



Informe Técnico ICC 2006-10-04

Sensores de Identificación por Radio-Frecuencia (RFID)

Zoe Falomir Llansola

Octubre de 2006

Departamento de Ingeniería y Ciencia de Computadores

Correo electrónico: zfalomir@icc.uji.es

Universitat Jaume I
Campus de Riu Sec
12.071 - CASTELLÓN

Radio Frequency Identification Sensors (RFID)

Zoe Falomir Llansola

Abstract:

This technical report presents an introduction to radio frequency identification (RFID) sensors and a state of the art in robotics applications where this kind of sensors was used.

Keywords:

RFID sensors, robotics.

Sensores de Identificación por Radio-Frecuencia (RFID)

Zoe Falomir Llansola

Resumen:

Este informe técnico presenta una introducción a los sensores de identificación por radio-frecuencia (RFID) y un estado del arte de las aplicaciones en robótica donde se han utilizado este tipo de sensores.

Palabras Clave:

Sensores RFID, robótica.

1. Introducción: Sensores de Identificación por Radio-Frecuencia (RFID)

“La identificación por radio-frecuencia o RFID es un término genérico para denominar las tecnologías que utilizan ondas de radio para identificar automáticamente personas u objetos. Existen varios métodos de identificación, pero el más común es almacenar un número de serie que identifique a una persona u objeto, y quizás otra información, en una etiqueta RFID, compuesta por un microchip conectado a una antena [Figura 1.1]. Dicha antena permite que el chip transmita la información de identificación a un lector, el cual convierte las ondas de radio reflejadas por la etiqueta RFID en información digital que luego se puede transmitir a sistemas informáticos que puedan procesarla [Figura 1.2].”¹

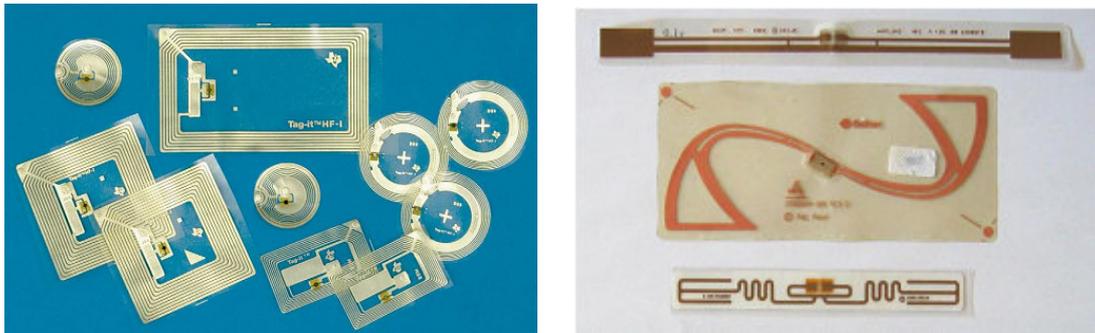


Figura 1.1. Ejemplos de etiquetas RFID [Knight, 2006] [Hähnel et al., 2003].



Figura 1.2. Comunicación de etiquetas RFID con lectores y sistemas informáticos [Roberts, 2006].

1.1. Tipos de etiquetas RFID

Según [Knight, 2006][Roberts, 2006], podemos clasificar las etiquetas RFID según su **fuentes de energía** en:

- *Activas*, poseen su propia fuente de energía y pueden transmitir activamente al lector. También son conocidas como *transponders* (TRANSMITTER/resPONDER). Normalmente, son etiquetas de lectura/escritura, grandes, caras y con un tiempo de vida limitado (10 años aproximadamente).
- *Pasivas*, no disponen de fuente de energía y utilizan la petición por radio del lector para obtener suficiente energía para responder. Normalmente, son etiquetas de sólo lectura, más pequeñas, ligeras y baratas y con un tiempo de vida ilimitado. Sin embargo, necesitan un lector de mayor potencia, tienen una capacidad de almacenamiento limitada y su actividad se reduce en entornos con ruido electromagnético.
- *Semi-pasivas*, poseen una fuente de energía para hacer funcionar la circuitería del chip de la etiqueta pero utilizan la energía del lector para poder comunicarse con él.

También podemos establecer clasificaciones de etiquetas RFID según si llevan incorporado un **chip o no** (si lo llevan normalmente se denominan etiquetas de circuito integrado o *IC-tags*) o según el **rango de frecuencias** que utilizan (VHF, UHF hasta la banda de microondas) [Boukraa & Ando, 2002].

Según [Roberts, 2006], por el momento, existen pocos **estándares** que regulen la tecnología RFID. Los únicos estándares ANSI-ISO actualmente registrados son aplicados al seguimiento e identificación de animales (ISO 11784 y 11785) y al suministro en cadena de mercancías. Alternativamente a los estándares

¹ RFID Journal, frequently asked questions, <http://www.rfidjournal.com/faq>

ISO, en 2003, el *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* desarrolló el *Electronic Product Code (EPC)*, destinado a definir protocolos técnicos y a crear una estructura de datos para el almacenamiento de información en etiquetas RFID (Figura 1.1.1). Las especificaciones EPC definen cinco tipos de etiquetas, basándose en su **funcionalidad** (Figura 1.1.2).

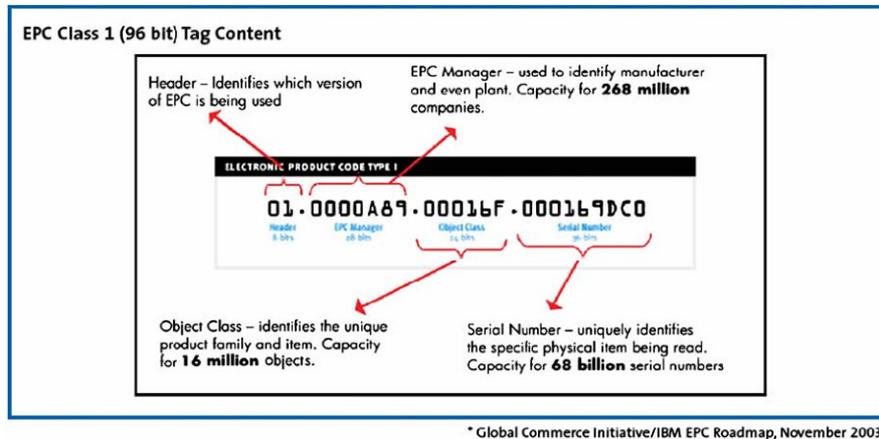


Figura 1.1.1. Contenido de una etiqueta RFID según el EPC [Roberts, 2006].

Class	Nickname	Memory	Power Source	Features
0	Anti-Shoplift Tags	None	Passive	Article Surveillance
1	EPC	Read-Only	Any	Identification Only
2	EPC	Read-Write	Any	Data Logging
3	Sensor Tags	Read-Write	Semi-Passive or Active	Environmental Sensors
4	Smart Dust	Read-Write	Active	Ad Hoc Networking

Figura 1.1.2. Tipos de etiquetas según su funcionalidad y el EPC [Roberts, 2006].

Las etiquetas pasivas (tipos 0 y 1) pueden almacenar muy poca información y generalmente no disponen de una memoria que se pueda escribir. Sin embargo, generalmente, dichas etiquetas almacenan identificadores únicos, los cuales sirven de entrada a una tabla de una base de datos, donde se almacena el resto de información relacionada con dicha etiqueta.

1.2. Aplicaciones de las etiquetas RFID

Según [Roberts, 2006], los dispositivos RFID pueden ser clasificados en cuatro **categorías de uso**:

- Vigilancia electrónica de artículos de venta al público (EAS, *Electronic Article Surveillance*). Se colocan etiquetas RFID en dichos artículos y disparan una alarma si no son desactivadas antes de abandonar el local.
- Captura de datos portables, se utilizan con dispositivos móviles donde los datos del objeto etiquetado pueden variar. Algunos dispositivos incorporan sensores para grabar temperatura, movimiento, radiación, etc. Los datos se pueden almacenar en el dispositivo portátil para su posterior descarga y procesamiento.
- Sistemas en red, se caracterizan por tener los lectores situados en posiciones fijas y por utilizarse para detectar el movimiento de los objetos etiquetados.
- Sistemas de posicionamiento, utilizados cuando los objetos etiquetados (vehículos, animales o incluso personas) necesitan proporcionar su localización automáticamente y apoyar la navegación de dicho objeto.

Dentro de las innumerables **aplicaciones** de las etiquetas RFID podemos encontrar: identificación de animales, gestión de residuos médicos y tóxicos, seguimiento del correo postal, gestión del equipaje en las líneas aéreas, gestión de libros en bibliotecas, inmovilizadores de vehículos y alarmas, pago de peaje, control

de acceso, procesos de fabricación robotizados, monitorización de delincuentes u otros, sustitución y/o complementación de códigos de barras, anti-falsificación de papel moneda, medicamentos y documentos importantes (pasaportes, carnés de conducir, certificados de nacimiento, de estudios, etc.) [Roberts, 2006].

Además, otras aplicaciones curiosas de las etiquetas RFID son las siguientes: identificación de cadáveres mediante la implantación de etiquetas RFID en sus molares [Thevisse et al. 2006 a y b], identificación de pacientes en un hospital y correspondencia con los medicamentos que deben tomar [Bardram, 2004], monitorización de la salud de los habitantes de una casa identificándolos mediante etiquetas RFID [Korhonen et al., 2003], gestión de inventarios mediante la aplicación de etiquetas RFID a los artículos a inventariar [Doerr et al., 2006], seguimiento de herramientas de trabajo en zonas de construcción [Goodrum et al., 2006], etc.

1.3. Ventajas e inconvenientes de las etiquetas RFID

[Roberts, 2006] destaca que algunas de las **ventajas** de las etiquetas RFID son:

- Resistencia al medio y facilidad de lectura, incluso en condiciones de nieve, hielo, niebla, pintura, suciedad o colocación dentro de contenedores y vehículos.
- Rapidez de respuesta, siendo ésta de menos de 100ms, lo que supone que un lector de RFID puede leer varios cientos de etiquetas casi instantáneamente.

Por otro lado, los inconvenientes de las etiquetas RFID que se señalan en [Roberts, 2006] son:

- Localización y seguimiento de los usuarios.
- Obtención de información del consumidor: patrones de compra, gustos, etc.
- Espionaje corporativo a través del análisis de etiquetas RFID desprotegidas colocadas en productos.
- Denegación de servicio por inundación del área de actuación de la etiqueta con energía de radiofrecuencia, incapacitando los lectores de etiquetas RFID.
- *Spoofing*, reproducción de etiquetas a partir de los datos transmitidos por la etiqueta original a cualquier lector.
- Ataques técnicos vía *wireless* sobre las etiquetas, utilizando por ejemplo una herramienta como RFDump² que es capaz de leerlas y reprogramarlas.
- Ataques físicos o electrónicos intensos sobre las etiquetas, debido a su alta resistencia al medio.

² <http://www.rf-dump.org/>

2. Aplicaciones de etiquetas RFID en Robótica

En el apartado 2.1 se describe una aplicación novedosa de las etiquetas RFID: identificación de objetos para que un brazo robótico pueda detectarlos y manipularlos más fácilmente. En la literatura, no se han encontrado más trabajos que utilicen etiquetas RFID para la identificación y manipulación de objetos. En el apartado 2.2 se resume brevemente una aplicación más común de las etiquetas RFID: la localización de un robot móvil en distintas situaciones. Finalmente, en el apartado 2.3, se menciona una aplicación bastante curiosa de las etiquetas RFID: la simulación de feromonas digitales para el estudio de la interacción de sistemas multiagente.

2.1. Recogida de los platos de una mesa por un robot manipulador

En [Takemura et al., 2004] se presenta un sistema de visión basado en la distribución del conocimiento en etiquetas RFID. Cada objeto del entorno del robot tiene pegada una etiqueta RFID que contiene la dirección Web de su fabricante y el conocimiento requerido para que el robot pueda manipular dicho objeto (p. ej. modelo del objeto, tamaño, peso, apariencia, etc.). Este sistema reduce el problema global de reconocimiento de objetos a un problema de identificación del modelo del objeto en la imagen [Boukraa & Ando, 2002], siendo éste independiente del número de modelos que existan en la base de datos del robot.

Cuando el sistema se inicializa, no existe conocimiento inicial en la base de datos (no se necesita modelar en ésta todos los tipos de objetos que puede encontrar la cámara). Luego, utilizando la información proporcionada por la etiqueta RFID del objeto, se descarga de la base de datos del fabricante, el modelo correspondiente a cada objeto, así como sus datos CAD originales necesarios para su manipulación. Posteriormente, se hace la correspondencia de los modelos descargados con los objetos reales captados a través del sistema de visión utilizando un algoritmo de correspondencia con invariantes proyectivas [Boukraa & Ando, 2002]. Dicho sistema de visión también localiza la posición y postura del objeto [Hontani et al., 2003]. Hay que destacar que, en la base de datos del robot, no se van a tener modelos de objetos que no se encuentren en el mundo, por lo tanto se reduce el tiempo de computación para obtener correspondencias modelo-objeto. Además, si se introduce un nuevo objeto en el mundo del robot, no es necesario introducir a priori su modelo en la base de datos del robot, ya que éste es capaz de actualizarla automáticamente a partir de la base de datos del fabricante.

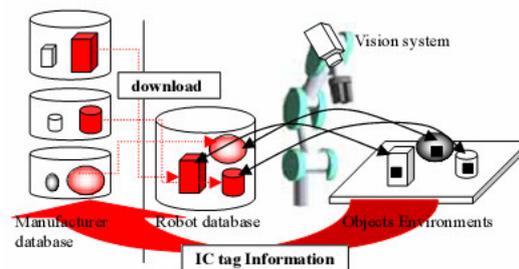


Figura 2.1.1. Sistema de visión basado en la distribución del conocimiento en etiquetas RFID [Takemura et al., 2004].

[Takemura et al., 2004] han experimentado con este sistema proponiendo la tarea de recoger una mesa a un brazo robótico de siete grados de libertad (Mitsubishi H.I. PA-10), colocando etiquetas RFID (Nipón Avionics Co., RD4921B) en los platos a recoger, un lector de dichas etiquetas en la mesa y un sistema de visión global compuesto por una cámara CCD IEEE1394 para visualizar toda la escena (Figura 2.1.2 (a)). También se ha propuesto otro sistema de visión situado sobre la pinza de brazo manipulador, aunque con dicho sistema no se ha presentado ningún resultado por estar aún en construcción. En la Figura 2.1.2 (b) se puede ver la imagen resultante obtenida por el sistema de visión global, dónde se localiza el objeto y se lo relaciona con una dirección URL.

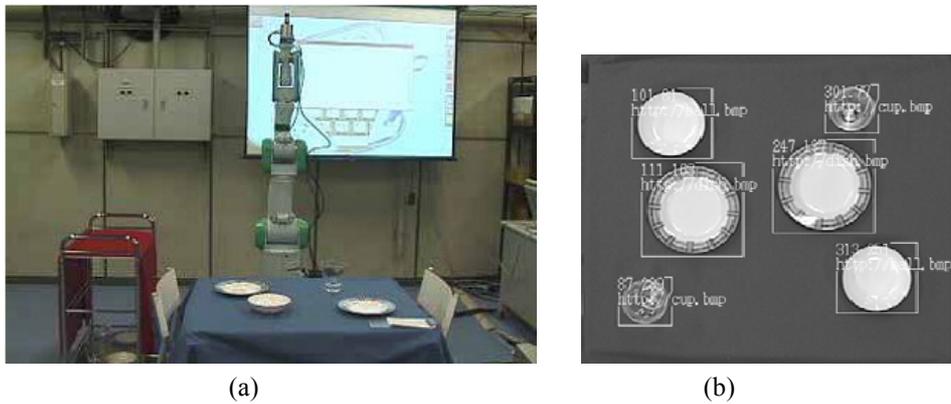


Figura 2.1.2. (a) Situación real, (b) Resultado de localización [Takemura et al., 2004].

En [Chong et al., 2004] se describe cómo se conectan todos los dispositivos del sistema entre sí. En la Figura 2.1.3 podemos ver que el robot se comunica con su controlador a través del puerto paralelo, que las etiquetas RFID y su lector se comunican por radio-frecuencia, que la cámara y su controlador se comunican a través de NTSC (*National Television System Committee*), que el lector de RFID se comunica con el integrador de conocimiento utilizando el estándar RS232C y que el controlador del robot, las bases de datos de conocimiento, el controlador de visión y el integrador de conocimiento se comunican entre ellos a través de una LAN, utilizando el protocolo TCP/IP. De forma que el procedimiento de gestión del conocimiento entre todos los dispositivos se realiza por medio de peticiones-respuesta a través de la red.

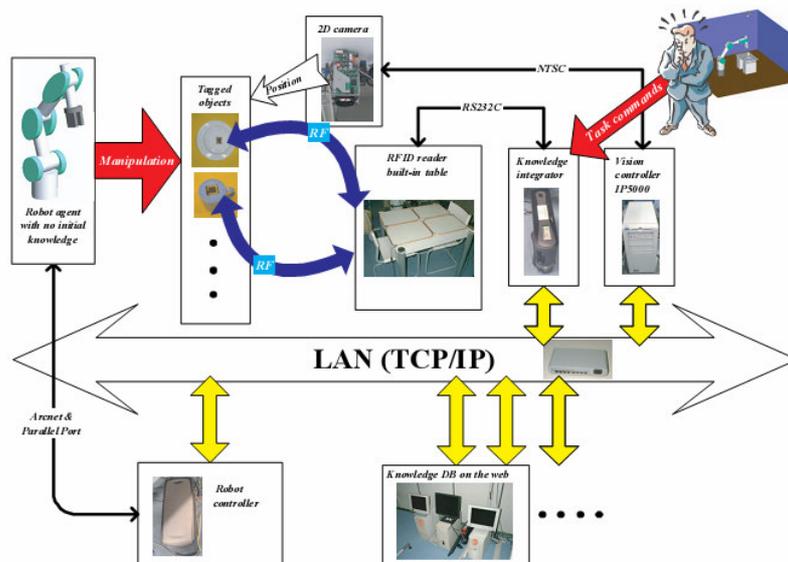


Figura 2.1.3. Esquema de comunicación entre los dispositivos del sistema construido para realizar la tarea de recogida de una mesa [Chong et al., 2004].

Además, en [Chong et al., 2004] también se propone un gestor del conocimiento, distribuido a través de la red, que sigue los pasos mostrados en la Figura 2.1.4:

- 1) La tarea es transmitida al integrador del conocimiento situado en un PC.
- 2) El integrador de conocimiento recolecta la información de las etiquetas RFID a través del lector de la mesa.
- 3) A partir de la información obtenida de las etiquetas, el integrador de conocimiento crea una lista de conocimiento para cada objeto (*Lista A* en la Figura 2.1.4).
- 4) El integrador de conocimiento accede a la URL proporcionada por la etiqueta y adquiere la información necesaria para manipular el objeto (*Lista B* en la Figura 2.1.4).

- 5) El sistema de visión recibe la *Lista B*, detecta y localiza los objetos y genera la *Lista C*, que envía otra vez al generador de conocimiento.
- 6) La *Lista C* es transmitida al robot, el cual recoge el objeto más cercano a él para evitar colisiones.
- 7) El integrador de conocimiento recolecta otra vez la información de las etiquetas RFID, de forma que el identificador que falta se corresponderá con el identificador del objeto recogido de la mesa.
- 8) El robot coloca el objeto en el carro. Aunque algunos objetos se perciban con la misma forma, la etiqueta RFID permite que el robot pueda distinguirlos y separarlos adecuadamente.
- 9) El sistema repite los pasos 2)-8) hasta que las listas de conocimiento se vacían.

En la Figura 2.1.5 se puede observar el tipo de contenido de las listas A, B y C generadas por el integrador de conocimiento.

[Chong et al., 2004] comenta que la detección y localización de objetos, así como el software de manipulación del robot se ha implementado en C++, mientras que se ha utilizado EusLisp para implementar el integrador de conocimiento.

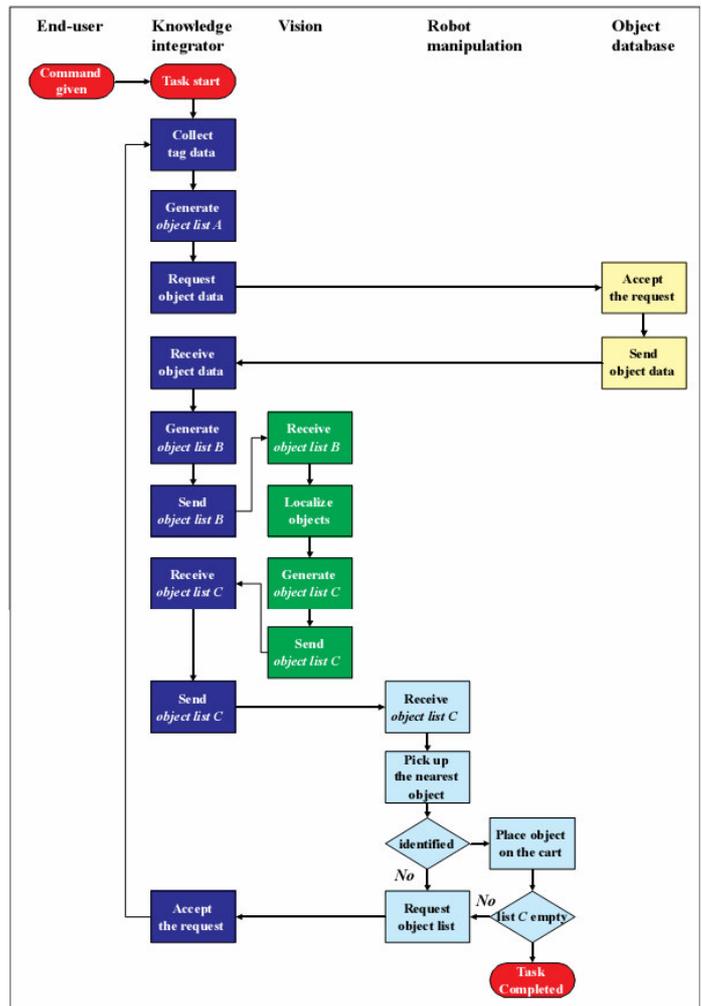


Figura 2.1.4. Diagrama de flujo de la generación e integración del conocimiento en el sistema [Chong et al., 2004]

A KNOWLEDGE List A FROM RFID DATA ACQUISITION					A KNOWLEDGE List B FROM WEB SERVERS												
5 ← number of objects					5 ← number of objects												
49312f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	7	0		49312f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	-440	70	0	-70	0	7	0				
e9302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/go...	4	0		e9302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/go...	-285	-20	90	0	-90	4	0				
e5302f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	1	0		e5302f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	-440	70	0	-70	0	1	0				
e8302f...	http://md117022.a09.aist.go.jp/bo...	2	0		e8302f...	http://md117022.a09.aist.go.jp/bo...	-452	60	0	-28	0	2	0				
d1302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/cu...	3	0		d1302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/cu...	-385	30	0	-5	0	3	0				
↑	↑	↑	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑				
ID	URL		Disposal index	Buffer	ID	URL	z	Dev	Yaw	Pitch	Roll	Disposal index	Buffer				
END					END												

A KNOWLEDGE List C FOR ROBOT MANIPULATION											
5 ← number of objects											
49312f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	180	197	-440	70	0	-70	0	7	0	
e9302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/go...	544	-285	-285	-20	90	0	-90	4	0	
e5302f...	http://tagvvv.a09.aist.go.jp/di...	520	168	-440	70	0	-70	0	1	0	
e8302f...	http://md117022.a09.aist.go.jp/bo...	111	-212	-452	60	0	-28	0	2	0	
d1302f...	http://tagserver.a09.aist.go.jp/cu...	549	-173	-385	30	0	-5	0	3	0	
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	
ID	URL	x	y	z	Dev	Yaw	Pitch	Roll	Disposal index	Buffer	
END											

Figura 2.1.5. Listas A, B, C utilizadas por el integrador de conocimiento [Chong et al., 2004].

Finalmente, para mejorar y completar el trabajo de [Chong et al., 2004], en [Kim et al., 2005] se propone una plataforma de control ubícuo (UCP) (Figura 2.1.6), consistente en una base de conocimiento orientada a la Web (KNOW) y un motor de generación de comportamientos (BGE).

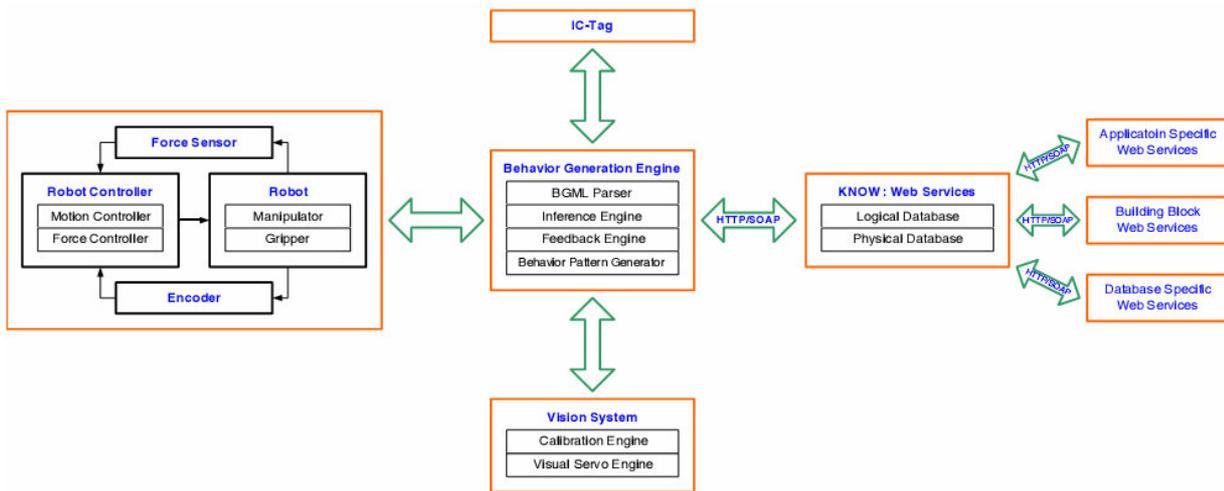


Figura 2.1.6. Arquitectura UCP para la distribución del conocimiento del robot [Kim et al., 2005].

A partir de la arquitectura propuesta en la Figura 2.1.6, el procedimiento propuesto por [Kim et al., 2005] para que el robot recoja la mesa (Figura 2.1.2 (a)) es el siguiente:

- 1) El usuario ordena la tarea de recoger la mesa al motor de generación de comportamiento (BGE).
- 2) El lector de tarjetas lee toda la información de las tarjetas RFID de los objetos situados sobre la mesa (identificador, URL de la base de datos del fabricante, etc.)
- 3) El motor de generación de comportamiento (BGE) obtiene el conocimiento necesario de las bases de datos proporcionadas por los servicios Web (basados en tecnologías XML, SOAP, etc.)
- 4) El motor de generación de comportamiento (BGE) transmite la información obtenida al sistema de visión y pide información acerca de la posición del objeto a manipular.
- 5) El sistema de visión devuelve la información de posición de dicho objeto.
- 6) El motor de generación de comportamiento (BGE) envía al robot, el identificador del objeto, información acerca de la posición de éste, información de la operación a realizar, etc. El robot convierte dicho conocimiento en comandos *move*, *approach* y *grip* y opera el objeto utilizando un algoritmo de *pick-and-place*.
- 7) El robot informa de la finalización de la tarea al motor de generación de comportamiento (BGE).
- 8) Los pasos 2)-8) se llevan a cabo repetitivamente hasta que la mesa queda vacía.

Como podemos ver en la Figura 2.1.7, ahora la información no se transmite en forma de listas como en [Chong et al., 2004], sino que se utiliza el lenguaje XML para transmitir al robot la estructura e información de la base de datos del fabricante.

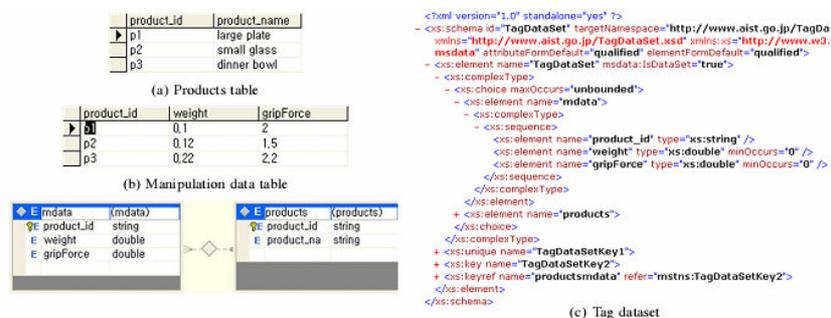


Figura 2.1.7. Información de la base de datos del fabricante (a) (b) transformada a XML por los servicios Web (c) [Kim et al., 2005].

2.2. Etiquetas RFID en localización y navegación de robots móviles

En [Kulyukin et al., 2005] se presenta RoboCart, un robot Pioneer 2 que asiste a personas ciegas en la realización de sus compras en un supermercado. RoboCart utiliza etiquetas RFID para localizarse en los pasillos del supermercado y un sensor láser para navegar sin colisionar dentro de dichos pasillos (Figura 2.2.1).



Figura 2.2.1. RoboCart y sensor RFID colocado en la estantería del supermercado [Kulyukin et al., 2005].

En [Kantor & Singh, 2002] se utilizan etiquetas RFID para la localización del robot en su mundo. Las posiciones de las etiquetas RFID son conocidas por el robot, el cual obtiene el tiempo-de-llegada a la etiqueta para estimar la distancia de sí mismo a las etiquetas localizadas y por lo tanto, calcular su posición por triangulación.

En [Hähnel et al., 2003] se estudia el problema de localización de etiquetas RFID en un entorno simple, por un Pioneer 2 equipado con dos antenas lectoras de RFID y un sensor láser. Se presenta un modelo de medidas probabilísticas, mediante el cual, los lectores RFID localizan eficientemente las etiquetas RFID colocadas en una oficina y, a partir de dichas localizaciones se construyen mapas de posiciones de etiquetas RFID, que luego sirven para localizar al robot en el mundo (Figura 2.2.2).

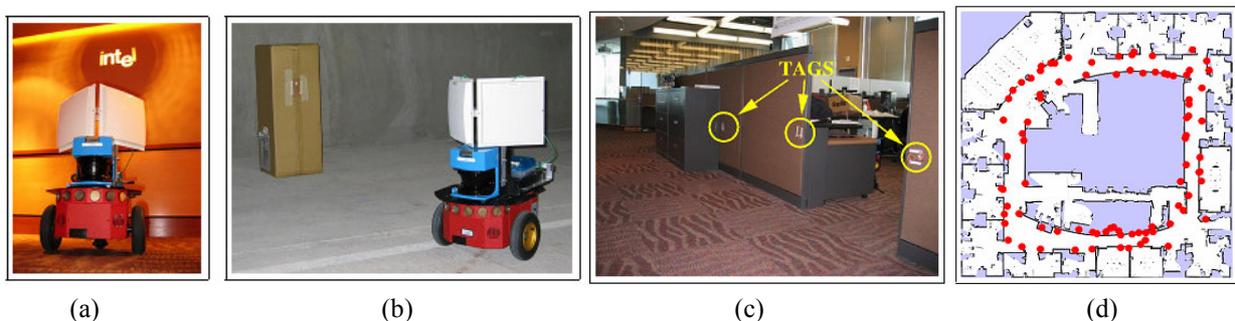


Figura 2.2.2. (a) y (b) Robot Pioneer 2 equipado con el sensor láser y las antenas lectoras de RFID; (c) distribución de etiquetas RFID en el entorno y (d) mapa de posiciones de etiquetas RFID obtenido [Hähnel et al., 2003].

En [Ross, 2001][Ross & Blasco, 2002] se describe un sistema de navegación para personas ciegas. Dicho sistema consiste en colocar etiquetas RFID en los pasillos de los edificios o en los cruces de las calles y lectores RFID en los propios usuarios. Este sistema se compone de un ordenador portátil, altavoces, brújula, etc. (Figura 2.2.3) y su propósito consiste en que los usuarios del sistema que pasen cerca de etiquetas RFID puedan recibir instrucciones (como por ejemplo *gira a la derecha*, *gira a la izquierda* o *sigue recto*) que les ayuden a dirigirse hacia su objetivo.

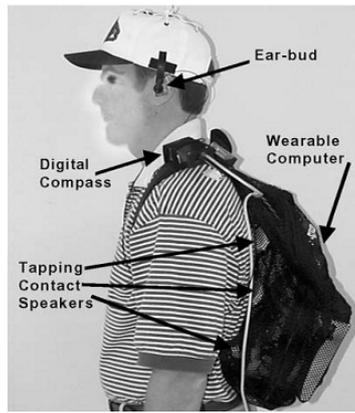


Figura 2.2.3. Sistema de navegación portátil para personas ciegas [Ross, 2001][Ross & Blasco, 2002].

Finalmente, en [Chae & Han, 2005] se presenta un método de localización basado en etiquetas RFID y un sistema de visión. En primer lugar, el robot obtiene su posición global al detectar una etiqueta RFID, la cual representa un landmark artificial del entorno. Tras determinar dicha posición global del robot, éste obtiene su posición local haciendo una correspondencia de las características visuales del entorno con las obtenidas por el sistema de visión.

2.3. Interacción de sistemas multiagente basada en emisión de feromonas digitales mediante etiquetas RFID

En [Mamei & Zambonelli, 2005] se aplican las interacciones basadas en feromonas, llevadas a cabo por algunos insectos para coordinar sus actividades, a sistemas distribuidos de agentes o robots. Dichas feromonas digitales son simuladas mediante etiquetas RFID y colocadas por todo el entorno del agente o robot. Además, éstas contienen información específica que describe las tareas a realizar por los agentes o robots para alcanzar sus objetivos. La aplicación concreta que se presenta en este trabajo consiste en que un robot pueda encontrar un objeto concreto “olvidado” en cualquier parte de su mundo, a partir de las ondas de radiofrecuencia o “feromonas digitales” que éste emite (Figura 2.3.1).



Figura 2.3.1. (a) Emisor y receptor RFID; (b) objetos con etiquetas RFID y (c) robot Lego construido para la búsqueda de los objetos etiquetados [Mamei & Zambonelli, 2005].

3. Conclusiones

El abaratamiento del coste de las etiquetas RFID podría suponer su aplicación masiva al mundo en el que vivimos, lo que conllevaría un gran impulso a la incorporación de robots a nuestra vida cotidiana. La identificación y localización de objetos y situaciones por los robots, generalmente llevadas a cabo de forma laboriosa por un sistema de visión en la actualidad, podría realizarse de forma más eficiente utilizando información proporcionada por etiquetas RFID, la cual aceleraría los procesos de manipulación de objetos y localización del robot en un mapa de su entorno.

Mientras tanto, deben seguir realizándose investigaciones que vayan mejorando tanto la aplicación de dichas etiquetas a nuestro entorno, como sus correspondientes medidas de seguridad.

4. Bibliografía

- [Bardram, 2004] Jakob E. Bardram, Applications of context-aware computing in hospital work: examples and design principles, Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing, March 14-17, 2004, Nicosia, Cyprus.
- [Boukraa & Ando, 2002] Mustapha Boukraa and Shigeru Ando, Tag-Based Vision: Assiting 3D Scene Analysis with Radio-Frequency Tags. *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion*, Vol. 1, 2002, pp. 412–418.
- [Chae & Han, 2005] Heesung Chae, Kyuseo Han, Combination of RFID and Vision for Mobile Robot Localization. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensors Networks and Information Processing Conference, 2005*, pp. 75-80, ISBN 0-7803-9399-6.
- [Chong et al., 2004] Nak Young Chong, Hiroshi Hongo, Kohtaro Ohba, Shigeoki Hirai, Kazuo Tanie, A Distributed Knowledge Network for Real World Robot Applications. In *Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Sendai, Japan, 2004.
- [Doerr et al., 2006] Kenneth H. Doerr, William R. Gates, John E. Mutty, A hybrid approach to the valuation of RFID/MEMS technology applied to ordnance inventory. In *Int. J. Production Economics* 103 (2006) 726–741.
- [Goodrum et al., 2006] Paul M. Goodrum, Matt A. McLaren, Adam Durfee, The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites. In *Automation in Construction* 15 (2006) 292 – 302.
- [Hähnel et al., 2003] D. Hähnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, Mapping and Localization with RFID Technology, *Technical Report IRS-TR-03-014*, December 2003, Intel Research Institute, Seattle, WA.
- [Hontani et al., 2003] H. Hontani, K. Baba, T. Kugimiya, K. Sato y M. Nakagawa, Visual Tracking System using an ID-Tag and the Network. In *Proceedings of SICE Annual Conference in Fukui*, Japón, 4-6 Agosto, 2003.
- [Kantor & Singh, 2002] G. Kantor and S. Singh, Preliminary results in range-Only localization and mapping, *IEEE Conference on Robotics and Automation*, May 2002, Washington D. C.: IEEE Press.
- [Kim et al., 2005] Bong Keun Kim, Manabu Miyazaki, Kohtaro Ohba, Shigeoki Hirai, and Kazuo Tanie, Web Services Based Robot Control Platform for Ubiquitous Functions. In *Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, April 2005.
- [Knight, 2006] William Knight, RFID – another technology, another security mess? *Infosecurity Today*, Volume 3, Issue 3, May-June 2006, Pages 35-37.
- [Korhonen et al., 2003] I. Korhonen, J. Parkka, and M. van Gils, Health monitoring in the home of the future, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 22, no. 3, pp. 66–73, May/June 2003.
- [Kulyukin et al., 2005] Kulyukin, V.; Gharpure, C.; and Nicholson, J. 2005. Robocart: Toward robot-assisted navigation of grocery stores by the visually impaired. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE/RSJ.
- [Mamei & Zambonelli, 2005] M. Mamei, F. Zambonelli, Spreading Pheromones in Everyday Environments Through RFID Technology, *IEEE Symposium on Swarm Intelligence*, IEEE Press, pp. 281-288, June 2005
- [Roberts, 2006] Roberts, C.M., Radio frequency identification (RFID). *Computers & Security*, 25 (1). pp. 18-26. ISSN 0167-4048 (2006).
- [Ross, 2001] D. A. Ross, Implementing assistive technology on wearable computer orientation system, *IEEE Intelligent Systems*, May-June: 2-8, 2001.
- [Ross & Blasco, 2002] D. A. Ross and B. B. Blasch, Development of a wearable computer orientation system, *IEEE Conference on Advanced Robotics*, June-July 2003, Coimbra, Portugal.
- [Takemura et al., 2004] K. Takemura, K. Ohara, K. Ohba, N. Y. Chong, S. Iría, and K. Tanie, Knowledge distributed tag-based vision system. In *Proceedings of 2004 Int. Workshop on Networked Sensing Systems*, 2004, pp. 179-182.
- [Thevissen et al. 2006 a] P. Thevissen, G. Poelman, B. Puers, M. De Cooman, G. Willems, Implantation of an RFID-tag into human molars to reduce hard forensic identification labor. Part 1. Working principle, *Forensic Sci. Int.* 156 (2006).
- [Thevissen et al. 2006 b] P. Thevissen, G. Poelman, M. De Cooman, R. Puers, G. Willems Implantation of an RFID-tag into human molars to reduce hard forensic identification labor. Part 2: Physical properties. *Forensic Science International*, Volume 159, Pages S40-S46.