

ITU勧告G.729の拡張と品質評価

林伸二 栗原祥子 片岡章俊*

日本電信電話株式会社サイバースペース研究所
日本電信電話株式会社関西支店法人営業本部*

〒180 東京都武蔵野市緑町3-9-11

電話 0422 59 2642

E-mail haya@splab.hil.ntt.co.jp

あらまし ITU-T勧告G.729のAnnex C, D, Eとなった拡張アルゴリズムとその品質について述べる。Annex Cは、本体と相互接続可能な浮動小数点演算レファレンス例である。Annex D, Eは、6.4, 11.8 kbit/sの拡張CS-ACELPである。これらは、本体と同一のブロック構成により、僅かなメモリの増加のみで実現でき、また、各レート間で瞬時切り替え可能である。これらの拡張により、アプリケーションにおいて柔軟な運用が可能となる。主観評価により、6.4 kbit/sでも、好条件下では8 kbit/sの本体に遜色無い品質が得られ、11.8 kbit/sでは、背景雑音等に耐性の高い品質であることを明らかにする。

キーワード

音声符号化 CS-ACELP 品質評価 ベクトルゲイン量子化 DCR試験

Extensions to ITU-T Recommendation G.729 and its quality assessment

Hayashi, Shinji Sachiko, Kurihara, Kataoka, Akitoshi*

Cyber Space Laboratories, NTT
Business Communications Headquarters, Osaka Branch, NTT*

3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, 1808585 Tokyo Japan

Telephone +81 422 59 2642

E-mail haya@splab.hil.ntt.co.jp

Abstract

This paper describes the extended algorithms of CS-ACELP that were standardized as Annexes C, D, E to G.729. Annex C is a reference implementation using floating-point arithmetic that is compatible with the fixed-point implementation of the main body. Annexes D and E are the variable bit-rate extensions that operate at 6.4 and 11.8 kbit/s. These algorithms are based on the same blocks as the main body with little additional memory and may be switched frame by frame, which increases flexibility in operation in various applications. The subjective test shows that Annex D provides very little quality loss from the main body at 8 kbit/s and Annex E provides good quality under background-noise conditions.

key words

CS-ACELP, Speech coding, Subjective assessment, Vector Gain Quantization, DCR

1. はじめに

ITU-T では、8 kbit/s 音声符号化方式 CS-ACELP(Conjugate-Structure Algebraic Code-Excited Linear Prediction)[1]、[2] が 1996 年に G.729 として標準化された。G.729 は、5 ms の「先読み」を伴うものの、10 ms という比較的短いフレーム長を持つため、原理的片方向遅延は僅か 25 ms である。その品質は、勧告化に先だって行われた広範囲な品質評価 [3]の結果、商用電話品質を満たすものと認められている。そのため、長距離・国際電話用の多重化装置、無線、マルチメディア通信等に広く展開されることが期待されている。本体方式の勧告化の後、すでに、Annex A[4] および、Annex B[5]が勧告化されている。Annex A は、CS-ACELP の演算量を削減し、僅か 10 MIPS で符号復号処理が可能である。Annex B は、音声検出 (VAD, Voice Activity Detection)機能を含み、平均ビットレートが大幅に削減されるため、すでに、DSVD(Digital Simultaneous Voice and Data)[6]、インターネット電話等に利用され始めている。このような背景の下で、G.729 ファミリーの、より広範囲な拡張が図られた。1つは、浮動小数点演算実現の勧告化であり、他は、本体勧告化以前から計画されていた可変ビットレート化である。本体勧告は、DSP(Digital Signal Processing)での実現を考慮して、16 ビット語長の演算でビットイグザクトに記述されている。しかし、近年 PC の処理能力が急速に向上し、音声符号化を実時間で処理できる情勢となった。PC 上のソフトウェア処理による実現の場合、敢えて固定小数点演算を用いる必要はないため、浮動小数点演算の勧告記述が要望されることとなった。ITU-T では、この要望に応じ、浮動小数点演算による実現のレファレンスプログラムを G.729 の Annex C[7]として勧告化した。勧告の作成は G.729 の提案元であるフランステレコム/シエルブルーク大学/NTT の共同の寄与により進められた。

一方、多重化装置、インターネット電話、無線通信等への適用時には、環境に応じた柔軟な運用が可能のように、符号化レートを可変にすることが望まれている。すなわち、これらの適用例では、利用が集中して混雑するときは音声品質を犠牲にしても多数のチャネルを受け入れることが重視され、混雑しない時は音声品質が良好であることが望ましい。とりわけ、低レート音声符号化において、非音声信号が重畳した場合、著しい劣化が生じることがあることが電話利用者間で広く認識される状況となり、背景雑音等の非音声信

号に対する特性も無視できない条件となってきた。ITU-T では、品質、構成上の要求条件を決めた上で可変レート拡張アルゴリズムを公募し、提案の中から条件を満たすものを選ぶ方法により、G.729 に対する可変レートアルゴリズムをその Annex D[8]、および、Annex E[9]として 1998 年の 9 月、勧告した。勧告作成は、Annex D のランダム (固定) 励振と適応励振に関してはエリクソン、ベクトルゲイン量子化に関しては NTT の寄与により、Annex E に関しては、主にフランステレコム/シエルブルーク大学の共同の寄与により進められた。

2 章では、各拡張方式について要求条件を示す。3 章では、主なアルゴリズムの特徴について述べ、4 章では、主観評価試験の結果により十分な品質が得られることを示す。主観評価試験は、フランステレコム、ロックウェル、エリクソン、NTT で各自国の言語を用いて実施されたが、ここでは NTT 自身が行った結果についてのみ示す。

2. 要求条件

2.1 浮動小数点演算

浮動小数点演算によりアルゴリズムを規定する場合、ビットイグザクトな規定は現実的ではない。なぜなら、プラットフォームにより数値の小数部分と指数部分の語長や演算の途中のアキュムレータの精度も一意でないからである。そこで、G.728 LD-CELP (この勧告は、本体が浮動小数点演算を想定しており、後に、Annex G で固定小数点演算が追加勧告化された) の勧告化に当たっては、試験用の信号 (テストベクトル) を定め、試験符号化法と比較する方法をとった。この方法では、復号器の試験は、基準符号 (コード) に対する復号出力の誤差評価により可能であるが、適切な物理評価尺度を選び、かつ、主観評価値との対応を広範囲な音声入力について検証する必要がある。しかし、符号化器単独の試験では、基準音声入力に対し、符号化コードが完全に一致することは期待できない。

このような背景を考慮して、G.729 の浮動小数点演算の規定においては、試験信号と評価基準については今後の課題として残し、現実的な方法として、レファレンスとなる符号化アルゴリズムの実現例を ANSI-C で記述し、その C コードを勧告本文とする方法をとった。勧告の記述はあくまでも 1 レファレンスであって、浮動小数点演算の唯一の実現法ではない。従って、等価な出力の得られる浮動小数点演算による実現は他にも可能である。ただし、その性能を検証するための尺

度はまだ定義されていない。

このレファレンスの勧告を作成するに当たっては、浮動小数点演算と固定小数点演算の相互接続性を検証する必要がある。要求条件は、固定小数点演算と浮動小数点演算を混合して接続しても、固定小数点演算単独接続に比べ、統計的に有意な差が無いことである。ただし、G.729 は固定小数点演算で規定する実現法に2種類(本体と演算量削減版 Annex A)が存在するため、それぞれの浮動小数点版が作られた。試験は、本体同士の演算精度に関する相互接続性を中心とし、その他の混合条件は付加情報とすることとした。

2.2 6.4 kbit/s 拡張符号化

6.4 kbit/s への拡張の趣旨は、最小限のアルゴリズム修正、追加とメモリの追加のもとで、極力品質劣化が小さく、8 kbit/s の本体と瞬時(任意のフレーム境界毎、すなわち、最小 10 ms 単位)に切り替え可能な可変レートアルゴリズムを作ることである。そこで、構成上の要求条件を Table1 のように、品質の要求条件を Table 2 のように定めた。

2.3 11.8 kbit/s 拡張符号化

低レート方式と同様、8 kbit/s 本体と瞬時切り替え可能な可変レート方式とするため、基本構造を同一とする。ビットレートと一定の演算量や記憶容量の増加の下で、非音声信号の入力時に品質劣化が極力小さいアルゴリズムとすることを目的とする。いわゆる Swirling Effect を起こさないことを主眼としているが、電話保留音等の楽音信号に対しても、不愉快でない音質を目指している。主な構成上の要求条件を Table3 のように、品質の要求条件を Table4 のように定めた。

3. 符号化方式の構成

本章では、符号化方式の構成について示す。G.729 CS-ACELP の構成は既知であるとして、G.729 からの変化分を主に説明する。

3.1 浮動小数点方式

符号化方式の構成は、G.729 本体、および、G.729 Annex A とそれぞれ全く同一であり、符号ビット系列の形式も全く同一である。固定小数点方式では、Basic Operator ツールセットにより、全ての変数について Q フォーマット(小数点位置)を定めているのに対し、この方式では、浮動小数点変数について typedef.h のヘッダファイルにより単精度、倍精度の指定を行っている。詳細は文献[7]に付随する ANSI-C コードを参照されたい。

Table 1. 6.4kbit/s 構成要求条件.

要素	要求条件
演算量	≤ G.729
RAM	≤ 10% 増加 (対 G.729)
ROM	≤ 10% 増加 (対 G.729)

Table 2. 6.4kbit/s 主な音声品質要求条件.

要素	要求条件	Objective
誤りなし基本性能	> G.726-24	G.729
入力レベル依存	G.726-24	G.729
BER 10 ⁻³	G.726-24, BER 10 ⁻³	G.729, BER 10 ⁻³
3% Random FER	G.729 + 10% PoW	G.729+5% PoW
3% Bursty FER	G.729 + 10% PoW	G.729+5% PoW
従続接続	G.726-24 tandem	-
自動車雑音	G.726-24	-
パブル雑音	G.726-24	-
妨害話者	G.726-24	-

Table 3. 11.8kbit/s 構成要求条件.

要素	要求条件
演算量	≤ 50% 増加 (対 G.729)
RAM	≤ 50% 増加 (対 G.729)
ROM	≤ 50% 増加 (対 G.729)

Table 4. 11.8 kbit/s 主な音声品質要求条件.

要素	要求条件	目標
誤りなし基本性能	≥ G.726-32kbit/s	>G.726-32kbit/s
入力レベル依存	≥ G.726-32kbit/s	>G.726-32kbit/s
3% Random, Burst FER, and BER 10 ⁻³	≥ G.729 under the same condition	-
自動車雑音15, パブル雑音20, 事務所騒音30, 街路騒音25, 妨害話者15, 数値はSIN (dB)	≥ G.728-16 kbit/s under the same condition	≥ G.726-32 kbit/s under the same condition
瞬時切り替え	≥ G.729	>G.726-32kbit/s

3.2 6.4kbit/s 方式

3.2.1 概説

図1に方式の原理を示す。基本的に CELP の構成であり 10 ms のフレーム長に 5 ms のサブフレーム長、線形予測分析のための 5 ms の先読みも G.729 本体と同一である。各機能ブロックのうち、主に適応、固定、ベクトルゲインコードブック励振部分に変更が加えられた。Table5 にビット配分を示す。図2は、復号器の原理である。パルス拡散フィルタが固定パルス励振に追加されている。

3.2.2 本体共通部分

振幅を 1/2 にし、140Hz 以下を遮断するフィルタからなる前処理、線形予測分析と LSP への変換、量子化する LPC 分析部分、AR-MA 形式の聴覚重みづけ部分は本体と同一である。

3.2.3 適応コードブック

適応コードブック探索は 2 つのサブフレームで行われ、第一サブフレームにおいて 1/3 精度で [19 1/3, 84 2/3]、および、整数精度で [85, 143] の範囲を探索する点は同一である。第二サブフレームでは、4 ビットを用いて、整数に丸めた第一サブフレームのピッチ周期に対する差分ピッチ周期を表す。探索は以下の方法による：

- (i) 最適ピッチ周期 T2 探索のため、第一サブフレームのピッチ周期周りの 10 点を探索する。
- (ii) T2 が整数値の間であれば、少数値を探索する。

3.2.4 固定コードブック

本体が 4トラックから、4本のパルスを立てるのに対し、6.4 kbit/s では 2トラックから 2本のパルスを立てる。Table6 にトラックとパルス位置を示す。パルス数が少ないので、検索はすべての場合を尽くす。

3.2.5 ゲイン量子化

ゲインは対数化して、直流成分を除いて線形予測し、その残差を本体同様、共約構造ベクトル量子化[10]する。ただし、3 ビット x 2 のコードブックを用いる。コードブックは本体よりも符号誤り率の低い 0.1% 条件で再度学習した。

3.2.6 後処理

2パルス固定コードブック励振では聴感的にスパイク感が残るため、位相拡散フィルタ[11]を適用した。このフィルタは主に背景雑音等の非音声入力時の不自然さを補うものであり、あらかじめ 3 種類の拡散量の異なるインパルス応答を用意しておき、ピッチゲインに応じて 1 つを選ぶ。ピッチゲインが低く、雑音性の入力と見なされる場合、強い拡散インパルス応答を選ぶ。

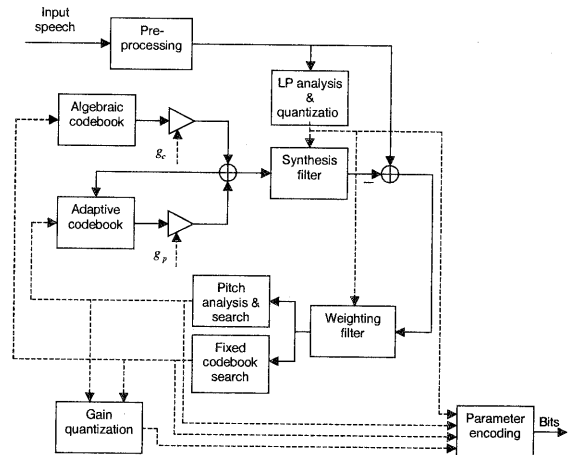


Fig. 1 Diagram of CS-ACELP encoder

図1. CS-ACELP 符号化器

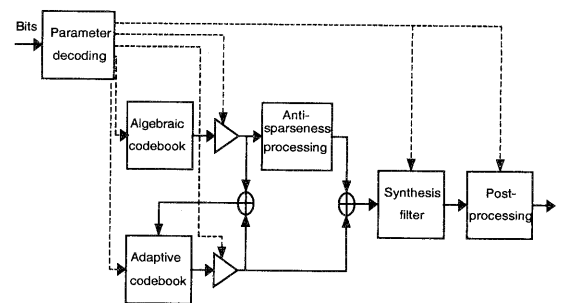


Fig. 2 Diagram of 6.4kbit/s CS-ACELP decoder

図2. 6.4 kbit/s CS-ACELP 復合器

Table 5. 6.4 kb/s CS-ACELP のビット配分

パラメータ	Subframe 1	Subframe 2	Total
LSP係数			18
適応 CB	8	4	12
固定 CB 指標	9	9	18
固定 CB sign	2	2	4
CB gains (第1段)	3	3	6
CB gains (第2段)	3	3	6
総合			64

Table 6. 6.4 kbit/s 代数コードブックのトラック

パルス	Sign	位置
i_0	± 1	1,3,6,8,11,13,16,18,21,23,26,28,31,33,36,38
i_1	± 1	0,1,2,4,5,6,7,9,10,11,12,14,15,16,17,19,20,21,22,24,25,26,27,29,30,31,32,34,35,36,37,39

3.3 11.8 kbit/s 方式

音楽信号や定常的な背景雑音が入力されたときは、音声を対象に設計された CS-ACELP は必ずしも最高の性能を発揮できるわけではない。そこで、バックワード適応化線形予測モードを用意し、入力信号に応じて切り替える設計が取り入れられた。本体より高いビットレートは、モード切り替え情報とパリティ以外はすべて固定励振コードブックの拡張に割り当てられ、バックワードモードで LPC 係数を伝送しないことによる余剰ビットもすべて固定励振に割り振られる。ビット割り当ては Table7 に示す。2 つのモードの切り替えによる不自然さを避けるため、LP フィルタの状態更新が滑らかに行われ、また、不要なモード遷移が起こらないよう、入力信号の定常性、LP 利得、エネルギーを監視している。

フォワードモードでは、35 ビットの代数コードブックが用いられ、5 本の独立したトラックから、10 本のパルスが立てられる。バックワードモードでは、44 ビットのコードブックが使われ、5 本のトラックから 12 本のパルスが立てられる。パルスの探索は、場合を尽くすことは不可能なため、木状に行われるが、その詳細は文献[9]を参照されたい。

4. 性能評価

本章は、各拡張方式の性能評価について示す。ITU の勧告とするに当たっては複数言語で広く品質評価が行われているが、ここでは NTT が実行した、日本語と、日本人受聴者による試験の結果を示す。

4.1 浮動小数点方式

4.1.1 試験方法

より正確かつ精密な評価とするため対比較法をとり、比較のレファレンスは、固定小数点版で閉じた場合である。この方法は、G.728 の本体（浮動小数点）に対し、新たに Annex G（固定小数点版）を勧告化するときに使われた方法に沿ったものである。

対比較において、被験者は強制的に好ましい方を選び、無回答、あるいは、中間と答える選択はない。全く同一の刺激は、順番を替えて 1 回ずつ呈示され、呈示順に依存する偏りは打ち消される。被験者は受聴試験の専門家 4 名である。1 条件は、異なった話者 10 名の発声による、異なった文章からなる。従って、1 条件は、 $10 \times 2 \times 4 = 80$ (回) 呈示される。音声信号に関しては、中間基準系特性 (IRS, Intermediate Reference System[12]) 周波数レスポンスの基準入力レベル (飽和レベルに対し -26 dB) の背景雑音なし

Table 7. 11.8 kbit/s ビット配分

Parameter	EXTENSION AT 11.8 KBIT/S	
	FORWARD	BACKWARD
LP mode indication bit	1 + 1 (parity)	
LP filter	18	0
LTP Delay (1 st / 2 nd sub-fr.)	8 + 1 (parity) / 5	8 + 1 (parity) / 5
EXC Codes (1 st / 2 nd sub-fr.)	35 / 35 7 / 7	44 / 44 7 / 7
Gains (LTP + EXC) (1 st / 2 nd sub-fr.)		
Total	118	118

の音声、および、事務所雑音付き音声の 2 条件のみを用いた。但し、実験の妥当性を検証するため、G.729 本体の試験のみには、入力レベル依存性、タンデム接続、自動車騒音、の各条件も試験した。

(1) 符号化アルゴリズム (本体と Annex A) 間の相互接続性符号化アルゴリズムに関し 4 種類の組み合わせが存在する。

- I. Enc(Main body) -> Dec(Main body)(G.729 codec)
- II. Enc(Main body) -> Dec(Annex A)
- III. Enc(Annex A) -> Dec(Main body)
- IV. Enc(Annex A) -> Dec(Annex A)(Annex A codec).

本体アルゴリズムが浮動小数点版の基礎となるという認識が ITU の専門家会議で持たれていたため、条件 I を主に試験し、他の条件は付加的である。Annex A の勧告化にあたり、本体と Annex A の相互接続性の試験は広範囲に実施されている[13]こともあり、本実験の主目的ではない。

(2) 演算精度の相互接続性

異なった演算精度の間で 4 つの組み合わせが存在する。

- C0 Enc(fix) -> Dec(fix) (Reference)
- C1 Enc(float) -> Dec(fix)
- C2 Enc(fix) -> Dec(float)
- C3 Enc(float) -> Dec(float).

4.1.2 試験結果

レファレンス条件よりも対象条件が好ましいとする投票率を Table8, 9, 10 に示す。比較における帰無仮説が、規定危険率の境界を越えると棄却され、有意に差が認められる。境界は 5% の危険率に対し [0.39, 0.61]、1% の危険率では [0.36, 0.64] であった。Table から明らかのように、5% 危険率の時、まれに有意差が認められるのを除くと、全般に対象の組み合わせがレファレンスと差がないことがわかる。

4.2 6.4 kbit/s 方式

4.2.1 試験法

背景雑音のない基本性能については、5段階のオピニオン(ACR)評価を、背景雑音に対する性能については、入力信号に対する劣化カテゴリを5段階で評価するDCR評価を実施した。ACR評価の項目は、入力レベルに対する依存性、0.1%のランダム符号誤り、3%のランダム・バーストフレーム消失、タンデム接続特性、8 kbit/s との瞬時切り替え特性等である。比較のために、レファレンスである 24 kbit/s の G.726、8 kbit/s の G.729、6.3 kbit/s の G.723.1 および、MNRU 等を同一の試験枠内で評価した。DCR 試験は、背景雑音としてバブル騒音、自動車騒音、妨害話者の影響を評価した。送話者は4名、被験者は24名であり、すべて日本語の短い文章を用いた。

4.2.2 試験結果

ACR 評価の結果を図3、4に、DCR 評価の結果を図5に示す。背景雑音のない条件では拡張 6.4 kbit/s 方式は、要求条件である G.726 の 24 kbit/s の品質を明らかに上回っており、G.729 の 8 kbit/s には僅かに及ばない。しかし、長いフレーム長(30 ms)を有する G.723.1 の 6.3 kbit/s を上回るか、同等の品質が得られた。DCR 評価においては、自動車騒音 (S/N = 15 dB) で、やや低い評価となるのを除いてレファレンスより高い品質が得られた。S/N の低い自動車騒音の下では、CELP 系の方式はいずれも 24 kbit/s ADPCM よりも低いスコアとなっているが、これは、用いた自動車騒音がホワイト雑音に近いものであったため、ADPCM の量子化雑音と区別がつかず、ADPCM の評価が高かったのが一因である。

4.3 11.8 kbit/s 方式

4.3.1 試験法

試験方法は、6.4 kbit/s と同一の手法がとられ、ACR,DCR の評価法共、同一の送話者、被験者が用いられた。

4.3.2 試験結果

ACR 評価の結果を図6に、DCR 評価の結果を図7に示す。ACR 試験では、入力レベルに対する依存性、0.1%のランダム符号誤り、3%のランダム・バーストフレーム消失、タンデム接続特性、8 kbit/s との瞬時切り替え特性のすべてについて、要求条件を満たしている。また、DCR 試験の結果では、11.8 kbit/s 方式は、16 kbit/s の G.728 と差のない品質であることが明らかとなり、すべての要求条件を満たしている。

Table 8. スコアと帰無仮説 Enc(G.729) -> Dec(G.729)

条件	-26dBov		-16 dBov		-36 dBov	
	5%	1%	5%	1%	5%	1%
C1	50.0	y y	45.0	y y	62.5	b y
C2	47.5	y y	55.0	y y	52.5	y y
C3	51.2	y y	53.8	y y	38.8	w y
条件	tandem		vehicle10dB		vehicle 20dB	
	5% 1%		5% 1%		5% 1%	
C1	45.0	y y	60.0	y y	50.0	y y
C2	51.2	y y	45.0	y y	52.5	y y
C3	48.8	y y	50.0	y y	53.8	y y

Notes

y: yes, null hypothesis is supported

b: the object is better than the reference, null hypothesis is rejected

w: the object is worse than the reference, null hypothesis is rejected

Table 9. スコアと帰無仮説 Enc(G.729) -> Dec(G.729A)

条件	-26 dBov		vehicle 20 dB SNR	
	5%	1%	5%	1%
C1	50.0	y y	47.5	y y
C2	50.0	y y	48.8	y y
C3	58.8	y y	45.0	y y

Table 10. スコアと帰無仮説 Enc(G.729A) -> Dec(G.729)

条件	-26 dBov		vehicle 20 dB SNR	
	5%	1%	5%	1%
C1	47.5	y y	52.5	y y
C2	52.5	y y	56.2	y y
C3	38.8	w y	51.2	y y

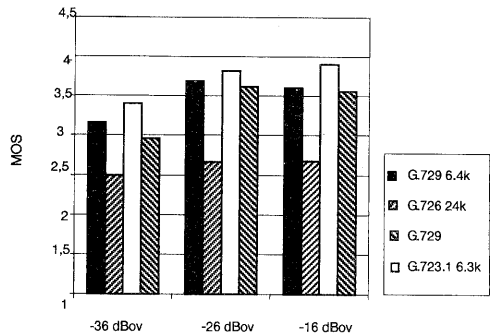


Fig. 3. Subjective test results from ACR test with clean speech at the input levels -16 dB, -26 dB, and -36 dB.

図3. 音声単独入力時の試験結果(入力レベル,-16,-26,-36dB)

5. 結論

浮動小数点演算による実現は、固定小数点演算版と混合しても、あるいは単独でも、ごく一部の例外条件を除いて統計的な差が無いことが明らかとなり、相互接続性が確かめられた。このため、フランス語での試験結果と併せてレファレンスとしての有効性が確認された。

6.4 kbit/s の拡張アルゴリズムは G.729 の基本構造を保ったまま、ランダム励振、適応励振、および、ゲインのコードブックを更新し、10%のメモリー量の増加で実現が可能となった。励振パルスはサブフレーム当たり2本に過ぎないため、位相拡散ポストフィルタを適用することにより聴感を改善し、また、ゲイン符号帳も再度学習したことにより、高品質が得られた。

11.8 kbit/s の拡張アルゴリズムは、入力信号の性質に応じて、前向き適応予測（本体と同一）と後方適応予測を切り替え、非音声信号・音声信号共に高品質が得られた。

これらの拡張方式は 1998 年 9 月の SG16 会合で、それぞれ G.729 の Annex C, D, E として承認された。

文献

- [1] ITU-T Recommendation G.729, Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate Structure-Algebraic Code Excited Linear Prediction (CS-ACELP).
- [2] R. Salami et al., "Design and description of CS-ACELP: A toll quality 8 kb/s speech coder", IEEE Trans. Speech and Audio Processing, vol. 6, no. 2, pp. 116-130, 1998.
- [3] M. Perkins, et al, "Characterizing the Subjective Performance of the ITU-T 8 kb/s Speech Coding Algorithm-ITU-T G.729," IEEE Commun. Mag., Vol. 35, 9, pp. 74-81, Sept. 1997
- [4] ITU-T Recommendation G.729 Annex A, "A Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec," Nov. 1996
- [5] ITU-T Recommendation G.729 Annex B, "A silence compression scheme for G.729 optimized for terminals conforming to Recommendation V.70," Nov. 1996
- [6] ITU-T Recommendation V.70, "Procedures for the simultaneous transmission of data and digitally encoded voice signals over the GSTN, or over 2-wire leased point-to-point telephone type circuits," August 1996
- [7] ITU-T Recommendation G.729 Annex C, "Reference Floating-Point Implementation for G.729 - CS-ACELP 8 kbit/s Speech Coding," Sept. 1998
- [8] ITU-T Recommendation G.729 Annex D, "6.4 kbit/s

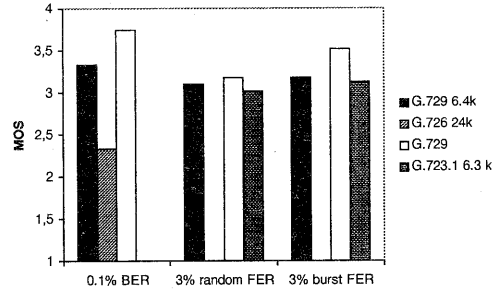


Fig. 4. Subjective test results from ACR test with clean speech for the error conditions: 0.1% BER, 3% bursty FER.

図 4. 伝送誤り条件時の音声単独入力の ACR 試験結果

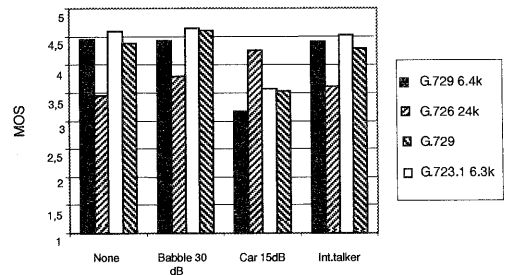


Fig. 5. Subjective test results from DCR test with the background noise conditions.

図 5. 背景雑音付き音声の DCR 試験結果

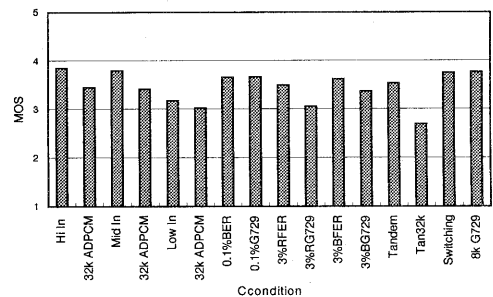


Fig. 6. Fundamental quality of 11.8 kbit/s codec with ACR tests.

図 6. ACR 試験による 11.8kbit/s の基本性能

CS-ACELP speech coding algorithm," Sept. 1998

[9] ITU-T Recommendation G.729 Annex E, "11.8 kbit/s CS-ACELP speech coding algorithm," Sept. 1998

[10] A Kataoka, T. Moriya, and S. Hayashi, "An 8-kb/s Conjugate Structure CELP (CS-CELP) Speech Coder," IEEE Trans. on SAP, Vol. 4, No. 6, pp.401-411, Nov. 1996.

[11] R. Hagen, E. Ekudden, B. Johansson, and W.B. Kleijn, "Removal of sparse-excitation artifacts in CELP", in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Processing, Seattle, WA, pp. I-145-148, 1998.

[12] CCITT Recommendation P.48, "Specification for intermediate reference system," Blue book, Vol. V, Nov. 1988

[13] 林、片岡、栗原、"音声データ同時伝送システム用音声符号化方式と品質評価、" 信学技報、Vol.96 No.239, pp. 31-38, Sept., 1996

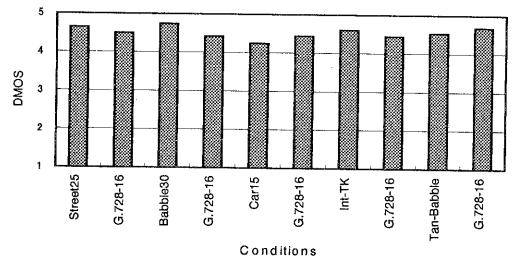


Fig. 7. Quality of 11.8 kbit/s codec under background-noise conditions with DCR tests.

図7.DCR試験による11.8kbit/s背景雑音性能