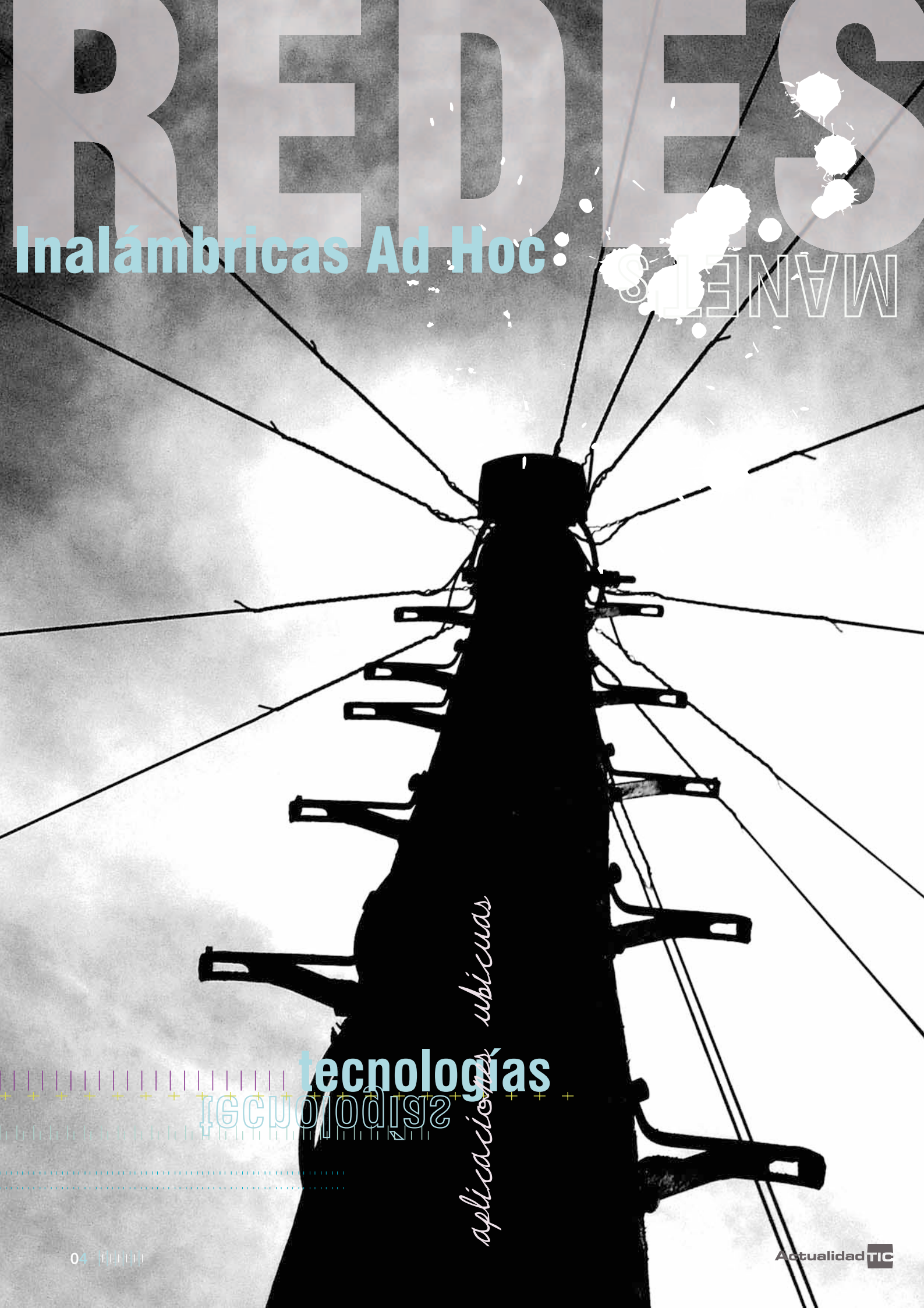


REDES

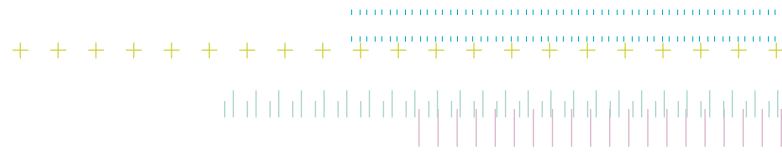
Inalámbricas Ad Hoc:

MANEJO



tecnologías
tecnología

aplicaciones ubicuas



Redes Inalámbricas Ad Hoc: una nueva tecnología para dar soporte a las aplicaciones ubicuas

Pietro Manzoni, Juan-Carlos Cano

El principal objetivo de las aplicaciones ubicuas es el establecimiento de entornos donde los dispositivos con capacidades de procesamiento y comunicaciones (teléfonos móviles, PDA, dispositivos sensores, electrodomésticos, libros electrónicos, etc.) puedan comunicarse de forma inteligente y consciente del entorno que le rodea de forma transparente al usuario. Los sistemas de comunicaciones y sobre todo las redes inalámbricas ad hoc (*Mobile ad hoc Networks - MANETs*) se presentan como una tecnología de comunicación ideal para este tipo de entornos y aplicaciones. En este artículo presentamos una aplicación experimental como ejemplo de utilización de las tecnologías inalámbricas Bluetooth e IEEE 802.11 en el área de la computación ubicua.

El término *computación ubicua*, es un término propuesto por Mark Weiser, e indica el objetivo de hacer disponible y a la vez invisible al usuario el uso de sistemas de cálculo en el entorno en el que el usuario se encuentra [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 más 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.

En el área de las aplicaciones ubicuas las comunicaciones juegan un papel fundamental. En concreto, las características de las redes inalámbricas *ad hoc* pueden ofrecer 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.

Estas redes requieren 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.

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 está 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.

Redes inalámbricas ad hoc

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), 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 80 propuestas de encaminamiento diferentes. Sin embargo, hoy día sólo tres de estas propuestas han resistido la fuerte competencia. Estas propuestas son las siguientes: el protocolo "Ad hoc On Demand Distance Vector" (AODV) [3], el protocolo "Dynamic Source Routing for Protocol Mobile Ad hoc Networks" (DSR) [4], y el protocolo "Optimized LinkState Routing Protocol" (OLSR) [5].

AODV y DSR utilizan encaminamiento reactivo, también conocido como encaminamiento bajo demanda, en el cual las rutas a utilizar para un determinado destino sólo 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 utiliza encaminamiento proactivo en donde 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.

La tecnología Bluetooth en las redes ad hoc

Recientemente, la tecnología Bluetooth [2] 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 las aplicaciones ubicuas debido a la habilidad de Bluetooth para localizar de forma transparente tanto dispositivos cercanos como los servicios que estos ofrecen.

Bluetooth se adapta a los requerimientos de las aplicaciones *context-aware* no sólo 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.

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.

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 una versión modificada del protocolo OLSR.

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 más 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 está 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 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 Java Expert Group JSR-82 [6]. 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.

- **Soporte 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.

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 [7].

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.

Conseguir una estructura de scatternet óptima está siendo objeto de numerosas investigaciones. 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.

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.

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. En estudios anteriores se ha visto que limitar a cinco el número máximo de esclavos en una piconet ofrece un compromiso equilibrado entre

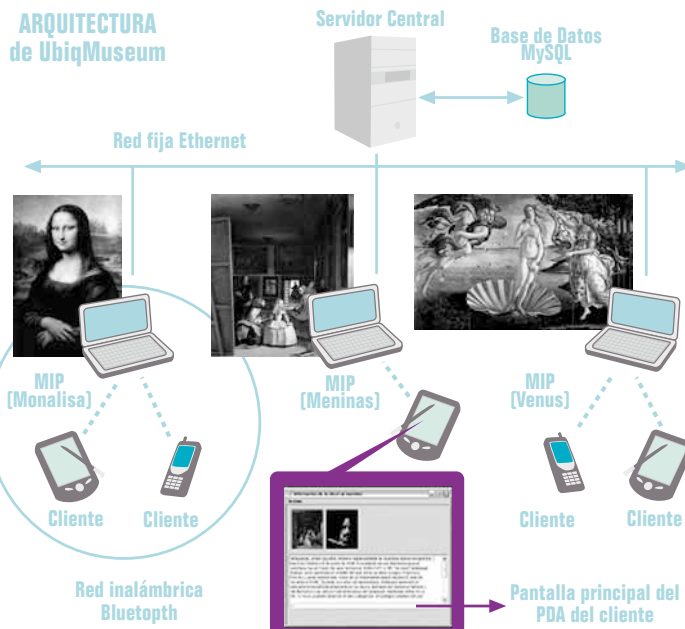


Figura 1: Arquitectura de UbiqMuseum.

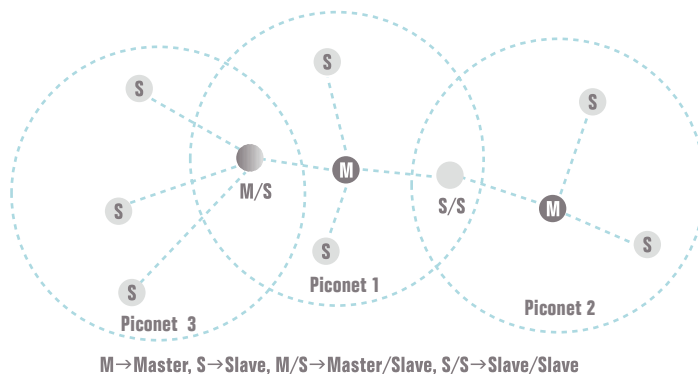


Figura 2: Topología ejemplo. Tres piconets conectadas en una estructura scatternet

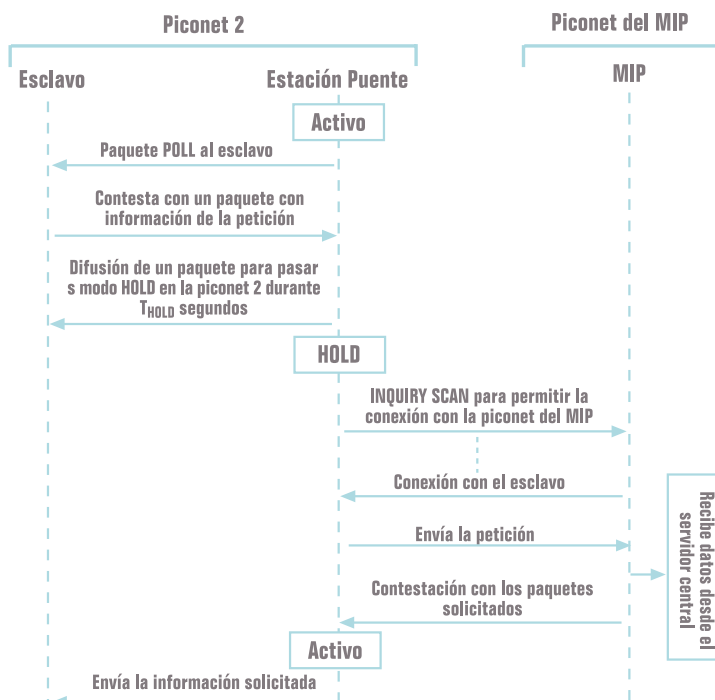


Figura 3: Secuencia de operaciones de una estación puente

TECNOLOGÍA

REDES INALÁMBRICAS

“ Los 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. ”

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 INQUIRYSCAN 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.

Referencias bibliográficas

- [1] M. Weiser, "The computer for the 21st century," Scientific American, vol. 256, no. 3, pp. 94-104, 1991.
- [2] Promoter Members of Bluetooth SIG, Specification of the Bluetooth System - Core, Version 1.1. Bluetooth SIG, Inc., February 2001.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] B. Kumar. "JSR-82: Java APIs for Bluetooth" Available at: <http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=82>.
- [7] 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.

Conclusiones

conclusiones

Hemos demostrado 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 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. ■