



Diseño y Simulación de una solución basada en redes tolerante al retardo para proporcionar comunicaciones para zonas remotas aisladas

Design and Simulation of a Delay-Tolerant Network-Based Solution for Providing Communications in Remote and Isolated Areas

Autores:

Carlos Gonzalez, Julio Navas, Miguel Aparicio, André Gómez y Rafael Guerra

Profesora:

Aris Castillo

Licenciatura en ingeniería de Sistemas y Computación

Resumen

La Internet ha tenido un gran éxito en términos de comunicación e interconexión a nivel mundial. Esto se ha logrado mediante el uso de protocolos de comunicación estandarizados, como TCP e IP, y el despliegue de una infraestructura de miles de redes y subredes que enrutan el tráfico de estos protocolos y otros. En el diseño de redes TCP/IP, los criterios originales incluyen alta disponibilidad, control distribuido, conmutación de paquetes, datagramas, independencia de redes y heterogeneidad. También se asume comúnmente que el retardo en el tránsito de datos a través de la red es moderado. Sin embargo, a medida que Internet ha crecido, han surgido nuevas arquitecturas de red y desafíos para brindar servicio a todos los usuarios.

En este contexto, uno de los desafíos es establecer comunicación en entornos remotos donde no hay disponibilidad de una arquitectura de red que admita protocolos conocidos de Internet. La tecnología DTN (Delay Tolerant Network) ha surgido como una solución para operar redes en entornos hostiles. En este documento, se realiza una evaluación de la tecnología DTN, centrándose en estudios para llevar Internet a áreas remotas aisladas utilizando un modelo de nodo móvil que transporta y entrega mensajes a otros. Para validar esta solución, se utiliza un simulador ampliamente utilizado en el ámbito académico llamado The ONE. Mediante este simulador, se evalúan aspectos como el protocolo de enrutamiento, la tasa de entrega de mensajes a sus destinos, la latencia de los mensajes y el modelo de movilidad de los nodos DTN. De esta manera, se busca evaluar el comportamiento de la solución diseñada antes de implementarla en un entorno real.

Palabras clave

Interconexión, Retardo, DTN y Latencia.

Abstract

The Internet has been a great success in terms of communication and interconnection worldwide. This has been achieved through the use of standardized communication protocols, such as TCP and IP, and the deployment of an infrastructure of thousands of networks and subnetworks that route the traffic of these protocols and others. In the design of TCP/IP networks, the original criteria include high availability, distributed control, packet switching, datagrams, network independence, and heterogeneity. It is also commonly assumed that the transit delay of data through the network is moderate. However, as the Internet has grown, new network architectures and challenges have emerged to provide service to all users.

In this context, one of the challenges is to establish communication in remote environments where there is no availability of a network architecture that supports known Internet protocols. Delay-Tolerant Network (DTN) technology has emerged as a solution for operating networks in hostile environments. This document presents an evaluation of DTN technology, focusing mainly on studies to bring Internet to isolated remote areas using a mobile node model that carries and delivers messages to others. To validate this solution, a widely used simulation environment called The ONE is employed. Through this simulator, aspects such as routing protocol, message delivery ratio to destinations, message latency, and mobility model of DTN nodes are evaluated. The goal is to assess the behavior of the designed solution before implementing it in a real environment.

Keywords

Interconnection, Delay, DTN, Latency

Introducción

Los escenarios de red más habituales normalmente suponen conexiones estables, ideales en donde las arquitecturas de red funcionen óptimamente para la transmisión y el enrutamiento de datos. Cuando esto deja de suceder y surgen problemas como lo son pérdidas, retardos, latencias entre otros, entonces las arquitecturas con las que se están soportando ya no son suficientes para llevar a cabo la tarea de la comunicación. El retardo y las interrupciones en la red son efectos que llevan a que se introduzca un nuevo concepto de arquitectura de red llamado Delay- Disruption Tolerant Network (DTN). El objetivo de este es llevar la transmisión de los datos en ambientes donde estos efectos se presentan.

Existen muchas regiones que no tienen acceso a cualquier tipo de conexión convencional para que puedan conectarse con el mundo de la Internet. Es este momento la tecnología DTN otorgan la posibilidad de conexiones en estos 3 ambientes remotos o de difícil acceso. En este contexto, el proyecto se enfoca en la simulación y diseño de una red DTN (Delay Tolerant Network) para las zonas remotas de Panamá en caso de emergencia, centrándose específicamente en las zonas remotas.

Se propone utilizar la simulación y el diseño de una red DTN utilizando la herramienta de simulación

The one para abordar estos desafíos y establecer una simulación de una comunicación efectiva en las áreas remotas durante situaciones que se requiera la comunicación. La red DTN permitirá ofrecer servicios de conexión en entornos remotos, enfocando principalmente en el modelo de red que cuenta con un nodo móvil para llevar servicios a estos lugares.

Al desarrollar esta solución basada en la simulación de The One, se podrán evaluar diferentes escenarios y parámetros para optimizar la red DTN y adaptarla a las necesidades específicas de las comunidades o zonas remotas en Panamá. Además, se podrán identificar posibles desafíos adicionales relacionados con la carencia de electricidad y las lanchas varadas, y buscar soluciones adecuadas para abordar estas problemáticas en el diseño de la red.

En última instancia, se espera que esta solución basada en la simulación de una red DTN en la herramienta de simulación The One en la que una zona remota logre darse servicios de conexión en cuanto al nodo móvil para que estas áreas remotas puedan tener servicios.

Marco Teórico

Origen de las Redes DTN

La mayoría de los protocolos de transporte, como TCP, se basan en la suposición de que el remitente y el receptor están permanentemente conectados de algún modo, si el protocolo falla y no se pueden enviar los datos. Algunas redes no tienen una ruta de terminal. Un ejemplo es la red espacial, como los satélites LEO (órbita terrestre baja) que vuelan dentro y fuera del alcance de las estaciones terrestres. Un satélite dado solo puede comunicarse con la estación de tierra en ciertos momentos, y es posible que dos satélites nunca puedan comunicarse entre sí en ningún momento, incluso a través de la estación de tierra, porque uno de ellos puede estar fuera de alcance, es decir se encuentra señalando otro lugar. Otro tipo de redes son conexiones para: submarinos, buses, celulares y otros dispositivos que no están constantemente conectados por movilidad o condiciones extremas. En este tipo de redes, los datos que a veces se combinan aún pueden transmitirse almacenándolos en los nodos y enviándolos de vuelta cuando no haya conexión. Este método se denomina conmutación de mensajes. Luego, los datos se envían a su destino. Una red con una arquitectura basada en este enfoque se denomina DTN (Delay-Tolerant Network o Redes tolerantes al retardo).

El trabajo en DTN comenzó en 2002 cuando Internet Engineer Take Force o IETF formó un grupo de investigación sobre el tema. DTN inspiró una idea: intentar enviar paquetes al espacio.

Desde 2002, la arquitectura DTN ha mejorado y se ha ampliado el uso del modelo DTN. Como resultado, el Grupo de trabajo de investigación de Internet (IRTF) ha formado un nuevo grupo de investigación para estudiar cómo funciona DTN en general; este grupo se llama DTNRG, y actualmente se está enfocando en trabajar en la arquitectura y el protocolo DTN.

DTN es una tecnología nueva y hay bastantes áreas en las que aún queda mucho trabajo por hacer antes de que pueda implementarse en cualquier escala arquitectónica e incluso en algunas partes de la Internet moderna.

Ámbitos de aplicación de las DTNs

Como se mencionó, los protocolos ampliamente utilizados en Internet pueden no ser aplicables a todo tipo de redes, existen algunos casos en los que trabajan con límites de latencia y pérdida, estos son los casos siguientes:

- Conectividad en las zonas en desarrollo, entornos remotos: El uso de redes e Internet para aplicaciones o servicios que implican la comunicación de persona a persona en lugares remotos presenta una serie de dificultades, en particular en términos de disponibilidad de infraestructura y costos relacionados, así como en términos de instalación y mantenimiento del hardware necesario para implementar el servicio.
- Comunicaciones espaciales: Estas son formas inusuales de comunicación, como las comunicaciones cercanas a la Tierra basadas en satélites, las comunicaciones por radio de larga distancia o las comunicaciones ópticas de larga distancia con retrasos en la propagación de la luz de unos pocos segundos o minutos, que fueron creadas principalmente por organizaciones gubernamentales relacionadas.
- Redes tácticas militares: Estos sistemas pueden operar en ambientes hostiles donde la movilidad, los factores ambientales y la interferencia intencional pueden causar disparos. Para DTN, este entorno es perfecto
- Redes de Sensores: Una red de sensores inalámbricos (WSN) consiste en una gran cantidad de pequeños nodos con un poder de cómputo limitado que cooperan en tareas de detección e intercambian datos utilizando tecnología de comunicación inalámbrica. La red de sensores inalámbricos (WSN) se considera una buena aplicación para DTN; Una WSN puede ser una "zona" o región en la infraestructura DTN que utiliza puertas de enlace DTN para transmitir datos a través de Internet.
- Redes con dispositivos móviles: La arquitectura DTN también hace uso de dispositivos móviles para redes sociales, motores de recomendación y conectividad remota a Internet. Pueden aprovechar una variedad de medios y opciones de conectividad (Wi-Fi, Bluetooth, USB y redes celulares 3G.), pero su desarrollo no es fácil y requiere especificaciones de hardware y software para lograrlo.

Software para DTNs

Dado que la mayoría de los entornos en los que desea instalar la infraestructura son hostiles y tienen acceso restringido, el modelado y la simulación de DTN son esenciales. Los nuevos conceptos y protocolos deben desarrollarse en el software antes de cualquier operación. Seleccionar la mejor herramienta para sus necesidades requiere una cuidadosa consideración porque las capacidades y estrategias de cada entorno varían mucho según el tamaño de su red.

Dentro de los más importantes simuladores encontramos los siguientes:

- DTNSim2: Es un simulador de enrutamiento DTN. Desarrollado por Shoshin Research Group de la Universidad de Waterloo.
- NS-2: Es un simulador de eventos distinto con un enfoque de descubrimiento de redes que ofrecen soporte sustancial para simular protocolos TCP, enrutamiento y multidifusión en redes cableadas o inalámbricas (LAN y satélite).
- OMNET++: Es un simulador de eventos discretos basado en C++ para el modelado redes de comunicación, multiprocesadores y otros sistemas distribuidos.
- The ONE: Opportunistic Networking Environment (ONE), es un emulador diseñado específicamente para evaluar protocolos de aplicación y enrutamiento DTN. Permitiendo a los usuarios crear escenarios basados en diferentes patrones de tráfico o importar escenarios a otras aplicaciones, como un mapa de un área específica que desea simular.

Materiales y métodos

Con la realización de este trabajo se busca que la red DTN permitirá ofrecer servicios de conexión en entornos remotos, enfocando principalmente en el modelo de red que cuenta con un nodo móvil para llevar servicios a estos lugares.

Panamá es un país donde existen muchas zonas remotas en la que la mayoría presenta problemas con la comunicación sea por poseer conectividad limitada o ningún tipo de conectividad como es el caso en la Isla de San Blas esta será nuestra región

designada para nuestro caso de estudio, por lo que una arquitectura DTN puede ser una solución para el problema de conexión.

Los desafíos generales que se pueden encontrar en el desarrollo de la simulación de la red DTN a través de la herramienta The One es que el modelado preciso del mapa de la región designada puede ser complejo. También, la evaluación precisa del rendimiento de una red DTN es crucial para comprender su eficiencia y realizar mejoras. Sin embargo, la naturaleza intermitente y no determinista de las conexiones en una red DTN puede dificultar la evaluación precisa del rendimiento, lo que requiere técnicas y métricas adecuadas.

Se ha elegido The One como la herramienta utilizada para realizar la simulación, dentro de sus características vemos que ofrece un marco de simulación extensible, soporte de movilidad y generación de eventos, el intercambio de mensajes, enrutamiento de DTN y protocolos de aplicación, una noción básica del consumo de energía, la visualización y el análisis de las interfaces para la importación y exportación de los rastros de movilidad, eventos y mensajes completos.

El entorno de simulación One se trata de un programa basado en Java que permite el realizar diferentes simulaciones de redes del tipo de las DTN, con distintos escenarios caracterizados por la movilidad que permite que se generen eventos, intercambio de datos, cambio del tamaño de los mensajes, cambio del tamaño del buffer, análisis de desempeño de protocolos de enrutamiento, permitiendo exportar los datos para luego ser evaluados.

The ONE (Opportunistic Network Environment) es un simulador de redes de comunicación diseñado para modelar y simular diversas tecnologías y protocolos de redes, incluyendo redes ad hoc, redes de sensores, redes de área local inalámbricas y redes DTN (Delay-Tolerant Networking). Proporciona un entorno flexible y poderoso para investigar el rendimiento y el comportamiento de las redes de comunicación en diferentes escenarios. A continuación, se proporciona información detallada sobre The ONE:

Origen y desarrollo: The ONE fue desarrollado por Aneta Vulgarakis y otros investigadores en la Universidad de Bremen, Alemania, como parte del proyecto "Opportunistic Networking" en el año 2006. Desde entonces, ha sido ampliamente utilizado y ha experimentado actualizaciones y mejoras continuas.

Funcionalidad: The ONE permite a los investigadores crear escenarios de simulación detallados, configurar nodos y enlaces de red, y ejecutar simulaciones para evaluar el rendimiento de diferentes protocolos y algoritmos. También proporciona herramientas para generar informes y analizar los resultados de la simulación.

Sistemas operativos compatibles: The ONE es compatible con varios sistemas operativos, incluyendo Windows, Linux y macOS. Esto permite a los investigadores y usuarios ejecutar el simulador en diferentes plataformas según sus necesidades y preferencias.

El sistema operativo en el cual se realiza este proyecto a través de la utilización de la herramienta de simulación es Windows 10.

Tamaño del mensaje en la simulación: El tamaño del mensaje que se está transmitiendo en la simulación puede ser configurado por el usuario según sus necesidades. En el código proporcionado, el tamaño de los mensajes generados varía entre 500 kB y 1 MB, establecido en el parámetro `Events1.size = 500k,1M` en el archivo de configuración del escenario. Durante la simulación, los mensajes generados tendrán un tamaño aleatorio dentro de este rango.

La zona que tomamos como ejemplo será San Blas de la cual elegimos las islas más habitadas, las islas elegidas son:

- Isla El Porvenir
- Isla Achutupu
- Isla Yandup
- Isla Cartí
- Isla Nalunega

La distancia entre las islas en el archipiélago de San Blas puede variar. A continuación, se proporcionan estimaciones aproximadas de la distancia entre las islas mencionadas:

- Distancia entre Isla El Porvenir e Isla Achutupu: Aproximadamente 7 kilómetros.
- Distancia entre Isla Achutupu e Isla Yandup: Aproximadamente 10 kilómetros.
- Distancia entre Isla Yandup e Isla Cartí Sugtupu: Aproximadamente 12 kilómetros.
- Distancia entre Isla Cartí Sugtupu e Isla Nalunega: Aproximadamente 5 kilómetros.

Tomando en cuenta esta distancia podremos determinar si el viaje de los paquetes ha sido exitoso, si no lo ha sido, si se han perdido paquetes en el camino y si esto es debido a la distancia entre islas o cualquier otro problema presente.

Resultados y Discusión

Con la simulación realizada en The One podemos obtener como resultados que los paquetes entre islas si logran viajar los nodos establecidos en esta herramienta, a pesar de que el viaje de paquetes de Isla Yandup a Isla Cartí se presenta una pérdida de paquetes teniendo en cuenta que a las demás llega el mensaje completo es decir los 500kb o 1MB respectivamente a como se han generado, en cambio a esta isla mencionada de último llega un paquete con pérdida, se determino de esta manera ya que al observar la latencia se lograba ver un aumento significativo en la latencia, indicando que se han producido pérdidas en el envío, siendo una de las posibles razones la mayor distancia entre estas islas.

Los protocolos de enrutamiento TCP/IP que son los usuales que manejan el internet son protocolos end-to-end, es decir, que la conexión debe ser totalmente completa porque si no se da esto el mensaje no llega en cambio con la red DTN puede haber un fallo en el nodo pero la red DTN va a buscar el nodo más cercano que no sea el erróneo para volver a mandar el mensaje, ahora si este no encuentra un nodo el nodo que contiene el mensaje va a almacenar el mensaje hasta que haya un nodo disponible y luego

envía el mensaje, esto ayudara a los lugares remotos en distintos aspectos que son:

- Mejora en la conectividad: Las redes DTN pueden proporcionar conectividad en áreas donde las infraestructuras de comunicación tradicionales son limitadas o inexistentes. Esto permite establecer comunicación en lugares remotos donde previamente era difícil o imposible.
- Tolerancia al retardo: Las redes DTN están diseñadas para tolerar grandes retrasos en la transmisión de datos. Esto es especialmente útil en entornos donde los enlaces de comunicación son intermitentes o tienen una baja velocidad de transmisión, como zonas rurales o regiones montañosas.
- Mayor alcance de comunicación: Las redes DTN pueden utilizar diferentes medios de comunicación, como redes móviles, satélites, redes de sensores o incluso redes ad hoc formadas por dispositivos móviles. Esto amplía el alcance de la comunicación en áreas remotas y aisladas.
- Resiliencia a la pérdida de conectividad: Las redes DTN son capaces de almacenar y reenviar datos de manera eficiente, incluso en situaciones en las que no hay una conexión continua entre los nodos de la red. Esto garantiza que los mensajes se entreguen incluso cuando la conectividad es intermitente.
- Aplicaciones específicas: Las redes DTN se han utilizado con éxito en diversas aplicaciones en áreas remotas, como la comunicación en zonas rurales, la monitorización ambiental, la asistencia médica en áreas aisladas y la comunicación en situaciones de desastre.

Conclusiones

La tecnología de redes DTN (Delay-Tolerant Networks) ha surgido como una solución para abordar los desafíos de comunicación en áreas remotas o aisladas donde las infraestructuras tradicionales son limitadas. A través del uso de protocolos y enfoques que toleran el retardo en la transmisión de datos, las redes DTN permiten establecer conectividad y brindar servicios de comunicación en entornos remotos.

Creemos que ha quedado demostrado la importancia del estudio de las redes DTN en ambientes de difícil acceso para instalar una infraestructura para funcionamiento de internet, ya que estas redes ofrecen una mayor flexibilidad al utilizar diversos medios de comunicación y aprovechar tecnologías como redes móviles, satélites y redes ad hoc. Además, su capacidad de almacenar y reenviar datos de manera eficiente garantiza la entrega de mensajes incluso en situaciones de conectividad intermitente.

El impacto de las redes DTN se extiende a diversas aplicaciones, desde la comunicación en áreas rurales hasta la asistencia médica en zonas aisladas y la respuesta a situaciones de desastre. Su implementación y evaluación a través de simuladores y estudios académicos ayudan a comprender mejor su comportamiento y a diseñar soluciones efectivas antes de su implementación en entornos reales.

Referencias

- [1] Enlace a Wikipedia: "Redes Tolerantes al Retardo." Wikipedia, Wikimedia Foundation, 22 de junio de 2023, es.wikipedia.org/wiki/Redes_Tolerantes_al_Retardo.
- [2] Enlace a ResearchGate: Márquez-García, L., & Morales-González, J. A. (2012). Las redes tolerantes al retardo (DTN): Una solución a las comunicaciones rurales en Cuba. ResearchGate. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237040198_Las_redes_tolerantes_al_retardo_DTN_Una_solucion_a_las_comunicaciones_rurales_en_Cuba
- [3] Enlace a Biblus: Franco Abenza, F. (s.f.). Diseño y simulación de una solución basada en redes tolerante al retardo para proporcionar comunicaciones para zonas remotas aisladas (Trabajo fin de grado). Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/12402/fichero/PFC+Fran.pdf>
- [4] Márquez-García, L., & Morales-González, J. A. (2021). Las Redes Tolerantes Al Retardo (DTN): Una Solución a Las Comunicaciones Rurales en Cuba. Academia.edu. Recuperado de

[https://www.academia.edu/74698006/Las
Redes Tolerantes Al Retardo Dtn Un
a Solución a Las Comunicaciones Rur
ales en Cuba](https://www.academia.edu/74698006/Las_Nets_Tolerantes_Al_Retardo_Dtn_Una_Solucion_a_Las_Comunicaciones_Rurales_en_Cuba)