

岡田 理 谷口 隆行  
O.Okada T.Taniguchi

ハンズフリー通話は受話器を持つことなく会話ができるため、テレビ会議や自動車電話など幅広い応用範囲をもつ。しかし、スピーカ、マイクロホン(マイク)間での音響結合により発生するエコー感やハウリングを防止する必要があり、マイクに混入するエコー成分だけを抑圧するエコーキャンセラが近年のデジタル信号処理技術の進展に伴い実用化されている。

ここでは、このような音響エコーキャンセラを実用化する際に問題となるいくつかの課題を示すとともに、これらの課題を解決するため新たに開発した“周囲雑音レベルによるボイススイッチ制御”、“ハウリング検出”、“狭帯域ボイススイッチ”の新技术を概説するとともに、これらの技術を用いて実現した新製品を紹介する。

Hands-free communication is highly convenient and has applications in many areas such as teleconferencing and mobile telephony. Despite the fact that such communication can be easily realized by using a speaker and a microphone, in reality it has been found that acoustic echo, which causes howling or conversation impairment due to noticeable echo, must be properly coped with. The echo canceller (EC) is a highly effective technique for hands-free communication because it cancels the echo component of the microphone output without distorting the desired speech sound.

This paper first identifies the problems inherent in EC hands-free communication, then proposes new techniques toward solving such problems. These techniques include the control of voice switching based on background noise level estimation, howling detection, and narrowband voice switching. Finally, new products in which these techniques are applied are described.

### 1 まえがき

受話器を持たずに通話ができる拡声通話機能は、資料を見たりメモをとりながら通話ができるため、テレビ会議システムや自動車電話における重要な機能の一つとなっている。この拡声通話機能は、スピーカとマイクさえあれば簡単に実現できるようであるが、実はスピーカから出た音声はマイクに混入することにより発生する音響エコーが極度の残響感やハウリングを引き起こすため、エコーを抑圧する技術が必要である。

この課題を解決する手段としてエコーキャンセラ方式が有効であるが、実現技術であるLSI技術の進展にもより、近年さらに注目されている。

ここでは、当社製デジタルシグナルプロセッサ(DSP)をベースに開発した小型テレビ会議用エコーキャンセラ、および自動車電話用エコーキャンセラを例に挙げて、音響エコーキャンセラ技術を紹介するとともに、エコーキャンセラの小型・高性能化を目的に新しく開発した技術について紹介する。

### 2 エコー抑圧技術の概要

#### 2.1 エコーを抑圧する方式

拡声通話では、スピーカから出力された音声はマイクに力されることによりエコーが発生する。また、エコーがある周波数で利得をもつとハウリングが発生する。このエコーやハウリングによって十分な通話の実現できなくなるため、対策が必要である。エコーを抑圧する方法として、ボイススイッチとエコーキャンセラの2種類の方法が知られている。

#### 2.2 ボイススイッチ

ボイススイッチ方式は、レベル検出回路で送話/受話のおののレベルを検出し、送話時には受話側に、受話時には送話側に損失を挿入する。これにより受信端から送信端までの経路には必ず損失が挿入されるので、エコーを抑圧することができる。ボイススイッチは構成が単純で実現が容易であるが、話し始めてから制御が切り換わるため語頭切れが生じたり、同時に話した場合には声の小さい人の音声に損失が入り声の大きい人が有利になるといった問題点があり、これらが自由な会話の妨げとなってしまう。

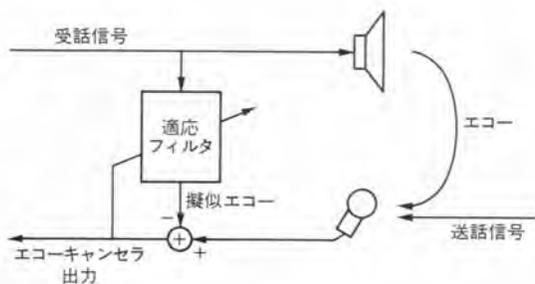


図1. 音響エコーキャンセラの原理 エコーの特性を適応フィルタが推定し、出力された擬似エコーを差し引くことでエコー成分が除去される。

Principle of acoustic echo canceller

### 2.3 エコーキャンセラ

エコーキャンセラ方式は、図1に示すように室内の音響条件によって決まる反響路特性を推定した擬似反響路特性をもつ適応フィルタを用いる。このフィルタが出力する擬似エコー信号をマイク出力信号から差し引くことで、音響エコー成分が除去されたエコーキャンセラ出力を得ることができる。適応フィルタの学習は受話時に行う。送話時および両者が同時に話すダブルトーク時は学習を停止するが、固定フィルタとしてエコーを抑圧することができる。

エコーキャンセラ方式は毎秒数百万回の乗算が必要となり、処理量の大きさが実用化の大きな壁となっていた。しかし、近年のLSI技術の進展、特にDSPの進歩が装置の低価格・小型化を可能にただけでなく、エコーキャンセラの高性能化のための各種処理も併せて実現可能にしつつある。

### 2.4 エコーキャンセラ実現における課題

テレビ会議用エコーキャンセラは比較的残響時間の長い(200 ms程度)会議室で使用されるため、そのエコー抑圧には高次のフィルタを必要とする。また、最近のテレビ会議では、音声の高品質化への要求にこたえて、通常の電話音声(3.4 kHz帯域)の倍の7 kHz帯域音声を利用されている。サンプリング間隔が1/2になることから適応フィルタの次数はさらに倍となり、膨大な演算量を必要とする。演算量を抑えて、いかにハードウェア規模を小さくするかが大きなポイントである。

一方、近年急速に需要が伸びている自動車電話においても、操作性と安全性の面から拡声通話が望まれている。自動車電話で使用されるエコーキャンセラは、テレビ会議に比べて残響時間は短いためフィルタ次数は低くできる。しかし、エンジンなどの騒音、窓の風切り音など周囲雑音の大きな環境で使用されることが多いため、このような環境でも安定したエコー抑圧性能が求められる。この場合、周囲雑音レベルを観測しそれに応じた適応化処理が必要となる。

また、マイク、スピーカ間の音響結合が大きい拡声通話の環境では、エコーとともにハウリング発生の可能性がつきま

とう。ボイススイッチやエコーキャンセラを用いて、ハウリングが生じないように、あらかじめ対策を講じておく必要があるのは確かであるが、不測の事態でハウリングが発生した場合の対策も必要である。厳密にはエコー抑圧技術ではないが、ハウリング検出はエコーキャンセラシステムの差別化技術として位置づけることができる。

## 3 エコーキャンセラ高性能化技術

2章で述べた課題を解決するために開発した技術として、演算量を抑えるための帯域分割処理、周囲雑音対策などに用いる適応ボイススイッチ、ハウリング検出について紹介する。

### 3.1 帯域分割処理および狭帯域ボイススイッチ

広帯域音声対応のエコーキャンセラでは、帯域分割フィルタで4 kHzを中心に低周波成分と高周波成分に分けてエコーキャンセラ処理を行う。帯域分割するとダウンサンプルしてエコーキャンセラ処理を行う(図4のAF<sub>L</sub>、AF<sub>H</sub>)ことができるため、全体のフィルタ次数は変わらないものの、サンプリング間隔が長くなる。これにより、DSPの負荷を軽減することができる。

しかしながら、この処理により4 kHz近傍の信号(図2のVS部分)が失われるので、音質が劣化する。そこで、この失われる信号成分だけに対してボイススイッチ(図4のVS-R、VS-S)を適用する<sup>1)</sup>。これにより通話品質に与える劣化は最小限に抑えることができる。

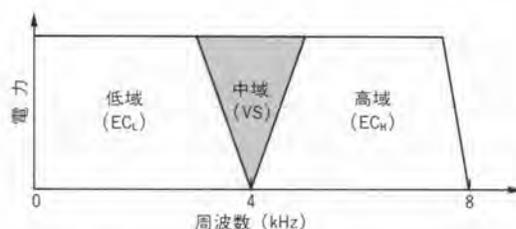


図2. エコーキャンセラの帯域分割処理 フィルタで抽出された低域・高域成分にはエコーキャンセラ(EC)を、残差成分にはボイススイッチ(VS)を適用する。

Sub-band echo cancellation

### 3.2 適応ボイススイッチ

エコーキャンセラは双方向同時通話性に優れたエコー抑圧技術であるが、フィルタの初期学習時などには十分なエコー抑圧ができないため、エコーやハウリングが発生する場合もある。そこで、エコーキャンセラを補足する意味で、挿入損失量が可変の適応ボイススイッチを組み合わせる。適応ボイススイッチが動作するのは次のような場合である。

(1) エコーキャンセラ起動時 従来のエコーキャンセラ

では、起動時にトレーニング信号を用いて反響路特性の推定を行っていたため、その信号音が耳障りであった。そこで適応ボイススイッチを併用し、エコーキャンセラの打消し量が少ないときはボイススイッチによる損失量を多くしてエコーを抑え、打消しが十分になれば損失量を少なくして自然な通話ができるようにする。これにより、初期トレーニングを不要とすることができる。

(2) 反響路特性急変時 通話中にマイクを移動するなどにより反響路特性が大きく変化すると、エコーキャンセラの追従が間に合わずエコーやハウリングが発生する場合がある。このようにエコー打消し量が低下した場合にも、起動時と同様に適応ボイススイッチの制御を行い、エコー打消し量の回復を待つ。

(3) 周囲雑音対応 自動車電話用エコーキャンセラでは、車内の周囲雑音を測定し、この雑音レベルを適応ボイススイッチの損失量に反映させている。これにより、周囲雑音のレベルによらず、良好な通話が可能となる(図6参照)。

### 3.3 ハウリング検出

反響路特性が急変するなどエコーキャンセラの打消し量が十分でなくなると、ハウリングが発生する場合がある。ハウリングは特定周波数の信号が増幅して起こることから、複素適応フィルタを用いたハウリング検出器でハウリングを検出する<sup>(2)</sup>。ハウリング検出時には適応ボイススイッチの損失量を一時的に強化することによりハウリングを抑圧し、エコーキャンセラの機能回復を待つ機能をもっている。

## 4 エコーキャンセラの製品化

### 4.1 テレビ会議用エコーキャンセラ

従来のテレビ会議用エコーキャンセラはDSPを27チップ使用していた。これを小型・高性能化するために、当社製DSP(TC8005)を用いたエコーキャンセラを開発した<sup>(3)</sup>。

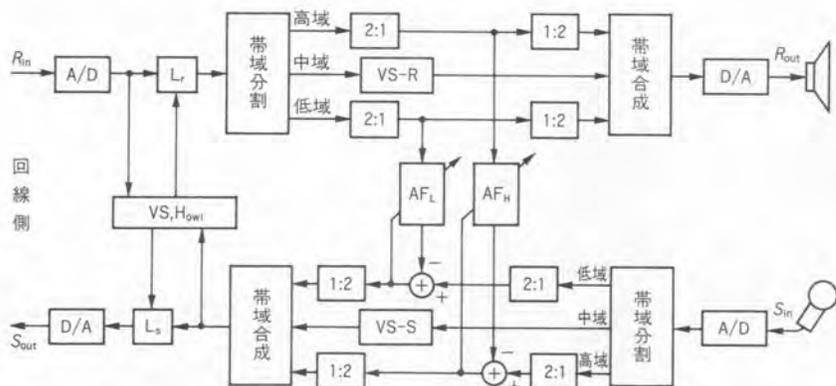


図4. テレビ会議用エコーキャンセラの構成 帯域分割を行い、各成分に対してエコーキャンセラ処理を行っている。

Block diagram of echo canceller for teleconferencing

- $R_{in}$  : 受話入力 (回線)
- $R_{out}$  : 受話出力 (スピーカ)
- $S_{in}$  : 送話入力 (マイク)
- $S_{out}$  : 送話出力 (回線)
- $AF_L, AF_H$  : 適応フィルタ (低域, 高域)
- $VS-R, VS-S$  : 狭帯域ボイススイッチ (受話, 送話)
- 2:1 : ダウンサンプル処理
- 1:2 : アップサンプル処理
- $L_r, L_s$  : 損失 (受話, 送話)
- $VS$  : 適応ボイススイッチ
- $H_{owl}$  : ハウリング検出器

図3にシステムの外観(カバーをはずした状態)を示す。図4にエコーキャンセラのシステム構成を示す。帯域分割により、高域と低域は適応フィルタで、中域は狭帯域ボイススイッチでエコーを抑圧している。起動時のエコー抑圧量を補うために適応ボイススイッチも併用している。また、ハウリング検出機能も備え、検出時にはボイススイッチを制御する。

図5にはハードウェア構成を示す。DSP(TC8005)5チップで実現している。このうち、1チップ(DSP1)は音声入出力および各種制御用として用いており、他の4チップは低域

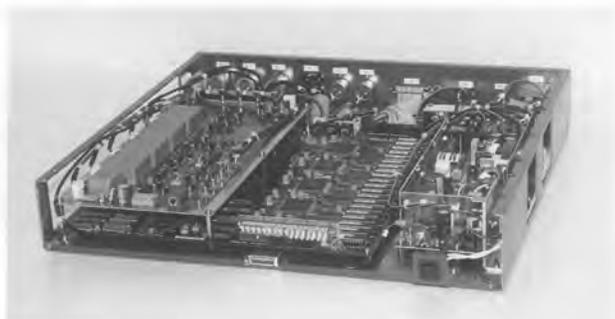


図3. テレビ会議用エコーキャンセラユニット DSP5チップを用い、1ボードで実現した。

Echo canceller unit for teleconferencing

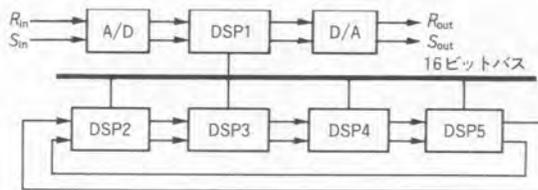


図5. テレビ会議用エコーキャンセラのハードウェア構成 DSP1は音声入出力・各種制御用、DSP2からDSP5はエコーキャンセラ処理用である。

Hardware architecture of echo canceller for teleconferencing

または高域のエコーキャンセラ処理に用いられている。DSP1と他のDSPとは16ビットバスで接続されている。また、DSP1とA/D、D/A変換器との間、DSP2からDSP5の相互の間はシリアルポートで接続されている。

#### 4.2 自動車電話用エコーキャンセラ

自動車電話の音声帯域は3.4kHzであり、また狭い車内で発生するエコーは会議室のそれに比べはるかに短い(30ms程度)ため、その処理量はテレビ会議用エコーキャンセラの数分の1程度である。自動車電話用に開発したエコーキャンセラの構成を図6に示す。エコーキャンセラ、適応ボイススイッチ、周囲雑音レベル測定部などを含め、当社製DSP(TC8005)1チップで実現している<sup>(4)</sup>。

図7は、エコーキャンセラの応用製品のひとつとして開発したデジタル携帯電話(PDC: Personal Digital Cellular)のオプションカーキットである。カーキットはデジタル携帯電話機を装着することにより、拡声自動車電話としての機能をもたせるオプションであり、拡声通話用のスピーカ、マイク、自動車電話用エコーキャンセラDSPのほか、DC電源と外部アンテナ用のインタフェースを備えている(図8)。これにより、1台の携帯電話機を、車内では拡声通話可能な自

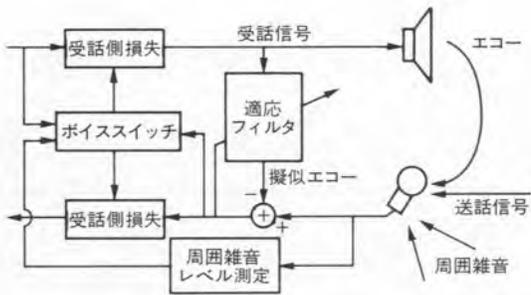


図6. 自動車電話用エコーキャンセラの構成 適応フィルタによるエコーキャンセラに、周囲雑音レベルで適応化するボイススイッチを組み合わせている。

Block diagram of echo canceller for mobile telephony



図7. オプションカーキットと携帯電話機 携帯電話機をオプションカーキットに装着すると、拡声自動車電話機として使用できる。

External view of optional car-kit and handheld portable digital cellular phone

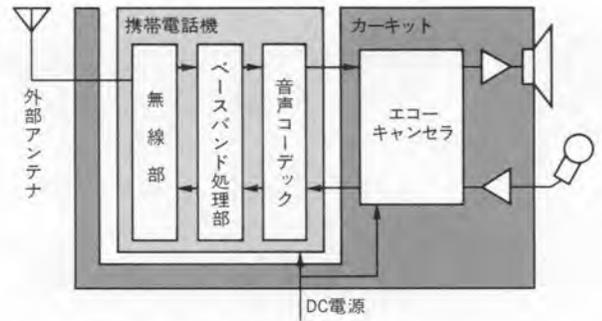


図8. オプションカーキットと携帯電話機の構成 拡声通話機能がオプションカーキットの主な機能である。

Block diagram of optional car-kit and handheld portable digital cellular phone

動車電話機、車外では小型の移動電話機として使用することができる。

## 5 あとがき

LSI技術の進展により拡声通話エコーキャンセラが身近なものになってきた。今後、より自然な通話への要求がさらに高まるとともに、コードレス電話のような家庭内電話など、応用分野の拡大が予想される。また、将来は通信を意識しない臨場感通信においても重要な技術となる。今後、各種応用に迅速・効率的に対応できるように、エコーキャンセラの汎(はん)用化を図るとともに、オーディオ帯域・ステレオ音声用エコーキャンセラなど、臨場感通信へ向けた要素技術の開発を進める。

## 文献

- (1) 岡田 理, 他: 帯域分割エコーキャンセラへの狭帯域ボイススイッチの適用, 1993年電子情報通信学会秋期大会講演論文集, A-88(1993)
- (2) 塚原由利子, 他: 複素適応フィルタを用いたハウリング検出方式, 1993年電子情報通信学会秋期大会講演論文集, A-90(1993)
- (3) 岡田 理, 他: 狭帯域ボイススイッチを利用した音響エコーキャンセラ, 1994年電子情報通信学会春期大会講演論文集, A-199(1994)
- (4) 谷口隆行, 他: 背景雑音推定を用いた拡声電話用エコーキャンセラ, 1994年電子情報通信学会春期大会講演論文集, A-200(1994)



岡田 理 Osamu Okada

1989年入社。音声・画像信号処理の研究・開発に従事。現在、情報・通信システム技術研究所開発第二部。Information & Communications Systems Lab.



谷口 隆行 Takayuki Taniguchi

1987年入社。エコーキャンセラ、音声コーデックの開発設計に従事。現在、情報・通信システム技術研究所開発第二部主務。

Information & Communications Systems Lab.