

# La Badante Virtuale: un Sistema Multi-Agente Esperto per l'Ambient Assisted Living

Luca Palazzo, Guglielmo Trentalange, Gianluca Dolcini, Andrea Claudi,  
Paolo Sernani, Gianluigi Biancucci, Aldo Franco Dragoni

*Dipartimento di Ingegneria dell'informazione (DII)  
Università Politecnica delle Marche*

*Via Brezze Bianche, 60131 Ancona Italy*

*{l.palazzo, g.dolcini, a.claudi, p.sernani, g.biancucci, a.f.dragoni}@univpm.it*

## **Abstract**

*L'invecchiamento della popolazione dei paesi del “Primo Mondo” sta aumentando l'interesse verso soluzioni volte ad aumentare la qualità della vita di persone anziane e/o disabili e delle loro famiglie, cercando al contempo di fornire un'assistenza sanitaria economicamente sostenibile. L'Ambient Assisted Living (AAL) e l'Ambient Intelligence (AmI) si stanno spostando verso l'Intelligenza Artificiale al fine di sviluppare sistemi intelligenti, modulari e adattabili per affrontare le esigenze in continua evoluzione che contraddistinguono la vita delle persone affette da malattie croniche. In questo paper viene presentata la Badante Virtuale, un sistema Multi-Agente (MAS) basato sul paradigma Belief-Desire-Intention (BDI). Lo scopo del sistema è quello di aiutare le persone anziane nelle loro attività quotidiane e di monitorare il loro stato di salute per garantire la loro sicurezza.*

**Keywords:** *Ambient Assisted Living (AAL); Ambient Intelligence (AmI); Multi-Agent System (MAS); Belief-Desire-Intention (BDI); Badante Virtuale.*

## **1. Introduzione**

E' ben noto che nei cosiddetti “paesi del Primo Mondo” sta avvenendo un cambiamento demografico: la porzione di popolazione di mezza età e oltre sta aumentando [1]. Come esempio di questo trend può essere considerata la tendenza del tasso di dipendenza degli anziani (il rapporto tra la parte di popolazione con più di 65 anni e quella compresa tra i 15 e i 65) [2], [3]. L'aumento dell'età media della popolazione si riflette direttamente nell'aumento di malattie croniche e situazioni di emergenza

nell'arco degli anni [4]. L'Ambient Assisted Living (AAL) affronta queste tematiche e mira ad estendere il tempo in cui le persone anziane possono vivere nella loro casa, assistendole nelle loro attività quotidiane grazie all'uso di prodotti intelligenti e di strumenti dell'Information Technology (IT) per fornire servizi di cura a distanza [5].

I punti seguenti definiscono gli obiettivi dell'AAL secondo il Programma Congiunto sull'AAL dell'Unione Europea [6]:

- estendere il tempo in cui le persone possono vivere nel loro ambiente preferito, aumentando la loro autonomia, fiducia in sé stessi e mobilità;
- mantenere la salute e le capacità delle persone anziane;
- promuovere uno stile di vita più salutare per gli individui a rischio;
- aumentare la sicurezza, prevenire l'isolamento sociale e favorire una maggiore integrazione dell'individuo nel tessuto sociale;
- supportare famiglie, addetti e organizzazioni per la cura;
- aumentare l'efficienza e la produttività delle risorse usate nelle società in cui l'età media sta aumentando.

Alla base dell'AAL ci sono lo sviluppo di periferiche tipiche della domotica e l'uso di tecnologie dell'Ambient Intelligence (AmI) per integrarle al fine di costruire un ambiente sicuro [5]. L'obiettivo principale dell'AmI è di aumentare le possibilità delle persone costruendo attorno a loro un ambiente che sia intelligente, integrato, dinamico, adattabile, interconnesso e non invasivo [7]. I sistemi basati sull'AmI interagiscono con gli utenti usando forme di comunicazione naturale come i gesti e il dialogo: il sistema ideale è quello che permette agli utenti di interagire come farebbero con altri umani [4].

Seguendo le ricerche che indicano L'Intelligenza Artificiale come la direzione più promettente per l'AAL e L'AmI [8], [9], [1], presentiamo un sistema ad agenti basato sul paradigma Belief-Desire-Intention (BDI). Si tratta di un sistema Multi-Agente costruito per modellare una rete robusta, distribuita e modulare formata da sensori ambientali e biometrici che integra un agente BDI: la Badante Virtuale (BV). Il suo obiettivo principale è quello di modellare strutture logiche, ragionamenti e comportamenti simili a quelli di un essere umano trasformando le informazioni fornite dagli altri agenti in predicati logici che ne costituiscono la base della conoscenza. La BV deve collaborare con gli altri agenti non solo per monitorare lo stato di salute di una persona anziana, lanciando allarmi quando qualcosa non va, ma anche per interagire con l'individuo al fine di aiutarlo nelle sue attività quotidiane, come ad esempio aprire una finestra o rispondere al telefono.

Il resto del paper è organizzato come segue. la sezione 2 descrive lo stato dell'arte circa i sistemi ad agenti ed il loro uso nell'AAL. La sezione 3 illustra l'architettura della BV. La sezione successiva mostra un semplice scenario applicativo. Infine sono tratte le conclusioni e sono suggeriti alcuni sviluppi futuri.

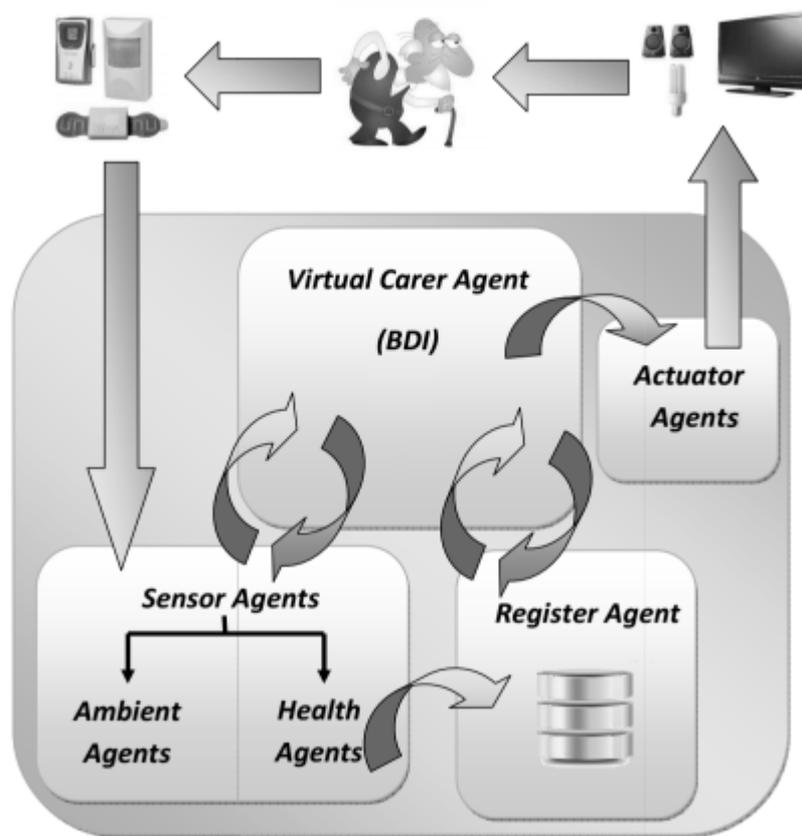


Fig. 1. Architettura di base.

## 2. Stato dell'arte

Russel e Norvig ([10]) definiscono un agente come qualsiasi cosa possa essere vista come un sistema che percepisce il suo ambiente attraverso dei sensori e agisce su di esso attraverso attuatori. In [11] sono delineate le principali proprietà che caratterizzano un agente: autonomia, abilità sociali, reattività e proattività indicano che gli agenti operano senza l'intervento umano, interagiscono con gli altri agenti utilizzando un linguaggio comune (Agent Communication Language – ACL), percepiscono l'ambiente rispondendo ai cambiamenti e sono capaci di agire autonomamente guidati da obiettivi. Quindi i MAS possono essere considerati una soluzione appropriata per l'esigenza dei sistemi orientati all'AAL di adattarsi autonomamente a cambiamenti dovuti all'attività degli utenti, ai

guasti delle periferiche e all'aggiunta o rimozione di sensori e servizi [12]. Un agente BDI agisce sulla base del *practical reasoning* [13]: le sue intenzioni (*intentions*), cioè l'insieme di azioni a disposizione, nascono dall'intersezione tra l'insieme delle credenze (*beliefs*), cioè la conoscenza del mondo posseduta dall'agente, e quello dei desideri (*desires*), cioè l'insieme degli stati che rappresentano il mondo come desiderato dall'agente. Quindi i MAS e gli agenti BDI, grazie alla loro base di conoscenza, sembrano perfetti per aderire alle linee guida dell'AAL e dell'AmI che indicano la necessità di sistemi intelligenti che siano dinamici, adattabili e non invasivi [7] e che richiedono soluzioni tecniche flessibili e adattabili ad esigenze individuali ed in continuo mutamento [14].

Diverse ricerche descrivono l'applicazione di MAS all'AAL. In [15] viene presentato un sistema di allarme orientato al monitoraggio di pazienti affetti da demenza: un Agente di Valutazione del Rischio, mediante la propria base di conoscenza e le informazioni fornite da altri agenti responsabili di sensori ambientali (come un Agente Analizzatore della Temperatura e un Agente Analizzatore di Porte/Finestre), utilizza la logica fuzzy per effettuare una valutazione dei rischi ed eventualmente lanciare gli allarmi opportuni. Al contrario in [16] ogni agente è dotato di base di conoscenza e può quindi lanciare allarmi, eventualmente collaborando con altri agenti per assolvere compiti specifici come chiamare il personale medico in situazioni di potenziale pericolo. McNaul et al. [17] propongono un sistema incentrato sull'interazione con il paziente, più che sul monitoraggio. Il lavoro in [18] affonda le sue radici nella domotica, proponendo una società di agenti BDI per affrontare problematiche di risparmio energetico quando si possono avere a disposizione periferiche differenti.

Oltre agli esempi citati ci sono ricerche che propongono scenari tipici dell'*Internet of Things* applicati all'AAL ([19], [20]), dando credito all'attuale orientamento dell'AAL verso l'intelligenza artificiale e i MAS: il paradigma multi-agente può portare all'integrazione di una grande varietà di periferiche e sensori, permettendo la gestione della conoscenza per migliorare sia l'uso delle risorse disponibili quotidianamente da parte di anziani e/o disabili che la loro sicurezza grazie ad un'assistenza sanitaria più efficace, aumentando la qualità della vita.

### **3. L'architettura della Badante Virtuale**

L'idea alla base di questo lavoro è quella di utilizzare un MAS per modellare una rete distribuita, robusta e modulare composta da sensori biometrici e ambientali. Il sistema comprende anche un agente BDI: la Badante Virtuale. La piattaforma proposta deve essere vista come un sistema nell'ambito dell'IT capace di comunicare con un individuo anziano e/o disabile per monitorare il suo stato di salute e controllare l'ambiente circostante. In accordo al paradigma BDI la BV modella strutture logiche, ragionamenti e comportamenti simili a quelli di un essere umano: la mole di dati accessibili dalla Badante Virtuale, infatti, viene convertita in predicati logici che rappresentano la base di conoscenza sulla quale generare, attraverso un motore inferenziale, azioni sull'ambiente circostante. In sintesi, la Badante Virtuale svolge le seguenti attività:

- analizza i dati provenienti dai sensori della piattaforma domotica o da altre risorse esterne ed aggiorna la propria base di conoscenza (KB);
- a fronte di modifiche della KB inferisce, a partire da un set di implicazioni

- logiche, nuova conoscenza;
- attraverso regole di *backward reasoning* sulla base di conoscenza, delibera l'obiettivo che intende raggiungere e conseguentemente individua (sfruttando tecniche di *backtracking*) il piano che permetta il suo raggiungimento;
- esegue le azioni del piano scelto intervenendo, per mezzo di attuatori, direttamente sull'ambiente circostante.

La fig. 1 mostra l'architettura base del sistema proposto.

Intorno all'agente BDI che rappresenta la BV possiamo avere degli Agenti Attuatori, un Agente Registro e diversi Agenti Sensori. Gli Agenti Attuatori si occupano dell'attivazione o disattivazioni delle varie periferiche disponibili nell'ambiente come altoparlanti, luci, schermi e così via. Devono essere in grado di ricevere richieste dagli altri agenti e di conseguenza inviare comandi on/off alle periferiche. L'Agente Registro memorizza nel database del sistema tutte le informazioni fornite dai sensori e tutte le anomalie rilevate dalla BV. Gli Agenti Sensori possono essere distinti in due categorie: Agenti Ambientali e Agenti Biometrici (*Health Agents*). Gli Agenti Ambientali leggono i valori forniti dai sensori ambientali, ad esempio la temperatura in una data stanza. Devono inoltre controllare che il valore sia contenuto in un intervallo prefissato: se la verifica fallisce l'Agente Ambientale deve comunicare l'anomalia alla BV. In questa categoria possono anche essere considerati gli Agenti responsabili dei rilevatori di presenza, come i *Passive InfraRed* (PIR): gli Agenti PIR notificano solamente la presenza di un individuo nelle stanze monitorate. Gli Agenti Biometrici hanno gli stessi compiti di quelli Ambientali, ma in riferimento allo stato di salute dell'individuo monitorato, ad esempio leggendo il valore fornito da un sensore per il battito cardiaco.

Le frecce in fig. 1 evidenziano il flusso delle informazioni all'interno del sistema. Gli Agenti Sensori inviano un allarme alla BV quando un valore è al di fuori dell'intervallo prestabilito; inoltre la BV può richiedere direttamente dei valori, ad esempio perché il piano scelto li richiede per soddisfare il *goal*. L'Agente Registro riceve dagli Agenti Sensori i valori letti e dalla BV le anomalie rilevate e memorizza tali informazioni nel database. In aggiunta la BV può richiedere vecchi valori all'Agente Registro. Per eseguire le azioni previste dal proprio piano la BV invia richieste agli Agenti Attuatori. Ad esempio la BV può richiedere che venga accesa la luce nel soggiorno perché l'Agente PIR ha segnalato la presenza dell'anziano.

Gli Agenti Sensori e Attuatori sono stati implementati mediante il framework *JADE* [21], mentre gli agenti BDI che modellano la BV ed il registro sono stati implementati utilizzando il tool *JASON* e il linguaggio *AgentSpeak* [22]. Va evidenziato che l'uso di *JADE* permette agli agenti di comunicare per mezzo di messaggi *FIPA-ACL*, assicurando la modularità del sistema: ulteriori periferiche possono essere aggiunte in qualsiasi momento semplicemente integrando più agenti. *JASON* è utilizzato sia per la BV, al fine di applicare il paradigma BDI, che per l'Agente Registro permettendo di memorizzare direttamente le informazioni nel database.

#### 4. Scenario di simulazione

Per costruire una prima, preliminare simulazione è necessaria l'implementazione di un altro agente: L'Agente Anziano. Anche questo segue il paradigma BDI, modellando i vari comportamenti di un anziano monitorato dal sistema. Per la simulazione l'Agente Anziano deve inviare messaggi agli altri agenti: ad esempio per rappresentare uno spostamento in una stanza invia un messaggio all'Agente PIR responsabile per quella stanza; oppure può richiedere valori ai sensori biometrici, come il battito cardiaco.

La fig. 2 mostra la mappa usata come scenario di simulazione, evidenziando la disposizione delle periferiche e dei sensori nell'ambiente. Ci sono 4 stanze: la camera da letto (room 1), il corridoio (room 2), il bagno (room 3) ed il soggiorno (room 4). Per ognuna c'è un sensore di temperatura (T1, T2, T3, T4), un sensore PIR (PIR 1, PIR 2, PIR 3, PIR 4) e un interruttore per la luce (AL1, AL2, AL3, AL4). Ci sono poi altoparlanti nelle prime tre stanze (SP1, SP2, SP3) e un monitor (TV) nel soggiorno per comunicare visivamente con il paziente. Inoltre ci sono sensori di pressione in qualsiasi posto ove l'anziano possa sedersi o stendersi (ad esempio le sedie, il divano, il letto) e sensori sulle finestre e sulle porte per accertarne l'apertura o chiusura. Infine un sensore biometrico controlla parametri vitali dell'individuo monitorato quali il battito cardiaco e la temperatura corporea.

In questa simulazione sono stati implementati due piani di emergenza per la BV: il primo, mostrato in fig. 3, viene eseguito quando un Agente Ambientale che controlla un sensore di temperatura, legge un valore fuori dall'intervallo prefissato. In questo caso la BV invia l'anomalia all'Agente Registro e attiva il piano *notify* al fine di valutare se l'individuo monitorato va avvisato. Similmente a quanto avviene per la temperatura ambientale, un piano viene attivato quando la temperatura corporea dell'anziano è al di fuori dell'intervallo prefissato.

Per simulare i differenti comportamenti dell'individuo monitorato, l'Agente Anziano è stato dotato di diversi piani. La fig. 5 ad esempio mostra un piano molto semplice che include il passaggio dal corridoio alla camera da letto e successivamente la richiesta diretta dell'anziano di conoscere la propria temperatura. Per prima cosa l'Agente Anziano inizializza la BV, fornendogli la sua posizione iniziale. Dopo 10 secondi (il tempo necessario per accedere alla camera da letto) informa l'Agente PIR della stanza 1 circa la sua presenza. Seguendo un meccanismo a cascata l'Agente PIR comunica alla BV di aver rilevato una presenza nella camera da letto. Quindi la BV avrà una nuova credenza (la presenza dell'anziano nella stanza) che fa attivare il piano per accendere la luce in camera da letto e spegnerla nel corridoio. Infine l'Agente Anziano invia un messaggio richiedendo il valore della propria temperatura corporea. Di conseguenza sarà attivato il piano della BV per richiedere all'Agente Biometrico il parametro desiderato e comunicarlo all'anziano.

Sono stati simulati anche piani che non prevedono una richiesta esplicita dell'anziano. Ad esempio quando una finestra rimane aperta nella camera da letto mentre il paziente sta dormendo la diminuzione della temperatura nella stanza e dell'individuo dovrebbe

attivare il piano per svegliarlo e consigliargli di chiudere la finestra. Così l'Agente Ambientale che controlla il sensore della finestra della camera da letto avverte la BV che questa è aperta. Successivamente l'Agente Ambientale che controlla la temperatura comunica il valore fuori dall'intervallo e lo stesso fa l'Agente Biometrico. La BV aggiorna la sua KB con queste nuove credenze facendo scattare il piano per avvertire l'anziano.

Il test ideale per il sistema proposto dovrebbe prevedere uno scenario reale di AAL equipaggiato con sensori sviluppati nel campo della domotica. Tuttavia le simulazioni svolte permettono di evidenziare l'utilità dell'approccio Multi-Agente e del paradigma BDI in un contesto di AAL: il primo conferisce modularità al sistema permettendo l'eventuale estensione della piattaforma con nuove periferiche, il secondo permette di rispondere velocemente ai cambiamenti di un ambiente dinamico.

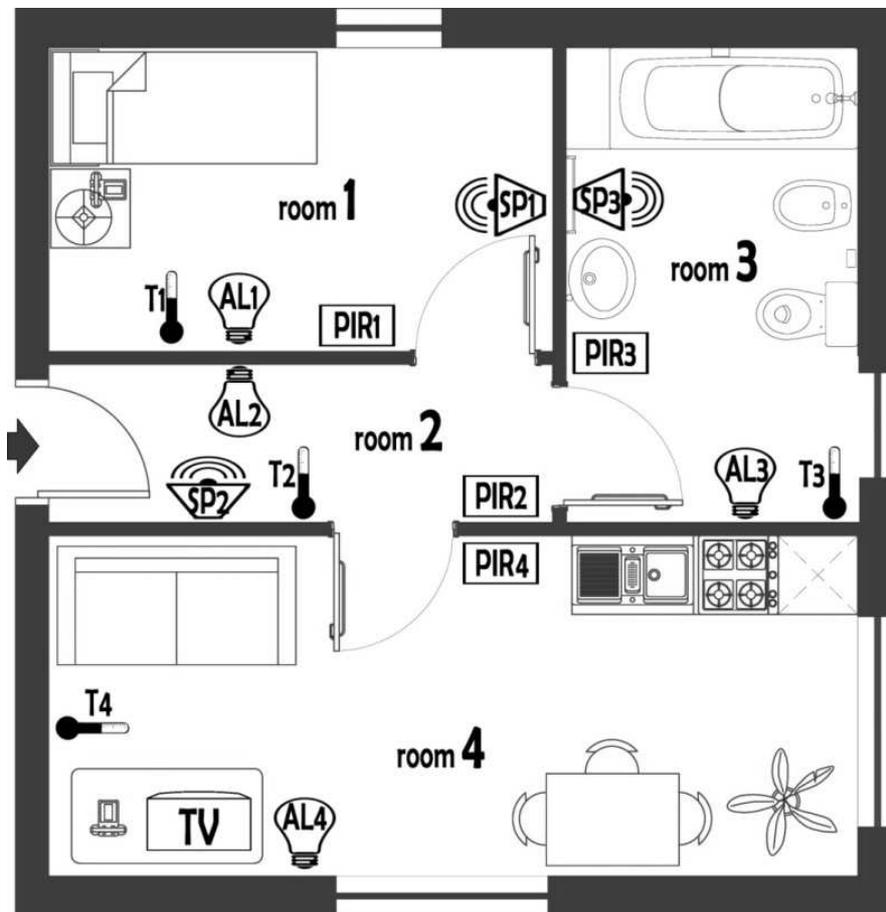


Fig. 2. Scenario di simulazione.

```

/* Piano Emergenza Temperatura stanza*/

+emergency1(V)[source(A)] : true <-

    .print("Ricevuto Parametro Temperatura fuori norma");
    .print("dal sensore ", A);
    .print("con valore", V);
    .time(H,M,S);
    .send(register,tell,anomaly(A,V,H,M,S));
    .print("Info inviata a Agent Register");
    ?em1(N);
    New = N + 1;
    -+em1(New);
    !notify;
    !canc.

```

Fig. 3. Piano di emergenza per la temperatura della stanza.

```

+!scenario5 : true <-
    .wait(60000);
    .send(badante,tell,init(corridoio));
    .wait(10000);
    .send(pir1,tell,at);
    .send(badante,achieve,queryP(tempB)).

```

Fig. 5. Piano dell'Agente Anziano: si sposta e chiede la propria temperatura.

## 5. Conclusioni

In questo paper è stato descritto un approccio Multi-Agente all'AAL creando un sistema per affrontare il controllo dello stato di salute di un anziano o un disabile in un contesto dinamico. La parte centrale del sistema è un agente BDI: la Badante Virtuale. La BV collabora con altri agenti (associati ai sensori e alle periferiche che formano il sistema) per semplificare le attività quotidiane dell'anziano e lanciare allarmi qualora venga riscontrata un'anomalia nelle sue condizioni di salute. Il framework JADE, grazie all'uso dello standard FIPA-ACL per lo scambio di messaggi, garantisce la flessibilità del sistema: nuove periferiche possono essere aggiunte in qualsiasi momento semplicemente integrando altri agenti nel sistema. Il sistema proposto è stato testato considerando uno scenario di simulazione, modellando l'individuo monitorato come un ulteriore agente BDI. Diversi piani sono stati implementati, modellando varie azioni che possono essere compiute dall'Agente Anziano (ad esempio movimenti, richieste, variazioni dei parametri

vitali). Le prove effettuate confermano la tendenza delle ricerche nell'ambito dell'AAL e dell'AmI verso l'Intelligenza Artificiale e i MAS. L'approccio multi-agente assicura la modularità del sistema, mentre il paradigma BDI permette di rispondere ai cambiamenti dell'ambiente e delle esigenze del paziente monitorato.

In futuro ulteriori test dovrebbero essere effettuati: uno scenario di AAL reale, cioè un ambiente opportunamente equipaggiato con sensori e periferiche tipiche della domotica, dove un anziano può vivere, è l'unico modo per validare pienamente l'approccio proposto. Il passo successivo potrebbe essere quello di integrare nella Badante Virtuale ulteriori tecnologie: ad esempio quelle per la video sorveglianza descritte in [23] potrebbero risultare utili sia usate per il loro scopo originario che per controllare lo stato del paziente, garantendo la sua sicurezza. Potrebbe inoltre essere migliorata l'interazione con la BV considerando tecnologie per l'*Automatic Speech Recognition* (ASR) e per il *Text-To-Speech* (TTS).

### Ringraziamenti

Il lavoro riportato in questo paper è stato supportato, in parte, da OPENMOB srl.

### Riferimenti

- [1] M. O'Grady, C. Muldoon, M. Dragone, R. Tynan, and G. O'Hare, "Towards evolutionary ambient assisted living systems", *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 1(1), pp. 15–29, 2010.
- [2] K. Christensen, G. Doblhammer, R. Rau, and J. Vaupel, "Ageing populations: the challenges ahead", *The Lancet*, vol. 374, pp. 1196–1208, 2009.
- [3] D. Bloom and D. Canning, "Global demographic change: dimensions and economic significance", Technical report, National Bureau of Economic Research, 2004.
- [4] T. Kleinberger, M. Becker, E. Ras, A. Holzinger, and P. Müller, "Ambient intelligence in assisted living: enable elderly people to handle future interfaces", in *Universal access in human-computer interaction. Ambient interaction*, pp. 103–112, 2007.
- [5] H. Sun, V. De Florio, N. Gui, and C. Blondia, "Promises and challenges of ambient assisted living systems", in *Information Technology: New Generations, 2009. ITNG '09. Sixth International Conference on*, pp. 1201–1207, 2009.
- [6] AAL Europe, Ambient Assisted Living Joint Programme. Retrieved April 3, 2013 from <http://www.aal-europe.eu/>.
- [7] F. Sadri, "Ambient intelligence: A survey", *ACM Computing Surveys*, vol. 43(4), pp. 36:1–36:66, 2011.
- [8] M. Pollack, "Intelligent technology for an aging population: The use of ai to assist elders with cognitive impairment", *AI magazine*, vol. 26(2), 9, 2005.
- [9] D. Cook, J. Augusto, and V. Jakkula, "Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities", *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5(4), pp. 277–298, 2009.
- [10] S. Russell and P. Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice Hall series in artificial intelligence, Prentice Hall, 3 edition, 2009.

- [11] M. Wooldridge and N. Jennings, "Intelligent agents: Theory and practice", *Knowledge engineering review*, vol. 10(2), pp. 115–152, 1995.
- [12] I. Ayala, M. Amor, and L. Fuentes, "Self-configuring agents for ambient assisted living applications", *Personal and Ubiquitous Computing*, pp. 1–11, 2012.
- [13] M. Bratman, "Intentions, Plans, and Practical Reason", Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [14] P. Wolf, A. Schmidt, J. Otte, M. Klein, S. Rollwage, B. König-Ries, T. Dettborn, and A. Gabdulkhakova, "Openaal - the open source middleware for ambient-assisted living (aal)", in *AALIANCE conference*, Malaga, Spain, pp. 1–5, 2010.
- [15] S. Nefti, U. Manzoor, and S. Manzoor, "Cognitive agent based intelligent warning system to monitor patients suffering from dementia using ambient assisted living", in *Information Society (i-Society)*, 2010 International Conference on, pages 92–97, 2010.
- [16] A. Borowczyk, M. Gawinecki, and M. Paprzycki, "Bdi agents in a patient monitoring scenario", in *Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2008. PervasiveHealth 2008. Second International Conference on*, pp. 82–85, 2008.
- [17] J. McNaull, J. Augusto, M. Mulvenna, and P. McCullagh, "Multi-agent interactions for ambient assisted living", in *Intelligent Environments, 2011 7th International Conference on*, pp. 310–313, 2011.
- [18] C. Reinisch and W. Kastner, "Agent based control in the smart home", in *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 334–339, 2011.
- [19] A. Dohr, R. Modre-Opsrian, M. Drobits, D. Hayn, and G. Schreier, "The internet of things for ambient assisted living", in *Information Technology: New Generations (ITNG)*, 2010 Seventh International Conference on, pp. 804–809, 2010.
- [20] A. Jara, M. Zamora, and A. Skarmeta, "An internet of things—based personal device for diabetes therapy management in iambient assisted living (aal)", *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 15(4), pp. 431–440, 2011.
- [21] F. Bellifemine, G. C., and D. Greenwood, "Developing multi-agent systems with JADE", Wiley, 2007.
- [22] R. Bordini, J. Hübner, and M Wooldridge, "Programming multi-agent systems in AgentSpeak using Jason", Wiley-Interscience, 2007.
- [23] A. Claudi, F. Di Benedetto, G. Dolcini, L. Palazzo, and A. Dragoni, "Marvin: mobile autonomous robot for video surveillance networks", in *Computer Modeling and Simulation (EMS)*, 2012 Sixth UKSim/AMSS European Symposium on, pp. 21–26, 2012.