

Implementación de una Herramienta Didáctica para la Simulación de Redes IEEE 802.11e Orientada a Prácticas en el Laboratorio de Telecomunicaciones

M. Sc. Sara Ríos¹, Gabriela Guerra², José Orellana³, José Sáenz⁴.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.
Escuela Superior Politécnica del Litoral.
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil - Ecuador
E-mail: [sríos¹, gcguerra², jorellan³, jsaenz⁴]@fiee.espol.edu.ec

Resumen

En el presente trabajo se da a conocer los aspectos fundamentales del estándar IEEE 802.11e, el cual brinda calidad de servicio (QoS) en redes LAN inalámbricas (WLAN), además, se desarrollan varias simulaciones de escenarios con casos frecuentes de comunicaciones en una red 802.11e utilizando para ello la herramienta de simulación Network Simulator 2, uno de los simuladores de mayor difusión dentro del sector de las telecomunicaciones, y la librería EDCF 802.11e. El propósito de estas simulaciones es colaborar con la creación de prácticas para los estudiantes del laboratorio de Telecomunicaciones, en las que se expongan las características fundamentales de las redes inalámbricas 802.11e facilitando la comprensión de los principales conceptos asociados a las redes de comunicaciones inalámbricas con QoS y de los diferentes eventos que se presentan durante el proceso de transferencia de datos, como son el establecimiento del enlace, priorización de un tipo de tráfico sobre otro, pérdida de paquetes, entre otros.

Palabras Claves: IEEE 802.11e, Calidad de Servicio, WLAN, NS2.

Abstract

The present paper explains the fundamental issues related to the IEEE 802.11e standard, which provides Quality of Service (QoS) in wireless local area networks (WLANs). Several simulations of 802.11e communications scenarios have been developed using the educational tool Network Simulator 2, one of the simulators of major diffusion in the telecommunication sector, and the EDCF 802.11e library. The purpose of these simulations is to collaborate creating practices for the Telecommunications Laboratory's students where the fundamental characteristics of the 802.11e wireless LAN are exposed facilitating the comprehension of the principal concepts about QoS wireless LAN and of several events that occur during data transfer, like link set up, traffic prioritization, packet loss, among others.

1. Introducción

Un país que hace investigación es un país que se desarrolla y nosotros, cumpliendo la misión de la ESPOL, nos hemos centrado en el estudio de una tecnología de última generación y aún poco conocida. Buscando de esta forma dejar un legado para el provecho de las futuras generaciones de ingenieros. El aumento del uso de aplicaciones relacionadas a video y multimedia ha impulsado el desarrollo de mecanismos que aseguren que aplicaciones con exigentes requerimientos de calidad de servicio funcionen de manera correcta en redes congestionadas. Para afrontar este desafío la IEEE ha formado el grupo de trabajo 802.11e para la elaboración de una nueva extensión al estándar IEEE 802.11, que permita la priorización de un tipo de tráfico sobre otro.

En el año de 1997 la IEEE adoptó el primer estándar para redes locales inalámbricas (WLAN), llamado IEEE 802.11. Este estándar define la capa de acceso al medio (MAC) y la capa física (PHY) para conectividad entre LAN inalámbricas. En otras palabras el estándar se encarga de la conectividad entre estaciones que se encuentran en un área local, comunicándose a través del aire. Entre los objetivos a lograrse con este estándar están:

- Dar servicios que solo eran prestados por medio de redes alambreadas.
- Throughput alto.
- Entrega de datos altamente confiable.
- Conectividad continua.

A diferencia de la tecnología cableada (802.3 Ethernet) que utiliza CSMA/CD para acceder al canal, 802.11 utiliza CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces /

Collision Avoidance). Se ha implementado de esta manera porque el medio inalámbrico no permite la detección de colisiones. Así, la premisa fundamental de CSMA/CA es “oír antes de hablar”.

2. Arquitectura MAC 802.11

El estándar 802.11 define dos mecanismos de acceso al canal, llamados funciones de coordinación. Estas funciones de coordinación determinan cuando una estación tiene permitido transmitir y cuando ésta debe estar preparada para recibir información. Estas funciones son parte de los procedimientos ejecutados por la sub-capa MAC y su arquitectura se muestra en la Figura 1.

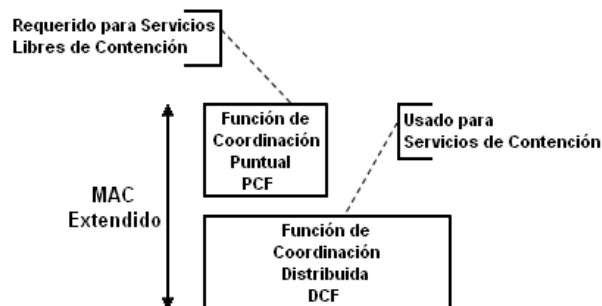


Figura 1. Arquitectura MAC.

La primera de estas funciones es la Función de Coordinación Distribuida (DCF, Distributed Coordination Function), que utiliza CSMA/CA como método de acceso fundamental. Para que una estación transmita debe sentir el medio para determinar si otra estación está transmitiendo, si el medio se determina como no ocupado se procede con la transmisión. Para evitar que múltiples estaciones transmitan al mismo tiempo cuando otra estación terminó de hacerlo a cada una se le asigna un número aleatorio seleccionado de un rango determinado llamado Ventana de Contención (CW, Contention Window) de donde se calcula un periodo de espera conocido como Tiempo de Espera (Backoff Time), este tiempo debe decrementar hasta llegar a cero antes de volver a competir por el medio.

La segunda función de coordinación es la Función de Coordinación Puntual (PCF, Point Coordination Function), la MAC de IEEE 802.11 también incorporaba este método de acceso opcional, el cual solo es utilizable en redes Infraestructura. Este método de acceso usa un Coordinador Puntual (PC, Point Coordinator) el cual debe operar en el AP para determinar que estación tiene derecho a transmitir. La operación es esencialmente de “encuestas” siendo el PC el encargado de encuestar los requerimientos de las estaciones. La prioridad de acceso provista por PCF es utilizada para crear un método de acceso libre de competencia, en el cual el PC controla la transmisión de tramas de las estaciones para eliminar la competencia por el medio durante un periodo de tiempo en el que está activo PCF, a éste periodo se lo conoce como Periodo Libre de Contención (CFP,

Contention Free Period). Esta función nunca fue implementada comercialmente.

La creciente demanda de gran ancho de banda ha causado que las redes se congestionen y como consecuencia se vuelvan muy lentas; al mismo tiempo los usuarios se han hecho cada vez más exigentes con respecto a la calidad de servicio que reciben, es decir desean tener conexiones virtualmente libre de retrasos. Sobre todo en lo que respecta a servicios multimedia, desean recibir video y voz sin retrasos y sin cortes. Por este motivo los administradores de red se han visto en la necesidad de idearse alguna manera para asegurar que en redes congestionadas los usuarios tengan una calidad de servicio (QoS) previamente establecida para ciertos tipos de aplicaciones. Esta calidad de servicio se vuelve crítica en aplicaciones afectadas por el retardo, o sea se debe tener en cuenta principalmente las aplicaciones transmisión de video y voz inalámbricos.

3. 802.11e

IEEE 802.11e es una extensión al estándar 802.11 que provee calidad de servicio (QoS) para WLAN. El estándar 802.11e se compone de un conjunto de técnicas para priorizar tráfico y prevenir la colisión y el retraso de paquetes, lo que mejora la experiencia del usuario al realizar llamadas VoIP y ver vídeos sobre redes WLAN.

Esto se logra modificando la capa MAC original. 802.11e mejora las funciones de coordinación DCF y PCF a través de una nueva función, la Función de Coordinación Híbrida (HCF, Hybrid Coordination Function). Dentro de la HCF hay dos métodos de acceso al canal: la función Mejorada de Distribución de Acceso al Canal (EDCA, Enhanced Distributed Channel Access) y la función HCF de Control de Acceso al Canal (HCCA, HCF Controlled Channel Access).

Las mejoras establecidas por el estándar 802.11e están basadas en los procedimientos DCF y PCF originales. A continuación, en la Figura 2, se muestra un esquema global de la arquitectura donde podemos apreciar como las nuevas funciones de acceso trabajan sobre sus predecesoras.

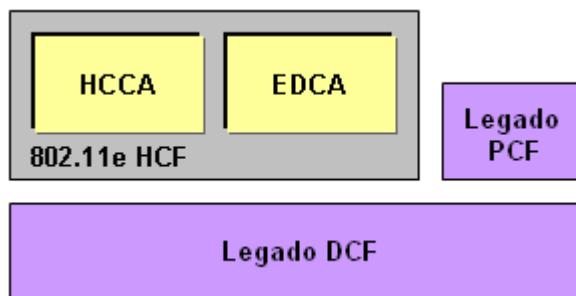


Figura 2. Arquitectura 802.11e

La nueva función de coordinación HCF da derecho a transmitir a las Estaciones con Calidad de Servicio

(QSTA, Quality of Service Station) a través de Oportunidades de Transmisión (TXOP, Transmission Opportunities) usando uno o ambos métodos de acceso. El intervalo de tiempo en el cual una QSTA tiene el derecho a inicializar una secuencia de intercambios de tramas en el medio inalámbrico se conoce como TXOP. Un TXOP está definido por un tiempo de inicio y una duración máxima.

Existen 8 Prioridades de Usuario (UP, User Priority) que gracias a las funciones de acceso son mapeadas en 4 Categorías de Acceso (AC, Access Categories); cada AC posee su propio conjunto de parámetros de prioridad establecidos y sus respectivas colas de espera. Por ejemplo, e-mails pueden ser una clase de tráfico con prioridad baja mientras que a voz sobre IP inalámbrico se le puede asignar la máxima prioridad. La calidad de servicio se consigue a través de las 4 AC donde cada una tiene implementada un nivel de prioridad y una cola de espera de acuerdo al tipo de tráfico que se envía.

A fin de ofrecer calidad de servicio en redes inalámbricas basta con la función de acceso EDCA, por esta razón HCCA al igual que su predecesor PCF en 802.11 no han sido implementados comercialmente

3.1 EDCA

EDCA es una extensión del mecanismo CSMA/CA DCF anterior para incluir prioridades. El tiempo de espera y el valor de la ventana de contención (CW) son modificados para cambiar la probabilidad de ganar acceso al medio en función de las prioridades. Están disponibles cuatro categorías de prioridad identificadas con un Espacio Arbitrario entre Tramas (AIFS) y CW por cada una, que son mapeadas en cuatro categorías de acceso, las cuales corresponden a una de las cuatro colas de transmisión, como se observa en la Figura 3.

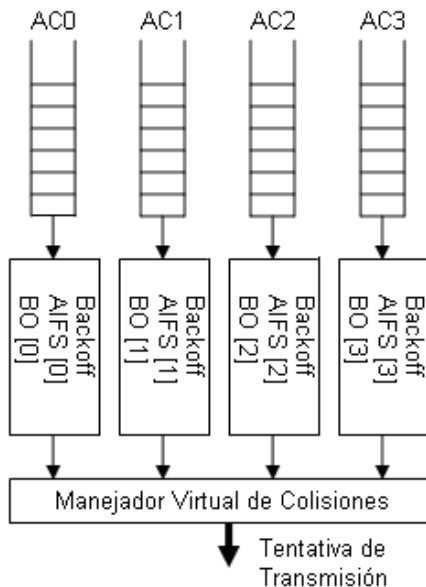


Figura 3. Colas de Prioridad

El tiempo de espera (Backoff Time) se calcula de la siguiente manera:

$$Backoff\ time = slotTime * Random$$

Donde *Random* es un valor entero pseudo-aleatorio tomado del rango $CW = [CW_{min}, CW_{max}]$ distribuido uniformemente. Por cada transmisión exitosa el algoritmo se reinicia. En cambio por cada transmisión no exitosa se recalcula el tiempo de espera tomando el valor *Random* de un nuevo CW que es tomado de la fórmula:

$$NewCW = [(oldCW + 1) * PF] - 1$$

Donde el Factor de Persistencia (PF) es un valor tomado del rango [1,16] y puede ser cambiado para cada prioridad o establecerla en 2 para tener un algoritmo de tiempo de espera exponencial binario.

Se define un rango CW_i para cada prioridad donde *i* es el identificador de prioridad. Esta ventana crece para dar menor prioridad.

Los valores asignados a cada parámetro para definir prioridades se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores asignados a los parámetros

Parámetros	Alto (0)	Medio (1)	Bajo (2-3)
AIFS (#)	2	4	7
CW _{min}	7	10	15
CW _{max}	7	31	255
PF	2	2	2

Cada cola implementa, internamente, una función de acceso al canal (EDCA) independiente. Cuando varias colas están listas para transmitir, se compete por el medio interna y externamente. Internamente se escoge a la trama con mayor prioridad para que sea transmitida, y externamente se invoca a CSMA/CA.

Los parámetros que definen el funcionamiento de EDCA, los cuales son el tiempo mínimo de canal desocupado antes de intentar acceder al medio y la ventana de contención mínima y máxima, son almacenados localmente en la QSTA. Estos parámetros serán diferentes para cada cola y podrán ser actualizados dinámicamente por el Punto de Acceso con Calidad de Servicio (QAP). Esta actualización permite que las estaciones de la red se ajusten a condiciones cambiantes y da al QAP la habilidad de manejar la calidad de servicio.

EDCA es el mecanismo de acceso al medio en el cual vamos a basar nuestras simulaciones, porque es una extensión directa al mecanismo DCF el cual si fue implementado comercialmente; además se considera que es una solución práctica y eficaz a la problemática planteada. El objetivo de las simulaciones es comprobar que el tráfico marcado con la mayor prioridad tenga mayor probabilidad de ser transmitido por el medio.

3.2 Tipos de redes inalámbricas 802.11e

El estándar IEEE 802.11 permite a los dispositivos establecer ya sean redes Punto a Punto (P2P) o redes basadas en puntos de acceso fijos. Es por esto que el estándar define dos topologías de red básicas: redes Ad-Hoc y redes Infraestructura.

4. Simulaciones

Para llevar las simulaciones decidimos hacer uso del simulador Network Simulator 2 (ns 2.29), bajo la plataforma Linux (fedora 4) de uso libre. Además, la librería EDCF 802.11e desarrollada por el Grupo de Redes de Telecomunicaciones de la Universidad Técnica de Berlín, quienes son uno de los grupos más importantes en esta área de investigación y han proporcionado esta herramienta “open source”.

4.1 Red Ad-Hoc con tres host

En esta primera simulación se crean 3 nodos inalámbricos en modo Ad-Hoc. Inicialmente sólo existe un enlace (0-1) el cual recibe todo el ancho de banda disponible a pesar de ser el de menor prioridad. Luego se inicia el enlace con el segundo nodo (0-2) siendo este de mayor prioridad y obteniendo así mayor ancho de banda; debido a esto la performance del enlace (0-1) se ve disminuido ocasionando la pérdida de paquetes que se intentaron enviar. Como se observa en la Figura 4.

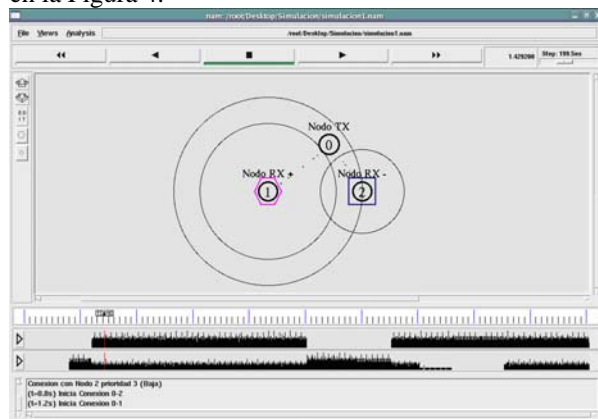


Figura 4. Red Ad-Hoc con tres hosts.

4.2 Red Ad-Hoc con cinco hosts

En este ejemplo, el cual es una extensión del anterior, estableceremos cuatro enlaces, dos con la mayor prioridad (0-1) y (0-3) y dos con menor prioridad (0-2) y (0-4).

Los resultados de esta simulación reafirman las conclusiones obtenidas en el caso anterior y se pueden observar en la Figura 5. Como punto destacable de esta simulación acotaremos que en condiciones de mayor tráfico el desempeño general de todos los enlaces disminuirá, sin embargo los enlaces de mayor

prioridad presentan mejores condiciones de funcionamiento que los otros.

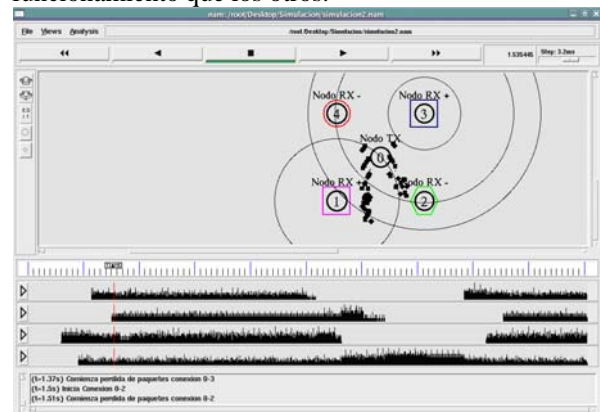


Figura 5. Red Ad-Hoc con varios hosts.

4.3 Red Infraestructura

En este escenario presentamos una red infraestructura la cual consta de 2 nodos cableados que representan una red LAN tradicional, 2 puntos de acceso (AP) y 2 nodos inalámbricos (4 y 5).

Los nodos 4 y 5 son los transmisores y el nodo 0 es el receptor. Inicialmente el nodo 4 se encuentra en el área de cobertura del AP1 por lo que se comunicará con el nodo 0 a través de él, a su vez el nodo 5 lo hará por el AP2. El primer enlace en iniciarse es el comprendido entre los nodos 4 - 0 a través del AP1, éste enlace es de baja prioridad pero al ser el único, transmite sin problemas puesto que no existen otros enlaces presentes. En cierto instante el nodo 4 se mueve abandonando el área de cobertura del AP1, mientras se aleja del punto de acceso a la red intenta mandar paquetes hacia el nodo cero, pues su enlace no se ha detenido, dichos paquetes se pierden al no encontrar un AP que lo conecte a red alámbrica. Este estado se mantiene durante su recorrido hasta que entra en la cobertura del AP2 y establece una conexión con él.

El último enlace en establecerse es el comprendido entre los nodos 5 y 0 de alta prioridad a través del AP2, éste enlace afecta la comunicación del enlace presente (4 - 0) lo que se evidencia en la pérdida de paquetes, como se observa en la Figura 6.

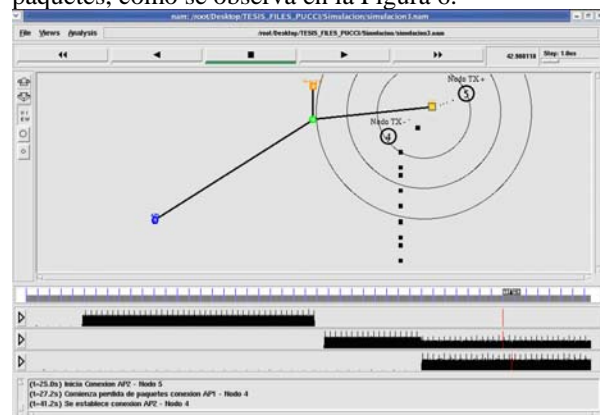


Figura 6. Red Infraestructura

5. Conclusiones

En el presente trabajo se presenta el marco teórico y se desarrollan prácticas orientadas a contribuir con el laboratorio de telecomunicaciones en las que se simulan escenarios de comunicaciones inalámbricas de área local (WLAN) en las que se aplica priorización de un tráfico sobre otro utilizando como base la función EDCA del estándar 802.11e, cumpliendo el objetivo de brindar al estudiante de telecomunicaciones una herramienta didáctica para analizar y comprender este tipo de redes.

Usando la librería EDCF en nuestras simulaciones, establecemos a cada enlace una prioridad de tráfico que en realidad es una mayor probabilidad de acceder al medio. Esta es función de los parámetros AIFS y CW establecidos a cada prioridad.

Hemos podido apreciar en todas las simulaciones que los enlaces a los que se les han dado la mayor prioridad ganan el acceso al medio sobre los otros enlaces que se encuentren presentes o que traten de acceder al medio.

La calidad de servicio de cada enlace queda en evidencia en el gráfico de ancho de banda, en los que observamos que el enlace de mayor prioridad tiene mayor ancho de banda.

Se alienta al estudiante que utilice este trabajo como base para realizar sus propias simulaciones de diferentes escenarios WLAN que puedan presentarse y de esta manera enriquecer las prácticas que serán utilizadas por la futuras generaciones de estudiantes de de ESPOL.

6. Bibliografía

- [1] IEEE Computer Society, IEEE Std. 802.11e™-2005, www.ieee.org, IEEE New York, NY - USA, 11 November, 2005
- [2] Sven Wietholter, Christian Hoene, "Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCF simulation model in ns-2.26", Berlin, November 2003
- [3] Tim Godfrey, "Inside 802.11e: Making QoS a Reality over WLAN Connections", CommsDesign.com, December 19, 2003
- [4] Stefan Mangold¹, Sunghyun Choi, Peter May, Ole Klein, Guido Hiertz¹, Lothar Stibor, "IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service", ComNets RWTH Aachen Univ. of Technology, Aachen – Germany, Philips Research USA – Briarcliff Manor – New York– USA, Philips Research Germany, Aachen – Germany
- [5] Jani Hautakorpi, "IEEE 802.11 and wireless simulations in ns2"
- [6] Ahmad Al Hanbali, "IEEE 802.11 implementation in NS-2", INRIA Sophia Antipolis