

Redes Inalámbricas Ad Hoc como Tecnología de Soporte para la Computación Ubicua

Juan-Carlos Cano, Carlos T. Calafate, Manuel P. Malumbres, Pietro Manzoni
 Departamento de Informática de Sistemas y Computadores, Universidad Politécnica de Valencia
 Camino de Vera s/n, 46071 Valencia, ESPAÑA.
 e-mail: {jucano, calafate, mperez, pmanzoni}@disca.upv.es

Abstract

El principal objetivo de la computación ubicua es el establecimiento de entornos donde los dispositivos con capacidades de procesamiento y comunicaciones (teléfonos móviles, PDA, dispositivos sensores, electrodomésticos, libros electrónicos, etc.) puedan cooperar y comunicarse de forma inteligente y conscientes del entorno que les rodea de forma transparente al usuario. Los sistemas de comunicaciones juegan un papel fundamental en el área de la computación ubicua. En concreto, las redes inalámbricas *ad hoc* también conocidas como MANETs (*Mobile ad hoc Networks*) se presentan como una tecnología de comunicación ideal en este tipo de entornos y aplicaciones.

En este trabajo, se presenta una aplicación experimental como ejemplo de utilización de las tecnologías inalámbricas Bluetooth e IEEE 802.11 en el área de la computación ubicua.

I. INTRODUCCIÓN

El término computación ubicua hace referencia a poder aprovechar la información ofrecida por dispositivos de computación distribuidos en el entorno, de una forma transparente al usuario [1].

Los continuos avances tecnológicos han incentivado el desarrollo de dispositivos con capacidades de comunicación inalámbrica cada vez más pequeños, más potentes y con un consumo de batería mas eficiente que hacen que cada día sea más realista el concepto de computación ubicua. Fuertemente ligado al concepto de computación ubicua, encontramos las aplicaciones dependientes del entorno también conocidas como aplicaciones *context-aware*. Dichas aplicaciones se caracterizan por ser capaces de adaptar sus funciones de forma transparente en función del contexto, del tipo de usuario y del dispositivo utilizado [2]. En el área de la computación ubicua las comunicaciones juegan un papel fundamental. En concreto, las características de las redes inalámbricas *ad hoc* pueden ofrecen una gran flexibilidad al sistema de comunicaciones.

Las redes *ad hoc* también conocidas como MANETs, son redes inalámbricas que no requieren ningún tipo de infraestructura fija ni administración centralizada, donde las estaciones, además de ofrecer funcionalidades de estación final deben proporcionar también servicios de encaminamiento, retransmitiendo paquetes entre aquellas estaciones que no tienen conexión inalámbrica directa.

Las redes *ad hoc* pueden desplegarse de forma completamente autónoma o combinarse con las redes locales inalámbricas para conectarse a Internet utilizando puntos de acceso inalámbricos,.

Dichas redes deben poder adaptarse dinámicamente ante los cambios continuos de las características de la red, tales como la posición de las estaciones, la potencia de la señal, el tráfico de la red y la distribución de la carga. De entre estas características, el principal reto de las redes *ad hoc* estriba en los continuos e impredecibles cambios de la topología de la red.

Se hacen necesarios nuevos algoritmos, protocolos y *middleware*, que superen las limitaciones anteriormente presentadas y permitan establecer redes independientes y descentralizadas. Dichos protocolos deberían ser completamente adaptativos, anticipando el comportamiento futuro de la red a partir de parámetros tales como el nivel de congestión, la tasa de errores, los cambios de rutas utilizadas, etc. Además, los recursos de la red deben poder ser localizados y utilizados de forma automática sin necesidad de una configuración manual previamente establecida. Aspectos relacionados con la seguridad y la privacidad de la información deberían ser considerados de cara a proporcionar un acceso que permita asegurar la privacidad de los dispositivos y usuarios. Finalmente, se deben incorporar técnicas orientadas

a ofrecer calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) que permitan, por ejemplo, ofrecer garantías de servicio sobre determinado tráfico de red.

Numerosos grupos, centros de investigación y empresas de comunicaciones están trabajando de forma activa en proyectos relacionadas con el campo de la computación ubicua y las aplicaciones *context-aware* [3]. Investigaciones relacionadas con entornos inteligentes y espacios domóticos son cada vez más comunes en universidades y centros de investigación corporativos (ver [4], [5], [6]).

Las aplicaciones *context-aware* requieren necesariamente algún tipo de tecnología de comunicación inalámbrica que proporcione conexión inalámbrica entre los diferentes dispositivos de la red. Dicha tecnología inalámbrica, junto con dispositivos sensores tales como sensores de movimiento y etiquetas electrónicas son la base que deben permitir el establecimiento de nuevos entornos inteligentes donde las aplicaciones de computación ubicua sean capaces de interactuar con el entorno de forma transparente sin necesidad de configuraciones preestablecidas ni intervención del usuario.

Se dispone de varias tecnologías de comunicación inalámbrica, desde tecnologías inalámbricas de área amplia de tercera generación (3G), las redes inalámbricas de área local (*Wireless LANs*) o las redes de área personal (*Personal Area Networks, PANs*) [7].

Basamos nuestra propuesta en la tecnología Bluetooth [8]. Bluetooth es una tecnología de red inalámbrica flexible y versátil de corto alcance y bajo consumo [9]. Bluetooth ha sido especialmente diseñada para tener un tamaño y coste reducido, con el propósito de poder incorporarse en prácticamente cualquier objeto cotidiano.

Este trabajo describe una aplicación *context-aware* experimental llamada UbiqMuseum, la cual proporciona información dependiente del entorno a los visitantes de un museo. La aplicación ofrece en cada momento información personalizada referente a la obra de arte que el visitante esta observando. Dicha información se adapta de forma automática en función del idioma seleccionado, el nivel de conocimientos, y el tipo de dispositivo que utilice el usuario. Como dispositivos, la aplicación permite teléfonos móviles, ordenadores portátiles y PDAs. La aplicación también puede ser utilizada por los administradores del museo de cara a reducir costes derivados de las consultas de los usuarios, así como para otros propósitos tales como identificar las piezas del museo más visitadas, obtener patrones de comportamiento de los usuarios etc.

El resto del trabajo se estructura como sigue. La Sección II resume el estado del arte de las redes *ad hoc*. La Sección III introduce brevemente la tecnología Bluetooth. La Sección IV describe la aplicación desarrollada presentando la arquitectura de la misma. La Sección V presenta detalles relacionados con la implementación realizada. Futuras extensiones de la aplicación se detallan en la Sección VI seguidas por las conclusiones en la Sección VII.

II. REDES INALÁMBRICAS AD HOC

La investigación en el campo de las comunicaciones inalámbricas se remonta a los años 70 y su interés se ha visto progresivamente incrementado desde entonces, aumentando notablemente en la última década debido al éxito de Internet. Los últimos avances se han centrado en las redes sin infraestructura, comúnmente conocidas como redes *ad hoc*. El termino *ad hoc*, aunque podría ser interpretado con connotaciones negativas tales como “improvisado” o “desorganizado”, en el contexto de las redes inalámbricas hace referencia a redes flexibles, en las cuales todas las estaciones ofrecen servicios de encaminamiento para permitir la comunicación de estaciones que no tienen conexión inalámbrica directa.

En relación a las redes cableadas, las redes *ad hoc* presentan cambios de topología frecuentes e impredecibles debido a la movilidad de sus estaciones. Estas características impiden la utilización de protocolos de encaminamiento desarrollados para redes cableadas y crean nuevos retos de investigación que permitan ofrecer soluciones de encaminamiento eficientes que superen problemas tales como topología dinámica, recursos de ancho de banda y batería limitada y seguridad reducida.

Los protocolos de encaminamiento desarrollados para redes cableadas no se adaptan al entorno altamente dinámico de las redes *ad hoc*. Dichos protocolos hacen uso de mensajes de actualización de rutas periódicos

que ofrecen una elevada sobrecarga incluso en redes con tráfico reducido. Esta metodología de diseño hace que en entornos dinámicos con cambios de topología frecuente dichas aproximaciones ofrezcan una sobrecarga excesiva. Recientemente, dado el interés suscitado por las redes *ad hoc* se ha establecido dentro del *Internet Engineering Task Force* (IETF), un nuevo grupo de trabajo denominado *Mobile Ad hoc Networking group* (MANET) [10], cuyo principal objetivo es estimular la investigación en el área de las redes *ad hoc*.

Hace un par de años se estaban evaluando entre la comunidad investigadora cerca de 60 propuestas de encaminamiento diferentes. Sin embargo, hoy día solamente cuatro de estas propuestas han resistido la fuerte competencia. Estas propuestas son las siguientes: el protocolo “Ad hoc On Demand Distance Vector” (AODV) [11], el protocolo “Dynamic Source Routing for Protocol Mobile Ad hoc Networks” (DSR) [12], el protocolo “Optimized Link State Routing Protocol” (OLSR) [13], y el protocolo “Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding” (TBRPF) [14]. De estos cuatro, los protocolos AODV y OLSR han alcanzado el nivel de RFC (*Request for Comment*).

AODV y DSR utilizan encaminamiento reactivo también conocido como encaminamiento bajo demanda, en el cual las rutas a utilizar para un determinado destino solamente se calculan cuando éstas son necesarias. Estos protocolos, intentan reducir así la sobrecarga generada por los mensajes de actualización de rutas periódicos. El principal inconveniente de los protocolos reactivos es el retardo inicial que introducen y que puede representar una seria limitación en aplicaciones interactivas que requieren asegurar determinada calidad de servicio (ej. audio y vídeo interactivo). Por su parte, OLSR y TBRPF utilizan encaminamiento proactivo en los cuales todas las rutas a todos los posibles destinos se calculan a priori, y además, éstas se mantienen actualizadas en todo momento utilizando para ello mensajes de actualización periódicos. Estos protocolos introducen cierto nivel de sobrecarga, sin embargo, presenta la ventaja de poder seleccionar rutas válidas de forma prácticamente inmediata.

Los protocolos anteriormente citados ofrecen soluciones de encaminamiento en el nivel de enlace. Sin embargo, para optimizar su funcionamiento en entornos de computación ubicua todavía resta una gran cantidad de trabajo por hacer. Las características que se deben abordar de forma inmediata, son aquellas relacionadas con la posibilidad de ofrecer configuraciones automáticas. Los autores creen que éstas son de especial interés para que el usuario pueda beneficiarse del amplio abanico de posibilidades que ofrece la computación ubicua.

III. LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH EN LAS REDES AD HOC

Recientemente, la tecnología Bluetooth se ha mostrado como una plataforma de soporte prometedora en las redes *ad hoc*. Las redes *ad hoc* que utilizan Bluetooth como tecnología base ofrecen ventajas considerables en el campo de la computación ubicua debido a la habilidad de Bluetooth para localizar de forma transparente tanto dispositivos cercanos como los servicios que estos ofrecen.

Bluetooth es un estándar inalámbrico de corto alcance y bajo precio, especialmente dirigido para conectar dispositivos tales como PDAs, ordenadores portátiles y teléfonos móviles sin necesidad de cableado adicional. Opera en la banda de frecuencias ISM de $2.45GHz$ y es la tecnología utilizada por el grupo de trabajo IEEE 802.15.1 dedicado a las redes inalámbricas de área personal (WPAN). Las especificaciones de Bluetooth y su arquitectura se definen en [8]

Bluetooth utiliza un esquema de funcionamiento orientado a conexión y basado en una configuración maestro-esclavo en el cual, un único maestro coordina el acceso al medio de hasta 7 dispositivos esclavos mediante turnos de pregunta periódicos. Esta configuración básica se conoce en el estándar como una piconet. Bluetooth define dos tipos de enlaces diferentes denominados SCO (Synchronous Connection-Oriented) y ACL (Asynchronous Connection-Less), los cuales dan soporte a aplicaciones con necesidades de tiempo real tales como envío de video y audio y aplicaciones de datos respectivamente.

Bluetooth se adapta a los requerimientos de las aplicaciones *context-aware* no solamente debido a su habilidad para agrupar las estaciones de la red en piconets, sino además por su habilidad para descubrir servicios de forma transparente. Así, las estaciones cercanas entre sí pueden localizar estaciones vecinas

utilizando un procedimiento conocido como *inquiry*. Una vez que una estación descubre a una estación vecina, puede utilizar un procedimiento conocido como *page* como paso previo a establecer la conexión. Una vez establecida la conexión, se puede utilizar el protocolo denominado *Service Discovery Protocol* (SDP) para intercambiar información relativa a los servicios que cada una de las estaciones ofrece.

En un trabajo previo [15], se diseñó y se implementó un prototipo del protocolo OLSR que permitía la integración de dispositivos que utilizaban diferentes tecnologías de acceso y sistemas operativo en una única red. Utilizando una interfaz de programación especialmente diseñada y denominada PICA [16], se estudio la problemática de implementar un mismo protocolo en un entorno de red heterogéneo y con diferentes plataformas de trabajo. Se adaptó el protocolo OLSR para permitir tanto dispositivos con tecnología de red IEEE 802.11 como dispositivos Bluetooth, proponiendo un diseño que se adaptaba a un entorno heterogéneo y al mismo tiempo prestaba especial atención a preservar el escaso ancho de banda de la red Bluetooth. Para conseguir este doble objetivo se utilizó una aproximación que consideraba cada una de las piconets como una estación para OLSR representada por su estación maestro. Además, estas piconets no requieren paquetes del protocolo OLSR para los flujos de datos de los canales Bluetooth.

La propuesta integra los dispositivos Bluetooth en la red *ad hoc* mediante una topología en estrella, donde el elemento central actúa como puente entre ambas tecnologías utilizando tarjetas IEEE 802.11 y Bluetooth. Finalmente, los dispositivos Bluetooth se conectan con la topología en estrella utilizando el concepto de piconet pero permaneciendo al margen de los paquetes OLSR.

En este trabajo, la aplicación UbiqMuseum extiende el concepto de estación Bluetooth anteriormente presentado, permitiendo que las diferentes piconets se conecten estableciendo lo que el estándar denomina como una scatternet. Se presenta un protocolo de creación de scatternet (ver Sección V), que extiende la flexibilidad de la topología de la red.

IV. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN UBIQMUSEUM

La aplicación UbiqMuseum utiliza una arquitectura de red que combina la utilización de una red dorsal con una red aplicación. La red de aplicación utiliza únicamente tecnología Bluetooth, mientras que la red dorsal puede estar basada en tecnología de red local Ethernet o en tecnología de red local inalámbrica 802.11 en modo infraestructura. Como protocolo de encaminamiento global, se utiliza la versión modificada del protocolo OLSR descrita en [15].

El sistema utiliza tres tipos diferentes de estaciones: *clientes del museo* (MICs), *puntos de información del museo* (MIPs), y un *servidor central*. Un visitante del museo provisto de un dispositivo PDA con interfaz Bluetooth es un ejemplo de un cliente. Además, debe existir un punto de información asociado con una o mas piezas de arte del museo. Finalmente, los diferentes MIPs del museo se conectarán con el servidor central utilizando la tecnología, Ethernet, 802.11 o Bluetooth, dependiendo de las instalaciones del museo donde se despliegue la aplicación.

La Figura 1 muestra una posible configuración de la arquitectura de la aplicación.

A medida que un cliente visita las diferentes obras del museo, la aplicación intenta localizar continuamente nuevos puntos de información utilizando la primitiva *inquiry* de Bluetooth. Cada vez que se localiza un nuevo punto de información, la aplicación comprobará los servicios que este le puede ofrecer utilizando el protocolo *Service Discovery Protocol* (SDP).

Si el cliente desea recibir la información que el nuevo punto de información le puede ofrecer, éste debe enviarle su perfil, el cual fue introducido al iniciarse la aplicación en el dispositivo cliente. A partir del perfil del usuario, el punto de información procesa la petición combinando dicho perfil con el identificador del objeto que el cliente esta visitando y finalmente envía la petición al servidor central. El servidor central almacena la petición y la procesa, enviando la información solicitada al punto de información, el cual la enviará finalmente al cliente.

La búsqueda de nuevos puntos de información se puede realizar por defecto de forma automática o bajo petición del usuario. Además, en todo momento el usuario puede modificar su perfil, por ejemplo en el caso de considerar que la información recibida es demasiado avanzada o muy básica para sus

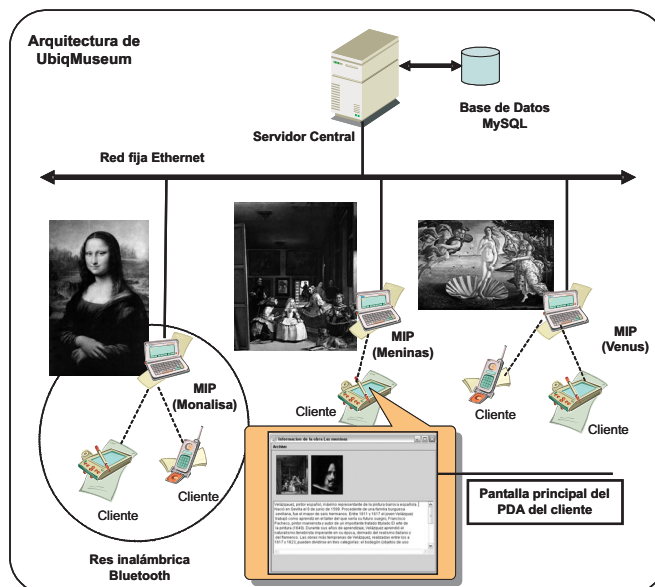


Fig. 1. Arquitectura de UbiqMuseum.

conocimientos. Así, la información recibida en sucesivos accesos se adaptará más a sus necesidades y requerimientos.

UbiqMuseum presenta las siguientes características:

- **Implementación basada en Java:** se ha utilizado el API de programación de Java para la tecnología inalámbrica Bluetooth propuesta por el *JavaExpert Group JSR-82* [17]. Alrededor de 20 compañías líderes del sector de las comunicaciones han adoptado dicho estándar en sus dispositivos. JSR-82 ofrece un entorno de desarrollo de aplicaciones Bluetooth abierto y no propietario.
- **Base de datos con soporte SQL:** toda la información relativa a los objetos de arte en el museo se almacena en una base de datos relacional. Esta solución ofrece flexibilidad, facilidad de uso, almacenamiento eficiente, procedimientos de mantenimiento y un alto nivel de seguridad.
- **Flexibilidad:** la información que UbiqMuseum envía al usuario es completamente dinámica. Así, el formato y la cantidad de objetos gráficos y textuales que se envían al usuario no siguen un patrón predefinido sino que se puede adaptar de forma dinámica en función de la información almacenada en la base de datos.
- **Soprote de Scatternet:** en un museo concurrido, es de esperar que más de siete visitantes (ej. una piconet) puedan estar observando una misma pieza de arte. Para estos casos, se propone un algoritmo capaz de interconectar varias piconets para crear una scatternet.

V. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOCOLO DE SCATTERNET

Tal y como se comentó previamente, la topología global del sistema utiliza como mecanismo de encaminamiento una versión modificada del protocolo OLSR. Los dispositivos clientes con tecnología Bluetooth se conectarán mediante una topología scatternet alrededor de cada punto de información. Se propone un nuevo protocolo de creación de scatternet, el cual está basado en un algoritmo de creación de *clusters* propuesto en [18].

En nuestra implementación, cada uno de los dispositivos MIP actúa como dispositivo maestro de su propia piconet, asignando ranuras de utilización del canal para todos sus esclavos. En entornos concurridos, se tienen que interconectar múltiples piconets para crear una scatternet.

Aunque el estándar Bluetooth contempla el concepto de scatternet, éste no especifica un determinado protocolo de creación de dicha estructura. Conseguir una estructura de scatternet óptima está siendo objeto de numerosas investigaciones [19], [20], [21]. Las diferentes propuestas intentan obtener una topología

de scatternet similar a la que se muestra en la Figura 2 en la cual para conectar dos piconets se deben compartir uno o varios dispositivos puente. Dichos dispositivos puente pueden actuar como maestro en una piconet y esclavo en otra o como esclavo en ambas, pero nunca como maestro en las dos piconets.

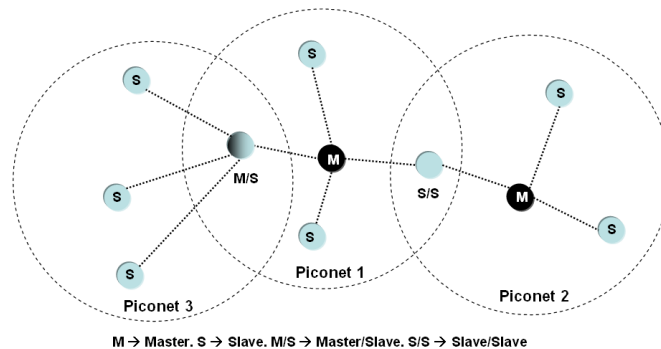


Fig. 2. Topología ejemplo. Tres piconets conectadas en una estructura scatternet.

La mayoría de estos estudios no se han centrado en problemas de implementación. Así, para poder conectar las piconets 1 y 3 de la Figura 2, el dispositivo puente maestro/esclavo (M/S) debería pasar a modo **hold** en la piconet 3, y transitar a modo activo con respecto a la piconet 1. Esto implica que las comunicaciones en la piconet 3 serán suspendidas hasta que expire el tiempo de la estación en modo **hold**. Por otra parte, para conectar las piconets 1 y 2, el dispositivo puente esclavo/esclavo (S/S) pasará a modo **hold** en la piconet 2 y a modo activo en la piconet 1. Durante el tiempo en modo **hold** el dispositivo maestro de la piconet 2 no enviará paquetes POLL destinados a asignar ranuras de acceso al canal, al dispositivo puente. Un dispositivo puente activo en una piconet, almacena paquetes de datos dirigidos a dispositivos de la piconet adyacente, entregándolos posteriormente a las estaciones destino cuando el tiempo en modo **hold** termina. Así, todos los mensajes enviados entre piconets son enviados a través de los dispositivos puente.

Siegemund y Rohs [22] demostraron que las configuraciones con puentes maestro/esclavo conllevan una reducción del ancho de banda del canal utilizado mientras que las configuraciones con puentes esclavo/esclavo requieren protocolos de sincronización y negociación de parámetros entre las estaciones maestro más complejos.

En nuestro caso, debido a que la aplicación desarrollada no requiere una utilización excesiva del canal, se propone una solución basada en dispositivos puente maestro/esclavo que permita simplificar notablemente los protocolos de comunicación y sincronización entre las diferentes piconets. Además, para enviar todo el tráfico entre piconets se utilizarán los dispositivos maestros.

El algoritmo de scatternet propuesto está basado en la utilización del modo **hold**, el cual permite a una estación puente abandonar su piconet temporalmente para unirse a una nueva piconet sin necesidad de modificar las especificaciones de la tecnología Bluetooth. En nuestra propuesta se ha limitado el tamaño de una piconet a una estación maestra y un máximo de cinco estaciones esclavas. Según [23] limitar a cinco el número máximo de esclavos en una piconet ofrece un compromiso equilibrado entre congestión en la piconet y longitud de las rutas de encaminamiento. Se reservan así las dos conexiones restantes para permitir conexiones de dispositivos puente. Los puntos de información de cada pieza del museo crearán la primera piconet de la scatternet. Cuando más de cinco estaciones clientes se ubiquen en el área de un mismo punto de información, se crearán nuevas piconets utilizando el siguiente mecanismo.

Cuando un dispositivo cliente no pueda unirse a la piconet del MIP, ésta intentará localizar alguna estación que actúe como estación puente con la piconet del punto de información. Si no se encuentra ningún dispositivo puente, la estación cliente creará una nueva piconet de la cual será la estación maestra y al mismo tiempo estación puente con la piconet del MIP. Para permitir que nuevas estaciones puedan localizar la nueva estación puente, ésta registrará un nuevo servicio denominado `Puente_con_el_MIP`. La

nueva estación maestro, asignará el canal periódicamente a cada una de sus estaciones esclavas. Además, la estación puente, transitará periódicamente al modo **hold** para enviar datos desde su piconet hacia la piconet del MIP y viceversa.

Cuando un determinado cliente requiere información relativa a una pieza del museo, su estación maestra se unirá a la piconet del MIP y enviará la petición al punto de información. Para unirse a la piconet del MIP, el dispositivo puente utiliza el modo **hold** en su piconet, y habilita el modo INQUIRY SCAN en la piconet del MIP. El MIP localiza a la estación puente utilizando periódicamente mensajes INQUIRY. Cuando el tiempo en modo **hold** termina, la estación puente abandona la piconet del punto de información y envía la información almacenada a la estación cliente que realizó la petición. El intervalo de tiempo mínimo que la estación puente debe permanecer ausente de su piconet se debe calcular en función de los siguientes parámetros: el tiempo necesario para activar el modo **hold**, el tiempo necesario para unirse a la piconet del MIP y el tiempo necesario para obtener la información solicitada por el cliente. En todo caso, este periodo de tiempo no puede exceder el máximo especificado en el estándar y que es de 40.9 segundos o 65440 ranuras. La Figura 3 muestra la secuencia de operaciones de una estación puente.

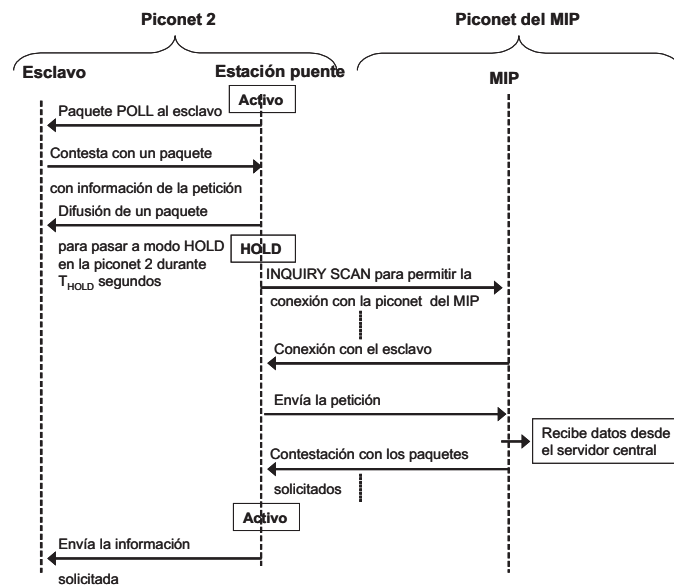


Fig. 3. Secuencia de operaciones de una estación puente.

A. Consideraciones adicionales

La estructura de scatternet anteriormente presentada se establece alrededor de cada una de los puntos de información. Por lo tanto, se ha asumido que todas las estaciones maestra de una scatternet se encuentran dentro del rango de alcance del punto de información de la scatternet. Creemos que esta asunción es razonable en un escenario como un museo en el cual la aplicación debe ofrecer información a aquellos visitantes que se encuentran cercanos a cada una de las obras de arte del museo. Además, en el laboratorio se ha observado de forma experimental, que la tecnología Bluetooth ofrece una productividad estable para distancias de hasta 14 m.

La estación maestra de cada piconet mantiene una lista actualizada de todas las estaciones pertenecientes a la piconet utilizando un mecanismo de planificación de envío de paquetes POLL basado en una política *round robin*. Cuando una de las estaciones esclavo no reconoce el paquete POLL enviado, la estación maestra asume que la estación esclavo a la cual iba dirigido dicho paquete ha abandonado la piconet, actualizando consecuentemente la lista de dispositivos esclavos. Por otra parte, ante la ausencia de paquetes POLL durante un determinado periodo de tiempo, las estaciones esclavo pueden detectar la ausencia de

la estación maestro. En este caso, las estaciones esclavo actuarán exactamente igual que las estaciones que acaban de incorporarse a la red.

Finalmente, el mecanismo descrito se puede simplificar en el caso de disponer de estaciones con dispositivos Bluetooth denominados *multi-point*, los cuales pueden funcionar simultáneamente como dispositivos maestros en una piconet y esclavos en otra. En este caso, el mecanismo descrito podría funcionar sin necesidad de la utilización del modo **hold**.

VI. EXTENSIONES FUTURAS

El prototipo desarrollado no considera todavía algunas características de implementación que harían de nuestra aplicación una solución más viable.

A medida que la capacidad de procesamiento de los dispositivos móviles aumenta, la posibilidad de enviar datos multimedia comienza a ser mucho más viable. Para proporcionar información multimedia con calidad suficiente se deben incorporar mecanismos que garanticen calidad de servicio. Utilizando la aplicación UbiqMuseum como entorno experimental, se están evaluando los problemas que surgen al incorporar técnicas de calidad de servicio como parte del nivel de acceso al medio. Se ha observado que incluso en escenarios poco congestionados donde solamente se tiene un único flujo de datos multimedia, las prestaciones no son las mínimas deseables debido a la movilidad de las estaciones. También se ha advertido que a medida que aumenta la longitud de las rutas, las interrupciones de la secuencia de video (*video gaps*) aumentan, repercutiendo éstas en la calidad observada por el usuario. En [24] se demostró la relación directa entre las interrupciones de video y los procedimientos de descubrimiento de rutas de los protocolos de encaminamiento. Modificando los mecanismos de selección de rutas se pueden reducir tanto el número como la longitud de dichas interrupciones. Actualmente, los autores están trabajando en el desarrollo de estrategias de encaminamiento que utilizan múltiples rutas con el objetivo de optimizar los mecanismos de selección de rutas y mejorar la calidad de servicio que dichos protocolos ofrecen al tráfico de video a medida que la movilidad de las estaciones aumenta. Aquellos mecanismos que envíen el tráfico de video utilizando múltiples rutas pueden ayudar a reducir las interrupciones de video, mejorando notablemente la calidad del video recibido. Dichos mecanismos requieren como mínimo dos rutas disjuntas por cada estación destino para permitir un mecanismo preventivo que envíe el tráfico por una ruta adicional en caso de que una de ellas falle.

Por otra parte, las redes *ad hoc*, presentan problemas de seguridad completamente diferentes a aquellos presentes en las redes cableadas. Los usuarios desearían disponer de certificados de seguridad que les asegure la identidad de las estaciones que les suministra información. Un escenario como un museo, puede ser el escenario ideal donde intrusos pueden acceder a los dispositivos de los clientes para obtener información. Sin embargo, los mecanismos de seguridad basados en la autenticación de los clientes por parte de servidores centrales son difíciles de adaptar a los entornos de computación ubicua donde los dispositivos además de disponer de recursos limitados de energía, pueden no utilizar ningún tipo de administración centralizada. Se debe seguir investigando para proponer modelos de autenticación basados en la distribución de la autoridad certificadora entre los diferentes dispositivos móviles.

VII. CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo ha sido demostrar que Bluetooth puede ser una tecnología candidata para proporcionar acceso a la red a las aplicaciones de computación ubicua. A pesar de que los interfaces de desarrollo tales como BlueZ y JSR-82 se encuentran todavía en una fase inicial de desarrollo, estos se muestran lo suficientemente maduros para su uso en aplicaciones de computación ubicua.

Se ha presentado UbiqMuseum, una aplicación *context-aware* experimental basada en Bluetooth y desarrollada en Java. UbiqMuseum combina la productividad y flexibilidad de la plataforma de desarrollo Java con las características de conectividad inalámbrica de Bluetooth.

La aplicación ha sido especialmente diseñada para ofrecer a los visitantes de un museo información precisa de las piezas de artes que están visitando. Además, dicha información se adapta de forma

transparente en función del idioma seleccionado, el nivel de conocimientos, y el tipo de dispositivo que utilice el usuario, mejorando así notablemente la experiencia de los usuarios.

La aplicación UbiqMuseum utiliza una arquitectura de red que combina la utilización de una red dorsal con una red aplicación. La red de aplicación utiliza únicamente tecnología Bluetooth, mientras que la red dorsal puede estar basada en tecnología de red local Ethernet o en tecnología de red local inalámbrica 802.11 en modo infraestructura. La red de aplicación integra uno o varios dispositivos de usuarios cercanos a cada una de las piezas de arte. Desde el punto de vista del usuario los puntos de información asociados con los objetos del museo son detectados automáticamente sin necesidad de intervención manual alguna, obteniendo información precisa de los objetos visitados. Se ha extendido el concepto de un dispositivo Bluetooth para crear una estructura scatternet, y se ha propuesto un algoritmo de creación de scatternets que permite hacer más flexible los mecanismos de establecimiento de la topología del sistema.

La evaluación de la aplicación realizada en el laboratorio se ha centrado en estudiar la productividad de la aplicación y el retardo del mecanismo *inquiry*. Se ha observado que la tecnología Bluetooth ofrece una productividad estable para distancias de hasta 14 m. Las pruebas realizadas también han demostrado que el retardo del mecanismo *inquiry* muestra un comportamiento estable a medida que aumenta la distancia entre las estaciones, pudiéndose establecer en 5 segundos el tiempo medio del procedimiento *inquiry*.

Finalmente, los autores de este trabajo son conscientes de que UbiqMuseum todavía requiere mejoras para poder ser utilizado en un entorno real. Sin embargo la aplicación desarrollada puede ser utilizada como banco de pruebas que permita evaluar nuevas aportaciones en aplicaciones reales relacionadas con la computación ubicua. En la Sección VI se han presentado alguna de las líneas de trabajo en las que se está trabajando.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por los proyectos TIC2003-00339 de la CICYT y PBC-03-001 de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, España.

REFERENCES

- [1] M. Weiser, "The computer for the 21st century," *Scientific American*, vol. 256, no. 3, pp. 94–104, 1991.
- [2] —, "Some computer science problems in ubiquitous computing," *Communications of the ACM*, July 1993.
- [3] Guanling Chen and David Kotz, "A survey of context-aware mobile computing research," Dept. of Computer Science, Dartmouth College, Tech. Rep. TR2000-381, November 2000. [Online]. Available: <ftp://ftp.cs.dartmouth.edu/TR/>
- [4] "MIT project Oxygen," Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA. Web page: <http://oxygen.lcs.mit.edu/>.
- [5] "The connected project," Swedish Institute of Computer Science (SICS) and Department of Computer Systems (DoCS), Department of Information Technology, Uppsala University. Web page: <http://www.sics.se/cna/connected/>.
- [6] "Smart-its: Interconnected embedded technology for smart artefacts with collective awareness," Lancaster University, ETH Zurich, University of Karlsruhe, Interactive Institute and VTT, Web page: <http://www.smart-its.org/>.
- [7] Jani Mäntyjärvi, Pertti Huuskonen, and Johan Himberg, "Collaborative context determination to support mobile terminal applications," *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, no. 5, pp. 39–45, October 2002.
- [8] Promoter Members of Bluetooth SIG, *Specification of the Bluetooth System - Core. Version 1.1*. Bluetooth SIG, Inc., February 2001.
- [9] J. Beutel and O. Kasten, "A minimal Bluetooth-based computing and communication platform," Computer Engineering and Networks Lab, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Tech. Rep., 2001.
- [10] Internet Engineering Task Force, "Manet working group charter," <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- [11] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer, and Samir R. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing," Request for Comments 3561, MANET Working Group, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, July 2003, work in progress.
- [12] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, and Jorjeta G. Jetcheva, "The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks," Internet Draft, MANET Working Group, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, February 2002, work in progress.
- [13] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," Request for Comments 3626, MANET Working Group, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, October 2003, work in progress.
- [14] R. Ogier, F. Templin, and M. Lewis, "Topology dissemination based on reverse-path forwarding (TBRPF)," Internet Draft, MANET Working Group, draft-ietf-manet-tbrpf-11.txt, October 2003, work in progress.
- [15] C. M. Calafate, R. García, and P. Manzoni, "Optimizing the implementation of a manet routing protocol in a heterogeneous environment," in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computer and Communication*, IEEE, Ed., July 2003.
- [16] C. M. Calafate and P. Manzoni, "A multi-platform programming interface for protocol development," in *11th Euromicro Conference on Parallel Distributed and Network based Processing*, IEEE, Ed., February 2003.
- [17] B. Kumar, "JSR-82: Java APIs for Bluetooth," Available at: <http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=82>.

- [18] P. Manzoni and J-C. Cano, "Providing interoperability between IEEE 802.11 and Bluetooth protocols for home area networks," *Journal of Computer Networks, Elsevier science*, vol. 42, no. 1, 2003.
- [19] Theodoros Salonidis, Pravin Bhagwat, Leandros Tassiulas, and Richard LaMaire, "Distributed topology construction of Bluetooth personal area networks," *IEEE Infocom 2001, Anchorage, Alaska*, April 2001.
- [20] C. Law and K. Y. Siu, "A Bluetooth scatternet formation algorithm," *Proceedings of the IEEE Symposium on Ad Hoc Wireless Networks*, November 2001.
- [21] S. Basagni and C. Petrioli, "A scatternet formation protocol for ad hoc networks of Bluetooth devices," *Proceedings of IEEE VTC Spring*, 2002.
- [22] Frank Siegemund and Michael Rohs, "Rendezvous layer protocols for Bluetooth-enabled smart devices," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 7, no. 2, July 2003.
- [23] Aaditeshwar Seth and Anand Kashyap, "Capacity of Bluetooth scatternets," Master's thesis, Computer Science and Engineering Department, Indian Institute of Technology Kanpur, India, 2002.
- [24] C. M. Calafate, M.P. Malumbres, and P. Manzoni, "A flexible and tunable route discovery mechanism for on-demand protocols," in *Proceedings of the 12th IEEE Euromicro Conference on Parallel Distributed and Network based Processing, A Coruña, Spain*, IEEE, Ed., February 2004, to appear.