



LAS REDES TOLERANTES AL RETARDO (DTN). UNA SOLUCIÓN A LAS COMUNICACIONES RURALES EN CUBA

(Delay Tolerant Network (DTN). A solution for rural communications in Cuba)

Romero Amondaray, Lídice

Universidad de Oriente, Cuba (UO)

lidice@fie.uo.edu.cu

Sánchez Paz, Héctor Ramón

Universidad de Oriente, Cuba (UO)

hsanchezpaz@fie.uo.edu.cu

RESUMEN

Las Redes tolerantes al retardo e interrupciones se han convertido en una tecnología de bajo costo para brindar comunicaciones rurales en países en desarrollo. Este trabajo tiene como propósito evaluar esta nueva arquitectura y analizar su posible aplicación en zonas rurales de montaña en Cuba. Para esto se estudian algunos aspectos claves: mecanismo de almacenamiento y reenvío, transferencia bajo custodia, características de los nodos, la forma de nombrarlos, contactos entre nodos y algoritmos de encaminamientos empleados; también se analizan las futuras tendencias en el desarrollo de este tipo de red. Por último, se estudian proyectos actuales donde se emplea esta nueva arquitectura; estos proyectos serán tomados como base para la introducción de las DTN en el país.

Palabras clave: Redes tolerantes al retardo e interrupciones, Arquitectura de red, Protocolos.

ABSTRACT

The Delay/Disruption Tolerant Networking (DTN) architecture has become a low-cost technology to provide rural communications in developing countries. This paper presents a study of the architecture and it analyzes its possible application in rural areas in Cuba. In this study the following key aspects are reviewed: store and forward and custody transfer mechanisms, nodes' characteristics, naming, addressing and binding, contacts between nodes and routing algorithms. Future development of the architecture is also discussed. Finally, the implementation of this new architecture abroad is also studied in order to use these projects as a basis for the introduction of DTN in Cuba.

Keywords: Delay Tolerant Networking, Disruption Tolerant Networking, Network architecture, Protocols.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo constante de la ciencia y la técnica en el área de las telecomunicaciones y la expansión de internet por todo el globo terrestre, han venido surgiendo de forma paralela, nuevos y cada vez más complejos problemas que el hombre con su ingenio ha tenido que vencer para lograr sus objetivos.



Con el empleo de internet en las zonas remotas o de difícil acceso utilizando los protocolos más conocidos en la red de redes, aparecen una serie de problemas inherentes a este tipo de medio que imposibilitan el buen funcionamiento del sistema.

Las Redes Tolerantes al Retardo han sido una solución práctica para enfrentar los problemas de conexión existentes en los ambientes ya mencionados, comportándose como una excelente herramienta para interconectar redes diferentes.

Esta nueva arquitectura incorpora una nueva capa al modelo de red subyacente, que puede ser TCP/IP o no, dicha capa se sitúa entre la capa de aplicaciones y la capa de transporte. Técnicas como la transferencia bajo custodia y el almacenamiento y reenvío le proporciona a este tipo de red un poder indiscutible frente a condiciones adversas del medio en que se encuentra.

Aunque todavía se encuentran en fase de desarrollo, las DTN han encontrado un sin número de aplicaciones para mejorar considerablemente el estado de las comunicaciones. Se puede encontrar en la navegación por internet mientras se viaja en un vehículo, en escenarios de guerra donde los soldados pueden tener información a través del s  telite acerca de la posición del enemigo mediante un conjunto de dispositivos instalados en el casco, en la comunicación entre la tierra y una nave espacial, etc.

En Cuba no se han realizado estudios relacionados con este tipo de redes, a pesar de que en su geografía cuenta con varias zonas montañosas, las cuales se consideran entornos de difícil acceso. A partir de la aplicación de diversos programas gubernamentales se ha logrado la informatización de estas áreas, sin embargo aún no cuentan con los medios para incorporarse a la red global. Es precisamente esta problemática la que lleva a estudiar esta arquitectura como posible solución a las comunicaciones rurales en Cuba.

REDES TOLERANTES AL RETARDO E INTERRUPTIONES (DTN)

Las Redes tolerantes al retardo e interrupciones surgieron como parte del proyecto "Internet Interplanetaria" (IPN) [1]. Este proyecto comenzó en el Laboratorio de Propulsión a Chorro de EE.UU con el objetivo de proporcionar una nueva tecnología para las comunicaciones entre naves espaciales.

Se concebía el sistema interplanetario como una red de redes globales, 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 internet convencional como sobre protocolos de transportes subyacentes, más adecuados a largos retardos e interrupciones.

En esta nueva arquitectura el equivalente a IP se denomina Protocolo de Paquetes (Bundle Protocol) y puede correr lo mismo sobre TCP, UDP, sobre el nuevo Protocolo de Transporte Licklider [2] para aplicaciones en el espacio profundo o sobre otro protocolo de transporte [3]. Esta arquitectura de red llamada Redes tolerantes al retardo e

interrupciones (DTN por sus siglas en inglés) ha demostrado ser útil en aplicaciones terrestres.

Las redes DTN implementan una arquitectura de conmutación de mensajes con almacenamiento y reenvío [4]. Esta funcionalidad se consigue con la introducción de una capa de mensajes o fardo - bundle layer [5] [6] - situada entre la capa de aplicación y la capa de transporte con el objetivo de unir redes distintas y de naturaleza heterogénea.

El almacenamiento de los datos se realiza de forma persistente (en discos o memorias flash) en los nodos intermedios para ser retransmitidos ante una interrupción [7]. Otra característica de la redes DTN es la transferencia mensajes bajo custodia [8]. Los encaminadores DTN almacenan los mensajes con garantías hasta que el siguiente nodo en la ruta esté disponible.

Capa de fardos

El objetivo principal de esta nueva capa (ver Fig. 1) es el de unir redes de naturaleza heterogénea entre sí. De esta manera, las capas inferiores que usan protocolos específicos dependiendo de donde se encuentren esas redes, no sean un impedimento para la comunicación de las aplicaciones, situadas en la capa superior del nuevo protocolo introducido. Su función es dotar a las comunicaciones entre distintas redes de independencia de las capas inferiores.

El nuevo protocolo introducido es común para todas las redes que forman las redes DTN. Esta capa es la que almacena y reenvía los mensajes entre los distintos nodos de las redes.



Fig. 1: Arquitectura de una red DTN

Los mensajes, por lo tanto, consistirán en: (1) los datos de la aplicación de usuario, (2) la información de control para aplicación de destino proporcionada por la aplicación de origen y (3) una cabecera, propia de este nuevo protocolo e insertada por el mismo.

La nueva capa es capaz de fragmentar los mensajes, igual que como actúa IP. En este caso, será el mismo protocolo el encargado de reensamblarlos cuando sea necesario.

Almacenamiento y reenvío

DTN supera los problemas relacionados con la conectividad intermitente, los retardos largos o variables, el flujo de datos asimétricos y los altos índices de errores empleando el mecanismo de almacenamiento y reenvío de mensajes conmutados.

Con esta técnica los mensajes se mueven, en su conjunto o por fragmentos, de un nodo en el que se encuentra almacenado hacia otro nodo, se verifica que la información esté completa y luego se reenvía al siguiente nodo, repitiéndose este proceso en cada nodo de la ruta hasta llegar al nodo destino (ver Fig. 2).

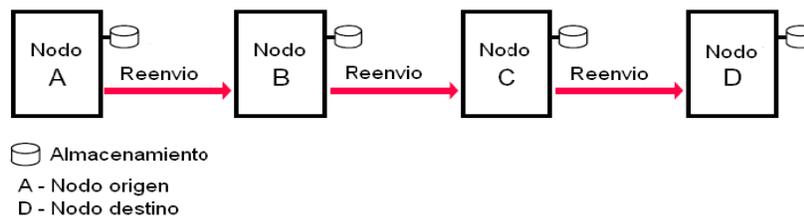


Fig. 2: Representación del mecanismo de almacenamiento y reenvío

En el medio en el que se transmite el mensaje, así como las largas distancias que tienen que atravesar, existe una alta probabilidad de que se produzcan fallos de envío de los mensajes. Cuando se producen fallos, al tratarse de información importante, se requiere el reenvío de la información. De este modo, cuando un nodo envía un mensaje, no lo puede eliminar en el acto pues puede que se produzcan errores en la recepción; se debería esperar a una confirmación de llegada por parte del nodo destino.

Los dispositivos de almacenamiento (tales como: discos duros o memorias) pueden mantener la información indefinidamente. Ellos se denominan de almacenamiento persistente. En contraposición, los encaminadores empleados en internet usan "chips" de memorias para guardar paquetes durante unos pocos milisegundos, mientras que están a la espera de su próximo salto a la vez que busca en su tabla de encaminamiento un puerto de salida disponible.

Transferencia bajo custodia

La transferencia bajo custodia es un concepto importante en la arquitectura de DTN, y es que en caso de retransmisión el paquete no tenga 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 (ver Fig. 3).

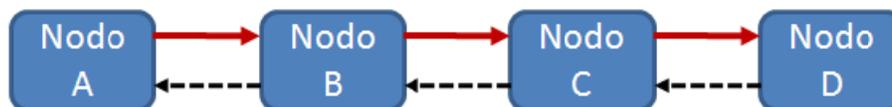


Fig. 3: Transferencia bajo custodia

La arquitectura DTN no exige que todos los nodos DTN acepten la transferencia bajo custodia. Por eso no se considera un mecanismo de salto a salto legítimo. En caso de que

no se acepte la transferencia bajo custodia, el mecanismo de retransmisión no es empleado de modo que el éxito en la entrega del mensaje dependerá de los protocolos de las capas inferiores.

Por ejemplo, puede ser posible que un nodo tenga capacidad de almacenamiento suficiente para seguir como custodio, pero opte por no aceptar la transferencia bajo custodia cuando su capacidad de batería es baja en un determinado nivel.

Los nodos pueden tomar decisiones de forma individual sobre la aceptación de custodia basados en políticas de seguridad, tamaño del paquete, orden de prioridad o tiempo de vida del mensaje.

Nodos DTN, direccionamiento y traducción de nombres

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 (ver Fig. 4).

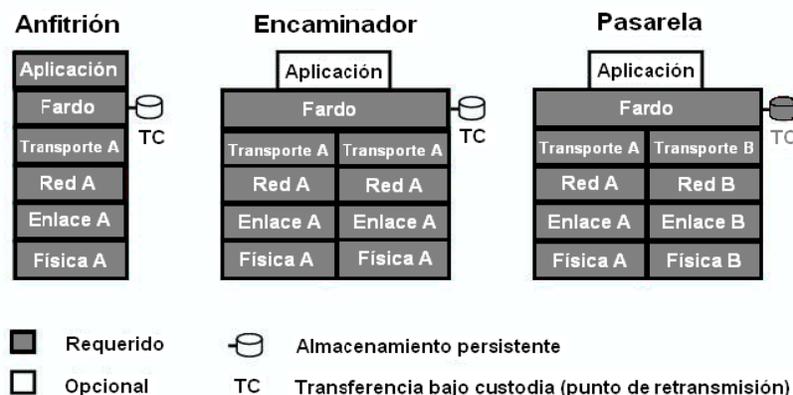


Fig. 4: Categorías de los nodos en DTN

En una red DTN, los nodos se nombran con un identificador de nodo. Originalmente el identificador de nodo se construía con la forma: región, nodo, aplicación. De esta forma no sólo se identifican los nodos sino también a la aplicación de interés dentro del nodo (Ej. bundles://region1/host://cliente1).

Una región representaba una sección de una red DTN donde los protocolos de transporte eran homogéneos entre los distintos nodos que la formaban. Un nodo era considerado encaminador cuando pertenecía simultáneamente a varias regiones, y podía transportar mensajes entre ellas. Este concepto se volvió poco práctico para nodos con varias interfaces o móviles; fue necesario entonces un mecanismo más flexible de direccionamiento.

En la actualidad, 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>.

Cada URI comienza con una estructura denominada esquema, que no es más que un elemento de un conjunto de esquemas designados globalmente por la IANA [9]. Ejemplo de estos son: ftp, http, dns, pop, sip, file, entre otros. Después del nombre del esquema URI existe una serie de caracteres obligatorios definidos para cada esquema, esta parte es conocida como parte específica del esquema (SSP, Scheme Specific Part).

Usando URI se puede nombrar a un nodo por su dirección MAC (ether://00-15-C5-1A-D4-75) o por su nombre de dominio (dns://tle.fie.uo.edu.cu), se pueden crear políticas de reenvío (dtn://*.uo.edu.cu.dtn -> ether://00-15-C5-1A-D4-75) o se puede soportar aplicaciones existente (<http://www.uo.edu.cu> dtn: <http://www.uo.edu.cu>) Esta es una de las temáticas en las que aún se trabaja en la arquitectura.

Otro principio importante en la arquitectura DTN es la traducción tardía (late binding) pues permite identificar la parte específica del esquema (SSP) de un identificador de destino (EID) con el objetivo de encaminar un mensaje hacia uno o varios destinatarios. Traducción tardía significa que no es necesario que ocurra en el origen en el momento que se envía el mensaje hacia un destino [10].

En internet convencional la traducción de nombres de dominio se realiza en la fuente que da origen al mensaje. Por ejemplo, cuando se envía un mensaje de correo electrónico para el destinatario lidice@fie.uo.edu.cu, primeramente, un proceso de resolución de nombres de dominio que traduce la dirección de destino en una dirección IP, por ejemplo 10.30.3.1, esto es posible por el protocolo de Sistema de Nombres de Dominio (DNS – por sus siglas en inglés).

Por tanto, antes de enviar el mensaje ya se conoce la dirección del servidor de correo; en este caso, la traducción es temprana (early binding). Este método funciona bien en internet pues se supone que existe un camino desde el origen hasta el destino o se conoce donde se encuentra el destino para la dirección IP.

En las DTN, a veces esto no es posible. Se tiene por ejemplo el caso de un destino móvil del cual sólo se conocen las coordenadas (x,y) de donde se encuentra, es posible que en el momento que se envía el mensaje y el momento que éste debe llegar al destino, ya las coordenadas (x,y) son diferentes. Por esto es fundamental una mayor flexibilidad en la traducción del identificador de destino en el origen, o en cada salto por los nodos intermedios.

En las DTN se utiliza tanto la traducción temprana como la tardía, dependerá del esquema que se utilice. No obstante, aún queda por probar el funcionamiento de la traducción tardía en grandes redes DTN.

Contactos



En DTN se supone que no todos los nodos son alcanzables, y pueden ser contactados en cualquier momento. Esta característica contrasta fuertemente con el internet convencional, donde se considera que las entidades de comunicantes están siempre alcanzables. Un concepto importante que debe ser considerado en esta arquitectura es el “contacto”.

Un contacto corresponde a una ocasión favorable para que los nodos intercambien datos. Posibilidad de fallas siempre existirán para cualquier tipo de contacto, pero dependiendo de éste las fallas pueden ser más o menos frecuentes.

Los contactos entre nodos DTN serán casuales, predictivas, programadas o bajo demanda; en dependencia de la zona donde se utilice la tecnología.

Encaminamiento

Uno de los puntos más importantes en el desarrollo de las DTN son los protocolos y algoritmos de enrutamiento. Las DTN pueden ser utilizadas en una amplia variedad de escenarios – con conexión extremo a extremo o no - por lo tanto, al igual que soporta varios formatos de nombrado y varias tecnologías de redes, soporta también una amplia gama de algoritmos de encaminamiento.

En su mayoría, los protocolos de encaminamiento para las DTN suponen una topología de red dinámica, donde algunos enlaces pueden existir solamente un pequeños intervalos de tiempo.

Esto trae como consecuencia que la conectividad de la red sea variable en el tiempo, siendo posible que en algún instante de tiempo no exista conexión entre origen y destino. Diversos algoritmos de encaminamiento han sido propuestos, sin embargo, esta área continúa siendo uno de los mayores desafíos en las DTN [11] [12].

APLICACIONES PARA DTN

El desarrollo de aplicaciones para DTN es una tarea difícil, pues debe ser considerada la existencia de escenarios con características poco propicias a la interactividad. Los problemas más comunes están relacionados con los diferentes temporizadores de cada capa de aplicación.

Generalmente los temporizadores de aplicación son utilizados para lograr los intentos de ejecución de nuevas transmisiones, es decir, cuando un mensaje es enviado y la respuesta no es obtenida dentro del margen de tiempo esperado, se retransmite nuevamente.

Para las aplicaciones DTN la entrega del mensaje es más importante que cualquier otra métrica de desempeño, inclusive el retardo. La aplicación más inmediata a ser implementada es el servicio de correo electrónico, el cual tiene como ventaja que archivos grandes sean anexados a los mensajes.



No obstante, otras aplicaciones están siendo desarrolladas: transferencia de archivos, repositorios para compartir copias de reservas, educación a distancia, formularios electrónicos, sistemas de publicaciones y distribución de información, videos, páginas web personales, periódicos y revistas [13] [14] [15].

FUTURO DE LAS DTN

La arquitectura de redes tolerantes a retardos e interrupciones es un tema muy reciente que posee diversos aspectos desafiantes, es por esto que ha despertado el interés de muchos investigadores en el área de las redes. El desarrollo de aplicaciones comerciales en esta área en los próximos años indicará la importancia que las DTN deben asumir en el futuro.

Ya en el acápite anterior se mencionó que están siendo desarrolladas varias aplicaciones para esta arquitectura. La extensión generalizada del protocolo de fardos de extremo a extremo depende de la eficiencia y adecuación de este protocolo con los de las capas que operan por debajo de la capa de fardos.

Es por ello que, teniendo en cuenta que no todos los protocolos ofrecen las mismas funcionalidades, son necesarias capas de convergencia entre la capa de fardos y los protocolos de las capas inferiores para que una cantidad mínima de servicios puedan ser ofrecidos.

Toda capa de convergencia debe proveer los detalles específicos de los protocolos a través de una interfaz con los protocolos de las capas inferiores y además proveer una interfaz consistente con la capa de fardo.

A pesar de que la arquitectura DTN destaca la necesidad de diferentes capas de convergencia, no existe aun ninguna especificación o implementación relativa a la capa de convergencia. Tampoco están definidos los servicios que debe ofrecer la capa de fardos.

Diversos algoritmos de encaminamiento fueron propuestos, sin embargo, esta área continúa siendo uno de los mayores desafíos en las DTN. Para proponer soluciones que avalen la relación entre la sobrecarga de la red y el atraso en la comunicación, son necesarios métodos efectivos que determinen cuántos nodos encaminadores deben ser utilizados para garantizar la entrega del mensaje.

Para los algoritmos que se basan en la replicación, también existe la necesidad de métodos alternativos que informen a los nodos intermediarios la recepción del mensaje por el nodo destino y, de esa forma, poder reducir el tiempo de ocupación de la memoria de almacenamiento con mensajes innecesarios. La implementación de esquemas inteligentes de administración de la capacidad de la memoria de almacenamiento permitirá tomar la mejor decisión sobre los posibles descartes de mensajes cuando esté llena.



Otra línea de desarrollo seguida está relacionada con los esquemas de control de flujo y control de congestión en DTN. Existen algunas dudas sobre la eficiencia de los esquemas que han sido definidos en ambientes caracterizados por retardos muy largos y variables, especialmente referente al mecanismo transferencia bajo custodia, el cual puede requerir que los nodos retransmitan los fardos por largos periodos de tiempo.

Un punto muy importante y de difícil solución que actualmente está siendo muy abordado es la seguridad de estas redes. El protocolo de fardos no considera los aspectos de seguridad en sus especificaciones. Este tópico aún está abierto, destacándose el desarrollo de mecanismos eficientes de autenticación y control de acceso, principalmente cuando los recursos de la red son escasos [16] [17].

Esto significa, por ejemplo, impedir que un nodo no autorizado inunde la red, teniendo en cuenta que los nodos pueden realizar acciones maliciosas como ataques de negación de servicios. A pesar de que ya existen protocolos eficientes de autenticación y de control de acceso, estos fueron probados para operar en redes con pequeños retardos y no prestarían un desempeño aceptable en DTN.

Otras funciones básicas de seguridad que son de difícil solución en redes DTN son los controles de integridad, por ejemplo, no hay cómo garantizar que la carga adjunta no sea corrupta mientras esté en tráfico, y además que los nodos no estén aptos para detectar esas alteraciones. De la misma forma la confidencialidad de los datos y el rechazo de estos son difíciles de obtener.

PROYECTOS DONDE SE UTILIZAN LAS DTN

Diversas localidades del mundo no poseen la infraestructura necesaria para la utilización de aplicaciones comunes como el correo electrónico y el servicio de navegación web. Normalmente son regiones rurales o regiones residenciales habitadas por personas de bajo poder adquisitivo. Como las soluciones convencionales de redes son muy caras y no pueden ser implementadas en estas áreas, las DTN constituyen una solución apropiada para este entorno.

El proyecto Saami [18] tiene como objetivo principal proveer el acceso a internet a una población nómada de la región de Suecia y de otros países escandinavos. En función de eso, el proyecto utiliza el concepto de redes tolerantes a retardos para proveer correo electrónico, acceso web y transferencia de datos.

El protocolo de fardos fue utilizado para mover datos entre los nodos utilizando enrutamiento oportunista a través de los nodos fijos y móviles. Los nodos móviles periódicamente hacen un trayecto entre las comunidades residenciales, pasando por puntos donde los datos pueden ser intercambiados, también por otros puntos con acceso a internet. El proyecto abarca además la idea de monitorizar los rebaños de renos empleando redes de sensores y de vehículos que puedan transportar, haciendo la función de mula de datos, los valores obtenidos por los sensores.



Wizzy Digital Courier [19] es un proyecto donde se ofrece acceso a internet a escuelas de África del Sur. Este acceso puede ser posible empleando conexiones mediante MODEM discados en las noches, teniendo en cuenta el costo de las conexiones en ese espacio del día, o a través de mensajeros al estilo del servicio de correo postal en las localidades que no posean teléfonos.

El mensajero utilizará una motocicleta o una bicicleta, haciendo la función de mula de datos, para el transporte de datos entre las localidades sin acceso y las que tienen acceso a internet. El transporte es realizado a través de dispositivos de almacenamiento con interfaz USB, o a través de redes inalámbricas, mediante las cuales no es necesario entrar a la escuela para obtener los datos. Actualmente seis escuelas están siendo atendidas por ese servicio.

El proyecto First Mile Solutio también trabaja con el objetivo de proveer acceso a internet en áreas remotas que no poseen este servicio. Las mulas de datos all  son puntos móviles, son  mnibus, motos o barcos, que son los responsables del transporte físico de los datos entre los quioscos de las villas y los grandes centros.

La organización emplea una arquitectura propietaria llamada DakNet [20], la cual desarrolla productos especializados como concentradores y puntos de acceso. Existen pruebas pilotos implementados en Ruanda, Cambodia, Costa Rica y la India.

El proyecto KioskNet [21] de la Universidad de Waterloo, en Canadá, provee acceso a internet de forma confiable y de bajo costo a quioscos rurales, su función principal es que los pobladores puedan realizar consultas médicas, relativas a la agricultura entre otras.

En este proyecto la tolerancia a desconexiones surge en función de dos situaciones, los problemas de energía existentes en esas zonas y los altos costos que implicarían otras soluciones. Cada quiosco posee una o más computadoras con el mínimo de requerimientos, lo que las hace baratas, simples y además un equipamiento de radio que se comunica con otras computadoras que van transportadas en  mnibus, carros y camiones. Esos vehículos oportunamente hacen la función de mula de datos, transportando los datos de los quioscos hacia pasarelas con acceso a internet y viceversa.

APLICACIÓN DE LAS DTN EN CUBA

El municipio de Guamá est  situado en la parte occidental y sur de la provincia de Santiago de Cuba (ver fig. 5, el municipio Guamá se encuentra hacia el este coincidiendo con el cuadro de la Sierra Maestra). Este municipio surgió en 1976 con su capital en el poblado de Chivirico. Comparte el litoral de la provincia junto al municipio de Santiago de Cuba.

Este territorio es largo, tiene una estrecha franja costera al Mar Caribe y a su vez comprende una buena porción de la Sierra Maestra; macizo montañoso más importante de Cuba. Esta situación geográfica determina la fisonomía del municipio, que es eminentemente montañoso.

Sus principales alturas están en el Pico Turquino, formado por tres picos: el Pico Real del Turquino (1974 metros), el Pico Cuba (1874 metros) y el Pico Suecia (1734 metros), que son las mayores alturas del país. Su eje longitudinal sigue aproximadamente la dirección de los paralelos, lo que incide en sus características climáticas, hidrográficas y en sus suelos.



Fig. 5: Mapa de Cuba tomado de la Wikipedia.

Las principales actividades del municipio son agropecuarias. Sus producciones son el café, la madera, los cítricos, frutales, viandas, hortalizas, pesca y ganadería vacuna. Guamá tiene un total de 34 967 habitantes. El 75% de ellos vive en áreas montañosas. Es un municipio de baja densidad poblacional (36.8 Hab/Km²).

La infraestructura de comunicaciones en el municipio Guamá es escasa. Según datos de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA), la densidad telefónica es de 2.49 % y la penetración telefónica es de 4.92 %. Se calcula que existe un promedio de 8 computadoras por cada mil habitantes; estas computadoras se encuentran en los puestos de salud y escuelas rurales.

El municipio tiene un total de 288 computadoras, y sólo 3 de ellos, situados en la cabecera municipal, están conectadas a internet. Para el año 2012 se tiene previsto conectar por medio de fibra óptica a 3 de los poblados más cercanos a la cabecera provincial (Aserradero, Caletón y Buey Cabón).

Posteriormente se instalará un punto de acceso WiMAX en Tabacal que permita enlazar el municipio (ver fig. 6). Uno de los principales inconvenientes de esta solución es que le dará servicio a los poblados situados en el litoral, pero no a los ubicados en el interior de la Sierra. El municipio tiene cobertura celular pero no se comercializa el servicio de transmisión de datos.

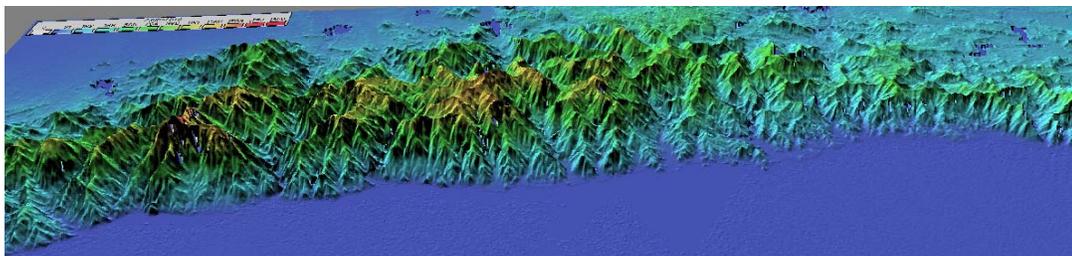


Fig. 6: Imagen de la Sierra Maestra con el programa Radio Mobile.



La mejor solución sería aplicar el concepto de mulas de datos en los poblados más adentrado en la Sierra y utilizar la red que propone la empresa de telecomunicaciones en el territorio para la comunicación de los poblados del litoral.

Se han identificado varios posibles tipos de mulas de datos: laboratorio móvil de computadoras, transporte regular entre zonas, bicicleta, carreta de bueyes, mulos y mensajero. Algunos de estos ya han sido utilizados para el transporte de información estadística. Los primeros llegarán hasta donde lo permita la geografía y los últimos a lugares donde sólo es posible llegar con ellos.

La comunicación entre el poblado y el nodo móvil (contacto) sería 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.

CONCLUSIONES

Después de estudiar los conceptos, características, algoritmos de encaminamiento, proyectos actuales en desarrollo y tendencias futuras de las Redes Tolerantes al Retardo e interrupciones, se puede concluir que:

- La arquitectura DTN y la inclusión del protocolo de fardo provee teóricamente la estructura ideal para la transferencia de datos de forma confiable en entornos hostiles.
- La transferencia de datos bajo custodia combinado con el almacenamiento persistente, aunque provoca una mayor carga en la red, garantiza que los paquetes no se pierdan y de esta forma evitan en caso de que exista alguna interrupción en el enlace que el paquete tenga que viajar nuevamente desde el nodo que le dio origen hasta el destino.
- Los algoritmos de encaminamiento para DTN son un punto complejo aún en desarrollo; debido a que requieren el uso de técnicas de selección de caminos, esquemas de transmisión y manejo de la memoria de almacenamiento que en ocasiones son datos desconocidos por los nodos de la red.
- No todas las aplicaciones pueden ser empleadas en redes DTN, debido a que no todas pueden soportar las largas demoras, en cuanto a desconexiones se trata, a las que pueden estar sometidas estas redes. Ejemplo de estas aplicaciones son el chat en tiempo real y la navegación web, aunque para esta última ya se han propuesto soluciones.



- No obstante a los problemas no resueltos en la arquitectura, ésta sería una solución viable para brindar comunicaciones en Cuba a los asentamientos rurales de la Sierra Maestra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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, pages: 136, 128.
- [2] S. Farrell y V. Cahill. Evaluating LTP-T: A DTN-Friendly Transport Protocol. 2007 International Workshop on Satellite and Space Communications, Salzburg, Austria: 2007, pages: 178-181.
- [3] G. Papastergiou, I. Psaras, y V. Tsaoussidis. Deep-Space Transport Protocol: A novel transport scheme for Space DTNs. Computer Communications, vol. 32, Oct. 2009, pages: 1757-1767.
- [4] 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, pages: 27-34.
- [5] L. Wood, W.M. Eddy, y P. Holliday. A bundle of problems. 2009 IEEE Aerospace conference, Big Sky, MT, USA: 2009, pages: 1-17.
- [6] 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, pages: 235-240.
- [7] J. Ott. DTN-based Content Storage and Retrieval. in the first ieee wow mom workshop on autonomic and opportunistic communications (aoc, 2007).
- [8] K. Fall, S. Madden, W. Hong, y W. Hong. Custody Transfer for Reliable Delivery in Delay Tolerant Networks. 2003.
- [9] IANA — Internet Assigned Numbers Authority.
- [10] S.F. Vinny Cahill, Delay- and Disruption- Tolerant Networking, Artech House, 2006.
- [11] 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, pages: 37, 24.
- [12] 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, pages: 145-158.
- [13] 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, pages: 945-952.

- [14] M. Demmer, B. Du, y M. Piotrowski. E-mail4B: An E-mail System for the Developing World.
- [15] 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, pages: 59-66.
- [16] A.S. Srinivasan. Practical Security for Disconnected Nodes.
- [17] S.U. Rahman, U. Hengartner, U. Ismail, y S. Keshav. Practical security for rural internet kiosks. Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions, Seattle, WA, USA: ACM, 2008, pages: 13-18.
- [18] A. Doria. Providing connectivity to the saami nomadic community. IN PROC. 2ND INT. CONF. ON OPEN COLLABORATIVE DESIGN FOR SUSTAINABLE INNOVATION, 2002.
- [19] Wizzy digital courier–how it works.
- [20] A. Pentland, R. Fletcher, y A. Hasson. DakNet: rethinking connectivity in developing nations. Computer, vol. 37, 2004, pages: 78-83.
- [21] A. Seth, D. Kroeker, M. Zaharia, S. Guo, y S. Keshav. Low-cost communication for rural internet kiosks using mechanical backhaul. Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile computing and networking, Los Angeles, CA, USA: ACM, 2006, pages: 334-345.