

エコーキャンセラ方式を用いたハンズフリー用 LSI

Echo-Canceling Speakerphone LSI

鎌田 郁
K. Kamata

谷口 隆行
T. Taniguchi

特集
II

ハンズフリーにおける同時通話を実現するために、エコーキャンセラを使用したハンズフリー通話用 LSI の開発を行った。この LSI を使用することにより、従来のボイススイッチタイプによるハンズフリー通話で頻繁に起きていた通話相手音声のとぎれ感がなくなり、同時通話が可能となる。

この LSI は信号処理用の DSP (デジタルシグナルプロセッサ)、制御用のマイクロプロセッサ、ADC (アナログ/デジタル変換器) および DAC (デジタル/アナログ変換器) を 1 チャンネル内蔵している。外部に 1 個の PCM (パルス符号変調) コーデックを接続することによりハンズフリー通話を実現できる。また、ハンズフリー機能のほかに長時間録再機能、DTMF (Dual Tone Multi-Frequency) レシーバ、トーン発生機能、トーン検出機能が内蔵されている。

We have developed an echo-canceling speakerphone LSI to perform full-duplex communication. This full-duplex LSI avoids the voice suppression that occurs when a voice-switched speakerphone is used, and performs full-duplex speakerphone communication.

This LSI consists of a DSP (digital signal processor), a microprocessor for system control, an analog-to-digital converter, and a digital-to-analog converter. With only one PCM (pulse-code modulation) codec, this LSI realizes the full-duplex speakerphone function. Moreover, not only the speakerphone function but all functions required for a telephone are performed. This LSI reduces the number of parts of a speakerphone type telephone.

1 まえがき

最近、電話機本体のマイクとスピーカを使用して受話器を持たずに通話を実現するハンズフリーが一般電話機に必須(す)な機能となっており、その通話品質の向上がセットメーカーからの強い要望となっている。ハンズフリーにエコーキャンセラを使用することにより通話品質を大幅に改善した LSI の開発を行った。

2 ハンズフリーの実現方法

ハンズフリーを実現するためには、電話機本体のマイクとスピーカを使用して通話をするために生ずるハウリングを防止する必要がある。ハウリングが生ずる原因として次の点が上げられる。

- (1) スピーカからマイクへの室内の反響による回り込み
- (2) 加入者線の 2 線 4 線変換による側音による回り込み

(1) はハンズフリー特有の現象である。ハンズフリー通話では話者とスピーカおよびマイクの距離が大きいので、受話器の設定よりもスピーカアンプとマイクアンプのゲインを大きく設定する必要がある。ゲインを大きくすることにより、室内および電話機筐(きょう)体内の反響によるスピーカからマイクへの音の回り込みが大きくなる。この回り

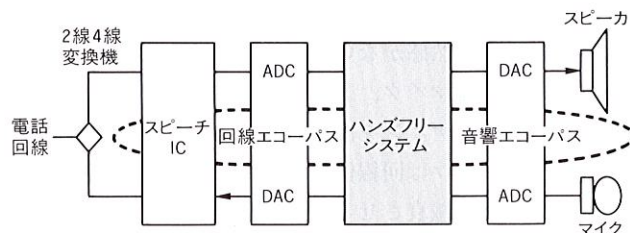


図1. ハンズフリー通話で形成されるループ 音響エコーバスと回線エコーバスにより電話機にループが形成される。

Loop in speakerphone

込みが図1に示す音響エコーバスである。

(2) はアナログ一般電話機共通の現象である。加入者線インピーダンスと電話機のバランス ネットワークのインピーダンスのアンマッチングにより回線送出信号は 2 線 4 線変換回路を介して受話経路に反射する。受話器における通話ではこの反射音は側音として認識される。この反射が図1に示す回線エコーバスである。

以上からハンズフリー通話系においては図1に示すように音響エコーバスと回線エコーバスから構成されるループが電話機内部で形成されている。このループのゲインが 0 dB を超えた場合つまり増幅系になった場合に、ハウリングが発生する。

3 ハンズフリーの種類

ハンズフリーには大別してボイススイッチタイプ、エコーキャンセラタイプの2種類がある。

ボイススイッチタイプのハンズフリーは音声のパワー検出器、通話状態判定回路とその判定回路により制御される可変アンプから構成される。可変アンプは送話と受話の経路にそれぞれ一つ配置され、通話状態により自動制御される。送受話どちらかの可変アンプにロスを挿入することでハウリングの原因であるループのゲインを減少させ、ハウリングを防止している。送受話どちらかにロスを挿入するため、ボイススイッチタイプのハンズフリーでは双方の通話者が同時に話をすると、片方の音が抑圧されて聞こえなくなる。また交互通話においても音声の途切れ、背景ノイズの切り替わりを感じるなど通話に不自然感が生ずる。

一方、エコーキャンセラタイプのハンズフリーシステムは通常、音響エコーキャンセラ (Acoustic Echo Canceler: AEC)、回線エコーキャンセラ (Line Echo Canceler: LEC)、補助のボイススイッチ (Voice Switch: VS) から構成される。

二つのエコーキャンセラがそれぞれのエコーパスのゲインを減衰させることにより、ハウリングを防止している。エコーキャンセラはボイススイッチと異なり、通話経路へロスを挿入することなくエコーパスのゲインを減衰させることができる。通話経路へのロスの挿入がないため、エコーキャンセラタイプのハンズフリーはボイススイッチに見られる通話の不自然感がない。図2に示すとおり、音響エコーキャンセラはマイク、スピーカ側に設置されており、音響エコーパスのゲインを減衰させるように動作する。回線エコーキャンセラは回線側に設置されており、回線エコーパスのゲインを減衰させるように動作する。

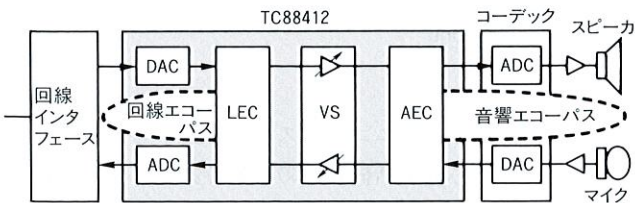


図2. エコーキャンセラを使用したハンズフリーの例 ハンズフリー機能内蔵 LSI TC88412 は、音響エコーキャンセラ、回線エコーキャンセラ、ボイススイッチから構成される。

Echo-canceling speakerphone

4 エコーキャンセラ

エコーキャンセラはみずから出力した音声の戻りを打ち消すように動作する。エコーキャンセラは外部の環境(エコ

ーパス)を推定することにより、みずから出力した信号のエコーを推定し擬似エコー信号を発生する。外部から戻ってきた信号から擬似エコーを引き算することにより、エコーを除去できる。

図3に音響エコーキャンセラを例としたエコーキャンセラの動作を示す。(A)点から入力された信号はDACを経由しスピーカから出力される。スピーカから出力された信号は電話機外部の室内音響効果などにより反響して、エコーとしてマイクに入力される。マイクから入力された信号は音響エコーキャンセラに入力される。エコーキャンセラ内部では受話信号から推定した擬似エコーを発生し、戻ってきた実際のエコー信号からそれを引き算する。(B)点では引き算した結果が観測され、そこではエコーは減衰している。このエコーの減衰量は ERL (Echo Return Loss: エコー打消し量) と呼ばれ、エコーキャンセラの打消し能力を示す一つの指標となっている。このような動作により音響エコーキャンセラは (A) 点から (B) 点までのエコーパスのゲインを減衰させるように動作している。

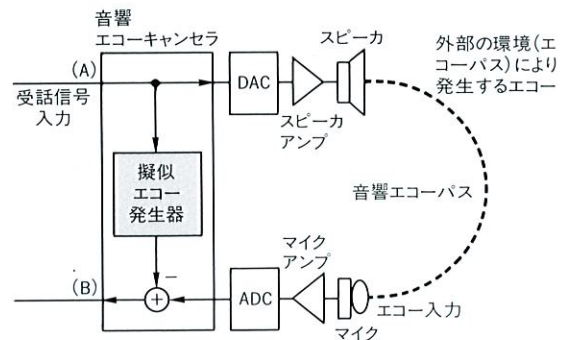


図3. 音響エコーキャンセラの動作 マイクに入力されたエコーが(B)点では消去される。

Acoustic echo-canceling behavior

5 学習型エコーキャンセラ

ハンズフリー電話のエコーパスは絶えず変動するため、ハンズフリーには学習型のエコーキャンセラが使用される。学習型のエコーキャンセラはエコーパスの推定が一度完了した後も変動するエコーパスに追従するため、推定を絶えず行う。この絶えず推定を行う動作を学習と称する。

学習型のエコーキャンセラは図4に示すとおり、擬似エコー発生器とダブルトーク検出器により構成される。

擬似エコー発生器はデジタルフィルタで構成される。デジタルフィルタの係数を推定結果により絶えず更新することでエコーパスの推定を行っている。デジタルフィルタの係数はエコーパスの線形性を前提に (A) 点の入力信

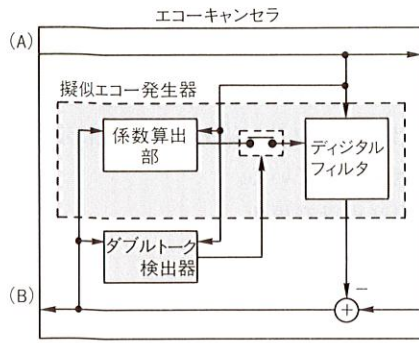


図4. エコーキャンセラ内部構成 エコーキャンセラは擬似エコー発生器とダブルトーク検出器から構成される。

Configuration of echo canceler

号と (B) 点の出力信号から算出される。エコーパスと擬似エコー発生器の状態が近くなるほど、(B) で得られる実際のエコーと擬似エコーの差分信号 (残差と呼ばれる) のパワーが小さくなる。係数修正部は残差パワーが最小になるようにフィルタの係数を更新していく。

擬似エコー発生器は有限のインパルス応答をもつデジタルフィルタで構成されているため、ある遅延以上の擬似エコーを発生することはできない。エコーパスの遅延がデジタルフィルタで模擬できる以上である場合、そのエコーは除去できない。

ダブルトーク検出器は学習の許可不許可の制御を行う。エコーキャンセラはエコーパス側へのシングルトーク (一方からだけ音声が入力されること) のときだけ正常に学習を行うことができる。ダブルトーク検出器はこのとき以外の学習を禁止するように動作する。エコーキャンセラはエコーパスの線形性が前提となっているので、自分が出力した信号以外の信号が混入した場合は正常な学習ができない。音響エコーキャンセラを例にすると、通話状態として次の4通りがある。

- (1) 受話信号だけ入力 (受話シングルトーク)
- (2) 送話信号だけ入力 (送話シングルトーク)
- (3) 無音
- (4) 送受話ともに入力 (ダブルトーク)

音響エコーキャンセラが学習できる状態は(1)の受話信号だけ入力されている場合である。(2)と(3)については音響エコーキャンセラ自身から信号が出力されていないので正常学習できない。(4)についてはエコーの戻りに送話信号というノイズが混入しているので正常学習ができない。

6 システムの LSI 化

エコーキャンセラタイプのハンズフリーを LSI により実

現するために、TC88412 の開発を行った。TC88412 の構成は次のとおりである (図5)。

- (1) DSP (信号処理用)
- (2) 回線側コーデック (回線側の ADC と DAC)
- (3) アンプ (ADC 用 1 個と DAC 用 2 個)
- (4) Z80[®](注1)(DSP の制御と録再機能のメモリ管理用)
- (5) Z80[®]周辺回路

TC88412 は(1)のデジタル信号処理用の DSP と(2)の回線側コーデックが内蔵されているため、外部に音響用の PCM コーデックを接続することによりハンズフリーを実現できる。図6は TC88412 のチップである。

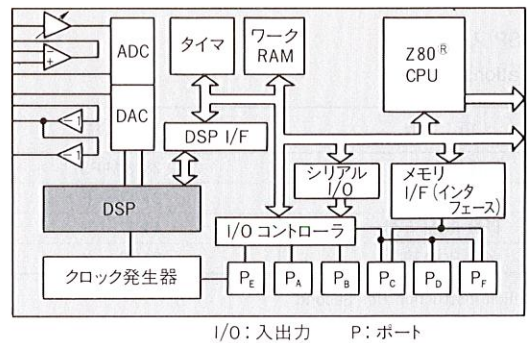


図5. TC88412 ハードウェア構成 DSP, ADC, DAC およびマイクロプロセッサにより構成される。

Hardware configuration of TC88412

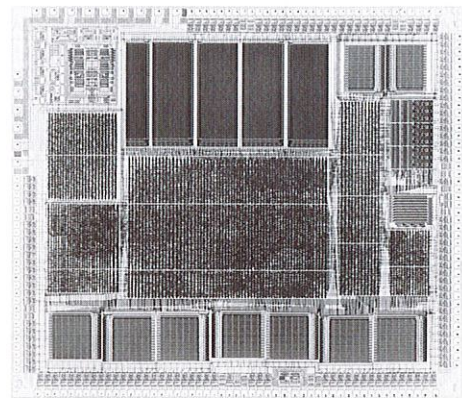


図6. TC88412 チップ 左上角がアナログ部, 中央上がRAM, 下がROM, 中央がロジック部である。

TC88412 chip

エコーキャンセラはデジタル信号処理により実現される。エコーキャンセラの信号処理はロジックで実現するには非常に複雑であるため、ソフトウェアにより機能を実現できる DSP が使用される。今回製品化された TC88412 には

(注1) Z80 は、Zilog 社の登録商標。

当社独自の DSP が内蔵されている。表 1 に DSP のスペックを示す。

信号処理をデジタルで行うために回線側と音響側にコーデックが必要となる。コーデックは ADC、DAC と音声フィルタから構成される。コーデックはアナログ信号入力をデジタル信号に変換して出力し、処理されたデジタル信号をアナログ信号に変換して出力する。TC88412 には回線側のコーデック、ADC 用プリアンプ、DAC 用ドライバアンプが内蔵されている。表 2 に回線コーデックの仕様を示す。

TC88412 により実現されたハンズフリー用エコーキャンセラの仕様を表 3 に示す。回線側は LSI 内蔵のコーデック、

音響側は PCM コーデックを使用している。エコーパスのゲインは 0 dB である。なおエコーキャンセラの打消し量は外部の環境に大きく影響されるので参考値である。

TC88412 はハンズフリー以外にも下記に示す電話機に必須となる機能を備えている。

- (1) 長時間音声録音再生
- (2) DTMF レシーバ
- (3) トーン検出
- (4) トーン出力

したがって TC88412、内蔵 Z80[®]用のプログラム ROM、外付けコーデック、スピーチネットワーク IC、以上の 4 点の部品で電話機を構成することができる。

7 あとがき

エコーキャンセラの応用によりハンズフリーの通話品質を格段に向上した LSI が開発され、セットメーカーの要望にこたえられるようになった。使い勝手、安定性、同時通話性能の向上など、より自然な通話感を提供するためには、なお改善すべき点がある。これらはアルゴリズムの改善とともに DSP の処理能力に大きく依存するところがある。今後 DSP の処理能力の向上に合わせて、アルゴリズムの改善を進めていく。関係各位のさらなるご指導、ご支援をお願いする次第である。

文 献

- (1) S. Minami: A Double Talk Detection Method for an Echo Canceller, IEEE International Conference on Communications June 23 (1985)
- (2) 井上信雄, 他: デジタル信号処理の応用, p.212, 電子情報通信学会, (1981)

表 1. DSP スペック
Specifications of DSP

項 目	仕 様
処理能力	28.8 MIPS
RAM 容量	2 k ワード
係数 ROM 容量	4 k ワード
命令 ROM 容量	8 k ワード

MIPS: Million Instruction Per Second

表 2. 回線コーデックの仕様
Specifications of line codec

項 目	仕 様	
	ADC	DAC
分解能	14 ビット	14 ビット
サンプリング周波数	8 kHz	8 kHz
SN 比	70 dB 以上	70 dB 以上
直線性	14 ビット	14 ビット

表 3. エコーキャンセラの仕様
Specifications of echo canceler

項 目	仕 様	
	AEC	LEC
エコー消去時間	30 ms	6 ms
エコー打ち消し量	20 dB 以上	20 dB 以上



鎌田 郁 Kaoru Kamata

半導体システム技術センター 通信システム LSI 技術部。
音声用 LSI の開発・設計に従事。
Semiconductor System Engineering Center



谷口 隆行 Takayuki Taniguchi

情報・通信システム技術研究所 開発第二担当主務。
エコーキャンセラ、音声コーデックの開発設計に従事。
Information & Communications Systems Lab.