

Arquitectura Multiagente para Entornos Dinámicos: Tecnología e Inteligencia Aplicadas

Dante I. Tapia, Javier Bajo, Juan M. Corchado, Sara Rodríguez, Juan F. De Paz, Juan M. Sánchez & Alberto Saavedra

Departamento de Informática y Automática
Universidad de Salamanca
Plaza de la Merced s/n
37008, Salamanca, España

{jbajope, corchado, dantetapia, srg}@usal.es, {fcofds, jms.manzano}@gmail.com, alberto.saavedra@tulecom.com

Resumen

El papel que juegan la computación ubicua y los entornos móviles en nuestra sociedad es cada vez más importante y supone la necesidad de proporcionar nuevas soluciones para el desarrollo de entornos inteligentes, caracterizados por su ubicuidad, transparencia e inteligencia. Las características propias de los agentes y sistemas multiagente los hacen adecuados para implementarse en tales condiciones. En este trabajo se presenta una arquitectura multiagente desarrollada para facilitar la construcción de entornos inteligentes, a través de agentes dotados de mecanismos que permiten la obtención de información del contexto en el que se encuentran de forma automática y en tiempo real. Esta arquitectura incorpora diferentes tecnologías para la adquisición y comunicación de información, tales como identificación por radio frecuencia, redes inalámbricas y dispositivos de control. El corazón de la arquitectura es un modelo de agente deliberativo que incorpora un sistema de razonamiento basado en la experiencia. Este modelo permite dotar a la arquitectura de inteligencia y flexibilidad, proporcionando un aprendizaje, adaptación y un mayor grado de autonomía, lo cual permite que la arquitectura pueda ser aplicada a una gran diversidad de problemas que se desarrollan en entornos con diferentes características.

1. Introducción

La tecnología de agentes y sistemas multiagente ha alcanzado una enorme relevancia en la

construcción de sistemas distribuidos y dinámicos. Los agentes poseen una serie de capacidades, tales como autonomía, razonamiento, reactividad, habilidades sociales, pro-actividad y movilidad entre otras [30]. Estas capacidades hacen que los agentes resulten adecuados para ser aplicados en la construcción de entornos inteligentes. Un agente se encuentra situado en un entorno y se adapta a los cambios que ocurren en dicho entorno [25]. Es importante dotar a los agentes de mecanismos de sensibilidad al contexto que permitan al agente modificar su comportamiento en función de la información recibida de su entorno.

En este artículo se describen las principales características de una arquitectura multiagente basada en la Inteligencia Ambiental (AmI) [12][13][29]. La arquitectura presenta un modelo de agente deliberativo que incorpora mecanismos de razonamiento basado en casos (CBR) [1] y planificación basada en casos (CBP) que permiten dotar al agente de una gran capacidad de adaptación y aprendizaje. Además, la arquitectura incorpora diferentes tecnologías que se integran con los agentes y que proporcionan información sobre el contexto, de manera automática y en tiempo real, así como la actuación sobre ciertos parámetros del entorno.

Un agente CBR-BDI [10] es un agente basado en el modelo deliberativo BDI [17] que incorpora un motor de razonamiento basado en casos como mecanismo de razonamiento. El motor permite dotar al agente de la capacidad de aprendizaje basándose en la experiencia (a partir de un conocimiento inicial), de una mayor capacidad de autonomía y de una gran capacidad de adaptación a los cambios que se producen en el entorno en el

que se encuentra situado. Los agentes CBP-BDI son una variante de los agentes CBR-BDI, especializados en la generación de planes.

La Inteligencia Ambiental (AmI) se caracteriza por su ubicuidad, transparencia e inteligencia, proponiendo una nueva forma de interacción entre las personas y la tecnología que las rodea. Así pues, la tecnología es la que se adapta a los individuos y a su contexto, proporcionando entornos en los que se rodea a las personas de artefactos inteligentes que se mezclan con los objetos de la vida cotidiana [13]. Estos entornos inteligentes ponen capacidades de computación y de comunicación ubicuas al servicio de las personas de una forma natural y transparente [23]. Resulta de gran importancia el desarrollo de sistemas y de interfaces inteligentes e intuitivos, que sean capaces de reconocer y proporcionar respuesta a las necesidades de los usuarios de forma ubicua [12], considerando a las personas como el objetivo primordial del desarrollo [26]. Hoy en día existen aplicaciones basadas en la AmI en campos como la medicina, hogar, educación, etc. [29]. Los agentes permiten dotar a un entorno de una gran capacidad de adaptación al contexto. Además, los sistemas multiagente vienen caracterizados por resolver problemas de forma distribuida y pueden ser ejecutados sobre una gran variedad de dispositivos móviles, tales como PDAs, teléfonos móviles, etc., caracterizados por su poca capacidad de procesamiento y almacenamiento.

En este trabajo se presenta una arquitectura multiagente desarrollada para la construcción de entornos inteligentes dinámicos y distribuidos. Esta arquitectura permite a los agentes utilizar diversas tecnologías para ser sensibles al contexto, tales como identificación por radio frecuencia (RFID), redes inalámbricas y dispositivos de control, capaces de obtener información en tiempo real, de actuar sobre el entorno, así como de ofrecer y gestionar servicios (climatización, iluminación, interruptores, alarmas, etc.).

En la siguiente sección se presentarán en detalle las tecnologías de sensibilidad al contexto y comunicación incorporadas a la arquitectura. En la sección tres se describen los modelos de agente CBR-BDI y CBP-BDI, que son el corazón de la arquitectura. En la sección cuatro se presenta el modelo de la arquitectura y su aplicación a un caso de estudio concreto, como es el de una residencia de enfermos de Alzheimer. Finalmente

se presentan las conclusiones obtenidas y las posibles líneas de trabajo a futuro.

2. Tecnologías para la adaptación al contexto

La arquitectura presentada en este trabajo está especialmente diseñada para ser aplicada en entornos inteligentes altamente dinámicos, por lo que los agentes necesitan adquirir información del entorno, así como poder actuar sobre él. Por estos motivos, se hace necesario incorporar tecnologías que permitan a los agentes obtener información y actuar sobre el entorno de forma automática y en tiempo real. La Inteligencia Ambiental abre una puerta hacia nuevas posibilidades para la resolución de muy diferentes problemas y propone una nueva forma de interacción entre los humanos y la tecnología, en la que ésta última se adapta a los individuos y al contexto concreto en el que se encuentren. Así pues, en la visión de la AmI, los humanos se encuentran rodeados de interfaces inteligentes que se mezclan con los objetos de la vida cotidiana [13], creando entornos con capacidad de computación y con capacidad de comunicación y de procesamiento inteligentes que se ponen al servicio de los humanos de una forma simple, natural y transparente [23].

Uno de los segmentos de la población más beneficiados por los avances que proporciona la inteligencia ambiental es sin duda alguna el sector de la tercera edad y las personas discapacitadas. Gracias a la aplicación de técnicas de Inteligencia Ambiental los servicios que se prestan actualmente a estos sectores pueden ser ampliamente mejorados, proporcionando grandes avances especialmente en cuanto a calidad de vida y cuidados médicos [13].

A continuación, se presentan algunas de las tecnologías utilizadas en la adaptación y sensibilidad del entorno.

La tecnología RFID es una tecnología de comunicación inalámbrica utilizada para identificar y recibir información relativa a humanos, animales u objetos en movimiento [27]. Un sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos: 1) Etiquetas, 2) Lectores, 3) Antenas y Radios y 4) Hardware de Procesamiento. Las etiquetas o chips RFID suelen ser pasivos (sin baterías) y reciben el nombre de transpondedores [27]. Los transpondedores son

mucho más baratos y tienen un tamaño mucho menor que los chips activos (con baterías), pero tienen un rango de alcance mucho menor. En la Figura 1 es posible observar el funcionamiento de un sistema RFID. El transpondedor se sitúa en un objeto (por ejemplo, un brazalete). Cuando el transpondedor entra en el rango de lectura del lector, éste se activa y comienza a enviar señales electromagnéticas, transmitiendo su número de identificación al lector. El lector retransmite la información hacia un procesador central en el que la información es procesada. La información que se maneja no queda solamente restringida a datos relativos a la localización, sino que es posible trabajar con información relativa al propio objeto. Las principales aplicaciones de la tecnología RFID han tenido lugar en entornos industriales, de transporte, etc. pero su aplicación en otros sectores, incluyendo la medicina, es cada vez más importante [27]. La configuración presentada en este trabajo consiste en transpondedores integrados en brazaletes, lectores con un rango de lectura de hasta 2 metros, y un ordenador central. Los brazaletes pueden ser colocados en las muñecas o en los tobillos de los individuos.

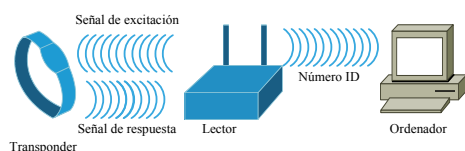


Figura 1. Funcionamiento de la tecnología RFID

Las redes inalámbricas, también conocidas como redes Wi-Fi (Wireless Fidelity) incrementan la movilidad, flexibilidad y eficiencia de los usuarios, permitiendo que los programas e información estén accesibles sin importar su localización física [28]. Las redes Wi-Fi requieren una menor infraestructura y un menor coste de instalación y proporcionan una mayor flexibilidad al permitir a los usuarios mantenerse conectados a la red mientras se desplazan [16]. Los dispositivos inalámbricos permiten desarrollar nuevas técnicas de interacción, por ejemplo, sistemas de localización [11][22]. La arquitectura que se presenta en este artículo incorpora agentes "ligeros" capaces de residir y ser ejecutados en dispositivos móviles tales como teléfonos móviles o PDAs, caracterizados por su poca capacidad de

memoria y de procesamiento [6]. Estos agentes soportan comunicación inalámbrica, lo que facilita su portabilidad a un amplio rango de dispositivos.

Los dispositivos de automatización se han aplicado satisfactoriamente en escuelas, hospitales, hogares, etc. [19]. Existe una gran variedad de tecnologías capaces de proporcionar servicios de automatización. Una de ellas es ZigBee, un estándar de comunicación inalámbrica bidireccional de bajo coste y bajo consumo de energía [31]. ZigBee se basa en el protocolo IEEE 802.15.4 y opera en el espectro de 868/915MHz y 2.4GHz. Está diseñado para ser utilizado en automatización de hogares, controles industriales, sensores médicos, juegos, etc. [31]. ZigBee permite crear redes de dispositivos con configuraciones en estrella, árbol o malla. Como se puede apreciar en la Figura 2, los dispositivos pueden ser configurados para actuar como: coordinador de red (control de dispositivos); router (enviar/recibir/retransmitir datos entre dispositivos); dispositivo final (envía/recibe información hacia/desde el coordinador).

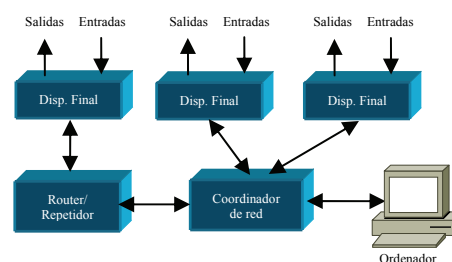


Figura 2. Configuración de los dispositivos ZigBee

La información proporcionada por las diferentes tecnologías descritas debe ser analizada y procesada para generar respuestas adecuadas al estado del entorno. Una de las posibilidades es utilizar agentes inteligentes. A continuación se presentan dos modelos de agentes con gran capacidad de adaptación al contexto.

3. Agentes inteligentes

Las características propias de los agentes, tales como autonomía, razonamiento, reactividad, habilidades sociales, pro-actividad y movilidad, entre otras [30], hacen que resulten adecuados para ser utilizados en la construcción de entornos

inteligentes distribuidos y dinámicos. Existen muchas arquitecturas que permiten construir agentes deliberativos, muchas de ellas basadas en el modelo BDI (Belief, Desire, Intention) [7]. Este modelo utiliza Beliefs como aptitudes informacionales, Desires como aptitudes motivacionales e Intentions como aptitudes deliberativas de los agentes. Sin embargo, los requisitos de la Inteligencia Ambiental hacen que sea necesario dotar a los agentes de mayores capacidades de aprendizaje y adaptación, así como un mayor grado de autonomía que una arquitectura BDI pura [7]. El razonamiento basado en casos (CBR) [18] es un paradigma que se basa en la idea de que los problemas similares tienen soluciones similares. De esta forma, un problema nuevo se resuelve consultando en la memoria de casos un caso similar que se hubiese resuelto en el pasado. Los agentes deliberativos que se proponen en el marco de esta investigación utilizan este concepto para mejorar su autonomía y aumentar sus capacidades de resolución de problemas.

La Figura 3 muestra los modelos sobre los que se sustentan los sistemas BDI y CBR, pudiéndose apreciar que un agente deliberativo BDI se basa en los conceptos de deseo, creencia e intención. Además, es posible observar que un sistema CBR se basa en el concepto de caso. Un caso es una experiencia pasada formada por tres elementos: descripción inicial del problema, solución aplicada para resolverlo, y el resultado obtenido tras aplicar la solución. Un sistema CBR ejecuta un ciclo de razonamiento, que está formado por cuatro fases secuenciales: retrieve, reuse, revise y retain. Cada una de estas actividades puede ser automatizada, lo que supone que todo el proceso de razonamiento puede ser automatizado [14]. Por lo tanto, los agentes que se implementan utilizando sistemas CBR podrán razonar de forma autónoma y además adaptarse a los cambios de su entorno.

Es posible relacionar sistemas CBR y agentes BDI si se implementan los casos como creencias, intenciones y deseos que conduzcan a la resolución del problema. Como se describe en [10], en un agente CBR-BDI, cada estado equivale a una creencia. Además, el objetivo a alcanzar también puede ser una creencia. Las intenciones son planes que contienen un conjunto ordenado de acciones que el agente debe efectuar para alcanzar sus objetivos. El paso de un estado a otro se produce después de ejecutar una acción (el agente

recuerda la acción que se ejecutó en una situación similar en el pasado, así como el correspondiente resultado). Un deseo es uno de los estados finales alcanzados en el pasado (si el agente debe tratar con una situación que es similar a otra pasada, tratará de alcanzar un resultado similar al resultado obtenido previamente).

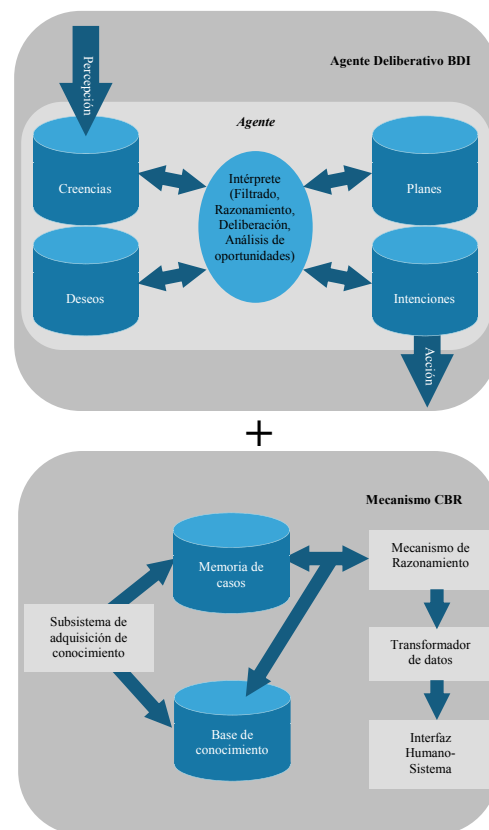


Figura 3. Integración de los modelos BDI y CBR

En un agente CBP-BDI el motor de razonamiento genera planes como soluciones, utilizando para ello experiencias pasadas y estrategias de planificación. De esta forma es posible introducir el concepto de planificación basada en casos (CBP) [14]. Tal y como se puede apreciar en la Figura 4, CBP, al igual que CBR, consiste la ejecución de cuatro etapas secuenciales: En la etapa de recuperación se consulta la memoria de casos para recuperar aquellas experiencias pasadas con una descripción

de problema más similar a la descripción del problema actual; en la etapa de reutilización se utilizan las soluciones (planes) correspondientes a aquellos casos recuperados en la etapa de recuperación para, a partir de ellas, ser capaces de confeccionar el plan más óptimo para la situación actual; en la etapa de revisión se evalúan los resultados obtenidos tras aplicar el plan elegido como óptimo durante la etapa de reutilización; finalmente en la etapa de retención se aprende de la nueva experiencia. La planificación basada en casos consiste en planificar acciones en función de recuerdos pasados [15].

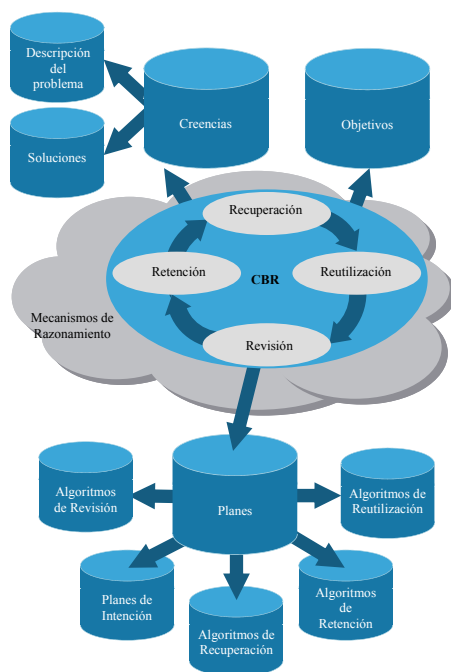


Figura 4. Agente deliberativo CBP-BDI

En la planificación basada en casos se trabaja con planes, que son tanto secuencias de acciones como información sobre la decisión que elige pasar de una acción a otra. Los planes se almacenan en una memoria de planes. En CBP se asume que problemas similares se resuelven mediante la aplicación de planes similares. Las descripciones de problema, los planes aplicados para resolverlas y los resultados obtenidos deben ser ponderados y almacenados para que puedan ser reutilizados en la resolución de futuros

problemas. La descripción de problema (estado inicial) y la solución (situación cuando se alcanza el estado final) se representan mediante creencias, el estado final se representa como un conjunto de metas, y las secuencias de acciones se representan como planes. El ciclo CBP se implementa a través de metas que deben ser alcanzadas y planes (algoritmos o acciones) que se ejecutan para alcanzar dichas metas.

El razonamiento basado en la experiencia permite gran capacidad de aprendizaje y de adaptación al contexto. Se recurre a experiencias pasadas para resolver problemas similares, así como para generar soluciones creativas ante nuevos problemas.

4. Modelo de arquitectura

Las arquitecturas basadas en sistemas domóticos y la Inteligencia Ambiental han ido mejorando en estos últimos años. En los sistemas clásicos, los usuarios deben adaptarse por sí mismos al entorno que los rodea, debido a que la mayor parte de los servicios de un edificio o estructura están instalados previamente [24]. Por este y otros motivos se ha propuesto la implementación de sistemas distribuidos y la utilización de agentes inteligentes en entornos automatizados, que permitan cumplir con las expectativas de la Inteligencia Ambiental [3].

Para la creación de arquitecturas descentralizadas o distribuidas es posible utilizar sistemas multiagente, el cual se obtiene cuando un sistema complejo es resuelto por varios agentes especializados en realizar una tarea específica, pero capaces de cooperar entre ellos para resolver una meta común [4]. El desarrollo de agentes inteligentes será una pieza esencial para analizar datos de sensores distribuidos [20] y para que éstos sean capaces de razonar individualmente, pero trabajando de forma conjunta para analizar situaciones complejas, logrando altos niveles de interacción con los humanos [5].

Aunque existe software capaz de comunicarse con componentes domóticos y dispositivos inteligentes, ninguno de ellos cubre las necesidades de las redes y de la computación ubicua de hoy en día [24].

La creciente demanda de aplicaciones de inteligencia ambiental hace necesario definir nuevas arquitecturas. La arquitectura presentada

en este trabajo combina los agentes inteligentes, los mecanismos de razonamiento y planificación, y tecnologías de sensibilidad al contexto. El resultado es una arquitectura distribuida, flexible y abstracta, cuyos componentes son agentes inteligentes que, a través de un conjunto de dispositivos, interaccionan con el entorno y con los usuarios, acercándose a la visión de la Aml.

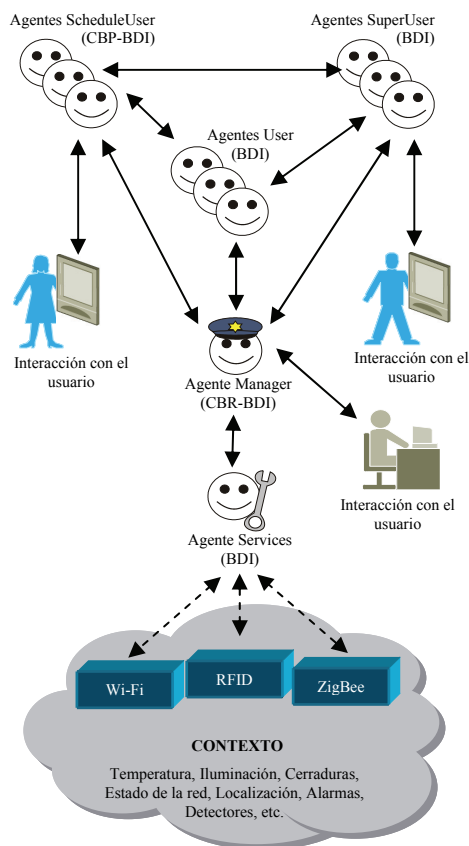


Figura 5. Representación de la arquitectura: agentes y tecnología sensibles al contexto

La Figura 5 muestra una representación simple de la arquitectura abstracta, definiendo cinco tipos diferentes de agentes:

Agente de usuario (User Agent) es un agente BDI que se ejecuta en dispositivos móviles "ligeros", tales como teléfonos móviles o PDAs. Se encarga de manejar los datos personales del usuario y los datos relativos a sus comportamientos (monitorización, localización,

tareas diarias, preferencias y anomalías). Además permite al usuario tener un acceso ubicuo al resto del sistema. Las metas y creencias utilizadas para cada tipo de usuario dependen del problema concreto que trate de resolver el sistema. El agente de usuario mantiene una comunicación continua con el resto de agentes del sistema y, especialmente, con el agente ScheduleUser, y con el agente SuperUser. El agente User debe asegurar que todas las acciones que le son asignadas por el agente SuperUser se llevan a cabo. Periódicamente envía una copia de su memoria al agente Manager de cara a mantener copias de seguridad de sus datos.

El agente SuperUser es un agente BDI que también se ejecuta en dispositivos móviles (concretamente en una PDA). Se encarga de indicar la petición de realización de nuevas tareas al agente Manager. Se comunica con los agentes User para encargar nuevas tareas y para obtener informes periódicos y con el agente ScheduleUser para comprobar la evolución de los planes.

El agente ScheduleUser es un agente planificador CBP-BDI que puede ser ejecutado sobre dispositivos móviles. Se encarga de asignar las tareas correspondientes a las actividades diarias de los usuarios. Genera planes dinámicos dependiendo de las necesidades de los usuarios. Para ello gestiona perfiles de usuarios (con sus preferencias, hábitos, horarios, etc.), tareas y recursos disponibles. El agente ScheduleUser genera planes personalizados de acuerdo al perfil de usuario concreto.

El agente Manager es un agente CBR-BDI que se ejecuta en una estación de trabajo. Tiene asignados dos roles fundamentales: gestionar la seguridad del entorno (localización de los usuarios, estado físico del entorno – temperatura, luces, alarmas –) mediante una comunicación continua con los agentes Device; y gestionar las bases de datos y la asignación de tareas. La asignación de tareas debe ser dinámica y eficiente. Para ello el agente Manager utiliza un motor CBR que utiliza las experiencias pasadas y las necesidades actuales para asignar las tareas de la forma más adecuada.

El agente Devices es un agente BDI que se ejecuta en una estación de trabajo. Controla los dispositivos hardware utilizados para interactuar con el entorno. Envía la información de los dispositivos al agente Manager para que sea procesada. Gestiona el estado de los dispositivos

Wi-Fi conectados al sistema. Monitoriza la localización de los usuarios por medio de los datos obtenidos a través de los lectores RFID, interactúa con dispositivos ZigBee comprobando la información recibida y tomando decisiones sobre las acciones a realizar sobre el entorno.

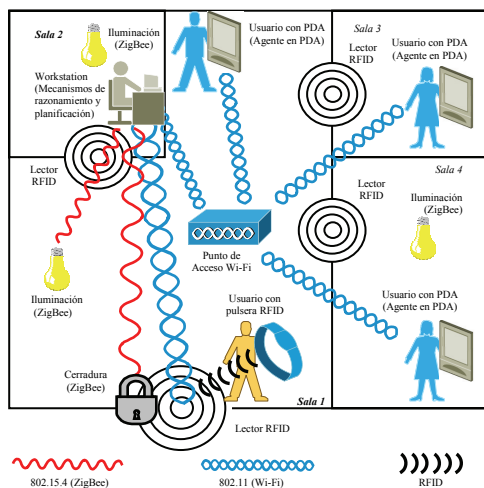


Figura 6. Hardware implementado

En cuanto al hardware utilizado para obtener sensibilidad de contexto, la arquitectura facilita la incorporación de nuevo hardware de una forma sencilla. El agente Devices es el encargado de interactuar con los dispositivos hardware. Por el momento el hardware utilizado es el que se puede apreciar en la Figura 6 y que a continuación se describe: Para la identificación y monitorización de la localización de usuarios se utilizan chips RFID Q5 de Sokymat a una frecuencia de 125KHz integrados en pulseras de muñeca. Además, se utilizan lectores RFID de construcción propia. Para la automatización de servicios físicos se incorporan chips C8051 de Silicon Laboratories que operan en la frecuencia de 2.4GHz; se emplean diferentes dispositivos móviles (PDA's y teléfonos móviles); una estación de trabajo en la que se realizan las tareas de planificación y razonamiento; se utiliza una red Wi-Fi que proporciona comunicación inalámbrica segura entre los agentes del sistema. Todo el hardware se encuentra integrado con los agentes de uno u otro modo, de tal forma que los agentes son capaces de obtener información del entorno en tiempo real y

efectuar sobre ella labores de razonamiento o planificación, respondiendo de forma automática con los servicios y acciones más adecuadas en cada caso.

5. Caso de estudio

En la actualidad existen desarrollos que implementan agentes en entornos automatizados enfocados al cuidado de personas mayores o discapacitadas [9], cada uno de ellos con distintas características. El proyecto RoboCare, apoyado por el Ministerio Italiano de Educación, se enfoca en proveer asistencia a personas en edad avanzada, a través de un entorno multiagente, utilizando software, robots, sensores inteligentes y humanos [5]. Por su parte, el sistema TeleCARE está orientado a proporcionar servicios a los ancianos, desarrollando una aproximación de agentes móviles mediante una plataforma genérica que permite una adición continua de servicios, tales como monitorización y control de electrodomésticos, a un bajo costo [8]. No obstante, aún queda mucho trabajo por hacer, siendo necesario continuar con el desarrollo de sistemas y tecnología enfocados principalmente al mejoramiento de los servicios médicos, en particular, dentro de las residencias geriátricas.

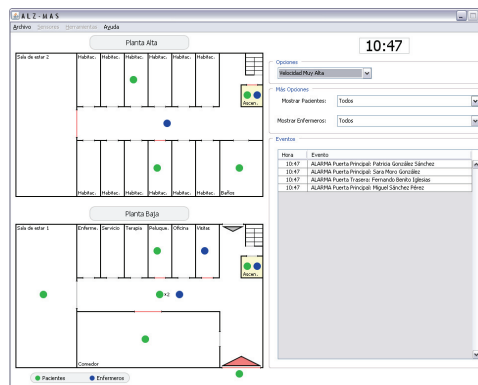


Figura 7. Localización de pacientes y enfermeros

Aunque la arquitectura propuesta ha sido diseñada con la flexibilidad para poder aplicarse sobre diversos escenarios, el enfoque se ha centrado en el desarrollo de sistemas para la administración de los cuidados médicos en residencias geriátricas [9], implementando parte

de la arquitectura en un sistema que automáticamente y en tiempo de ejecución planifica las tareas diarias del personal médico, monitoriza el estado de los pacientes (a través de los tratamientos aplicados), y localiza enfermeros y pacientes dentro de las instalaciones como se muestra en la Figura 7, entre otras funcionalidades.

La Figura 8 muestra la asignación de tareas al personal médico a través de PDAs. La asignación de tareas se realiza a través de un mecanismo de planificación basado en casos (CBP), tomando en cuenta una serie de variables y condiciones para planificar las jornadas laborales.



Figura 8. Asignación de tareas al personal médico

Los enfermeros, a través del agente ScheduleUser, deben informar al Agente Manager del inicio y final de cada tarea, así como del resultado obtenido. En el ordenador central se almacenan todas las tareas y tiempos, y se gestionan las reasignaciones de tareas. Cuando un enfermero inicia su jornada laboral, el sistema automáticamente informa de las tareas que debe completar. Si el plan cambia y se asigna una nueva tarea al enfermero, ésta debe informar si acepta o no realizarla, actualizando sus tareas diarias. Los planes cambian continuamente a lo largo del día, ya sea porque el enfermero acepta o no una nueva tarea, porque el doctor prescribe un nuevo tratamiento, por la presencia de errores, por situaciones de alarma, etc.

Los pacientes son controlados por los agentes User, aunque es importante señalar que los pacientes no tiene acceso al sistema ni a los agentes, por lo que los datos (actividades, tareas,

eventos, etc.) requeridos por los agentes User se obtienen a través de interacciones con los Agentes ScheduleUser y SuperUser. El único dato que los pacientes proporcionan es el número ID almacenado en los brazaletes que llevan puestos y que son leídos cuando pasan por una puerta con un lector RFID instalado. Esto con la finalidad de proporcionar un método ubicuo y no invasivo para la obtención de información de los pacientes.

Después de aplicar una serie de métricas, fue posible comprobar cómo la implementación del sistema multiagente en la residencia geriátrica reduce el número de enfermeros que trabajan simultáneamente, reduce el tiempo que los enfermeros emplean en tareas indirectas (monitorización de pacientes, elaboración de informes, gestión de visitas, etc.) y además, se incrementan considerablemente los niveles de seguridad de la residencia [9].

6. Resultados y conclusiones

El desarrollo tecnológico y la aparición de nuevas formas de comunicación han supuesto un gran cambio en el desarrollo de muchas actividades de la vida cotidiana. Las personas se ven rodeadas por dispositivos que les facilitan su vida diaria. Sin embargo, en muchas ocasiones, estos dispositivos requieren conocimientos especiales por parte de los usuarios o son difíciles de manejar, por lo que la aplicación de técnicas de Inteligencia Ambiental se hace cada vez más necesaria. En la actualidad, la mayoría de tendencias en el desarrollo de entornos inteligentes se han centrado en la automatización o en el desarrollo de interfaces. En este trabajo se ha presentado una arquitectura que, basándose en la incorporación de agentes inteligentes, permite construir entornos inteligentes. Un agente puede verse como un interfaz que actúa como etapa intermedia y transparente entre el usuario y el resto de los elementos del entorno inteligente. Además, la gran capacidad de adaptación de los agentes para ser ejecutados en dispositivos móviles con pocos recursos de memoria y procesamiento, permite proporcionar una comunicación ubicua e incluso personalizar el acceso de cada usuario.

Los agentes estudiados en el marco de esta investigación son agentes CBR-BDI [10] y agentes CBP-BDI [5], capaces de adaptarse a

cambios en el entorno y de realizar predicciones en base a su experiencia. En este sentido, los agentes inteligentes CBR-BDI y CBP-BDI son sensibles al contexto y pueden tomar decisiones que les permitan adaptarse de forma automática a los cambios que acontecen en su entorno. Un agente normalmente se integra en una sociedad de agentes o sistema multiagente, de tal forma que intercambia información para resolver problemas de forma distribuida. Estas características facilitan tanto la comunicación como la computación ubicua. La arquitectura presentada incorpora diferentes tecnologías para detectar cambios en el entorno y actuar sobre él. Estas tecnologías interactúan directamente con un agente especialmente diseñando para ello. Este agente, a través de los demás agentes en el sistema, permite a un usuario actuar sobre la tecnología subyacente de forma transparente y ubicua.

Dada la versatilidad y flexibilidad de la arquitectura presentada, ésta puede ser aplicada en una gran variedad de escenarios, tales como hospitales, residencias geriátricas, escuelas, hogares o cualquier otro entorno dinámico en el que sea necesario gestionar tareas y automatizar servicios. De hecho, un prototipo basado en esta arquitectura ha sido construido y probado de forma satisfactoria en una residencia geriátrica [9], mejorando la seguridad, la calidad de vida de los pacientes y la eficiencia en la prestación de los cuidados médicos. El sistema permite una monitorización automática de la localización de los pacientes y una planificación automática de las tareas que debe desarrollar el personal médico, facilitando la asignación de los turnos de trabajo y reduciendo los tiempos empleados en tareas rutinarias e indirectas [9].

La incorporación de mecanismos de razonamiento basado en casos y planificación basada en casos proporcionan a los agentes una gran capacidad de resolución de problemas, una mayor adaptación a los cambios del contexto y una más adecuada identificación de posibles soluciones, mejorando notablemente las características de un modelo BDI puro [7]. Además, la incorporación de dispositivos RFID, Wi-Fi y ZigBee permite a los agentes obtener información del contexto, que procesada a través de los mecanismos CBR y CBP, crean una interacción de alto nivel, transparente, ubicua y no invasiva entre los usuarios y el sistema.

Sin embargo, es necesario continuar desarrollando y mejorando la arquitectura presentada, añadiendo nuevas capacidades e integrando nuevas tecnologías para construir una arquitectura más eficiente y robusta.

Referencias

- [1] Aamodt, A. & Plaza, E.: Case-Based Reasoning: foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. AICOM. Vol. 7 No. 1, March (1994).
- [2] Allen, J.F.: Towards a general theory of action and time. Artificial Intelligence Vol. 23 pp. 123-154. (1984).
- [3] Anastasopoulos, M., Niebuhr, D., Bartelt, C., Koch, J. & Rausch, A.: Towards a Reference Middleware Architecture for Ambient Intelligence Systems. ACM Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications. (2005).
- [4] Angulo, C., & Tellez, R.: Distributed Intelligence for smart home appliances. Tendencias de la minería de datos en España. Red Española de Minería de Datos. Barcelona, España. (2004).
- [5] Bahadori, S., Cesta, A., Grisetti, G., Iocchi, L., Leone, R., Nardi, D., Oddi, A., Pecora, F. & Rasconi, R.: RoboCare: Pervasive Intelligence for the Domestic Care of the Elderly. AI*IA Magazine Special Issue, January. (2003).
- [6] Bohnenberger, T., Jacobs, O. & Jameson, A.: DTP meets user requirements: Enhancements and studies of an intelligent shopping guide. Proceedings of the Third International Conference on Pervasive Computing. Munich, Germany. (2005).
- [7] Bratman, M.E.: Intentions, Plans and Practical Reason. Harvard University Press, Cambridge, M.A. (1987).
- [8] Camarinha-Matos, L., Rosas, J., & Oliveira, A.: A mobile agents platform for telecare and teleassistance. 1st International Workshop on Tele-Care and Collaborative Virtual Communities in Elderly Care. Porto, Portugal. (2004).
- [9] Corchado, J.M., Bajo, J., De Paz, Y. & Tapia, D.I.: Intelligent Environment for Monitoring Alzheimer Patients, Agent Technology for

- Health Care. Decision Support Systems. Elsevier Science. Amsterdam, Netherlands. (2006).
- [10] Corchado, J.M., Laza, R.: Constructing Deliberative Agents with Case-based Reasoning Technology. *International Journal of Intelligent Systems*. Vol. 18 No.12 pp. 1227-1241. (2003).
- [11] Corchado, J.M., Pavón, J., Corchado, E. & Castillo, L.F.: Development of CBR-BDI Agents: A Tourist Guide Application. 7th European Conference on Case-based Reasoning 2004. LNAI 3155, Springer Verlag. pp. 547-559. (2005).
- [12] Ducatel, K., Bogdanowicz, M., Scapolo, F., Leijten, J. & Burgelman, J.C.: That's what friends are for. *Ambient Intelligence (AmI) and the IS in 2010. Innovations for an e-Society*. Congress Pre-prints, "Innovations for an e-Society. Challenges for Technology Assessment", Berlin, Germany. (2001).
- [13] Emiliani P.L. & Stephanidis, C.: Universal access to ambient intelligence environments: opportunities and challenges for people with disabilities. *IBM Systems Journal*. (2005).
- [14] Glez-Bedia, M. & Corchado, J.M.: A planning strategy based on variational calculus for deliberative agents. *Computing and Information Systems Journal*. Vol.10 pp. 2-14. (2002).
- [15] Hammond, K.: *Case-Base Planning: Viewing Planning as a Memory Task*. Academic Press, New York. (1989).
- [16] Hewlett-Packard.: *Understanding Wi-Fi*. <http://www.hp.com/rnd/library/pdf/>. (2002).
- [17] Jennings, N.R., Sycara, K. & Wooldridge, M.: A Roadmap of Agent Research and Development. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems Journal*, N.R. Jennings, K. Sycara and M. Georgeff (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998, Vol. 1, pp. 7-38. (1998).
- [18] Kolodner J.: *Case-based reasoning*. Morgan Kaufmann. (1993).
- [19] Mainardi, E., Banzi, S., Bonfè, M. & Beghelli, S.: A low-cost Home Automation System based on Power-Line Communication Links. 22nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Ferrara, Italy. (2005).
- [20] Mengual, L., Bobadilla, J., & Triviño, G.: A fuzzy multi-agent system for secure remote control of a mobile guard robot. *Advances in Web Intelligence, Second International Atlantic Web Intelligence Conference, AWIC 2004*. Cancun, México. (2004).
- [21] Pokahr, A., Braubach L. & Lamersdorf, W.: Jadex: Implementing a BDI-Infrastructure for JADE Agents. EXP - In Search of Innovation (Special Issue on JADE), Vol. 3, 76-85. Telecom Italia Lab, Turin, Italy. (2003).
- [22] Poslad, S., Laamanen, H., Malaka, R., Nick, A., Buckle, P. & Zipf, A.: Crumppet: Creation of user-friendly mobile services personalised for tourism. In *Proceedings of 3G*. (2001).
- [23] Richter, K. & Hellenschmidt, M.: Interacting with the Ambience: Multimodal Interaction and Ambient Intelligence. Position Paper to the W3C Workshop on Multimodal Interaction, 19-20 July. (2004).
- [24] Rigole, P., Holvoet, T., & Berbers, Y.: Using Jini to integrate home automation in a distributed software-system. *Departamento de Ciencias Computacionales*. Leuven, Bélgica. (2002).
- [25] Russell, S. & Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A modern approach*. Prentice-Hall Series in Artificial Intelligence. Englewood Cliffs, NJ, USA. (1995).
- [26] Schmidt, A.: *Interactive Context-Aware Systems Interacting with Ambient Intelligence*. In G. Riva, F. Vatalaro, F. Davide & M. Alcañiz, *Ambient Intelligence*, IOS Press pp. 159-178. (2005).
- [27] Sokymat. <http://sokymat.aaitg.com/> (2006).
- [28] Sun Microsystems, Inc. *Applications for Mobile Information Devices. Helpful Hints for Application Developers and User Interface Designers using the Mobile Information Device Profile*. (2000).
- [29] Susperregi, L., Mautua, I., Tubío, C., Pérez M.A., Segovia, I. & Sierra, B.: Una arquitectura multiagente para un laboratorio de Inteligencia Ambiental en Fabricación. 1er. Taller de Desarrollo de Sistemas Multiagente. Málaga, España. (2004).
- [30] Wooldridge, M. & Jennings, N. R.: *Agent Theories, Architectures, and Languages: a Survey*. In: Wooldridge and Jennings ed., *Intelligent Agents*. Springer-Verlag. (1995).
- [31] ZigBee Standards Organization.: *ZigBee Specification Document 053474r13*. ZigBee Alliance. (2006).