

Plataforma de Agentes en Terminales de Telefonía Móvil.

**M^a Celeste Campo Vázquez, Carlos García Rubio, Andrés Marín López,
Carlos Delgado Kloos**

**Departamento de Ingeniería Telemática.
Universidad Carlos III de Madrid.
Avda. de la Universidad 30
28911 Leganés (Madrid)**

cgr@it.uc3m.es

1 Introducción

Debido al gran impacto que han tenido las redes de telefonía móvil de segunda generación, como GSM, en los últimos años varios organismos están estandarizando los sistemas móviles de tercera generación.

Uno de los objetivos de las redes de tercera generación es proporcionar no sólo movilidad a los usuarios sino también movilidad y portabilidad de servicios personalizados, independientemente del lugar en el que se encuentre el usuario y del terminal desde el que accede a ellos [1]. Tras introducir brevemente el estado del arte en tarjetas inteligentes y agentes en telefonía móvil, en este artículo pretendemos en primer lugar justificar cómo el uso de agentes en el lado del terminal puede facilitar la personalización de servicios y aplicaciones en telefonía móvil, y en segundo lugar describiremos la adaptación de una plataforma de agentes distribuida entre el terminal móvil y la tarjeta inteligente residente en el mismo.

2 Tarjetas inteligentes en telefonía móvil

Una de las principales ventajas que presentó GSM respecto a otros sistemas de telefonía móvil de segunda generación fue la introducción del SIM (Subscriber Identification Module), que permite la independencia del terminal que emplea el usuario para acceder a los servicios que tiene contratados. Los SIM son tarjetas inteligentes que almacenan información de suscripción de un usuario y son las que permiten implantar mecanismos de seguridad en la parte radio de la red, almacenando el PIN, las claves de autenticación del usuario y realizando cálculos criptográficos.

Las tarjetas inteligentes se denominan así porque incorporan un circuito integrado con elementos usados para la transmisión, almacenamiento y manipulación de datos. En principio, las tarjetas inteligentes tenían sistemas operativos propietarios y su utilización se basaba fundamentalmente en el almacenamiento seguro de información y cálculo de algoritmos criptográficos. La evolución y aumento de capacidad de almacenamiento y proceso en los chips insertados en estas tarjetas, propició el desarrollo de tarjetas Java Card [2] que permiten la ejecución de código Java (en una versión reducida) en la propia tarjeta, pudiendo así construir aplicaciones que se ejecutan en cualquier tarjeta Java Card independientemente del tipo de sistema operativo.

La importancia que tienen las tarjetas inteligentes en telefonía móvil se ve reflejada en que el ETSI, organismo encargado de la estandarización de UMTS, ha creado un grupo de trabajo (ETSI Project SCP [3]) dedicado a la definición de características técnicas de las tarjetas inteligentes y las aplicaciones que se ejecutarán sobre ellas en el entorno de telefonía móvil.

3 Plataformas de agentes móviles

Durante los últimos años la tecnología de agentes ha tenido un gran desarrollo [4] [5]. El concepto de agente ha sido muy discutido y aunque existen varias definiciones, la más aceptada es la que define a los agentes por sus características: movilidad, autonomía, inteligencia, comunicación, cooperación y coordinación. Un agente es aquel que posee una o varias de estas características. En general, ha habido dos tendencias en el desarrollo de tecnología de agentes: los agentes móviles y los agentes inteligentes. Los agentes móviles son aquellos que pueden moverse de un equipo a otro, dentro de entornos heterogéneos, para realizar las tareas que tienen asignadas. Los agentes inteligentes son entidades que son capaces de realizar tareas basándose en su conocimiento adquirido, y en su capacidad de comunicación y negociación con otros agentes. El lenguaje Java ha sido el que más éxito ha tenido para la implementación de infraestructuras de agentes.

Para entender los beneficios de usar agentes debemos considerar el especial impacto que ha tenido en los últimos años su aplicación en la computación distribuida. El modelo más ampliamente extendido es el modelo cliente/servidor, en el que un cliente que se ejecuta en un entorno envía un conjunto de datos a un servidor, y espera que éste le envíe los datos de respuesta de la operación realizada, antes de enviar nuevos datos. Cada mensaje intercambiado en la red implica una petición de un servicio y una

respuesta a esa petición. La comunicación establecida precisa de un conexión permanente. Esto provoca el consumo de un gran número de recursos.

La introducción de tecnología de agentes permite realizar las mismas operaciones pero con la ventaja de que sean asíncronas y que además no precisemos conexiones permanentes para la ejecución de tareas, puesto que el agente que migra hacia otro sistema además de llevar los datos necesarios para realizar la operación, conserva la información de estado del proceso.

4 Interés de los agentes en la telefonía móvil

Los sistemas de telefonía móvil se caracterizan por una serie de restricciones: ancho de banda limitado, alta probabilidad de error en el interfaz radio, cobertura discontinua y limitada, baja capacidad de procesamiento en los sistemas finales, interfaz de usuario limitada, etc.

La utilización de la tecnología de agentes en estos sistemas permite adaptarse a estas limitaciones para proporcionar mejores servicios a los usuarios finales y mejorar las prestaciones de la red, porque:

- Los agentes que proporcionan un servicio pueden enviarse dinámicamente y bajo demanda a los propios usuarios.
- Los agentes permiten realizar distribución de tareas para realizar actividades de gestión, siendo los propios agentes quienes recopilen datos y los procesen localmente en la parte del terminal móvil.
- La autonomía de los agentes permite que se realicen tareas de forma asíncrona.
- Los agentes pueden realizar gran parte del procesamiento de forma local, por lo que se conseguirá una reducción importante del tráfico en la red.
- Los agentes permiten una mayor independencia de la disponibilidad de la red, ya que su capacidad de movilidad les permite migrar a otros nodos de la red.

Algunas de las aplicaciones de esta tecnología en sistemas de telefonía móvil de tercera generación serían:

- Por una parte, en tareas de gestión de red, siguiendo una tendencia ya explorada en redes fijas, pero que tiene mayor interés en redes móviles debido a que las propias características de los agentes móviles se adaptan a las limitaciones de los sistemas inalámbricos.
- Por otra, en la realización del VHE (Virtual Home Environment), que permitirá la personalización y portabilidad de los servicios de los usuarios independientemente de la red que le da servicio y del terminal que empleen en el acceso. Asociamos la implementación del VHE con un agente móvil [6], que permitirá configurar el servicio para adaptarse a las preferencias del usuario y a las características del terminal, y además será el encargado de crear el propio perfil de usuario analizando su comportamiento y su posición.

5 Plataforma de agentes sobre terminales móviles

La implementación de una infraestructura de agentes en una red de telefonía móvil presenta una complejidad importante debido a las limitaciones que imponen los terminales, que poseen una capacidad de procesamiento y almacenamiento reducida.

El desarrollo de servicios y aplicaciones basados en agentes implica que en el terminal móvil tengamos una plataforma capaz de ejecutar y lanzar agentes hacia otros elementos de red, que pueden ser otros terminales móviles o elementos de red fija. Además, debido a las limitaciones de almacenamiento será

necesario que algunos agentes residan un cierto tiempo limitado en el terminal, por lo tanto será clave el control y gestión del número y tipo de agentes que residen en los móviles.

Con la aparición de versiones de Java para pequeños dispositivos, como Java Card para tarjetas inteligentes y J2ME para PDA's o teléfonos móviles, y considerando que el lenguaje de programación en el que más plataformas de agentes móviles se han desarrollado es Java, las posibilidades de desarrollar plataformas de agentes en dispositivos móviles se presenta alcanzable.

En esta sección se realizará previamente un análisis de las limitaciones tanto de lenguaje (Java Card y J2ME) como de recursos a las que nos enfrentamos a la hora de implementar una plataforma de agentes. A continuación, se analizarán las propuestas e iniciativas existentes en la literatura relacionadas con este tema. Y finalizaremos, describiendo nuestra propuesta de diseño y desarrollo de una plataforma distribuida entre la tarjeta inteligente y el terminal móvil, teniendo en cuenta que la parte ligada a la personalización debe residir en la tarjeta, para que se mantenga la característica de movilidad del usuario y acceso global a los servicios independientemente de la localización, del terminal y de la red de acceso.

5.1 Tecnología Java Card

Una Java Card es una tarjeta inteligente capaz de ejecutar programas Java. Esto permite tener todas las ventajas que ofrece Java en el entorno de desarrollo de aplicaciones para tarjetas inteligentes, permitiendo además tener simultáneamente varias aplicaciones en una misma tarjeta, que se pueden descargar incluso después de expedirlas a los usuarios finales. El entorno en que el que se ejecutan las aplicaciones Java Card puede ser tan pequeño como: 24K de ROM, 8K de EEPROM y 512 bytes de RAM.

El lenguaje Java Card es una versión reducida del lenguaje Java, y por lo tanto presenta importantes limitaciones:

- No soporta threads.
- No posee recolector de basura.
- No soporta arrays multidimensionales.
- Sólo soporta los tipos primitivos: byte, short, boolean e int.
- No soporta carga dinámica de clases.
- No existen mecanismos de serialización de objetos.

5.1.1 Tecnología de agentes y Java Card

Si analizamos las restricciones del lenguaje Java Card respecto a Java y las ventajas que tiene desarrollar plataformas de agentes en Java, vemos que en el caso de Java Card, gran parte de estas ventajas desaparecen. La más importante es que Java Card no tiene recolector de basura, no tiene carga dinámica de clases, ni serialización de objetos y por lo tanto, la migración de unidades de ejecución no es fácilmente abordable. Además nos encontramos con el problema de que una tarjeta inteligente es un dispositivo con muy limitadas capacidades de memoria y procesamiento.

En la literatura se encuentra alguna iniciativa para involucrar tarjetas Java Card en plataformas de agentes móviles [7] más concretamente como entorno de ejecución seguro para partes del código de un agente, con el objetivo de protegerlo del host en el que se ejecuta. La idea es que ciertas partes del código vayan cifradas y firmadas, de manera que sólo en una tarjeta Java Card con los credenciales necesarios se pueda ejecutar este código. En esta propuesta se implementa un applet Java Card que realiza la gestión de esas partes de los agentes que se ejecutan en la tarjeta, realizando la serialización

de este código bajo demanda (cuando el agente debe migrar a otro host) definiendo una estructura para almacenar el estado, de manera que pueda ser reconstruido después de la migración.

5.2 Tecnología J2ME-Java 2 Micro Edition

En 1999, Sun Microsystems anuncia la aparición de Java 2 Micro Edition con el propósito de permitir que aplicaciones Java se ejecuten en dispositivos con potencia de procesamiento limitada, como teléfonos móviles, pagers, palm pilots, set-top boxes, y otros. Una solución que responde a la amplia difusión que están teniendo estos dispositivos en los últimos años y a la demanda de usuarios y proveedores de servicios de recibir/ofrecer nuevas aplicaciones para aumentar las funcionalidades que aportan estos pequeños dispositivos.

J2ME en la actualidad abarca dos categorías de dispositivos, por un parte los que se denominan fijos, que poseen conexiones a la red fija y tienen una capacidad de almacenamiento del orden de los 2 a 16 megabytes de memoria. Por ejemplo, set-top boxes, Internet TV y sistemas de navegación de automovil. Y por otra parte, los dispositivos denominados móviles, que tienen capacidades de almacenamiento limitadas del orden de los 128 kilobytes, con microprocesadores del 16 o 32 bit RISC/CISC y que se comunican a través de conexiones inalámbricas. Dentro de esta categoría están los teléfonos móviles, palm pilots y pagers.

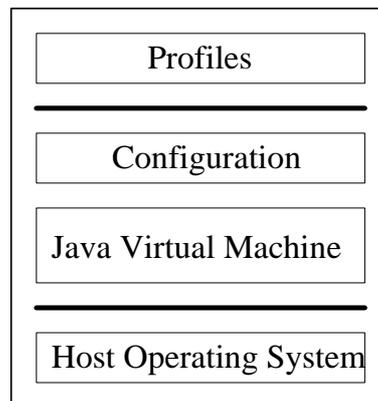


Figura 1 Arquitectura J2ME

Una de las principales ventajas de J2ME es que es una arquitectura modular, figura 1, que se adapta a las limitaciones de los diferentes dispositivos en las que se quiere integrar. Se definen tres capas:

- Máquina virtual.

En la actualidad J2ME soporta dos máquinas virtuales: la Java Virtual Machine que se emplea en ediciones J2SE y en J2EE para los dispositivos con procesadores de 32 bit, y la KVM para arquitecturas de 16/32 bits pero con capacidades de almacenamiento limitado.

- Configuraciones.

Definen una serie de bibliotecas Java que están disponibles para un conjunto de dispositivos, con similares capacidades de procesamiento y memoria. J2ME soporta varias configuraciones, en la actualidad existen dos estandarizadas:

- Connected, Limited Device Configuration (CLDC), que engloba en general a dispositivos personales móviles.
- Connected Device Configuration (CDC), que engloba en general a dispositivos fijos. Por motivos de compatibilidad es un superconjunto de CLDC.

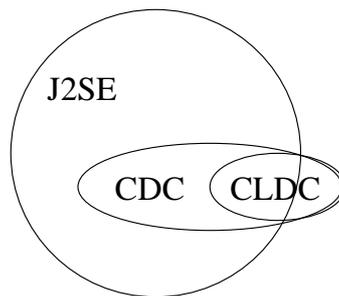


Figura 2 Relación entre CLDC y CDC y la J2SE

Ambas configuraciones tiene clases comunes con la J2SE, que permite la compatibilidad, pero poseen además clases específicas para los tipos de dispositivos para los que se definieron, ver figura 2.

- Perfiles.

Definen un conjunto de API's que pueden emplearse para desarrollar aplicaciones para una familia particular de dispositivos. El principal objetivo en la definición de un perfil es garantizar la interoperabilidad de las aplicaciones entre un conjunto de dispositivos que soportan el mismo perfil. Un mismo dispositivo puede soportar diferentes perfiles. Los perfiles se desarrollan sobre una determinada configuración. Así sobre CLDC se ha estandarizado el Mobile Information Device Profile (MIDP) para teléfonos móviles y pagers y se encuentra en proceso de estandarización el PDA Profile, para asistentes personales. Sobre CDC se están estandarizando el RMI Profile, Foundation Profile, Personal Profile entre otros.

Nuestro trabajo se centra en dispositivos móviles que se engloban en la configuración CLDC, por lo tanto realizaremos un análisis de las limitaciones que presenta esta plataforma:

- Limitaciones del lenguaje Java:
 - No soporta tipos de datos de coma flotante (float o double).
 - No soporta la finalización de instancias de clases.
 - Limitaciones en el manejo de errores: en general, la gestión de errores es particular de la implementación realizada para el dispositivo concreto.
- Limitaciones de la máquina virtual:
 - No soporta Java Native Interface (JNI).
 - No soporta cargadores de clase definidos por el usuario.
 - No soporta reflexión, y por lo tanto, ni serialización de objetos, ni soporte a RMI, ni otras características avanzadas de Java (JVM Debugging Interface, JVM Profile Interface).
 - No soporta grupos de threads ni daemon threads.

La mayoría de estas limitaciones se deben a las propias limitaciones de procesamiento y memoria de los dispositivos y a razones de seguridad motivadas porque J2ME/CLDC no soporta el modelo completo de seguridad de J2SE. El modelo soportado por J2ME/CLDC es de tipo "sandbox", es decir las aplicaciones se ejecutan sobre un entorno limitado en el que la aplicación solo puede acceder a las API's definidas por el CLDC y por los perfiles proporcionados o a clases específicas del dispositivo.

En el futuro se pretenden suplir algunas de estas limitaciones, entre ellas la sincronización de threads y el cargador de clases.

5.2.1 Tecnología de agentes y J2ME

En este apartado, realizaremos un breve estudio sobre los más destacados trabajos sobre la realización de plataformas de agentes en terminales móviles empleando J2ME.

El proyecto LEAP [8] se engloba dentro de los proyectos IST, y está siendo desarrollado por un consorcio de compañías entre las que se encuentran, entre otras, Motorola, British Telecom y Siemens. El objetivo del proyecto es el desarrollo de una plataforma de agentes móviles conforme al estándar FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) que pueda operar tanto en dispositivos móviles (teléfonos móviles, PDA, pagers) como en PC's. El proyecto comenzó en Enero de 2000 y tiene dos fases, la primera de ellas, ya finalizada, consistió en la revisión de los estándares FIPA y WAP y el diseño e implementación de una plataforma de agentes para dispositivos móviles. La segunda fase consiste en evaluar la plataforma en sistemas reales y analizar las prestaciones obtenidas en dos aplicaciones: asistencia en carretera y tareas de gestión de red.

Para que la plataforma de agentes desarrollada en este proyecto opere tanto en sistemas PC's como en dispositivos móviles con capacidades limitadas, han diseñado una arquitectura modular estructurada en dos partes:

- Parte obligatoria, compuesta por varios módulos, uno denominado kernel independiente del dispositivo y otros dedicados a las comunicaciones y dependientes del dispositivo en el que se ejecute la plataforma.
- Parte opcional, compuesta por varios módulos para interfaces gráficas, parsers, modelado de usuario y datos.

La plataforma de agentes se configurará así mediante un instalador que compondrá los módulos necesarios para el dispositivo concreto en el que se instale.

Para dispositivos móviles emplean la extensión correspondiente de Java, la J2ME/CLDC y para entornos PC's la J2SE. El kernel de la plataforma solamente emplea las API's comunes a ambas especificaciones de Java.

En Monash University [9] [10] [11] se están realizando proyectos relacionados con el desarrollo de plataformas de agentes para dispositivos móviles empleando J2ME, en particular se han realizado desarrollos para PDA. Su propuesta se basa en incluir dentro de la KVM la plataforma de agentes, obteniendo de esta forma unas mejores prestaciones, pero obligando a que los dispositivos tengan esta KVM reconstruida.

En School of Computer Science Carleton University [12] también se están realizando desarrollos orientados a la utilización de tecnología de agentes para aplicaciones en entornos móviles, pero en su propuesta la plataforma de agentes reside en un dispositivo no limitado denominado Agent Gateway que sirve de mediador entre el dispositivo inalámbrico y los recursos de la red. La justificación de esta propuesta es que los dispositivos móviles tienen recursos limitados y que en la actualidad la especificación de la J2ME/CLDC no tiene funcionalidades básicas para la realización de plataformas de agentes, como es la serialización de objetos o la carga dinámica de clases.

5.3 Propuesta de plataforma de agentes en terminales móviles

En este artículo proponemos la realización de una plataforma de agentes distribuida entre el SIM Java Card y el terminal móvil J2ME, teniendo en cuenta que la parte ligada a la personalización de servicios debe residir en la tarjeta para que se mantenga la característica de movilidad del usuario y acceso global a los servicios independiente de la localización, del terminal y de la red de acceso.

En la figura 3 se observa un esquema de la arquitectura propuesta, que detallamos a continuación.

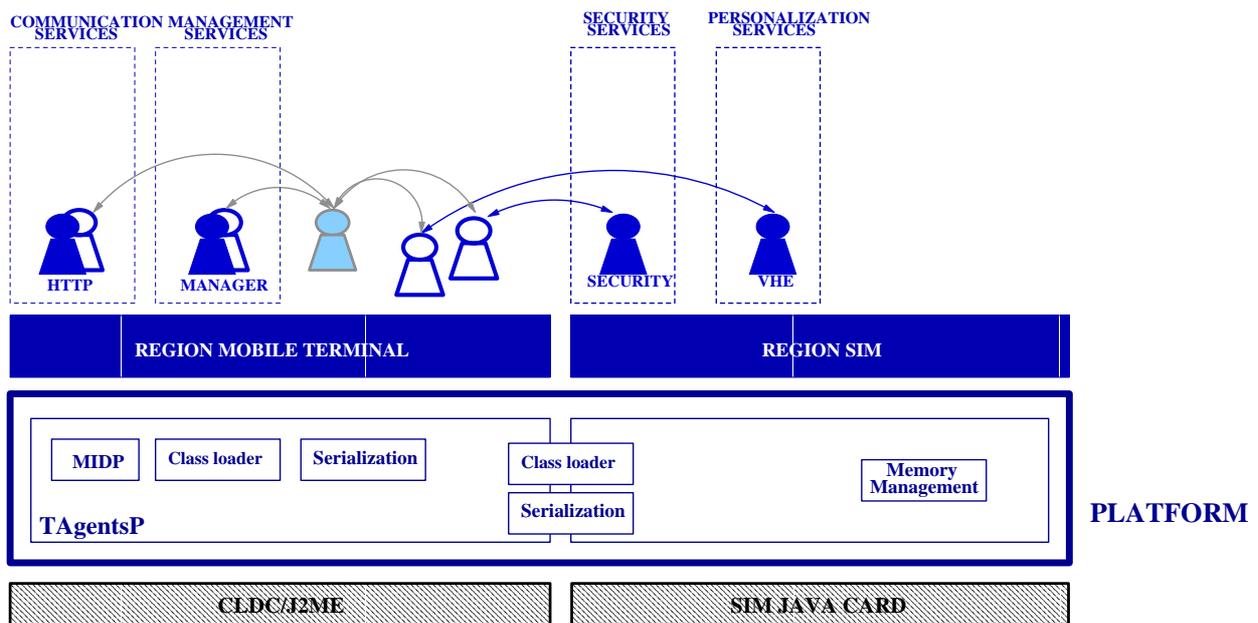


Figura 3 Arquitectura de la plataforma propuesta

5.3.1 Plataforma sobre el terminal móvil J2ME.

Nuestros desarrollos actuales se centran en complementar el MIDP para construir un perfil sobre el CLDC que proporcione la funcionalidad básica de un plataforma de agentes móviles, a este perfil lo hemos llamado TAgentsP (Travel Agents Profile). Las limitaciones del lenguaje Java en su versión J2ME obligan a abordar dos problemas importantes para una plataforma de agentes y que en la versión J2SE, resolvía el propio lenguaje. Por una parte es necesario dotar de clases que nos permitan la serialización de objetos y por otra, permitir la carga dinámica de clases.

Una vez proporcionados los servicios básicos, sobre esta región de la plataforma residirán los agentes de sistema que nos proporcionarán servicios de comunicación tanto para la migración, como para la comunicación de los agentes residentes en otros terminales móviles o en sistemas de la parte fija de la red. En un primera versión, la comunicación se realizará empleando el protocolo HTTP, proporcionado por el perfil MIDP estándar. En versiones posteriores se completará permitiendo la comunicación a través de sockets.

En esta región se proporcionará servicios de gestión de la plataforma que permita manejar los agentes residentes tanto en la region SIM como en el terminal móvil.

Los agentes que se ejecuten sobre esta región proporcionarán servicios añadidos al usuario móvil (aplicaciones de comercio electrónico, servicios basados en localización, juegos,...) pertenecientes al propio operador móvil o a terceros proveedores de aplicaciones.

5.3.2 Plataforma sobre el SIM Java Card.

Las limitaciones de Java Card nos llevan a importantes retos a la hora de proporcionar servicios básicos de un plataforma de agentes. La primera tarea es implementar un gestor de memoria dinámica debido a la falta de recolector de basura en Java Card. En nuestra implementación se reutiliza el gestor de memoria desarrollado para el proyecto JCCM [13]. Sobre este sistema será necesario implementar mecanismos que nos permitan la transferencia de agentes, para ello será necesario proporcionar mecanismos de serialización y de carga dinámica de clases. Por las limitaciones de Java Card y el mecanismo de comunicación de las tarjetas inteligentes, estandarizado por el ISO7816, la realización de estas tareas deberá distribuirse entre la propia tarjeta y el terminal móvil.

La región situada sobre el SIM proporcionará los servicios de seguridad y de personalización a través de agentes de sistema. Los servicios de seguridad permitirán añadir credenciales a los agentes que se ejecuten sobre la plataforma y que vayan a migrar a otros sistemas y además permitirán realizar comprobaciones de credenciales de agentes que visiten la plataforma. Los servicios de personalización, proporcionados por el agente del sistema denominado VHE, nos permitirá personalizar agentes según las preferencias del usuario, según su localización y según sus características de suscripción a determinados servicios, además permitirá indicar a los agentes que deseen migrar a la plataforma las características del usuario para que puedan personalizar y adaptar los servicios ofrecidos.

El acceso a estos agentes desde la región situada en el terminal móvil se realizará a través de clones de los agentes del sistema, que residirán en el terminal y que permitirán el acceso seguro a los servicios proporcionados.

Debido a la información que contiene el SIM, sobre la región SIM de nuestra plataforma sólo podrán ejecutarse agentes pertenecientes al operador móvil al que está suscrito el usuario. Estos agentes posiblemente estarán dedicados a tareas destinadas a la gestión de red y actualización de información de suscripción del usuario.

6 Conclusiones

En este artículo se ha visto cómo la tecnología de agentes móviles se adapta a la características de los sistemas inalámbricos en los que el ancho de banda en la parte radio es limitado y por lo tanto, se precisan comunicaciones asíncronas y cierta autonomía en las aplicaciones para reducir el número de conexiones con la red, disminuyendo de esta forma el tráfico generado.

La implementación de una infraestructura de agentes en una red de telefonía móvil presenta una complejidad importante debido a las limitaciones que imponen los terminales, que poseen una capacidad de procesamiento y almacenamiento reducida. Con la aparición de versiones de Java para pequeños dispositivos, como Java Card para tarjetas inteligentes y J2ME para PDA's o teléfonos móviles, y considerando que el lenguaje de programación en el que más plataformas de agentes móviles se han desarrollado es Java, las posibilidades de desarrollar plataformas de agentes en dispositivos móviles se presenta alcanzable.

En este trabajo hemos revisado las tecnologías Java Card y J2ME y hemos propuesto una plataforma de agentes distribuida entre el SIM Java Card y el terminal móvil J2ME, teniendo en cuenta que la parte ligada a la personalización de servicios debe residir en la tarjeta para que se mantenga la característica de movilidad del usuario y acceso global a los servicios independiente de la localización, del terminal y de la red de acceso. En la actualidad trabajamos en complementar el MIDP para construir un perfil sobre el CLDC que proporcione la funcionalidad básica de un plataforma de agentes móviles.

7 Referencias

- [1] Josef F. Huber, Dirk Weiler, Hermann Brand, UMTS, the Mobile Multimedia Vision for IMT-2000: A Focus on Standardization, IEEE Communications Magazine, September 2000.
- [2] JavaCard: <http://java.sun.com/products/javacard/> y <http://www.javacardforum.org>.
- [3] Smart Card Platform ETSI Project, <http://www.etsi.org/scp/>.
- [4] Gian Pietro Picco, Mobile agents: an introduction, Microprocessors and Microsystems 25 (2001), 65-74.
- [5] David Chess, Benjamin Grosf, Colin Harrison, David Levine, Colin Parin and Gene Tsudik, Itinerant Agents for Mobile Computing, IEEE Personal Communications, Octubre 1995.
- [6] Lars Hagen, Markus Breugst, Thomas Magedanz, Impacts of Mobile Agent Technology on Mobile Communication System Evolution, IEEE Personal Communications, Agosto 1998.

- [7] Stefan Funfrockem, Protecting Mobile Web-Commerce Agents with Smartcards, Department of Computer Science, Darmstadt University of Technology.
- [8] LEAP Lightweight Extensible Agent Platform: <http://leap.crm-paris.com/>
- [9] Patrik Mihailescu, Elizabeth A. Kendall and Yuliang Zheng, Mobile Agent Platform for Mobile Devices. Peninsula School of Network Computing. Monash University.
- [10] Patrik Mihailescu and Elizabeth A. Kendall, Development of an agent platform for mobile devices using J2ME. Peninsula School of Network Computing. Monash University.
- [11] Patrik Mihailescu and Walter Binder, A Mobile Agent Framework for M-Commerce. Peninsula School of Network Computing. Monash University. CoCo Software Engineering.
- [12] Qusay H. Manmoud, MobiAgent: A Mobile Agent-based Approach to Wireless Information Systems. School of Computer Science Carleton University.
- [13] C. Campo, A. Marín, A. García, I. Díaz, P.T. Breuer, C. Delgado, C. García, JCCM: Flexible Certificates for Smartcards with Java Card. Smart Card Programming and Security. Proceedings of the international Conference on Research in Smart Cards, E-Smart 2001, Cannes, France, September 2001. ISBN 3-540-42610-8 Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 2140.