

遷移を制約したベクトル量子化を用いた 2.8 kbit/s RELP 音声符号化システムについて

正員 埴 雅典^{†*} 正員 長谷川孝明[†]

On the 2.8 kbps RELP Speech Coding System using Constrained Transition Vector Quantization

Masanori HANAWA[†] and Takaaki HASEGAWA[†], *Members*

あらまし 本論文では、音声の情報源—通信路統合符号化の一手法である遷移を制約したベクトル量子化 (CTVQ) と残差励振符号化方式 (RELP) を組み合わせて、誤り訂正を含めて 2.8 kbit/s で音声符号化を行うシステムについて述べている。CTVQ の復号時のピタビアルゴリズムで用いるトレリスの状態数を低減するために、トレリスの状態間の遷移に符号語を割り当てる遷移ラベル型 CTVQ を新たに導入し、パラメータの検討を行っている。フェージングのある通信路において、音声を符号化/伝送する計算機シミュレーションを行い、有限状態ベクトル量子化と畳込み符号のタンデム符号化を用いたシステムと比較している。復号音声のセグメンタル SNR が 6.5 dB の場合に、提案するシステムはタンデム符号化を用いたシステムに比べて平均 E_b/N_0 で約 8 dB の利得が得られ、CTVQ を用いることで 2.8 kbit/s という低ビットレートでも通信路誤りに強い音声符号化システムが構成可能なことが示されている。

キーワード 情報源—通信路統合符号化, 音声符号化, RELP, ベクトル量子化, フェージング通信路

1. まえがき

近年、携帯電話等の移動音声通信システムが急速に普及している。携帯電話用の次世代のハーフレート音声符号化方式 (誤り訂正込みで 5.6 kbit/s) の標準方式として符号励振音声符号化方式 (CELP)⁽¹⁾ の発展形の PSI-CELP 方式⁽²⁾ が採用されたが、今後ユーザ数が更に増加した場合には、より高能率に音声を符号化できる符号化方式が必要になると考えられる。しかし、このような高能率の音声符号化方式は概して通信路で重畳する符号誤りに対してせいぜい弱で、通信路符号化として誤り訂正符号化を行うものの、わずかな通信路誤りが重大な品質劣化を引き起こす可能性がある。この問題に対処するために、高能率でしかも通信路誤りに強い符号化方式の開発が急務である。

これまで、携帯電話用のフルレート音声符号化方式

とハーフレート符号化音声方式は、ともに CELP をその基幹技術に採用している。CELP は非常に高品質な復号音声を得られるが、今後クォータレート音声符号化方式 (誤り訂正込みで 2.8 kbit/s 程度を想定) の検討を行う場合、CELP はその伝送情報量の多さから適用が困難であると思われる。

一方、4.8 kbit/s 程度のビットレートを対象として残差励振音声符号化方式 (RELP)⁽³⁾ の検討がいくつか行われている。RELP は CELP と比較すると復号音声の音質はやや劣るが、音源として伝送する情報が低域波後にダウンサンプリングされた残差信号であるため、背景雑音に左右されやすい音源のピッチ周期の抽出が不要となる。このため、ピッチ情報の伝送誤りによる極端な品質劣化がない点で通信路誤りに強い、システムの構成が比較的簡易である、等の利点がある。そこで、この低域残差信号を高能率に伝送することができれば RELP をクォータレート符号化方式に適用可能であると考えられる。

一方、今後クォータレート音声符号化方式の検討を行う場合、高能率化を実現する上でベクトル量子化は必須の技術となる。例えば、CELP は線形予測フィル

[†] 埼玉大学工学部電気電子工学科, 浦和市
Faculty of Engineering, Saitama University, Urawa-shi, 338
Japan

* 現在, 山梨大学工学部電子情報工学科, 甲府市
Faculty of Engineering, Yamanashi University, Kofu-shi, 400
Japan

タの励振信号の雑音成分をベクトル量子化して伝送する方式であるのに加え、PSI-CELP では線形予測係数もベクトル量子化して伝送する。ベクトル量子化には、符号化への適用を前提として高能率化や耐雑音性能の向上を目指したさまざまな変形が存在する^{(4)~(6)}。筆者らもこれまでに、通信路誤りに強いベクトル量子化法として遷移を制約したベクトル量子化法 (CTVQ) を提案し、検討を行ってきた^{(7)~(10)}。通信路において符号誤りが重畳する場合には、CTVQ を用いることで、有限状態ベクトル量子化 (Finite State Vector Quantization: 以下 FSVQ)⁽⁴⁾ などの高能率なベクトル量子化法と誤り訂正符号を組み合わせた場合と同等以上の耐通信路誤り性能が得られることがわかっている⁽⁷⁾。そこで本論文では、RELP と CTVQ を組み合わせることで、誤り訂正込みで 2.8 kbit/s の音声符号化方式を構築し、その性能の検討を行う。

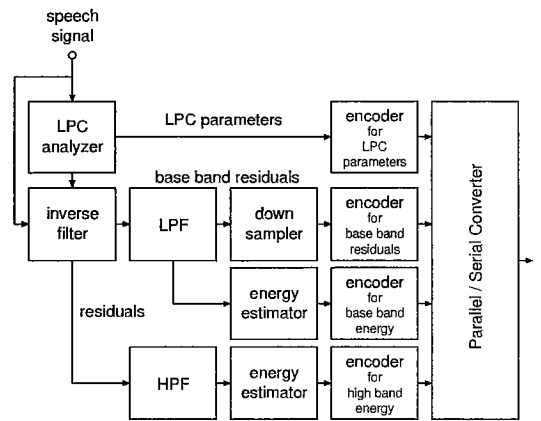
本論文の構成は以下のようになっている。まず 2. で RELP 符号化方式について簡単に述べた後に、3. で CTVQ の基本概念および RELP への応用に適した改良法について述べる。続く 4. では CTVQ を用いた 2.8 kbit/s の RELP 符号化システムについて述べ、更にセグメンタル SNR を用いた客観的復号音質評価を計算機シミュレーションによって行った結果について述べる。

2. RELP 符号化方式⁽³⁾

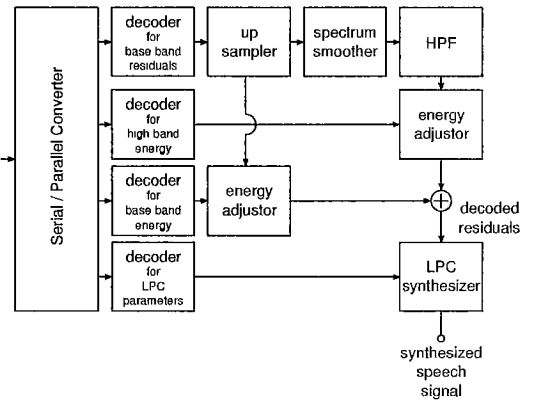
RELP 符号化システムの基本構成を図 1 に示す。符号器では入力音声に対して線形予測分析を行い線形予測係数を求める。スペクトル包絡情報としては線形予測係数またはその変形パラメータを符号化して伝送し、音源情報としては低域残波後にダウンサンプリングされた残差波形と低域および高域のエネルギーを伝送する。

復号器では伝送された残差波形の低域成分をアップサンプリングし、それから非線形回路を用いて高調波成分を発生させる。スペクトル平滑化した高調波成分と低域成分をゲイン調整後に加えて線形予測フィルタの励振音源として用いる。

RELP では高調波成分を生成する非線形回路とスペクトル平滑化法が復号音声の品質に大きな影響を与えるが、本論文の目的は CTVQ を用いて誤り訂正込みで 2.8 kbit/s の音声符号化システムが構成可能であることを示すことであり、RELP の復号音質改善が目的ではないため、検討するシステムでは単に非線形



(a) encoder



(b) decoder

図 1 RELP 符号化システムの基本構成

Fig. 1 A principal block diagram of RELP encoding/decoding systems.

回路には全波整流回路、スペクトル平滑化には最も基本的な適応型線形予測逆フィルタリング法を用いることにする。

3. 遷移を制約したベクトル量子化とその改良法

本章では遷移を制約したベクトル量子化 (Constrained Transition Vector Quantization: 以下 CTVQ)⁽⁷⁾ について簡単に説明した後に、RELP 符号化システムへ応用する場合に有効な改良法について述べる。

3.1 遷移を制約したベクトル量子化^{(7)~(9)}

はじめに、符号語数 4 の場合の通常ベクトル量子化のトレリス表現を図 2 に示す。ここでは、トレリス

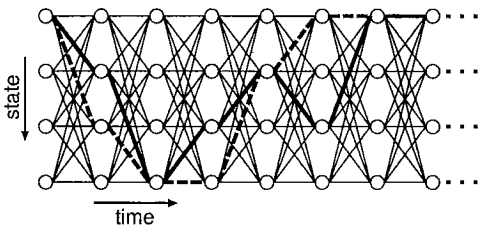


図 2 通常の VQ のトレリス表現
Fig. 2 A trellis diagram of the ordinary VQ.

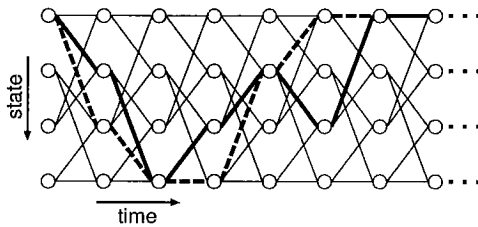


図 3 LS-CTVQ のトレリス表現
Fig. 3 A trellis diagram of the LS-CTVQ.

のノード (状態) は符号器が出力可能な符号語 (符号) に対応する。図中で太い実線で表されているパスはベクトル量子化器の出力した符号列の例を表し、太い破線で表されているパスは通信路で誤りが重畳した受信符号列の例を表す。このとき、通常のベクトル量子化では任意の符号語間の遷移が許されているために、誤りの重畳した受信符号系列も符号器の出力し得る符号系列の一つになってしまうため、復号器では誤りの発生したことを検出することができない。

一方、図 3 は筆者らが文献(7)で提案した CTVQ をトレリスで表したものである。符号語数は図 2 と同様に 4 であり、トレリスのノードは符号語と 1 対 1 で対応している。CTVQ では、記憶のある情報源ではベクトル量子化の出力符号系列に連鎖性が生じることを利用し、確率の低い遷移を制限する。このため図 3 の CTVQ のトレリス表現では、図 2 の通常の VQ の場合に比べてトレリスのパスがまばらになっている。すなわち、状態ごとに定義されたコードブックの部分集合を探索して出力符号を決定するわけである。この場合、誤りの重畳した受信符号系列は必ずしも符号器の出力し得る符号系列に含まれなくなる。そこで、このトレリス上でビタビアルゴリズムを適用することで受信符号系列に重畳した誤りの訂正が可能となる。文献(7)の方法では、各ノードにおいて出力可能な符号語を積極的に限定するために情報源符号化の意味での量子化ひずみはいくらか増大するが、通信路誤りによって生

じる劣化を大幅に低減することが可能なため、総合的なひずみを小さく抑えることができる。

CTVQ は符号器が状態をもつという点で FSVQ と類似しているが、FSVQ では、各状態で出力可能な符号語を全符号語の部分集合に制限して状態ごとに符号を少ないビット数で表現することで、通常のベクトル量子化と比べて高能率な (少ビット表現の) 符号化を実現している。これに対して、CTVQ では状態によらず全符号語に一意に符号を割り当てるため、表現するビット数は通常のベクトル量子化と変わらないが、符号語間の遷移に制約を与えることで一種の冗長を生み出し、それを誤り訂正に利用している。この観点から、両者は全く異なるものである。文献(7)の手法では符号器の状態と符号語が 1 対 1 で対応しているため、以後これを状態ラベル型 CTVQ (Labeled State CTVQ : 以下 LS-CTVQ) と呼ぶことにする。

3.2 遷移を制約したベクトル量子化の改良法

RELP とベクトル量子化を組み合わせる高能率な符号化システムを構築する場合、残差信号の低域成分のために多様な符号語を用意する必要がある。LS-CTVQ では符号語がトレリスのノード (状態) に対応するために、コードブックに含まれる符号語数の増加に伴って復号器のビタビアルゴリズムで用いるトレリスのノード数も増加する。このため、LS-CTVQ を残差の低域成分の符号化に適用した場合には、誤り訂正に必要な記憶量と演算量が膨大になってしまう。

一方、FSVQ ではトレリスの状態に符号語を割り当てる LS-FSVQ に対して、トレリスの遷移に符号語を割り当てることでコードブックの保持に必要な記憶量を低減する LT-FSVQ が存在する⁽⁴⁾。また、通信路符号化において畳込み符号に代表されるトレリス符号などは、概してトレリスの遷移に符号を割り当てる手法である。畳込み符号が符号間の遷移に存在する制約によって誤り訂正が可能である点を考慮すると、CTVQ において符号語をトレリスのノード間の遷移に割り当てた場合にも符号語間の遷移に制約が存在すれば誤り訂正が可能で、またトレリスのノード数はコードブックに含まれる符号語の数と独立に決定できるため、前述の問題にも対処することが可能となると考えられる。この観点から筆者らは、LT-FSVQ の考え方を CTVQ に導入した遷移ラベル型 CTVQ (Labeled Transition CTVQ : 以下 LT-CTVQ) の検討を行ってきた⁽¹⁰⁾。

図 4 に 3 状態の LT-CTVQ のトレリス表現を示す。

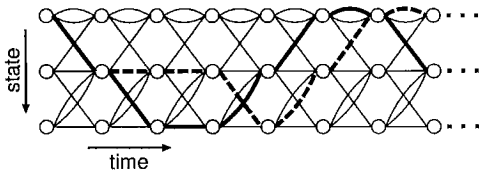


図 4 LT-CTVQ のトレリス表現
Fig. 4 A trellis diagram of the LT-CTVQ.

図 3 の LS-CTVQ ではノードは符号語と対応していたが、図 4 の LT-CTVQ のノードはあくまで抽象的な状態を表しているにすぎない。LT-CTVQ のトレリスでは二つのノード間に複数の遷移が存在したり、あるノードから他のすべてのノードに遷移することが可能な場合があり、トレリスのノード間の遷移は必ずしも制約されていない。しかし、各ノードで出力可能な符号語の数を全符号語数より少なく抑える（そのノードで出力しない符号語を設ける）ことで符号間の遷移が制約され、ビタビアルゴリズムによる誤り訂正が可能となる。

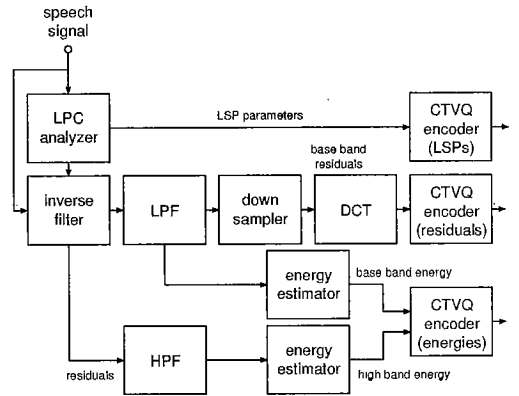
上述したように、符号器の状態間の遷移に符号語を割り当てる手法は LT-FSVQ においても用いられている。LT-FSVQ は高能率な情報源符号化を実現する手法であり、誤りのある通信路で用いる場合には、LT-FSVQ によって符号から冗長を取り除いた後に通信路符号化により冗長を追加するタンデム符号化によって誤り耐性を強化する必要がある。これに対して、LT-CTVQ は情報源符号化と通信路符号化をまとめて行う情報源—通信路統合符号化を実現する手法である点で、LT-FSVQ とは異なった手法である。

4. RELP と CTVQ を用いた 2.8 kbit/s 音声符号化システム

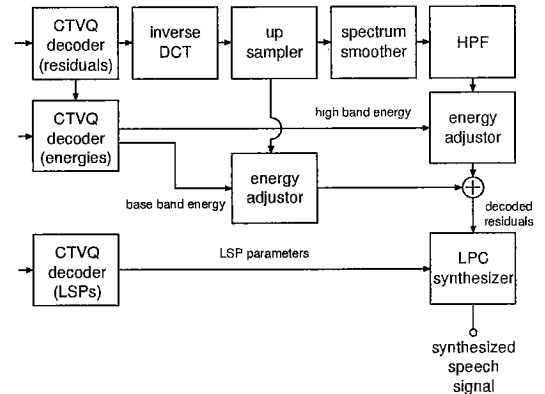
本章では RELP 符号化システムと LT-CTVQ を組み合わせて 2.8 kbit/s で音声を符号化するシステムについて述べる。

4.1 システムの概要

提案するシステムの基本構成を図 5 に、入力音声および分析の条件を表 1 に示す。また誤り訂正込みで 2.8 kbit/s で RELP システムを構成するために、残差のエネルギーとスペクトル包絡パラメータの線スペクトル対 (Line Spectrum Pair: 以下 LSP) 係数の時間的な変化は残差信号の離散コサイン変換 (以下 DCT) 係数に比べて緩やかであることを考慮して、残差の低域成分に多くのビットを割り当て、表 2 のように各パラメ



(a) encoder



(b) decoder

図 5 提案するシステムの基本構成
Fig. 5 A principal block diagram of the proposed encoding/decoding systems.

表 1 入力音声と分析の条件

サンプリング周波数	8 kHz
フレーム長	30 ms
フレーム周期	20ms
分析次数	10 次
遮断周波数	800 Hz
ダウンサンプリング	1/5

表 2 パラメータへのビット割当て

LSP 係数	9 bit/frame
DCT 係数	10 bit/subframe
エネルギー	7 bit/frame
合計	56 bit/frame

ータにビット配分を行った。

符号器では通常の RELP と同様に入力音声の線形予測分析を行い、線形予測係数と残差の低域成分、低域および高域のエネルギーを求める。スペクトル包絡情報としては、線形予測係数を補間特性の良い LSP パラメータに変換し、LT-CTVQ を用いてフレーム当り 9 bit で符号化する。音源情報のうち残差の低域成分は時間的な変化が大きいため、線形予測分析時のフレームを更に四つのサブフレームに分割する。このサブフレームごとに DCT 係数に変換した後に、LT-CTVQ でサブフレーム当り 10 bit で符号化する。低域と高域のエネルギーは伝送情報量を減らすために一つのベクトルとしてフレーム当り 7 bit で符号化する。

復号器では伝送された符号をそれぞれ LT-CTVQ の復号器で復号する。このときにビタビアルゴリズムによって誤り訂正が行われ、通信路で重畳したビット誤りが低減される。その後、逆離散コサイン変換で得られる残差波形の低域成分をアップサンプリングし、非線形回路を通して高調波成分を発生させる。この高調波成分にスペクトル平滑化、高域フィルタリング、ゲイン調整を行い、同じくゲイン調整した低域成分と加え合わせて線形予測フィルタを励振し、復号音声を得る。

4.2 LT-CTVQ のパラメータの検討

LT-CTVQ を用いる場合、符号器の状態数、各状態からの遷移数などによってシステムの性能が変化する。そこで本節ではこれらのパラメータに関する検討を行う。LT-CTVQ のコードブックは男女各 2 名がそれぞれ発声した 50 短文を用いて学習を行い、学習外の女性話者 2 名の発声した 50 短文を用いて評価を行った。また通信路としては 2 元対称通信路を仮定し、誤り訂正の際には距離尺度にハミング距離を用いる硬判定ビタビアルゴリズムを用いた。

4.2.1 LSP パラメータの符号化

ここでは、LSP パラメータを CTVQ で符号化する場合の符号器のパラメータについて検討を行う。ベクトル量子化時のベクトル間の距離尺度としては次の 2 乗距離を用いた。

$$d(l_x, l_y) = \sum_{j=1}^P \{l_x(j) - l_y(j)\}^2 \quad (1)$$

ここで P はベクトルの次数を表し、 $l_x(j)$ と $l_y(j)$ はそれぞれ入力と出力の LSP ベクトルの j 番目の成分を表す。また復号ベクトルの評価には次式のケプストラムひずみを用いた。

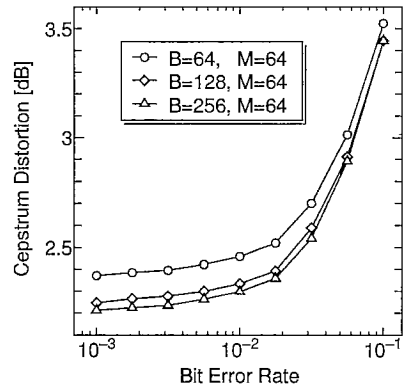


図 6 LSP 係数の符号化における通信路のビット誤り率対復号後のケプストラムひずみ特性

Fig. 6 Decoded cepstrum distortion vs. channel bit error rate characteristics in LSP coefficients coding.

$$D_{cep} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{10}{\ln 10} \sqrt{2 \sum_{j=1}^P (c_x^i(j) - c_y^i(j))^2} \quad (2)$$

ここで c_x^i および c_y^i は l_x^i と l_y^i から求めた LPC ケプストラムベクトル、 N は平均操作の数である。

LT-CTVQ によって LSP 係数を符号化した場合の、通信路のビット誤り率と復号後のケプストラムひずみの関係を図 6 に示す。ここで符号器の状態数 B は 64, 128, 256, 各状態から出る遷移数 M は 64, ビタビ復号時の復号遅延は 1 フレームである。状態数が多いほど誤り率が小さい場合のひずみが小さくなっているが、状態数が 128 と 256 の場合のひずみの差はわずかであり、誤り訂正能力も大きな差はないものと考えられる。復号時のビタビアルゴリズムの計算量を抑えるために状態数は小さい方が望ましいため、LSP 係数の符号化には $B=128$ の符号器を用いることにした。

続いて遷移数に関して検討を行う。図 7 は状態数 B が 128 の符号器において遷移数を変えた場合の遷移数と復号後のケプストラムひずみの関係を示したものである。誤り率 P_e が高い場合、遷移数 64 までは遷移数の減少と共に誤り訂正能力が強化されるためにひずみは減少するが、遷移数が 64 より多くなると誤り訂正能力が低下するためにひずみは増加する。また、誤り率が低い ($P_e=10^{-3}$) 場合には遷移数の減少に応じて量子化ひずみが増大するために復号後のケプストラムひずみは逆に増加する。そこで、誤り訂正能力と量子化ひずみのトレードオフを考慮して LSP 係数の符号化用のコードブックでは遷移数は 64 とした。

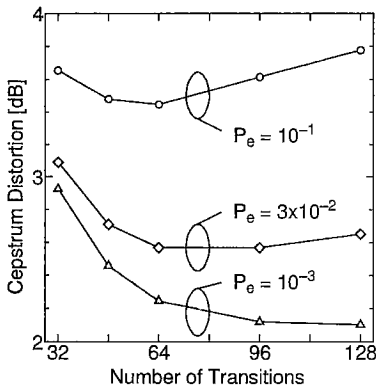


図7 LSP係数の符号化における遷移数対復号後のケプストラムひずみ特性 ($B=128$)
 Fig. 7 Decoded cepstrum distortion vs. the number of transitions characteristics in LSP coefficients coding. ($B=128$)

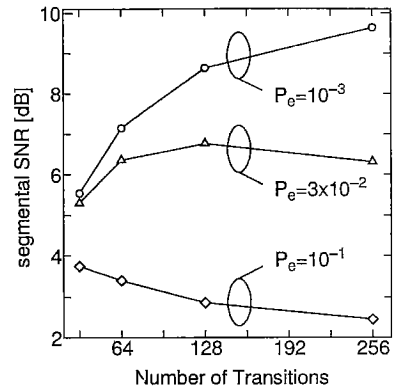


図9 DCT係数の符号化における遷移数対復号後のセグメンタルSNR特性 ($B=128$)
 Fig. 9 Decoded segmental SNR vs. the number of transitions characteristics in DCT coefficients coding. ($B=128$)

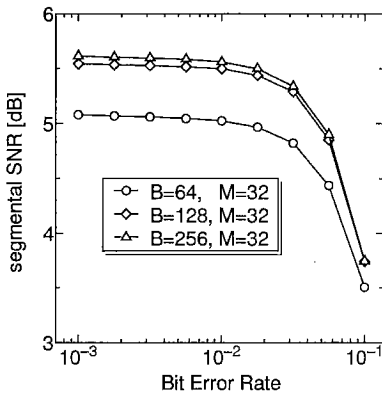


図8 DCT係数の符号化における通信路の誤り率対復号後のセグメンタルSNR特性
 Fig. 8 Decoded segmental SNR vs. channel bit error rate characteristics in DCT coefficients coding.

4.2.2 残差信号の符号化

ここでは、残差の低域成分のDCT係数をCTVQで符号化する場合の符号器のパラメータの検討を行う。ベクトル量子化時のDCT係数ベクトル間の距離尺度にはLSP係数と同様に2乗距離を用い、コードブックの評価には、符号化前の低域残差波形と復号されたDCT係数に逆DCTを施して得られる低域残差波形とのセグメンタルSNRを用いた。

$$SNR_{seg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ 10 \log_{10} \frac{\sum_{j=0}^{L/2} f_x^2(j)}{\sum_{j=0}^{L/2} (f_x^2(j) - f_y^2(j))} \right\} \quad (3)$$

ここで、 N は平均操作の際のセグメントの数、 L はセグメント長、 f_x^2 と f_y^2 はそれぞれもとの低域残差波形と

合成した低域残差波形のFFTパワースペクトルである。

図8はLT-CTVQによって残差のDCT係数を符号化した場合の、通信路のビット誤り率と復号後のセグメンタルSNRの関係を表している。ここで符号器の状態数 B は64, 128, 256, 各状態から出る遷移数 M は32, ビタビ復号時の復号遅延は1フレームである。また、 SNR_{seg} を求める際のセグメント長 L は64とした。LT-CTVQの誤り訂正能力によって、どの状態数でも誤り率 P_e が 10^{-2} までは SNR_{seg} に大きな劣化はない。また状態数が多いほど SNR_{seg} がよいことがわかる。しかし、LSP係数の場合と同様に状態数を128以上に増やしても大きな SNR_{seg} の改善が得られないことと、復号時のビタビアルゴリズムの計算量を抑える必要があることから、符号器の状態数 B は128とした。

図9は $B=128$ の符号器の遷移数を変化させたときの、遷移数と SNR_{seg} の関係を表したものである。 $P_e=10^{-1}$ では遷移数の減少と共に SNR_{seg} は改善されるが、それに伴い誤り率が小さい場合の SNR_{seg} が劣化している。これは、残差信号のDCT係数は連続するベクトル間の相関が弱いために、遷移数を減らすとDCT係数の変化を表現しきれなくなるためと考えられる。この傾向は $P_e=3 \times 10^{-2}$ において顕著に現れており、遷移数が128の場合がピークとなっている。そこで、誤り訂正能力を確保した上で量子化誤差による SNR_{seg} の劣化をできる限り抑えるために、遷移数は128とした。

表 3 タンデム符号化システムの主な諸元

	パラメータ	状態数	遷移数	ビット数
LT-FSVQ	LSP 係数	128	64	6bit/frame
	DCT 係数	128	128	7bit/subframe
	エネルギー	64	32	5bit/frame
誤り訂正	拘束長 7	符号化率 2/3		
	バンクチャド畳み込み符号 ⁽¹¹⁾			
	ピタビ復号遅延 50 ビット			
ビットレート				2925 bit/sec

残差のエネルギーベクトルの符号化についても同様の検討を行い、状態数 64、遷移数 32 とした。

4.3 SNR_{seg} による復号音声の客観的評価

前節で決定したパラメータを用いて 2.8 kbit/s 音声符号化システムを構成し、その復号音声の評価を SNR_{seg} を用いて計算機シミュレーションにより行った。SNR_{seg} を求める際のセグメント長 L はここでは 256 とした。ここでは、通信路には最大ドップラー周波数 40 Hz のレイリーフェージングを仮定し、誤り訂正には軟判定ピタビアルゴリズムを用いて検討を行った。

比較のために LT-FSVQ とバンクチャド畳み込み符号⁽¹¹⁾ を組み合わせると約 2.9 kbit/s で符号化するタンデム符号化システムを構成し、同様のシミュレーションを行った。タンデム符号化システムの主な諸元を表 3 に示す。LT-FSVQ には LT-CTVQ と同じ状態数と遷移数のものを用い、システムの規模と通信路誤りがない場合の復号品質が同じになるようにして比較した。また、各ベクトル量子化器の出力した符号をパラレル/シリアル変換器で一つのビット列とした後に、すべてのビットに対して一様に拘束長が 7 の (3, 2) バンクチャド畳み込み符号によって誤り訂正符号化を行っている。このため、タンデム符号化システムのビットレートは LT-CTVQ を用いた場合に比べてわずかに高く、タンデムシステムがやや有利な設定となっている。同様に、ピタビアルゴリズムの状態数や復号遅延などについても比較用のタンデム符号化システムがやや大きく、有利な設定となっている。

図 10 に通信路の平均 E_b/N_0 に対する復号後のセグメンタル SNR を示す。LT-CTVQ を用いた提案システムでは、通信路の平均 E_b/N_0 が 10 dB 程度までは SNR_{seg} に大きな劣化はなく、それ以下でも急激には劣化しない。これに対して、LT-FSVQ とバンクチャド畳み込み符号を組み合わせた従来のシステムでは、 E_b/N_0 が 20 dB では LT-CTVQ の場合とほぼ同程度だが、それ以下になると急激に SNR_{seg} が低下する。SNR_{seg} が 6.5 dB で比較した場合、提案システムはタ

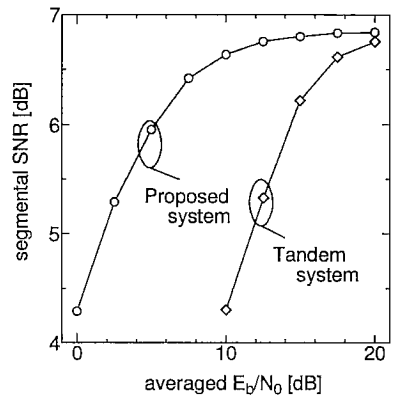


図 10 フェージングのある通信路における平均 E_b/N_0 対セグメンタル SNR 特性
Fig. 10 Averaged E_b/N_0 vs. segmental SNR characteristics on fading channels.

ンデムシステムに対して約 8 dB の利得が得られている。

FSVQ は自己回帰型のベクトル量子化法であり、符号器と復号器の状態遷移が同期している必要がある。FSVQ の復号器では復号判定結果に応じて状態遷移が起こるため、一度誤った判定を行うと符号器と復号器の状態遷移が同期しなくなり、その後の符号を連鎖的に誤って復号してしまう可能性がある。これに対して、CTVQ の復号では、各時点ごとの復号の際に過去の受信符号は参照するが、過去の判定結果を直接参照しないため、CTVQ では誤り伝搬は存在しない。このように FSVQ には誤り伝搬が存在することと、2.8 kbit/s の制約のもとではあまり誤り訂正能力の高い誤り訂正符号を用いることができないこと、が提案システムがタンデムシステムに比べて優れている理由として挙げられる。

5. む す び

本論文では CTVQ を RELP 符号化システムに適用し、誤り訂正込みで 2.8 kbit/s で音声を符号化するシステムを提案し、計算機シミュレーションによる検討を行った。

まず、RELP に適用する場合に有効な CTVQ の改良法として符号語を状態間の遷移に割り当てる LT-CTVQ について述べ、RELP に適用する場合のパラメータの検討を行った。次に構成したシステムをフェージングのある劣悪な通信路に適用し、その場合の復号音声の品質評価をセグメンタル SNR によって行った。LT-CTVQ を用いることで低ビットレートで通信

路誤りにも強い音声符号化システムが構成可能なことを示した。

今後の課題としては、更に話者を増やした大規模な実験による各パラメータの最適化や、コードブックの閉ループ探索の導入による復号音声の更なる音質改善などが挙げられる。

謝辞 日ごろ御世話頂き、更に音声データを提供して頂いた埼玉大学工学部情報工学科の鈴木誠二教授に深謝致します。また日ごろ御世話頂く、埼玉大学の羽石操教授、小林禧夫教授に深謝致します。

文 献

- (1) Schroeder M. R. and Atal B. S.: "Code-Excited Linear Prediction (CELP): High-Quality Speech at Very Low Bit Rates", Proc. IEEE ICASSP '85, 25.1.1, pp. 937-940 (April 1985).
- (2) 三樹 聡, 守谷健弘, 間野一則, 大室 伸: "ピッチ同期雑音励振源をもつ CELP 符号化 (PSI-CELP)", 信学論(A), **J77-A**, 3, pp. 314-324 (1994-03).
- (3) Un C. K. and Magill D. T.: "The Residual-Excited Linear Prediction Vocoder with Transmission Rate Below 9.6 kbit/s", IEEE Trans. Commun., **COM-23**, 12, pp. 1466-1474 (Dec. 1975).
- (4) Foster J., Gray R. M. and Dunham M. O.: "Finite-State Vector Quantization for Waveform Coding", IEEE Trans. Inform. Theory, **IT-31**, 3, pp. 348-359 (May 1985).
- (5) Farvardin N.: "A Study of Vector Quantization for Noisy Channels", IEEE Trans. Inform. Theory, **IT-36**, 4, pp. 799-809 (July 1990).
- (6) Moriya T.: "Two-Channel Conjugate Vector Quantizer for Noisy Channel Speech Coding", IEEE J. Sel. Area. in Commun., **10**, 5, pp. 866-874 (June 1992).
- (7) 堀 雅典, 長谷川孝明: "誤りのある通信路における音声符号化のための遷移を制約したベクトル量子化法について", 信学論(A), **J77-A**, 6, pp. 905-914 (1994-06).
- (8) 堀 雅典, 長谷川孝明: "CTVQ 符号の軟判定復号について", 信学'93 秋大, A-189.
- (9) Hanawa M. and Hasegawa T.: "Performance evaluation of Constrained Transition Vector Quantization on Rayleigh fading Channels", 1993 Int. Sympo. on Non-linear theory and its Applications., **7.5.6**. (Dec. 1993).
- (10) 堀 雅典, 長谷川孝明: "遷移を制約したベクトル量子化の改良法とフェージング通信路への適用について", 信学技報, **IT94-19** (1994-05).
- (11) 安田 豊, 平田康夫, 小川 明: "ヴィタビ復号の容易な高符号化率畳み込み符号とその諸特性", 信学論(B), **J64-B**, 7, pp. 573-580 (1981-07).

(平成 6 年 9 月 1 日受付, 7 年 2 月 15 日再受付)

堀 雅典



平 2 埼玉大・工・電子卒, 平 4 同大大学院博士前期課程了。平 7 同大大学院博士後期課程了。学術博士。現在, 山梨大学工学部電子情報工学科助手。情報源-通信路統合符号化, マルチメディア通信システム, ニューラルネットワークなどに興味をもつ。

長谷川孝明



昭 56 慶大・工・電気卒, 昭 61 同大大学院博士課程了。工博。同年, 埼玉大・工・電気助手。現在, 同電気電子工学科助教授。スペクトル拡散通信システム, ニューラルネット, ヒューマンテクノロジーに興味をもつ。平 2 年度篠原記念学術奨励賞受賞。

著書に「スペクトラム拡散技術の基礎と応用」(分担執筆), 「スペクトラム拡散通信方式応用技術」(分担執筆), 「プライマリー C 言語ノート」がある。IEEE, 情報理論とその応用学会各会員。