(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2004-517579
(P2004-517579A)
(43)公表日　平成16年6月10日(2004.6.10)

(51)Int.Cl.[7]		F I			テーマコード（参考）
H04B	3/23	H04B	3/23		5K027
H04M	1/00	H04M	1/00	H	5K046

審査請求 有　予備審査請求 未請求　（全 35 頁）

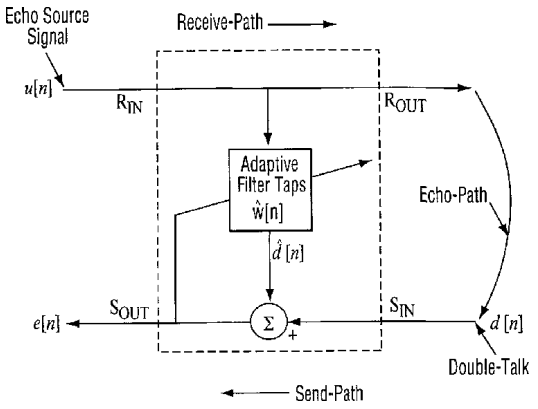
(21)出願番号	特願2002-557036(P2002-557036)
(86)(22)出願日	平成14年1月10日(2002.1.10)
(85)翻訳文提出日	平成14年11月5日(2002.11.5)
(86)国際出願番号	PCT/CA2002/000038
(87)国際公開番号	WO2002/056496
(87)国際公開日	平成14年7月18日(2002.7.18)
(31)優先権主張番号	0100674.1
(32)優先日	平成13年1月11日(2001.1.11)
(33)優先権主張国	英国(GB)

(71)出願人　501376051
ザーリンク・セミコンダクター・インコーポレイテッド
カナダ国、オンタリオ、カナタ、マーチロード　４００
(74)代理人　100066692
弁理士　浅村　皓
(74)代理人　100072040
弁理士　浅村　肇
(74)代理人　100091339
弁理士　清水　邦明
(74)代理人　100094673
弁理士　林　鈺三

最終頁に続く

(54)【発明の名称】相関係数マトリクスを用いたダブルトークと経路変化の検出

(57)【要約】
エコーキャンセラで一般に見出される信号から零遅れ自己及び相互相関を使用してマトリクス係数を生成する過程を記述する。次いで行列式、固有値分解または特異値分解（ＳＶＤ）のようなマトリクス演算を使用してダブルトークと経路変化を検出する。望ましい実施例では、相関ベースのマトリクスの行列式を所定の閾値と比較する。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
エコーキャンセル・システムでダブルトークと経路変化とを検出する方法において、
前記エコーキャンセル・システムで信号の相関ベースのマトリクスを発生するステップと、
前記相関ベースのマトリクスを解析して前記システムで発生しているダブルトークと経路変化とを識別するステップと、
を含む前記方法。
【請求項２】
請求項１記載の方法において、前記相関ベースのマトリクスは前記信号の零遅れ自己及び相互相関を使用して生成される前記方法。
【請求項３】
請求項２記載の方法において、前記マトリクスの行列式を使用して前記ダブルトークと経路変化とを検出する前記方法。
【請求項４】
請求項３記載の方法において、前記行列式の値が所定の閾値を越えた時に前記ダブルトークと経路変化とを推測する前記方法。
【請求項５】
請求項２記載の方法において、前記マトリクスの固有値分解を使用して前記ダブルトークと経路変化とを検出する前記方法。
【請求項６】
請求項２記載の方法において、前記マトリクスの特異値分解を使用して前記ダブルトークと経路変化とを検出する前記方法。
【請求項７】
請求項２記載の方法において、前記マトリクスの条件数を使用して前記ダブルトークと経路変化とを検出する前記方法。
【請求項８】
請求項１から７のいずれかに記載の方法において、前記エコーキャンセル・システムは適応フィルタを含み、前記信号はエコー信号と前記適応フィルタの出力を含む前記方法。
【請求項９】
請求項８記載の方法において、前記フィルタはＬＭＳフィルタである前記方法。
【請求項１０】
請求項９記載の方法において、前記ＬＭＳフィルタは正規化ＬＭＳアルゴリズムを実施する前記方法。
【請求項１１】
請求項１から１０のいずれかに記載の方法において、前記相関ベースのマトリクスは時間領域で生成される方法。
【請求項１２】
請求項１から１０のいずれかに記載の方法において、前記相関ベースのマトリクスは周波数領域で生成される方法。
【請求項１３】
請求項３記載の方法において、前記行列式Ｒは、

$$\mathbf{R} = E\begin{bmatrix} X_0X_0^T & X_0X_1^T \\ X_1X_0^T & X_1X_1^T \end{bmatrix}$$

の形式であり、ここでX_0［ｎ］とX_1［ｎ］とは、実数値ソース信号であるS_0［ｎ］とS_1［ｎ］との線形結合により生成される前記方法。
【請求項１４】
請求項１記載の方法において、S_0［ｎ］はエコー信号を含み、S_1［ｎ］はキャンセル

信号を含む前記方法。
【請求項１５】
ダブルトーク及び経路変化検出器において、
前記エコーキャンセル・システムで信号の相関ベースのマトリクスを生成する処理要素と、
前記相関ベースのマトリクスを解析して前記システムで発生するダブルトークと経路変化とを識別する処理要素と、
を含む前記検出器。
【請求項１６】
請求項１５記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記相関ベースのマトリクスは前記信号の零遅れ自己及び相互相関を使用して生成される前記検出器。
【請求項１７】
請求項１６記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記マトリクスの行列式を使用して前記ダブルトークと経路変化を検出する前記検出器。
【請求項１８】
請求項１６記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記行列式の値が所定の閾値を越えた時に前記ダブルトークと前記経路変化を推測する検出器。
【請求項１９】
請求項１６記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記マトリクスの固有値分解を使用して前記ダブルトークと前記経路変化を検出する前記検出器。
【請求項２０】
請求項１６記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、適応フィルタをさらに含み、前記信号はエコー信号と前記適応フィルタの出力とを含む前記検出器。
【請求項２１】
請求項２０記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記フィルタはＬＭＳフィルタである前記検出器。
【請求項２２】
請求項１７記載のダブルトーク及び経路変化検出器において、前記行列式（Ｒ）は

$$\mathbf{R} = E\begin{bmatrix} X_0X_0^T & X_0X_1^T \\ X_1X_0^T & X_1X_1^T \end{bmatrix}$$

の形式であり、ここでX_0［ｎ］とX_1［ｎ］とは、実数値ソース信号であるS_0［ｎ］とS_1［ｎ］との線形結合により生成される前記検出器。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
本発明はエコーキャンセル・システムでダブルトーク（ｄｏｕｂｌｅ－ｔａｌｋ）と経路変化とを検出する方法に関係するものである。エコーキャンセルは音声、データ通信及びビデオのような広範囲の信号を再調整するために電気通信応用で広範囲に使用されている。
【０００２】
有効なエコーキャンセル処理の研究は、複雑度、コスト及び性能の程度の異なったいくつかの異なる方式を産み出した。エコーキャンセルの伝統的な方式は、長さＬの適応フィルタを使用し、ここでＬはエコーの持続時間を丁度越えるのに必要なサンプル数に等しい。通常、適応フィルタは５１２または１０２４タップのどちらかを含む。秒当り８０００サンプルの標準電話ビットレートでは、これは各々６４ｍｓと１２８ｍｓの長さのエコー路に適合する能力を与える。
【０００３】
適応フィルタの計算要件は一般的なＬＭＳ（最小平均２乗）クラスのアルゴリズムではＬに比例し、ＲＬＳ（再帰最小２乗）のようなアルゴリズムではL^2またはこれ以上に比例

する。より堅牢なアルゴリズム（ＲＬＳ等）はＬＭＳ法より非常に改善された収束特性を有するが、L^2 計算負荷は現在の技術ではこれを非実用的なものにしている。この理由から、ＬＭＳアルゴリズム（及びその変形）がエコーキャンセル用の選択のアルゴリズムに留まる傾向にある。

【０００４】

実際のエコーキャンセル装置はダブルトークからの発散を避ける何らかの手段を設けなければならない。エコーを加えた近端音声の存在によりエコーキャンセラの両端からの信号の同時伝送がある時にダブルトーク条件が発生する。このような状況下では、戻りエコー経路信号、S_{IN}（図１参照）はエコー・ソース信号からの戻りエコーとダブルトーク信号との両方を含む。ダブルトーク信号の存在はＬＭＳベースのエコーキャンセラが正しいエコー経路に収束することを防げる。これはまた予め収束したエコーキャンセラを予測不能な状態に発散させる。発散後、エコーキャンセラはエコーをもはやキャンセル出来なくなり、正しい解に再収束させなければならない。このような挙動は非常に容認しがたく、実際の装置では避けなければならない。それゆえダブルトークを検出する何らかの手段を実装しなければならない。発散を防止するため、ＬＭＳフィルタ係数は通常ダブルトークの存在時には凍結される。

【０００５】

ダブルトークを迅速かつ確実に検出することは困難な問題であることが知られている。完全収束ＬＭＳフィルタで、たとえ少量の発散でも残留エコーレベルにおいて重大な増加を生じる。高速かつ確実なダブルトーク検出器の使用は適切な主観的性能を保持するために極めて重要である。

【０００６】

ダブルトークを検出する最も簡単で、かつ多分最も一般的な方法は信号レベルを使用することである。エコー経路は戻り信号に最小量の損失、または減少を通常含む。この量はしばしばエコー戻り損失、すなわちＥＲＬと呼ばれる。大部分のシステムで、これは少なくとも６ｄＢであるものと想定されている。言い換えると、ダブルトークがない場合は、戻り信号S_{IN}はR_{OUT}より少なくとも６ｄＢ小さいレベルである。ダブルトークの存在時には、S_{IN}のレベルはしばしば増大し、従ってR_{OUT}よりもはや６ｄＢ低くない。この条件はダブルトークの簡単で便利な検査を提供する。

【０００７】

この方式の問題は、S_{IN}のレベルが高すぎるかどうか決定するためにはダブルトーク検出器はエコー経路ＥＲＬの正確な評価を有していなければならない点である。しかしながら、ＥＲＬの正確な知識は一般的には利用可能ではない。ＥＲＬ評価が高すぎる場合、ダブルトーク検出器が不必要にトリガされる。逆に、ＥＲＬ評価が低すぎる場合には、これは全くトリガしなくなる。

【０００８】

この技術のほかの問題点は、これが高レベルのダブルトークのみを確実に検出する点である。ダブルトーク信号がエコー・ソース信号より非常に低いレベルにある場合、低レベル・ダブルトークが発生する。この条件下では、S_{IN}のレベルの増加は、通常、非常に小さい。ダブルトーク検出器はトリガに失敗するが、ＬＭＳフィルタの顕著な発散は依然として発生可能である。

【０００９】

低レベル・ダブルトークを検出するためには、残留エコー信号（S_{OUT}）のレベルをしばしば監視する。ダブルトークまたは背景雑音が存在しない場合、ＬＭＳフィルタは完全に収束し、S_{OUT}はR_{OUT}より４０ｄＢ以上低くなりうる。エコー経路が一定に留まると仮定すると、S_{OUT}の何らかの増加はダブルトークによる可能性が高い。もちろん、エコー経路が変化した場合、これはダブルトークと誤認される。従ってこの方法を使用した場合、別の経路変化検出アルゴリズムを使用しなければならない。統一した方式はより簡単で望ましいものである。

【００１０】

相関は、信号処理で一般的に使用される統計関数である。これはある程度の２つの信号間の類似性（相互相関）または単一信号とそれ自身の時間シフト版との間の類似性（自己相関）の尺度を提供可能である。ダブルトーク検出に対する相関の使用はそれ自体知られている。米国５６４６９９０号、米国５５２６３４７号、米国５１９３１１２号を含む、相関ベースのダブルトーク検出のいくつかの特許が存在する。従来技術方法の相関ベース方式は単一の通常R_{IN}とS_{IN}との間の相互相関係数計算を一般的に含む。この技術の問題は、相関度が異なる信号とエコー経路に応じて広範囲に変化可能な点である。このことが、エコーキャンセラがどの状態にあるのかを決定するための相関係数の閾値を設定することを非常に困難にしている。

【００１１】

エコーキャンセラに一般的に見出される信号から零遅れ自己及び相互相関を使用してマトリクス係数を発生するプロセスが開発された。行列式、固有値分解、または特異値分解（ＳＶＤ）のようなマトリクス演算を使用してダブルトークと経路変化が検出される。

【００１２】

エコーキャンセラ中の各種の信号間の相関は、エコーキャンセラがどの状態にあるか、すなわち、それが収束しているか、非収束か、またはダブルトークにいるか、に応じて変化する。適切なマトリクス形式に各種の相関を配置することにより、各種のマトリクス演算を実行することでエコーキャンセラの状態に関する重要な情報を抽出可能である。望ましい演算は行列式を取ることであるが、固有値分解及び特異値分解（ＳＶＤ）も使用可能である。本発明の新規の特徴は、各種の相関係数を使用したマトリクスの形成と、エコーキャンセラの状態を決定するためのこのマトリクスの以後の解析である。

【００１３】

従って、本発明は、エコーキャンセル・システムでダブルトークと経路変化を検出する方法において、上記エコーキャンセル・システムで信号の相関ベースのマトリクスを発生するステップと、上記相関ベースのマトリクスを解析して上記システムで発生しているダブルトークと経路変化とを識別するステップと、を含むエコーキャンセル・システムでダブルトークと経路変化を検出する方法を提供する。

望ましい実施例では、相関ベースのマトリクスは戻りエコー信号（S_{IN}）とＬＭＳ適応フィルタの出力とを使用して発生される。

【００１４】

本発明は、エコーキャンセラで一般的に見出される信号の零遅れ自己及び相互相関を使用して相関ベースのマトリクスを生成する方法が提供される。

【００１５】

相関ベースのマトリクスの解析によりダブルトークと経路変化とが検出される。可能な解析技術は条件数と、行列式と、固有値分解と、特異値分解とを含む。

【００１６】

望ましい実施例では、行列式を使用してダブルトークと経路変化とを検出する。

【００１７】

本発明は、従来のディジタル信号処理技術を使用したディジタル信号プロセッサで時間領域かまたは周波数領域のどちらかを使用して実行可能である。

【００１８】

本発明はまた、ダブルトーク及び経路変化検出器において、上記エコーキャンセル・システムで信号の相関ベースのマトリクスを生成する処理要素と、上記相関ベースのマトリクスを解析して上記システムで発生するダブルトークと経路変化を識別する処理要素と、を含むダブルトーク及び経路変化検出器とを提供する。

【００１９】

通常のＬＭＳベースのエコーキャンセラの配置を図１に示す。これは、「送信」経路と「受信」経路に沿って伝送される２つの信号を含む。エコー・ソース信号はエコーキャンセラにR_{IN}として入力し、R_{OUT}として出てくる。送信経路入力、S_{IN}は、ダブルトーク（存在する場合）加えることのエコー経路に沿って伝送された後のエコー・ソース信

号から構成される。エコー経路を推測することにより、送信経路のエコーをキャンセルするための合成エコー信号が生成可能である。エコーをキャンセルされた信号はS_{OUT}として出てくる。

【００２０】

ＬＭＳフィルタは、自身を調節してS_{OUT}の出力信号を抑止することによりエコーをキャンセルしようとする。明らかに、S_{IN}がエコー・ソースからのエコー音声以外の成分を含んでいる場合、ＬＭＳフィルタは正しい解に収束しない、従ってダブルトーク検出の必要がある。

【００２１】

本特許のアルゴリズムの望ましい実施例は正規化ＬＭＳ（Ｎ－ＬＭＳ）アルゴリズムを使用する。数学的には、Ｎ－ＬＭＳアルゴリズムの適応フィルタ・タップ重み更新手順は以下の３つの式から構成される。

【数１】

$$\hat{d}[n] = \hat{\mathbf{w}}^{H}[n]\mathbf{u}[n]$$

$$e[n] = d[n] - \hat{d}[n]$$

$$\hat{\mathbf{w}}[n+1] = \hat{\mathbf{w}}[n] + \frac{\mu}{a + \|\mathbf{u}[n]\|^{2}}\mathbf{u}[n]e[n]$$

ここで

ｕ［ｎ］＝R_{IN}＝エコー・ソース信号

$\hat{\mathbf{w}}[n]$＝ＬＭＳフィルタ係数

ｄ［ｎ］＝S_{IN}＝所要ＬＭＳ出力（エコー＋ダブルトーク）

$\hat{d}[n]$＝ＬＭＳ出力（評価エコー）

ｅ［ｎ］＝S_{OUT}＝ＬＭＳエラー信号

μ＝ＬＭＳステップサイズ・パラメータ

ａ＝小さい定数（数値安定性を与える）

【００２２】

エコーキャンセラ内でのこれらの信号の位置も図１に示される。Ｎ－ＬＭＳアルゴリズムは当業者には公知であり、より詳細な処理は多くの適応フィルタ教科書で容易に利用可能である。例えば、ニュージャージー州アッパー・サドル・リバーのプレンティスホール社のエス・ヘイキンによる適応フィルタ理論（１９９６）を参照されたい。

【００２３】

Ｎ－ＬＭＳアルゴリズムの重要なパラメータの１つはＬＭＳステップサイズ・パラメータμである。このパラメータは収束の速度と精度との両方を制御する。μが大きくなればなるほど、アルゴリズムはエコー経路上に収束する速度が速くなるが、定常状態解がより不正確になる。Ｎ－ＬＭＳアルゴリズムの収束を保証するためには、μは２以下でなければならない。

【００２４】

一般的な技術はエコーキャンセラの状態を基にμの値を調節することである。非収束状態（例えば始動時、または経路変化後）では、大きなμの値を使用して迅速な初期収束を可能とすることが望ましい。ＬＭＳフィルタが一旦合理的な程度の収束を達成したら、μは減少可能である。これは、わずかに、より正確な解（そして、さらにキャンセル）を可能とするのみならず、ダブルトークからの発散の可能性も遅くする。適応を完全に停止する

ためには、μを単に零に設定可能である。それゆえ、μの値を変更することによりダブルトーク及び経路変化検出器はＬＭＳフィルタの動作を制御可能である。

【００２５】

図１に図示し説明したエコーキャンセラと関連して動作するよう設計された本発明の望ましい実施例によるダブルトーク検出アルゴリズムを以下に説明する。これはディジタル信号プロセッサに実装される。

【００２６】

２つの実数値ソース信号S_0［ｎ］とS_1［ｎ］との線形結合により生成される２つの信号X_0［ｎ］とX_1［ｎ］とを考える。数学的には、この混合過程は、以下のように記載される。

【数２】

$$X_i=H_{i,0}\cdot S_0+H_{i,1}\cdot S_1$$

ここで$H_{i,j}$は混合係数である。マトリクス形式では、これは以下のように書ける。

【数３】

$$X=H\cdot S$$

ここで

【数４】

$$\mathbf{X}=\begin{bmatrix}X_0\\X_1\end{bmatrix},\mathbf{H}=\begin{bmatrix}H_{0,0}&H_{0,1}\\H_{1,0}&H_{1,1}\end{bmatrix}\text{かつ}\mathbf{S}=\begin{bmatrix}S_0\\S_1\end{bmatrix}$$

【００２７】

マトリクスＲは以下で定義される。

【数５】

$$\mathbf{R}=E\left[\mathbf{x}\mathbf{x}^T\right]$$

ここでＥ［…］は統計期待演算子である。Ｒは２つの方法で展開される。

【数６】

$$\mathbf{R}=E\begin{bmatrix}X_0X_0^T&X_0X_1^T\\X_1X_0^T&X_1X_1^T\end{bmatrix}$$

$$=E\left[\mathbf{H}\mathbf{S}\mathbf{S}^T\mathbf{H}^T\right]$$

【００２８】

第１の展開式から、Ｒの対角項はX_0［ｎ］とX_1［ｎ］の零遅れ自己相関であり、両非対角項はX_0［ｎ］とX_1［ｎ］間の零遅れ相互相関に対応することは明らかである。従って、Ｒは対称の相関ベースのマトリクスである。

【００２９】

第２の展開式から、Ｈがフルランクの場合には、S_0［ｎ］とS_1［ｎ］とが共に非零で相関がない場合にはＲもフルランクであることが分かる。大部分の場合、これの十分条件はS_0［ｎ］とS_1［ｎ］とが異なるソースからの異なる信号であることである。

【００３０】

マトリクスを使用してダブルトーク及び経路変化検出を実行する方法を以下に説明する。最初に、コンボリューションを使用して信号混合を生成するものと仮定する。

【数７】

$$\mathbf{X}=\mathbf{H}\otimes\mathbf{S}$$

【００３１】
ここで混合マトリクスの項はベクトルでも良い。さらにＨは以下の形式を有するという条件を課す：
【数８】

$$\mathbf{H}=\begin{bmatrix} H_{0,0} & 1 \\ H1,0 & 0 \end{bmatrix}$$

【００３２】
Ｈをこのように定義すると、図１に示したエコーキャンセラ配置で利用可能なパラメータにより以上の式の項を結合可能である。
【００３３】
ここで
S_0＝エコーソース信号＝R_{IN}＝ｕ［ｎ］
S_1＝ダブルトーク信号
$H_{0,0}$＝エコー経路
$H_{1,0}$＝ＬＭＳフィルタ係数＝$\hat{w}[n]$
【００３４】
これらの定義から、以下は明らかである
【数９】

$$X_0 = H_{0,0}\otimes S_0 + S_1 = S_{IN} = d[n]$$

$$X_1 = H_{1,0}\otimes S_0 = \hat{d}[n]$$

【００３５】
エコーキャンセラ動作の各種状態下でＲに何が起きるかという疑問をこれから調査する。
【００３６】
ケース１：非収束、ダブルトークなし
ＬＭＳフィルタが非収束状態である場合、$H_{0,0}\neq H_{1,0}$である。この状態は、エコーキャンセラが最初に開始される時、または主要なエコー経路変化の後で生成する。ＬＭＳフィルタは正確なエコー経路推測を含んでいないため、$X_0\neq X_1$であり、Ｒは非常に低い条件数（$\kappa\sim 10^1$）のフルランク（$H_{1,0}=0$でない場合、しかしこの状態は通常一時的である）である。例えば、マリーランド州バルティモアのジョンズ・ホプキンス大学出版のジー・エッチ・ゴルプとシー・エフ・ヴァンローンのマトリクス計算、第３版（１９９６年）を参照されたい。収束が進行すると、X_0とX_1との間の相関度が増加する。これはＲの条件数を迅速に上昇させる効果を有する。結果として、Ｒの行列式は低下し、その固有値と特異値とはだんだん異なってくる。
【００３７】
ケース２：収束、ダブルトークなし
この状態では$H_{0,0}\sim H_{1,0}$、従って$X_0\sim X_1$である。これはＲを非常にランク欠乏にし、その条件数は非常に大きい（$\kappa\sim 10^6$）。Ｒは特異に近いため、その行列式は非常に小さくなる。同様に、１個の重要な固有値または特異値のみを発見することが期待される。
【００３８】

ケース３：ダブルトーク

ダブルトークが発生すると、X_0はS_0とS_1との両方からの成分を含み、かつX_1はS_0のみから得られる。この場合、X_1とX_0は高度に非相関状態である。Ｒは低い条件数を有し、これはダブルトークの間持続する。ダブルトーク・レベルが高ければ高いほど、条件数は低くなる。これはＲの行列式を上げ、２個の重要な固有値と特異値とを見出す。

【００３９】

マトリクスＲをいったん作成すると、エコーキャンセラがどの状態にあるかを決定するために各種の演算が利用可能になる。ダブルトークまたは経路変化を検査するため、条件数と、行列式と、固有値と、特異値との全てが使用可能である。望ましい実施例では行列式が使用される、何故ならこれは実行が最も簡単なマトリクス演算だからである。

【００４０】

ダブルトークと経路変化を検出する際のこのアルゴリズムの有効性を示すため、シミュレーションを実行しその結果を図２に示す。このプロットは通常の収束と、経路変化と、ダブルトークとの下のｄｅｔ［Ｒ］の値を示す。プロット図のｙ軸のスケールは異なる３状態下でｄｅｔ［Ｒ］で観察される変化を明瞭に表示している。シミュレーションはＧ．１６８ディジタルエコーキャンセラ規準．ＩＴＵ－Ｔ勧告Ｇ．１６８、ディジタルエコーキャンセラからＩＴＵ　ＣＳＳ合成音声信号を使用して実施した。信号は４８０００サンプル長で、６０ｍｓエコー経路を使用した（これは経路変化シミュレーション時に１５ｍｓに変更された）。

【００４１】

通常の収束下（図２ａ）では、ｄｅｔ［Ｒ］は零値近辺で急速に減衰する。経路変化が発生すると（図２ｂ）、ｄｅｔ［Ｒ］は大きな値のスパイクを発生し、次いで減衰する（この傾向を強調するため、経路変化後の収束は１０倍遅くされている）。ダブルトーク（最下部のプロット図）では、さらに大きいが、持続しているスパイクがｄｅｔ［Ｒ］に存在する。これら３種のプロット図の相違は、ｄｅｔ［Ｒ］のレベルを単に検査することによりエコーキャンセラがどの状態にあるかを非常に簡単に説明できる。最高のレベルではダブルトークを示し、中間レベル（減衰を有する）では経路変化が発生し、非常に低レベルでは完全収束の特性である。これらの結果を基に、以下のように閾値を設定可能である：

－通常（収束）動作

－経路変化の検出

－ダブルトークの検出

エコーキャンセラの状態を決定すると、ＬＭＳフィルタ動作をこれに従って調節可能である。

【００４２】

信号処理での公知の公式は、時間での２つの信号のコンボリューションはその周波数スペクトルの乗算と等価である。この性質では、信号の周波数領域版を使用する先行のアルゴリズムに対する変形が提案可能である。コンボリューションを使用して時間領域でＸを定義した。

【数１０】

$$\mathbf{X}[n] = \mathbf{H}[n] \otimes \mathbf{S}[n]$$

【００４３】

関連する全項のフーリエ変換を取ることにより、周波数領域での上式を以下のように書き換え可能である。

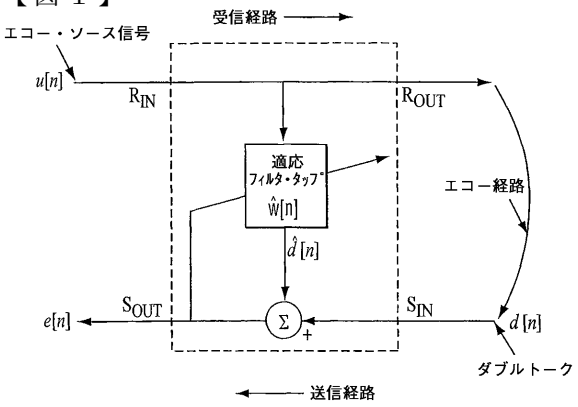
【数１１】

$$X(f_k) = H(f_k) \cdot S(f_k)$$

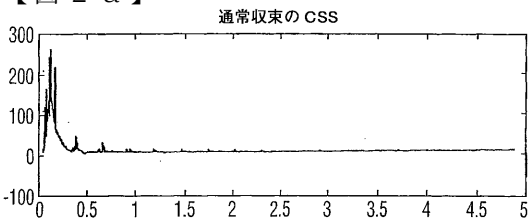
これは$0 \leqq f_k \leqq F_s / 2$の全周波数に対してであり、ここで$F_s$は信号のサンプリング周波数である。相関ベース・マトリクスＲの生成と解析とは以前と同様に実施されるが、ここでＲはＸの周波数領域版を使用して作成される。

【００４４】
この方式の利点は、アルゴリズムが非ダブルトーク状態時の高条件数を有するＲの正確なエコー経路推測を行う必要がもうない点である。ダブルトーク検出器は経路変化に完全に反応しなくなる。応用例に応じて、これは望ましい特性であるかまたはそうではない。低レベル・ダブルトーク検出能力は改善されるが、この場合別の経路変化検出方式を使用しなければならない。
【００４５】
この過程の周波数領域版の実施は高速フーリエ変換（ＦＦＴ）またはサブバンド技術の使用により可能である。
【００４６】
当業者により理解されるように、本発明過程はディジタル信号プロセッサまたはその他の適切なディジタル信号処理装置で実施可能である。
【００４７】
用語
適応フィルタ：動作時にその係数が調節可能なフィルタ。適応フィルタを使用して未知パラメータ、例えば未知のエコー経路を推測する。
自己相関：時間シフト版に対する信号の同一性をおおまかに評価する統計量。
条件数：マトリクスがどの程度特異に近いかの尺度。任意マトリクスＡの条件数はκ（Ａ）＝‖Ａ‖　‖A^{-1}‖により与えられる。
収束：ＬＭＳフィルタがエコー経路を正確にモデル化し、これ以上顕著な変化を受けない時に達成される条件。収束時には、ＬＭＳフィルタはエコーの最大量をキャンセルしている。
相互相関：２つの別々な信号の同一性をおおまかに評価する統計量。
発散：ＬＭＳフィルタ係数が、誤りに対する実際のエコー経路と予測不能な解とから導かれる過程。発散時には、キャンセルされるエコー量はどんどん少なくなる。
ダブルトーク：エコーキャンセラの両側からの信号の同時送信時に発生する状態。
エコー経路：信号にエコーを与える過程の数学的記述。
ＥＲＬ：エコー戻り損失。R_{OUT}からS_{IN}へのエコー経路に沿って伝送される時に受ける信号の損失。
ＥＲＬＥ：エコー戻り損失強化。エコーキャンセラの性能を測定する一般的な方法。この測定はエコー信号がS_{IN}からS_{OUT}で減少した量を表す。
ＬＭＳアルゴリズム：最小平均２乗アルゴリズム。一般的な適応フィルタ技術。
Ｎ－ＬＭＳアルゴリズム：正規化最小平均２乗アルゴリズム。入力信号強度の逆数によりタップ重み更新項（ｔａｐ－ｗｅｉｇｈｔ　ｕｐｄａｔｅ　ｔｅｒｍ）がスケールされる標準ＬＭＳの別方法。
ランク：マトリクスが有する非零固有値または特異値。フルランク行列は非零行列式を有し、従って非特異であり反転可能である。
ＲＬＳアルゴリズム：再帰最小２乗アルゴリズム。一般的な適応フィルタ技術。
【図面の簡単な説明】
【図１】
ＬＭＳ適応フィルタを使用したエコーキャンセラの概略図。
【図２ａ】
通常の収束下でのｄｅｔ［Ｒ］の値を示すプロット図。
【図２ｂ】
経路変化によるｄｅｔ［Ｒ］の値を示すプロット図。
【図２ｃ】
ダブルトークによるｄｅｔ［Ｒ］の値を示すプロット図。

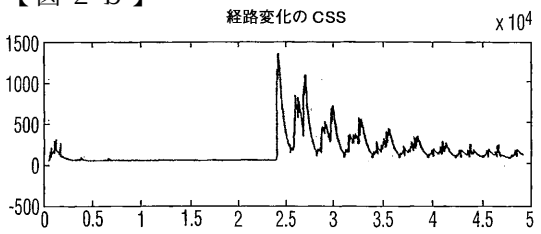
【図１】



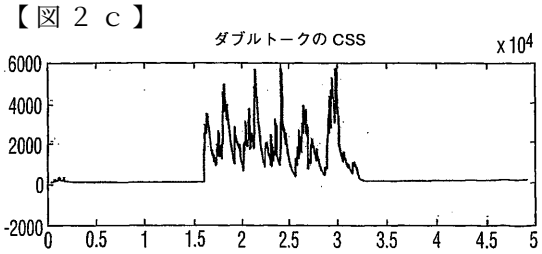
【図２ａ】



【図２ｂ】



【図２ｃ】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
18 July 2002 (18.07.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/056496 A2

(51) International Patent Classification⁷: H04B 3/00

(21) International Application Number: PCT/CA02/00038

(22) International Filing Date: 10 January 2002 (10.01.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0100674.1 11 January 2001 (11.01.2001) GB

(71) Applicant: ZARLINK SEMICONDUCTOR INC. [CA/CA]; 400 March Road, Kanata, Ontario K2K 3H4 (CA).

(72) Inventor: SEIBERT, Michael; Apartment #115, 1300 Richmond Road, Ottawa, Ontario K2B 8L2 (CA).

(74) Agent: MITCHELL, Richard, J.; Marks & Clerk, P.O. Box 957, Station B, Ottawa, Ontario K1P 5S7 (CA).

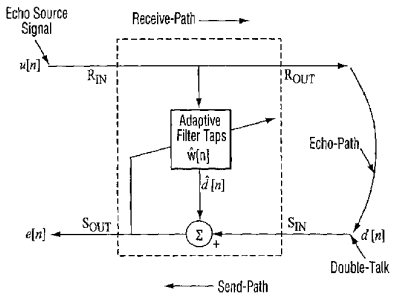
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: DOUBLE-TALK AND PATH CHANGE DETECTION USING A MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS



(57) Abstract: A process is described which generates matrix coefficients using zero-lag auto and cross-correlations from signals commonly found in echo canceller. Double-talk and path changes are then detected using matrix operations such as determinants, eigendecompositions, or singular value decompositions (SVDs). In a preferred embodiment, the determinant of the correlation-based matrix is compared against predetermined threshold values.

WO 02/056496 A2

Double-Talk and Path Change Detection Using A Matrix of Correlation Coefficients

This invention relates to a method of detecting double-talk and path changes in echo cancellation systems. Echo cancellation is used extensively in telecommunications applications to recondition a wide variety of signals, such as speech, data transmission, and video.

The search for an effective echo cancellation procedure has produced several different approaches with varying degrees of complexity, cost, and performance. A traditional approach to echo cancellation uses an adaptive filter of length L, where L equals the number of samples necessary to extend to just beyond the duration of the echo. Typically, the adaptive filters contain either 512 or 1024 taps. At the standard telephone bit rate of 8000 samples per second, this provides the ability to adapt to echo paths as long as 64 ms and 128 ms, respectively.

The computational requirements of an adaptive filter are proportional to L for the popular LMS (Least Mean Squares) class of algorithms, and proportional to L^2 or higher for algorithms such as RLS (Recursive Least Squares). More robust algorithms (like RLS) have greatly improved convergence characteristics over LMS methods, but the L^2 computational load makes them impractical with current technology. For this reason, the LMS algorithm (and its variants) tends to remain the algorithm of choice for echo cancellation.

Practical echo cancellation devices must provide some means of avoiding divergence from double-talk. The double-talk condition arises when there is simultaneous transmission of signals from both sides of the echo canceller due to the presence of near-end speech in addition to the echo. Under such circumstances, the return echo path signal, S_{IN} (see Figure 1), contains both return echo from the echo source signal, and a double-talk signal. The presence of a double-talk signal will prevent an LMS-based echo canceller from converging on the correct echo path. It will also cause a pre-converged echo canceller to diverge to unpredictable states. Following divergence, the echo canceller will no longer cancel the echo, and must reconverge to the correct solution. Such behaviour is highly unacceptable, and is to be avoided in actual devices. Some means of

detecting double-talk must therefore be implemented. To prevent divergence, the LMS filter coefficients are typically frozen during the presence of double-talk.

Detecting double-talk quickly and reliably is a notoriously difficult problem. Even a small amount of divergence in a fully converged LMS filter will result in a significant increase in the residual echo level. The use of a fast and reliable double-talk detector is crucial to maintain adequate subjective performance.

The simplest, and perhaps most common, method for detecting double-talk is to use signal levels. The echo path typically contains a minimum amount of loss, or reduction, in the return signal. This quantity is often referred to as the Echo Return Loss, or ERL. In most systems, this is assumed to be at least 6 dB. In other words, the return signal S_{IN} will be at a level which is at least 6 dB lower than R_{OUT} provided that there is no double-talk. In the presence of double-talk, the level at S_{IN} often increases so that it is no longer 6 dB lower than R_{OUT}. This condition provides a simple and convenient test for double-talk.

The problem with this approach is that the double-talk detector must have an accurate estimate of the echo path ERL in order to determine if the level at S_{IN} is too high. However, precise knowledge of the ERL is generally not available. If the ERL estimate is too high, the double-talk detector may trigger unnecessarily. Conversely, it may not trigger at all if the ERL estimate is too low.

Another problem with this technique is that it will only reliably detect high-level double-talk. If the double-talk signal is at a much lower level than the echo source signal, low-level double-talk occurs. Under this condition, the increase in the level of S_{IN} is usually very small. The double-talk detector may fail to trigger, but noticeable divergence in the LMS filter can still occur.

To detect low-level double-talk, the level of the residual echo signal (S_{OUT}) is often monitored. If no double-talk or background noise is present, and the LMS filter is fully converged, S_{OUT} can be as much as 40 dB lower than R_{OUT}. Assuming that the echo path remains constant, any increase in S_{OUT} will likely be due to double-talk. Of course, if the echo path does change, it will be mistaken for double-talk. So if this method is used, a separate path change detection algorithm must be employed. A unified approach would be simpler and preferred.

Correlation is a statistical function which is commonly used in signal processing. It can provide a measure of the similarity between two signals (cross-correlation), or a single signal and time-shifted versions of itself (autocorrelation). The use of correlation for double-talk detection per se is known. Several patents exist for correlation-based double-talk detection, including US5646990, US5526347 and US5193112. The correlation-based approaches taken in prior-art methods generally involve the calculation of a single cross-correlation coefficient, usually between R_{IN} and S_{IN}. The problem with this technique is that the degree of correlation can vary widely with different signals and echo paths. This makes it very difficult to set thresholds on the correlation coefficient in order to determine what state the echo canceller is in.

A process has been developed which generates matrix coefficients using zero-lag auto and cross-correlations from signals commonly found in echo cancellers. Double-talk and path changes are then detected using matrix operations such as determinants, eigendecompositions, or singular value decompositions (SVDs).

The correlations between various signals in an echo canceller will change depending on what state the echo canceller is in, i.e. if it is converged, unconverged, or in double-talk. By arranging the various correlations in appropriate matrix form, key information about the state of the echo canceller can be extracted by performing various matrix operations. The preferred operation is to take the determinant , but eigendecompositions and singular value decompositions (SVDs) can also be used. A novel aspect of the invention is the formulation of a matrix using various correlation coefficients, and the subsequent analysis of this matrix to determine the state of the echo canceller.

Accordingly the present invention provides a method of detecting double-talk and path changes in an echo cancellation system, comprising generating a correlation-based matrix of signals in said echo cancellation system; and analyzing said correlation-based matrix to identify double-talk and path changes occurring in said system.

In the preferred embodiment, the correlation-based matrix is generated using the return echo signal (S_{IN}) and the output of an LMS adaptive filter.

The invention provides a correlation-based matrix is generated using zero-lag auto and cross-correlations of signals commonly found in echo cancellers.

Double-talk and path changes are detected by analysis of the correlation-based matrix. Possible analysis techniques include condition numbers, determinants, eigendecompositions, and singular value decompositions.

In the preferred embodiment, determinants are used to detect double-talk and path changes.

The invention can be implemented using either the time-domain or frequency-domain in a digital signal processor using conventional digital signal processing techniques.

The invention also provides a double-talk and path change detector, comprising a processing element generating a correlation-based matrix of signals in said echo cancellation system; and a processing element for analyzing said correlation-based matrix to identify double-talk and path changes occurring in said system.

The invention will now be described in more detail, by way of example only, with reference to the accompanying drawings, in which;-

Figure 1 is a schematic diagram of an echo canceller using LMS Adaptive Filtering; and

Figure 2a is a plot showing the value of det [R] under normal convergence;

Figure 2b is a plot showing the value of det [R] with a path change; and

Figure 2c is a plot showing the value of det [R] with double-talk.

The layout of a typical LMS-based echo canceller is shown in Figure 1. It contains two signals, travelling along a "send" path and a "receive" path. The echo source signal enters the echo canceller as R_{IN} and leaves as R_{OUT}. The send path input, S_{IN}, consists of a double-talk signal (if present) plus the echo source signal after it has travelled along the echo path. By estimating the echo path, a synthetic echo signal can be generated to cancel the echo in the send path. The echo cancelled signal leaves as S_{OUT}.

The LMS filter attempts to cancel the echo by adjusting itself to suppress the output signal at S_{OUT}. Obviously, if S_{IN} contains components other than echoed speech from the echo source, the LMS filter will not converge to the correct solution; hence the need for double-talk detection.

The preferred embodiment of the algorithm for this patent uses the Normalized-LMS (N-LMS) algorithm. Mathematically, the adaptive filter tap-weight update procedure for the N-LMS algorithm consists of the following three equations

$$\hat{d}[n] = \hat{\mathbf{w}}^{H}[n]\mathbf{u}[n]$$

$$e[n] = d[n] - \hat{d}[n]$$

$$\hat{\mathbf{w}}[n+1] = \hat{\mathbf{w}}[n] + \frac{\mu}{a + \|\mathbf{u}[n]\|^2}\mathbf{u}[n]e[n]$$

where

$\mathbf{u}[n]$ = R_{IN} = echo source signal

$\hat{\mathbf{w}}[n]$ = LMS filter coefficients

$d[n]$ = S_{IN} = desired LMS output (echo + double-talk)

$\hat{d}[n]$ = LMS output (estimated echo)

$e[n]$ = S_{OUT} = LMS error signal

μ = LMS step-size parameter

a = A small constant (provides numerical stability).

The location of these signals in the echo canceller is also shown in Figure 1. The N-LMS algorithm well known to persons skilled in the art and a more detailed treatment is readily available in most adaptive filtering texts. See, for example, S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ (1996).

One of the key parameters in the N-LMS algorithm is the LMS step-size parameter μ. This parameter controls both the speed and accuracy of convergence. The larger μ is, the faster the algorithm will converge on the echo path, but the less accurate the steady-state solution will be. To guarantee convergence of the N-LMS algorithm, μ must be less than 2.

A common technique is to adjust the value of μ based on the state of the echo canceller. In an unconverged state (such as at start-up, or following a path change), it is desirable to use a large value for μ to permit rapid initial convergence. Once the LMS filter has achieved a reasonable degree of convergence, μ can be reduced. This not only allows for a slightly more accurate solution (and therefore more cancellation), but it will also slow potential divergence from double-talk. To stop adaptation altogether, μ can simply be set to zero. The double-talk and path change detectors can therefore control the operation of the LMS filter by varying the value of μ.

A double-talk detection algorithm in accordance with a preferred embodiment of the invention that is designed to work in conjunction with the echo canceller described illustrated in Figure 1 will be described. This is implemented in a digital signal processor.

Consider two signals, $X_0[n]$ and $X_1[n]$ generated by a linear combination of two real-valued source signals, $S_0[n]$ and $S_1[n]$. Mathematically, this mixing process may be described as

$$X_i = H_{i,0} \cdot S_0 + H_{i,1} \cdot S_1,$$

where $H_{i,j}$ are the mixing coefficients. In matrix form, this may be written as

$$\mathbf{X} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{S}$$

where

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_{0,0} & H_{0,1} \\ H_{1,0} & H_{1,1} \end{bmatrix} \text{ and } \mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix}$$

A matrix **R** is defined as

$$\mathbf{R} = E\left[\mathbf{x}\mathbf{x}^T\right]$$

where E[...] is the statistical expectation operator. **R** may be expanded in two ways

$$\mathbf{R} = E\begin{bmatrix} X_0 X_0^T & X_0 X_1^T \\ X_1 X_0^T & X_1 X_1^T \end{bmatrix}$$

$$= E\left[\mathbf{H}\mathbf{S}\mathbf{S}^T\mathbf{H}^T\right]$$

From the first expansion, it is apparent that the diagonal terms in **R** are the zero-lag autocorrelations of $X_0[n]$ and $X_1[n]$ and that both off-diagonal terms correspond to the zero-lag cross-correlation between $X_0[n]$ and $X_1[n]$. Hence, **R** is a symmetric, correlation-based matrix.

From the second expansion, we see that if **H** is full-rank, then **R** will also be full-rank if $S_0[n]$ and $S_1[n]$are both non-zero and uncorrelated. In most cases, a sufficient condition for this is that $S_0[n]$ and $S_1[n]$ are different signals from different sources.

The way in which the matrix can be used to perform double-talk and path change detection will now be explained. First, suppose we generate the signal mixtures in using convolutions:

$$\mathbf{X} = \mathbf{H} \otimes \mathbf{S}$$

Now the terms in the mixing matrix can be vectors. We further impose the condition that **H** have the following form:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_{0,0} & 1 \\ H1,0 & 0 \end{bmatrix}$$

With **H** defined in this way, it is now possible to connect the terms in the preceding equations with the parameters available in the echo canceller layout shown in Figure 1. Let

S_0 = echo source signal = $R_{IN} = u[n]$

S_1 = double-talk signal

$H_{0,0}$ = echo path

$H_{1,0}$ = LMS filter coefficients = $\hat{w}[n]$

With these definitions, it is apparent that

$$X_0 = H_{0,0} \otimes S_0 + S_1 = S_{IN} = d[n]$$

$$X_1 = H_{1,0} \otimes S_0 = \hat{d}[n]$$

The question of what happens to **R** under the various states of echo canceller operation will now be examined.

Case 1: Unconverged, no double-talk

If the LMS filter is in an unconverged state, $H_{0,0} \neq H_{1,0}$. This situation occurs when the echo canceller is first started, or following a major echo path change. Since the LMS filter does not contain an accurate echo path estimate, $X_0 \neq X_1$, and **R** will be full rank (unless $H_{1,0} = 0$, but this condition is usually temporary) with a very low condition number. See, for example, G. H. Golub and C. F. Van Loan, Matrix Computations, 3rd ed., Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD (1996). ($\kappa \sim 10^1$). As convergence proceeds, the degree of correlation between X_0 and X_1 and increases. This has the effect of rapidly raising the condition number of **R**. As a result, the determinant of **R** will fall, and its eigenvalues and singular values will become increasingly disparate.

Case 2: Converged, no double-talk

In this state $H_{0,0} \approx H_{1,0}$., so $X_0 \approx X_1$. This will make **R** very nearly rank deficient, and its condition number very large ($\kappa \sim 10^6$). Since **R** is close to being singular, its determinant will become very small. Similarly, we would expect to find only one significant eigenvalue or singular value.

Case 3: Double-talk

When double-talk is occurring, X_0 contains components from both S_0 and S_1, while X_1 is derived solely from S_0. In this case, X_1 and X_0 and are highly uncorrelated. **R** will have a low condition number, and this will be sustained for the duration of the double-talk. The higher the double-talk level, the lower the condition number becomes. This will raise the determinant of **R**, and we will find two significant eigenvalues and singular values.

Once the matrix **R** is generated, a variety of operations are available to determine what state the echo canceller is in. The condition number, determinant, eigenvalues and singular values of can all be used to test for double-talk or path changes. The determinant is used in the preferred embodiment because it is the simplest matrix operation to perform.

To illustrate the effectiveness of this algorithm at detecting double-talk and path changes, simulations were carried out and the results are shown in Figure 2. The plots indicate the value of det [**R**] under normal convergence, a path change, and double-talk. The scaling of the y-axis on the plots clearly demonstrates the variations observed in det [**R**] under the three different states. The simulations were carried out using ITU CSS synthetic speech signals from the G.168 Digital Echo Canceller standard. ITU-T Recommendation G.168, Digital Echo Cancellers. The signals were 48000 samples long, and a 60 ms echo path was used (which was changed to 15 ms during the path change simulation).

Under normal convergence (Fig. 2a), det [**R**] rapidly decays to near-zero values. When a path change occurs (Fig. 2b), det [**R**] spikes to a large value and then decays (to emphasize this trend, convergence was slowed by a factor of 10 following the path change). With double-talk (bottom plot), even larger, but sustained, spikes are present in det [**R**]. The differences in these three plots make it very easy to tell what state the echo canceller is in simply by checking the level of det [**R**]. The highest levels indicate double-talk, medium levels (along with decay) occurs with path changes, and very low levels are characteristic of full convergence. Based on these results, thresholds can be set as follows:

- Normal (converged) operation.
- Path change detected.
- Double-talk detected.

Once the state of the echo canceller is determined, the LMS filter operation can be adjusted accordingly.

A well-known relation in signal processing is that the convolution of two signals in time is equivalent to the multiplication of their frequency spectra. This property makes it possible to propose a variation on the preceding algorithm in which frequency-domain versions of the signals are used. X has been defined in the time-domain using convolutions:

$$\mathbf{X}[n] = \mathbf{H}[n] \otimes \mathbf{S}[n]$$

By taking the Fourier Transform of all terms involved, it is possible to rewrite the above equation in the frequency-domain as

$$\mathbf{X}(f_k) = \mathbf{H}(f_k) \cdot \mathbf{S}(f_k)$$

for all frequencies in the range $0 \leq f_k \leq F_S/2$ where F_S is the sampling frequency of the signals. The generation and analysis of the correlation-based matrix **R** is carried out as before, only now **R** is created using the frequency-domain version of **X**.

The advantage to this approach is that the algorithm no longer needs to have an accurate echo path estimate for **R** to have a high condition number during non-double-talk states. The double-talk detector becomes completely insensitive to path changes. Depending on the application, this may or may not be a desirable property. Low-level double-talk detection abilities improve, but a separate path change detection scheme must now be used.

Implementation of a frequency-domain version of this process can be accomplished through the use of Fast Fourier Transforms (FFTs) or subbanding techniques.

As will be understood by persons skilled in the art the inventive process can be implemented in a digital signal processor or other suitable digital signal processing device.

Glossary

Adaptive Filter: A filter whose coefficients can be adjusted during operation. Adaptive filters are used to estimate unknown parameters, for example an unknown echo path.

Autocorrelation: A statistical quantity which roughly measures the similarity of a signal to time shifted versions of itself.

Condition Number: A measure of how close a matrix is to being singular. The condition number for an arbitrary matrix **A** is given by $\kappa(\mathbf{A}) = \|\mathbf{A}\|\|\mathbf{A}^{-1}\|$.

Convergence: The condition achieved when the LMS filter has accurately modelled the echo path and is no longer undergoing significant changes. At convergence, the LMS filter is cancelling the maximum amount of echo.

Cross-Correlation: A statistical quantity which roughly measures the similarity of two separate signals.

Divergence: The process by which the LMS filter coefficients move away from the actual echo path to erroneous and unpredictable solutions. During divergence, the amount of echo being cancelled becomes less and less.

Double-Talk: The condition which occurs during simultaneous transmission of signals from both sides of the echo canceller.

Echo Path: A mathematical description of the process which imparts an echo to a signal.

ERL: Echo Return Loss. The loss a signal experiences as it travels along the echo path from R_{OUT} to S_{IN}.

ERLE: Echo Return Loss Enhancement. A common method of measuring the performance of an echo canceller. This measurement represents the amount that an echo signal has been reduced from S_{IN} to S_{OUT}.

LMS Algorithm: Least Mean Squares algorithm. Common adaptive filtering technique.

N-LMS Algorithm: Normalized Least Mean Squares algorithm. A variation on standard LMS in which the tap- weight update term is scaled by the inverse of the input signal power.

Rank: The number of non-zero eigenvalues or singular values a matrix has. Full-rank matrices have a non-zero determinant, and are thus non-singular and invertible.

RLS Algorithm: Recursive Least Squares algorithm. Common adaptive filtering technique.

Claims:

1. A method of detecting double-talk and path changes in an echo cancellation system, comprising:

generating a correlation-based matrix of signals in said echo cancellation system; and

analyzing said correlation-based matrix to identify double-talk and path changes occurring in said system.

2. A method as claimed in claim 1, wherein said correlation-based matrix is generated using zero-lag auto and cross-correlations of said signals.

3. A method as claimed in claim 2, wherein a determinant of said matrix is used to detect said double-talk and path changes.

4. A method as claimed in claim 3, wherein said double-talk and path changes are inferred when the value of said determinant passes predetermined threshold values.

5. A method as claimed in claim 2, wherein eigendecompositions of said matrix are used to detect said double-talk and path changes.

6. A method as claimed in claim 2, wherein single valued decompositions of said matrix are used to detect said double-talk and path changes.

7. A method as claimed in claim 2, wherein condition numbers of said matrix are used to detect said double-talk and path changes.

8. A method as claimed in any one of claims 1 to 7, wherein said echo cancellation system includes an adaptive filter, and said signals comprise an echo signal and an output of said adaptive filter.

9. A method as claimed in claim 8, wherein said filter is an LMS filter.

10. A method as claimed in claim 9, wherein said LMS filter implements a normalized-LMS algorithm.

11. A method as claimed in any one of claims 1 to 10, wherein the elements of said correlation-based matrix are generated in the time domain.

12. A method as claimed in any one of claims 1 to 10, wherein the elements of said correlation-based matrix are generated in the frequency domain.

13. A method as claimed in claim 3, wherein said determinant **R** is of the form

$$\mathbf{R} = E\begin{bmatrix} X_0 X_0^T & X_0 X_1^T \\ X_1 X_0^T & X_1 X_1^T \end{bmatrix}$$

wherein $X_0[n]$ and $X_1[n]$ are generated by a linear combination of two real-valued source signals, $S_0[n]$ and $S_1[n]$.

14. A method as claimed in claim 1, wherein $S_0[n]$ comprises an echo signal and $S_1[n]$ comprises a cancellation signal.

15. A double-talk and path change detector, comprising:

a processing element generating a correlation-based matrix of signals in said echo cancellation system; and

a processing element for analyzing said correlation-based matrix to identify double-talk and path changes occurring in said system.

16. A double-talk and path change detector as claimed in claim 15, wherein said correlation-based matrix is generated using zero-lag auto and cross-correlations of said signals.

17. A double-talk and path change detector as claimed in claim 16, wherein a determinant of said matrix is used to detect said double-talk and path changes.

18. A double-talk and path change detector as claimed in claim 16, wherein said double-talk and path changes are inferred when the value of said determinant passes predetermined threshold values.

19. A double-talk and path change detector as claimed in claim 16, wherein eigendecompositions of said matrix are used to detect said double-talk and path changes.

20. A double-talk and path change detector as claimed in claim 16, further comprising an adaptive filter, and said signals comprise an echo signal and an output of said adaptive filter.

21. A double-talk and path change detector as claimed in claim 20, wherein said filter is an LMS filter.

22. A double-talk and path change detector as claimed in claim 17, wherein said determinant (**R**) is of the form

$$\mathbf{R} = E\begin{bmatrix} X_0 X_0^T & X_0 X_1^T \\ X_1 X_0^T & X_1 X_1^T \end{bmatrix}$$

wherein $X_0[n]$ and $X_1[n]$ are generated by a linear combination of two real-valued source signals, $S_0[n]$ and $S_1[n]$.

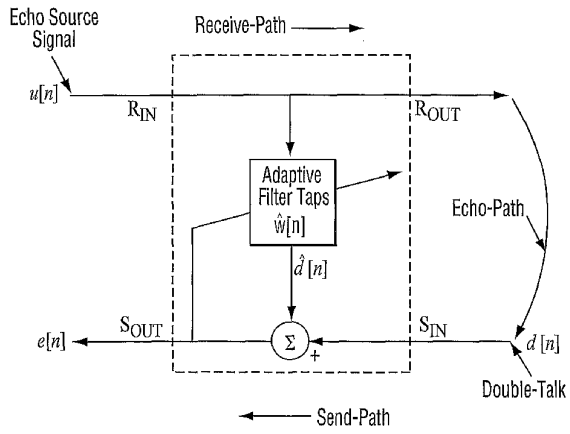

Echo Source Signal
Receive-Path
u[n]
RIN
ROUT
Adaptive Filter Taps
ŵ[n]
Echo-Path
d̂[n]
SOUT
SIN
e[n]
Σ
+
d[n]
Double-Talk
Send-Path

FIG. 1

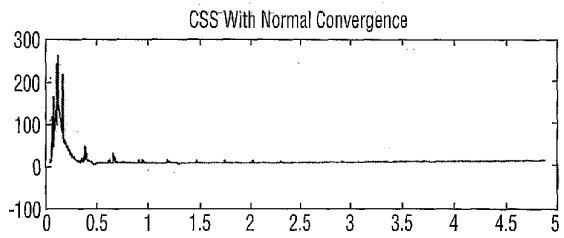


FIG. 2a

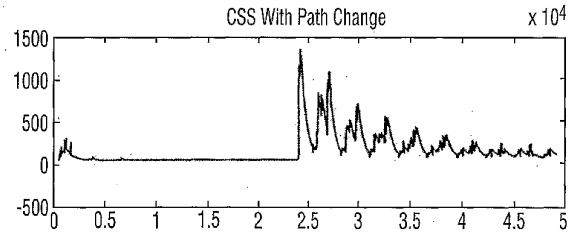


FIG. 2b

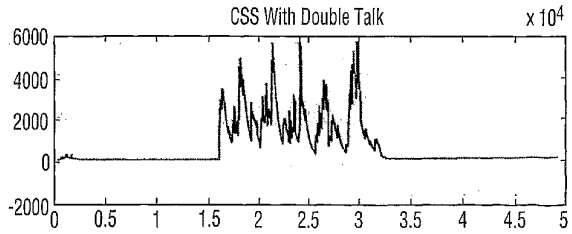


FIG. 2c

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
18 July 2002 (18.07.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/056496 A3

(51) International Patent Classification[7]: H04B 3/23

(21) International Application Number: PCT/CA02/00038

(22) International Filing Date: 10 January 2002 (10.01.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
0100674.1 11 January 2001 (11.01.2001) GB

(71) Applicant: ZARLINK SEMICONDUCTOR INC. [CA/CA]; 400 March Road, Kanata, Ontario K2K 3H4 (CA).

(72) Inventor: SEIBERT, Michael; Apartment #115, 1300 Richmond Road, Ottawa, Ontario K2B 8L2 (CA).

(74) Agent: MITCHELL, Richard, J.; Marks & Clerk, P.O. Box 957, Station B, Ottawa, Ontario K1P 5S7 (CA).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

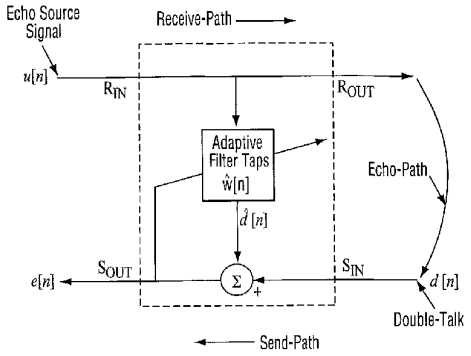
(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
with international search report
before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

(88) Date of publication of the international search report:
26 September 2002

[Continued on next page]

(54) Title: DOUBLE-TALK AND PATH CHANGE DETECTION USING A MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS



(57) Abstract: A process is described which generates matrix coefficients using zero-lag auto and cross-correlations from signals commonly found in echo canceller. Double-talk and path changes are then detected using matrix operations such as determinants, eigendecompositions, or singular value decompositions (SVDs). In a preferred embodiment, the determinant of the correlation-based matrix is compared against predetermined threshold values.

WO 02/056496 A3

WO 02/056496 A3

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/CA 02/00038

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04B3/23

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H04B H04M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
INSPEC, COMPENDEX, EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	BENESTY J ET AL: "A new class of doubletalk detectors based on cross-correlation" IEEE TRANSACTIONS ON SPEECH AND AUDIO PROCESSING, MARCH 2000, IEEE, USA, vol. 8, no. 2, pages 168-172, XP002197822 ISSN: 1063-6676	1,2,8, 11,15, 16,20
Y	page 169, right-hand column, paragraph 3 -page 170, left-hand column, paragraph 2; figure 1	3-7,9, 10, 12-14, 17-19, 21,22

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
8 May 2002	16/08/2002

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Giglietto, M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/CA 02/00038

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CHO J H ET AL: "An objective technique for evaluating doubletalk detectors in acoustic echo cancelers" IEEE TRANSACTIONS ON SPEECH AND AUDIO PROCESSING, NOV. 1999, IEEE, USA, vol. 7, no. 6, pages 718-724, XP002197823 ISSN: 1063-6676	1,2, 8-16, 20-22
Y	page 719, right-hand column, paragraph 4; figure 1 page 723, right-hand column, paragraph 3 -page 724, left-hand column	3-7,9, 10,13, 14, 17-19, 21,22
Y	HUA YE ET AL: "A NEW DOUBLE-TALK DETECTION ALGORITHM BASED ON THE ORTHOGONALITY THEOREM" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 39, no. 11, 1 November 1991 (1991-11-01), pages 1542-1545, XP000256971 ISSN: 0090-6778 page 1543, right-hand column	9,10,21
P,Y	GAENSLER T ET AL: "A frequency-domain double-talk detector based on a normalized cross-correlation vector" SIGNAL PROCESSING, AMSTERDAM, NL, vol. 81, no. 8, August 2001 (2001-08), pages 1783-1787, XP004274129 ISSN: 0165-1684 page 1785, paragraph 3	12
Y	US 6 035 034 A (TRUMP TOENU) 7 March 2000 (2000-03-07) column 3, line 30-52 column 4, line 24 - line 36 column 5, line 29 -column 6, line 50	12
A	CARLEMALM C ET AL: "ON THE PROBLEM OF DETECTION AND DISCRIMINATION OF DOUBLE TALK AND CHANGE IN THE ECHO PATH" 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING - PROCEEDINGS. (ICASSP). ATLANTA, MAY 7 - 10, 1996, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING - PROCEEDINGS. (ICASSP), NEW YORK, IEEE, US, vol. 5 CONF. 21, 7 May 1996 (1996-05-07), pages 2742-2745, XP000687851 ISBN: 0-7803-3193-1 abstract	1-22

-/--

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/CA 02/00038

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CARLEMALM C ET AL: "On detection of double talk and changes in the echo path using a Markov modulated channel model" ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, 1997. ICASSP-97., 1997 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MUNICH, GERMANY 21-24 APRIL 1997, LOS ALAMITOS, CA, USA,IEEE COMPUT. SOC, US, 21 April 1997 (1997-04-21), pages 3869-3872, XP010226646 ISBN: 0-8186-7919-0 abstract ---	1-22
A	GAENSLER T ET AL: "A DOUBLE-TALK DETECTOR BASED ON COHERENCE" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 44, no. 11, 1 November 1996 (1996-11-01), pages 1421-1427, XP000674158 ISSN: 0090-6778 abstract -----	1-22

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/CA 02/00038

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6035034 A	07-03-2000	AU 5351698 A	17-07-1998
		BR 9713754 A	01-02-2000
		CN 1247652 A	15-03-2000
		EP 0947057 A1	06-10-1999
		JP 2001508609 T	26-06-2001
		PL 334048 A1	31-01-2000
		WO 9828857 A1	02-07-1998
		TR 9901384 T2	21-09-1999

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

(72)発明者 セイバート、マイケル
カナダ国 オンタリオ、オタワ、 リッチモンド ロード １３００、アパートメント ナンバー １１５

Ｆターム(参考) 5K027 BB03 DD10
5K046 BB01 HH39 HH45 HH52 HH78