

Comunicaciones rurales en Cuba utilizando Redes Tolerantes al Retraso e Interrupciones

L. Romero¹, A. Subert²

¹ Universidad de Oriente, Departamento de Telecomunicaciones lidice@fie.uo.edu.cu

² Universidad de Oriente, Departamento de Telecomunicaciones asubert@fie.uo.edu.cu

RESUMEN / ABSTRACT

La arquitectura Internet se ha extendido de forma imparable por todo el mundo, no obstante, las premisas que sustentan esta arquitectura no son aplicables a entornos donde es imposible mantener una comunicación extremo a extremo fiable, con baja latencia y bajas tasas de error; donde la comunicación entre los nodos sea casual o planificada. Las Redes tolerantes al retardo e interrupciones (DTN) se han convertido en una solución para las comunicaciones en este tipo de entorno. En este trabajo se presenta un primer acercamiento al uso de esta arquitectura para solucionar los problemas de comunicación en poblados de la Sierra Maestra en Cuba. Para esto se estudian las tecnologías más utilizadas en entornos rurales y se evalúa la implementación de algunas de ellas en la Sierra Maestra. Por último se analiza al empleo de las DTN en el país.

Palabras claves: Comunicaciones rurales, WiFi, Redes tolerantes al retardo e interrupciones

Rural Communications in Cuba using Delay Tolerant Networking

Internet architecture has been spread across the world in an unstoppable way, however, the premises supporting this architecture are not applicable in environments where it is impossible to maintain reliable end to end communication with low latency and low error rates; where the communication between nodes may be random or planned. Delay Tolerant Networks (DTNs) have become a solution for communications in this type of environment. This paper presents a first approach to the use of this architecture in order to solve the communication problems in villages in the Sierra Maestra in Cuba. In order to accomplish this, technologies most utilized in rural environments are studied, and implementation of some of them in the Sierra Maestra is assessed. Finally, the use of DTNs in the country is analyzed.

Key words: Delay Tolerant Networking, rural communications, WiFi

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han destacado dos aspectos en el desarrollo de las Telecomunicaciones a nivel mundial. Primero, en los países desarrollados más del 90% de la población accede fácilmente a las Redes de Telecomunicaciones y sus servicios; mientras que sólo el 10 % de la población de los países en desarrollo tiene un acceso similar; que además implica, por regla general, mayores costos y menores prestaciones¹. Segundo, si bien el acceso a las Telecomunicaciones ha crecido significativamente en los países en desarrollo, continúan existiendo pueblos y comunidades que se encuentran incomunicados: zonas rurales aisladas y de muy difícil acceso.

Las características más notables de las zonas rurales aisladas y remotas, son las siguientes:

- Escasez o ausencia de instalaciones y servicios públicos, por ejemplo, suministro fiable de electricidad y agua, carreteras de acceso y transporte regular;
- Escasez de personal técnico;
- Condiciones topográficas difíciles, por ejemplo, lagos, ríos, colinas, montañas o desiertos, que hacen muy onerosa la construcción de redes de telecomunicaciones cableadas;
- Condiciones climáticas rigurosas que pueden afectar de forma crítica el equipo;
- Bajo nivel de actividad económica;
- Bajo ingreso por habitante;
- Infraestructuras sociales insuficientemente desarrolladas (salud, educación, etc.);

- Baja densidad de la población;
- Baja penetración telefónica; lo que se manifiesta en tasas de llamada muy elevadas por línea telefónica, que reflejan la escasez del servicio telefónico y el hecho de que un gran número de personas utilizan una línea telefónica única.

Estas características dificultan la prestación de servicios de comunicaciones de calidad aceptable por los medios tradicionales y a precios asequibles, y al mismo tiempo, determinan los factores que condicionan las soluciones tecnológicas para brindar comunicaciones rurales:

- Tienen que ser robustas y sencillas de usar, debido a la baja calificación de los usuarios finales.
- Tienen que requerir poco o ningún mantenimiento, por la lejanía del personal técnico especializado. Utilizar soluciones de mínima administración sería beneficioso pues generan costes fijos considerables.
- Deben ser de bajo consumo, ya que es frecuente el uso de fuentes de energía no convencionales que encarecen las instalaciones y aumentan las necesidades y costes de mantenimiento.
- Debe tener costes de despliegue y de operación muy bajos. Esto excluye soluciones únicas como las redes cableadas (Ej. líneas conmutadas o dedicadas) o el uso de estaciones satélite y redes celulares. En ocasiones se puede plantear el acceso usando estos medios, pero su distribución se tendrá que realizar con una tecnología complementaria más barata.
- No se aconseja el uso de bandas de frecuencia licenciadas.

En este trabajo se estudian las tecnologías apropiadas para comunicaciones zonas de la Sierra Maestra en Cuba y se sientan las pautas para la introducción de las Redes tolerantes al retardo e interrupciones (DTN) como una solución de muy bajo costo para las comunicaciones rurales en el país.

TECNOLOGÍAS APROPIADAS PARA LAS COMUNICACIONES RURALES

Las tecnologías de radio HF y VHF/UHF han sido utilizadas durante años para la comunicación de voz en zonas rurales².

VHF/UHF brinda comunicaciones de largas distancias en la banda de frecuencia de 30-300 MHz con bajo costo y fácil instalación. Requiere de línea de vista en la propagación directa desde la antena transmisora a la antena receptora, pero soporta obstáculos vegetales o elevaciones no muy altas del terreno.

Para superar la obstrucción severa de la línea de vista en un enlace VHF/UHF se utilizan repetidores ubicados en zonas más elevadas. Aunque esta tecnología está pensada para la comunicación de voz, se puede utilizar para la transmisión de datos mediante el empleo de protocolos como el AX.25, usado por radioaficionados para el transporte de datos (Ej. TCP/IP) en las bandas VHF/UHF y HF. A pesar de estas ventajas, el alto consumo energético encarece este tipo de soluciones en

lugares donde se utilicen fuentes de energías no convencionales.

HF por su parte permite la comunicación de voz, de larga y muy larga distancia, en la banda de frecuencia de 3-30 MHz, utilizando propagación ionosférica. Con HF no es necesaria la línea de vista, por lo tanto se puede utilizar en llanuras y montañas sin necesidad de repetidores, pero la baja calidad de la transmisión y el hecho de que las condiciones varían en función del momento de día, la estación del año, el lugar, entre otros factores, la hacen poco recomendable para la transmisión de datos. El consumo de energía en HF es ligeramente mayor que en VHF/UHF. Esta tecnología puede ser una solución en lugares con ubicaciones complicadas, sin necesidad de repetidores; en combinación con otras soluciones que permitan el transporte de mayor cantidad de información.

Los avances que han alcanzado las redes inalámbricas, en particular la familia de estándares IEEE 802.11, conocida como WiFi, han conllevado al éxito comercial de estas tecnologías. IEEE 802.11 tiene asignadas las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz con el objetivo de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

WiFi no se concibió para crear redes extensas. Sin embargo, sus indudables ventajas de costo, uso de frecuencias libres de licencia, madurez y gran ancho de banda, así como la disponibilidad en el mercado de una gran cantidad de productos de bajo consumo, a precios asequibles y flexibilidad para el despliegue de instalaciones, han despertado el interés para las comunicaciones rurales. Este estándar requiere de línea de vista directa, lo que eleva en algunos casos el coste de las instalaciones por el uso de repetidores. Al ser una tecnología creada para redes locales, debe resolverse el problema de su utilización en grandes distancias.

La tecnología IEEE 802.16, también conocida como WiMAX, soluciona el problema de las redes inalámbricas de banda ancha en áreas metropolitanas y extensas (WMAN). WiMAX puede operar en las bandas de frecuencia de 10 a 66 GHz con línea de vista y por debajo de los 11 GHz con y sin línea de vista. WiMAX abarca grandes áreas geográficas con calidad de servicio y sin línea de vista y puede ser utilizado en zonas semiurbanas y rurales para soportar usuarios con requerimientos de servicio heterogéneos. Pero tardan en llegar las soluciones WiMAX con precios tan asequibles como los de WiFi, y su uso no es tan eficaz en grandes distancias sin línea de vista.

Con el estándar IEEE 802.22³, aún en fase de desarrollo, se pretende dar solución a las comunicaciones rurales usando los espacios en blanco del espectro de televisión. Con este estándar se dará acceso allí donde no llega el cable telefónico, o donde, si llega, no se puede proveer acceso a Internet de banda ancha a la población. Se pretende que este estándar sea equiparable a los servicios de ADSL y cable que actualmente se ofrecen en sitios donde la cobertura sí es posible, como es el caso de las ciudades.

Hasta el momento, WiFi constituye la solución más viable para desplegar proyectos de conectividad rural en los países en vías de desarrollo. No obstante, no deja de ser una tecnología

pensada para redes locales y aunque se han realizado trabajos para modificar la capa MAC e ir un poco más lejos⁴, aún no se ha resuelto la conectividad con verdadero bajo costo en aquellas zonas donde por las irregularidades del terreno no es posible la línea de vista (Ej. zonas de montañas).

UNA NUEVA SOLUCIÓN A LAS COMUNICACIONES RURALES

El uso de un encaminador inalámbrico móvil en un vehículo (Ej. autobús, barca, bicicleta, carreta de bueyes, etc.), más conocido en la literatura como “mula de datos”⁵, que recorra pueblos rurales, es una solución de muy bajo costo para las comunicaciones rurales (ver figura 1). Sin embargo, los nodos de la red pueden estar muy distantes entre sí y poseer una alimentación de energía limitada; provocando retrasos en la comunicación, aumento de la tasa de errores, falta de conectividad extremo a extremo y tasas de envío asimétricas. Por lo tanto, las conexiones pueden ser intermitentes, o puede que no exista conexión extremo a extremo, restringiendo el diseño y aplicación de los sistemas de comunicaciones inalámbricos. Ante estas situaciones no es apropiado el uso de del conjunto de protocolos TCP/IP sobre el que se basa la Internet y sí arquitecturas que toleren el retardo y las interrupciones (DTN).

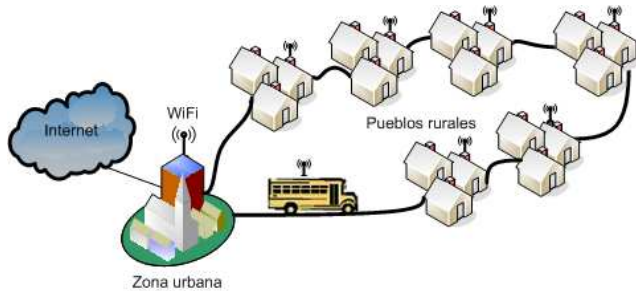


Figura 1. Comunicación de poblados rurales utilizando un encaminador inalámbrico móvil.

La arquitectura DTN, que ha demostrado ser útil en aplicaciones terrestres, surgió como parte del proyecto “Internet Interplanetaria” (IPN)⁶. Este comenzó en el Laboratorio de Propulsión a Chorro de EE.UU y tenía como objetivo proporcionar una tecnología de redes para las comunicaciones entre naves espaciales. Se concebía el sistema interplanetario como una red de redes globales, aunque no limitada a usar los protocolos de Internet convencionales. La arquitectura resultante presenta una estructura en capas del mismo grado de abstracción que Internet y puede operar tanto en la Internet convencional como sobre protocolos de transportes subyacentes más adecuados a los largos retardos e interrupciones. El equivalente a IP se denomina Protocolo de *fardos* (*Bundle Protocol*) y puede correr sobre TCP o UDP o sobre el nuevo Protocolo de Transporte Licklider⁷ para aplicaciones en el espacio profundo.

Las redes DTN implementan una arquitectura de conmutación de mensajes con almacenamiento y reenvío^{5,8,9}. Esta funcionalidad se consigue con la introducción de una capa de mensajes o *fardo* -*bundle layer*- situada entre la capa de aplicación y la capa de transporte^{10,11}(ver figura 2).

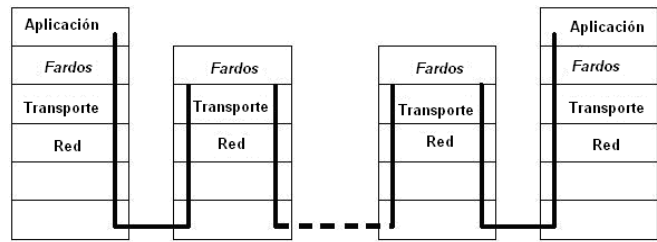


Figura 2. Arquitectura DTN

La funcionalidad la capa de *fardos* no difiere mucho de la capa de red de la arquitectura Internet. Mientras que la capa de red de la arquitectura de Internet se centra en la conmutación de paquetes, la capa de *fardos* se centra en el reenvío de mensajes; es una capa orientada a mensajes. Ambas utilizan el almacenamiento y reenvío. En la capa de red de la arquitectura Internet los paquetes se almacenan por un corto espacio de tiempo, en cambio, en la capa de *fardos* los mensajes se almacenan de forma persistente (en disco o memoria flash) listos para ser retransmitidos en caso necesario.

Para garantizar que no se pierdan los mensajes ante interrupciones se utiliza la custodia de mensajes. Una vez que la pasarela se compromete a almacenar el mensaje no podrá eliminarlo hasta tanto no reciba del destino la confirmación de recepción del mensaje, o hasta que otra pasarela intermedia acepte la custodia del mismo.

Las pasarelas eligen el camino hacia el destino tomando como criterio el tamaño del mensaje y la calidad de servicio solicitada por la aplicación. En la arquitectura DTN se utiliza la capa de convergencia para adaptar el protocolo de *fardos* al mecanismo de transporte de la red subyacente ya sea TCP o UDP, Bluetooth, transporte físico, etc. Las pasarelas DTN deben elegir, en función del camino, que nivel de convergencia se deben utilizar.

Para cada una de estas redes será necesario una capa de convergencia que adapte el protocolo de *fardos* al mecanismo de transporte de la red subyacente ya sea TCP o UDP, Bluetooth, Ethernet, transporte físico, etc. Las pasarelas DTN deben elegir, en función del camino, que nivel de convergencia se deben utilizar.

Otra función que define a las DTN es la transferencia mensajes bajo custodia¹². En caso de retransmisión el paquete no tiene que cruzar la distancia desde el nodo que le dio origen en el enlace hasta su destino nuevamente. Esto es muy útil cuando se intenta enviar datos sobre enlaces intermitentes.

En una red DTN, los nodos son entidades con la capa de *fardos* incluida. Estos pueden hacer la función de anfitriones, encaminadores o pasarelas. Sus funciones principales son actuar como fuente, destino o reenviadores de *fardos*.

En una red DTN, los nodos se nombran con un identificador de destino (EID – “*Endpoint Identifier*”), que corresponde a un nombre expresado sintácticamente como un identificador uniforme de recursos (URI – “*Uniform Resource Identifier*”). La estructura general de una URI se expresa de la forma: <scheme>:<scheme-specific-part>. Un nodo se puede nombrar

por su dirección MAC (Ej: ether://00-15-C5-1A-D4-75) o por su nombre de dominio (Ej: dns://tle.fie.uo.edu.cu).

Con esta representación se pueden crear interesantes políticas de reenvío, a saber:

dtm://*.uo.edu.cu.dtm -> ether://00-15-C5-1A-D4-75

o se pueden soportar aplicaciones ya existentes (dtm:http://www.uo.edu.cu).

Hasta el momento, la comunidad científica que trabaja en el tema de las DTN no ha dedicado muchos esfuerzos para determinar las condiciones de usabilidad y las prestaciones que puede tener este tipo de red en entornos rurales de difícil acceso. La razón principal es que resulta más atractivo trabajar en la arquitectura y sobre todo en los protocolos de encaminamiento para ella. El desarrollo de algoritmos de encaminamiento es el área con mayor contribución científica dentro de la arquitectura. No obstante, las DTN son utilizadas en varios proyectos rurales. En la India y Camboya, el proyecto DakNet¹³ (pionero en el uso de las “mulas de datos”) ofrece un vínculo de banda ancha asíncrono de acceso inalámbrico a Internet, cuando no se dispone de una comunicación por cable. También en la India, PostmanNet¹⁴ incluye el transporte postal de grandes cantidades de datos (en DVD, discos duros o memorias flash), siempre combinadas con canales más estrechos y rápidos para la información de control. En aldeas de Sudáfrica, Wizzy Digital Courier¹⁵ brinda acceso a Internet en modo conectado y desconectado a escuelas rurales, utilizando también el concepto de mula de datos para las aldeas desconectadas. Saami¹⁶ es un proyecto en Suecia que aprovecha la movilidad de pastores de renos para dar conectividad a varias aldeas árticas aisladas, con electricidad y algunas computadoras pero con limitaciones de cobertura satelital.

El transporte físico de datos al estilo PostmanNet puede ser la solución menos costosa para brindar comunicaciones rurales. No obstante, teniendo en cuenta el estudio del estado del arte realizado, lo más apropiado en zonas aisladas sería la combinación de un encaminador inalámbrico móvil con tecnologías costosas -líneas telefónicas, GPRS, VSAT- y poco costosas -WiFi, VHF- (ver figura 3).

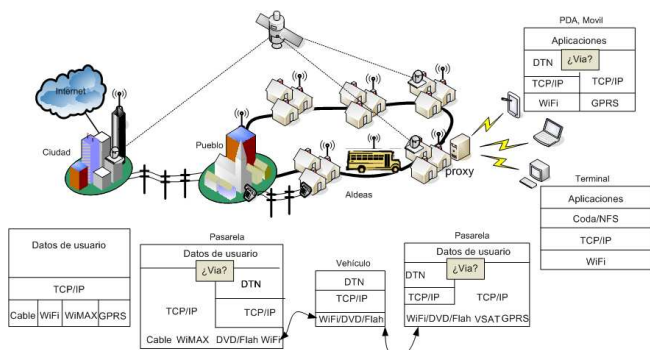


Figura 3. Solución a las comunicaciones rurales combinando varias tecnologías.

Los nodos deben equiparse para utilizar una u otra forma de comunicación, decidiendo la vía en base a criterios de optimización de costos, tiempo de desconexión, tamaño de la

información que se desea enviar, entre otros. Es necesario tener en cuenta que los criterios de costos de empleo de la tecnología están en correspondencia con el país en cuestión.

SOLUCIÓN DE MUY BAJO COSTO PARA LAS COMUNICACIONES RURALES EN CUBA

El municipio de Tercer Frente se encuentra situado geográficamente en el occidente de la provincia de Santiago de Cuba; limita al norte con los municipios de Contramaestre y Jiguaní (Granma), al este con el municipio de Palma Soriano, al sur con el municipio serrano y costero de Guamá y al oeste con el municipio de Guisa, provincia de Granma.

Cruce de los Baños es su cabecera municipal y dista a 10 Km de la ciudad de Santiago de Cuba y a 887 Km de Ciudad de la Habana, con las que se comunica por carretera. Su territorio se constituye como municipio, de acuerdo a la nueva división política administrativa. Antes del año 1963 formaba parte del municipio Palma Soriano y posteriormente a la región Palma Soriano. Además posee una extensión territorial de 364.4 Km², ocupando el 5.9 % de la superficie total de la provincia.

El relieve de este municipio es uno de los más complejos de la provincia, debido a que el 100 % de su territorio está situado en La Sierra Maestra, lo que le ilustra sus peculiares características geográficas. Por su forma semeja una piel extendida o un rectángulo imperfecto, midiendo aproximadamente 30 Km en su parte más ancha y 12 Km en la más estrecha.

Tercer Frente ocupa el octavo lugar entre los nuevos municipios santiagueros debido a que tiene un total de 29 887 pobladores. De ellos solo el 35,35% residen en zonas urbanas -Cruce de de los Baños y Matías-, el resto viven en zonas rurales principalmente en asentamientos rurales dispersos.

El municipio de Tercer Frente cuenta con 367 computadoras: 70 en red, 8 conectadas a Internet, 20 disponen de correo electrónico pero solo 10 de ellas cuentan con salida internacional. En cuanto a unidades del servicio postal y telegráfico el territorio cuenta con 2 correos y telégrafos. También dispone de dos centros telefónicos conectados por fibra óptica a la cabecera provincial. El municipio cuenta con 880 líneas telefónicas instaladas, de ellas 709 en servicio, para un por ciento de ocupación de 80.57 y una densidad telefónica de 2.37¹⁷.

Estas estadísticas evidencian la necesidad de buscar nuevas alternativas a las comunicaciones en este municipio.

La tecnología más popular para el despliegue de comunicaciones rurales de bajo costo en la actualidad sigue siendo WiFi^{18, 19}. Por lo tanto como primera alternativa se estudio la construcción de una red WiFi para comunicar los asentamientos rurales concentrados -con mayor cantidad de habitantes- del municipio Tercer Frente. Por razones de costo, en este estudio no se tuvieron en cuenta los asentamientos rurales dispersos donde viven cerca del 43% de la población del municipio.

Tercer Frente está situado totalmente en la Sierra Maestra por lo que se hace difícil la comunicación directa entre los poblados escogidos y la cabecera municipal. Se dividió la red en dos conectando unos pueblos a Matías y otros a Cruce de los Baños en dependencia de la cercanía y la visibilidad (ver figura 4). Son necesarios 4 repetidores debido a que las irregularidades que caracterizan las zonas montañosas impiden la línea de vista en los enlaces. Los repetidores se situaron en lugares apropiados para reducir, en lo posible, el costo de su uso. En la figura se observan que quedan fuera de la red 4 poblados: Manaquitas, Brazo Escondido, Haití Chiquito y Los Aljiales, estos pueblos no están muy lejos de la cabecera municipal pero se encuentran rodeados de montañas.

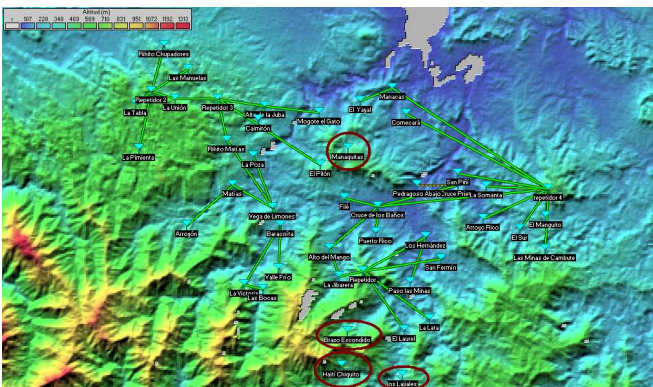


Figura 4. Comunicación de poblados rurales del Tercer Frente utilizando tecnología WiFi.

Teniendo en cuenta el equipamiento y sus accesorios, las torres y los costos de instalación y obra civil, el costo de esta solución ronda los 140 mil CUC. Se valoró el equipamiento Pre WiMAX que se comercializa en el país, pero la relación precio/prestaciones no superan las del equipamiento WiFi. El principal inconveniente en esta zona es la falta de línea de vista entre poblados. Se podrían utilizar estaciones VSAT pero los costos de instalación asciende a 7 mil CUC, con una tarifa mensual de 10 mil CUC por estación y velocidades de solo 384 Kbps.

Esta claro que en este entorno podría aprovecharse el uso de las *mulas de datos* utilizadas en proyectos donde se aplica la nueva arquitectura DTN (ver figura 5).

Se han identificado varias *mulas de datos*: transporte regular entre poblados, bicicletas, caballos y mensajero. Algunos de estos ya han sido utilizados para el transporte de información estadística en las elecciones, censos y otros estudios realizados en la zona. Los primeros llegarán hasta donde lo permita la geografía y los últimos a lugares donde solo es posible llegar con ellos.

La comunicación entre el poblado y el nodo móvil (contacto) será oportunista y programada, pudiendo ser casual teniendo en cuenta cualquier eventualidad que ocurra con el transporte de la información. Esto garantiza que los poblados siempre estarán disponibles para recibir información del nodo móvil. En este caso, el uso eficaz de las mulas de datos permitirá el transporte económico de información.

El uso de las DTN garantiza confiabilidad en la entrega de la información. El empleo del mecanismo de almacenamiento y reenvío bajo custodia garantiza que si se interrumpe la comunicación, por falta de electricidad u otro factor, no se pierde la información. Al restablecerse el enlace o en el próximo contacto, la transferencia se iniciará justo donde quedó.

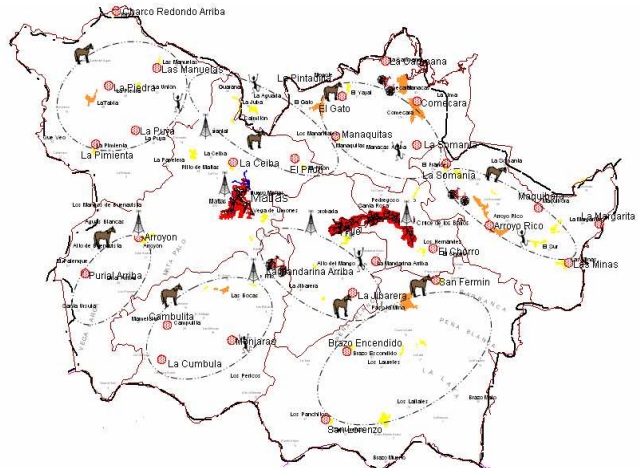


Figura 5. Comunicación de poblados rurales del Tercer Frente utilizando DTN.

Al emplear la mula de datos ya no son necesarios los repetidos ni las torres que tanto encarecen la variante WiFi. Teniendo en cuenta el equipamiento y sus accesorios el presupuesto necesario para utilizar las DTN como variante a las comunicaciones rurales en el municipio Tercer Frente es de unos 60 mil CUC. Este proyecto, en fase de concepción, se puede realizar en etapas dependiendo del financiamiento disponible.

Una primera aplicación a adaptar a este tipo entorno es el correo electrónico pues no requiere de la interactividad de otras aplicaciones Internet como el Chat y la navegación Web. Se pueden adaptar aplicaciones ya probadas en los años 70 cuando las comunicaciones tenían problemas de fiabilidad, capacidad y costo -Ej. UUCP-. Las aplicaciones en ambientes con retardo e interrupciones son un problema no resuelto aunque se viene trabajando en ello^{20,21,22}.

Para encaminamiento, otro de los problemas claves a la hora de desplegar soluciones DTN^{23, 24}, se puede emplear el mecanismo más simple: inundación. El problema principal con este mecanismo es la escalabilidad ya que pueden presentarse cuellos de botella en algunos enlaces con el crecimiento de la red.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un primer acercamiento a las comunicaciones rurales, en Cuba empleando las DTN. En una primera etapa se comenzará adaptando el servicio de correo UUCP para que funcione en una red DTN, luego se deben valorar otras de las aplicaciones que están en fase de desarrollo. Aunque se utilizará un mecanismo de inundación para el encaminamiento de los fardos, en posteriores trabajos

se deben valorar los algoritmos de encaminamiento que están disponibles para las DTN.

RECONOCIMIENTOS

Los autores del trabajo agradecen a la Oficina de Informatización de la Sociedad (INFOSOC) en la provincia Santiago de Cuba por el apoyo que brinda a este proyecto.

REFERENCIAS

1. "Measuring the Information Society 2010." Disponible en <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/2010/index.html>
2. **A. MARTINEZ, V. VILLARROEL, J. PUIG-JUNOY, J. SEOANE, y F. DEL POZO**, "An economic analysis of the EHAS telemedicine system in Alto Amazonas," *J Telemed Telecare*, vol. 13, Ene. 2007, págs. 7-14.
3. **C. STEVENSON, G. CHOUNARD, Z. LEI, W. HU, S. SHELLHAMMER, y W. CALDWELL**, "IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 47, Feb. 2009, págs. 138, 130.
4. **F. SIMÓ-REIGADAS, A. MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, F. RAMOS-LÓPEZ, y J. SEOANE-PASCUAL**, "Modeling and Optimizing IEEE 802.11 DCF for Long-Distance Links," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 9, 2010, págs. 881-896.
5. **K. FALL**, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets," *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, Karlsruhe, Germany: ACM, 2003, págs. 27-34.
6. **I.F. AKYILDIZ, Ö.B. AKAN, C. CHEN, J. FANG, y W. SU**, "InterPlaNetary Internet: state-of-the-art and research challenges," *Computer Networks*, vol. 43, Oct. 2003, págs. 75-112.
7. **S. FARRELL y V. CAHILL**, "Evaluating LTP-T: A DTN-Friendly Transport Protocol," *2007 International Workshop on Satellite and Space Communications*, Salzburg, Austria: 2007, págs. 178-181.
8. **S. BURLEIGH, A. HOOKE, L. TORGERSON, K. FALL, V. CERF, B. DURST, K. SCOTT, y H. WEISS**, "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, 2003, págs. 136, 128.
9. **S.F. VINNY CAHILL**, *Delay- and Disruption-Tolerant Networking*, Artech House, 2006.
10. **L. WOOD, W.M. EDDY, y P. HOLLIDAY**, "A bundle of problems," *2009 IEEE Aerospace conference*, Big Sky, MT, USA: 2009, págs. 1-17.
11. **J. SEGUI y E. JENNINGS**, "Delay Tolerant Networking - Bundle Protocol Simulation," *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology*, IEEE Computer Society, 2006, págs. 235-240.
12. **K. FALL, S. MADDEN, W. HONG, y W. HONG**, "Custody Transfer for Reliable Delivery in Delay Tolerant Networks," 2003.
13. **A. PENTLAND, R. FLETCHER, y A. HASSON**, "DakNet: rethinking connectivity in developing nations," *Computer*, vol. 37, 2004, págs. 78-83.
14. **N. GARG, S. SOBTI, J. LAI, F. ZHENG, K. LI, R.Y. WANG, y A. KRISHNAMURTHY**, "Bridging the digital divide: storage media + postal network = generic high-bandwidth communication," *Trans. Storage*, vol. 1, 2005, págs. 246-275.
15. "Wizzy digital courier-how it works." Disponible en <http://www.wizzy.org.za/article/articlestatic/19/1/2/>
16. **A. DORIA**, "Providing connectivity to the saami nomadic community," *IN PROC. 2ND INT. CONF. ON OPEN COLLABORATIVE DESIGN FOR SUSTAINABLE INNOVATION*, 2002.
17. "Anuario Estadístico de Santiago de Cuba - 2008." Disponible en http://www.one.cu/aed2008/13Santiago/esp/2009SC_tabla_cuadro.htm
18. *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*, Hacker Friendly LLC, 2008.
19. *Redes Inalámbricas para Zonas Rurales*, GTR-PUCP, 2008.
20. **B. DU y E.A. BREWER**, "Dtwiki: a disconnection and intermittency tolerant wiki," *Proceeding of the 17th international conference on World Wide Web*, Beijing, China: ACM, 2008, págs. 945-952.
21. **M. DEMMER, B. DU, y M. PIOTROWSKI**, "E-mail4B: An E-mail System for the Developing World."
22. **A. BALASUBRAMANIAN, Y. ZHOU, W.B. CROFT, B.N. LEVINE, y A. VENKATARAMANI**, "Web search from a bus," *Proceedings of the second ACM workshop on Challenged networks*, Montreal, Quebec, Canada: ACM, 2007, págs. 59-66.
23. **Z. ZHANG**, "Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 8, Mar. 2007, págs. 37, 24.
24. **S. JAIN, K. FALL, y R. PATRA**, "Routing in a delay tolerant network," *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, Portland, Oregon, USA: ACM, 2004, págs. 145-158.

AUTORES

Lídice Romero Amondaray, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica por la Universidad de Oriente en Cuba, Master en Sistema de Telecomunicaciones por la misma Universidad, DEA en Ingeniería de Telecomunicación por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid en España, Profesor Asistente en el Departamento de Telecomunicaciones de la Universidad de Oriente, es miembro del claustro de Postgrado de la Maestría en Telemática de la Universidad Iberoamericana de Ciencia y

Tecnología de Nicaragua y de la Maestría en Sistema de Telecomunicaciones de la Universidad de Oriente. Es miembro pleno de la asociación de mujeres científicas del Tercer mundo "Third World Organization for Women In Science (TWOWS)" con sede en el "Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics" de Trieste, Italia. Es estudiante de doctorado.

Andrés Subert Semanat, Profesor Titular del Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad de Oriente. Graduado en 1982 de ingeniero en Telecomunicaciones, realizó estudios de especialización en Alemania en 1989. En 1996 homologa su título y obtiene la titulación de Ingeniero de Telecomunicación en España, aquí obtiene, en 1997, el grado de Ph.D. en Telecomunicaciones en la Escuela Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid, donde realizó estudios por espacio de tres años. Realizó estancias postdoctorales en España, en el año 1999 y en la Universidad de Ghent en Bélgica durante el año 2000. Ha sido miembro de la IEEE y posee varios artículos y presentaciones en eventos y revistas

internacionales de prestigio. Ha sido Vicedecano de Investigaciones y Jefe del Departamento de Telecomunicaciones en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Oriente. Actualmente es miembro del Comité Académico de la Maestría en Sistemas de Telecomunicaciones y Coordinador de la Carrera de Telecomunicaciones y Electrónica de la Universidad de Oriente, la cual está certificada desde 2004. Es Miembro del claustro de Postgrado de la Maestría en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en Ecuador y de la Universidad Iberoamericana de Ciencia y Tecnología de Nicaragua. Es miembro del Consejo Nacional de Grados Científicos de Cuba.

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Oriente
Ave. de las América y Casero s/n, 90900
Santiago de Cuba, CUBA
Tel: (53-22)646086 Fax: (53-22)643928