Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.722

Apéndice IV

(11/2006)

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

Equipos terminales digitales – Codificación de señales analógicas mediante métodos diferentes de la MIC

Codificación de audio de 7 kHz dentro de 64 kbit/s

Apéndice IV: Algoritmo de baja complejidad para ocultar la pérdida de paquetes mediante G.722

Recomendación UIT-T G.722 – Apéndice IV

Unión Internacional de Telecomunicaciones

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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
Generalidades	G.700–G.709
Codificación de señales analógicas mediante modulación por impulsos codificados (MIC)	G.710–G.719
Codificación de señales analógicas mediante métodos diferentes de la MIC	**G.720–G.729**
Características principales de los equipos múltiplex primarios	G.730–G.739
Características principales de los equipos múltiplex de segundo orden	G.740–G.749
Características principales de los equipos múltiplex de orden superior	G.750–G.759
Características principales de los transcodificadores y de los equipos de multiplicación de circuitos digitales	G.760–G.769
Características de operación, administración y mantenimiento de los equipos de transmisión	G.770–G.779
Características principales de los equipos múltiplex de la jerarquía digital síncrona	G.780–G.789
Otros equipos terminales	G.790–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
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

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

Recomendación UIT-T G.722

Codificación de audio de 7 kHz dentro de 64 kbit/s

Apéndice IV

Algoritmo de baja complejidad para ocultar la pérdida de paquetes mediante G.722

Resumen

Los algoritmos de ocultamiento de pérdida de paquetes (PLC), denominados también algoritmos de ocultamiento de supresión o borradura de tramas, encubren las pérdidas de transmisión de los sistemas de audio. En estos sistemas la señal de entrada se codifica y se organiza en paquetes que se transmiten por una red, se reciben y se decodifican antes de su interpretación. La mayoría de los codificadores vocales basados en la norma de predicción lineal con excitación por código (CELP) contienen algoritmos PLC. El algoritmo que se describe aqui constituye un método para [UIT-T G.722].

El decodificador consta de tres etapas: decodificación de la banda inferior, decodificación de la banda superior y síntesis del filtro espejo en cuadratura (FEC/QMF). Cuando no hay tramas borradas, la estructura del decodificador es idéntica a la que se especifica en G.722, salvo por el almacenamiento de las dos señales decodificadas de las bandas superior e inferior. Cuando hay tramas borradas, el decodificador recibe la comunicación correspondiente mediante la señalización de indicación de trama dañada (BFI). A continuación el decodificador lleva a cabo un análisis de la señal reconstruida de la banda inferior anterior y extrapola la señal faltante aplicando codificación predictiva lineal (LPC), repetición del periodo de una forma síncrona con marcas de pitch (altura del tono) y silenciamiento adaptable. Cuando se recibe una trama en buen estado la señal decodificada se traslapa brevemente con la señal extrapolada. En la banda superior el decodificador repite la trama anterior de una forma síncrona con marcas de pitch, con silenciamiento adaptable y posprocesamiento de paso alto. Los estados de la modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa (MICDA) se actualizan tras cada acción de borradura de trama.

El algoritmo PLC que se describe en este apéndice cumple con requisitos idénticos de calidad del mismo algoritmo que se define en el apéndice III de [UIT-T G.722] con una complejidad menor. Casi no se añade complejidad adicional en comparación con la decodificación normal G.722 (la complejidad adicional en el caso más desfavorable es 0,07 WMOPS). En el apéndice III se presenta un equilibrio alternativo entre la calidad y la complejidad.

Orígenes

El apéndice IV a la Recomendación UIT-T G.722 fue aceptado el 24 de noviembre de 2006 por la Comisión de Estudio 16 (2005-2008) del UIT-T.

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 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 en la dirección http://www.itu.int/ITU-T/ipr/.

© UIT 2007

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

Apéndice IV – Algoritmo de baja complejidad para ocultar la pérdida de paquetes mediante G.722 1
IV.1 Alcance 1
IV.2 Referencias 1
IV.3 Abreviaturas, siglas o acrónimos 2
IV.4 Notaciones y convenios 2
IV.5 Descripción general del algoritmo G.722 PLC 3
IV.6 Descripción funcional del algoritmo G.722 PLC 5
IV.7 Descripción exacta en bits del algoritmo G.722 PLC 17

Recomendación UIT-T G.722

Codificación de audio de 7 kHz dentro de 64 kbit/s

Apéndice IV

Algoritmo de baja complejidad para ocultar la pérdida de paquetes mediante G.722

IV.1 Alcance

En este apéndice se describe un algoritmo de ocultamiento de pérdida de paquetes (PLC, *packet loss concealment*) de baja complejidad que puede ser aplicado por el decodificador de audio G.722 para limitar la degradación de la calidad vocal cuando se presenta una pérdida de paquetes. El análisis estadístico de los resultados de la prueba de selección de G.722 PLC ha demostrado que este apéndice satisface los mismos requisitos de calidad del apéndice III. Lo anterior se logra con muy poca complejidad adicional en comparación con la decodificación normal G.722 (0.07 WMOPS), pero con menor calidad que en el apéndice III. Por consiguiente, este algoritmo es útil para aplicaciones que pueden encontrar supresión de tramas o pérdidas de paquetes centrándose particularmente en las aplicaciones que tienen una rigurosa restricción de complejidad y en los dispositivos de precio módico. Algunos ejemplos de este tipo de aplicaciones son: telecomunicaciones inalámbricas digitales mejoradas (DECT, *digital enhanced cordless telecommunications*) de próxima generación y la transmisión de la voz por el protocolo Internet (VoIP).

Las referencias, siglas y notaciones que se utilizan en esta Recomendación se definen en las cláusulas IV.2, IV.3 y IV.4, respectivamente. En la cláusula IV.5 se presenta una descripción general del algoritmo y se incluye la información relativa al retardo y a la complejidad. La cláusula IV.6 contiene la descripción funcional detallada del algoritmo. Por último, la cláusula IV.7 está dedicada a la información concerniente a los programas informáticos de simulación.

IV.2 Referencias

[UIT-T G.191 Ane.A] Recomendación UIT-T G.191 (2005), *Herramientas de soporte lógico para la normalización de la codificación de señales vocales y de audio*. Anexo A: *Lista de herramientas de soporte lógico disponibles*.

[UIT-T G.192] Recomendación UIT-T G.192 (1996), *Interfaz paralela digital común para las actividades de normalización de señales vocales*.

[UIT-T G.722] Recomendación UIT-T G.722 (1988), *Codificación de audio de 7 kHz dentro de 64 kbit/s*.

[UIT-T G.729] Recomendación UIT-T G.729 (2007), *Codificación de la voz a 8 kbit/s mediante predicción lineal con excitación por código algebraico de estructura conjugada*.

IV.3 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En este apéndice se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

CC Corriente continua

FIR Respuesta de impulsos finitos (*finite impulse response*)

HB Banda superior (*higher band*)

HPF Filtro paso alto (*high pass filter*)

IIR Respuesta a impulsos infinitos (*infinite-impulse response*)

LB Banda inferior (*lower band*)

LP Predicción lineal (*linear prediction*)

LPC Codificación predictiva lineal (*linear predictive coding*)

LSB Bit menos significativo (*least significant bit*)

LTP Predicción a largo plazo (*long-term prediction*)

MSB Bit más significativo (*most significant bit*)

PLC Ocultamiento de pérdida de paquetes (*packet loss concealment*)

QMF Banco de filtros espejo en cuadratura (*quadrature mirror filter*)

WB Banda ancha (*wideband*)

WMOPS Millones de operaciones por segundo ponderadas (*weighted million operations per second*)

IV.4 Notaciones y convenios

En todo este apéndice los términos "*trama"* y "*paquete"* se consideran equivalentes.

Asimismo, se reutilizan las notaciones de [UIT-T G.722]. A continuación se presentan los pormenores de los convenios relativos a las notaciones:

– Cada trama consta de dos muestras $2L$ a 16 kHz, donde $L = 80$ para las tramas de 10 ms y 160 para las de 20 ms.

– Las señales en el dominio del tiempo se denotan por su símbolo y por un índice de muestra [por ejemplo, $y(n)$]. El símbolo n se emplea como índice de muestra.

– Por convenio, en el caso de las señales que se muestrean a 8 kHz, la trama corresponde a $n = 0,..., L – 1$. Las muestras con un índice $n < 0$ son muestras anteriores, y aquellas con un índice $n \geq L$ son muestras futuras.

Cuadro IV.1 – Lista de símbolos

Tipo	Nombre	Descripción
Filtros	$A(z)$	Filtro LPC de 8º orden
	$B(z)$	Filtro LPC de 2º orden
	$H_{pre}(z)$	Filtro paso alto de banda inferior
	$H_{post}(z)$	Filtro paso alto de banda superior
	$H_{dec}(z)$	Filtro de reducción 4:1
Señales	$x_l(n)$	Salida del decodificador MICDA de banda inferior
	$y_l(n)$	Señal extrapolada de banda inferior
	$z_l(n)$	Reconstrucción de banda inferior
	$x_h(n)$	Salida del decodificador MICDA de banda superior
	$y_h(n)$	Señal extrapolada de banda superior
	$z_h(n)$	Reconstrucción de banda superior
	$e(n)$	Señal residual LP de banda inferior
Parámetros	a_i	Coeficientes LP de banda inferior
	T_0	Retardo de la marca pitch en la banda inferior
	g_mute_lb	Factor de silenciamiento en la banda inferior
	g_mute_hb	Factor de silenciamiento en la banda superior

IV.5 Descripción general del algoritmo G.722 PLC

El algoritmo G.722 PLC propuesto está integrado en el decodificador G.722 normalizado. Cabe hacer notar que el codificador G.722 no sufre ningún cambio (es idéntico a la cláusula 3 de [UIT-T G.722]).

IV.5.1 Decodificador G.722 modificado

Este decodificador se ilustra en la figura IV.1. La decodificación se realiza en dos subbandas que se combinan mediante el banco de filtros de síntesis de QMF. Si se compara con G.722, este decodificador incluye un mecanismo que permite ocultar las supresiones de tramas, y que corresponde a los bloques resaltados (sombreados en gris).

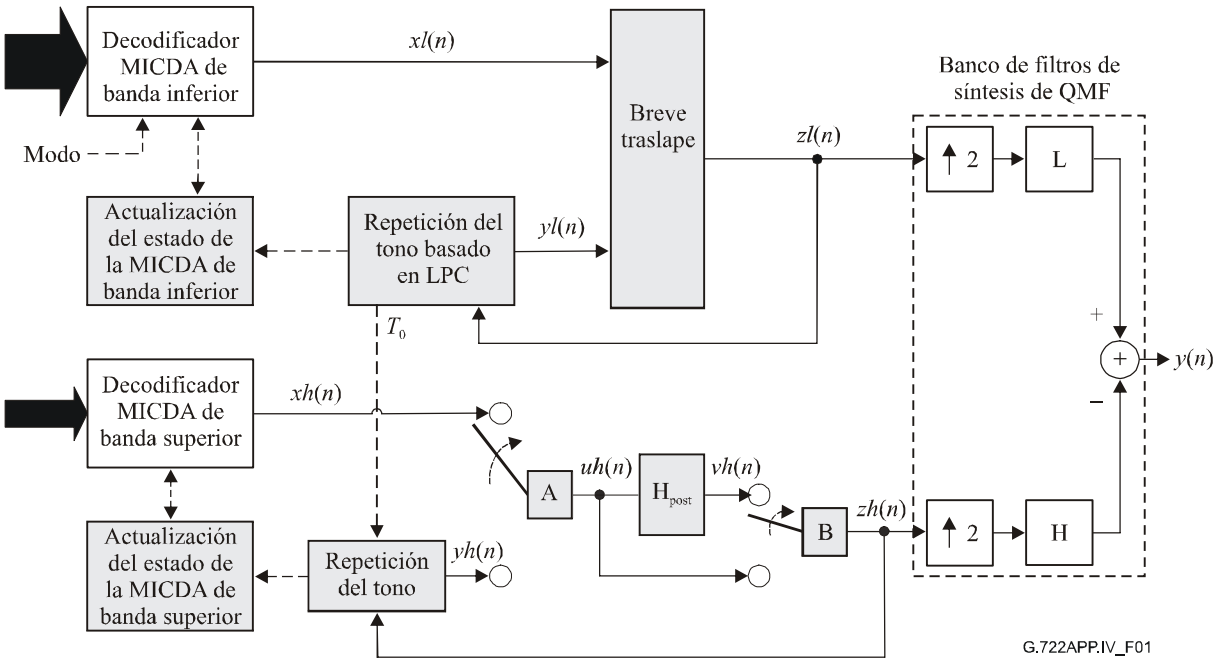


Figura IV.1 – Diagrama a bloques del decodificador G.722 con PLC (los bloques resaltados corresponden al algoritmo PLC)

El decodificador G.722 modificado genera una señal de salida que se muestrea a 16 kHz y se divide en tramas de 10 ó 20 ms. Su comportamiento depende del tipo de las tramas actual y anterior (ya sea que se trate de una trama en buen estado o dañada):

– Sin supresiones de tramas (es decir, sólo en presencia de tramas en buen estado):

  • El tren binario de la banda inferior (LB) se decodifica según el modo especificado (1, 2 ó 3 que indica 64, 56 ó 48 kbit/s, respectivamente). El bloque de traslape breve no modifica la señal reconstruida, es decir, $zl(n) = xl(n)$; de manera similar, se decodifica el tren binario de la banda superior (HB). Los conmutadores A y B seleccionan $uh(n) = xh(n)$ y $zh(n) = uh(n) = xh(n)$, respectivamente. La reconstrucción de la banda ancha $y(n)$ se obtiene de la misma manera que en G.722 a partir del banco de filtros de síntesis QMF. Las señales decodificadas $zl(n)$ y $zh(n)$ se almacenan para que puedan ser utilizadas en caso de que se supriman tramas en el futuro.

– En caso de supresión o borradura de trama:

  • En la banda inferior, para la primera trama borrada, se computan un predictor de corto plazo y otro de largo plazo a partir de la señal válida anterior $zl(n)$, $n < 0$. Además, se extrae información de la clase A. La señal $yl(n)$ se genera gracias a los predictores y a la información de la clase. La señal de la trama borrada se reconstruye como $zl(n) = yl(n)$, $n = 0,..., L – 1$. Además, se actualizan los estados de la MICDA. El proceso de reconstrucción de la trama suprimida y la actualización de los estados de la MICDA se repiten hasta que se recibe una trama en buen estado. Obsérvese que no sólo se genera la trama faltante, sino que además se produce un tiempo adicional de 10 ms de la señal, $yl(n)$, $n = L,..., L + 79$, que se utilizará para el traslape breve. Cuando se recibe una trama en buen estado, la señal reconstruida por el decodificador MICDA, $xl(n)$, $n = 0,..., L – 1$ y la señal extrapolada, $yl(n)$, $n = 0,..., L – 1$, se traslapan brevemente. Esta superposición se aplica sólo durante los primeros 10 ms a continuación de la última supresión.

- En la banda superior, la trama faltante se extrapola utilizando la señal anterior, $zh(n)$, $n < 0$, y se actualizan los estados de la MICDA. La señal extrapolada $yh(n)$ se obtiene repitiendo la trama anterior de $zh(n)$ de una forma síncrona con marcas de pitch. El conmutador "A" selecciona $uh(n) = yh(n)$, $n = 0,..., L – 1$. La señal $uh(n)$ pasa por un filtro paso alto H_{post} al que se le ha suprimido la CC para obtener $vh(n)$. El conmutador "B" selecciona $zh(n) = vh(n)$, $n = 0,..., L – 1$. Este proceso se repite hasta que se recibe una trama en buen estado, y cuando esto sucede, el conmutador "A" selecciona la salida del decodificador MICDA: $uh(n) = xh(n)$, $n = 0,..., L – 1$. Durante los primeros 4 s a continuación de la última supresión, el conmutador "B" selecciona: $zh(n) = vh(n)$, $n = 0,..., L – 1$; y tras 4 s, el conmutador "B" selecciona: $zh(n) = uh(n)$, $n = 0,..., L – 1$.

IV.5.2 Retardo y complejidad

El algoritmo G.722 PLC funciona sin retardo suplementario.

La complejidad computacional y el requisito de almacenamiento se resumen en el cuadro IV.2.

Cuadro IV.2 – Cifras relativas a la complejidad del algoritmo G.722 PLC

a) Complejidad en WMOPS en el caso más desfavorable observado, basada en STL2005 (las cifras entre paréntesis representan WMOPS adicionales en comparación con la decodificación de G.722).

Longitud de trama	10 ms	20 ms
Decodificación de G.722 (sin PLC)	3,11	3,10
G.722 con PLC	3,18 [0,07]	3,15 [0,05]

b) Requisitos de memoria (las cifras entre paréntesis representan la máxima complejidad adicional en comparación con el decodificador de G.722).

Longitud de trama	**Memoria RAM estática (en kpalabras de 16-bits)**	**Memoria RAM tipo scratch (notas) (en kpalabras de 16 bits)**	**RAM total**	**ROM programable (número de operaciones básicas y llamadas de función)**	**ROM de datos (en kpalabras de 16-bits)**
10 ms	967 [863]	692 [452]	1659 [1315]	1061 [615]	882 [109]
20 ms		963 [452]	1899 [1315]		

Cuando se compara con el decodificador de referencia G.722, el algoritmo PLC introduce una complejidad adicional para el caso más desfavorable de 0,07 WMOPS. Obsérvese que la cresta de complejidad se produce en la primera trama válida tras una supresión.

IV.6 Descripción funcional del algoritmo G.722 PLC

IV.6.1 Decodificación de la banda inferior

IV.6.1.1 Decodificador MICDA en el caso de una trama en buen estado

Idéntico a las cláusulas 4.1, 4.2 y 4.3 de [UIT-T G.722].

Además, se reinician el contador *cnt_mute_lb* y el factor de silenciamiento *g_mute_lb* (véase la cláusula IV.6.1.2.7) para silenciamiento adaptable:

$$cnt_mute_lb = 0$$

$$g_mute_lb = 1$$

y la señal $zl(n)$ se almacena para que pueda ser utilizada en caso de que se borren tramas en el futuro.

IV.6.1.2 Extrapolación de la trama faltante: caso de una trama dañada a continuación de una trama en buen estado

En la figura IV.2 se ilustra la extrapolación de la trama faltante en la banda inferior. Incluye un análisis de la señal válida anterior $zl(n)$, $n < 0$, y una síntesis de la señal $yh(n)$, $n = 0,..., L – 1$. La trama faltante en la banda inferior corresponde a $xl(n)$, $n = 0,..., L – 1$, donde $L = 80$ para las tramas de 10 ms y $L = 160$ para las de 20 ms.

La señal anterior $zl(n)$, $n = –297,...,–1$, se almacena en la memoria intermedia con una longitud de memoria de 297 muestras, que puede dividirse de la siguiente manera:

– 288 muestras corresponden a dos veces el máximo retardo de la marca pitch (2 × 144) que se aplica en el algoritmo PLC;

– una muestra para la fluctuación de fase de pitch (tono); y

– ocho muestras para la memoria LPC.

Esta longitud de memoria hace posible almacenar los dos últimos periodos de la marca pitch de la reconstrucción de la banda inferior.

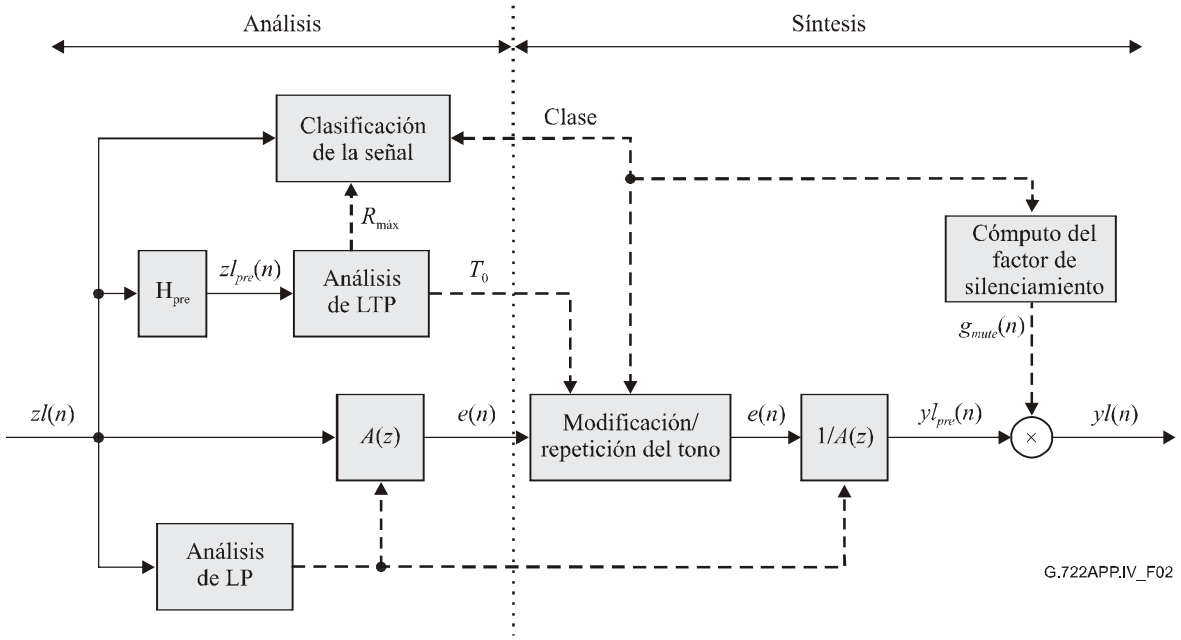


Figura IV.2 – Diagrama a bloques de la extrapolación de la trama faltante en la banda inferior

IV.6.1.2.1 Análisis de la predicción lineal (LP)

El análisis de corto plazo y los filtros de síntesis, $A(z)$ y $1/A(z)$, se basan en filtros de predicción lineal de 8º orden. El filtro de análisis de LP se define como:

$$A(z) = 1 + a_1\, z^{-1} + a_2\, z^{-2} + \cdots + a_8\, z^{-8} \qquad \text{(IV-1)}$$

El análisis de LP consta de dos partes: el cómputo de la información en la estructura de ventanas (windowing) y de la autocorrelación, y el algoritmo de Levinson-Durbin. El cómputo de la autocorrelación – incluida una ampliación de 60 Hz de anchura de banda y 40 dB de corrección de ruido blanco – es idéntico al que se define en la cláusula 3.2.1 de [UIT-T G.729], con una sola

diferencia. En esta Recomendación la ventana de LP es una ventana Hamming asimétrica que se define como:

$$w_{lp}(n) = \begin{cases} 0{,}54 - 0{,}46\cos\left(\dfrac{(n+80)\pi}{69}\right), & n = -80,\cdots,-11 \\ 0{,}54 + 0{,}46\cos\left(\dfrac{(n+11)\pi}{10}\right), & n = -10,\cdots,-1 \end{cases} \quad \text{(IV-2)}$$

Esta ventana $w_{lp}(n)$, que está limitada a 80 muestras (10 ms a una frecuencia de muestreo de 8 kHz) para reducir la complejidad, se aplica a los últimos 10 ms de $zl(n)$, $n = -80,...,-1$. El algoritmo de Levinson-Durbin es idéntico al de la cláusula 3.2.2 de [UIT-T G.729].

Tras el análisis de LP, la señal anterior $zl(n)$, $n = -289,...,-1$, se filtra a través de $A(z)$ a fin de obtener la señal residual $e(n)$, $n = -289,...,-1$:

$$e(n) = zl(n) + \sum_{i=1}^{8} a_i \; zl(n-i) \quad \text{(IV-3)}$$

IV.6.1.2.2 Preprocesamiento

Se utiliza un filtro paso alto como precaución contra componentes de baja frecuencia no deseables. Se emplea un filtro polo/cero de primer orden con una frecuencia de corte de 50 Hz. El filtro se obtiene mediante:

$$H_{pre}(z) = \frac{1 - z^{-1}}{1 - \dfrac{123}{128} z^{-1}} \quad \text{(IV-4)}$$

La señal anterior $zl(n)$, $n = -288,...,-1$, se filtra mediante $H_{pre}(z)$ para obtener la señal preprocesada $zl_{pre}(n)$, $n = -288,...,-1$.

IV.6.1.2.3 Análisis de LTP

El algoritmo PLC aplica la repetición del periodo de la marca pitch. El periodo o retardo pitch, T_0 se determina en la señal preprocesada válida anterior justo antes de la borradura, $zl_{pre}(n)$, $n = -288,...,-1$. T_0 se calcula con el bucle abierto a través de un análisis predictivo de largo plazo (LTP).

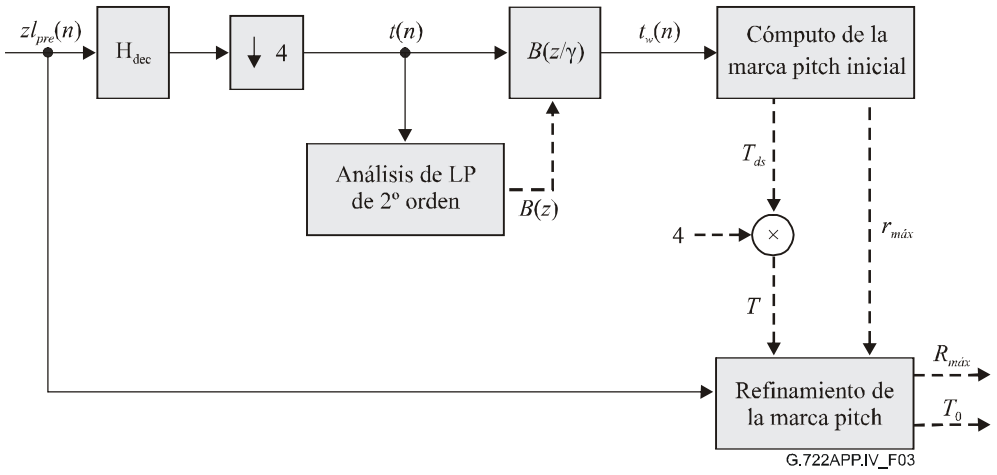


Figura IV.3 – Diagrama a bloques del análisis de LTP

El cómputo de la marca pitch que se ilustra en la figura IV.3 se realiza mediante los siguientes pasos:

– La señal $zl_{pre}(n)$, $n = –288,...,–1$, pasa a través de un filtro paso bajo $H_{dec}(z)$, donde

$$H_{dec}(z) = \frac{3692(1+z^{-8}) + 6190(z^{-1}+z^{-7}) + 8525(z^{-2}+z^{-6}) + 10186(z^{-3}+z^{-5}) + 10787z^{-4}}{65536} \quad \text{(IV-5)}$$

representa un filtro FIR de 8º orden, reducido por un factor 4 para obtener una señal $t(n)$, $n = –72,...,–1$, que se muestrea a 2 kHz. En cada ocasión se inicializan las memorias del filtro a 0.

– La señal $t(n)$, $n = –72,...,–1$, se pondera mediante un filtro $B(z/\gamma)$ donde $B(z) = 1 – b_1z^{-1} – b_2z^{-2}$y $\gamma = 0{,}94$ a fin de obtener la señal $t_w(n)$, $n = –72,...,–1$. Los coeficientes de $B(z)$ se obtienen mediante un análisis de LP de 2º orden de $t(n)$ aplicando el sistema de ventanas (windowing), la computación de autocorrelación y el algoritmo Levinson-Durbin que se describió en el párrafo anterior. Cabe señalar que sólo se emplean las últimas 72 muestras de la ventana $w_{lp}(n)$, $n = –72,...,–1$, con lo que se consigue un soporte de tiempo de 36 ms a una frecuencia de muestreo de 2 kHz.

– En el dominio de la señal reducida y ponderada se computa una primera estimación T_{ds} del retardo de la marca pitch mediante transcorrelación normalizada de la siguiente manera:

a) Inicialización: $T_{ds} = 18$

b) Cómputo de la transcorrelación normalizada

$$r(i) = \frac{\sum_{j=-35}^{-1} t_w(j)\, t_w(j-i)}{\text{máx}\left(\sum_{j=-35}^{-1} t_w^2(j),\ \sum_{j=-35}^{-1} t_w^2(j-i) \right)},\ i = 1,\ldots,35 \quad \text{(IV-6)}$$

c) Determinación del primer retardo i_0 en [1, 35] de manera que $r(i) < 0$. Obsérvese que si $\min_{i=1,\cdots,35} r(i) \geq 0$, se omiten los pasos d) y e):

d) Determinación del límite inferior para encontrar la máxima correlación:

$$i_1 = \text{máx}(i_0, 4)$$

e) Búsqueda de la máxima correlación en [1, 35]

$$T_{ds} = \arg \max_{i=i_1,\cdots,35} r(i) \quad \text{(IV-7)}$$

Asimismo, se aplica un procedimiento que favorece los valores de pitch pequeños para evitar la elección de múltiplos de la marca pitch.

– A continuación se refina la primera estimación de retardo de la marca pitch T_{ds} en el dominio de la señal preprocesada a través de la búsqueda de la máxima transcorrelación en torno a $T = 4T_{ds}$ a fin de obtener T_0 de la siguiente manera:

$$T_0 = \arg \max_{i=T-2,\cdots,T+2} R(i) \quad \text{(IV-8)}$$

con:

$$R(i) = \frac{\sum_{j=-T}^{-1} zl_{pre}(j)\, zl_{pre}(j-i)}{\text{máx}\left(\sum_{j=-T}^{-1} zl_{pre}^2(j), \sum_{j=-T}^{-1} zl_{pre}^2(j-i) \right)} \qquad \text{(IV-9)}$$

– El valor $R_{máx}$ se computa como $R_{máx} = \mathrm{R}(T_0)$.

IV.6.1.2.4 Clasificación de la señal

La estrategia de PLC depende de las características de la señal para optimizar la calidad. Por ejemplo, si la trama que precede a una supresión de trama es un segmento no estacionario (por ejemplo, palabras oclusivas) la señal debería ser silenciada rápidamente; si la trama es un segmento estacionario (por ejemplo, alocución muy orientada a voz), puede repetirse de forma síncrona con las marcas de pitch y amortiguarse lentamente. La clasificación se emplea en el algoritmo PLC propuesto para la extrapolación residual de la LP y el control de silenciamiento.

La señal, $zl(n)$, $n = –288,...,–1$, que precede a la supresión de una trama se clasifica dentro de una de cinco posibles clases, que se definen a continuación:

– TRANSIENT (transiente) para las transientes con una gran variación de energía (por ejemplo, palabras oclusivas).

– UNVOICED (no vocalizada) para las señales no vocalizadas.

– VUV_TRANSITION que corresponde a una transición entre señales vocalizadas y no vocalizadas.

– WEAKLY_VOICED para las señales vocalizadas débilmente (por ejemplo, comienzo o compensación de vocales).

– VOICED (vocalizada) para las señales vocalizadas (por ejemplo, vocales continuas).

Las características utilizadas para la clasificación se enumeran a continuación:

– Correlación normalizada $R_{\text{máx}}$ que es un producto lateral del análisis LTP.

– Tasa de energía de subbanda que se obtiene en el dominio log tomando la diferencia entre los factores de escala NBH – NBL de la MICDA de las bandas inferior y superior mediante las notaciones de G.722. NBL – NBH se computan de conformidad con la cláusula 3.5 de [UIT-T G.722].

– Tasa de cruzamiento cero *zrc* de $zl(n)$, $n = –80,...,–1$ que se define como:

$$zcr = \sum_{n=-80}^{-1} \left[(zl(n) \le 0) \text{ AND } (zl(n-1) > 0) \right] \qquad \text{(IV-10)}$$

donde las comparaciones $\le$ and $>$ arrojan un resultado binario (1 para verdadero, 0 para falso) y "AND" es la operación de bits AND.

– Número *cnt_peak* de grandes crestas detectadas en el último periodo de las marcas pitch:

$$cnt_peak = \sum_{n=-T_0}^{-1} \left[\frac{|e(n)|}{4} > \max_{i=-2,..,2} \left(|e(n - T_0 + i)| \right) \right] \qquad \text{(IV-11)}$$

donde la comparación $>$ arroja un resultado binario (1 para verdadero, 0 para falso) y T_0 es el retardo de la marca pitch computado mediante el análisis de LTP. El contador, *cnt_peak*, representa el número de grandes crestas detectadas en el último periodo de las marcas pitch.

Basándose en estas características, la categoría de la señal, *class* (*clase*), se obtiene mediante capacidad heurística de conformidad con el diagrama de flujo de la figura IV.4. Cabe hacer notar que si *class* se fija a NO VOCALIZADA, el retardo de la marca pitch T_0 puede modificarse para evitar los artefactos debidos a valores pequeños de retardo de la marca pitch. Además, obsérvese que si *class* no es VOCALIZADA, y T_0 es impar, T_0 aumentará en 1. T_0, el denominado retardo de la marca pitch, determina el periodo de repetición que se emplea en el procedimiento de generación de la señal residual.

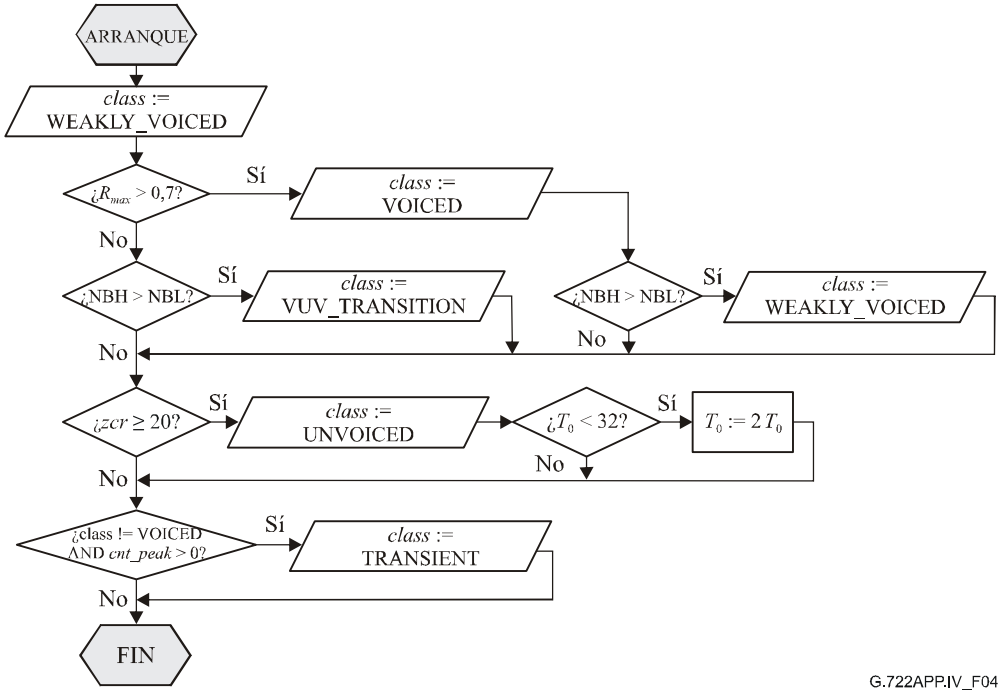


Figura IV.4 – Diagrama de flujo de la clasificación

IV.6.1.2.5 Modificación/repetición de la marca pitch de la LP residual

Se emplea un procedimiento de repetición de la marca pitch para calcular la LP residual $e(n)$, $n = 0,...,L-1$, en la trama faltante a partir de la señal residual del periodo de repetición. Como se mencionó antes, el periodo de repetición contiene las últimas muestras residuales T_0 válidas $e(n)$, $n = -T_0,...,-1$.

Modificación de la LP residual

Antes de ejecutar el procedimiento de repetición de las marcas pitch, se modifica el periodo de repetición si *class* no es VOICED (vocalizada). La modificación consiste en limitar la magnitud de cada muestra del periodo de repetición de la siguiente manera:

$$e(n) = \min\left(\max_{i=-2,\cdots,+2} \left(\left|e(n-T_0+i)\right| \right), \left|e(n)\right| \right) \times sign(e(n)), \quad n = -T_0,\cdots,-1 \qquad \text{(IV-12)}$$

donde:

$$sign(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ -1 & \text{si } x < 0 \end{cases} \qquad \text{(IV-13)}$$

Repetición de la marca pitch de la LP residual

La LP residual $e(n)$, $n = 0,...,L - 1$, en la trama faltante, se extrapola basándose en el resultado de la clasificación:

– Si *class* es VOICED, la señal faltante, $e(n)$, $n = 0,..., L - 1$, se obtiene reiterando el periodo de repetición de forma síncrona con las marcas de pitch:

$$e(n) = e(n - T_0) \tag{IV-14}$$

– Si *class* no es VOICED, se modifica el procedimiento de repetición de forma síncrona con las marcas de pitch para evitar la sobrevocalización introduciendo una pequeña fluctuación de fase por cada muestra mediante el siguiente método. Las muestras del periodo de repetición pueden considerarse agrupadas de dos en dos; por consiguiente, cada dos muestras que forman un grupo se intercambian y los grupos intercambiados se concatenan para formar la señal residual extrapolada. Si $T_0 < L$, esta última señal amplía el periodo de repetición y el procedimiento se repite. Con este procedimiento, la señal faltante, $e(n)$, $n = 0,..., L - 1$, se obtiene de la siguiente manera:

$$e(n) = e\left(n - T_0 + (-1)^n\right) \tag{IV-15}$$

Este procedimiento se ilustra en la figura VI.5.

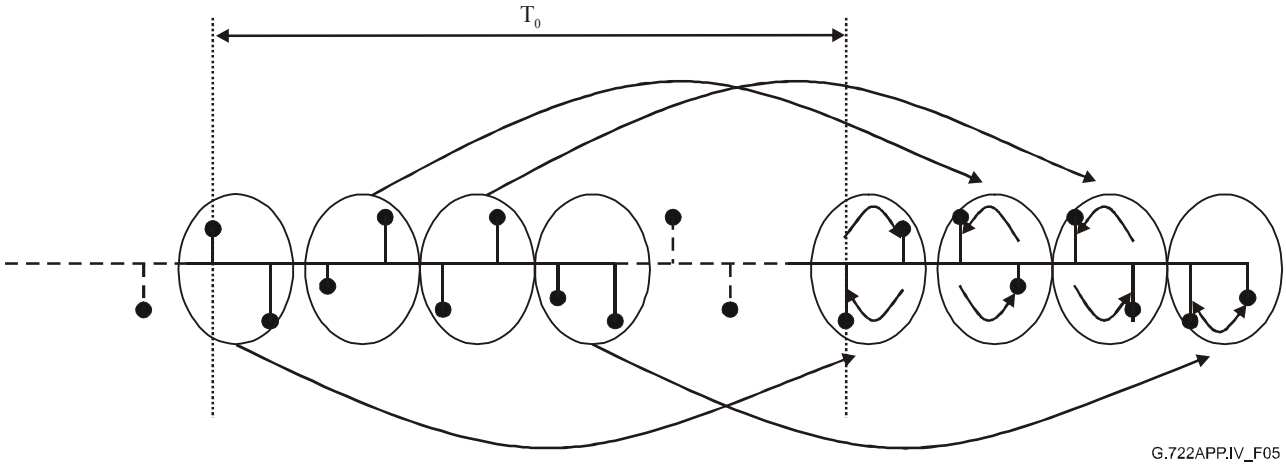


Figura IV.5 – Extrapolación de la LP residual *e*(*n*) con fluctuación de fase (si *class* no es VOICED (vocalizada))

Además, se generan 80 muestras suplementarias (10 ms), $e(n)$, $n = L,..., L + 79$, utilizando las ecuaciones anteriores para fines de la superposición breve (*cross-fading*).

IV.6.1.2.6 Síntesis de la LP

La trama faltante reconstruida tras la síntesis de la LP está dada por:

$$yl_{pre}(n) = e(n) - \sum_{i=1}^{8} a_i yl(n - i) \tag{IV-16}$$

donde $e(n)$, $n = 0,..., L - 1$, es la señal residual extrapolada y L es la longitud de la trama.

Además, se generan 80 muestras (10 ms), $yl_{pre}(n)$, $n = L,..., L + 79$, utilizando la ecuación anterior para fines de la superposición breve.

IV.6.1.2.7 Silenciamiento adaptable

La energía de la señal reconstruida se controla aplicando un factor de ganancia a cada muestra que se computa y adapta muestra por muestra. De esta manera, la señal sintetizada $yl_{pre}(n)$ puede silenciarse por cada muestra con un factor de silenciamiento adaptable *g_mute_lb* para $n = 0,..., L - 1$ a fin de obtener la señal reconstruida de la banda inferior $yl(n)$:

$$yl(n) = g_mute_lb \times yl_{pre}(n) \qquad \text{(IV-17)}$$

La síntesis suplementaria necesaria para la superposición breve, $yl_{pre}(n)$, $n = L,..., L + 79$, es silenciada de la misma manera: $yl(n) = g_mute_lb \times yl_{pre}(n)$.

El cómputo de *g_mute_lb* se realiza aplicando varios parámetros *inc_mute*, *fac*1, *fac*2*p* y *fac*3*p* para las tramas de 10 y 20 ms, así como *cf*10 para las tramas de 10 ms. Estos parámetros dependen del valor de *class* como se indica en el cuadro IV.3.

Cuadro IV.3 – Parámetros de silenciamiento adaptable

Parámetro	*class* = **TRANSIENT**	*class* = **UV_TRANSITION**	**Otros casos**
inc_mute	4	2	1
*fac*1	409	10	10
*fac*2*p*	409	10	20
*fac*3*p*	409	399	190
*cf*10	0	399	20

Cómputo del factor de silenciamiento para la primera trama de 10 ms borrada:

En este caso el factor de silenciamiento se adapta por cada muestra con *fac*1 para $n = 0,...,79$ de la siguiente manera:

$$g_mute_lb = g_mute_lb - fac1$$

donde *g_mute_lb* se inicializa a 1 (véase la cláusula IV.6.1.1).

A continuación *cnt_mute_lb* se actualiza al final de la primera trama borrada de 10 ms:

$$cnt_mute_lb = cnt_mute_lb + 80 \times inc_mute$$

donde *cnt_mute_lb* se inicializa a 0 (véase la cláusula IV.6.1.1).

El factor de silenciamiento para la síntesis suplementaria también se adapta por cada muestra con *cf*10 de la misma manera para $n = 80,...,159$:

$$g_mute_lb = g_mute_lb - cf10$$

A continuación se adapta cnt_mute_lb además al final de la trama suplementaria:

$$cnt_mute_lb = cnt_mute_lb + 80 \times inc_mute$$

La adaptación del factor de silenciamiento se ilustra en la figura IV.6.

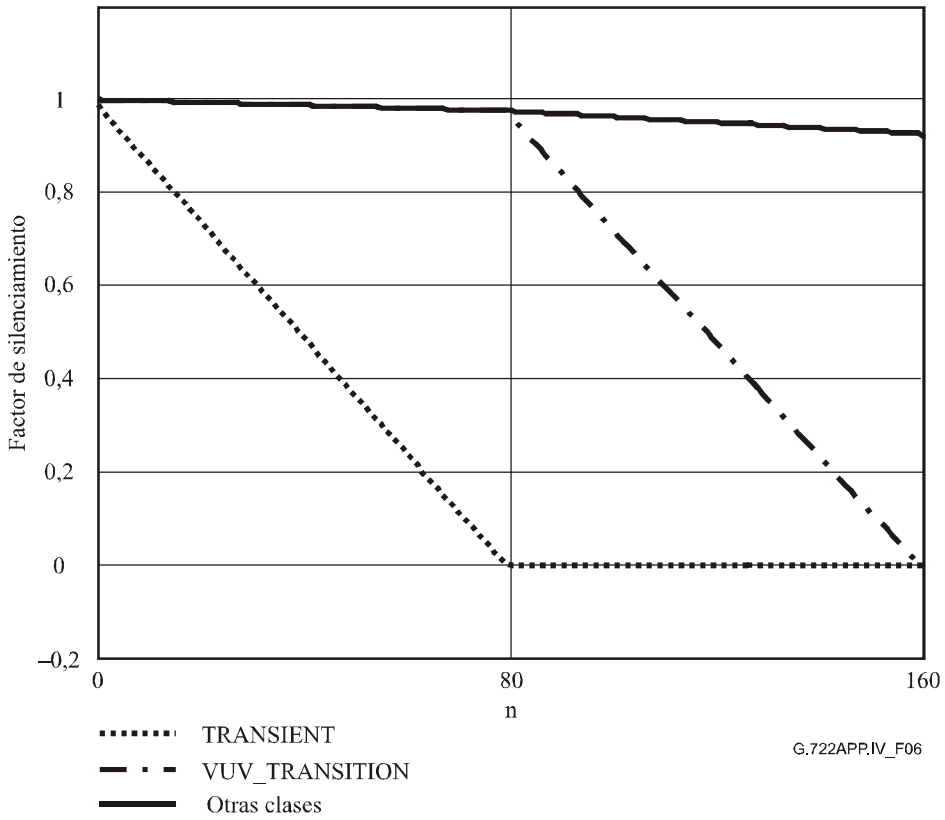


Figura IV.6 – Factor de silenciamiento en función del índice de la muestra para tramas de 10 ms (80 muestras para la trama actual + 80 muestras para la parte del traslape breve)

Cómputo del factor de silenciamiento para otros casos (tramas de 20 ms o tramas de 10 ms borradas consecutivamente):

En estos casos, el factor de silenciamiento *g_mute_lb* también se adapta por cada muestra con el factor de adaptación *fac*1, para $n = 0,..., L - 1$. No obstante, *g_mute_lb* puede disminuir aun más en función del valor de *cnt_mute_lb*y de *class*. El procedimiento es el siguiente:

$$g_mute_lb = g_mute_lb - fac1$$

$$\text{si } (cnt_mute_lb \geq 80)\ \ g_mute_lb = g_mute_lb - fac2p$$

$$\text{si } (cnt_mute_lb \geq 160)\ g_mute_lb = g_mute_lb - fac3p$$

$$\text{si } (cnt_mute_lb \geq 320)\ g_mute_lb = 0$$

$$cnt_mute_lb = cnt_mute_lb + inc_mute$$

El factor de silenciamiento para la síntesis suplementaria necesaria para la superposición breve, $yl_{pre}(n)$, $n = L,..., L + 79$, puede silenciarse de la misma manera para $n = L,..., L + 79$.

NOTA – Para la primera trama de 20 ms borrada, *g_mute_lb* y *cnt_mute_lb* se inicializan antes de la primera borradadura (véase la cláusula IV.6.1.1).

La adaptación del factor de silenciamiento se ilustra en la figura IV.7. Los valores de ganancia de las primeras 160 muestras son idénticos a los de la figura IV.6.

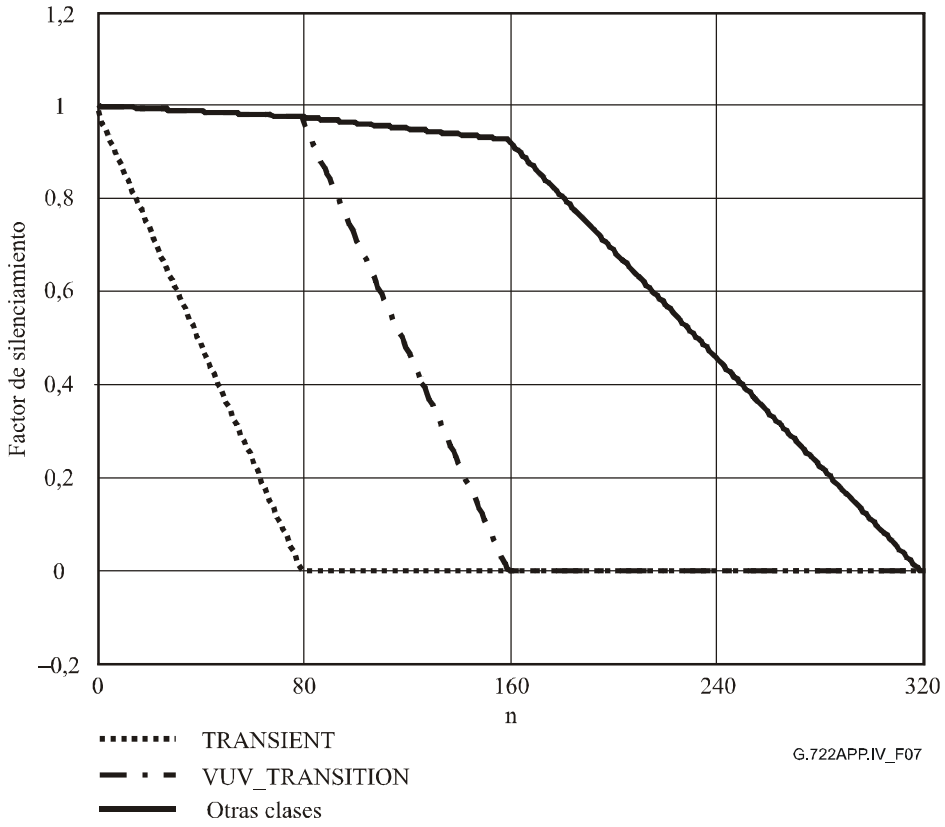


Figura IV.7 – Factor de silenciamiento en función del índice de la muestra

IV.6.1.3 Extrapolación de la trama faltante: caso de una trama dañada a continuación de otra trama dañada

En el caso de una trama dañada a continuación de otra trama dañada, se mantienen los parámetros del análisis computados para la primera trama borrada (a_i, $i = 1,...,8$ T_0, *class*). La señal generada en la trama anterior para efectos de la superposición breve se copia a $yl(n)$, $n = 0,...,79$. Las últimas L muestras, $yl(n)$, $n = 80,...,\ L + 79$ incluyendo la parte de 10 ms que se emplea para una breve superposición con la siguiente trama, se sintetizan conforme a la cláusula IV.6.1.2.

IV.6.1.4 Actualización de los estados del decodificador MICDA

Los estados del decodificador MICDA de la banda inferior se actualizan una vez extrapoladas las tramas faltantes para ayudar a la recuperación de las borraduras de trama. Esta actualización es más complicada que una simple reiniciación del decodificador MICDA. No obstante, para reducir la complejidad al mínimo se actualizan los estados de la MICDA basándose en información disponible o a priori, sin procesamiento adicional. Los estados se modifican como se indica a continuación aplicando las notaciones de G.722:

$$\mathrm{DLT}i = 0,\ i=1,\cdots,6$$

$$\mathrm{PLT} = \frac{yl(L-i)}{2},\ i=1,2$$

$$\mathrm{RLT}i = yl(L-i),\ i=1,2$$

$$\mathrm{SL} = yl(L)$$

$$\mathrm{SZL} = \frac{yl(L)}{2}$$

$$\text{si } cnt_mute_hb > 160$$

$$\text{DETL} = 32$$

$$\text{NBL} = 0$$

IV.6.1.5 Superposición breve

La superposición se describe en el cuadro IV.4. La ventana de superposición sigue la línea de la ventana de Bartlett (triangular) con un soporte de tiempo de 10 ms.

Cuadro IV.4 – Operación de superposición breve

		Trama actual	
		Dañada	**En buen estado**
Trama anterior	**Dañada**	$zl(n) = yl(n)$, $n = 0,..., L-1$	$zl(n) = \frac{n}{79} xl(n) + \left(1 - \frac{n}{79}\right) yl(n)$, $n = 0,...,79$ y $zl(n) = xl(n)$, $n = 80,..., L-1$
	En buen estado	$zl(n) = yl(n)$, $n = 0,..., L-1$	$zl(n) = xl(n)$, $n = 0,..., L-1$

IV.6.2 Decodificación de la banda superior

IV.6.2.1 Decodificador MICDA en el caso de una trama en buen estado

Idéntico a las cláusulas 4.1, 4.2 y 4.3 de [UIT-T G.722].

Además, se reinician el contador *cnt_mute_hb* y el factor de silenciamiento *g_mute_hb* (incluidos en la cláusula IV.6.2.2.2) para silenciamiento adaptable:

$$cnt_mute_hb = 0$$

$$g_mute_hb = 1$$

y la señal $zh(n)$ se almacena para que pueda utilizarse en caso de que se borren algunas tramas en el futuro.

IV.6.2.2 Extrapolación de la trama faltante

La extrapolación de la trama faltante en la banda superior emplea la señal anterior $zh(n)$, $n = -160,...,-1$, que se almacena utilizando una longitud de memoria intermedia de 160 muestras.

IV.6.2.2.1 Repetición

La extrapolación de una trama faltante en la banda superior consiste en la repetición de la señal anterior $zh(n)$ de forma síncrona con las marcas de pitch si *class* = VOICED, en cualquier otro caso el periodo de repetición se fija a 80 muestras (10 ms). En otras palabras:

$$yh_{pre}(n) = zh(n - T_h) \qquad n = 0,..., L-1 \qquad \text{(IV-18)}$$

donde $T_h = T_0$ si *class* = VOICED, $T_h = 80$ en los demás casos.

IV.6.2.2.2 Silenciamiento adaptable

En cuanto a la señal reconstruida de la banda inferior, la energía de la señal reconstruida de la banda superior se controla también aplicando un factor de ganancia computado y adaptado por cada muestra. La señal sintetizada $yh_{pre}(n)$ se puede silenciar por cada muestra con un factor de silenciamiento adaptable *g_mute_hb* para $n = 0,..., L - 1$ a fin de obtener la señal reconstruida de la banda superior $yh(n)$. El silenciamiento de la banda superior es idéntico al de la banda inferior que se describe en la cláusula IV.6.1.2.7. Sin embargo, ya que no se emplea la superposición breve en la banda superior, se utilizan el contador independiente *cnt_mute_hb* y el factor de silenciamiento *g_mute_hb* ya que *cnt_mute_hb* siempre tiene un adelanto de 80 muestras con referencia a *cnt_mute_lb* tras una trama borrada.

IV.6.2.3 Posprocesamiento de paso alto

En el caso de que se borren tramas, existe la posibilidad de que aparezca un desplazamiento de DC de muy pequeña magnitud en la reconstrucción de la banda superior $uh(n)$, $n = 0,..., L - 1$, que podría afectar a las primeras tramas en buen estado consecutivas. Tras la síntesis QMF, esto introduce un componente de 8 kHz. Para impedir este ruido indeseable de alta frecuencia, se emplea un filtro polo/cero de primer orden con una frecuencia de corte de 50 Hz. Este filtro está dado por:

$$H_{post}(z) = \frac{\frac{7303}{8192}\left(1 - z^{-1}\right)}{1 - \frac{3207}{4096} z^{-1}} \qquad \text{(IV-19)}$$

La señal $uh(n)$ se filtra a través de $H_{post}(z)$ para obtener $vh(n)$, donde $n = 0,..., L - 1$.

Este filtro se emplea durante las tramas borradas y los primeros 4 s a continuación de la borradura.

IV.6.2.4 Actualización de los estados del decodificador MICDA

De modo similar a la decodificación de la banda inferior, los estados del decodificador MICDA de la banda superior se actualizan tras la extrapolación de una trama faltante. La actualización se describe a continuación aplicando las notaciones de G.722:

NBH = NBH/2

DETH = scaleh(NBH)

si $cnt_mute_hb > 160$

NBH = 0

DETH = 8

La actualización se restringe al factor de escala de la banda superior.

IV.6.3 Banco de filtros de la síntesis de QMF

Igual que en la cláusula 4.4 de [UIT-T G.722], excepto que el cambio de posición de 22 muestras de la línea de retardo después de cada llamada de la función qmf_rx (por cada dos muestras de salida) se sustituye por la utilización de una memoria intermedia lineal de longitud $L + 22$ en caso de decodificación de una trama dañada. La parte de la memoria (buffer) se actualiza al comienzo de cada trama, y la memoria del filtro se almacena al final de cada trama.

IV.7 Descripción exacta en bits del algoritmo G.722 PLC

El código ANSI C que simula el algoritmo G.722 PLC candidato en un formato de 16 bits de punto fijo se somete por separado a la TSB. En las siguientes subcláusulas se presenta un resumen del modo de utilización de este código de simulación y de la forma en la que se organiza el programa informático. El algoritmo G722PLC se implementa mediante el código G722 de la biblioteca de herramientas basadas en programas informáticos del UIT-T (STL2005). La descripción matemática de este algoritmo (cláusulas IV.5 y IV.6), puede establecerse en diversas modalidades. Por consiguiente, la descripción del algoritmo del código ANSI C en esta cláusula tendrá precedencia sobre las descripciones matemáticas en las cláusulas IV.5 y IV.6, si se detectan discrepancias.

IV.7.1 Utilización del programa informático de simulación

La línea de instrucciones del decodificador G.722 con PLC es:

```
decg722 [-fsize N] g192_bst output
```

donde *N* es el tamaño de la trama a 16 kHz (valor por defecto: 160)

El fichero de salida es del tipo de datos muestreados que contiene señales de modulación por impulsos codificados (MIC) de 16 bits.

El cuadro de correspondencias del tren de bits codificado está incluido en el programa informático de simulación.

Organización del programa informático de simulación

Véanse los cuadros IV.5 y IV.6.

Cuadro IV.5 – Lista de los cuadros añadidos por el algoritmo PLC

Nombre del cuadro	Tamaño	Descripción
G722PLC_lpc_win_80	80	Ventana LPC
G722PLC_lag_h	8	Ventana de retardo para la ampliación de la anchura de banda (parte alta)
G722PLC_lag_l	8	Ventana de retardo para la ampliación de la anchura de banda (parte baja)
G722PLC_fir_lp	9	Coeficientes del filtro de reducción de un cuarto de banda paso bajo
G722PLC_b_hp	3	Coeficientes del filtro paso alto (numerador)
G722PLC_a_hp	3	Coeficientes del filtro paso alto (denominador)

Cuadro IV.6 – Lista de los ficheros (decodificador G.722 con PLC)

a) Ficheros idénticos – del programa informático STL G.191

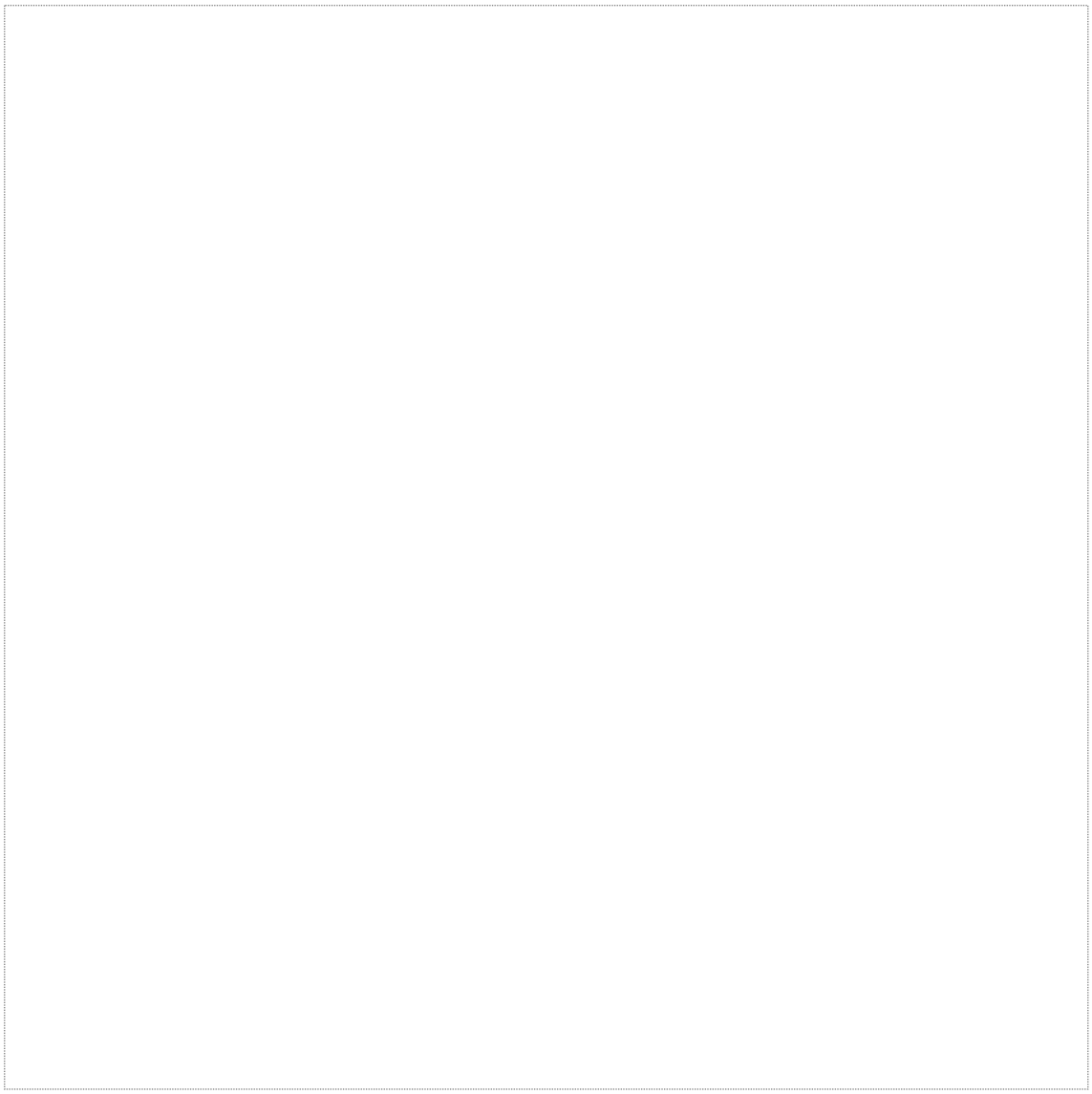
Nombre del fichero	Descripción
softbit.c	Tratamiento del bit programable (soft bit) G.722
g722_com.h	Fichero de la cabecera adicional G.722
softbit.h	Tratamiento del bit programable (soft bit) G.722
ugstdemo.h	Definiciones de los programas de demostración del (UGST, *user's group on software tools*)

b) Ficheros modificados – del programa informático STL G.191

Nombre del fichero	Descripción
decg722.c	Interfaz del decodificador G.722
g722.c	Rutinas del decodificador principal G.722
g722.h	Fichero de cabecera principal G.722
funcg722.c	Biblioteca G.722
funcg722.h	Biblioteca G.722

c) Nuevos ficheros

Nombre del fichero	Descripción
g722_plc.c, g722_plc.h	Biblioteca y cabeceras de PLC
g722_plc_tables.c	Cuadros de PLC
oper32_b.c, oper32_b.h	Operadores y encabezamientos básicos adicionales



SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
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	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
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, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
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

Impreso en Suiza
Ginebra, 2007