

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Seconda Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

**APPROCCI MULTI-AGENTE PER HOME
AUTOMATION SYSTEM**

Progetto per il corso di Sistemi Multi-Agente LS

Tania Ricci

Prof. Andrea Omicini

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

Indice

1	Introduzione	3
2	Introduzione alla domotica	4
2.1	Cos'è la domotica?	4
2.2	Home vs Building Automation	5
2.3	Caratteristiche di un sistema domotico	6
2.4	Le Aree Domotiche	7
3	Multi-Agent System e Home Automation System	9
3.1	Approcci MAS di diverse università	10
4	Primo approccio: Modellazione di un Home Automation System tramite la teoria dei Sistemi Multi-Agente	11
4.1	Introduzione	11
4.2	Home Automation Systems come Sistemi Multi-Agente	12
4.3	Agenti Domotici	13
4.4	Home Automation System	14
4.5	Strategie di controllo	15
4.6	Indici di Prestazioni	16
5	Secondo approccio: Servizi e interfacce di Location-aware in Smart Homes utilizzando Sistemi Multi-Agente.	18
5.1	Introduzione	18
5.2	Smart Home	19
5.2.1	Personalizzazione di un servizio in una casa intelligente	19
5.2.2	Smart Homes e Multiagent Systems	20
5.3	Intelligent Home Agent Platform	21
5.3.1	Interfacce e Servizi Location-Aware	22
5.3.2	Bluetooth Detection Equipment e Location Awareness	24
5.4	Scenario Applicativo	25

6	Terzo approccio: Approccio Multi-Agente agli Home Automation Systems per la gestione dell'energia	28
6.1	Introduzione	28
6.2	Multi-Agent Home Automation System	29
6.2.1	Meccanismo Reattivo	30
6.2.2	Meccanismo Anticipativo	30
6.3	Meccanismo Anticipativo di un Agente	30
6.3.1	Modellazione di un agente	31
6.4	Modellazione del MAHAS	33
6.5	Strategia di ottimizzazione	34
6.5.1	Distribuzione dell'energia	35
6.5.2	Determinazione dell'intervallo di un sotto-problema . .	36
6.5.3	Risoluzione di un sotto-problema	37
6.6	Esempio Applicativo	37
7	Conclusioni	40

Capitolo 1

Introduzione

Gli ambienti con cui interagiamo giorno dopo giorno, la nostra abitazione, l'automobile, l'ufficio tendono ad offrirci livelli di comfort sempre crescenti. Lo sviluppo delle nuove tecnologie informatiche, elettroniche e delle telecomunicazioni ha portato innovazioni in moltissimi settori: uno di questi è quello della domotica.

Oggi si assiste ad un utilizzo crescente di prodotti elettronici, che sta modificando radicalmente lo stile di vita delle persone. Le nostre case sono popolate di dispositivi elettronici quali ricevitori satellitari, lettori musicali e video, computer, video registratori, sistemi di sicurezza, ecc., ma anche impianti di riscaldamento, condizionamento, antincendio, antintrusione, senza dimenticare gli elettrodomestici “intelligenti”.

Questi dispositivi, fino a poco tempo fa, erano indipendenti tra loro, ognuno con la propria modalità di funzionamento. Negli ultimi anni, il passo in avanti che si sta cercando di compiere attraverso la domotica è quello dell'interconnessione di tutti i dispositivi che popolano le abitazioni, progettando sistemi di comunicazione in grado di far loro scambiare dati, servizi e di attribuire all'utente utilizzatore potenti strumenti di comando e controllo.

Capitolo 2

Introduzione alla domotica

2.1 Cos'è la domotica?

La domotica è la scienza interdisciplinare che si occupa dello studio delle tecnologie atte a migliorare la qualità della vita nelle abitazioni e più in generale negli ambienti antropizzati.

Il termine **Domotica** deriva dal neologismo francese *Domotique*, coniato tramite contrazione del termine greco *domos* (δομος) che significa “casa” e *Informatique* che significa “Informatica” e che brevemente vuole indicare l'informatica applicata alla casa.

Tuttavia la domotica non coincide con i sistemi di automazione e telecontrollo, ma deve essere concepita mediante gli studi che tendono ad integrare tali sistemi nell'abitare.

È un'area fortemente interdisciplinare che richiede l'apporto di molte tecnologie e professionalità tra le quali, ingegneria edile, elettrotecnica, elettronica, telecomunicazioni ed informatica.

Con “*casa intelligente*” si indica un ambiente domestico, opportunamente progettato e tecnologicamente attrezzato, il quale mette a disposizione dell'utente impianti che vanno oltre il “tradizionale”, dove apparecchiature e sistemi sono in grado di svolgere funzioni parzialmente autonome (secondo reazioni a parametri ambientali di natura fissa e prestabilita) o programmate dall'utente o, recentemente, completamente autonome (secondo reazioni a parametri ambientali dirette da programmi dinamici che cioè si creano o si migliorano in autoapprendimento).

2.2 Home vs Building Automation

Mentre la *Home Automation* (intesa come automatizzazione di ambienti domestici) è un settore di più recente applicazione e in fase di piena espansione, la *Building Automation* è già consolidata da diversi anni e riguarda l'automazione degli edifici (ambienti lavorativi, alberghi, università, ...).

L'automazione degli edifici è considerata ad un livello superiore rispetto alla domotica, ma sotto altri punti di vista questi due settori possono anche essere considerati in contrapposizione.

Il punto di forza della Building Automation risiede nel fatto che in un edificio è necessario fornire tutta una serie di servizi (per esempio distribuzione di acqua, gas, energia elettrica, segnale televisivo/satellitare, riscaldamento, ecc.) agli ambienti contenuti (per esempio appartamenti o uffici) e così questi impianti beneficiano, dal punto di vista del costo, del fatto di essere comunitari, cioè il costo ripartito su ogni utente è irrisorio se comparato al beneficio. Per questo recentemente sono stati introdotti nei servizi offerti in comunione anche la refrigerazione (condizionamento), il trattamento dell'acqua potabile, l'antintrusione, la videosorveglianza, la connessione internet ecc.

L'edificio intelligente, con il supporto delle nuove tecnologie, permette la gestione coordinata, integrata e computerizzata degli impianti tecnologici (climatizzazione, distribuzione acqua, gas ed energia, impianti di sicurezza), delle reti informatiche e delle reti di comunicazione, allo scopo di migliorare la flessibilità di gestione, il comfort, la sicurezza, il risparmio energetico degli immobili e per migliorare la qualità dell'abitare e del lavorare all'interno degli edifici.

Al livello inferiore, la domotica deve redistribuire i servizi distribuiti dal condominio nonché eventuali sotto servizi alle varie stanze dell'appartamento.

A causa del fatto che la Building Automation è stato storicamente il primo settore ad essersi sviluppato, si è formata l'opinione che gli stessi prodotti, gli stessi approcci commerciali e tecnici utilizzati in questo settore possano essere facilmente applicati al mercato dell'Home Automation, se pur adattati su scala ridotta. Questo passaggio in realtà non è così banale e l'opinione è sempre più smentita dai fatti. In effetti le due aree, per quanto vicine, sono molto diverse ed i motivi fondamentali sono plausibilmente riassunti nella seguente tabella, in cui è mostrato un confronto tra Building e Home Automation, prendendo in esame un ambiente lavorativo e un appartamento.

Tabella 2.1: *Confronto tra Building Automation e Home Automation*

	Building Automation	Home Automation
Decisore	Azienda	Chi ci vive
Utente	Chi ci lavora	Chi ci abita
Gestione Sistema	Building Manager Uso Complesso	Chi ci vive Uso semplice
Dimensione	Edificio	Abitazione Singola
Gestione Spazi	Più Dinamica	Più statica
Motivazione	Sicurezza Risparmio energetico Automazione utenze elettriche Controllo accessi	Sicurezza Costi adeguati Semplicità Qualità della vita Status symbol Intrattenimento

2.3 Caratteristiche di un sistema domotico

Le soluzioni tecnologiche che possono essere adottate per la realizzazione di un sistema domotico sono caratterizzate da peculiarità d'uso proprie degli oggetti casalinghi:

- **Semplicità:** il sistema domotico è diretto ad un pubblico vasto e non professionale, per questo deve essere semplice da usare, deve inoltre essere sicuro e non deve presentare pericoli per chi non ne conosce o comprende le potenzialità.
- **Continuità di funzionamento:** il sistema deve essere costruito pensando al fatto che dovrà offrire un servizio continuativo e praticamente immune da guasti, o comunque semplice da riparare, non richiedendo l'intervento di un esperto o, in caso, necessitando di tempi brevi per la rimessa in funzione.
- **Affidabilità:** il sistema deve funzionare sempre, senza richiedere particolari attenzioni; anche in caso di guasti esso deve essere in grado di fornire il servizio per il quale è stato progettato o uno ad esso affine, funzionalmente ridotto. Deve essere inoltre in grado di segnalarne il mancato funzionamento e di generare un report delle eventuali anomalie.

- **Basso costo:** affinché un sistema domotico sia alla portata di tutti deve avere un costo contenuto, inteso come economicità delle periferiche (sensori, attuatori, ecc.) e della rete di interconnessione tra i diversi moduli funzionali.

Le tecnologie per la domotica permettono inoltre di ottenere alcuni vantaggi quali ad esempio:

- **Risparmio energetico:** un sistema completamente automatizzato dovrà evitare i costi generati da sprechi energetici dovuti a dimenticanze o ad altre situazioni, monitorando continuamente i consumi e gestendo le priorità di accensione degli elettrodomestici.
- **Automatizzazione di azioni quotidiane:** un sistema di home automation deve semplificare alcune azioni quotidiane, soprattutto quelle ripetitive, e non deve in alcun modo complicarle.

2.4 Le Aree Domotiche

Le tecnologie strettamente domotiche includono le cinque aree classiche in cui sono state tradizionalmente classificate, fin dagli anni '80, le operatività dei sistemi domotici :

- *sicurezza attiva* (safety, security)
- *microclima ambientale* (condizionamento, climatizzazione)
- *energia e illuminazione*
- *apparecchiature elettrodomestiche*
- *telecomunicazioni* (reti, sistema telefonico, apparati satellitari,...)

Le aree afferiscono a corpi disciplinari strutturati sia in termini progettuali sia di prodotto.

Per *Energia* si intende ovviamente quella elettrica e di illuminazione, comprendendo anche le automazioni di base che le sono associate e distinguendola ovviamente dall'energia termica degli impianti delegati al *comfort ambientale*, altra area ben strutturata disciplinarmente.

La *Sicurezza attiva* nelle sue componenti classiche è un'area che comprende sistemi di protezione, allarme, antieffrazione e controllo di accessi e transiti - *security* - e sistemi di protezione ambientale (antincendio, antiallagamento,

anticatastrofe) - *safety*.

Le *Telecomunicazioni* sono un concetto molto generale che inglobano, sia le tecnologie di cablaggio esterno/interno all'abitazione (tipologia e topologia della rete (eventuale LAN), sistema telefonico (Isdn, bandalarga, f.o., wireless)), sia prodotti di un'infinità di specie di apparecchiature elettroniche, di comunicazione e svago (decoder, telefoni-web, hi-fi , home theatre,...) attribuibili anche all'area dei nuovi elettrodomestici.

L'area inerente agli *Elettrodomestici*, che incorporano funzioni intelligenti e di telecomando, comprende: telefoni cellulari, computer palmari, telecomandi radio/infrarossi, console videogiochi , sistemi di intrattenimento.

Riassumendo gli ambiti principali di applicazione e gli scopi di un Home Automation System sono:

Tabella 2.2: *Applicazioni e scopi di un Home Automation System.*

Sicurezza	Risparmio Energetico	Comfort/Relax Indipendenza	Connettività
Antinfortunistica Domestica	Ottimizzazione del funzionamento di impianti e accessori	Benessere Ambientale	Collegamento Rapido ed efficiente con il mondo esterno
Protezione dalle Intrusioni	Contenimento delle Dispersioni termiche e degli sprechi	Possibilità di controllo (anche a distanza) degli elettrodomestici degli impianti	
Telesorveglianza			
Telesoccorso		Sistemi per Disabili	

Capitolo 3

Multi-Agent System e Home Automation System

La teoria dei sistemi Multi-Agente è stata impiegata per modellare e studiare parecchie situazioni, caratterizzate dalla presenza di agenti autonomi che interagiscono e possibilmente competono in vario modo, in molte aree della Computer Science, dell'Automazione e della Robotica.

Esistono già diversi esempi di sistemi domotici basati sui sistemi Multi-Agente.

Un'applicazione è l'*IHome Environment* [6], un esempio di casa intelligente che utilizza la tecnologia dei sistemi Multi-Agente come modo per controllare il comportamento degli elettrodomestici dal punto di vista del consumo di risorse e della coordinazione. L'*IHome Environment* simulato è controllato da agenti intelligenti che sono associati a particolari elettrodomestici.

Nel progetto *MavHome* [7] la casa intelligente è vista come un agente intelligente che percepisce il suo ambiente attraverso l'uso di sensori e può agire sull'ambiente attraverso degli attuatori. La casa ha alcuni goal globali, come minimizzare il costo del mantenimento della casa e massimizzare il comfort dei suoi abitanti. Riesce a raggiungere questi obiettivi grazie alle capacità di predizione, ragionamento e adattamento ai suoi abitanti.

C@sa [8] è un sistema Multi-Agente che ha lo scopo di modellare, controllare e simulare il comportamento della casa in accordo alle caratteristiche dell'utente e del contesto, tramite una gerarchia di agenti, con controllo centralizzato da parte di un agente supervisore.

Un altro ambiente degno di nota è *Adaptive House* [9], che focalizza l'attenzione sullo sviluppo di una casa in grado di programmare se stessa osservando lo stile di vita e i desideri degli abitanti e apprende per anticipare e accontentare le loro necessità. Sebbene in questo lavoro non è utilizzata la teoria dei sistemi Multi-Agente, questo sistema è interessante poiché il controllo

è gestito da una rete neurale ad apprendimento con rinforzo e tecniche di previsione.

3.1 Approcci MAS di diverse università

Oltre alle applicazioni sopracitate, nei successivi capitoli verranno riportati alcuni interessanti approcci al problema dell'Home Automation System, basati sulla teoria dei Sistemi Multi-Agente, sviluppati da diverse università. Il primo approccio è stato proposto dall'Università Politecnica delle Marche e riguarda la modellazione di un Home Automation System tramite un Sistema Multi-Agente.

Il secondo approccio è proposto da un'università spagnola (Departamento de Automática, Universidad de Alcalà) e tratta la modellazione di servizi per l'identificazione e la rilevamento della presenza dell'utente all'interno di un'abitazione, al fine di realizzare una personalizzazione dell'ambiente domestico.

Il terzo approccio è proposto da due università francesi (Laboratoire LIG-Institut IMAG, CNRS, UMR5217, Grenoble, France. E Laboratoire G-SCOP, CNRS, UMR5528, Saint Martin d'Hères, France) e presenta la modellazione di un Home Automation System basato sul paradigma multi-agente, dedicato alla gestione dell'energia, che ne adatta il consumo alle risorse disponibili, in accordo ai criteri di costo e di benessere degli abitanti.

Capitolo 4

Primo approccio: Modellazione di un Home Automation System tramite la teoria dei Sistemi Multi-Agente

4.1 Introduzione

In questo capitolo viene presentato un approccio allo studio di un Home Automation Systems basato su Multi-Agent System (MAS), che permette di introdurre una modellazione e una formalizzazione rigorosa e di definire degli strumenti pratici per l'analisi delle performance e delle strategie di controllo e di allocazione delle risorse.

Un Home Automation System (HAS) è costituito da un insieme di elettrodomestici (come ad esempio, lavatrice, lavastoviglie, frigorifero, forno, caldaia) e altri dispositivi o sottosistemi (per il riscaldamento, per l'aria condizionata, per l'intrattenimento), che sono collegati tra loro tramite una rete di comunicazione di qualche tipo. I vari elementi del sistema condividono risorse comuni (principalmente energia elettrica, ma anche acqua) per realizzare le loro attività specifiche, secondo i requisiti dell'utente. Poiché le risorse sono limitate, la competizione tra gli elementi del sistema genera conflitti interni. All'interno del sistema devono quindi essere implementate le strategie di controllo, distribuite o centralizzate, in modo da allocare le risorse limitate massimizzando le performance, utilizzando le informazioni inviate sulla rete di comunicazione e alle risorse computazionali di cui possono essere dotati i dispositivi o le unità dedicate. Dal punto di vista della teoria del controllo, gli Home Automation Systems sono oggetti complessi, caratterizzati dalla

presenza di componenti e vincoli di diversi tipi, una struttura distribuita e un comportamento ibrido guidato da eventi/tempo. Sebbene il mercato offra dispositivi e soluzioni che permettono di assemblare Home Automation Systems più o meno sofisticati, si è ancora lontani dallo sviluppo di tecniche di progettazione efficienti. In particolare, mancano dei metodi generali per valutare le performance e per regolare le strategie di controllo. D'altra parte, la richiesta di metodi e strumenti per facilitare il progetto sistematico di Home Automation Systems efficienti si è fatta sempre più urgente a causa della crescita del numero di risorse limitate che sono consumate nell'uso domestico e a causa della crescente competizione nel mercato di elettrodomestici e dispositivi per la casa.

Come punto di partenza della modellazione vengono descritte le nozioni di Home Automation System basato sulla teoria dei sistemi Multi-Agente e degli elementi che lo costituiscono. Tali nozioni rappresentano degli strumenti concettuali che facilitano la modellazione e l'analisi di esempi concreti, aiutando a comprendere le loro caratteristiche e ad identificare i loro parametri critici. Parallelamente vengono definiti degli indici di performance (che rappresentano la soddisfazione dell'utente e l'efficienza del sistema) per le strategie di controllo, caratterizzate da parametri idonei, che allocano le risorse limitate risolvendo i conflitti tra i singoli componenti del sistema. Per analizzare la bontà del sistema e delle strategie di controllo viene utilizzato un ambiente di simulazione (sviluppato tramite LabVIEW), per ovvie ragioni sulla durata elevata del ciclo di un elettrodomestico, in modo da lavorare solo con agenti virtuali, la cui velocità di esecuzione può essere aumentata settando specifici parametri, in modo da ridurre la durata della simulazione.

4.2 Home Automation Systems come Sistemi Multi-Agente

Come è stato già citato, un Home Automation System è costituito da elettrodomestici e altri dispositivi o sotto-sistemi collegati tramite una rete di comunicazione. In questa visione anche l'utente umano viene considerato come un agente all'interno dell'Home Automation System. Competendo per le risorse, i suoi bisogni andranno in conflitto con quelli degli altri agenti situati nel medesimo ambiente e la soluzione ai conflitti seguirà le stesse regole generali. I privilegi e le priorità concessi agli esseri umani non rappresentano dei disturbi esterni che possono interferire con il comportamento del sistema e degradare le sue performance, ma sono integrate nelle leggi che governano le sue operazioni.

In un Home Automation System reale gli agenti devono possedere delle caratteristiche individuali che facilitino la loro integrazione in un sistema più vasto, senza tuttavia ridurre la loro abilità di operare come dispositivi stand-alone e di salvaguardare l'utente. Queste caratteristiche possono essere informalmente descritte come le seguenti:

- *Autonomy*: la capacità di eseguire le proprie attività, quando richiesto, senza il supporto del Home Automation System o, in alternativa, la capacità di negoziare risorse interagendo con gli altri agenti.
- *Collaborative Behaviour*: la capacità di cooperare con gli altri agenti al fine di condividere risorse e raggiungere obbiettivi comuni.
- *Adaptability*: la capacità di modificare il proprio comportamento in base ai processi di interazione.
- *Reactivity*: la capacità di reagire, a un certo grado, alle azioni del sistema.

L'approccio Multi-Agente è particolarmente idoneo a trattare situazioni di questo tipo e permette di modellare la struttura di un generico Home Automation System almeno a due livelli: un livello globale, che riguarda il comportamento globale e le performance del sistema e un livello locale, che riguarda il modo in cui i singoli componenti e dispositivi sono integrati all'interno del sistema e in che modo operano. In altre parole, in un Home Automation System si ha una collezione di componenti, che possono essere chiamati genericamente agenti e un'architettura generale, che definisce l'ambiente entro il quale gli agenti interagiscono e le modalità di interazione. Da questo punto di vista, un Home Automation System si qualifica come Sistema Multi-Agente, nel quale, in particolare, non vi è un controllore globale, centralizzato o un supervisore; i dati e la conoscenza sono decentralizzate; la potenza computazionale è distribuita e asincrona; ogni agente ha informazioni o capacità incomplete e, di conseguenza, conoscenza e consapevolezza limitata della situazione generale.

4.3 Agenti Domotici

Seguendo il punto di vista della teoria dei sistemi Multi-Agente, un agente, nominalmente il componente base di un sistema più ampio, può essere definito caratterizzando le sue capacità.

Tenendo in mente l'applicazione in questione,

Definizione 1. Un *agente* è un'entità fisica o virtuale che:

1. è in grado di eseguire azioni specifiche in un dato ambiente
2. è in grado di percepire gli elementi dell'ambiente
3. è in grado di costruire modelli (parziali) dell'ambiente
4. è in grado di utilizzare le proprie risorse e le risorse dell'ambiente
5. è in grado di indirizzare le proprie azioni verso specifici goal
6. è in grado di comunicare direttamente con gli altri agenti nell'ambiente
7. è in grado di offrire servizi agli altri agenti
8. è in grado di governare le sue azioni in accordo alle sue possibilità e limitazioni, ai suoi goal, alla sua conoscenza dell'ambiente, alle risorse disponibili.

La definizione è formalmente analoga alla definizione di agente in Ferber [10]. Come componenti elementari di un Home Automation System vengono identificati i *domotic agent* e *domotic object*, specializzando la Definizione 1.

Definizione 2. Un *domotic object* è un agente generico nel senso della Definizione 1 che ha almeno le capacità 1, 4, 5 e 8 e, per quanto riguarda la capacità 6, è in grado di comunicare agli altri agenti nell'ambiente almeno i suoi requisiti riguardo le risorse dell'ambiente.

Definizione 3. Un *domotic agent* è un domotic object che in più ha la capacità 2.

4.4 Home Automation System

Dopo aver definito i principali elementi, i domotic object e agent, che costituiscono l'intero sistema, si definisce un Home Automation System.

Definizione 4. Un *Home Automation System* (HAS) è costituito da:

- un insieme *GR* di *Global Resources*;
- un insieme *DO* di *Domotic Objects*;
- un insieme *DA* di *Domotic Agents*, sottoinsieme di *DO*;
- una *Information Network IN*, che connette domotic object e domotic agents;

- un insieme R di *Rules*, che governano il comportamento individuale e le operazioni concorrenti dei domotic object, che riguardano l'utilizzo e la trasformazione di risorse, la comunicazione, la percezione e la comprensione;
- un insieme L di operatori, chiamati *Laws*, che descrivono l'evoluzione temporale dell'intero sistema secondo il comportamento individuale di object e agent.

4.5 Strategie di controllo

L'allocazione delle risorse limitate è il problema primario che deve essere trattato nel Home Automation System e che è stato affrontato risolvendo i conflitti tra la competizione degli agenti. In questo contesto, per "limitazione di risorse" si intende che il consumo corrente della risorsa non deve eccedere una soglia prefissata per un tempo limitato T_{lim} . Il consumo della risorsa, al di sopra della soglia, per un tempo maggiore a T_{lim} provoca un black-out. In questo caso, l'utente dovrebbe spegnere alcuni elettrodomestici per ritornare al di sotto della soglia e accendere nuovamente l'interruttore generale; questo è indubbiamente un evento non desiderato, quantomeno perché a volte l'interruttore generale è collocato al di fuori dell'abitazione. Altri possibili obiettivi possono essere minimizzare il costo nel caso in cui, per esempio, vengano applicate diverse tariffe per le risorse in base alle ore in cui vengono utilizzate. Considerando la situazione di sovraccarico come la condizione in cui la soglia viene oltrepassata e analizzando le risorse disponibili e la loro quantità limitata, può risultare conveniente una classificazione delle risorse in due gruppi:

- risorse per le quali il sovraccarico può persistere, senza causare una perdita di qualità, per un breve periodo di tempo $T_{lim} > 0$, dopo il quale, se il sovraccarico persiste, il suo utilizzo diventa inaccettabilmente costoso, o, in alternativa, la risorsa viene tagliata fuori, rendendo necessario un intervento per riavviare il sistema;
- risorse per le quali il sovraccarico può persistere indefinitamente, senza provocare tagli o la necessità di riavviare il sistema, ma la cui persistenza nel tempo degrada significativamente la qualità del sistema, cosicché è appropriato scegliere $T_{lim} = 0$;

Due esempi sono quello dell'elettricità, per cui T_{lim} è maggiore di zero e quello dell'acqua calda, per cui T_{lim} è idealmente zero, poiché il sovraccarico causerebbe un brusco calo della temperatura o del flusso.

Le risorse appartenenti ai diversi gruppi devono essere gestite con strategie diverse.

Per quanto riguarda la gestione del primo gruppo di risorse, l'azione di ogni agente del Home Automation System è determinata da due parametri, rispettivamente l'*Overload Time* t_o (Tempo di Sovraccarico) e il *Suspension Time* t_s (Tempo di Sospensione). L'*Overload Time* t_o rappresenta il tempo che l'agente attende prima di interrompere le sue azioni nel caso in cui si verifichi un sovraccarico. Il *Suspension Time* t_s rappresenta il tempo che l'agente deve attendere prima di riavviare le sue azioni dopo averle interrotte a causa di un sovraccarico.

Per quanto riguarda invece la gestione delle risorse del secondo gruppo, nel caso in cui si verifichi un sovraccarico quando più agenti tentano di utilizzare la risorsa nello stesso momento, la pianificazione e la valutazione si rivelano particolarmente semplici. Per fare ciò, infatti, un agente deve soltanto essere in grado di controllare, prima di utilizzare la risorsa, se lo stanno già facendo altri e, in tal caso, rinunciarvi. Questo tipo di strategia assicura la priorità più alta all'agente che per primo ottiene la risorsa e obbliga gli altri ad aspettare.

4.6 Indici di Prestazioni

Per poter quantificare la bontà del sistema, sia in termini di soddisfazione dell'utente sia in termini di efficienza del sistema, e per poter comparare i risultati di diversi scenari di simulazione, occorrono uno o più indici di performance.

Ad esempio, due possibili indici sono: il ritardo relativo nel completamento dei task e il numero di sovraccarichi. Sono possibili anche altre scelte in base ai problemi presi in considerazione.

Relative Delay. La durata di un task i , quando tutte le risorse richieste sono disponibili, sia indicata con TN_i e sia chiamata *durata nominale*. In caso di conflitto e competizione, il tempo necessario a completare il task può richiedere un tempo maggiore $TA_i \geq TN_i$. Quindi si può considerare il ritardo relativo

$$\Delta_i = \frac{TA_i - TN_i}{TN_i}$$

e, dato N il numero di task nello scenario considerato, si può definire il ri-

tardo relativo globale percentuale $\Delta\%$ come

$$\Delta\% = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^N p_i \Delta_i}{N}$$

dove p_i sono i pesi che possono essere scelti in base alle caratteristiche del task. Chiaramente, la soddisfazione dell'utente accresce quando questo indice è prossimo a zero.

Number of Overloads. Questo indice conta semplicemente le occorrenze di sovraccarichi ed è denotato da OL . I sovraccarichi stressano il sistema e lo mettono a rischio o causano un forte aumento dei costi, perciò l'Home Automation System ha performance migliori se OL è mantenuto basso.

Capitolo 5

Secondo approccio: Servizi e interfacce di Location-aware in Smart Homes utilizzando Sistemi Multi-Agente.

5.1 Introduzione

In questo capitolo viene proposta un'architettura per costruire un ambiente domestico intelligente utilizzando sistemi Multi-Agente e nel caso specifico viene mostrato un esempio applicativo di personalizzazione dell'ambiente, in cui i contenuti multimediali seguono i movimenti dell'utente nella casa.

Il numero di dispositivi elettronici è in continua crescita, ma questo non significa necessariamente che le nostre vite siano migliori o più semplici. Possiamo accedere a più servizi, ma scambiamo la disponibilità per la facilità di utilizzo. Per esempio, il numero di controlli remoti in una abitazione cresce secondo il numero di dispositivi elettronici, perciò gli utenti devono imparare ad usare nuove interfacce se vogliono aggiungere un servizio alla loro casa. In questo contesto appaiono sistemi che si adoperano per la personalizzazione dell'ambiente. I sistemi computazionali sono pienamente in grado di fornire interfacce personalizzate per gli utenti. Ogni volta che ci autenticiamo in un sito di e-commerce che abbiamo già utilizzato, l'interfaccia cambia al fine di adattarsi ai nostri probabili interessi. Alcuni veicoli sofisticati aggiustano la posizione del sedile, lo specchietto retrovisore e altri parametri per adattarsi alle preferenze dei guidatori quando entrano nell'automobile, a condizione che appartengano ad un insieme di guidatori conosciuti. Tuttavia, questo tipo

di personalizzazione del servizio non è stato ancora raggiunto nell'ambiente domestico.

Questo tipo di personalizzazione può essere vista, per esempio, nei dispositivi palmari di location-aware, che sono in grado di adattarsi al luogo in cui l'utente si sposta, o nei sistemi capaci di aggiustare il proprio comportamento in base alle preferenze degli utenti vicini. In questo contesto viene proposta la personalizzazione sia di dispositivi palmari mobili sia di tradizionali elettrodomestici, fornendo intelligenza all'abitazione. Per ottenere questo obiettivo vengono utilizzati sistemi Multi-Agente, poiché risultano una tecnologia molto adatta per lo sviluppo di sistemi distribuiti, autonomi ed intelligenti.

Viene delineata l'architettura di una casa intelligente e dimostrata l'efficacia di questo approccio implementando alcuni servizi domotici di esempio. In particolare viene utilizzato un dispositivo palmare come un controllo universale remoto, in grado di adattare sé stesso al luogo in cui l'utente si trova, fornendo l'interfaccia corrispondente per il servizio disponibile a quella locazione. L'esempio in questione si riferisce ad un servizio multimediale che permette ai contenuti richiesti dall'utente di seguire i suoi movimenti, in tempo reale, attraverso la casa.

5.2 Smart Home

Un ambiente intelligente può essere definito come un *ambiente che è in grado di acquisire e applicare conoscenza riguardo ai suoi abitanti e ciò che li circonda, al fine di adattarsi agli abitanti e raggiungere gli obiettivi di comfort ed efficienza*. Questi obiettivi sono normalmente diretti ad adattare l'ambiente alle preferenze dell'utente, a migliorare le sue attività quotidiane e ottimizzare il consumo di energia del sistema.

5.2.1 Personalizzazione di un servizio in una casa intelligente

La personalizzazione di un sistema e di un servizio non è un problema nuovo. Infatti, la maggior parte delle linee di ricerca che coinvolgono l'utilizzo di agenti software si focalizzano sulla capacità di configurare un sistema software secondo le preferenze dell'utente. Può esserci dunque un agente associato a ogni utente o un singolo agente per servire ogni utente che accede al sistema. Sebbene la personalizzazione di un servizio è possibile per qualunque ambiente, la casa intelligente si presta particolarmente bene a questo aspetto, dal momento che è il luogo in cui gli utenti sono più propensi a godere dei sistemi progettati per fornire comodità e facilità di utilizzo.

Una possibile tassonomia per i servizi disponibili per la casa intelligente, divisi in quattro categorie, è la seguente:

1. *Home management*: questa categoria include tutti i tradizionali sistemi domotici: teleassistenza, automatizzazione e diagnostica di elettrodomestici, servizi di comfort come luce e controllo della temperatura in ogni luogo, sicurezza della casa...
2. *Communication infrastructure*: questi servizi si focalizzano sulla gestione della rete dei dati per permettere la comunicazione tra l'interno e l'esterno della casa.
3. *Professional activities and services*: ricadono in questa categoria i servizi come tele-lavoro, tele-educazione o e-business. Questi sono probabilmente i servizi più diffusi e forniscono un certo grado di personalizzazione.
4. *Entertainment*: questa categoria include servizi come video on demand, TV interattiva o giochi in rete multi-giocatore.

I servizi di queste quattro categorie possono essere altamente personalizzati per combaciare al meglio con le preferenze dell'utente. Per esempio, si può facilmente pensare a un ambiente domestico in cui le luci si accendono e si spengono in base ai movimenti dell'utente nella casa, in cui una chiamata telefonica sia automaticamente convertita in video chiamata se l'utente ha un televisore o uno schermo del computer nelle vicinanze, in cui sia effettuato automaticamente un ordine al supermercato quando nel frigorifero è finito il latte, oppure in cui vi siano restrizioni su alcuni programmi televisivi in base all'età dell'utente che li ha richiesti.

5.2.2 Smart Homes e Multiagent Systems

Per ottenere questi obiettivi un sistema domotico è basato su un insieme di dispositivi che raccolgono informazioni sull'ambiente - sensori - e un insieme di dispositivi in grado di agire sull'ambiente per modificarne le condizioni - effettori. Il sistema elabora i dati collezionati dai sensori e, in accordo a un insieme di goal predefiniti, utilizzerà gli effettori per modificare l'ambiente. Il modo in cui il sistema decide le azioni necessarie, che dipende dalle informazioni fornite dai sensori, è il problema chiave nella domotica, poiché richiede di analizzare dati da parecchie sorgenti diverse, distribuite nell'intera abitazione, che coordinano in ugual modo effettori eterogenei. Queste considerazioni conducono ai requisiti di estrazione di dati distribuiti, autonomia

e intelligenza, che suggeriscono l'utilizzo di agenti software per sviluppare questo tipo di sistema.

Esistono diverse definizioni di agente software. Dal punto di visto progettuale e tecnologico, un agente software si può definire come un programma autonomo in grado di controllare le proprie decisioni agendo, in base alle proprie percezioni dell'ambiente, durante il perseguimento di uno o più obiettivi. Da una prospettiva funzionale dell'utente, un agente software può essere visto come un'entità software alla quale possono essere delegate delle attività (task). Un sistema Multi-Agente quindi fornisce un framework distribuito e flessibile e meccanismi di comunicazione e negoziazione tra i suoi componenti, che permette loro di prendere decisioni complesse in modo efficace ed efficiente.

5.3 Intelligent Home Agent Platform

L'*Intelligent Home Agent Platform (iHAP)* rappresenta un'architettura per costruire un'abitazione intelligente basata su agenti. L'architettura fa affidamento su un insieme di dispositivi distribuiti nell'ambiente. In base al grado di autonomia e intelligenza di cui sono dotati i dispositivi, principalmente determinato dalle loro capacità computazionali di includere agenti, si possono dividere in quattro gruppi:

- **iHAP Central System (iHAP or CS).** Esso contiene la piattaforma ad agenti che supporta l'esistenza di tutti gli agenti nella casa. Nello specifico ospita gli agenti di sistema e general purpose, ossia tutti quegli agenti che operano a livello globale nella casa, senza essere associati a uno specifico sensore o attettore o a un certo luogo o stanza della casa. Generalmente, iHAP Central System contiene il più elevato numero di agenti del sistema. Inoltre contiene quegli agenti utilizzati per controllare i dispositivi non intelligenti, ossia i dispositivi domotici privi di sufficiente capacità di elaborazione da ospitare i propri agenti.
- **Personal Devices.** Ogni utente ha un palmare, un dispositivo mobile, un cellulare, un PDA che ospita gli agenti necessari per identificare l'utente nel sistema, determinare la sua posizione nella casa e visualizzare le interfacce adeguate per i servizi disponibili quando necessario. Ogni dispositivo personale racchiude la maggior parte delle preferenze dell'utente aggiornate.
- **Devices with Agents.** Sensori ed attettori con un certo grado di autonomia, solitamente fornita da agenti in esecuzione sul dispositivo.

- **Devices without agents.** Sensori ed effettori privi di autonomia o intelligenza, controllati da agenti ospitati nel CS.

I dispositivi privi di agenti dipendono direttamente dal iHAP Central System e sono collegati ad esso per mezzo di tecnologie standard a bus (X.10, EIB...). I dispositivi con agenti, i Personal Devices e lo iHAP CS possono comunicare utilizzando TCP/IP. Sebbene possano essere usate tecnologie a ogni livello, in questo caso di esempio sono stati preferiti i protocolli per la comunicazione wireless (Bluetooth, WLAN...).

La Figura 5.1 mostra l'architettura del sistema, dove sono visibili i diversi livelli di comunicazione.

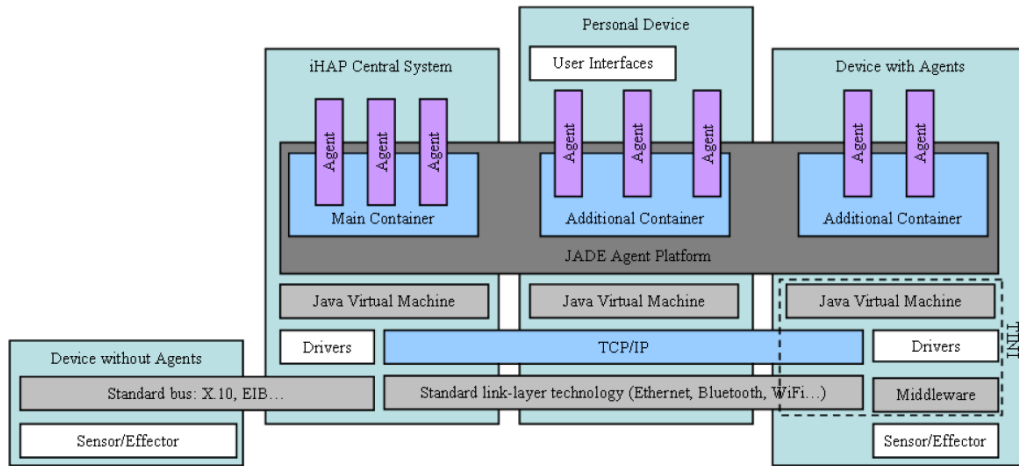


Figura 5.1: Architettura iHAP.

Il sistema è sviluppato su una piattaforma ad agenti *JADE* (*Java Agent DEvelopment framework*) [11]. JADE si attiene alle specifiche *FIPA* - *Foundation for Intelligent Physical Agents* - [12], le quali garantiscono un certo grado di interoperabilità con altri sistemi agent-based.

5.3.1 Interfacce e Servizi Location-Aware

Come esempio di ambiente intelligente viene considerata un'abitazione a due soli servizi: la distribuzione audio/video multi-stanza e il servizio di location-aware. Con sistemi audio/video multi-stanza, gli utenti possono reperire i media in ogni luogo dell'abitazione, accedendo a un repository centralizzato di contenuti. Questi sistemi accrescono l'accesso ai contenuti di intrattenimento, ma non sono necessariamente semplici da usare per l'utente finale del

sistema. Come già detto in precedenza, il crescente numero di dispositivi in un ambiente domestico implica solitamente anche un aumento del numero di interfacce che l'utente deve imparare ad utilizzare. I servizi implementati sullo iHAP rendono questo compito più semplice per l'utente in due sensi. Da un lato forniscono dispositivi con un'interfaccia generica che si adatta ai servizi disponibili in un particolare luogo. Dall'altro permettono ai contenuti multimediali di seguire l'utente se ha deciso di andare in un'altra stanza. La Figura 5.2 mostra l'architettura iHAP, mettendo in evidenza i servizi discussi, dove si possono vedere i diversi elementi del sistema e gli agenti software che risiedono in ogni elemento per fornire le funzionalità richieste.

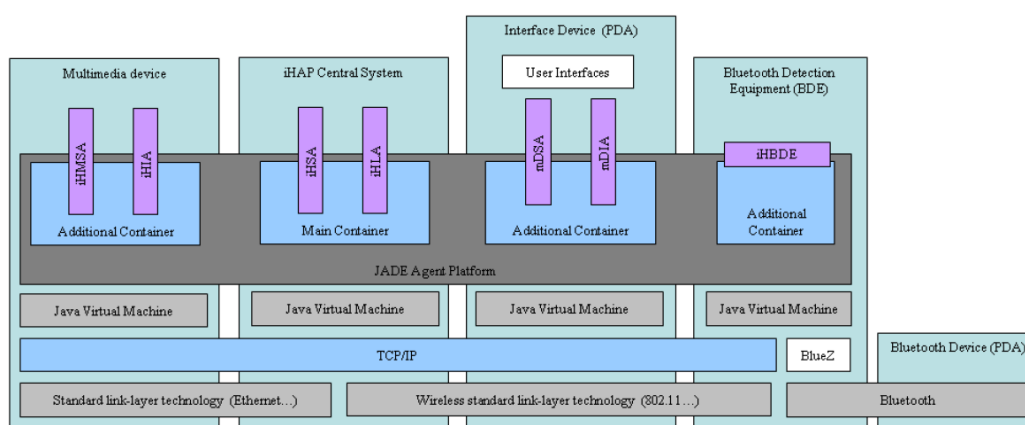


Figura 5.2: Architettura iHAP per i servizi discussi.

Brevemente:

1. **iHAP Central System** (*Intelligent Home Agent Platform*) ospita due agenti:
 - **iHSA** (*Intelligent Home Services Agent*), che coordina la fornitura dei servizi per i diversi utenti della casa. Conosce i servizi disponibili in ogni luogo della casa e il loro stato. Inoltre racchiude le informazioni riguardanti la posizione e le preferenze dell'utente e i servizi richiesti da ogni utente.
 - **iHLA** (*Intelligent Home Location Agent*), che permette al sistema di determinare la posizione di ogni utente in tempo reale.
2. **Mobile Interface Device**: per rendere più comprensibile la Figura 5.2 le funzionalità del *Personal Device* sono suddivise in due blocchi. Il

primo è il *Mobile Interface Device*, un PDA che può essere usato come un controllo remoto per interagire col sistema. L'interfaccia mostrata si adatta ai servizi disponibili in base alla posizione dell'utente. Questa funzionalità è fornita da due agenti:

- **mDSA** (*Mobile Device Services Agent*), fornisce i servizi disponibili al Interface Device.
 - **mDIA** (*Mobile Device Interface Agent*), fornisce all'utente l'interfaccia adeguata in base al servizio disponibile in quel luogo/posizione.
3. **Mobile Personal Device**: il resto delle funzionalità del *Personal Device* è fornito dall'interfaccia Bluetooth del PDA. Il dispositivo permette al sistema di identificare l'utente e di determinare la sua posizione all'interno della casa.
 4. **Bluetooth Detection Equipment** (*BDE*): un dispositivo embedded con Bluetooth, in grado di stimare la distanza dal Personal Device dell'utente. Questa funzionalità è fornita dall'agente iHBDE.
 5. **Multimedia Device**, un lettore standard audio/video con un certo grado di autonomia, fornito dai seguenti agenti:
 - **iHMSA** (*Intelligent Home Multimedia Services Agent*), fornisce i servizi multimediali locali all'utente.
 - **iHMIA** (*Intelligent Home Multimedia Interfaces Agent*), fornisce l'interfaccia locale per il Multimedia Device, così da poter essere utilizzato anche senza Mobile Interface Device.

Per questioni di interoperabilità la comunicazione tra agenti avviene utilizzando **messaggi ACL** (*Agent Communication Language*) come definito dalle specifiche *FIPA ACL*.

5.3.2 Bluetooth Detection Equipment e Location Awareness

Il sistema di rilevamento e posizionamento è basato sulla tecnologia Bluetooth, poiché facile da trovare nella maggior parte dei dispositivi mobili. I dispositivi mobili, attraverso il loro MAC address, sono utilizzati per identificare e localizzare gli utenti nel sistema.

L'iHBDE agent, periodicamente, effettua un processo di scansione per cercare nuovi dispositivi entro il raggio del suo segnale radio. Una volta che

il dispositivo è stato rilevato, l'iHBDE esegue una connessione. Poi valuta il livello del segnale trasmesso e la potenza del segnale ricevuto e normalizza entrambi i valori. Dall'elaborazione di questi valori viene determinato se l'utente è dentro la stanza e quando non lo è.

5.4 Scenario Applicativo

Viene mostrato un esempio del comportamento del sistema iHAP circa i servizi forniti. Viene considerata una semplice casa intelligente con un soggiorno e una camera da letto, ognuna dotata di un Bluetooth Detection Equipment e del suo Multimedia Device.

Entrambe le stanze sono collegate a un piccolo corridoio. Lo iHAP Central System può essere posizionato ovunque all'interno della casa.

Viene mostrato cosa succede quando un utente entra in una stanza, accende la TV e poi va nell'altra stanza.

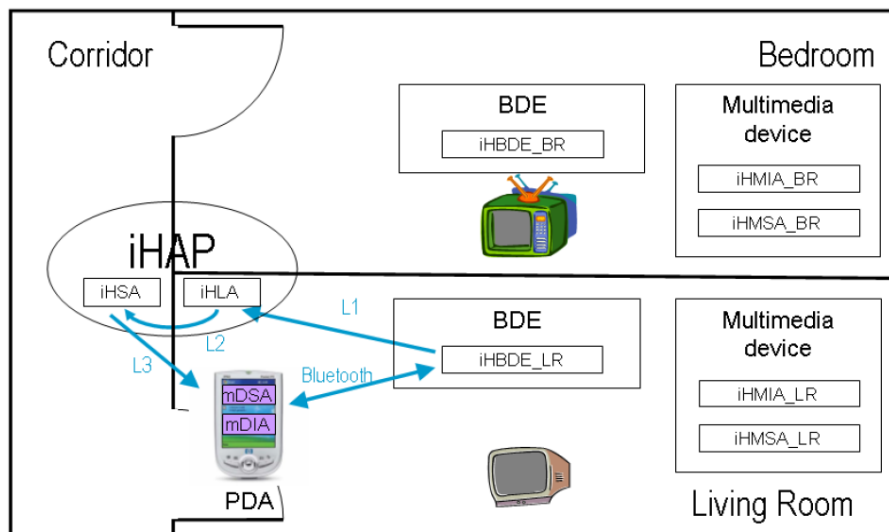


Figura 5.3: Esempio: l'utente entra nel soggiorno.

1. L'utente entra nel soggiorno (Figura 5.3). Il Bluetooth Detection Equipment posto lì rileva la presenza del Mobile Personal Device e valuta la qualità della connessione. Basandosi su questa informazione, l'agente iHBDE-LR emette un messaggio informativo al Location Agent (iHLA).

iHLA determina la posizione dell'utente nella casa utilizzando qualsiasi

messaggio di informazione disponibile dai BDEs ed emette un messaggio informativo al Service Agent (iHSA).

Infine questo agente comunica con il Mobile Device Interface Agent (mDIA) per inviargli l'interfaccia personalizzata da mostrare all'utente.

2. Ora l'utente può richiedere di avviare qualche contenuto multimediale utilizzando l'interfaccia offerta dal PDA o utilizzando l'interfaccia standard del dispositivo multimediale stesso (Figura 5.4). Le richieste sono elaborate, rispettivamente, dagli agenti mDIA o iHMIA_LR e trasmesse a iHSA. Dopo aver controllato che la richiesta dell'utente sia legittima, iHSA la inoltra al Multimedia Service Agent (iHMSA_LR) e inizia la riproduzione.

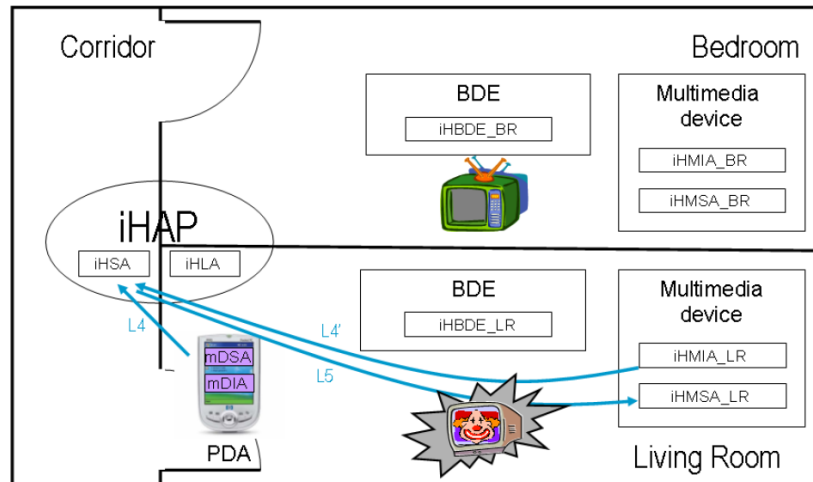


Figura 5.4: Esempio: l'utente accende il dispositivo multimediale.

3. Quando l'utente lascia il soggiorno (Figura 5.5), l'agente all'interno del Detection Equipment (iHBDE_LR) notifica l'assenza del PDA e ne informa il Location Agent.

iHLA determina che l'utente ha lasciato il soggiorno e informa il Service Agent.

L'iHSA allora chiede al Service Agent del dispositivo multimediale di mettere in pausa la riproduzione. Dopo aver eseguito la richiesta, iHMSA_LR risponde con lo stato del servizio - per esempio il tempo di riproduzione.

4. Ora l'utente può entrare nella camera da letto (Figura 5.6) ed inizia un processo di rilevamento delle posizioni del tutto analogo. In questo caso

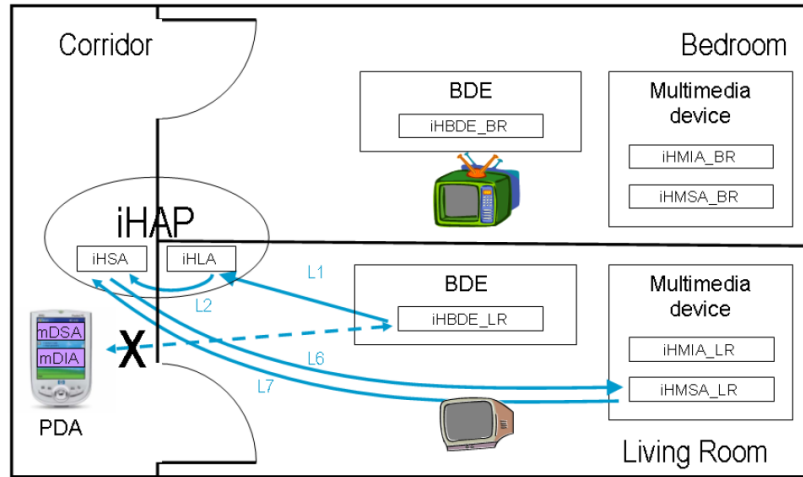


Figura 5.5: Esempio: l'utente lascia il soggiorno.

c'è già un servizio attivo per l'utente: la riproduzione del contenuto multimediale che era stata iniziata nel soggiorno. Per questo, senza alcun intervento da parte dell'utente, iHSA chiede al Multimedia Device Service Agent (iHMSA_BR) di proseguire la riproduzione dal punto in cui era stata interrotta.

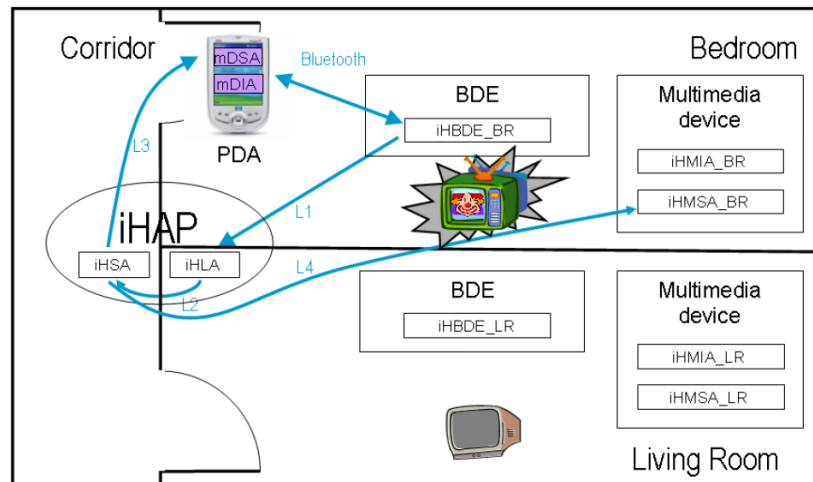


Figura 5.6: Esempio: l'utente entra nella camera da letto e il servizio selezionato riprende automaticamente l'esecuzione.

Capitolo 6

Terzo approccio: Approccio Multi-Agente agli Home Automation Systems per la gestione dell'energia

6.1 Introduzione

In questo capitolo vengono presentati i principi di un Home Automation System, basato sul paradigma multi-agente, dedicato alla gestione dell'energia, che ne adatta il consumo alle risorse disponibili, in accordo ai criteri di costo e di benessere degli abitanti.

Un edificio è sia un luogo di consumo di energia sia, potenzialmente, un luogo di produzione di energia decentralizzata utilizzando risorse come il vento, il sole, la geotermia, ecc. Negli edifici, il ricorso alle risorse rinnovabili è aumentato considerevolmente, tanto da rappresentare il 47% del consumo globale di energia.

Perciò è importante lo sviluppo di un sistema di controllo che permetta lo sfruttamento delle diverse risorse e, allo stesso tempo, gestisca in modo globale la necessità di energia e la capacità di produzione di una casa.

Il ruolo di un Home Automation System dedicato alla gestione dell'energia è adattare il consumo di energia alle risorse energetiche disponibili e viceversa, tenendo conto dei criteri di benessere degli abitanti. Occorre raggiungere un compromesso tra le priorità degli abitanti in termini di comfort e in termini di costo e allo stesso tempo soddisfare i vincoli tecnologici dei dispositivi.

Lo sviluppo di soluzioni basate su Sistemi Multi-Agente, che sono adatti a risolvere problemi parzialmente distribuiti e aperti, facilita lo sviluppo di un Sistema di automazione della casa intelligente Multi-Agente (MAHAS - Multi-Agent Home Automation System).

6.2 Multi-Agent Home Automation System

Un Multi-Agent Home Automation System (MAHAS) è un sistema costituito da agenti, dove ogni agente supporta un tipo di servizio realizzato da diversi dispositivi, come il riscaldamento, la cucina, ecc...

Le caratteristiche principali di un Multi-Agent Home Automation System sono le seguenti:

- **Distributed:** le risorse energetiche e i dispositivi sono indipendenti e spazialmente distribuiti.
- **Flexible:** alcuni dispositivi possono accumulare energia (riscaldamento...) o soddisfare la richiesta degli abitanti con un certo ritardo (lavatrice).
- **Open:** il numero di risorse e di dispositivi connessi può variare nel tempo senza dover completamente ridefinire il meccanismo di controllo.
- **Extendable:** compaiono agenti dedicati ai nuovi tipi di servizio.

In un Multi-Agent Systems, la nozione di controllo coinvolge operazioni come coordinazione e negoziazione tra agenti, eliminazione e aggiunta di agenti quando necessario.

In base alle informazioni sulle risorse energetiche e alle abitudini degli abitanti:

- un agente, dedicato a una risorsa energetica, dovrebbe essere in grado di calcolare la produzione futura di energia disponibile.
- un agente, dedicato a un carico, dovrebbe essere in grado di effettuare una previsione del consumo di energia: per determinare quale siano le necessità future di energia tiene conto del comportamento abituale degli abitanti.

La struttura del MAHAS è decomposta in due principali meccanismi, che lavorano su scale temporali differenti: il meccanismo reattivo e il meccanismo anticipativo.

6.2.1 Meccanismo Reattivo

Il meccanismo reattivo è un meccanismo di assestamento a breve tempo che si innesca quando il livello di soddisfazione di un agente precipita al di sotto di certi valori (per esempio il 10%). Questo meccanismo reagisce velocemente per evitare violazioni nei vincoli energetici e per garantire un buon livello di soddisfazione degli abitanti. Perciò il meccanismo reattivo aggiusta i punti dell'insieme dei piani predetti, lo stato corrente del dispositivo (valore di soddisfazione del dispositivo) e i vincoli e i criteri degli abitanti.

6.2.2 Meccanismo Anticipativo

Il meccanismo reattivo è sufficiente per evitare la violazione dei vincoli, ma un MAHAS può essere migliorato al fine di evitare le situazioni di emergenza. Questo miglioramento è ottenibile grazie al meccanismo anticipativo.

L'obiettivo di questo meccanismo è elaborare un piano per la produzione e il consumo di servizi in una casa. Il meccanismo anticipativo trae beneficio dal fatto che, da un lato, ci sono dispositivi in grado di accumulare energia, e dall'altro ci sono servizi che hanno istanti temporali variabili per la loro esecuzione: alcuni servizi possono essere ritardati o anticipati.

Il meccanismo funziona su una finestra temporale, che corrisponde a un periodo di campionamento chiamato *periodo anticipativo*. Questo periodo è maggiore di quello utilizzato nel meccanismo reattivo. A causa dell'ampio periodo di campionamento, si considerano i valori medi dell'energia. Questo è un vantaggio quando si considerano le previsioni perché risulta difficile fare previsioni precise.

6.3 Meccanismo Anticipativo di un Agente

Uno degli obiettivi del MAHAS è realizzare il benessere dei suoi abitanti. Una nozione direttamente correlata con il benessere (comfort) è la funzione di soddisfazione. Sono state definite funzioni di soddisfazione sia per le risorse energetiche sia per i dispositivi. Una funzione di soddisfazione è espressa da una funzione definita su un dominio di caratteristiche variabili nell'intervallo $[0,1]$. Nel MAHAS, la soddisfazione rappresenta la percezione dell'utente riguardo a un servizio, in cui *zero* significa "inaccettabile" e *uno* significa "pienamente soddisfatto".

Per esempio, la soddisfazione per un ambiente condizionato si basa sui valori di temperatura della stanza (Figura 6.1).

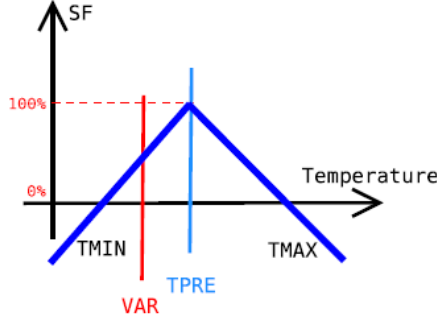


Figura 6.1: Thermal air environment satisfaction function.

Una funzione di soddisfazione può essere modellata da un insieme di punti caratteristici. Per esempio, la Figura 6.1 può essere rappresentata da $(TMIN(heating), 0)$, $(TPRE(heating), 1)$, $(TMAX(heating), 0)$.

Un profilo di energia di un servizio rappresenta successione di punti di energia consumata o prodotta che corrisponde a periodi di campionamento consecutivi.

6.3.1 Modellazione di un agente

Nel MAHAS, un agente supporta un servizio $SRV_i \in SRVS$, dove $SRVS$ è l'insieme di tutti i servizi. Un servizio SRV_i può essere sia un *servizio a tempo*, denotato da SRV_i^T oppure un *servizio permanente*, denotato da SRV_i^P , realizzato da uno o più dispositivi, sapendo che un dispositivo può realizzare molti servizi (Figura 6.2).

Modellazione di un timed service agent

Un servizio a tempo corrisponde a profili di energia durante un certo periodo di tempo; la flessibilità del servizio viene dalla possibilità di spostarlo nel tempo. La conoscenza interna di un agente timed service, che rappresenta la conoscenza che non può essere formalizzata in modo generale, è modellata da:

- una variabile caratteristica che corrisponde all'istante di inizio del servizio.
- un modello comportamentale che definisce i profili di energia possibili una volta che il servizio è iniziato.
- un insieme di punti caratteristici: $(EST(SRV_i), 0)$, $(RST(SRV_i), 1)$, $(LST(SRV_i), 0)$, che rappresentano gli istanti di inizio del servizio a

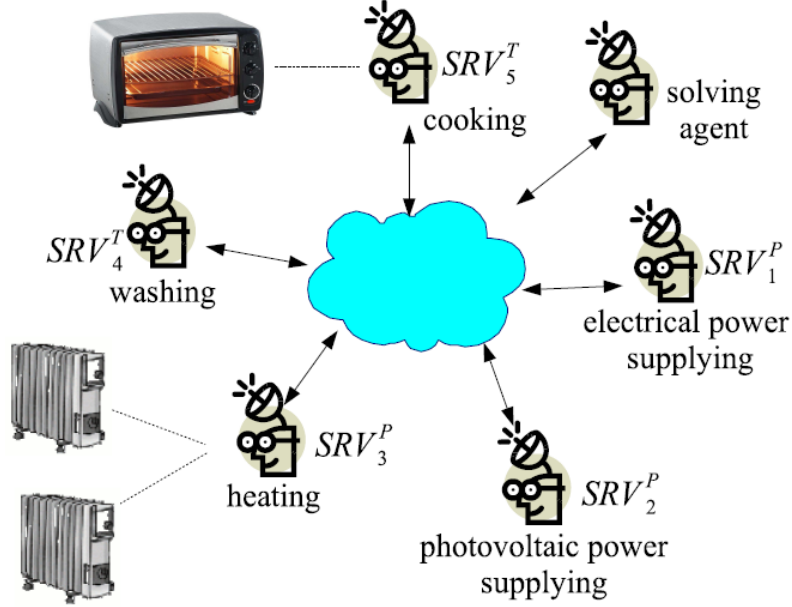


Figura 6.2: Esempio di agenti nel M.A.H.A.S.

tempo, rispettivamente earliest (soddisfazione inaccettabile), requested (pienamente soddisfatto) e latest.

Una *realizzazione* per un *agente timed service* rappresenta la conoscenza condivisa riguardo un servizio a tempo. Esso è composto da:

- un *power profile*: $\Pi = [POW(SRV_i)_0, \dots, POW(SRV_i)_n]$, dove $POW(SRV_i)_j \neq 0$; $j \in [0, n]$ rappresenta consumo/produzione media di energia del servizio durante il k-esimo periodo di campionamento. La durata del servizio è determinata dalla lunghezza del profilo di energia, $length(\Pi)$.
- un valore di soddisfazione che dipende dall'istante di inizio del servizio.

Una realizzazione corrisponde a un profilo di energia istanziato, denotato da $REAZ(SRV_i^T) = (k, \Pi, \sigma)$, dove k è l'attuale periodo di campionamento iniziale, Π è il profilo di energia e σ è il valore di soddisfazione che modella la sensazione/opinione degli abitanti riguardo questa realizzazione.

Modellazione di un permanent service agent

Un servizio permanente corrisponde a profili di energia che coprono un certo periodo. La flessibilità del servizio proviene dalla possibilità di aggiustare

l'allocazione dell'energia istante dopo istante.

La conoscenza interna di un agente permanent service è modellata da:

- un modello comportamentale che collega il profilo di energia all'effetto sull'ambiente degli abitanti.
- una funzione di soddisfazione rappresentata da un insieme di punti caratteristici. Considerando un sistema HAVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), tra questi punti caratteristici, vi è la temperatura richiesta dagli abitanti e le temperature inaccettabili per gli abitanti.

Una realizzazione per un agente permanent service rappresenta la conoscenza condivisa di un timed service. Esso è composto da:

- un *power profile*: $\Pi = [\dots, POW(SRV_i)_k, \dots]$ dove $POW(SRV_i)_k$ rappresenta consumo/produzione media di energia durante il k-esimo periodo. La durata del servizio è determinata dalla $length(\Pi)$ del profilo di energia.
- un valore di soddisfazione. Anche se la realizzazione copre pochi periodi, esiste un solo valore che modella la soddisfazione risultante degli abitanti per l'intero periodo considerato: solitamente è uguale al minimo dei valori di soddisfazione calcolati in ogni periodo.

Una *realizzazione* corrisponde a un profilo di energia istanziato, denotato da $REAZ(SRV_i^P) = (k, \Pi, \sigma)$, dove Π è il profilo di energia dal periodo di campionamento $k + length(\Pi)$ e σ è il valore di soddisfazione che modella la sensazione/opinione degli abitanti riguardo questa realizzazione.

6.4 Modellazione del MAHAS

Un Home Automation System ha lo scopo di raggiungere un compromesso tra comfort per gli abitanti e costo e, allo stesso tempo, soddisfare i vincoli tecnologici dei dispositivi.

Il MAHAS tiene in considerazione la variazione del prezzo dell'energia, poiché i fornitori di energia addebitano agli abitanti il costo di produzione corrente dell'energia. Perciò il MAHAS ha lo scopo di minimizzare il costo e massimizzare il comfort degli abitanti, che dipende dalla realizzazione degli agenti dei servizi.

Criterio del costo dell'energia:

in accordo col costo dell'energia, una realizzazione di un servizio SRV_i può essere quantificato come: $cost(SRV_i) = f(REAZ(SRV_i)) = f(k, \Pi)$. Il criterio del costo dell'energia è definito quando è definita una realizzazione per ogni servizio richiesto.

$$EC_{SRV} = \sum_{SRV_i \in SRV} (cost(SRV_i))$$

Dove $ESRV$ indica tutti i servizi richiesti.

Criterio del comfort:

il criterio del comfort corrisponde alla media pesata della soddisfazione di tutte le realizzazioni selezionate, quando è stata definita una realizzazione per ogni servizio richiesto. Esso è denotato come CO_{SRV} .

Anche se i metodi per risolvere il problema di ottimizzazione forniscono delle buone soluzioni, richiedono tempi computazionali molto lunghi e quantità elevata di memoria, poiché la complessità computazionale è NP-Hard. Quindi è utile una strategia di ottimizzazione, che sfrutta la natura del problema dell' Home Automation System, per ottenere un miglioramento delle performance.

6.5 Strategia di ottimizzazione

Un problema di Home Automation System può essere suddiviso in sotto-problemi che coinvolgono diversi agenti, poiché, in generale, gli abitanti non usano i loro dispositivi per la maggior parte del tempo. Il principio base è dividere l'intero problema in sotto-problemi indipendenti (Figura 6.3) e poi risolvere ogni sotto-problema indipendentemente (in sequenza o in parallelo) al fine di trovare una soluzione per l'intero problema. Il vantaggio di questo metodo è ridurre la complessità dell'intero problema, che dipende dal numero di periodi per ogni sotto-problema e dal numero di dispositivi. Quando l'intero problema è suddiviso in sotto-problemi, ogni sotto-problema non contiene tutti i dispositivi (per esempio: alcuni abitanti utilizzano l'aspirapolvere la mattina e non la sera). Poiché il numero di periodi considerati in un sotto-problema è inferiore al numero di periodi dell'intero problema, la complessità della soluzione dei sotto-problemi è minore della complessità di risolvere l'intero problema in una volta.

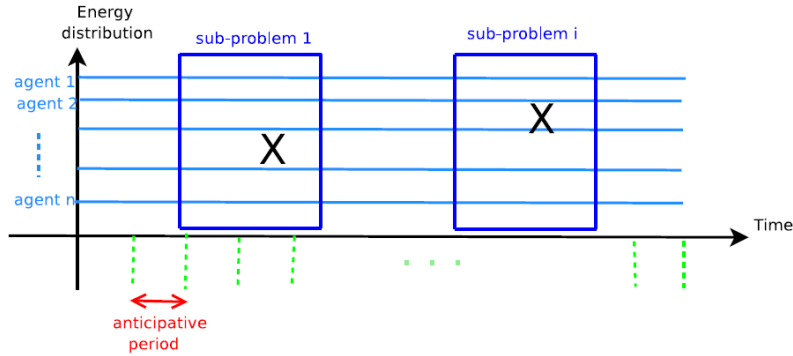


Figura 6.3: Whole problem energy distribution.

Il principio della divisione del problema in sotto-problemi è descritto nella seguente procedura:

- *procedure di risoluzione dell'intero problema*
- *distribuire l'energia su tutti i periodi per tutti i servizi secondo la soddisfazione degli abitanti;*
- *if per qualche periodo l'energia è insufficiente then*
- *identificare un sotto-problema;*
- *determinare l'intervallo temporale per ogni sotto-problema;*
- *risolvere ogni sotto-problema separatamente;*
- *unire le soluzioni dei sotto-problemi per ottenere la soluzione generale;*
- *else viene selezionata una soluzione secondo la soddisfazione degli abitanti;*
- *end if;*
- *end procedure;*

6.5.1 Distribuzione dell'energia

La ricerca dell'intera soluzione inizia distribuendo l'energia disponibile su tutti i periodi per tutti i servizi in accordo con la soddisfazione degli abitanti (100%), dove gli agenti forniscono realizzazioni con un valore di soddisfazione pari a 1. Terminata la distribuzione dell'energia, se vi è energia sufficiente per

tutti i dispositivi, termina la ricerca di una soluzione e viene selezionata una soluzione conforme alla soddisfazione degli abitanti. Se invece l'energia non è sufficiente per tutti i dispositivi, verranno identificati dei sotto-problemi e infine risolti.

6.5.2 Determinazione dell'intervallo di un sotto-problema

Quando non vi è energia sufficiente per tutti i dispositivi, il *solving agent* invia i periodi per cui non vi è abbastanza energia a tutti gli agenti dei servizi permanenti e a tempo. Per ottenere sotto-problemi indipendenti è necessario determinare le influenze di un servizio su questi periodi.

Per prima cosa si calcolano il primo e l'ultimo istante di inizio per i servizi a tempo (ossia quando il servizio può iniziare al più presto o al più tardi):

- ogni realizzazione di un agente di un servizio a tempo è caratterizzata da un istante di inizio e un istante di fine (uguale all'istante di inizio più la lunghezza del profilo di energia).
- ogni agente di un servizio a tempo invia gli intervalli al solving agent (l'agente risolutore).

Ogni agente di un servizio permanente invia i suoi impatti al solving agent (per esempio: l'impatto di un servizio di riscaldamento corrisponde al suo tempo di risposta; l'impatto di un servizio di illuminazione è nullo).

Il solving agent crea diversi intervalli (intervalli di sotto-problemi) che dipendono dal numero dei periodi in cui non vi è abbastanza energia.

- il solving agent verifica l'intersezione tra gli intervalli dei sotto-problemi e il primo e l'ultimo istante di tempo dei servizi a tempo; esso sceglie il valore minimo tra il primo (earliest) istante di tempo e il bound inferiore dell'intervallo e il valore massimo tra l'ultimo (latest) istante di tempo e il bound superiore dell'intervallo.
- il solving agent aggiunge l'impatto degli agenti dei servizi permanenti agli intervalli dei sotto-problemi; il fatto di aggiungere l'impatto degli agenti dei servizi permanenti accresce l'intervallo dei sotto-problemi ma garantisce che non vi sia alcuna influenza sui periodi precedenti e successivi.
- il solving agent unisce gli intervalli dei due sotto-problemi se esiste un'intersezione tra questi intervalli.

Infine, il solving agent invia gli intervalli dei sotto-problemi a tutti gli agenti.

6.5.3 Risoluzione di un sotto-problema

Il solving agent calcola un piano predetto per ogni sotto-problema utilizzando l'algoritmo di Bellman-Ford. Il solving agent raccoglie l'insieme delle realizzazioni per i servizi, verifica se sono accettabili o meno, in termini di energia disponibile sempre tenendo in considerazione i criteri degli abitanti. Equivale a scegliere una realizzazione di un agente con lo scopo di trovare il cammino minimo (shortest path) per i servizi appartenenti al sotto-problema.

6.6 Esempio Applicativo

In questa sezione viene presentato un esempio illustrativo di un sistema composto da sei dispositivi e una risorsa di energia limitata a 4 kW, con periodo di campionamento di 30 minuti.

Il primo dispositivo *washer* sarà usato due volte:

Il primo servizio a tempo sul washer è $SRV_1 = washing_1$ ed è caratterizzato da:

$$RST(washing_1) = 09h00, EST(washing_1) = 08h30, \\ LST(washing_1) = 10h00, POW(washing_1) = 2.2kW$$

su tre periodi di campionamento.

Il secondo servizio a tempo sul washer è $SRV_2 = washing_2$ ed è caratterizzato da:

$$RST(washing_2) = 19h00, EST(washing_2) = 18h30, \\ LST(washing_2) = 20h00, POW(washing_2) = 2.2kW$$

su tre periodi di campionamento.

Il secondo dispositivo $DEV_2 = dishWasher$ sarà usato due volte:

Il primo servizio a tempo sul dishWasher è $SRV_3 = dishWashing_1$ ed è caratterizzato da:

$$RST(dishWashing_1) = 9h00, EST(dishWashing_1) = 9h00, \\ LST(dishWashing_1) = 10h30, POW(dishWashing_1) = 2.4kW$$

su quattro periodi di campionamento.

Il secondo servizio a tempo sul $DEV_2 = dishWasher$ è $SRV_4 = dishWashing_2$ ed è caratterizzato da:

$$RST(dishWashing_2) = 19h00, EST(dishWashing_2) = 19h00, \\ LST(dishWashing_2) = 20h30, POW(dishWashing_2) = 2.4kW$$

su quattro periodi di campionamento.

Il terzo dispositivo $DEV_3 = oven$ sarà usato una volta, il servizio a tempo sul oven è $SRV_5 = cooking$ ed è caratterizzato da:

$$RST(cooking) = 11h00, EST(cooking) = 9h00,$$

$$LST(cooking) = 12h00, POW(cooking) = 1.5kW$$

su un periodo di campionamento.

Il quarto dispositivo $DEV_4 = vacuumcleaner$ sarà usato una volta, il servizio a tempo sul vacuum cleaner è $SRV_6 = vacuuming$ ed è caratterizzato da:

$$RST(vacuuming) = 21h00, EST(vacuuming) = 19h00,$$

$$LST(vacuuming) = 22h00, POW(vacuuming) = 1.5kW$$

su un periodo di campionamento.

Il quinto dispositivo è un heater nel soggiorno ($DEV_5 = heater1$), il servizio permanente sul heater è $SRV_7 = heating_1$ ed è caratterizzato da:

$$TMIN(heating_1) = 19, TPRE(heating_1) = 19,$$

$$TMAX(heating_1) = 19, POW(heating_1)_{max} = 1.5kW$$

Il modello termodinamico della variazione di temperatura nel soggiorno è:

$$TEMP(heating_1)_{k+1} = e^{(-1800)}TEMP(heating_1)_k + 40(1 - e^{-1800})POW(heating_1)_k + (1 - e^{-1800})10.$$

Il sesto dispositivo è un altro heater nella camera da letto ($DEV_6 = heater_2$), il servizio permanente sul heater è $SRV_8 = heating_2$ ed è caratterizzato da:

$$TMIN(heating_2) = 18, TPRE(heating_2) = 19,$$

$$TMAX(heating_2) = 20, POW(heating_2)_{max} = 1.5kW$$

Il modello termodinamico della variazione di temperatura nella camera da letto è simile a quello nel soggiorno.

Il solving agent inizia la ricerca inizializzando il l'*heating service* alla temperatura desiderata dagli abitanti e i servizi a tempo all'istante di inizio richiesto. Dopo aver distribuito l'energia per tutti i servizi su tutti i periodi, il solving agent stabilisce che il consumo di energia eccede l'energia disponibile due volte; la prima volta durante il 9 e il 10 periodo, la seconda durante il 18 e il 19 periodo. Invece di risolvere il problema completo (otto servizi) su 48 periodi di campionamento, è meglio suddividere il problema iniziale in sotto-problemi più semplici da essere risolti dal solving agent. Perciò, se viene applicato l'algoritmo di determinazione dell'area di sotto-problemi, si ottengono due sotto-problemi indipendenti. Il primo sotto-problema comprende $SRV_1, SRV_3, SRV_5, SRV_7, SRV_8$ e il secondo sotto-problema comprende $SRV_2, SRV_4, SRV_6, SRV_7, SRV_8$. Ogni sotto-problema tratta cinque servizi su quattro ore e trenta minuti, per cui si riduce la complessità del problema.

I risultati dell'algoritmo di Bellman-Ford sono riportati in Figura 6.4, che mostra una soluzione al primo sotto-problema, dove il consumo di energia non eccede l'energia disponibile nell'area del *sotto – problema*₁. Senza MAHAS, i servizi sarebbero stati eseguiti secondo le richieste degli abitanti e in questo caso poteva anche essere superata l'energia disponibile. Grazie alla negoziazione e alla coordinazione, MAHAS è riuscito a convergere ad una soluzione ammissibile che è anche accettabile per gli abitanti. La Figura 6.4 mostra soltanto i risultati ottenuti per il sotto-problema₁ ma il secondo sotto-problema può essere risolto allo stesso modo e, unendo le due soluzioni, si ottiene una soluzione globale accettabile in breve tempo (meno di 1 secondo).

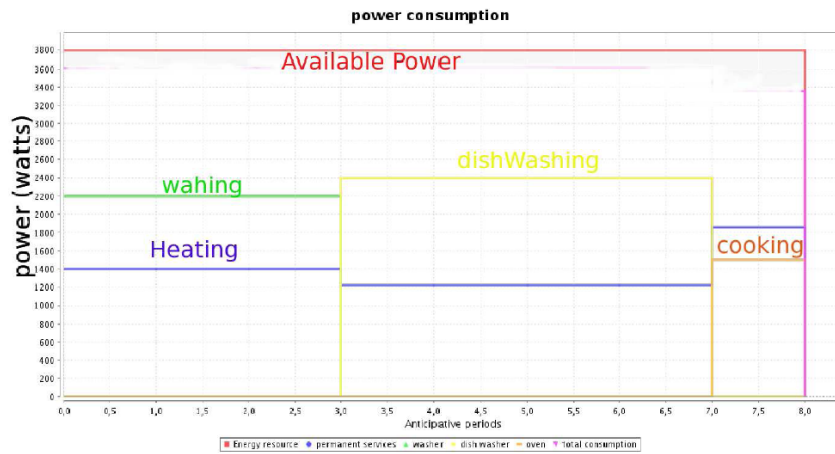


Figura 6.4: Power consumption

Capitolo 7

Conclusioni

In questo elaborato si è cercato di analizzare il problema dell'Home Automation System e la possibilità di modellarlo come Sistema Multi-Agente.

Dall'analisi del problema è emerso che un Home Automation System è un sistema costituito da componenti eterogenei e spazialmente distribuiti, che necessitano di un certo grado di autonomia per svolgere le proprie attività senza l'intervento dell'utente e garantendo la continuità di funzionamento del sistema. Il sistema, inoltre, deve essere in grado di adattare il proprio comportamento in caso di guasti e in base ai processi di interazione. Altre caratteristiche sono l'apertura e l'estendibilità, ossia il sistema può avere un numero di dispositivi o servizi variabile ed, eventualmente, la possibilità di aggiungerne di nuovi. Dal punto di vista del comportamento, un Home Automation System ha degli obiettivi di alto livello da perseguire, quali una gestione efficiente delle risorse e delle attività quotidiane degli abitanti e il benessere dei suoi abitanti.

I Sistemi Multi-Agente risultano particolarmente adatti per modellare e controllare sistemi spazialmente distribuiti, adattabili, aperti ed estendibili. Il principale vantaggio di utilizzare agenti è la loro autonomia. Un agente basa il suo comportamento su un insieme di goal di alto livello e determina autonomamente le azioni necessarie per perseguire questi goal. Queste azioni possono includere interazione e cooperazione con altri agenti. Per cui i sistemi multi-agente sono molto adatti ad applicazione in ambienti domotici, dove è richiesta la coordinazione di sensori e attuatori distribuiti. Questa caratteristica è un chiaro miglioramento rispetto alle capacità fornite dagli attuali sistemi a controllo automatico.

Osservando i vari approcci e le applicazioni citate, si può notare che emergono due tipi di architetture possibili di un Home Automation System modellato come sistema multi-agente: una basata sui singoli dispositivi o elet-

trodomestici e una basata sui servizi disponibili all'interno dell'abitazione. Questo porta ad associare un agente ad ogni dispositivo nel primo caso e un agente ad ogni tipo di servizio nel secondo caso (per cui un dispositivo può realizzare uno o più servizi e un servizio può essere realizzato da uno o più dispositivi).

Per via delle caratteristiche e della complessità del problema si tende in genere ad organizzare gli agenti in gerarchie o in gruppi che hanno ruoli e funzioni ben definite, in modo da operare a diversi livelli di astrazione: un livello globale che riguarda il comportamento dell'intero sistema e un livello locale che riguarda il comportamento dei singoli componenti.

Questo si riflette sulla parte di interazione e coordinazione degli agenti che quindi può avvenire o solo tra sottogruppi e categorie di agenti o tra peer che interagiscono direttamente tra loro.

Generalizzando, quindi, si può avere un controllo centralizzato o distribuito. In entrambi i casi si ottiene un comportamento efficiente e consono alle specifiche del problema. Tuttavia in un ottica che prevede la completa autonomia del sistema domestico, il controllo distribuito garantisce una affidabilità maggiore in eventuali casi di guasto, cosa che non può garantire un controllo centralizzato in quanto il guasto o il malfunzionamento dell'agente supervisore compromette il funzionamento del sistema.

Bibliografia

1. MULTI-AGENT SYSTEM THEORY FOR MODELLING A HOME AUTOMATION SYSTEM - G. Morganti, A.M. Perdon, G. Conte, and D. Scaradozzi.
2. LOCATION-AWARE SERVICES AND INTERFACES IN SMART HOMES USING MULTIAGENT SYSTEMS - Juan R. Velasco, Ivan Mars Maestre, Andrs Navarro, Miguel A. Lpez, Antonio J. Vicente, Enrique de la Hoz, Alvaro Paricio and Miriam Machuca.
3. A MULTI-AGENT HOME AUTOMATION APPROACH FOR POWER MANAGEMENT - Shadi Abras, Stephane Ploix, Sylvie Pesty, Mireille Jacomino.
4. PROGETTARE LA DOMOTICA - Criteri e tecniche per la progettazione della casa intelligente - www.domotica.it
5. HOME VS. BUILDING AUTOMATION - <http://www.sistamacasa.it/HomeVSBUILDING.htm>
6. THE INTELLIGENT HOME TESTBED - Victor Lesser, Michael Atighetchi, Brett Benyo, Bryan Horling, Anita Raja, Rgis Vincent, Thomas Wagner, Ping Xuan and Shelley XQ. Zhang.
7. MAVHOME: AN AGENT BASED SMART HOME - Diane J. Cook, Micheal Youngblood, Edwin O. Heierman, III, Karthik Gopalratnam, Sira Rao, Andrey Litvin, Farhan Khawaja.
8. AGENT-BASED HOME SIMULATION AND CONTROL - B. De Carolis, G. Cozzolongo, S. Pizzutilo, and V.L. Plantamura
9. AN INTELLIGENT ENVIRONMENT MUST BE ADAPTIVE - Mozer, M. C. - IEEE Intelligent Systems and their Applications 14, no. 2 (1999).

10. MULTI-AGENT SYSTEMS: AN INTRODUCTION TO DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE. - Ferber, J. - Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston (1999)
11. Jade homepage - <http://jade.cselt.it>.
12. Fipa homepage - <http://www.fipa.org/>.