

氏名	木幡稔
授与学位	工学博士
学位授与年月日	昭和 61 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学
学位論文題目	音声信号の帯域圧縮伝送方式に関する研究
指導教官	東北大学教授 高木 相
論文審査委員	東北大学教授 高木 相 東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 重井 芳治 東北大学助教授 越後 宏

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

音声信号は一般に言語情報の物理的な発現であるといえるが、その本来の役割りは「人間同志の意志の伝達」であるといえる。その音声の伝送は、現代においては社会における基幹中枢的な役割を果たしており、もはや絶対に欠かせないものとなっている。電話機の発明によって音声の空間的な制約が解消されたが、現在では、これまで単に物理的な電圧波形として取り扱われてきた音声をデジタル信号として表現することにより、他の情報と統合された情報として伝送することを目的として、大量でより広範囲な音声情報の伝送が実現されつつある。

しかし、音声信号をデジタル信号として伝送する場合には、他のデジタル・データに比べ桁違いに大きな伝送レートが必要とされる。音声の有する情報を大別すると、音韻情報、個人性や感情を表わす情報、およびこの両者が結合した情報が考えられるが、一般にこれらの情報を十分な品質で伝送するためには、PCM方式によって 8 ビットの分解能で量子化した場合、64 kbps の伝送レートが必要となる。この値はファクシミリなどのデジタル・データを伝送する場合に比べ非常に大きく、また多分に冗長性を含んでいるものである。

本論文で取り上げる音声信号の帯域圧縮伝送は、こういった音声信号をデジタル信号として統合し、大量・広範囲の伝送を行なうという背景のなかにあつて、冗長度を抑圧したより低ビットレートでの音声信号の伝送を目的とするものであり、その社会的意義は大きいといえる。

本論文では、音声信号から伝送するパラメータを抽出する際に、聴覚における生理的、心理的な特性を考慮することを試み、これによって個人性や自然性を失うことのない帯域圧縮を実現する方式の提案を行なう。さらに、このパラメータの伝送方式にベクトル量子化を用いた帯域圧縮伝送システムの提案を行ない、1 kbps 以下の伝送レートでの音声信号の帯域圧縮伝送を目標として、システムの設計方法、量子化アルゴリズム、及びシステムのハードウェア構成法について検討を行なう。

## 第2章 音声信号の帯域圧縮伝送方式に関する従来の研究と問題点

従来まで研究されてきた音声信号の帯域圧縮伝送方式は、時間波形領域での処理によるもの、線形予測分析を用いるもの、及び周波数領域での処理を用いるものに大別することができる。本章では、それぞれの分類に属する各種の方式について議論を行ない、1 kbps 以下での帯域圧縮伝送を行なう際の問題点について検討する。

その結果、人間の聴覚上の特性を考慮したシステムの設計が可能である点で、周波数領域での処理を用いるものがより良い音質での帯域圧縮伝送が可能であることを提言する。さらに、伝送レートの削減を画するためベクトル量子化を導入し、これを周波数領域で応用することの優位性について述べる。

## 第3章 周波数領域における帯域圧縮法

人間が知覚する音の高さは物理的な周波数に対して線形な関係にはないことが知られており、この知覚上の周波数尺度はStevensによって実測されたメル尺度として知られている。このメル尺度  $F_m$  は物理的な周波数  $f$  に対して(1)式によって近似される。

$$F_m = 1000 \cdot \log_2 (1 + f/1000) \quad (1)$$

この特性を用いて、周波数をメル尺度上において等間隔になるような区間  $S_j$  に区分し、各  $S_j$  に対して(2)式のように、ある関数  $A$  を用いてメル尺度化スペクトラム  $X_j$  を算出する。

$$X_j = A(S_j) \quad (1 \leq j \leq M) \quad (2)$$

ここで、 $M$  は得られるスペクトル数を表わし、これが小さいほど圧縮の度合いが大きくなる。この方法による圧縮は、音声信号のスペクトル包絡を表わす低次のケプストラム係数を得る際に用いられ、これによって伝送

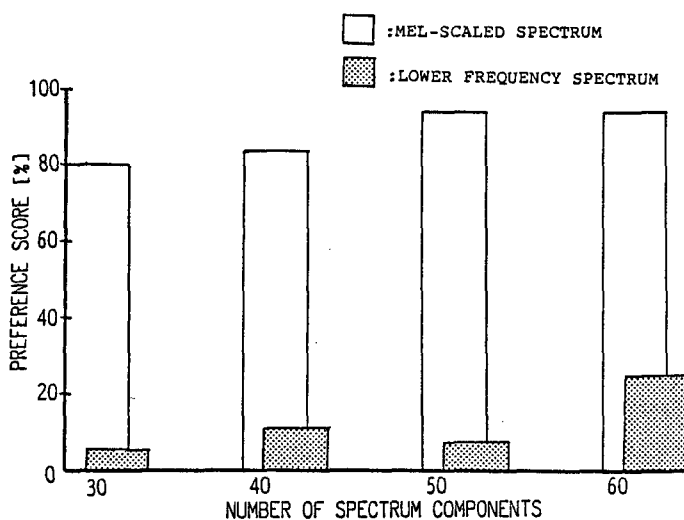


図1 メル尺度化による帯域圧縮音声の主観評価値

するパラメータ数の圧縮を試みたところ、1フレーム(32 ms)当たり15~20個程度のパラメータの伝送で、十分に明瞭な合成音声を得られることが確認された。図1は、このとき伝送するパラメータの個数に対する、合成音声のプリファレンス・テスト(対比較試験)による主観評価値を示す。図1において、比較の対象としては低域の同数のDFT係数から合成された音声を用いている。

#### 第4章 周波数領域におけるベクトル量子化を用いた帯域圧縮伝送方式

本章では第3章で述べた処理に基づいて音声信号より抽出された圧縮パラメータを効率的に符号化するシステムとしてベクトル量子化を応用したシステムを提案する。また、ベクトル量子化器のコードブック(符号帳)の設計方法として多変量解析の一手法である主成分分析を用いたアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムは、Crayの提案したSplitting法において、各クラスタの重心を分割する際に、各クラスタに対して独立に主成分分析を行ない、その結果得られる第1主成分ベクトルの方向に重心を分割する方法である。この処理は、より最適条件に近い、すなわち量子化歪がより小さいコードブックを作成することを意図している。第3章で述べたパラメータを要素とする約12000個の学習ベクトルセットを用いて、提案したアルゴリズムによりコードブックを作成し、学習回数に対するその平均量子化歪の推移を通常のSplitting法を用いた場合と比較した結果、図2に示すように、より最適条件に近いコードブックが得られることが確認された。

作成したコードブックを用い、計算機シミュレーションによってベクトル量子化による帯域圧縮伝送を行なった結果、約650~750bpsの伝送レートにて十分に明瞭な合成音声を得ることができた。図3に、提案するシステムにおけるコードベクトル数に対する伝送

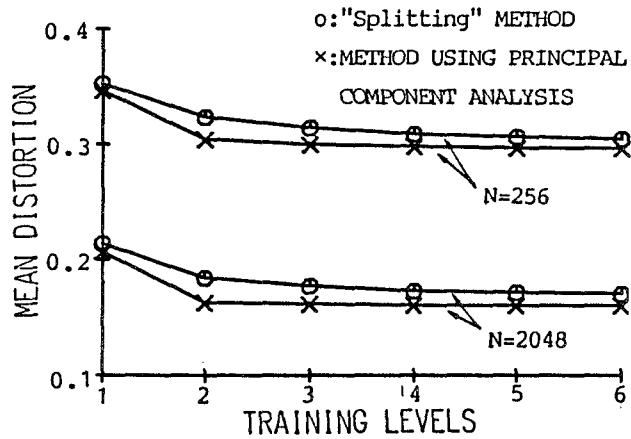


図2 主成分分析を用いたアルゴリズムによって作成されたコードブックにおける平均量子化歪(N:コードベクトル数)

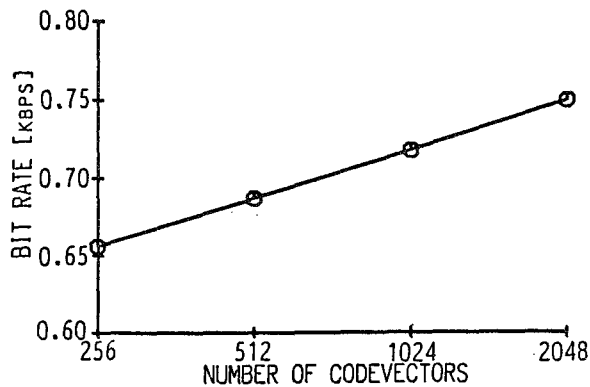


図3 ベクトル量子化を用いた伝送システムにおける伝送レート

レートを示す。

## 第5章 帯域圧縮伝送方式のための高速ベクトル量子化法

本章ではベクトル量子化を高速に実行する方法について提案及びその評価を行なう。ベクトル量子化の処理はコードブック内から入力ベクトルに最も近いベクトルを探索する処理に他ならないが、提案するアルゴリズムは、以下の二項に着目して、ベクトル間の距離計算の冗長性を除去する方法である。

① コードブック作成に用いた学習ベクトル全体の第1主成分ベクトルの有する統計的性質。

② 入力ベクトルとコードブック・ベクトルとのユークリッド距離 $\sqrt{d}$ と、第1主成分ベクトル上で測った両者の距離 $S$ には(3)式の関係がある。

$$\sqrt{d} \geq S \quad (3)$$

本アルゴリズムを第4章で作成したコードブックを用いて、5つの音声標本に対して用いたところ、図4に示すように全探索法に比べ最大で約1/3の距離計算回数で済むことが確認された。

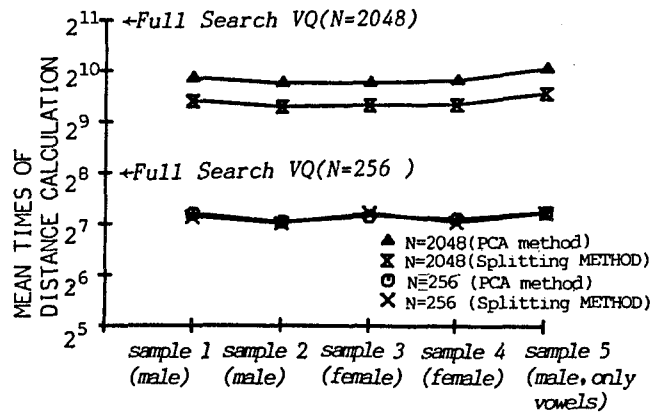


図4 高速ベクトル量子化法における平均距離計算回数

## 第6章 帯域圧縮伝送方式のためのハードウェア構成

本章では、周波数領域での音声信号の帯域圧縮伝送システムを実現するためのハードウェア構成について検討を行ない、この際にベクトル量子化器の有する機能をどのように分割して集積回路化すべきかを考察する。また、現在これらの集積回路に関する研究がどれほどの完成度に達しているかを具体例によって示し、今後開発を必要とする技術について指摘する。

## 第7章 結 論

本論文においては、音声信号の超低ビットレート伝送を主題として、音声に含まれる情報の効果的な圧縮方法およびその具体的な実現方法について、提案と実験的検討を行なった。

本論文で得られた成果は、まず、音声信号から情報圧縮されたパラメータを抽出する方法を提案し、少数のパラメータの伝送によって、主観上比較的良好な合成音声を得られたことである。そして、帯域圧縮の理論的境界に接近できる方法としてベクトル量子化を導入し、ベクトル量子化器の設計方法、その高速処理の方法について提案、検討を行なった。その結果上記パラメータを700 bps前後の伝送レートで伝送できることが確認され、超低ビットレートでの帯域圧縮伝送の足掛かりを得ることができた。

## 審査結果の要旨

情報化社会の進展に伴い、信号をできるだけ狭帯域で伝送し、周波数の有効利用を図る技術、すなわちできるだけ低いビットレートで伝送する技術の発展が望まれている。中でも音声信号の低ビットレート伝送方式の確立は、通信網のデジタル化による高度情報化社会を構築して行く上で、欠くことのできない重要な課題である。

本論文は人の聴覚特性をも考慮して、音声信号を高効率でベクトル量子化することにより極めて低いビットレートで伝送できることを示したもので全文7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、音声信号の帯域圧縮伝送方式に関する従来の研究を概観している。そして本研究の目的には、人の聴覚特性を考慮することの可能性と、伝送にベクトル量子化法を適用することの有用性を述べている。

第3章では、音声信号を周波数領域でベクトル量子化することを前提にして、音声パラメータの抽出法について述べている。ここで、音に対する聴覚上の尺度として知られているメル尺度を用いて、周波数軸上の非線形伸縮を行うことにより、パラメータ数が効果的に削減できることを実験により明らかにしている。

第4章では、抽出された音声パラメータを伝送するためのベクトル量子化について述べている。ここでは、初期ベクトルを多変量解析的手法を用いて決定する方法を提案し、従来の方法と比較して優るとも劣らない、最適なコードブックが得られることを示している。なおここで、伝送レートを毎秒750ビット程度になし得ることを実験的にも示しているが、これは高く評価できる成果である。

第5章では、ベクトル量子化を実行する際の計算速度の高速化について、入力ベクトルの統計的性質を考慮した新しい計算法を提案している。これによれば全探索法に比して、約3倍程度の高速化が計れることを示している。

第6章では、前章までに述べた音声信号の帯域圧縮伝送方式を実現するために必要となる技術を、ハードウェアの立場から論じている。この中で著者らが提案しているPFT-IC（並列フーリエ変換IC）の位置づけを明らかにしている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、聴覚の特性を考慮した音声パラメータの効果的な抽出法と新しいベクトル量子化法を導入して、毎秒750ビット程度という極めて低い伝送レートで音声の伝送が可能であることを示したもので、通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。