tego typu niewiedzy staje się jednak możliwe, gdy przedsiębiorstwo posiada retrospekcyjne bazy danych, opisujące stany obiektów sterowania zaobserwowane przez jego pracowników w przeszłości. Dane retrospekcyjne mogą bowiem posłużyć do skonstruowania modelu bieżącego stanu obiektów, opartego na analizie rozkładu cech obiektu w przeszłości. Oczywiście, ustalenie bieżącego stanu obiektu na podstawie jego przeszłości pozwala wyłącznie na skonstruowanie opisu przybliżonego. W wielu sytuacjach decyzyjnych jest

* Instytut Sterowania i Techniki Systemów, Politechnika Wroclawska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-370 Wrocław, e-mail: radoslaw.katarzyniak@pwr.wroc.pl, agnieszka.pieczynska-kuchtiak@pwr.wroc.pl

jednak tak, że opis niedokładny wystarcza do podjęcia poprawnych decyzji oraz do zagwarantowania prawidłowego przebiegu procesów zarządzania.

Dialogowe systemy wspomaganie decyzji komunikują się z użytkownikami za pomocą języków komunikacji semantycznej [13]. Są to języki formalne, których wyrażenia mają dla odbiorcy określone interpretacje na poziomie intencjonalnym [1] lub, co równoważne, na poziomie wiedzy [15].

W pracy rozpatrywany jest relatywnie prosty fragment dyskursu między użytkownikiem a systemem dialogowym, w którym dialogowy system wspomaganie decyzji ma za zadanie udzielić użytkownikowi odpowiedzi na pytanie: Czy obiekt sterowania o posiada cechy P i Q ?. Zakłada się przy tym, że reakcje systemu dialogowego muszą być elastyczne w tym sensie, iż uwzględnią różne stopnie niekompletności wiedzy o bieżącym stanie cech P i Q w obiekcie o oraz różną siłę wyrazu danych empirycznych, dokumentujących rozkład tych cech w obiekcie w przeszłości. W tym celu w niniejszej pracy ustalono, iż swoje odpowiedzi system wybiera z dwu grup komunikatów (stwierżeń, odpowiedzi).

Pierwsza z tych grup zawiera komunikaty informujące potencjalnego odbiorcę w sposób dokładny o stanie obiektu sterowania. Komunikaty te są generowane przez system dialogowy, gdy posiada on dane o bieżącym stanie cech P i Q w obiekcie sterowania o wskazanym w pytaniu. Do grupy tych komunikatów należą wszystkie formalne wyrażenia języka komunikacji, które mają następujące interpretacje intencjonalne:

- Obiekt sterowania o posiada cechę P .
- Obiekt sterowania o posiada cechę Q .
- Obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q .
- Obiekt sterowania o posiada cechę P i nie posiada cechy Q .
- Obiekt sterowania o nie posiada cechy P i posiada cechę Q .
- Obiekt sterowania o nie posiada cechy P i nie posiada cechy Q .

Druga grupa komunikatów dostępnych dla systemu dialogowego to komunikaty wykorzystywane w sytuacjach, w których wiedza systemu dialogowego o bieżącym stanie cech P i Q w obiekcie sterowania o jest niekompletna i jest on zmuszony do budowania odpowiedzi na podstawie danych retrospekcyjnych o stanach obiektów sterowania w przeszłości. Niekompletność lub przybliżony charakter komunikowanej wiedzy powoduje, że komunikaty tej grupy muszą zawierać spójniki logiczne alternatywy, alternatywy wykluczającej oraz modalne operatory przekonania i możliwości. Użycie tych środków językowych jest konieczne, ponieważ służą one do komunikowania treści przybliżonych i nieprecyzyjnych. Do drugiej grupy komunikatów należą wszystkie formalne wyrażenia języka komunikacji posiadające następujące interpretacje intencjonalne:

- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P .
- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę Q .
- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P lub posiada cechę Q .
- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P albo posiada cechę Q .
- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q .

- Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P i nie posiada cechy Q .
- Sądzę, że obiekt sterowania o nie posiada cechy P i posiada cechę Q .
- Sądzę, że obiekt sterowania o nie posiada cechy P i nie posiada cechy Q .

- Możliwe, że obiekt sterowania o posiada cechę P .
- Możliwe, że obiekt sterowania o posiada cechę P Q .
- Możliwe, że obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q .
- Możliwe, że obiekt sterowania o posiada cechę P i nie posiada cechy Q .
- Możliwe, że obiekt sterowania o nie posiada cechy P i posiada cechę Q .
- Możliwe, że obiekt sterowania o nie posiada cechy P i nie posiada cechy Q .

W pracy przedstawiono strategię postępowania systemu dialogowego w sytuacji niekompletności wiedzy, a więc wtedy, gdy zmuszony jest on wygenerować jako odpowiedź jeden z komunikatów grupy drugiej. Opracowanie takiej strategii wymaga rozwiązania dwu problemów. Pierwszy problem ma charakter teoretyczny i wiąże się z koniecznością ustalenia szczegółowego modelu wyboru komunikatu na podstawie danych retrospekcyjnych. Problem drugi ma charakter techniczny i wiąże się z koniecznością zaprojektowania wyspecjalizowanej bazy danych (hurtowni danych), integrującej w tym samym miejscu i w tej samej postaci logicznej wszystkie informacje o przeszłych stanach obiektów sterowania. W pracy pokazano, w jaki sposób problemy te można rozwiązać, stosując oryginalną metodę tzw. gruntowania i generowania komunikatów semantycznych zaproponowaną w pewnym modelu zachowań językowych prostego agenta kognitywnego [5], [6], [9], [10].

Porządek pracy jest następujący. W rozdziale drugim omówiono model wiedzy dostępnej dialogowemu systemowi wspomaganemu decyzji i gromadzonej w bazach danych przedsiębiorstwa. Wskazano postać bazy danych integrującej wymienioną wiedzę w postaci dogodnej dla procedur wyboru odpowiedzi. Funkcja tej bazy jest analogiczna do funkcji hurtowni danych w systemach pozyskiwania wiedzy [17], [18]. W rozdziale trzecim omawiana jest logiczna postać odpowiedzi oraz wyjaśnione zostają zasady tzw. gruntowania odpowiedzi systemu dialogowego w zgromadzonych danych o obiektach sterowania. Gruntowanie rozumiane jest w sposób analogiczny do gruntowania znaków w lingwistyce kognitywnej [2], [3], [14]. W rozdziale czwartym przedstawiono strategię konstrukcji odpowiedzi. Strategia ta jest aplikacją modelu zachowań językowych prostego agenta kognitywnego, proponowanego i rozwijanego w pracach [11], [12].

2. Wiedza systemu dialogowego obiektach sterowania

Przyjmuje się, że z punktu widzenia dialogowego systemu wspomaganego decyzji przedsiębiorstwo postrzegane jest jako dynamiczne środowisko, zbudowane z atomowych obiektów sterowania $o \in O$. System dialogowy nie ma bezpośredniego dostępu

do obiektów sterowania i wszelką wiedzę na ich temat uzyskuje z dostępnej mu hurtowni danych, zawierającej wszystkie informacje o stanach obiektów sterowania zaobserwowanych w przedsiębiorstwie. Faktycznie istniejące stany obiektów sterowania ustalane są względem liniowo uporządkowanych punktów czasowych $t \in T = \{t_0, t_1, t_2, \dots\}$. W środowisku dana jest kolekcja cech $\Delta = \{P_1, \dots, P_K\}$ odnoszących się do obiektów ze zbioru O . Dla każdej cechy $P \in \Delta$ w każdym punkcie czasowym $t \in T$ obiekt sterowania $o \in O$ posiada cechę P lub nie posiada cechy P . Stany cech w obiektach są niezależne od działań dialogowego systemu wspomaganie decyzji.

Przedsiębiorstwo gromadzi dane o zaobserwowanych stanach obiektów sterowania w bazach DB_1, \dots, DB_L . W bazach tych w różnym formacie zapisywane są informacje dotyczące stwierdzonego stanu wybranych cech w konkretnych obiektach. Z danych tych dialogowy system wspomaganie decyzji nie korzysta w sposób bezpośredni. Wymagają one wcześniejszego przekształcenia do postaci tzw. profilu bazowego. Profil bazowy jest migawką opisującą wszystko to, co w przedsiębiorstwie stwierdzono i zapamiętano w konkretnym punkcie czasowym na temat stanu cech Δ w obiektach zbioru O . Formalną strukturę i znaczenie poszczególnych składowych profilu określa następująca definicja:

Definicja 1 (Profil bazowy). Profilem bazowym $PB(t)$ odniesionym do punktu czasowego $t \in T$ nazywamy system relacyjny postaci:

$$PB(t) = \langle O, P_1^+(t), P_1^-(t), \dots, P_K^+(t), P_K^-(t) \rangle,$$

w którym:

- Zbiór $O = \{o_1, o_2, \dots, o_s\}$ zawiera jednoznaczne identyfikatory wszystkich obiektów sterowania w przedsiębiorstwie. Zbiór O nazywany jest nośnikiem systemu relacyjnego $PB(t)$. Zakłada się, że zbiór ten jest stały, tj. kolekcja obiektów sterowania nie ulega zmianie w czasie.

- Dla każdego $i = 1, 2, \dots, K$ zachodzą relacje $P_i^+(t) \subseteq O$ oraz $P_i^-(t) \subseteq O$. Dla każdego $o \in O$ mówi się dalej, że relacja $o \in P_i^+(t)$ zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy w przedsiębiorstwie ustalono w momencie t , iż o posiada cechę atomową P_i . Dla każdego $o \in O$ relacja $o \in P_i^-(t)$ zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy w momencie t w przedsiębiorstwie stwierdzono, że obiekt o nie posiada cechy atomowej P_i .

- Dla każdego $i = 1, 2, \dots, K$ spełniony jest warunek $P_j^+(t) \cap P_j^-(t) = \emptyset$, co oznacza, że z punktu widzenia dialogowego systemu wspomaganie decyzji w żadnym punkcie czasowym obiekt sterowania nie może jednocześnie posiadać i nie posiadać cechy P .

Taką strukturę danych w sposób efektywny wykorzystano także w modelowaniu procesów przetwarzania wiedzy rozproszonej w systemach wieloagentowych [7].

Należy zauważyć, że dla dowolnej cechy $P \in \Delta$ w profilu bazowym $PB(t)$ istnieje może pewien obiekt $o \in O$, dla którego zachodzi $o \in P_i^+(t) \cup P_j^-(t)$. Fakt, iż konkret-

ny obiekt o w punkcie czasowym t nie został zaliczony do obiektów posiadających cechę P lub nie posiadających cechy P oznacza, iż żaden proces gromadzenia danych empirycznych przebiegający w przedsiębiorstwie nie uzyskał w punkcie czasowym t informacji dotyczącej stanu cechy P w tym obiekcie. Oczywiście, z obiektywnego punktu widzenia obiekt o na pewno posiada cechę P lub jej nie posiada. Jednak z punktu widzenia przedsiębiorstwa stan tej cechy nie został stwierdzony. W tym wypadku mamy do czynienia z tzw. obszarem niewiedzy systemu dialogowego.

Definicja 2 (Obszar niewiedzy). Obszarem niewiedzy systemu dialogowego w zakresie cechy $P \in \Delta$ w punkcie czasowym $t \in T$ nazywamy zbiór $P_{-}^{+}(t)$ dany równaniem

$$P^{\pm}(t) = O / (P^{+}(t) \cup P^{-}(t)).$$

Wprowadzenie symbolu obszaru niewiedzy pozwala zmodyfikować zapis profilu bazowego:

$$PB(t) = \langle O, P_1^{+}(t), P_1^{-}(t), P_1^{\pm}, \dots, P_K^{+}(t), P_K^{-}(t), P_K^{\pm}(t) \rangle.$$

Obie wersje reprezentacji profilu – jako równoważne znaczeniowo – stosowane będą tutaj zamiennie.

Istotne jest także, iż w rozpatrywanym modelu każdy profil bazowy powstaje po integracji wyników działania różnych procesów gromadzenia danych empirycznych o obiektach sterowania przebiegających w przedsiębiorstwie. Jak wspomniano, dane dotyczące stanu cechy P w punkcie czasowym t dla obiektu o mogą być przechowywane w dowolnej z baz DB_1, \dots, DB_L . W związku z tym z technicznego i informacyjnego punktu widzenia każdy profil bazowy powstaje w wyniku analizy i integracji zawartości poszczególnych baz danych przedsiębiorstwa. W pracach [5], [6], [9], [10] wprowadzających adaptowany tutaj mechanizm przetwarzania komunikatów modalnych zakładano, że za tworzenie profilu bazowego odpowiedzialne są procesy percepcji realizowane przez system poznawczy pojedynczego agenta kognitywnego. W proponowanym podejściu funkcje procesów percepcji zostają przejęte przez poszczególne procesy przetwarzania danych zachodzące w przedsiębiorstwie. Jest to możliwe ze względu na formalne podobieństwo tych procesów.

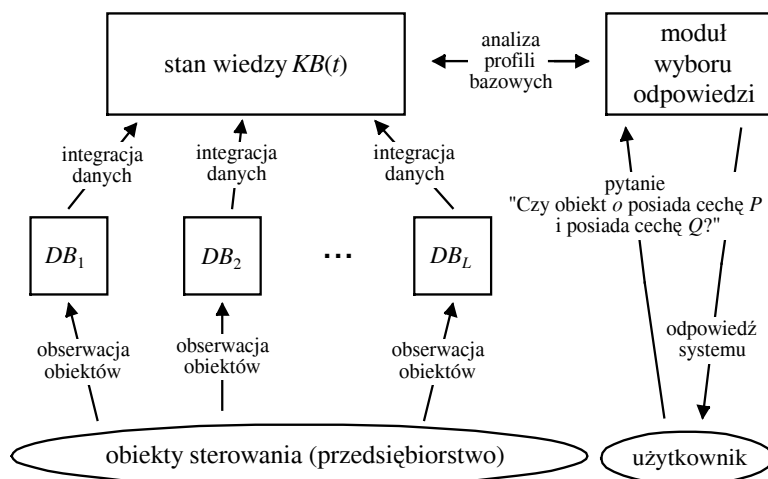
Należy także zauważyć, że z praktycznego punktu widzenia proces tworzący profile bazowe w przedsiębiorstwie można porównać do procesu tworzącego poszczególne rekordy bazy analitycznej w hurtowni danych [17], [18]. Z punktu widzenia dialogowego systemu wspomaganego decyzji w każdym punkcie czasowym $t \in T$ tak rozumiana „hurtownia” profili bazowych definiuje stan wiedzy systemu dialogowego.

Definicja 3 (Stan wiedzy). Stan wiedzy dialogowego systemu wspomaganego decyzji w punkcie czasowym $t \in T$ dany jest następującym zbiorem profili bazowych:

$$KB(t) = \{PB(t_n): t_n \in T \text{ oraz } t_n \leq^{\text{TM}} t\},$$

gdzie \leq^{TM} oznacza relację porządku temporalnego. Dla każdej pary $(t_n, t_m) \in T \times T$ zakłada się, że $t_n \leq^{\text{TM}} t_m$ zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy $n \leq m$.

W sensie formalnym stan wiedzy systemu dialogowego odpowiada stanowi wiedzy agenta kognitywnego, rozpatrywanego w pracach [5], [6].



Rys. Ogólna organizacja systemu dialogowego

W rzeczywistych sytuacjach w trakcie realizacji procedur integracji informacji zawartych w bazach DB_1, \dots, DB_L i tworzenia „hurtowni” profili bazowych występują problemy semantyczne, charakterystyczne dla obszaru przetwarzania rozproszonego. W szczególności, w bazach danych przedsiębiorstwa przechowywane mogą być informacje wzajemnie sprzeczne. Przykładowo, baza DB_i zawierać może informację o posiadaniu przez obiekt o cechy P w punkcie czasowym t , natomiast baza DB_j , $i \neq j$ – informację stwierdzającą, iż obiekt o w tym samym punkcie czasowym t nie posiadał cechy P . Istnieje szereg efektywnych metod obliczeniowych pozwalających eliminować tego typu konflikty semantyczne pojawiające się w trakcie tworzenia profilu bazowego [16].

Ogólny schemat rozpatrywanej sytuacji podano na rysunku.

3. Formalna postać i zasady gruntowania komunikatów modalnych

Komunikaty (odpowiedzi) wymienione we wprowadzeniu posiadają prostą reprezentację formalną ułatwiającą ich przetwarzanie oraz analizę. Język formalny tych

komunikatów ma charakter języka logicznego wzbogaconego modalnymi operatorami przekonań. Formalne określenie języka dane jest następującymi definicjami wyliczeniowymi:

Definicja 4 (Formuły niemodalne). Zbiór komunikatów niemodalnych dostępnych dla dialogowego systemu wspomaganego decyzji składa się z następujących klas formuł atomowych i złożonych:

- Formuły postaci $P(o)$, $P \in \Delta$ są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu. $P(o)$ reprezentuje odpowiedź *Obiekt sterowania o posiada cechę P*.

- Formuły postaci $P(o) \wedge Q(o)$, $P(o) \wedge \neg Q(o)$, $\neg P(o) \wedge Q(o)$, $\neg P(o) \wedge \neg Q(o)$, gdzie $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu. Znaczenie formuł dane jest następująco:

$P(o) \wedge Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q .”

$P(o) \wedge \neg Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o posiada cechę P i nie posiada cechy Q .”

$\neg P(o) \wedge Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o nie posiada cechy P i posiada cechę Q .”

$\neg P(o) \wedge \neg Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o nie posiada cechy P i nie posiada cechy Q .”

- Formuły postaci $P(o) \vee Q(o)$, $P(o) \underline{\vee} Q(o)$, gdzie $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu. Znaczenie formuł dane jest następująco:

$P(o) \vee Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o posiada cechę P lub posiada cechę Q .”

$P(o) \underline{\vee} Q(o)$ reprezentuje odpowiedź „Obiekt sterowania o posiada cechę P albo posiada cechę Q .”

Definicja 5 (Formuły modalne). Zbiór komunikatów modalnych dostępnych dla dialogowego systemu wspomaganego decyzji składa się z następujących klas formuł:

- Formuły postaci $\text{Bel}(P(o))$, $P \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.

- Formuły postaci $\text{Pos}(P(o))$, $P \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.

- Formuły $\text{Bel}(P(o) \wedge Q(o))$, $\text{Bel}(P(o) \wedge \neg Q(o))$, $\text{Bel}(\neg P(o) \wedge Q(o))$, $\text{Bel}(\neg P(o) \wedge \neg Q(o))$, $\text{Bel}(P(o) \vee Q(o))$, $\text{Bel}(P(o) \underline{\vee} Q(o))$, gdzie $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.

- Formuły $\text{Pos}(P(o) \wedge Q(o))$, $\text{Pos}(P(o) \wedge \neg Q(o))$, $\text{Pos}(\neg P(o) \wedge Q(o))$, $\text{Pos}(\neg P(o) \wedge \neg Q(o))$, gdzie $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.

Symbol Bel reprezentuje modalny operator przekonań „Sądzę, że ...”. Przykładowo, formuła $\text{Bel}(P(o) \vee Q(o))$ reprezentuje stwierdzenie „Sądzę, że obiekt sterowania o posiada cechę P lub posiada cechę Q .” Symbol Pos reprezentuje modalny operator

możliwości „Możliwe, że ...”. Przykładowo, formuła $\text{Pos}(P(o) \wedge Q(o))$ reprezentuje stwierdzenie „Możliwe, że obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q .”

Definicja 6 (Formuły mieszane). Zbiór komunikatów mieszanych dostępnych dla dialogowego systemu wspomagania decyzji składa się z następujących klas formuł:

- Formuły postaci $P(o) \wedge \text{Bel}(Q(o))$ oraz $P(o) \wedge \text{Bel}(\neg Q(o))$, $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.
- Formuły postaci $P(o) \wedge \text{Pos}(Q(o))$ oraz $P(o) \wedge \text{Pos}(\neg Q(o))$, $P, Q \in \Delta$, są syntaktycznie poprawnymi formułami języka systemu.

Użycie wymienionych wyżej formuł logicznych jako odpowiedzi na pytanie „Czy obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q ?” zależy ściśle od stanu wiedzy $KB(t)$ dostępnego w bazach przedsiębiorstwa w punkcie zadania pytania t . Jak zaznaczono we wprowadzeniu wybór odpowiedzi nie jest trudny, gdy system dialogowy posiada pełne dane o bieżącym stanie cech P i Q . Mianowicie, generuje on wtedy odpowiedni komunikat wymieniony w definicji 4. Sytuacja komplikuje się, gdy stan wiedzy $KB(t)$ nie zawiera dokładnego opisu stanu cech P i Q w obiekcie sterowania o . Konieczne staje się wtedy ustalenie, który z komunikatów modalnych lub mieszanych wymienionych w definicjach 5 i 6 najlepiej koresponduje z treścią danych retrospekcyjnych zawartych w $KB(t)$. Jak wspomniano wyżej, w niniejszej pracy stosowane są kryteria ustalania tej zgodności zaproponowane dla przypadku zachowań językowych prostego agenta kognitywnego [8], [11], [12].

Przywoływana metoda wyboru komunikatu opracowana została z uwzględnieniem podstawowego założenia lingwistyki kognitywnej, które stwierdza, że każdy zinterpretowany komunikat semantyczny z natury rzeczy skorelowany jest i w tym sensie ugruntowany w strukturach poznawczych i bazach wiedzy generującego go podmiotu wiedzy (agenta). W przeciwnym razie z punktu widzenia tego podmiotu komunikat nie posiada treści (znaczenia), czyli nie reprezentuje żadnego stanu wiedzy [2], [3], [14].

Ustalenie, który komunikat modalny jest najlepszą reprezentacją stanu wiedzy dostępnego systemowi dialogowemu wymaga wobec tego wprowadzenia określonej miary jego ugruntowania w bazach danych istniejących w przedsiębiorstwie. W rozpatrywanym przypadku badanie takie przeprowadza się analizując zawartość „hurtowni” profili bazowych $KB(t)$. W badaniu tym dla dowolnych $P, Q \in \Delta$ ważną rolę odgrywają następujące korelacje danych retrospekcyjnych z komunikatami niemodalnymi:

Treść formuły $P(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują wystąpienie cechy P w obiekcie sterowania o .

Treść formuły $Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują wystąpienie cechy Q w obiekcie sterowania o .

Treść formuły $P(o) \wedge Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują jednoczesne wystąpienie cechy P i cechy Q w obiekcie sterowania o .

Treść formuły $P(o) \wedge \neg Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują jednoczesne wystąpienie cechy P i brak wystąpienia cechy Q w obiekcie o .

Treść formuły $\neg P(o) \wedge Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują jednoczesny brak wystąpienia cechy P i wystąpienie cechy Q w obiekcie o .

Treść formuły $\neg P(o) \wedge \neg Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które dokumentują jednoczesny brak wystąpienia cechy P i brak wystąpienia cechy Q w obiekcie o .

Zasady korelacji formuł języka z doświadczeniem empirycznym są bardziej złożone dla przypadku komunikatów modalnych zawierających znak alternatywy klasycznej oraz alternatywy wykluczającej. Według teorii modeli mentalnych znaczenie obu alternatyw reprezentowane jest przez sumę znaczeń odpowiadających im koniunkcji [4], mianowicie:

Treść formuły $P(o) \vee Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które związane są z treściami dwóch formuł $P(o) \wedge \neg Q(o)$ i $\neg P(o) \wedge Q(o)$.

Treść formuły $P(o) \vee Q(o)$ związana jest ze zbiorem danych, które związane są z treściami trzech formuł: $P(o) \wedge Q(o)$, $P(o) \wedge \neg Q(o)$ i $\neg P(o) \wedge Q(o)$.

Znaczenie powyższego skorelowania komunikatów z doświadczeniem empirycznym zgromadzonym w przedsiębiorstwie jest podstawowe, ponieważ zawartość zbioru $KB(t)$ jest bazą wypracowującą treść odpowiedzi systemu. Z punktu widzenia lingwistyki kognitywnej wymienione zbiory danych ucieleśniają (ang. *embody*) znaczenie komunikatu (odpowiedzi) [3]. Dla oznaczenia poszczególnych zbiorów danych empirycznych przyjmuje się dalej następujące oznaczenia:

$B^1(P, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako posiadający cechę P .

$B^2(P, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako nie posiadający cechy P .

$C^1(P, Q, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako posiadający cechę P i posiadający cechę Q .

$C^2(P, Q, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako posiadający cechę P i nie posiadający cechy Q .

$C^3(P, Q, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako nie posiadający cechy P i posiadający cechę Q .

$C^4(P, Q, t)$ oznacza zbiór wszystkich profili bazowych $PB \in KB(t)$, w których obiekt o reprezentowany jest jako nie posiadający cechy P i nie posiadający cechy Q .

Szczegółowe zasady gruntowania komunikatów są następujące:

$B^1(P, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $P(o)$

$B^2(P, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $\neg P(o)$

$C^1(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $P(o) \wedge Q(o)$

$C^2(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $P(o) \wedge \neg Q(o)$

$C^3(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $\neg P(o) \wedge Q(o)$

$C^4(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $\neg P(o) \wedge \neg Q(o)$.

Ponadto zachodzą następujące związki semantyczne:

$C^5(P, Q, t) = C^1(P, Q, t) \cup C^2(P, Q, t) \cup C^3(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $P(o) \vee Q(o)$.

$C^6(P, Q, t) = C^2(P, Q, t) \cup C^3(P, Q, t)$ definiuje znaczenie komunikatów zawierających formułę $P(o) \vee Q(o)$.

Powołując się na założenia lingwistyki kognitywnej [2], [3], [14] można przyjąć, że jednym z czynników wpływających na stopień dobrego ugruntowania poszczególnych komunikatów w danych przedsiębiorstwa jest rozmiar zbiorów $C^i(P, Q, t)$, $i = 1, 2, \dots, 6$. W konsekwencji jeżeli dialogowy system wspomaganie decyzji nie zna bieżącego stanu cech P i Q w obiekcie o , może on na podstawie rozmiarów wyżej wymienionych zbiorów ustalić stosowne przekonanie lub co najmniej możliwość w tym zakresie. Oczywiście, istotną rolę grają tu także inne czynniki zauważalne na poziomie przetwarzania języka, np. kognitywna odległość poszczególnych zbiorów danych od profilu bazowego reprezentującego bieżący stan obiektów przedsiębiorstwa [12]. W kolejnym rozdziale opisano szczegółowo przykładową procedurę wyboru przez system dialogowy najlepszego komunikatu reprezentującego odpowiedź tego systemu na pytanie: Czy obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q ? Procedura ta odwołuje się do idei zachowań językowych kognitywnego agenta.

4. Algorytm wyboru komunikatu

Omawiany dialogowy system wspomaganie decyzji udziela odpowiedzi na pytanie postawione w punkcie czasowym t według strategii opisanych poniższymi zbiorami reguł. Załóżmy dalej, że $P, Q \in \Delta$ są cechami obiektu sterowania uwzględnionymi w profilach bazowych ze zbioru $KB(t)$ i pytanie do systemu brzmi: Czy obiekt sterowania o posiada cechę P i posiada cechę Q ?

4.1. Stan wiedzy kompletnej (obie cechy)

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^+(t)$ i $o \in Q^+(t)$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $P(o) \wedge Q(o)$.

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^+(t)$ i $o \in Q^-(t)$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $P(o) \wedge \neg Q(o)$.

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^-(t)$ i $o \in Q^+(t)$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $\neg P(o) \wedge Q(o)$.

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^-(t)$ i $o \in Q^-(t)$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $\neg P(o) \wedge \neg Q(o)$.

4.2. Stan wiedzy niekompletnej (jedna cecha)

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^+(t)$ i $o \in Q^+(t)$, to system dialogowy realizuje następującą strategię wyboru komunikatu:

Wyznaczenie zbiorów $B^1(Q, t)$ i $B^2(Q, t)$.

Obliczenie (oszacowanie) licznosci $\text{card}(B^1(Q, t))$ i $\text{card}(B^2(Q, t))$.

Jeżeli $\text{card}(B^1(Q, t)) > \text{card}(B^2(Q, t))$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $P(o) \wedge \text{Bel}(Q(o))$.

Jeżeli $\text{card}(B^1(Q, t)) < \text{card}(B^2(Q, t))$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $P(o) \wedge \text{Bel}(\neg Q(o))$.

Jeżeli $\text{card}(B^1(Q, t)) = \text{card}(B^2(Q, t))$, to odpowiedzią systemu dialogowego jest komunikat $P(o) \wedge \text{Pos}(Q(o))$.

Oczywiście, jeżeli zachodzi $o \in P^+(t)$ i $o \in Q^-(t)$, to odpowiedź systemu dialogowego konstruowana jest na zasadach analogicznych do przypadku poprzedniego, z zastrzeżeniem, iż modalne operatory przekonania i możliwości służą do rozszerzania formuły $P(o)$.

Kształt strategii wyboru odpowiedzi podany w punkcie 2 koresponduje z modelem gruntowania i wyboru prostych komunikatów modalnych podanych dla kognitywnego agenta w [8].

4.3. Stan wiedzy niekompletnej (obie cechy)

Jeżeli dla bieżącego profilu $PB(t)$ zachodzi $o \in P^+(t)$ i $o \in Q^+(t)$, to do wyznaczenia odpowiedzi systemu konieczne jest zastosowanie procedury wyboru komunikatu, analizującej licznosc zbiorów danych zgromadzonych w bazach wiedzy przedsiębiorstwa oraz ustalenie, która z formuł reprezentujących odpowiedź jest semantycznie najbliższa bieżącej sytuacji przedsiębiorstwa. Procedura ustalania odpowiedzi jest dwuetapowa.

Etap 1 (Ustalenie formuł relewantnych)

Celem pierwszego etapu obliczeń jest ustalenie podzbioru niemodalnych formuł złożonych, ugruntowanych w sytuacjach podobnych do bieżącej sytuacji przedsiębiorstwa. Wyznaczenie wartości podobieństwa wymaga zastosowania metod obliczeniowych teorii konsensusu oraz wprowadzenia miary odległości pomiędzy profilami bazowymi. Etap 1 jest realizowany w następujących krokach:

- Krok 1 (klasyfikacja profili)

Wyznaczenie klas $C^m(P, Q, t)$, $m = 1, 2, 3, 4$.

- Krok 2 (reprezentacje klas)

Wyznaczenie profilu bazowego $CBP^m(P, Q, t)$ reprezentującego odpowiednio klasy $C^m(P, Q, t)$, $m = 1, 2, 3, 4$. Do wyznaczenia reprezentacji $CBP^m(P, Q, t)$ stosowany jest wybrany algorytm obliczania reprezentacji zbioru podziałów [16].

- Krok 3 (odległości klas od bieżącego profilu bazowego)

Obliczenie odległości $d_m = d(CBP^m(P, Q, t), PB(t))$, $m = 1, 2, 3, 4$ między reprezentacjami $CBP^m(P, Q, t)$ i profilem $PB(t)$ opisującym bieżącą sytuację przedsiębiorstwa. Funkcja d jest funkcją odległości zdefiniowaną nad przestrzenią profili bazowych. Z formalnego punktu widzenia funkcja d jest szczególnym przypadkiem szerszej klasy funkcji odległości określonych nad przestrzenią podziałów uporządkowanych [16]. Przykładem odległości d jest miara dana jako minimalna liczba przesuńnięć obiektów pomiędzy klasami $P_i^+(t)$, $P_i^-(t)$, $P_i^\pm(t)$, $i = 1, 2, \dots, K$, w reprezentacji $CBP^m(P, Q, t)$ konieczna do przekształcenia jej w profil bazowy $PB(t)$. Funkcja ta jest przedstawiona w pracach [11], [12].

Rezultatem realizacji kroku 3 jest wyznaczenie czteroelementowego zbioru $X = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$. Elementy zbioru opisują semantyczną odległość i pośrednio semantyczne podobieństwo pomiędzy zawartością każdej klasy $CBP^m(P, Q, t)$, $m = 1, 2, 3, 4$, i profilem bazowym $PB(t)$. Jeżeli odległość d_m rośnie, to maleje podobieństwo semantyczne pomiędzy wymienionymi elementami.

- Krok 4 (zgodność semantyczna komunikatu)

Obliczenie przy wykorzystaniu zbioru $X = \{d_1, d_2, d_3, d_4\}$ liczbowej miary V semantycznej zgodności treści wszystkich zbiorów $C^m(P, Q, t)$, $m = 1, \dots, 6$, z treścią bieżącego profilu bazowego $PB(t)$. W pracy [11] podano oryginalną metodę wyznaczania wartości V . Szczegóły rozwiązania są następujące:

Po pierwsze, oblicza się wartości wariancji $S^2(X_n)$, $n = 1, \dots, 6$ dla zbiorów $X_1 = \{d_1\}$, $X_2 = \{d_2\}$, $X_3 = \{d_3\}$, $X_4 = \{d_4\}$, $X_5 = \{d_2, d_3\}$, $X_6 = \{d_1, d_2, d_3\}$. Wartość wariancji dana jest wzorem

$$S^2(X_i) = \frac{1}{\text{card}(X_i)} \sum_{d_j \in X_i} (d_j - \bar{d}(X_i))^2,$$

gdzie

$$\bar{d}(X_i) = \frac{1}{\text{card}(X_i)} \sum_{d_j \in X_i} d_j.$$

Po drugie, oblicza się miary zgodności V_m , $m = 1, \dots, 6$, według wzoru

$$V_i = V(X_i) = f(\bar{d}(X_i), S^2(X_i)) = \frac{(1 - \hat{s}^2(X_i)) \cdot \bar{d}(X_i)}{\sqrt{\text{card}(X_i) \cdot \bar{d}(X_i)}},$$

gdzie

$$\hat{s}^2(X_i) = \frac{s^2(X_i)}{\max_i(V(X_i))}.$$

W rezultacie otrzymuje się następujące wartości numeryczne:

$V_1 = V(\{d_1\})$ odpowiadającą formule $P_i(o) \wedge P_j(o)$

$V_2 = V(\{d_2\})$ odpowiadającą formule $P_i(o) \wedge \neg P_j(o)$

$V_3 = V(\{d_3\})$ odpowiadającą formule $\neg P_i(o) \wedge P_j(o)$

$V_4 = V(\{d_4\})$ odpowiadającą formule $\neg P_i(o) \wedge \neg P_j(o)$

$V_5 = V(\{d_2, d_3\})$ odpowiadającą formule $P_i(o) \underline{\vee} P_j(o)$

$V_6 = V(\{d_1, d_2, d_3\})$ odpowiadającą formule $P_i(o) \vee P_j(o)$

- Krok 5 (zbiór komunikatów relewantnych)

Wyznaczenie zbioru H niemodalnych formuł. Do zbioru H należą formuły, dla których odpowiadające im miary zgodności, uzyskane w kroku 4, miały wartości maksymalne. Krok 5 kończy realizację pierwszego etapu wyboru odpowiedzi systemu dialogowego.

Etap 2 (Wybór komunikatu modalnego)

Spośród formuł zbioru H wybierane są formuły niemodalne, które po rozszerzeniu stosownym modalnym operatorem przekonania lub możliwości zwracane są przez dialogowy system wspomagania decyzji jako odpowiedź na pytanie o stan cech P i Q w obiekcie sterowania o . Procedura wyboru formuł ze zbioru H eliminuje z odpowiedzi formuły o większej entropii reprezentowanej nią treści. Formalną charakterystykę pojęcia entropii formuły logicznej podano w pracy [10]. Etap 2 sprowadza się do realizacji następującego zestawu reguł:

- Jeżeli $\text{card}(H) = 1$, to system dialogowy wskazał jedną i tylko jedną formułę niemodalną jako formułę semantycznie zgodną. Niech $H = \{\varphi\}$. Odpowiedzią systemu dialogowego jest modalna formuła $\text{Bel}(\varphi)$.

- Jeżeli $\text{card}(H) > 1$ oraz w zbiorze H zawiera się dokładnie jedna formuła φ będąca koniunkcją, to odpowiedzią systemu dialogowego jest modalna formuła $\text{Bel}(\varphi)$.

- Jeżeli $\text{card}(H) > 1$ oraz do zbioru H należy więcej niż jedna formuła φ będąca koniunkcją, to wyznaczenie odpowiedzi systemu dialogowego wiąże się z uwzględnieniem licznosci klas $C^m(P, Q, t)$, $m = 1, 2, 3, 4$, semantycznie związanych z tymi formułami. Mianowicie, gdy dokładnie jedna koniunkcja φ należących do H związana jest z najliczniejszą z klas związanych z koniunkcjami w zbiorze H , to odpowiedzią również jest $\text{Bel}(\varphi)$. Jeżeli więcej niż jedna koniunkcja φ związana jest z najliczniejszymi z klas związanych z koniunkcjami w zbiorze H , to odpowiedziami systemu są wszystkie modalne formuły możliwości $\text{Pos}(\varphi)$.

Wykonanie algorytmu zdefiniowanego powyższym zbiorem reguł kończy realizację drugiego etapu wyboru odpowiedzi.

5. Podsumowanie

W pracy pokazano, jak oryginalny model zachowań językowych prostego agenta kognitywnego – podany w pracach [5], [6], [9], [10] i uszczegółowiony [11], [12] – zastosować w dialogowym systemie wspomagania decyzji do konstruowania odpowiedzi tego systemu na zapytanie o bieżący stan dwu cech w obiekcie sterowania. W proponowanej aplikacji modelu przyjmuje się, że wiedza o przeszłych stanach obiektów sterowania gromadzona w bazach danych przedsiębiorstwa może być potraktowana jako odpowiednik wiedzy empirycznej kognitywnego agenta. W tym sensie przedsiębiorstwo jako całość wraz z dialogowym systemem wspomagania decyzji staje się obiektem analogicznym do systemu intencjonalnego, czyli systemu o intencjonalnie opisywalnych zachowaniach i stanach.

Zaproponowane podejście do modelowania procesu konstruowania odpowiedzi przez system dialogowy pokazuje, że proces ten jest złożony i zmusza do analizy kompletu danych o obiektach sterowania zgromadzonych w bazach przedsiębiorstwa. W pracy wskazano także metody obliczeniowe konieczne do implementacji podanej strategii udzielania odpowiedzi. Metody te mają charakter przybliżony i odwołują się do teorii konsensusu i wyboru.

Podana strategia udzielania odpowiedzi realizuje ustalony zestaw założeń w zakresie wyboru operatorów modalnych i spójników logicznych tworzących odpowiedź. Założeniem takim jest np. warunek maksymalnej zgodności semantycznej treści gruntującej komunikat z treścią tych elementów baz danych przedsiębiorstwa, które definiują jego bieżący stan. Podane wymagania mają charakter zdroworozsądkowy w sensie, w jakim terminowi temu nadaje się w intencjonalnym podejściu do modelowania systemów żywych i sztucznych.

W pracy pominięto szczegółowe kwestie implementacyjne oraz analizę złożoności proponowanej strategii postępowania dialogowego systemu wspomagania decyzji. Stanowią one oddzielne zagadnienia badawcze i wyznaczają dwa podstawowe kierunki dalszych prac.

Bibliografia

- [1] DENET D.C., *Kinds of minds*, Basic Books, New York 1996.
- [2] FAUCONNIER G., *Mappings in thought and language*, Cambridge University Press, Cambridge 1997.
- [3] HARNAD S., *The Symbol Grounding Problem*, Physica D, 1990, Vol. 42, s. 335–346.
- [4] JOHNSON-LAIRD P. N., *Mental models. Toward a cognitive science of language, inference, and consciousness*, Cambridge University Press, Cambridge 1983.
- [5] KATARZYŃIAK R., *Intencjonalny model wiedzy agenta o bieżącym stanie świata*, Materiały Konferencji Krajowej pt. Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe, Wrocław, 2000, t. 1, s. 142–151.
- [6] KATARZYŃIAK R., *A model for extracting a class of knowledge operators, logic disjunctions and logic alternatives from BDI agents*, Proceedings of the International Symposium „Intelligent Information Systems X”, Zakopane, Poland, 2001, s. 257–269 (Advances in Soft Computing).

- [7] KATARZYŃIAK R., NGUYEN N.T., *Reconciling inconsistent profiles of agents' knowledge states in distributed multiagent systems using consensus methods*, Systems Science, 2000, Vol. 26, No. 4, s. 93–119.
- [8] KATARZYŃIAK R., *Grounding atom formulas and simple modalities in communicative agents*, Proceedings of the 21st IASTED Int. Conf. Applied Informatics, Innsbruck, Austria, 2002, s. 388–392.
- [9] KATARZYŃIAK R., PIECZYŃSKA-KUCHTIAK A., *Formal modelling of the semantics for communication languages in systems of believable agents*, Proceedings of the 23rd International Scientific School Digital Economy Concepts, Tools and Applications, Szklarska Poręba, 2001, s. 174–181.
- [10] KATARZYŃIAK R., PIECZYŃSKA-KUCHTIAK A., *Intentional semantics for logic disjunctions, alternatives and cognitive agent's belief*, Proceedings of the 14th International Conference on Systems Science, Wrocław, Poland, 2001, Vol. 2, s. 370–382.
- [11] KATARZYŃIAK R., PIECZYŃSKA-KUCHTIAK A., *A consensus based algorithm for grounding belief formulas in internally stored perceptions*, Neural Network World, 2002, No. 5/02, s. 461–522.
- [12] KATARZYŃIAK R., PIECZYŃSKA-KUCHTIAK A., *Distance measure between cognitive agent's stored perceptions*, Proceedings of the 22nd IASTED International Conference Modelling, Information, and Control, Innsbruck, Austria, 2003, s. 517–522.
- [13] KŁYKOW J. I., JUREK J. K., *Dialogowe semiotyczne systemy wspomaganie decyzji*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1988.
- [14] LAKOFF G., JOHNSON M., *Philosophy in the Flesh: the embodied mind and its challenge to Western thought*, Basic Books, New York 1999.
- [15] NEWELL A., *The unified theories of cognition*, Harvard University Press, Cambridge 1990.
- [16] NGUYEN N.T., *Metody wyboru konsensusu i ich zastosowanie w rozwiązywaniu konfliktów w systemach rozproszonych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [17] POE V., KLAUER P., BROBST S., *Tworzenie hurtowni danych. Wspomaganie podejmowania decyzji*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [18] SIMON A.R., SHAFFER S.L., *Hurtownie danych i systemy informacji gospodarczej. Zastosowanie w handlu elektronicznym*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002.

A strategy for the choice of modal response in an interactive decision support system

A strategy for the choice of modal responses by an interactive decision support system is presented. The situation of incomplete knowledge of the world (control object) is considered. The responses are modal belief and possibility extensions of logic formulas. The strategy has been originally used for communicative cognitive agents and is tailored to model some aspects of information processing in a business organisation. This organisation is treated as a conceptual agent in which particular observations of the world's states are stored in distributed databases. All observations are then pre-processed in order to store them in a certain data warehouse from which the responses are extracted. The consensus-based algorithm for the choice of the most relevant response is given.

Key words: *decision support system, human-computer, semantic communication*