

XX(147066.)



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
Unidad Guadalajara

Control de Congestionamiento y Esquemas de Transmisión de Video en Redes de Conmutación de Paquetes usando Mecanismos Activos

Tesis que presenta:

Francisco Victorio Robles Vázquez

para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

en la especialidad de:

Ingeniería Eléctrica

Director de Tesis

Dr. Mario Angel Siller González Pico

**CINVESTAV
IPN
ADQUISICION
DE LIBROS**

Guadalajara, Jalisco, Mayo de 2008.

CLASIF.: <u>TRIGS GB .R63</u>	2008
ADQUIS.: <u>EC-509</u>	
FECHA: <u>12-XI-2008</u>	
PROCED.: <u>Don. - 2008</u>	
\$ _____	

10: 144222-1001

Control de Congestionamiento y Esquemas de Transmisión de Video en Redes de Conmutación de Paquetes usando Mecanismos Activos

**Tesis de Maestría en Ciencias
Ingeniería Eléctrica**

Por:

Francisco Victorio Robles Vázquez
Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica
Universidad de Guadalajara 1998-2002

Becario de CONACYT, expediente no. 199478

Director de Tesis
Dr. Mario Angel Siller González Pico

CINVESTAV del IPN Unidad Guadalajara, Mayo de 2008.

Resumen

El control de congestión de una red es tópicamente importante. Algunos de los servicios que ofrece el Internet demandan gran cantidad de ancho de banda, por lo cual, la optimización de los recursos es necesaria.

Los mecanismos de descartamiento de paquetes son una posible solución al problema del congestionamiento de red. Esto consiste en un filtrado “inteligente” de paquetes donde, basado en prioridades, en función de la codificación y la semántica del video, los marcos menos importantes o redundantes son removidos mientras que los más relevantes son transmitidos por los nodos intermedios. El mecanismo de descartamiento es implementado en una red activa. Dicha red es aquella en la cual, los nodos de conmutación de paquetes tienen la capacidad de procesar el campo de datos en tiempo real. Los esquemas de paquetización indican cuando, como y que información va contenida en cada paquete de red, para realizar una transmisión más eficiente.

Esta tesis se centra en tres puntos clave, la política de descartamiento de paquetes, el esquema de paquetización y por último, la localización de la implementación del mecanismo activo de descartamiento.

Abstract

Congestion network control is an active research topic. In the case of the internet some transmission services required high bandwidth capacity. Therefore, the optimization of network resources is required.

The discarding packet mechanisms are a possible solution to congestion problem. They consist in the implementation of “intelligent” packets filters which are based the video coding elements priority and semantics. When congestion occurs less important or redundant packets are removed whilst the relevant are retransmitted by the intermediated nodes.

The discarding packet mechanism is implemented in an active network. An active network consists of switching nodes which are able to process up to the packet payload during transmission. The packetisation schemes determine when, how and what information should be transmitted in each packet. This is done in order to achieve a better transmission performance.

This thesis focuses in three video transmission key factors: i) the discarding policies; ii) the packetisation scheme; and iii) the location of the implementation active discarding mechanism.

Agradecimientos

A mis padres, Francisco Robles Iñiguez y Lourdes Vázquez Domínguez por su apoyo y amor incondicional, sus consejos y por creer en mí.

A mi abuela, Isabel Domínguez Hernández que es otra madre para mí, por cuidarme, educarme, motivarme, aconsejarme y amarme como otro hijo suyo.

A mis hermanos Norma Laura Robles Vázquez y Victor Felipe Robles Vázquez, que aunque no podemos estar mucho tiempo juntos, estamos muy unidos como hermanos.

A Alma Verónica Martínez González, que no me dejó caer en los momentos más difíciles y siempre estuvo a mi lado.

A mi asesor, el Dr. Mario Angel Siller González Pico por inculcarme el deseo de la investigación, por transmitirme los conocimientos necesarios para que yo realizaré este trabajo y sobre todo por ser paciente.

A mis compañeros de la Unidad Guadalajara generación 2005, más que mis compañeros son mis amigos, que hicieron mi estancia mucho más ligera, que dejaban de hacer lo suyo por explicarme, que compartimos muchos momentos alegres.

A CINESTAV, a todas las personas que trabajan en esta institución, en especial a Unidad Guadalajara que siempre fueron amables y atentos conmigo.

A CONACYT por su interés en la actividad científica en México, gracias a su apoyo hizo posible el desarrollo de esta investigación por medio de una beca

*Dedicada a Dios,
mi padre Francisco,
mi madre Lourdes,
mi abuela Isabel,
mis hermanos,
y a mi pareja Alma.*

Índice

Resumen	I
Abstract.....	II
Agradecimientos.....	III
Dedicatorias.....	IV
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes y Motivación	3
1.1.1. Redes Activas	4
1.2. Definición del Problema.....	9
1.3. Propuesta General.....	9
1.3.1. Hipótesis	9
1.3.2. Objetivos.....	10
1.4. Conclusiones.....	10
2. Marco Teórico y Estado del Arte	11
2.1. Marco Teórico	12
2.1.1. Estándares de codificación de imágenes y video.....	12
2.1.2. Imágenes.....	13
2.1.3. Video	13
2.1.3.1. H.263	15
2.2. Estado del Arte	18
2.2.1. Esquemas de paquetización de video	18
2.2.2. Políticas de descartamiento de paquetes.....	18
2.2.3. Mecanismos activos de descartamiento de paquetes.....	19
2.2.3.1. Packet Discarding Agent (PDA).....	20
2.2.3.2. PROTEAN.....	21
2.2.3.3. Active Router.....	23
2.2.3.4. Adaptive Partial Video Slice Discard (APVSD), Adaptive Early Video Slice Discard (AEVSD).....	24

2.2.3.5. Partial Packet Discard (PPD), Frame Level Discard (FLD), Group of Picture Level Discard (GPLD) and Early MPEG Discard (EMPEGD)	25
2.2.3.6. Unit-Level Drop (ULD).....	26
2.2.3.7. Tabla comparativa	27
2.3. Conclusiones.....	28
3. Solución propuesta y trabajo experimental	29
3.1. Solución Propuesta	30
3.2. Topología y herramientas de red	31
3.2.1. Topología de red.....	31
3.2.2. Flujos de video	33
3.2.3. Tráfico de segundo plano	36
3.2.4. Esquemas de Paquetización.....	37
3.2.5. Políticas de Descartamiento.....	39
3.2.6. Pseudoencabezado	39
3.2.7. Métricas	40
3.3. Experimentos	42
3.3.1. Pseudocódigo de los experimentos.....	42
3.3.2. Resultados de los Mecanismos Activos	43
3.3.2.1. Resultados con Tráfico Constante	43
3.3.2.2. Resultados con Tráfico Variable	46
3.3.2.3. Resultados con Video Sintético.....	48
3.3.3. Resultados de los Esquemas de Paquetización.....	50
3.3.3.1. Resultados con Tráfico Constante	50
3.3.3.2. Resultados con Tráfico Variable	51
3.3.3.3. Resultados con Video Sintético.....	52
3.4. Análisis de Resultados.....	53
3.5. Conclusiones.....	56
4. Conclusiones y trabajo futuro.....	57
4.1. Conclusiones.....	58
4.2. Trabajo Futuro	59
Bibliografía.....	60

Índice de figuras

Figura 1.1. Esquema general de la transmisión de video	7
Figura 1.2. Posición del RTP en la pila de protocolos.	8
Figura 1.3. Anidamiento de paquetes.	8
Figura 2.1. Evolución de los estándares de codificación de video de los comités ITU-T e ISO/IEC.	12
Figura 2.2. Estructura de dos GOPs	15
Figura 2.3. Arreglo de un Grupo de Bloques para un Picture CIF.	16
Figura 2.4. Arreglo de bloques en un macrobloque.	16
Figura 2.5 Grupo de marcos B y P alternados.	16
Figura 2.6. Un codificador genérico predictivo intermarco.	17
Figura 2.7. Topología de red de investigación QoS.	20
Figura 2.8. Arquitectura de la Red Activa PROTEAN	22
Figura 2.9. Arquitectura del Router.	23
Figura 2.10. Modos de operación de Adaptive-PSD y Adaptive-PSD.	24
Figura 2.11. Topología experimental empleada en FLD, GPLD y EMPEGD.	26
Figura 3.1. Topología de red utilizada en los experimentos.	32
Figura 3.2. Relación entre envío de video, tráfico redundante y análisis de tráfico.	33
Figura 3.3. Flujo de video con poco movimiento.	34
Figura 3.4. Flujo de video con movimiento medio	34
Figura 3.5. Flujo de video con mucho movimiento.	35
Figura 3.6. Estructura del GOP utilizado en los experimentos	35
Figura 3.7. Paquete de red con pseudoencabezado	39
Figura 3.8. Pseudoencabezado utilizado en los experimentos.	40
Figura 3.9. Comparación de los mecanismos en el número de marcos recibidos con tráfico de segundo plano constante.	45
Figura 3.10. Comparación de los mecanismos en la calidad del video recibido con tráfico de segundo plano variable.	47
Figura 3.11. Comparación de los mecanismos en el número de frames recibidos con tráfico de segundo plano de video sintético.	49
Figura 3.12. Marco I con daño en un GOB.	54

Figura 3.13. Marco P con daño en un GOB. 55

Figura 3.14. Marco P dañado por marco I dañado. 55

Figura 3.15. Marco B con daño en un GOB. 56

Índice de tablas

Tabla 1.1. Clasificación de procesadores interconectados por escalas.....	2
Tabla 2.1. Numero de pixeles por línea y número de líneas para cada formato de imagen estandarizado H.263.	15
Tabla 2.2. Comparación de Mecanismos Activos.	27
Tabla 3.1. Estadísticas de los flujos de video.....	36
Tabla 3.2. Estadísticas de los flujos de redundantes en el experimento con tráfico constante.....	37
Tabla 3.3. Combinaciones de los diferentes esquemas de paquetización.....	38
Tabla 3.4. Experimentos realizados.....	42
Tabla 3.5. Promedios de los experimentos (1), (10) y (19) en el flujo con poco movimiento en tráfico de segundo plano constante.....	44
Tabla 3.6. Promedios de los experimentos (1), (10) y (19) en el flujo con poco movimiento en tráfico de segundo plano constante, con congestión severa.	45
Tabla 3.7. Promedios de los experimentos (2), (11) y (20) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable.....	46
Tabla 3.8. Promedios de los experimentos (2), (11) y (20) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable con congestión severa.	47
Tabla 3.9. Promedios de los experimentos (3), (12) y (21) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano de video sintetico.	48
Tabla 3.10. Promedios de los experimentos (3), (12) y (21) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano de video sintetico, en los escenarios con congestión severa.....	49
Tabla 3.11. Promedios de los experimentos (1), (4) y (7) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano constante.....	50
Tabla 3.12. Promedios de los experimentos (2), (5) y (8) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable.....	51
Tabla 3.13. Promedios de los experimentos (3), (6) y (9) en el flujo con poco movimiento con tráfico de background de video sintetico.....	52

Capítulo 1

1. Introducción

Resumen: En este capítulo se estudian las redes convencionales y activas, así como sus limitaciones, las propuestas para solucionar o mitigar estas limitaciones. Se realiza una investigación sobre las redes activas. Por último, haremos una propuesta general del problema a solucionar.

Las redes de computadoras pueden ser clasificadas por la distancia entre los procesadores, como se ve en la Tabla 1.1[1].

Distancia entre procesadores	Procesadores ubicados en el mismo	Tipo de red
1 m	Metro cuadrado	Red de área personal (PAN)
10 m	Cuarto	Red de área local (LAN)
100 m	Edificio	
1 km	Campus	
10 km	Ciudad	Red de área metropolitana (MAN)
100 km	País	Red de área amplia (WAN)
1,000 km	Continente	
10,000 km	Planeta	
		Internet

Tabla 1.1. Clasificación de procesadores interconectados por escalas.

El Internet ofrece muchos tipos de servicios como, correo electrónico, servicios bancarios, teleconferencias, servicios multimedia, televisión sobre Internet, llamadas telefónicas, entre otros. El uso de servicios que demanda gran ancho de banda, la incorporación de nuevos usuarios, entre otros factores, produce congestión en las redes de computadoras.

Los proveedores de servicio de Internet (ISP), proporcionan servicios adicionales, como banda de ancha dedicada, direcciones que IP fija, espacio en servidores Web, entre otros, con los cuales se puede mejorar el servicio del Internet, pero estos servicios adicionales cuestan dinero, por lo cual, no están disponibles para todos los usuarios.

La transmisión de video a través de redes de computadoras como el Internet, ha ido en aumento en los últimos años, transmitir video a través de una red congestionada es un problema, debido a que parte del video se pierde dentro de la red, lo que degrada la calidad del video. Este problema se investigará en la presente tesis.

1.1. Antecedentes y Motivación

El Internet es una red de conmutación de paquetes que utiliza la pila de protocolos TCP/IP para lograr la interconexión de sus nodos. El Internet en la actualidad tiene varios problemas, algunos de ellos son: la falta de direcciones IP, la saturación de la red, la seguridad en Internet, la falta de mecanismos de calidad de servicio, la administración centralizada.

Una posible solución es instalar más infraestructura que soporte una mayor cantidad de flujo de información. Su principal desventaja sería el costo, además de no solucionar problema de falta de direcciones IP.

El IPv6 [1] es otra posible solución, al incrementar el número de direcciones IP a 2^{128} , reducir el tamaño de las tablas de enrutamiento, disminuir el número de campos en el encabezado a 7, mejorar el aspecto de calidad de servicio, entre otras características.

Los protocolos de calidad de servicio son otra posible solución a los problemas de internet. La ITU-T en su recomendación E-800 define como calidad de servicio *“El efecto colectivo del desempeño de servicio el cual determina el grado de satisfacción de un usuario de dicho servicio”* Los protocolos de calidad de servicio son: (1) servicios diferenciados, (2) servicios integrados, (3) MPLS e (4) ingeniería de tráfico

Los servicios diferenciados (1) contienen un campo llamado DS-field, este campo es usados por los per-hop behavior (PHB), para el tratamiento y reenvío de los paquetes de red. Los servicios diferenciados permiten priorizar los flujos de tráfico que pasan a través de un ruteador, avanzando los de mayor prioridad. Hay dos tipos de servicios que ofrecen los servicios diferenciados, Expedited Forwarding (EF) y Assured Forwarding (AF). La desventaja de los servicios diferenciados es la necesidad de ruteadores con capacidad de servicios de diferenciados, de otra manera los paquetes de red son tratados como “best effort”

Los servicios integrados (2) reservan recursos de la red entre el nodo fuente y el nodo destino. Para la reservación de recursos se utiliza el protocolo de señalización Resource

Reservation Protocol (RSVP). En (2) hay dos tipos de servicios, Guaranteed Services y Controlled-load Services. La desventaja en (2) es la poca escalabilidad, el tiempo en reservar el ancho de banda, además de que todos los ruteadores en el camino deben ser capaces de proporcionar servicios integrados.

En Multi-Protocol Label Switching [3] (MPLS) (3) los paquetes de red son marcados con una etiqueta al entrar a una red MPLS y desmarcados al salir de ella. MPLS simplifica el proceso de ruteo al establecer “tuberías” dentro la red. MPLS es independiente de los otros protocolos de red, por lo tanto, es compatible. La desventaja de una red MPLS es la necesidad de un dominio o conjunto de ruteadores con capacidad MPLS.

La congestión de la red [2] puede ser causada por carencia de recursos de red o por una distribución desigual del tráfico, entre otras cosas. Cuando la distribución del tráfico es desigual, se utiliza la ingeniería de tráfico (4) para distribuir el trafico de una red, esto es, enviar el tráfico entre las diferentes rutas entre el nodo fuente y el nodo destino, y no solo utilizar el camino más corto o el más rápido.

El video que es transmitido a través de una red de conmutación de paquetes congestionada puede sufrir daños en su calidad (perder parte del video) debido al tirado de paquetes dentro de la red. Este tirado no es eficaz por qué no toma en cuenta las propiedades del video, además de no mitigar la congestión.

1.1.1. Redes Activas

Las redes activas son un nuevo paradigma dentro de las redes de computadoras, el procesamiento de la información se realiza en el interior de la red (en los ruteadores), y se minimiza el proceso de la información en los nodos extremos (computadoras de los usuarios).

Una red convencional se define en [4] como *“una red que consiste de nodos inteligentes situados en las orillas de la red, que son capaces de realizar computaciones de la capa de aplicación, y que los ruteadores simplemente interconectan a los nodos realizando computaciones de la capa de red”*

Una red activa se define en [4] como *“una red que permite que los ruteadores intermedios realicen computación en la capa de aplicación. En adición, los usuarios pueden programar la red inyectando sus propios programas a la misma. Estos programas viajan dentro de los paquetes de red y son ejecutados en los ruteadores intermedios resultando en la modificación de su estado y su comportamiento”*.

En las redes activas los ruteadores pueden leer el encabezado y el campo datos de cada paquete de red, y en base a esa información avanzar, tirar o modificar el paquete. En las redes activas la arquitectura define la forma en que son programados los ruteadores o como se invocan las aplicaciones residentes dentro de los ruteadores. En [4] define tres tipos de arquitecturas: Paquetes activos, Nodos activos, y Nodos y Paquetes activos

En la arquitectura de paquetes activos [4], el código activo viaja en los paquetes de red, este código es aplicado o ejecutado en los datos contenidos dentro de los paquetes que llevan el código, el código puede cambiar el estado o comportamiento del ruteador. Aunque el código activo esta en los paquetes de red, los nodos (ruteadores) también se consideran activos, debido a que realizan computaciones a nivel de capa de aplicación. En la arquitectura de nodos activos [4], el código activo se encuentra en el ruteador, y los paquetes de red llevan algunos identificadores o referencias de las aplicaciones que residen en el ruteador, además de parámetros. Los paquetes son activos debido a que resuelven que aplicación será ejecutada sobre los datos. En la arquitectura de nodos y paquetes activos [4], los paquetes activos llevan el código actualizado y el código más complejo residen en los nodos activos. Esta arquitectura permite programar el nodo activo, además de seleccionar la aplicación más adecuada a las necesidades del usuario.

Las redes activas pueden ser aplicadas a ciertos problemas que tienen las redes actuales [4] como son: Administración de la red, control de congestión y cacheo activo. La administración de las redes [4] es un problema cuando se administran redes con una gran de nodos en un área extensa, los centros de administración de la red “preguntan” a todos nodos su estado, lo cual genera más tráfico. Las redes activas pueden mover el centro de administración al corazón mismo de la red, reduciendo los retrasos en las

respuestas. Las redes activas pueden mitigar el problema de la congestión con un control de congestión [4], por ejemplo, un nodo activo puede:

- vigilar el ancho de banda disponible y reenviar la cantidad de tráfico suficiente para no saturar la red
- puede transformar los datos a diferentes formatos para enviar menos información
- puede utilizar un compresor de información
- seleccionar de manera “inteligente” que paquetes tirar de un flujo o varios flujos de red
- dar prioridad a los flujos

El cacheo activo [4] tiene dos aplicaciones importantes, (1) la auto-organización de los nodos que cachan dentro de redes extensas, y (2) el multicasting confiable. En (1) la idea básica es la necesidad de decidir dónde colocar los nodos que cachan, a través de métricas de distancia. En el cacheo activo (2), los nodos activos pueden asignar ciclo de vida a los paquetes cachados en función de la aplicación, evitando la inundación de mensajes de Negative Acknowledgement (NACK).

El poder de cómputo que tienen las redes activas puede favorecer a la transmisión de video a través de las redes. Algunas de las áreas de estudio [5] son:

- mecanismo de control de errores en la capa de red
esquema de re-codificación
- técnicas de filtrado de tráfico
- técnica de dispersión de tráfico

El mecanismo de control de errores en la capa de red [5] proporciona la protección de error desigual para las diferentes partes de un flujo de video, buscando el mejor uso de los recursos de una red, además de tomar en cuenta la percepción del video visualizado, maximizando la calidad del video ante la pérdida de paquetes de red.

El esquema de re-codificación [5] utiliza un códec instalado en un nodo activo que corrige los errores del flujo de video. Su principal problema es la complejidad computacional que esto acarrea.

Las técnicas de filtrado de tráfico [5] se dividen en dos tipos: (1) descartamiento inteligente de paquetes y (2) transcodificación. En (1) descarta las partes menos esenciales video dando prioridad a las partes más importantes, mejorando el funcionamiento de la red y buscando la menor degradación de la calidad del video. En (2) cuando ocurre la congestión el nodo activo puede cambiar el formato o la resolución del video, aminorando el tráfico dentro de la red. En (2) la complejidad computacional es muy alta.

La técnica de dispersión de trafico [5] divide el tráfico de red distribuyéndolo entre los caminos que existen el nodo fuente y el nodo destino, como la ingeniería de tráfico.

En la Figura 1.1 muestra como viaja el video por la red, desde el nodo fuente hasta el nodo destino.

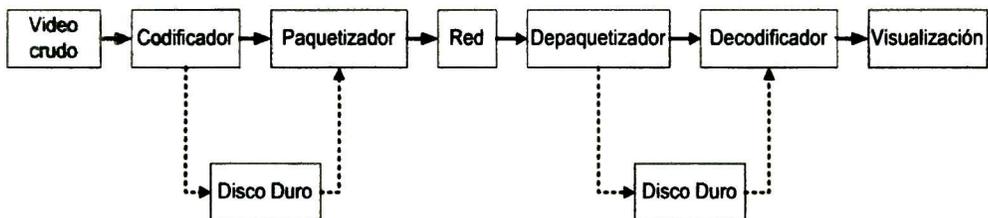


Figura 1.1. Esquema general de la transmisión de video

En la transmisión de video, intervienen varias aplicaciones y pasos seguir, los cuales son:

1. El video crudo es codificado, el cual puede ser enviado por la red o ser almacenado.
2. Después de codificar el video el paquetizador divide el video codificado en paquetes que son enviados hacia el nodo destino.
3. El depaquetizador recibe los paquetes de red y rehace el video codificado en el nodo destino.
4. El video codificado es decodificado para ser visualizado o almacenado.

Los protocolos más utilizados para la transmisión de multimedia son RTP [1] (Real-time Transport Protocol) y RTCP [1] (RTP Control Protocol). RTP es una librería que opera adyacente a la aplicación del usuario, pero trabaja sobre UDP, como se ve en la Figura 1.2 [1].

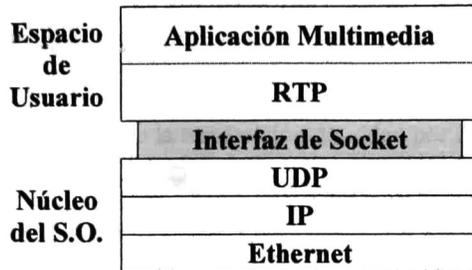


Figura 1.2. Posición del RTP en la pila de protocolos.

RTP multicanaliza los flujos multimedia codificándolos en paquetes RTP, los cuales son enviados al núcleo por medio de un socket, para agregarlos a los paquetes UDP, como se ve en la Figura 1.3[1].

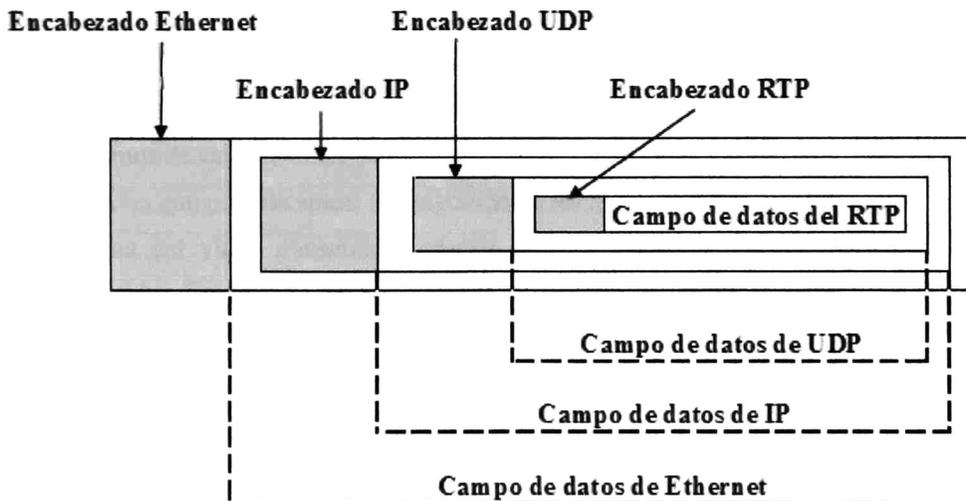


Figura 1.3. Anidamiento de paquetes.

Cada paquete RTP está encapsulado en un paquete UDP por lo cual es compatible con otros protocolos. El protocolo RTCP no transporta ningún dato multimedia pero se encarga de la retroalimentación, sincronización y la interfaz del usuario. RTCP y RTP trabajan juntos.

1.2. Definición del Problema

La transmisión de video a través del Internet se ha incrementado, sin embargo, la capacidad de las redes no crece a la misma velocidad. Los organismos de estandarización que trabajan en la codificación de video, hacen codificadores cada vez más eficientes, que permiten comprimir el video para su transmisión a través de la red.

Uno de los problemas que tiene la transmisión de video por redes de conmutación de paquetes, es el descartamiento de paquetes sin tomar en cuenta las propiedades del video, degradando la calidad del video que recibe el usuario final.

1.3. Propuesta General

Las redes activas pueden ser la solución a varios de los problemas del Internet actual. La investigación realizada se centra en la transmisión video a través de redes IP mitigando o eliminando la congestión de la red, los mecanismos de descartamiento de paquetes y los esquemas de paquetización.

El video tiene una estructura bien definida que permite distinguir las partes más importantes de las partes menos relevantes o descartables. En este trabajo utilizaremos mecanismos de calidad de servicio en redes activas para el descartamiento “inteligente” de paquetes que permita atacar la congestión de las redes, degradando lo menos posible la calidad del video transmitido, además de usar esquemas de paquetización que busquen mejorar el uso de los recursos de una red, así como la transmisión eficiente del video.

1.3.1. Hipótesis

Existen tres factores clave a tratar dentro de la solución propuesta, (1) política de descartamiento de paquetes, (2) el enfoque de la solución dentro de las redes activas y (3) el esquema de paquetización. En (1) se considera el tipo de marco que contiene el paquete de red, la dependencia con otros marcos, el tamaño y el patrón de pérdidas de paquetes. En (2) se involucra él cuando, donde y como será implementada la solución. Para (3) se considera el contenido del paquete, el tamaño y el tiempo de transmisión.

La hipótesis es utilizar los esquemas de paquetización junto con las políticas de descartamiento para optimizar el uso de los recursos de una red, degradando lo menos posible la calidad del video. La calidad del video en una red congestionada puede reducirse debido al descartamiento de paquetes, en una red activa se toma en cuenta los tres factores clave.

1.3.2. Objetivos

El objetivo es diseñar e implementar un esquema de paquetización y una política de descartamiento, que mejoren la utilización de los recursos de una red cuando un flujo de video es transmitido a través de una red activa.

1.4. Conclusiones

Las redes activas son un gran avance para las redes de computadoras, sin embargo, existen otras tecnologías que también solucionan o mitigan los problemas del Internet actual, por ejemplo, servicios diferenciados, servicios integrados, MPLS, IPv6, ingeniería de tráfico, entre otros.

Las redes activas son otra tecnología en desarrollo, y su implementación en el Internet actual no es posible en un futuro cercano. El campo de acción de las redes activas fuera de la investigación podría darse dentro de redes WAN o redes corporativas.

Capítulo 2

2. Marco Teórico y Estado del Arte

||
||

Resumen: En este capítulo realiza una descripción de aspectos teóricos como la estructura y codificación del video. Se exponen puntos clave de esta investigación como son los esquemas de paquetización y políticas de descartamiento. Por último, se describe el estado del arte de los mecanismos activos de descartamiento de paquetes existentes.

||
||
||

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Estándares de codificación de imágenes y video

Hay dos ramas [6] en los estándares de codificación de video, H.26X y MPEG-X. Los codecs de la rama H.26X son recomendados por la ITU-T mientras los codecs de la rama MPEG-X son trabajo de ISO/IEC JTC1. Los estándares H.26X están orientados hacia las aplicaciones de telecomunicaciones como son la videoconferencia y el videoteléfono. Mientras que los estándares MPEG-X están orientados hacia el almacenamiento de video, broadcast TV y el tráfico de video.

La Figura 2.1 [6] muestra los estándares desarrollados por cada comité, en el pasado trabajaron de manera independiente, sin embargo, en los estándares H.262/MPEG-2 y H.26L han trabajado de manera conjunta.

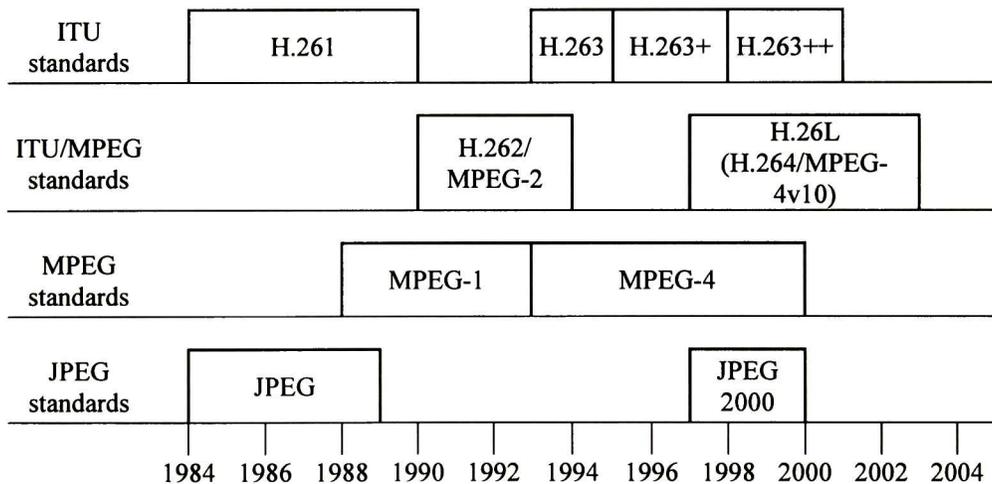


Figura 2.1. Evolución de los estándares de codificación de video de los comités ITU-T e ISO/IEC.

2.1.2. Imágenes

El video está compuesto por una gran cantidad de imágenes estáticas, por lo cual, los estándares sobre imágenes estáticas sirven como base para el estudio de la codificación del video. En la Figura 2.1 se muestra dos estándares de imágenes: JPEG y JPEG-2000, los cuales fueron desarrollados por el grupo JPEG. El estándar JPEG-2000 [7] fue desarrollado para mejorar el formato JPEG. JPEG-2000 permite comprimir más las imágenes con menos pérdidas, aunque también puede comprimir sin pérdidas. La codificación de imágenes se basa en la codificación intramarco, a través de la transformada discreta del coseno (DCT).

2.1.3. Video

Un códec es un software que comprime (codifica) y descomprime (decodifica) video, audio o imágenes, basado generalmente en un estándar. Un códec de video se especializa en codificar y decodificar video. La necesidad de los codecs reside en el hecho, que el video crudo (sin codificar) es difícil de almacenar, manipular o transmitir por redes de computadoras, debido a la cantidad de información que contiene.

El video digital a diferencia de las imágenes estáticas tiene codificación intramarco o espacial, y codificación intermarco o temporal. La función principal de un códec de video es eliminar la información redundante. Existen tres principios de reducción de información redundante [6] en los estándares H.261, H.263, MPEG-1,2 y 4:

1. Reducción de la redundancia espacial: reduce la información espacial redundante entre píxeles dentro de una imagen a través de compresores de datos.
2. Reducción de la redundancia temporal: quita similitudes entre imágenes sucesivas, codificando las diferencias.
3. Codificación de la entropía: reduce la redundancia entre la compresión de símbolos, usando técnicas de VLC (Variable Length Coding).

La codificación del video puede generar varios tipos de marcos, los más importantes son: I, P. El marco I es un intramarco codificado, por medio de la transformada discreta del coseno (DTC), el marco P es un inter-marco codificado, por medio de la estimación

de movimiento. También existe el tipo de marco B, su función principal es mejorar la calidad del video temporal, el marco B es codificado del marco antecesor y sucesor. El marco I es el más importante de todos [6], debido a que sin este no se pueden decodificar los otros marcos. Los marcos B dependen de los marcos P, pero ningún marco depende de los marcos B, por lo tanto los I son más importantes y los marcos B son los menos importantes.

El estándar H.261 [6] especifica métodos de codificación y decodificación para la transmisión digital sobre redes ISDN (Integrated Services Digital Network), esto es, sobre redes telefónicas. La velocidad es de $p \times 64 \text{ kbit/s}$, donde p puede ser de 1-30. El video puede transmitirse a velocidades entre 64 kbit/s y 1920 kbit/s aproximadamente. El propósito del estándar H.261 es la videoconferencia, la video llamada y otros servicios audio visuales. H.261 fue ratificado en Diciembre del 1990.

MPEG-1 [6] es un estándar propuesto para proveer video codificado para medios de almacenamiento digital, tales como CD, DAT y optical drives. MPEG-1 compete contra el VCR (Video Cassette Recoder), también conocido como VHS. En mayoría de las aplicaciones MPEG-1 opera en un rango de 1 – 1.5 Mbit/s, aunque no existe limite. La calidad del video del MPEG-1 es similar con VCR, además también proporciona opciones como play, stop, freeze picture, avance rápido, retroceso rápido, avance lento y acceso aleatorio.

H.262/MPEG-2 [16] fue diseñado para la codificación de vídeo de alta calidad con posible vídeo entrelazado de NTSC, PAL o Televisión de Alta Definición (HDTV). Busca operar en un rango de 2 a 15 Mbit/s, aunque puede funcionar a velocidades de 100 Mbit/s o más.

MPEG-4 [16] es un estándar internacional (ISO/IEC 14496). Provee [6] herramientas y algoritmos para un eficiente almacenaje, transmisión y manipulación de video en ambientes multimedia. El grupo MPEG-4 ha definido las especificaciones del códec de video en la forma de verificación de modelos (VM).

2.1.3.1. H.263

El estándar H.263 fue creado para la codificación de video para comunicaciones de bajo “bit rate”. Este estándar ha sido mejorado en sus versiones H.263+ y H.263++. Los formatos de imagen que maneja son mostrados en la Tabla 2.1[8].

Picture format	Number of pixels for luminance (dx)	Number of pixels for luminance (dy)	Number of pixels for chrominance (dx/2)	Number of pixels for chrominance (dy/2)
sub-QCIF	128	96	64	48
QCIF	176	144	88	72
CIF	352	288	176	144
4CIF	704	576	352	288
16CIF	1408	1152	704	576

Tabla 2.1. Numero de pixeles por línea y número de líneas para cada formato de imagen estandarizado H.263.

La estructura del video en H.263 [8] está integrada por GOPs, GOBs o “slices”, macrobloques y bloques. El video está compuesto por varios GOPs (Group of Picture).

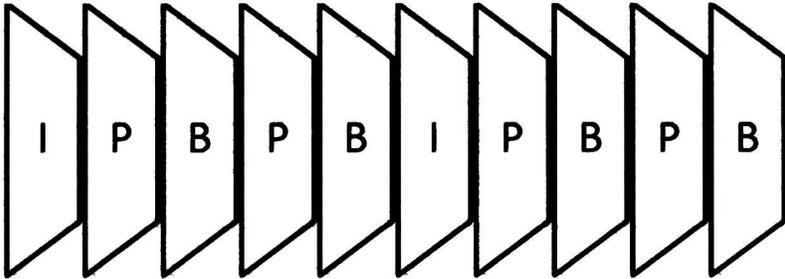


Figura 2.2. Estructura de dos GOPs

Como lo muestra la Figura 2.2 los GOPs son secuencias de marcos, cada GOP contiene un solo marco I varios marcos P y posiblemente varios marcos B intercalados.

Cada “picture” o marco se divide en GOBs (Group of Block), los GOBs comprenden $k * 16$ líneas. Si el modo opcional Reduced-Resolution no es usado, el número de GOBs por imagen es 6 para sub-QCIF, 9 para QCIF y 18 para CIF, 4CIF y 16CIF. La Figura 2.3[8] muestra los GOBs de un formato CIF.

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17

Figura 2.3. Arreglo de un Grupo de Bloques para un Picture CIF.

Cada GOB se divide en macrobloques. Un macrobloque contiene 16 pixeles por 16 líneas de Y, 8 pixeles por 8 líneas de Cr y Cb, como se muestra en la Figura 2.4 [8].

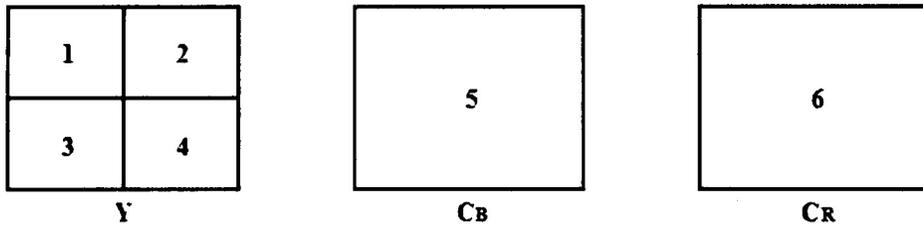


Figura 2.4. Arreglo de bloques en un macrobloque.

Los marcos B tienen dos referencias, dos marcos P o un marco I y un marco P, su antecesor y su sucesor, como lo muestra la Figura 2.5 [6].

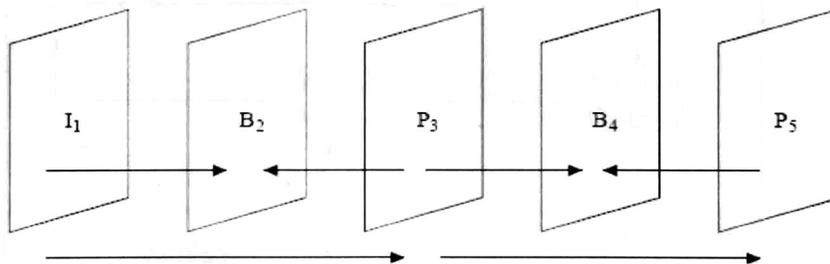


Figura 2.5 Grupo de marcos B y P alternados.

La Figura 2.6 [6] muestra un codificador de video genérico que aplica para los estándares H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4. Las partes que lo componen son:

Motion estimator, calcula el movimiento de objetos en movimiento, esto significa asignar un vector de movimiento a un grupo de 16 x 16 pixeles. El vector es estimado y compensado solo en las partes de luminiscencia de la imagen. Un vector de movimiento escalado es utilizado para la compensación de los bloques crominancia.

Inter/intra switch, decide si un macrobloque será codificado como intra o inter.

DCT, cada bloque que pertenece a un macrobloque es transformado por medio de la transformada discreta del coseno. El DCT transforma las imágenes a otro dominio, permitiendo eliminar las redundancias espaciales de las imágenes.

Quantiser, cuantifica los coeficientes resultantes después de DCT. Hay dos tipos de cuantificador, uno con zona muerta para los coeficientes AC y DC de un macrobloque inter, el otro sin zona muerta para los coeficientes DC de un macrobloque intra.

Variable length coding, comprime los coeficientes y los vectores de movimiento. Hay dos tipos de VLC: codificación Huffman y codificación aritmética.

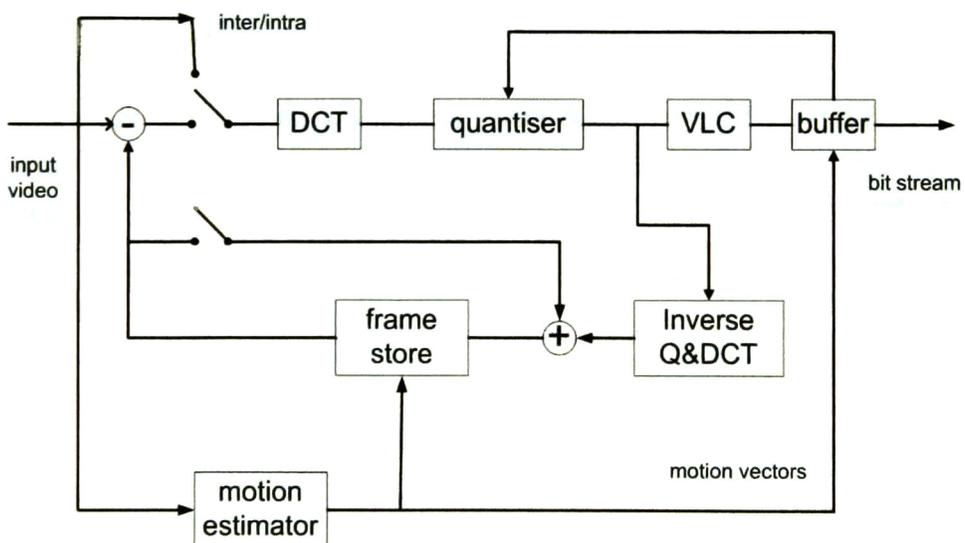


Figura 2.6. Un codificador genérico predictivo intermarco.

IQ y IDCT, para generar una predicción para la codificación inter-marco, los coeficientes cuantificados del DCT primero cuantificados inversamente y después codificados inversamente DCT, para generar una réplica de la imagen decodificada. La imagen es usada para codificar la siguiente imagen en la secuencia.

Buffer, el "bit rate" generado es variable. Para transmitir video codificado en redes con anchos de banda fijos, el "bit rate" es deseado que sea regulado.

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Esquemas de paquetización de video

Un esquema de paquetización separa el video en GOBs, además de indicar al paquete de red que contiene, cuánto mide y cuando es enviado. Algunos de los esquemas de paquetización son:

- *1 GOB por paquete*, cada GOB se introduce en un paquete de red.
- Todos los GOBs pares y los GOBs impares en un paquete de red.
- Todos los GOBs posibles en un *tamaño óptimo de paquete*, este tamaño es 576.

2.2.2. Políticas de descartamiento de paquetes

Las políticas de descartamiento definen el criterio para tirar paquetes de red. Las políticas básicas identificadas son: (1) *por prioridad* y (2) *por GOP*. En (1) cuando se detecta la congestión los marcos B, P e I son descartados secuencialmente, en (2) cuando se detecta que un marco I ha perdido GOBs, entonces se descarta todos los marcos P y B relacionados con el marco I dañado, esto es, todo un GOP. Los algoritmos generales son:

Algoritmo *por prioridad*.

Inicio

Mientras existe congestión **hacer**

Tirar paquetes con marcos B

Si persiste la congestión **entonces**

Tirar paquetes con marcos B y P

Fin Si

Fin Mientras

Fin

Algoritmo *por GOP*.

Inicio

Si algún un paquete con un marco I está dañado o fue tirado **entonces**

Tirar todos los paquetes con marcos B y P relacionados con el marco I incompleto

Fin Si

Fin

2.2.3. Mecanismos activos de descartamiento de paquetes

Un mecanismo de descartamiento de paquetes es aquel toma en cuenta las propiedades del video para tirar los paquetes de red, buscando la mejor calidad de video posible, implementado en redes activas. Algunos de los principales mecanismos activos de descartamiento son:

1. Packet Discarding Agent (PDA)
2. PROTEAN (PROgrammable TEchnology for Active Networks)
3. Active Router
4. Adaptive Partial Video Slice Discard (APVSD), Adaptive Early Video Slice Discard (AEVSD)
5. Partial Packet Discard (PPD), Frame Level Discard (FLD), Group of Picture Level Discard (GPLD), Early MPEG Discard (EMPEGD)
6. Unit-Level Drop (ULD)

2.2.3.1. Packet Discarding Agent (PDA)

En el PDA [9] el descartamiento de paquetes es hecho por agentes en los ruteadores de la red. En la Figura 2.7 [10] se muestra la topología de red utilizada en la investigación del PDA. El PDA se encuentra en el ruteador CORE. El agente descarta el tráfico redundante de la red. Cuando existe pérdida para un marco I, descarta todos marcos P relacionados con el I dañado.

Los esquemas de paquetización que fueron propuestos son: (1) *1 GOB por paquete*, (2) todos los GOBs *pares/ones* dentro de un paquete y (3) todos los GOBs posibles dentro de un paquete con un *tamaño óptimo*.

Tres secuencias de video fueron utilizadas, con diferentes características de movimiento, (1) entrevista (poco movimiento), (2) reporte del clima (movimiento medio) y (3) juego de rugby (mucho movimiento).

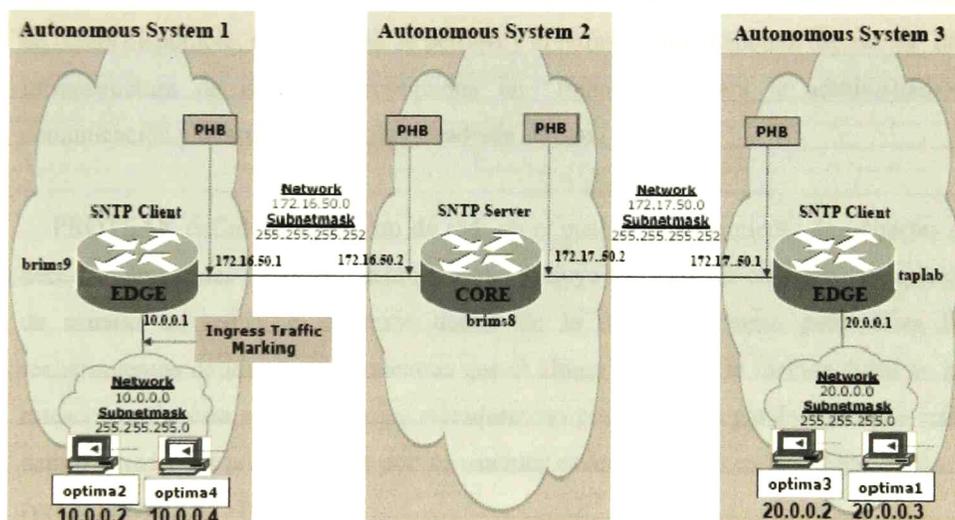


Figura 2.7. Topología de red de investigación QoS.

Las secuencias de video se codificaron bajo el estándar H.263+, con un formato de CIF a 30 marcos por segundo. Los resultados muestran que usando el PDA, a pesar de que los paquetes descartados se incrementaron, el PSNR fue mejor que sin el PDA. Para el escenario experimental de *1 GOB por paquete* el PSNR fue 23.95dB sin PDA

mientras con PDA fue 26.54dB. El efecto fue que la congestión fue reducida el resto de red después del PDA.

Esta solución de redes activas fue implementada usando un pseudoencabezado para distinguir entre los tipos de paquetes. Los escenarios experimentales fueron hechos sobre Ethernet.

2.2.3.2. PROTEAN

PROTEAN (PROgrammable Technology for Active Networks) [11] es una arquitectura usada para implementar redes activas. Su propósito es la administración, descubrimiento y comunicación entre ruteadores activos, además de descubrir que tipos de servicios ofrecen los ruteadores activos y donde colocarlos. PROTEAN maneja dos conceptos importantes “equivalent link abstraction” y “spine”

La abstracción de enlace equivalente (equivalent link abstraction) captura las características del camino existente entre dos ruteadores activos, los cuales son: ancho de banda disponible, probabilidad de pérdida y el retraso computacional. Spine es una infraestructura de red que proporciona un “framework” para la administración, comunicación y descubrimiento de ruteadores activos.

PROTEAN define un contexto de red en el cual el procesamiento de paquetes es hecho en ambientes virtuales. La arquitectura incluye dos tipos de contexto: el contexto de usuario de red y el contexto dentro de la red. El primero personaliza los requerimientos de los usuarios mientras que el último involucra la funcionalidad de los ruteadores. En esta arquitectura los ruteadores no-programables por los usuarios están dentro la red y los programables por los usuarios están colocados en las orillas de la red (ver la Figura 2.8 [11]).

En PROTEAN fueron presentados cuatro escenarios experimentales de flujo de video: (1) redes convencionales, (2) mecanismos activos dentro de la red, (3) mecanismos activos en las orillas de la red, y (4) mecanismos activos en toda la red. Solo el escenario (4) utiliza un mecanismo de descartamiento, además de “flow rate

adaptation”. El “flow rate adaptation” es una serie de operaciones iterativas para calcular el ancho de bando disponible.

Las políticas de descartamiento en PROTEAN son: head drop, random drop o priority drop. Solo este último toma en cuenta las propiedades del video. La política de descartamiento es *por prioridad* (ver sección 2.2.2), cuando se presenta la congestión descarta los marcos B, si no es suficiente descarta además los marcos P, si aún no es suficiente descarta los marcos I.

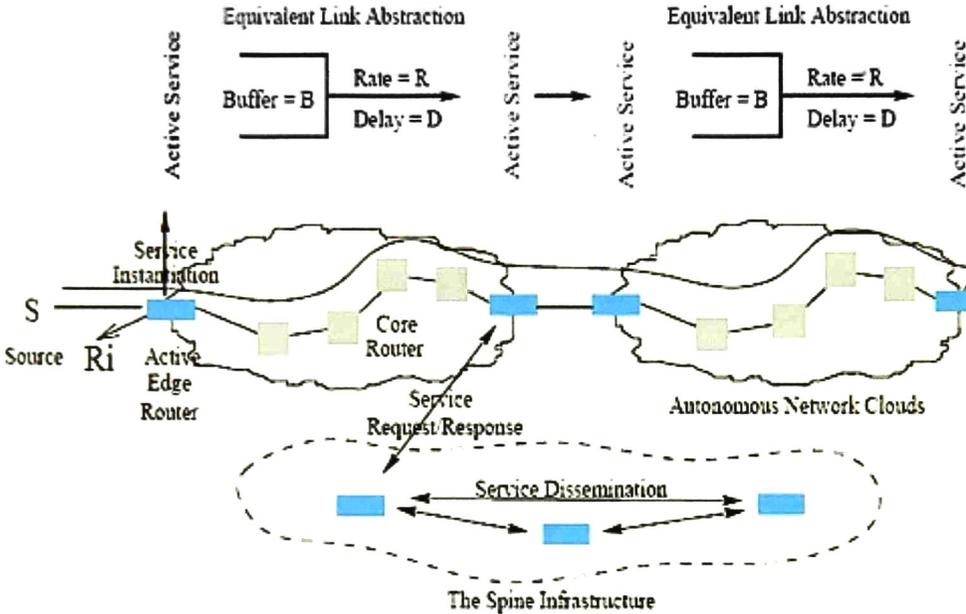


Figura 2.8. Arquitectura de la Red Activa PROTEAN

En PROTEAN la priorización es administrada por un mecanismo de codificación Multiple Resolution (MR). En los experimentos el video fue codificado usando MPEG con 16 marcos por GOP. Dos GOPs son transmitidos por segundo. El PSNR promedio obtenido en los cuatro experimentos fue: 19.9dB, 24.2dB, 25.1dB y 25.6dB respectivamente. PROTEAN tiene la desventaja de necesitar el conocer la abstracción de red y las conexiones que puede producir un tráfico de administración excesivo.

2.2.3.3. Active Router

En Active Router [12] la política de descartamiento es aplicada por ruteadores Linux. Estos ruteadores fueron configurados como nodos activos por la modificación de sus “kernels”. Los ruteadores activos soportan cuatro configuraciones, una por default y tres definidas por el usuario. Las definidas por el usuario son: ADAPTIVE, BONLY y BPNLY. En la configuración por default los marcos B son tirados hasta que el ancho banda objetivo sea alcanzado, si no es logrado el objetivo, entonces los marcos P son desechados hasta alcanzar el ancho de banda deseado. La pérdida de los primeros marcos P compromete la resolución temporal.

La configuración ADAPTIVE es una versión modificada de la configuración por default en la cual las decisiones son tomadas considerando las estadísticas de red. Cuando la congestión ocurre en la configuración BONLY los marcos B son tirados mientras que en BPNLY los marcos B y P son descartados.

Como vemos en la Figura 2.9 [12] el Active Router consiste de varios módulos, los módulos “Kernel Data Structures” y “Systemcalls” trabajan para que las aplicaciones activas accedan a los paquetes desde la capa de red. El “Systemcall Interface” es usado para configurar el “Packet Filter” en el “kernel”.

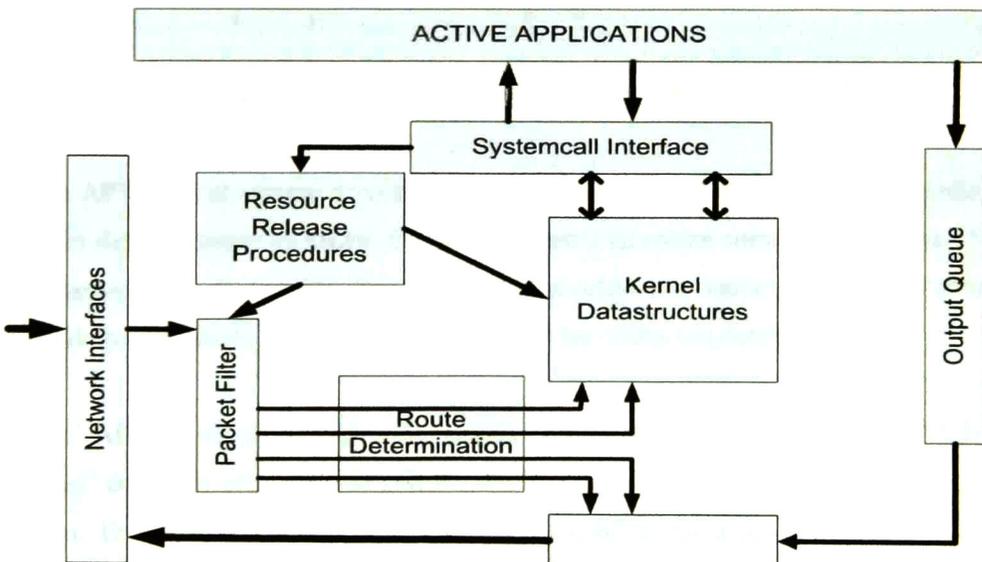


Figura 2.9. Arquitectura del Router.

Los experimentos fueron efectuados usando un códec MPEG. En términos de análisis de performance no muestran resultados en PSNR. Por otro lado, no queda claro como los tipos de marcos son identificados.

2.2.3.4. Adaptive Partial Video Slice Discard (APVSD), Adaptive Early Video Slice Discard (AEVSD)

En [13] dos mecanismos de descartamiento son presentados: PPD (Partial Packet Discard) y EPD (Early Packet Discard). Sin embargo, ninguno de los dos toma en cuenta las propiedades del video como parte de su política de descartamiento. Estos mecanismos evolucionaron en APVSD y AEVSD para los cuales las propiedades del video son consideradas. En estos dos mecanismos se asignan umbrales a la cola de salida. Estos umbrales incluyen un límite inferior y un límite superior. Como se ve en la Figura 2.10 [13], hay cuatro áreas o modos de operación definidas: {idle}, el área entre la cola vacía y el límite inferior; {1}, el área entre el límite inferior y el límite superior; {2}, el área entre el límite superior y el máximo de la cola; y {3}, el área que excede el tamaño de la cola.

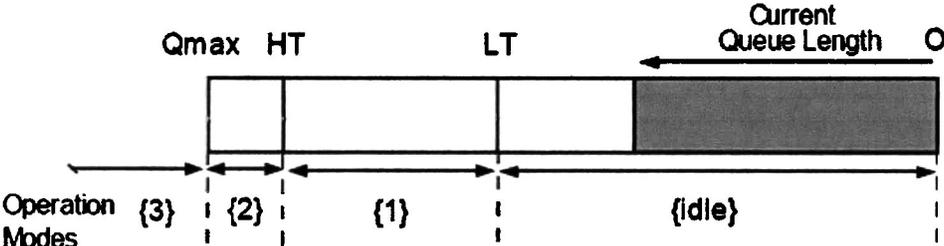


Figura 2.10. Modos de operación de Adaptive-PSD y Adaptive-PSD.

En APVSD si el número de celdas (paquetes de red de ATM) está en el área {idle} ningún descartamiento es hecho. Cuando el número de celdas corresponde al área {1} los marcos B son descartados. Para el área {2} las celdas con marcos B son descartados, seguido por los marco P e I. En el caso {3} todas las celdas son descartadas.

En AEVSD ninguna celda es descartada en la región {idle}. Para el área {1} los "slices" de menor prioridad son descartados sobre los "slices" de mayor prioridad que llegan. En {2} los "slices" encolados son removidos sin considerar su prioridad. Finalmente, todas las celdas son eliminadas para la región {3}.

Los experimentos fueron realizados usando ATM como protocolo de capa 2 y el video fue codificado con MPEG-1. Los resultados fueron mostrados usando las siguientes métricas: “Intra-frame Slice Loss Ratio”, “Predictive-frame Slice Loss Ratio”, “Bidirectional Predictive-frame Slice Loss Ratio”, “Cell Bad Throughput”, y “Mean-Cell Transfer Delay”. Sin embargo, los resultados del PSNR no fueron incluidos. No queda claro como los tipos de marcos son identificados.

2.2.3.5. Partial Packet Discard (PPD), Frame Level Discard (FLD), Group of Picture Level Discard (GPLD) and Early MPEG Discard (EMPEGD)

En [14] una solución la cual emplea un ruteador activo con un conjunto de funciones. Las funciones son invocadas por los paquetes que arriban. Los paquetes llevan un identificador para la función del ruteador, parámetros de función y datos. El ejecutar una función puede cambiar el estado del ruteador y modificar los paquetes entrantes.

Los cuatros algoritmos de descartamiento que fueron empleados son: (1) PPD; (2) FLD; (3) GPLD; y (4) EMPEGD. Los primeros tres mecanismos detectan y responden a la congestión cuando el ruteador no puede insertar más elementos a la cola de salida. En (4) es activado cuando la cola de salida alcanza un límite dado.

PPD no toma en cuenta las propiedades del video. En FLD si el datagrama cabe en la cola de salida entonces es aceptado, de lo contrario, los paquetes menos importantes son descartados antes de agregar el paquete entrante. Si el paquete entrante es menos importante que los paquetes encolados entonces no es aceptado. Para el GPLD si el datagrama entrante cabe en la cola de salida entonces es aceptado, de lo contrario, es descartado. El ruteador guarda el estado del datagrama descartado, si pertenece a un marco I, los marco P y B relacionados son descartados. EMPEGD trabaja como GPLD pero la diferencia es que la condición para aceptar un datagrama emplea un límite impuesto a la cola de salida.

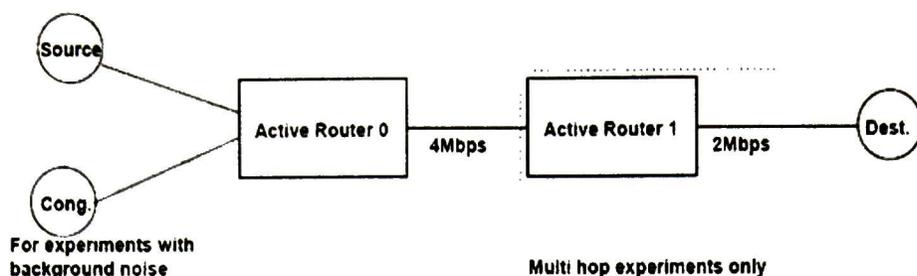


Figura 2.11. Topología experimental empleada en FLD, GPLD y EMPEGD.

La Figura 2.11 [14] muestra la topología utilizada en FLD, GPLD y EMPEGD, donde hay un servidor de video, una computadora para congestionar la red, una computadora receptora del video, además de un ruteador activo que hace el descartamiento de paquetes. Los resultados experimentales muestran que EMPEGD obtuvo el más alto SNR. Los experimentos fueron realizados usando ATM como protocolo de capa 2.

2.2.3.6. Unit-Level Drop (ULD)

En [15] la congestión es manejada a través de un conjunto de funciones corriendo en los nodos activos. Los paquetes pasantes invocan funciones usando un pseudo-encabezado contenido en el campo de datos del paquete. Esto permite la compatibilidad con redes convencionales existentes. El pseudo-encabezado es llamado APCI (“Active Processing Control Information”).

ULD es una de muchas funciones disponibles en los nodos activos. ULD usa algoritmos de descartamiento similares a los previamente analizados. Incluye dos algoritmos de descartamiento: MPEG FD (“MPEG Frame Dropping”) AP y MPEG-GOP (“MPEG Group-of-Picture”) AP.

MPEG FD AP tira marcos secuencialmente, es decir, los marcos B son tirados seguidos por los marcos P y los marcos I. MPEG-GOP AP descarta marcos B y P relacionados con un marco I perdido.

2.2.3.7. Tabla comparativa

La Tabla 2.2 presenta un resumen de las principales características de los mecanismos activos vistos en las secciones anteriores. Dos algoritmos básicos identificados son *por prioridad* y *por GOP* (ver sección 2.2.2). En la Tabla 2.2 N/E = No Especificado.

Mecanismo activo	Video	Algoritmo	Paquetización	Capa 2 / Capa 3
Packet Discarding Agent	H.263	2	Yes	Ethernet / IP
PROTEAN	MPEG	1	N/E	Ethernet / IP
Active Router	MPEG	1	N/E	-- / IP
Adaptive Partial Video Slice Discard	MPEG	1	N/E	ATM / --
Adaptive Early Video Slice Discard	MPEG	2	N/E	ATM / --
Frame Level Discard	MPEG	1	N/E	ATM / IP
Group of Picture Level Discard	MPEG	2	N/E	ATM / IP
Early MPEG Discard	MPEG	2	N/E	ATM / IP
Unit-Level Drop	MPEG	1/2	N/E	ATM / IP

Tabla 2.2. Comparación de Mecanismos Activos.

En este trabajo se considera al esquema de paquetización como un factor clave para el desempeño en la transmisión de video. Esto es porque la fragmentación de paquetes puede ocurrir afectando los requerimientos de la transmisión de video en de tiempo real. Por otro lado, un “throughput” máximo puede ser alcanzado usando el tamaño óptimo de paquete. Este tamaño puede ser estimado considerando el tamaño del encabezado de la capa 2 y los protocolos de control de errores (ej. ARQ, etc), BER y su distribución probabilística, poder de procesamiento de los ruteadores, entre otros.

2.3. Conclusiones

El manejo de la congestión para la transmisión de video es un área de investigación activo. El enfoque de las redes activas parece ser una forma de implementación razonable. El manejo de congestión puede implementarse de diferentes maneras, considerando la localización del ruteador con políticas de descartamiento habilitadas y la programabilidad del mismo. Una red activa puede ser implementada por medio de un middleware como PROTEAN o modificando el “kernel” como el PDA y Active Router.

Aunque hay un número limitado de tipos de marcos involucrados en la codificación del video, las políticas de descartamiento pueden ser aplicadas no solo considerando el tipo de marco sino también la dependencia, el tamaño del marco y el patrón de pérdidas. Se ha observado que diferentes valores de PSNR pueden ser alcanzados como las características usadas en la política de descartamiento.

Aunque los esquemas de paquetización no están claros para algunos de los mecanismos activos revisados son un factor importante para la transmisión de video. El “throughput” máximo puede ser alcanzado, si las condiciones de congestionamiento lo permiten, usando un tamaño óptimo de paquete.

Capítulo 3

3. Solución propuesta y trabajo experimental

Resumen: En este capítulo se describe y se profundiza en la propuesta general del capítulo 1, es decir, investigar mecanismos de descartamiento y esquemas de paquetización que proporcionen una mejora en el uso de los recursos de una red. Se describen los experimentos realizados y se muestran los resultados obtenidos. Por último, se hace un análisis de los resultados.

3.1. Solución Propuesta

La solución que se propone consiste en encontrar un esquema de paquetización y política de descartamiento (ver sección 2.2.1. y 2.2.2.) alternos a los presentados en el estado del arte. En cuanto al descartamiento se propone eliminar marcos de tipo B que están dañados o que no pueden ser decodificados. En este trabajo se define como marco dañado a aquel marco que no tiene sus 18 GOBs.

La dependencia de los marcos codificados es: el marco P depende del I para decodificarse correctamente, el marco B depende del marco P y por consiguiente del marco I. Cuando un marco P está dañado el marco B anterior y posterior a este no pueden decodificarse adecuadamente. El mecanismo de descartamiento propuesto trabaja sobre esta propiedad. El pseudocódigo correspondiente es el siguiente:

Mientras existe congestión hacer

Si un paquete de red con parte de un marco B esta perdido entonces

Tirar el resto de los paquetes que contiene el marco B dañado

Otro caso si algún marco P o I está dañado entonces

Tira los paquetes de red que contienen el siguiente marco B

Fin Si

Fin mientras

En la política de descartamiento *por GOP* se tiran paquetes de red solo cuando un marco I está dañado, con la política de descartamiento propuesta llamada “*Mecanismo Activo Selectivo B (MASB)*” esta condición no es necesaria para descartar paquetes.

En la política de descartamiento *por prioridad* se descarta paquetes por importancia cuando se presenta la congestión, el principal objetivo es eliminar la congestión o alcanzar un ancho de banda objetivo. A diferencia de esta política, *MASB* no tira paquetes a menos que no puedan decodificarse o que estén dañados.

Con *MASB* se espera mitigar la congestión de las redes buscando la mejor calidad de video posible, esto es, un mayor PSNR que con las otras políticas de descartamiento, además la nueva política cubre algunas debilidades identificadas de los otros mecanismos activos.

Existen básicamente tres esquemas de paquetización (ver sección 2.2.1.). Se propone un esquema de paquetización alternativo llamado *1 marco por paquete*. Los esquemas de paquetización anteriores buscan enviar el video codificado en diferentes tamaños y formas. El nuevo esquema de paquetización propone que un marco ya sea P ó B se envíe en un paquete. Cada paquete enviado contiene un pseudoencabezado añadido al principio del campo de datos, si se envía 1 marco por paquete en lugar de 1 GOB por paquete, se reducirá la cantidad de información control, por lo que suponemos menor probabilidad de pérdida de paquetes ante la saturación de la red.

3.2. Topología y herramientas de red

Los experimentos realizados tienen varias partes importantes a analizar, las cuales son:

- Topología de red
- Flujos de video
- Tráfico de segundo plano
- Esquemas de paquetización
- Políticas de descartamiento
- Pseudoencabezado
- Métricas de calidad de video y desempeño

3.2.1. Topología de red

La topología de red es la distribución de una red de computadoras y su configuración. La Figura 3.1 muestra la topología de la red experimental utilizada.

Zebra es un software libre de ruteo para los protocolos TCP/IP utilizado en Linux. Con dicho software se emuló la red WAN, con el fin de probar el esquema MASB dentro de redes amplias (WAN).

QoS Research Network Topology

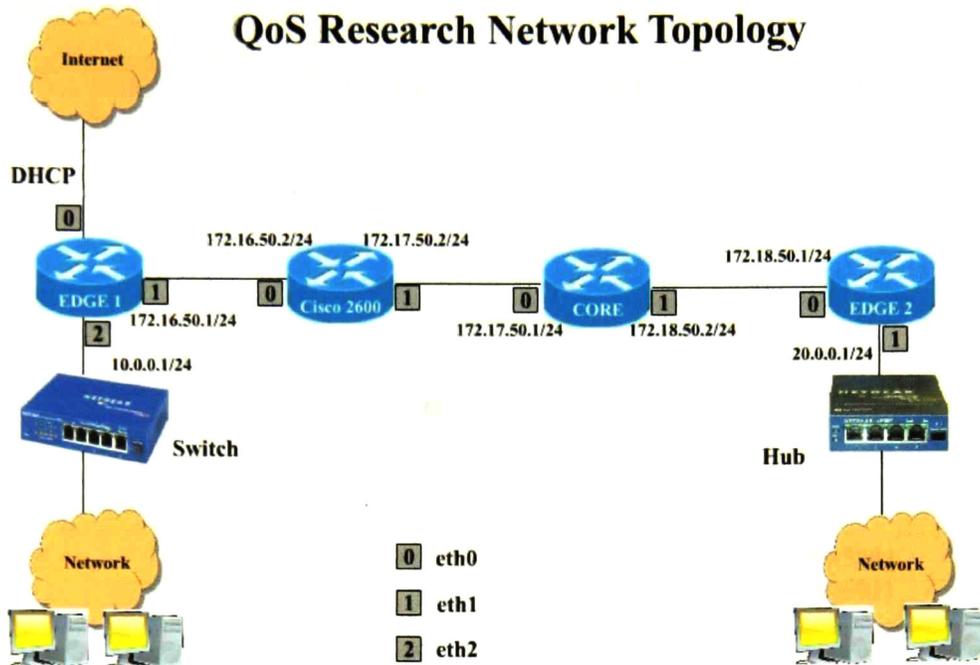
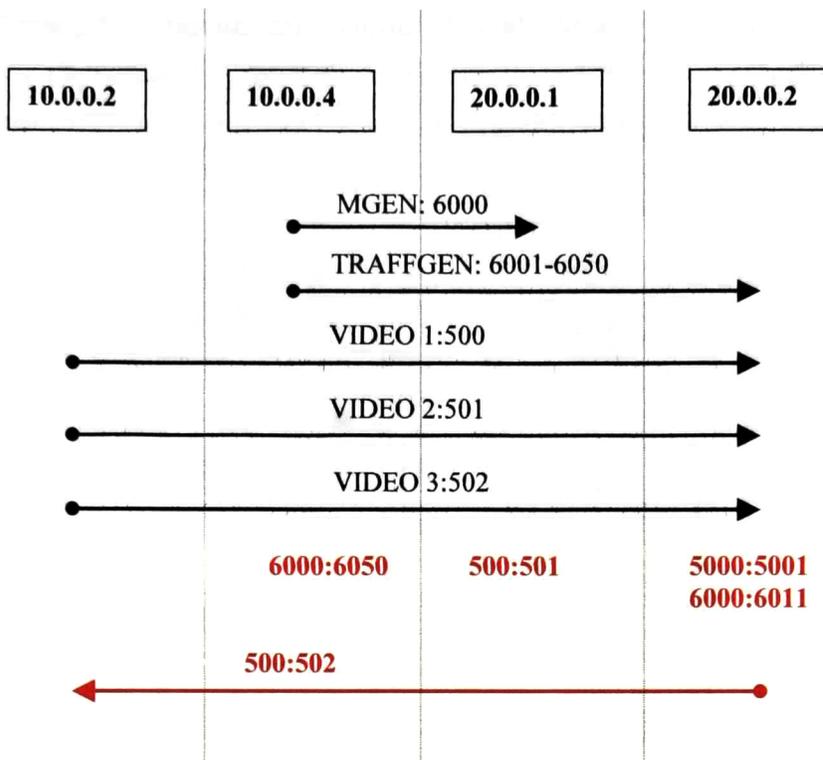


Figura 3.1. Topología de red utilizada en los experimentos

La Figura 3.1 muestra la topología de red utilizada en los experimentos, se crearon cuatro sistemas autónomos (SA), EDGE 1, Cisco 2600, CORE y EDGE 2, además de dos redes locales 10.0.0.0 y 20.0.0.0. La red local 10.0.0.0 tiene el servidor de video en tiempo real y un servidor de tráfico redundante o de segundo plano, en la red local 20.0.0.0 está el receptor de video, el ancho de banda de la red es de 10 Mbits/s. El CORE es un nodo activo que contiene el mecanismo de descartamiento de paquetes.

Mgen es un generador de tráfico de red creado por el laboratorio de investigación de la naval estadounidense. Este generador de tráfico fue utilizado para congestionar la red de nuestros experimentos. La herramienta trpr convierte los datos escuchados de la red por el mgen a un formato compresible para el gnuplot, el cual visualiza los datos en pantalla.

La herramienta tcpdump es un escuchador de tráfico de red, esta herramienta fue utilizada en los experimentos para capturar el tráfico y hacer su análisis posterior, aunque también permite la captura de tráfico en tiempo real.



- Escuchar tráfico
- Enviar tráfico

Figura 3.2. Relación entre envío de video, trafico redundante y análisis de tráfico.

En la Figura 3.2 las flechas negras indican donde se origina la transmisión y hacia dónde va, además de indicar los puertos por donde se envía. Los números y las flechas rojas son los puertos y las direcciones que son escuchados en el nodo, así el nodo 20.0.0.2 escucha el tráfico entrante por los puertos 5000-5001 y 6000-6001, además escucha el tráfico de los puertos 500-502 que proviene específicamente del nodo 10.0.0.2.

3.2.2. Flujos de video

Los flujos de video utilizados en la transmisión de video son tres, (1) interview (con poco movimiento), (2) weather (con movimiento medio) y (3) rugby (con alto grado de movimiento).

La Figura 3.3 (1) muestra una entrevista, la cual contiene poco movimiento. La Figura 3.4 (2) muestra la exposición de un presentador del clima, este video tiene movimiento medio, mientras que la Figura 3.5 (3) muestra un juego de rugby, este video contiene alto grado de movimiento.



Figura 3.3. Flujo de video con poco movimiento



Figura 3.4. Flujo de video con movimiento medio



Figura 3.5. Flujo de video con mucho movimiento

Los tres flujos de video fueron codificados bajo el estándar H.263, en un formato CIF, con 1023 marcos, en 93 GOPs. La estructura del GOP utilizado es de un marco I con cinco marcos P y cinco marcos B intercalados, como la muestra la Figura 3.6.

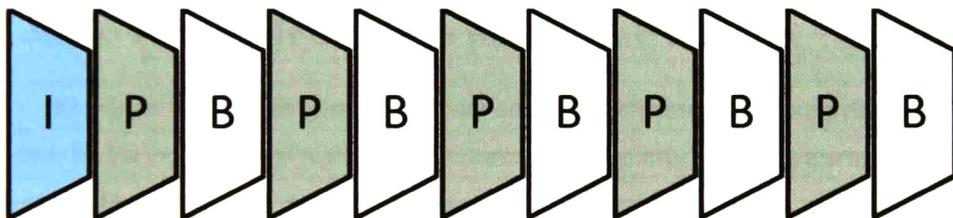


Figura 3.6. Estructura del GOP utilizado en los experimentos

El número total de GOB por flujo de video se calcula a continuación:

$$\text{Número de Frames} = \text{Número de GOP} \times \text{Número de frames por GOP}$$

$$1023 = 93 \times 11$$

$$\text{Número de GOB} = \left(\frac{\text{Número de Frames}}{\text{Número de Frames}} \right) \times \left(\left(\frac{\text{Número de GOB}}{\text{por Frame}} \right) + \left(\frac{1 \text{ GOB}}{\text{sincronizador}} \right) \right)$$

$$19437 = 1023 \times (18 + 1)$$

Video	TIME	No. GOBs	SIZE FILE (BYTE)	HEADER	TOTAL	BYTES/SEG	KBITS/SEG
Interview	66.49	19437	2,235,745	369,303	2,605,048	39179.43	306.09
Weather	66.47	19437	1,428,818	369,303	1,798,121	27051.14	211.34
Rugby	66.26	19437	3,120,305	369,303	3,489,608	52662.41	411.43

Tabla 3.1. Estadísticas de los flujos de video

La Tabla 3.1 muestra el ancho de banda necesario para enviar los tres flujos de video a través de una red IP. La columna TIME indica el tiempo aproximado para la transmisión de video. Para la transmisión de video en tiempo real a través de una red se calcula el retraso para el envío de cada paquete de acuerdo al “frame rate” del video y al número de GOBs que contenga. Al codificar el video se calcula el “frame rate” La fórmula para el envío de cada paquete es:

$$\text{tiempo de retraso} = \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{1 \text{ seg}}{\text{frame rate}_i \times \left(\frac{\text{numero}}{\text{de GOBs}} \right)} \right) (\text{factor de reducción}) \right]$$

Donde numero de GOBs = 18, factor de reducción = 0.75, $k = 1, 2, \dots, 18$.

3.2.3. Tráfico de segundo plano

El tráfico de segundo plano sirve para simular diferentes condiciones dentro de la red. En los experimentos realizados se crearon tres diferentes tipos de experimentos, (1) con tráfico redundante constante, (2) con tráfico redundante variable y (3) con video sintético.

El tráfico (1) y (2) se genero con la herramienta MGEN, mientras que (3) se obtuvo con un generador de video sintético, llamado VTG [9]. En (1) se divide en 16 escenarios experimentales, desde muy poca saturación hasta casi ocupar todo el ancho de banda de red. La Tabla 3.2 muestra las estadísticas de los flujos utilizados en (1).

Escenarios	Flujo 1		Flujo 2		Flujo 0	Flujo 1	Flujo 2	Bit rate
	No. de paquetes	Tamaño de paquetes	No. de paquetes	Tamaño de paquetes	Bit Rate	Bit Rate	Bit Rate	Total
1	170	709	492	559	3800000	964240	2200224	6964464
2	180	719	492	559	3800000	1035360	2200224	7035584
3	190	729	492	559	3800000	1108080	2200224	7108304
4	200	739	492	559	3800000	1182400	2200224	7182624
5	210	749	492	559	3800000	1258320	2200224	7258544
6	220	759	492	559	3800000	1335840	2200224	7336064
7	230	769	492	559	3800000	1414960	2200224	7415184
8	240	779	492	559	3800000	1495680	2200224	7495904
9	250	789	492	559	3800000	1578000	2200224	7578224
10	260	799	492	559	3800000	1661920	2200224	7662144
11	270	809	492	559	3800000	1747440	2200224	7747664
12	280	819	492	559	3800000	1834560	2200224	7834784
13	290	829	492	559	3800000	1923280	2200224	7923504
14	300	839	492	559	3800000	2013600	2200224	8013824
15	310	849	492	559	3800000	2105520	2200224	8105744
16	320	859	492	559	3800000	2199040	2200224	8199264

Tabla 3.2. Estadísticas de los flujos de redundantes en el experimento con tráfico constante

En (2) se divide en 64 escenarios experimentales, los scripts del mgen para el tráfico que congestiona menos y el tráfico que congestiona más son:

0.0 ON 1 UDP DST 20.0.0.1/5000 BURST [RANDOM 4 PERIODIC [20 559] EXP 1]

0.0 ON 2 UDP DST 20.0.0.1/5001 BURST [RANDOM 5 POISSON [192 259] EXP 2]

0.0 ON 1 UDP DST 20.0.0.1/5000 BURST [RANDOM 5 PERIODIC [320 859] EXP 2]

0.0 ON 2 UDP DST 20.0.0.1/5001 BURST [RANDOM 6 POISSON [492 559] EXP 3]

En (3) se divide en 30 escenarios experimentales, los cuales todas sus secuencias son aleatorias. En (3) se utiliza el VTG, que fue utilizado en [10].

3.2.4. Esquemas de Paquetización

Los esquemas de paquetización identificados son: (1) *1 GOB por paquete*, (2) *tamaño óptimo de paquete*, (3) *pares-nones por paquete* y (4) *1 marco por paquete*. La Tabla 3.3 muestra las diferentes combinaciones de los esquemas de paquetización propuestas.

Esquemas de Paquetización	1 GOB/ Paquete			Tamaño Optimo/ paquete			Pares-Nones/ paquete			1 Marco/ paquete			
	No. de Caso/ Tipo de Marco	I	P	B	I	P	B	I	P	B	I	P	B
1	X	X	X										
2	X	X				X							
3	X	X							X				
4	X	X											X
5	X		X		X								
6	X				X	X							
7	X				X				X				
8	X				X								X
9	X		X					X					
10	X					X		X					
11	X							X	X				
12	X							X					X
13	X		X									X	
14	X					X						X	
15	X								X		X		
16	X										X	X	

Tabla 3.3. Combinaciones de los diferentes esquemas de paquetización

En la Tabla 3.3 los renglones en gris indican los experimentos que fueron realizados en esta tesis. El marco I es paquetizado en el esquema de 1 GOB por paquete por dos factores, (1) el tamaño, debido a la manera en que un marco I es codificado (ver sección 2.1.3.1), los GOBs del marco I son en promedio de un tamaño de 495 bytes/paquete, lo cual es equivalente a transmitirlo bajo el esquema *tamaño óptimo de paquete* y transmitirlo en el esquema de *1 marco por paquete* generaría fragmentación en los paquetes de red, (2) la importancia del marco I para un GOP.

El esquema *1 GOB por paquete* es tomado como referencia base en este trabajo, mientras que el esquema *tamaño óptimo de paquete* es propuesto en [17], donde busca el máximo “throughput” en una transmisión de video H.263. El esquema *pares/nones por paquete* no se utilizó en esta investigación porque en [6] dice que el video H.263 no soporta el escaneo entrelazado, solo el escaneo progresivo. Por último, el esquema *1 marco por paquete* en el estado del arte no se hace uso de este esquema por la fragmentación que genera, solo se hace mención, sin embargo en esta tesis se utilizará para paquetizar solo los marcos P y B.

3.2.5. Políticas de Descartamiento

La política de descartamiento es utilizada por los mecanismos de descartamiento de paquetes. Esta indica las condiciones que se deben de cumplir para descartar paquetes de red de una transmisión de video. Las políticas utilizadas en los experimentos son: *BASE*, *por GOP* y *MASB*.

La política de descartamiento *BASE* es utilizar una red convencional, esto es, no utiliza política de descartamiento. La política *por GOP* se explica en la sección 2.2.2, la política *MASB* tira paquetes con marcos B dañados o que no pueden decodificarse. *MASB* busca un mejor el desempeño que las políticas, *por prioridad* y *por GOP*.

El pseudocódigo del MASB es:

Mientras existe congestión **hacer**

Si un paquete de red con parte de un marco B esta perdido **entonces**

 Tirar el resto de los paquetes que contiene el marco B dañado

Otro caso si algún marco P o I está dañado **entonces**

 Tira los paquetes de red que contienen el siguiente marco B

Fin Si

Fin mientras

3.2.6. Pseudoencabezado

El pseudoencabezado está encapsulado al campo de datos de datos de cada paquete de red utilizado en los experimentos, como lo muestra la Figura 3.7. Su principal función es permitir que el mecanismo de descartamiento de paquetes pueda distinguir los paquetes, y decidir si avanza el paquete o lo elimina.

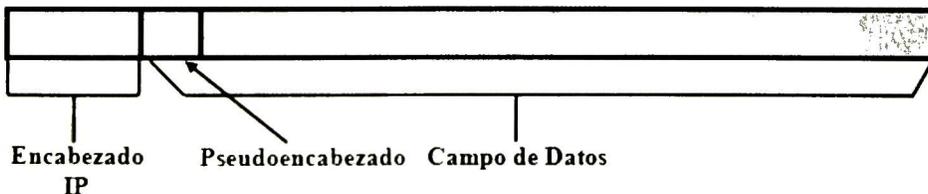


Figura 3.7. Paquete de red con pseudoencabezado

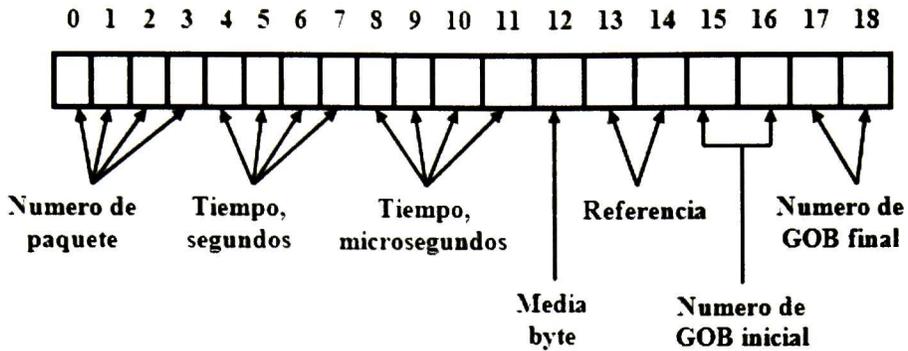


Figura 3.8. Pseudoencabezado utilizado en los experimentos

El pseudoencabezado tiene siete campos como lo muestra la Figura 3.8, el campo *numero de paquete* es un identificador de paquete. Los campos *tiempo en segundos* y *tiempo en microsegundos* indican el tiempo en que el paquete se salió del nodo emisor. El campo *media byte* indica que tipo de marco que contiene: I, P o B. El campo *referencia* indica a que GOP pertenece el paquete, mientras que los campos *numero de GOB inicial* y *numero de GOB final* indican cual el GOB inicial y cuál es el GOB final de un mismo marco.

3.2.7. Métricas

Las métricas utilizadas para medir el desempeño de los esquemas de paquetización y los mecanismos de descartamiento de paquetes son:

- Número de paquetes de red tirados por la red
- Número de paquetes de red tirados por el mecanismo activo
- Total de paquetes de red tirados dentro de la red
- Número de paquetes de red recibidos en el receptor
- Número de marcos recibidos en el receptor
- PSNR

La métrica "*numero de paquetes de red tirados por la red*" indica cuantos paquetes de un flujo de video han sido descartados por los ruteadores y no por el mecanismo de descartamiento.

La métrica “*numero de paquetes de red tirados por el mecanismo activo*” cuantifica el numero de paquetes descartados por un mecanismo activo en un flujo de video. Este descartamiento ocurre solo el ruteador que tiene el mecanismo activo. Esta métrica permite identificar la efectividad del mecanismo de descartamiento.

La métrica “*total de paquetes de red tirados dentro de la red*” muestra la cantidad de los paquetes descartados. Su fórmula es:

$$\begin{array}{l} \text{Total de paquetes} \\ \text{de red tirados} \\ \text{dentro de la red} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{paquetes de red} \\ \text{tirados por la red} \end{array} + \begin{array}{l} \text{Numero de paquetes de} \\ \text{red tirados por el} \\ \text{mecanismo de} \\ \text{descartamiento} \end{array}$$

La métrica “*numero de paquetes de red recibidos en el receptor*” indica la cantidad de paquetes no fueron tirados o descartados. Su fórmula es:

$$\begin{array}{l} \text{Numero de paquetes} \\ \text{de red recibidos en} \\ \text{el receptor} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{paquetes de red} \\ \text{enviados} \end{array} - \begin{array}{l} \text{Total de paquetes de} \\ \text{red tirados dentro de} \\ \text{la red} \end{array}$$

La métrica “*numero de marcos recibidos en el receptor*” cuantifica la cantidad de marcos decodificados que se recibieron en el receptor.

La métrica *PSNR* sirve para medir o cualificar la calidad de video que llego al receptor, esto se hace a través de una comparación entre el video original y el video decodificado. Su fórmula es:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left[\frac{255^2}{\left(\frac{1}{N} \right) \sum_i \sum_j \left(Y_{ref}(i, j) - Y_{prc}(i, j) \right)^2} \right]$$

donde $Y_{ref}(i, j)$ y $Y_{prc}(i, j)$ son el valor de los pixeles de las imágenes de referencia y procesada respectivamente, y N es el número total de los pixeles en la imagen.

El cálculo y comparación de estas métricas permiten medir el desempeño de los mecanismos de descartamiento y los esquemas de paquetización.

3.3. Experimentos

Los experimentos realizados en la tesis se muestran en la Tabla 3.4. Se tomaron experimentos más representativos de los casos vistos en la Tabla 3.3.

Esquema de paquetización/ Política de descartamiento	Base	Por GOP	MASB
<i>I=1 GOB por paquete, P=1 GOB por paquete, B=1 GOB por paquete</i>	Tráfico constante (1)	Tráfico constante (10)	Tráfico constante (19)
	Tráfico variable (2)	Tráfico variable (11)	Tráfico variable (20)
	Video sintético (3)	Video sintético (12)	Video sintético (21)
<i>I=1 GOB por paquete, P=tamaño optimo de paquete, B=tamaño optimo de paquete</i>	Tráfico constante (4)	Tráfico constante (13)	Tráfico constante (22)
	Tráfico variable (5)	Tráfico variable (14)	Tráfico variable (23)
	Video sintético (6)	Video sintético (15)	Video sintético (24)
<i>I=1 GOB por paquete, P=1 frame por paquete, B=1 frame por paquete</i>	Tráfico constante (7)	Tráfico constante (16)	Tráfico constante (25)
	Tráfico variable (8)	Tráfico variable (17)	Tráfico variable (26)
	Video sintético (9)	Video sintético (18)	Video sintético (27)

Tabla 3.4. Experimentos realizados.

3.3.1. Pseudocódigo de los experimentos

Los experimentos fueron conducidos por medio de programación shell. Un pseudocódigo genérico es mostrado a continuación:

Inicio (Principal)

Crear escenarios ()

Correr experimento ()

Fin (Principal)

Inicio (Crear escenarios)

Inicializar tráfico de segundo plano

Fin (Crear_escenarios)

Inicio (Correr experimento)

Desde 0 hasta el número de escenarios **hacer** //loop principal

Mientras no sean los resultados válidos **hacer**

Sincronizar los relojes

Encender el mecanismo de descartamiento en el CORE

Generar tráfico de segundo plano

Enviar flujos de video

Apagar el mecanismo de descartamiento en el CORE

Decodificar los marcos recibidos

Contar los marcos recibidos

Si el escenario es válido **entonces**

Resultados válidos

Otro caso

Repetir escenario experimental

Fin Si

Fin de Mientras

Analizar tráfico de red

Generar graficas

Calcular estadísticas de red

Fin Desde

Fin (Correr_experimentos)

3.3.2. Resultados de los Mecanismos Activos

Para medir el desempeño de los mecanismos activos, se revisan los resultados de los experimentos con el flujo de video de poco movimiento y con el esquema de paquetización *1 GOB por paquete*. Las métricas utilizadas para comparar los mecanismos son, *PSNR*, *total de paquetes tirados* y *número de marcos recibidos*. Cabe señalar que el patrón de desempeño en las métricas consideradas para otras secuencias de video, es similar al video seleccionado como muestra.

3.3.2.1. Resultados con Tráfico Constante

En la Tabla 3.5 se muestran los resultados de los experimentos realizados con tráfico de segundo plano en sus 16 escenarios, el mecanismo *por GOP* utilizado por el PDA (ver sección 2.4.1). Con base en los resultados de la Tabla 3.5 el mecanismo con mejor calidad de video fue el PDA con 38.57129 dB y peor fue *MASB* con 37.9624 dB en promedio, aunque la diferencia fue de 0.608 dB aproximadamente. El mecanismo con más marcos recibidos con 996 fue el *BASE* aunque no mitigo la congestión al descartar tan solo 59.06 paquetes en promedio, mientras que el mecanismo *MASB* recibió 995.125 marcos pero mitigo más la congestión al descartar en promedio 427 paquetes

en promedio, lo cual es 7.23 veces más que el *BASE*. El PDA recibió 944.1875 marcos descartando 1365.8125 paquetes en promedio, esto es, 23.1 veces más que el *BASE* y 3.19 veces más que el *MASB*. El PDA descartó más paquetes de red y obtuvo un mayor PSNR que los otros mecanismos, sin embargo la cantidad de marcos recibidos es importante porque es la cantidad de tiempo de video que verá el usuario final.

Mecanismo de descarte		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	310047	945	0	945	15936	N/A
	Promedio	19377.9375	59.0625	0	59.0625	996	38.41066
	Máximo	19437	540	0	540	1023	40
	Mínimo	18897	0	0	0	790	27.54799
500_PDA	Suma	289139	985	20868	21853	15107	N/A
	Promedio	18071.1875	61.5625	1304.25	1365.8125	944.1875	38.57129
	Máximo	19437	507	10184	10691	1023	40
	Mínimo	8746	0	0	0	416	27.43273
500_MASB	Suma	304160	905	5927	6832	15922	N/A
	Promedio	19010	56.5625	370.4375	427	995.125	37.9624
	Máximo	19437	396	2605	3001	1023	40
	Mínimo	16436	0	0	0	830	26.25251

Tabla 3.5. Promedios de los experimentos (1), (10) y (19) en el flujo con poco movimiento en tráfico de segundo plano constante.

La Tabla 3.6 es un extracto de la Tabla 3.5, ya que solo contiene los resultados de los escenarios en los escenarios 13, 14, 15 y 16, que son los escenarios donde existió una congestión severa de la red experimental y por lo tanto, descarte.

Con base en los resultados de la Tabla 3.6, el PDA obtuvo el mayor PSNR que los 34.28515 dB, *BASE* 33.64262dB y el mecanismo *MASB* obtuvo 31.86224 dB, la diferencia con respecto al PDA fue de 0.638 dB y 2.42 dB respectivamente. La cantidad de paquetes descartados por *BASE* fue de 236.25 en promedio, el *PDA* descartó 5463.25 paquetes y el mecanismo *MASB* tiró 911.75 paquetes en promedio, por lo cual el *PDA* mitigó mejor la congestión que los otros mecanismos, aproximadamente 23.1 veces que el mecanismo *BASE* y 6 veces más que el *MASB*. Aunque el PDA obtuvo un buen desempeño en la calidad de video y mitigando la congestión, la proporción del video recibido fue del 69.18% en promedio, mientras que el mecanismo *BASE* fue 89.44% y por último el mecanismo *MASB* recibió el 89.12% del total del video, como se ve en la Figura 3.9.

Mecanismo de descartamiento		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	76803	945	0	945	3660	N/A
	Promedio	19200.75	236.25	0	236.25	915	33.64262
	Máximo	19437	540	0	540	1023	40
	Mínimo	18897	0	0	0	790	27.54799
500_PDA	Suma	55895	985	20868	21853	2831	N/A
	Promedio	13973.75	246.25	5217	5463.25	707.75	34.28515
	Máximo	19366	507	10184	10691	1018	39.13604
	Mínimo	8746	1	70	71	416	27.43273
500_MASB	Suma	70916	905	5927	6832	3647	N/A
	Promedio	17729	226.25	1481.75	1708	911.75	31.86224
	Máximo	19112	396	2605	3001	1002	39.71318
	Mínimo	16436	49	276	325	830	26.25251

Tabla 3.6. Promedios de los experimentos (1), (10) y (19) en el flujo con poco movimiento en tráfico de segundo plano constante, con congestión severa.

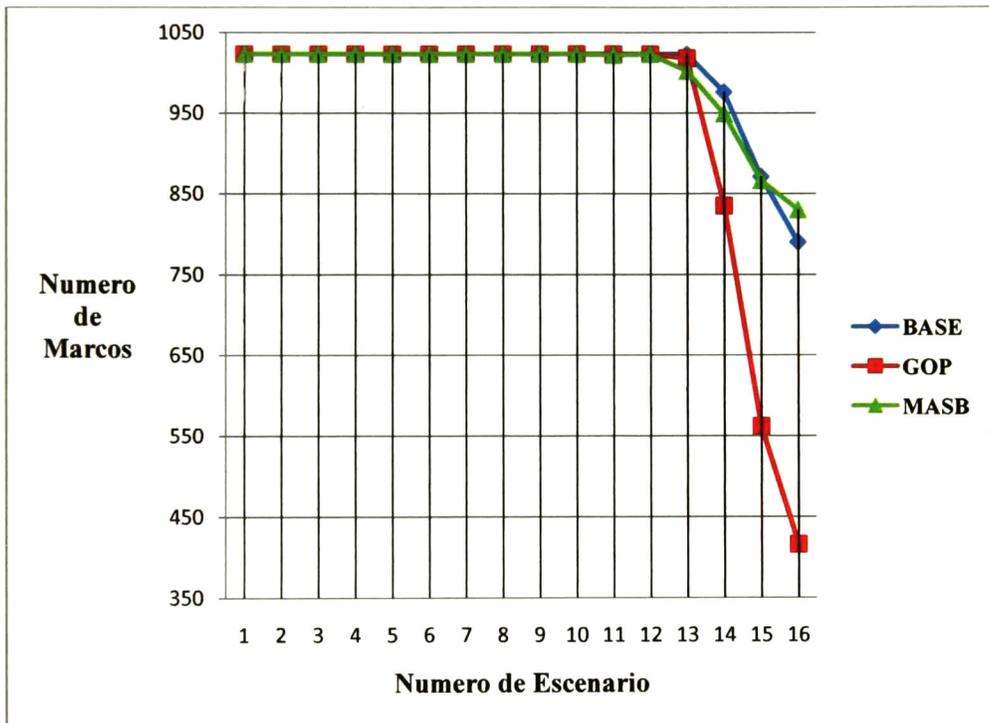


Figura 3.9. Comparación de los mecanismos en el número de marcos recibidos con tráfico de segundo plano constante.

Con base en los resultados mostrados el mecanismo de descartamiento con mayor desempeño fue el *MASB*, porque mitiga la congestión de la red, obtuvo una buena calidad de video y recibió un alto porcentaje del total de video enviado.

3.3.2.2. Resultados con Tráfico Variable

La Tabla 3.7 muestra los resultados de los experimentos realizados con tráfico de segundo plano variable, en sus 64 escenarios. Con base en los resultados de la Tabla 3.7 el mecanismo *MASB* obtuvo una mejor calidad del video recibido que los otros mecanismos con 39.13 dB en promedio, la diferencia entre el mayor PSNR y menor es de 1 dB aproximadamente, en la métrica de *total de paquetes tirados* el mecanismo que más mitiga la congestión fue PDA con 260.95 paquetes en promedio, lo cual significa que tiró 9.6 veces más que el *BASE* y 2.55 veces que el *MASB*. En la métrica de *número de marcos recibidos* los tres mecanismos obtuvieron un promedio similar con una diferencia entre el mayor y menor de 7.39 marcos recibidos, que representa el menos del 1% del total del video enviado.

Mecanismo de descartamiento		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	1242230	1738	0	1738	64990	N/A
	Promedio	19409.844	27.15625	0	27.15625	1015.46875	38.90403
	Máximo	19437	554	0	554	1023	40
	Mínimo	18883	0	0	0	901	24.64556
500_PDA	Suma	1227267	1293	15408	16701	64618	N/A
	Promedio	19176.047	20.203125	240.75	260.95313	1009.65625	38.12801
	Máximo	19437	529	3986	4515	1023	40
	Mínimo	14922	0	0	0	795	22.30109
500_MASB	Suma	1237430	1253	5285	6538	65091	N/A
	Promedio	19334.844	19.578125	82.578125	102.15625	1017.04688	39.13745
	Máximo	19437	246	1007	1183	1023	40
	Mínimo	18254	0	0	0	946	26.41793

Tabla 3.7. Promedios de los experimentos (2), (11) y (20) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable.

La Tabla 3.8 muestra los resultados de los escenarios 16, 28, 30,31, 32, 36, 47, 48, 60, 63 y 64 que tuvieron congestión severa. Los resultados muestran que el mecanismo con mayor PSNR fue *MASB* con 35.03 dB y el peor fue el PDA con 29.30 dB (vea la Figura 3.10), en la métrica de *total de paquetes tirados* el mecanismo que más descongestionó la red fue el PDA con 1447 paquetes en promedio, después el *MASB* con 570.90 paquetes y por último el *BASE* con 153.54 paquetes. El PDA recibió el 92% del video total, el *MASB* recibió el 96.7% y el *BASE* recibió el 95.89%. El mecanismo *MASB* y el PDA obtuvieron el mejor desempeño, pero con resultados mixtos, el PDA

descongestiono más la red que los otros mecanismos y el *MASB* obtuvo una superior calidad del video.

Mecanismo de descartamiento		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	212118	1689	0	1689	10797	N/A
	Promedio	19283.4545	153.545455	0	153.545455	981.545455	34.22329
	Máximo	19428	554	0	554	1021	37.79428
	Mínimo	18883	9	0	9	901	24.64556
500_PDA	Suma	197890	1269	14648	15917	10439	N/A
	Promedio	17990	115.363636	1331.63636	1447	949	29.88547
	Máximo	19420	529	3986	4515	1023	40
	Mínimo	14922	9	0	17	795	22.30109
500_MASB	Suma	207527	1217	5063	6280	10891	N/A
	Promedio	18866.0909	110.636364	460.272727	570.909091	990.090909	35.03517
	Máximo	19437	246	1007	1183	1023	40
	Mínimo	18254	0	0	0	946	26.41793

Tabla 3.8. Promedios de los experimentos (2), (11) y (20) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable con congestión severa.

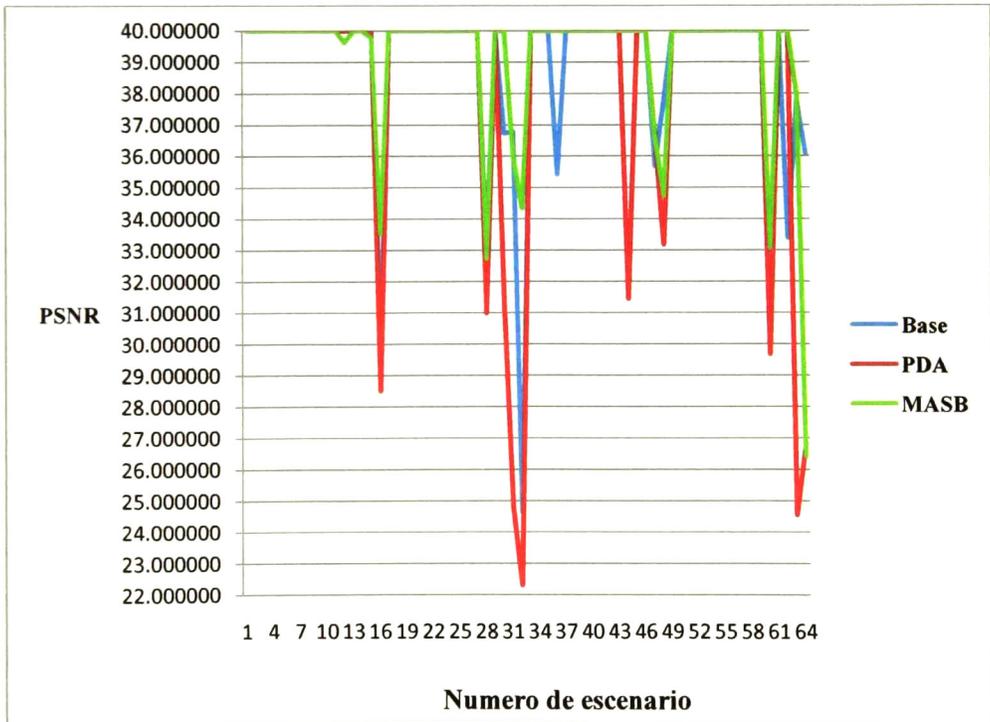


Figura 3.10. Comparación de los mecanismos en la calidad del video recibido con tráfico de segundo plano variable.

3.3.2.3. Resultados con Video Sintético

La Tabla 3.9 muestra el mayor PSNR lo tiene el mecanismo *BASE* con 35.76 dB seguido de *MASB* con 35.52, el peor PSNR lo obtuvo el PDA con 32.51, la diferencia entre el mejor y el peor resultado del PSNR es 3.25 dB. En la métrica de *total de paquetes tirados* el PDA descartó mas paquetes con 1542 paquetes en promedio, mientras que *MASB* tiró 461.83 paquetes y al último el mecanismo *BASE* con 134.26 paquetes. La cantidad de video recibido en promedio es 96.75%, 92.25% y 97.08% para *BASE*, PDA y *MASB* respectivamente.

Mecanismo de descartamiento		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	579082	4028	0	4028	29695	N/A
	Promedio	19302.733	134.26667	0	134.26667	989.833333	35.76851
	Máximo	19437	782	0	782	1023	40
	Mínimo	18655	0	0	0	858	18.11895
500_PDA	Suma	536850	3658	42602	46260	28312	N/A
	Promedio	17895	121.93333	1420.06667	1542	943.733333	32.51916
	Máximo	19437	808	8250	8735	1023	40
	Mínimo	10702	0	0	0	570	15.58377
500_MASB	Suma	569255	3049	10806	13855	29796	N/A
	Promedio	18975.167	101.63333	360.2	461.83333	993.2	35.52886
	Máximo	19437	651	1823	2315	1023	40.08274
	Mínimo	17122	0	0	0	889	20.50085

Tabla 3.9. Promedios de los experimentos (3), (12) y (21) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano de video sintético.

En la Tabla 3.10 se muestran los resultados de los experimentos con tráfico de segundo plano de video sintético en los escenarios 3, 4, 7, 8, 19, 20, 23, 25 y 28, los cuales son los que presentaron una congestión severa. El mecanismo *BASE* obtuvo la mejor calidad de video en promedio con 25.89 dB, después *MASB* con 25.42 dB y por último el PDA con 19.10 dB. El mecanismo que mejor descongestionó la red en promedio fue el PDA con 5053.11 paquetes, en seguida el *MASB* con 1527.66 paquetes y al final el *BASE* con 446.77 paquetes, esto significa que el PDA tiró 11.3 veces más que el *BASE* y 3.3 veces más que el *MASB*. En la métrica de *números de frames recibidos*, el *BASE* recibió el 89.23% del video, el PDA recibió el 74.66% del video y por último, el *MASB* 90.39% del video, como se ve en la Figura 3.11.

Mecanismo de descartamiento		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de paquetes tirados por MD	Total de paquetes tirados	No. de marcos recibidos	PSNR
500_BASE	Suma	170912	4021	0	4021	8216	N/A
	Promedio	18990.222	446.777778	0	446.77777	912.888889	25.8950
	Máximo	19210	782	0	782	968	31.8534
	Mínimo	18655	227	0	227	858	18.1189
500_PDA	Suma	129455	3616	41862	45478	6874	N/A
	Promedio	14383.888	401.777778	4651.33333	5053.1111	763.777778	19.1051
	Máximo	16806	808	8250	8735	884	26.8320
	Mínimo	10702	92	2539	2631	570	15.5837
500_MASB	Suma	161184	3017	10732	13749	8323	N/A
	Promedio	17909.333	335.222222	1192.44444	1527.6666	924.777778	25.4221
	Máximo	18940	651	1823	2315	987	31.7238
	Mínimo	17122	81	416	497	889	20.5008

Tabla 3.10. Promedios de los experimentos (3), (12) y (21) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano de video sintético, en los escenarios con congestión severa.

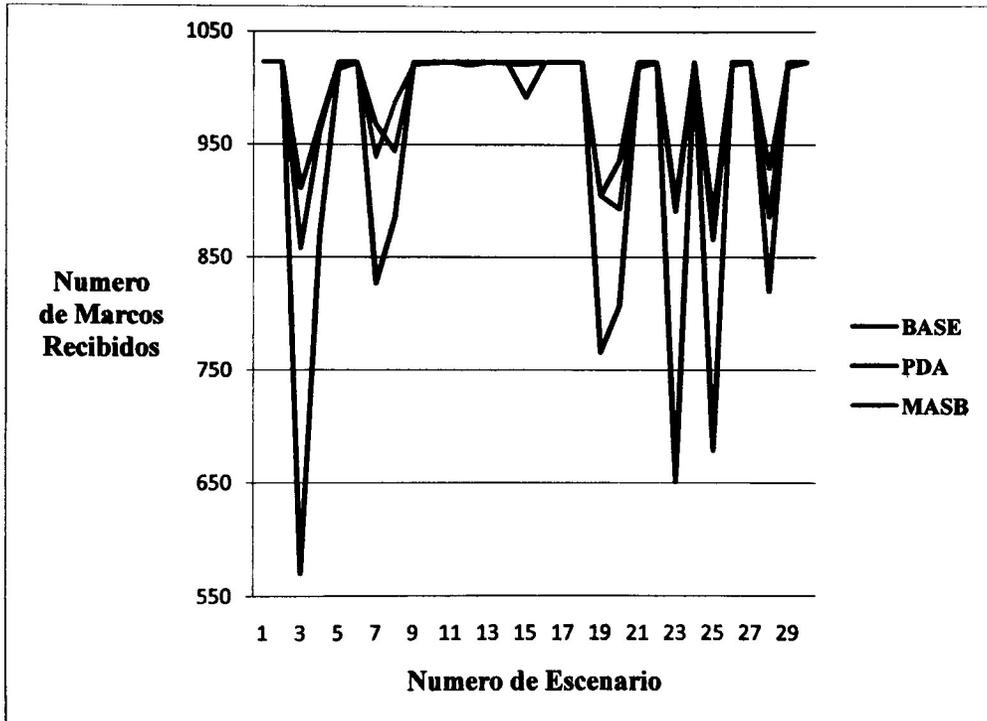


Figura 3.11. Comparación de los mecanismos en el número de frames recibidos con tráfico de segundo plano de video sintético.

El mecanismo *MASB* obtuvo el mejor desempeño al obtener un alto PSNR comparado con los otros mecanismos, además de mitigar la congestión de la red y obtener más del 90% del video.

3.3.3. Resultados de los Esquemas de Paquetización

El esquema de paquetización *1 marco por paquete* se comparó con los otros dos esquemas de paquetización (ver sección 2.2.2), la comparación se realizó sin un mecanismo de descartamiento con el fin de no afectar el desempeño de los esquemas de paquetización. Los esquemas de paquetización solo pueden comparados en las métricas PSNR y numero de marcos recibidos, debido a que la cantidad de paquetes de red enviado desde el servidor de video es diferente para todos los casos.

3.3.3.1. Resultados con Tráfico Constante

En la Tabla 3.11 se muestra el promedio del PSNR de los experimentos realizados con tráfico de segundo plano constante, el esquema *1 marco por paquete* obtuvo 38.67 dB, el esquema *1 GOB por paquete* 38.41 dB y el esquema *tamaño optimo de paquete* obtuvo 37.73 dB, la diferencia entre ellos fue cercana a 0.932 dB, también se muestra que en el promedio de los marcos recibidos el esquema que obtuvo mejor desempeño es *1 marco por paquete* con 1012.56 marcos, mientras que el esquema *tamaño de paquete optimo* fue el segundo mejor con 1004.56 marcos y el peor fue el esquema *1 GOB por paquete* con 996 marcos, esto significa que se recibió el 97.36%, el 98.19% y el 98.97% del total del video enviado, para *1 GOB por paquete*, *tamaño de paquete optimo* y *1 marco por paquete*, respectivamente.

Esquema de paquetización		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de macos recibidos	PSNR
500_1GOB	Suma	310047	945	15936	N/A
	Promedio	19377.9375	59.0625	996	38.4106553
	Máximo	19437	540	1023	40
	Mínimo	18897	0	790	27.547991
500_OPTIMUM	Suma	71707	453	16073	N/A
	Promedio	4481.6875	28.3125	1004.5625	37.7387386
	Máximo	4510	175	1023	40
	Mínimo	4335	0	925	28.189551
500_1FRAME	Suma	49186	398	16201	N/A
	Promedio	3074.125	24.875	1012.5625	38.6704661
	Máximo	3099	242	1023	40
	Mínimo	2857	0	933	28.131379

Tabla 3.11. Promedios de los experimentos (1), (4) y (7) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano constante.

Con base en los resultados de la Tabla 3.11 el mecanismo que obtuvo un mejor desempeño es 1 marco por paquete, debido que tuvo una mejor calidad del video y recibió más marcos que los otros esquemas de paquetización.

3.3.3.2. Resultados con Tráfico Variable

Los resultados de la Tabla 3.12 muestra que el esquema de *1 marco por paquete* obtuvo los mejores resultados con 39.77 dB en promedio, el *tamaño optimo de paquete* 39.58 dB y al final el esquema *1 GOB por paquete* con 38.90 dB de calidad de video, además, el mejor promedio en la métrica de *número de marcos recibidos* lo obtuvo *1 marco por paquete* con 1022.65 marcos, mientras que el esquema de *tamaño de optimo de paquete* obtuvo 1021.84 marcos, una diferencia de menos de 1 marco, y por último el esquema *1 GOB por paquete* con 1015.46 marcos, esto significa que el porcentaje en promedio de video recibido para *1 marco por paquete*, *tamaño de optimo de paquete* y *1 GOB por paquete* es 99.96%, 99.88% y 99.26%, respectivamente.

Esquemas de paquetización		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de marcos recibidos	PSNR
500_1GOB	Suma	1242230	1738	64990	N/A
	Promedio	19409.84375	27.15625	1015.46875	38.9040302
	Máximo	19437	554	1023	40
	Mínimo	18883	0	901	24.645558
500_OPTIMUM	Suma	288493	147	65398	N/A
	Promedio	4507.703125	2.296875	1021.84375	39.5864802
	Máximo	4510	66	1023	40
	Minino	4444	0	990	26.276569
500_1FRAME	Suma	198284	52	65450	N/A
	Promedio	3098.1875	0.8125	1022.65625	39.77841241
	Máximo	3099	29	1023	40
	Mínimo	3070	0	1012	31.789916

Tabla 3.12. Promedios de los experimentos (2), (5) y (8) en el flujo con poco movimiento con tráfico de segundo plano variable.

En conclusión, con base en los resultados mostrados en la Tabla 3.12 el esquema de paquetización con mejor desempeño fue *1 marco por paquete*, al tener el mejor promedio en la métrica de *número de marcos recibido* y PSNR que los otros esquemas.

3.3.3.3. Resultados con Video Sintético

En la Tabla 3.13 muestra que en promedio la calidad del video es superior en el esquema *1 marco por paquete* con 38.96 dB, en *tamaño optimo de paquete* es 38.42 dB y por último el *1 GOB por paquete* con 35.76 dB, diferencia entre el mayor y el menor es de 3.2 dB aproximadamente. En la métrica de *número de marcos recibidos* en promedio el mejor resultado lo obtuvo el esquema *1 marco por paquete* con 1020.1 marcos, seguido por *tamaño optimo de paquete* con 1019.13 marcos y al último el esquema *1 GOB por paquete* con 989.83 marcos, por el cual el esquema *1 marco por paquete* recibió el 99.71% del total de video, mientras que el esquema *tamaño optimo de paquete* recibió el 99.62% y por último, el esquema *1 GOB por paquete* recibió el 96.75% en promedio.

Esquemas de paquetización		No. de paquetes recibidos	No. de paquetes tirados por la red	No. de marcos recibidos	PSNR
500_1GOB	Suma	579082	4028	29695	N/A
	Promedio	19302.73333	134.2666667	989.8333333	35.7685062
	Máximo	19437	782	1023	40
	Mínimo	18655	0	858	18.11895
500_OPTIMUM	Suma	135120	180	30574	N/A
	Promedio	4504	6	1019.133333	38.4244413
	Máximo	4510	75	1023	40
	Mínimo	4435	0	985	20.797339
500_1FRAME	Suma	92814	156	30603	N/A
	Promedio	3093.8	5.2	1020.1	38.96446603
	Máximo	3099	58	1023	40
	Mínimo	3041	0	986	23.53669

Tabla 3.13. Promedios de los experimentos (3), (6) y (9) en el flujo con poco movimiento con tráfico de background de video sintético.

En conclusión, con base en los resultados mostrados en la Tabla 3.13 el mejor desempeño lo obtuvo el esquema de paquetización es *1 marco por paquete* debido a que descarta menos marcos y obtiene una mayor calidad de video que cualquier otro esquema analizado.

3.4. Análisis de Resultados

La política de descartamiento utilizada en el PDA cuando se presenta la congestión descarta una gran cantidad de paquetes y por lo tanto, muchos marcos. Cuando un marco I está dañado entonces se descartan 5 marcos P y 5 marcos B (estructura utilizada en los experimentos). En el mecanismo *MASB* descarta los marcos B que están dañados o que no pueden ser decodificados. En [8] en el anexo O indica que el marco B es un marco de mejora de calidad temporal, los únicos marcos obligatorios son los marcos I y P. Además, en el mismo anexo indica que ningún marco depende de los marcos B por lo cual es descartable.

Un marco que no puede ser decodificado solo es tráfico redundante en la red, así que puede ser descartado. Al descartar los marcos B, el tráfico que avanza es disminuido, por lo cual, la congestión en la red es mitigada.

El mecanismo *MASB* obtuvo mejor desempeño que el mecanismo BASE por que este mecanismo no mitiga la congestión de la red, mientras que *MASB* descarta hasta 6 veces más, aunque en PSNR y marcos recibidos obtienen resultados similares. El mecanismo *MASB* es tiene un mejor desempeño que el mecanismo PDA debido a que tuvo resultados de PSNR superior, el PDA descartó muchos marcos en una congestión severa de la red afectando la calidad de experiencia que es una métrica subjetiva. En los esquemas de paquetización, el esquema *1 marco por paquete* tuvo el mejor desempeño en los experimentos realizados, debido a que se reduce el overhead dentro de la red, por lo tanto, también la congestión.

La diferencia de las métricas en el PSNR de los diferentes mecanismos de descartamiento o esquemas de paquetización, se debe a la degradación de la calidad de los marcos por la falta de GOBs. En la codificación de un marco I, cuando se transforma de dominio, el proceso de cuantización [6] no es reversible al 100% por lo cual existe un perdida, está perdida se da al redondear los valores producidos por la DTC, sin embargo, el ojo humano no se percata de esa pérdida [6].

En el marco I cuando falta algún o algunos de los 18 GOBs en el momento de decodificar, el proceso de decodificación resulta inexacta, por lo cual, hay una variación en la imagen resultante, como se ve en la Figura 3.12. Los GOBs de cualquier marco en H.263 están numerados, la pérdida de alguno repercute en la imagen resultante.

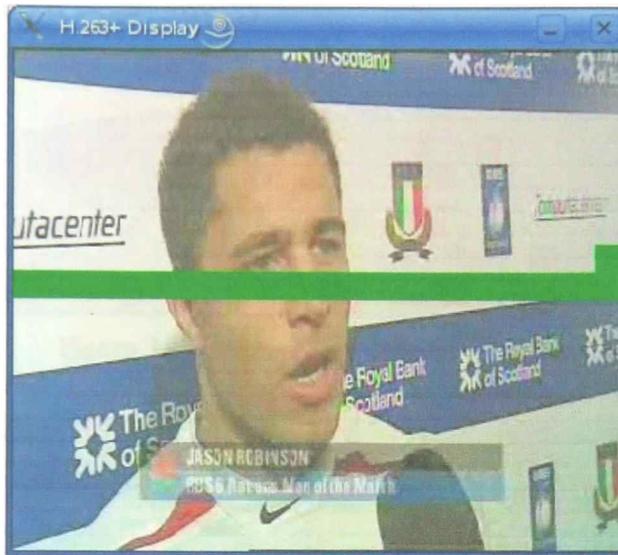


Figura 3.12. Marco I con daño en un GOB.

Los vectores de movimiento indican la diferencia entre imágenes. Cuando un marco P está dañado, los vectores de estimación de movimiento [6] son decodificados de manera ineficiente, por lo cual, se degrada su calidad, como se ve en la Figura 3.13. Los vectores de movimientos “escanean” los macrobloques adyacentes [6] de cada macrobloque que pertenece a un GOB buscando las diferencias, cuando se pierde un GOB de un marco P se pierden los vectores de movimiento también. Los marcos P dependen de los marcos I [6] por lo cual no pueden ser decodificados si un no hay un marco I, como se ve en la Figura 3.14.



Figura 3.13. Marco P con daño en un GOB.



Figura 3.14. Marco P dañado por marco I dañado.

Si falta un GOB o mas de un marco B, entonces esa imagen se degrada debido a que un marco B es el codificado del marco anterior y posterior, por lo cual, esa parte del marco no puede decodificarse, como se ve en la Figura 3.15 (solo un GOB faltante).

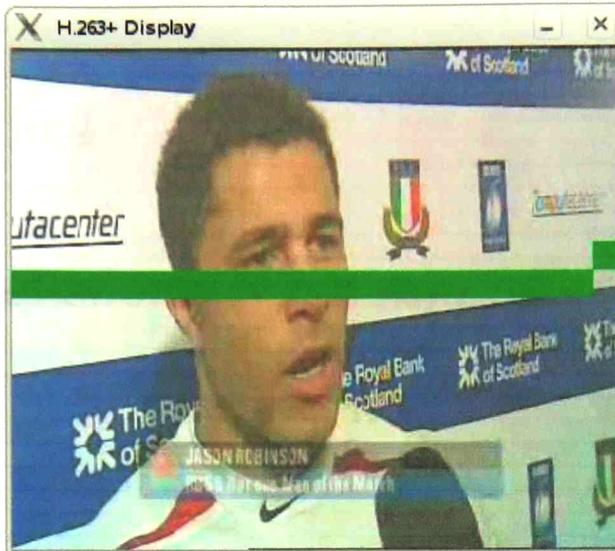


Figura 3.15. Marco B con daño en un GOB.

3.5. Conclusiones

En los experimentos realizados se demostró que tener un esquema de paquetización o un mecanismo de descartamiento de paquetes, mejora la calidad del video final comparado con no tenerlos.

Las métricas utilizadas para medir el desempeño de los mecanismos de descartamiento y los esquemas de paquetización, dieron como resultado que en el manejo de la congestión el mecanismo *MASB* resulta con un alto desempeño debido al alto PSNR resultante y al alto número de marcos de recibido, mientras que el mecanismo *PDA* al descongestionar la red, descarta demasiados marcos que pueden afectar la percepción del usuario final, esto es, la calidad de experiencia (QoE).

En los esquemas de paquetización, el esquema de *1 marco por paquete* resulto con un mejor desempeño debido a la reducción del overead dentro de la red, obtuvo un mayor PSNR y un numero de marcos alto en comparación con los otros esquemas de paquetización.

Capítulo 4

4. Conclusiones y trabajo futuro

Resumen: En este capítulo se muestran las conclusiones que fueron obtenidas de los capítulos 1, 2 y 3. Además del trabajo de investigación a futuro.

4.1. Conclusiones

La motivación de esta tesis fue encontrar un control de congestión de redes de conmutación de paquetes, esto se logra a través de la implementación de mecanismos de descartamiento de paquetes (filtrado “inteligente” de paquetes) y esquemas de paquetización en redes activas.

Los mecanismos de descartamiento de paquetes implementados en nodos activos en esta investigación pueden distinguir los paquetes de red, definir cuál es su importancia para el video que está siendo transmitido y decidir “inteligentemente” cuales paquetes de red avanzar o eliminar. Los mecanismos de descartamiento de paquetes analizados fueron: sin mecanismo, *por GOP* y *MASB*. El mecanismo de descartamiento de paquetes con mejor desempeño fue *MASB*, con base en los resultados mostrados en el capítulo 3.

Los esquemas de paquetización separan el video codificado en GOBs, también indican el contenido, el tamaño y el tiempo de transmisión de cada paquete de red. Los esquemas de paquetización analizados en la tesis fueron: *1 GOB por paquete, tamaño óptimo*, y *1 marco por paquete*. Con base en los resultados expuestos en el capítulo 3 el esquema de paquetización con mejor desempeño fue *1 marco por paquete*.

La contribución de esta tesis es la implementación del mecanismo de descartamiento de paquetes *MASB* y el esquema de paquetización *1 marco por paquete*. Estos dos probaron (con base en los resultados del capítulo 3) que la utilización de mecanismos de descartamiento y esquemas de paquetización disminuye el congestiónamiento y obtiene una degradación menor del video. Al comparar *MASB* y *1 marco por paquete* con otros mecanismos de descartamiento y esquemas de paquetización se comprueba (con base en los resultados del capítulo 3) que tienen un mejor desempeño en congestión severa de la red.

4.2. Trabajo Futuro

Para el trabajo futuro se investigara sobre los siguientes puntos: (1) Extender el trabajo realizado hacia los tipos de marcos del estándar H.263: EI, EP y PB, con el fin de lograr tener un mecanismo activo y un esquema de paquetización eficientes para transmisiones multicasting en redes heterogéneas. (2) Abarcar otros de estándares de video como H.261, H.264, MPEG-1, MPEG-2 o MPEG-4. Crear un mecanismo activo que permita descartar paquetes “inteligentemente” de la mayoría de los estándares más utilizados. (3) Incluir más mecanismos de descartamiento activos y esquemas de paquetización, además de permitir que el usuario o un agente elija que mecanismo activo es el ideal para emplear en función de las condiciones de la red. (4) Desarrollar un ruteador (software) que permita implementar los mecanismos de descartamiento y los esquemas de paquetización dentro de él. (5) Simular todos los mecanismos y esquemas en NS-2 u opnet para probar su propiedad de escalabilidad e interoperación entre diferentes redes. (6) Introducir el aspecto de seguridad. La seguridad dentro de las redes es algo que no puede dejar de lado, por lo cual, un objetivo es introducir un nivel básico de seguridad.

Bibliografía

- [1] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras", Cuarta Edición, Pearson-Printice-Hall (2003).
- [2] X. Xipeng and L.M. Ni, "Internet QoS: a Big Picture," IEEE Network, vol. 13, no. 2, Mar. 1999, pp. 8-18.
- [3] QoS Forum: QoS Protocols & Architectures – A White Paper, Quality of Service Forum. http://www.qosforum.com/white-papers/qosprot_v3.pdf. Accessed 15 December 2001.
- [4] K. Psounis, "Active networks: Applications security safety and architectures," IEEE Commun. Surveys, 1999.
- [5] Y. Bai and M. Ito, QoS control for video and audio communication in conventional and active networks: approaches and comparison, IEEE Commun. Survey Tutorials 6 (2004) (1), pp. 43–49.
- [6] M. Ghanbari, Standard Codecs: Image Compression to Advanced Video Coding, IEE, 2003.
- [7] <http://www.jpeg.org/>
- [8] ITU-T, Video Coding for low bit rate communication, recommendation h.263 ed., February 2003. Series H: Audiovisual and Multimedia Systems.
- [9] M. Siller and J Woods, "Using Quality of Experience and Objective Network metrics feedback to control Quality of Service in Conventional and Active Packet Networks", IEE EWIMT 2004 Proceedings, pp. 197-204, European Workshop on Integration of Knowledge, Semantic and Digital Media Technologies, London, UK, November 2004.
- [10] M. Siller and J. Woods, "Using an Agent Based Platform to Map Quality of Service to Experience in Conventional and Active Networks", Journal IEE Proceedings - Communications, Vol. 153, issue 6, pp. 828-840, 2006.
- [11] R. Sivakumar, S. Han, V. Bharghavan, "A Scalable Architecture for Active Networks", Proceedings of IEEE OPENARCH 2000, Tel-Aviv, Israel, March 2000.
- [12] G. Ravindra, N. Balakrishnan, and K. R. Ramakrishnan, "Active Router Approach for Selective Packet Discard of Streamed MPEG Video Under Low Bandwidth Conditions," IEEE ICME'00, New York City, USA, July 2000.
- [13] Mehaoua, R. Boutaba and Y. Iraqi, 'Partial versus Early Packet Video Discard', in IEEE GLOBECOM 98, Sydney, Australia, November 1998.
- [14] S. Bhattacharjee, K. Calvert, E. Zegura, "An Architecture for Active Networking", Proceedings of High Performance Networking (HPN'97), 1997.
- [15] Bhattacharjee, S., Calvert, K. L., and Zegura, E. "On active networking and congestion" Technical Report GUTCC-96/02, College of Computing, Georgia Institute of Technology, Atlanta GA, 1996.
- [16] <http://pub.ufasta.edu.ar/SISD/mpeg/mpeg1.htm>
- [17] J. Kim, Y.-G. Kim, H. Song, T. Kuo, Y. Chung, and C.-C. J. Kuo, "TCP-friendly internet video streaming employing variable framerate encoding and interpolation," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. (Special Issue on the Picture Coding Symposium '99: Recent Advances in Picture Compression), vol. 10, no. 7, pp. 1164-1177, Oct. 2000.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N. UNIDAD GUADALAJARA

El Jurado designado por la Unidad Guadalajara del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional aprobó la tesis

Control de Congestionamiento y Esquemas de Transmisión de Video
en Redes de Conmutación de Paquetes usando Mecanismos Activos

del (la) C.

Francisco Victorio ROBLES VÁZQUEZ

el día 30 de Mayo de 2008.

Dr. Luis Ernesto López Mellado
Investigador CINVESTAV 3B
CINVESTAV Unidad Guadalajara

Dr. Félix Francisco Ramos Corchado
Investigador CINVESTAV 3A
CINVESTAV Unidad Guadalajara

Dr. Mario Angel Siller González
Pico
Investigador CINVESTAV 2A
CINVESTAV Unidad Guadalajara



CINVESTAV
BIBLIOTECA CENTRAL



SSIT000006329