



REDES AD-HOC: EL PRÓXIMO RETO

Carles Gómez i Montenegro, Josep Paradells Aspas

*Wireless Networks Group, Intel Dept., Technical University of Catalonia (UPC)
{carlesgo, teljpa}@entel.upc.es*

ABSTRACT

El éxito de las comunicaciones inalámbricas y la progresiva reducción en el tamaño de los dispositivos con capacidad para comunicaciones de datos ha situado en un primer plano a las denominadas redes móviles ad-hoc o MANETs (Mobile Ad-hoc NETWORKs). En este artículo presentamos las características generales de este tipo de redes, haciendo énfasis en las nuevas condiciones que en ellas se asumen y que constituyen la problemática que la comunidad científica trata de resolver. Presentamos asimismo el estado del arte en temas clave como el encaminamiento y señalamos la familia de aplicaciones de vanguardia que este nuevo paradigma posibilita.

1. INTRODUCCIÓN

¿Qué es una red ad-hoc? Una primera aproximación a la respuesta a esta pregunta radica en el significado de la locución latina que caracteriza a este tipo de redes. El término *ad-hoc* significa literalmente *para esto* [1], con una connotación de *improvisación*. Es decir, una red ad-hoc es un tipo de red que se crea para un cierto propósito de forma temporal. De este modo, en un momento dado, un conjunto de dispositivos independientes puede establecer enlaces

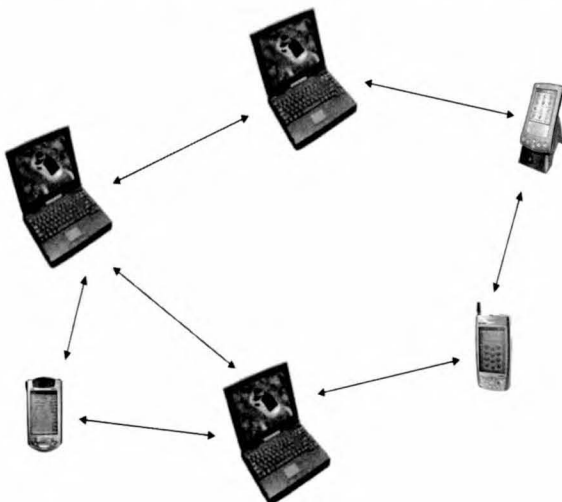


Figura 1: distintos dispositivos con capacidad computacional e interfaz inalámbrica pueden constituir, en un momento dado, una red ad-hoc

(inalámbricos) entre sí, para cooperar, autoconfigurarse y generar una red, que nace pese a la ausencia de una infraestructura de red previa. La Figura 1 muestra un ejemplo de este concepto.

1.1. Una perspectiva de pasado, presente y futuro

Las redes ad-hoc tienen un origen militar. De forma casi contemporánea al nacimiento de Internet (o de su primer embrión, ARPAnet), a principios de los 70, el ministerio de defensa americano se interesó por el nuevo proyecto Packet Radio Networks (PRNETs) [2]; su objetivo era posibilitar que las distintas unidades en un campo de batalla se pudieran comunicar entre sí mediante dispositivos radio, con libertad de movimiento y de forma cooperativa, de modo que cada nodo podía ser, en cualquier momento, tanto un dispositivo terminal como un conmutador de paquetes.

Durante los primeros años posteriores a su aparición, la investigación en redes ad-hoc ha permanecido en ámbitos militares. Sin embargo, en los últimos años podemos observar dos fenómenos tecnológicos que han tenido un impacto profundo en nuestra sociedad: el éxito de las comunicaciones inalámbricas y la progresiva reducción en el tamaño de los dispositivos con capacidad computacional y conectividad a redes. Este clima ha suscitado el interés masivo de la comunidad académica y científica por las redes ad-hoc, cuyas características suponen un reto para la ingeniería, pero que a su vez posibilitan un gran abanico de nuevas aplicaciones.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS REDES AD-HOC

Algunos de los aspectos más relevantes que caracterizan a las redes ad-hoc son los mostrados a continuación.

2.1. Nodos móviles

Los nodos de una red ad-hoc son móviles, pese a que esto no excluye a máquinas fijas, como los ordenadores de sobremesa. De todos modos, se asume que los dispositivos que forman parte de una red ad-hoc pueden cambiar de posición libremente y se comunican entre sí mediante enlaces inalámbricos.

2.2. Topología variable

La topología de la red es variable, de forma que un nodo que dispone de un enlace con un nodo vecino puede desplazarse, desaparecer del área de cobertura de su vecino y formar un nuevo enlace con un tercer nodo que caiga dentro de su área de cobertura.

2.3. Cambios de rutas

La rotura de enlaces debida a la movilidad de los nodos provoca que las rutas desde un origen hacia un destino puedan variar con mucha más frecuencia que en redes como Internet. La Figura 2 ilustra con un ejemplo este hecho.

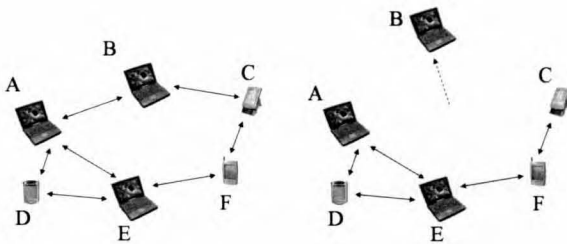


Figura 2: el nodo B se mueve y sale del área de cobertura de los nodos A y C. El tráfico que siguiera la ruta A-B-C deberá utilizar ahora otra ruta, como A-E-F-C

2.4. Dispositivos con capacidad limitada

Un dispositivo móvil debe ser portable y ligero, hecho que implica restricciones a nivel hardware y software. Por otro lado, el tiempo de vida de tales dispositivos viene condicionado por la duración de su batería, que en muchos casos se limita a unas pocas horas [3].

2.5. Limitaciones de los enlaces inalámbricos

La comunicación se efectúa a través de enlaces inalámbricos, que se caracterizan por tener un ancho de banda reducido y ser más propensos a errores que los enlaces fijos [4, 5]. Motivado por la duración limitada de su batería, generalmente transmiten con poca potencia y por ello presentan un limitado alcance que va, dependiendo de las tecnologías, de unos pocos metros a la centena. Este tipo de redes compensan el limitado alcance con la colaboración. Los nodos realizan funciones de repetidor para permitir que dos nodos sin visibilidad directa entre ellos puedan llegar a comunicarse.

2.6. Ausencia de infraestructura

Un cambio significativo frente a los enfoques clásicos en las arquitecturas de redes tradicionales, es que en redes ad-hoc no existe por defecto ningún tipo de entidad centralizada o infraestructura. No se distingue entre dispositivos terminales y enrutadores, de forma que cualquier nodo

puede desempeñar ambos papeles en cualquier momento. Por otro lado, el enfoque clásico de cliente-servidor bajo el cual una gran cantidad de servicios se ejecutan habitualmente en Internet (resolución de nombres, asignación de direcciones, configuración de puerta de enlace, servicios de seguridad, etc) no es válido en una red ad-hoc, porque ningún nodo actúa a priori como servidor.

3. RETOS Y ASPECTOS CRÍTICOS DE LAS REDES AD-HOC

Las características mencionadas en el punto anterior constituyen una problemática con implicaciones en todos los niveles de una comunicación. Por tanto, las redes ad-hoc suponen un nuevo reto, que en algunos casos se podrá afrontar mediante adaptación de los protocolos existentes, mientras que en otros resultará imprescindible crear nuevos mecanismos. En el presente apartado se identifican algunos ámbitos críticos.

3.1. Arquitectura de protocolos

Internet ha aparecido en los últimos tiempos como la Red universal. La tecnología TCP/IP ha demostrado su capacidad de adaptarse a una gran variedad de entornos, aunque en algunos casos haya sido pagando el precio de una cierta degradación en sus prestaciones [4, 6]. Por tanto, TCP/IP es una opción razonable como arquitectura de protocolos para los dispositivos ad-hoc, hecho que además permitiría la integración de los dispositivos ad-hoc en Internet. Sin embargo, ciertos escenarios ad-hoc justifican por sí mismos el uso de una arquitectura de protocolos distinta [7], mejor adaptada a un tipo concreto de necesidades.

Por otro lado, al plantear la idoneidad de una cierta arquitectura de protocolos para los nodos ad-hoc, podemos considerar capas funcionalmente independientes, donde una capa proporciona un servicio a la capa inmediatamente superior (filosofía del modelo OSI), o bien una arquitectura con operación coordinada entre capas cualesquiera. Varios estudios demuestran que se pueden obtener beneficios significativos utilizando este último planteamiento en redes ad-hoc [8].

3.2. Nivel de enlace

Existen distintas tecnologías de nivel de enlace que permiten conectividad inalámbrica en modo ad-hoc. En el ámbito de las redes de área local, la familia IEEE 802.11 está experimentando un gran éxito y buena parte de la investigación llevada a cabo en ad-hoc asume el uso de esta tecnología. En el campo de las redes de área personal, de alcance más corto, tecnologías como Bluetooth (o bien IEEE 802.15.1) y la reciente ZigBee (IEEE 802.15.4) parecen estar bien posicionadas para usos distintos. Bluetooth pretende, esencialmente, eliminar los cables entre dispositivos electrónicos domésticos o de uso personal. Por su parte, ZigBee está diseñado como interfaz

inalámbrico para construir redes de sensores con batería de muy larga duración (medida en meses o incluso en años), bajo coste y utilización baja e infrecuente de la red.

3.3. Encaminamiento

Este es uno de los temas centrales en redes ad-hoc. Por este motivo, emplazamos al lector a ver el punto 4 de este mismo artículo, que dedicamos íntegramente a este campo. Para comprender la complejidad del tema, sólo se debe pensar en que cualquier nodo hace funciones de encaminador y que estos pueden cambiar a causa de su movilidad. Los protocolos de encaminamiento deben ofrecer, a pesar de la movilidad de toda la red, un camino de origen a destino, si este existe.

3.4. Nivel de transporte

El protocolo TCP, ampliamente usado en Internet para proporcionar fiabilidad extremo a extremo, sufre una degradación de sus prestaciones cuando se utiliza sobre redes ad-hoc. Esto se debe a los problemas propios de los enlaces inalámbricos, la rotura de estos enlaces debida a la movilidad de los nodos, y la reducción de ancho de banda disponible debido a tráfico de control en la red. Existen varias propuestas de modificaciones y mejoras para el uso de TCP en redes ad-hoc [9, 10, 11]. Por otro lado, existen propuestas de protocolos de transporte nuevos, específicamente diseñados para las peculiaridades de este tipo de redes [12].

3.5. Descubrimiento de servicios

El usuario de una red pretende ejecutar servicios sobre la misma. Por ello, un dispositivo debe poder descubrir qué servicios están disponibles en una red y qué nodos los proporcionan. Teniendo en cuenta las características de las redes ad-hoc, deben plantearse mecanismos que permitan elegir adecuadamente a los nodos responsables de la provisión de un cierto servicio, y asimismo, los procedimientos necesarios para descubrir la existencia de tales servicios por parte del resto de nodos de la red.

3.6. Consumo de batería

Como hemos mencionado, los dispositivos de una red ad-hoc pueden tener una autonomía limitada, debido a su reducida capacidad de batería (ver Figura 3). Por ello, se debe tener en cuenta la implicación que resulte del uso de cualquier mecanismo en cuanto al consumo de energía. Con el ánimo de reducir el consumo al mínimo, los dispositivos sobre los que se construyen los nodos de red deben ser lo más simples posible y con estrategias para que el interfaz radio y el propio programa de control pueda pasar a modo de bajo consumo en caso de inactividad. Pese a que esta consideración es aplicable a todas las capas, algunos de los aspectos más significativos son los siguientes:

3.6.1. Impacto del nivel de enlace y físico en el consumo de batería

Se debe evitar la realización de retransmisiones innecesarias y de colisiones en el canal de acceso, intentar usar *slots* contiguos y pasar a modo reposo siempre que sea posible.

3.6.2. Impacto del nivel de red en el consumo de batería

Reducir la frecuencia de mensajes de control en la medida de lo posible ahorra energía. Asimismo, el nivel de energía disponible en un dispositivo puede ser una métrica relevante a tener en cuenta para el encaminamiento, como indica la propuesta Power Aware Routing (PAR) [13].

3.7. Seguridad

Servicios de seguridad como autenticación, privacidad y disponibilidad deben poder ser proporcionados también en redes ad-hoc. Cifrado y autenticación requieren el uso de claves criptográficas que son difíciles de suministrar sin un control administrativo definido. En cuanto a disponibilidad, nuevos ataques son posibles, como por ejemplo, el agotamiento de batería. Finalmente, los protocolos de encaminamiento ad-hoc deben securizarse.



Figura 3: distintos tipos de PDAs, teléfonos inteligentes y portátiles; estos dispositivos tienen en común su corta duración de batería

3.8. Calidad de servicio

La problemática asociada a garantizar un cierto perfil de calidad de servicio en las redes tradicionales crece sobremedida en redes ad-hoc, a causa de la movilidad de los dispositivos y su capacidad, a priori reducida. Sin embargo, existen varios esquemas que permiten encontrar rutas óptimas de acuerdo con el tipo de servicio que requiera un cierto flujo de datos [14, 15].

4. ENCAMINAMIENTO

El reto que ha cautivado a un mayor número de investigadores en redes ad-hoc y que ha dado lugar a una mayor cantidad de producción científica es la resolución del problema del encaminamiento. Las limitaciones en ancho de banda y las frecuencias de roturas de enlaces no permiten que los protocolos de encaminamiento existentes en Internet para sistemas autónomos (RIP, OSPF) sean adecuados para estos entornos.

En ad-hoc, no existe una única estrategia de encaminamiento posible o válida, sino que podemos encontrar que cada uno de los distintos enfoques realizados hasta el momento puede resultar especialmente adecuado para un tipo de escenario en concreto. Debemos tener en cuenta que los patrones de movilidad de los nodos, las características de los dispositivos a considerar y el tipo de tráfico que éstos deben intercambiar determinarán unas condiciones específicas que pueden diferir significativamente según los casos. De este modo, la paleta de protocolos de encaminamiento es amplia y rica en características.

Los protocolos de encaminamiento en redes ad-hoc pueden dividirse en las siguientes categorías: unicast, multicast y broadcast. En este artículo nos centraremos en los primeros, es decir, los que resuelven cómo llegar desde un origen hasta un único destino.

Una primera clasificación de los protocolos de encaminamiento unicast consiste en identificar dos grandes grupos de protocolos: los proactivos y los reactivos. Por otro lado, existe un conjunto de protocolos híbridos, que combinan características de ambos.

En la actualidad, dos protocolos proactivos (OLSR y TBRPF) han sido estandarizados como RFC. Por su parte, un protocolo reactivo (AODV) también dispone de RFC, mientras que todo apunta a que un segundo protocolo reactivo (DSR) complete dentro de poco el cuarteto de protocolos estandarizados. De este modo, dos mecanismos de cada tipo gozarán de un estatus que les situará como protocolos preferentes para su uso en Internet.

4.1. Protocolos de encaminamiento proactivo

El encaminamiento proactivo busca mantener las tablas de

los nodos permanentemente actualizadas, de forma que cuando un nodo quiera enviar datos a otro, ya disponga de la información necesaria para alcanzar a su destino. En términos generales, esto supone un intercambio periódico de información entre los nodos, y por tanto, la existencia de un overhead de fondo en la red. Sin embargo, la disponibilidad de rutas en cualquier momento permite que el retardo extremo a extremo asociado a la transmisión de un paquete sea bajo, puesto que cuando un nodo quiere mandar un paquete, ya sabe hacia dónde debe mandarlo.

En cuanto al estado del arte de los protocolos proactivos, los siguientes son los dos protocolos más relevantes en la actualidad, siendo el primero el más popular, puesto que la estandarización del segundo se ha producido pocas semanas antes de la elaboración del presente artículo.

4.1.1. Optimized Link State Routing protocol (OLSR)

OLSR [16] es un protocolo de estado del enlace. Su funcionamiento se basa en la elección de nodos especiales denominados MultiPoint Relays (MPRs) que son los encargados de distribuir el tráfico de control por toda la red, indicando los enlaces que existen entre sus nodos. Como se puede observar en la Figura 4. Este esquema mejora sustancialmente la estrategia de inundación clásica, reduciendo el tráfico de control y, por tanto, consumiendo menos ancho de banda. Un nodo descubre a sus vecinos mediante el envío de mensajes *Hello* y calcula sus rutas minimizando el número de saltos de origen a destino.

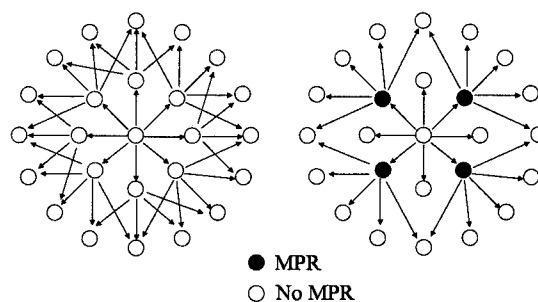


Figura 4: el uso de MPRs permite difundir información de control por toda la red reduciendo el overhead asociado.

4.1.2. Topology dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)

TBRPF [17] es, como en el caso anterior, un protocolo de estado del enlace. Se basa en el cálculo de un árbol con raíz en el nodo origen proporcionando caminos a todos los nodos alcanzables, mediante información parcial de la topología de la red y una modificación del algoritmo de Dijkstra. El protocolo optimiza el descubrimiento de vecinos mediante el envío de mensajes de control diferenciales (envía la diferencia con respecto al anterior), de modo que se minimiza el overhead asociado si no hay cambios en la red.

4.1.3. Otros protocolos proactivos

Como ya hemos mencionado, la colección de protocolos de encaminamiento en redes ad-hoc es grande y sus principios son muy diversos. Algunos ejemplos proactivos que han gozado de relevancia son los siguientes: Destination Sequenced Distance Vector (DSDV), una adaptación para ad-hoc del algoritmo clásico de Bellman-Ford y el protocolo RIP; Source Tree Adaptive Routing (STAR), protocolo de estado del enlace que usa el algoritmo de Dijkstra en cada nodo y Cluster Switch Gateway Routing (CSGR), que agrupa a los nodos en *clusters* e introduce una jerarquía dentro de la red [22, 23].

4.2. Protocolos de encaminamiento reactivo

En oposición al funcionamiento del encaminamiento proactivo, los protocolos reactivos pretenden buscar las rutas bajo demanda entre un nodo origen y un destino. De este modo, cuando un nodo debe mandar un paquete, inicia un mecanismo que le permite averiguar qué camino debe seguir ese paquete. Una desventaja de este planteamiento es el retardo adicional necesario para descubrir una ruta. Sin embargo, el overhead de encaminamiento se puede reducir hasta cero si ningún nodo debe mandar información.

Los siguientes dos protocolos reactivos acumulan una relativa antigüedad, de modo que han sido objeto de simulaciones y pruebas de campo durante los últimos siete años en el primer caso y durante la última década en el segundo.

4.2.1. Ad-hoc On-demand Distance Vector routing (AODV)

AODV [18] consiste en una propuesta planteada para resolver los problemas del protocolo proactivo DSDV. AODV inicia un proceso de descubrimiento de ruta cuando un nodo desea transmitir información. Para ello, como ilustra la Figura 5, difunde paquetes de petición de ruta (RREQ) por la red, hasta que estos alcanzan al propio

destino, o bien a un nodo que conoce cómo llegar al destino. En cualquier caso, este último nodo responde al origen, enviando un mensaje de respuesta (RREP). Los nodos que encaminan la respuesta hacia el origen guardan en sus tablas de encaminamiento la relación entre el nodo originador del RREP y el nodo a través del cual les ha llegado este paquete. Así, cada nodo sabe cuál es su *next hop* para alcanzar un destino dado. Existen ciertos mecanismos de mantenimiento de rutas y la información de las tablas de encaminamiento es borrada tras expirar un tiempo de vida determinado.

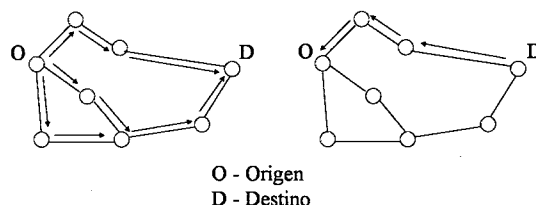


Figura 5: descubrimiento de ruta con AODV; el primer paquete de petición de ruta que llega al destino genera la respuesta por parte de éste

Así, no se mantiene información para nodos inactivos.

4.2.2. Dynamic Source Routing (DSR)

Este protocolo [19] consta de una fase de descubrimiento de ruta bajo demanda y de otra fase de mantenimiento de rutas. La diferencia fundamental con respecto a AODV es que durante el descubrimiento de ruta, los paquetes de petición de ruta almacenan en su cabecera la lista de nodos por los cuales pasan. Cuando uno de estos paquetes alcanza a un destino u otro nodo que sabe cómo llegar al destino, este último nodo envía la respuesta al nodo origen incluyendo igualmente la lista de nodos por los cuales ha pasado la petición de ruta. De este modo, todo paquete de datos transmitido desde el origen, incluye en su cabecera la ruta completa que debe seguir. La Figura 6 presenta un ejemplo de este mecanismo.

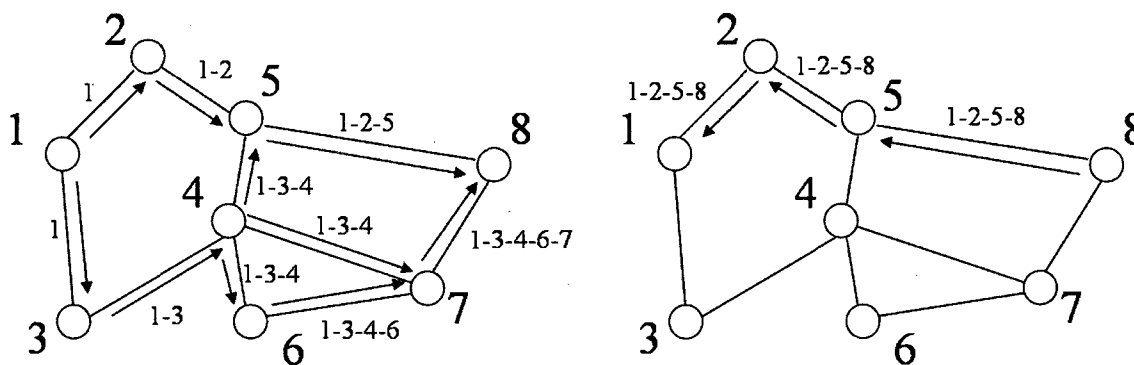


Figura 6: descubrimiento de ruta con DSR; los paquetes de petición de ruta almacenan los nodos por los cuales han pasado

4.2.3. Otros protocolos reactivos

Algunos de los ejemplos más representativos del resto de protocolos reactivos propuestos son los siguientes: Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA), un protocolo basado en el concepto de inversión de enlaces; Associativity Based Routing (ABR), basado en el envío de mensajes periódicos breves entre nodos adyacentes para garantizar la asociatividad entre ambos; o por último, Location Aided Routing (LAR), que aprovecha información de localización para reducir la zona en la cual realiza descubrimientos de rutas [22, 23].

4.3. Protocolos de encaminamiento híbrido

Las estrategias reactiva y proactiva son dos puntos extremos en cuanto a concepción de encaminamiento en redes ad-hoc. Sin embargo, existiría un conjunto de grises entre estos dos extremos, que pueden resultar apropiados para ciertos entornos. En esta línea se han definido varias propuestas, la más popular de las cuales es el denominado Zone Routing Protocol (ZRP) [24].

Este protocolo se basa en la definición de zonas en una red ad-hoc, dentro de las cuales se realiza encaminamiento proactivo. Sin embargo, el protocolo funciona de forma reactiva entre zonas.

Una propuesta reciente es el Sharp Hybrid Adaptive Routing Protocol (SHARP) [25], que constituye una mejora frente al ZRP, dado que permite que el radio de las zonas proactivas crezca o se reduzca de forma sensible a la movilidad de los nodos y el patrón de tráfico intercambiado en la red. Esto tiene un impacto significativo con respecto al retardo extremo a extremo y tasa de pérdidas de los paquetes de datos.

5. APLICACIONES Y ESCENARIOS DE USO PARA LAS REDES AD-HOC

Podemos distinguir dos tipos de escenarios para los cuales se prevé el uso de redes ad-hoc: las redes ad-hoc puras, donde no existe infraestructura, y las redes híbridas, que combinan una red ad-hoc con nodos que proporcionan acceso a redes como Internet. Organismos como el IRTF (Internet Research Task Force) han identificado que tales arquitecturas híbridas constituyen los escenarios de uso común con mayor potencial para las redes ad-hoc [20].

5.1. Redes ad-hoc puras

Hay entornos donde la ausencia de infraestructura evidencia la alternativa ad-hoc como única opción para proporcionar comunicaciones entre dispositivos. En otros casos, la existencia de infraestructura es posible, pero supone un coste que con una red ad-hoc resulta nulo. Algunos ejemplos son los siguientes:

5.1.1. Aplicaciones colaborativas

Dispositivos como ordenadores portátiles, PDAs o algunos teléfonos móviles avanzados se han convertido en herramientas de trabajo imprescindibles para varios sectores en el mercado actual. Esta tendencia está alcanzando asimismo a estudiantes y a otros segmentos de la población.

La conectividad ad-hoc permite que los terminales de cualquier grupo de personas puedan construir una red instantáneamente cuando éstas estén concentradas, como por ejemplo en conferencias o reuniones. Así se posibilita el intercambio de información entre los asistentes, o el uso de aplicaciones colaborativas.

5.1.2. Operaciones de rescate y situaciones de emergencia

En algunos casos, establecer comunicaciones mediante los canales habituales como Internet puede no ser posible debido a que tal infraestructura no existe, no es accesible o incluso ha resultado dañada debido a algún accidente o catástrofe. En tal caso, resulta apropiada una solución ad-hoc.

5.1.3. Comunicaciones entre vehículos

Existen proyectos cuya finalidad es dotar con la capacidad de establecer comunicación ad-hoc a vehículos de carretera. Esto permite que tales vehículos puedan intercambiarse información, por ejemplo, para notificar accidentes, cortes de tráfico en la carretera o cualquier tipo de evento imprevisto que deba ser conocido por los conductores.

5.1.4. Redes de sensores

Otra aplicación de las redes sin infraestructura consiste en el uso de una colección de sensores para la realización de medidas. Tales dispositivos pueden crear una red ad-hoc para comunicarse entre sí y transmitir su información. Uno de los proyectos más importantes en esta línea es el Smart Dust de la universidad de Berkeley [21], que ha desarrollado dispositivos que miden estímulos físicos y/o químicos,



Figura 7: distintos tipos de sensores con capacidad de transmisión de datos por interfaz radio: a) sensores MICA2DOT de Crossbow [26] y b) sensor de Smart Dust

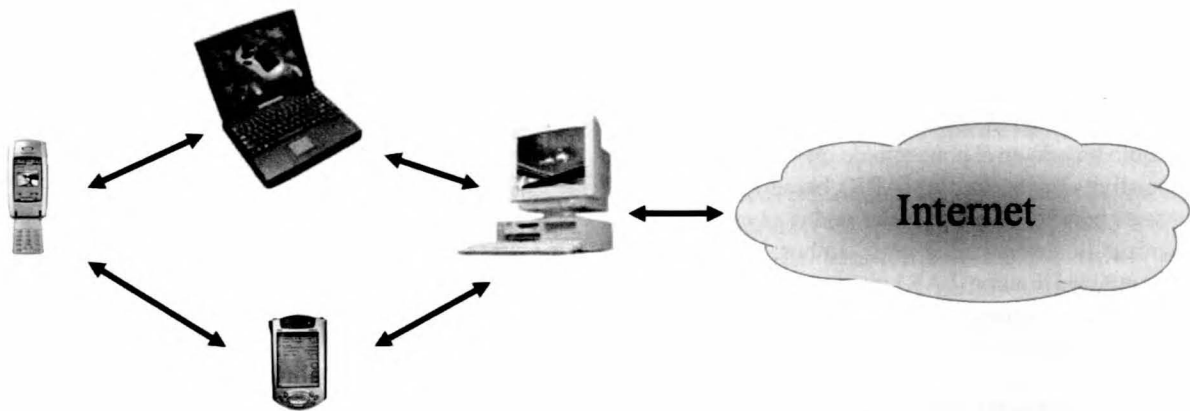


Figura 78: red híbrida; los distintos dispositivos constituyen una red ad-hoc, pero uno de sus nodos (el PC de sobremesa) actúa como nodo de infraestructura proporcionando acceso a Internet

que disponen de capacidad de comunicaciones. El tamaño de tales dispositivos es de aproximadamente un milímetro cúbico. La Figura 7 muestra ejemplos de este tipo de dispositivos.

5.2. Redes híbridas

Las redes híbridas disponen de nodos de infraestructura junto a nodos puramente ad-hoc (ver Figura 8). Dos ejemplos de uso de tales arquitecturas son las redes corporativas y las redes domésticas.

5.2.1. Redes corporativas

Se trata de un tipo de redes destinadas a cubrir uno o más edificios cercanos, en ámbitos como una empresa o un campus universitario. En este escenario existirían los nodos de infraestructura junto a dos tipos de nodos ad-hoc: nodos fijos (alimentados por red eléctrica y con las características de un PC de sobremesa) y nodos móviles (de tamaño reducido como una PDA), con poca batería. Cualquiera de estos dos tipos de dispositivos ad-hoc puede actuar como *router*, pero los primeros disponen de características apropiadas para ser usados con mayor prioridad. Por otro lado, la infraestructura de la red radicaría en puntos de acceso y *gateways* de salida a Internet.

5.2.2. Redes domésticas

Internet está llegando de una forma progresiva a dispositivos de características muy distintas, de modo que la capilaridad de la Red crece. Varias líneas de investigación en domótica apuntan a viviendas cuyos dispositivos están conectados a Internet, de modo que son configurables y accesibles de forma remota. Nos referimos tanto a ordenadores (de sobremesa, portátiles o de bolsillo) como

a electrodomésticos dotados de una cierta inteligencia, e incluso a objetos cuya vinculación con las redes podría parecernos impensable a día de hoy. El uso de interfaces inalámbricas de transmisión y el soporte para conectividad ad-hoc puede resultar una solución clave en estos escenarios.

6. SUMARIO

En este artículo hemos definido el concepto de red ad-hoc y hemos contextualizado este tipo de redes en su marco histórico y socioeconómico. A continuación hemos presentado sus características generales y sus aspectos críticos, indicando varias soluciones planteadas para cada uno de ellos. Hemos tratado con detalle el área del encaminamiento en redes ad-hoc y hemos descrito brevemente los principios de funcionamiento de sus protocolos más relevantes. Finalmente, hemos mostrado los distintos tipos de aplicaciones que se pronostican o empiezan a existir para este tipo de redes, que pueden llegar a convertir la tecnología ad-hoc en un elemento muy presente en nuestras vidas en un futuro próximo.

7. REFERENCIAS

- [1] Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, <http://www.rae.es>
- [2] R. Kahn et al., «Advances in Packet Radio Technology», Proceedings of the IEEE 66:1468-1496, Noviembre 1978.
- [3] RIU253 project, D2.1, «Survey on services, terminals and applications available», <http://www-riu253.upc.es>, 2003.

- [4] RIU253 project, D3.1, «Protocol options and their relation with the wireless packet protocols», <http://www-riu253.upc.es>, 2003.
- [5] A. Calveras, J. Paradells, C. Gómez, M. Catalán, J.C. Vallés, «GPRS and WLAN real networks IP level characterization», IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal processing (PACRIM'03), Victoria, Canada, Agosto 2003.
- [6] Hari Balakrishnan, Srinivasan Seshan, Elan Amir, Randy H. Katz. «Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks» Proc. 1st ACM Conf. on Mobile Computing and Networking, Berkeley, CA, Noviembre 1995.
- [7] http://wins.rockwellscientific.com/WST_Design_HW.html
- [8] J. Lee, S. Singh, Y. Roh, «Interlayer Interactions and Performance in Wireless AdHoc Network», IRTF ANS Working Group Internet Draft, Septiembre 2003.
- [9] J. Liu and S. Singh, «ATCP: TCP for mobile ad hoc networks». IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 19(7):1300—1315, Julio 2001.
- [10] G. Holland, N. Vaidya, «Analysis of TCP performance over mobile ad-hoc networks», Proc. ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom'99, Seattle, Washington, USA, Agosto 1999.
- [11] K. Chen, Y. Xue, and Nahrstedt, «On setting TCP's congestion window limit in mobile Ad Hoc networks», Proc. ICC, Anchorage, USA, 2003.
- [12] K. Sundaresan, V. Anantharaman, H. Hsieh, R. Sivakumar, «ATP: a reliable transport protocol for ad-hoc networks», International Conference on Mobile Computing and Networking, Proc. of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, Annapolis, Maryland, USA, 2003
- [13] S. Singh, M. Woo, C.S. Raghavendra, «Power-Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks», Proc. of ACM/IEEE MobiCom'98 Conference, October 1998.
- [14] Insignia project, <http://comet.ctr.columbia.edu/insignia/>
- [15] R. Sivakumar, P. Sinha, and V. Bharghavan, «CEDAR: A Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing Algorithm» IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Special Issue on Wireless Ad Hoc Networks, vol. 17, no. 8, pp. 1454-1465, Agosto 1999
- [16] T. Clausen, P. Jacquet, «Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)», RFC 3626, Octubre 2003
- [17] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis, «Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)», RFC 3684, Febrero 2004.
- [18] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, «Ad hoc On Demand Distance Vector Routing (AODV)», RFC 3561, Julio 2003.
- [19] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Y.-C. Hu, «The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)», IETF MANET Working Group Internet Draft, Abril 2003.
- [20] L. Yang et al., «Common Wireless Ad Hoc Network Usage Scenarios», IRTF ANS Working Group Internet Draft, Octubre 2003
- [21] Smart Dust project: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust>
- [22] C.-K. Toh, «Ad Hoc Mobile Wireless Networks: protocols and systems», Prentice-Hall, 2002
- [23] C. Perkins, «Ad Hoc Networking», Addison-Wesley, 2001.
- [24] Z. Haas, M. Pearlman, P. Samar, «The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks», Internet Draft, Julio 2002.
- [25] V. Ramasubramanian, Z. Haas, E. Gün Sirer, «SHARP: A Hybrid Adaptive Routing ... In Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)», Annapolis, Maryland, Junio 2003
- [26] Crossbow site, <http://www.xbow.com>

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por la CICYT TIC2003-01748

BIOGRAFÍA



Carles Gómez i Montenegro es profesor del Departament d'Enginyeria Telemàtica de la UPC en la EPSC (Escola Politècnica Superior de Castelldefels). Ingeniero de telecomunicaciones desde el año 2002 por la ETSETB (Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona), ha participado en proyectos de investigación en el ámbito de las comunicaciones móviles con operadoras como Telefónica y Vodafone, empresas como Flash Networks y el proyecto europeo RIU253 (Recommendations for Internet Usage on 2.5G and 3G). Es coautor de varias publicaciones en congresos nacionales e internacionales y actualmente prepara su proyecto de tesis doctoral en el área de las redes ad-hoc.