

小型機器で快適なハンズフリー通話を可能にする非線形エコー消去技術

宝珠山 治・杉山 昭彦

要 旨

本稿では、ノートPC、携帯電話などの小型機器で、ヘッドセットを用いずにハンズフリー通話を行うための非線形エコー消去技術を紹介します。エコー（スピーカからマイクへの音声回り込み）の消去において、小型スピーカや筐体振動が発生した歪んだ成分を消去することは従来きわめて困難でしたが、新開発の周波数領域処理技術により、快適に会話を行える十分なエコー消去が可能となります。

キーワード

●携帯機器 ●ハンズフリー通話 ●エコーキャンセラ ●歪 ●非線形

1. まえがき

近年、企業における遠隔会議、PC上のVoIP電話、携帯電話によるテレビ電話などの普及や、運転中の携帯電話利用の法的な禁止により、ヘッドセットやハンドセットを用いないハンズフリー通話の需要が増加しています。現在、これらのハンズフリー通話には、通話音質の向上のため、線形適応フィルタに基づく線形エコーキャンセラが用いられています。しかし、この技術は、小型スピーカの非線形特性やスピーカとマイクが固定された筐体などを伝搬する振動によって生じる非線形エコーを消去できないという問題点があります¹⁾。

この非線形エコーを消去するために、非線形適応フィルタやニューラルネットワークによって非線形エコーを消去する手法も開発されていますが、線形エコーキャンセラの10倍以上に達する莫大な演算量が必要となり、現実的な解決にはなりません。そのため、少ない演算量で非線形エコーを消去できる技術の開発が求められていました。

提案する非線形エコーキャンセラは、こうした課題を克服し、少ない演算量で非線形エコーの消去を可能とするものです。提案法を用いることで、ノートPCや携帯電話などの小型機器で、高音質テレビ会議システムと同等の快適な双方向通話を行うことができます³⁴⁾。

2. 非線形エコー発生原理

図1(a)のように、東京でハンズフリー通話をしている場合に、大阪からどう聞こえるかを考えてみます。大阪での「モ

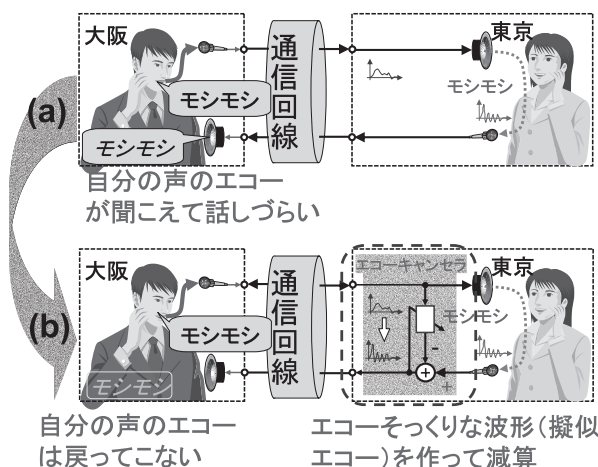


図1 (a) エコー発生原理、(b) エコーキャンセラの原理

シモシ」という発声は、通信回線を通して、東京でのスピーカから「モシモシ」と再生されます。ハンズフリー通話では、スピーカでの再生音量が大きいので、「モシモシ」という声がマイクに回りこみ、遅れて大阪に戻ってきます。大阪でしゃべっている人には、自分の声が山びこ、すなわちエコーのように聞こえます。このエコーがあると、発声が困難になるだけでなく、最悪の場合「キーン」というハウリングが発生し、会話になりません。

エコーの問題は古くからあり、エコーキャンセラという技術で解決されています。図1(b)に示すように、スピーカからマイクへの回り込み経路をフィルタとみなし、線形適応フィルタという技術で、マイクに回り込むエコーにそっくり

小型機器で快適なハンズフリー通話を可能にする非線形エコー消去技術

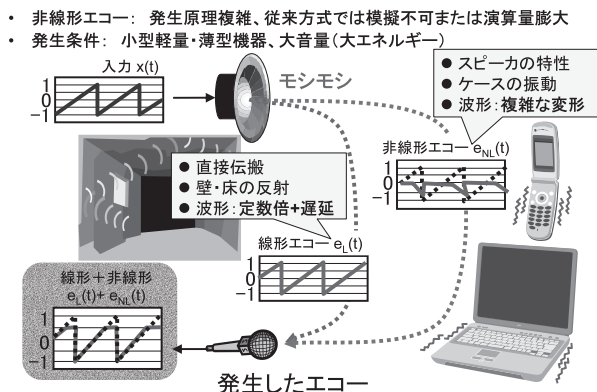


図2 非線形エコー発生原理

な信号を擬似的に生成してマイクの信号からキャンセルします。線形適応フィルタは、擬似エコーを生成するために、スピーカに送られた再生信号から、線形演算（遅延、定数倍、およびこれらを組み合わせた演算）により、回り込み経路を模擬します。この線形エコーキャンセラは、ビデオ会議システムなどでは必須の技術として広く用いられています。

ノートPCや携帯電話などの小型機器では、このエコーの問題がさらに困難になります。非線形エコー発生原理を図2に示します。相手側音声を、小型筐体にとりつけたスピーカで大音量再生すると、スピーカや筐体内の部品が大きく振動し、「ジージー」「ビリビリ」という歪音を発生します。この歪を伴ったエコーは、スピーカ再生信号の線形演算では表すことができないため、非線形エコーと呼ばれます。線形エコーキャンセラでは非線形エコーを完全に消去することができず、残留したエコーが通話を障害します。この問題は、安価なスピーカを用いた場合や小型機器において顕著です。

3. 従来の非線形エコー対策

ハンズフリー通話機能を有するノートPCや携帯電話、自動車用ハンズフリーキットの多くでは、非線形エコーを消去するために、ボイススイッチと呼ばれる手法が採用されています。この手法は、会話においてどちらか一方だけが発声している場合が多いことを利用し、一方で発声しているときに、もう一方からの音声の再生音量を小さくします。しかし、双方が発声、あるいは周囲騒音が大きい場合には音声途切れがちになり、快適な双方向通話は不可能となります。

非線形エコーを消去するために、理論的にどんな非線形性でも表すことが可能な、ボルテラフィルタやニューラルネットワークなどの非線形適応フィルタを用いた構成が提案されています。しかしこれらの構成では、線形エコーキャンセラの10倍以上に達する大きな演算量が必要であり、かつ、演算量の増加に見合う十分なエコー消去性能は得られていません。

4. 提案法²⁾

提案する非線形エコーキャンセラの構成を、図3に示します。この非線形エコーキャンセラでは、線形エコーキャンセラによって線形エコーを消去した後の信号をFFT（高速フーリエ変換）により周波数スペクトルに変換して処理を行い、IFFT（逆高速フーリエ変換）により、通話相手に送る音声波形に再合成します。この周波数スペクトル処理は、新たに発見した「非線形エコーと線形擬似エコー間のスペクトル振幅相関」に基づいています。

図4にスペクトル振幅相関の例を示します。線形エコーと非線形エコーは全く違う波形ですが、周波数ごとにスペクトル振幅を見ると、図4のように、線形擬似エコーが大きい時は非線形エコーも大きくなる傾向、すなわち振幅の相関がある

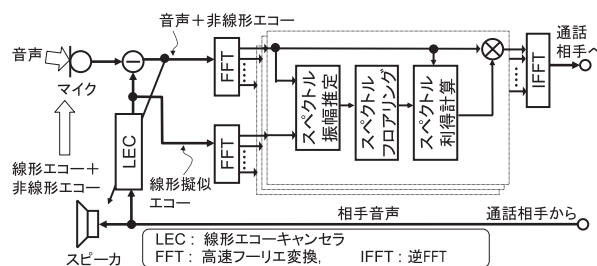


図3 非線形エコーキャンセラの構成

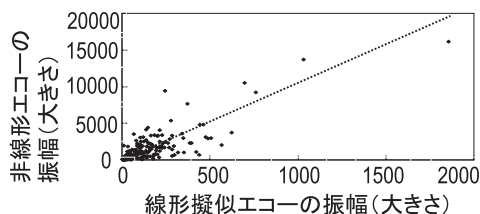


図4 非線形エコーと線形擬似エコーのスペクトル振幅相関（2.2kHzの例）

ことが、いくつもの小型機器の調査により確認されました。この相関の発見により、非線形エコーの量を効率的に推定することが可能となります。図3のスペクトル推定部では、推定した非線形エコーの量に基づいて、所望の音声信号のスペクトル振幅を推定します。

この相関関係は厳密ではないので、推定された音声信号のスペクトル振幅には誤差があります。この推定誤差が主観的に不快にならないような対策を開発することにより、実用レベルの非線形エコー消去を実現しました。音声信号の推定スペクトル振幅が過剰に小さく、背景雑音のスペクトル振幅を下回る場合、エコーの有無で信号レベルが変動し、違和感を生じさせます。その対策として図3のスペクトルフロアリングでは、背景雑音レベルを推定して、推定スペクトル振幅の下限とすることにより、レベル変動を低減しています。一方、推定誤差により推定スペクトル振幅にエコーが大きく残留してしまった場合、残留したエコーは断続的かつ急激に変化するため、ミュージカルノイズと呼ばれる、人工的な付加音が聞こえます。その対策として図3の利得計算部では、エコーを消去するために、推定した非線形エコーを減算するのではなく、減算された程度の振幅になるように利得を乗じています。利得の急激な変化を防止する平滑化を行うことにより、残留エコーの断続的变化を抑えます。

以上のような技術の積み重ねにより、ノートPCや携帯電話などの小型機器でも、快適な双方向通話が可能となりました。この非線形エコーキャンセラは、周波数スペクトルにおいて定数倍や平滑化など簡単な演算で実現されます。その演算量増加は、線形エコーキャンセラと比較して20%から100%程度であり、問題なく実用化できます³⁾。

5. シミュレーションによる評価

筐体およびスピーカが最も小さい携帯電話でのシミュレーションによる評価例を図5に示します。図5(a)はスピーカで再生された相手側音声信号、図5(b)はマイクで得られたエコーの信号波形です。図5(c)では、線形エコーキャンセラのみでエコーを消去していますが、まだ非線形エコーが残留しており、発声の内容が聞き取れます。一方、図5(d)に示される提案法の出力波形では、非線形エコーも含めて、エコーが聞き取れない程度まで消去されています。

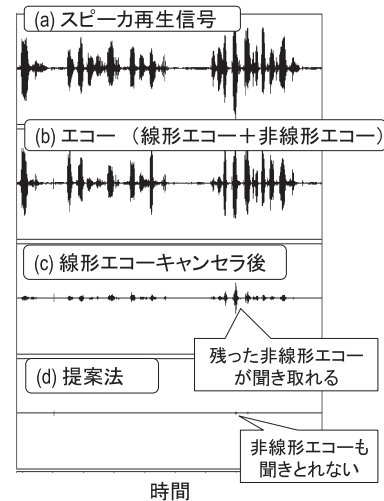


図5 シミュレーションによる評価結果の例

6. むすび

ノートPCや携帯電話などの小型機器において、快適にハンズフリー通話を行うための非線形エコー消去技術について紹介しました。提案法は、PC・ソフトフォン・VoIPハンドセット・携帯電話など様々な機器における快適な双方向ハンズフリー通話の実現に貢献すると考えています。今後、早期の商品化をめざして研究開発を加速していく計画です。

参考文献

- 1) A. N. Birkett and R. A. Goubran; "Limitations of Hands-free Acoustic Echo Cancellers Due to Nonlinear Loudspeaker Distortion and Enclosure Vibration Effects," IEEE Proc. WASPAA'95, pp. 13-16, 1995.
- 2) O. Hoshuyama and A. Sugiyama; "An Acoustic Echo Suppressor Based on a Frequency-Domain Model of Highly Nonlinear Residual Echo," IEEE Proc. ICASSP2006, pp. V-269-272, 2006.
- 3) 宝珠山治、杉山昭彦; 「非線形残留エコーの周波数領域モデルを用いた非線形エコーサプレッサの評価」、電子情報通信学会、第21回信号処理シンポジウム講演論文集、C8-4、2006年11月。

執筆者プロフィール

宝珠山治
共通基盤ソフトウェア研究所
主任研究員
IEEE、電子情報通信学会、日本音響学会各会員

杉山昭彦
共通基盤ソフトウェア研究所
主席研究員
IEEE Senior Member、電子情報通信学会会員