

Desarrollo de nodos Mesh Wi-Fi autónomos como soporte a redes de telemedicina rural en zonas aisladas

Javier Simó¹, Pablo Osuna¹, Joaquín Seoane², Andrés Martínez³

¹Fundación EHAS, ETSI Telecomunicación, Ciudad Universitaria s/n – 28040 Madrid (España) Tel: +34 91 5495700. jsimo@ehas.org ; posuna@ehas.org .

²Departamento de Ingeniería Telemática. Universidad Politécnica de Madrid. jsp@dit.upm.es

³Departamento de Ciencias de la Comunicación II. Universidad Rey Juan Carlos. andres.martinez@urjc.es

Resumen

El programa EHAS trabaja activamente en el diseño e implementación de sistemas de telemedicina rural en países en desarrollo de América Latina. La provisión de diferentes servicios de telemedicina tales como teleformación, teleconsulta, mejoras en los sistemas de derivación de pacientes y la informatización del sistema de vigilancia epidemiológica, requieren de la adaptación de las tecnologías existentes para que se puedan desplegar redes de comunicación de voz y datos de bajo costo aptas para esos entornos. Este artículo presenta los trabajos de investigación que la Fundación EHAS ha desarrollado para lograr un router inalámbrico solar de bajo coste, autoconfigurable y de alta mantenibilidad, con soporte de QoS y capacidad para crear redes inalámbricas Wi-Fi de larga distancia y alta velocidad. Estas redes permiten el acceso a Internet y comunicación con la red telefónica básica a través de centralitas software de VoIP implementadas en los propios routers. El artículo presenta los trabajos de desarrollo del primer prototipo así como las fases de investigación actuales y futuras para un segundo prototipo.

1. Introducción

La atención sanitaria en establecimientos de salud rurales de países en desarrollo suele ser muy deficiente debido a la falta de medios materiales, la insuficiente cualificación de los técnicos de salud y la incomunicación con el resto de la red de salud; todo ello da lugar a serias dificultades para prevenir las enfermedades, realizar diagnósticos y tratamientos adecuados o atender de forma debida las emergencias médicas.

Ante esta situación el Programa EHAS [1] apuesta por introducir sistemas de comunicación y telemedicina para el personal sanitario rural, de forma que permitan un mejor uso de los recursos ya existentes y una mejor coordinación del sistema completo de atención de salud. Las condiciones particulares de las regiones rurales suelen condicionar grandemente las tecnologías de comunicación que se pueden usar: la falta de recursos hace inapropiadas las redes de operador tales como la telefonía móvil, las infraestructuras cableadas y las redes satelitales; la inaccesibilidad de muchos lugares y la dispersión de la población sugiere el uso de tecnologías inalámbricas de largo alcance, y la falta de energía eléctrica y de técnicos cualificados también incide en qué tipo de tecnologías se pueden usar de forma sostenible. En EHAS se han empleado con éxito redes radio operando en las bandas

HF y VHF, ampliamente utilizadas para las comunicaciones de voz semi-dúplex, y que pueden ser aprovechadas también para comunicaciones de datos. No obstante, esta solución presenta algunos inconvenientes como la lentitud en la comunicación de datos, el alto consumo de los equipos, el alto coste de las instalaciones, la difícil adaptación a la red telefónica y el uso de frecuencias con licencia.

Una nueva línea de investigación abierta recientemente en EHAS se basa en la tecnología inalámbrica 802.11b. Dentro de esta tecnología, nuestro trabajo se ha centrado en las redes mesh Wi-Fi, cuya popularidad cada vez es mayor. Este tipo de redes pueden definirse como redes que se forman de forma espontánea sin ninguna infraestructura, constituyendo mallas que conectan un cierto número de nodos entre sí, y en que cada nodo puede ser al mismo tiempo estación de trabajo de un usuario, servidor o encaminador. Hemos evaluado este tipo de redes como una solución al contexto planteado por algunas de sus características:

- Basadas en una tecnología ampliamente conocida y popular: IEEE 802.11.
- Bajo coste, debido al uso de una tecnología madura y a la existencia del estándar Wi-Fi.
- Estructura descentralizada. En zonas rurales aisladas, donde gran parte del tiempo puede emplearse en desplazamientos, resulta fundamental que la tecnología minimice la administración y el mantenimiento.
- Alimentación e integración: a diferencia de otras tecnologías inalámbricas donde sus nodos exigen ingentes cantidades de energía, los nodos mesh sólo necesitan de una mínima energía, dotándoles de autonomía con una energía natural como pueda ser la solar. Además el hardware mesh es fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.
- Flexibilidad: un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos. Las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central.

En este artículo presentaremos el trabajo que nuestro grupo está realizando en el diseño de un router Mesh Wi-Fi que permita crear una red Mesh como sistema óptimo de telecomunicación para el entorno planteado. Aunque existen trabajos similares, como el desarrollado por el grupo TIER de la Universidad de Berkeley [2] o el grupo Inveneo [3], ninguno ofrece una solución completa que sea autoconfigurable y tenga soporte para calidad de servicio.

2. Componentes del router Mesh

El escenario típico de una zona rural aislada de un país en desarrollo tiene las siguientes variables de contorno: distancias largas de varias decenas de kilómetros, ausencia total de infraestructuras de comunicaciones, ausencia de electricidad y línea telefónica y una importante dificultad de accesibilidad física. Los componentes del router Mesh que especificaremos a continuación tratan de dar solución a estos problemas.

Estudiaremos por separado el hardware y software, dando cuenta de cuáles son las líneas de investigación que se están siguiendo en la actualidad y perfilando futuros campos de actuación.

2.1. Hardware

- Subsistema informático, que por imperativos de consumo y tamaño será un ordenador empotrado, una única placa con los elementos mínimos para un sistema de comunicaciones y las interfaces apropiadas para su interconexión a los otros subsistemas. Para nuestro primer prototipo en EHAS hemos escogido la placa Soekris net4521 de arquitectura x86. Los resultados obtenidos en las primeras instalaciones han sido satisfactorias. Sin embargo su consumo, alrededor de 5W, es alto para un subsistema solar de reducido tamaño. Actualmente estamos evaluando otras arquitecturas, en concreto ARM, que podrían reducir el consumo total hasta 1W.
- Subsistema wireless, responsable de la comunicación con el resto de la red y que constará de un mínimo de dos interfaces Wi-Fi, pigtails, cables de baja atenuación cuando se precise y antenas. En concreto estamos trabajando con dos modelos de tarjetas, Proxim Orinoco Gold y Senao Intersil Prism. Un nodo típico podría constar de una tarjeta conectada a una antena omnidireccional para acceso PtM en un radio de 15 km, y una o varias tarjetas conectadas a antenas direccionales para realizar enlaces PtP de hasta 50 km.
- Subsistema de alimentación solar, que tendrá todos los elementos para alimentar en DC el sistema informático tanto de día como de noche: panel solar, baterías, cargador/regulador y cableado de interconexión. Este subsistema dará solución a aquellas instalaciones que carezcan por completo de cualquier tipo de infraestructura eléctrica. Es importante remarcar que el coste y tamaño de este subsistema es directamente proporcional a la potencia

consumida. Un subsistema típico para un escenario de una región tropical y calculado para proveer una potencia de 3W durante las 24 horas del día sería el constituido por un panel solar de 22 Wp, un regulador de 3A y una batería de 17Ah.

- Subsistema de soporte estructural, que consistirá fundamentalmente de una caja estanca donde habrá de montarse el panel, con un mecanismo para girarlo y fijarlo en la orientación apropiada, y las antenas. También harán falta elementos de fijación al mástil o torre. Deberá incluir un sistema de ventilación y ser impermeable.

2.2. Software

El Sistema Operativo sobre el que tradicionalmente trabaja EHAS es una versión propia de Linux basada en la minidistro Pebble, derivada de Debian, que ocupa unos 77 MB. Al sistema operativo se le ha añadido la centralita software Asterisk de VoIP que posibilitará posteriormente en nuestras redes la descentralización de la conmutación de voz. Los controladores de las interfaces inalámbricas han sido cuidadosamente seleccionados para permitir modificar ciertos parámetros que mejorarán las prestaciones en los enlaces de larga distancia. En el nuevo prototipo en ARM estamos trabajando en una distribución aún mucho más pequeña, creada en este caso desde cero y a partir de aplicaciones como busybox o tinylogin.

3. Mejoras funcionales

En este apartado presentaremos algunas de las mejoras en las que estamos trabajando para la segunda versión del router Mesh: autoconfiguración, protocolo dinámico multisalto y el soporte de calidad de servicio. Además introduciremos dos aspectos más: el tema de seguridad y la gestión de red.

3.1. Autoconfiguración

Al no haber una infraestructura de red preexistente ni una jerarquía en un a red mesh, cada nodo se tiene que atribuir una dirección IP autónomamente, normalmente de rango privado; esto supone que esa dirección IP no tiene porque tener una relación determinada con las de los nodos vecinos, por lo que no es modo alguno evidente asegurar su unicidad. Nuestro grupo está buscando aún una solución óptima para este problema, con alternativas tales como explotar las capacidades de autoconfiguración de IPv6, u otras soluciones parciales ya desarrolladas que deberían ser evaluadas tales como PACMAN [4] o NOA-OLSR [5].

3.2. Protocolo dinámico multisalto

Para realizar el encaminamiento dinámico multisalto en redes mesh se han desarrollado muchos protocolos específicos que son capaces de encaminar paquetes entre nodos contiguos o no contiguos de la red, o entre cualquier nodo de la red y el exterior a través de un nodo pasarela, y ello sin importar que cada nodo tenga una dirección IP completamente independiente de los otros.

Si hay que destacar algunos, cabe señalar que los más implementados y estudiados son AODV [6], DSR [7] y OLSR [8], entre otros. Nuestro trabajo [9] hace mención a algunas pruebas de laboratorio que nos permitieron usar con éxito tanto AODV (implementación de la Universidad de Upsala) como OLSR (versión Qolyster) en cadenas estáticas ad-hoc. Los protocolos anteriormente citados establecen rutas que no siempre son óptimas debido a que usan como métrica el número de saltos, como demostró un grupo del MIT en [10]. Con frecuencia en redes mesh, cuando hay más de una ruta alternativa para unir dos nodos no contiguos, el camino con menor número de saltos usa algún enlace más lento e inestable; los protocolos anteriores escogen con frecuencia este tipo de rutas. De Couto et al. han propuesto una métrica llamada ETX [11], que tiene en cuenta el número medio de retransmisiones en cada enlace. El proyecto QOLSR [12] también se ha centrado en introducir QoS en OLSR, de forma que se tengan en cuenta informaciones de la capa MAC para determinar las rutas con mayor ancho de banda y menores retardo y jitter. Está pendiente un estudio comparativo en profundidad de las distintas alternativas.

3.3. Calidad de Servicio

El planteamiento de este trabajo es que las redes 802.11 pueden ofrecer una solución robusta, apropiada y de bajo coste para distribuir comunicaciones de voz y datos en zonas rurales apartadas. Lo visto hasta ahora puede resolver más o menos bien el problema de las comunicaciones de datos elásticos, ya que se ha visto cómo sacar lo mejor posible de esta tecnología para comunicaciones de muy largo alcance robustas y sostenibles, pero si queremos también proponer comunicaciones de tiempo real, es necesario asegurar una calidad de servicio en determinadas condiciones. En nuestro caso, las comunicaciones de telefonía son imperativas, ya que la telefonía es el servicio más demandado y prioritario para comunicar zonas rurales incomunicadas, y así se ha demostrado en la evaluación de impacto de los proyectos demostrativos previos del grupo EHAS [13]. Si adicionalmente se pueden proponer otros servicios de tiempo real como la videoconferencia, también podría ser de interés para algunas aplicaciones de telemedicina y tele-educación entre otras. El mayor problema asociado a la calidad de servicio en una torre de protocolos es que todas las capas deben contemplar el soporte de QoS. En 802.11 no se tiene este soporte. No obstante, el uso de ciertos procedimientos técnicos de control avanzado del tráfico en la capa IP puede permitir que al menos se de un tratamiento diferenciado a los distintos tipos de tráfico. La arquitectura de QoS de la que haremos uso es una adaptación de DiffServ [14], basada en la prioridad relativa de una determinada clase de servicio. Una limitación importante que nos encontraremos para repartir los recursos de una red 802.11 entre tráficos con distintas prioridades es que el caudal y el retardo de los enlaces inalámbricos deben ser estimados a priori, y sin embargo no se puede tener la certeza de que las prestaciones estimadas se vayan a conservar. Además, como hemos visto anteriormente, las

prestaciones dependen incluso de la intensidad del tráfico ofrecido a medida que nos aproximamos a la saturación, por lo que la necesidad de estimar las prestaciones del enlace es doblemente importante, ya que necesitaremos conformar el tráfico para garantizar que trabajamos en la zona cuasi-lineal de la curva caudal-carga ofrecida.

Algunos experimentos realizados por nuestro grupo han permitido demostrar en cadenas de nodos mesh que se puede garantizar una calidad de servicio diferenciada a voz, vídeo y datos elásticos si se pueden acotar las prestaciones de los enlaces [9]. Resultaría de interés para trabajos futuros que las prestaciones de los enlaces de la red se estimaran de forma dinámica y que el reparto de los recursos se adaptara a lo largo del tiempo a los cambios, ofreciéndose incluso un control de admisión adaptativo. De momento, es plausible hacer una previsión estática conservadora de las prestaciones de los enlaces en redes estáticas, y una configuración estática del control del tráfico para implementar servicios diferenciados adaptados a redes mesh según se ha dicho. En este caso, un deterioro de los enlaces de la red por debajo de las prestaciones estimadas supondría un riesgo para la calidad de servicio de las comunicaciones de tiempo real.

3.4. Seguridad y gestión de red

Existen otros dos aspectos que deberemos tener en cuenta en nuestra red: la seguridad y la gestión de red.

- Seguridad. Tradicionalmente las redes wireless han sido más inseguras que las redes cableadas. Esto se debe principalmente a que no es necesario el acceso físico a una red wireless para poder entrar en ella. WEP fue el primer mecanismo de seguridad en Wi-Fi pero pronto se demostró su vulnerabilidad. A raíz de este hecho se creó el grupo 802.11i que en la actualidad trabaja en dos protocolos: TKIP, compatible con tarjetas wireless antiguas y CCMP, diseñado sobre un nuevo hardware. Para acelerar el proceso de implementación de TKIP, Wi-Fi Alliance lanzó el estándar WPA, del que haremos uso en nuestras redes. Además de la protección en la capa 2, será conveniente aplicar protección a niveles superiores: IPSec (nivel 3) SSL (nivel 4), y SSH (nivel 7).
- Sistema de gestión de red. Actualmente nuestro equipo se encuentra diseñando un sistema de gestión de red basado en SNMP, RRDTool y envío de logs por email. Con este sistema podremos monitorizar el estado de los nodos y prevenir posibles problemas o averías.

4. Resultados

Hemos obtenido un primer prototipo basado en la placa Soekris de arquitectura x86 al que se ha instalado pebble-EHAS, una distribución Linux mantenida por nuestro grupo. Cuenta además con una centralita de VoIP Asterisk cuyos primeras pruebas han sido satisfactorias. Este primer prototipo actualmente está siendo instalado en nuestras redes de comunicación en Colombia y Perú. Además hemos realizado unas primeras pruebas de campo en enlaces de larga distancia con unos resultados muy

prometedores, llegando a enlazar 84 km con una velocidad de 1.5 Mbps.

Hemos identificado las posibles mejoras hacia una segunda versión y se han comenzado a realizar pruebas de laboratorio sobre los protocolos de encaminamiento dinámico multisalto y la calidad de servicio.

5. Discusión y futuro trabajo

En este artículo hemos presentado la línea de investigación que el grupo EHAS está desarrollando en el área de las redes Mesh Wi-Fi. Este tipo de redes cuentan con una serie de características que las hacen muy adecuadas como red de comunicaciones para los sistemas de telemedicina rural en los países en desarrollo, tanto desde el punto de vista de la conectividad de datos y voz, como de los servicios que soportarían. El mismo sistema de comunicación podría permitir la formación remota del personal sanitario rural y el acceso del mismo a fuentes de información actualizada de salud, rompiendo en alguna medida la sensación de aislamiento profesional. Se podría además utilizar el mismo sistema de comunicación de voz y datos para realizar consultas remotas sobre dudas diagnósticas o de tratamiento, mejorando así los procesos de atención médica. Además un sistema de envío de datos informatizado podría acabar con los dos graves problemas de los actuales sistemas de vigilancia epidemiológica, su lentitud y sus errores, permitiendo a su vez la rápida realimentación de la información a la zona rural. También los mismos sistemas pueden servir para coordinar adecuadamente la evacuación y atención de emergencias.

Algunas de las líneas de investigación que siguen abiertas y deberán ser continuadas por nuestro equipo en el futuro son:

- Evaluación de las distintas alternativas para la implementación de la autoconfiguración de red.
- Soporte de QoS y cálculo de prestaciones de enlaces de red de forma dinámica.
- Estudio comparativo de diferentes protocolos de encaminamiento dinámico multisalto.
- Evaluación comparativa y medida experimental de consumo de distintas placas basadas en ARM.
- Estudio del problema de la larga distancia en Wi-Fi y de su optimización.

Los trabajos realizados han sido cofinanciados por la Fundación EHAS y la Fundación Rafael Escolá.

Referencias

- [1] A. Martínez, V. Villarroel, J. Seoane, F. del Pozo. Rural Telemedicine for Primary Healthcare in Developing Countries. *IEEE Technology and Society Magazine*, Volume 23, Number 2, Summer 2004.
- [2] Eric Brewer, Michael Demmer, Bowei Du, Kevin Fall, Melissa Ho, Matthew Kam, Sergiu Nedeveschi, Joyojeet Pal, Rabin Patra, and Sonesh Surana. *The Case for Technology for Developing Regions*. /IEEE Computer/. Volume 38, Number 6, pp. 25-38, June 2.
- [3] Sitio web del Grupo Inveneo: URL: <http://www.inveneo.org/>.
- [4] K. Weniger: PACMAN: Passive Autoconfiguration for Mobile Ad hoc Networks, to appear in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC) Special Issue 'Wireless Ad hoc Networks'*, March 2005.
- [5] Kenichi Mase, Cedric Adjih. No Overhead Autoconfiguration OLSR. Internet draft mase-manet-autoconf-noolsr-00.txt, 26-May-05.
- [6] C. Perkins. E. Belding-Royer. S. Das. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF-RFC3561(experimental), July 2003.
- [7] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y.C. Hu. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). Internet-Draft manetdsr- 10.txt, July 2004.
- [8] T. Clausen, P. Jacquet Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) IETF-RFC3626(experimental), October 2003.
- [9] J. Simó, J. Seoane, R. Salazar. A QoS-aware Ad-Hoc Wireless Network for Isolated Rural Environments. In Proc. EUNICE 2005, July 2005.
- [10] D. S. J. de Couto et al. Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 33, N. 1, January 2003. architecture for sparse sensor networks. In Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols.
- [11] Douglas S.J. De Couto, Daniel Aguayo, John Bicket, Robert Morris. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. In Proc. ACM/IEEE Mobicom 03. September 2003.
- [12] H. Badis, K. Al Agha. QOLSR, QoS routing for Ad Hoc Wireless Networks Using OLSR. *European Transactions on Telecommunications*, Vol. 15, No. 4, 2005.
- [13] A. Martínez, V. Villarroel, J. Seoane, F. del Pozo. Analysis of information and communication needs in rural primary healthcare in developing countries *IEEE transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 9, N. 1, March 2005.
- [14] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Zh. Wang, W. Weiss. RFC2475: An architecture for Differentiated Services. IETF RFC, 1998.
- [15] B. Hubert. Linux Advanced Routing and Traffic Control. Julio de 2003. URL: <http://www.lartc.org>
- [16] W. Almesberger, J. H. Salim, and A. Kuznetsov. Differentiated Services on Linux. June 1999.