

A practical approach to user location awareness in smart home environments using Bluetooth

Iván Marsá Maestre, Miriam Machuca, Andrés Navarro and Juan R. Velasco

Departamento de Automática, Universidad de Alcalá, SPAIN
{ivmarsa, miriam, andres, juanra}@aut.uah.es

Abstract. Domotic systems must be able to determine user location within the home, in order to adapt the environment according to the preferences of each user. This paper presents a location system designed to be used in smart homes. Every user is identified and located using a personal Bluetooth device carried by the user. We have developed a multiagent architecture applicable to smart home environments, where the system is able to provide different services to its inhabitants depending on their preferences and location.

Un enfoque práctico para la localización de usuarios mediante Bluetooth en entornos domóticos

Iván Marsá Maestre, Miriam Machuca, Andrés Navarro, and Juan R. Velasco

Departamento de Automática, Universidad de Alcalá, ESPAÑA
{ivmarsa, miriam, andres, juanra}@aut.uah.es

Resumen Para que un sistema domótico pueda adaptarse adecuadamente a las preferencias de sus diferentes usuarios, debe ser capaz de determinar en cada momento en qué habitación se encuentran éstos dentro de la vivienda. Este artículo presenta un sistema de localización especialmente orientado a su utilización dentro del hogar inteligente. Cada usuario del sistema lleva consigo un dispositivo personal Bluetooth, a partir del cual el sistema puede identificarle y localizarle dentro de la vivienda. El sistema se ha desarrollado dentro de una arquitectura multiagente específicamente diseñada para ser utilizada en un hogar digital capaz de ofrecer servicios a sus habitantes en función de su ubicación¹.

1. Introducción

Uno de los aspectos fundamentales para la prestación de servicios domóticos es la localización e identificación de usuarios dentro de la vivienda. En una misma vivienda pueden encontrarse simultáneamente usuarios con preferencias y necesidades muy distintas, y los servicios disponibles pueden ser diferentes en cada habitación. El sistema deberá ser capaz de determinar en qué habitación se encuentra cada usuario en cada momento, para así poder ofrecerle del modo más adecuado los servicios que precise.

Un sistema de localización orientado a entornos domóticos plantea ciertas consideraciones adicionales. Para facilitar su implantación en el entorno doméstico, el sistema debe ser de bajo coste y fácil de instalar y de mantener. Estos requisitos van habitualmente unidos a la creación de una red de sensores en la vivienda, generalmente mediante dispositivos con una capacidad computacional no muy elevada. Por último, es deseable que el sistema de localización sea transparente al usuario. Los sistemas multiagente [1] se revelan como una opción idónea para el desarrollo de este tipo de sistemas, por sus características de flexibilidad, sociabilidad, autonomía e inteligencia. El sistema de localización que presentamos en este documento se integra dentro de la arquitectura de agentes para entornos domóticos que desarrollamos en [2,3].

¹ Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto MCYT-TIC2003-09192-C11-05, así como de la Universidad de Alcalá, mediante el proyecto UAH-PI-2003/001.

El documento se ha estructurado como sigue. En la sección 2 se aborda de manera general el problema de la localización, y se comentan los diferentes enfoques existentes. La sección 3 presenta nuestra aproximación específica a la localización en entornos domóticos, describiendo el escenario de aplicación y la estrategia de localización empleada por el sistema. La sección 4 resume nuestra contribución y plantea algunas líneas futuras de investigación sobre el tema.

2. Localización en entornos domóticos

Para dotar a un sistema domótico de capacidad de localización pueden emplearse diferentes tecnologías. Existen ciertos sistemas que permiten seguir los movimientos del usuario a través de las diferentes localizaciones de forma automática utilizando sensores de diverso tipo, como por ejemplo sensores de paso en los arcos de las puertas o sensores de presión en las baldosas [4]. Estos sistemas proporcionan la funcionalidad de localización de forma transparente al usuario, pero con la contrapartida de un alto coste de instalación. Además, estos sistemas no proporcionan información añadida que permita discriminar entre diferentes usuarios. Los sensores biométricos [5] resuelven de forma muy efectiva el problema de la identificación de los usuarios, pero todavía son demasiado costosos para que su despliegue generalizado en el entorno doméstico pueda ser una realidad, además de requerir generalmente la intervención del usuario.

Los requisitos particulares de los entornos domóticos nos llevan de forma natural a pensar en medios de transmisión inalámbricos. Puede dotarse a cada usuario de un dispositivo de carácter personal, móvil y fácilmente portable, que el sistema pueda identificar y localizar de forma inalámbrica.

Existe un amplio rango de tecnologías inalámbricas que pueden utilizarse para proporcionar la funcionalidad necesaria, y el uso de una u otra dependerá en gran medida de la aplicación considerada. Algunas de las tecnologías más utilizadas para resolver problemas de localización son los ultrasonidos [6], sistemas de radio específicos [7], y tecnologías estándar de comunicación inalámbrica como IrDA [8], WLAN [9] y Bluetooth [10].

Para entornos domóticos, tanto el uso de tecnología de ultrasonidos como de infrarrojos presenta el problema de requerir de una línea de visión directa -o a través de caminos de reflexión- entre emisor y receptor, lo que impide al usuario mantener guardado el dispositivo personal, por ejemplo, en un bolsillo. En el caso de IrDA hay un inconveniente añadido, ya que la limitación angular de la comunicación por infrarrojos obliga al usuario a orientar su dispositivo personal hacia los dispositivos de localización situados por la vivienda.

Las tecnologías de radiofrecuencia presentan la ventaja de que los obstáculos comúnmente presentes en entornos domóticos -muebles, paredes-, las ropas del usuario o incluso los demás usuarios no suponen un impedimento para la comunicación. De entre ellas una de las tecnologías más adecuadas es Bluetooth [11,12], por el alto grado de ubicuidad que ha alcanzado.

2.1. Diferentes aproximaciones al problema de la localización

De acuerdo con [13], existen diferentes métodos comúnmente utilizados para la localización de dispositivos móviles inalámbricos:

- **Ángulo de llegada.** Se basa en determinar el ángulo en que se recibe la señal del dispositivo móvil. Si al menos dos dispositivos fijos y cuya localización sea conocida miden el ángulo con el que reciben la señal del dispositivo móvil, puede obtenerse su posición mediante triangulación [14].
- **Identificación de celda.** Se divide el espacio en celdas, que corresponden al área de cobertura de dispositivos fijos. Se considera que el dispositivo móvil está dentro de la célula a la que es capaz de conectarse.
- **Tiempo de llegada.** En este caso se envía una señal desde un dispositivo fijo al dispositivo móvil, y se mide el tiempo que tarda en llegar la respuesta, a partir del cual se estima la distancia entre ambos.
- **Atenuación de la señal.** Midiendo la potencia de la señal recibida en un dispositivo fijo, y conociendo la potencia transmitida por el dispositivo móvil, puede estimarse la distancia entre ambos dispositivos a partir de un modelo de propagación.

La medición de ángulos de incidencia con precisión requiere el uso de arrays de antenas, cuyo coste es elevado. Los sistemas de identificación de celdas empleando Bluetooth plantean el problema que las especificaciones de Bluetooth dan una cobertura mínima de 10 m, lo que supone un margen de precisión inaceptable para entornos domóticos. No resulta recomendable la estimación de distancias a partir del tiempo de llegada con Bluetooth, ya que el reloj de transmisión puede llegar a desviarse hasta $1\mu s$, lo que puede suponer un error de hasta 300 m. en la estimación [14]. Bluetooth permite realizar medidas tanto de la potencia de señal recibida como de la transmitida a través de la interfaz HCI, por lo que resulta factible utilizar el enfoque de atenuación de la señal recibida para intentar estimar la distancia entre dispositivos.

2.2. Limitaciones en la precisión de la localización

Diferentes estudios muestran que el error medio cometido en la localización de dispositivos móviles a partir de la intensidad de la señal recibida es excesivo para permitir una localización precisa. En [15] se comparan diferentes algoritmos de localización utilizando WLAN. Los algoritmos analizados son de dos tipos:

- Algoritmos basados en puntos (*point-based algorithms*). El algoritmo devuelve como solución al problema de localización un punto que se corresponde con la estimación de la posición del dispositivo móvil.
- Algoritmos basados en áreas (*area-based algorithms*). La solución devuelta es un área o volumen donde existe cierta probabilidad de encontrar el dispositivo móvil. La ventaja de este tipo de algoritmos para el análisis es que permite evaluar tanto la exactitud de la localización -probabilidad de que el dispositivo se encuentre dentro del área solución- como la precisión -tamaño del área devuelta-, y estudiar la relación entre ambos parámetros.

La principal conclusión de dicho análisis es que incluso con la utilización de algoritmos complejos y distribuciones de sensores de localización muy densas, el error mediano obtenido no baja de los 3 metros, y el error para una probabilidad de localización del 97 % ronda los 10 metros. El estudio muestra también que el error no proviene de los algoritmos de localización utilizados, sino de la propia incertidumbre inherente a las medidas de potencia en los dispositivos WLAN. En [13] se realiza un análisis específico sobre localización Bluetooth, que obtiene un valor de precisión entre 3 y 4 m, y concluye que la mejora de la precisión en la localización debe pasar por una mejora hardware de la precisión en las medidas de potencia realizadas por los dispositivos Bluetooth.

De especial interés para nuestro trabajo son las pruebas realizadas en [15]. Los escenarios utilizados para las medidas son edificios, y en la evaluación de los algoritmos se utilizan métricas basadas en áreas, pero también se evalúan los resultados a nivel de habitación, esto es, se evalúa la exactitud y precisión con la que los algoritmos permiten estimar en qué habitación se encuentra el dispositivo móvil. Los resultados demuestran una exactitud bastante significativa, que sugiere que, si bien con el hardware actual la localización basada en medidas de potencia no permite estimar con precisión la posición exacta de un dispositivo móvil, sí pueden utilizarse estas técnicas para localizar dispositivos en áreas predefinidas -habitaciones-, por lo que resulta de utilidad para la localización e identificación de usuarios en entornos domóticos.

3. Localización de usuarios en entornos domóticos: un enfoque práctico

Puesto que existe justificación teórica y empírica de una limitación hardware para la precisión en la localización y de que el aumento de la complejidad de los algoritmos no redundaría en una mejora significativa de la precisión, nuestro trabajo se ha enfocado a obtener un grado de precisión aceptable a nivel de habitación, dentro de los requisitos que impone su aplicación a entornos domóticos. Así, se ha dado especial importancia a parámetros tales como el tiempo de respuesta del sistema, entendido como el tiempo medio que el sistema tarda en reaccionar ante un cambio de localización por parte del usuario. Asimismo, se ha procurado minimizar el consumo de potencia del sistema, y garantizar su funcionamiento con dispositivos móviles Bluetooth estándar -teléfonos móviles, PDAs...-.

3.1. Escenario de aplicación

El sistema de localización que se presenta en este documento forma parte de la plataforma iHAP (*Intelligent Home Agent Platform*) [16]. Se trata de una arquitectura multiagente especialmente diseñada para entornos domóticos, donde coexisten diferentes tipos de dispositivos, algunos de ellos dotados de cierto grado de autonomía, proporcionada por agentes software. Dentro del iHAP puede haber diversos servicios que hagan uso del sistema de localización. Consideremos por ejemplo dos servicios: interfaces sensibles a la localización en el dispositivo

personal del usuario, y reproducción de contenidos multimedia que siga a los movimientos del usuario por la vivienda. Partiendo de este supuesto dispondremos de los siguientes dispositivos:

Dispositivo móvil. Una PDA o teléfono móvil que proporcionará el servicio de interfaces sensibles a la localización. La interfaz Bluetooth del dispositivo se empleará para identificar y localizar al usuario en el sistema.

Equipo de Detección Bluetooth (BDE) Puede conectar con el dispositivo personal del usuario a través de Bluetooth, y realiza medidas de potencia para estimar su localización. Esta funcionalidad está soportada por el agente iHBDE (intelligent Home Bluetooth Detection Equipment).

Dispositivo multimedia. Se trata de un dispositivo reproductor estándar de audio/video con cierto grado de autonomía.

iHAP Central System. Puede relacionarse con la pasarela residencial del hogar inteligente y contiene la plataforma de agentes que soporta la existencia de todos los agentes de la vivienda. Contiene el agente iHLA (intelligent Home Location Agent) cuyo objetivo es contribuir a la localización de los usuarios a partir de la información proporcionada por los agentes iHBDE de cada ubicación.

3.2. Método de Posicionamiento mediante Bluetooth

Como hemos visto en el apartado anterior, hay dos clases de agentes implicados en el proceso de localización de usuarios: los agentes que residen en cada dispositivo localizador BDE, y el agente iHLA, que actúa como elemento de localización centralizado de toma de decisiones. Tres aspectos son de interés en el proceso de localización: la estimación de la distancia del dispositivo móvil a los BDEs, la identificación y localización de usuarios que se incorporan al sistema, y el seguimiento de los usuarios en sus movimientos a lo largo de la vivienda.

Estimación de la distancia del dispositivo móvil La interfaz HCI permite estimar la potencia recibida por un dispositivo Bluetooth a través del parámetro RSSI, así como solicitar al dispositivo móvil el valor de su potencia de transmisión (*Transmit Power Level*, TPL). A partir de estos parámetros, el BDE puede realizar una estimación de la distancia al dispositivo móvil, aplicando un modelo de propagación sencillo, como el descrito en [13]. Cada BDE tiene asociado un *rango de proximidad*, a partir del cual se considera que el BDE no está lo suficientemente cerca del dispositivo como para resultar de utilidad en su localización. Para evitar fluctuaciones en la decisión de proximidad, se utilizan umbrales con un cierto margen de histéresis, así como una función de filtrado. Estos umbrales dependen de la disposición de los BDEs en la vivienda y de las condiciones de propagación en la misma.

La medida de los parámetros RSSI y TPL requiere del establecimiento de una conexión entre el dispositivo móvil y el BDE. Este es un factor que ha condicionado en gran medida la técnica de localización utilizada, ya que los dispositivos móviles utilizados no permitían mantener más de una conexión simultáneamente, y cada proceso de conexión supone un incremento significativo -del orden de segundos- del tiempo de respuesta.

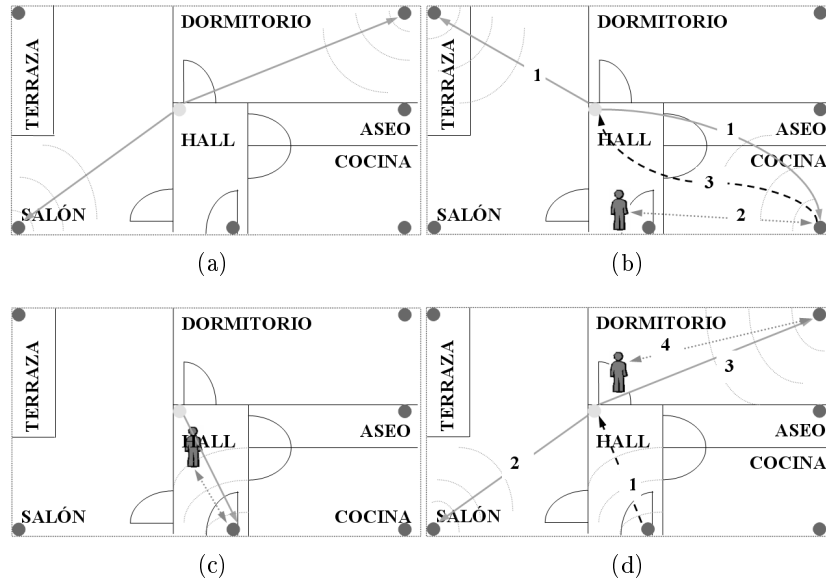


Fig. 1. Ejemplo de funcionamiento del sistema de localización

Identificación y localización inicial de los usuarios en el sistema Los usuarios se identifican a través de la dirección MAC de su dispositivo personal. El agente iHLA realiza peticiones periódicas a los BDEs para que realicen barridos *-scans-* en busca de dispositivos. Los BDEs responden al agente iHLA con una lista de las MACs detectadas. Puesto que el radio de cobertura de un dispositivo Bluetooth puede alcanzar los 100 m, no es necesario implicar a todos los BDEs de la vivienda en el proceso de barrido, con el consiguiente ahorro de recursos. En la Fig 1.(a) se representa un ejemplo, donde los BDEs se han señalado con puntos oscuros y el iHLA se ha señalado con un punto más claro.

Si tras el barrido se detecta una dirección MAC cuya localización no ha sido previamente determinada por el sistema -Fig. 1 (b)-, se inicia un proceso de búsqueda. Para ello, el agente iHLA ordena a los BDEs que conecten con el dispositivo y realicen medidas de potencia. Sólo aquellos BDEs que determinen que el dispositivo se encuentra dentro de su rango de proximidad devolverán una medida de potencia. Obviamente, los rangos de proximidad de los BDEs deben estar ajustados de forma que se cubra toda la vivienda.

Puesto que no pueden mantenerse varias conexiones simultáneas con el dispositivo, las medidas de potencia de los BDEs deben realizarse en secuencia. La secuencia a seguir la determinará el agente iHLA -Fig. 1(d)-, en función de la disposición de los BDEs en la vivienda y de los posibles puntos de entrada a la misma, para maximizar las probabilidades de localizar al usuario con el menor número de medidas, ya que cada medida supone un incremento en el tiempo de

respuesta del sistema. Aun así, este proceso de localización sólo es necesario en el momento de la entrada del dispositivo personal del usuario en el sistema.

Seguimiento de los usuarios a lo largo de la vivienda Una vez localizado un usuario, sólo aquellos BDEs que detecten al dispositivo personal correspondiente dentro de su *rango de proximidad* realizarán periódicamente medidas de potencia. Con una adecuada disposición de los BDEs en la vivienda, el solapamiento de estos rangos será mínimo, con lo que se minimizará también el tiempo de respuesta del sistema ante cambios en la localización del usuario.

Si las medidas de potencia de un BDE determinan que un usuario que previamente se encontraba dentro de su rango de proximidad ya no se encuentra dentro de él, informa al agente de localización. El iHLA determina entonces las posibles trayectorias del usuario -principalmente a partir de la disposición de habitaciones en la casa-, y solicita medidas de potencia a los BDEs que más probabilidad tienen de localizar al usuario -generalmente, los BDEs adyacentes al que ha perdido al usuario-. Si las medidas realizadas por los BDEs en alguna de dichas trayectorias son suficientes para mantener el seguimiento del dispositivo móvil asociado, se actualiza convenientemente la localización del usuario -Fig. 1 (c)-. En caso contrario, se considera al usuario perdido y se desencadena de nuevo el proceso de localización descrito anteriormente.

4. Conclusiones

En este documento hemos presentado un sistema distribuido basado en agentes para la localización de usuarios dentro de entornos domóticos. El uso de tecnología Bluetooth limita la precisión del sistema. Sin embargo, dado que la capacidad del sistema para discriminar la habitación en la que se encuentra el usuario se mantiene en un rango aceptable desde el punto de vista práctico, creemos que esta limitación se ve ampliamente compensada por el bajo consumo de potencia y coste de la tecnología utilizada, así como por su ubicuidad. El sistema permite a los usuarios permanecer identificados y localizados en la vivienda con sólo portar un dispositivo personal dotado de interfaz Bluetooth, como puede ser un móvil o una PDA. De este modo el sistema domótico puede, por ejemplo, adaptar la iluminación de las diferentes estancias a los movimientos del usuario por la vivienda, con el consiguiente aumento en el confort y en el aprovechamiento de recursos, todo ello de forma transparente al usuario.

El rendimiento del sistema en cuanto a tiempos de respuesta y consumo de potencia depende en gran medida de la disposición de los sensores en la vivienda y del ajuste de los umbrales de proximidad. Estamos trabajando en una metodología que permita facilitar el despliegue y puesta en funcionamiento del sistema. Asimismo, también estamos estudiando la posibilidad de variar el grado de distribución de la arquitectura de detección y aumentar su capacidad de autoconfiguración.

Referencias

1. Jennings, N., Wooldridge, M.: Software agents. *IEE Review* (1996) 17–20
2. Maestre, I.M., Navarro, A., López, M.A., Velasco, J.R.: Arquitectura para un sistema domótico basado en agentes. *Conferência Ibero-Americana IADIS WWW/Internet* (2004) 469–472 In Spanish.
3. García, A.P., Velasco, J.R., López, M.A., Maestre, I.M.: Arquitectura de agentes para entornos domóticos. In: XIV Jornadas Telecom I+D. (2004) In Spanish.
4. Orr, R.J., Abowd, G.D.: The smart floor: A mechanism for natural user identification and tracking. In: *Proc. 2000 Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*. (2000)
5. Václav (Vashek) Matyáš, J., Ríha, Z.: Toward reliable user authentication through biometrics. *IEEE Security and Privacy* (2003) 45–49
6. Hazas, M., A.Ward: A novel broadband ultrasonic location system. In: *Proc. 4th Int. Conf. Ubiquitous Computing (UbiComp 2002)*, Goteborg, Sweden (2002) 264–280
7. Lorincz, K., Welsh, M.: Motetrack: A robust, decentralized approach to rf-based location tracking. To appear in *Proceedings of the International Workshop on Location and Context-Awareness (LoCA 2005)* (2005)
8. Hallberg, J., Nilsson, M.: Positioning with bluetooth, irda and rfid. Master's thesis, Lulea University of Technology (2002)
9. Youssef, M., Agrawal, A., Shankar, A.: Wlan location determination via clustering and probability distributions. In: *Proceedings of IEEE PerCom'03*, Forth Worth, TX (2003)
10. J Hallberg, M Nilsson, K.S.: Positioning with bluetooth. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003)*, Tahiti (2003)
11. Haartsen, J.: Bluetooth-the universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. Technical report, Ericsson (1998)
12. : Specification of the bluetooth system, 1.1 edition. Technical report, Bluetooth SIG (2001)
13. Kotanen, A., Hännikäinen, M., Leppäkoski, H., Hämäläinen, T.D.: Experiments on local positioning with bluetooth. In: *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Computers and Communications (ITCC'03)*. (2003)
14. Jami, I., Ali, M., Ormondroyd, R.F.: Comparison of methods of locating and tracking cellular mobiles. In: *IEE Colloquium on Novel Methods of Location and Tracking of Cellular Mobiles and Their System Applications*. (1999) 1/1 – 1/6
15. Elnahrawy, E., Li, X., Martin, R.P.: The limits of localization using signal strength: A comparative study. In: *Proceedings of The First IEEE International Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks (SECON 2004)*, Santa Clara, CA (2004)
16. Velasco, J.R., Maestre, I.M., Navarro, A., López, M.A., Vicente, A.J., de la Hoz, E., Paricio, A., Machuca, M.: Location-aware services and interfaces in smart homes using multiagent systems. To appear in *Proceedings of the 2005 International Conference on Pervasive Systems and Computing (PSC'05: June 27-30, 2005, Las Vegas, USA)* (2005)