

## 複数反響路エコーキャンセラを用いた音声会議装置

### Audio Teleconferencing Set with Multi-Path Echo Canceller

及川 弘\*

Hiroshi OIKAWA

小泉 宣夫\*\*

Nobuo KOIZUMI

牧野 昭二\*\*

Shoji MAKINO

**あらまし** 本論文では、エコーキャンセラ技術を用いて実用化した音声会議装置について述べる。複数のマイクロホンを用いた系においても安定に動作する拡声通話系の設計技術を確立し、音声の切断やエコーのない優れた同時通話性能(エコー処理時間0.5秒)を実現した。本装置は、以下に示す技術を有する。

- (1) 送話者が替わりマイクロホンが切換わっても、反響路の変化に瞬時に追随し、十分な消去特性を確保できるエコーキャンセラ構成技術
- (2) 広帯域(7kHz)なエコー消去処理を汎用の信号処理プロセッサを用いて実現する回路構成技術

An Audio Conferencing Set with an acoustic echo canceller has been developed which eliminates acoustic coupling and echo feedback, and allows fully open and life-like conversation. It is designed to be used with multiple microphone system containing gain switching.

The echo canceller is provided with memories for multiple echo paths so that filter coefficients may be updated when echo path is switched due to a change of actuated microphone when speaker alternation occurs. Delay processing time of 0.5sec. for 7kHz band signal is achieved by using digital signal processor chips.

#### 1 まえがき

近年、旅費や移動時間の節約という経費節減と効率的な運営という側面に加え、迅速な意志の伝達や積極的な経営参加機会の増加を狙いとした各種会議システムの導入が図られている<sup>(1)</sup>。このとき、最も基本的な伝達手段である音声通話系についても従来にも増して優れたハウリング、エコー抑圧技術の提供が望まれる。

会議通話系でのマイクロホン、スピーカを用いた拡声通話の実現には、従来より音声スイッチ方式<sup>(2)</sup>やエコーキャンセラ方式<sup>(3)</sup>が使用されている。このうち、前者は音声スイッチの送話・受話切換え時に通話音声の話頭・話尾の切断を生じる場合がある。これに対し、後者は反響路のインパルス応答を模擬するデジタルフィルタの出力を真の反響路の出力から差し引きこれを消去するため、相互通話時の同時通話性に優れ自然

な拡声通話が実現できるので、最近、会議装置にも使われはじめている。

しかし、これまでのエコーキャンセラは、エコー処理時間が約0.25秒と短く、利用にあたっては室内に吸音処理を施すなどの配慮が必要であった。また、会議参加者が増加するとマイクロホンの本数が増加するため、従来の単純なマイクロホン出力のミキシングでは信号対雑音比が低下し、品質が低下する。これを避けるためには、複数のマイクロホンを切換え制御することが有効である<sup>(4)</sup>が、これは複数の反響路を有することになり、単純に従来のエコーキャンセラに適用すると安定した性能が得られない。

ここで提案する複数反響路エコーキャンセラは、複数マイクロホン切換え時にも安定動作を実現すると共に、エコー処理時間を約0.5秒まで拡大したものであり、会議列席者が多い場合の安定動作と、使用する部屋の条件の緩和をはかっている。

\*NTT通信機器事業部 NTT Customer Equipment Division

\*\*NTTヒューマンインターフェース研究所 NTT Human Interface Laboratories

©日本電信電話株式会社 1988

## 2 設計方針

従来のエコーキャンセラに比べ複数マイクロホン切換え時に安定に動作し、使用できる室内環境条件を緩和できることと共に、会議装置としての利便性を付与することを狙いに採用した主な方針は以下の通りである。

### (1) マイクロホン切換え時の安定した動作の実現

複数のマイクロホンを使用する場合は、各マイクロホン出力を単純にミキシングするよりも、1～2本のマイクロホンのみをオン状態にすることが品質の改善に有効である<sup>(4)</sup>。このとき、発言者の近傍のマイクロホンを有効とすることから生じるスピーカとマイクロホンとの間の反響路特性の急変によりエコーキャンセラの消去量が劣化することを防止する必要がある。このため、複数反響路のインパルス応答を各マイクロホンの反響路のインパルス応答の線形結合により推定する新しい方式を採用する。

### (2) 利用できる室内音響条件の拡大

音のエネルギーが60dB減衰するまでの時間として定義される残響時間は、良く吸音処理の施された会議室では通常0.2～0.5秒であり、条件の悪い一般室では1秒に達する場合もある。残響時間の大小によらず利用者の快適受聽レベルが変わらないものとすれば、現在達成できているエコー消去量を確保できる範囲を拡大することで、使用できる環境条件を緩和することができる。

現状で実用に供されている構成では、室内騒音の関係から、達成できるエコー消去量は高々30dBであることから推察して、エコー処理時間を0.5秒程度まで拡大すれば、1秒程度の残響時間に対しても実用上の消去性能が確保できる。

すなわち、本装置では、エコー処理時間の目標値を0.5秒に設定する。具体的にはこの他に、①音声のスペクトラムは低域(4kHz以下)に比べ高域(4kHz～7kHz)で約10dB低いこと、②部屋の残響時間は500Hzにおける値で定義するが、通常高域では短いことを考慮し、本装置では低域で0.5秒、高域で0.2秒のエコー処理時間を設定した。

### (3) 音声通信中のデータ通信機能の付与

会議装置の構成にあたっては、会議中にファクシミリや電子黒板による資料の送付や状況説明の円滑化をはかることが有効であることから、外部機器の動作状況を検出して自動的に音声通信と外部機器による通信とを切換える機能を付与する。この場合、2回線形式では音声・データの同時通話を可能とし、1回線形式では音声・データの切換え通信とする。このために必要となる2線4線変換部についてもエコーキャンセラ方式を採用する。

## 3 主要技術

### 3.1 複数反響路エコーキャンセラの制御技術

ここでは、音声品質の確保のために、音声の印加されたマイクロホンの感度を上げ(オン状態)、他を下げる(オフ状態)ようなゲイン切換え制御を行う。このような複数マイクロホンを切換え制御する系に従来の音響エコーキャンセラを適用すると、個々のゲイン切換えの度に消去性能が低下し、回復は適応動作によることになる。そこで、図1に示すように個々のマイクロホンの1本のみがオンの場合の反響路の伝達特性の記憶回路を設け、ゲイン切換え回路の値の変化に応じて音響回り込み全体の伝達特性を、記憶回路の値の線形結合により推定して疑似反響路を置換える新しい方式を採用する。これにより、ゲイン切換えには反響路の変動とは区別して瞬時に対応できるため、送話状態の変化に伴うエコー消去量の低下を防止することができる。

今、オフマイクのゲインを1で基準化することにし、オンマイク1本のときのオンマイクのゲインを $a_1$ 、オンマイク2本のときのオンマイクのゲインを $a_2$ とする。マイクロホンの総数をN、スピーカからi番目のマイクロホンに至る反響路のインパルス応答を $H_i$ で表せば、j番目のマイクロホンがオン状態のときのインパルス応答 $H_j$ は、

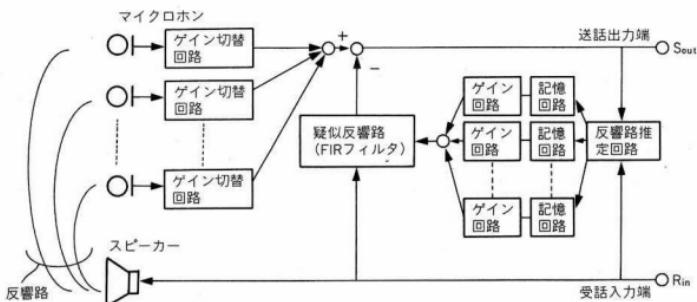


図1 複数反響路エコーキャンセラの構成

$$\hat{H}_j = (a_1 - 1) H_j + \sum_{i=1}^N H_i \quad (1)$$

$$a_2 = \sqrt{(a_1^2 + 1) / 2} \quad (6)$$

と表すことができる。一方、j番目とk番目の2本がオン状態のときのインパルス応答は、

$$\hat{H}_{jk} = (a_2 - 1) \cdot (H_j + H_k) + \sum_{i=1}^N H_i \quad (2)$$

となり、

$$a_2 = (a_1 + 1) / 2 \quad (3)$$

が成立すれば、

$$\hat{H}_{jk} = (\hat{H}_j + \hat{H}_k) / 2 \quad (4)$$

となり、2本がオン状態となったときのインパルス応答を1本がオン状態となったときのインパルス応答の線形結合によって表すことができる。したがって、1本がオン状態のインパルス応答の値を対応するマイクロホンの伝達関数として記憶しておけばよい。

さて、各マイクロホン入力に相関がないと仮定したときに、全体の送話出力が一定となるための条件は、

$$a_1^2 + (N-1) = 2 \cdot a_2^2 + (N-2) \quad (5)$$

となり、

が得られる。

式(3)による関係は音量一定の条件(6)式を満たすわけではないが1dB程度を許容するのであれば、実用上十分である。ここでは、1本オン状態のときのオンマイクのゲインを3、すなわち、オフマイクのゲインを9.5dB下げることにしたため、2本オン状態のときのオンマイクゲインは、線形結合の条件により、2.0(6.0dB)となる。これに対して、音量一定の条件によれば2.2(7.0dB)となる。

送話状態変化時のエコー消去特性について、実際の室内(残響時間0.5秒)における反響路のデータを基に行ったシミュレーション結果を図2に示す。送話状態が変化した場合に、学習同定法の適応動作のみによる

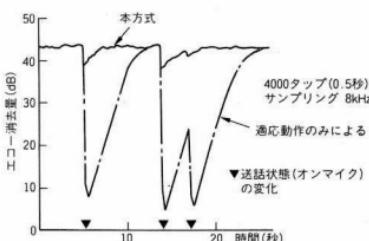


図2 送話状態変化時のエコー消去特性

方法では切換え後に極端に消去量が劣化するのに対し、本手法によれば反響路の経時変化分だけの低下ですむため、発言者が頻繁に交替するような場合でも、常に安定した消去性能を確保することができる。この技術の特徴は、マイクロホン切換えによって生成される複数の反響路に対処できる構成とゲイン設定法があり、ハードウェアとしても記憶回路の増加だけですむので、実現は容易である。

### 3.2 ディジタル信号処理部の構成法

エコー処理時間0.5秒を達成するために必要となるタップ数Nは、8kHzサンプリング時で4000タップに及ぶ。一方、現在のLSI技術では、この全タップを1チップLSIで実現することは困難であるため、複数チップで分割処理することによって実現する必要がある。また、実時間動作のためには、必要な演算量を1サンプリング周期(125μs)内に実行することが要求される。適応アルゴリズムとして学習同定法<sup>(5)</sup>を用いた場合の積和演算回数は約8000回(2N)であるが、これを複数チップで並列処理を行うことにより、1チップ当たりに必要な演算量を低減し、実時間動作を可能としている。

ディジタル信号処理部は、汎用音声信号処理プロセ

ッサDSSP(内部RAM256×2 words、マシンサイクル100ns、タップ係数記憶用外部拡張RAM 4 kwords)を図3に示すように複数個用いて構成した。DSSPは1チップで256タップのエコーチャンセラが実現できるため、小型で経済的なハードウェアを構成できる。

さらに、7kHz帯域の信号をデジタル処理するために、帯域分割手法<sup>(6)</sup>を用いた。これにより、低域用(0.2~4kHz)及び高域用(4~7kHz)の音響エコーチャンセラを、8kHzサンプリングで動作させることができ、実時間動作を確保することができる。3.4kHz帯域2W/1回線会議の場合には、高域用音響エコーチャンセラを回線エコーチャンセラとして機能させる事により、ハードウェアの効率的な活用をはかっている。

### 4 装置の構成

本装置の構成を図4に示す。本装置は、アナログインターフェース部、ディジタル信号処理部、回線インターフェース部、システム制御部から構成される。

アナログインターフェース部は、複数のマイクロホンが接続されこれを切替え制御するマイクロホン切換え部、受話信号を增幅するスピーカ增幅部、ディジタル

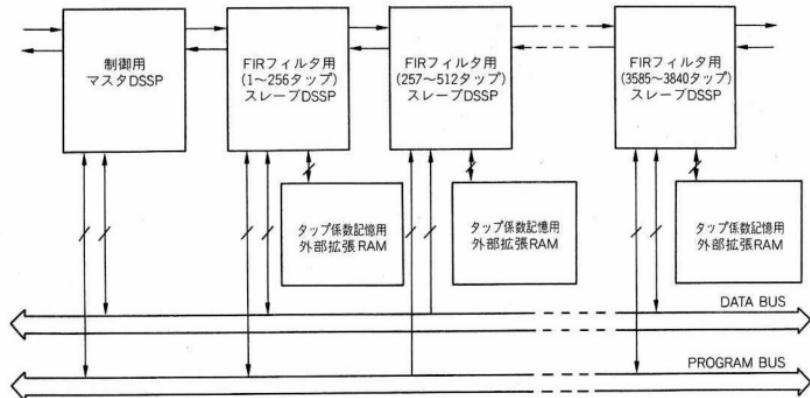


図3 ディジタル信号処理部の構成

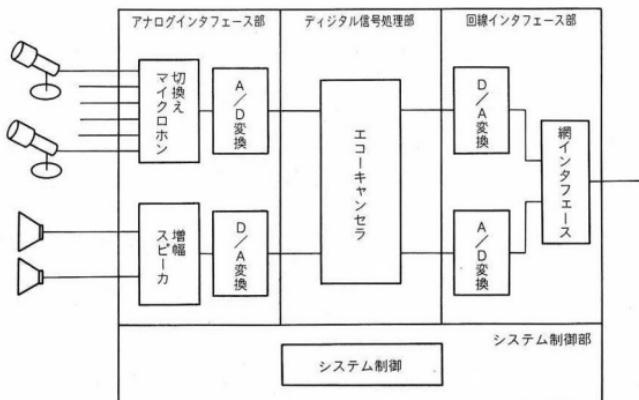


図4 音声会議装置の構成

信号処理部との間の信号を変換するA/D, D/A変換部からなる。

デジタル信号処理部は、7kHz帯域音響エコーキャンセラを帯域分割手法により実現すると共に、回線エコーキャンセラを実現する。

回線インターフェース部は、網との整合をとり、デジタル信号処理部との間の信号をA/D, D/A変換する。

システム制御部は、マイクロプロセッサのもとに装置全体を統括すると共にパネル制御等を行う。

## 5 諸元と性能

本装置の仕様を表1に、音響・回線エコーキャンセラの諸元を表2に示す。切替え制御マイクロホンは標準で6本まで接続できるので、多人数の会議でも品質が確保される。また約0.5秒のエコー消去時間(4kHzまでの低域)を実現したので、特に吸音処理の施されていない一般室内での使用が可能である。

実環境下における音響エコーキャンセラの消去特性の一例を図5に、主要機能を表3に示す。

## 6 むすび

エコーキャンセラ技術を用いて実用化した音声会議装置について述べた。複数のマイクロホンを用いた系においても安定に動作する拡声通話系の設計技術を明かにし、従来のエコーキャンセラ方式の会議装置に比べ、会議列席者が多い場合の安定動作と、室内環境条件の緩和を実現した。本装置は以下に示す主要技術を有する。

(1) 送話者が替わりマイクロホンが切換わっても、反響路の変化に瞬時に追随し、十分な消去性能を確保できるエコーキャンセラ構成技術

(2) 広帯域(7kHz)なエコー消去処理を汎用の信号処理プロセッサを用いて実現する回路構成技術

本装置は、今後、動画像会議システムや静止画像会議システム等の各種通信システムの音声通話系へと適用されていくものと期待される。

## 謝辞

本研究実用化に当りご指導頂いた研究開発技術本部松田部長、関連企業本部山崎担当部長、ヒューマンインターフェース研究所川嶋研究企画部長はじめ御討論頂

表1 音声会議装置の仕様

項目		仕様
通話帯域		3.4kHzあるいは7kHz
適用回線	専用線	2Wあるいは4W
	公衆回線	1回線あるいは2回線
電話機能		外付け
推奨環境条件	残響時間	0.8秒以下
	周囲騒音	45dB(A)以下
マイクロホン		標準6本
スピーカ		標準2本
マイクロホン切換え制御		オンマイク1本または2本
ハウリング・エコー制御		音響エコーキャンセラ 回線エコーキャンセラ
回線インターフェース部	専用線インターフェース	2Wあるいは4W -10dBm定格 600Ω平衡
	公衆回線インターフェース	1局線あるいは2局線 -10dBm定格 600Ω平衡
	回線設定	外付け電話機
アナログインターフェース部	マイクロホン感度指向性	-75dBv/0.1Pa 单一指向性
	スピーカ感度	90dBspL/w/m
	録音出力レベル	-10dBm定格 600Ω不平衡
	受話音量調節幅	30dB
	A / D,D / A 変換	16bitリニア

表2 音響・回線エコーキャンセラの諸元

項目	音響エコーキャンセラ	回線エコーキャンセラ
タップ係数置換え制御	マイク切換え時 単独マイク時タップ係数に基づいた置換え演算	外部機器切換え時
周波数帯域	3.4kHzあるいは7kHz	3.4kHz
サンプリング	8kHzあるいは16kHz	8kHz
エコー消去時間	480ms(低域) 224ms(高域)	32ms
タップ数	3840タップ(低域) 1792タップ(高域)	256タップ
適応アルゴリズム	学習同定法	同左
ステップゲイン	0.5	同左
センタークリッパ	無	同左
双方向検出	レベル比較	同左
トレーニング信号	チャーブ系列	白雑音

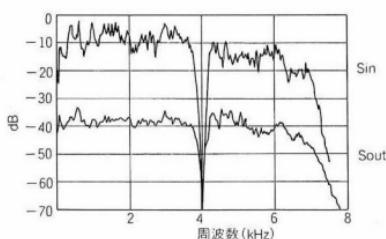


図5 音響エコーキャンセラの消去特性

表3 音声会議用宅内装置の機能

機能	内容
優先マイク	マイクロホンNo.1優先
外部機器接続	3台まで接続可能
録音端子	会議内容を録音
リモート端子	リモートコントロール
マイク切替	送話信号ミュート
マイク感度調節	マイクロホン出力を調節
自動音量調節	回線損失を自動補正
トレーニング機能	エコーキャンセラ初期設定
着信機能	サウンダ内蔵
残響時間測定表示	会議室の残響時間の目安を表示
マイク選択表示	オンマイクを表示
送話レベル表示	回線出力レベルを表示
ボリューム表示	受話音量を表示
通話帯域表示	通話周波数帯域表示

いた通信網総合研究所西野主任研究員、ヒューマンインターフェース研究所飛田研究主任に感謝いたします。

## 文 献

- (1) 田中：テレビ会議システムの全貌とその将来、ビジネスコミュニケーション, 21, 10, P.28, 1984.
- (2) D. Mitchell et al. : General Transmission Considerations in Telephone Conference Systems, IEEE Trans. on Communication Technology, 16, 1, p.163, 1968.
- (3) Itoh, Maruyama, Furuya, Araseki : An Acoustic

Echo Canceller for Teleconference, ICC, p.1498, 1985.

- (4) 及川・西野・飛田：帯域分割音声スイッチを用いた音声会議装置、通研実報, 37, No.2, p.183, 1988.
- (5) 野田・南雲：システムの学習的同定法、計測と制御, 7, 9, P.597, 1968.
- (6) 古川、安川：帯域分割形エコーキャンセラのタップ係数収束値に関する検討、信学会総合全大, S27-7, 1987.

(1987, 11, 2 受付)

及川 弘



通信機器事業部システム開発室室長  
昭和42年入社。主に交換機及び電話機用機械部品並びに各種会議システムの拡声通話系の研究実用化に従事。現在、音声会議装置の開発・普及に従事。  
昭和42年岩手大学工学部電気工学科卒業。  
電子情報通信学会会員。

小泉 宣夫



ヒューマンインターフェース研究所主幹研究員  
昭和50年入社。主に振動伝達の研究、  
音声通信宅内機器の研究実用化に従事。  
現在音場制御の研究に従事。  
昭和48年京都工芸繊維大学芸術部機械工学科卒業、50年京都大学大学院精密工学専攻修士課程修了。  
電子情報通信学会・日本音響学会会員。

牧野 昭二



ヒューマンインターフェース研究所音声情報研究部研究主任  
昭和56年入社。主に電話機器の研究実用化に従事。現在、音場制御の研究に従事。  
昭和54年東北大工学部機械工学第二学科卒業、56年同大学院工学研究科修士課程修了。  
電子情報通信学会・日本音響学会会員。