



Recibido: 22/11/2018

Aceptado: 27/01/2019

Wifi para comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA

David Fernando Peñarrieta Bravo

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Junín, Manabí, Ecuador
davidfernando57@hotmail.com

RESUMEN

Las redes WiFi de larga distancia cada vez son más utilizadas para proporcionar conectividad a internet en países en vía de desarrollo. En esta región, proporcionar soporte para aplicaciones en tiempo real es considerado un requisito importante. Este documento estudia del estándar 802.11n su rendimiento en enlaces WiFi para largas distancias, utilizando TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) como método de censado al medio. Para ello se utilizó Network Simulator (ns-3) en escenarios donde se configuraba el sistema de modulación y codificación (MCS) y la distancia. Los resultados experimentales del (Throughput, latency, jitter y losses) demuestran que entre mayor sea la distancia, el rendimiento de la tasa de transmisión de datos disminuye, de igual forma la latencia, el jitter y los paquetes perdidos se incrementan, estos resultados son directamente proporcional a la distancia del enlace.

PALABRAS CLAVE: WiFi larga distancia, 802.11n, TDMA, ns-3.

ABSTRACT Long-distance WiFi networks are increasingly used to provide Internet connectivity in developing countries. In this region, providing support for applications in real time is considered an important requirement. This document studies its 802.11n standard performance in WiFi links for long distances, using TDMA (time division multiple access) as a method of census to the environment. For this, Network Simulator (ns-3) was used in scenarios where the modulation and coding system (MCS) and distance were configured. The experimental results of (Throughput, latency, jitter and losses) show that the greater the distance, the performance of the data transmission rate decreases, likewise the latency, jitter and lost packets increase, these results are directly proportional to the distance of the link.

KEYWORDS: WiFi Long Distance, 802.11n, TDMA, ns-3.

1. Introducción

En la actualidad han quedado atrás los días en que el acceso a internet se considera un lujo reservado para los habitantes de las zonas urbanas. Las entidades de telecomunicaciones como la ITU, ONG's y los gobiernos a través de los ministerios del ramo, se han dado cuenta de la importancia de proporcionar conectividad para la población rural con el objetivo de brindar mejores condiciones de vida y un mayor acceso a dicho servicio. Varias regiones especialmente en las zonas rurales, requieren soluciones de comunicaciones de red de bajo costo. Las conexiones tradicionales basadas en telefonía convencional, telefonía móvil, por satélite o fibra, han demostrado ser una propuesta costosa, especialmente en regiones de baja densidad de población y de bajos ingresos. La norma generalizada para redes WLAN, IEEE 802.11b, funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, es uno de los estándares inalámbricos más populares. Las operaciones sin licencia en la banda de frecuencia ICM y una variedad de productos de hardware disponibles a bajo costo; IEEE 802.11 hacen de WiFi una atractiva y económica alternativa de comunicación en áreas alejadas a las ciudades. Sin embargo, las redes WiFi trabajan por defecto con el protocolo de



censado al medio CSMA/CA, que resulta ser poco adecuado para enlaces de larga distancia ya que son muy poco fiables debido a factores tales como el desvanecimiento de la señal y la interferencia, lo que limita el rendimiento global de la red. En esta investigación se propone utilizar el protocolo TDMA como una alternativa a CSMA/CA, para ello se realizaron varias pruebas de simulación de rendimiento del enlace, mediante el software ns3.

INFORMACIÓN PRELIMINAR

IEEE 802.11n

Los estándares inalámbricos de la familia IEEE 802.11 regulan la velocidad y el tipo de transmisión de datos por ondas de radio. IEEE 802.11n fue publicado en el año 2009[1], opera en las bandas 2.4 y 5 GHz, frecuencia sin licencia, que está disponible en la mayoría de los países del mundo. La velocidad de transmisión del estándar 802.11n alcanza nominalmente los 600 Mbps[1], para ello utiliza técnicas de transmisión MIMO-OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal con múltiples entradas y salidas) para permitir una comunicación de alto rendimiento, duplica el canal con respecto a sus antecesores, obteniendo 300 Mbps y 600Mbps, utilizando un canal de 20 MHz en el primer caso y 40 MHz en el segundo caso[1]. El estándar 802.11n trabaja tanto en la banda de 2.4 GHz y ser compatible con 802.11 b/g, así como en la de 5 GHz con 802.11a. El modo de operación PCO (Phased Coexistence Operation) le permite al estándar 802.11n cambiar dinámicamente el canal de operación de 40 MHz a 20 MHz[1], mientras se comunica con una antena WiFi 802.11 a/b/g o un dispositivo 802.11n, lo cual se traduce en compatibilidad retroactiva con los estándares antecesores de acuerdo a la frecuencia permitida.

Límite en la Capa Física.

IEEE 802.11 utiliza bandas de frecuencias agrupadas en las aplicaciones industriales científicas y médicas (ICM), pero con niveles de restricción de la potencia de transmisión máxima. Las condiciones se fijan por país y determinan la distancia máxima alcanzable. En muchas naciones en vías de desarrollo se aplica la reglamentación norteamericana de la FCC, en el caso de Ecuador a través del Ministerio de Telecomunicaciones, se creó un documento el cual contiene el plan nacional de frecuencia[2], en la cual se distribuyó las frecuencias del espectro radioeléctrico del país, siempre observando lo que dictamina el organismo mundial UIT. Para las bandas de frecuencia contempladas entre 2400-2483.5 MHz en modo PtP (punto a punto) y punto-multipunto se permite hasta 1000 mW de potencia de transmisión más 6dBi de ganancia de la antena[3]. Otros países son más restrictivos, como es el caso de los europeos. Estas restricciones marcan el primer límite claro de WiFi para alcanzar comunicaciones en largas distancias.

El segundo aspecto que debe tenerse en consideración es la propagación. Para lograr distancias largas en esas frecuencias, LOS (línea de vista) es una necesidad. La pérdida exacta de propagación de un enlace puede calcularse utilizando modelos, son diferentes para las zonas urbanas o rurales. En áreas aisladas, un modelo irregular del terreno como Longley-Rice[4] debe ser utilizado para tener en cuenta el perfil del terreno.

El tercer aspecto importante se refiere a la recepción de la señal. En las normas IEEE 802.11a/b/g/n existen varias velocidades correspondientes a diferentes modulaciones, todas con diferente sensibilidad del receptor, lo que resulta en diferentes distancias para las diferentes velocidades. Se obtendrán enlaces más largos con velocidades de transmisión más bajas.

Bloque ACK. 802.11 original, introdujo ACK para confirmar los frames unicast con recepción exitosa; 802.11n mejora las políticas de ACK con 4 esquemas: Nom ACK, implícit ACK, Nom explícit o PSMP (Power Save Multi-Poll) ACK y BlockACK[5].

MCS en el estándar 802.11n

El canal de desvanecimiento inalámbrico varía con el tiempo, la adaptación del enlace debe ser empleada para sostener una comunicación confiable y maximizar el rendimiento. El estándar define los protocolos de control de acceso al medio (MAC) y un gran conjunto de esquemas de modulación y codificación (MCS) para facilitar este objetivo[1].

MCS (Modulation and Coding Scheme) Sistema de Modulación y Codificación, es un parámetro importante en la simulación. El estándar 802.11n define un total de 77 MCS[1]. Cada MCS es una combinación



de una modulación determinada (por ejemplo, BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación o Coding Rate (por ejemplo, 1/2, 3/4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) y el número de secuencias espaciales o Spatial Streams. Todos los puntos de acceso 802.11n, deben soportar como mínimo desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7. A continuación, se muestra la Tabla 1 con la combinación de parámetros para cada índice MCS del 0 al 15. Este valor importante se necesita en la comunicación mediante la tecnología WiFi con el uso del estándar 802.11n.

Tabla 1: Valores de Modulación y Codificación IEEE 802.11n-canal de 20 MHz[1].

MCS Index	Spatial Streams	Modulation type	Coding Rate	Data Rates (Mb/s) 20 MHz	
				800ns GI	400ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2
1	1	QPSK	1/2	13.0	14.4
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7
3	1	16-QAM	1/2	26.0	28.9
4	1	16-QAM	3/4	39.0	43.3
5	1	64-QAM	2/3	52.0	57.8
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65.0
7	1	64-QAM	5/6	65.0	72.2
8	2	BPSK	1/2	13.0	14.4
9	2	QPSK	1/2	26.0	28.9
10	2	QPSK	3/4	39.0	43.3
11	2	16-QAM	1/2	52.0	57.8
12	2	16-QAM	3/4	78.0	86.7
13	2	64-QAM	2/3	104.0	115.6
14	2	64-QAM	3/4	117.0	130.0
15	2	64-QAM	5/6	130.0	144.4

WiFi para largas distancias.

Aunque WiFi fue desarrollado para redes de área local, ha demostrado ser rentable para aplicaciones de larga distancia[6] y el enorme éxito de WiFi ha permitido economías de escala que será difícil de superar por las tecnologías alternativas como WiMax.

Existen grupos de investigadores como el Digital Gangetic Plains (DGP)[7] en India, o el Technology and Infrastructure for Emerging Regions (TIER)[8] en Estados Unidos, que han demostrado que se pueden realizar enlaces punto a punto (PtP) en varios kilómetros de distancia, usando tecnología WiFi, obteniendo prestaciones razonables. Ambas aproximaciones se basan en reemplazar el protocolo de censado CSMA/CA de la subcapa MAC por TDMA.

TDMA El protocolo TDMA (Time Division Multiple Access) proporciona buenas soluciones a la correlación de tráfico, colisión, contención y problemas de cambio de canal en la base. También permite a los clientes compartir el mismo canal de frecuencia, dividiendo la señal en diferentes ranuras de tiempo, observar Figura 1. Existen muchos protocolos TDMA basados en MAC para redes WiLD (WiFi Long Distance), algunas propuestas para cubrir diferentes escenarios como (single-hop vs. multi-hop), (centralizado vs distribuidos), entre otros. Sin embargo, SoftMAC[9], MadMAC[10], FreeMAC[11] y Overlay MAC capa (OML)[12]; proporcionan una plataforma inicial para el desarrollo de protocolos TDMA basados en MAC para Redes WiLD.

SoftMAC[9], desarrolló un sistema de software que permite a los investigadores utilizar las tarjetas de red inalámbrica de productos básicos económicos, para experimentar, fáciles de construir y desplegar capas

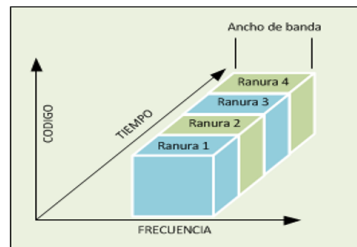


Figura 1: TDMA- División de canal de frecuencia en ranuras de tiempo.

MAC dinámicas experimentales en sistemas linux. MadMAC amplió la idea de SoftMAC e implementó un sistema single-hop TDMA entre dos nodos con sincronización de tiempo. Varios desafíos de diseño se dirigieron a mantener la estructura persistente de la ranura y la transmisión continua del paquete. FreeMAC aprovechó la metodología descrita en SoftMAC e implementó un sistema TDMA de un solo salto con estrictos requisitos de tiempo y proporcionó un enfoque multicanal. La superposición de la capa MAC (OML) está diseñada en la parte superior del 802.11 MAC[13] combinando la potencia de cambiar la capa MAC y la facilidad de modificar sólo las capas superiores. Se centra en la asignación de ranuras a los nodos de acuerdo con una fair queuing (WFQ) para mejorar la imparcialidad de 802.11. OML utiliza relojes de sincronización para dividir el tiempo en igual tamaño y luego emplea un algoritmo distribuido para asignar estas ranuras entre los nodos competidores. Los protocolos MAC basados en TDMA discutidos anteriormente son genéricos en naturaleza y no están dirigidos a las redes WiLD; sin embargo, proporcionan el establecimiento del desarrollo de MAC basado en TDMA para redes WiLD. 2P, WiLDNet, JazzyMAC, JaldiMAC[10]; son algunos de los importantes protocolos MAC basados en TDMA que abordan especialmente los problemas de MAC WiLD.

2. Materiales y Métodos

Es importante indicar que los experimentos realizados se ejecutaron en un ordenador cuyas características son las siguientes: Hardware (procesador Core I7 de 3.2 GHz, 8GB de memoria RAM, espacio en disco de 1Tb), en software (el sistema operativo Ubuntu 16.04 y es necesario un compilador para ejecutar el simulador, en este caso se usó c++ en su versión 4.3).

Para obtener los datos de esta investigación se utilizó un simulador de redes conocido como ns-3, el mismo que se aborda brevemente, para obtener una idea de cómo funciona y lo que es capaz de realizar.

Ns-3 Es un simulador de redes de eventos discretos dirigidos principalmente para la investigación y el uso educativo. El proyecto ns-3, iniciado en 2006, es un proyecto de código abierto. Ns-3 ha sido desarrollado para proporcionar una plataforma abierta y extensible a la red de simulación, para la creación de redes de investigación y educación. En resumen, ns-3 proporciona modelos de cómo funcionan las redes de paquetes de datos, suministra un motor de simulación para los usuarios, cuyo compilador es C++ en su versión 4.3, para llevar a cabo experimentos de simulación. Algunas de las razones para utilizar ns-3 incluyen la realización de estudios que son más difíciles o imposibles de realizar con sistemas reales, para estudiar el comportamiento del sistema en un entorno altamente controlable, reproducible, y para aprender acerca de cómo funcionan las redes. Los usuarios tendrán en cuenta que el modelo disponible en el ns-3 se centra en el modelado de la forma en protocolos de Internet y redes de trabajo.

Ns-3 en enlaces de largas distancias. Para simular enlaces WiFi de largas distancias es necesario modificar el simulador Ns-3, y esto debe ser de manera integral, existen varios estudios realizados que describen los pasos a realizar para simular enlaces a grandes distancias con tecnología WiFi. El proyecto TUCAN3G[14] desarrolló un parche para ns-3, con el fin de simular y analizar el desempeño de los enlaces



de larga distancia basados en las tecnologías WiFi, conocida como WiFi long distance (WiLD). Varias secuencias de comandos básicos proporcionan la comprobación de estas tecnologías para su uso en enlaces de larga distancia. Con el fin de permitir una simulación fiable, algunos cambios se han realizado en los módulos ns-3, específicamente en los módulos de aplicaciones WiFi. La Tabla 2 muestra las características y configuraciones principales del script utilizado para las simulaciones mediante ns-3.22 con la mejora para enlaces WiFi en largas distancias.

Tabla 2: Características y configuraciones principales del script.

Valores por defecto utilizados en el script	
Estándar:	IEEE 802.11n
Frecuencia:	5 GHz
Ancho de banda:	20 MHz
Intervalo de guarda:	largas (800ns)
SLOTTIME:	Optimizado
Fragmentación:	Desactivado
CTS / RTS:	Desactivado
BlockAck:	Desactivado
QoS:	EDCA no se utiliza, pero disponible
Protocolo de transporte:	UDP
Propagación del modelo:	FixedRssLossModel y ConstantSpeedPropagationDelay Model
Bidireccional flows:	Sí

El parche se desarrolló originalmente en la versión ns-3.18. Para efectos de esta simulación se lo acopló a la versión Ns-3.22[16]. La Figura 2 muestra una captura del terminal de Ubuntu en donde se corrobora el buen funcionamiento de ns-3.22.

```
david@victor: ~/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22
david@victor:~/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22$ ns
% 
```

Figura 2: Comprobación de funcionamiento de ns-3.22 en el terminal de ubuntu 16.04.

Pruebas de los enlaces.

Para realizar las simulaciones necesitamos del terminal de Ubuntu, y luego accedemos al directorio donde está ubicado el archivo ns-allinone-3.22/ns-3.22/scratch/basic-WiLD.cc, el cual contiene el script y ejecutamos: ./waf - - run la Figura 3 muestra lo indicado.

Para la ejecución de secuencias de comandos c++ de un script en ns-3, es necesario el elemento (. /Waf - - run). En la Figura 3, se muestran valores de algunas variables necesarias para la obtención de la simulación.

En la Tabla 3 se explica el uso y alcance de las variables en la ejecución del script.



```
david@victor: ~/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22
david@victor:~/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22$ ./waf --run "scratch/basic-Wi
--mcs=0 --psize=2400 --maxDist=3060 --stepDist=3060 --aggth=0 --ackOpt=false --
pcap=false"
```

Figura 3: Parámetros de simulación de ns-3 basic -WiLD.

Tabla 3: Descripción de las variables usadas en la simulación[15]t.

Nº	Parámetro	Descripción
1	--mcs:	Esquema de modulación y codificación utilizado.
2	--psize:	Tamaño de paquete fijo utilizado para la simulación en <i>bytes</i> . Este valor se corresponde con el tamaño de APP nivel.
3	--MaxDist:	Máxima distancia en metros a ensayar.
4	--stepDist:	El salto de distancia en metros a configurar. Este conjunto de parámetros el aumento de la distancia añadió en cada simulación. Por ejemplo, si "maxdist = 20000" y "stepDist = 5000", 5 simulaciones se llevarán a cabo a los 5, 5005, 10005, 15005 y 20005 metros
5	--aggTh:	Umbral de agregación utilizado. Esto configurará el nivel de agregación presente en el enlace WiLD.
6	--ackOpt:	Ajuste de tiempo de espera ACK para un comportamiento normal. Si es verdad, esta opción ajustará la ACKTimeout de manera óptima para obtener el máximo rendimiento en cada distancia. Si es falso, se utilizará el valor ACKTimeout definido en la norma, con la correspondiente disminución del rendimiento de partida de una distancia específica (generalmente 27 km).
7	--pcap:	Este script simula un enlace Wi-Fi de larga distancia (WiLD) de una manera sencilla. Ha sido desarrollado para obtener valores de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas cuando el enlace está trabajando en el punto de saturación para diferentes distancias con una configuración de enlace específico (MCS, tamaño del paquete, el umbral de agregación y acuse de recibo de ajuste de tiempo de espera) Genera un archivo de traza Pcap. Si es "true".

En esta simulación, se dan los resultados de rendimiento, latencia, jitter y pérdidas en el punto de saturación para las diferentes distancias consideradas en este documento (3, 5, 10 y 20 km) sin intervalos, puesto que en estos experimentos, no se consideraron repetidores. El MCS se puede utilizar de 0 a 15, pero se realizaron simulaciones hasta el índice MCS 7, no se realiza la agregación, su valor es 0 y el tamaño del paquete a nivel de APP es de 2048 bytes.

Es importante indicar que el parche para largas distancias de ns-3, simula solo con el canal de 20 MHz.

3. Resultados y Discusión

En esta sección se plasman las expresiones dadas en los apartados anteriores para verificar el rendimiento en la tecnología WiFi 802.11n, utilizando TDMA como método de censado al medio. Como se mencionó se evaluó el (throughput, latency, jitter y losses); datos recibidos en los diferentes escenarios. Para la tecnología estudiada IEEE 802.11n, utilizamos la configuración PHY que proporciona los rangos más largos; es decir, se seleccionó los MCS presentados en la Tabla 1 hasta el índice 7.

En otras palabras se presenta una comparación entre los sistemas de modulación y codificación del estándar IEEE 802.11n en términos de rendimiento y rangos de transmisión. El escenario de evaluación consiste en un solo enlace de radio compuesto por dos estaciones (un transmisor y un receptor) que intercambian tramas de datos con un tamaño de carga útil de 2048 bytes, mediante el protocolo UDP. El MCS más robusto es considerado para las diferentes especificaciones IEEE 802.11. Específicamente, con respecto a 802.11n, el MCS7 es tomado en cuenta (usando un ancho de banda de canal de 20MHz, 1 secuencia espacial, usando el intervalo de guarda larga en las transmisiones).



Desde el terminal de Ubuntu se ejecuta un comando, que contiene los parámetros mínimos para realizar la simulación (Figura 3), este a su vez activa las instrucciones restantes que contiene el script de la simulación, mismo que el compilador de c++ ejecuta inmediatamente y las procesa; luego el proyecta datos en el mismo terminal de Ubuntu. La Figura 4, muestra los datos recibidos luego de la ejecución de la línea de comando.

La imagen presentada en la Figura 4 corresponde al compilador de ns-3, el cual muestra los resultados en el terminal de Ubuntu; los paquetes analizados corresponden a los enviados a través del protocolo de transporte UDP, 65000 es la inyección de data rate, el tiempo de duración de la simulación del enlace es 15 segundos, con un ancho de banda del canal de 20 MHz, datos como el MCS, y la distancia varían de acuerdo al experimento.

```
root@victor: /home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22
Waf: Entering directory '/home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
Waf: Leaving directory '/home/david/Descargas/ns-allinone-3.22/ns-3.22/build'
'build' finished successfully (7.113s)

*****
Bandwidth -> 20MHz
MCS -> 7
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
MaxDistance -> 3000
StepDistance -> 3000
*****

Simulating with: -----
SlotTime -> 27
Aggregation -> 0
PacketSize -> 2048
Distance -> 3000
MaxDistance -> 3000
Injected datarate -> 65000

Checking MAC Parameters:
SlotTime: +27000.0ns
AckTimeout: +102000.0ns
SIFS: +10000.0ns
RIFS: +2000.0ns
EIFS: +314000.0ns
AIFSN 2
PIFS: +37000.0ns

Flow 0 (10.1.1.2 -> 10.1.1.1)
Tiempo 15.5143 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 13272132 bps
Throughput MAC: 13383572 bps
Flow 1 (10.1.1.1 -> 10.1.1.2)
Tiempo 15.510 bps
Tiempo2 15
Throughput APP: 13018726 bps
Throughput MAC/IP: 13124865 bps
*****

Latency: 502000 us
Jitter: 841 us
Losses: 13755 packets
Total Throughput Mac: 26508437 bps
Total Throughput App: 26290858 bps
Done...
*****
```

Figura 4: Valores obtenidos por el compilador de ns3 en la simulación.

Throughput de la simulación.

Se llama throughput a la cantidad de datos que son transmitidos hacia o desde algún punto del enlace de la red, en este caso WiFi mediante el estándar 802.11n de largo alcance, o también al volumen de información que fluye en las redes de datos, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos en tiempo. Con este parámetro se puede ver el rendimiento de una conexión.

Se analiza el rendimiento con un tamaño de paquete de 2048 bytes y con la variación de la MSC (Variable



de Esquema de Modulación y Codificación) desde el índice 0 hasta el 7, y la distancia. La Figura 5 muestra el comportamiento del rendimiento del enlace en las diferentes pruebas, alterando el valor de MCS y la distancia.

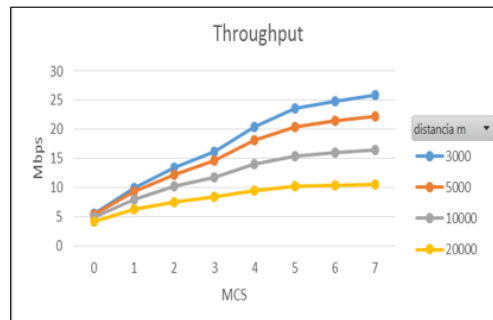


Figura 5: Throughput en (Mbps) obtenidos en la simulación.

El mejor escenario cuando se simuló fue, con el índice MCS 7, en la cual se obtuvo un rendimiento de 26.5 Mbps, transmitiendo un paquete de tamaño de 2048 bytes en un tiempo estimado de 15 segundos; todo ello en una distancia de 3 Km. Cuando se incrementa la distancia el throughput del enlace disminuye.

Latencia en la simulación. La latencia es el tiempo que un paquete necesita para ser transmitido desde el nodo emisor al nodo receptor. De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 6 se aprecia que se incrementa el retardo en la entrega de paquetes, cuando aumenta la distancia del enlace y el índice de modulación y codificación es MCS 0.

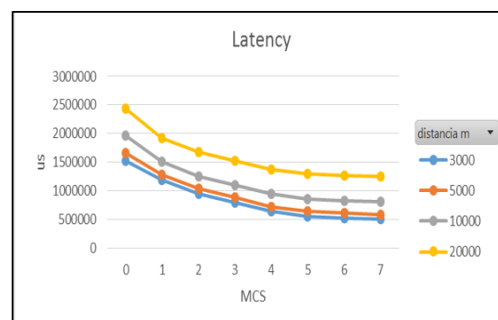


Figura 6: Valor de latency en microsegundos (us), obtenidos en la simulación.

Jitter en la simulación. Jitter es la variación del retardo que tiene un paquete con respecto a otro, desde que se envía del nodo origen al nodo destino. Los valores que se obtuvieron en la simulación están dentro de los parámetros aceptables, todo ello en microsegundos (us). La Figura 7 modela los valores del jitter de acuerdo a cada una de las distancias y MCS simuladas. Como se demuestra entre mayor es la distancia el jitter incrementa, pero esta depende del valor del sistema de modulación y codificación que asignemos, cuando utilizamos MCS 7 se reduce notablemente el jitter.

Pérdidas en la simulación (Losses). Los paquetes perdidos que se presentan en la simulación del enlace se muestran en la Figura 8, como se ha manifestado en la lectura del jitter, latency estos valores incrementan en la medida que aumenta la distancia.

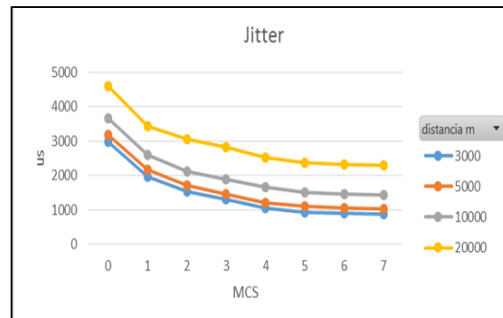


Figura 7: Valores de Jitter (us), obtenidos en la simulación.



Figura 8: Pérdidas del enlace, en la simulación.

4. Conclusiones

En este artículo se demuestra cómo los enlaces Wi-Fi de larga distancia pueden ser desplegados utilizando tecnologías de bajo costo. Dichos enlaces con tecnología WiFi son una alternativa práctica y económica para proporcionar conectividad a internet en países que se encuentran en vía de desarrollo. Aún se están realizando investigaciones para reducir la complejidad de las comunicaciones y determinar la configuración óptima para maximizar el rendimiento y la estabilidad de los enlaces durante largos periodos de tiempo. Las distancias largas se simulan a menudo en un laboratorio típico introduciendo obstáculos artificiales o ruido. Ns3 es una herramienta potente para realizar simulaciones de redes inalámbricas de largo alcance, útil para generar datos, previa la implementación de proyectos con estas características. TDMA es una tecnología impulsada por marcas privadas, han realizado varias mejoras con respecto al estándar IEEE 802.11 exclusivamente con en el método oficial de acceso al medio CSMA/CA, demostrando que pueden trabajar armónicamente con el estándar IEEE 802.11n. El rendimiento del enlace mediante la simulación en ns-3, varía de acuerdo a la distancia y al valor del método de modulación y codificación (MCS) empleado, en muchos se acerca a la estimación de la capacidad de transmisión de los valores nominales presentados por el estándar IEEE 802.11n. Las simulaciones se realizaron con un canal de 20 MHz, en un canal de 40 MHz y MIMO mejorará notablemente el throughput del enlace, lógicamente, teniendo en consideración la distancia del enlace; en la práctica es posible este comportamiento, ya que equipos de comunicaciones inalámbricos propietarios como Ubiquiti, MiKrotik, otros; ofrecen notables rendimiento con la inclusión del protocolo de censado al medio TDMA.



Referencias

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Standard for Information technology– Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks– Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications–Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz. - IEEE Standard.*
- [2] CONATEL. *Plan Nacional de Frecuencias de Ecuador.* 2012.
- [3] CONATEL. *Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación de banda ancha.* 2012.
- [4] Stylianos Kasampalis y col. “Comparison of Longley-Rice, ITM and ITWOM propagation models for DTV and FM broadcasting”. En: *2013 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC).* IEEE, 2013, págs. 1-6.
- [5] Patricia Ludeña y col. “Performance Evaluation of Long-Distance 802.11n Networks”. en. En: *New Contributions in Information Systems and Technologies.* Ed. por Alvaro Rocha y col. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing, 2015, págs. 1033-1043. ISBN: 978-3-319-16486-1.
- [6] Rob Flickenger y col. “Very Long Distance Wi-fi Networks”. En: *Proceedings of the Second ACM SIGCOMM Workshop on Networked Systems for Developing Regions.* NSDR '08. event-place: Seattle, WA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2008, págs. 1-6. ISBN: 978-1-60558-180-4. DOI: 10.1145/1397705.1397707.
- [7] Dheeraj Sanghi y Bhaskaran Raman. “Digital Gangetic Plains(DGP): 802.11-based Low-Cost Networking for Rural Areas 2001-2004: A Report”. en. En: (), pág. 35.
- [8] S. Surana y col. “Deploying a Rural Wireless Telemedicine System: Experiences in Sustainability”. En: *Computer* 41.6 (jun. de 2008), págs. 48-56. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2008.184.
- [9] Michael Neufeld y col. “SoftMAC – Flexible Wireless Research Platform”. en. En: (), pág. 6.
- [10] Ashutosh Dhekne. “Implementation and Evaluation of a TDMA MAC for WiFi-based Rural Mesh Networks”. En: 2009.
- [11] Ashish Sharma y Elizabeth M. Belding. “FreeMAC: framework for multi-channel mac development on 802.11 hardware”. en. En: *Proceedings of the ACM workshop on Programmable routers for extensible services of tomorrow - PRESTO '08.* Seattle, WA, USA: ACM Press, 2008, pág. 69. ISBN: 978-1-60558-181-1. DOI: 10.1145/1397718.1397734.
- [12] Ananth Rao y Ion Stoica. “An Overlay MAC Layer for 802.11 Networks”. En: *Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services.* MobiSys '05. event-place: Seattle, Washington. New York, NY, USA: ACM, 2005, págs. 135-148. ISBN: 978-1-931971-31-7. DOI: 10.1145/1067170.1067185.
- [13] Eddie Kohler y col. “The Click Modular Router”. En: *ACM Trans. Comput. Syst.* 18.3 (ago. de 2000), págs. 263-297. ISSN: 0734-2071. DOI: 10.1145/354871.354874.
- [14] Andrés Martínez Fernández y col. “The TUCAN3G project: wireless technologies for isolated rural communities in developing countries based on 3G small-cell deployments”. eng. En: *IEEE communications magazine* 54.7 (jul. de 2016), págs. 36-43. ISSN: 0163-6804. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7509376.
- [15] Esteban. *This is a suite for simulate long distance WiFi and WiMAX links with the simulator ns-3: emunicio/long-distance-tucan3g.* original-date: 2015-04-10T16:58:23Z. Feb. de 2018.