UNIVERSITATEA TEHNICĂ CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ŞI CALCULATOARE
SECȚIA CALCULATOARE

LUCRARE DE DIPLOMĂ

ADAPTAREA ROBOȚILOR ÎNTR-UN SISTEM SENZITIV LA CONTEXT PENTRU O CASĂ INTELIGENTĂ

MIHAI GABRIEL RAȚIU

2009

UNIVERSITATEA TEHNICĂ CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ŞI CALCULATOARE
SECȚIA CALCULATOARE

VIZAT DECAN **VIZAT ŞEF CATEDRĂ**
Prof.Dr.Ing. Sergiu NEDEVSCHI **Prof.Dr.Ing. Rodica POTOLEA**

ADAPTAREA ROBOȚILOR ÎNTR-UN SISTEM SENZITIV LA CONTEXT PENTRU O CASĂ INTELIGENTĂ

Absolvent: **Mihai Gabriel Rațiu**

1. CONȚINUTUL PROIECTULUI:

A. Piese Scrise
Introducere
Studiu bibliografic
Fundamentare teoretică
Specificațiile şi arhitectura sistemului
Proiectarea de detaliu
Utilizarea sistemului
Punerea în funcțiune şi rezultate experimentale
Concluzii
Bibliografie
B. Anexe
CD conținând piesele scrise, codul sursă şi uneltele folosite

2. LOCUL DOCUMENTAȚIEI: Universitatea Tehnică Cluj-Napoca

3. CONSULTANȚI: Asist. Ing. Lucia Văcariu

4. DATA EMITERII TEMEI: 1.10.2008

5. TERMEN DE PREDARE: 19.06.2009

CONDUCĂTOR DE PROIECT **SEMNĂTURĂ ABSOLVENT**

Asist. Ing. Lucia Văcariu Mihai Gabriel Rațiu

Cuprins

Lista de Tabele

Lista de Figuri

1 INTRODUCERE

Acest capitol prezintă motivațiile temei, încadrarea temei în domeniile pe care le acoperă, problemele apărute în elaborarea sistemelor senzitive la context pentru case inteligente, abordarea acestor probleme în elaborarea sistemului dezbătut în lucrarea curentă.

Cercetările curente în domeniul sistemelor senzitive la context adaugă unele soluții problemelor legate de adaptarea contextuală a serviciilor, dispozitivelor electronice sau sistemelor la mediile fizice sau computaționale. Tema de față propune o soluție pentru crearea unui sistem senzitiv la context pentru o casă inteligentă şi o soluție de adaptare a roboților într-un astfel de mediu.

Tehnologiile pentru case inteligente se referă la un domeniu colectiv care cuprinde tehnologii informaționale şi comunicaționale care pot fi folosite în locuințe, unde diferite componente comunică printr-o rețea locală. Tehnologia este folosită pentru a supraveghea, atenționa sau facilita diferite acțiuni care se petrec în locuință, actorii principali fiind locuitorii acesteia. Tehnologiile pentru case inteligente dăruiesc o flexibilitate şi funcționalitate total diferită față de instalațiile convenționale, datorită integrării unităților programabile care comunică prin mesaje de rețea.

Crearea sistemelor senzitive la context, distribuite şi omniprezente se confruntă cu un număr mare de probleme care se ridică în momentul proiectării lor, începând de la problemele specifice care apar în momentul construirii unui sistem distribuit, probleme care au legătură cu integrarea diferitelor componente, asigurarea interoperabilității între dispozitive de calcul eterogene, scalabilitatea, extensibilitatea, securitatea sau toleranța la erori. Pe lângă problemele enumerate se mai adaugă problemele specifice tehnologiilor senzitive la context care adaugă problemele legate de procesarea datelor de context achiziționate, care de cele mai multe ori conțin zgomote sau erori care trebuie identificate şi filtrate, iar din aceste date venite de la nivelul fizic al aplicației este necesară deducerea de noi contexte bazate pe procedee preluate din domeniul inteligenței artificiale.

Unul din cele mai interesante puncte de cercetare în domeniul sistemelor senzitive la context pentru case inteligente este centrat pe descoperirea intențiilor locatarilor casei şi reacția sistemului care va furniza un răspuns optim pentru a satisface nevoile şi doleanțele locatarilor. Chiar dacă în ultimii ani s-au construit multe sisteme senzitive la context, lipseşte încă un model general care să fie stabilit ca un ghid al proiectării. Acest lucru a determinat duplicarea efortului construirii unui astfel de sistem, precum şi mari probleme de interoperabilitate între cei care au construit astfel de sisteme. Soluțiile curente de modelare a informațiilor contextuale sunt bazate pe diferite reprezentări, de exemplu XML, grafuri, diagrame UML şi alte soluții împrumutate din alte domenii ale ştiințelor informatice. Tendința generală abordată în acest caz este folosirea ontologiilor. Ontologiile furnizează un limbaj comun pentru entitățile implicate în sistem, care trebuie să colaboreze pentru a atinge anumite obiective legate de adaptarea informațiilor de context. Alte avantaje ale folosirii ontologiilor sunt crearea de inferențe şi argumentări logice, refolosirea contextelor, prin crearea de ontologii comune domeniului şi ontologii specifice.

Un alt aspect important în crearea unor astfel de sisteme este configurarea contextelor, care se referă la faptul că sistemul se bazează pe nişte reguli fixe, neconfigurabile care guvernează răspunsul său la schimbări succesive de context, fără posibilitatea de reconfigurare dinamică a acestora. Odată ce sistemul detectează contextul curent, trebuie să decidă ce tip de comportament să aplice pentru a satisface nevoile locatarilor. Astfel roboții inteligenți, chiar dacă ar putea învăța din situațiile trecute pentru a repeta comportamentul, trebuie să ia în considerare şi situația în care se aşteaptă un alt tip de comportament pentru situațiile noi sau întâlnite în prealabil. În această lucrare se va demonstra că pentru adaptarea

roboților la sistemul senzitiv la context al casei nu este de ajuns folosirea cunoştinţelor despre context şi regulile predefinite sau cele deduse ulterior, toate acestea nu vor conduce de fiecare dată la răspunsul optim care să satisfacă preferinţele utilizatorului. Dar de multe ori acest răspuns al sistemului se poate apropia de cerinţe.

Pentru satisfacerea cerinţelor exprimate în problema propusă este necesar ca în primul rând din soluţia de proiectare a arhitecturii să rezulte o arhitectură flexibilă, care permite adaptarea a noi componente. Astfel soluţia propune construirea unui sistem multi-agent distribuit descentralizat bazat pe agent, fiecare componentă a sistemului fiind un agent, iar comunicarea între componente fiind realizată prin comunicarea de mesaje între agenţi. Folosirea agenţilor aduce o generalizare mare a problemei, deoarece prin agenţi se pot reprezenta diferite tipuri de entităţi sau actori, printre care şi roboţi, agenţii putând fi configuraţi să emuleze comportamentul unui robot din sistemul senzitiv la context.

Cerinţele şi direcţiile de proiectare şi cercetare abordate în această lucrare sunt următoarele:

- *Studiul conceptelor de bază folosite în domeniul senzitivităţii la context şi a roboţilor* – Lucrarea furnizează un dicţionar cu explicaţii şi amănunte legate de conceptele de bază privind senzitivitatea la context, sisteme senzitive la context şi roboţi;
- *Studiul metodelor de modelare a contextelor şi folosirea ontologiilor* – Se face o analiză a avantajelor şi dezavantajelor proiectării contextelor cu ontologii;
- *Studiul diferitelor arhitecturi existente de sisteme senzitive la context şi o comparaţie între acestea* – Se studiază diferite modele arhitecturale pentru sisteme senzitive la context. De asemenea se valorifică aportul adus de proiectarea cu agenţi la infrastructura sistemului;
- *Studiul metodelor şi metodologiilor de realizare a adaptării agenţilor la un sistem senzitiv la context* – Pentru a îndeplini obiectivele lucrării este necesară studierea diferitelor metode de dezvoltare a agenţilor, unelte folosite pentru crearea agenţilor precum şi platforme de simulare a sistemelor multi-agent. Se face şi un studiu de fezabilitate pentru toate aceste platforme, în încercarea de a alege cea mai bună metodă pentru atingerea scopului lucrării;
- *Proiectarea arhitecturii senzitive la context în compatibilitate cu adaptarea roboţilor* – În partea de proiectare a arhitecturii trebuie luate în considerare tipurile de agenţi folosiţi pentru modelarea entităţilor din sistemul senzitiv la context al casei inteligente, tipurile de agenţi folosiţi pentru roboţi, modul de colaborare între ei, cunoştinţele împărţite, obiectivele şi planurile executate pentru atingerea obiectivelor şi dependenţele dintre ei;
- *Implementarea unei aplicaţii care să simuleze adaptarea roboţilor în sistemul senzitiv la context al casei inteligente* – Construirea unui sistem multi-agent este un proces complex care include provocările şi problemele referitoare la sisteme distribuite, probleme rezultate din flexibilitatea şi comunicarea la distanţă între componente şi simularea adaptării într-o aplicaţie vizuală demonstrativă;
- *Descoperirea şi tratarea provocărilor existente şi a dezvoltărilor ulterioare pentru sistemul senzitiv la context cu roboţi* – Prezentarea unor direcţii de dezvoltare ulterioară a sistemului.

Implementarea unei adaptări complete a roboţilor este în afara scopurilor lucrării deoarece acest lucru implică cercetări şi expertize complexe în domeniul electronicii, ciberneticii, psihologiei şi alte domenii auxiliare care pot interveni în proiectarea roboţilor inteligenţi.

2 STUDIU BIBLIOGRAFIC

2.1 Case inteligente

Ultimii ani au fost martorii avansării rapide a tehnologiilor ce privesc casele inteligente, printre care maturizarea ştiinţelor privind reţelele, totodată cu creşterea varietăţii protocoalelor de comunicaţii prin cablu şi wireless (fără fir), precum şi pe sisteme senzor-actuator omniprezente. Utilizatorii locali au dorit servicii din ce în ce mai personalizate pentru casele lor, precum automatizări, securitate, servicii de monitorizare, divertisment şi medicale. În particular, multe proiecte ce refereau case inteligente au avut ca ţintă utilizatori din categoria persoanelor în vârstă şi a persoanelor cu dizabilităţi, cu scopul de a le uşura traiul şi pentru a le oferi cât mai multă independenţă prin asistarea lor în viaţa de zi cu zi [10]. O componentă esenţială în tehnica computaţională ce priveşte casele inteligente şi nu numai este **senzitivitatea la context**. Serviciile în medii omniprezente şi mobile trebuie să fie senzitive la context pentru a se putea adapta la schimbări rapide de situaţie. Prin context ne referim la orice informaţie fizică sau conceptuală legată de mediul executiv al unui serviciu.

Datorită progresului în comunicaţiile prin reţea, mulţi cercetători au propus sisteme de roboţi bazate pe Internet, care au ca scop controlul de la distanţă şi monitorizarea dispozitivelor şi senzorilor prin reţea. Folosind avantajele date de Internet, aceste sisteme permit utilizatorilor din toate colţurile lumii să viziteze muzee, să navigheze pe mare, şi multe alte facilităţi, toate acestea fără a fi necesară prezenţa la faţa locului. Aceste facilităţi au un foarte mare potenţial pentru industrie, educaţie, timp liber, securitate.

Datorită creşterii rapide a tehnologiilor computaţionale de tip pervaziv a apărut o nouă paradigmă numită „**ubiquitous computing technology**" (omniprezenţa dispozitivelor de calcul), care este o extensie a paradigmei „desktop computing" (dispozitive de calcul locale), în care informaţia procesată a fost integrată complet în obiectele şi activitatea de zi cu zi, în care utilizatorul poate folosi simultan mai multe sisteme, fără a fi conştient că acţionează în acest fel. Paradigma mai este numită şi „everyware" ca un joc de cuvinte inspirat din paradigmele existente şi deja celebre „software", „hardware" ş.a.m.d.

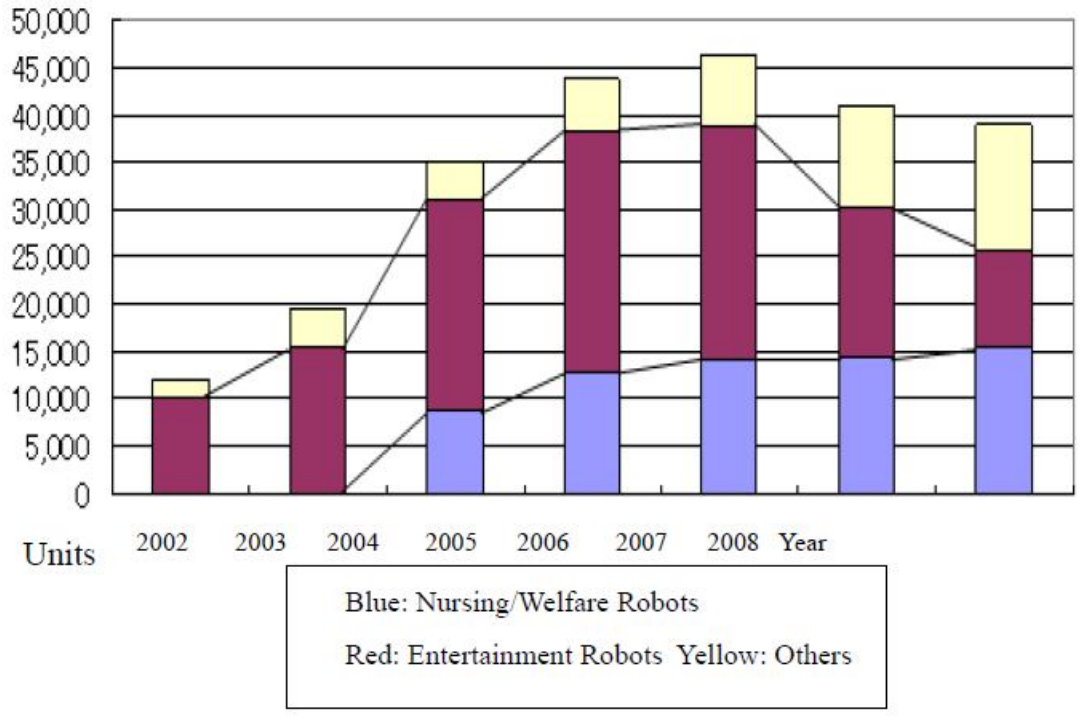
Ubiquitous Robotic Companion (URC) este un concept prin care roboţii care întreprind servicii („service robots") [06], furnizează utilizatorilor serviciile dorite, oricând şi oriunde în mediile computaţionale pervazive. Pentru a îndeplini viziunea URC, una din cerinţele esenţiale ale sistemelor de roboţi este să suporte omniprezenţa serviciilor. Acest lucru înseamnă că robotul trebuie să fie folosibil chiar dacă apar modificări în sistemul pervaziv, care trebuie să permită ca roboţii să opereze cu senzorii şi dispozitivele existente, nu să fie preprogramaţi pentru ele.

Conceptul de „service-robot" [13] include toţi roboţii care vin în ajutorul locatarilor unei case. O clasificare a acestui tip de roboţi poate fi observată în Tabelul 2.1. Astfel în ultimii ani s-au creat cu succes roboţi care execută acţiuni precum spălarea hainelor, aspirare în casă, comunicare, precum şi susţinerea şi ajutarea persoanelor vârstnice.

Tabel 2.1 Clasificarea roboților utilizați în locuințe

Arie de interes	Roboți existenți	Aplicabilitate
Roboți pentru comunicare	NEC "*PaPeRo*"	Securitatea domiciliului
	Hitachi "EMIEW/EMIW2"	Monitorizare la distanță
	AIST "*PARO*"	Terminal de informare
	ART "Robovie"	Îngrijire medicală / dădacă
Roboți pentru ajutor casnic	Fuji Heavy Industry	Ajutor casnic
	iRobot "*Roomba*"	Aerisirea şi reglarea temperaturii încăperilor
	Toshiba "*ApriPoko*"	
	Mitsubishi Heavy Industry	Curățenie
	"Wakamaru"	Securitate şi monitorizare
Roboți folosiți pentru munci mai grele	Matsushita Electric Works "*HOSPI*"	Servicii în instiuții publice (şcoli, spitale, etc.)
	Secom "Secom Robot X"	Dădăcire
	Cyberdyne	Îngrijire medicală
	Toyota IRT	Securitate

În Japonia, conform companiei Seed Planning Company, cota de piață pentru roboții de tip „service-robot" a crescut de la 1,9 miliarde yeni la 6,7 miliarde yeni în 2006. În 2007 deoarece marile companii s-au retras de la a mai comercializa roboți de amuzament precum roboți de companie, vânzările au scăzut per total, însă, vânzarea roboților de menaj şi a celor dădacă a continuat să crească aşa cum se poate vedea şi în Figura 2.1.



(Source: Seed Planning Inc.)

Figura 2.1 Tendința în vânzarea roboților de casă pe piața japoneză

2.2 Sisteme senzitive la context

2.2.1 Concepte de bază

2.2.1.1 Context

În general, contextul reprezintă orice informație care poate fi folosită pentru a caracteriza starea unei entități [16]. O entitate poate să fie la rândul ei o persoană, un loc, o situație sau un obiect care este relevant interacțiunii dintre un utilizator şi o aplicație. Aplicațiile senzitive la context caută răspuns pentru circumstanțele în care o entitate se poate afla, şi folosesc aceste informații pentru a determina ce situații apar în aceste circumstanțe.

În [15] este dată următoarea definiție pentru un context: Un context se referă la ceea ce furnizează surse adiționale de informație, aduce contribuție la înțelegerea situației, pentru un anumit punct de interes vizat.

Conceptul de context a fost introdus în multe domenii din ştiința calculatoarelor, acestea incluzând, procesarea limbajelor formale şi naturale (gramatici dependente/ independente de context), grafică pe calculator, procese decizionale, procesare de informații, dispozitive de calcul omniprezente sau securitate. Scopul utilizării contextului este adăugarea adaptabilității sistemelor şi suport în luarea deciziilor.

2.2.1.2 Senzitivitate la context

Senzitivitatea la context este un punct foarte important şi esențial în mediile computaționale omniprezente, pentru adaptarea entităților computaționale la schimbările care pot interveni, cum ar fi schimbările necesităților utilizatorilor sau a capacităților tehnice [17]. Fundamentul senzitivității la context este un model de reprezentare cât mai formal al contextului, care este necesar pentru a reprezenta contextul într-o manieră interpretabilă de către calculator. În medii distribuite, este primordial ca această informație contextuală să poată fi interpretată de entitățile computaționale diferite, ceea ce oferă interoperabilitate. Mai mult, este necesară argumentarea cunoştințelor despre context, de exemplu, pentru a rezolva inconsistențele datelor venite de la senzori, sau pentru a deduce context de nivel înalt, din informații vagi şi eronate venite de la senzori.

Senzitivitatea la context este un subiect care tratează modul în care dispozitivele pot interfera şi înțelege contextul curent bazat pe informațiile preluate de la senzori [18]. Prin înțelegerea contextului curent (o situație, un mediu) în care se află utilizatorul sau dispozitivul, sistemul poate lua în mod inteligent o decizie pentru a face un anumit tip de acțiune sau cel puțin să notifice şi să ceară permisiunea utilizatorului pentru a confirma acțiunea pe care o va executa.

Sistemele senzitive la context bazate pe recomandări sunt o componentă esențială în acest tip de medii pervazive. Scopul acestor agenți inteligenți este să determine priorități sau să sugereze acțiunile de care utilizatorul este interesat, luând în calcul contextul interacțiunii.

2.2.1.3 Sistem Senzitiv la Context

Schilt, în 1995, spunea că sistemele senzitive la context sunt construite astfel încât să se adapteze locației sau locațiilor în care sunt folosite, ansamblului de persoane şi obiecte, dispozitivelor accesibile, precum şi modificărilor acestor entități de-a lungul timpului. Un sistem cu astfel de capacități monitorizează mediul şi reacționează la modificările apărute în acel mediu [22].

Senzitivitatea la context permite sistemelor să întreprindă acțiuni automate, reducând excesul de implicare din partea utilizatorilor şi furnizând soluții proactive de asistență inteligentă.

Informația perceptuală despre mediu este ingredientul esențial al sistemelor senzitive la context, ceea ce le distinge de sistemele computaționale clasice. Aplicabilitatea acestor tipuri de sisteme este foarte mare, incluzând extragerea informațiilor senzitive la context, sisteme notificatoare, servicii mobile senzitive la context, precum şi medii senzitive la context cu potențiale beneficii aduse societății, de la îngrijire automată şi proactivă a sănătății, comerț electronic (e-commerce), la sisteme militare şi automobile mai sigure [22]. De asemenea, se poate utiliza senzitivitatea la context şi în sisteme de securitate de acasă sau din locuri publice.

2.2.2 Paradigma Ubiquitous Computing

2.2.2.1 Definiții

Cuvântul „ubiquitous" (în traducere care se împrăştie peste tot, omniprezent) poate fi transpus înspre domeniul tehnic ca „a fi sau a exista peste tot în acelaşi timp", „întâlnit în mod frecvent", „răspândit peste tot", referindu-se la faptul că tehnologia este peste tot şi o folosim tot timpul [19].

Din cauza omniprezenței acestor tehnologii tindem să le folosim fără a ne gândi la un anumit dispozitiv, la o anumită unealtă gen calculator sau telefon mobil. În schimb ne gândim doar la acțiunea pe care vrem să o întreprindem, făcând astfel acest tip de tehnologii invizibile din punctul de vedere al utilizatorului.

Cercetătorii de la Research Center for Educational Technology [19], în urma muncii lor şi a observațiilor bazate pe experiență şi pe cunoştințele existente au dezvoltat o definiție care poate fi aplicată în domeniul învățământului pentru a răspândi această noțiune nouă în rândul studenților: „Mediile computaționale pervazive sunt medii de învățare în care toți studenții au acces la o varietate de servicii şi dispozitive digitale, incluzând calculatoare conectate la Internet, precum şi dispozitive mobile, oriunde şi oricând au nevoie de ele. Noțiunea noastră de ubiquitous computing este mai mult axată pe relația: de la mai mulți-la mai mulți (many-to-many) decât pe unu-la-unu (one-to-one) sau unu la-mai mulți (one-to-many) şi include ideea de tehnologie oricând la dispoziția studenților".

Mark Weiser, cercetător la Xerox, a fost primul care a introdus termenul de ubiquitous computing şi a definit termenul astfel: „Ubiquitous computing este metoda prin care se îmbunătățeşte utilizarea calculatorului, făcând mai multe dispozitive disponibile prin mediul fizic, acestea fiind invizibile pentru utilizator" [20].

Marcia Riley, de la Georgia Institute of Technology, Atlanta, spunea că UC, sau „tehnologia calmă" este o schimbare de paradigmă, în care tehnologia devine practic invizibilă, dar este peste tot prezentă în viețile noastre [20].

2.2.2.2 Caracteristici

Folosind dispozitivele apărute în ultima perioadă utilizatorii tind să comunice prin diferite metode, să fie mult mai activi, să folosească spațiul geografic şi temporal în mod diferit, şi să dețină mai mult control. Astfel, datorită nevoilor utilizatorilor, UC a fost concepută având următoarele caracteristici:

- Dispozitivele sunt prezente peste tot în jurul nostru;
- Sunt interconectate şi comunică unul cu celălalt;
- Nu necesită atenție continuă din partea utilizatorului pentru a funcționa;
- Fiecare dispozitiv tinde să fie cât mai specializat;
- Sunt invizibile, fiind ascunse în mediul în care sunt folosite;

În [20] se dă următoarea caracterizare pentru UC. Astfel paradigma permite tehnologiei să fie:

- globală şi locală;
- socială şi personală;
- publică şi privată;
- invizibilă şi vizibilă;
- creatoare de cunoştinţe şi răspânditoare a informaţiilor.

Datorită naturii sale UC este strâns legată de noţiunea de context şi senzitivitate la context. Principalul motiv al acestei corelări este eterogenitatea şi răspândirea ubicuitară a entităţilor în acest tip de medii. Aceste două aspecte necesită adaptare la run-time a serviciilor şi dispozitivelor, depinzând de locaţia şi rolul lor, adaptarea la rândul ei fiind dependentă în multe situaţii de folosirea contextului.

Când această paradigmă este aplicată în contextul casei, o casă normală se transformă într-o casă inteligentă. Ceea ce locuitorii ei vor putea observa este doar cum casa şi aplicaţiile şi mediul se ajustează pentru a se adapta cerinţelor dinamice ale rezidenţilor având nevoie de o interacţiune minimală între utilizatori şi aplicaţiile casei inteligente.

2.2.3 Ontologie

2.2.3.1 Definiţii

Termenul „ontologie" îşi are originile în filosofie şi se referă la disciplina care se ocupă cu existenţa şi cu lucrurile care există. În ştiinţa calculatoarelor lucrurile care „există" sunt cele care pot fi reprezentate prin date [17].

Diferite definiţii pentru ontologiile legate de ştiinţa calculatoarelor pot fi găsite în literatură [23]. Ca un exemplu, o definiţie dată de J. Voβ [24] este: O ontologie este un sistem definit formal de concepte şi relaţiile dintre aceste concepte. Ontologiile conţin, cel puţin în mod implicit, reguli. Se pot deosebi trei probleme când punem această definiţie pentru ontologii în relaţie cu modelarea contextelor şi argumentarea:

- Un model de context este de asemenea un sistem de concepte (entităţi) şi relaţii care fac din ontologie o unealtă bună pentru modelarea conceptelor;
- Ontologia este „definită" formal, ceea ce este o precondiţie pentru ca un computer să o poată interpreta, de exemplu, pentru motive de argumentare;
- Regulile pot fi folosite pentru a implementa argumentarea contextului.

2.2.3.2 Caracteristici

M. Gruninger şi J.Lee [25] despart aplicabilităţile ontologiilor în 3 grupuri mari:

- Comunicaţii şi împărţirea cunoştinţelor: o ontologie serveşte ca un vocabular comun pentru agenţi diferiţi (entităţi computaţionale sau oameni).
- Inferenţă şi argumentare logică: O ontologie poate fi folosită pentru a deduce cunoştinţele implicite din cunoştinţele explicite, aplicând reguli.
- Refolosirea cunoştinţelor: Ontologiile comune pot fi folosite când se construiesc ontologii specifice domeniului.

Elementele tipice ale unei ontologii sunt:

- Conceptele şi atributele lor.
- Taxonomii pentru a clasifica conceptele prin generalizare şi specificare.
- Relaţii între concepte.
- Axiome pentru a defini formule care sunt întotdeauna adevărate. Ele sunt folosite pentru a demonstra consistenţa cunoştinţelor modelate de o ontologie şi pentru a deduce lucruri ulterioare.
- Faptele sunt instanţe ale conceptelor şi relaţiile dintre ele.

- Se deosebesc mai multe limbaje diferite ce pot fi folosite pentru a defini ontologii. Dintre acestea amintim Ontolingua [28], LOOM [29] şi OWL – Web Ontology Language [26, 27]. OWL este limbajul cel mai folosit pentru a definii ontologii pentru sisteme senzitive la context, incluzând şi serviciile Web semantice [26].

2.2.4 Agenți senzitivi la context

Construirea aplicațiilor sistemelor senzitive la context şi omniprezente din domeniul locuințelor inteligente a ajuns la un punct comun prin folosirea în implementarea lor a paradigmei sistem multi-agent.

Paradigma agentului inteligent este corelată cu conceptul de sistem senzitiv la context prin faptul că fiecare agent posedă cunoştințe incomplete în sisteme fără control global, cu date descentralizate. Tehnologiile multi-agent sunt un punct comun în construirea unor sisteme care se pot adapta foarte uşor la schimbările de mediu, care sunt capabile să integreze componente eterogene, furnizând flexibilitate în controlarea unor sisteme distribuite complexe, şi de scară largă.

2.2.4.1 Paradigma agentului

Cercetătorii în domeniul sistemelor agent au definit în diferite maniere noțiunea de agent, deosebindu-se două dintre aceste abordări în funcție de proprietățile care sunt dorite pentru agentul definit: Noțiunea de agent simplu şi noțiunea de agent **BDI – Belief-Desire-Intention** (Convingere – Dorință – Intenție) care extinde agentul simplu adăugând proprietăți.

În descrierea agentului simplu Wooldridge [38] punctează o definiție descriind proprietățile esențiale ale agentului „Un sistem de calcul hardware sau cel mai des software care satisface următoarele proprietăți:

- autonomie: agenții operează fără intervenția directă a omului sau altfel, şi au un nivel de control asupra acțiunilor şi a stării interne;
- abilități sociale: agentul interacționează cu alți agenți printr-un anumit limbaj de comunicare;
- reacțiune: agenții percep mediul în care se află şi reacționează la schimbările care au loc în el;
- proactivitate: agenții nu doar că iau decizii ca răspuns la schimbări, ei sunt capabili să aplice comportamente obiective preluând inițiativa".

O definiție mai generală a agentului a fost elaborată de Russell şi Norvig [39]: „Un agent este orice care poate fi să perceapă mediul prin senzori, şi să acționeze în acel mediu prin efectori". Ei specifică că „noțiunea de agent este prevăzută pentru a fi o unealtă pentru a analiza sistemele, nu o caracterizare absolută care desparte lumea în agenți şi non-agenți."

2.2.4.2 Agenți BDI

Modelul BDI aşa cum este descris în [40] este bazat pe 3 concepte: Convingere, Dorință şi Intenție (tradus „Belief-Desire-Intention"). Ideea are baze filosofice în conceptul analog din teoria argumentării umane. Convingerile reprezintă cunoştințele agentului despre starea curentă a mediului, starea internă a lui, informații despre alți agenți. În mediile reale, cu un grad mare de incertitudine convingerile agentului sunt incomplete şi inexacte.

Convingerile agentului se deosebesc de cunoştințele lui, deoarece acestea nu trebuie neapărat să fie adevărate. La nivelul fiecărui agent din mediu se construieşte o viziune parțială asupra mediului în care el operează, convingerile furnizând o abstractizare a entităților relevante.

Dorințele agentului sunt stările de fapt în care agentul vrea să ajungă sau să le folosească. Stările trebuie să fie consistente una față de cealaltă.

Intenţiile reprezintă stările deliberative ale agentului, activităţile pe care agentul le-a executat pentru a înfăptui o dorinţă. În unele situaţii un agent poate alege mai multe planuri de execuţie diferite. Planul selectat împreună cu încrederea de a executa acel plan devin o intenţie.

Obiectivul este conceptul central al unei arhitecturi BDI, reprezentând o anumită stare finală în care agentul vrea să ajungă. *Obiectivele* sunt dorinţele alese pe care agentul vrea să le înfăptuiască, dacă pot să considere că din starea curentă se poate ajunge la aceste stări. Când unele dintre aceste obiective eşuează agentul poate să determine dacă starea poate fi încă atinsă pentru a reîncerca intenţia sau trebuie să încerce un alt set de intenţii pentru a ajunge în starea dorită. Obiectivele permit modelarea agenţilor care să acţioneze proactiv. *Planurile* reprezintă mijloacele prin care se poate stabili un obiectiv, incluzând secvenţa de acţiuni care trebuie executate pentru a ajunge la acel obiectiv.

Modelul BDI s-a dovedit a fi extrem de eficient la modelarea unor agenţi care rulează în medii dinamice şi care operează într-o manieră flexibilă în ciuda informaţiilor incomplete despre mediu şi ceilalţi agenţi.

2.3 Arhitecturi de sisteme senzitive la context

2.3.1 Arhitecturi de sisteme senzitive la context locale

Sistemele orientate pe reţea sunt uşor de implementat din cauza standardului ISO Open System Interconnection (OSI), care este un model stratificat în care fiecare nivel este independent şi are funcţionalitatea sa specifică. În acest fel, în [33] se propune un model stratificat pentru arhitectura unui sistem senzitiv la context, „Context Stack”.

2.3.1.1 Modelul arhitectural stratificat „Context Stack”

Modelul este un model referinţă pentru arhitectura sistemelor pervazive. Acest model este similar cu modelul pe 7 nivele ISO-OSI pentru reţele de calculatoare. Modelul stratificat combină elementele funcţionale ale sistemelor senzitive la context:

- Nivelul achiziţie;
- Nivelul reprezentare;
- Nivelul agregare;
- Nivelul interpretare;
- Nivelul utilizare.

Acestea se combină într-o arhitectură coerentă şi generică la care majoritatea sistemelor senzitive la context actuale se pot mapa. Figura 2.2 ilustrează cele 5 nivele ale arhitecturii Context Stack şi exemplul concret al unui serviciu senzitiv la context pentru un telefon inteligent (smart phone).

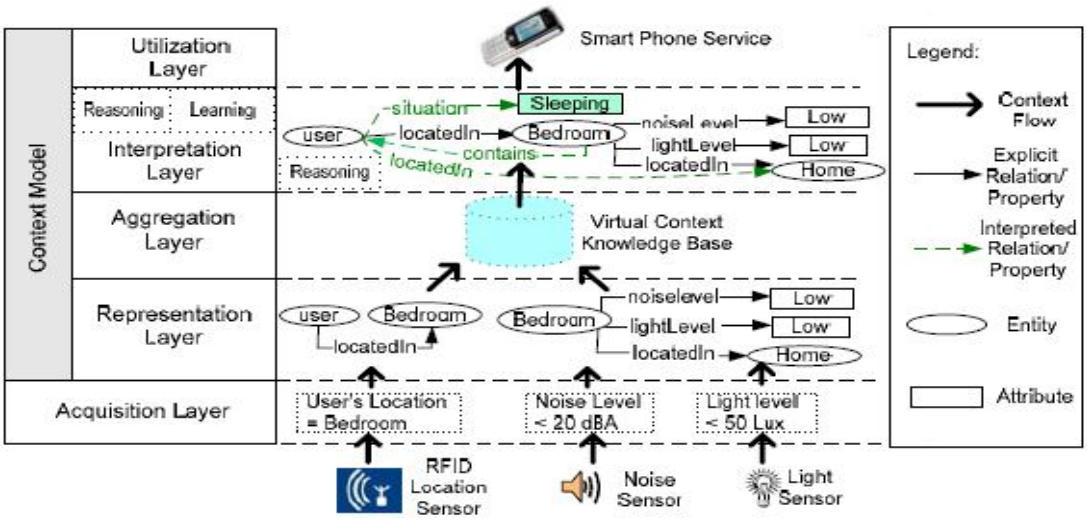


Figura 2.2 Modelul arhitectural Context Stack

Nivelul achiziție

Este nivelul cel mai de jos în care contextul este preluat într-un format neprocesat, fiind preluat de la o multitudine de tipuri de senzori pervazivi. De exemplu, locația în casă a unui locatar poate fi obținută de la un sistem de senzori RFID, care detectează apariția unei modificări în configurația RFID, nivelul luminii fiind detectat de senzorii de lumină, iar nivelul zgomotului este obținut de la senzorii de zgomot. Datele preluate pot să nu ofere context care să poată fi înțeles şi utilizat de serviciile senzitive la context, astfel el trebuie trimis la nivelele de mai sus pentru procesări ulterioare.

Nivelul Reprezentare

Începând de la acest nivel, toate nivelele se bazează pe un model de context comun, care formează baza pentru managementul contextului, pentru a facilita o reprezentare expresivă şi interoperabilitate între entitățile computaționale eterogene. Modelele de contexte existente variază în funcție de tipul de context pe care îl reprezintă şi expresivitatea lor. Aşa cum este prezentat în Figura 2.2 s-a folosit un model de context orientat pe entitate-relație, pentru a ilustra rolul modelului în sistemele senzitive la context. În asemenea modele de context, informația contextuală este structurată în jurul unui set de entități fiecare descriind un obiect fizic sau conceptual, precum o persoană sau o activitate, iar toate aceste entități sunt legate cu celelalte entități prin relații.

În nivelul de reprezentare al contextului, datele neprelucrate venite de la senzori sunt reprezentate într-o formă care poate fi înțeleasă, după modelul de context stabilit în prealabil. Acest nivel este un nivel de abstractizare a datelor, care adună datele de la senzori, venite de la diferite surse, şi apoi le combină cu semantici care sunt structurate în jurul unui set de entități contextuale şi relațiile dintre ele.

Nivelul Agregare

Acest nivel se ocupă de agregarea datelor contextuale, adunând datele de la senzori contextuali distribuiți într-o bază de contexte centralizată. Agregarea contextelor ajută la simplificarea procedurii de interogare a contextului, centralizând astfel entitățile computaționale şi furnizează o bază pentru interpretări ulterioare ale cunoştințelor contextuale. Astfel, agregarea contextelor prin natura sa furnizează funcționalitățile unei baze de cunoştințe. O altă funcție a nivelului de agregare este de a salva o arhivă de contexte,

pentru a se putea ulterior să se facă interpretări, bazate pe contextele curente şi pe cele din trecut.

Nivelul Interpretare

Când se stabileşte un model de context pentru a reprezenta şi prelucra contexte, contextele pot fi interpretate prin mai multe metode de argumentare şi/sau învățare, pentru a deriva contexte adiționale de nivel înalt. Nivelul de interpretare a contextului adaugă tehnici de argumentare/învățare pentru a deduce contexte implicite de nivel înalt din contextele explicite provenite de la nivelele inferioare şi care sunt folosite de serviciile inteligente.

De exemplu, modulul de argumentare bazată pe reguli poate deduce situația curentă a utilizatorului bazându-se pe locația sa şi contextul mediului în care se află. Contextul inferat poate sugera că utilizatorul e posibil să doarmă în momentul actual, având în vedere că este ora 11 PM şi că el stă în întuneric, e liniște, iar patul este ocupat. Un alt exemplu de interpretare a contextului ar putea fi învățarea şi predicția comportamentului. Sistemul inteligent poate învăța şabloane ale acțiunilor întreprinse de utilizator din secvențe trecute de date contextuale, care mai târziu pot fi folosite pentru a prezice următorul eveniment. De exemplu, se poate prezice că odată ce utilizatorul a terminat duşul (închizând încălzitorul electronic de apă) după ora 10:30 PM, el îşi va verifica emailurile folosind telefonul, pentru ca ulterior să se aşeze în pat după ce le-a citit.

Nivelul Utilizare

La nivelul cel mai de sus, serviciile senzitive la context utilizează atât contexte de nivel jos, cât şi contexte de nivel înalt pentru a-şi ajusta comportamentul. Luând exemplul dat în Figura 2.2, telefonul inteligent (smart phone-ul) preia contextul utilizatorului şi decide să redirecționeze toate apelurile telefonice înspre căsuța vocală. De asemenea el ia în considerare contextul prezis pentru a înfăptui unele acțiuni.

2.3.2 Arhitecturi de sisteme distribuite senzitive la context

Au fost câteva încercări de a construi astfel de sisteme de roboți şi monitorizare prin Internet, folosind tehnologiile World-Wide-Web şi de obiecte distribuite. Sistemele de tip WWW foloseau protocolul HTTP în combinație cu CGI (Common Gateway Interface) sau Java pentru controlul la distanță a senzorilor şi actuatorilor. Exemple ale unor astfel de încercări pot fi văzute mai jos:

- University of California's tele - excavation system, Mercury [01]
- Carnegie Mellon University's indoor mobile robot, Xavier [02]
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne's maze robot, KhepOnTheWeb [03]
- Roger Williams University's PumaPaint [04]
- Pohang University of Science and Technology's XNMS [05]

Există şi implementări realizate cu ajutorul tehnologiilor obiectelor distribuite precum CORBA (Common Object Request Broker Architecture) şi Java RMI (Remote Method Invocation) [07]:

- NRSP (network robot service platform);
- DAIR (distributed architecture for Internet robot).

Datorită limitărilor soluțiilor expuse mai sus, s-a propus o nouă metodă şi s-a dezvoltat un nou framework pentru sistemele robotice pervazive, acesta fiind bazat pe semantică şi numit SemanticURS [06]. Această metodă permite integrarea automată a roboților conectați la rețea în sistemele pervazive, printr-o metodă orientată pe servicii Web. Astfel SemanticURS exploatează serviciile Web semantice (Semantic Web Services), care sunt ultima apariție în domeniul tehnologiilor Web, şi o metodă de planificare preluată din inteligența artificială,

pentru a automatiza procesul de interoperare între roboții conectați la rețea şi sistemele pervazive.

Astfel serviciile Web, senzorii şi dispozitivele din rețea, implementează o interfață unică pentru a se accesa reciproc. Ulterior cunoştințele legate de aceste servicii Web sunt descrise în limbajul ontologic Web pentru servicii (OWL-S), care este un limbaj semantic de descriere a serviciilor Web, şi salvate în baza de cunoştințe (KB – **K**nowledge **B**ase) pentru ca un agent robot să poată descoperi în mod automat cunoştințele necesare pentru a compune un plan de servicii fezabil pentru mediul în care este conectat. Ulterior, agentul furnizează servicii interacționând în mod automat cu roboții, senzorii, şi dispozitivele prin protocolul SOAP (Simple Object Access Protocol) [64], precum în Figura 2.3.

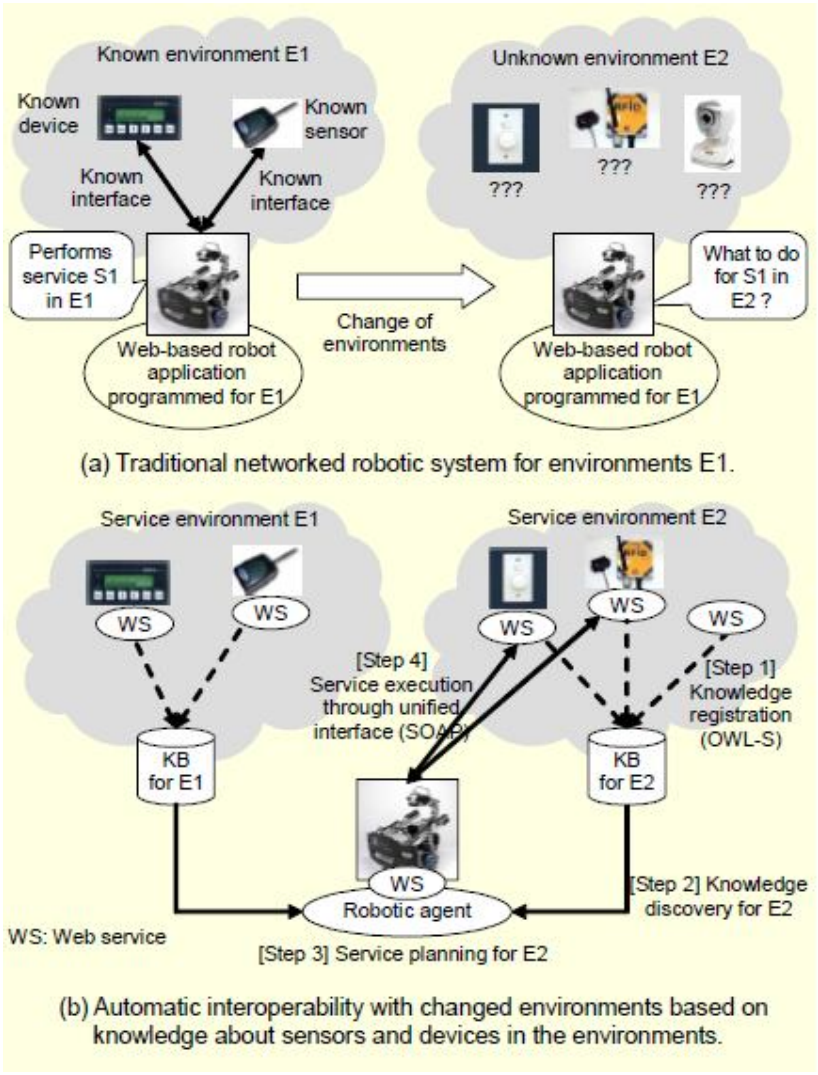


Figura 2.3 Comparație între SemanticURS şi sistemele tradiționale

2.3.2.1 Serviciile Web Semantice

Rețeaua World Wide Web inițial concepută pentru ca utilizatorii să schimbe fişiere text şi imagini a evoluat spre un furnizor de servicii. Programele accesibile prin Web realizează aceste servicii cu ajutorul tehnologiilor CGI, Java, ActiveX sau prin Web Services. O cerință fundamentală pentru a realiza interoperabilitatea acestor tip de servicii este necesitatea de a realiza aceste servicii interpretabile de computere, de a crea servicii Web

semantice ale căror semantică, precum proprietăți, capacități şi interfețe, să fie codificate într-un mod neambiguu, într-o formă inteligibilă de către maşini. Serviciile Web Semantice sunt construite astfel încât să îndeplinească aceste cerințe, descriind serviciile Web folosind ontologii OWL, numite generic OWL-S. OWL-S este structurat în 3 clase esențiale: Service Profile, Service Model, Service Grounding [06] (Figura 2.4).

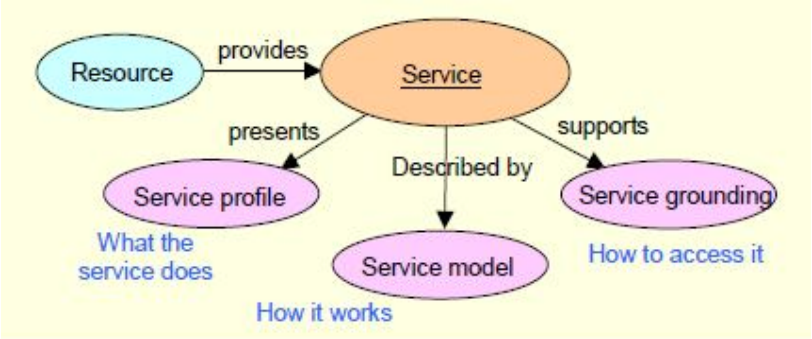


Figura 2.4 Clasele componente ale unei ontologii de tip OWL-S

Service Profile – această componentă a unei ontologii OWL-S specifică ce face serviciul. Ea are rolul de a informa agentul care cere servicii despre serviciile oferite de web service-ul pe care vrea să îl acceseze. Se folosesc următoarele noțiuni pentru a marca proprietățile unui Service Profile: profile, serviceName, textDescription, hasInput, hasOutput, has Precondition, hasEffect, serviceCategory ş.a.m.d.

Service Model – Această componentă specifică cum funcționează serviciul. Se descrie ce se întâmplă când este alocat un serviciu atomic sau compus. Această descriere poate fi folosită de un agent care necesită servicii pentru a realiza o analiză mai amănunțită a serviciului şi dacă îi poate satisface nevoile. De asemenea se poate folosi pentru a compune multiple servicii pentru a atinge un anumit obiectiv. Se foloseşte şi pentru monitorizarea execuției unui serviciu. Procesul ontologic furnizează modelului serviciului următoarele procese: ProcessModel, AtomicProcess, CompositeProcess, SimpleProcess, ProcessComponent, ControlConstruct, Sequence, Choice, Repeat-Until.

Service Grounding – Această componentă detaliază cum poate un agent accesa un serviciu. Astfel componenta specifică protocolul de comunicație, formatul mesajelor şi alte detalii specifice, precum numărul portului prin care serviciul poate fi accesat. Procesul ontologic al componentei de configurare are interfețele descrise în Web Services Description Language (WSDL): WsdlGrounding, WsdlAtomicProcessGrounding, WsdlOperation, WsdlDocument, WsdlOperationRef, portType.

2.3.2.2 Arhitectura Serviciilor Web Semantice

Aşa cum se poate vedea în Figura 2.5 arhitectura SemanticURS [06] este compusă din 3 componente majore: un agent robotic RA (**R**obotic **A**gent), serviciile web ale dispozitivelor DWS (**D**evice **W**eb **S**ervices) şi baza de date de cunoştințe a mediului EKR (**E**nviromental **K**nowledge **R**epository).

RA – robotic agent este un agent apelator de servicii şi de planificare inteligentă. El are un rol important în integrarea automată în arhitectura SemanticURS. RA este alcătuit dintr-o interfață utilizator, un modul de alcătuire a planului, un modul de descoperire a cunoştințelor, un modul de inferență OWL, un modul de executare a planului şi stiva de comunicare pentru executarea serviciilor Web, de exemplu SOAP [08], XML şi HTTP. Un utilizator poate introduce o cerere de executare a unui serviciu folosind interfața utilizator şi eventual poate inițializa contextele serviciilor. Apoi, cererea este transformată folosind vocabularul OWL-S, în ontologiile procesului OWL-S, pentru ca modulul de alcătuire a

planului să poată înțelege cerința de servicii şi să descopere în mod automat cunoştințele necesare pentru a face planificare folosind modulul de descoperire a cunoştințelor. Pentru a căuta baze de date de cunoştințe în EKR pentru a prelua cunoştințele necesare pentru cererea actuală, modulul de descoperire a cunoştințelor creează interogări semantice de descoperire codificate în **R**esource **D**escription **F**ramework (RDF).

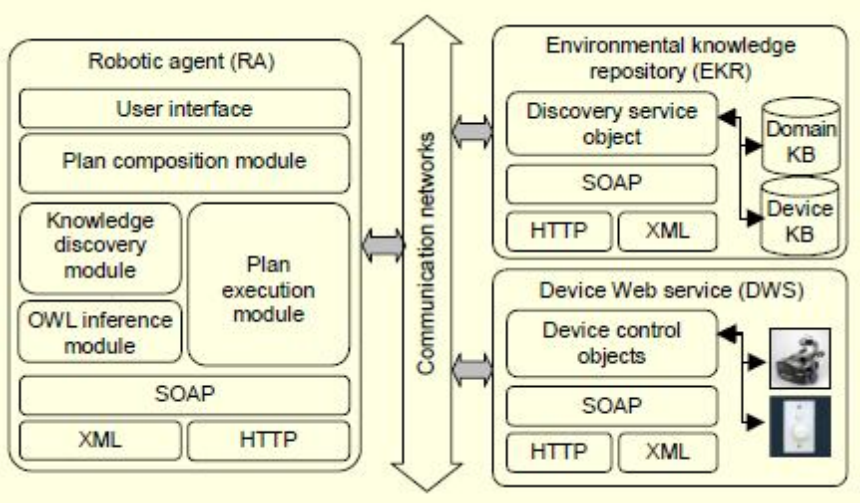


Figura 2.5 Arhitectura detaliată a Semantic URS

RDF foloseşte limbajul de interogare Data Query Language (RDQL) [09], [10]. După ce planul a fost compus cu succes, modulul de execuție a planului transformă planul într-un format executabil pentru ca ulterior să fie pus ca cerere pe stiva de comunicare a serviciului Web.

EKR – Enviromental Knowledge Repository conține o bază de cunoştințe a domeniilor (Domain Knowledge Base - DoKB) şi o bază de cunoştințe a dispozitivelor (Device Knowledge Base - DeKB) utilizate pentru înregistrarea şi descoperirea cunoştințelor. DoKB conține cunoştințe OWL-S despre conceptele generale legate de servicii şi task-urile compuse care descriu modelele comune ale serviciilor pentru un anumit domeniu. DeKB conține cunoştințe salvate în format OWL-S despre task-urile atomice care reprezintă serviciile oferite de dispozitive şi senzori, în medii specifice serviciilor. EKR conține de asemenea şi obiectele de descoperire a serviciilor, pentru a manipula în mod automat interogările de descoperire a cunoştințelor cu predicate semantice despre cunoştințele OWL-S formate de RA. EKR conține şi stiva de comunicare Web Service, componenta comportându-se ca un Web Service independent, fiind accesată de RA prin SOAP.

DWS – Device Web Service este o implementare specifică a Web Service-urilor pentru dispozitive ubicuitare incluzând roboți, senzori, actuatori ş.a.m.d. Fiecare DWS poate avea obiecte de control pentru unul sau mai multe dispozitive, care pot lucra împreună, de pildă un dispozitiv de aer condiționat şi un senzor de temperatură. DWS dispune de asemenea de servicii Web pentru a comunica cu RA.

Proiectarea aşa cum este descrisă în Figura 2.6 împarte procesul de integrare automată al unui agent SemanticURS în 3 faze:

- Descoperirea cunoştințelor;
- Planificarea Serviciului;
- Executarea planificării.

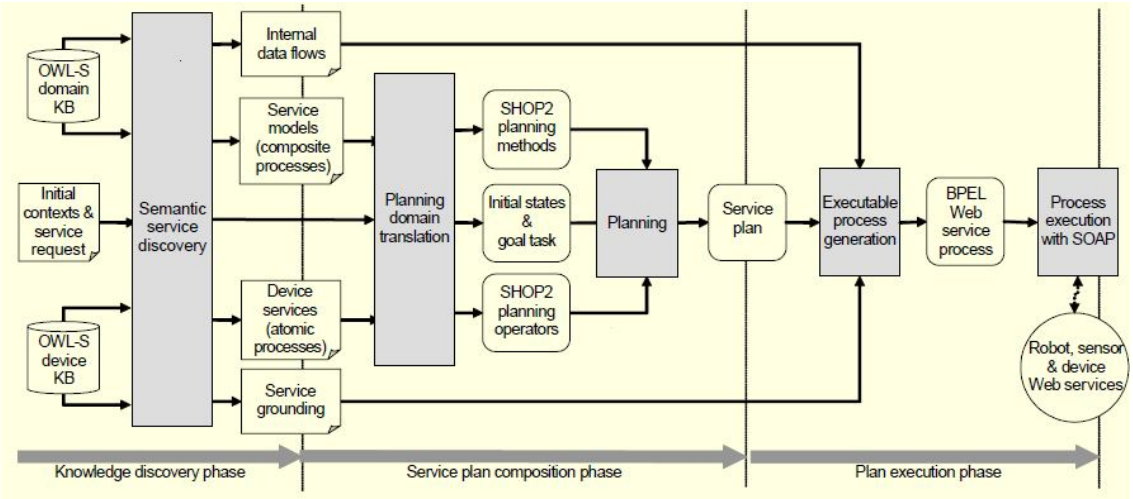


Figura 2.6 Procedura de integrare automată a unui agent SemanticURS

2.4 Medii de dezvoltare ale aplicațiilor senzitive la context

Java Context Awareness Framework (JCAF) [36] este un mediu de dezvoltare inspirat din J2EE desemnat exclusiv pentru a dezvolta aplicații senzitive la context. Scopul acestui mediu de dezvoltare este să suporte servicii distribuite şi coordonate, controlul accesului şi o infrastructură modulară pentru a permite extensii. Dintre caracteristicile JCAF care îl diferențiază este faptul că este independent de semantică şi că pune în calcul calitatea informațiilor despre context, iar evenimentele sunt interceptate de către modulele care detectează schimbările (vezi Figura 2.7). De exemplu, se detectează schimbările de context şi ulterior sunt apelate funcții prin care schimbările sunt trimise la aplicații care prelucrează informația.

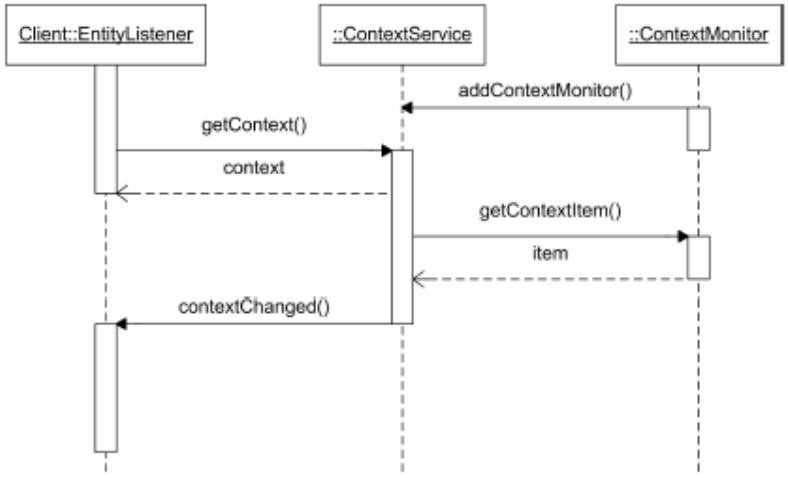


Figura 2.7 Diagrama de interacțiune între modulele componente ale JCAF

Astfel mediul JCAF nu are construit nici un modul inteligent el fiind responsabil doar de controlul traficului, schimbările de mediu şi transportul informațiilor către aplicațiile senzitive la context. Nivelul cel mai important al mediului JCAF o constituie serviciile de context, care formează o rețea interconectată de tip punct-la-punct, fiecare serviciu fiind specializat pentru un anumit tip de informație de context, aceste servicii putând comunica

între ele pentru a schimba informații de context. O arhitectură generală poate fi văzută în Figura 2.8, împreună cu arhitectura unui serviciu.

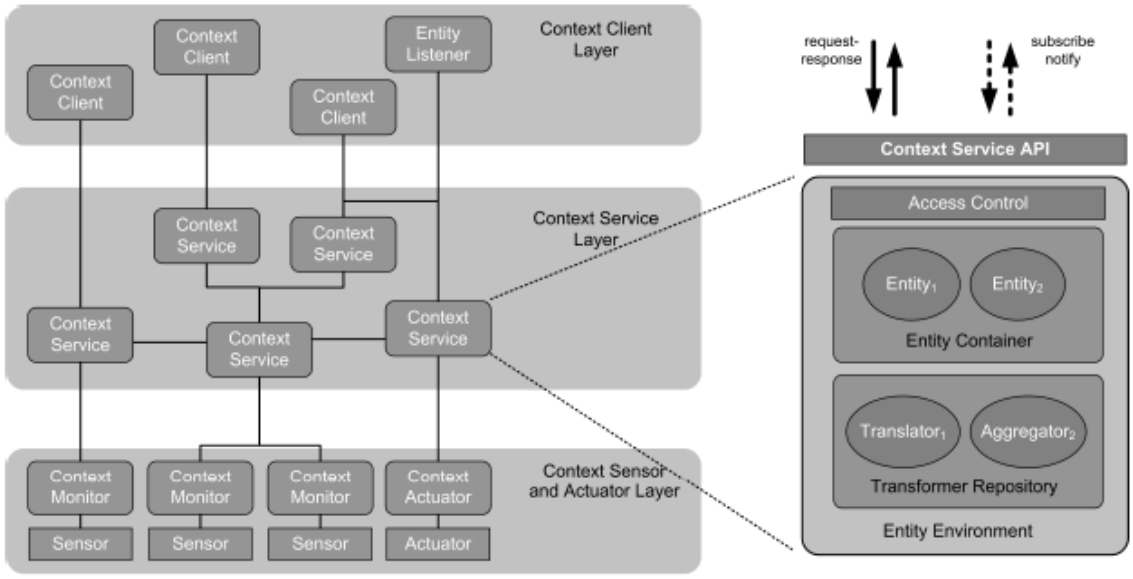


Figura 2.8 Arhitectura generală cu diagrame de colaborare a JCAF

Mai există şi alte medii de dezvoltare a aplicațiilor senzitive la context, cu diferite funcționalități. Dintre acestea amintim **Maythofer's context prediction framework** [37] concentrat pe recunoaşterea şi deducerea unor informații consistente de context, folosind informațiile cu zgomot venite de la senzori. Scopul acestui mediu este de a fi folosit în scop local pe dispozitive cu resurse limitate, fără a fi necesară constituirea unei infrastructuri în prealabil. Se folosesc algoritmii Growing Neural Gas pentru învățare şi algoritmi Active LeZi pentru deducerea contextelor.

2.5 Aplicații în domeniul caselor inteligente

În această secțiune va fi prezentată proiectarea şi implementarea unei arhitecturi generale de tip service-oriented precum cele descrise anterior, aplicată în cazul unei case inteligente.

Obiectivele proiectării

Proiectarea infrastructurii serviciului adoptă modelul stratificat prezentat în Figura 2.2 – Context Stack, ca şi abstracția de proiectare pentru a furniza middleware pentru servicii reutilizabil. Proiectarea respectă următoarele convenții [33]:

1) Arhitectura middleware bazată pe componente are ca rol combinarea elementelor funcționale independente ale sistemelor senzitive la context (achiziția, agregarea, interpretarea, utilizarea şi descoperirea) şi contopirea acestor elemente într-un middleware coerent şi reutilizabil.

2) Proiectarea cercetează infrastructura Semantic Web pentru a colecta informații contextuale. Argumentarea ontologiilor Semantic Web (CONON, COBRA-ONT sau SOUPA), interogări Semantic Web şi mecanisme de inferență sunt încorporate în această infrastructură pentru a facilita modelarea contextelor, împărțirea cunoştințelor, interogări semantice, argumentarea contextuală şi descoperirea semantică a contextelor.

Argumentarea ontologiilor („Ontologic Reasoning”) este un pas foarte important în dezvoltarea unei aplicații senzitive la context pentru o casă inteligentă, deoarece se ocupă de evaluarea cunoștințelor de context („contextual knowledge”).

Abordările existente pentru modelare sunt așa cum au fost amintite şi mai sus **CONON** [32] bazat pe ideea de dezvoltare a unui model de context din ontologii, folosind capacitățile de inferențe logice, refolosirea şi împărțirea cunoştințelor. Wand a dezvoltat o ontologie superioară, care captează trăsăturile generale ale entităților contextuale şi o colecție de ontologii specifice împreună cu trăsăturile lor în subdomenii. **CANON** foloseşte un mecanism de serializare a ontologiilor în OWL-DL, care are o echivalență semantică cu logica descriptivă foarte bine definită. Astfel se poate verifica consistența şi argumentarea contextelor folosind modulele de inferență dezvoltate în limbaje descriptive. Un sistem mai complex şi mai nou este **CoBrA** care furnizează o colecție de concepte ontologice pentru a caracteriza entități precum persoane, locuri sau alte tipuri de obiecte aflate în contextele lor. Sistemul **CoBrA** are o arhitectură de tip broker [32] pentru a furniza suport la momentul rulării pentru sisteme senzitive la context, în mod particular în săli de conferințe inteligente.

Folosirea standardelor existente incluzând OSGi sau UpnP pentru a simplifica programarea componentelor reutilizabile ale serviciilor are ca scop furnizarea unui standard API şi implementarea unor servicii senzitive la context utilizabile pentru o casă inteligentă.

Structură OSGi de tip Service pentru o casă inteligentă

Arhitectura de tip OSGi propusă pentru case inteligente este prezentată Figura 2.9 şi a fost descrisă în detaliu în [34][35]. Punctul central al arhitecturii este OSGi gateway aflat în reşedință, care este responsabil pentru conectarea la Internet a aplicațiilor din casă, terminale mobile, dispozitive senzor/actuator, prin tehnologii de acces broadband. O varietate mare de tehnologii legate de rețelele din locuințe, cum ar fi Ethernet, X.10, IEEE 1394, Lonworks, WLAN sau Bluetooth, pot fi utilizate pentru a conecta diferite tipuri de dispozitive.

Framework-ul OSGi standardizează furnizarea de servicii pentru a le realiza într-o manieră sigură şi fiabilă. El constituie un intermediar între diferitele standarde de rețele ce se pot afla în casă.

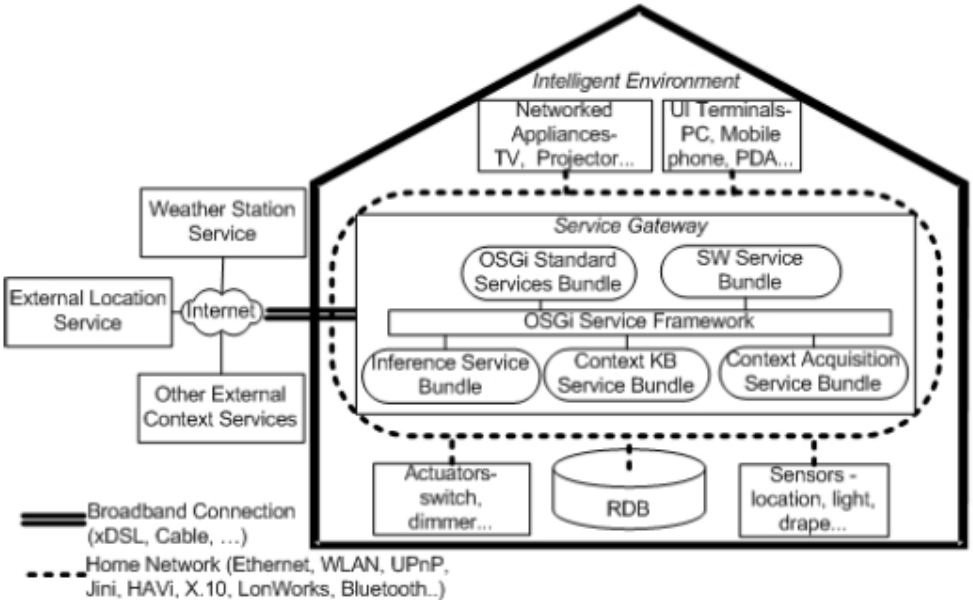


Figura 2.9 Arhitectura de tip OSGi pentru o casă senzitivă la context

Pentru a obține partajarea cunoştințelor şi inferențele logice necesare informațiilor contextuale, sunt legate în arhitectura OSGi sub formă de servicii înmănunchiate (bundles) următoarele 4 module funcționale cheie:

Serviciul Web (SW) Semantic – Serviciul SW furnizează API-uri Semantic Web pentru accesarea şi manipularea contextelor codificate în OWL, pentru a persista şi interoga modelele semantice ale contextelor în baze de date relaţionale şi pentru a infera contexte adiţionale din contextele existente în KB. Implementările curente sunt bazate pe Jena Semantic Web Toolkit, totuşi implementări alternative pot fi expuse printr-o interfaţă generică pentru a fi ataşate arhitecturii. SW service bundle furnizează fundamentele următoarelor 3 servicii.

Serviciul de Context Acquisition - Acest serviciu este responsabil pentru colectarea informaţiilor despre context de la o gamă variată de surse şi transformă descrierile ad-hoc ale contextelor în reprezentări semantice folosind ontologii. Acest serviciu furnizează funcţionalităţile nivelului achiziţie şi nivelul reprezentare semantică al arhitecturii stratificate descrisă în Capitolul 2.3.1.

Serviciul Context KB – Baza de date de cunoştinţe despre contexte furnizează un mediu de stocare pentru cunoştinţele despre contexte prin folosirea bazelor de date relaţionale. Aceasta stochează şi manipulează atât ontologii de context statice (descrierile ontologice ale claselor sau tipurilor de entităţi relaţionale) cât şi contexte dinamice (instanţe ale situaţiilor sau indivizi reprezentaţi bazaţi pe ontologiile de context existente). Astfel are suport pentru argumentare despre ontologiile de context, cât şi pentru informaţiile contextuale situaţionale. Serviciul KB permite arhitecturii serviciului să agrege şi relaţioneze contexte dinamice de la surse contextuale distribuite şi astfel furnizează funcţionalitatea nivelului agregare din arhitectura prezentată în Capitolul 2.3.1.

Serviciul de Context Inference – Acest serviciu este un modul de argumentare care poate fi folosit de serviciile senzitive la context pentru a deduce contexte de nivel înalt din contextele de bază. Serviciul de inferenţă este bazat pe Jena API, care furnizează inferenţă bazată pe reguli pentru OWL. Acest serviciu furnizează funcţionalitatea nivelul inferenţă de context al arhitecturii prezentate în Capitolul 2.3.1.

2.6 Dificultăţi şi riscuri întâmpinate în crearea aplicaţiilor senzitive la context

Una dintre cele mai mari dificultăţi în crearea aplicaţiilor ubiquitous şi senzitive la context robuste este dezvoltarea unor algoritmi care pot detecta contexte din date senzoriale ambigue şi cu zgomote.

Provocarea pentru astfel de sisteme constă în complexitatea capturării, reprezentării şi procesării datelor de context. Pe lângă abilitatea de a obţine informaţiile despre context aplicaţiile trebuie să includă logică adiţională pentru a procesa informaţia şi pentru a deduce scopul acestora. Aceasta este probabil cel mai provocator lucru, deoarece este de cele mai multe ori indirect şi poate fi dedus prin combinarea unor diferite piese de informaţie contextuală [41].

În [42] se descriu dificultăţile ce apar când se folosesc informaţiile de context în aplicaţii pe calculator:

Informaţia de context este adeseori achiziţionată de la senzori neconvenţionali care nu sunt găsiţi în viaţa de zi cu zi: termostat, GPS ş.a.m.d.

Datele preluate de la senzori trebuie să fie abstractizate într-o reprezentare de nivel înalt pentru a deveni folositoare. Luând exemplul unui termostat, temperatura citită în grade trebuie abstractizată în frig, mediu, cald, foarte cald. Dar, o aplicaţie poate să abstractizeze informaţiile venite de la mai mulţi senzori, de exemplu, pe lângă temperatură aplicaţia poate să aibă nevoie de informaţii despre umiditate pentru a determina nivelul de confort al unei camere.

Informația de context poate fi achiziționată de la surse multiple distribuite şi eterogene. Aplicațiile au nevoie de mai mult de un senzor pentru a înțelege un anumit context.

Informația de context este dinamică. O aplicație senzitivă la context are nevoie de multe ori să detecteze modificările în timp real pentru a se adapta la schimbările care au loc în mod frecvent. De exemplu, o aplicație pentru o locație mobilă trebuie să detecteze modificările frecvente ale utilizatorului pentru a furniza acestuia informații relevante legate de locația curentă

Acestor dificultăți li se adaugă riscurile şi provocările în procesul creării acestui fel de aplicații:

- ✓ Aplicațiile senzitive la context trebuie să înțeleagă intenția utilizatorului.

Acest proces este crucial în faza de adaptare la context. Odată ce o aplicație senzitivă la context s-a adaptat contextului curent, trebuie să decidă cum să optimizeze acea adaptare. O aplicație trebuie să presupună cât mai aproape de adevăr ce fel de comportament al acesteia este dorit de către utilizator, în contextul curent. Unele tehnici din Inteligența Artificială folosite în aplicațiile senzitive la context permit învățarea din trecut a comportamentelor repetitive sau asemănătoare, totuşi, aplicația poate să înțeleagă mai greu atunci când intervine un comportament nou.

- ✓ Aplicațiile senzitive la context sunt multidisciplinare

Construirea unor astfel de sisteme senzitive la context precum casele inteligente, de obicei implică şi necesită cunoştințe din ştiința calculatoarelor, arhitectură, inginerie electrică şi mecanică, ştiințe sociale şi poate altele. Totodată construirea unui astfel de tip de aplicații necesită experți din diferite domenii, fiind nevoie de o echipă de oameni cu cunoştințe diferite.

- ✓ Costurile sunt ridicate

Unele dispozitive gen biosenzori folosite pentru a construi infrastructuri senzitive la context nu sunt foarte uzuale, astfel ele costă în general mai mult decât orice alt dispozitiv comun. Acest fapt creează o barieră pentru persoanele care doresc să dezvolte astfel de aplicații care necesită dispozitive şi infrastructură specifică. Deci, de cele mai multe ori proiectarea unei astfel de aplicații este dictată de ce dispozitive sunt accesibile dezvoltatorilor.

Un fapt foarte important în construirea unui mediu cu resurse limitate este decizia de a distribui diferite componente ale sistemului între client şi server. O soluție evidentă, dar sensibilă, este încărcarea majorității proceselor computaționale pe server, dar fără a se calcula atent acest fapt ar putea rezulta în supraîncărcarea serverului. O îmbunătățire semnificativă a performanței se poate realiza dacă agenții pot găsi momentul în care se poate face migrarea de date de la server la client pentru realizarea unei anumite operații.

O altă problemă importantă care trebuie luată în calcul este alegerea sistemului de operare pentru dispozitivele mobile. Deşi Linux oferă o performanță mărită, WindowsCE este suportat de o gamă mai variată de dispozitive mobile.

Pe lângă aceste probleme de balansare client/server, calitate/preț mai intervin şi alte cerințe minimale pentru o aplicație de acest gen: interoperabilitate, portabilitate, flexibilitate, robustețe. Toate aceste probleme sunt menționate şi detaliate în [43].

Construirea sistemelor multi-agent este un proces dificil şi complex deoarece integrează în mod direct sau indirect provocările şi riscurile existente din sistemele distribuite şi concurente şi în plus dificultățile rezultate din cerințele de flexibilitate şi interacțiune intensivă. Problemele construirii unor astfel de sisteme sunt detaliate în [44].

2.7 Proiecte ample de cercetare în desfăşurare

Dintre proiectele ample de cercetare în legătură cu casele inteligente, şi mai general cu clădiri inteligente, le amintim pe cele de mai jos.

The Adaptive House (University of Colorado)

Scopul experimentului Adaptive House este să exploreze conceptul unei case autoprogramabilă, eliberându-i pe locuitorii ei de necesitatea efectuării acestei munci. Cercetătorii au pus accent pe faptul că software-ul necesar pentru o casă automată trebuie să fie programat pentru fiecare familie şi casă în parte şi reactualizat odată cu modificările survenite în stilul lor de viaţă. Luând în considerare că la vremea aceea pentru multă lume era destul de dificil să îşi programez DVD-playerele, se considera ca programarea unei case inteligente ar fi mult sub interesul şi capacităţile lor, iar angajarea unui specialist care să facă aceste lucruri ar fi foarte neconvenabilă şi costisitoare.

Prototipul a fost instalat în casa unuia dintre cercetători şi controlează temperatura camerei, temperatura apei, nivelul luminii, a sunetului, deschiderea ferestrelor şi totodată controlează aparatele responsabile pentru încălzire, lumină, curent ş.a.m.d. Sistemul monitoriza acţiunile luate de rezidenţi precum stabilirea unei anumite configuraţii a luminii, sau pornirea unui termostat şi căuta şabloane în acel mediu, pentru ca ulterior să poată prezice acele acţiuni. O reţea neuronală este cea responsabilă pentru a învăţa acele şabloane pentru ca apoi sistemul să facă acele acţiuni învăţate în mod automat.

ComHome (The Interactive Institute, Suedia)

Proiectul ComHome este descris de cercetători ca un model de scară largă construit dintr-un număr de scenarii preluate din camere diferit configurate. Casa este echipată cu tehnologii senzoriale, precum şi tehnologii bazate pe control prin voce. În acest context, cercetătorii investighează diferite sfere ale activităţilor casnice, precum munca la distanţă şi activităţile sociale, în special comunicările mediate prin video (VMC – Video Mediated Communications), explorând impactul pe care tehnologiile îl pot avea asupra lor.

House_n (Massachusets Institute of Technology)

House_n este un proiect colaborativ şi multi-disciplinar condus de Departamentul de Arhitectură al MIT. Scopurile globale ale acestui proiect includ crearea unor medii care acoperă anumite nevoi pentru persoane din diferite categorii de vârstă, crearea unui mediu dinamic şi obişnuit, dezvoltarea unor algoritmi care interpretează datele venite de la senzori pentru a detecta acţiunile înfăptuite de oameni, explorarea impactului tehnologic asupra mediilor de învăţare tradiţionale, precum şi impactul avut de comandarea de la distanţă a unor anumite acţiuni. Principalele iniţiative ale grupului House_n sunt *The PlaceLab* şi *Open Source Building Alliance (OSBA).*

The PlaceLab este un ansamblu rezidenţial aflat în Cambridge, Massachusetts, proiectat pentru a fi un mediu foarte flexibil şi multi-disciplinar pentru cercetare şi observare pentru studiul ştiinţific al omului şi şabloanelor lui de interacţiune cu tehnologii noi şi cu condiţiile noi oferite de mediu. Casa experimentală este ocupată pentru o perioadă de timp de un anumit voluntar care nu are interacţiune cu cercetările, ele fiind făcute din afară, pentru ca el să poată acţiona cât mai natural. Cercetătorii au capacitatea de a monitoriza aproape fiecare aspect al vieţii în casă, în particular ce acţiuni ia locuitorul pe durata unei zile. Unii ocupanţi sunt studiaţi şi anterior în propriile lor locuinţe aceştia purtând o baterie portabilă de senzori dezvoltată de către cercetătorii MIT. Aceste dispozitive monitorizează de la distanţă acţiunile

săvârşite de subiecţii care participă la experiment, atât înainte de a locui în casă, precum şi după aceea. Principalele probleme care se ridică în cadrul experimentului sunt:

- Ce influenţează comportamentul oamenilor în propria lor casă?
- Cum se poate eficientiza aportul tehnologic în cadrul traiului în casă pe perioade mai întinse de timp?
- Poate tehnologia să modeleze schimbările de comportament din timpul vieţii?
- În ce măsură, monitorizarea şi măsurarea activităţilor din casă pot fi cuantificate în aşa manieră încât se pot crea noi aplicaţii pe calculator utile casei?
- Cum poate tehnologia să fie folosită pentru a facilita controlul caselor din prezent şi viitor, să se economisească resurse şi să se îmbunătăţească sănătatea?
- Ce influenţează modul în care oamenii se adaptează la noi medii?
- Care este modul de învăţare al oamenilor în contextul casei?
- Ce inovaţii aduse unei case ar putea îmbunătăţi cel mai semnificativ maniera noastră de a trăi viaţa de zi cu zi?

OSBA – Open Source Building Alliance are scopul de a dezvolta componente cheie ale unui model reactiv cu ajutorul căruia să se poată crea locuinţe în care:

- Dezvoltatorii devin integratori şi membri ai alianţei şi oferă soluţii adaptate indivizilor;
- Arhitecţii concep şabloane de proiectare pentru a crea în mod eficient mii de medii inteligente unice;
- Producătorii aprobă standardele interfeţelor şi devin furnizori de componente de primul nivel;
- Constructorii devin instalatori şi asamblori;
- Clienţii sunt cei din centrul procesului primind informaţii personalizate legate de proiectare, produse şi servicii în funcţie de deciziile lor.

Dintre implementările realizate de către alianţa OSBA amintim:

- OSBA: Integrated Interior Infill (I3);
- Sisteme OSBA care oferă soluţii gen „work-at-home”, sisteme acustice integrate, sisteme interactive, elemente transformabile, aplicaţii şi dispozitive conectate în reţea ş.a.m.d.

OPEN Prototype House Initiative

A fost format pentru a crea nişte prototipuri de locuinţe care testează un nou model pentru design-ul şi fabricarea unor locuinţe cu reactivitate mare. Această alianţă, condusă de MIT House_n Open Source Building Alliance şi Bensonwood Homes, va permite partenerilor industriali să colaboreze pentru prototipizarea şi crearea unor noi materiale, sisteme, dispozitive utile pentru casele inteligente.

Just-In-Time Persuasive User Interfaces for Motivating Healthy Behaviors

Acest program investighează tehnologiile şi proiectarea interfeţelor utilizator pentru a crea dispozitive şi spaţii persuasive. Programul dezvoltă o tehnologie care detectează automat un anumit punct de decizie (point-of decision) folosind senzori de mediu. Interfeţele utilizator folosesc aceste informaţii „just-in-time” despre ce acţiune efectuează un anumit individ, şi idei preluate din psihologia socială şi alte ştiinţe sociale, pentru a motiva o schimbare a comportamentului în perioade lungi de timp aplicând o metodă neiritantă, educaţională.

Astfel, domeniile în care se aplică această idee sunt conservarea energiei, regim alimentar sănătos, activitate fizică, siguranţa personală şi la locul de muncă şi învăţarea. Informaţiile pot fi expuse cel mai eficient pe un dispozitiv pervasiv, precum un telefon mobil.

3 FUNDAMENTARE TEORETICĂ

3.1 Modelarea formală a contextelor

3.1.1 Agenți bazați pe cunoştințe

Aplicația curentă are la bază folosirea agenților inteligenți. Precum oamenii cunosc, învață şi raționează, cunoştințele şi raționamentele sunt aplicate şi în cazul agenților bazați pe cunoştințe. Astfel ei îşi pot însuşi comportamente foarte greu de atins într-o altă manieră. De exemplu [39], un agent-reflex poate să găsească o rută validă între 2 oraşe doar prin noroc, sau un agent bazat pe rezolvarea problemelor poate rezolva probleme foarte complexe, dar cunoştințele sale sunt limitate şi inflexibile. Cunoştințele unui agent pot fi exprimate în diferite forme generale, combinând şi recombinând informații pentru diferite scopuri, nu de fiecare dată dintre cele mai folosite, la fel cum un matematician poate dezvolta o nouă teoremă, care nu neapărat trebuie să satisfacă anumite nevoi din acel moment.

Agenții bazați pe cunoştințe joacă un rol crucial în cazul mediilor observabile parțial precum casele inteligente. Aceştia pot combina cunoştințele generale cu informațiile curente pentru a infera aspecte nevizibile ale stării curente, înainte de a decide o anumită acțiune, la fel cum un doctor diagnostichează un pacient pentru a infera boala cu care se confruntă pacientul, care nu este direct observabilă, înainte de a îi prescrie un anumit tratament [39].

Agenții bazați pe cunoştințe sunt foarte flexibili. Aceştia sunt capabili să accepte noi întrebuințări sub forma unor obiective descrise şi pot deveni competenți pentru a le îndeplini doar spunâdu-li-se sau învățând noi cunoştințe despre mediu, putându-se adapta schimbărilor mediului reactualizând cunoştințele relevante despre acesta.

3.1.1.1 Baze de date de cunoştințe

Componenta centrală şi esențială a unui agent bazat pe cunoştințe este baza de cunoştințe sau prescurtat KB (**K**nowledge **B**ase). O bază de cunoştințe este la modul cel mai simplist, un set de propoziții. Propozițiile se folosesc în acest cadru ca şi termen tehnic, acestea fiind exprimate într-un limbaj numit limbaj de reprezentare a cunoştințelor, care poate fi un limbaj ontologic, şi reprezintă nişte adevăruri formale pe care vrem ca agentul să le ştie.

Principalele funcționalități ale unei baze de cunoştințe sunt:

- Adaugă propoziții noi în baza de cunoştințe;
- Interoghează cunoştințele existente.

Aceste 2 funcționalități sunt numite în [39] TELL, respectiv ASK. În Figura 3.1 poate fi vizualizată structura generală a programării unui agent bazat pe cunoştințe. Ambele funcționalități pot implica **inferența,** care este derivarea unor noi propoziții din cele existente. Ca un orice alt agent, agenții bazați pe cunoştințe preiau la intrare o informație percepută (în cazul unei case inteligente o informație primită de la senzorul de temperatură, de exemplu) şi returnează o acțiune. Agentul foloseşte baza de cunoştințe pentru a efectua orice operațiune. De fiecare dată când programul prezentat în Figura 3.1 este apelat, se efectuează 3 lucruri. Prima dată, se adaugă informațiile percepute în baza de cunoştințe. Ulterior, este interogată baza de date pentru a cere ca răspuns o acțiune pe care ar trebui să o înfăptuiască, în acest proces putând fi implicate mai multe acțiuni de argumentare în legătură cu starea curentă a mediului, despre diferite scenarii posibile ale concretizării acțiunii returnate ş.a.m.d., acest proces decizional fiind cel mai pretențios dintre paşii concreți ai programului. În final, agentul executa acțiunea şi informează KB dacă acțiunea a fost concretizată şi care au fost consecințele.

```
function KB-AGENT(percept) returns an action
  static: KB, a knowledge base
          t, a counter, initially 0, indicating time

  TELL(KB, MAKE-PERCEPT-SENTENCE(percept, t))
  action ← ASK(KB, MAKE-ACTION- QUERY(^))
  TELL(KB, MAKE-ACTION-SENTENCE(action, t))
  t ← t + 1
  return action
```

Figura 3.1 Cazul general de programare a unui agent bazat pe cunoştinţe

Programul inițial al agentului, înainte de a primi informații de la mediu, este construit adăugând una câte una propozițiile care reprezintă cunoştințele celui care a făcut proiectarea despre mediul în care va acționa agentul. Limbajul folosit pentru a exprima aceste propoziții este un **limbaj declarativ**. O abordare mai veche sugera folosirea unui **limbaj procedural** pentru a exprima aceste propoziții direct prin cod de program. În cazul aplicației de față vom folosi un limbaj declarativ pentru a reprezenta cunoştințelor. El va fi detaliat în secțiunile următoare.

În plus, pe lângă aceste acțiuni din program prin care i se spune unui agent ce să facă, se pot adăuga acestui agent mecanisme care îi permit să învețe de la sine. Aceste cunoştințe pot fi încorporate în baza proprie de cunoştințe putând fi folosite pentru luarea deciziilor, astfel putând construi un agent autonom.

3.1.2 Reprezentarea cunoştinţelor

În secțiunea anterioară am prezentat agenții bazați pe cunoştințe. Aceste cunoştințe trebuie reprezentate într-un limbaj declarativ. Aici vom detalia conceptul de ontologie, cu ajutorul căreia se poate organiza mediul şi entitățile componente într-o ierarhie generalizată şi structurată de clase.

Domeniile complexe, precum controlarea unui robot într-un mediu schimbător, precum o casă inteligentă, necesită o reprezentare generalizată şi flexibilă a informațiilor. Conceptele generale ce trebuie reprezentate sunt *Acțiune, Timp, Obiect Fizic, Presupunere.* Reprezentarea acestor concepte este domeniul **ingineriei ontologice**.

Este dăunător să încercăm să reprezentăm o descriere completă a tuturor lucrurilor, existente, dar e binevenit să reprezentăm conceptele de bază, care ulterior să fie detaliate, în funcție de necesități. Colecția generală de concepte reprezentate, se numeşte **ontologie superioară**, datorită convenției de a reprezenta conceptele generale în partea de sus, în timp ce conceptele specifice completează partea de jos a modelului, ca în Figura 3.2.

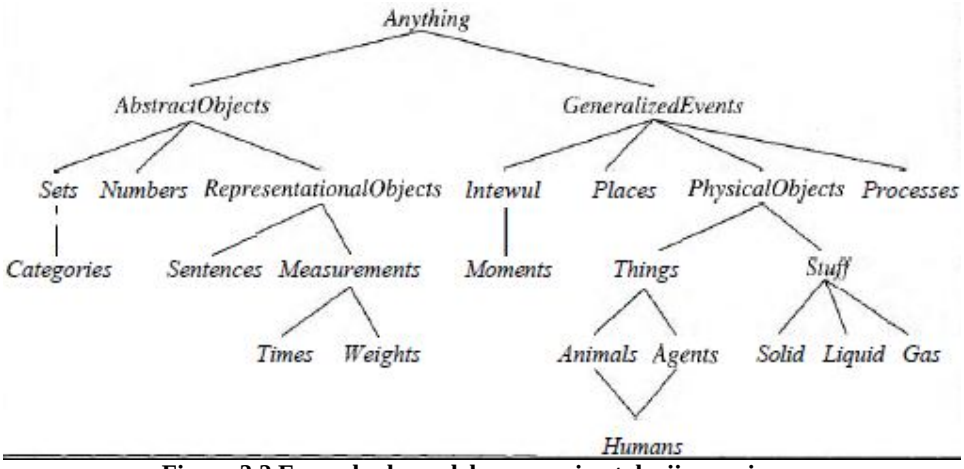


Figura 3.2 Exemplu de modelare a unei ontologii superioare

Pentru orice ontologie specializată este posibil să se facă schimbări pentru a putea conecta această ontologie într-una mai generalizată. Această proprietate conferă reprezentării ontologice a cunoştinţelor o flexibilitate foarte mare, fiind exact ceea ce este nevoie pentru modelarea bazei de cunoştinţe a unui agent bazat pe cunoştinţe care acţionează într-o casă inteligentă. O problemă care se pune este dacă toate ontologiile ar putea converge la o **ontologie generalizată** [25]. Acest lucru este un subiect de controversă. Totuşi, există nişte caracteristici ale ontologiilor de uz general care le face să fie distincte faţă de ontologiile specializate:

- O ontologie generalizată trebuie să poată fi aplicată în orice domeniu specializat;
- Într-un domeniu suficient de complex cunoştinţele diferite trebuie unificate deoarece argumentarea şi rezolvarea problemelor poate să implice mai multe domenii simultan.

3.1.3 Folosirea ontologiilor în modelarea contextelor

3.1.3.1 Modelarea contextului cu ontologii

În trecut, integrarea senzitivităţii la context în sistemele ubiquitous s-a dovedit a fi o muncă complexă şi foarte costisitoare datorită lipsei de infrastructura necesară, cum ar fi componente hardware, sisteme de operare, precum şi inexistenţa unui model de contexte comune care să permită reutilizarea [45].

În [21] sunt expuse cerinţele de infrastructură şi de reutilizare pentru a crea servicii senzitive la context pentru o casă inteligentă:

- Un model comun de reprezentare a contextelor, care poate fi împărtăşit de toate dispozitivele şi serviciile. Această componentă e necesară deoarece fiecare componentă ca parte din sistemul casei inteligente trebuie să aibă aceeaşi interpretare a datelor schimbate. Folosirea unui model comun dintr-un singur domeniu sau între mai multe domenii eficientizează schimbul de informaţii între componente.
- Un set de servicii care execută achiziţie de context, descoperire de context şi interpretare de context.

Reprezentarea folosind ontologii se dovedeşte a fi cea mai bună abordare în rezolvarea problemelor de independenţă a componentelor, împreună cu limbajul de exprimare, sistemul de operare şi componentele middleware. Avantajele modelării contextelor folosind ontologii aplicate şi în proiectul curent sunt [46]:

- Permit analiza formală a cunoştinţelor prin argumentarea contextelor;

- Prin argumentare, concepte de nivel înalt pot fi derivate din concepte de nivel jos;
- Ontologiile pot fi verificate pentru consistență şi pot fi validate în funcție de celelalte ontologii existente;
- Pot fi introduse relații inter-ontologice şi ierarhii implicite bazate pe reguli.

3.1.3.2 Proiectarea ontologiilor de context

Deşi există multe propuneri de proiectare a ontologiilor de context, se pune problema ce model este cel mai potrivit şi care aduce cele mai multe avantaje când se creează un sistem senzitiv la context nou. Astfel se ridică următoarele întrebări:

- Cât de bine poate o ontologie să reprezinte concepte, atribute şi relații într-o formă exactă şi bine definită?
- Cât de capabil este limbajul pentru a crea interogări eficiente pentru argumentare?
- Care este cea mai eficientă proiectare în arhitectura ontologică?
- Cum pot fi extinse aceste ontologii pentru a suporta incertitudinea?
- Care este câştigul de performanță folosind alegerea de proiectare?

Propunerile existente de proiectare, unele fiind în curs de standardizare, susțin un model ierarhic şi stratificat.

Contextele pot fi organizate în două categorii majore, context direct şi indirect. Contextul direct, achiziționat direct de la un furnizor. Mai departe contextul direct poate fi clasificat în context senzorial şi context predefinit. Contextul senzorial este achiziționat de la senzorii casei inteligente sau de la senzorii virtuali, cum ar fi serviciile. Contextul definit este cel mai des predefinit de către utilizator în mod particular. Folosind un mecanism de argumentare a contextelor, se pot infera contexte indirecte, bazate pe cele directe. De exemplu, statutul curent al unei persoane care este la duş într-o casă inteligentă poate fi inferat din locația sa, starea încălzitorului de apă şi starea uşii. În Figura 3.3 se pot observa ontologii specifice pentru o casă inteligentă.

Diferitele tipuri de contexte au caracteristici temporale diferite, de exemplu contextul senzorial este dinamic odată cu trecerea timpului, în timp ce contextul predefinit este static. De asemenea, pot interveni inconsistențe sau conflicte între diferitele tipuri de contexte, datorită erorilor de tehnologie sau întârziere în procesare. Doar clasificând contextele variate şi ştiind caracteristicile se poate efectua argumentare de contexte pentru a elimina conflictele şi a menține consistența [13].

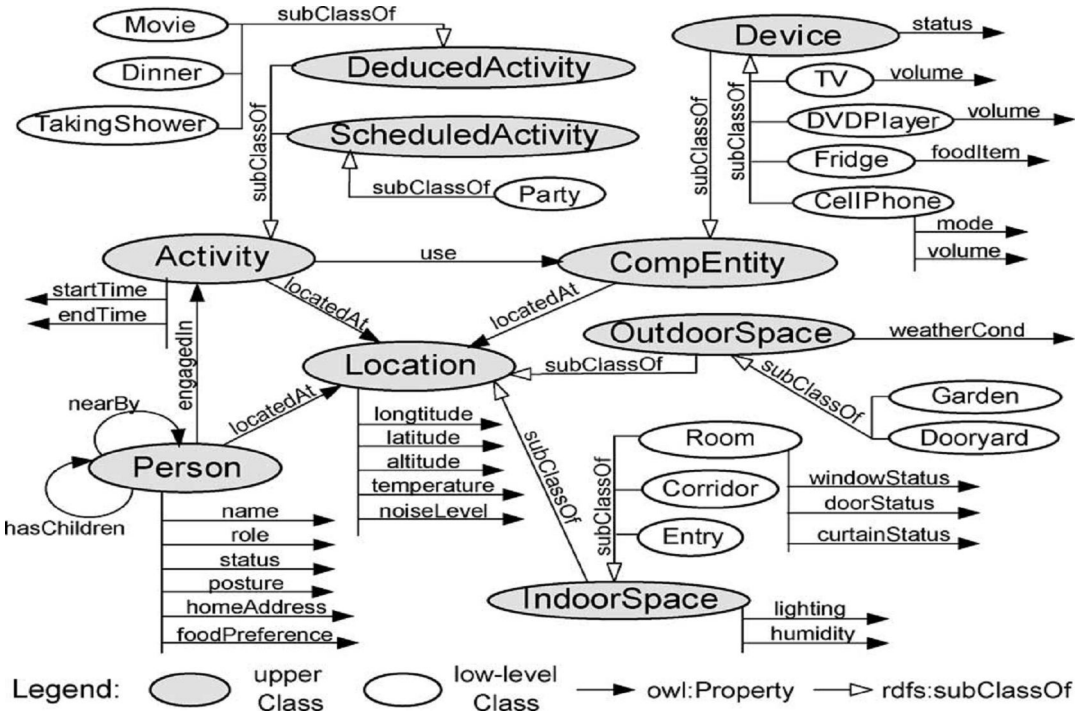


Figura 3.3 Definire ontologii specifice reprezentate prin rețele Bayesiene

Unul dintre cele mai cunoscute modele este **SOCAM** (**S**ervice **O**riented **C**ontext **A**ware **M**iddleware) detaliat în [21]. Specificațiile acestuia presupun o arhitectură naturală pe două nivele ca Figura 3.4:

- Nivelul superior - pentru ontologii superioare comune, în care sunt încadrate conceptele generale;
- Nivelul inferior - pentru ontologii specifice, care sunt aplicate în câteva domenii inteligente.

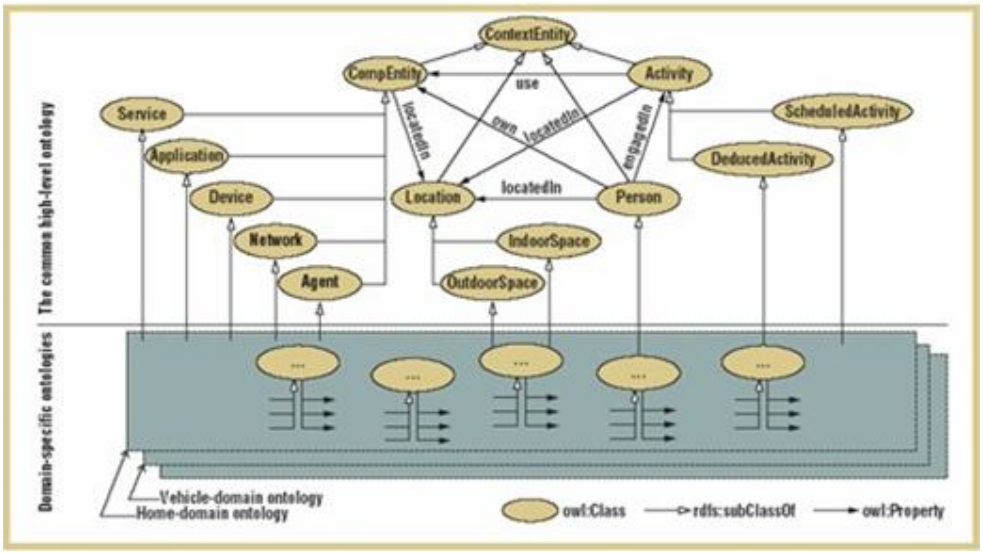


Figura 3.4 Model de proiectare a ontologiilor contextuale, folosind SOCAM

Ontologiile sunt scrise în OWL (**O**ntology **W**eb **D**escription **L**anguage), limbajul pentru ontologii Web propus de W3C. Ontologiile definite în OWL pot fi referite prin serverele Web de către alte ontologii şi descărcate de către aplicaţii care folosesc ontologiile. Faptul că aceste ontologii pot fi accesate prin diferite servere Web, furnizează flexibilitatea şi extensibilitatea necesară unui sistem distribuit.

Avantajele folosirii unei astfel de arhitecturi stratificate este faptul că numărul cunoştinţelor de context este redus, iar procesarea contextului de către mecanismul de argumentare este limitată, prin reîncărcarea dinamică a ontologiilor de nivel inferior atunci când apari modificări de mediu. Ontologiile inferioare specifice se pot ataşa ontologiei generale pentru a crea prin deducţie concepte de nivel înalt.

O altă abordare specifică în elaborarea ontologiilor de context este **CoOL[46].** Precum SOCAM acesta se bazează tot pe o arhitectură pe două nivele:

- Nivelul inferior – CoOL Core. Acest nivel se bazează pe limbajele OWL, DAML + OIL de descriere a ontologiilor, de altfel, oferind extensii pentru folosirea şi a altor limbaje descriptive;
- Nivelul superior – CoOL Integration o colecţie de extensii de scheme şi protocoale.

Autorii argumentează că flexibilitatea alegerii limbajului de reprezentare a ontologiilor favorizează dezvoltatorii de programe care au posibilitatea de a alege pe cel mai potrivit planurilor lor. Mecanismul de argumentare este construit în limbajul F-Logic, în principiu pentru că F-Logic este un limbaj orientat obiect, expresiv, având posibilitatea de extensie la argumentare bazată pe reguli.

Modelul contextual propus este bazat pe modelul ASC (**A**spect **S**calabilitate **C**ontext). Modelul ASC este construit în jurul acestor trei concepte de bază, entităţile fiind instanţe ale informaţiilor contextuale. Un aspect agregă una sau mai multe modele scalare şi încapsulează obiecte având aceleaşi semantici. Informaţia contextuală încapsulează datele propriu-zise împreună cu meta-datele care caracterizează datele propriu zise.

Tabel 3.1 Comparaţie între SOCAM şi CoOL privind modelarea ontologiilor de context

	SOCAM	CoOL
Limbaj de descriere	OWL	OWL sau alte limbaje (DAML, F-Logic ş.a.m.d.)
Specificaţii Model	Proiectat pe 2 nivele Modelează contexte şi relaţii cu tipuri de date şi obiecte Extensii probabilistice ale predicatelor	Proiectat pe 2 nivele Utilizează modelul ASC Modelul ASC poate fi folosit ca un model de transfer între diferite tipuri de modele de context
Mecanism de argumentare	Argumentare ontologică Argumentare cu reguli	Mecanism de inferenţă Onto Broker F-Logic ca limbaj de interogare
Concluzii	Fiabilitatea ontologiilor – se folosesc numai ontologiile inferioare în procesul de argumentare. Model foarte bine acceptat în dezvoltarea sistemelor ubiquitous	ASC este un model flexibil ce poate folosi ca vocabular de bază pentru alte modele. ASC se poate folosi cu valori eterogene care descriu aceeaşi entitate

3.1.3.3 Limbajul OWL

a) Introducere

Limbajul OWL se află între specificațiile *World Wide Web Consortium (W3C)* şi este folosit ca o componentă fundamentală a inițiativei Semantic Web [30]. Limbajul se bazează pe Extensible Markup Language (XML), XML Schema[31], Resource Description Framework (RDF) şi pe RDF Schema (RDF-S) [09]. Este divizat în 3 sub-limbaje diferite prin expresivitate: OWL-Lite, OWL-DL şi OWL-Full. OWL-DL este folosit cel mai frecvent, pentru că este cel mai expresiv, fără a pierde completitudinea şi decidabilitatea, spre deosebire de OWL-Full.

Au fost dezvoltate mai multe unelte pentru a putea lucra cu OWL:

- Protégé, care este un editor grafic;
- Jena, care este un Java API pentru a accesa ontologiile OWL;
- Racer, un modul de inferență care poate fi integrat cu Jena şi Protégé.

Mai multe detalii despre aceste unelte vor fi furnizate în secțiunile ulterioare.

b) Elementele limbajului OWL

Cele mai importante elemente ale limbajului OWL vor fi descrise aici. O specificare detaliată poate fi găsită în [26]. Cuvântul cheie *Class* este folosit pentru a defini concepte ontologice. Cuvântul cheie *subClassOf* defineşte concepte specializate, deci poate fi folosit pentru a construi taxonomii. Cuvântul cheie *DataTypeProperty* este folosit pentru a defini atribute şi concepte. Scopul variabilei se specifică prin schemă XML. Cuvântul cheie *ObjectProperty* defineşte relații între concepte. Acestea pot fi marcate ca şi tranzitive, simetrice sau funcționale. Două relații pot fi marcate ca una fiind inversa celeilalte. Relațiile pot fi specializate folosind subPropertyOf în analogie cu subClassOf pentru concepte.

Atât relațiile cât şi atributele pot fi modificate prin restricții de cardinalitate şi noi valori. De asemenea este posibil să se definească fapte despre conceptele, atributele şi relațiile definite anterior prin instanțierea lor. Aceste instanțe se numesc indivizi. Mai mult, este posibil să definim concepte specializate, dependente de valorile relațiilor şi atributelor.

OWL furnizează de asemenea mijloace pentru a clasifica ontologiile şi pentru a marca conceptele, atributele, relațiile şi indivizii în analogie cu elementele altor ontologii. Acest lucru furnizează interoperabilitatea sistemelor care folosesc ontologii diferite.

c) Argumentare folosind OWL

Potrivit semanticii diferitelor elemente ale limbajului se pot deduce cunoştințe în mod explicit folosind faptele deja definite. Conform proprietăților *subClassOf, subPropertyOf, intersectionOf, unionOf* şi *disjointWith* se poate calcula ce indivizi aparțin unui concept şi vice-versa, ce concepte se mapează unui obiect dat. O listă mai completă de reguli poate fi găsită în [32].

Mai mult, valorile unor atribute şi relații pentru un individ pot fi calculate în cazul în care acestea nu sunt explicit precizate, folosind *subPropertyOf*, *inverseOf* şi proprietățile de tranzitivitate şi simetrie.

Există mai multe metode cu care se face modelarea şi argumentarea contextelor. Dintre acestea amintim SOCAM, CoOL, CONON, COBRA-ONT şi SOUPA. SOCAM şi CoOL fac parte din scopul acestei teme fiind detaliate în capitolul precedent. Toate aceste metode, folosesc semantica ontologică pentru a face argumentare logică. Totuşi, beneficiul real al folosirii ontologiilor pentru informații despre context în sistemele pervazive, nu va deveni efectiv înainte ca să se propună un standard general valabil pentru ontologia contextelor.

Tabel 3.2 O parte din regulile de argumentare OWL

Transitive-Property	(?P rdf:type owl:TransitiveProperty) $\wedge$ (?A ?P ?B) $\wedge$ (?B ?P ?C) $\Rightarrow$ (?A ?P ?C)
subClassOf	(?a rdfs:subClassOf ?b) $\wedge$ (?b rdfs:subClassOf ?c) $\Rightarrow$ (?a rdfs:subClassOf ?c)
subProperty-Of	(?a rdfs:subPropertyOf ?b) $\wedge$ (?b rdfs:subPropertyOf ?c) $\Rightarrow$ (?a rdfs:subPropertyOf ?c)
disjointWith	(?C owl:disjointWith ?D) $\wedge$ (?X rdf:type ?C) $\wedge$ (?Y rdf:type ?D) $\Rightarrow$ (?X owl:differentFrom ?Y)
inverseOf	(?P owl:inverseOf ?Q) $\wedge$ (?X ?P ?Y) $\Rightarrow$ (?Y ?Q ?X)

3.1.4 Extensii probabilistice ale ontologiilor

În domeniul caselor inteligente incertitudinea este un aspect inerent. De exemplu, cel mai evident caz de incertitudine este incorectitudinea şi imperfecţiunea datelor preluate de la senzori. Agenţii, în aproape nici un caz nu au acces în întregime la toate informaţiile din mediu. De asemenea, aceşti agenţi raţionali trebuie să poată crea raţionamente în incertitudine într-o manieră eficientă. Toate aceste aspecte privind incertitudinea în modelarea contextelor se traduc în interpretare eronată a datelor de context de nivel inferior şi implicit a datelor derivate de nivel superior.

Încă de la apariţia sa, modelul probabilistic sau modelul reţelelor Bayesiene [39] s-a dovedit a fi o tehnică bine întemeiată pentru reprezentarea şi raţionarea în incertitudine. În particular o reţea Bayesiană reprezintă o distribuţie uniformă a unui set de variabile aleatoare. Cu ajutorul acestui model se poate răspunde la interogări complexe despre oricare dintre aceste variabile. Astfel reţelele Bayesiene furnizează diferite tipuri de raţionamente:

- Predicţie – Raţionare de la cauză la efect;
- Abducţie – Inferarea unei cauze din efect;
- Explicare – Evidenţele privind cauza unui eveniment reduc posibilitatea consumării unui alt eveniment datorită rezultatelor lor comune. Acest lucru este dificil de modelat în sistemele cu raţionamente bazate pe reguli.

Totuşi o limitare fundamentală a reţelelor Bayesiene în cazul reprezentării cunoştinţelor este faptul că acestea nu pot reprezenta informaţia structurală şi relaţională [49]. Deci o reţea Bayesiană nu este potrivită pentru a reprezenta date contextuale corelate şi dinamice în mediile computaţionale omniprezente.

În [48] se prezintă un model unificat care moşteneşte avantajele folosirii atât a modelului probabilistic, cât şi al ontologiilor, aceste două tehnici fiind integrate. Cu ajutorul acestui model se va putea construi o ontologie care va reprezenta atât structural cât şi probabilistic cunoştinţele contextuale, iar raţionamentele în incertitudine vor fi construite tot cu ajutorul reţelelor Bayesiene.

O mare parte a cercetării în domeniul caselor inteligente s-a adresat problemei de incertitudine. Printre primele eforturi a fost încercarea de a modela incertitudinea informațiilor contextuale folosind atribute precum imperfecțiunea, acuratețea ş.a.m.d. Astfel acest model unificat este compus din două părți esențiale:

- Schema relațională – Reprezintă structura şi organizarea informațiilor sub formă de clase, relații şi proprietăți.
- Model probabilistic – care adnotează dependențele probabilistice condiționale dintre proprietățile claselor.

Un exemplu de reprezentare a acestor două scheme poate fi văzut în Figura 3.5:

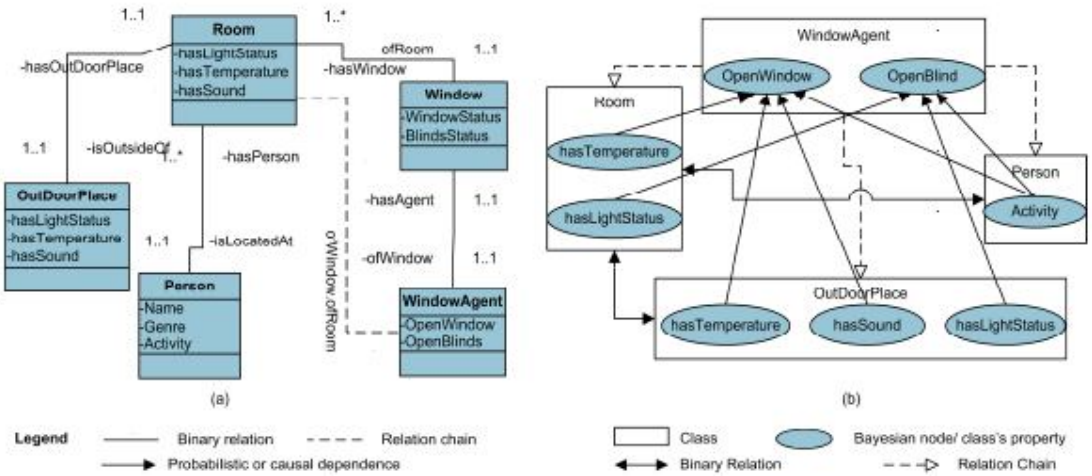


Figura 3.5 (a) Schema relațională şi (b) Modelul probabilistic pentru o casă inteligentă

Bazat pe modelul propus mai sus putem construi o ontologie de context pentru a capta cunoştințele preluate dintr-o casă inteligentă. Precum se specifică şi în cazul arhitecturii SOCAM, şi aici se pot modela ontologii de context folosind acel model stratificat, cu ontologiile generale pe nivelul superior, iar cele specifice pe nivelul inferior.

Acest model are două componente:

- Ontologie generică – este ontologia de nivel superior la fel ca şi în cazul SOCAM;
- Ontologie specifică – o colecție de ontologii de nivel inferior care definesc detalii despre conceptele şi proprietățile din fiecare sub-domeniu. O ontologie specifică pentru un sub-domeniu este compusă din două părți:
  - Schema relațională – care specifică relațiile şi cascadările între relații pentru sub-domeniu;
  - Modele probabilistice – care reprezintă dependențele probabilistice condiționale dintre proprietățile acelui sub-domeniu.

În Figura 3.6 ontologia generică defineşte conceptele de „CompEntity”, „Location”, „Person”, „Activity”. Detaliile fiecărui concept generic precum relațiile sau dependențele probabilistice sunt redefinite în ontologii specifice domeniului (pe un nivel inferior), care pot varia de la un domeniu la altul.

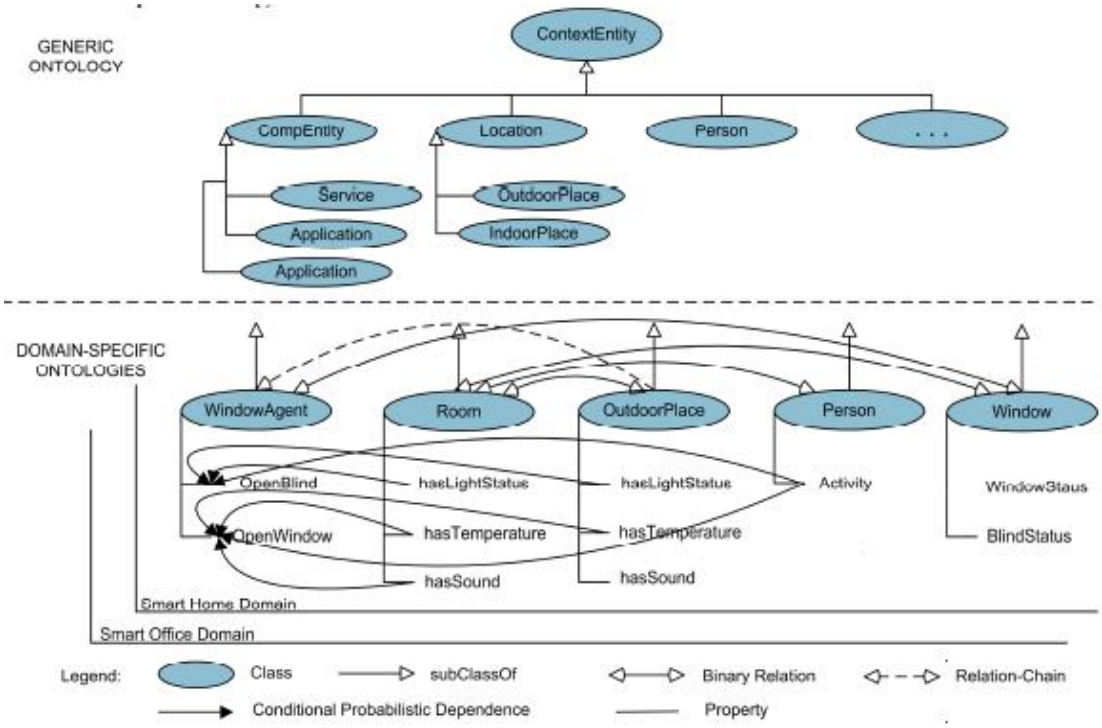


Figura 3.6 Arhitectura SOCAM cu ontologii specifice şi modele probabilistice

Contextul ontologic se reprezintă folosind limbajul OWL, căruia i-au fost adăugate câteva elemente pentru a modela conceptele noi, privind relațiile între entitățile probabilistice şi modelele probabilistice. Limbajul este numit de cercetători **PROWL** (**Pr**obabilistic Annotated **OWL,** tradus OWL cu adnotări pentru probabilități).

Folosind această structură de modelare probabilistică a contextelor, se pot face 3 tipuri de raționamente:

- Raționamente din schema de bază a modelului:
  - Raționament bazat pe reguli;
  - Raționament ontologic.
- Raționamente inovative adăugate de modelul extins:
  - Raționament Bayesian.

Raționamentele bazate pe reguli au aceeaşi logică precum în schema clasică, dar cu mențiunea că în acest model sunt aplicate claselor probabilistice şi nu unor clase normale. *Raționamentele ontologice* sunt asemenea cu cele din schema clasică, doar ca ele sunt reprezentate acum în PROWL. Totuşi se pot face raționamente tip OWL fără probabilități, folosind OWL, deci nu se va ajunge la o constrângere de limbaj în cazul în care nu se vrea folosirea probabilităților pentru astfel de raționamente.

Raționamentele Bayesiene se fac pe baza rețelelor Bayesiene construite din modelul contextului. În funcție de domeniu se pot construi una sau mai multe rețele derivate care corespund fiecărui model probabilistic. Aceste rețele se construiesc folosind algoritmul Construct-BN [50].

Avantajele acestui model sunt introducerea probabilităților în modelarea inițială a contextelor. Deoarece ontologiile reprezintă conceptele dintr-un domeniu, acest model de context poate îngloba într-o manieră facilă. Folosind această abordare se poate modela un domeniu al bazei de cunoştințe comună pentru casele inteligente fără a fi necesară construcția unei baze de cunoştințe noi de fiecare dată. Deci această modelare suportă scalabilitatea.

3.2 Metode folosite pentru modelarea bazelor de cunoştinţe

3.2.1 Metodologii existente pentru crearea bazelor de cunoştinţe

Ingineria proiectării cunoştinţelor se ocupă cu structurarea, dezvoltarea şi standardizarea bazelor de cunoştinţe. Aşa cum a fost precizat şi în capitolele anterioare ontologiile sunt un model comun şi cel mai folosit pentru reprezentarea cunoştinţelor şi crearea bazelor de cunoştinţe.

În [51] se descriu multiple metodologii create de-a lungul timpului pentru a defini baze de cunoştinţe folosind ontologii. Metoda folosită de către *Cyc KB* [52] este compusă din 3 faze. Prima fază constă din codificarea manuală a cunoştinţelor existente, în care cunoştinţele comune sunt preluate manual. A doua şi a treia fază se referă la achiziţionarea noilor cunoştinţe utilizând limbajul natural, respectiv unelte de învăţare folosite de dispozitivele de calcul. Diferenţa dintre aceste două faze este faptul că cunoştinţele noi sunt achiziţionate de dezvoltatori folosind unelte în faza a doua, respectiv automat de către maşini în faza a treia.

În metoda *KACTUS* [53] ontologiile se construiesc pe baza unei baze de cunoştinţe a unei aplicaţii existente, la care se aplică un proces de abstractizare. Astfel, cu cât mai multe aplicaţii vom construi, cu atât mai generală va deveni baza de cunoştinţe. Cu alte cuvinte, metoda presupune crearea unei baze de cunoştinţe pentru o aplicaţie, pentru ca mai târziu dacă o bază nouă de cunoştinţe va fi necesară pentru un domeniu similar, se va generaliza baza de date existentă într-o ontologie şi se va adapta ambelor aplicaţii. Aceasta este o metodă „bottom-up” (de jos în sus).

Metoda *Sensus* [54] este o abordare „top-down” (de sus în jos) pentru a deriva ontologii specifice din ontologii mari. Autorii propun identificarea unui set de termeni cheie care sunt relevanţi pentru un anumit domeniu.

Methontology [55] este o metodologie cu ajutorul căreia se pot crea baze de cunoştinţe fie de la început, fie printr-un proces de reutilizare. Acest mediu de dezvoltare include mai mulţi paşi în construirea lor aşa cum se poate vedea în Figura 3.7: identificarea procesului de dezvoltare ontologic, un ciclu de viaţă bazat pe prototipuri evolutive şi tehnici particulare pentru executarea fiecărei activităţi.

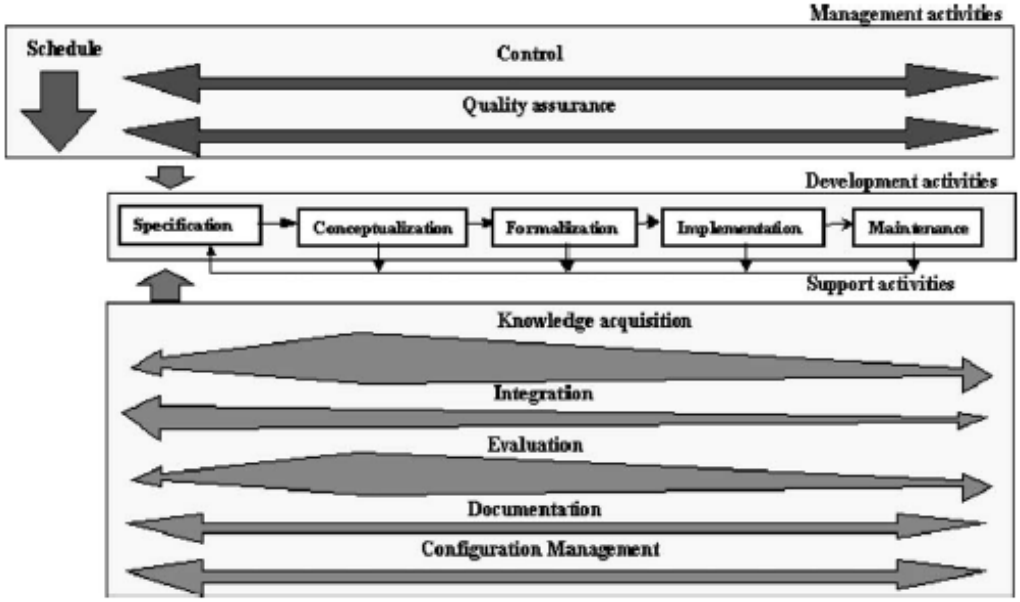


Figura 3.7 Procesul de dezvoltare a unei baze de cunoştinţe folosind Methontology

Pe lângă aceste metodologii enumerate mai sus, mai există şi altele, niciuna dintre aceste abordări neatingând încă stadiul de maturitate, comparând, de exemplu cu ingineria software. Totuşi, se poate considera Methontology cea mai matură abordare în construirea bazelor de cunoştinţe, recomandată şi de FIPA. Toate aceste metodologii nu sunt unificate, deoarece fiecare grup de cercetători aplică abordarea proprie în procesul creaţional. Colaborarea între aceste grupuri pentru a unifica abordările lor ar fi cea mai rezonabilă metodă pentru a ajunge la un proces unificat şi matur de creare a ontologiilor specifice aplicate în cazul bazelor de cunoştinţe.

3.2.2 Unelte de dezvoltare a ontologiilor

În ultimii ani numărul de unelte pentru construirea de ontologii a crescut exponenţial. Aceste unelte au scopul de a oferi suport pentru dezvoltarea de ontologii şi pentru folosirea acestora. Astfel vor fi prezentate cele mai importante unelte pentru ca mai apoi să fie descrisă mai amănunţit unealta folosită pentru crearea ontologiilor pentru casa inteligentă dezvoltată în lucrarea de faţă şi anume Protegé.

Ontoligua Server [56] a fost prima unealtă creată pentru dezvoltarea ontologiilor. A fost dezvoltat la Universitatea din Stanford şi a apărut în 1990, pentru a facilita dezvoltarea ontologiilor de tip Ontoligua folosite pentru nişte aplicaţii de tip Web. Iniţial, Ontoligua Server se comporta ca un editor pentru ontologii pentru ca mai apoi să fie adăugate noi module precum Webster, care era un rezolvitor de ecuaţii sau OKBC (**O**pen **K**nowledge **B**ase **C**onectivity) care era un modul de conectare la baza de cunoştinţe, mai târziu standardizat ca şi protocol de comunicaţie. Editorul funcţiona de asemenea ca un translator inter-limbaje, precum LOOM, Prolog, CORBA IDL, CLIPS ş.a.m.d.

Tot din acea generaţie de unelte a apărut *Ontosaurus* [57] dezvoltat la Institutul de Ştiinţe Informaţionale de la Universitatea South-California. Acesta avea în componenţa sa două module: un server de ontologii, care folosea LOOM pentru reprezentarea cunoştinţelor şi un client Web care avea şi suport de translatare din LOOM în Ontoligua, KIF, KRSS şi C++. Ontologiile puteau fi de asemenea accesate folosind protocolul OKBC.

Aceste unelte din prima generaţie au dezavantajul de a fi create ca fiind neextensibile, dependente de limbaj, fiind create pentru a fi folosite doar la nivel de proiect de cercetare, nu pentru uz comun.

A doua generaţie de unelte de dezvoltare de ontologii a apărut recent. Ele au fost construite ca fiind medii robuste integrate în sisteme care aduc suport tehnologic pe toată durata de viaţă a activităţii unei ontologii. Acestea au fost concepute prin arhitecturi extensibile, bazate pe componente, unde noi module se pot integra uşor pentru a adăuga întrebuinţări noi. Pe lângă toate acestea, modelele de reprezentare a cunoştinţelor sunt independente de limbaj. *Protégé 2000* [65 dezvoltat la Universitatea din Stanford, este un program gratuit, independent de platformă, cu o arhitectură extensibilă. Partea esenţială a acestuia o constituie editorul de ontologii, dar se pot importa module pentru a edita ontologii în diferite limbaje (F-Logic, Jess, OIL, XML, Prolog), dispune de acces OKBC, creare şi execuţie de constrângeri (PAL), fuzionare de ontologii (PROMPT) ş.a.m.d. *WebODE* [66] este succesorul lui ODE şi a fost dezvoltat la Universitatea Tehnică din Madrid. Este o unealtă asemănătoare cu Protégé şi implementează metodologia Methontology prezentată în secţiunea anterioară. Ontologiile sunt păstrate în baze de date relaţionale şi de asemenea suportă introducerea de limbaje ontologice diferite (XML, RDF, OIL, DAML+OIL, F-Logic, Jess).

În ultima generaţie au apărut extensii ale editoarelor enumerate mai sus pentru a edita ontologii şi a crea baze de cunoştinţe specifice serviciilor Web semantice.

3.2.2.1 Protégé 4

Mediul de dezvoltare a ontologiilor Protégé, ajuns la a 4-a versiune, este un mediu complet şi stabil pentru dezvoltarea bazelor de cunoştinţe şi a ontologiilor oferind facilitatea de a integra o varietate mare de module adiţionale, care pot fi dezvoltate şi de către utilizatorii de rând, codul sursă al aplicaţiei fiind pus la dispoziţie.

Protégé dispune de 2 editoare separate fiecare având un anumit scop. Editorul *Protégé-Frames* facilitează dezvoltarea bazelor de cunoştinţe compatibile cu standardul OKBC. Acest editor furnizează interfeţe utilizator, care pot fi modificate pentru a modela cunoştinţele după bunul plac al utilizatorului, precum şi module pentru vizualizare, management, inferenţă sau raţionare. De asemenea este pus la dispoziţie şi un API Java care poate fi folosit pentru a crea alte aplicaţii pentru accesarea cunoştinţelor modelate cu Protégé Frames.

Editorul Protégé-OWL face posibilă dezvoltarea de ontologii folosind standardul W3C OWL. Acesta oferă uneltele necesare pentru a folosi ontologiile OWL şi RDF, suport pentru vizualizarea claselor, expresii OWL şi alte facilităţi. Platforma Protégé oferă flexibilitatea de a integra module adiţionale. Aceste module sunt de trei tipuri: module de stocare, module grafice şi panouri.

Un modul de stocare este un modul care salvează sau încarcă modele dintr-un format fişier sau baze de date (XML, XML Schema, RDF ş.a.m.d.).

Un modul grafic se ocupă de partea grafică a aplicaţiei, fiind o componentă cu ajutorul căreia se pot vizualiza imagini, sunete sau chiar imagini video.

Panourile pot fi vizualizate în fereastra principală Protégé. Există mai multe subtipuri de panouri în Protégé:

- Panouri de vizualizare:
  - OntoWiz – vizualizare grafică configurabilă sub formă de graf pentru ontologii şi relaţiile între ele. Se formează o diagramă similară cu UML.
  - TGWiz – vizualizare grafică a metodelor claselor.
  - Jambalaya – o unealtă de răsfoire a ontologiilor care permite editarea acestora.
- Panouri pentru managementul fişierelor sau a proiectului:
  - BeanGenerator – generează clase Java („Java Beans") dintr-un model de clase ontologice specificate în Protégé.
  - Prompt – permite manipularea a diferite modele care pot fi unificate, comparate, sau compuse.
  - DataGenie – întăreşte interacţiunea dintre Protégé şi baze de date furnizând un modul JDBC de conectare la baze de date.
- Panouri pentru motoare de raţionare:
  - QueryTab – pentru interogarea bazei de cunoştinţe.
  - PAL – mecanism de editare şi evaluare a axiomelor PAL (Protégé Axiom Language – Limbajul Axiomelor Protégé).

Conceptul de ontologie are în Protégé o formă asemănătoare cu cea a claselor din proiectarea orientată-obiect. Clasele Protégé sunt similare cu clasele Java şi pot fi aşezate într-o structură ierarhică, diferenţa fiind că aceste clase nu conţin definiţii de metode. Acestea pot fi abstracte sau concrete, doar cele concrete putând fi instanţiate. Protégé suportă de asemenea moştenirea multiplă. Atributele sunt definite ca perechi nume-valoare: valori primitive (logic, întreg, flotant, şir de caractere); numele se reprezintă printr-un şir de caractere. Aceste atribute pot fi de asemenea referinţe la alte clase sau instanţe de clase. Cu ajutorul atributelor se construiesc relaţiile între clase.

3.3 Metode folosite pentru dezvoltarea agenților

Deşi numărul de medii de dezvoltare a agenților a crescut mult în anii curenți, medii care furnizează unelte vizuale şi interfețe pentru a uşura proiectarea agenților şi realizarea a diverse sisteme de agenți, eforturile şi investițiile în acest sens sunt considerabil mai mici, decât în dezvoltarea uneltelor menite altor ramuri ale industriei software.

Totuşi, metodologiile existente elaborate de diferite laboratoare de cercetare în domeniul sistemelor multi-agent sugerează împărțirea procesului de dezvoltare a agenților în faze similare cu dezvoltarea unui alt produs software. Astfel procesul este împărțit în 5 faze: cerințele primare, cerințele secundare, proiectarea arhitecturii, proiectarea detaliată, implementarea.

Cerințele primare identifică actorii şi obiectivele reprezentate de două modele diferite. Se construiesc diagrame care depictează implicările şi relațiile dintre actorii modelului, numite dependințe. Aceste dependințe depictează modul în care actorii depind unii de alții pentru a îndeplini obiectivele sau pentru a executa planurile. Diagramele obiectivelor înfățişează analiza obiectivelor şi planurilor referitoare la un actor responsabil să le îndeplinească.

Toate aceste modele sunt extinse în faza de cerințe secundare, care modelează sistemul încadrat în mediul în care va acționa. În această fază obiectivele sunt descompuse în sub-obiective.

În faza de proiectare detaliată se construiesc specificațiile obiectivelor, capacităților şi a raționamentelor agenților. De asemenea, comunicarea între agenți este specificată în detaliu. În această fază se proiectează sistemul strict dependent de platforma de dezvoltare folosită, fiind adaptată la trăsăturile programării adaptate a agenților.

Faza de implementare are ca obiectiv generarea codului de construire a agenților din specificațiile oferite folosind proiectarea de detaliu.

3.3.1 Platforme de dezvoltare a agenților

Datorită existenței unui număr mare de platforme şi unelte de dezvoltare a agenților, fiecare oferind diferite facilități, este binevenită o evaluare a acestora înainte de a alege una care să satisfacă necesitățile sistemului dezvoltat. În principiu, criteriile de evaluare a diferitelor medii de dezvoltare sunt necesitate, popularitate, întreținere, documentație.

Platformele pentru agenți furnizează un mediu în care se pot crea agenți executabili şi facilitează şi serveşte la coordonarea agenților prin platformă, de exemplu, timpul de execuție al unui agent, facilitând totodată comunicarea cu alte module necesare în ansamblul sistemului, unele platforme implicând şi elemente de securitate.

Fundația pentru agenți fizici inteligenți FIPA [53] (The **F**oundation for **I**ntelligent **P**hysical **A**gents) este o organizație care promovează şi standardizează tehnologiile folosite în construirea agenților. FIPA a completat un proces de standardizare a platformelor de dezvoltare a agenților. Acest proces include 5 cerințe pe care o platformă trebuie să le îndeplinească: comunicarea între agenți, transportul între agenți, managementul agenților, arhitectura abstractă a platformei, respectiv aplicații care extind platforma.

Arhitectura abstractă a unei platforme precum şi comunicarea între mai multe platforme precizată în standardele FIPA poate fi văzută în Figura 3.8..

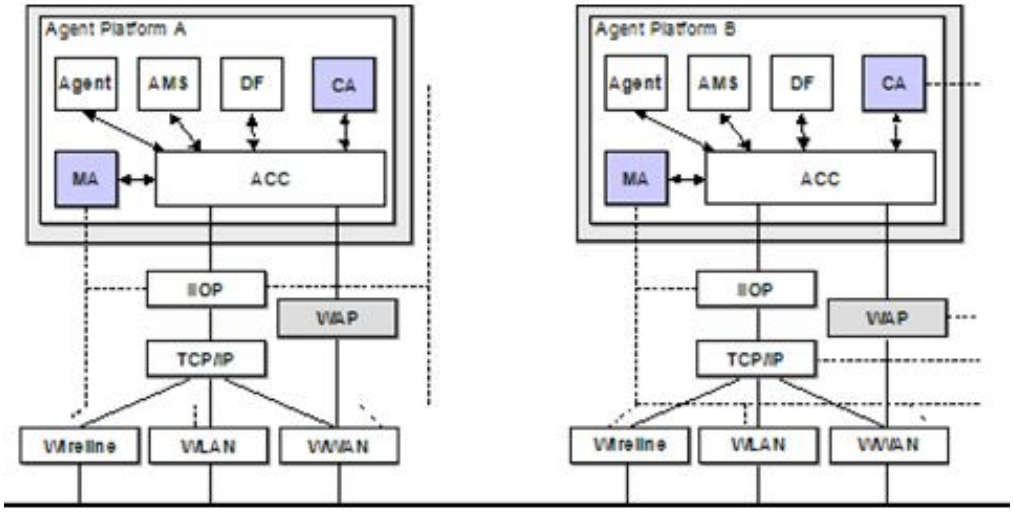


Figura 3.8 Arhitectura generală a unei platforme de agenți şi comunicarea între platforme

În [56] sunt analizate diferite platforme după următoarele trăsături:

- Standardizare – standardele comune pentru dezvoltarea agenților sunt FIPA şi (OMG) MASIF;
- Comunicare – suport pentru comunicare prin mesaje între platforme;
- Licențiere – ce tip de licențiere necesită;
- Accesibilitate;
- Mobilitate – abilitatea de a migra un agent în stare de execuție;
- Securitate – securitatea intră şi inter-platforme;
- Documentare – la nivel utilizator sau dezvoltator .

FIPA-OS [58] este o platformă bazată pe componente, care facilitează dezvoltarea rapidă a agenților conformi FIPA. FIPA-OS suportă majoritatea specificațiilor experimentale FIPA, fiind îmbunătățit în mod regulat ca proiect open-source.

- Standardizare – FIPA;
- Întreținere – Ultima versiune 2.2.0;
- Comunicare – Tehnologiile de comunicație puse la dispoziție sunt ACL, IIOP, RMI, XML;
- Licențiere - licență publică EPL (Emorphia Public License);
- Accesibilitate – orice sistem de operare, necesită minim Java 4;
- Mobilitate – suportă agenți mobili, doar ca prototip;
- Securitate – RMI este criptat cu SSL pentru comunicare securizată inter-platforme;
- Documentare – la nivel utilizator sau dezvoltator.

Jack [60] este un mediu de dezvoltare orientat agent integrat în totalitate cu mediul de dezvoltare Java. JACK furnizează o extensie orientată agent limbajului de programare Java, având un mediu de dezvoltare şi furnizând un set de clase utile dezvoltării de aplicații. Codul sursă JACK este compilat mai întâi în cod sursă Java înainte de a fi compilat mai departe în cod-maşină pentru a fi executat.

- Standardizare – FIPA;
- Întreținere – Ultima versiune 3.5;
- Comunicare – Necesită o rețea DCI pentru comunicare, similară cu TCP/IP;
- Licențiere – licență publică;
- Accesibilitate – orice sistem de operare;
- Mobilitate – nu suportă mobilitatea agenților;

- Securitate – profită de securitatea oferită de JDK;
- Documentare – detaliată.

Zeus [61] are ca scop dezvoltarea rapidă a aplicațiilor multi-agent furnizând un set de unelte şi componente care sunt folosite pentru a proiecta, dezvolta şi organiza sistemele de agenți. Mai mult, acesta furnizează un mediu care permite efectuarea de statistici şi rapoarte, vizualizarea agenților, o interfață bine realizată, permite repararea agenților, furnizează librării de strategii predefinite şi multe alte facilități. În schimb, documentația disponibilă este foarte redusă, ceea ce duce la multe dificultăți în crearea aplicațiilor de către începători.

- Standardizare – FIPA;
- Întreținere – Ultima versiune 3.5;
- Comunicare – KQML şi ACL;
- Licențiere – licență publică;
- Accesibilitate – orice sistem de operare;
- Mobilitate – criptare prin cheie publică sau privată;
- Securitate – codare MIME;
- Documentare – la nivel utilizator sau dezvoltator.

Platforma cea mai folosită pentru dezvoltarea agenților este **JADE** [59]. Aceasta fiind platforma folosită în proiectul curent, vom detalia specificațiile ei în secțiunea următoare.

3.3.2 Platforma JADE

JADE (**J**ava **A**gent **D**evelopment **F**ramework) a fost dezvoltat pentru a fi compatibil cu specificațiile FIPA pentru sisteme multi-agent inteligente şi interoperabile. Scopul acestuia este de a simplifica dezvoltarea, asigurând în acelaşi timp cerințele standardului printr-un set de servicii sistem pentru agenți. Acest produs poate fi considerat un middleware care implementează o platformă pentru agenți şi un mediu de dezvoltare pentru agenți. Sunt luate în considerare toate aspectele care nu au de a face cu cerințele de construire ale unui agent, şi care sunt independente de aplicație, precum transportul de mesaje, codarea mesajelor, sau ciclul de viață al unui agent.

JADE creează depozite multiple pentru agenți, fiecare dintre acestea poate fi pe aceeaşi maşină sau pe maşini diferite. Împreună, toate aceste containere formează *platforma JADE* precum în Figura 3.9. Fiecare platformă trebuie să aibă un depozit principal, care deține doi agenți speciali:

- **AMS** (**A**gent **M**anagement **S**ystem) **–** Sistemul de management al agenților este agentul care deține autoritatea în platformă, fiind agentul care creează sau distruge alți agenți, distruge depozite de agenți sau opreşte platforma.
- **DF** (**D**irectory **F**acilitator) – Agenda de servicii a agentului care funcționează ca un serviciu după paradigma „pagini aurii”, care publică serviciile agenților din platformă, astfel încât ceilalți agenți care au nevoie de aceste servicii, să le poată găsi.

Platforma JADE dispune de nişte servicii care furnizează tehnologii de creare a agenților specifice aplicațiilor multi-agent distribuite:

- Controlul ciclului de viață al agenților;
- Mobilitatea agenților;
- Transport punct-la-punct de mesaje;
- Securitate, toleranță la erori, suport pentru agenți replicați;
- Planificarea mai multor acțiuni simultane;
- Unelte grafice care suportă monitorizarea, controlul şi depanarea aplicațiilor: Agenți de monitorizare la distanță, Agenți introspectori ş.a.m.d.

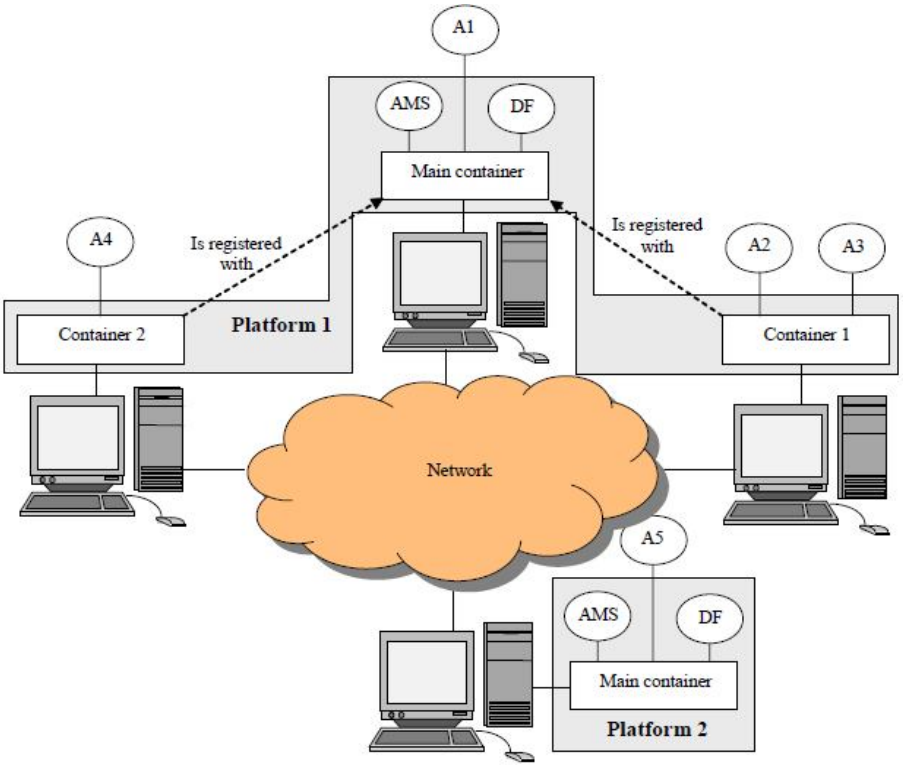


Figura 3.9 Platforma, depozitele şi comunicațiile între platforme JADE

JADE furnizează de asemenea o integrare completă cu ontologiile create folosind Protégé. În terminologia JADE ontologiile împreună cu reprezentarea lor se numesc scheme. Aceste scheme se referă la clase Java proiectate pentru a reprezenta structura statică a ontologiilor. Elementele specifice ale unei scheme sunt obiecte care descriu structura conceptelor, acțiunilor şi predicatelor permise în mesaje. De asemenea, pentru crearea acestor scheme JADE furnizează un mecanism de transformare a ontologiilor direct din limbajul descriptiv OWL în clase JAVA. Această unealtă face ca integrarea dintre ontologiile descrise în Protégé şi JADE să fie simplă.

3.3.3 Mediul JADEX 0.96

Jadex (**JADE** e**X**tension) este o aplicație JADE, care este folosită pentru a crea raționamente de tip **BDI** (**B**elief-**D**esire-**I**ntention – Convingere-Dorință-Intenție) pentru agenți BDI, implementați folosind platforma JADE [62]. Ultima versiune apărută în 2007 este 0.96 care este o versiune stabilă. Recent, Jadex a ajuns la versiunea 2.0 care este încă în fază beta.

3.3.3.1 Modelul BDI definit în Jadex

Jadex facilitează folosirea modelul BDI pentru agenți introducând presupuneri, obiective şi planul ca obiecte foarte importante care pot fi create şi manipulate în interiorul unui agent. În Jadex agenții au presupuneri care sunt modelate sub forma obiectelor Java şi memorate într-o bază de cunoştințe. Obiectivele reprezintă stările de atins care influențează comportamentul agenților. Pentru a atinge obiectivele, un agent execută planuri care sunt transpuse prin metode procedurale în Java. Arhitectura abstractă prin care se pot vizualiza şi componentele descrise mai sus poate fi văzută în Figura 3.10 [63].

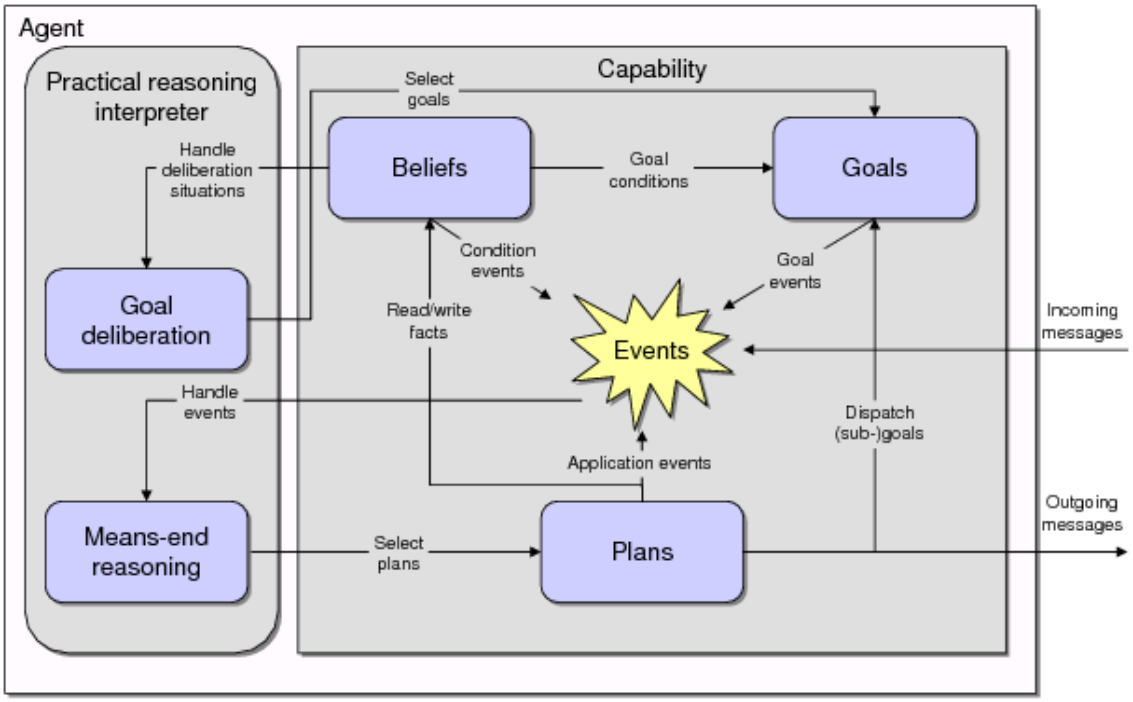


Figura 3.10 Diagrama de colaborare între componentele unui agent Jadex

Aşa cum se poate observa raţionamentele agenţilor Jadex se construiesc folosind cele două componente inter-conectate. Pe de o parte agentul reacţionează la mesajele venite, evenimente interne şi obiective selectând şi executând planuri, pe cealaltă parte interpretorul de raţionamente procesează obiectivele curente pentru a vedea ce sublan consistent ar trebui urmat.

Cele 3 concepte de bază ale unui agent Jadex sunt presupunerile, obiectivele şi planurile, acestea 3 fiind definite de către dezvoltator pentru a defini comportamentul agentului BDI. Realizarea acestor 3 concepte este descrisă pe scurt în continuare.

Baza de presupuneri memorează faptele care se presupun a fi adevărate şi este un punct de acces pentru datele conţinute de agent. Astfel, această componentă abstractizează cunoştinţele şi reprezintă o vedere unificată a cunoştinţelor agentului. Reprezentarea presupunerilor în Jadex este foarte simplificată şi nu suportă niciun mecanism de inferenţă. Baza de presupuneri conţine şiruri de caractere care reprezintă un identificator pentru o presupunere specifică (similar cu numele tabelei dintr-o bază de date relaţională). Aceşti identificatori sunt mapaţi valorilor presupunerilor, numite de această dată fapte, care pot fi convertite în obiecte Java. Jadex suportă în acest moment două tipuri de astfel de presupuneri: presupuneri singulare şi seturi de presupuneri. Deci baza de presupuneri fiind tare tipizată, poate verifica în momentul rulării dacă obiectele care respectă tipurile prezentate mai sus sunt memorate.

Obiectivele sunt tratate în mediul Jadex ca fiind dorinţele concrete ale unui agent la un moment dat în timp. Pentru fiecare obiectiv pe care îl are, un agent va înfăptui acţiuni, până în momentul în care consideră obiectivul ca fiind atins, sau că acesta nu poate fi atins, sau că nu se mai doreşte atingerea acelui obiectiv. Spre deosebire de alte sisteme în Jadex nu trebuie ca toate obiectivele să fie consistente unul cu celălalt. Pentru a distinge între obiectivele nou propuse şi obiectivele pentru care deja se îndeplinesc acţiuni, s-a creat conceptul de ciclu de viaţă al obiectivului, obiectivele putându-se astfel afla în 3 stări: *activ, suspendat* şi *opţional*. Când un nou obiectiv este introdus el intră în sistem cu starea opţional. Mecanismul de

deliberare a obiectivelor, este responsabil pentru determinarea tranzițiilor pentru obiectivele active. Unele obiective pot fi valide doar în contexte specifice determinate de presupunerile agentului. Când un obiectiv devine invalid pentru contextul curent, acesta este marcat ca suspendat până la validarea contextului.

Patru tipuri de obiective sunt suportate de către mediul Jadex. Primul tip se referă la obiectivele care definesc o acțiune care trebuie executată, dar care nu neapărat conduce la un rezultat specific. Al doilea tip se referă la obiectivele care definesc un scop sau care au o țintă fără însă a se specifica cum se atinge acel obiectiv. Al treilea tip se referă la obiectivele care reprezintă o nevoie pentru informații noi. Dacă informațiile cerute nu sunt la dispoziție, planurile sunt selectate şi executate pentru a aduna informațiile necesare. Al patrulea tip şi ultimul reprezintă obiectivele care specifică o stare a agentului care trebuie păstrată odată ce a fost atinsă. Toate obiectivele sunt reprezentate ca obiecte care au câteva atribute. Starea finală poate fi specificată ca o expresie evaluată pentru a verifica dacă obiectivul a fost atins. Structura obiectivelor care sunt în starea activă este memorată într-o bază de obiective. Un agent BDI specificat în Jadex are câteva obiective de nivel înalt, care servesc ca puncte de intrare în baza de obiective. Obiectivele pot fi separate în sub-obiective, formându-se astfel o structură arborescentă de obiective.

Planurile descriu acțiunile concrete pe care un agent le poate executa pentru a îndeplini obiective. Un dezvoltator dezvoltă un plan specificând antetul planului şi planul propriu-zis. Antetul conține condițiile sub care planul poate fi executat şi este specificat în fişierul de descriere a agentului. Corpul planului este o structură secvențială, care descrie acțiunile care trebuie executate pentru a atinge un obiectiv sau pentru a reacționa la un eveniment. În timpul execuției unui plan se pot defini noi sub-obiective şi aştepta ca alte evenimente să apară.

3.3.3.2 Definirea agenților în Jadex

Definirea completă a unui agent se face în fişierul de definire a agentului. Acest fişier este un fişier în format XML care conține toate proprietățile relevante pentru un agent (presupuneri, obiective, planuri). Pe lângă descriptorii XML folosiți pentru componentele agentului, dezvoltatorul poate folosi expresii într-o variantă Java pentru a specifica valori sau parametri. Acest fişier este un fel de descriere a clasei agentului. Din acest fişier se instanțiază agenții precum obiectele se instanțiază din clasele lor. De exemplu, planurile sunt declarate specificând cum să fie instanțiate folosind clasele Java de descriere şi un trigger cu care se determină condițiile în care planul se execută. Tot în acest fişier se defineşte starea inițială a unui agent folosind o configurație inițială. Scrierea corectă a fişierului de definiție a agentului va fi detaliată în secțiunea de implementare a lucrării curente.

4 SPECIFICAȚII ŞI ARHITECTURĂ SISTEM

4.1 Specificațiile sistemului

Principalele specificații ale sistemului sunt controlarea şi monitorizarea mediului, dispozitivelor şi aplicațiilor din casa inteligentă. Sistemul va avea în componență trei tipuri de roboți care vor trebui adaptați la contextul casei inteligente.

4.1.1 Controlul casei inteligente

Sistemul Smart House va furniza control automat al unor obiecte casnice (aparat de aer condiționat, încălzirea centrală) împreună cu controlul factorilor de confort din casă (luminozitate, umiditate, căldură), sistemul fiind capabil să ia o decizie asupra acțiunilor sau misiunilor care trebuie înfăptuite bazate pe datele contextuale procesate.

Cerințele funcționale ale sistemului dezvoltat curent vor fi prezentate în continuare.

4.1.1.1 Coordonarea acțiunilor

Aplicația va integra planuri de acțiuni predefinite în vederea efectuării anumitor execuții complexe şi totodată va permite facilitatea de a crea acțiuni definite de utilizator. Utilizatorul va avea abilitatea de a stabili obiectivele primare ale sistemului, precum maximizarea confortului locuitorilor casei inteligente. Obiectivele care trebuie atinse când se vorbeşte de coordonarea acțiunilor sunt:

- *Crearea sau anularea unei acțiuni* – Utilizatorul va putea să introducă noi acțiuni sau să replanifice sau să anuleze misiunea curentă. În cazul în care se produc dependențe în executarea unei misiuni planificate, sistemul va putea crea acțiuni care să fie executate înaintea acțiunii specificate.
- *Executarea acțiunilor* – Aplicația va executa în mod automat acțiunile planificate sau va putea să replanifice acțiunile care nu au fost terminate cu succes.
- *Crearea de rapoarte* – Orice acțiune înfăptuită în sistem va fi detaliată într-un raport de execuție.

4.1.1.2 Executarea operațiilor

Sistemul va putea să execute operații de bază ca răspuns la schimbările de context sau acțiuni primitive, ca operații unitare ale unei misiuni. Dintre operațiile care se vor putea înfăptui în sistemul dezvoltat identificăm:

- *Manipularea de obiecte* – Roboții vor putea manipula obiecte, prelua şi muta diferite obiecte între diferite locații ale casei.
- *Controlul dispozitivelor* – Sistemul poate să îşi adapteze comportamentul în mod automat, modificând starea diferitelor dispozitive ubiquitous în acord cu situația curentă sau intervenția directă a utilizatorilor. Cerința primordială a sistemului este să creeze o atmosferă cât mai confortabilă pentru locuitorii casei inteligente, prin controlarea dispozitivelor, în funcție de anumiți parametri preluați ca date de context (de ex. temperatura). Printre parametrii care pot fi manipulați se numără intensitatea luminoasă, volumul muzicii ambientale, temperatura, umiditatea etc.

4.1.1.3 Interacțiunea cu utilizatorii

Utilizatorii trebuie să poată interveni în sistemul casei inteligente, după bunul plac, astfel sistemul necesită o interfață utilizator pentru crearea de acțiuni utilizator sau controlarea

acțiunilor şi parametrilor curenți. Informațiile pot fi prezentate la cererea utilizatorului sau automat când se execută o anumită acțiune specifică.

4.1.2 Monitorizarea casei inteligente

4.1.2.1 Achiziția datelor de context

Sistemul va putea extrage informații contextuale de nivel inferior de la un număr mare de furnizori de informație, prin senzori fizici sau programe software. Aceste informații de context care vor fi urmărite sunt:

- *Urmărirea locației unei persoane, robot, sau obiect* – Locația este cea mai importantă dată contextuală care este procesată. Sistemul trebuie să poată detecta prezența membrilor familiei sau a intruşilor, locația acestor persoane în timp-real, precum şi locația roboților casei inteligente sau a altor dispozitive relevante.
- *Identificarea persoanelor, obiectelor, roboților* – Persoanele sau roboții trebuie identificați de sistemul casei inteligente, pentru a programa acțiuni specifice fiecărui actor din casa inteligentă în mod separat.
- *Monitorizarea condițiilor de mediu din interiorul sau exteriorul casei inteligente* – Monitorizarea acestui tip de condiții va fi posibilă prin achiziționarea informațiilor de la diferitele tipuri de senzori: luminozitate, umiditate, zgomot, presiune etc..
- *Monitorizarea dispozitivelor şi a aplicațiilor casei inteligente* – Deoarece dispozitivele şi actuatorii în sistemul casei inteligente pot furniza informații contextuale valoroase, monitorizând care dintre dispozitive este folosit precum şi starea lor actuală este foarte importantă pentru îndeplinirea obiectivelor sistemului curent. Astfel sistemul va monitoriza:
  - Starea uşilor – închis / deschis / încuiat;
  - Starea porții de la garaj – închis / deschis;
  - Starea sistemului de încălzire – închis / deschis / nivel de încălzire;
  - Starea sistemului de iluminare – închis / deschis;
  - Starea ferestrelor – închis / deschis ş.a.m.d.

4.1.2.2 Procesarea datelor de context

Raționamentele aplicate pe datele contextuale, inferă date contextuale de nivel superior din date de context senzoriale şi atomice, menținând consistența bazei de cunoştințe. Sistemul va îngloba reguli de inferență şi de asemenea reguli auto-configurabile, pentru a putea raționa asupra informațiilor contextuale.

Determinarea tipului de activitate înfăptuită de un locuitor al casei inteligente este o problemă complexă pentru sistemul senzitiv la context al casei şi este bazată pe achiziția informațiilor atomice de nivel inferior precum locația, monitorizarea condițiilor de mediu sau a dispozitivelor folosite.

Aceste date sunt procesate şi în timp sistemul stabileşte preferințele personale ale fiecărui locuitor, pentru ca ulterior să determine programul zilnic al fiecărui locuitor. Astfel sistemul va îngloba şi funcția de învățare, pentru a deduce şi actualiza preferințele utilizatorilor.

4.1.2.3 Propagarea datelor de context

După achiziționarea informațiilor contextuale relevante, datele contextuale trebuie să fie propagate la dispozitive, roboți, aplicații. De asemenea aceste informații necesită să fie adaptate în funcție de tipul dispozitivului, în cazul în care un anumit dispozitiv al casei inteligente necesită acele informații.

4.1.3 Adaptarea roboților la casa inteligentă

Cele trei tipuri de roboți cu care va fi prevăzut sistemul casei inteligente sunt robotul supervizor, robotul care îndeplineşte misiuni şi robotul de companie, care se ocupă de divertismentul locuitorilor casei.

Aceşti 3 roboți vor trebui adaptați la sistemul casei inteligente. Provocările construirii adaptabilității roboților la sistemul casei inteligente se rezumă la două motivații-cheie. Prima, un model adecvat sistemului casei inteligente, proiectat pentru a îndeplini misiunile pentru care ei au fost introduşi, respectiv, descrierea modelului folosind un limbaj cunoscut sistemului.

4.1.3.1 Reprezentarea adecvată a roboților

Unul din rolurile esențiale ale unei reprezentări este ca aceasta să îndeplinească rolul de substitut al obiectului real care trebuie controlat. O reprezentare bună a roboților face de asemenea posibilă raționarea pe baza modelului, putând astfel executa diferiți algoritmi de raționare pentru a infera cunoştințe noi pentru a reflecta cât mai bine cu putință evoluția ulterioară a lumii în care acționează sistemul.

Elaborarea unui astfel de model a fost tot timpul o provocare pentru oricine a fost interesat de reprezentarea unei părți din lumea reală. Faptul că trebuie să reprezentăm de exemplu elementele reprezentative ale stării în care un membru al familiei, este supărat sau gânditor, pentru a putea alerta robotul de companie să înceapă să îşi facă datoria poate fi de multe ori o problemă complexă şi greu de atins.

4.1.3.2 Comunicarea dintre roboți

În plus față de reprezentarea adecvată a roboților, inteligența sistemului robotic constă de asemenea în interacțiunea acestuia cu mediul casei inteligente. Roboții care execută servicii pentru un mediu casnic inteligent, trebuie să aibă mai multe funcționalități cheie: localizare, navigare, cartografiere, interacțiune om-robot, recunoaştere de obiecte şi manipulare de obiecte. Pentru a executa aceste funcționalități roboții trebuie să fie în legătură cu sistemul senzorial al casei, precum şi cu ceilalți roboți pentru a prelua informații relevante.

4.1.3.3 Serviciile roboților din casa inteligentă

Scenariile pentru roboți dorite în casa inteligentă tratată în lucrarea de față sunt:

- **Mutarea obiectelor –** Acest scenariu are la bază mutarea obiectelor din camera copiilor când aceştia sunt plecați de acasă, precum şi a altor obiecte din diferite camere, în contextul în care robotul este înştiințat că aceste obiecte nu se află la locul lor. Robotul („mission robot") desemnat pentru a înfăptui această sarcină navighează prin cameră şi identifică respectivele obiecte folosind semnale RFID, ridică, transportă şi depozitează obiectele în poziția desemnată. Printre obiectivele urmărite din acest scenariu sunt depozitarea jucăriilor în cutii şi depozitarea lor în locul lor de depozitare, de exemplu, garaj.
- **Servicii de divertisment pentru copii –** Acest serviciu este un serviciu complex, în care se detectează starea de spirit a copiilor, în cazul în care se detectează că unul dintre aceştia ar fi supărat, robotul de divertisment („pet robot") intră în acțiune, îndeplinind anumite planuri preluate din baza sa de cunoştințe şi ducându-le la finalitate, până când se atinge unul din obiectivele fixate şi anume ca starea de spirit a copilului supărat să se schimbe într-una mai veselă.
- **Patrularea prin diferite încăperi ale casei –** Acest scenariu este menit să ajute la supravegherea casei inteligente, să detecteze sosirea sau plecarea unui membru de

acasă, să detecteze eventuali intruşi. Robotul („supervisor robot”) menit să înfăptuiască acest scenariu supraveghează buna funcționare a celorlalți roboți şi detectează schimbări de mediu pentru a putea alerta sistemul sau ceilalți roboți de noile planuri şi obiective care trebuie îndeplinite.

4.2 Arhitectura sistemului

Cum a fost detaliat în capitolele anterioare, dezvoltarea sistemelor multi-agent omniprezente trebuie sa ia în considerare o serie de factori:

- Omniprezența dispozitivelor folosite;
- Interoperabilitate;
- Comportament proactiv;
- Scalabilitate;
- Acurateţe;
- Mobilitate;
- Securitate.

Pentru flexibilitate şi scalabilitate arhitectura aleasă este o arhitectură orientată pe agenți, distribuită şi ierarhică. Este alcătuită din 5 componente legate între ele, precum în Figura 4.1 Diagrama arhitecturală a sistemului.

4.2.1 Nivelul Senzorial

Acest nivel controlează traficul de informații captate de la senzori şi le transmite la sistem prin platforma unde urmează să fie prelucrate. Agenții logici software de la acest nivel transformă informațiile preluate de la nivelul fizic, transformându-le în informații inteligibile pentru calculator.

Agenții senzor de la acest nivel achiziționează datele specifice şi controlează acuratețea lor fiind capabili să detecteze funcționarea malițioasă a senzorilor sau alte tipuri de erori.

Pentru fiecare tip de senzor din sistem este responsabil un agent logic, care monitorizează schimbările de context şi eventualele erori apărute.

Un agent supervizor supraveghează ciclul de viață a agenților logici senzoriali şi este responsabil de pornirea acestora şi de controlarea lor.

4.2.2 Nivelul Dispozitivelor

Nivelul dispozitivelor are un scop asemănător cu nivelul senzorilor, cu deosebirea că agenții specifici acestui nivel manipulează datele venite de la nivelul fizic legate de celelalte dispozitive senzitive la context acestea fiind achiziționate la acest nivel înainte de a fi trimise la sistem.

Un agent este responsabil pentru fiecare dispozitiv omniprezent, astfel toate datele preluate de la unul dintre aceste dispozitive fiind procesate la acest nivel şi trimise mai departe la sistem

De asemenea un agent supervizor este responsabil de ciclul de viață al agenților pentru dispozitive şi este responsabil de pornirea şi oprirea acestora.

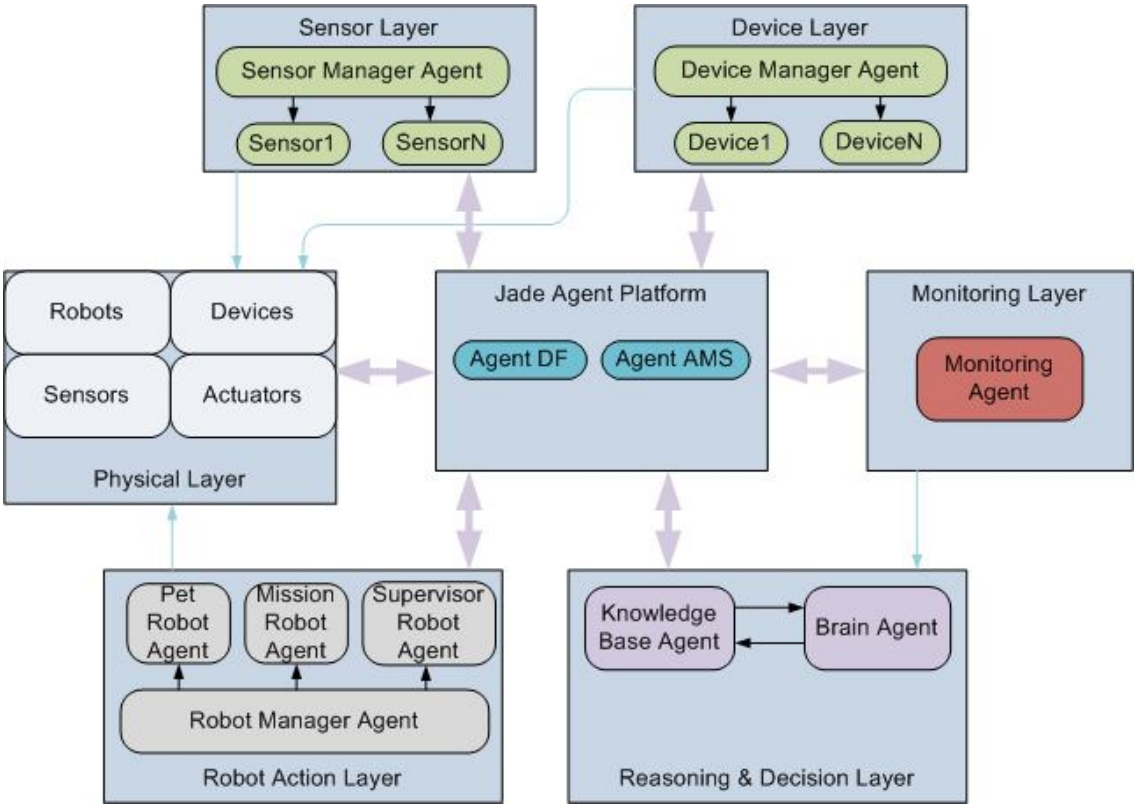


Figura 4.1 Diagrama arhitecturală a sistemului

4.2.3 Nivelul Roboților

În acest nivel se mapează la nivel de agenți roboții din sistem preluând informațiile de la nivelul fizic legate de roboți şi introducându-le în sistem. Cei trei roboți monitorizați prin agenți logici sunt:

- Pet Robot – robotul preocupat de divertismentul din casă;
- Mission Robot – mutarea diferitelor obiecte din casă;
- Supervisor Robot – care monitorizează activitatea roboților precum şi alte schimbări legate de locuitorii casei.

Agentul logic Robot Manager este responsabil de controlarea agenților logici pentru roboți, fiind senzitiv la modificările apărute în activitatea roboților activi din casă.

4.2.4 Nivelul Decizional

La acest nivel, prin introducerea regulilor de inferență, informațiile despre context de nivel înalt sunt deduse din informațiile de context preluate de la diferitele dispozitive ubiquitous. Tot acest nivel este responsabil de crearea, menținerea şi actualizarea bazei de cunoştințe.

Astfel baza de cunoştințe furnizează informații actualizate salvate ca urmare a unor diferite acțiuni din sistem şi salvează informațiile contextuale specifice fiecărei entități din sistem. Agentul logic responsabil pentru baza de cunoştințe are responsabilitatea de a raționa în privința contextelor existente. Rezultatele raționamentelor făcute de acest agent sunt comunicate celorlalți agenți prin platformă, acestea fiind concretizate prin acțiuni.

Tot acest nivel are şi funcția de învățare, învățând preferințele actorilor umani ai casei inteligente.

4.2.5 Nivelul de control şi monitorizare

Acest nivel concretizează interacțiunea dintre roboți şi oameni, precum şi dintre oameni şi sistem, furnizând capacități de nivel înalt pentru interacțiunea dintre entitățile din casa inteligentă.

Dintre facilitățile oferite de acest nivel enumerăm: înregistrarea a noi entități fizice în sistem, precum un dispozitiv utilizator, înregistrarea unor noi acțiuni sau misiuni, reprezentarea grafică a mediului casei pentru utilizator.

4.2.6 Nivelul fizic

Acest nivel reprezintă senzorii la nivel fizic, diferite obiecte, dispozitive, actuatori care furnizează informații de cele mai multe ori eronate sau inconsistente despre sistem. Fiecare informație provenită de la o categorie de dispozitive fizice este controlată şi prelucrată de un anumit nivel din arhitectura curentă, înainte de a fi trimisă la nivelul de achiziționare de context din sistem.

5 PROIECTARE DE DETALIU

În acest capitol se detaliază procedura de proiectare a sistemului Smart House. Aici se va explicita proiectarea sistemului începând de la nivelul inferior până la proiectarea sistemului în ansamblu. De asemenea se vor prezenta detaliile de arhitectură, diagramele de clase, cazurile de utilizare precum şi detaliile de implementare şi dificultăţile întâmpinate în decursul dezvoltării sistemului.

5.1 Analiza cerinţelor

În această fază se organizează actorii şi obiectivele majore, se definesc participanţii la sistemul curent, precum şi legăturile între aceştia. Această fază de analiză se completează răspunzând la câteva întrebări şi modelarea răspunsului la acestea în mod vizual în diagrama de interacţiune a sistemului (Figura 5.1).

- Cine sunt actorii principali ai sistemului?

Etapa de identificare a participanţilor la sistemul casei inteligente a demonstrat că actorii principali care interacţionează cu sistemul sunt membrii familiei care au autoritate asupra sistemului, putând face modificări şi lua decizii, precum şi alţi membri care nu aparţin familiei şi care pot fi trataţi ca invitaţi sau intruşi. Oaspeţii au privilegii limitate, în timp ce intruşii nu au privilegii în sistem.

- Care sunt obiectivele lor?

Membrii familiei au următoarele obiective în sistemul casei inteligente:

A. Managementul Misiunilor – membrii familiei vor putea planifica sau anula anumite misiuni;
B. Controlul Casei inteligente – reprezintă abilitatea unui actor de a controla aparatele, senzorii, actuatorii sau roboţii casei inteligente;
C. Vizualizarea hărţii casei inteligente – reprezintă abilitatea de a vizualiza mediul inteligent al casei incluzând poziţia oamenilor, roboţilor, statusul dispozitivelor, al senzorilor şi informaţii deduse despre context, precum starea emoţională dedusă.

- Cum pot aceştia să le îndeplinească, depinzând sau nu de ceilalţi actori ai sistemului?

Pentru a îndeplini starea de fapt dorită de membrii familiei, se pot asigna responsabilităţile şi obiectivele agentului de interacţiune cu sistemul casei inteligente. Acesta îndeplineşte rolul de agent de proximitate, fiind cel care interacţionează cu sistemul cerând o planificare a noilor obiective cerute de către membrul familiei.

Următorul pas în această fază este analiza fiecărui obiectiv şi descompunerea lui în sub-obiective cu cât mai atomice posibil, privind din perspectiva unui singur actor, şi arătând mijloacele de a le îndeplini, adică alte obiective care ar putea preveni sau ar putea contribui la atingerea obiectivului curent.

După ce s-a răspuns la aceste întrebări, următorul pas este identificarea actorilor secundari care contribuie la sistemul Smart House. Actorii secundari ai sistemului sunt sistemul casei inteligente cu cele două ramificaţii: sistemul de control şi sistemul de monitorizare.

Sistemul de control se bazează pe agenţii de management ai senzorilor, dispozitivelor, roboţilor şi actuatorilor pentru execuţia de planuri în vederea atingerii obiectivelor.

Sistemul de monitorizare construieşte harta mediului casei inteligente furnizând informaţii personalizate actorilor familiei prin mijlocirea oferită de agentul de interacţiune.

Harta mediului este procesată de către sistemul de control care include mecanisme decizionale pentru a se adapta în mod dinamic la noile informaţii contextuale preluate.

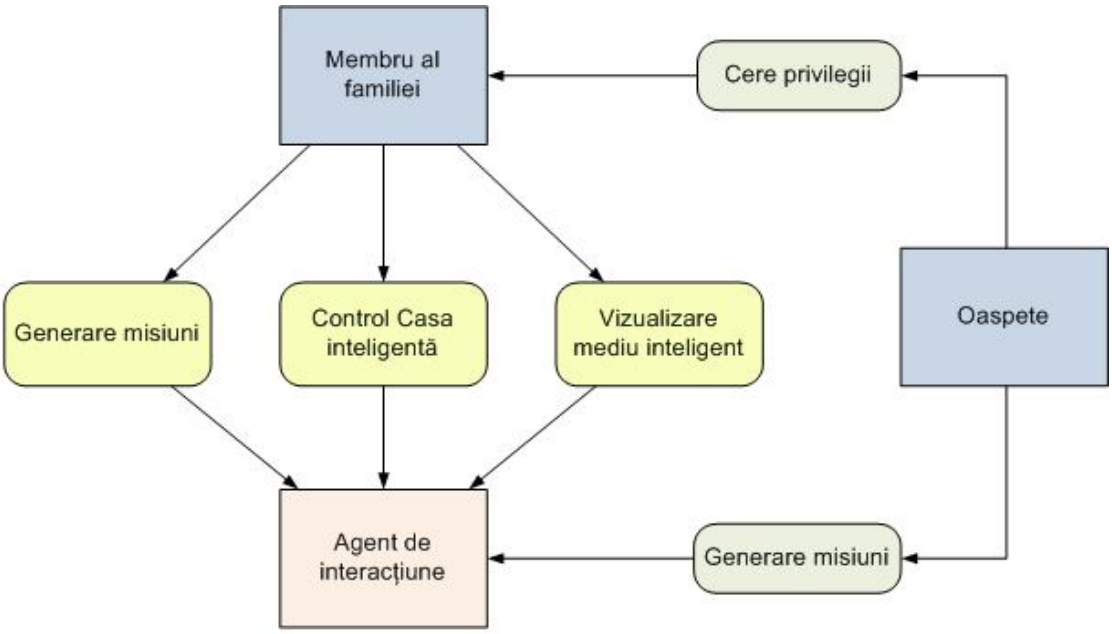


Figura 5.1 Diagrama de interacţiune între actorii şi sistemul casei inteligente

5.2 Proiectarea arhitecturii

Proiectarea şi implementarea arhitecturii sistemului multi-agent prezentată în capitolul anterior va fi detaliată în această secţiune. Agenţii implicaţi la nivelul fiecărui modul sunt responsabili pentru a atinge anumite obiective, pentru aceasta ei efectuând anumite planuri care sunt cerute de către sistemul de roboţi. Anumiţi agenţi suplimentari sunt introduşi pentru a contribui la îndeplinirea unor cerinţe funcţionale sau non-funcţionale.

Mijloacele prin care se pot atinge obiectivele, şi anume planurile şi presupunerile iniţiale, pot fi descompuse până la activităţi unitare. Proiectarea arhitecturală cuprinde următoarele faze:

- *Descompunerea şi detalierea diagramei arhitecturale generală* – această fază implică apariţia a noi actori şi noi sub-obiective şi planuri care au ca scop îndeplinirea cerinţelor funcţionale ale sistemului;
- *Includerea de noi actori specifici stilului arhitectural*;
- *Includerea de noi actori care să contribuie proactiv la îndeplinirea cerinţelor non-funcţionale*;
- *Identificarea capacităţilor*.

5.2.1 Sistemul de roboţi

Sistemul SmartHouse dezvoltat fiind echipat cu 3 roboţi, un subsistem multi-agent a fost proiectat pentru a se ocupa cu acţiunile specifice roboţilor. Roboţii trebuie să poată să înfăptuiască misiuni de manipulare a obiectelor, dar au şi capacităţi de raţionare pentru a putea opera în mod autonom, expunând astfel un comportament senzitiv la context.

Agentul manager al roboţilor are rolul de a iniţia misiunea celor trei agenţi roboţi. Fiecare dintre aceşti trei agenţi are responsabilităţi bine definite, şi poate să execute misiuni

planificate sau chiar şi neplanificate, în funcție de contextul curent. Diagrama de obiective majore pentru sub-sistemul de roboți poate fi văzută în Figura 5.2. Fiecare dintre cei trei roboți are planuri şi obiective diferite. În continuare vom detalia arhitectura agenților roboți.

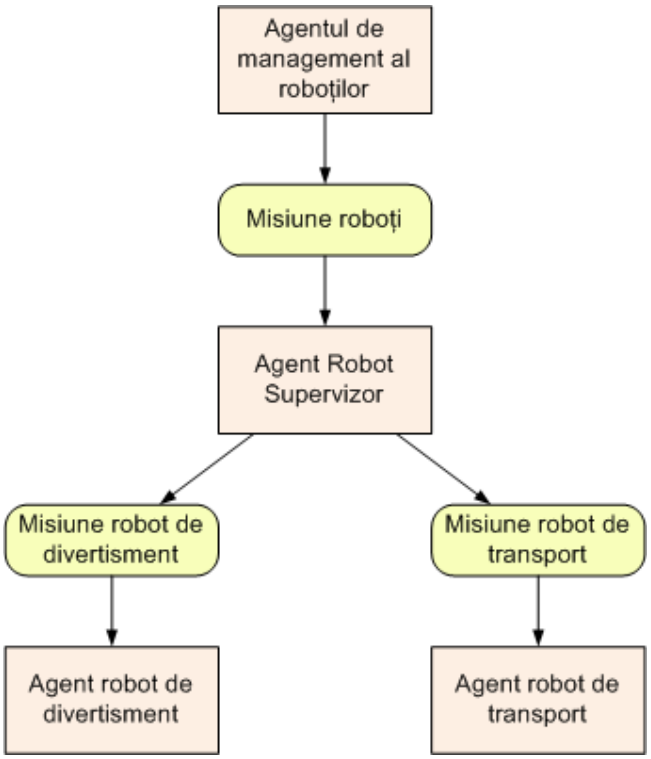


Figura 5.2 Diagrama de obiective a sub-sistemului de roboți

5.2.1.1 Agentul Robot Manager

Misiunea acestui agent este crearea sistemului de agenți roboți al sistemului multi-agent al casei. Atunci când porneşte sistemul Smart House îndeplineşte următoarele acțiuni:

- *Înregistrare agent la platforma de agenți* – Acest lucru se face printr-un sistem request-response prin care se cere platformei autorizarea pornirii agentului manager.
- *Căutare agenți roboți în baza de cunoştințe* – După ce înregistrarea acestui agent s-a înfăptuit cu succes el este responsabil cu căutarea în baza de cunoştințe a agenților de tip robot pe care trebuie să ii pornească.
- *Pornire agenți roboți* – După ce au fost găsite toate posibilele instanțe de agenți, managerul de roboți caută misiunile fiecăruia dintre roboți şi porneşte fiecare tip de agent robot cu misiunea asignată.
- *Supraveghere funcționare agenți roboți* – După procesul de pornire a acestor agenți, dacă procesul a fost terminat cu succes, se supraveghează din punct de vedere funcțional software buna funcționare a agenților de tip robot.
- *Oprire agenți roboți* – Dacă se declanşează procesul de oprire a sistemului multi-agent, acest agent este alertat cu acest lucru şi opreşte toți agenții logici aflați în subordinea sa.

Agentul manager de roboți are asignate următoarele ipoteze, planuri şi obiective:

- **Ipoteze** („beliefs”)
  - *Tipul roboților* – aceasta ipoteză este necesară pentru a şti ce tip de cunoştințe să caute în baza de cunoştințe;
  - *Creare robot nou* – această ipoteză specifică tipul de obiect cu care va fi instanțiat robotul;
  - *Distrugere roboți* – această ipoteză permite agentului manager distrugerea celorlalți agenți folosind agentul AMS.
- **Planuri** („plans”)
  - *Plan de găsire a agenților roboți* – Acest plan se concretizează printr-o operație de extragere a tipurilor de roboți din baza de cunoştințe folosind un mecanism de tip request-response între acest agent şi agentul responsabil cu baza de cunoştințe;
  - *Plan de distrugere a agenților roboți* – Acest plan se concretizează prin distrugerea agenților roboți creați.
- **Obiective** („goals”)
  - *Creare agent* – Acest obiectiv este o referință spre unul din obiectivele agentului master al platformei numit AMS („Agent Management Service”);
  - *Înregistrare agent* – Acest obiectiv este o referință spre unul din obiectivele agentului de tip DF al platformei de agenți.

După cum s-a văzut mai sus acest agent manager de roboți joacă un rol esențial în crearea sub-sistemului multi-agent pentru roboții casei. El nu este implicat direct în vreuna din misiunile de bază ale sistemului multi-agent al casei, dar se comportă ca un agent master care comunică cu sistemul de control al casei, fiind responsabil pentru managementul celorlalți agenți robotici ai casei.

5.2.1.2 Agentul Robot Supraveghetor

Agentul robot supraveghetor este agentul care mapează la nivel software acțiunile pe care robotul supervizor trebuie să le îndeplinească, el având misiunea de a supraveghea acțiunile celorlalți roboți care participă activ la misiunea casei, efectuând acțiuni în scopul de sporire a confortului locatarilor.

Acțiunile acestui agent robot sunt:

- *Căutare agenți roboți în baza de cunoştințe* – Această operațiune se execută odată cu crearea acestuia de către agentul manager, el căutând instanțele de roboți pe care va trebui să îi supravegheze, căutând toate detaliile (ipoteze, planuri, obiective) despre ei şi monitorizând buna funcționare a acestora;
- *Procesarea schimbărilor de context* – Schimbarea sau adăugarea de noi cunoştințe care au impact direct asupra sub-sistemului de roboți vor fi sesizate şi procesate de către acest agent;
- *Înregistrarea acțiunilor efectuate de robotul misiune şi robotul divertisment* – Planurile şi obiectivele care trebuie atinse de către roboții supervizați sunt sesizate de către acest robot;
- *Planificarea de noi acțiuni* – În cazul unor schimbări de cerințe sau alte schimbări de context, robotul supervizor va putea planifica noi acțiuni pe care roboții supervizați să le îndeplinească;
- *Înregistrarea de noi ipoteze* – În cazul în care în baza de ipoteze a subsistemului de roboți apar ipoteze acestea vor fi sesizate de către agent şi vor fi procesate;
- *Stabilirea de noi obiective* – Obiectivele noi vor fi planificate de către acest agent pentru a fi atinse.

Acest agent are asignate următoarele ipoteze, planuri şi obiective:

- **Ipoteze** („beliefs”)
  - *Locație* – locația inițială în care se află robotul;
  - *Tipul robotului* – tipul robotului;
  - *Început misiune* – timpul în care porneşte misiunea;
  - *Sfârşit misiune* – timpul în care se sfârşeşte misiunea;
  - *Mediul curent al casei inteligente* – această ipoteză se mapează printr-un obiect de tip singleton care conține toate cunoştințele despre casă;
  - *Mediul vizual curent al casei inteligente* – această ipoteză creează mediul casei inteligente în mod vizual.
- **Planuri** („plans”)
  - *Supraveghează ținte* – supraveghează roboții țintă;
  - *Patrulare* – Patrulează încăperile casei.
- **Obiective** („goals”)
  - *Înregistrare DF* – înregistrare robot la registrul de tip „pagini aurii”;
  - *Deregistrare DF* – deînregistrare robot de la serviciul de tip „pagini aurii”;
  - *Redă cunoştințele despre casă roboților care îndeplinesc acțiuni* – Această funcție redă toate cunoştințele despre mediu existente în baza de cunoştințe tuturor actorilor de tip robot.

5.2.1.3 Agentul Robot Misiune

Agentul Robot pentru misiuni este un robot specializat care are ca scop executarea diferitelor munci prin casa inteligentă. Capacitățile de comunicare a acestui robot cu ceilalți agenți roboți şi cu mediul Smart House sunt:

- *Cerere de vizualizare a mediului şi înregistrare a acestuia* – Robotul de tip misiune cere robotului supervizor informații despre casa inteligentă, coordonate de mişcare, harta casei, şi alte informații;
- *Descoperire obiecte utile* – În cazul în care robotul are nevoie de anumite obiecte pentru a duce la capăt o misiune (o cutie, un loc de depozitare), în cazul în care acesta trece pe lângă vreunul dintre aceste obiecte, le identifică şi le adaugă în baza proprie de cunoştințe;
- *Cerere de actualizare a mediului casei inteligente* – În cazul în care se produce o schimbare în mediul robotul de tip misiune, cere robotului supervizor reîncărcarea viziunii asupra lumii şi implicit a mediului casei inteligente.

Obiectivele majore ale acestui agent robot sunt proiectate astfel încât robotul misiune să poată îndeplini obiectivele majore prezentate în Figura 5.3. Astfel obiectivele majore ale acestui robot de tip misiune sunt:

- *Menține acumulatorul încărcat* – Dacă nivelul acumulatorului scade sub un anumit nivel, celelalte obiective devin ignorate pentru moment, singurul obiectiv al robotului de tip misiune rămânând obiectivul de a menține acumulatorul peste nivelul de urgență. Astfel se spune că acest tip de obiectiv este *inhibant*. Este obiectivul de tip obiectiv de menținut setat pentru robotul misiune;
- *Menține camera copiilor curată* – Dacă în camera copiilor se află o cutie cu jucării, mută această cutie în locul de depozitare cunoscut. Acest obiect este blocant față de celelalte obiective, în cazul în care robotul identifică o cutie care trebuie transportată acesta îşi setează ca obiectiv mutarea acelei cutii, în pasul următor, indiferent dacă robotul se află într-o altă misiune de depozitare a vreunei cutii. Acest obiectiv are asignat un plan de căutare a cutiilor, înregistrând în baza proprie de cunoştințe noile cutii apărute în mediul casei inteligente;

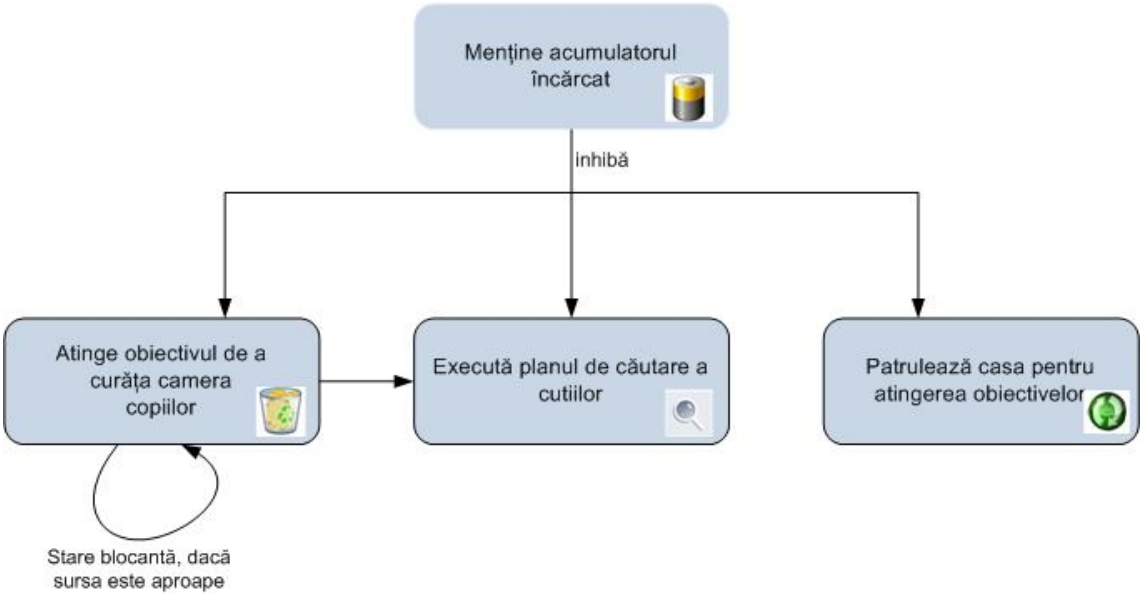


Figura 5.3 Obiectivele robotului transportor în casa inteligentă

- *Patrulează casa pentru atingerea obiectivelor* – Se setează anumite puncte de patrulare ale robotului care sunt urmărite în modul normal când robotul nu se află în misiune de reîncărcare sau în alt tip de misiune. În mod normal dacă apare o schimbare de context, robotul iese din modul de patrulare, îndeplinind obiectivele prioritare.

Ipotezele, obiectivele şi planurile acestui tip de robot sunt:

- **Ipoteze** („beliefs”)
  - *Mediul curent* – Robotul transportor are referinţă spre mediul curent;
  - *Cutiile reperate* – În cazul în care robotul transportor a reperat o cutie el adaugă acest reper în baza de ipoteze;
  - *Locurile de depozitare reperate* – Dacă robotul a trecut prin raza locului de depozitare acesta adaugă acel loc de depozitare ca un fapt cunoscut în baza lui de ipoteze;
  - *Puncte de încărcare* – Robotul reperează cu ajutorul senzorilor de locaţie punctele de încărcare a acumulatorilor;
  - *Locaţia* – Locaţia curentă a robotului. Această ipoteză se actualizează cu fiecare mişcare a robotului;
  - *Raza vizuală* – Această ipoteză reprezintă un factor care determină aria vizuală a robotului. Toate obiectele de interes care se vor afla în interiorul acestei arii vizuale vor fi reperate şi salvate ca ipoteze;
  - *Nivelul acumulatorului* – Această ipoteză reprezintă procentul de încărcare a acumulatorului robotului actualizată odată cu mişcarea robotului sau încărcarea lui;
  - *Punctele de patrulare* – Aceste constante reprezintă coordonatele de mişcare ale robotului. Robotul se va mişca între aceste puncte dacă nu are un alt obiectiv mai prioritar de îndeplinit;
  - *Mediul curent în mod vizual* – Această ipoteză se concretizează prin instanţierea unei ferestre de vizualizare a acţiunilor robotului transportor.
- **Planuri** („plans”)

- *Planul de patrulare prin casă* – Patrularea prin casă se concretizează prin executarea unui plan în care robotul iterează în mod ciclic nişte sub-planuri prin care robotul se mişcă de la locația sa curentă la locația următoare specificată;
- *Planul de ridicare a unei cutii* – Acest plan se concretizează prin cererea către robotul supervizor de actualizare a mediului şi crearea unei noi ipoteze a robotului. Obiectivul final care trebuie îndeplinit ca urmare a executării planului este obiectivul de ridicare a cutiei;
- *Planul de depozitare a unei cutii* – Acest plan se execută având ca obiectiv final depozitarea cutiei în garaj, fiind actualizate ipotezele legate de cutiile transportate de robot, cât şi ipotezele legate de mediu;
- *Planul de mişcare într-o altă locație* – Acest plan este folosit ca sub-plan în cazul patrulării şi se concretizează prin actualizarea ipotezelor legate de locație, precum şi actualizarea mediului casei inteligente;
- *Planul de încărcare a acumulatorului* – Acest plan se concretizează prin stabilirea sub-obiectivului de mişcare a robotului spre locația locului de încărcare şi încărcarea acumulatorului până la nivelul stabilit. Acest plan se execută cu scopul de a îndeplini obiectivul de încărcare a bateriei.

- **Obiective** („goals") – Obiectivele în mediul de dezvoltare a agenților se despart în trei tipuri: obiective de menținut („maintain goals"), obiective de atins („achieve goals"), obiective de efectuat („perform goals") şi obiective de tip interogare („query goals").
  - **Obiective de menținut**
    - *Menține bateria încărcată* – Acest obiectiv este obiectivul de cea mai înaltă prioritate în sistem, toate celelalte execuții de planuri pentru a îndeplini obiective fiind oprite pentru a se executa planul de mutare a robotului transportor înspre acumulator. Nivelul de energie care trebuie menținut este un nivel mai mare de 20% din valoarea totală a acumulatorului. Nivelul optim de energie este 100%, astfel la fiecare încărcare robotul aşteaptă pentru a se atinge acest nivel.
  - **Obiective de atins**
    - *Obiectivul de a curăța camera copiilor* – Este obiectivul esențial pentru robotul de tip transportor, pentru executarea sa fiind create planurile descrise mai sus. Sub-obiectivele fixate, care trebuie îndeplinite pentru a putea atinge acest obiectiv major, sunt obiectivul de a ridica o cutie, obiectivul de a depozita o cutie şi obiectivul de mişcare;
    - *Obiectivul de a ridica o cutie* – Obiectivul se atinge prin efectuarea cu succes a planului desemnat pentru acest lucru;
    - *Obiectivul de a depozita o cutie* – Obiectivul se atinge prin executarea planului de depozitare a cutiei;
    - *Obiectivul de a se mişca într-o anumită locație* – Obiectivul este concretizat prin efectuarea planului de schimbare a locației robotului.
  - **Obiective de efectuat**
    - *Patrulare* – Acesta este un obiectiv de prioritate joasă care se execută atunci când nici un alt obiectiv mai prioritar nu trebuie îndeplinit;

- *Efectuează căutarea cutiilor* – În mişcarea sa prin camera copiilor robotul identifică cutiile care trebuie depozitate.

- **Obiective de tip interogare**
  - *Caută staţii de încărcare* – Acest obiectiv este un obiectiv de tip interogare, deoarece robotul cere informaţii despre mediu legate de staţiile de încărcare;
  - *Caută locuri de depozitare* – Robotul cere informaţii despre mediu prin robotul supervizor, legate de locurile de depozitare din casă.

5.2.1.4 Agentul Robot Divertisment

Agentul robot divertisment este un agent mai complex ,care trebuie să detecteze starea de spirit a copiilor, iar în cazul în care se consideră că trebuie să schimbe starea de spirit a acestora să o facă. Locul acestuia este tot în camera copiilor. Obiectivul său este îndeplinirea acţiunii de înveselire a copiilor. Pentru aceasta robotul de divertisment va executa diferite planuri în funcţie de ipotezele formate şi de cerinţele venite de la robotul supervizor.

5.2.2 Sistemul de senzori

Sub-sistemul de senzori conţine agenţi logici care furnizează funcţii de achiziţie de context. În mod mai specific, ei adună informaţii despre context de nivel inferior, de la anumiţi senzori. Agentul senzor de lumină, agentul senzor de temperatură, agentul senzor de umiditate, precum şi agentul senzor de zgomot procesează informaţiile venite de la senzori, care de cele mai multe ori sunt eronate, conţin zgomote. Se folosesc diferite metode specifice pentru a le interpreta şi se comunică rezultatele agentului de monitorizare a sistemului. Agentul manager de senzori are rolul de a detecta şi monitoriza agenţii de tip senzor, detectând eventualele erori sau funcţionalităţi anormale.

Managerul de senzori are obligaţia de notifica sistemul de monitorizare a casei prin agentul de monitorizare dacă un comportament anormal a fost detectat şi totodată sistemul de control al casei, care ia măsurile specifice în vederea tratării acestui caz. O vedere detaliată despre relaţia dintre componentele sub-sistemului de senzori este detaliată în Figura 5.4.

Totodată, sistemul de monitorizare trebuie să fie capabil să dicteze acţiuni sistemului de senzori, prin agentul manager, acţiuni legate de funcţionarea acestora precum şi de parametrii de funcţionare.

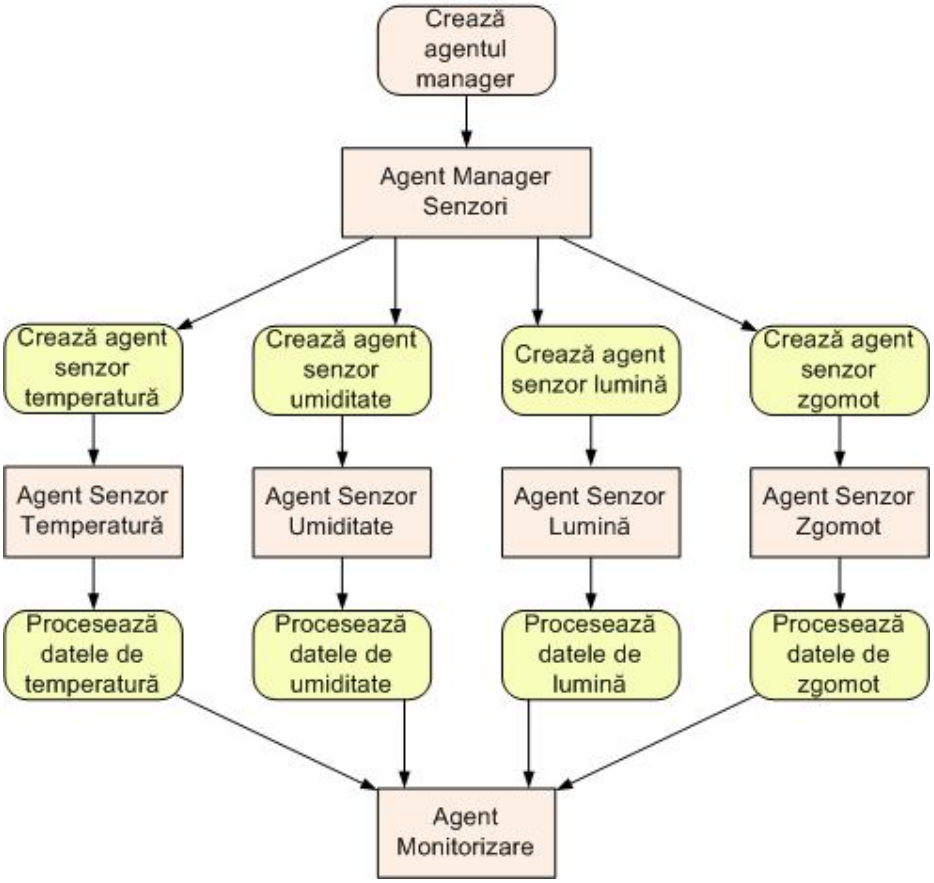


Figura 5.4 Sistemul de senzori al casei inteligente

5.2.3 Sistemul de dispozitive

Sub-sistemul de dispozitive monitorizează informațiile contextuale furnizate de echipamentele interioare ale casei (frigider, televizor ş.a.m.d.), supraveghind care dintre dispozitive sunt în folosință şi care este starea lor de funcționare. Pentru fiecare dispozitiv un agent specific este delegat pentru a interpreta semnalele venite de la dispozitive şi pentru a executa operații precum pornirea sau oprirea dispozitivului. Diagrama de activitate în sub-sistemul multi-agent pentru dispozitive poate fi vizualizată în Figura 5.5.

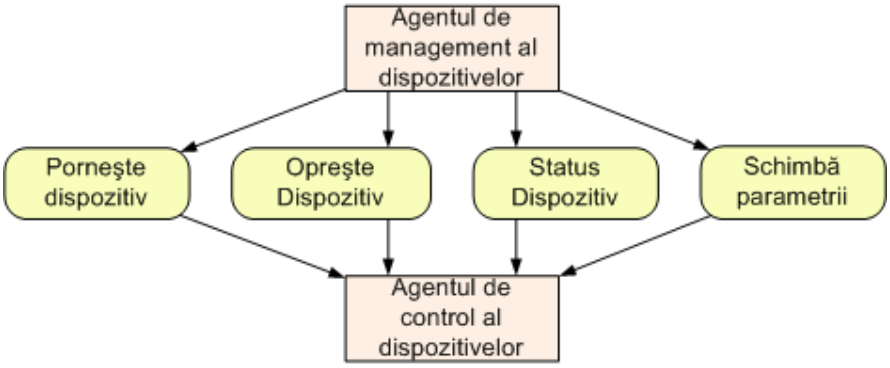


Figura 5.5 Sistemul de dispozitive al casei inteligente

5.2.4 Sistemul de control

Sistemul de control este responsabil de execuția de planuri decizionale bazate pe reguli. Acest sistem este sistemul de raționare a casei inteligente. Din baza de cunoştințe în care se adună cunoştințe de nivel inferior despre casa inteligentă prin mecanismele de raționare se deduc cunoştințe de nivel înalt. Obiectivele majore ale acestui sistem sunt precum cele prezentate în Figura 5.6.

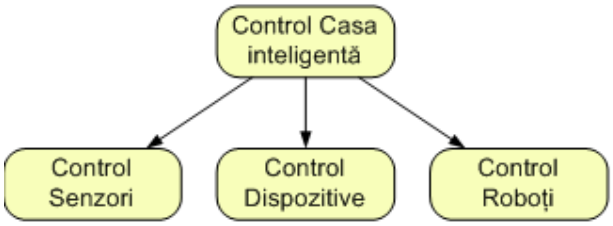


Figura 5.6 Obiectivele sistemului de control al casei inteligente

5.2.5 Sistemul de monitorizare

Sistemul de monitorizare al casei inteligente foloseşte informațiile relevante precum locația persoanelor sau a roboților, identificarea actorilor sau statutul dispozitivelor sau a senzorilor. Agentul responsabil pentru monitorizarea casei, foloseşte aceste informații de nivel inferior pentru a le trimite mai departe la sistemul de control al casei, care deduce contexte de nivel superior din aceste informații primite, integrând aceste informații în sistemul de informații al casei.

Sistemul cuprinde câteva interfețe utilizator menite să furnizeze o reprezentare vizuală a informațiilor contextuale furnizate de senzori, dispozitive sau obiecte şi de asemenea interactivitate vizuală pentru sistemul luat ca un întreg, prin crearea de noi planuri sau misiuni sau prin eliberarea comenzilor specifice pentru obiectele interioare.

Interfețele utilizator sunt proiectate ca fiind ipoteze pentru anumiți agenți Jadex, acestea instanțiindu-se odată cu înregistrarea cu succes a agentului la platforma de agenți. Aceste interfețe extrag informații contextuale din sistem folosind agenții specifici pentru fiecare domeniu specific. Următoarele funcționalități sunt furnizate de sistemul de monitorizare al casei:

- Reprezentare vizuală a locuitorilor, roboților, obiectelor sau dispozitivelor;
- Reprezentare vizuală a camerelor din casă;

- Reprezentare vizuală a informațiilor contextuale deduse, precum activitatea curentă sau starea emoțională;
- Monitorizarea statutului senzorilor şi dispozitivelor interioare (uşi, geamuri, senzori, dispozitive electronice ş.a.m.d.);
- Monitorizarea stării emoționale a locuitorilor casei;
- Trimiterea de răspunsuri către sistem specificând starea emoțională a locuitorilor casei;
- Managementul misiunilor.

Ecranele interfețelor utilizator vor putea fi vizualizate în secțiunea de anexe a documentului.

5.2.6 Proiectarea bazei de cunoştințe

Pentru a suporta mecanismele decizionale şi de raționare pentru agentul aflat la nivelul de raționamente şi decizii ale arhitecturii curente, sistemul se ramifică şi trebuie să integreze două sub-sisteme: un mediu persistent pentru reguli şi pentru o istorie a informațiilor contextuale, precum şi un sistem decizional.

Sistemul de reguli este un motor de inferență care permite integrarea mai multor tipuri de motoare de raționare şi inferență, dar aplicabil pentru sistemul curent fiind doar sistemul pentru RDFS şi OWL. Sistemul aplică regulile salvate în baza de reguli şi monitorizează fiecare schimbare care are loc la nivelul datelor reprezentate prin ontologii. Acest modul suportă inferența a noi reguli şi apoi regulile deduse sunt actualizate la nivelul modelului ontologic.

Ontologiile salvează conceptele reprezentate sub formă de perechi entitate-relație. Deoarece modelul ontologic este actualizat cu noi informații sau cu noi valori pentru informațiile deja existente, vechile valori sunt înregistrate în mediul persistent al sistemului, în asociere cu secvența de timp asociată.

Sistemul expert folosit, preluat dintr-un model, are şi capacitatea să învețe care ar fi cel mai bun răspuns pe care utilizatorul îl aşteaptă de la sistem. Sistemul expert este construit cu ajutorul rețelelor neuronale, care vor fi antrenate cu ajutorul unor exemple şi vor fi apoi adaptate bazat pe răspunsul utilizatorului, măsurând nivelul de satisfacție în cazul îndeplinirii unor anumite acțiuni. Totuşi această caracteristică este la nivel cercetare şi nu intră în scopul acestei lucrări.

5.3 Detalii de implementare

5.3.1 Caracteristici generale legate de implementarea sistemului

Sistemul a fost implementat folosind limbajul Java şi mediul de dezvoltare Eclipse pentru crearea proiectului.

S-a folosit mediul de dezvoltare a agenților Jadex care se poate instala ca o extensie Eclipse. După instalarea mediului în Eclipse va apărea în interfață un buton nou cu ajutorul căruia se va putea porni platforma de agenți.

Regulile de dezvoltare a agenților Jadex specifică faptul că descrierea agenților cu toate caracteristicile lor să se facă folosind fişiere de descriere XML. Descrierea unui agent BDI prin fişiere de descriere care să poată fi executat în Jadex va fi detaliată în secțiunea următoare.

Planurile specifice care ajută la îndeplinirea obiectivelor stabilite pentru agenți în particular şi pentru sistemul Smart House în general sunt descrise în limbajul Java, în toate planurile extinzând clasa abstractă *Plan* şi implementând metoda *body()*.

Pentru crearea ontologiilor s-a folosit limbajul OWL specificat sub formă de schemă RDF, iar editarea acestora s-a făcut folosind mediul de dezvoltare Protégé.

Pentru crearea claselor ontologice în reprezentarea Java s-a folosit o extensie Jadex a mediului Protégé numită Jadex Beanynizer care converteşte clasele ontologice în clase Nuggets, toate clasele implementând interfața INuggets.

Nuggets XML este o tehnologie proprietară Jadex referitoare la serializarea şi deserializarea între obiecte Java şi formatul XML. Are la bază tehnologia de transformare din clase în fişiere XML şi invers JibX, şi are un modul de encodare, numit bean-encoder disponibil în pachetul JDK care transformă clasele Java specificate după standardul Java Beans în XML standard. Aceste XML-uri sunt trimise apoi agentului destinatar din platformă care le deserializează înapoi în obiecte şi trimite înapoi un răspuns.

Folosirea uneltei Beanynizer facilitează crearea de clase Java după standardul Nuggets fiind uşor de folosit şi creând clase de date, nemodificabile, apoi clasele propriu-zise echivalente cu clasele ontologice, care pot fi modificate pentru a adăuga noi atribute utile.

Crearea mediului vizual s-a făcut folosind unealta JformDesigner, care facilitează crearea interfețelor utilizator, programatorul mai trebuind doar să adauge funcționalitățile aferente fiecărui tip de obiect. Pentru crearea mediului vizual s-a folosit tehnologia Java Swing.

5.3.1.1 Pachetele aplicației

Toate pachetele aplicației conțin prefixul smarthouse următorul nume relevant fiind modulul arhitectural din care acestea fac parte. Astfel pachetul *smarthouse.robots* defineşte toate definițiile legate de roboții din sistemul casei inteligente. Celelalte pachete tind să respecte modelul arhitectural specificat prin componente, astfel alte pachete relevante sunt *smarthouse.sensors, smarthouse.devices, smarthouse.ontology, smarthouse.knowledge.base.* Ontologiile şi clasele Nuggets generate sunt specificate în pachetul *smarthouse.ontology* iar partea vizuală şi de monitorizare a aplicației în pachetul *smarthouse.monitoring*.

5.3.2 Implementarea agenților

Pentru a crea aplicații cu Jadex dezvoltatorul trebuie să creeze două tipuri de fişiere:

- Fişiere de definire a agenților(„Agent Definition Files”, prescurtat ADF);
- Clase Java prin care se implementează planurile.

5.3.2.1 Implementarea fişierelor de descriere a agenților

Fişierele ADF de descriere a agenților pot fi privite ca o specificare a tipului unei clase de agenți care vor fi instanțiați. La momentul pornirii unui agent, în primul rând se încarcă fişierul ADF şi apoi se inițializează ipotezele, planurile şi obiectivele aşa cum au fost ele specificate.

Antetul unui ADF este obligatoriu şi are o structură bine stabilită care trebuie respectată. Un exemplu de astfel de fişier definit în proiectul curent poate fi văzut în Figura 5.7.

```
<agent xmlns="http://jadex.sourceforge.net/jadex"
       xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
       xsi:schemaLocation="http://jadex.sourceforge.net/jadex
                           http://jadex.sourceforge.net/jadex-0.96.xsd"
       name="MissionRobot"
       package="smarthouse.robots.world.mission">
```

Figura 5.7 Antetul fişierului de descriere a agenților ADF

În primul rând tag-ul „agent” specifică faptul că documentul XML respectă definiția de schemă *jadex-0.96.xsd* care permite verificarea faptului că documentul este un fişier valid ADF, nu doar un XML corect formulat. Numele tipului agentului este specificat prin atributul „name” şi trebuie să fie acelaşi cu numele dat în definirea numelui fişierului, dar înlăturând sufixul *„.agent.xml”*. Este de asemenea folosit ca un nume din oficiu pentru noi instanțe ale aceluiaşi agent când ADF este încărcat din aplicația grafică Jadex. Definiția pachetului specifică locul în care agentul trebuie să caute prima dată clasele necesare pentru planuri şi ipoteze, şi trebuie să corespundă cu locul în care fişierul XML este locat. În plus, pachete adiționale pot fi specificate folosind directiva *imports*.

Motorul Jadex necesită anumite proprietăți pentru inițializare, care sunt în mod implicit preluate din directorul *jadex/config/runtime.properties.xml*. În mod normal acest lucru nu este de interes pentru dezvoltatorii de agenți, dar uneori, precum este şi cazul de față, a fost necesară o schimbare a comportamentului motorului Jadex.

În Figura 5.8 se prezintă schema de definire a unui agent Jadex folosind fişierul ADF, toate acestea fiind elementele care pot fi specificate în interiorul fişierului ADF. Eticheta <*imports*> este folosită pentru a specifica ce clase şi pachete pot fi folosite de expresiile din fişierul ADF. Pentru a modulariza funcționalitatea agentului, agenții pot fi descompuşi după capacități. Capacitățile folosite de un agent sunt referențiate cu ajutorul tag-ului <*capabilities*>. Partea esențială a specificării unui agent se referă la definirea ipotezelor, obiectivelor şi planurilor agentului, care sunt plasate în tag-urile <*beliefs*>, <*goals*>, respectiv <*plans*>.

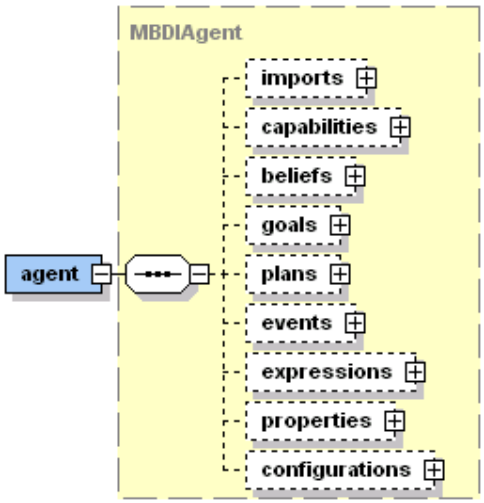


Figura 5.8 Schema de definire a unui agent Jadex

Evenimentele cunoscute de către agent sunt definite în secțiunea <*events*>. Secțiunea <*expressions*> permite specificarea expresiilor şi condițiilor care pot fi folosite ca interogări predefinite pentru planuri. Secțiunea <*properties*> este folosită pentru a crea setări legate de pildă, de logarea aplicației sau de depanarea ei. În sfârşit în secțiunea de <*configurations*> configurații predefinite care conțin ipotezele, obiectivele şi planurile inițiale sau obiectivele şi planurile finale sunt specificate.

Este de notat faptul că ordinea aparițiilor secțiunilor mai sus este fixă, fiind exact aşa cum a fost specificată în schema XML. De asemenea se pot omite acele elemente care nu sunt necesare în definirea agenților curenți.

Când fişierul ADF este încărcat, obiecte Java sunt create pentru elementele din XML(ex. ipoteze, obiective, planuri). Interfețele care specifică modelul acestor elemente sunt specificate în pachetul *jadex.model.* Exemple de astfel de interfețe sunt *IMBelief, IMGoal, IMPlan.* În cele mai multe cazuri, nu trebuie accesate aceste interfețe. Când un agent este executat, instanțe ale modelelor predefinite pentru elementele sale sunt create sub formă de elemente runtime. Acest lucru asigură ca în momentul rulării mai multe instanțe ale aceluiaşi model să poată fi create în mod simultan.

5.3.2.2 Implementarea planurilor

Planurile reprezintă mijloacele prin care agenții acționează în mediu. Astfel planurile compun librăria de acțiuni specifice agentului care le descrie. Depinzând de situația curentă planurile sunt selectate ca un răspuns la evenimentele sau obiectivele curente. Selecția planului care se execută se face în mod automat de către sistem şi reprezintă unul din aspectele esențiale ale infrastructurii BDI. În Jadex planurile sunt împărțite în două componente: antetul planului definit în ADF şi etalarea circumstanțelor în care un plan propriu-zis va fi instanțiat şi executat.

Implementarea antetului planurilor în fişierul ADF

În ADF poate fi definit un număr arbitrar de planuri în funcție de specificațiile agentului. Pentru fiecare antet câteva atribute sunt necesare pentru definirea validă a planului. Pentru fiecare plan, trebuie definit atributul prin care se specifică numele planului. De asemenea pentru fiecare plan, trebuie definit corpul propriu zis al planului prin clasa Java ataşată. Un exemplu de definire a planului poate fi vizualizat în Figura 5.9. Tipul planului defineşte ce fel de plan a fost specificat. Acesta poate fi plan standard sau plan mobil.

Directiva <*trigger*> specifică condițiile în care planul se va instanția şi executa. Directiva <*parameter*> specifică parametrii de intrare pentru planul curent, dacă este nevoie de aceştia. Directiva <*contextcondition*> reprezintă condiții care trebuie validate pe tot parcursul executării planului, în caz contrar planul anulându-se.

```
<plan name="moveto">
                  <parameter name="location" class="Location">
                        <goalmapping ref="achievemoveto.location"/>
                  </parameter>
                  <body class="MoveToLocationPlan"/>

                  <trigger>
                        <goal ref="achievemoveto"/>
                  </trigger>
                  <contextcondition>$beliefbase.my_chargestate &gt;
0</contextcondition>
</plan>
```

Figura 5.9 Definirea planului de mişcare pentru robotul transportor

Implementarea planului propriu-zis în Java

Planul propriu-zis reprezintă o parte din funcționalitatea agentului şi încapsulează o suită de acțiuni. În Jadex planurile sunt scrise în limbajul Java, astfel e foarte uşoară scrierea planurilor având la dispoziție oricare dintre librăriile Java existente şi de a specifica planurile în Java Integrated Development Environment (IDE), adică în mediul de dezvoltare preferat.

Conexiunea dintre planul propriu zis şi antetul planului este stabilită în descrierea făcută în antetul planului, astfel planurile propriu-zise putând fi reutilizabile în diferite configurații sau planuri specificate. Pentru a spori reutilizabilitatea planurilor, este recomandată folosirea parametrilor planului, în combinație cu mapările planului pentru anumite evenimente sau obiective ale căror succes depind de execuția planului.

Orice plan extinde clasa abstractă *jadex.runtime.AbstractPlan,* în timp ce planurile standard implementează metoda *body()* aşa cum a fost specificat mai sus. Metoda body() este executată o singură dată de-a lungul apelării unui plan, apoi planul aşteptând terminarea execuției evenimentelor descrise prin triggere apelând directiva *waitFor()*.

Dacă planul se termină fără producerea vreunei excepții, este considerat ca şi succes. După terminarea cu succes, eşec sau anularea planului se apelează metoda *passed(), failed(),* respectiv *aborted()*.

Excepția care indică o anomalie în execuția planului este *PlanFailureException* care se apare de fiecare dată când planul nu se execută cu succes.

Scrierea planurilor permite de asemenea executarea de porțiuni de cod atomice, în cazul în care nu vrem ca prin concurență să producem anomalii de citire sau scriere pentru anumite ipoteze esențiale pentru buna funcționare a agentului BDI în care este specificat planul.

5.3.3 Interfețe Utilizator

Există trei interfețe utilizator disponibile în sistemul curent, prima fiind interfața de monitorizare, cu ajutorul căreia se monitorizează şi controlează senzorii şi dispozitivele disponibile în casa inteligentă.

Interfața de monitorizare a robotului supervizor reprezintă o hartă 2D a casei şi robotul care se plimbă pe harta casei.

Interfața de monitorizare explicită a robotului misionar reprezintă un plan simplu pe care sunt aşezate obiectivele identificate de către robotul transportor, precum şi robotul transportor împreună cu raza lui de acțiune.

5.4 Scenariu de testare

Scenariul de testare urmărit când s-a dezvoltat sistemul curent este:

Un cuplu de oameni căsătoriți s-au decis să înceapă să folosească sistemul Smart House în reşedința lor. Ei au doi copii: Ioana, o fetiță de 14 ani, şi pe micuțul Ionuț de doar 4 ani. Pentru a fi ajutați şi a eficientiza muncile casnice de zi cu zi familia s-a decis să folosească 3 roboți: Locke, robotul supervizor, Sawyer, robotul transportor şi pe Dolly, robotul de divertisment.

Sawyer, robotul transportor are ca scop transportul de obiecte dintr-o cameră în alta şi amplasarea lor în locul de depozitare potrivit. Dolly, robotul de divertisment are ca rol supravegherea micuțului casei şi menținerea unei stări de bucurie pentru băiețel. Locke este robotul supraveghetor şi elaborează comenzi sau monitorizează activitatea celorlalți 2 roboți.

6 UTILIZAREA SISTEMULUI

Aplicația se porneşte din mediul Eclipse sau individuală a platformei pentru agenți pentru ca ulterior să se pornească fiecare agent pe rând. Pentru a realiza acest lucru se accesează fişierele .bat existente în directorul sursă al aplicației.

Odată ce toți agenții au fost porniți cu succes vor apărea cele trei interfețe utilizator: interfața de monitorizare şi control a senzorilor şi dispozitivelor, interfața specifică robotului supervizor şi interfața specifică robotului misiune.

Pentru a testa pornirea cu succes a senzorilor casei se verifică consola pentru agenți, pentru a vedea toți agenții porniți.

Simularea roboților începe odată cu pornirea agentului manager de roboți. Pentru ca rezultatele rulării simulatorului pentru roboți să fie edificate, este nevoie ca celelalte procese costisitoare care rulează pe maşina de test să fie oprite.

Pentru a testa adaptarea se urmăreşte vizualizarea grafică a mişcării robotului precum şi faptul că el îşi îndeplineşte cu succes obiectivele şi anume:

- Mişcarea robotului transportor este urmărită de către robotul supervizor şi mediul se actualizează de fiecare dată;
- Cutiile care intră în raza vizuală a robotului transportor vor fi transportate una câte una la locul de depozitare;
- Robotul îşi menține starea de patrulare prin casă atât timp cât nu îndeplineşte altă misiune;
- Robotul se îndreaptă spre stația de acumulare a energiei atunci când bateria este la nivelul minim acceptat;
- La fiecare mişcare nivelul bateriei robotului scade cu 1%. Acest lucru se monitorizează prin eticheta *„energy”* ataşată robotului;
- Dacă robotul transportă o cutie atunci acest lucru este semnalizat pe interfața grafică prin eticheta *„carries box”*.

În Figura 6.1 este reprezentarea robotului transportor aşa cum este el vizualizat în simulatorul pentru roboți al casei inteligente.

Figura 6.1 Reprezentarea robotului transportor

Pentru a monitoriza numărul de cutii care trebuie să fie preluate de către robotul transportor se vizualizează panoul aflat în partea de jos a imaginii, care are aceeaşi structură ca în Figura 6.2:

Figura 6.2 Panoul de control al simulatorului

Tot cu ajutorul simulatorului se poate seta starea depozitului de cutii. În cazul în care depozitul este plin robotul este informat de sistemul casei de acest lucru, drept urmare el anulând planul de a depozita cutia în depozitul respectiv.

Pe consola agentului bazei de cunoştinţe trebuie să apară anumite loguri prin care se explică ce roboți au fost găsiți în casa inteligentă, aceste informații de context fiind transmise agentului manager de roboți pentru a porni agenții roboți subsecvenți. Cu ajutorul consolei agentului bazei de cunoştinţe putem vedea toate instanțele de clasă Robot create, împreună cu proprietățile aferente acestora (Figura 6.3).

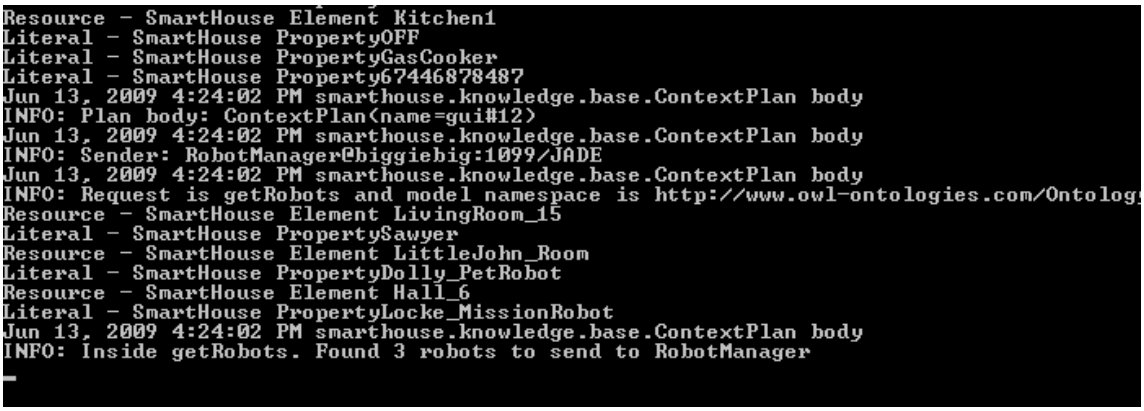


Figura 6.3 Consola agentului pentru baza de cunoştinţe

7 PUNERE ÎN FUNCȚIUNE ŞI REZULTATE EXPERIMENTALE

7.1 Tehnologii folosite

7.1.1 Cerințe Hardware

Sistemul dezvoltat ca urmare a lucrării curente este un sistem software, care implică utilizarea unei maşini de tip PC cu sistemul de operare Windows sau Linux. Pentru rularea aplicațiilor cerințele hardware minimale pentru maşina utilizată sunt:

- Procesor: Frecvență 1GHz, Spațiu de adresare 32-bit (x86);
- Memorie RAM: 512 MB;
- Spațiu hard-disk: minimum 1GB.

7.1.2 Cerințe Software

Produsul curent este dependent de următoarele produse software:

- Java VM Version 6 - Pentru rularea sistemului este nevoie de instalarea maşinii virtuale Java (Java Virtual Machine) pe maşina folosită. Instalarea maşinii virtuale Java poate fi făcută accesând adresa http://www.java.com/en/download/index.jsp;
- Platforma Jade – Platforma de agenți Jade poate fi descărcată de la adresa http://jade.tilab.com/;
- Jadex – Aplicația pentru agenți Jadex poate fi descărcată de la adresa http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=80240&package_id=81901;
- Eclipse Ganymede – Pentru a descărca mediul Eclipse se poate accesa pagina http://www.eclipse.org/downloads/.

7.1.3 Instalarea aplicațiilor folosite

Pentru punerea în funcțiune a aplicației este nevoie de instalarea extensiei Jadex pentru Eclipse Ganymede. Pentru efectuarea acestui lucru trebuie executați următorii paşi:

- Instalare manuală
  - Se descarcă pachetele de la adresa http://sra.itc.it/tools/taom4e/download.php?action=register;
  - Se extrag pachetele din arhiva descărcată;
  - Cele 2 pachete *it.itc.sra.taom4e.model_0.5.0.jar* şi *it.itc.sra.taom4e. platform_0.5.0.jar* se copiază în directorul *<dir_eclipse>/eclipse/ plugins* din Eclipse;
  - Se porneşte mediul Eclipse.
- Instalare automată
  - Se porneşte mediul Eclipse;
  - Se accesează meniul Help/Software Updates...
  - În panoul Available Software se apasă butonul Add Site...
  - Se adaugă http://sra.itc.it/tools/taom4e/eu.fbk.se.taom4e.updateSite/ în spațiul destinat adresei web;
  - Se apasă OK şi apoi Install.

7.1.4 Configurarea proiectului

Pentru a configura proiectul se efectuează următorii paşi:

- La pornirea mediului Eclipse se configurează calea spre workspace-ul în care se află proiectul. Astfel se adaugă calea *<dir_workspace> /<nume_workspace> / workspace*. Workspace-ul Eclipse cu sursele şi configurația proiectului se află în distribuția aplicației. Numele implicit este *WSBB*;
- Se configurează o nouă librărie utilizator Eclipse din meniul *Project /Properties* apoi secțiunea *Java Build Path ->Add Library....* Se adaugă toate fişierele cu extensia .jar din directorul *<dir_workspace>/<nume_workspace> / workspace/SmartHouse/lib*. După adăugare se ataşează această librărie la proiectul curent pentru a compila sursele.

7.1.5 Pornirea Platformei de Agenți

Punerea în funcțiune a platformei pentru agenți Jadex se poate face după ce s-a pornit Eclipse împreună cu pachetele auxiliare care necesită instalarea. Dacă instalarea a avut loc cu succes, în bara de butoane a mediului Eclipse va apărea un buton cu ajutorul căruia se poate porni platforma, locat ca în Figura 7.1:

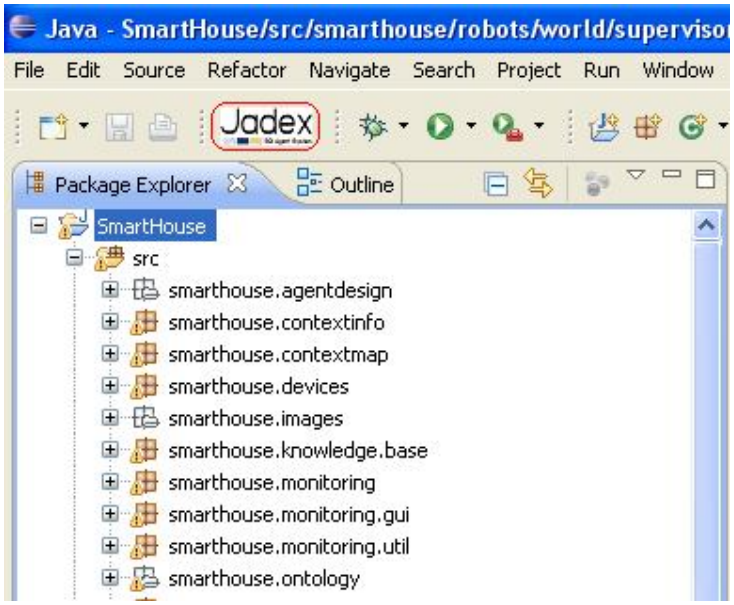


Figura 7.1 Pornirea platformei de agenți din Eclipse

Dacă platforma a pornit cu succes va apărea o nouă fereastră în care vor exista cei trei agenți master din Jadex AMS, DF şi RMA. Fereastra are forma din Figura 7.2:

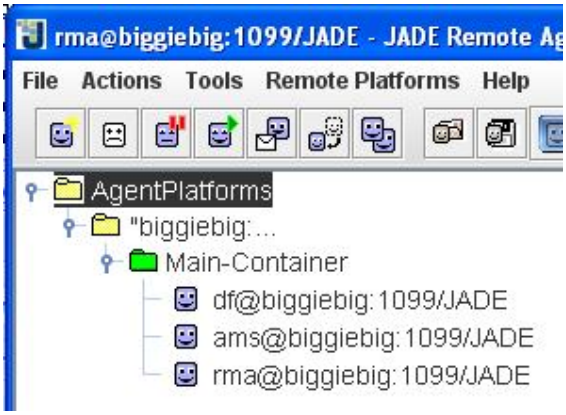


Figura 7.2 Platforma de agenți Jadex

7.1.6 Pornirea agentului pentru baza de cunoştințe a sistemului

Pentru pornirea agentului pentru baza de cunoştințe a sistemului se foloseşte fişierul cu extensia *.bat* numit *KnowledgeBaseAgent.* Acest fişier se află la calea *<dir_workspace>/<nume_workspace>/workspace/SmartHouse.* Pornirea acestui agent are ca rezultat înregistrarea sa în platforma de agenți. Acest agent este primul care trebuie pornit pentru ca ceilalți agenți să poată interoga acest agent în vederea extragerii informațiilor de context necesare.

7.1.7 Pornirea agentului manager de senzori

Pentru punerea în funcțiune a agentului pentru rețeaua de senzori a sistemului casei inteligente se foloseşte fişierul cu extensia *.bat* numit *SensorManager.* Acest fişier se află la calea *<dir_workspace>/<nume_workspace>/workspace/SmartHouse.* Pornirea acestui agent are ca rezultat înregistrarea sa în platforma de agenți Jadex. În plus, după stabilirea comunicării cu agentul bazei de cunoştințe se mai înregistrează la platformă prin instanțe specifice diferitele tipuri de senzori definiți pentru sistemul curent. Astfel prin pornirea agentului de manager a senzorilor se creează rețeaua senzorială a casei.

7.1.8 Pornirea agentului manager de dispozitive

Pentru punerea în funcțiune a agentului pentru rețeaua de dispozitive a sistemului casei inteligente se foloseşte fişierul cu extensia *.bat* numit *DeviceManager.* Acest fişier se află la calea *<dir_workspace>/<nume_workspace>/workspace/SmartHouse.* Pornirea acestui agent are ca rezultat înregistrarea sa în platforma de agenți Jadex. În plus după stabilirea comunicării cu agentul bazei de cunoştințe se mai înregistrează la platformă prin instanțe specifice diferitele tipuri de dispozitive definite pentru sistemul casei inteligente. Astfel prin pornirea agentului de manager a senzorilor se creează rețeaua de dispozitive a casei inteligente.

7.1.9 Pornirea agentului de monitorizare

Agentul de monitorizare se pune în funcțiune prin executarea fişierului cu extensia *.bat* numit *MonitoringAgent.* Fişierul se află la calea *<dir_workspace> /<nume_workspace>/ workspace/SmartHouse.* În urma punerii în funcțiune a agentului de monitorizare, se va crea

mediul vizual cu ajutorul căruia vor putea fi monitorizate rețeaua de senzori şi rețeaua de dispozitive a aplicației. De asemenea acest agent monitorizează şi starea de spirit a locatarilor casei inteligente.

7.1.10 Pornirea agentului manager pentru roboți

Şi pentru punerea în funcțiune a agentului manager al sistemului de roboți este pus la dispoziție un fişier cu extensia *.bat* numit *ManagerRobot*. Fişierul se află la calea *<dir_workspace> /<nume_workspace>/workspace/SmartHouse*. În urma punerii în funcțiune a acestui agent responsabil pentru roboții casei inteligente se vor înregistra după comunicarea cu baza de cunoştințe şi agenții pentru roboții specifici ai casei şi anume robotul supervizor, robotul transportor şi robotul de divertisment. Ca urmare a instanțierii roboților specifici, se vor crea şi interfețele vizuale specifice celor doi roboți prin care se poate vizualiza activitatea roboților în casa inteligentă.

7.2 Probleme întâmpinate şi modul de rezolvare

7.2.1 Probleme de pornire a platformei de agenți

Dacă după pornirea platformei nu apare fereastra de control care asigură pornirea cu succes a platformei de agenți, iar pe consolă apare o excepție numită *AlreadyBoundException* atunci este cazul excepției de înregistrare a aplicației în registrul RMI, datorită faptului că portul implicit pe care se pune în funcțiune RMI şi anume 1099 este ocupat.

De asemenea şi o oprire forțată a platformei de agenți poate duce la ocuparea de către procesul *javaw* în stare inactivă a portului 1099.

Pentru rezolvarea problemei se distruge procesul *javaw* care ține ocupat portul 1099, folosind o aplicație de management a porturilor numită *Cports*. O altă modalitate de rezolvare a problemei este restartarea platformei Eclipse care distruge toate procesele copil create la închiderea sa.

7.2.2 Probleme de pornire a agenților

Dacă la pornirea agenților apar erori pe consolă, atunci trebuie verificat în primul rând dacă consola pentru agenți funcționează corect. Ulterior se verifică dacă toți agenții dependenți, precum agentul pentru baze de cunoştințe, funcționează corect.

Dacă eroarea de pornire nu este cauzată de unul din cazurile de mai sus atunci se editează fişierul .bat specific agentului, pentru a verifica dacă toate căile spre pachetele care se setează ca şi Java Classpath sunt corecte. Dacă acele căi nu există se actualizează cu căile valide spre pachetele folosite la pornirea agenților.

Dacă nici acest lucru nu rezolvă problemele de punere în funcțiune, atunci se verifică dacă numele pachetelor corespunzătoare locației agenților şi dacă numele agenților există.

7.3 Rezultate experimentale

7.3.1 Crearea roboților

În faza de creare a roboților după crearea instanței de agent manager pentru roboți şi înregistrarea lui la platforma de agenți se face un apel la agentul bazei de cunoştințe pentru

găsirea instanțelor de agenți roboți specifici casei inteligente şi crearea lor ca agenți logici pentru casa inteligentă.

Crearea agenților roboți se face printr-un apel de tip creare agent spre agentul master al platformei, AMS.

Clasele ontologice specifice roboților create în contextul ontologic al sistemului casei inteligente sunt precum în Figura 7.3:

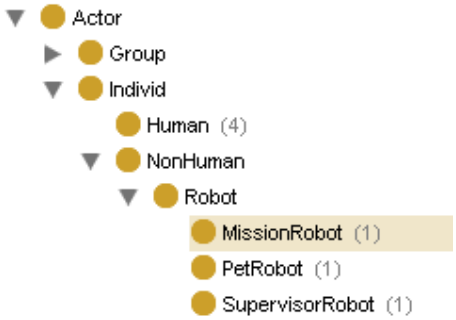


Figura 7.3 Clasele ontologice specifice agenților roboți

De asemenea fiecare robot are specificate anumite proprietăți, care vor fi luate în considerare la crearea instanțelor. Proprietățile robotului supervizor sunt legate de locație, nume, descriere, activitate, precum în Figura 7.4:

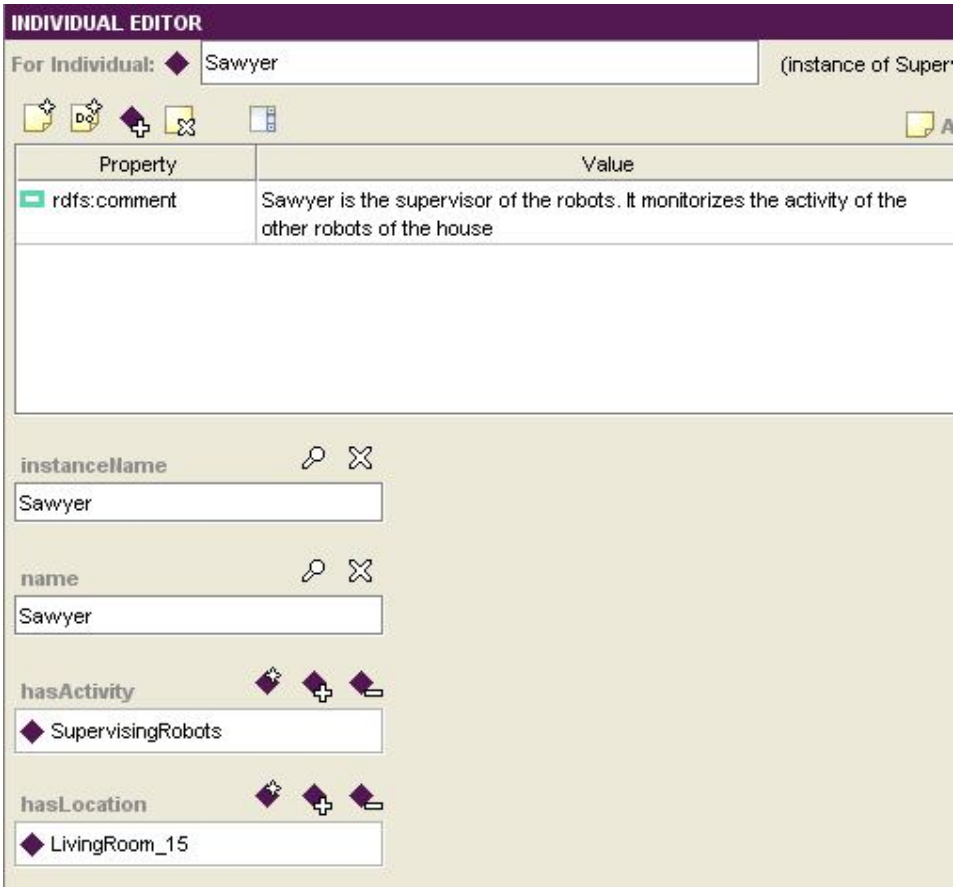


Figura 7.4 Proprietăți individuale specificate în modelul ontologic - robot supervizor

Crearea efectivă a roboților se poate valida prin vizualizarea mesajelor trimise între agentul manager pentru roboți şi agentul responsabil pentru baza de cunoştințe.

Agentul Manager trimite un mesaj tip ACL cu conținutul „*getRobots*" agentului pentru baza de cunoştințe aşa cum poate fi vizualizat în Figura 7.5.

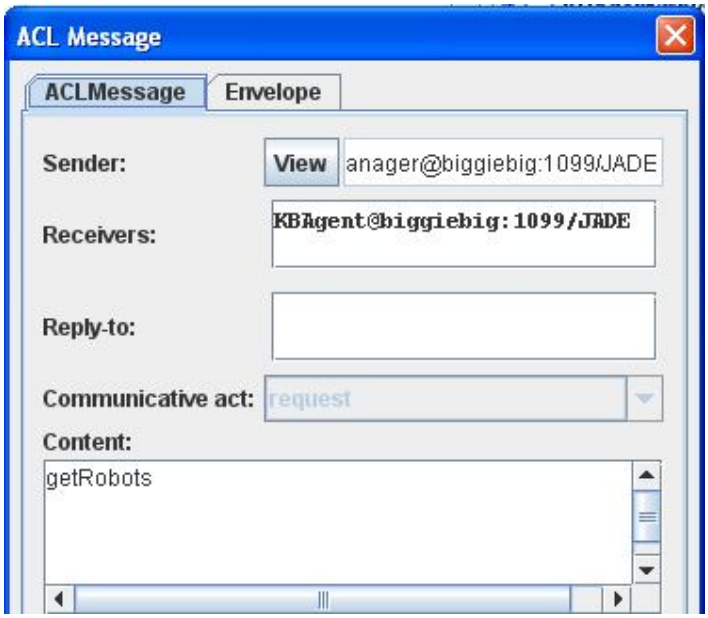


Figura 7.5 Mesajul trimis către agentul bazei de cunoştințe pentru identificarea roboților

Mesajul primit de către agentul manager de roboți este ca în Figura 7.6:

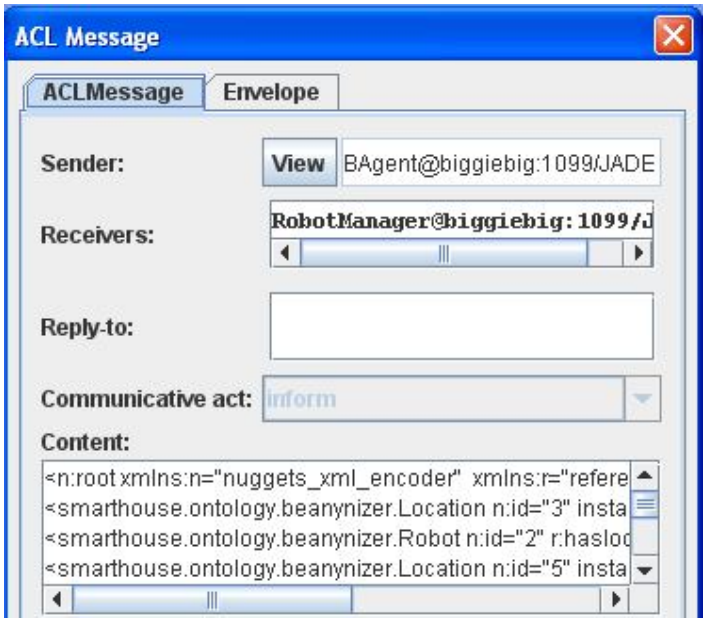


Figura 7.6 Mesajul cu conținutul instanțelor de roboți trimis de agentul bazei de cunoştințe

7.3.2 Adaptarea roboților

Odată ce instanțele de agenți roboți au fost create cu succes, începe adaptarea roboților la contextul casei inteligente. Acest lucru poate fi vizualizat interogând consola de pornire a agenților pentru a vedea planurile executate şi mesajele transmise între agenții roboți şi sistemul casei inteligente, precum în Figura 7.7.

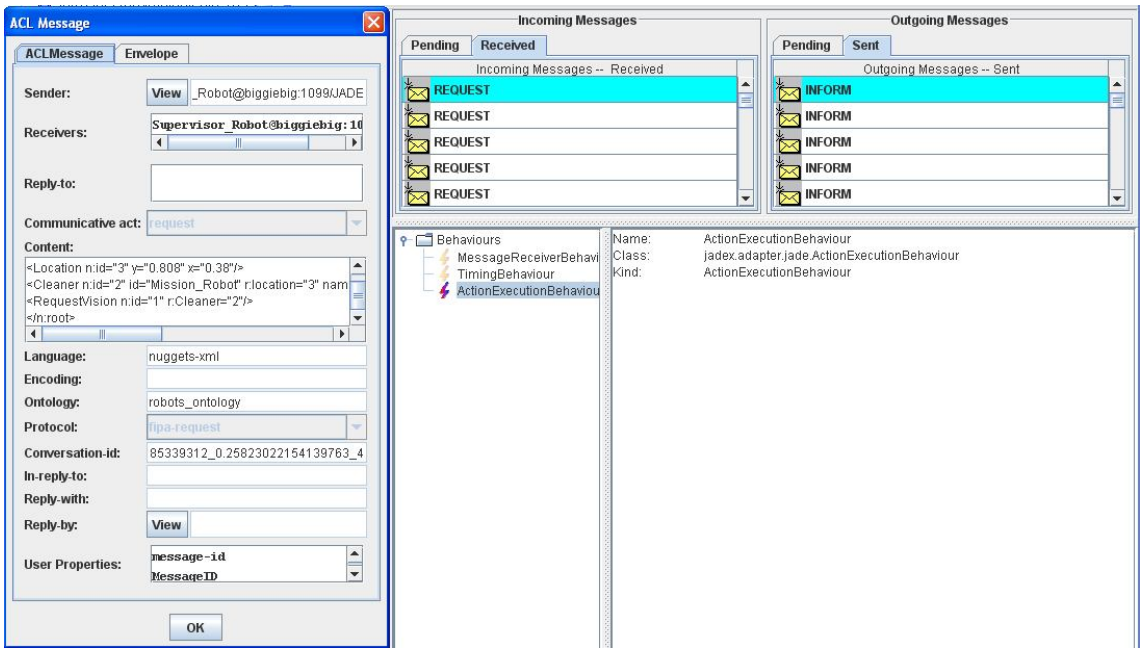


Figura 7.7 Mesaje ACL transmise între agentul robot transportor şi sistemul casei inteligente

De asemenea pe consola agentului manager pentru roboți pot fi văzute toate acțiunile efectuate de către roboții din casa inteligentă, cele mai relevante informații fiind planurile care se execută la un moment dat de către aceştia, cel mai interesant de urmărit fiind planurile robotului transportor (Figura 7.8).

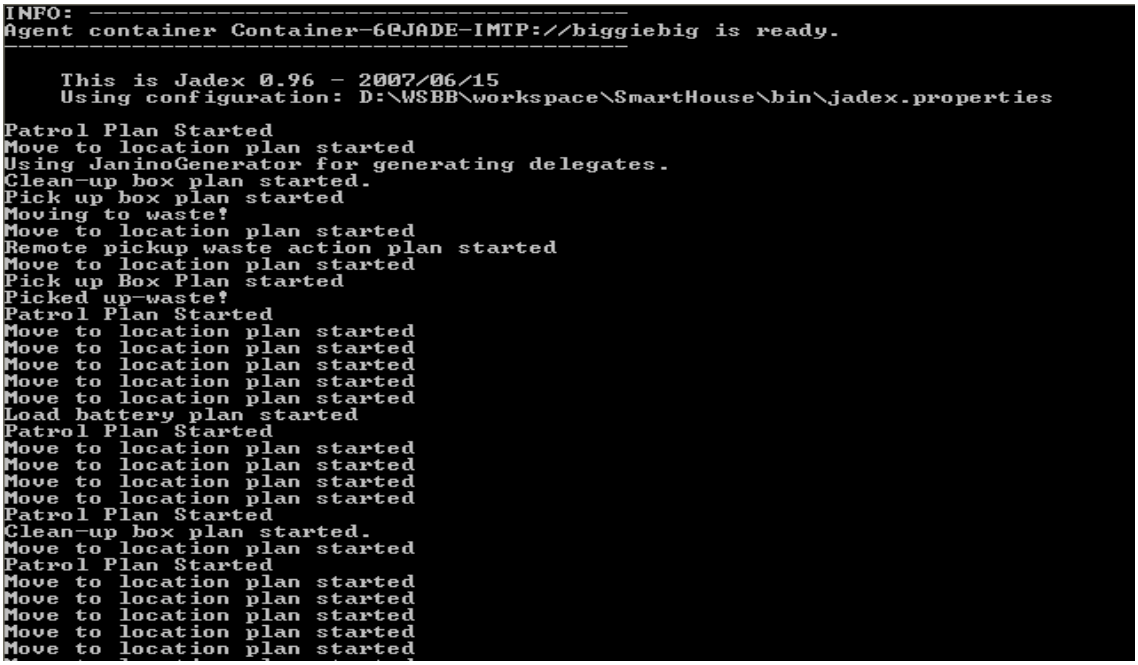


Figura 7.8 Consola agentului Manager pentru roboții casei inteligente şi planurile executate

8 CONCLUZII

8.1 Realizări

Cerințele lucrării exprimate în introducere au fost atinse prin proiectarea adaptării roboților la sistemul senzitiv la context pentru casa inteligentă şi prin argumentarea tuturor conceptelor şi metodelor folosite, care au condus la validarea proiectării cerinței de adaptare a roboților la sistemului senzitiv la context, multi-agent şi distribuit.

În primele capitole ale lucrării s-a abordat problema adaptării în toată complexitatea ei prin prezentarea noțiunilor teoretice legate de conceptele folosite în scopul adaptării roboților. S-au detaliat noțiuni bine stabilite legate de domeniul senzitiv la context, domeniul ubicuu care este o aplicație practică a senzitivității la context, precum şi de noțiunile de bază folosite, unele dintre ele fiind împrumutate din domeniul inteligenței artificiale, precum noțiunea de agent, sistem multi-agent, noțiuni legate de incertitudine.

S-au identificat problemele existente şi provocările apărute în timpul proiectării unei aplicații senzitive la context, precum şi provocările apărute în comunicarea dintre roboți şi o aplicație senzitivă la context.

S-a motivat nevoia de a folosi o metodă flexibilă şi extensibilă pentru a modela datele contextuale, un limbaj comun înțeles de toți participanții la arhitectură, imperios necesar pentru a putea realiza comunicarea dintre sistemul de roboți şi sistemul casei inteligente. Folosirea ontologiilor facilitează de asemenea şi deducerea de noi informații prin raționarea asupra datelor contextuale. Din punct de vedere a raționamentelor deduse, folosirea ontologiilor permit ierarhizarea datelor de context, în contexte de nivel superior, generale şi reutilizabile, şi contexte de nivel inferior, specifice, care conțin validări de consistență. Derivarea de noi contexte de nivel superior din datele de nivel inferior se poate obține folosind tehnicile împrumutate din inteligența artificială legate de algoritmi de raționare şi mecanisme de inferență. După aprofundarea metodei de modelare a contextelor s-a studiat şi un model derivat care adaugă suport pentru incertitudine în modelul contextual inițial, aprofundarea acestui model ajutând la rezolvarea problemelor de incertitudine deschise în proiectarea adaptării roboților la sistemul casei inteligente.

Au fost studiate şi diferite abordări şi metodologii de proiectare ale unui sistem senzitiv la context extensibil şi flexibil, în care se pot integra foarte uşor noi componente, lucru care facilitează adaptarea rapidă a agenților roboți în structura sistemului. S-a studiat arhitectura stratificată „Context Stack”, care are la bază modelul folosit în construcția rețelelor de calculatoare şi avantajele aduse de acesta.

Abordarea problemei centrale a lucrării legată de adaptarea de noi componente, în caz particular, roboți, în sistemul senzitiv la context a condus, printr-o aprofundare a metodologiilor existente pentru crearea de baze de cunoştințe şi crearea sistemelor multi-agent, la rezolvarea ei prin folosirea metodologiilor existente cele mai potrivite pentru cazul de față. Astfel studiind diferite metodologii de creare a agenților şi obținând o comparație din punct de vedere a standardizării, a întreținerii, a protocoalelor de comunicare folosite, a documentației disponibile s-a concluzionat că folosirea platformei Jade cu extensia Jadex este cea mai potrivită pentru atingerea obiectivelor propuse în scopul temei curente. Astfel s-a ales ca paradigmă de implementare programarea cu agenți, în care toate modulele componente ale arhitecturii reprezintă un agent cu diferite funcționalități inclusiv agenți care funcționează ca rol de interfață utilizator, cum este cazul agentului de monitorizare. Agenții folosiți sunt agenți de tip Ipoteză-Obiectiv-Plan sau **BDI (Belief-Desire-Intention),** care pornind de la anumite ipoteze, ating obiectivele setate prin executarea de planuri de execuție.

Pentru modelarea bazei de cunoştinţe folosită de sistem s-a folosit reprezentarea cunoştinţelor de context prin ontologii, fiind aprofundate mai multe metodologii şi limbaje de descriere a ontologiilor, precum şi modul de integrare şi folosire a acestora pentru comunicarea între agenţii implicaţi în arhitectură. După studierea limbajelor în funcţie de întreţinere, naturaleţe şi uşurinţă a scrierii s-a ajuns la concluzia că limbajul OWL este cel mai potrivit pentru scrierea de ontologii specifice pentru sistemul senzitiv la context şi pentru adaptarea ontologiilor legate de roboţi cu ontologiile sistemului casei inteligente, făcându-se astfel legătura între nivelul roboţi şi sistemul senzitiv la context al casei inteligente. Pentru crearea şi editarea de ontologii s-a folosit editorul Protégé care este întreţinut şi modern fiind cel mai bine dezvoltat editor pentru ontologii, beneficiind şi de multe extensii vizuale, unelte pentru efectuarea de raţionamente. Deoarece agenţii din sistemul multi-agent creat pentru casa inteligentă comunică prin protocolul Nuggets bazat pe XML-uri, ontologiile au fost transformate în clase Java de tip Java Beans ale căror instanţe de tip obiect vor putea fi serializate în format XML şi transmise prin reţea ca mesaje celorlalţi agenţi conectaţi la platformă. Astfel s-a folosit extensia Beanynizer a mediului Protégé prin care s-a făcut transformarea sub forma de unu la unu din clase ontologice în clase Java.

Având toate specificaţiile formate şi uneltele necesare stabilite în prealabil s-a creat o arhitectura descentralizată, bazată pe componente corespunzătoare unui anumit tip de agenţi care pot comunica unul cu celălalt. Astfel componenta legată de agenţii roboţi s-a integrat în mod natural cu restul componentelor arhitecturii, colaborarea între diferiţii agenţi făcându-se prin mesaje de tip Nuggets. Astfel, prin folosirea uneltelor studiate şi construirea arhitecturii s-a rezolvat deja problema principală a temei, prin simplificarea problemei la adaptarea agenţilor care reprezintă roboţii casei inteligente la sistemul senzitiv la context al casei inteligente.

Scenariul propus pentru testarea şi simularea adaptării roboţilor constă în realizarea robotului transportor şi robotului supervizor, care au misiuni bine specificate în casa inteligentă, misiuni care sunt îndeplinite folosind informaţiile de context oferite de ceilalţi agenţi, precum agentul responsabil pentru reţeaua senzorială. Astfel au fost specificate ipoteze, obiective şi planuri pentru cei doi roboţi. Robotul transportor are misiunea de a transporta cutii din camera copiilor până în locul de depozitare aflat în garaj, iar robotul supervizor supraveghează mediul casei, identifică schimbările de context din casă şi comandă noi misiuni pentru robotul transportor.

Această lucrare a prezentat toate detaliile necesare pentru proiectarea, construirea şi realizarea adaptării roboţilor prin agenţi Jadex la sistemul multi-agent al casei inteligente. De asemenea arhitectura este extensibilă şi scalabilă, ulterior putând fi adaptate şi alte tipuri de agenţi roboţi, de exemplu roboţii de divertisment. De asemenea arhitectura lasă loc explorării de noi domenii de cercetare din domeniul aplicaţiilor ubicue şi senzitive la context, pornind de la arhitectura de tip multi-agent a sistemului în conjuncţie cu modelarea contextelor sub formă de ontologii şi folosirea tehnicilor împrumutate din inteligenţa artificială precum învăţarea, şi procesul de luare a deciziilor, toate aceste arii de cercetare având ca obiectiv final sporirea confortului locatarilor unei case inteligente.

8.2 Direcţii de dezvoltare

Dezvoltările ulterioare ale aplicaţiei pot lua diferite direcţii, dar cele mai importante vor fi subliniate în paragrafele următoare.

Un prim aspect este legat de implementarea unei aplicaţii complete pentru case inteligente, care implică şi roboţi antrenaţi activ în atingerea obiectivelor finale. Aceasta este o chestiune în curs de cercetare şi o perspectivă bună de dezvoltare ulterioară. Astfel sistemul ar trebui să integreze componente noi, precum un detector a stării emoţionale, care în

consecință ar putea valorifica misiunea robotului de divertisment, integrarea unui sistem-expert complet funcțional, care să poată folosi reguli de inferență complexe, adăugarea nivelului fizic prin care aplicația să fie valorificată, care implică şi adăugarea de reguli şi mecanisme de deducție pentru a procesa informațiile eronate preluate de la nivel fizic.

Un alt aspect legat de adaptarea roboților sau a altor dispozitive de tip eterogen este interoperabilitatea modelelor de context, care ar facilita adaptarea de noi roboți fără a fi necesară cunoaşterea modelului de context curent, deci ar fi înlăturată rigiditatea folosirii unui singur limbaj de reprezentarea a contextelor.

Tot un aspect de luat în considerare este mobilitatea agenților roboți creați în Jadex, adaptarea acestora într-un mediu senzitiv la context nou este o muncă dificilă, acest lucru afectând instalarea aplicației într-un mediu senzitiv la context real.

Alte provocări aflate încă în faza de cercetare sunt:

- Incertitudinea – Adaptarea roboților sau a altor agenți într-un mediu incert, mediu care mapează cel mai bine lumea reală rămâne o provocare pentru cercetătorii în domeniul sistemelor senzitive la context. Nu există încă un model unificat pentru modelarea probabilistică a contextelor.
- Securitatea datelor – Mobilitatea agenților adaugă probleme complexe de securitate, deoarece posibilitatea executării de misiuni la distanță poate duce la breşe mari de securitate. Un agent logic trebuie să fie autentificat înainte să comande de exemplu un robot de la distanță.

9 BIBLIOGRAFIE

[01] K. Goldberg, S. Gentner, and C. Sutter et al., "The Mercury Project: A Feasibility Study for Internet Robotics," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 7, no. 1, 2000, pp. 35-40.

[02] R. Simmons, "Xavier: An Autonomous Mobile Robot on the Web," *Proc. IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robots and Systems; Robots*, Victoria, B.C. Canada, Oct. 1998, URL: http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub1/simmons_reid_1999_1/simmons_reid_1999_1.pdf.

[03] P. Saucy and F. Mondada, "Open Access to a Mobile Robot on the Internet," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 7, no. 1, 2000, pp. 41-47.

[04] M.R. Stein, "Interactive Internet Artistry," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 7, no. 1, 2000, pp. 28-32.

[05] M. Choi, J. Hong, and H. Ju, "XML-Based Network Management for IP Networks," *ETRI J.*, vol. 25, no. 6, Dec. 2003, pp. 445-463.

[06] Young-Guk Ha, Joo-Chan Sohn, Young-Jo Cho, and Hyunsoo Yoon, „Towards a Ubiquitous Robotic Companion: Design and Implementation of Ubiquitous Robotic Service Framework", Sept. 15, 2005.

[07] D. Wang, X. Ma, and X. Dai, "Web-Based Robotic Control System with Flexible Framework," *Proc. IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2004)*, New Orleans, LA, Apr. 2004, pp. 3351 - 3356.

[08] W3C Recommendation, *Web Services Architecture*, W3C, 2004, URL: http://www.w3c.org/TR/ws-arch/.

[09] W3C Recommendation, *RDF Primer*, W3C, 2004, URL:http://www.w3c.org/TR/rdf-primer/.

[10] L. Miller, A. Seaborne, and A. Reggiori, "Three Implementations of SquishQL, a Simple RDF Query Language," *Proc. 1st Int'l Semantic Web Conf. (ISWC 2002)*, LNCS 2342, Springer-Verlag, 2002, pp. 423-435.

[11] Z. Zenn Bien. Human-friendly Man-Machine Interaction in Smart Home. *Keynote speech at the 3rd International Conference On Smart homes and health Telematic*, Sherbrooke, Québec, Canada, July 4-6, 2005.

[12] A. Helal, W. Mann, H. Elzabadani, J. King, Y. Kaddourah and E. Jansen, "Gator Tech Smart House: A Programmable Pervasive Space", *IEEE Computer magazine*, March 2005, pp. 64-74.

[13] Mohamed Ali Feki, Stéphane Renouard, Bessam Abdulrazak, Gérard Chollet, Mounir Mokhtari. Coupling Context Awareness and Multimodality in Smart Homes Concept. *The 10th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*. Lecture

Notes in Computer Science 3118 Springer 2004, ISBN 3-540-22334-7. Paris, France, July, 2004.

[14] Kensuke Murai and Akira Okubo, "Government Policy for Next Generation Robots" in *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol. 26. No.5, 2008.

[15] Ghita Kouadri Most´efaoui, Jacques Pasquier-Rocha, Patrick Br´ezillon „Context-Aware Computing: A Guide for the Pervasive Computing Community, Pervasive Services", *ICPS 2004 IEEE/ACS International Conference*, July 2004.

[16] Dey Anind K. & Gregory D. Abowd, „Towards a Better Understanding of Context and ContextAwareness", *GVU Technical Report GIT-GVU-00-18*, GIT, 1999.

[17] Ay Feruzan, „Context Modeling and Reasoning using Ontologies", *University of Technology Berlin*, Berlin , July 2007.

[18] Ronny Haryanto, „Context Awareness in Smart Homes to Support Independent Living", *Master of Science in Internetworking*, University of Technology, Sydney, 2005

[19] Research Center for Educational Technology, *Ubiquitous Computing – Where it came from*, RCET, 2006, URL: http://www.rcet.org/ubicomp/what.htm.

[20] Boehm Barry, „Ubiquitous Computing", *Center for Systems and Software Engineering, University of Southern California, 2007,* URL: http://sunset.usc.edu/classes/cs599_2002/Week3_c.ppt.

[21] Tao Gua, Hung Keng Punga, Da Qing Zhangb," A service-oriented middleware for building context-aware services", *Journal of Network and Computer Applications,* archive Volume 28 , Issue 1, January 2005.

[22] Seng Loke , „Context-aware pervasive systems: architectures for a new breed of applications", CRC Press, 2006.

[23] T. Wahl: "Konzeption und Realisierung einer Ontologie zur Modellierung und Ableitung von Geschäftsprozessen", TU Berlin, 2005.

[24] J. Voß: „Begriffssysteme – Ein Vergleich verschiedener Arten von Begriffssystemen und Entwurf des integrierenden Datenmodells", HU, Berlin, 2004.

[25] M. Gruninger, and J. Lee: „Ontology – Applications and Design", in *Communications of the ACM*, 2002.

[26] M. K. Smith, C. Welthy, and D. L. McGuinness: "OWL Web Ontology Language Guide", URL: http://www.w3.org/TR/owl-guide.

[27] S. Bechhofer, F. v. Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, et al.: „OWL Web Ontology Language Reference", URL: http://www.w3.org/TR/owl-ref.

[28] T. R. Gruber: "Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies", Stanford University, 1992.

[29] R. M. MacGregor: “Inside the LOOM description classifier”, in ACM SIGART Bulletin, 1991.

[30] T. Berners-Lee, J. Hendler, et al.: “The Semantic Web“, *Scientific American*, 2001.

[31] Bray, T., J. Paoli, et al.: Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition) - W3C Recommendation. URL: http://www.w3.org/TR/2004/RECxml-20040204, 2004.

[32] X. H. Wang, T. Gu, D. Q. Zhang, and H. K. Pung: „Ontology Based Context Modeling and Reasoning using OWL”, *Pervasive Computing and Communications Workshops*, March 2004.

[33] Daqing Zhang, Tao Gu, Xiaohang Wang: „Enabling Context-Aware Smart Home with Semantic Web Technologies”, Institute for Infocomm Research, June 2005.

[34] Daqing Zhang, Xiaohang Wang: „OSGi Based Service Infrastructure for Context Aware Connected Home.” Proceeding of 1st International Conference On Smart Homes and Health Telematics (ICOST2003), IOS Press, Paris, France, 2007.

[35] T. Gu, H. K. Pung, D. Q. Zhang, “Towards an OSGi-Based Infrastructure for Context-Aware Applications in Smart Homes”, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 3, Issue 4, 2004.

[36] Bardram, Jakob E. The Java Context Awareness Framework (JCAF) A Service Infrastructure and Programming Framework for ContextAware Applications,Third International Conference on Pervasive Computing, vol. 3468 of Lecture Notes in Computer Science, Munich, Germany, May 2005.

[37] Mayrhofer Rene, An Architecture for Context Prediction, PhD Thesis,University Linz, Austria, 2004.

[38] Wooldridge, Michael and Nicholas R. Jennings (1995), "Agent Theories, Architectures, and Languages:a Survey", *Wooldridge and Jennings Eds.*, *Intelligent Agents*, Berlin: Springer-Verlag, 1-22.

[39] Russell, Norvig, „Artificial Intelligence: a Modern Approach”, Russell and Norvig, 1995.

[40] Rem Collier, Gregory O’Hare,Terry Lowen, Colm Rooney, Beyond Prototyping in the Factory of Agents, *3rd Central and Eastern European Conference on Multiagent Systems (CEEMAS'03)*, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 2691, 2003.

[41] Kavi Kumar Khedo, „Context-Aware Systems for Mobile and Ubiquitous Networks”, *International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies*, 2006.

[42] Salber, Daniel, Anind K. Dey & Gregory D. Abowd. 1999, „The Context Toolkit: Aiding then Development of ContextEnabled Applications”, Pittsburgh, USA, May 1999.

[43] N. Hristova, G.M.P. O'Hare & T. Lowen, „Agent-based Ubiquitous Systems: 9 Lessons Learnt, In Proceedings of the System Support for Ubiquitous Computing Workshop" , *Fifth Annual Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp'2003) Seattle*, Washington, 2003.

[44] Strang, T. and Linnhoff-Popien, C., „A Context Modeling Survey", *First International Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management,* UbiComp, 2004.

[45] Chen, Guanling, David Kotz, „A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research", *Dartmouth Computer Science*, Technical Report, 2000.

[46] Thomas Strang, Claudia Linnho-Popien, Korbinian Frank, „CoOL: A Context Ontology Language to enable Contextual Interoperability", *Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS2003)*, 2003.

[47] M. K. Smith, C. Welthy, and D. L. McGuinness: "OWL Web Ontology Language Guide", URL: http://www.w3.org/TR/owl-guide.

[48] Binh An Truong, Young Koo Lee, Sung Young Lee, „A Unified Context Model: Bringing Probabilistic Models to Context Ontology", *EUC Workshops*, 2005.

[49] J. Pearl, "Belief Networks Revisited", *Artificial intelligence in perspective*, p. 49-56, 1994.

[50] Gregory D. Abowd and Anind K. Dey, "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness", *Workshop on the what, who, where, when and how of context-awareness at CHI 2000*, Aprilie 2000.

[51] Corcho, O., Fernandez-Lopez, M., Gomez-Perez, A., „Methodologies, tools, and languages for building ontologies. Where is their meeting point?", *Data and Knowledge engineering*, 2003.

[52] D.B. Lenat, R.V. Guha, „Building Large Knowledge-Based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project", *Addison-Wesley*, Boston, 1990.

[53] A. Bernaras, I. Laresgoiti, J. Corera, „Building and reusing ontologies for electrical network applications", *Proc. European Conference on Artificial Intelligence (ECAI_96)*, Budapest, Hungary, 1996, pp. 298–302.

[54] B. Swartout, P. Ramesh, K. Knight, T. Russ, „Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies", *AAAI Symposium on Ontological Engineering*, Stanford, 1997.

[55] M. Fernandez-Lopez, A. Gomez-Perez, A. Pazos-Sierra, J. Pazos-Sierra, „Building a chemical ontology using METHONTOLOGY and the ontology design environment", *IEEE Intelligent Systems & their applications*, 1999, p. 37–46.

[56] Nguyen G., Dang T.T, Hluchy L., Laclavik M., Balogh Z., Budinska I. Agent platform evaluation and comparison, Jun 2002.

[57] FIPA standards and specification, FIPA, *IEEE Computer Society Standards for Agent Based Technologies*, http://www.fipa.org/specifications/index.html.

[58] FIPA-OS, Agent Platform Development Tool, *IEEE Computer Society Standards for Agent Based Technologies,* http://fipa-os.sourceforge.net/.

[59] ***, „JADE, Tutorial for beginners", *JADE Board*, http://jade.tilab.com.

[60] ***, JACK, http://www.agent-software.com/.

[61] ***, „Zeus – BT Intelligent Agent Research", http://www.opensource.org/.

[62] Lars Braubach, „Jadex User Guide", *Distributed Systems Group University of Hamburg, Germany*, http://prdownloads.sourceforge.net/jadex/userguide-0.96.pdf.

[63] Lars Braubach, „Jadex Tool Guide", *Distributed Systems Group University of Hamburg, Germany,* http://prdownloads.sourceforge.net/jadex/toolguide-0.96.pdf.

[64] ***, W3C Recommendation, SOAP Version 1.2 Primer, W3C, 2003, URL: http://www.w3c.org/TR/%20soap12-part0/.

[65] N.F. Noy, R.W. Fergerson, M.A. Musen, „The knowledge model of protege-2000: combining interoperability and flexibility", *12th International Conference in Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKA 2000), Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1937*, Springer, Berlin, 2000, pp. 17–32.

[66] J.C. Arpirez, O. Corcho, M. Fernandez-Lopez, A. Gomez-Perez, „WebODE: a scalable ontological engineering workbench", *First International Conference on Knowledge Capture (KCAP01)*, ACM Press, Victoria, 2001, pp.6–13.