



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.1020

(11/2003)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Calidad de servicio y de transmisión – Aspectos genéricos
y aspectos relacionados al usuario

**Definición de parámetros de calidad de
funcionamiento para aplicaciones de voz y otras
aplicaciones en la banda vocal que utilizan
redes del protocolo Internet**

Recomendación UIT-T G.1020

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.1020

Definición de parámetros de calidad de funcionamiento para aplicaciones de voz y otras aplicaciones en la banda vocal que utilizan redes del protocolo Internet

Resumen

La transmisión de voz y otras aplicaciones en la banda vocal en redes de paquetes trae consigo un nuevo tipo de degradación de la calidad, en ocasiones única. Existen muchas definiciones de los parámetros de calidad de funcionamiento de las redes de paquetes, pero el control de la calidad en aplicaciones isócronas inelásticas exige una información adicional y complementaria. El objetivo de esta Recomendación es definir los parámetros de calidad de funcionamiento de las redes de paquetes y los terminales que mejor reflejan la calidad percibida de las correspondientes aplicaciones. Esta Recomendación se fija principalmente en las degradaciones de la calidad resultantes de la variación del retardo y la pérdida de paquetes propias del protocolo Internet y otras tecnologías basadas en paquetes, degradaciones que no aparecen en las redes TDM tradicionales. Se tratan aquí las interacciones entre estas degradaciones de los paquetes, y sus formas de compensación, y se describen mecanismos tales que las memorias intermedias de defluctuación de fase y la ocultación de la pérdida de paquetes, que pretenden reducir los efectos de la degradación en la calidad de voz y otras aplicaciones. No obstante, esta Recomendación evita el solapamiento por referencia con otras definiciones, siempre que sea posible.

Los parámetros definidos por la presente Recomendación sobrepasan la capa IP en muchos casos. También es necesario conocer los parámetros del sistema de paquetes de extremo a extremo (combinación de terminales finales y la red) para determinar la calidad de voz/banda vocal. En las cláusulas 5, 6, y 7 se recogen las definiciones de los parámetros para los terminales de origen, las redes de paquetes y los terminales de destino (con parámetros generales), respectivamente. En el apéndice I se presenta información sobre la distribución de la pérdida de paquetes y algunos modelos de pérdida de paquetes. En el apéndice II se simula el funcionamiento de una memoria intermedia de defluctuación de fase adaptativa.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.1020 fue aprobada el 13 de noviembre de 2003 por la Comisión de Estudio 12 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2004

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	3
3 Definiciones.....	3
4 Abreviaturas.....	4
5 Parámetros de los paquetes en el terminal de origen.....	5
5.1 Exactitud del reloj de conversión analógico/digital (funcionamiento libre) ..	5
5.2 Tamaño del campo de información del paquete.....	6
5.3 Tara de paquete.....	6
5.4 Retardo del terminal de origen	7
5.5 Variación del retardo del terminal de origen.....	7
6 Parámetros de calidad de funcionamiento de la red de paquetes.....	7
6.1 Resumen de los parámetros de calidad de funcionamiento de red.....	7
6.2 Parámetros de red adicionales recomendados	8
7 Parámetros del terminal de destino y de los paquetes en general.....	10
7.1 Procesamiento del paquete de destino	10
7.2 Taxonomía de los tipos/parámetros y modelos de memoria intermedia de defluctuación	11
7.3 Desplazamiento de la frecuencia del sistema utilizando un reloj en destino como referencia.....	15
7.4 Ocultación de la pérdida de paquetes (tipo, retardo).....	16
7.5 Retardo general (incluido el de origen, red y destino)	16
7.6 Discontinuidades en la escala de tiempo en el tren post-defluctuación y PLC.....	16
7.7 Pérdida (trama/paquetes) general (incluido en red y destino).....	16
Apéndice I – Distribución de la pérdida de paquetes y modelos de pérdida de paquetes	18
I.1 Introducción.....	18
I.2 Modelos de pérdida de paquetes comunes	18
I.3 Ejemplo de traza de paquetes	20
I.4 Bibliografía.....	21
Apéndice II – Simulación de memoria intermedia de defluctuación adaptativa	22
Apéndice III – Bibliografía.....	24

Introducción

La transmisión de voz y otras aplicaciones en la banda vocal en redes de paquetes trae consigo un nuevo tipo de degradación de la calidad, en ocasiones única. Existen muchas definiciones de los parámetros de calidad de funcionamiento de las redes de paquetes, pero el control de la calidad en aplicaciones isócronas inelásticas requiere información adicional y complementaria. El objetivo de esta Recomendación es definir los parámetros de calidad de funcionamiento de la red de paquetes y los terminales que mejor reflejan la calidad percibida de las aplicaciones en cuestión, sobrepasando la capa IP en muchos casos. También es necesario conocer los parámetros del sistema de paquetes de extremo a extremo (combinación de terminales y red) para determinar la calidad de voz/banda vocal, que también se definen en esta Recomendación.

Recomendación UIT-T G.1020

Definición de parámetros de calidad de funcionamiento para aplicaciones de voz y otras aplicaciones en la banda vocal que utilizan redes del protocolo Internet

1 Alcance

La presente Recomendación define un conjunto de parámetros de calidad de funcionamiento para las redes de paquetes y terminales finales que pueden ser de ayuda a la hora de cuantificar la calidad de extremo a extremo de la voz y otras aplicaciones en banda vocal. La Recomendación se fija principalmente en las degradaciones de la calidad resultantes de la variación del retardo y la pérdida de paquetes que son propias al protocolo Internet y otras tecnologías basadas en paquetes, y que no aparecen en las redes TDM tradicionales. Se debaten aquí las interacciones entre estas degradaciones de los paquetes, y sus formas de compensación, y se describen mecanismos tales como la memoria intermedia de defluctuación de fase y la ocultación de la pérdida de paquetes para reducir los efectos de la degradación en la calidad de la voz y otras aplicaciones.

La presente Recomendación reconoce las definiciones de los parámetros de calidad de funcionamiento ya existentes y evita su duplicación. Muchos factores que determinan la calidad de la voz y las aplicaciones en banda vocal son comunes a las redes TDM e IP, y ya se han abordado en otras Recomendaciones. De acuerdo con la Rec. UIT-T I.350, el alcance de esta Recomendación se limita a la función de transferencia de información de la matriz 3×3 y únicamente en el canal portador. No se consideran en esta Recomendación los aspectos del procesamiento de llamadas relativos al acceso de conexión y a la desvinculación (por ejemplo, retardo del tono de marcar y retardo después de marcar). Además, la presente Recomendación no especifica objetivos numéricos para las redes de paquetes o terminales finales, aunque este punto será objeto de trabajos posteriores.

En la figura 1 se refleja el alcance de esta Recomendación además de otras especificaciones, con sus correspondientes zonas de cobertura. En esta Recomendación sólo se definen los parámetros que describen las degradaciones del terminal y la transmisión de paquetes específicas de la evaluación de la calidad de la voz y las aplicaciones en la banda vocal.

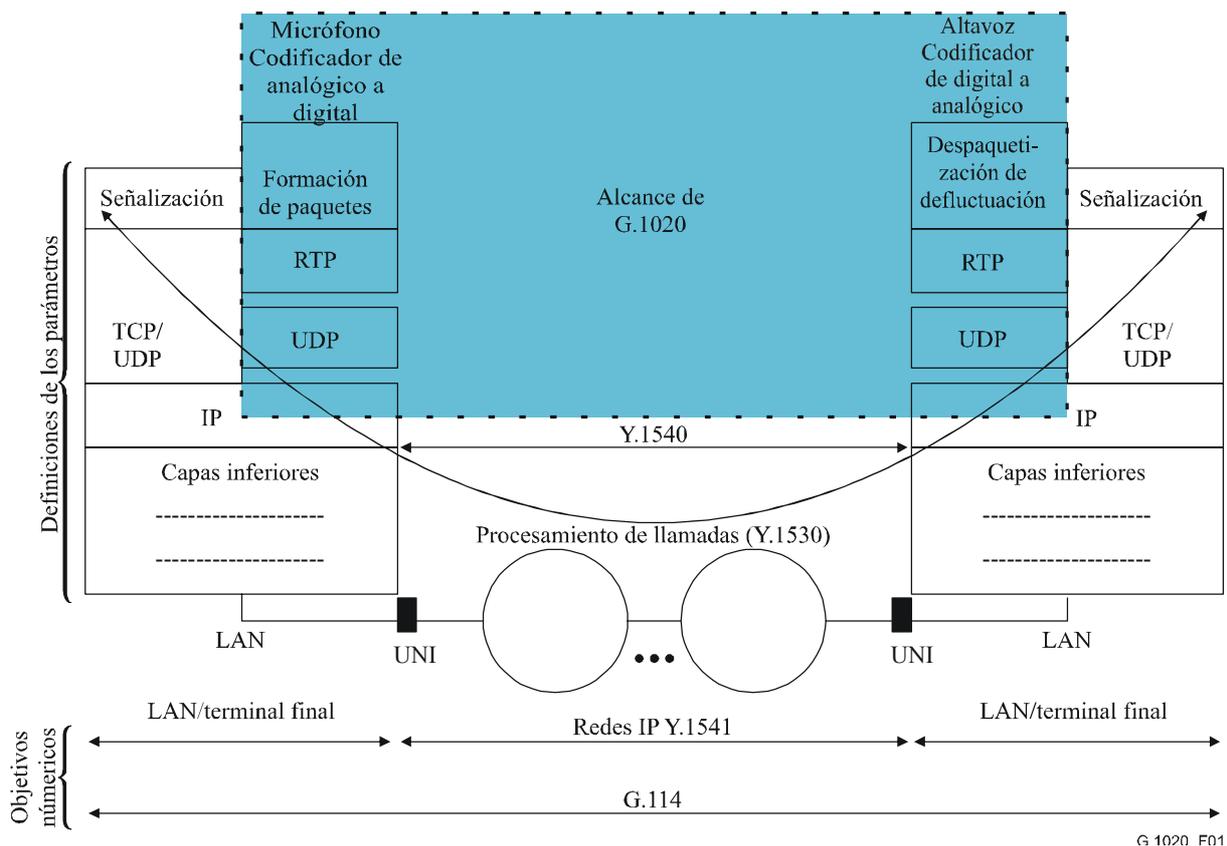


Figura 1/G.1020 – Alcance de la Rec. UIT-T G.1020 en lo que concierne a otras especificaciones de calidad de funcionamiento

Cabe señalar que el número de redes IP entre los terminales no queda limitado por estas definiciones.

Otras Recomendaciones del UIT-T suplementan los parámetros aportados por esta Recomendación. Por ejemplo, la planificación de la transmisión en conexiones híbridas Internet/RTPC queda abarcada por la Rec. UIT-T G.177. Hay otras Recomendaciones que especifican estos mismos parámetros en el contexto de la evaluación de la calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes IP en el marco de los servicios de comunicación de datos internacionales (por ejemplo, Rec. UIT-T Y.1540). Los objetivos de calidad de funcionamiento de red para distintas clases de QoS de los servicios IP se describen en la Rec. UIT-T Y.1541, y los objetivos de retardo unidireccional de extremo a extremo se especifican en la Rec. UIT-T G.114.

Se prevé que haya nuevas Recomendaciones que complementen la Rec. UIT-T G.1020. Se están estudiando los aspectos del procesamiento de llamadas en relación con la conexión. También se está trabajando actualmente en el seno del UIT-T sobre nuevas Recomendaciones que traten de situaciones donde la red sea principalmente una red IP con islas de RTPC, o donde la red sea principalmente una red RTPC con islas IP. Por último, se están realizando en el UIT-T trabajos sobre los objetivos de calidad de funcionamiento de los terminales y pasarelas de voz sobre IP, y sobre los métodos para evaluar la calidad de funcionamiento calibrando las métricas relativas a la calidad de extremo a extremo de la VoIP.

Las definiciones de los parámetros de transmisión de paquetes exclusivas de las redes ATM quedan explícitamente fuera del ámbito de la presente Recomendación.

Esta Recomendación debería ser de especial utilidad para aquellos que abordan por primera vez el campo de la voz sobre IP (VoIP) y que quieren comprender mejor los factores que afectan a la calidad de estos sistemas de telecomunicaciones. Los diseñadores de equipos de telecomunicaciones

pueden utilizar los parámetros definidos aquí para señalar aspectos relevantes de su contribución a la calidad de funcionamiento de extremo a extremo. Los proveedores de servicios pueden servirse de estos parámetros para conocer rápidamente la calidad de funcionamiento que ofrecen las distintas soluciones de red IP.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.107 (2003), *El modelo E, un modelo informático para utilización en planificación de la transmisión.*
- Recomendación UIT-T G.113 (2001), *Degradaciones de la transmisión debido al tratamiento de las señales vocales.*
- Recomendación UIT-T G.114 (2003), *Tiempo de transmisión en un sentido.*
- Recomendación UIT-T G.177 (1999), *Planificación de la transmisión para servicios en banda vocal sobre conexiones híbridas Internet/RTPC.*
- Recomendación UIT-T I.356 (2000), *Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA.*
- Recomendación UIT-T P.51 (1996), *Boca artificial.*
- Recomendación UIT-T P.57 (2002), *Oídos artificiales.*
- Recomendación UIT-T Y.1540 (2002), *Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet – Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes del protocolo Internet.*
- Recomendación UIT-T Y.1541 (2002), *Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet.*

3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 punto de referencia oído: Punto virtual de referencia geométrica situado a la entrada del oído del oyente y tradicionalmente utilizado para el cálculo de índices de sonoridad telefonométricos [P.57].

3.2 punto de medida a la entrada del terminal: Punto de medida en el medio físico que conecta un terminal a una red IP y que atraviesan los paquetes IP al dejar la red IP y entrar en el terminal. Este punto de medida estará lo más cerca posible del terminal.

3.3 terminal IP: Dispositivo de punto extremo para conexión a una red IP previsto para soportar comunicaciones de voz. Estos dispositivos pueden ser dedicados (por ejemplo, un teléfono) o generales (por ejemplo, una computadora en la que se active una aplicación que realice la función de terminal).

3.4 punto de referencia de la salida del terminal: Punto de referencia en el medio físico que conecta un terminal a una red IP y que cruzan los paquetes IP al dejar el terminal y entrar en la red IP. Este punto de referencia estará lo más cerca posible del terminal.

3.5 memoria intermedia de defluctuación: Memoria intermedia prevista para eliminar la variación del retardo (es decir, fluctuación de fase) en el momento de llegada de los paquetes. Los datos entran en la memoria intermedia de defluctuación a una velocidad variable (es decir, cuando se reciben desde la red), y salen a una velocidad constante.

3.6 punto de referencia boca: Punto situado en el eje de referencia, a 25 mm frente al plano de labios [P.51].

3.7 señal en tiempo real: Señal que representa con exactitud señales acústicas o eléctricas en el plano del tiempo.

3.8 punto de referencia eléctrico de recepción: Punto eléctrico de referencia equivalente al punto de referencia oído desde la perspectiva de la medida del retardo del terminal.

3.9 punto de referencia eléctrico de envío: Punto eléctrico de referencia equivalente al punto de referencia boca desde la perspectiva de la medida del retardo del terminal.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

ADC	Convertidor de analógico a digital (<i>analogue-to-digital converter</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
DAC	Convertidor de digital a analógico (<i>digital-to-analogue converter</i>)
DSCP	Punto de código de servicios diferenciados (<i>differentiated services code point</i>)
Dst	Destino (<i>destination</i>)
HDLC	Control de alto nivel para enlaces de datos (<i>high-level data link control</i>)
IETF	Grupo de tareas especiales de ingeniería en Internet (<i>Internet engineering task force</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
IPErr	Cómputo de paquetes IP con errores (<i>errored IP packet count</i>)
IPv4	Protocolo Internet versión 4 (<i>Internet protocol version 4</i>)
IPv6	Protocolo Internet versión 6 (<i>Internet protocol version 6</i>)
IPER	Tasa de errores en los paquetes IP (<i>IP packet error ratio</i>)
IPLR	Tasa de pérdida de paquetes IP (<i>IP packet loss ratio</i>)
IPPM	Grupo de trabajo sobre métricas de calidad de funcionamiento IP (<i>IP performance metrics working group</i>)
IPRE	Evento de referencia de transferencia de paquetes IP (<i>IP packet transfer reference event</i>)
IPSLB	Bloque de paquetes IP con muchas pérdidas (<i>IP packet severe loss block</i>)
IPSLBR	Tasa de bloques de paquetes IP con muchas pérdidas (<i>IP packet severe loss block ratio</i>)
IPTD	Retardo de transferencia de paquetes IP (<i>IP packet transfer delay</i>)
MAPDV2	Variación del retardo de paquetes absoluta media 2 (<i>mean absolute packet delay variation 2</i>)
NA	No disponible (<i>not available</i>)

QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RFC	Peticiones de comentarios (<i>request for comments</i>)
RSVP-TE	Protocolo de reserva de recursos – Ingeniería de tráfico (<i>resource reservation protocol – traffic engineering</i>)
RTCP	Protocolo de control de transporte en tiempo real (<i>real-time transport control protocol</i>)
RTP	Protocolo de transporte en tiempo real (<i>real-time transport protocol</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
RTPErr	Cómputo de paquetes RTP con errores (<i>errored RTP packet count</i>)
SPR	Tasa de paquetes no esenciales (<i>spurious packet ratio</i>)
Src	Origen (<i>source</i>)
TDM	Multiplexación por división en el tiempo (<i>time division multiplex</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
UDPErr	Cómputo de paquetes UDP con errores (<i>errored UDP packet count</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user-network interface</i>)

5 Parámetros de los paquetes en el terminal de origen

En esta cláusula se presentan los parámetros de los paquetes del terminal de envío que tienen una consecuencia directa sobre la calidad percibida de la voz o aplicaciones en banda vocal. En la figura 2 se muestran las posiciones de los puntos de medida y los componentes del sistema.

5.1 Exactitud del reloj de conversión analógico/digital (funcionamiento libre)

El desplazamiento relativo de la frecuencia de un reloj puede especificarse como:

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{nominal}}} = \frac{f_{\text{medida}} - f_{\text{nominal}}}{f_{\text{nominal}}}$$

Debe minimizarse el error de frecuencia medida y utilizar una referencia de frecuencia de reloj atómico para realizar la medida (la frecuencia nominal debe acercarse lo más posible al ideal).

La exactitud a largo plazo (o hasta el final de la vida útil) del oscilador del reloj (por ejemplo, cristal de cuarzo) debe también darse, si se conoce, puesto que establece el límite superior del desplazamiento de frecuencia.

Por ejemplo, suponiendo que la frecuencia nominal del oscilador de conversión analógico/digital es 8000 Hz, y una medida del oscilador del terminal del origen indica una frecuencia de 8000,0027 Hz, el desplazamiento de frecuencia relativo será, entonces, $0,0027/8000 = 3,38 \times 10^{-7}$. Los osciladores de cuarzo más exactos pueden normalmente alcanzar desplazamientos de 1×10^{-6} , de acuerdo con sus especificaciones de exactitud.

Cabe señalar que debe ser posible inferir la frecuencia del reloj de envío a partir de las mediciones de la velocidad de datos en el origen (en condiciones favorables, por ejemplo, cuando está inactiva la supresión de silencios). Éstos deberían permitir realizar una medición utilizando las señales externas disponibles. Este método queda en estudio.

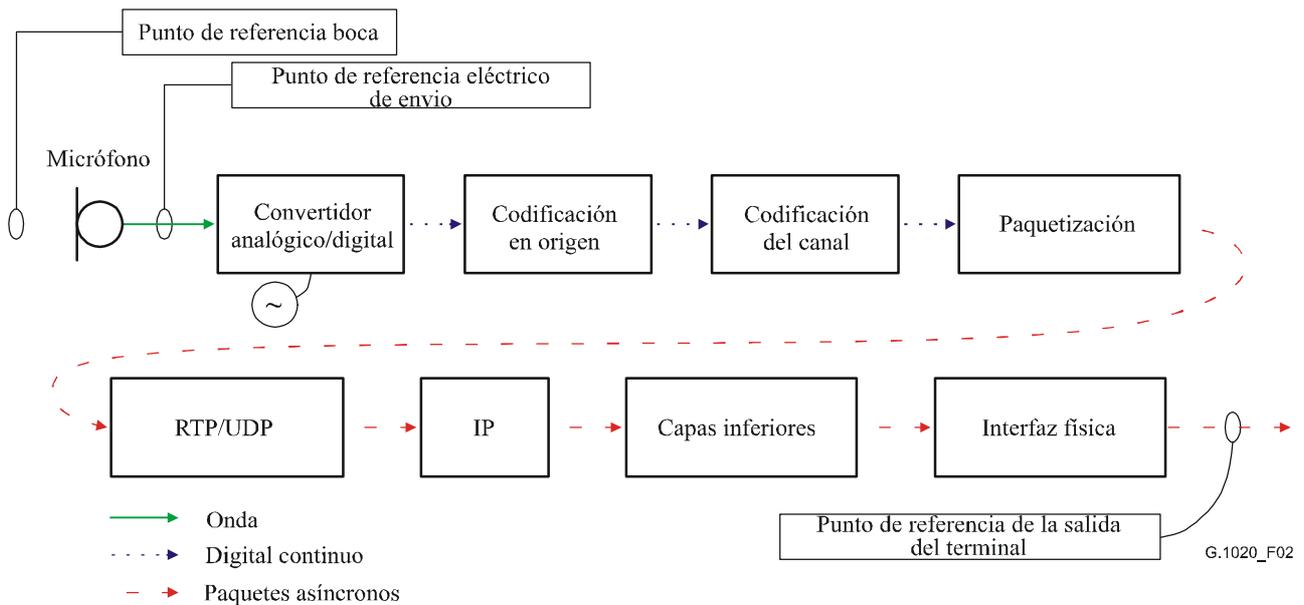


Figura 2/G.1020 – Diagrama del terminal de origen y puntos de referencia

5.2 Tamaño del campo de información del paquete

El tamaño del campo de información del paquete especifica la cantidad de formas de onda en banda vocal codificadas que contiene un paquete. Este tamaño debe expresarse inequívocamente utilizando tantas unidades de medida como sea necesario:

- 1) El número de octetos de 8 bits de señales de banda vocal codificados e información suplementaria (por ejemplo, bits asociados con la corrección de errores en recepción para contribuir a la ocultación de la pérdida de paquetes o bits asociados con la criptación).
- 2) El número de tramas de codificador (deben también especificarse el tamaño del codificador específico y de la trama nativa).
- 3) La cantidad de tiempo de onda continua que representan los bits codificados en este campo.

Los campos de información característicos contienen una o dos tramas de codificador y combinan 10 ó 20 ms de tiempo de forma de onda en un solo paquete. En el anexo A/G.114 se puede encontrar orientación sobre el cálculo del retardo de diversos codificadores y tamaños del campo información de paquete.

5.3 Tara de paquete

Deben contarse separadamente el número total de octetos anexos al campo información de paquete en cada uno de los encabezamientos de capa del protocolo. El total de octetos dedicados a encabezamientos no informativos deberán contarse a medida que el paquete atraviesa el punto de referencia de la salida del terminal, incluyendo así los efectos de la compresión del encabezamiento, de haberlo. El tamaño del octeto de los paquetes de control del flujo de medios, de informe de estado/calidad de funcionamiento (por ejemplo, RTCP), u otro tipo de paquetes que no transporten medios, deberán contarse separadamente.

Algunas de las taras típicas son (en octetos):

RTP	12	UDP	8	IPv4	20	IPv6	40
Encapsulación HDLC	8	Bandera	1				

5.4 Retardo del terminal de origen

El retardo del terminal de origen es el intervalo definido como el tiempo que transcurre entre que una señal atraviesa el punto de referencia boca y el momento en que el primer bit de la señal paquetizada codificada correspondiente atraviesa el punto de referencia de la salida del terminal. Siempre que convenga, puede sustituirse el punto de referencia eléctrico de envío por el punto de referencia boca. Por definición, el retardo del terminal de origen incluye todo el tiempo de paquetización/despaquetización y las formas de onda y métodos de prueba deben contener suficiente información para evaluar la variabilidad del tiempo de paquetización debida a la alineación entre la señal de prueba y la frontera del paquete. Por ejemplo, la señal de prueba debe ser lo suficientemente larga para abarcar las fronteras del paquete, permitiendo la identificación de éstas en el tiempo. Debe utilizarse la porción de la señal transportada por la primera parte de la cabida útil del paquete.

NOTA – Este retardo incluirá la variación del retardo del terminal del origen, de haberla, y se utilizarán los métodos estadísticos adecuados para conocer esta variación.

5.5 Variación del retardo del terminal de origen

El objetivo fundamental del parámetro de variación del retardo de un punto es la comparación entre el patrón de emisión real y el previsto (que normalmente es periódico). Algunas variantes de esta definición incluyen un ajuste de "salto de reloj", como la Rec. UIT-T I.356.

La variación del retardo del terminal de origen se define como la diferencia en términos de tiempo entre el primer bit de la emisión de un paquete en el punto de referencia de la salida del terminal y el tiempo de referencia periódico ideal. Para el primer paquete de un flujo, el tiempo de referencia periódico ideal se equipara al tiempo de emisión. Se comparan las emisiones de paquetes subsiguientes con esta referencia temporal periódica, como se muestra a continuación:

$$\text{Variación del retardo del terminal de origen} = t(\text{packet}_n) - t(\text{reference_packet}_n)$$

donde $t(\text{reference_packet}_n)$ es el tiempo de emisión del packet_n del tren de referencia periódico ideal. Debe proporcionarse el intervalo de medida, así como las estadísticas correspondientes.

NOTA – Un intervalo largo de medida puede incluir los efectos no deseados del desplazamiento de frecuencia en el origen. La variación debida a un desplazamiento de frecuencia en el origen debe registrarse y eliminarse como un error de medida, siempre que sea posible.

6 Parámetros de calidad de funcionamiento de la red de paquetes

Entre las normas para la calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes en la capa IP (véase, por ejemplo, las Recomendaciones UIT-T Y.1540, Y.1541 e IETF RFC 2330, 2678 a 2681, 3357 y 3393) se incluyen los siguientes parámetros: retardo de transferencia unidireccional, variación del retardo y pérdida de paquetes. Estos parámetros deberán tener una correspondencia en la capa de aplicación para estimar adecuadamente un efecto para el usuario.

6.1 Resumen de los parámetros de calidad de funcionamiento de red

En el cuadro 1 se resumen los parámetros de calidad de funcionamiento de la red IP pertinentes para esta Recomendación, así como las relaciones entre los parámetros de red y del terminal que sirven de base a los parámetros del sistema en general. Leyendo de izquierda a derecha, cada fila identifica un parámetro e indica de qué manera puede combinarse con otros para deducir el parámetro de calidad de funcionamiento general específico para cada uno de los aspectos de la calidad de extremo a extremo o de usuario a usuario (aunque las fórmulas exactas se presentan en secciones posteriores).

Cuadro 1/G.1020 – Resumen de los parámetros de calidad de funcionamiento de la red IP y correspondencia con los parámetros generales/de usuario a usuario

Parámetro de la red IP (Nota)	Traducción a parámetro general	Parámetro general
Retardo de transferencia (IPTD, media)	IPTD + Retardo en origen + Retardo en destino	Retardo de usuario a usuario medio
Variación del retardo (IPDV, percentil 99,9% menos el mínimo)	Combinada con el retardo en origen distribución de la variación	Contribuye al retardo en destino o a la pérdida de tramas de audio
Salto del retardo (posiblemente registrado por RFC 3393, por ejemplo)	Puede proceder de una modificación de la instalación/trayecto de red o puede sólo aparecer a la salida de la memoria intermedia de defluctuación	Discontinuidad de la escala temporal de audio
Paquete con errores (encabezamientos)	IPErr + UDPErr + RTPErr ⇒	Pérdida de tramas de audio (paquete o trama códec descartado)
Paquete reordenado (apéndice VII/Y.1540)	(puede considerarse perdido) ⇒	Pérdida de tramas de audio
Paquete perdido	Pérdida de IP + (todos los defectos de audio) ⇒	Pérdida de tramas de audio (preocultación)
Bloque de paquetes IP con muchas pérdidas (IPSLB)	(depende de la duración del bloque)	Corte de la llamada
Patrones de pérdida (por ejemplo, RFC 3357)	Pérdida/llegada del tren completo ⇒	Longitud de ráfaga/pérdida consecutiva
Velocidad del paquete (inferida de otras características del sistema)	Diferencia entre los osciladores ADC y DAC de los terminales de origen y destino	Desplazamiento de frecuencia del sistema (con respecto al destino)
NOTA – De la Rec. UIT-T Y.1540, a menos que se indique lo contrario.		

6.2 Parámetros de red adicionales recomendados

Todos los resultados de paquete único fundamentales se definen en la Rec. UIT-T Y.1540 (y en los RFC del IETF enumerados en la bibliografía). No obstante, es posible derivar otros parámetros de interés cuando se consideran trenes o flujos de paquetes, como en la planificación y medida de la voz sobre IP (VoIP).

6.2.1 Evento pérdida de paquetes consecutivos

Cuando sucesivos paquetes, enviados en un tren periódico (de conformidad con RFC 3432, por ejemplo), se consideran perdidos de acuerdo con la definición de resultado paquete perdido de la Rec. UIT-T Y.1540, debe especificarse la longitud del evento como el número de paquetes perdidos en secuencia. Esta longitud debe registrarse separadamente para cada evento. Tras una medición en que haya habido múltiples eventos de pérdida consecutivos, el cómputo de cada longitud deberá registrarse igualmente. Los números de secuencia de los encabezamientos de los paquetes pueden ser útiles para realizar esta medición.

6.2.2 Segundo degradado

Un resultado segundo degradado ocurre en un bloque de paquetes observado durante un intervalo de 1 segundo cuando la relación entre los paquetes perdidos en la UNI de egreso y los paquetes de ese mismo intervalo de 1 segundo en la UNI de ingreso supera D%. Pueden utilizarse para realizar esta medición los números de secuencia y las indicaciones de tiempo que contienen los encabezamientos de los paquetes.

El valor de D se establece provisionalmente en 15%, y puede modificarse de acuerdo con experiencias o estudios posteriores. Por ejemplo, si un flujo de paquetes a 50 paquetes por segundo se ve degradado por 8 pérdidas (16%), la calidad se verá degradada sean las pérdidas consecutivas o estén distribuidas a lo largo del segundo.

6.2.3 Cuantificación de la fluctuación/variación del retardo IP a corto plazo

En las siguientes cláusulas se presentan dos enfoques para la cuantificación de la fluctuación a corto plazo. Cuando se dispone de una distribución de los retardos en intervalos cortos, se recomienda utilizar el primer enfoque basado en un intervalo corto. No obstante, si se conoce la serie temporal completa de variación del retardo, el enfoque basado en la variación del retardo de paquetes absoluta media puede proporcionar información adicional.

6.2.3.1 Enfoque basado en el intervalo corto

Esta definición es compatible con el apéndice II/Y.1541.

Se puede definir la variación de retardo IP a corto plazo como el IPTD menos el IPTD mínimo durante un intervalo corto de medición determinado.

$$IPDV_{Short_Term} = IPTD_{m\acute{a}x} - IPTD_{m\acute{i}n}$$

donde:

$IPTD_{m\acute{a}x}$: es el IPTD máximo registrado durante un intervalo de medición corto.

$IPTD_{m\acute{i}n}$: es el IPTD mínimo registrado durante un intervalo de medición corto.

Éste es un método simple y bastante preciso para calcular IPDV en tiempo real. Queda en estudio el valor real del intervalo de medición *corto*. El intervalo de medición influye sobre la capacidad de la métrica para resolver las variaciones de bajas y altas frecuencias en el comportamiento del retardo del paquete IP.

Para conformarse a otras definiciones de parámetros de la presente Recomendación, se considera provisionalmente que el intervalo de medición es de un segundo.

Muchos valores de $IPDV_{Short_Term}$ se miden a lo largo de un intervalo más largo (que comprende muchos intervalos de medición cortos). El percentil 99,9 de estos valores $IPDV_{Short_Term}$ se prevé que cumpla el objetivo de 50 ms Y.1541 (cabe señalar que este objetivo se estableció para un intervalo de medida de un minuto y que el percentil se evalúa por paquetes, suponiendo una velocidad de envío de 50 paquetes por segundo o superior).

Por ejemplo, supónganse 1200 mediciones de un segundo de $IPDV_{Short_Term}$ a lo largo de 20 minutos. Si dos o más mediciones de $IPDV_{Short_Term}$ sobrepasan 50 ms, no se habrá cumplido el objetivo Y.1541 durante unos pocos intervalos, y es conveniente realizar una evaluación más exacta del objetivo.

6.2.3.2 Enfoque basado en la variación del retardo de paquetes absoluta media

Un enfoque alternativo es determinar la variación del retardo de paquetes absoluta media con respecto a una media a corto plazo o a un valor mínimo, denominado en adelante *variación del retardo de paquetes absoluta ajustada*. De este modo puede establecerse una relación más significativa con respecto al comportamiento de la memoria intermedia de defluctuación.

Se computa la fluctuación a corto plazo del paquete (*i*) cuyo retardo se denomina t_i . El paquete (*i*) se compara a una estimación continua del retardo medio (utilizando los 16 retardos de paquete anteriores), y se le asigna un valor de desviación positivo o negativo:

$$\text{retardo medio } D_i = (15 \times D_{i-1} + t_{i-1}) / 16$$

$$\text{desviación positiva } P_i = t_i - D_i \quad \text{si } t_i > D_i (N_i \text{ es NA})$$

$$\begin{aligned} \text{desviación negativa } N_i &= D_i - t_i && \text{si } t_i < D_i \text{ (} P_i \text{ es NA)} \\ \text{si } t_i &= D_i, P_i \text{ es NA y } N_i \text{ es NA} \end{aligned}$$

Se computa la variación del retardo de paquetes absoluta media 2 (MAPDV2) para el paquete (i) como:

$$MAPDV2 = \text{mean}(P_i) + \text{mean}(N_i)$$

donde $\text{mean}(P_i)$ es la P total, incluido el paquete actual.

7 Parámetros del terminal de destino y de los paquetes en general

En esta cláusula se establecen los parámetros de paquete del terminal de destino que afectan directamente a la calidad percibida de la voz y las aplicaciones en banda vocal, y una serie de parámetros de paquetes generales. En la figura 3 se muestran las posiciones de los puntos de medida y los componentes del sistema.

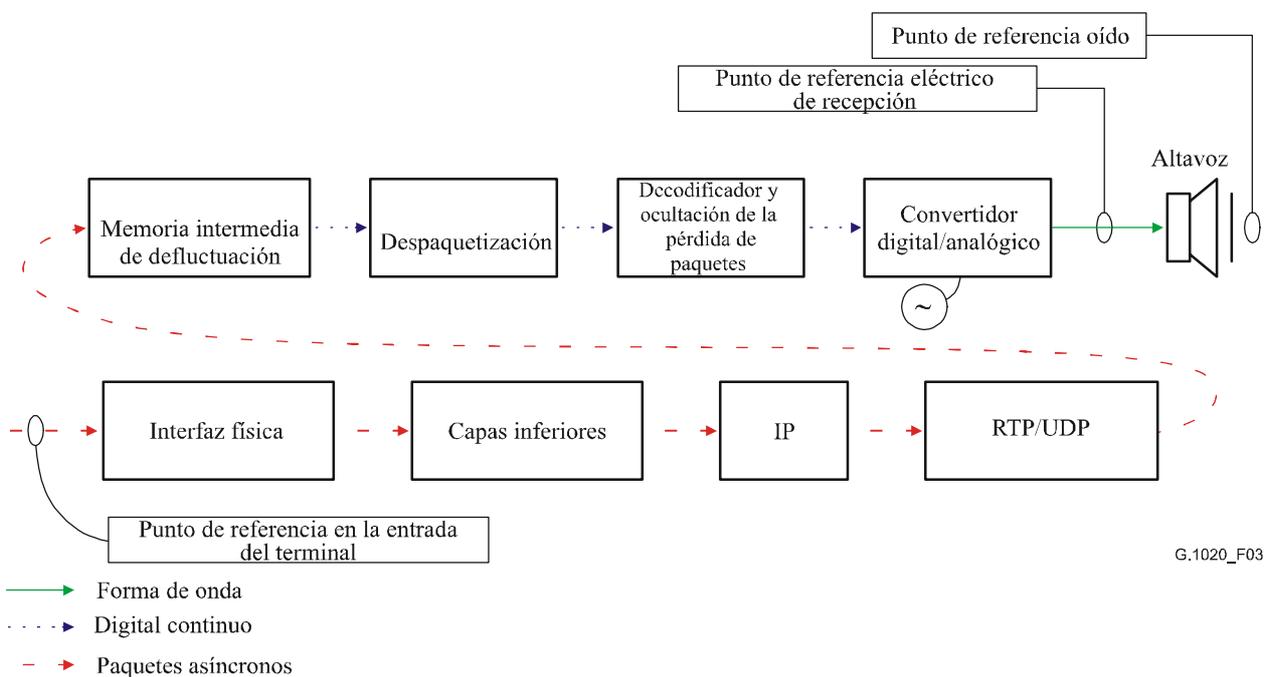


Figura 3/G.1020 – Componentes del terminal de destino

7.1 Procesamiento del paquete de destino

En la figura 4 se representa el proceso mediante el cual puede establecerse una correspondencia entre los parámetros/degradaciones de los paquetes IP (retardo de transferencia, variación del retardo, pérdida de paquetes y errores) y la calidad de funcionamiento de la capa de aplicación en términos de pérdida y retardo general.

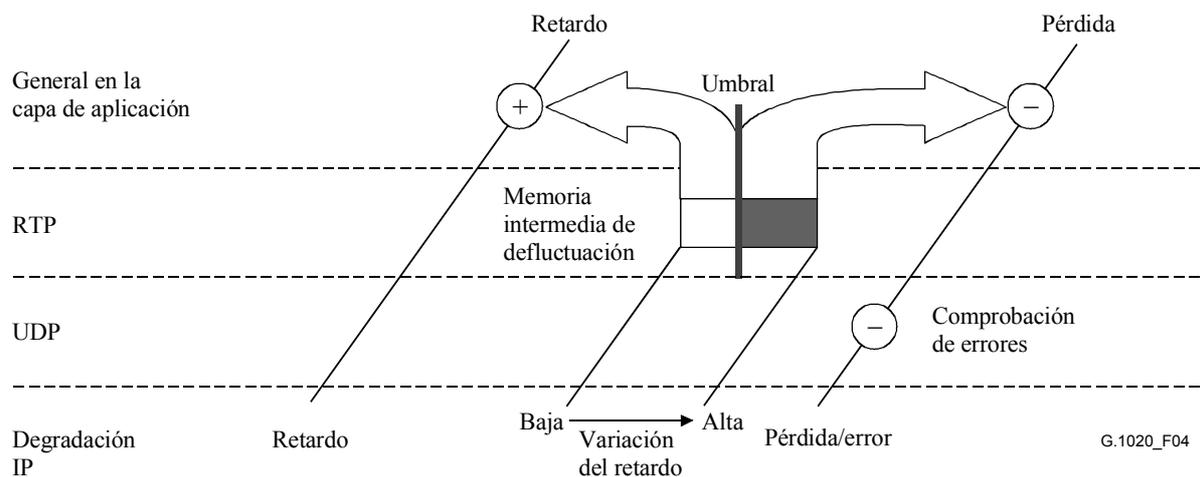


Figura 4/G.1020 – Correspondencia de la calidad de funcionamiento de los paquetes IP en la capa de aplicación

En el extremo inferior de la figura, los paquetes llegan con distintas degradaciones debidas al terminal de origen y a la red(es) o nunca llegan (pérdida). Los paquetes que llegan se procesan a medida que asciende la pila del protocolo para eliminar la mayor cantidad de degradaciones posible. Se muestra cómo algunas formas de degradación (errores, fluctuación) se corresponden con otras degradaciones (pérdida general, retardo general).

En la figura 4 se pueden ver las compensaciones entre el retardo y la pérdida a nivel de aplicación representadas por el umbral de variación del retardo basado en el tamaño de la memoria intermedia de defluctuación. Los paquetes con una variación de retardo en la gama "blanca" se acomodan, mientras que los paquetes con una variación mayor (en la gama "negra") quedarán descartados. Una memoria intermedia de defluctuación grande puede acomodar paquetes con mayor variación de retardo, por lo que, en general, se perderán menos paquetes a condición de sufrir un retardo general mayor. Inversamente, una memoria intermedia de defluctuación más pequeña generará un retardo general menor, pero una mayor fracción de paquetes quedará descartada por el terminal, incrementando así la pérdida general.

7.2 Taxonomía de los tipos/parámetros y modelos de memoria intermedia de defluctuación

Hay principalmente dos tipos de memoria intermedia de defluctuación, de longitud fija y de longitud adaptativa. Las memorias intermedias de defluctuación pueden tener distintas características, incluidas las que se muestran en el cuadro 2. Al evaluar la calidad de funcionamiento de un sistema deben conocerse los valores aplicables a los parámetros de la memoria intermedia de defluctuación.

Cuadro 2/G.1020 – Tipos y parámetros de memoria intermedia de defluctuación

Tipo	Atributos	Posibilidades	
Fija (y adaptiva)	Tamaño (configuración máxima y nominal o mínima)	Número entero de paquetes	Número fraccional de paquetes
Adaptiva	Control	Caída medida si no se da un exceso/una falta de flujo	Evaluación de la tasa de pérdida (configuración al umbral más bajo aceptable y cómputo de paquetes mínimo entre ajustes)
	Ajuste	Medido	Sólo periodo de silencio
	Inicialización	Primer paquete	Muestra pequeña
	Ajuste de granularidad	Tamaño del paquete	Fracción del tamaño del paquete
	Restaura el orden de los paquetes	Sí	No
	Banda vocal en modo datos	Detecta un tono de 2100 Hz configurado a la longitud máxima	Ninguna

7.2.1 Evaluación del retardo y la pérdida del terminal de destino

Las principales causas del retardo proceden de distintos orígenes. En esta cláusula se muestra cómo el tamaño de la memoria intermedia de defluctuación y la variación del retardo de los paquetes de la red IP se solapan, y cómo deben realizarse cuidadosamente estadísticas de retardo específicas para conocer el retardo total correcto.

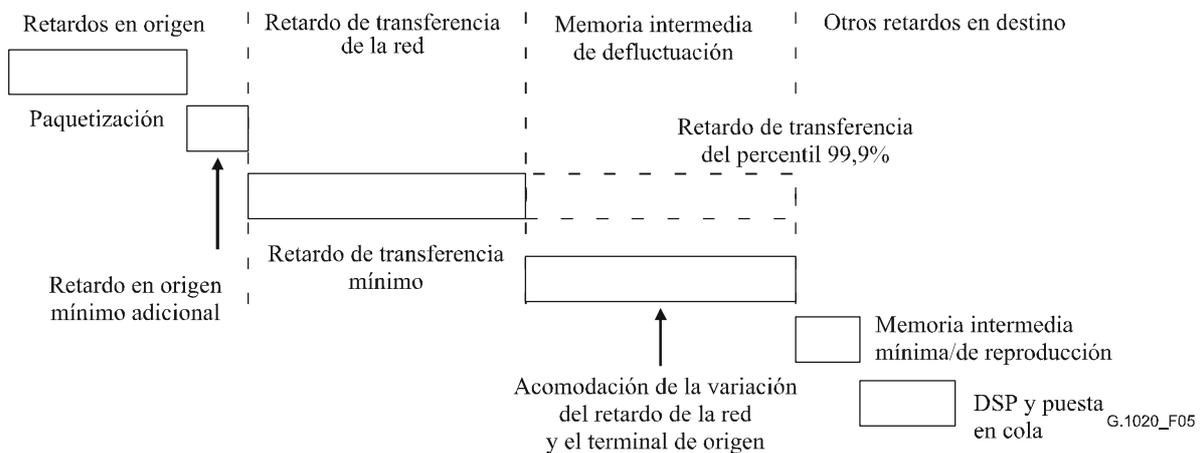


Figura 5/G.1020 – Retardo de las redes de paquetes y elementos de red

En la figura 5 se muestran algunos elementos de un trayecto de VoIP que pueden aumentar el retardo de extremo a extremo. En el lado de envío, el tiempo de paquetización puede ser importante y, generalmente, hay un retardo variable a medida que los paquetes atraviesan la red. En el lado del receptor, se instala una memoria intermedia de defluctuación para acomodar la variación del retardo y proporcionar un tren de cabida útil continuo. Cabe señalar que los paquetes con un retardo de origen y red mínimo pasan un tiempo máximo en la memoria intermedia de defluctuación y, del mismo modo, los paquetes cuyo retardo es mayor pasan menos tiempo en la memoria intermedia.

También hay una cantidad de tiempo mínima que cada paquete debe pasar en la memoria intermedia del receptor, posiblemente tan largo como un paquete entero.

En las siguientes subcláusulas se describe de manera general el proceso que combina la pérdida en la capa IP y el retardo con contribuciones adicionales de las funciones de capas superiores del terminal de destino, como la memoria intermedia de defluctuación.

7.2.1.1 Pérdida

Dependiendo del tipo de memoria intermedia de defluctuación, habrá unos criterios que determinarán si cada paquete específico de un flujo se acomoda o descarta. El resultado puede modificar completamente la distribución de la pérdida general de paquetes. Por ejemplo, si errores aleatorios en los bits hacen que no se pueda realizar la verificación de la suma UDP de los paquetes, las pérdidas de los paquetes tendrán una distribución aleatoria a medida que pasan a la capa de aplicación. Pero si una serie de paquetes consecutivos experimentan un retardo excesivo, los descartes adicionales debidos a las limitaciones de la memoria intermedia de defluctuación harán que la distribución de pérdidas sea a ráfagas, en vez de aleatoria. Así, debe realizarse una categorización de la distribución de pérdida en la capa de aplicación (utilizando las técnicas que se muestran en el apéndice I, o la tasa de ráfagas, véase el apéndice I/G.113), antes de hacer una estimación de la calidad de funcionamiento de la aplicación con herramientas tales que el modelo E (véase la Rec. UIT-T G.107).

En algunas circunstancias el orden de los paquetes puede modificarse durante la transferencia por la red. Algunas memorias intermedias de defluctuación son incapaces de restaurar el orden de estos paquetes (Rec. UIT-T Y.1540), que, en este caso, se consideran paquetes descartados.

7.2.1.2 Retardo

El valor correcto del retardo de la memoria intermedia que ha de combinarse con otros retardos depende de las estadísticas descriptivas disponibles. Por ejemplo, el retardo de red medio debe sumarse al tiempo de ocupación de la memoria intermedia de defluctuación medio (y otros retardos) para obtener el retardo general medio. Este método tiene en cuenta la adaptación de la memoria intermedia, y sólo necesita conocer el tiempo de puesta en cola medio de todos los paquetes en el intervalo de tiempo de evaluación. Por otra parte, si sólo se conoce el retardo de red mínimo, éste debe añadirse al tiempo de ocupación de la memoria intermedia de defluctuación máximo (o al tamaño utilizado, y a otros retardos) para obtener el retardo total.

A continuación se considera la inicialización de una memoria intermedia de defluctuación de tamaño fijo. Si el primer paquete que llega tiene un retardo de transferencia mínimo, el receptor almacenará el paquete en la memoria intermedia durante todo el tiempo necesario, y el tamaño de la memoria intermedia será el esperado. Afortunadamente, muchos paquetes llegan aproximadamente en el tiempo de transferencia mínimo, por lo que esta hipótesis es muy probable.

Por otra parte, si el primer paquete llega con un retardo relativamente largo, será necesario ocupar más espacio de la memoria intermedia para acomodar la llegada "temprana" de paquetes alrededor del tiempo de transferencia mínimo, y la memoria intermedia de defluctuación hará que el retardo previsto sea mayor en el cálculo general.

7.2.1.3 Modelo de memoria de defluctuación fija y terminal de destino

El modelo más simple y efectivo de pérdida debida a una memoria intermedia de defluctuación fija es designar como descartados todos los paquetes cuyo retardo es mayor que el retardo de transferencia mínimo para un tren de paquetes más la longitud de la memoria intermedia de defluctuación (fija).

Con los siguientes procedimientos se establece una correspondencia entre las capas IP y de aplicación, asumiendo la existencia de memorias intermedias de defluctuación de longitud fija al realizar la evaluación de la calidad de funcionamiento del terminal de destino.

- 1) Designar como perdidos todos los paquetes que no permitan la verificación de la suma UDP.
- 2) Designar como descartados todos los paquetes cuyo retardo sea superior al retardo de transferencia mínimo para el tren de paquetes más la longitud de la memoria intermedia de defluctuación (fija), o cuyo retardo sea inferior al mínimo establecido.
- 3) Sumar del retardo de red medio (IPTD) más el retardo de los terminales de origen y destino medio para obtener el retardo general medio, O, sumar el retardo del terminal de origen mínimo y el retardo de red mínimo más el retardo del terminal de destino máximo (que refleja la ocupación de la memoria intermedia de defluctuación máxima cuando hay fluctuación en la red, o el tamaño máximo utilizado).

En el paso 2 anterior, debe evaluarse el retardo de transferencia mínimo en intervalos cortos (provisionalmente se utiliza un intervalo de 10 segundos). El mínimo del primer intervalo se utiliza en toda la evaluación, a menos que el mínimo a corto plazo se incremente y supere la gama de acomodación de la memoria intermedia. En este caso, los paquetes no llegarán a las capas superiores y deberá fijarse un nuevo mínimo para la memoria intermedia de defluctuación, que es lo más probable que ocurra en la práctica. Alternativamente, si el mínimo a corto plazo se sitúa en un valor en que un gran porcentaje de paquetes (provisionalmente el 50%) se considera perdido debido a una llegada temprana, debe establecerse un nuevo mínimo para la memoria intermedia de defluctuación.

Al calcular la contribución general de la memoria media de defluctuación a la degradación, la distribución de la variación del retardo determina la proporción de paquetes que serán descartados. La distribución del retardo de paquetes que se acomodan (que no se descartan) puede utilizarse para calcular el retardo de ocupación de la memoria intermedia de defluctuación medio, de la siguiente manera:

Mean occupation delay = [De-jitter Buffer Size] – (Mean Delay of Accom. Packets – Min. Delay)

Este retardo medio puede sumarse a las constantes de retardo del terminal de destino para obtener una estimación del retardo del terminal de destino medio. Si no se dispone de la distribución exacta del retardo, se ha llegado al acuerdo de que un valor igual a la mitad del tamaño de la memoria intermedia de defluctuación puede sustituirse por el retardo de ocupación medio en los cálculos para realizar la planificación de la red.

Si es necesario disponer del retardo del terminal de destino máximo para realizar el cálculo, puede sumarse el tamaño de la memoria intermedia de defluctuación máximo con otras constantes del retardo del terminal de destino para obtener una estimación del retardo máximo.

7.2.1.4 Modelo de memoria intermedia de defluctuación adaptativa

La memoria intermedia de defluctuación fija utilizada en el punto 2 anterior puede sustituirse por un simulador de memoria intermedia de defluctuación adaptativa, como se describe en la presente cláusula, cuando se dispone de información sobre la serie de tiempo de un conjunto de trenes de paquetes.

La serie de tiempo de la llegada de los paquetes puede utilizarse en una simulación de memoria intermedia de defluctuación para determinar la dinámica del tamaño de la memoria intermedia y el tiempo de ocupación de la memoria intermedia de defluctuación medio (retardo) en toda la serie. Este retardo medio puede combinarse con las otras constantes del retardo del terminal de destino para obtener una estimación del retardo del terminal de destino medio.

En el apéndice II se presenta un ejemplo de simulación de memoria intermedia de defluctuación adaptativa.

7.2.2 Retardo del terminal de destino

El retardo del terminal de destino es el intervalo transcurrido entre que el primer bit de un paquete que representa una señal de forma de onda atraviesa el punto de referencia a la entrada del terminal y la correspondiente señal decodificada despaquetizada atraviesa el punto de referencia oído. Siempre que sea necesario, puede sustituirse el punto de referencia eléctrico de recepción por el punto de referencia oído.

NOTA – Este retardo puede variar si se utiliza una memoria intermedia de defluctuación adaptativa, y deberán realizarse las estadísticas adecuadas para conocer esta variación.

Puesto que, por definición, el retardo del terminal de origen incluye todo el tiempo de paquetización/despaquetización, las señales de prueba de paquetes del terminal de destino deben diseñarse de tal manera que ocupen la primera parte de la cabida útil. Así, las medidas del retardo del terminal de origen y destino se llevarán a cabo en momentos equivalentes con respecto al tiempo de paquetización.

7.3 Desplazamiento de la frecuencia del sistema utilizando un reloj en destino como referencia

El desplazamiento de la frecuencia del sistema puede evaluarse controlando el incremento del número de secuencia por unidad de tiempo o el desplazamiento de la marca temporal acumulado, y es una medida de la diferencia entre la exactitud de reloj de conversión analógico/digital de origen y de destino. El desplazamiento de frecuencia relativo entre los relojes de origen y destino puede especificarse como:

$$\frac{\Delta f}{f_{Destination}} = \frac{f_{Source} - f_{Destination}}{f_{Destination}}$$

Este desplazamiento de frecuencia puede utilizarse para determinar la velocidad de los eventos de desbordamiento o infrautilización de la capacidad de la memoria intermedia en el terminal de destino, que suele originar pérdidas adicionales de paquetes, teniendo en cuenta que el desplazamiento fraccional de frecuencia es equivalente la diferencia de tiempo (Δt) durante el intervalo de observación (T)

$$\frac{\Delta f}{f_{Destination}} = -\frac{\Delta t}{T}$$

(observando que la diferencia entre el tiempo y la frecuencia es una relación negativa). Por ejemplo, suponiendo que la frecuencia en origen sea 7999,997 Hz, la frecuencia de destino sea 8000,001 Hz y la longitud de la memoria intermedia de defluctuación sea 20 ms, puesto que el reloj convertidor digital/analógico de destino lee la información más rápido de lo que la proporciona el origen, la memoria intermedia de defluctuación terminará por vaciarse, o infrautilizarse a un desplazamiento relativo de

$$\frac{7999,997 - 8000,001}{8000,001} = -5 \times 10^{-7}$$

(donde el signo menos indica que los impulsos del reloj de origen son más lentos que los correspondientes impulsos en el destino), la diferencia de tiempo equivalente a toda la memoria intermedia de defluctuación se acumulará en un intervalo de observación de

$$T = \frac{-(\Delta t = 0,02)}{-5 \times 10^{-7}} = 40\,000 \text{ s} = 667 \text{ min}$$

7.4 Ocultación de la pérdida de paquetes (tipo, retardo)

Muchos codificadores de voz normalizados disponen de un mecanismo de ocultación de la pérdida de paquetes (PLC, *packet loss concealment*), y basta con especificar si el PLC está habilitado o no, y tener en cuenta cualquier retraso adicional. Por ejemplo, el apéndice I/G.711 añade al menos 3,75 ms de retraso algorítmico, y posiblemente algo más dependiendo de la aplicación. Este PLC puede utilizarse con otros codificadores de forma de onda, como los de G.726.

En la práctica han surgido muchos tipos de PLC no normalizados, principalmente para G.711 y otro tipo de codificadores de forma de onda. Si se utiliza este tipo de PLC, debe especificarse el algoritmo PLC específico y el retardo.

Es necesario señalar que un PLC que produzca una mejor impresión a los usuarios puede no cumplir las necesidades establecidas por los detectores de la portadora para el módem de banda vocal. Si se utiliza un clasificador de señal para los datos en banda vocal o módems de fax, y se selecciona un PLC especial para mejorar su funcionamiento en las redes de paquetes, debe especificarse el método de clasificación de la señal y el tipo de PLC.

7.5 Retardo general (incluido el de origen, red y destino)

Una vez realizado el análisis de la memoria intermedia de defluctuación y otros componentes del terminal de destino, como se describe en 7.2.1 y se ilustra en la figura 5, es posible combinarlos con el retardo del terminal de origen y el de red para determinar el retardo general del sistema. Son aceptables las siguientes fórmulas y su utilización queda determinada por estadísticas de retardo específicas disponibles para su cómputo.

Cuando se dispone de los retardos medios de todos los componentes puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$\text{Overall_Mean_Delay} = \text{mean}(\text{source_delay}) + \text{mean}(\text{net_delay}) + \text{mean}(\text{destination_delay})$$

Como se ilustra claramente en la figura 5, los retardos mínimos del terminal de origen y de la red pueden combinarse con el retardo del terminal de destino máximo para obtener una estimación utilizando constantes:

$$\text{Overall Delay (constant)} = \text{min}(\text{source_delay}) + \text{min}(\text{net_delay}) + \text{max}(\text{destination_delay})$$

Cuando se hace una medición directa, el retardo general es el intervalo que transcurre entre el momento en que la señal atraviesa el punto de referencia boca y el momento en que la señal correspondiente atraviesa el punto de referencia oído (o puntos de referencia equivalentes).

En el anexo B de [B-11] se presenta un método para la medición directa del retardo general.

En el apéndice III/Y.1541 se muestran varios ejemplos para el cálculo del retardo medio general. En estos ejemplos se utilizan distintas configuraciones de red y terminales de referencia con distintos tamaños de paquetes, memorias intermedias de defluctuación y medios de ocultación de pérdida de paquetes. El apéndice X/Y.1541 muestra cómo se calculan los valores R del modelo E para cada uno de estos casos [G.107].

7.6 Discontinuidades en la escala de tiempo en el tren posdefluctuación y PLC

Una discontinuidad en la escala de tiempo se define como un cambio repentino en el retardo general, medido desde el punto de referencia boca al punto de referencia oído. Este parámetro refleja con qué frecuencia se modifica la referencia temporal del usuario debido al trayecto de la red o a la memoria intermedia de defluctuación, o a ambos.

7.7 Pérdida (trama/paquetes) general (incluido en red y destino)

Este parámetro puede expresarse en términos de paquetes o de tramas de codificador. Es importante entender la relación entre la pérdida de tramas y la pérdida de paquetes. Por ejemplo, cuando

2 tramas se combinan en cada paquete, cada paquete perdido implica una ráfaga de 2 pérdidas de trama y el decodificador/PLC debe intentar recuperarlo en circunstancias más difíciles que si se trata de una única pérdida de trama aislada.

7.7.1 Tasa de pérdida general (trama/paquete)

La tasa de pérdida general en un intervalo de evaluación se define como:

Tasa de pérdida general =

$$1 - \frac{(\text{Total_pkt_sent} - \text{Lost_net} - \text{Lost_error_check} - \text{Discarded_de-jitter-buffer} - \text{Discarded_reordering})}{\text{Total_pkt_sent}}$$

7.7.2 Modelo de pérdida general (tramas/paquetes)

Para evaluar la consecuencia de las pérdidas y descartes en las aplicaciones de VoIP, resulta de utilidad considerar la distribución de estas degradaciones como función del tiempo. Entre los enfoques más habituales se cuenta el modelo Gilbert-Elliott y modelos similares basados en el modelo Markov. En [B-10] se especifica la utilización de un modelo Gilbert-Elliott para describir la pérdida de paquetes y la distribución de descartes, y se da un ejemplo de modelo Markov de cuatro estados para derivar estos parámetros. En el apéndice I se presenta una descripción de estos modelos y se da un ejemplo de distribución de pérdida de paquetes/descartes típica. Los parámetros de salida típicos son la diferencia media entre la longitud del periodo y la densidad de pérdidas/descartes, y la longitud de ráfaga media y la densidad de pérdidas/descartes.

7.7.3 Cómputo de eventos de pérdida consecutiva general (tramas/paquetes)

Una vez examinado el tren de paquetes enviado de acuerdo con [B-9], y se ha designado que un conjunto de paquetes sucesivos se ha perdido o descartado de acuerdo con todos los criterios de pérdida/descarte relevantes del parámetro tasa de pérdida general, la longitud del evento debe especificarse como el número de paquetes perdidos en secuencia. La longitud debe especificarse separadamente para cada evento. El cómputo del tamaño de cada evento también debe presentarse en el resultado. Los números de secuencia contenidos en las cabeceras del paquete pueden utilizarse para realizar la medición.

7.7.4 Trampas y errores en el cálculo de los parámetros generales

Un método simplificado para obtener el retardo de extremo a extremo general ha sido tomar el retardo de transferencia en los paquetes IP medio y combinarlo con constantes de otros elementos del trayecto boca-oído. Este procedimiento puede resultar erróneo por el retardo variable de algunos componentes del terminal (por ejemplo, la memoria intermedia de defluctuación), o porque se ignoran los elementos que causan un retardo variable.

Otra posible trampa es utilizar la tasa de pérdida de paquetes tal y como la mide el receptor de prueba que permite, por ejemplo, que transcurran 3 segundos antes de declarar la pérdida de un paquete, disminuyendo así la tasa de pérdidas estimada. Una memoria intermedia de defluctuación característica tiene mucha menos tolerancia a los retardos largos que sobrepasan la norma. De ello se deduce que es muy necesario conocer la memoria intermedia de defluctuación a la hora de hacer la correspondencia entre la calidad de funcionamiento de los paquetes IP y las pérdidas en la capa de aplicación.

Apéndice I

Distribución de la pérdida de paquetes y modelos de pérdida de paquetes

I.1 Introducción

Se entiende generalmente que la distribución de pérdida de paquetes en las redes IP es "a ráfagas", aunque existe menos seguridad en lo que respecta al uso de modelos de pérdida específicos y, de hecho, se entiende erróneamente la utilización de algunos modelos de uso convencional, por ejemplo, el modelo Gilbert. En este apéndice se esbozan algunos de los modelos de pérdida de paquetes más importantes, se analizan en cierta medida los datos de pérdida de paquetes, se debate el grado de "adecuación" de algunos modelos y datos y se propone la utilización de un modelo Markov de cuatro estados para representar la distribución de la pérdida.

I.2 Modelos de pérdida de paquetes comunes

I.2.1 Antecedentes históricos

La mayor parte de los trabajos realizados sobre la modelización de pérdidas o errores se realizaron en la década de 1960 en lo que respecta a la distribución de errores en los bits en canales telefónicos.

Uno de los enfoques utilizados fue el modelo Markov o multiestado. Gilbert [13] parece ser el primero en describir un modelo de errores a ráfagas de este tipo, ampliado posteriormente por Elliott [10] y [11] y Cain y Simpson [6]. Blank y Trafton [3] elaboraron modelos de estados Markov de orden superior para representar las distribuciones de los errores.

Otra vertiente se dedicó a identificar la distribución estadística de los periodos. Mertz [17] utilizó distribuciones hiperbólicas y Berger y Mandelbrot [2] utilizaron distribuciones de Pareto para modelizar los periodos entre errores. Lewis y Cox [16] encontraron que en la medición de la distribución de los errores había una fuerte correlación positiva entre los periodos adyacentes.

La modelización de la pérdida de paquetes en las redes IP parece haber seguido un camino similar, aunque la causa primera de la pérdida (generalmente la congestión) parece ser distinta de la de los errores en los bits (generalmente provocados por ruidos en el circuito o fluctuación).

I.2.2 Modelo Bernoulli o independiente

El modelo más ampliamente utilizado es un canal de pérdida independiente simple en que un paquete se pierde (o ocurre un error en los bits) con una probabilidad de P_e . Para un gran número de paquetes N , el número de paquetes perdidos previsto es $N \times P_e$. La probabilidad de pérdida puede estimarse contabilizando el número de paquetes perdidos y dividiendo el resultado por el número total de paquetes transmitidos.

I.2.3 Modelos de Gilbert y Gilbert-Elliott

El modelo a ráfagas más conocido es el modelo Gilbert [13] y una variante de éste, conocido como modelo Gilbert-Elliott [10] y [11]. Se trata en ambos casos de modelos de dos estados que oscilan entre el estado "bueno" o 0 y el estado "malo" o a ráfagas 1, dependiendo de las probabilidades de transición de estado P_{01} y P_{11} :

i) *Modelo Gilbert:*

- a) Estado 0 es un estado de cero pérdidas/errores.
- b) Estado 1 es un estado de pérdidas con una probabilidad de pérdidas independiente P_{e1} .

ii) *Modelo Gilbert-Elliott:*

- a) Estado 0 es un estado de pocas pérdidas con una probabilidad de pérdida independiente P_{e0} .
- b) Estado 1 es un estado de muchas pérdidas con una probabilidad de pérdidas independiente P_{e1} .

A menudo se supone que el estado *de muchas pérdidas* del modelo Gilbert corresponde a un estado "de pérdida", es decir, que la probabilidad de pérdida de paquetes en el estado 1 es 1, pero es *incorrecto* (sería más adecuado decir que se trata de un modelo Markov de 2 estados). Esto lleva al análisis de las ráfagas de pérdidas de paquetes en términos únicamente de pérdida consecutiva, con lo que se pierde el efecto de periodos más largos de gran densidad de pérdidas. Como se muestra en [14], estos periodos largos de gran densidad de pérdidas pueden tener un efecto significativo en los servicios de voz sobre IP.

Por ejemplo, considérese el siguiente ejemplo:

Patrón de pérdida 0000011001010101101100000000000000000000

Aplicación correcta del modelo Gilbert – longitud de ráfaga 15, densidad de ráfaga 60%

Aplicación incorrecta del modelo Gilbert – longitud media de ráfaga 1,5 paquetes

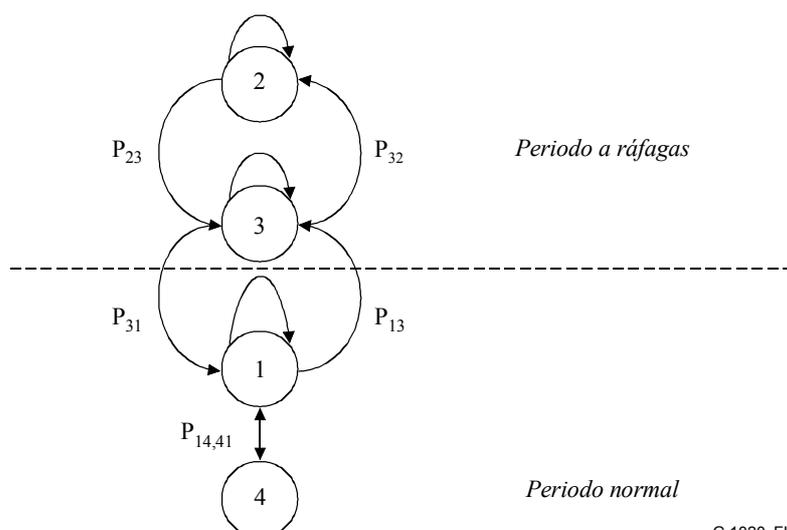
Se dan más ejemplos en [21].

1.2.4 Modelos de Markov

El modelo Markov es un modelo multiestado general en que un sistema pasa de los estados i a j con una cierta probabilidad de transición $p(i, j)$.

El modelo Markov de 2 estados tiene algunas ventajas, puesto que es capaz de detectar dependencias a muy corto plazo entre los paquetes perdidos, es decir, pérdidas consecutivas [1], [4], [15] y [19]. Se trata de eventos de duración generalmente muy corta (pongamos 1-3 paquetes en longitud), pero fallos ocasionales del enlace pueden provocar secuencias de pérdida muy largas, que se extienden a decenas de segundos [5].

Combinando el modelo de 2 estados con el modelo Gilbert-Elliott, es posible detectar tanto los eventos de pérdida consecutiva de muy corta duración como los eventos de densidad más baja más duraderos.



G.1020_F11

Figura I.1/G.1020 – Modelo Markov de 4 estados

Este modelo Markov de 4 estados [7] y [12] representa periodos *de ráfaga*, durante los cuales los paquetes se reciben y pierden de acuerdo con un primer modelo de 2 estados, y otros periodos *normales* durante los cuales los paquetes se reciben y pierden de acuerdo con un segundo modelo de 2 estados. Los estados se definen de la siguiente manera:

- Estado 1 – paquete recibido con éxito.
- Estado 2 – paquete recibido dentro de una ráfaga.
- Estado 3 – paquete perdido dentro de una ráfaga.
- Estado 4 – paquete aislado perdido dentro de un periodo normal.

Por ejemplo, si se utiliza el patrón de pérdidas siguiente:

Patrón de pérdidas 00000110010101011011000000000000000000000001000000000

Estado 11111332232323233111111111111111111111111111411111111

Suele definirse un estado normal con respecto a algunos criterios, por ejemplo, una velocidad de pérdida inferior a un límite establecido o un número consecutivo de paquetes recibidos. Una definición adecuada sería que una ráfaga debe ser una secuencia más larga que empieza y termina con una pérdida durante la cual el número consecutivo de paquetes recibidos es inferior a un valor G_{min} (un valor adecuado para G_{min} para su utilización en los servicios de voz sobre IP se acercaría a 16, mientras que para los servicios de vídeo, sería preferente un valor superior, de 64 ó 128).

I.3 Ejemplo de traza de paquetes

Los dos gráficos que se muestran a continuación se han obtenido a partir del análisis de un ejemplo de traza IP. El primer gráfico muestra un diagrama de dispersión de la longitud de ráfaga como función del peso de ráfaga (modelo Gilbert). *Longitud de ráfaga* es la distancia entre el primer y el último paquete perdido dentro de una ráfaga y el *peso de la ráfaga* es el número de paquetes perdidos durante la ráfaga. Puede verse claramente que se dan ráfagas de hasta 100 paquetes de longitud con una densidad de pérdida típica de entre 20-25%.

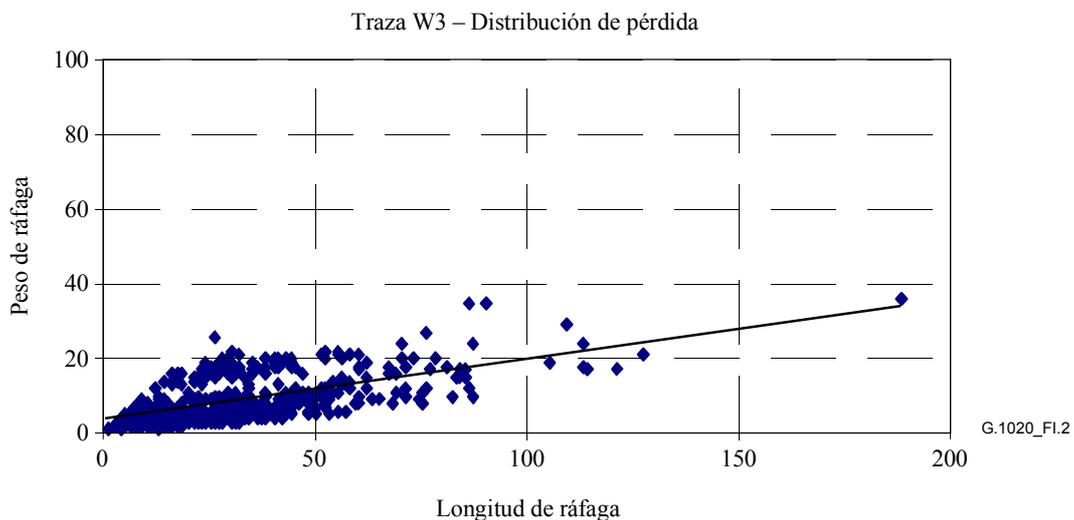


Figura I.2/G.1020 – Diagrama de dispersión de traza W3 de longitud de ráfaga y peso de ráfaga de pérdida de paquetes

El segundo gráfico muestra un diagrama de dispersión de la longitud de ráfaga y del peso de ráfaga de pérdidas y descartes, suponiéndose que el tamaño de la memoria intermedia de defluctuación fija es de 50 ms. Aquí se muestra un número mucho mayor de ráfagas que indica que la fluctuación ha

resultado ser un problema significativo en esta traza. La densidad de ráfaga se extiende hasta 500 paquetes y la densidad de ráfaga media se aproxima al 30%.

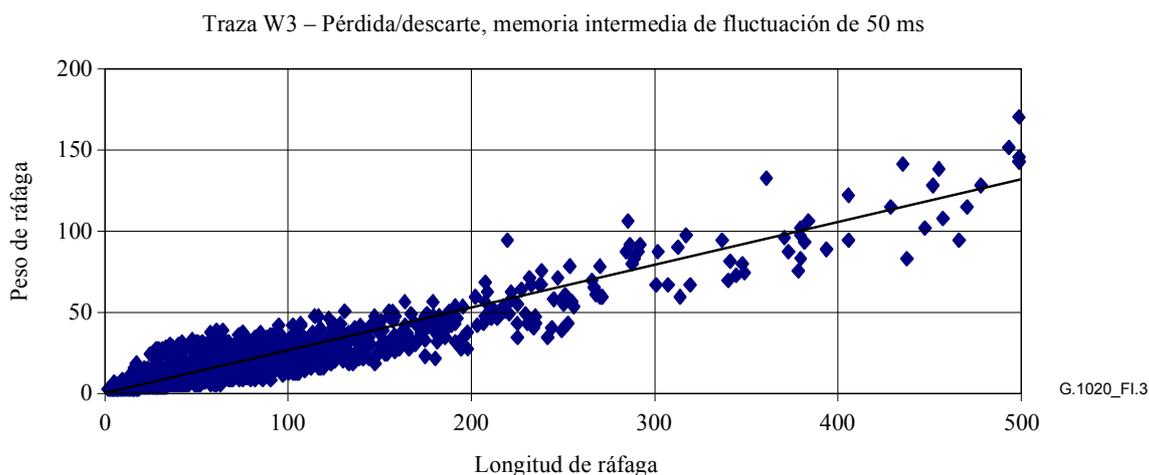


Figura I.3/G.1020 – Diagrama de dispersión de traza W3 de longitud de ráfaga y peso de ráfaga de pérdida de paquetes y descarte de paquetes (memoria intermedia de deflucción de 50 ms)

I.4 Bibliografía

- [1] ALTMAN (E.), AVRACHENKOV (K.), BARAKAT (C.): TCP in the Presence of Bursty Losses, *Performance Evaluation* 42, pp. 129-147, 2000.
- [2] BERGER (J.M.), MANDELBROT (B.): A New Model for Error Clustering in Telephone Circuits, *IBM J R&D*, julio de 1963.
- [3] BLANK (H.A), TRAFTON (P.J.): A Markov Error Channel Model, *Proc. Nat Telecomm Conference*, 1973.
- [4] BOLOT (J.C.), VEGA GARCIA (A.): The case for FEC based error control for packet audio in the Internet, *ACM Multimedia Systems*, 1997.
- [5] BOUTREMANS (C.), IANNACCONE (G.), DIOT (C.): Impact of Link Failures on VoIP Performance, *Sprint Labs Technical Report IC/2002/015*.
- [6] CAIN (J.B.), SIMPSON (R.S.): The Distribution of Burst Lengths on a Gilbert Channel, *IEEE Trans IT*, 15 de septiembre de 1969.
- [7] CLARK (A.): Modelling the effects of burst packet loss and recency on subjective voice quality, *IPtel 2001 workshop*.
- [8] DRAJIC (D.), VUCETIC (B.): Evaluation of Hybrid Error Control Systems, *IEE Proc. F*. Vol. 131, abril de 1984.
- [9] EBERT (J-P.), WILLIG (A.): A Gilbert-Elliott Model and the Efficient Use in Packet Level Simulation, *TKN Technical Report 99-002*.
- [10] ELLIOTT (E.O.): Estimates of Error Rates for Codes on Burst Noise Channels, *BSTJ* 42, septiembre de 1963.
- [11] ELLIOTT (E.O.): A Model of the Switched Telephone Network for Data Communications, *BSTJ* 44, enero de 1965.
- [12] ETSI TIPHON TS 101 329-5 VI.1.2 (2002), *Annex E, QoS measurements for Voice over IP*.

- [13] GILBERT (E.N.): Capacity of a Burst Noise Channel, *BSTJ*, septiembre de 1960.
- [14] ITU-T SG 12 D.139, *Study of the relationship between instantaneous and overall subjective speech quality for time-varying quality speech sequences*, France Telecom.
- [15] JIANG (W.), SCHULZRINNE (H.): Modelling of Packet Loss and Delay and their effect on Real Time Multimedia Service Quality, *NOSSDAV*, 2000.
- [16] LEWIS (P.), COX (D.): A Statistical Analysis of Telephone Circuit Error Data, *IEEE Trans COM-14*, 1966.
- [17] MERTZ (P.): Statistics of Hyperbolic Error Distributions in Data Transmission, *IRE Trans CS-9*, diciembre de 1961.
- [18] SANNECK (H.), CARLE (G.): A Framework Model for Packet Loss Metrics Based on Loss Runlengths, *Proc. ACM MMCN*, enero de 2000.
- [19] YAJNIK (M.), MOON (S.), KUROSE (J.), TOWSLEY (D.): Measuring and Modelling of the Temporal Dependence in Packet Loss, *UMASS CMPSCI Tech. Report 98-78*.
- [20] ITU-T SG 12, Delayed Contribution D.22, *A framework for setting packet loss objectives for VoIP*, AT&T, octubre de 2001.
- [21] ITU-T SG 12, Delayed Contribution D.97, *Packet Loss Distributions and Packet Loss Models*, Telchemy, enero de 2003.

Apéndice II

Simulación de memoria intermedia de defluctuación adaptativa

El presente ejemplo de simulación de memoria intermedia de defluctuación funciona localizando el retardo mínimo a corto plazo y utilizándolo para situar una ventana temporal equivalente al tamaño de la memoria intermedia de defluctuación. El tiempo de llegada real del paquete se compara con la ventana temporal para determinar si el paquete ha de descartarse o acomodarse.

El resultado de esta simulación de memoria intermedia de defluctuación es un evento de pérdida/descarte de paquete asociado con el cómputo de número de buenos paquetes (es decir, ni perdidos ni descartados), que es en lo que se basa el modelo de distribución de pérdida de paquetes.

El algoritmo de simulación de memoria intermedia de defluctuación determina la variación del retardo de cada paquete RTP entrante, basándose en la indicación de tiempo/número de secuencia RTP y en un reloj local. Es preferible utilizar este enfoque para medir la variación del retardo paquete a paquete puesto que:

- i) trata los paquetes fuera de rango sin que tengan que entrar en la memoria intermedia, lo que reduce la complejidad del cómputo;
- ii) es capaz de detectar variaciones del retardo a medio y largo plazo, debidas a la congestión, cambios de ruta o derivas de temporización.

El simulador de memoria intermedia de defluctuación funciona de la siguiente manera:

Se utiliza el primer paquete RTP entrante como punto de referencia inicial con la indicación de tiempo RTP R_{ref} .

Se establece Nominal igual al retardo de los paquetes que llegan a tiempo (parámetro de configuración).

Se establece Retardo Máximo igual al número de paquetes multiplicado por el tamaño del paquete (parámetro de configuración).

Se define Ventana temprana = Máximo – Nominal.

Se define Ventana tardía = Nominal.

Para cada uno de los paquetes RTP asociados con un tren que atraviesa el punto de supervisión:

Se asocia una indicación de tiempo local L con el tiempo de llegada del paquete RTP

Se identifica la indicación de tiempo RTP R del paquete

Se estima el tiempo de llegada previsto del paquete RTP basándose en el paquete RTP de referencia utilizando la fórmula $L_{expected} = L_{ref} + (R - R_{ref})$

Se estima la variación del retardo del paquete RTP como $D = L - L_{expected}$

Si $D < \text{ventana temprana}$,

se marca el paquete como descartado

se reconfigura el punto de referencia en este paquete

Si $D > \text{ventana tardía}$,

se marca el paquete como descartado

Si el paquete es una duplicación de un paquete ya recibido, se descarta sin tenerlo en cuenta

Se mantiene una ventana deslizante de 32 paquetes, ordenados por el número de secuencia, marcados por defecto como perdidos. Los paquetes marcados en esta ventana se acomodan o descartan.

Al final de la ventana, se identifican los paquetes como perdidos/descartados o acomodados

La ventana temprana/tardía puede ajustarse dinámicamente para adaptarse al comportamiento de la memoria intermedia de defluctuación adaptativa.

Algoritmo de adaptación:

Se define el umbral T1 igual a la tasa más baja inaceptable de descartes (parámetro configurable)

Se define el umbral T2 igual al periodo entre ajustes a la baja del tamaño de la memoria intermedia de defluctuación (en paquetes, parámetro configurable)

Se mantiene una media constante de descartes tardíos C1, con un factor de escala S (típico 15)

$C1 = (C1 \times (S - 1) + D) / S$ donde D es 1, si el paquete es descartado, y 0 si no lo es.

Se mantiene el cómputo de paquetes recibidos desde el último descarte tardío C2

si C1 sobrepasa el umbral T1, y la memoria intermedia es inferior al máximo, se aumenta el tamaño de la memoria intermedia y se reconfigura C1

si C2 supera el umbral T2, y la memoria es superior al mínimo, se reduce el tamaño de la memoria intermedia y se reconfigura C2.

El valor máximo de la ventana temporal, o la longitud máxima de la memoria intermedia de defluctuación, deben especificarse para que el simulador no pueda ampliar la memoria intermedia hasta valores extremos que no serían posibles en la práctica.

Apéndice III

Bibliografía

- [B-1] RFC 3550, RTP (2003), *A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
- [B-2] RFC 2330 (1998), *Framework for IP Performance Metrics*.
- [B-3] RFC 2678 (1999), *IPPM Metrics for Measuring Connectivity*.
- [B-4] RFC 2679 (1999), *A One-way Delay Metric for IPPM*.
- [B-5] RFC 2680 (1999), *A One-way Packet Loss Metric for IPPM*.
- [B-6] RFC 2681 (1999), *A Round-trip Delay Metric for IPPM*.
- [B-7] RFC 3357 (2002), *One-way Loss Pattern Sample Metrics*.
- [B-8] RFC 3393 (2002), *IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics IPPM*.
- [B-9] RFC 3432 (2002), *Network performance measurement for periodic streams*.
- [B-10] RFC 3611 (2003), *RTP Control Protocol Extended Reports (RTPC XR)*.
- [B-11] ETSI TS 101 329-5 V1.1.2 (2002), *TIPHON release 3, End-to-End Quality of Service in TIPHON Systems, Part 5 Quality of Service (QoS) Measurement Methodologies*.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación