

ROLUL ONTOLOGIILOR ÎNTR-UN SISTEM MULTIAGENT PENTRU REINGINERIA PROCESELOR DE AFACERI

mat. Alexandra Gălătescu

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI, București

Rezumat: Lucrarea prezintă concluziile unei analize asupra necesității și rolului ontologiilor într-o arhitectură pentru automatizarea reingineriei proceselor de afaceri, care să beneficieze de avantajele utilizării tehnologiei agenților software, în contextul globalizării și al complexității lucrului în echipă. Ideea acestei arhitecturi este o consecință a stadiului automatizării încă insuficient integrată la întreaga complexitate a activităților de reinginerie. Fiind un domeniu mai puțin abordat în România, se realizează, la început, o prezentare a noțiunii de ontologie. Apoi, se prezintă tipurile de ontologii necesare pentru reinginerie și se schițează arhitectura unui sistem multiagent, bazat pe ontologii pentru reingineria proceselor de afaceri.

Cuvinte cheie: reingineria proceselor de afaceri, sisteme multiagent, ontologii formale, echipă virtuală de agenți.

1. Introducere și motivare

Reingineria proceselor de afaceri (utilizată în literatură cu acronimul BPR - Business Process Reengineering) a apărut la începutul anilor '90 ca un instrument conceptual, de restructurare și de gestiune a schimbărilor într-o organizație/companie ([2], [3], [8], [12], [20]). O deosebire între *inginerie* și *reinginerie* privind activitățile de rezolvare a problemelor constă în faptul că, în cazul reingineriei, atunci când se caută o soluție nouă, există deja o soluție și un sistem (moștenit), care trebuie luate în considerare. Sistemele moștenite impun anumite restricții care nu se întâlnesc atunci când se caută o soluție plecând de la zero (prin inginerie).

În anii '80, a apărut ideea reproiectării proceselor de afaceri cu ajutorul tehnologiei informației (IT). Începând din 1992, au apărut mai multe proiecte și lucrări academice în domeniul reingineriei, cele mai multe fiind realizate de specialiști în domeniul IT. Cele mai timpurii și mai importante aplicări practice ale reingineriei s-au realizat la companiile Mutual Benefit Life Insurance, IBM, Cigna, XEROX și Bell Atlantic din SUA.

Tipuri de reinginerie. Activitatea de reinginerie variază, din punctul de vedere al dimensiunii și al tipului schimbării. O distincție importantă există între:

- *îmbunătățirea proceselor* – care, inițial, a fost considerată o schimbare limitată, bottom-up, incrementală, într-o singură funcție a unui proces (adică, într-un singur departament al organizației), realizată într-o perioadă scurtă de timp; și
- *inovarea proceselor* – văzută inițial ca o schimbare radicală, top-down, largă, interfuncțională/interdepartamentală a organizației și plecând de la început (neluând în considerare procesele existente).

O variantă modernă a îmbunătățirii proceselor a fost elaborată la MIT și a devenit clasică în SUA. În cadrul Oficiului TQL (Total Quality Leadership) al Departamentului Marinei Americane, ea a fost incorporată într-o metodologie integrată, bazată pe instrumente TQM (Total Quality Management) ([4], [8]). Metodologia elimină unele limite ale definiției inițiale a termenului de "îmbunătățire a proceselor", deoarece poate fi utilizată interfuncțional atât bottom-up, cât și top-down atât pe orizontală, cât și pe verticală, în structura întreprinderii.

Avantajul acestei variante moderate dintre metodologiile reingineriei este acela că este aplicabilă în multe din întreprinderile din România. Ea se intenționează a se implementa, cu ajutorul unui sistem multiagent, în cadrul unui proiect de cercetare, realizat în ICI. Validarea metodologiei se intenționează a se realiza printr-un studiu de caz, pentru o organizație din România.

Obiective și probleme nerezolvate în domeniul sistemelor multiagent. În [17], se realizează o sinteză a stadiului și a perspectivelor în domeniul MAS (Multi-Agent Systems). Începută din anii '80, cercetarea în domeniul MAS a luat avânt abia după 1990, când s-au intensificat lucrările, au apărut manifestări științifice și cărți în acest domeniu.

Dintre *obiectivele* mai importante ale *tehnologiei agenților inteligenți* sunt: (1) descentralizarea datelor, inteligenței, interfețelor și deciziei, (2) creșterea flexibilității, adaptabilității și a posibilității de evoluare a sistemelor în care este integrată, (3) execuția concurentă și planificarea dinamică a activităților, (4) corelarea și coordonarea entităților fizice eterogene, (5) delegarea sau asistarea execuției unor sarcini ale utilizatorului, (6) manipularea inteligentă a resurselor, erorilor, datelor descrise incomplet etc, toate fiind destinate stăpânirii complexității proceselor (inclusiv de afaceri) actuale.

Capitolele principale ale domeniului MAS, pentru care există încă probleme nerezolvate sunt ([1], [7], [10], [11], [17]):

- căutarea/regăsirea informațiilor;

- comunicarea între agenți și cu exteriorul;
- specificarea ontologiilor;
- integrarea sistemelor existente;
- raționamentul și coordonarea;
- monitorizarea.

Această lucrare se va concentra asupra *necesității și rolului ontologiilor* în sisteme multiagent, dedicate reingineriei proceselor de afaceri.

Ontologia este un *instrument de comunicare între agenți*, alături de protocol de transport, care facilitează transferul informațiilor, și limbajul de comunicare între agenți.

Problema ontologiilor este încă tratată incipient pentru domeniul MAS. Nu există specificații unanim acceptate și, cu atât mai puțin, ontologii standard. Specificarea FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) [6] pentru modelul de referință și metaontologia aferentă este singura, în acest moment, care se ocupă de ontologii dedicate sistemelor multiagent. Cu toate acestea, ele sunt prezentate destul de superficial, reluând, în principal, o reprezentare orientată spre obiect a cunoștințelor: Open Knowledge Base Connectivity (OKBC). De asemenea, nu există, încă, instrumente de implementare a ei și nici aplicații care să o utilizeze. Importanța ontologiilor pentru MAS este, însă, unanim recunoscută.

Utilizarea sistemelor multiagent pentru reingineria proceselor de afaceri. Nu există, în prezent, rezultate sau încercări de aplicare a MAS pentru reingineria proceselor de afaceri, în general, și, cu atât mai puțin, bazată pe TQM. Cercetătorii înclinați spre tehnologia lucrului în echipă încearcă, în prezent, combinarea MAS cu fluxurile de lucru (o tehnologie organizațională, utilizată și în restructurarea organizațiilor).

Această situație nu se datorează incompatibilității dintre cele două domenii, ci insuficienței maturității a tehnologiei MAS, precum și insuficienței ei penetrări în toate domeniile, prin tehnologie de proiectare și de programare, bazată pe standarde (cum se întâmplă, în prezent, cu tehnologia orientată spre obiecte, care dispune de standarde de proiectare și programare și de instrumente software aferente).

Structura lucrării. În Secțiunea a 2-a, se realizează o prezentare sumară a noțiunii de ontologie. În Secțiunea a 3-a, se motivează necesitatea ontologiilor într-un sistem de reinginerie. În Secțiunea a 4-a, se prezintă tipurile de ontologii necesare și rolurile lor într-un MAS pentru reinginerie. În Secțiunea a 5-a, se schițează arhitectura unui MAS pentru BPR, în care ontologiile ocupă un loc central.

2. Definiții ale ontologiilor și rolul lor în sisteme multiagent

Din punctul de vedere al filosofiei. Ontologia este o ramură a metafizicii, care studiază *natura existenței*.

Din punctul de vedere al modelării informațiilor. Ontologia este un vocabular și o specificare (adesea formală) a unei colecții de concepte, a simbolurilor lor și a relațiilor dintre ele (inclusiv fapte implicate). Prin *specificare* se înțelege o caracterizare a semnificației acestor concepte, simboluri și relații [13].

Ontologia are rolul de a preciza *semnificația conceptelor* dintr-un vocabular/dicționar, precum și a *relațiilor* dintre concepte, în mod formal și riguros, cu scopul de a fi *înțeleasă și utilizată în comun*, de toți membrii unei echipe/comunități (de actori umani sau de agenți software), care se pun de acord asupra semnificației conceptelor utilizate.

Indiferent de acoperire (vezi mai jos), ontologiile sunt construite în perioada de dezvoltare a sistemelor informatice. Ele sunt implementate în baze de cunoștințe (KB) și accesate, ulterior, din acestea.

Din punctul de vedere al acoperirii conceptuale. Ontologiile pot fi (în ordinea descrescătoare a generalității):

- *ontologii superioare/de referință* (upper/ top-level ontologies), care sunt definite cu scopul de a acoperi concepte generale, comune mai multor domenii. Un exemplu este considerat raționamentul de bun simț, din ontologia CYC. Aceste ontologii simplifică proiectarea unor ontologii specifice anumitor domenii și încurajează reutilizarea acestora;
- *ontologii ale domeniului*, ale căror concepte acoperă un singur domeniu (de exemplu, domeniul energetic, al educației etc);
- *ontologii ale aplicațiilor*, ale caror concepte acoperă o singură aplicație dintr-un domeniu.

Principiul de ghidare al ontologiei este principiul după care au fost alese conceptele și relațiile descrise în ontologie. De exemplu, WordNet și FrameNet utilizează 'lingvistica' drept ghid pentru identificarea conceptelor (în general, concepte de nivel superior).

Componentele de bază ale ontologiei. În construirea unei ontologii, trebuie create și sunt utilizate:

- *vocabularul* termenilor incluși în ontologie;
- *axiomele* explicite, care au ca scop: aproximarea semnificației termenilor, validarea specificațiilor termenilor, definiția neambiguă a vocabularului, automatizarea operațiilor de clasificare și de translatare;
- *limbajul de reprezentare* a ontologiei: dintre cele mai importante limbaje propuse, până în acest moment, sunt: KIF (Knowledge Interchange Format), OntoLingua, OKBC (Open Knowledgebase Connectivity) Model, OIL (Ontology Interchange Language), RDF (Resource Description Framework), XML (eXtensible Mark-up Language), XOL (XML-based Ontology Exchange Language), OML (Ontology Mark-up Language);
- majoritatea acestor limbaje pot fi utilizate pentru construirea atât a ontologiilor de referință, cât și a ontologiilor de domeniu sau de aplicație.

Ontologii explicite și implicite. Pentru un anumit domeniu, proiectanții MAS pot decide utilizarea:

- ontologiilor *explicite*, adică *reprezentate declarativ* și stocate într-o bază de cunoștințe; sau, alternativ, a
- *ontologiilor care sunt codificate, în mod implicit* (procedural), în software-ul de implementare a agentului.

Soluția ontologiilor explicite este cea mai bine acceptată și face obiectul ontologiei specificate de FIPA pentru MAS-uri [6].

Ontologiile explicite (împreună cu un *mecanism de acces și de referire* la ele) prezintă mai multe *avantaje* pentru comunicarea între agenți deoarece:

- fără ele, pentru a comunica, agenții trebuie să partajeze în cod aceeași ontologie, ceea ce este o constrângere puternică într-un MAS deschis;
- ontologiile explicite sunt stocate în exteriorul agenților software și pot fi gestionate de un agent de ontologie;
- *agentul de ontologie* gestionează cererile de concepte, actualizează ontologia, extinde sau specializează ontologia, translatează ontologiile etc.

Ontologia ca instrument de comunicare în sisteme multiagent. Modelele de comunicare a agenților se bazează pe presupunerea că doi agenți care doresc să comunice partajează: (1) o *ontologie comună* a universului lor de discurs (ontologie a domeniului sau a aplicației), precum și (2) o *ontologie de comunicare*, care definește acte de vorbire și protocoale.

Prima ontologie asigură faptul că agenții atribuie aceeași semnificație conceptelor/simbolurilor utilizate în mesajele lor. Este posibil ca agenți diferiți să utilizeze ontologii diferite sau aceeași ontologie, reprezentată în limbaje diferite.

Identificatorul ontologiei este unul din argumentele mesajelor schimbate între agenții software. În acest mod, se permite translatarea între ontologii și comunicarea între agenți ale căror mesaje sunt reprezentate în ontologii diferite sau în limbaje diferite pentru reprezentarea acestora. Pentru asigurarea comunicării, se compară ontologiile și se realizează translatarea lor cu ajutorul agentului de ontologie.

Problema cheie este reprezentarea ontologiilor suficient de bogate privind conceptele de bază, astfel încât *agenții să poată raționa* cu informația obținută despre aceste concepte.

În legătură cu ontologiile, în MAS trebuie rezolvate mai multe probleme:

- reprezentarea ontologiei;
- abilitatea de a referi și de a citi ontologii la distanță;
- abilitatea de a realiza translatarea între ontologii;
- abilitatea de a combina și de a concatena ontologii.

Conform ontologiei specificate de FIPA [6], gestiunea ontologiilor explicite, declarative, este în sarcina agentului de ontologie, care are acces la unul sau la mai multe *servere de ontologie* și care furnizează *servicii ontologice* tuturor agenților dintr-un MAS.

Reguli de definire a ontologiilor în sisteme multiagent. Aceste reguli au fost, inițial, specificate pentru ontologii, în general, dar au aplicabilitate și în MAS [6]. Ele sunt:

- *claritate și obiectivitate*: existența unui glosar al vocabularului, care să conțină definiții obiective și semnificația precisă a fiecărui termen, exprimate în limbaj natural;
- *completitudine*: o definiție trebuie exprimată printr-o condiție necesară și suficientă. Nu se utilizează definiții parțiale;

- *coerență*: inferențele permise asupra ontologiei trebuie să fie consistente cu definițiile din glosar;
- *extensibilitate monotonică maximală*: termenii noi, generali sau specializați, trebuie să fie incluși în ontologie astfel încât să nu necesite revizuirea definițiilor existente;
- *angajare ontologică minimală*: trebuie să se plece de la cât mai puține axiome posibile, despre lumea modelată;
- *distincția ontologică*: clasele care au criterii de identitate diferite trebuie să fie disjuncte.

Activități de dezvoltare a ontologiei. Sunt activități componente ale ciclului de viață al ontologiei, precizând stări diferite în dezvoltarea acesteia:

- *specificarea cerințelor* (sau predezvoltare), prin care se definește scopul ontologiei, modul de utilizare preconizat și cerințele utilizatorilor finali. Gradul de formalizare al specificării cerințelor variază de la text informativ, până la o specificare semiformală sau formală sau la un cadru structurat (de exemplu, o mulțime de întrebări de competență);
- *conceptualizarea ontologiei*, prin care se construiește modelul conceptual, ce descrie problema și soluția ei;
- *formalizarea ontologiei*, prin care modelul conceptual se transformă într-un model formal, care este, în general, semicalculabil. Câteva reprezentări uzuale ale ontologiilor utilizate, în prezent, în formalizarea acestora sunt grafurile conceptuale, cadrele sau logica descriptivă;
- *integrarea ontologiei*, prin care se intenționează reutilizarea ontologiilor existente și corelarea lor. Nu există o metodă generală de integrare ontologică a cunoștințelor (de obicei, taxonomice sau clasificări ierarhice) eterogene. Integrarea se realizează prin asocieri între ontologii;
- *implementarea ontologiei* sau codificarea ei într-un limbaj formal, selectat în acest scop;
- *întreținerea ontologiei* (sau postdezvoltare), prin care se efectuează adăugări și modificări la ontologia inițială.

Activități auxiliare. Sunt activități care ajută la realizarea activităților de dezvoltare a ontologiei. Cele mai importante activități auxiliare sunt:

- *achiziția cunoștințelor ontologice*, realizată cu tehnici speciale ale inteligenței artificiale, destinate achiziției cunoștințelor. Sursele de cunoștințe sunt experți, cărți, manuale, tabele, figuri, alte ontologii, precum și tehnici ca: brainstorming, interviuri, chestionare, analiza textelor formale sau informale, instrumente de achiziție a cunoștințelor etc.;
- *evaluarea ontologiei*, realizată înainte de publicarea și de utilizarea ontologiei;
- *documentarea ontologiei*, necesară, în mod deosebit, pentru reutilizarea și partajarea ontologiei;
- *gestiunea configurației ontologiei*, prin care se pastrează înregistrări ale fiecărei versiuni a ontologiei, pe parcursul ciclului ei de viață.

3. Necesitatea ontologiilor într-un sistem de reinginerie a proceselor de afaceri

Ontologiile se motivează prin faptul că un sistem de reinginerie a proceselor de afaceri implică următoarele:

1. *surse eterogene de informații*, unele dintre acestea fiind baze de date/fișiere existente în sistemul informatic actual al organizației. Ele trebuie integrate în MAS datorită informațiilor utile, existente în aceste surse și necesare în automatizarea metodologiei de reinginerie;
2. lucrul într-o echipă compusă din *specialiști din domenii variate* (de exemplu, producție, contabilitate, informatică, statistică, marketing etc), care au nevoie de un limbaj comun și de aceeași înțelegere a conceptelor utilizate;
3. *aplicații diferite*, realizate în perioade diferite, în locuri diferite și de către proiectanți/programatori diferiți. Este vorba de aplicațiile existente, dar și de aplicații noi (de tip agent). În aceste aplicații, un concept cu același nume poate avea semnificații diferite sau, invers, concepte cu nume diferite pot avea aceeași semnificație;
4. schimbul de idei în cadrul echipei de reinginerie este realizat, în general, în limbaj natural. Ideile trebuie comparate și organizate de către mediatorul echipei și, pe baza lor, trebuie realizate analizele și diagramele din metodologia de reinginerie. Utilizarea ontologiilor și, mai ales, reprezentarea lor într-un limbaj cu caracteristici lingvistice, poate elimina ambiguitățile existente în limbajul natural pur, împrumutând, în același timp, din semantica bogată a acestuia.

4. Tipul și rolul ontologiilor pentru reingineria proceselor de afaceri

Pentru un MAS de reinginerie a proceselor de afaceri este necesară utilizarea următoarelor tipuri de ontologii: (1) o *ontologie a domeniului/procesului* analizat (de exemplu, domeniul educației), (2) o ontologie specifică reingineriei (numită, în continuare, *ontologie BPR*) și (3) o *ontologie de comunicare* între agenții software.

În continuare, se precizează, succint, rolul fiecăreia dintre aceste ontologii.

4.1. Rolul ontologiei domeniului

Ontologia *domeniului* sau numai a unui anumit *proces* din domeniul respectiv trebuie să conțină descrierea de:

- concepte specifice domeniului respectiv (de exemplu, din siderurgie, dacă este o întreprindere siderurgică, sau din educație, dacă este Ministerul Educației Naționale, inspectorat școlar sau școală);
- servicii specifice domeniului, de exemplu, în domeniul educației, servicii de raportare periodică, de agregare a datelor, de analiză statistică etc.

Această ontologie va fi utilizată de specialiștii din domeniul respectiv, de toți sau numai de unii dintre membrii echipei de reinginerie.

Pentru crearea ontologiei domeniului, MAS trebuie să includă instrumente care să asiste membrii echipei sau numai pe conducătorul ei în crearea ontologiei. Pentru ca aceste instrumente să poată fi utilizate în mai multe domenii, ele trebuie să fie cât mai generale, dar fără ca generalitatea să implice complexitate și dificultate în utilizarea lor.

Generalitatea instrumentelor de construire a ontologiilor se obține, în acest moment, prin utilizarea ca suport conceptual de bază, a unei *ontologii de referință* (upper-level ontology).

Ontologia definițiilor operaționale în metodologia de îmbunătățire a proceselor de afaceri. Fără a fi explicit referită, o astfel de ontologie este sugerată în metodologia de reinginerie a proceselor de afaceri, bazată pe TQM ([4], [8]). Ea se identifică cu ontologia domeniului, necesară în automatizarea metodologiei. Încă din primii pași, este utilizat instrumentul conceptual "definiție operațională". Conform [4], o *definiție operațională* ajută la comunicarea semnificației unui concept, specificând cum se măsoară și cum se aplică conceptul în situații particulare. Această definiție are rolul următor: (1) dă o semnificație precisă unui cuvânt scris sau vorbit, formând un limbaj comun și o terminologie comună între două sau mai multe persoane; (2) definește modul în care sunt utilizate un cuvânt sau o frază când sunt aplicate într-un anumit *context*. Deci, cuvintele (de exemplu, "bun", "fiabil", "uniform") pot avea semnificații diferite când se utilizează în situații/contexte diferite.

Pentru a comunica eficient și pentru a evita neînțelegerile între ei, membrii echipei, colecții de date, clienții interni și externi și furnizorii trebuie să utilizeze *aceleași definiții operaționale pentru aceleași concepte în același context*.

Probleme de rezolvat în construirea ontologiei domeniului. Se enunță două dintre problemele care trebuie rezolvate în automatizarea procesului de definire a ontologiei domeniului.

Problema 1: *necesitatea corelării ideilor exprimate în limbaj natural cu ontologia domeniului.*

Pentru acceptarea fără probleme de către utilizatori a unui instrument automat pentru reinginerie, este necesar ca *ideile membrilor echipei să poată fi exprimate în limbaj natural și să poată fi corelate între ele*. Utilizarea limbajului natural pentru exprimarea ideilor ar implica necesitatea corelării limbajului natural cu ontologia domeniului.

Problema 2: *crearea dinamică a ontologiei domeniului, prin acordul tuturor membrilor echipei.* Această cerință implică schimbul de păreri exprimate în limbaj natural, stocarea părerilor/ideilor și monitorizarea lor, precum și translatarea lor în concepte și relații din ontologia domeniului.

Părerile membrilor echipei conțin termeni și definiții care trebuie identificate, separate de restul cuvintelor și corelate între ele (eventual suprapuse/echivalente, concatenate etc).

Soluții posibile

1. Soluția ideală (pentru ambele probleme) ar consta în utilizarea, pentru construirea ontologiei domeniului, a limbajului natural. În acest caz, sunt necesare mai multe instrumente:
 - un *analizor al limbajului natural*, care să înlăture ambiguitățile acestuia,
 - un *instrument de translatare a limbajului natural* în ontologia de referință,

- un instrument de gestiune a ideilor exprimate în ontologia de referință.
2. Altă soluție ar fi exprimarea ideilor într-o ontologie de referință cu caracteristici lingvistice. În acest mod, s-ar putea înlătura de la început ambiguitățile limbajului natural și s-ar păstra morfologia și sintaxa acestuia.

NOTĂ Pentru ambele probleme, este necesar ca ontologia domeniului să fie o ontologie explicită, stocată separat de cod, deci, posibil de construit, modificat sau de completat în mod dinamic.

4.2. Rolul ontologiei BPR

Ontologia BPR poate fi specifică domeniului general al BPR sau numai metodologiei particulare, utilizată în acest scop. Această ontologie trebuie să descrie (1) termeni specifici BPR, împreună cu semnificația acestora, (2) servicii specifice BPR, de exemplu, servicii de creare a diagramelor/analizelor statistice, de interpretare a diagramelor, servicii de brainstorming, negociere etc.

Această ontologie are două scopuri:

- să faciliteze înțelegerea metodologiei BPR și a termenilor ei specifici de către membrii echipei;
- să faciliteze comunicarea între agenți, în scopul asistării procesului de reinginerie. Comunicarea va utiliza o terminologie și reguli de reinginerie, definite de profesioniști în acest domeniu.

NOTĂ Ontologiile domeniului și BPR se pot considera ontologii ale utilizatorului, deoarece sunt create (în cazul ontologiei domeniului) sau numai utilizate (în cazul ontologiei BPR) de membrii echipei de reinginerie.

Problema în construirea ontologiei BPR este lipsa unei ontologii de referință declarativă unică atât pentru obiecte, cât și pentru procese. Pentru completitudinea definirii relațiilor între termenii specifici BPR, este util ca aceste relații să fie corelate cu pașii și subpașii metodologiei BPR care, la rândul lor, trebuie corelați între ei.

Limitele specificărilor existente pentru ontologii de referință, precum și a limbajelor de implementare a lor în acest moment, constau în faptul că nu ajută proiectantul în reprezentarea, în mod explicit și declarativ, a relațiilor procedurale între concepte de tip activitate/operație sau eveniment. Acest lucru s-ar putea realiza printr-o ontologie explicită a proceselor. Nici instrumentele existente astăzi pentru construirea ontologiilor ([14], [15], [16] etc) nu permit astfel de relații. Această specificare se poate realiza, în acest moment, doar cu ajutorul ontologiilor implicite, incluse în cod (ale căror dezavantaje au fost menționate mai sus).

Soluții posibile

1. Prin interpretarea proprie, de către proiectant, a conceptelor și a relațiilor oferite de ontologia de referință aleasă, prin separarea conceptelor de tip 'obiect' de cele de tip 'activitate' sau 'eveniment'. În acest caz, instrumentele de construire a ontologiei vor trebui completate cu programe pentru facilitarea acestei interpretări proprii.
2. Prin combinarea unei ontologii de referință a obiectelor cu un model/reprezentare a proceselor (de exemplu, rețele Petri sau PSL (Process Specification Language)). Această soluție ar conduce la o proiectare neomogenă și la o implementare greoaie și, probabil, inefficientă, deoarece vor trebui combinate și compatibilizate două instrumente diferite care, practic, vor avea aceleași funcții (de construire și de acces la o ontologie).
3. Prin combinarea unei ontologii de referință, declarativă explicită, pentru concepte de tip obiect (concret sau abstract) cu o ontologie procedurală implicită, exprimată în codul de implementare a metodologiei BPR. Această soluție ar conduce, de asemenea, la proiectarea neomogenă și, posibil, incompletă, deoarece, prin programare, se pot pierde unele din funcțiile ontologiei procedurale, definită în etapa de proiectare.
4. Prin utilizarea unei reprezentări cu caracteristici ontologice, care să integreze modelarea obiectelor și a proceselor într-un mod unitar și integrat. Pentru această alternativă, propunem reprezentarea prin grafuri centrate pe activități, ale cărei caracteristici de unificare (și, de asemenea, lingvistice) au fost demonstrate în [9]. Această soluție, însă, nu beneficiază de un editor general, pentru construirea ontologiei, și nici de instrumente generale pentru accesul la ea. A fost experimentată pentru cazul particular al modelării bazelor de date distribuite.

4.3 Rolul ontologiei de comunicare

Comunicarea între agenți este bine să fie realizată pe baza unei ontologii de comunicare, care să includă actele de comunicare (similare actelor de vorbire), precum și protocoalele între agenți.

Ontologiei de comunicare între agenți, i se asociază trei elemente:

- vocabular;
- limbajul intern (de exemplu, KIF (Knowledge Interchange Format));
- limbajul extern (sau de comunicare: de exemplu, una din cele două propuneri în competiție pentru standardizare în acest moment: KQML (Knowledge Query Manipulation Language) și FIPA ACL (Agent Communication Language)).

Limbajul extern este, de fapt, limbajul în care se reprezintă ontologia de comunicare. În limbajul intern, se reprezintă ontologia domeniului, regăsită în mesajele transmise între agenți.

Standardele pentru limbajul extern au scopul de a facilita interoperabilitatea agenților software. KQML [5] este un standard de facto în acest moment [9].

Un *mesaj* într-un limbaj de comunicare este o expresie în limbajul extern (de exemplu, KQML), în care *argumentele mesajului* sunt termeni/propoziții în limbajul intern (de exemplu, KIF), format din cuvinte existente în vocabular.

Vocabularul este inclus într-un dicționar deschis, de cuvinte utilizate frecvent în domeniul aplicației. Fiecare cuvânt are:

- descriere, pentru înțelegerea de către utilizator a semnificației fiecărui cuvânt;
- adnotări formale (scrise în limbajul intern) pentru utilizarea lor din programe.

Dicționarul este considerat deschis pentru că permite adăugarea de cuvinte noi, din domeniul aplicației curente sau din domeniul altei aplicații. Dicționarul se poate asocia cu mai multe ontologii de domeniu aplicație.

KIF este o versiune prefixată și extinsă a calculului cu predicate de ordinul întâi. În KIF, se pot reprezenta: (1) expresii simple, (2) expresii complexe, incluzând operatori logici și relaționali, operatori nestandard (ca apostrof și virgulă), (3) propoziții cuantificate, (4) proceduri utile scrierii de programe sau de scenarii etc.

În limbajele de comunicare KQML sau FIPA ACL, mesajele sunt similare expresiilor reprezentate în KIF. Fiecare mesaj este o listă de componente incluse între paranteze. Primul cuvânt al mesajului indică *tipul comunicării* (preluat din limbajul extern). Următoarele intrări/argumente ale mesajului sunt expresii KIF.

KQML a fost conceput de consorțiul Knowledge Sharing Effort [5] atât ca un format al mesajelor, cât și ca un protocol de manipulare a mesajelor cu scopul partajării dinamice a cunoștințelor între agenți.

Un exemplu de mesaj KQML este:

(register

```
:sender agentA
:receiver agentB
:reply-with mesaj2
:language limbaj-comun
:ontologie ontologie-comuna
:content "(AsigurareServiciu
    Fabricație:DescompunereTask)")
```

În exemplul anterior, "register" este acțiunea care se intenționează a se realiza prin trimiterea aceluia mesaj.

Cuvintele cheie în definierea mesajelor în KQML sunt următoarele:

- *sender*: agentul care trimite mesajul;
- *receiver*: agentul care recepționează mesajul;
- *from*: trimițătorul inițial: se utilizează atunci când mesajul este trimis prin agenți intermediari;
- *to*: receptorul final: se utilizează atunci când mesajul este trimis prin agenți intermediari;
- *in-reply-to*: identificatorul mesajului care a declanșat trimiterea mesajului curent;
- *reply-with*: identificatorul mesajului care răspunde mesajului curent;
- *language*: limbajul pentru interpretarea informațiilor din conținutul mesajului curent;
- *ontologie*: identifică ontologia pentru interpretarea informațiilor din conținutul mesajului curent;
- *content*: informație specifică aceluia context în care este utilizat mesajul: ea descrie specificul mesajului.

Acțiunile (actele de comunicare) ce pot fi specificate în KQML (și fac parte din ontologia de comunicare) sunt împărțite în mai multe categorii: (1) cereri de bază (evaluate, ask-if, ask-about, ask-one, ask-all); (2) răspuns multiplu (stream-about, stream-all, eos); (3) răspuns (reply, sorry); (4) generic informațional (tell, achieve, cancel, untell, unachieve); (5) generator (standby, ready, next, rest, discard, generator); (6) definirea capacității (advertise, subscribe, monitor, import, export); (7) rețea (register, unregister, forward, broadcast, route).

4.4 Corelarea ontologiei domeniului cu ontologia BPR și baza de cunoștințe

Ontologia domeniului este una dintre cele două *ontologii ale utilizatorului*. Utilizatorul ei este, în același timp, și creatorul ei.

Ideal, utilizatorul ar trebui să cunoască numai ontologia domeniului (vezi figura 1). Corelarea celor două ontologii (de domeniu și BPR) ar trebui să se realizeze în mod automat, urmărind metodologia de reinginerie și interpretând rezultatele fiecărui pas. Această interpretare reprezintă, de fapt, *translatarea* în ambele sensuri între cele două ontologii. Acesta este unul din raționamentele necesare într-un MAS pentru BPR.

Fără mecanismul de translatare, utilizatorul va fi obligat să coreleze (în mintea sa) terminologiile și regulile celor două ontologii, precum și raționamentul asupra lor.

5. Locul ontologiilor în arhitectura unui sistem multiagent pentru reingineria proceselor de afaceri

Echipe virtuală de agenți pentru reingineria proceselor de afaceri. Tradițional, organizațiile ierarhice acordă prea multă atenție *proceselor verticale* (raportări și controale între supervizori și subordonați), în timp ce se neglijează lanțurile *de activități orizontale*, desfășurate atât în interiorul organizației, cât și între organizații. 'Îmbunătățirea proceselor de afaceri' impune și scoate în evidență procesele orizontale, obligatoriu conduse de echipe. Ea înseamnă, deci, analiza și proiectarea bazate pe echipe, a fluxurilor de lucru și a proceselor, în interiorul și între organizații.

Din metodologia de reinginerie prin TQM [4] și din motivarea anterioară a ontologiilor, se poate trage concluzia că, pentru o echipă virtuală de agenți pentru reingineria proceselor de afaceri, avem nevoie de cel puțin trei tipuri/roluri de agenți:

- *agent asistent personal BPR*, care are ca funcții principale, asistarea și ghidarea unui membru al echipei în parcurgerea metodologiei de reinginerie a proceselor de afaceri;

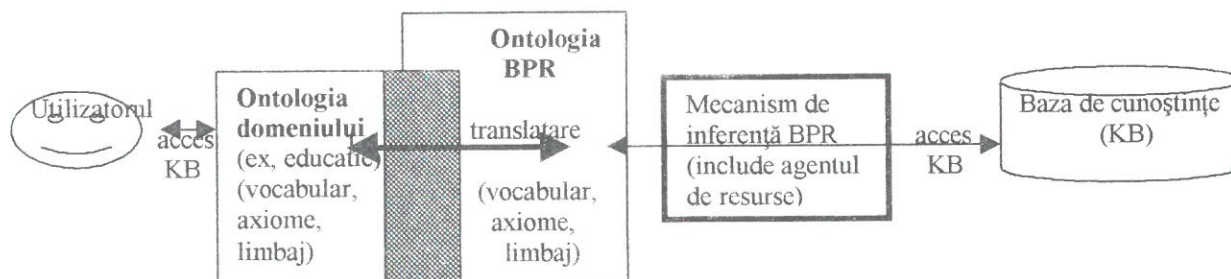


Figura 1. Ontologia domeniului ca limbaj de acces la baza de cunoștințe a unui sistem de reinginerie

- *agent mediator BPR* (care include și funcții de facilitator, în sensul utilizat în terminologia agenților software). El asistă mediatorul/conducătorul uman al echipei în conducerea echipei și în luarea deciziilor;
- *agent de ontologie*, care să gestioneze și să coreleze cele trei tipuri de ontologii: ale domeniului, BPR și de comunicare.

Conexiunile dintre cele trei tipuri de agenți într-o echipă virtuală sunt prezentate în figura 2, care sugerează și faptul că efectuarea comunicării între agenții asistenți personali se face indirect, prin intermediul mediatorului și al agentului de ontologie.

Arhitectura unui sistem multiagent pentru reinginerie. Fiecare tip de agent dintre cei enumerați anterior (asistent, mediator sau de ontologie) pentru reingineria proceselor de afaceri trebuie să aibă cel puțin următoarele componente: (1) componenta declarativă (*baza de cunoștințe*); (2) componenta de inferență (numită și *agent de execuție sau de raționament*); (3) componenta de comunicare a unui agent (asistent sau mediator) cu ceilalți

agenți (asistenți sau mediator). Această componentă se numește *agent de comunicare*. (4) componenta de interfață a agentului (cu utilizatorul, în ambele direcții). Această componentă se numește *agent de interfață*.

Componenta declarativă înglobează descrieri ale surselor de informații/cunoștințe necesare raționamentului și acțiunilor/prelucrărilor agentului. Aceste surse sunt (1) locale, proprii fiecărui agent și utilizator sau (2) globale, comune tuturor agenților.

Componenta de inferență conține raționamentul agentului (sub formă de cod sau reprezentat explicit), bazat, în general, pe informațiile/cunoștințele din componenta declarativă.

Componenta de comunicare cu ceilalți agenți conține, în esență, interfața între agentul respectiv (asistent sau mediator) și agentul de ontologie (prin intermediul căruia se realizează comunicarea între agenții asistenți și agentul mediator). Această interfață este compusă din cele trei tipuri de ontologii (a domeniului, BPR și de comunicare).

Componenta de interfață conține dialogul agent-utilizator în ambele direcții. Ea implică (1) delegarea de către utilizator a execuției unor funcții de reinginerie către agentul respectiv (asistent sau mediator), dar și (2) feedback-ul acestei delegări, pe care agentul trebuie să îl asigure utilizatorului.

Figura 3 sugerează arhitectura unui astfel de sistem și locul agentului de ontologie în această arhitectură.

În această arhitectură, se propun două tipuri de baze de cunoștințe:

- câte o *bază de cunoștințe locală și personală* a fiecărui agent (asistent personal și mediator): ea se identifică cu componenta declarativă din structura agentului;
- două baze de cunoștințe comune:
 - o *bază de cunoștințe ontologice*, ca și componenta declarativă a agentului de ontologie, dar și replicată în structura fiecărui tip de agent, doar pentru consultare;
 - o *bază de cunoștințe de reinginerie*, administrată de agentul mediator, dar exterioară acestuia.

Privind bazele de cunoștințe comune, agenții trebuie să aibă *drepturi diferite de acces*, sugerate în figura 3.

De asemenea, este necesar ca bazele de cunoștințe (locale și comune) să fie accesate din toate componentele agentului: componenta de interfață cu utilizatorul, de raționament și de comunicare cu ceilalți agenți.

Concluzii

Importanța multidisciplinarității în rezolvarea problemelor complexe este confirmată, încă o dată, de încercarea schițată doar în această lucrare, de a rezolva problema reingineriei proceselor de afaceri, în contextul globalizării echipelor de reinginerie și al necesității accesului unor nespecialiști la metodologia de reinginerie.

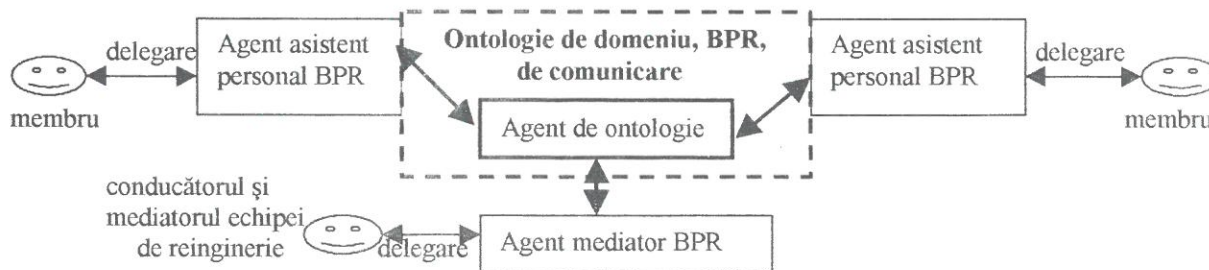


Figura 2. Comunicarea între agenți prin intermediul agentului mediator și al agentului de ontologie

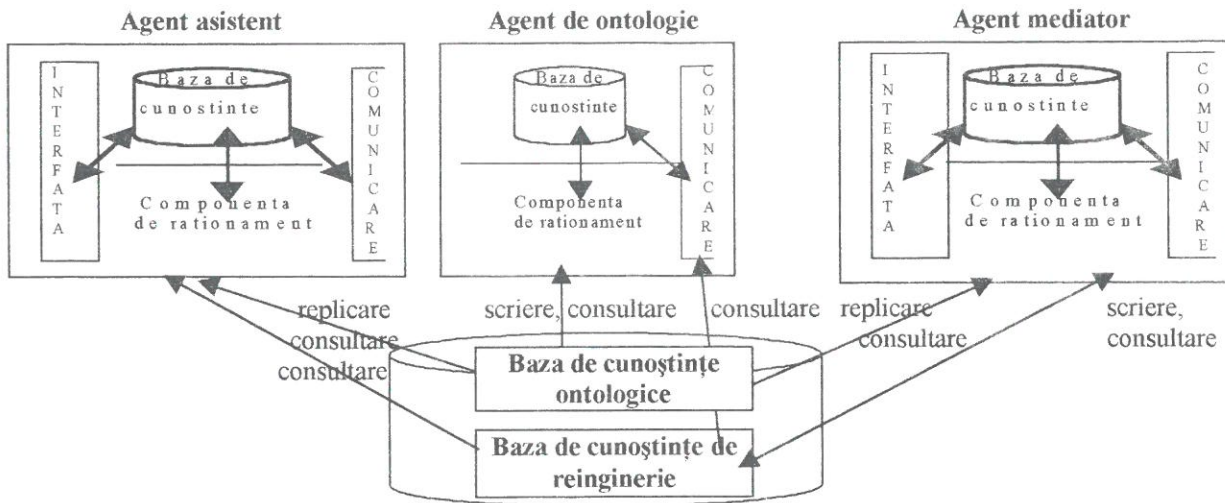


Figura 3. Arhitectura unui sistem multiagent pentru reingineria proceselor de afaceri.
Drepturi de acces la bazele de cunoștințe

Sistemele multiagent se dovedesc necesare pentru automatizarea metodologiei de reinginerie atât din punct de vedere arhitectural (pentru asistarea echipelor virtuale de reinginerie), cât și procedural (pentru realizarea automată a funcțiilor de reinginerie).

Lucrarea se înscrie, în tendința actuală în lume de exploatare a avantajelor ontologiilor în sisteme multiagent. Din păcate, această tendință este, încă, în stadiul de intenție, cu excepția agenților de informare, pentru care există deja câteva rezultate notabile, prezentate în [14], [15], [16] etc.

După definirea ontologiilor, în general, și motivarea lor pentru un sistem multiagent pentru reinginerie, sunt prezentate funcțiile principale și problemele pentru definirea celor trei ontologii necesare acestui sistem: de domeniu, BPR și de comunicare.

Locul și rolul ontologiilor este evidențiat și în prezentarea arhitecturii unui sistem multiagent de reinginerie în care, agentul de ontologie și bazele de cunoștințe ontologice au un loc central.

Bibliografie

1. **BRADSHAW, J.:** Introduction to Software Agents. În: Software Agents, AAAI Press/ The MIT Press, 1997.
2. **CULE, P.:** Business Process Reengineering: Theory and Practice – Views from the Field. În: Business Process Change - Reengineering Concepts, Methods and Technologies, Idea Group Publishing, USA, 1995.
3. **DAVENPORT, T.:** Business Process Reengineering: Where It's Been, Where It's Going. În: Business Process Change - Reengineering Concepts, Methods and Technologies, Idea Group Publishing, USA, 1995.
4. **DON (Department Of The Navy):** Handbook for Basic Process Improvement, Department Of The Navy, USA, <http://www.tql-navy.org/tools/>, 1996.
5. **FININ, T., Y. LABROU, J. MAYFIELD:** KQML as an agent communication language. În: Software Agents, AAAI Press/ The MIT Press, 1997.
6. **FIPA:** Ontology Service Specification, June, Geneva, <http://www.fipa.org>, 2000
7. **FLORES-MENDEZ, R. A.:** Towards the Standardization of Multi-Agent System Architectures: An Overview. În: ACM Crossroads, Special Issue on Intelligent Agents, Association for Computer Machinery, Issue 5.4, 1999:
8. **GALATESCU, A.:** Modele BPR și TQM, RC, ICI, 2000.
9. **GALATESCU, A.:** A Unifying Translation of Natural Language Patterns to Object and Process Modeling. To appear. În: Information Modeling in the New Millennium, Idea Group Publishing Press, USA, 2000.
10. **GALATESCU, A.:** Utilizarea tehnologiei agenților distribuiți în reingineria proceselor de afaceri, RC, ICI, noiembrie, 2000.
11. **GENESERETH, M.R., S.P. KETCHPEL:** Software Agents. Comm. of ACM, 37(7) 1994.

12. **GROVER, V., W. KETTINGER:** Business Process Change - Reengineering Concepts, Methods and Technologies, Idea Group Publishing, USA, 1995.
13. **GRUBER, T.:** Toward Principles for Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. În: Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Kluwer Academic Publishers, 1993.
14. **GUARINO, N., C. MASOLO, G. VETERE:** OntoSeek: Content-Based Access to the Web. În: IEEE Intelligent Systems 14(3), 1999.
15. **KLUSCH, M. (Ed):** Intelligent Information Agents - Agent-Based Information Discovery and management on the Internet, Springer-Verlag, 1999.
16. **MENA, E., V. KASHYAP, A. ILLARRAMENDI, A. SHETH:** Domain Specific Ontologies for Semantic Information Brokering on the Global Information Infrastructure, Intl. Conf. on Formal Ontologies in Information Systems (FOIS'98), Turin, Italy, 1998.
17. **NWANA, H.S., D. T. NDUMU:** A Perspective on Software Agents Research, Knowledge Engineering Review, vol. 14, No.2, 1999.
18. **SMITH, I.A., P. R. COHEN:** Toward a semantics for an agent communications language based on speech acts. În: Proc. Annual Meeting of American Association for Artificial Intelligence (AAAI'96), Portland, Oregon, 1996.
19. **WOOLDRIDGE, M., N. R. JENNINGS:** Intelligent Agents: Theory and Practice, Knowledge Eng. Review 10(2), 1995.
20. **ZEIBIG, R.,** Surviving Business Process Redesign: The Impacts on IS. În: Business Process Change – Reengineering Concepts, Methods and Technologies, Idea Group Publishing, USA, 1995.