

REDES DE PAQUETES POR RADIO MULTIHOP

Oscar Somarriba

Departamento de Sistemas Digitales y Telecomunicaciones
Universidad Nacional de Ingeniería, Apdo. 5595. MANAGUA, NICARAGUA
oscars@ns.uni.edu.ni

RESUMEN — En algunos casos, tal como en la coordinación de ayuda en situaciones de emergencia, la red de telecomunicaciones no está disponible o está dañada; no obstante las comunicaciones de emergencia son un requerimiento indispensable. Aun más, podríamos enfrentar el reto de proveer comunicaciones en áreas rurales o en áreas donde no existe infraestructura de telecomunicaciones.

Una alternativa atractiva para comunicación de datos en áreas sin infraestructura de telecomunicaciones es el uso de la tecnología de *Paquetes por Radio (PR)*.

En este artículo se presenta la experiencia en el diseño y aplicaciones de técnicas de *PR* desarrolladas en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en Nicaragua, que incluye aspectos como Docencia, Proyectos e Investigación. Prácticas de laboratorio en comunicaciones digitales, acceso inalámbrico a INTERNET, diseño de sistemas de monitoreo remoto, así como el desarrollo de modelos y herramientas de análisis novedosos; destacan en el uso y estudio de ésta tecnología en el contexto nacional.

1. INTRODUCCION

Los sistemas actuales inalámbricos, tales como el sistema de telefonía celular, están soportados por estaciones bases fijas enlazadas por la red cableada. En algunos

casos, tal como en la coordinación de ayuda en situaciones de emergencia, la red de telecomunicaciones no está disponible o está dañada, y este tipo de arquitectura no funciona. Aun más, podríamos enfrentar el reto de proveer comunicaciones en áreas rurales o en áreas donde no existe infraestructura de telecomunicaciones.

Una alternativa atractiva para comunicación de datos en áreas sin infraestructura de telecomunicaciones es el uso de la tecnología de *PR*. Esta tecnología surge como una aplicación de las técnicas de conmutación de paquetes en canales de radio, en los inicios de los años setentas.

La experiencia en redes de *PR* desarrollada en Nicaragua por UNI es presentada aquí. En lo que sigue del artículo se describen las Redes de Paquetes por Radio (*REDPRs*) en la sección 2. En la sección 3 se presentan las aplicaciones de las *REDPRs* en Nicaragua. Los modelos usados para analizar el desempeño de *REDPRs* son brevemente delineados en la sección 4. En la sección 5 presentamos las conclusiones de este artículo. Finalmente, la sección 6 es dedicada a los reconocimientos.

2. REDES DE PAQUETES POR RADIO

Las redes de Paquetes por Radio pretenden soportar comunicaciones entre usuarios sobre una amplia área geográfica donde el uso de líneas telefónicas es difícil o no es posible. Tales redes pueden ser convenientes para aplicaciones de emergencia o militares, usuarios móviles,

Protocolos de Acceso Múltiple

Para transmitir mensajes, los protocolos de acceso múltiple rigen como un nodo de PR debe de usar el espectro radio eléctrico.

Varios *esquemas de acceso múltiple* han sido propuesto principalmente en el dominio del tiempo (TDMA = Time Division Multiple Access). En particular en el caso de una sola frecuencia y para redes de PR terrestres se tienen: los protocolos ALOHA, los protocolos de Acceso por Monitoreo de portadora (en inglés CSMA = Carrier Sense Multiple Access) y protocolos Libres de conflictos. El primer protocolo usado en PR fue el ALOHA puro en una modalidad centralizada en la Universidad de Hawai en 1970. Con el protocolo *ALOHA puro*, cada estación puede transmitir un paquete cada vez que lo requiera de una forma no coordinada. Cuando el paquete llega al receptor, éste enviará un paquete de reconocimiento, de tal forma que el transmisor conozca de forma casi inmediata si el paquete ha sido recibido o ha colisionado. Dos paquetes o más paquetes se dicen que colisionan cuando ellos se traslapan en el tiempo en el nodo receptor, a esto también llamamos conflicto. Cuando dos o más paquetes colisionan, el transmisor espera una cantidad de tiempo aleatorio y entonces retransmite de nuevo.

Luego, para mejorar la eficiencia, una modificación del anterior protocolo fue propuesto por Roberts [3], y es conocido como *ALOHA restringido* donde el tiempo esta dividido en slots o espacios de tiempo disponible a los nodos. En los protocolos *ALOHA restringidos en el ambiente multihop* los nodos de PR transmiten aleatoriamente cada vez que se tiene un paquete en su "buffer" lo cual lo hacen sin considerar si el canal esta ocupado o no, pero sincronizados al inicio de cada slot.

Para mejorar el desempeño de las REDPRs *multihop* los protocolos de

monitoreo de portadoras (CSMA) ha sido propuestos en éste escenario, y se basan en la filosofía "escucha y luego habla". En los *protocolos CSMA multihop* un nodo transmite un paquete siempre y cuando existe uno disponible y cuando el canal de radio esta desocupado. Es decir una transmisión será exitosa sino existe "colisión" de varios paquetes en el nodo receptor.

Sin embargo, si dos transmisores no son capaces de detectar transmisiones en otros nodos esto podría causar una colisión en algún nodo intermedio. Esto es usualmente conocido como el problema del "terminal escondido", lo cual degrada el desempeño de una REDPR. Estos son los protocolos más usados en las aplicaciones tales como las que tenemos en las aplicaciones de UNI.

Debido a que los protocolos de acceso aleatorio o de contención tales como los antes mencionados exhiben pobre desempeño, comparativamente, bajo condiciones de alto tráfico; *protocolos libres de conflictos* han sido propuestos para asegurar que una transmisión, siempre que se haga, sea exitosa, es decir no vaya hacer perturbada por otra transmisión, e.g. el protocolo *spatial-TDMA* para el ambiente *multihop* es introducido en [4].

El término "spatial" se refiere a la capacidad de reutilizar la misma frecuencia al mismo tiempo haciendo uso de la separación física de las estaciones de PR, es decir varios nodos pueden tener licencia para transmitir simultáneamente siempre que no "interfieran" con los otros. Es decir, aquí tomamos un tratamiento distinto a los protocolos anteriores (ALOHA y CSMA) en el sentido que la transmisiones de los nodos son determinísticas, es más aun en el verdadero sentido de la palabra son escalonadas de acuerdo a una "secuencia repetitiva".

Algoritmos de Enrutamiento

En las REDPRs usadas en UNI se tienen tablas de enrutamiento fijas en los nodos de tipo centralizado. Algoritmos de enrutamientos distribuidos para éstas redes son descritos en [5]

3. APLICACIONES DE REDPRs

En esta sección se describe primero el equipo usado para las aplicaciones de REDPRs multihop en UNI, luego tendremos el apoyo a la docencia de las mismas redes, los sistemas de acceso inalámbrico a INTERNET, una descripción del diseño de un sistema de monitoreo remoto, y redes de comunicaciones emergencia.

Equipo de PR

La estación de PR se puede dividir en tres partes (Figura 2):

- El equipo terminal
- El TNC
- El radio.

El equipo terminal

Por lo general este equipo lo podemos clasificar en dos tipos:

Los terminales dedicados y las computadoras que emulan un terminal. El terminal más común consiste de algún tipo de monitor, un teclado y una interfase serie (típicamente RS-232).

El TNC (Terminal Node Controller)

Este dispositivo tiene por tarea empaquetar los datos (de acuerdo con una

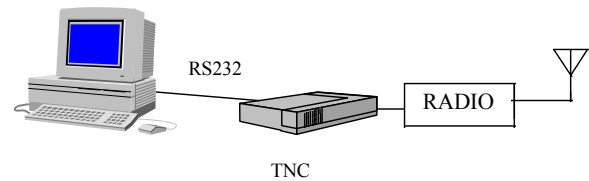


Fig. 2. Estación de PR.

norma) provenientes del terminal ó computadora, luego los pasa por un modem interno para que estos puedan ser enviados mediante un canal de radio analógico. En el otro extremo (o en la otra estación) el dispositivo se encarga de demodular los datos provenientes del radio y luego de desempaquetarlos para ser enviados al terminal, que presenta dichos datos en el monitor. Estos datos pueden ser guardados en el disco duro de una máquina PC (Computadora Personal) o en un diskette.

El TNC además de realizar la función de un modem, también realiza otras como controlar el PTT (Push-To-Talk) del radio, empaquetar/desempaquetar los datos añadiéndoles la dirección requerida para su transmisión, información de control y chequeo de errores, para que sea recibida la información sin errores en la otra estación. Uno de los protocolo de comunicación comúnmente usado en PR es llamado AX.25.

El radio

Cuando hablamos del equipo de radio nos referimos a un transceptor (transmisor-receptor) con su antena y su respectivo cable y su fuente de alimentación.

La función del radio es la de transmitir y recibir información, a través del espacio libre, mediante una antena.

Para la comunicación con tecnología de Paquetes por Radio (PR) se puede utilizar prácticamente cualquier transceptor que utilizamos para transmitir voz, desde un walkie-talkie hasta un radio militar, si el radio es analógico se puede llegar a tener

una velocidad de transmisión de 9600 baudios (banda VHF), pero si contamos con un radio digital, podríamos aumentar esta velocidad. Esto es porque un radio analógico necesita una cierta cantidad de tiempo para que pueda estar listo para transmitir o recibir después que el switch de transmisión-recepción es activado (PTT).

Un TNC puede pasar del modo transmisor al receptor muy rápidamente, tanto que siempre tiene que esperar al radio antes de poder continuar la comunicación, esto hace que la transmisión de paquetes se haga más lenta. En cambio en los radios digitales este cambio se hace mas rápido permitiendo una mayor velocidad de transmisión.

En la banda de UHF se puede aplicar fácilmente en transmisiones con ancho de banda bastantes grandes. La velocidad típica de transmisión usando PR es de 19200 baudios.

Comunicaciones Digitales

El uso de equipo de PR ha reforzado el estudio (pre-grado) en la carrera de Ingeniería Electrónica de UNI de sistemas de radiocomunicaciones digitales, en temas tales como: modulación digital, codificación de canal, redes de datos, y radio propagación. Esta es una forma práctica y barata de permitir que los estudiantes experimenten con un sistema real y donde se puede incorporar tópicos del estado del arte en comunicaciones.

Con el uso de ésta tecnología, en los proyectos estudiantiles se han implementado nuevos modems (e.g. BPKS) que son conectados al TNC (deshabilitando su módem interno FSK) para explotar de mejor forma el uso de radios analógicos convencionales con mayores velocidades de datos. Además, estudios de factibilidad de redes de datos por radio han sido realizados en las bandas HF, VHF y UHF, en gran parte del país.

Sistemas de Acceso inalámbrico a INTERNET

Las REDPRs pueden correr TCP/IP lo que virtualmente les permite ser parte de redes para acceso a INTERNET. Lo cual es muy conveniente para aplicaciones como estudios en sismología de investigadores en sitios remotos o sin infraestructura de telecomunicaciones. Incluso, en las ciudades, en áreas donde las líneas telefónicas presentan limitaciones, ésta tecnología puede ser una buena alternativa para tener acceso a, e. g. , e-mail. Para el acceso inalámbrico a INTERNET hemos usado el sistema operativo llamado NOS [6] para conectar las estaciones de PR a redes de computadores con éstos servicios. En la Figura 3 se ilustra una red TCP/IP vía radio.

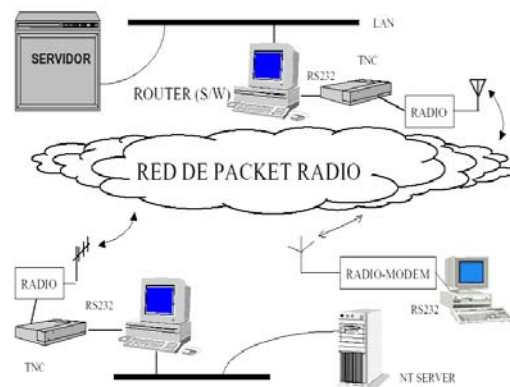


Fig. 3. Acceso a INTERNET usando PR.

Otros ejemplos son las conexiones de radio aficionados de la zona del pacífico de Nicaragua y de una planta de ENEL (Empresa Nicaragüense de Energía) al servidor de INTERNET de UNI. Estas conexiones son actualmente a 9600 bps lo cual es un poco lento para manejar navegadores convencionales de INTERNET. Para paliar lo anterior, se planea una campaña de experimentos con uso de radio-modems de 56 Kbps, y de sistemas de radio usando técnicas de

espectro ensanchado para lograr mayores velocidades de datos, y así poder usar a plenitud las herramientas gráficas de acceso al Web.

Diseño de sistemas de “Remote Sensing”

Con el *proyecto Seismet* [7,8] hemos implementado un sistema de adquisición de datos para monitorear fumarolas de volcanes y medición de algunos parámetros relacionados con la meteorología, usando tecnología de *PR*. La estación de monitoreo remoto trabajó en el volcán MOMOTOMBO por varios meses; brevemente, consistió en un sensor de temperatura, una interfase para acoplar este sensor a un data logger, este sistema además contenía otros sensores, un TNC, y un radio transceptor con su antena. Este sistema es independiente de la energía eléctrica convencional, y es alimentado por baterías energizadas por paneles fotovoltaicos.

En el INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales) fue instalada otra estación para leer los datos remotamente desde el volcán. Software apropiado desarrollado en PASCAL es usado para controlar la recuperación y el procesamiento de los datos medidos. En la Figura 4 se muestra un diagrama en bloques de la estación Seismet. También el proyecto fue presentado luego de su realización (Seismet I) a científicos del Observatorio Vulcanológico Cascades de los Estados Unidos de América quienes reconocieron su aplicabilidad en este campo crucial para Nicaragua. Sin embargo, este tipo equipo fácilmente puede ser acoplado a otros tipos de sensores para realizar campañas de medición en lugares remotos, e. g. el nivel de aguas de ríos.

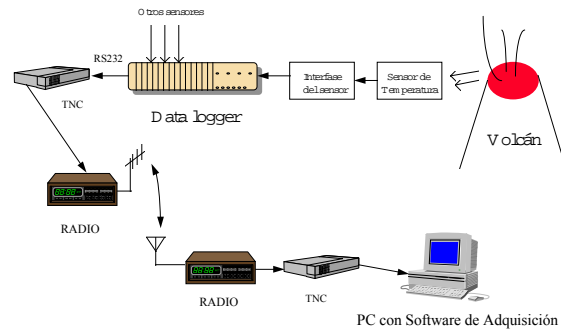


Fig. 4. Aplicación de PR para la adquisición de datos remotos.

Redes de Comunicaciones para Emergencias

Actualmente, la Defensa Civil de Nicaragua junto con CEPREDENAC (Centro Regional para la Prevención ante Desastres Naturales) han orientado el uso redes de *PR* para proveer comunicaciones en situaciones de emergencias por desastres naturales, muy comunes en el país. Este tipo de comunicaciones prevé el uso de estaciones móviles de *PR*.

4. INVESTIGACION EN REDPRs

Con respecto a la investigación en UNI, han sido desarrolladas herramientas para el análisis del desempeño y el diseño de *REDPRs* en el contexto nacional. La simulación de éstas redes usando software, e.g. Matlab, es un aspecto muy interesante de destacar. En la simulación de *REDPRs* se incluyen entre otros tópicos, el uso de modelos “realistas” de radio propagación modernos [9,10] con el soporte de terrenos (aleatorios) sintéticos para predecir la conectividad entre las estaciones de la red.

La simulación de *REDPRs* para su estudio se resume de la siguiente forma [5]:

- Se crea un terreno artificial para usar la misma metodología como si tuviéramos una base de datos del terreno para

calcular la radio-influencia en el comportamiento de la red .

- En este terreno se ubican las estaciones de la red a estudiar; e.g. los nodos usan la misma potencia con antenas omnidireccionales.
- Luego con modelos de radio propagación que incluyen las pérdidas de espacio libre, pérdidas de reflexión y pérdidas de difracción se puede establecer la conectividad de la red.
- Seguidamente, se selecciona un algoritmo de enrutamiento y un protocolo de acceso múltiple, los cuales son usados por los nodos de la red.
- A lo anterior hay que agregar un modelo del tráfico en la red. Esto incluye: longitud del paquete de datos, el proceso de llegada de los datos a los nodos, el proceso de colas en las estaciones, y la matriz de tráfico.
- Se define o se selecciona una figura de mérito del desempeño de la red, e.g., el Retardo promedio de los paquetes.

Finalmente, todo los componentes anteriores son representados en un programa en computadora. Los eventos que podrían ocurrir durante la operación real de la red (llegadas, transmisiones, enrutamiento y salidas de paquetes, condiciones de error tales como pérdidas de paquetes debido a ruido e interferencias) son generadas durante la ejecución del programa. En general, el programa de simulación genera eventos y entonces simula las respuesta de la red basada en esos eventos. También, éste programa guarda información durante la simulación y calcula las figuras de mérito de interés. Como una ilustración se describe brevemente, uno de los modelos de generación de terreno.

Un Modelo de Terreno

Para modelar las variaciones de altura del terreno se puede usar un proceso aleatorio estacionario bi-dimensional normal. Denotemos con $H(x,y)$ la altura en la localización (x,y) . Entonces, $H(x,y)$ es generado por :

$$H(x,y) = \sum_{k=-\rho}^{\rho} \sum_{l=-\rho}^{\rho} |H^*(x-k,y-l)| \cdot p(k,l) \quad (1)$$

donde $H^*(x,y)$ es un proceso “blanco” Gaussiano bi-dimensional con media cero y varianza σ (*parámetro de altura*), y $p(x,y)$ puede ser visto como la respuesta al impulso de un filtro, dada por :

$$p(x,y) = \begin{cases} 1 + \cos(\pi \cdot (\frac{x^2}{(\rho+1)^2} + \frac{y^2}{(\rho-1)^2})) & |x| \leq (\rho+1), |y| \leq (\rho-1) \\ 0 & \text{de otra forma} \end{cases} \quad (2)$$

ρ puede ser referido como el parámetro de lo tosco del terreno, y es dado en metros.

A nuestro entender, los modelos de análisis del desempeño propuestos [5] que incluyen modelos detallados de radio propagación [9,10] con procesos simples de colas en los nodos son novedosos en la literatura disponible de REDPRs.

5. CONCLUSIONES

PR es la fusión de las técnicas de conmutación de paquetes con radiocomunicación.

PR es una alternativa atractiva de proveer comunicaciones de datos en zonas con problemas de la red cableada, o en zonas donde se carece de infraestructura de telecomunicaciones.

La experiencia práctica de la UNI en redes de datos usando PR ha permitido

experimentar y explotar esta tecnología en el ámbito nacional.

Las principales aplicaciones de la tecnología *PR* en Nicaragua incluyen: laboratorios de comunicaciones digitales, sistemas de acceso inalámbrico a INTERNET, sistemas de monitoreo remoto y redes de comunicaciones para casos de emergencias.

Por otra parte desde el punto de vista investigativo, modelos teóricos han sido propuestos para el análisis del desempeño y diseño de REDPRs. El desarrollo de estas herramientas está en marcha en UNI.

6. RECONOCIMIENTOS

Las investigaciones en REDPRs han sido realizadas con la cooperación del Real Instituto Tecnológico de Estocolmo (KTH), en Suecia, bajo los auspicios financieros de la Agencia Sueca para el Desarrollo (ASDI).

REFERENCIAS

- [1] Fifer, W.C., Bruno, F.J., "The low-cost packet radio", Proc. of the IEEE, Jan. 18-87, pp. 33-42.
- [2] Kleinrock, L., Silvester, J., "Spatial Reuse in multihop packet radio networks", Proc. of the IEEE, Vol. 75, No. 1, Jan. 1987.
- [3] Roberts L.G., "ALOHA packet system with or without slots and capture", Comput. Commun. Rev., Vol. 5, April 75.
- [4] Nelson R., Kleinrock L., "Spatial-TDMA: A collision free multihop channel access protocol", IEEE Trans Comm., COM-33, Sept 85.
- [5] Somarriba, O., "Multihop Packet Radio Systems in Rough Terrain", TRITA-S3-RST-9506. ISSN 1400-9137, Dept. of Signal, Sensors and Systems, Royal Institute of Technology, October 95. Sweden.
- [6] Wade, I., "NOS Command Set Reference", ARRL 10-th Computer Networking Conference, San Jose, California, Septiembre 1991. USA.
- [7] Kolb, R., "Design and construction of a fumerola temperature measurement Station", A thesis report, UNI, June 10, 1994. Managua, Nicaragua.
- [8] Sánchez, M., Zamora, I., "Mejoramiento y optimización de estación SEISMET", Tesis de grado de UNI. Marzo de 1995. Managua, Nicaragua.
- [9] Parson, D., "The mobile Radio Propagation Channel". London. Pentech Press, 1992.
- [10] Zander, J., "Performance of optimum control in cellular radio system", IEEE Trans. Veh. Tech., VT-41, February 92.