(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2007-522536
(P2007-522536A)
(43)公表日　平成19年8月9日(2007.8.9)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G06F 17/10	(2006.01)	G06F	17/10	D	4C027
G10L 21/02	(2006.01)	G10L	21/02	201C	5B056
A61B 5/0444	(2006.01)	A61B	5/04	310J	

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 57 頁）

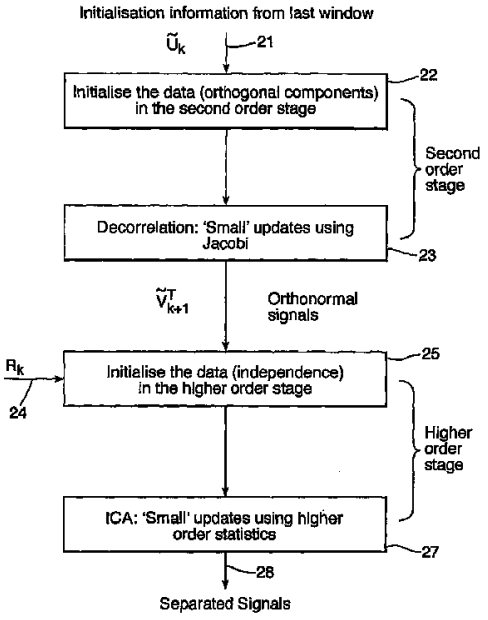
(21)出願番号　特願2006-538934 (P2006-538934)
(86)(22)出願日　平成16年11月9日 (2004.11.9)
(85)翻訳文提出日　平成18年7月11日 (2006.7.11)
(86)国際出願番号　PCT/GB2004/004714
(87)国際公開番号　WO2005/052848
(87)国際公開日　平成17年6月9日 (2005.6.9)
(31)優先権主張番号　0326539.4
(32)優先日　平成15年11月14日 (2003.11.14)
(33)優先権主張国　英国 (GB)

(71)出願人　501352882
キネテイツク・リミテツド
イギリス国、ロンドン・エス・ダブリユ・１・６・テイ・デイ、バツキンガム・ゲート・８５
(74)代理人　100062007
弁理士　川口　義雄
(74)代理人　100114188
弁理士　小野　誠
(74)代理人　100140523
弁理士　渡邊　千尋
(74)代理人　100119253
弁理士　金山　賢教
(74)代理人　100103920
弁理士　大崎　勝真

最終頁に続く

(54)【発明の名称】動的ブラインド信号分離

(57)【要約】
動的ブラインド信号分離の方法は、直前のデータウィンドウを処理することによって初期化情報を生成する。２１でこの情報が入力され、２２で直後のウィンドウのデータの直交性を初期化するために使用される。初期化されたデータは、２３でヤコビ技術を使用して小さな更新角度で無相関化される。ステップ２２および２３は全体で統計用語で言う２次ステージの処理となり、直交正規信号を生成する。２５で直交正規信号が初期化され、次いで、２７でＩＣＡによって２次よりも高次の統計量を用いて小さな角度更新で分離され、分離信号が生成される。この方法は信号を分離し、それらの中から所望の信号を識別する取得フェーズ、および所望の信号だけが分離された後続のフェーズで実施することができる。この方法はまた、最初の結果を取得し、次いで後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を繰り返し更新してスナップショット結果を生成し、その結果を重みづけされた直前の結果と組み合わせて指数関数的な減衰を生成することによって実施することもできる。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
データのウィンドウに関連する信号の処理を含む動的ブラインド信号分離のための方法であって、
ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを含むペアに対して、各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いて後続のウィンドウを処理し、それによってそれぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性および独立性の個別の初期化を実施して後続のウィンドウの近似結果を求めること、および
ｂ）近似結果を処理して信号分離を達成すること
を含むことを特徴とする方法。
【請求項２】
近似結果の処理が、小さな更新を用いて直交性を更新することで無相関化を実現することを２次統計手順に組み込むことを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
ヤコビ法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することで対称行列を対角化することを含む技術によって直交性の更新が行われることを特徴とする請求項２に記載の方法。
【請求項４】
各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化された信号の独立性を初期化する第２ステージの初期化を含み、この第２ステージが、２次統計手順よりも高次の統計手順において、独立成分分析（ＩＣＡ）を用いて小さな回転更新を初期化された信号に適用することで信号の独立性および分離を実現することを特徴とする請求項３に記載の方法。
【請求項５】
２次統計手順よりも高次の統計手順が３次および４次統計手順の少なくとも一方であることを特徴とする請求項４に記載の方法。
【請求項６】
信号が分離され分離された信号の中から所望の信号が識別される取得フェーズ、および所望の信号だけが処理されて分離される後続のフェーズで実施されることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項７】
ウィンドウに関連する信号がウィンドウ内のデータの統計的尺度であることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項８】
データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新することでスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返すことによって後続のウィンドウを処理する後続のステージとを含み、直前の結果が、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項９】
スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、忘却係数で直前の結果に重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施することを特徴とする請求項８に記載の方法。
【請求項１０】
第１の結果が、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階テンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことを特徴とする請求項８に記載の方法。

【請求項１１】
スナップショット結果が平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含み、さらに４階のテンソル更新としてモーメントを求めるための信号ベクトルを提供する無相関化され正規化されたスナップショット等価量を含むとともに、スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを実施し、０＜ｐ＜１であることを特徴とする請求項８に記載の方法。
【請求項１２】
データのウィンドウに関連する信号を処理するようにプログラムされた動的ブラインド信号分離のためのコンピュータ装置であって、
ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを備えたペアを処理し、
ｂ）各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いて、それぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性と独立性に関する個別の初期化を実施することで後続のウィンドウの近似結果を求め、さらに
ｃ）近似結果を処理して信号分離を達成する
ようにプログラムされることを特徴とするコンピュータ装置。
【請求項１３】
小さな更新を用いて近似結果の直交性を更新することで２次統計手順における無相関化を実現するようにプログラムされることを特徴とする請求項１２に記載のコンピュータ装置。
【請求項１４】
ヤコビ法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することで対称行列を対角化することを含む技術によって直交性を更新するようにプログラムされることを特徴とする請求項１３に記載のコンピュータ装置。
【請求項１５】
各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化されたデータの独立性を初期化する第２ステージの初期化を実施するようにプログラムされ、この第２ステージが、２次統計手順よりも高次の統計手順において、初期化されたデータに小さな回転更新を適用して信号の独立性および分離を実現するためのＩＣＡを含むことを特徴とする請求項１４に記載のコンピュータ装置。
【請求項１６】
２次統計手順よりも高次の統計手順が３次および４次統計手順の少なくとも一方であることを特徴とする請求項１５に記載のコンピュータ装置。
【請求項１７】
信号が分離され分離された信号の中から所望の信号が識別される取得フェーズ、および所望の信号だけが処理されて分離される後続のフェーズを実施するようにプログラムされることを特徴とする請求項１２に記載のコンピュータ装置。
【請求項１８】
ウィンドウに関連する信号がウィンドウ内のデータの統計的尺度であることを特徴とする請求項１２に記載のコンピュータ装置。
【請求項１９】
データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新してスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返して後続のウィンドウを処理する後続のステージとを実施し、直前の結果が、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となるようにプログラムされることを特徴とする請求項１２に記載のコンピュータ装置。
【請求項２０】
スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、忘却係数を用いて直前の結果

に重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施するようにプログラムされることを特徴とする請求項１９に記載のコンピュータ装置。
【請求項２１】
第１の結果が、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階テンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことを特徴とする請求項１９に記載のコンピュータ装置。
【請求項２２】
スナップショット結果が平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含み、コンピュータ装置が、無相関化され正規化されたスナップショット等価量を生成し、その等価量から信号ベクトルおよび４階のテンソル更新としてそのベクトルのモーメントを求め、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを実施し、０＜ｐ＜１とし、さらにスナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前にそのような重みづけを実施するようにプログラムされることを特徴とする請求項１９に記載のコンピュータ装置。
【請求項２３】
データのウィンドウに関連する信号を処理することを含む動的ブラインド信号分離のためのコンピュータソフトウェアであって、コンピュータ装置を制御して
ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを備えるペアを処理し、
ｂ）各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性と独立性に関する個別の初期化を実施することで後続のウィンドウの近似結果を求め、さらに
ｃ）近似結果を処理して信号分離を達成する
ための命令を含むことを特徴とするコンピュータソフトウェア。
【請求項２４】
小さな更新を用いて近似結果を処理し、それによって直交性を更新して２次統計手順における無相関化を実現するための命令を含むことを特徴とする請求項２３に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項２５】
ヤコビ法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することで対称行列を対角化することを含む技術によって直交性を更新する命令を含むことを特徴とする請求項２４に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項２６】
各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化されたデータの独立性を初期化する第２ステージの初期化を実施するための命令を含み、この第２ステージが、２次統計手順よりも高次の統計手順において、ＩＣＡを用いて小さな回転更新を初期化されたデータに適用することで信号の独立性および分離を実現することを特徴とする請求項２４に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項２７】
２次統計手順よりも高次の統計手順が３次および４次統計手順の少なくとも一方であることを特徴とする請求項２６に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項２８】
信号が分離されその分離された信号の中から所望の信号が識別される取得フェーズ、および所望の信号だけが処理されて分離される後続のフェーズを実施するための命令を含むことを特徴とする請求項２３に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項２９】
ウィンドウに関連する信号がウィンドウ内のデータの統計的尺度であることを特徴とする請求項２３に記載のコンピュータソフトウェア。

【請求項３０】
データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新してスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返して後続のウィンドウを処理する後続のステージとを実施し、直前の結果が、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となる命令を含むことを特徴とする請求項２３に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項３１】
スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、忘却係数を用いて直前の結果に重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施するための命令を含むことを特徴とする請求項３０に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項３２】
第１の結果が、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階テンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことを特徴とする請求項３０に記載のコンピュータソフトウェア。
【請求項３３】
スナップショット結果が平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含み、コンピュータソフトウェアが、無相関化され正規化されたスナップショット等価量を生成し、その等価量から信号ベクトルおよび４階のテンソル更新としてそのベクトルのモーメントを求め、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを実施し、０＜ｐ＜１とし、さらにスナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前にそのような重みづけを実施するための命令を含むことを特徴とする請求項３０に記載のコンピュータソフトウェア。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は動的ブラインド信号分離、すなわち、とりわけ非定常環境で使用することができるブラインド信号分離、ならびにそれを実施するための方法、装置、およびコンピュータプログラムに関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、ブラインド信号（または信号源）分離（ＢＳＳ）が信号処理の重要な分野として登場してきた。現在、ブラインド信号分離は生態臨床医学、財務分析、音声認識、電気通信などの用途で有効に使用されている。
【０００３】
ＢＳＳの目的は、センサを用いて雑音や不要な干渉とともに検出された、各信号源からの混合信号の観測だけを前提として、いくつかの統計的に独立な信号を回復または分離することである。「ブラインド」という用語は、個別の信号源またはそれらが組み合わされた方法に関して、以前の情報（例えば、波形、周波数、帯域幅、位置など）がまったく使用できないことを示すために使用される。
【０００４】
「ブラインド」という用語は、このような技術に関連づけられることが多いが、信号分離が達成できるために満たすべきいくつかの仮定が存在する。混合条件、すなわちセンサでの信号の結合処理は、線形かつ時不変（ｔｉｍｅ－ｉｎｖａｒｉａｎｔ）でなければならない。時不変という用語は、センサアレイで受信された信号の空間統計（組合せ）が時間とともに変化しないことを意味する。本発明に関する、結合処理の他の仮定は、信号がセンサに同時に到着するということである。この仮定は、瞬時混合（ｉｎｓｔａｎｔａｎｅｏｕｓ　ｍｉｘｉｎｇ）の場合と呼ばれる。

【０００５】
結合（混合）プロセスが線形、瞬時的、かつ時不変のときは、この問題に対する多くのＢＳＳ法が開発されてきた。これらの方法には、以下のようなものがある。
－ Ｉ．Ｊ．Ｃｌａｒｋｅによって開発され、以下に記載されたブラインド信号分離（ＢＬＩＳＳ）アルゴリズム。Ｊ．Ｇ．ＭｃＷｈｉｒｔｅｒ、Ｉ．Ｊ．Ｃｌａｒｋｅ、およびＧ．Ｓｐｅｎｃｅ、「Ｍｕｌｔｉ－ｌｉｎｅａｒ ａｌｇｅｂｒａ ｆｏｒ ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ ａｎａｌｙｓｉｓ」、ＳＰＩＥ’ｓ ４４ｔｈ Ａｎｎｕａｌ Ｍｅｅｔｉｎｇ、Ｔｈｅ Ｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌ Ｓｙｍｐｏｓｉｕｍ ｏｎ Ｏｐｔｉｃａｌ Ｓｃｉｅｎｃｅ、Ｅｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ ａｎｄ Ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔａｔｉｏｎ、Ｄｅｎｖｅｒ ＵＳＡ、１８～２３ｒｄ Ｊｕｌｙ、１９９９。
－ Ｊ．Ｆ．Ｃａｒｄｏｓｏ、およびＡ．Ｓｏｕｌｏｕｍｉａｃ、「Ｂｌｉｎｄ ｂｅａｍｆｏｒｍｉｎｇ ｆｏｒ ｎｏｎ－Ｇａｕｓｓｉａｎ ｓｉｇｎａｌｓ」、ＩＥＥ ｐｒｏｃ－Ｆ、Ｖｏｌ．１４０、ｎｏ．６、ｐｐ．３６２～３７０、Ｄｅｃ １９９３に記載されたＪＡＤＥ（Ｊｏｉｎｔ Ａｐｐｒｏｘｉｍａｔｅ Ｄｉａｇｏｎａｌｉｓａｔｉｏｎ ｏｆ Ｅｉｇｅｎｍａｔｒｉｃｅｓ）アルゴリズム。
－ Ｔ．Ｂｌａｓｃｈｋｅ、およびＬ．Ｗｉｓｋｏｔｔ、「Ａｎ Ｉｍｐｒｏｖｅｄ Ｃｕｍｕｌａｎｔ Ｂａｓｅｄ Ｍｅｔｈｏｄ ｆｏｒ Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ Ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ Ａｎａｌｙｓｉｓ」、Ｐｒｏｃ．Ｉｎｔ．Ｃｏｎｆ．ｏｎ Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋｓ、ＩＣＡＮＮ’０２．２００２。この参考文献は３次統計量の使用に関するものであり、ＢＬＩＳＳの代替方法である。また、この方法はＢＬＩＳＳやＪＡＤＥに類似したブロックベースの技術である。

【０００６】
国際公開第０３／０２８５５０Ａ２号パンフレットは、母親に外部から貼り付けられた腹部電極を使用して胎児のＥＧＣ信号を監視するＢＬＩＳＳの特定の応用例を開示している。電極信号はフィルタされ、独立成分分析（Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ Ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ Ａｎａｌｙｓｉｓ、ＩＣＡ）に基づくＢＳＳ技術で処理される。Ｉ．Ｊ．Ｃｌａｒｋｅ、「Ｄｉｒｅｃｔ Ｅｘｐｌｏｉｔａｔｉｏｎ ｏｆ ｎｏｎ－Ｇａｕｓｓｉａｎｉｔｙ ａｓ ａ Ｄｉｓｃｒｉｍｉｎａｎｔ」、ＥＵＳＩＰＣＯ ’９８、Ｒｈｏｄｅｓ、Ｇｒｅｅｃｅ、８～１１ Ｓｅｐｔｅｍｂｅｒ、１９９８。

【０００７】
国際公開第０１／１７１０９号パンフレットは、データをウィンドウ操作し、離散フーリエ変換を適用し、その結果を相互相関させることによるＢＳＳを開示している。次に、最急降下法（ｇｒａｄｉｅｎｔ ｄｅｓｃｅｎｔ ｍｅｔｈｏｄ）を使用して、混合された信号を分離する有限インパルス応答フィルタを定義する。米国特許第６３２１２００号明細書（Ｃａｓｅｙ）は、フィルタバンク分析を用い、結果として得られたデータをウィンドウ操作して多次元観測行列を生成し、行列の次元を圧縮し独立成分分析を用いて処理することによって混合信号から特徴抽出する方法を開示している。国際公開第０３／０９０１２７号パンフレットは、４次キュムラント（ｃｕｍｕｌａｎｔ）を使用したＢＳＳを開示している。ディスジョイント（ｄｉｓｊｏｉｎｔ）直交信号のＢＳＳは、Ａ．Ｊｏｕｒｊｉｎｅ ｅｔ ａｌ．、Ｐｒｏｃ．２０００ ＩＥＥＥ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ ｏｎ Ａｃｏｕｓｔｉｃｓ，Ｓｐｅｅｃｈ ａｎｄ Ｓｉｇｎａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ、２０００ ＩＣＡＳＳＰ’００、５～９ Ｊｕｎｅ ２０００、Ｉｓｔａｎｂｕｌ Ｔｕｒｋｅｙ、Ｖｏｌ．５、ｐｐ ２９８５～２９８８に開示されている。

【０００８】
非定常条件を適用するとき、通常は非定常性に対処することが従来技術の目的ではないので、いくつかの従来技術のＢＳＳ法が検出し分離することができる信号の精度は制限される。これは、分離処理において信頼して使用できるデータの量が限られており、統計ベースのパラメータの推定値は正確でない可能性があるからである。さらに、（例えば、何時間にもわたる）大きなデータセットの処理は不可能である。これらの制限が、非定常問

題のためのＢＳＳ法開発のきっかけとなった。このような方法には、次のようなものがある。
－　独立成分分析（ＩＣＡ）のためのパーティクルフィルタ（ｐａｒｔｉｃｌｅ　ｆｉｌｔｅｒ）。Ｒ．Ｍ．ＥｖｅｒｓｏｎおよびＳ．Ｊ．Ｒｏｂｅｒｔｓ、「Ｐａｒｔｉｃｌｅ　ｆｉｌｔｅｒｓ　ｆｏｒ　ｎｏｎ－ｓｔａｔｉｏｎａｒｙ　ＩＣＡ」、Ａｄｖａｎｃｅｓ　ｉｎ　Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ　Ｃｏｍｐｏｎｅｎｔｓ　Ａｎａｌｙｓｉｓ、Ｅｄｓ．Ｍ　Ｇｉｒｏｌａｍｉ、Ｓｐｒｉｎｔｅｒ、ｐｐ．２３～４１、２０００。
－　ＥＡＳＩ（等価適応信号源分離（Ｅｑｕｉｖａｒｉａｎｔ　Ａｄａｐｔｉｖｅ　Ｓｏｕｒｃｅ　Ｓｅｐａｒａｔｉｏｎ））アルゴリズム。Ｊ．Ｆ．ＣａｒｄｏｓｏおよびＢ．Ｌａｈｅｌｄ、「Ｅｑｕｉｖａｒｉａｎｔ　ａｄａｐｔｉｖｅ　ｓｏｕｒｃｅ　ｓｅｐａｒａｔｉｏｎ」、ＩＥＥＥ　Ｔｒａｎｓ．ｏｎ　Ｓｉｇｎａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ、ｖｏｌ．４４、ｎｏ　１２、ｐｐ．３０１７～３０３０、Ｄｅｃ．１９９６。
－　カルマンフィルタアプローチを用いた自然勾配アルゴリズム（Ｎａｔｕｒａｌ　Ｇｒａｄｉｅｎｔ　Ａｌｇｏｒｉｔｈｍ、ＮＧＡ）。Ｍ．Ｇ．Ｊａｆａｒｉ、Ｈ．Ｗ．ＳｅａｈおよびＪ．Ａ．Ｃｈａｍｂｅｒｓ、「Ａ　Ｃｏｍｂｉｎｅｄ　Ｋａｌｍａｎ　Ｆｉｌｔｅｒ　ａｎｄ　Ｎａｔｕｒａｌ　Ｇｒａｄｉｅｎｔ　Ａｌｇｏｒｉｔｈｍ　Ａｐｐｒｏａｃｈ　ｆｏｒ　Ｂｌｉｎｄ　Ｓｅｐａｒａｔｉｏｎ　ｏｆ　Ｂｉｎａｒｙ　Ｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ　Ｓｏｕｒｃｅｓ　ｉｎ　Ｔｉｍｅ－Ｖａｒｙｉｎｇ　Ｃｈａｎｎｅｌｓ」、ＩＥＥＥ　ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ　ｏｎ　Ａｃｏｕｓｔｉｃｓ，Ｓｐｅｅｃｈ　ａｎｄ　Ｓｉｇｎａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ、Ｖｏｌ．５、ｐｐ．２７６９～２７７２、Ｍａｙ　２００１。
－　ブラインドデミクシング（ｄｅｍｉｘｉｎｇ）アルゴリズム。Ｚ．ＭａｒｋｏｗｉｔｚおよびＨ．Ｓｚｕ、「Ｂｌｉｎｄ　Ｄｅｍｉｘｉｎｇ　Ｒｅａｌ－Ｔｉｍｅ　Ａｌｇｏｒｉｔｈｍ　ｏｆ　Ｐｉｅｃｅｗｉｓｅ　Ｔｉｍｅ　Ｓｅｒｉｅｓ」、Ｉｎｔｅｒｎａｌ　Ｊｏｉｎｔ　Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ　ｏｎ　Ｎｅｕｒａｌ　Ｎｅｔｗｏｒｋｓ　ＩＪＣＮＮ’９９、Ｖｏｌ．２、ｐｐ．１０３３～１０３７、１９９９。

【０００９】

パーティクルフィルタリングは信号処理の比較的新しい領域であり、信号を追跡するためのロバストな方法を提供する。しかし、その計算コストのために、実時間ＢＳＳでのその使用は非現実的である。

【００１０】

これに対して、ＥＡＳＩや（カルマンフィルタを用いた）ＮＧＡアルゴリズムは、はるかに計算上効率的である。これらの技術はそれぞれ、統計的アプローチおよび自然勾配アプローチを利用する。これらの技術は収束が遅くなる傾向があり、非定常環境ではゆっくり変化するシステムを追跡するためだけに適するものである。

【００１１】

別法として、よりロバストな技術は（前述のＢＬＩＳＳやＪＡＤＥなどの）「ブロック」アルゴリズムを使用するが、移動ウィンドウアプローチにおいて使用されるものである。ウィンドウという用語は、データの区分または「ブロック」のために使用される。データウィンドウが一連のセクションとして記録されたすべてのデータを時間内にカバーするように進み、各ウィンドウ位置で信号が分離されるものと想定されている。これらのブロックアルゴリズムは、データのブロックまたはウィンドウを相互に分離して処理する。これらのアルゴリズムはブラインドデミクシングにおいて使用することができ、以下のことを想定している。
－　データの各ウィンドウは信号混合プロセスについての十分な情報を含み、信号の信頼できる推定値を得ることができる。
－　定常的混合条件が局所的に適用される。すなわち、各ウィンドウおよび隣接ウィンドウにおいて混合パラメータはゆっくり、滑らかに変化するものとする。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１２】
移動ウィンドウアプローチを使用することに関する主要な問題は、「信号スワッピング」と呼ばれている。この問題は、順序が識別できない連続するウィンドウにおける、異なる順序の混合されていない信号から生じる。すなわち、最初のウィンドウでは、１２３４５６の順序で１～６まで番号づけされた６つの信号を分離するように処理され、直後のウィンドウの処理では、これらの信号が４１３５６２など異なる未知の順序で生じる可能性がある。したがって、結果として生じる観測信号は、恐らく異なるソース信号からからランダムに集められた部分を含むことになる。連続信号の監視を可能にするために信号を正しく並べ直すことは、処理が困難か、現実的でないか、あるいは不可能な場合がある。
【００１３】
ブラインドデミクシングアルゴリズムは、信号を並べ替えるための信号統計に関する事前の知識を仮定することによってこの問題を解決する。しかし、多くの用途では、信号統計はウィンドウごとに変化する。また、それらが未知のこともある。
【００１４】
さらに、パーティクルフィルタリングの場合には、移動ウィンドウ技術の計算コストのために、実時間ＢＳＳ処理のためのその技術を使用することが現実的でなくなる可能性がある。
【００１５】
本発明の目的は、信号分離の代替方法を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【００１６】
本発明は、データのウィンドウに関連する信号の処理を含む動的ブラインド信号分離のための方法であって、
ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを含むペアに対して、各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いて後続のウィンドウを処理し、それによってそれぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性および独立性の個別の初期化を実施して後続のウィンドウの近似結果を求めること、および
ｂ）近似結果を処理して信号分離を達成すること
を含むことを特徴とする方法を提供する。
【００１７】
本発明は、通常は従来技術のブロックアルゴリズムより迅速にデータを処理することができるという利点を提供する。その理由は、初期化により（最初のデータウィンドウ以外の）各データウィンドウのフル解析を実施する必要性が回避され、結果として計算が削減されるからである。これは、胎児の心拍監視などの用途で特に重要である。この用途では、緊急の場合に臨床介入（ｃｌｉｎｉｃａｌ　ｉｎｔｅｒｖｅｎｔｉｏｎ）を可能にするために可能な限り実時間に近い処理が望ましい。さらに、後述するように、直交性と独立性を個別に初期化することにより２ステージＢＳＳに関連する問題が回避される。その問題とは、２ステージＢＳＳの場合は、信号が正規化され、したがって適切に更新できなくなる可能性があることである。本発明は、先行ウィンドウの結果が後続ウィンドウの処理で使用可能であるような、時間に関して十分にゆっくり変化する監視システムに適用可能である。
【００１８】
近似結果の処理は、小さな更新を用いて直交性を更新し、それによって無相関化を実現することを２次統計手順に組み込むことができる。直交性の更新は、ヤコビ（Ｊａｃｏｂｉ）法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することによる対称行列の対角化に関係する技術によって実施することができる。
【００１９】
この方法は、各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化された信号の独立性を初期化する第２のステージの初期化を含むことができる。この第２のステージは、２次統計手順よりも高次の統計手順において、

独立成分分析（ＩＣＡ）を用いて小さな回転更新を初期化された信号に適用して信号の独立性および分離を実現する。２次統計手順よりも高次の手順は、３次および４次統計手順の少なくとも一方であってもよい。

【００２０】

この方法は、信号が分離され分離された信号の中から所望の信号が識別される取得フェーズ、および所望の信号だけが処理されて分離される後続のフェーズにおいて実施することができる。

【００２１】

ウィンドウに関連する信号は、ウィンドウ中のデータの統計的尺度であってもよい。

【００２２】

この方法は、データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新してスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返すことによって後続のウィンドウを処理する後続のステージとを含むことができる。直前の結果は、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となる。スナップショット結果を直前の処理結果と組み合わせる前に、直前の結果に忘却係数（ｆｏｒｇｅｔ　ｆａｃｔｏｒ）を用いて重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施することもできる。

【００２３】

第１の結果は、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階のテンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことができる。

【００２４】

スナップショット結果は平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含み、さらに４階のテンソル更新としてモーメントを求めるための信号ベクトルを提供する無相関化され（ｄｅｃｏｒｒｅｌａｔｅｄ）正規化されたスナップショット等価量を含むことができる。また、スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし、直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを生成することができる。ただし、０＜ｐ＜１である。

【００２５】

他の態様において、本発明はデータのウィンドウに関連する信号を処理するようにプログラムされた動的ブラインド信号分離のためのコンピュータ装置であって、

ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを備えたペアを処理し、

ｂ）各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いて、それぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性と独立性に関する個別の初期化を実施して後続のウィンドウの近似結果を求め、さらに

ｃ）近似結果を処理して信号分離を達成する

ようにプログラムされることを特徴とするコンピュータ装置を提供する。

【００２６】

このコンピュータ装置は、小さな更新を用いて近似結果の直交性を更新し、それによって２次統計手順における無相関化を実現するようにプログラムすることができる。このコンピュータ装置は、ヤコビ法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することによる対称行列の対角化に関係する技術によって直交性を更新するようにプログラムすることができる。

【００２７】

このコンピュータ装置は、各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いてそれぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化されたデータの独立性を初期化する第２ステージ

の初期化を実施するようにプログラムすることができる。この第２ステージは、２次統計手順よりも高次の統計手順において、初期化されたデータに小さな回転更新を適用して信号の独立性および分離を実現するためのＩＣＡを含む。２次統計手順よりも高次の手順は、３次および４次統計手順の少なくとも一方であってもよい。

【００２８】

このコンピュータ装置は、信号を分離し分離した信号の中から所望の信号を識別する取得フェーズ、および所望の信号だけを分離処理する後続のフェーズを実施するようにプログラムすることができる。

【００２９】

ウィンドウに関連する信号は、ウィンドウ中のデータの統計的尺度であってもよい。

【００３０】

このコンピュータ装置は、データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新してスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返すことによって後続のウィンドウを処理する後続のステージとを実施し、直前の結果が、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となるようにプログラムすることができる。このコンピュータ装置は、スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、忘却係数を用いて直前の結果に重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施するようにプログラムすることもできる。第１の結果は、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階のテンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことができる。

【００３１】

スナップショット結果は、平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含むことができる。また、このコンピュータ装置は、無相関化され正規化されたスナップショット等価量を生成し、その等価量から信号ベクトルおよび４階のテンソル更新としてそのベクトルのモーメントを求め、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし、直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを実施し、０＜ｐ＜１とし、さらにスナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前にそのような重みづけを実施するようにプログラムすることができる。

【００３２】

他の態様において、本発明は、データのウィンドウに関連する信号を処理することを含む動的ブラインド信号分離のためのコンピュータソフトウェアであって、コンピュータ装置を制御して

ａ）連続するウィンドウのペアであって、各ペアが先行するウィンドウと後続のウィンドウを備えるペアを処理し、

ｂ）各先行するウィンドウに関連して得られた結果を用いて、それぞれの後続のウィンドウに関連する信号の直交性と独立性に関する個別の初期化を実施して後続のウィンドウの近似結果を求め、さらに

ｃ）近似結果を処理して信号分離を達成する

ための命令を含むことを特徴とするコンピュータソフトウェアを提供する。

【００３３】

このコンピュータソフトウェアは、小さな更新を用いて近似結果を処理し、それによって直交性を更新して２次統計手順における無相関化を実現するための命令を含むことができる。このコンピュータソフトウェアは、ヤコビ法と呼ばれ、行列の非対角要素が実質的にゼロに等しくなるまで繰り返し回転を決定し適用することによる対称行列の対角化に関係する技術によって直交性を更新する命令を含むことができる。

【００３４】

このコンピュータソフトウェアは、各先行するウィンドウごとに得られた結果を用いて

それぞれの後続のウィンドウに関連する無相関化されたデータの独立性を初期化する第２ステージの初期化を実施するための命令を含むことができる。この第２ステージは、２次統計手順よりも高次の統計手順において、ＩＣＡを用いて小さな回転更新を初期化されたデータに適用して信号の独立性および分離を実現する。２次統計手順よりも高次の統計手順は、３次および４次統計手順の少なくとも一方であってもよい。

【００３５】

このコンピュータソフトウェアは、信号が分離されその分離された信号の中から所望の信号が識別される取得フェーズ、および所望の信号だけが処理されて分離される後続のフェーズを実施するための命令を含むことができる。

【００３６】

ウィンドウに関連する信号は、ウィンドウ中のデータの統計的尺度であってもよい。

【００３７】

このコンピュータソフトウェアは、データの第１の先行ウィンドウを処理して第１の結果を得る取得ステージと、後続のデータスナップショットを用いて直前の結果を更新してスナップショット結果を生成することと、そのスナップショット結果を直前の結果と組み合わせることとを繰り返すことによって後続のウィンドウを処理する後続のステージとを実施し、直前の結果が、直前の更新が存在する場合にはそれぞれの直前の更新で得られた結果となり、存在しない場合には第１の結果となる命令を含むことができる。このコンピュータソフトウェアは、スナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前に、忘却係数を用いて直前の結果に重みづけして指数関数的に減衰する後続のウィンドウを実施するための命令を含むことができる。

【００３８】

第１の結果は、各場合における第１の先行ウィンドウに関する信号サンプルの平均ベクトルおよびデータ行列の共分散行列を含み、さらに４階テンソルとしてモーメントを求めるための信号ベクトルを得るためのデータ行列の無相関化および正規化を含むことができる。スナップショット結果は平均スナップショットベクトルおよびスナップショット共分散行列を含むことができる。このコンピュータソフトウェアは、無相関化され正規化されたスナップショット等価量を生成し、その等価量から信号ベクトルと４階のテンソル更新としてそのベクトルのモーメントを求め、スナップショット結果を忘却係数ｐで重みづけし、直前の結果を別の忘却係数（１－ｐ）で重みづけして指数関数的に減衰するウィンドウを実施し、０＜ｐ＜１とし、さらにスナップショット結果を直前の結果と組み合わせる前にそのような重みづけを実施するための命令を含むことができる。

【００３９】

本発明をより完全に理解できるように、次に本発明の実施形態について添付の図面を参照しながら説明する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００４０】

図１を参照すると、本発明の動的ブラインド信号分離（ＢＳＳ）システム１０は２つの信号源１１および１２からの信号を監視するように構成されている。図示されているように、システム１０は、信号源１１および１２の両方からの出力信号１５の受信に応答して電気信号を生成する３つのセンサ１４Ａ、１４Ｂ、および１４Ｃ（まとめて１４）を備えるが、本発明の実際の応用例ではより多くのセンサを使用することもできる。本発明の１つの重要な用途は、胎児の心電図（胎児のＥＣＧ）を非侵襲的（ｎｏｎ－ｉｎｖａｓｉｖｅｌｙ）にモニタすることである。この用途は妊婦の腹部に貼り付けられた外部電極の形のセンサを使用する。このことは、国際公開第０３／０２８５５０号パンフレット（以下「Ｗ５５０」）に記載されている。このパンフレットには、グランドと基準電極に加えて１２個までの信号電極が記載されており、それぞれの信号チャネルを規定している。このパンフレットを本実施形態のベースとして使用する。このパンフレットは、単生児の妊婦に対する単一の胎児ＥＣＧ、または双生児、三つ子などに対する複数の胎児信号の分離に関係している。

【００４１】
センサ１４はシステム１０のデータ取得ステージ１６に入力信号を提供する。そのステージでは、入力信号は、およそ５００セットサンプル／秒の割合で、セット単位でサンプルされる。次に、各サンプルはデジタル化され記録される。サンプルの各セットは各センサ１４からのそれぞれのサンプルからなり、各セットのサンプルはほぼ同時に記録される。記録された後で、これらの信号は信号分離ステージ１７に送られ、そのステージでこれらの信号は処理されてソース信号１５に対応する分離された、または混合されていない信号が生成される。分離された信号は解析ステージ１８に送られ、そのステージで、分離された信号が解析されて胎児ＥＣＧ信号、母体ＥＣＧ信号、および雑音が区別される。

【００４２】
胎児ＥＣＧ監視で記録された信号の構造は複雑である。なぜならば、必要な胎児ＥＣＧ信号が、はるかに強い母体ＥＣＧ信号や筋肉雑音などの干渉信号の影響を受けるからである。代表的な従来技術のＢＳＳ法は、従来技術のＢＳＳ仮定が当てはまる比較的短いデータのセクションまたは時間ウィンドウに制限される。しかし、比較的長い期間にわたって信号が分離され監視されることを求める、良く知られた長い間の切実な要求が存在するが、そのためには、対応する従来技術の方法では十分ではない。

【００４３】
取得ステージ１６からのデータは、各センサ１４からの信号をデジタル化することによって得られるデジタル信号からなる一連のデータ「ウィンドウ」と呼ばれるものとして処理され、代表的な信号は２，０００～３，０００信号サンプルから構成することができる。各ウィンドウは部分的にその前のウィンドウとオーバラップさせることができる。すなわち、後述するように、サンプルのセットは両方に共通していてもよい。データウィンドウはデータブロック中の一連のウィンドウ位置によって進み、信号は各ウィンドウ位置ごとに分離され、最終的に全データブロックが処理されるものと想定される。最初のデータウィンドウは、信号分離ステージ１７でＢＬＩＳＳまたはＪＡＤＥなどのブロックモード法によって処理される。このことについてより詳細に説明する前に、各ウィンドウに対する信号モデルを確立し、そのモデルによってＢＳＳを使用する。

【００４４】
胎児ＥＣＧ解析においては、セットあたりの信号サンプルの数は通常、信号電極の数、すなわちグランドおよび基準電極を除いた電極数に等しいと見なされる。

【００４５】
ＢＳＳに関して、それぞれの信号電極からのｍ本のデジタル信号を有し、各信号がｎ個のサンプルを有するデータウィンドウ番号ｋの適切な（ノイズのない）データモデルは、

$$X_k = A_k S_k \qquad (1)$$

で与えられる。ただし、X_kはウィンドウ番号ｋ内のデータからなる（ｍ×ｎ）の行列であり、その各行は（各々が１組のｍ個のデータサンプルとして表された）それぞれの信号である。S_kはX_kと類似した種類の（ｍ×ｎ）データ行列であるが、混合されていない信号、すなわち分離され、個別のソース信号１５に対応する信号を表す。また、A_kは（ｍ×ｍ）の混合行列であり、ソース信号１５を組み合わせて、電極によって受信される、X_kに対応した混合信号を形成するための変換を表す。式（１）によって表される各ウィンドウの混合モデルは、線形で、瞬時的（ｉｎｓｔａｎｔａｎｅｏｕｓ）で、時不変であると想定する。また、取扱いが便利であり必要な結果に影響を与えないので、各ウィンドウ内のデータは、ゼロ平均を有する（あるいは、実際には、各データは各データのサンプルから平均を減算することによってゼロ平均に変換できる）ものと想定する。

【００４６】
ＢＳＳで解決すべき信号分離問題は、データ行列S_kによって表される信号を（並べ替えによって）回復または非混合化することである。このことは、逆混合行列

【数１】

$$A_k^{-1}$$

すなわち、A_kの逆行列を求め、式（１）の両辺に前から掛けることによって実施することができる。すなわち、

【数２】

$$A_k^{-1}X_k = A_k^{-1}A_kS_k = S_k \qquad (2)$$

【００４７】

ｋ番目のデータウィンドウに対する式（２）は、直後のまたは（ｋ＋１）番目のウィンドウ用として書き直すことができる。すなわち、

【数３】

$$A_{k+1}^{-1}X_{k+1} = S_{k+1} \qquad (3)$$

【００４８】

逆混合行列

【数４】

$$A_k^{-1}$$

を求めるために、ＢＢＳアルゴリズムは２つのステージを使用することができる。第１のステージは、２次統計量だけを使用し、信号を非相関化し正規化するものである。第２のステージは、通常は４次統計量を利用し、（第１のステージで得られた）非相関化され正規化された信号を独立にする。

【００４９】

各ウィンドウにおいてこれら２つの処理が効率的かつ効果的に実施されるように、この追跡法はいくつかの重要な機能を有する。最初の２つの機能は、初期化および更新処理である。

【００５０】

「初期化」という表現は、直前のデータウィンドウの混合行列に関する情報が現在のウィンドウの信号を初期化するために使用されることを意味する。この初期化には、初期化された信号をほぼ分離するという効果があり、したがって信号を非混合化するための完全な計算は必要でなくなる。この例では、信号自体が初期化されるが、実際には、そうすることは必須ではない。代わりに、中間的量を初期化することも可能である、すなわち、データから得られたパラメータ、例えば（後述する）共分散行列などデータの統計的尺度を代わりに初期化することも可能である。現在のウィンドウの混合行列を求めるために、初期化された信号は、初期化なしの場合に必要な量よりもより少ない量の更新しか必要としない。さらに、後で詳述するように、初期化を小さな更新と組み合わせることによって、信号スワッピングの問題を防止することもできる。

【００５１】

現在のウィンドウ内の信号は、

【数５】

$$A_k^{-1}$$

を使用して初期化できるものと考えられる。したがって、S_{k+1}に対する最初の近似

【数６】

$$S'_{k+1}$$

は、X_{k+1}に

【数７】

$$A_{k+1}^{-1}$$

ではなく

【数８】

$$A_k^{-1}$$

を掛けること、すなわち

【数９】

$$A_k^{-1}X_{k+1} = S'_{k+1} \qquad (4)$$

によって提供される。

【００５２】

式（４）によって提供される、推定された

【数１０】

$$S'_{k+1}$$

は、X_{k+1}よりも所望の値であるS_{k+1}により近くなるはずである。しかし、（上述の）２ステージＢＳＳアプローチでは、推定された各信号は同一のパワーを有するように正規化される。したがって、第１のステージ（無相関化）では、信号を更新することはできない。このことについては後で説明する。正規化処理が「実施されない」場合でも、無相関化処理を更新することによりそれ以前のステージの効果が取り消される。説明する本発明の実施例の特徴は、非混合化行列の対応する２次および高次成分を別々に更新することによってこの問題を回避することである。

【００５３】

本実施例においては、後でより詳細に説明するように、初期化処理は２ステージで実施される。すなわち、これらのうちの第１のステージでは、信号の直交性が初期化され、次いで無相関化法を用いて信号の直交性が更新される。これによって信号は直交化される。次いで、第２ステージで信号の独立性が初期化され、高次統計ステージを用いて信号の独立性が更新される。これによって信号は独立になる。

【００５４】

上述の第１のステージにおいて、１つの選択肢は（ｍ×ｎ）の行列X_kに関して無相関化法および正規化法を実施することである。これは、特異値が降順に配列されるときは特異値分解（ＳＶＤ）と呼ばれることがある（Ｍ．ＭｏｏｎｅｎおよびＢ．Ｄｅ Ｍｏｏｒ、「ＳＶＤ ａｎｄ Ｓｉｇｎａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ，ＩＩＩ Ａｌｇｏｒｉｔｈｍｓ，Ａｒｃｈｉｔｅｃｔｕｒｅｓ ａｎｄ Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎｓ」、ＡＳＩＮ：０４４４８２１０７４、Ｅｌｓｅｖｉｅｒ １９９５）。しかし、このような方法で信号を配列することは困難である。なぜならば、信号パワーがウィンドウごとに変化し、信号の再配列につながる可能性があるからである。したがって、信号のスワッピングが生じる可能性がある。すなわち、この処理は、実際には異なる信号のセグメントがつなぎ合わされた見かけ上の信号を生成する場合がある。本明細書では、信号がそのパワーに従って配

列されることがないので、ＳＶＤより無相関化および正規化という用語の方が好ましい。
【００５５】
データ行列X_kの２次分解は、次式で表すことができる。
【数１１】

$$X_k = U_k \Sigma_k V_k^T \qquad (5)$$

上式で、U_kはデータ行列の共分散行列
【数１２】

$$X_k X_k^T$$

の固有ベクトルを含む（ｍ×ｍ）のユニタリ行列であり、V_kは
【数１３】

$$X_k^T X_k$$

の固有ベクトルを含む（ｎ×ｎ）のユニタリ行列である。
【００５６】
【数１４】

$$X_k^T$$

または
【数１５】

$$V_k^T$$

における上付きインデックスＴは行列X_kまたはV_kの転置を示すものであり、Σ_kはその対角上に特異値（固有値の平方根）を備え、対角以外のすべての位置にゼロを備えた（ｍ×ｎ）の対角行列を示す。これらの特異値は必ずしも降順に配列されている訳ではなく、これらの特異値は、両方が対応するデータへの関連する固有ベクトルの相対的寄与率を示すものである。
【００５７】
U_kの各列はそれぞれ直交正規特異ベクトルである。すなわち、それらはソース信号１５の混合を示す空間ベクトルである。
【００５８】
【数１６】

$$V_k^T$$

の各行は、ソース信号１５の推定値である直交正規特異ベクトルであるが、一般にこれらの推定値はソース信号の完全に分離されたバージョンではない。なぜならば、完全に分離するためには、それらがさらに相対的な回転を必要とするからである。無相関化によってソース信号を完全に分離することはできない。なぜならば、この無相関化は分解されたベクトルを相互に直交化する、すなわち相互に無相関にする２次無相関化だからである。本発明の多くの応用例では、信号の空間特性（位置）は類似している。したがって、それらの空間特性を異なるものにする解決策は、信号の分離に成功しないはずである。
【００５９】
このような信号分離の失敗が図２に示されている。図２は、いわゆる「散布図」と呼ば

れるものである。この図では、４つのプロット（ａ）～（ｄ）の垂直軸には第１の信号がプロットされ、水平軸には第２の信号がプロットされている。プロット上のポイントは正方形と長方形によって示され、それぞれの時間（サンプル時間）における２つの信号の値を表す。プロット（ａ）～（ｄ）は、混合および非混合の様々なステージの信号を示す。プロット（ａ）は２つのソース信号１５の散布図であり、これらのソース信号１５は（説明の都合上）ランダムな一様分布の信号と想定している。

【００６０】

プロット（ｂ）は、ソース信号の混合信号、すなわち混合後であるが非混合化処理前の２つの信号の散布図である。この図は、混合プロセスが伸張（ｓｔｒｅｔｃｈｉｎｇ）、せん断（ｓｈｅａｒｉｎｇ）、および回転の複雑な組合せに対応していることを示している。プロット（ｃ）は、プロット（ｂ）信号の無相関化および正規化によって得られた２つの信号の散布図である。信号のこのような無相関化および正規化は、統計用語で２次に限定された処理方法を適用することによって得られる。すなわち、この方法は伸張とせん断が除去された推定信号を提供する。しかし、プロット（ａ）と（ｃ）を比較すると、（ｃ）の推定信号が（ａ）に対して回転されていることがわかる。すなわち、２次の方法は回転を除去することはできない。したがって、推定信号は未知の回転行列によってソース信号１５と関連づけられており、プロット（ｃ）の推定信号を回転して適切な分離信号を得るためにはこの行列を求めることが必要になる。プロット（ｄ）は、プロット（ｃ）の２つの信号を回転することによって得られた２つの信号を示す。回転だけを生成する処理は、せん断または伸張を生成しない。したがって、２次の方法によって得られた結果を是正することはない。回転は、散布図（ｄ）の端部を座標軸（図示せず）に合わせるように選択される。正確な回転は、次に説明するより高次の統計を使用して決定される。ここで「高次」とは、２次よりも高い次数を意味する。

【００６１】

信号分離において、未知の回転行列の決定は統計的独立条件を満たすことができる。数学的には、ｍ本の信号x_1～x_mの統計的独立性は、信号の結合確率関数ｐ（x_1．．．x_m）を信号の結合確率関数ｐ（x_i）の積に因数分解する機能として表すことができる。すなわち、

【数１７】

$$p(x_1 \ldots\ldots x_m) = \prod_{i=1}^{m} p(x_i) \qquad (6)$$

【００６２】

この処理は高次統計量（ＨＯＳ）を使用する。未知で独立な信号を分離するためのＨＯＳの使用は、独立成分分析（ＩＣＡ、通常は２次およびより高次の統計量に関係している）と呼ばれることが多い。この処理が、本実施例における分離処理の第２のステージである。

【００６３】

式（５）から、非ゼロ特異値に関するデータだけを使用して、X_kは

【数１８】

$$\tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k \tilde{V}_k^T$$

と表すことができる。ただし、

【数１９】

$$\tilde{U}_k$$

はU_kの最初のｍ列からなる（ｍ×ｍ）の行列であり、

【数２０】

$$\tilde{V}_k^T$$

は

【数２１】

$$V_k^T$$

の最初のｍ行からなる（ｍ×ｎ）の行列である。また、

【数２２】

$$\tilde{\Sigma}_k$$

は、ｋ番目のウィンドウのデータ行列X_kの特異値を含む（ｍ×ｍ）の行列である。図２（ｃ）および（ｄ）から、

【数２３】

$$\tilde{V}_k^T$$

内の信号ベクトルは、回転によってソース信号１５に関連づけられている。したがって、（ｍ×ｍ）のユニタリ回転行列R_kを

【数２４】

$$\tilde{V}_k^T$$

に適用することによって、非混合化または分離されたソース信号１５の推定値が生成される。しかし、この適用は、Ｉを単位行列として、

【数２５】

$$R_k^T R_k = I$$

が成り立つような、大きさが等しく逆方向の（ｍ×ｍ）の逆回転行列

【数２６】

$$R_k^T$$

が同時に導入されない場合には、無相関化と正規化によって以前に得られた結果を許容できないほど変化させる。

【００６４】

【数２７】

$$R_k^T$$

を

【数２８】

$$\tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k$$

に掛けることによって、X_kに関する次式の表現が得られる。

【数２９】

$$X_k = \tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k R_k^T R_k \tilde{V}_k^T \qquad (7)$$

【００６５】

式（７）において、積

【数３０】

$$\tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k R_k^T$$

は混合行列A_kの推定値であり、積

【数３１】

$$R_k \tilde{V}_k^T$$

はそれぞれの推定信号である各行を含む行列である。

【００６６】

【数３２】

$$R_k \tilde{V}_k^T$$

の各推定信号は正規直交する、すなわち直交し、同一のパワーを有するように正規化されるが、相対パワーは推定混合行列A_kに格納される。この正規化の態様は、ブラインド信号分離処理に対する２次ステージのアプローチに固有のものである。

【００６７】

R_kは、ペアごとの回転の繰り返しシーケンスを用いて計算される（このことについては後述する）。各回転は、対応するペアごとのコスト関数によって評価されたときに、（

【数３３】

$$\tilde{V}_k^T$$

から取り出された）信号のそれぞれのペアの統計的独立性を最大にするように設計される。この最大化のプロセスにおいて、ＢＬＩＳＳおよびＪＡＤＥアルゴリズムは高次統計ステージのための４次統計量を使用する。本実施形態では、ＢＬＩＳＳ高次統計ステージを使用する。

【００６８】

各ウィンドウに関して、主要な目的は式（７）に含まれるパラメータを計算することである。各ウィンドウが、従来技術のように個別に処理される場合は、各ウィンドウに対する結果は個別に決定されることになる。すなわち、ｋ個のウィンドウを使用する場合の計算コストは、単一のウィンドウの計算コストのｋ倍になる。このコストは、ウィンドウの数が大きい場合、例えばウィンドウの数が＞２０で、ウィンドウあたりの各信号が２，５００サンプルを有しているような場合には非現実的なものになる。しかし、前述のように、各ウィンドウで得られた結果を後続のウィンドウの分離処理の初期化で使用することによって、必要な処理を削減できることが知られている。この初期化により、データは所望の結果により近い中間形式に変換され、処理が削減される。初期化により、分離された信号により近い信号がもたらされ、信号統計量の完全な計算が不要になる。この方法を可能にするために、混合行列A_kが定常的である必要はないが、本発明の目的のためには、時間とともに比較的ゆっくりと変化する必要はある。

【００６９】

ＢＳＳ問題について論じてきたが、次にA_kを用いて信号を初期化することが実現可能

でないことを示すことができる。例えば、インデックスｋの代わりに（ｋ＋１）を代入し、ｋ番目のウィンドウの混合行列A_kの推定値の逆行列である

【数３４】

$$\left(\tilde{U}_k\tilde{\Sigma}_kR_k^T\right)^{-1}$$

を両辺に乗じ、行列の逆行列を転置行列で置き換えることによって式（７）を書き直すと、次式が得られる。

【数３５】

$$\left(\tilde{U}_k\tilde{\Sigma}_kR_k^T\right)^{-1}X_{k+1}=\left(R_k\tilde{\Sigma}_k^{-1}\tilde{U}_k^T\right)X_{k+1}=\left(R_k\tilde{\Sigma}_k^{-1}\tilde{U}_k^T\right)\left(\tilde{U}_{k+1}\tilde{\Sigma}_{k+1}R_{k+1}^TR_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^T\right) \quad (8)$$

【００７０】

式（８）において、

【数３６】

$$\left(\tilde{U}_{k+1}\tilde{\Sigma}_{k+1}R_{k+1}^TR_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^T\right)$$

は未知であり、データから推定する必要がある。

【００７１】

【数３７】

$$\tilde{U}_k$$

およびR_kはユニタリ行列であり、したがって

【数３８】

$$\tilde{U}_k^{-1}=\tilde{U}_{k1}^T,\ \tilde{U}_k^T\tilde{U}_k=I$$

および

【数３９】

$$\tilde{U}_k\tilde{U}_k^T=I$$

が成り立つ。ただし、Ｉは単位行列を表す。A_kがゆっくり変化する場合は、

【数４０】

$$\tilde{U}_k^T\tilde{U}_{k+1}\approx I,R_kR_{k+1}^T\approx I$$

および

【数４１】

$$\tilde{\Sigma}_k^{-1}\tilde{\Sigma}_{k+1}\approx I$$

が成り立つ。これら３つの近似式を用いると次式が得られる。

【数４２】

$$\left(\tilde{U}_k\tilde{\Sigma}_kR_k^T\right)^{-1}X_{k+1}\approx R_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^T \quad (9)$$

【００７２】
近似式（９）の右辺において、積
【数４３】

$$R_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^{T}$$

は、それぞれが推定信号である行を含む行列である。これらの信号は初期化され、ほぼ正規直交化される。すなわち、ほぼ直交するとともに等しい信号パワーを有しており、無相関化法を用いた移動ウィンドウＩＣＡによって処理することができる。しかし、これらは式（５）の無相関化および正規化の方法を用いて得られ、この方法は信号パワーに基づいて正規化されていない信号同士を区別する。このような区別のために、式（５）の無相関化処理は一層困難なものになる。（以下で説明するように）データウィンドウ初期化処理が好ましい。この処理は、着信信号の直交性、すなわち（ｋ＋１）番目のデータウィンドウの直交性は初期化するが、それらの信号の正規化は行わない。
【００７３】
この実施例は、各々が個別の初期化処理を含む２つの別々のステージで実施される。すなわち、これらのステージの第１のステージでは、ｋ番目のウィンドウ行列
【数４４】

$$\tilde{U}_{k}$$

を信号に適用することによって各信号の直交性が初期化され、次いでそれらの直交性は、無相関化法を用いて、（ｋ＋１）番目のウィンドウのデータを反映するように更新される。これにより、信号は直交する。次に、第２のステージでは、ｋ番目のウィンドウの回転行列R_kをそれらに適用することによって信号の独立性が初期化され、次いで、高次の統計量を用いてそれらの独立性が更新される。これにより各信号は独立になる。
【００７４】
図３は、本実施例における信号分離の構成図である。この図はこの実施例を要約するものであり、この例を理論解析と関連づけるために、後で提供される各式が参照される。ｋ番目のデータウィンドウの処理により、行列
【数４５】

$$\tilde{U}_{k}$$

およびR_kの形の初期化情報がもたらされる。２１で、行列
【数４６】

$$\tilde{U}_{k}$$

が入力され、２２で、式（１６）を用いて直後の（ｋ＋１番目）のウィンドウ内のデータの直交性を初期化するために使用される。初期化されたデータは、２３で式（１８）を用いて小さな更新角度で無相関化される。この場合、「小さな」とは複数の可能性が使用可能であり、より小さなまたは最小の角度が選択されることを意味する。ステップ２３は「ヤコビ法」と呼ばれる技術を使用する。この技術は、Ａｄａｐｔｉｖｅ　Ｆｉｌｔｅｒ　Ｔｈｅｏｒｙ　（３ｒｄ　Ｅｄｉｔｉｏｎ）、Ｓ．Ｈａｙｋｉｎ、１９９６に記載されている。「更新」という表現が使用されるのは、この表現が、ステップ２３がステップ２２で得られた結果を調整し、したがってｋ番目のデータウィンドウに基づく部分的な信頼から、後続の（ｋ＋１）番目のデータウィンドウに基づくより完全な信頼に結果が更新されるという事実を反映するからである。ヤコビ法は、（ｋ＋１）番目のウィンドウのデータ行列X_{k+1}の共分散行列を対角化することを含む。共分散行列は対称行列である。ステ

ップ２２と２３は一体で統計用語で言う２次ステージの処理を形成し、直交正規（直交し正規化された）信号を生成する。

【００７５】

行列R_kは２４で入力され、２５で直交正規信号に適用され、式（２６）を用いてそれらの信号を初期化する。次に、初期化された直交正規信号は、２７で回転により分離される。この回転による分離は、高次統計量と式（２９）を用いて小さな角度更新でＩＣＡによって実施される。ここでもやはり、「小さな」は複数の可能な更新角度が使用可能であり、より小さい／最小の角度が選択されることを意味する。ステップ２５および２７は一体で、統計用語で言う高次ステージ処理となり、出力２８で分離信号を生成する。

【００７６】

多くの無相関化ルーチンにおいて、各信号はペアごとの回転の繰り返しシーケンスを用いて直交化される。これらの回転はそれぞれ、対応するペアごとの（２次）コスト関数によって評価されたときに、所与の信号ペアの直交性を最大にするように設計される。ヤコビ法では、このことは、上記のＨａｙｋｉｎの参考文献に記載されたＧｉｖｅｎの回転を用いて、対称行列を対角形に変換することによって達成することができる。例えば、２信号の場合には、ヤコビ法を使用する目的は、（ｎ×１）ベクトルとして表された２つの信号x_1およびx_2の（２×２）に関する共分散行列X_{12}を対角化することである。この行列はＨａｙｋｉｎにより次式で与えられる。

【数４７】

$$X_{12}=\begin{bmatrix} X_1^T X_1 & X_1^T X_2 \\ X_2^T X_1 & X_2^T X_2 \end{bmatrix} \qquad (10)$$

【００７７】

この対角化は、式（１０）の共分散行列を回転行列Ｑを用いて回転させ、（２×２）の行列Ｂを繰り返し形成してＢの非対角要素をゼロにすることによって実施される。すなわち、

【数４８】

$$B=\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}=Q^T\begin{bmatrix} X_1^T X_1 & X_1^T X_2 \\ X_2^T X_1 & X_2^T X_2 \end{bmatrix}Q=\begin{bmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_1^T X_1 & X_1^T X_2 \\ X_2^T X_1 & X_2^T X_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ -\sin\Theta & \cos\Theta \end{bmatrix} \qquad (11)$$

【００７８】

Ｇｉｖｅｎの回転の各繰り返しにおいて、回転行列Ｑは対称行列X_{12}の非対角要素を最小にするように決定される。行列X_{12}が完全に対角になったとき、すなわち、そのすべての非対角行列要素がゼロになったとき、その行列が表す信号は互いに直交したことになる。このことは、式（１１）で単にb_{12}をゼロに設定し、これを満たすΘの値を決定することによって達成される。Ｂは対称行列である。したがって、$b_{12}=b_{21}$であり、Θを$b_{12}=0$となるように決定することだけが必要である。b_{12}およびb_{21}をゼロに等しくすることによって信号x_1およびx_2を直交させることになり、したがってＢは対角行列になる。したがって、Ｂの対角化はベクトルを直交させるための必要条件になり得る。

【００７９】

式（７）を用いると、X_kの共分散行列

【数４９】

$$X_k X_k^T$$

が形成される。すなわち、
【数５０】

$$X_k X_k^T = \left(\tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k R_k^T R_k \tilde{V}_k^T\right)\tilde{V}_k R_k^T R_k \tilde{\Sigma}_k^T \tilde{U}_k^T \qquad (12)$$

【００８０】
R_k がユニタリ行列であり、
【数５１】

$$\tilde{V}_k$$

の各行に含まれる信号の推定値が互いに直交するので
【数５２】

$$\tilde{V}_k^T \tilde{V}_k = R_k^T R_k = I \qquad (13)$$

が成り立つ。
【００８１】
したがって、
【数５３】

$$X_k X_k^T = \tilde{U}_k \tilde{\Sigma}_k \tilde{\Sigma}_k^T \tilde{U}_k^T = \tilde{U}_k \tilde{\alpha}_k \tilde{U}_k^T \qquad (14)$$

となる。上式で、
【数５４】

$$\tilde{\alpha}_k$$

は（ｍ×ｍ）の対角行列であり、その対角要素は X_k の固有値である。
【００８２】
（ｋ＋１）番目のウィンドウについて、式（１４）のｋを（ｋ＋１）と書き直すと、共分散行列
【数５５】

$$X_{k+1} X_{k+1}^T$$

は、次式で表される。
【数５６】

$$X_{k+1} X_{k+1}^T = \tilde{U}_{k+1} \tilde{\alpha}_{k+1} \tilde{U}_{k+1}^T \qquad (15)$$

【００８３】
新たに無相関性を計算することを避けるために、共分散行列
【数５７】

$$\tilde{U}_{k+1} \tilde{\alpha}_{k+1} \tilde{U}_{k+1}^T$$

は、直前のまたはｋ番目のウィンドウのために得られた

【数５８】

$$\tilde{U}_k^T$$

を前から掛け、

【数５９】

$$\tilde{U}_k$$

を後から掛けることによって初期化される。すなわち、

【数６０】

$$\tilde{U}_k^T\left(X_{k+1}X_{k+1}^T\right)\tilde{U}_k = \tilde{U}_k^T\left(\tilde{U}_{k+1}\tilde{\alpha}_{k+1}\tilde{U}_{k+1}^T\right)\tilde{U}_k \qquad (16)$$

【００８４】

式（１６）は、ｋ番目のデータウィンドウで得られた結果を用いて

【数６１】

$$\tilde{U}_k$$

が、データ行列X_{k+1}の共分散行列

【数６２】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

内の情報または信号またはベクトルの直交性を初期化することを表す。共分散行列

【数６３】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

で表された信号は、明示的にはデータ行列X_{k+1}の信号ではないが、データ行列X_{k+1}の信号から導かれたものである。したがって、本明細書で使用される「データウィンドウに関連する信号」という表現および類似の表現は、データ行列X_{k+1}の信号またはそれらから導かれた信号、例えば共分散行列

【数６４】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

の信号などを意味する。

【００８５】

共分散行列

【数６５】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

は、データ行列X_{k+1}の統計量の２次尺度である。その初期化は図３の２２であり、初期化によってその行列が含むベクトルの直交性が高まる。初期化によって、式（１６）の左辺の行列

【数６６】

$$\tilde{U}_k^T\left(X_{k+1}X_{k+1}^T\right)\tilde{U}_k$$

も対角に近づく。すなわち、その行列の非対角要素が小さくなる。共分散行列

【数６７】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

を初期化する代わりに、別法として

【数６８】

$$\tilde{U}_k$$

を使用して、データ行列X_{k+1}それ自体の情報または信号またはベクトルの直交性を初期化し、その結果から初期化された共分散行列を形成することもできる。

【００８６】

前述のように、対角化された共分散行列は、その行列によって表される共分散を有するベクトルに直交性を与えるための条件である。

【００８７】

２２での初期化の後に、以下で述べるように（ｋ＋１）番目のデータウィンドウからの情報を使用してもたらされた直交性がさらに高められる。

【００８８】

次に、ゆっくりと変化するシステムでは、

【数６９】

$$\tilde{U}_k^T\tilde{U}_{k+1}\approx I$$

および

【数７０】

$$\tilde{U}_{k+1}^T\tilde{U}_k\approx I$$

が成り立ち、したがって式（１６）は、次式のように書き直すことができる。

【数７１】

$$\tilde{U}_k^T\left(\tilde{U}_{k+1}\tilde{\alpha}_{k+1}\tilde{U}_{k+1}^T\right)\tilde{U}_k\approx\tilde{\alpha}_{k+1}\qquad(17)$$

【００８９】

（ｍ×ｍ）の対称行列の場合、データの初期化がなければ、ヤコビ対角化法は、その行列

【数７２】

$$X_{k+1}X_{k+1}^T$$

の行として表されたすべての関連する信号の単一の更新からなる各スイープごとにm^3オーダの操作の繰り返しを必要とする。多数のスイープが必要となることもある。しかし、本発明に従って、２２で初期化され式（１６）および（１７）によって与えられた行列

【数７３】

$$\tilde{U}_k^T X_{k+1} X_{k+1}^T \tilde{U}_k$$

は、すでにほぼ対角行列に近づいている。したがって、ヤコビ対角化法は、ほんのわずかな繰り返しを必要とするだけで収束する。したがって、本発明に従って、変換を用いて（ｋ＋１）番目のウィンドウ、すなわち現在のウィンドウの信号の直交性を初期化することによって、計算コストが削減されることになる。

【００９０】

次のステップは、２３で、この例の場合はヤコビ法を使用して（ｋ＋１）番目のウィンドウの対角化を完成させることである。この方法は、直交性に関して初期化済みの行列

【数７４】

$$\left(\tilde{U}_k^T X_{k+1} X_{k+1}^T \tilde{U}_k\right)$$

にヤコビ法を適用したときに推定された固有ベクトルである行列

【数７５】

$$\tilde{U}_z^T$$

および

【数７６】

$$\tilde{U}_z$$

を使用する。

【００９１】

【数７７】

$$\tilde{U}_z^T$$

および

【数７８】

$$\tilde{U}_z$$

は、初期化された行列

【数７９】

$$\left(\tilde{U}_k^T X_{k+1} X_{k+1}^T \tilde{U}_k\right)$$

を対角化するための小さな回転を実施する回転行列である。すなわち、これらの回転行列は、この行列内の各ベクトルを次式のように更新することによって直交化させることになる。すなわち、

【数８０】

$$\tilde{U}_Z^T\left(\tilde{U}_k^T X_{k+1} X_{k+1}^T \tilde{U}_k\right)\tilde{U}_Z = \tilde{\alpha}_{k+1} \qquad (18)$$

【００９２】

式（１８）において、

【数８１】

$$\tilde{U}_Z$$

は、式（１６）において直交性が初期化された共分散行列のヤコビ対角化法を用いて計算される。この行列を対角化するためにはユニタリ行列が必要である。前と同様に、

【数８２】

$$Q^T\left(X_{k+1}X_{k+1}^T\right)Q$$

が対角になるような行列Ｑによって実施される回転の形の変換が求められる。ただし、

【数８３】

$$Q=\tilde{U}_k\tilde{U}_Z$$

である。この方法は、

【数８４】

$$\tilde{U}_k$$

がデータを初期化し、

【数８５】

$$\tilde{U}_z$$

が小さな更新に基づくものであるという事実を使用する。これらの行列は、どちらもがユニタリであり、それらの積もユニタリになるので、それらの積の形で使用することができる。（ｋ＋１）番目のウィンドウの固有ベクトルの推定値

【数８６】

$$\tilde{U}_{k+1}$$

は、次式で表される。

【数８７】

$$\tilde{U}_{k+1}=\tilde{U}_k\tilde{U}_z \qquad (19)$$

また、推定信号

【数８８】

$$\hat{V}_{k+1}^T$$

は式（２４）で定義される。これらはすべてステージ２２および２３で行われる。

【００９３】

高次ステージ２５／２７に関して、式（２４）から得られた信号は、R_kを用いて式（２６）で初期化される。これは、図３に示されたステージ２５で行われる。この処理は、式（２４）から得られた信号中の４次情報を初期化する。これらの信号をより完全に独立にする、または分離させるために、それらは式（２９）を使用して更新される。これはステージ２７で行われる。

【００９４】

式（５）で、ｋをｋ＋１に書き換えると次式となる。
【数８９】

$$X_{k+1} = \tilde{U}_{k+1}\tilde{\Sigma}_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^{T} \qquad (20)$$

【００９５】
式（２０）に前から
【数９０】

$$\tilde{U}_{k+1}^{T}$$

を掛けると次式が得られる。
【数９１】

$$\tilde{U}_{k+1}^{T}X_{k+1} = \tilde{U}_{k+1}^{T}\tilde{U}_{k+1}\tilde{\Sigma}_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^{T} = \tilde{\Sigma}_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^{T} \qquad (21)$$

【００９６】
式（２１）に前から
【数９２】

$$\tilde{\Sigma}_{k+1}^{-1}$$

を掛けると次式となる。
【数９３】

$$\tilde{\Sigma}_{k+1}^{-1}\tilde{U}_{k+1}^{T}X_{k+1} = \tilde{\Sigma}_{k+1}^{-1}\tilde{\Sigma}_{k+1}\tilde{V}_{k+1}^{T} = \tilde{V}_{k+1}^{T} \qquad (22)$$

上式で、
【数９４】

$$\tilde{\Sigma}_{k+1}$$

は、行列
【数９５】

$$\tilde{\alpha}_{k+1}$$

中に含まれる固有値の平方根である各要素を含む対角行列である。すなわち、
【数９６】

$$\tilde{\Sigma}_{k+1} = \sqrt{\tilde{\alpha}_{k+1}} \qquad (23)$$

（方法２０の高次統計ステージ２５／２７で使用される）行列
【数９７】

$$\tilde{V}_{k+1}^{T}$$

に含まれる直交正規信号ベクトルは、式（２３）を使用して式（２２）から

【数９８】

$$\tilde{\Sigma}_{k+1}$$

を消去することによって表すことができる。すなわち、

【数９９】

$$\tilde{V}_{k+1}^{T} = \tilde{\alpha}_{k+1}^{-1/2}\tilde{U}_{k+1}^{T}X_{k+1} \qquad (24)$$

【００９７】

ベクトルまたは信号

【数１００】

$$\tilde{V}_{k+1}^{T}$$

は、図３の２次ステージ２２／２３から出力された無相関化された信号である。前述のように、これらは、図２（ｃ）および２（ｄ）に関連して説明した未知の回転行列によって非混合化された信号（独立のソース信号に対応する）に関連づけられている。高次統計ステージ２５／２７はこの回転行列を推定するために使用される。繰り返し計算を削減するために、以前のウィンドウからの情報を使用して現在のウィンドウの分離処理を初期化する。

【００９８】

（ｋ＋１）番目のウィンドウに関して、各々が非ゼロ固有値とゼロ平均を有するｍ個の直交正規信号ベクトルが、ヤコビ無相関化ステージ２３から

【数１０１】

$$\tilde{V}_{k+1}^{T}$$

として求められる。次に、これらは、（ｍ×ｍ）のユニタリ回転行列

【数１０２】

$$R_{k+1}^{T}$$

と、ソース信号１５の非混合バージョンである信号推定値

【数１０３】

$$\hat{S}_{k+1}$$

の積として表される。

【００９９】

【数１０４】

$$\tilde{V}_{k+1}^{T} = R_{k+1}^{T}\hat{S}_{k+1} \qquad (25)$$

【０１００】

推定値

【数１０５】

$$\hat{S}_{k+1}$$

は、起こり得る信号スワッピングやスケールファクタを反映するために任意の並べ替えに

よって各ソース信号１５に関連づけられる。式（２５）の両辺に乗算するために、
【数１０６】

$$R_{k+1}^{T}$$

の転置かつ逆行列である回転行列R_{k+1}を推定する必要がある。すなわち、これにより式（２５）の右辺から
【数１０７】

$$R_{k+1}^{T}$$

が消去され、その結果必要な推定値
【数１０８】

$$\hat{S}_{k+1}$$

が復元される。混合行列がゆっくり変化する場合は、直前のまたはｋ番目のウィンドウからの情報を使用して次式が得られる。
【数１０９】

$$R_k \tilde{V}_{k+1}^{T} = R_k R_{k+1}^{T} \hat{S}_{k+1} \qquad (26)$$

【０１０１】
式（２６）は、ステップ２３から出力された無相関化された信号が、ｋ番目のデータウィンドウから得られたR_kを掛けることによって、２５でその独立性が初期化されることを表す。これにより、無相関化された信号中の４次情報が初期化される。信号の独立性を高め信号を分離するために、それらの信号は、ステップ２７で（ｋ＋１）番目のデータウィンドウに基づいて以下のように更新される。すなわち、ゆるやかな変化に対しては
【数１１０】

$$R_k R_{k+1}^{T} \approx I$$

となるので、次式が成り立つ。
【数１１１】

$$R_k \tilde{V}_{k+1}^{T} \approx \hat{S}_{k+1} \qquad (27)$$

【０１０２】
ＢＬＩＳＳなどのブロックベースアルゴリズムの高次統計ステージ２５／２７は、本発明に従って、式（２７）からの信号の初期化された行列
【数１１２】

$$R_k \tilde{V}_{k+1}^{T}$$

を使用して実施される。このステージは、行列
【数１１３】

$$R_k \tilde{V}_{k+1}^{T}$$

のすべての信号ペアに対する単一の更新である各スイープあたり、ほぼ以下の回数だけ操

作が繰り返される。
スイープあたりの操作回数　２０ｍ（ｍ－１）ｎ／２　（２８）
上式で、項ｍ（ｍ－１）／２はペアごとの操作の回数を示し、ｎは（ｋ＋１）番目のウィンドウにおける信号サンプルの数、または関連するデータ行列X_{k+1}の要素の数を表す。式（２７）で規定された信号はほぼ分離されているので、信号の分離への収束のためには、高次統計ステージ２５／２７におけるわずかな回数のスイープの繰り返しだけが必要になる。ＢＬＩＳＳ推定処理から得られた角度が小さくなったときに、分離が生じたものと判断される。本発明による初期化は、信号を非混合化するために必要な計算ステップの数を削減する。信号の独立性はステップ２５での更新によって高められる。また、元の信号ソースの非混合化または分離された推定値

【数１１４】

$$\hat{S}_{k+1}$$

は、次式で与えられる。
【数１１５】

$$\hat{S}_{k+1} = R_z\left(R_k \tilde{V}_{k+1}^T\right) \qquad (29)$$

上式で、R_zは小さな回転または更新を実施するユニタリ回転行列である。R_zは、高次ステージ２５／２７において、初期化されたベクトル
【数１１６】

$$\left(R_k \tilde{V}_{k+1}^T\right)$$

を用いて計算される。R_kと同様に、R_zはペアごとの回転の繰り返しシーケンスを用いて計算される。各ペアごとの回転は、
【数１１７】

$$\tilde{V}_{k+1}^T$$

から取り出されたそれぞれの信号ペアの統計的独立性を最大にするように設計される。また、独立性は対応するペアごとのコスト関数によって評価される。（ｋ＋１）番目のウィンドウのユニタリ回転行列R_{k+1}は、前述のように、無相関化によって得られた信号ベクトルを回転させる必要がある。このことは、R_kがデータを初期化し、R_zがR_kに対する小さな更新であるという事実を使用している。これらの行列はどちらもユニタリでありその積もユニタリになるので、これらを積として表すことができる。したがって、回転行列R_{k+1}は初期化行列と更新行列の積として表すことができる。すなわち、
$R_{k+1} = R_z R_k$　（３０）
【０１０３】
式（１９）～（３０）に関連して説明した初期化および更新の処理は、信号の分離に関する計算負荷を削減することができる。さらに、それらの処理を使用して信号スワップと呼ばれる良く知られた問題を回避することもできる。このことについては後で説明する。
【０１０４】
要約すると、式（１６）はデータ行列X_{k+1}内の情報（ベクトルまたは信号）の直交性に関する
【数１１８】

$$\tilde{U}_k$$

による初期化を表す。これは図３のステップ２２に対応する。信号をより完全に直交させるために、それらは式（１８）を用いてステップ２３で更新される。更新された固有ベクトル

【数１１９】

$$\left(\tilde{U}_{k+1}\right)$$

は式（１９）を用いて推定され、推定された信号

【数１２０】

$$\hat{V}_{k+1}^{T}$$

は式（２４）で定められる。高次ステージ２５／２７に関しては、２５で、式（２４）を用いて得られた信号が、R_kによって式（２６）を用いて初期化される。ステップ２５は、処理した信号中の４次情報を初期化する。これらの信号をより完全に独立化、または分離するために、ステップ２７で、式（２９）を用いてそれらの信号を更新して、現在の（ｋ＋１）番目のウィンドウをより完全に反映する。

【０１０５】

次に、信号スワップの問題に注目すると、この問題は胎児ＥＣＧ解析に関して図４に示されている。４秒／２，０００サンプルの長さで、８サンプル幅のデータウィンドウが使用される。すなわち、それぞれがウィンドウあたり２，０００サンプルからなる８つの信号が存在する。５０％のウィンドウオーバラップが使用される。すなわち、各ウィンドウの後半分が、直後のウィンドウの前半分になる。各ウィンドウは個別に処理され、センサ１４は、グランドおよび基準電極に加えて８個の信号電極からなる。この図は、時間対振幅の８本の信号トレース１～８（左側に表示）を示す。すなわち、これらのトレースは、各々が個別の分離された信号を表すことが意図されたものであるが、そうではなく、各々が複数の信号からの寄与を含んでいる。例えば、トレース３は、胎児ＥＣＧに対応するピーク周期性を有する第１の領域３０、母体ＥＣＧに対応するピーク周期性を有する第２の領域３２、および雑音からなる第３の領域３４を含む。

【０１０６】

信号スワップの現象は、２次ステージ２２／２３（式（１７）～（２２））および／または高次ステージ２５／２７で生じる可能性がある。この現象は、前述の初期化処理における、小さな回転更新を適用するだけで是正される。ここで、（前述のように）「小さな」は、複数の可能な回転が存在し、より小さい／最も小さいものが選択されることを意味する。以下の議論のために、ｘおよびｙはベクトルであり、その各々は、データウィンドウの全長に広がる、それぞれのセンサからの信号のすべてのサンプルを表す

【数１２１】

$$\tilde{V}_{k}^{T}$$

のそれぞれの行である。ｘとｙが２次ステージ２２／２３で初期化された後で、それらは互いにほぼ直交している。このことは図５に示されている。この図では、初期化されたベクトルｘおよびｙ（実線矢印）は、破線４０によって示された直交座標軸によって示されると同様に、ほぼ９０度離れている。

【０１０７】

ベクトルｘおよびｙをより正確に直交させるために、それらの間に相対回転角θが導入される。この回転は、前述の対称行列に関するヤコビ対角化などの無相関化法によって実施される。すでにほぼ直交している信号について、この方法によって２つの解、すなわちθ　０度およびθ　９０度が得られる。信号スワップを避けるためには、より小さな値であるθ　０を選択すべきである。各信号が実際に、互いにより小さな値のθだけ相対的に

回転させられる場合、これは次式によって与えられるＧｉｖｅｎｓの回転行列に相当する。すなわち、

【数１２２】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (31)$$

【０１０８】

θ　０のときは、１対の初期化された（ほぼ直交した）ベクトルｘおよびｙは次式を用いて更新することができる。

【数１２３】

$$\begin{bmatrix} x'^{T} \\ y'^{T} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^{T} \\ y^{T} \end{bmatrix} \qquad (32)$$

【０１０９】

この場合、更新された信号は同一の順序であり、信号スワップが避けられる。これは、θ　９０度の場合と対照的であり、θ　９０度の場合には、あるベクトルを他のベクトルに対して回転させるＧｉｖｅｎｓ回転行列は次式となる。

【数１２４】

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \qquad (33)$$

【０１１０】

式（３３）を用いて、１対の初期化されたベクトルｘおよびｙを更新すると次式が得られる。

【数１２５】

$$\begin{bmatrix} x'^{T} \\ y'^{T} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^{T} \\ y^{T} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x'^{T} \\ y'^{T} \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} -y^{T} \\ x^{T} \end{bmatrix} \qquad (34)$$

【０１１１】

この場合、更新された信号は、x^{T} と $-y^{T}$ の位置の入れ替わりによって示されるようにスワップされ、$-y^{T}$ の負号によって示されるように符号反転も生じる。

【０１１２】

したがって、ヤコビ無相関化法においては、解への収束を達成するために２つの角度の小さい方が選択される。したがって、２次ステージの初期化処理および小さい方の角度によるヤコビ更新を用いると、本発明により信号スワップが回避される。有効であるために、このアプローチは、考慮中のシステムがゆっくり変化すること、および結果としてθの値が小さくなることを利用している。

【０１１３】

信号スワップは高次統計量ステージでも起こり得る。なぜならば、やはり複数の選択できる解または回転角度が存在するからである。式（２７）を使用してデータにR_{k}を適用した後で、推定された信号ベクトルは、小さな回転によって対応するソース信号に関連づけられる。ＢＬＩＳＳまたは高次統計量ステージでは、４次統計量が使用されるので、ここでは信号分離を達成するために選択可能な４つの角度が存在する。このことは図６に示されている。この図は、デカルト座標軸５２に対して小さい角度で回転された２つのほぼ分離された信号の散布図５０を示す。これらの信号が適切に分離されている場合は、散布図５０の底辺および左辺である５４および５６は、それぞれの軸５２に揃うはずである。

このように信号がほぼ分離されているときは、散布図５０を４つの角度（θ　０，９０，１８０，または２７０度）のうちの任意の１つで回転させて、軸５２に揃えることができる。ここでもまた、本発明によれば、４つの角度のうちの最も小さい角度を選択することで信号スワップが避けられることが明らかになった。

【０１１４】

前述のように、ＢＬＩＳＳは４次統計量に基づいている。ＢＬＩＳＳの代わりに３次統計量に基づく技術を使用することも可能である。このことは、「Ａｎ　Ｉｍｐｒｏｖｅｄ　Ｃｕｍｕｌａｎｔ　Ｂａｓｅｄ　Ｍｅｔｈｏｄ　ｆｏｒ　Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ　Ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ　Ａｎａｌｙｓｉｓ」、Ｔ．ＢｌａｓｃｈｋｅおよびＬ．Ｗｉｓｋｏｔｔ、Ｐｒｏｃ．Ｉｎｔ．Ｃｏｎｆ．Ｏｎ　Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ　Ｎｅｕｒａｌ　Ｎｅｔｗｏｒｋｓ、ＩＣＡＮＮ’０２、２００２に記載されている。３次および４次統計量の組合せを使用することも可能である。

【０１１５】

上述のように、本発明は、図４に示され解析されたデータを用いる胎児ＥＣＧ解析に使用された。ただし、このデータは信号スワップを含んでいる。データウィンドウは、４秒／２，０００サンプルの長さ、８サンプル幅、ウィンドウオーバラップ５０％で使用された。すなわち、各ウィンドウの後半分は直後のウィンドウの前半分となっていた。センサ１４は、グランドおよび基準電極に加えて８つの信号電極から構成され、８つの信号を生成した。各ウィンドウは、式（１７）～（３０）によって示されるように処理された。結果は図７に示されている。この図は、時間対信号振幅の８本のトレース６１～６８（左側に表示）を示す。これらの信号は、明らかに良く分離された信号を表しているように見える。なぜならば、各トレースに対して信号特性が変化しないからである。例えば、トレース６１および６５はどちらも、胎児ＥＣＧに対応する約１４０ビート／分を示す。トレース６２、６７、および６８は、母体ＥＣＧに対応する約８７ビート／分を示す。雑音を含む低周波信号は、トレース６４上で良く分離されているように見える。また、雑音は６３および６６で分離されている。このことは、信号スワップを防止する本発明の機能を示している。例えば、複数の母体ＥＣＧ信号が存在している理由は、心臓が点信号源ではなく、同一の広がった信号源からの複数のＥＣＧ信号が存在する可能性があるからである。

【０１１６】

初期化および更新処理はまた、所望の信号だけに対象を絞り込むこともできる。この技術は、不要な信号を追跡することによって生じる不必要な計算を避けることができる。この技術は、関心のある信号（例えば、母体ＥＣＧや胎児ＥＣＧ）を取得ステージで分類することができるという事実を利用する。胎児ＥＣＧ解析では、この分類処理は、ユーザ（臨床医もしくは医者）の選択またはパターン分類技術によって実施することができる。ＥＣＧ信号のパターン認識方法については、Ｊ．ＰａｎおよびＷ．Ｊ．Ｔｏｍｐｋｉｎｓ、「Ａ　Ｒｅａｌ－Ｔｉｍｅ　ＱＲＳ　Ｄｅｔｅｃｔｉｏｎ　Ａｌｇｏｒｉｔｈｍ」、ＩＥＥＥ　Ｔｒａｎｓａｃｔｉｏｎｓ　ｏｎ　Ｂｉｏｍｅｄｉｃａｌ　Ｅｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ　３２（３）：２３０～２３６、１９８５に記載されている。

【０１１７】

所望の信号が識別された後で、この情報を使用してそれらの処理に集中または対象を絞り込むことができる。取得ステージ１６で関心のある信号を分類した後で、そのような対象の絞込みのない場合の本発明と比べると、対象を絞り込む技術は、信号分離ステージ１７での更新を所望の信号に制限することだけが異なる。

【０１１８】

図８は、所望の信号を絞り込んだ場合の信号分離８０の構成図である。７１で、直前の（ｋ番目の）データウィンドウからの行列

【数１２６】

$$\tilde{U}_k$$

からなる初期化情報が入力され、７２で

【数１２７】

$\tilde{U}_k$

が（ｋ＋１）番目のウィンドウ中のデータに適用されてその直交性が初期化される。次いで、後で詳述するように、７３で所望の信号に対象が絞り込まれ、７４で（他の信号を除く）それら所望の信号だけがヤコビ法を用いて小さい更新角度で無相関化される。ステップ７２～７４は一体で、統計用語で言う２次ステージの処理となり直交正規信号を生成する。次に、７５でｋ番目のウィンドウの回転行列R_kが入力され、７６で直交正規信号に適用されてその独立性が初期化される。次に、７７で再び所望の信号に対象が絞り込まれる。所望の信号は、７８でＩＣＡによって高次統計量を用いた小さな角度の更新で分離される。ステップ７６～７８は一体で、統計用語で言う高次ステージの処理となり、出力７９で分離された信号を生成する。

【０１１９】

図８の７３および７７での所望の信号の絞込みは、２次および高次ステージの両方に示されている。これは必須ではなく、両方の代わりに一方または他方を使用することができる。７７で高次ステージにおける所望の信号を絞り込むことによって、ほとんどの利点が得られる。この高次の対象を絞り込むアプローチは、２次情報を初期化し、式（１６）を用いてヤコビ法で更新し、次いで式（２７）を用いて高次データを初期化する処理を再度使用する。

【０１２０】

対象を絞り込む方法についてより詳細に説明する前に、高次ステージ７６～７８がペアごとの回転の繰り返しシーケンスを使用して実施できることを再度強調しておく。これらの各回転は、信号のペアを形成する２つの信号の統計的独立性を最大にするように設計される。また、統計的独立性は関連するペアごとのコスト関数によって評価される。ｍ本の信号v_1～v_mの場合は、${}^mC_2$またはｍ（ｍ－１）／２の信号ペアが存在する。７６でこれらの信号を初期化して、ゼロ平均の直交正規ベクトル

【数１２８】

v_1'

から

【数１２９】

v_m'

を形成した後で、ベクトルペアの総数は次のように表される。

【数１３０】

$$\begin{matrix} v_1'v_2' & v_1'v_3' & v_1'v_4' & \cdots & v_1'v_m' \\ & v_2'v_3' & v_2'v_4' & \cdots & v_2'v_m' \\ & & \ddots & & \vdots \\ & & & \ddots & \\ & & & & v_{m-1}'v_m' \end{matrix} \qquad (35)$$

（３５）の直交正規ベクトル

【数１３１】

v_1'

から
【数１３２】
v'_m

は、前述のように、直前のデータウィンドウを用いて得られた高次情報を使用して初期化されるものと想定されている。対象の絞込みが無ければ、繰り返しシーケンスにおいてこれらのペアのすべてを更新しなければならず、このことは、ｍ（ｍ－１）／２のペアを更新する必要があることを意味する。これに対して、対象を絞り込むアプローチでは、所望のベクトルを含むペアを更新することだけが必要である。これは以下のように可能である。
－　初期化および小さな更新処理により、各ベクトルは分離処理において、その順序を維持すること（各データウィンドウに対して、三角形の中のそれらの位置を変化させないこと）が可能になる。また、
－　信号取得ステージにおいて所望の信号（この例では、母体および胎児ＥＣＧ）を識別することによって、更新処理におけるこれらの信号をベクトル
【数１３３】
v'_1

および
【数１３４】
v'_2

で表すことができる。次に、
【数１３５】
v'_1

および
【数１３６】
v'_2

だけを、個別および一体で含むペアに対象を絞り込むことができる。
【０１２１】
【数１３７】
v'_1

および
【数１３８】
v'_2

を含むペアが対象であり、他に無ければ、（３５）の最初の２行だけを更新する必要がある。この更新は、全更新のｍ（ｍ－１）／２ペアに対して（ｍ－１）＋（ｍ－２）信号ペアだけを含む。この「対象を絞り込む」処理においては、母体および胎児信号だけが分離される。この例では必要がないので、他の信号の分離は実施されない。

【０１２２】
上述のように、この対象絞込みの方針は２次ステージ７２～７４にも適用することができる。取得ステージの後で、式（１１）などによって２次情報を初期化して初期化された共分散行列を生成することによって、この行列の所望の信号に対応する行は更新されるが、他の行は更新されないことになる。
【０１２３】
次に、図９を参照すると、双生児を妊娠している母親から得られたＥＣＧデータが示されている。これらのデータは、Ｗ５５０に記載されたような、グランドおよび基準電極に加えてそれぞれの信号チャネルに対する１６個の外部腹部信号電極を使用して得られたものである。ただし、信号分離は使用されていない。データは３０秒間にわたって取得されている。１６本の信号トレース９１～１０６（左側に表示）が存在し、そのほとんど（９２、９３、９５～１０６）で強い母体ＥＣＧ信号が、例えば１０７などの約０．８秒間隔（約７２ビート／分）のスパイクとして観測することができる。双生児からの胎児ＥＣＧ信号は、雑音により識別されない。
【０１２４】
図１０は、本発明の技術を用いて図９に示された信号を分離することによって得られた結果を示す。ただし、上述の対象の絞込みによる所望の信号の選択は実施されていない。これらの信号を処理するために、６秒／３０００サンプルの長さ、１６信号チャネルなので１６サンプル幅のデータウィンドウが使用された。各ウィンドウはそれぞれ、直前のウィンドウと６０％（３．６秒）オーバラップした。図は信号トレース１１１～１２６（左側に表示）を示し、トレース１１２と１２５が母体ＥＣＧである。トレース１１５と１１８は双生児の一方の胎児ＥＣＧ信号であり、トレース１２１と１２３は双生児の他方のＥＣＧ信号である。トレースは、信号が良く分離され連続であること、すなわち信号スワップが防止されていることを示している。
【０１２５】
本発明を適用して図１０に示された結果を生成することは、１６本の信号を追跡することによる計算負荷を伴う。取得ステージにおける特異値の使用などの信号検出手順を使用することもできた。特異値は、データ中の信号についてのパワーの指示を提供する。しかし、胎児ＥＣＧ信号は弱いことが多いので、この検出方法は正確ではない。それにもかかわらず、取得ステージで信号を分離する際に、（パターンマッチングを使用して）それらを識別することができる。したがって、本発明の方法は所望の信号に集中するように対象を絞り込むことができる。パターン認識技術を使用して、繰り返し波形を検出することができる。例えば、心拍信号には、心臓学でＱＲＳ部と呼ばれている独特の形状の主要部分が含まれる。母体ＥＣＧのＱＲＳは胎児信号のＱＲＳ部よりはるかに強く、より少ない繰り返しを示すはずである。
【０１２６】
図１１は、図１０に関して使用したのと同一のデータを使用して、それぞれの双生児からの胎児ＥＣＧ信号に、（高次ステージにおいてのみ）対象を絞り込む形の本発明の方法を適用した結果を示す。双生児のそれぞれからの信号である２つの信号１４０および１４２が示され、それらはやはり連続である。すなわち、信号スワップは生じていない。対象を絞り込む方法は、対象を絞らない方法と同一の取得ステージ１６を使用する。図１０の信号１１５と１２１は、検査によって異なる双生児の胎児ＥＣＧ信号と識別され、これらの信号は、対象を絞り込む形の本発明の方法を使用して追跡され、図１１に示された結果を提供する。対象を絞り込むアプローチでは、取得ステージにおける最初のブロックのデータを使用して、すべての使用可能な信号が処理され、分離される。したがって、それらの中から所望の信号を選択することができる。所望の信号は
－　ユーザによる検査、または
－　科学文献において広く使用可能な、多くのパターン認識技術のうちの１つ
のどちらによっても識別することができる。
【０１２７】

取得ステージの後で、所望の信号だけが処理されて完全に分離される。（３５）の信号の３角形で示されるように、分離された信号の順序が取得ステージで決められた後で、各信号は、所望の信号が３角形の上部の行を占めるように並べ替えることができる。すなわち、この例では図１０の信号１１５および１２１が第１および第２の信号になる。次いで、初期化および更新処理でこの順序が維持される。すなわち、更新処理においてこれらの信号の位置が知られているので、これらの信号に対象を絞り込むことができる。

【０１２８】

第２の実施例では、本発明の対象を絞り込む方法は、単生児の胎児ＥＣＧ記録、すなわち一人の胎児のＥＣＧに適用することができる。この記録は、１２の信号電極および関連するグランドと基準電極を使用し３分間継続される。図１２には、それぞれの電極に対応する１２の信号（ａ）～（ｌ）の３０秒間の記録が示されている。このデータセットの記録を処理するために、長さが６秒でウィンドウオーバラップがゼロ（すなわち、連続的なウィンドウ）のデータウィンドウが使用される。結果は、記録の第１の（０～１）分間、第２の（１～２）分間、および第３の（２～３）分間における、時間に対する３つのプロットとしてそれぞれ図１３に示されている。また、同一の信号は同一の参照名で示されている。各プロットは、それぞれ胎児および母体の信号に対応する、信号１５０および１５２を示す。これらの信号は連続である。すなわち、スワップしていない。

【０１２９】

信号スワップに対処する他の方法は、オーバラップウィンドウを使用することであり、結果として生じたオーバラップする推定信号の相互相関を使用することである。例えば、ウィンドウｋおよびｋ＋１の推定信号のオーバラップ部分が、ｆサンプル長さであるとし、それぞれ（ｍ×ｆ）の行列

【数１３９】

$$\hat{S}_{ok}$$

および

【数１４０】

$$\hat{S}_{ok+1}$$

で表されるものとする。これらの行列の各行は推定信号を含み、オーバラップ部分は類似の信号を含む。行列

【数１４１】

$$\hat{S}_{ok}$$

は

【数１４２】

$$\hat{S}_{ok+1}$$

に次式によって関連づけられる

【数１４３】

$$\hat{S}_{ok+1} \approx DP\hat{S}_{ok} \qquad (36)$$

上式で、Ｄは（ｍ×ｍ）の行列であり、その対角要素は１または－１（信号の反転を提供する場合）である。また、Ｐは（ｍ×ｍ）の置換行列（信号のスワップを提供するもの）である。このような状況は隣接ウィンドウ間で生じる。なぜならば、推定信号が異なる順

序で並べられる可能性があり、また反転が生じる可能性があるからである。推定信号のオーバラップ部分は、この相関行列がほぼ対角行列になるまで並べ替えられる。その場合には、信号は同じ順序になっているはずである。この技術については、Ｇ．Ｓｐｅｎｃｅ、「Ａ Ｊｏｉｎｔ Ｅｓｔｉｍａｔｉｏｎ Ａｐｐｒｏａｃｈ ｆｏｒ Ｐｅｒｉｏｄｉｃ Ｓｉｇｎａｌ Ａｎａｌｙｓｉｓ」、ＰｈＤ ｔｈｅｓｉｓ、Ｑｕｅｅｎ’ｓ Ｕｎｉｖｅｒｓｉｔｙ Ｂｅｌｆａｓｔ、Ｊｕｎｅ ２００３に記載されている。図１４ａ～ｂはこの技術を例示するものである。図１４ａでは、あるウィンドウからの８つの信号が直後のウィンドウからの８つの信号と相関している。ピーク１６０は、一方のウィンドウの信号番号８が他方のウィンドウの信号番号２に対応していることを示す。類似の所見が１６２など他のピークにも適用される。信号スワップは、２つのウィンドウからの相関する信号に同じ信号番号が対応づけられるように信号を再指定することによって修正される。それによって、図１４ｂに示された状況が生じる。図１４ｂは、信号の再指定を除けば図１４ａと同一である。この図で、相関する信号を示す１６４などのピークは対角だけに現れる。

【０１３０】

次に図１５を参照すると、胎児ＥＣＧの監視を実施するために適した一般的な電極装置が１７０によって示されている。この装置は、母親の皮膚表面に配置し、そこから発生した電圧信号を監視するのに適した、いくつかの腹部電極１７１ａ、１７１ｂ、１７１ｃ、Ｇ、およびＲを含む。ここで、Ｇはグランド電極、Ｒは基準電極、１７１ａ～１７１ｂは信号電極を示す。便宜上、１７１ａなど５つの電極だけが示されているが、分離すべき信号の数に対応して必要な数だけ使用することができる。電極１７１ａ等は、それぞれの保護リード１７２ａ～１７２ｅを介してリードボックス１７３に接続される。このリードボックスはやはりコンピュータ１７４に接続される。

【０１３１】

リードボックス１７３は、信号電極１７１ａ等からの信号を処理する回路を含み、１７３ａの差込図に示されている。回路は２つの信号電極１７１ａおよび１７１ｂ用に示されており、破線Ｄは他の信号電極用の類似の回路を示す。回路は、１７１ａ等の各信号電極ごとに、それぞれの低雑音差動増幅器１７５、ならびにどちらもがフィルタユニット１７６に組み込まれたアナログハイパスフィルタおよびアナログローパスアンチエイリアシング（ａｎｔｉ－ａｌｉａｓｉｎｇ）フィルタを含む。フィルタ１７６は、共通の多チャネルアナログ－デジタル変換器（ＡＤＣ）１７７に接続される。増幅器１７５は、基準電極Ｒからの信号をそれぞれの信号電極１７１ａ等からの信号から減算し、結果として得られた差動信号を増幅する。差動信号はＡＤＣ１７７によってデジタル信号に変換され、次いで、前述のように、信号を分離するためにコンピュータ１７４を用いて記録され処理される。

【０１３２】

次に、図１６および１７を参照すると、これらの図は、やはり生理学的な監視のためのものであるが、本発明の他の応用例のための信号およびそれぞれに分離された信号の記録を示すものである。この応用例は、心拍数や呼吸数を検出するための受動的な睡眠記録である。これは、ある人が（呼吸が不能になり心拍数が増大する）睡眠時無呼吸を患っているかどうかを判定する助けとなる。

【０１３３】

図１６の１２本の信号２０１～２１２（左側に表示）は、患者が寝ているマットレスの下に置かれた１２個のセンサを使用して２５０Ｈｚでサンプルされる。信号は、ベッド／マットレスを介してセンサによって受信された振動を示す。各々が４０００信号サンプル長（１６秒）の５０個のデータウィンドウが、ウィンドウオーバラップ８５％を用いて処理された。使用可能なすべての信号が処理された。すなわち、信号は対象が絞り込まれなかった。ウィンドウオーバラップが大きい理由は、本発明が、連続するウィンドウ間で状況がゆるやかに変化するという想定に基づいているからである。したがって、この想定を満たし、初期化処理をより正確なものにするためには、２つの連続するウィンドウの開始

点間の時間差は十分に短くしなければならない。この場合、この基準を満たすためには、データウィンドウのわずか１５％（２．４秒）の時間差になる。状況が許せば、非オーバラップの連続ウィンドウを使用するのが好ましい。なぜならば、必要なデータウィンドウの数がより少なくなり、処理時間が最小になるからである。

【０１３４】

図１７には、１２本の分離された信号２２１～２３２（左側に表示）が示されている。これらの信号のうち２２１、２２４、および２２５は、約０．８３秒の周期性を持つ推定された心臓信号である。信号２２６および２２８は、約４．４秒の周期性を持つ呼吸に対応する推定された信号である。

【０１３５】

初期化および更新処理なしで、上述の並べ替え技術を使用して信号スワップの問題を修正するための信号分離を実施することを想定することは、原理的には可能である。しかし、これには欠点がある。このことは、計算上有効な対象絞込みアプローチを使用する本発明の機能が使用できないことになる。さらに、相互相関技術において信頼できる推定を提供するためには、大きなウィンドウオーバラップを使用しなければならないことになるはずである。このことは、データを処理するために、より多くのウィンドウが必要になることを意味する。例えば、５０％ウィンドウオーバラップでは、１度の処理（すなわち、オーバラップなし）に対してデータは２度処理される（２倍の長さを取る）ことになる。このことは、センサ１４による混合された信号の検出と、非混合信号の生成との間の時間が長くなるので不利になる。胎児ＥＣＧの場合は、特にこのことが重要になる。なぜならば、心拍異常が検出された場合には臨床医の迅速な介入が必要になることがあり、処理時間が長くなりすぎると、遅すぎて胎児を救うことができなくなる可能性があるからである。

【０１３６】

本発明の前述の例は、複素値データにも適用することができる。２次および高次ステージを初期化し、小さな更新を使用する原理は不変であるが、２次ステージ（ヤコビ法）および高次（ＩＣＡ）ステージの複素値バージョンが必要になる。複素値データに対するＩＣＡの使用については十分に研究されており、この問題に対する多くの無相関化およびＩＣＡ技術が開発されてきた。複素値ヤコビ法に関する詳細については、Ｓ．Ｈａｙｋｉｎ、「Ａｄａｐｔｉｖｅ ｆｉｌｔｅｒ ｔｈｅｏｒｙ，ｓｅｃｏｎｄ ｅｄｉｔｉｏｎ」、Ｐｒｅｎｔｉｃｅ Ｈａｌｌ、ＩＳＢＮ ０－１３－０１３２３６－５、１９９１を参照されたい。

【０１３７】

さらに、複素値ＩＣＡ法についてのより詳細な情報は、以下に記載されている。

Ｐ．Ｃｏｍｏｎ、「Ｉｎｄｅｐｅｎｄｅｎｔ ｃｏｍｐｏｎｅｎｔ ａｎａｌｙｓｉｓ，Ａ ｎｅｗ ｃｏｎｃｅｐｔ」、Ｓｉｇｎａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ ３６、ｐｐ．２８７～３１４、１９９４

Ｉ．Ｊ．Ｃｌａｒｋｅ、「Ｅｘｐｌｏｉｔｉｎｇ ｎｏｎ－Ｇａｕｓｓｉａｎｉｔｙ ｆｏｒ ｓｉｇｎａｌ ｓｅｐａｒａｔｉｏｎ」、ＭＩＬＣＯＭ ２０００．２１ｓｔ Ｃｅｎｔｕｒｙ Ｍｉｌｉｔａｒｙ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ Ｐｒｏｃｅｅｄｉｎｇｓ、Ｖｏｌｕｍｅ：２、２２～２５ Ｏｃｔ．２０００。

【０１３８】

上記３つの参考文献のうちの最後の文献で、Ｃｌａｒｋｅは、ＢＬＩＳＳの拡張バージョンが、複素信号の同相および直交成分を個別の実信号として取り扱うことによって複素信号に対処できることを示している。ヤコビ法およびＢＬＩＳＳのこの拡張されたバージョンを使用することにより、初期化された信号の小さな更新がやはり可能になる。これは、ヤコビ技術においてより小さな角度が選択されるからであり、高次ステージにおける初期化された信号の回転がやはり４次統計量を使用するからである。

【０１３９】

（ｋ＋１）番目のウィンドウにおける本発明の複素値バージョンの各式は、以下の４つのステージに要約することができる。上付きインデックスのＨは行列またはベクトルがエ

ルミートであることを表す。これらの各式は、実数の場合を表すためにも使用できる。

【０１４０】

１．２次ステージにおける初期化

【数１４４】

$$\tilde{U}_k^H\left(X_{k+1}X_{k+1}^H\right)\tilde{U}_k = \tilde{U}_k^H\left(\tilde{U}_{k+1}\tilde{\alpha}_{k+1}\tilde{U}_{k+1}^H\right)\tilde{U}_k \qquad (37)$$

２．複素値ヤコビ法を用いた更新

【数１４５】

$$\tilde{U}_z^H\left(\tilde{U}_k^H X_{k+1}X_{k+1}^H\tilde{U}_k\right)\tilde{U}_z = \tilde{\alpha}_{k+1} \qquad (38)$$

$$\tilde{U}_{k+1} = \tilde{U}_k\tilde{U}_z \qquad (39)$$

$$\tilde{V}_{k+1}^H = \tilde{\alpha}_{k+1}^{-1/2}\tilde{U}_{k+1}^H X_{k+1} \qquad (40)$$

３．高次ステージにおける初期化

【数１４６】

$$R_k\tilde{V}_{k+1}^H = R_kR_{k+1}^H S_{k+1} \qquad (41)$$

４．複素値ＩＣＡを用いた更新

【数１４７】

$$\hat{S}_{k+1} = R_z\left(R_k\tilde{V}_{k+1}^H\right) \qquad (42)$$

$$R_{k+1} = R_zR_k \qquad (43)$$

【０１４１】

式（３９）および（４０）はそれぞれ、更新された固有ベクトルおよび直交正規信号を表す。式（４２）および（４３）はそれぞれ、更新された独立信号および高次回転行列を表す。第４ステージの処理は、図３に関連して前述したように要約される。本発明の対象絞込み態様もまた複素値の場合に適用可能であり、この態様もやはり所望の信号を含む信号ペアだけを更新する。

【０１４２】

前述の説明で与えられた、中間量および結果を計算するための各式は、搬送媒体に収録され従来のコンピュータシステム上で動作する適切なコンピュータプログラムによって明確に評価することができる。このようなプログラムおよびシステムは、熟練したプログラマならば発明を必要とせずに容易に実装することができる。したがって、これ以上は説明しない。

【０１４３】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。センサからのデータを実時間で処理するとき、１回でデータ行列を更新するために１つまたは少数のデータスナップショットだけが使用可能なことがある。ここで「スナップショット」は、１組の同時データサンプル、すなわち各センサからの信号のそれぞれの単一のサンプル、すなわちデータ行列の行として定義される。このような場合、前述の移動データウィンドウアプローチは大量のウィンドウオーバラップを必要とする。すなわち、連続する処理ステージ間でウィンドウの位置は限られた量だけしか移動できないことになる。したがって、データをカバーするために多数のウィンドウが必要になることがある。このことにより、（所望の解に初期化され

ているとしても）、各ウィンドウごとにかなりの程度の、そして恐らくは大量の冗長データがウィンドウの統計量として再計算されることになる。本発明のスライディングウィンドウバージョン（前述の例）を対象とした、これに対処するための１つのアプローチは、全体の統計量から最も古いスナップショットの統計量を減算することである。次に、最新に追加されたスナップショットの統計量が計算され、全体の統計量と最も古いスナップショットの統計量の差に加算される。やはり、ＢＬＩＳＳアルゴリズムを実施するための２つの方法が存在する。一方のバージョンは、センサ信号またはデジタル化された等価量に直接作用し、他方は、それらの信号から得られた４階のテンソルに直接作用する。これらのバージョンからの結果のセットは等価になるはずであり、先の実施形態の移動ウィンドウアプローチのために使用することができる。

【０１４４】

冗長性の問題は繰り返し更新アプローチを使用することによっても回避することができる。このアプローチでは、信号分離は以前に計算された（再計算されない）古いデータの統計量と最新に追加されたデータから得られた新たに計算された統計量に関する重みづけられた尺度を用いて実施することができる。このアプローチは前述の移動ウィンドウアプローチと概念的に異なるものではない。このアプローチもやはり、初期化と小さな更新処理を使用し、やはり２次および高次統計ステージに適用される。しかし、矩形のウィンドウを用いた移動ウィンドウアプローチを使用する代わりに、指数関数的に減衰するウィンドウが使用される。これにより、本発明が、ウィンドウのオーバラップ領域を再計算する問題を回避しながら、最新の使用可能なデータスナップショットを繰り返し処理することが可能になる。その結果として、オーバラップウィンドウ部の統計量が再計算されないので、冗長性が最小になる。

【０１４５】

この実施形態では、繰り返し更新アプローチは２つの部分に分けられる。第１の部分は、先の実施形態と同様にデータの矩形のウィンドウを使用するものであり、取得ステージと呼ばれる。取得ステージでは、信号は前述のように分離される。取得ステージでは、データの１次、２次、および高次統計量が計算され、第２ステージで使用される。第２ステージでは、これらの統計量が繰り返し更新される（表２～４参照）。ｎ個のサンプルを用いる取得ステージにおいては、データは（ｍ×ｎ）のデータ行列$X_0 = [x_1 \quad x_2 \ldots x_m]^T$として定義される。ただし、行$x_1$～$x_m$はそれぞれ、それぞれのセンサの出力信号を表す。したがってX_0は、各々がｎ個の要素を含むｍ個のベクトルx_1～x_mによって表される。表１のX_0および他のパラメータの下付き指標０は、取得ステージのｔ＝０を表す。テンソルを形成する４次モーメントは以下の表１に示されている。これらのモーメントは、任意の種類の４つのベクトル、例えばテンソル要素M_{ijkl}が

【数１４８】

$$M_{ijkl} = E(y_i y_j y_k y_l) = \frac{1}{n}\sum_{\tau=1}^{n} y_i(\tau) y_j(\tau) y_k(\tau) y_l(\tau) \qquad (44)$$

で与えられるようなy_i、y_j、y_k、およびy_lの間の関係の尺度を示す。上式で、y_i（τ）はベクトルy_iのτ番目のサンプルを表す。また、τは整数の時間指標であり、連続するサンプル間の時間間隔T_sが乗算されるとサンプル時間を表す。

【表１】

取得ステージ	
データ行列X_0の信号サンプル$x_1(\tau)$等の平均ベクトルv_0を計算する	$\upsilon_0 = \frac{1}{n}\left[\sum_{\tau=1}^{n} x_1(\tau) \sum_{\tau=1}^{n} x_2(\tau) \cdots \sum_{\tau=1}^{n} x_m(\tau)\right]^T$ (45)
X_0の共分散行列χ_0を形成する	$\chi_0 = (1/n)X_0X_0^T$ (46)
X_0を無相関化し正規化する 再配置して$\tilde{V}_0^T$を得る $\tilde{V}_0^T$の各行は信号ベクトルv_i等である	$X_0 = \tilde{U}_0\tilde{\Sigma}_0\tilde{V}_0^T$ $\tilde{V}_0^T = \tilde{\Sigma}_0^{-1}\tilde{U}_0^T\tilde{X}_0$ v_i, v_j, v_k, v_l ただし$i,j,k,l=1\sim m$ (47)
v_i, v_j, v_k, v_lのモーメントである4階のテンソルM_0を形成する	$M_0=\text{moment}(v_i, v_j, v_k, v_l)$ $i,j,k,l=1\sim m$ $M_0 \in \Re^{m\times m\times m\times m}$ (48) この式はM_0が4階のテンソルであることを示す。ここで、$\in$は「その中に含まれること」を意味し、$\Re$は「実部」を意味する。また、$\Re$の4つのmの指数は4次元であることを示す

表１．取得ステージ：第１、第２、および第４次統計量の定義

【０１４６】

M_0の各要素M_{ijkl}は次式で定義される。

【数１４９】

$$M_{ijkl} = E(v_i v_j v_k v_l) = \frac{1}{n}\sum_{\tau=1}^{n} v_i(\tau)v_j(\tau)v_k(\tau)v_l(\tau) \quad (49)$$

上式で、$v_i(\tau)$はｉ番目の信号ベクトルv_iの時間τでのサンプルであり、τはサンプリング時間間隔の単位であり、ｎは、先に示したように、各ベクトルあたりのサンプル数である。

【０１４７】

表１の定義を用いると、この例の２次ステージまたは繰り返し更新ステージは、数学的に以下のように定義することができる。説明の便宜上、このステージは、重みづけによって減衰させられた以前のスナップショットの寄与を含む以前のデータウィンドウと各更新あたりの新しいデータからなる単一のスナップショットの加算とを含むデータを用いて各々が作成された、一連の更新として説明される。このことは、より古いデータほど漸次、より大きく減衰させられることを意味する。各スナップショットは指標番号ｔを有する。ただし、ｔはサンプル時間間隔の単位でｔ＝１～Ｔであり、最初のステージまたは取得ステージはｔ＝０で示される。しかしながら、本発明のこの実施形態は、各更新あたり単一のスナップショットに限定されるものではない。

【０１４８】

便宜上、ここでデータスナップショット（これまではｘ$_t$）をｄ$_t$と定義する。また、ここで２次統計量ステージから得られたスナップショットの無相関化され正規化された等価量（これまではｖ$_t$）をｚ$_t$と定義する。

【０１４９】

取得の後で、各スナップショットｄ$_t$ごとに、それぞれの平均ベクトルｖ$_t$が下表の式

（５０）を用いて繰り返し更新され、下表の式（５１）を用いてデータスナップショットから減算される。以下の表２～４において、繰り返し更新ステージの処理が定められる。各更新が複数のスナップショットを含む場合は、更新におけるすべてのスナップショットに関して平均が計算される。

【表２】

1次統計量		
以前の平均および現在のスナップショットから平均を計算する	$v_t=(1-p)v_{t-1}+pd_t$	(50)
現在のスナップショットから平均を減算する	$\tilde{d}_t = d_t - v_t$	(51)

表２．データの平均の繰り返し更新

【０１５０】

式（５０）および（５１）は、信号処理において「忘却係数」と呼ばれるｐおよび（１－ｐ）の使用による、指数関数的に減衰するデータのウィンドウから生成される１次統計量を提供する。ｐの値は０と１の間に存在する。したがって、ｐおよび（１－ｐ）は古いデータの影響を漸次減少させる。この例では、ｐの値は０と０．１の間に存在する可能性が高い。各更新ごとに（１－ｐ）およびｐが適用されるので指数関数的な減衰が生じる。したがって、スナップショット後の更新される回数が増えるほど、その影響が減衰する。例えば、ｕ回の更新の後で、ｗ番目の更新スナップショットは$p(1-p)^{u-w+1}$だけ減衰する。ただし、取得ステージウィンドウのスナップショットはｗの値に関しては無視される。忘却係数の値ｐは、取得データウィンドウの長さに関連させて設定することができる。それはまた、データの信頼を反映するように、適応させてｐを設定することができるという利点も提供する。例えば、データの雑音成分が減少しているか増加しているかに応じて、処理の間にｐの値を上方または下方に調整することができる。

【０１５１】

繰り返し更新ステージにおける処理手順の次の部分では、以下の表３の式（５２）～（５６）が使用される。この部分では、データ行列の共分散行列χ_tによって表される２次統計量は、式（５２）を使用して繰り返し更新される。ここで、時間ｔにおける共分散行列χ_tは、やはり指数関数的に減衰するウィンドウを提供するために、時間（ｔ－１）の共分散行列χ_{t-1}に（１－ｐ）を乗じたものと、新しいデータスナップショット

【数１５０】

$$\tilde{d}_t$$

の共分散行列

【数１５１】

$$\tilde{d}_t\tilde{d}_t^T$$

にｐを乗じたものとを加算することによって生成される。最初の更新に関して、ｔ－１＝０は関連する前の結果が表１に関連して説明した取得ステージからのものであることを示す。共分散行列χ_tは先の実施形態で説明したように（式（１６）参照）、

【数１５２】

$$U_{t-1}^T$$

を前から乗算し、U_{t-1}を後から乗算することによって、式（５３）によって初期化さ

れた直交成分を含む。ここで続いて、ｒモード積を示すためにｘｒ（ｒ＝１，２．．．）を使用する。ｒモード積とは、例えば２次の場合に$XX^T = U\lambda U^T = \lambda X_1 UX_2 U$を満たすものである。ただし、Ｕ、λ、Ｔに関しては、以前に定義済みである。したがって、表現$\lambda X_1 UX_2 U$は、行列Ｕがλの最初の次元に適用され、次いでλの第２の次元に適用されることを意味する。本実施形態の目的は、２次データ共分散行列を対角化することであり、この行列が全体のデータウィンドウを処理することによって生成されたものでははなく、式（５２）の繰り返し更新から生成された場合であっても、先の実施形態と同様にその行列を対角化することである。式（５４）で、行列

【数１５３】

$$U_{t-1}^T \chi_t U_{t-1}$$

は小さな更新を用いて対角化される。更新の結果は、式（５５）および（５６）で定義される。この実施形態では、各更新は単一のスナップショットを含むので、式（５６）は単一のスナップショットの２次推定値z_tを生成する。各更新が複数のスナップショットに関して実施される場合は、推定もまた複数のスナップショットに対して実施される。

【表３】

2次統計量	
2次統計量を更新する-指数関数的減衰ウィンドウを使用した統計量	$\chi_t = (1-\rho)\chi_{t-1} + \rho \tilde{d}_t \tilde{d}_t^T$ (52)
直交性を初期化する	$U_{t-1}^T \chi_t U_{t-1} = \chi_t \times_1 U_{t-1}^T \times_2 U_{t-1}^T$ (53)
無相関化のための小さな更新	$\lambda_t = (U_{t-1}^T \chi_t U_{t-1}) \times_1 U_z^T \times_2 U_z^T$ (54)
現在のデータスナップショットの固有ベクトルU_t	$U_t = U_{t-1} U_z$ (55)
スナップショットの2次推定値z_t	$z_t = \lambda_t^{-1/2} U_t^T \tilde{d}_t$ (56)

表３．２次統計量の繰り返し更新

【０１５２】

本実施形態の次の（高次統計量）部分は、以下の表４の式（５７）～（６２）を使用する。２次ステージの式（５６）によるスナップショットの現在の推定値が、高次ステージに送られる。このスナップショットの４次モーメントテンソルは式（５７）で形成され、繰り返し更新される。このテンソルは式（５９）のR_{t-1}の適用によりほぼ対角化されており、次いで小さな更新R_zを使用して式（６０）によってより完全に対角化される。この４次テンソルの対角化は、この例における信号分離の必要条件である。これらはやはり、ＢＬＩＳＳアルゴリズムを使用して計算することができる。回転行列は式（６１）を使用して決定される。また、（時間ｔにおける）信号の推定値は式（６２）によって与えられる。ここで繰り返し更新から４次統計量が生成されることを除けば、これらは先の実施形態と同じ種類の処理である。

【表４】

高次統計量	
ベクトルz_i等の4階テンソルを形成する 単一のスナップショットの更新：iiii要素 ξ_tのξ_{iiii}要素は次式のように定義される： $\xi_{iiii} = z_i^4$	$\xi_t=mom(z_i,z_j,z_k,z_l)$ i,j,k,l=1～m ただし、z_i～z_l：ベクトルz_tのi番目～l番目のサンプル、$\xi_t \in \Re^{m\times m\times m\times m}$ (57)
忘却係数pを用いて高次統計量を更新してデータの指数関数的減衰ウィンドウを提供する	$M_t=(1-p)M_{t-1}+p\xi_t$ (58)
テンソルκ_tの独立性を初期化する： この段階でκ_tはほぼ対角化される	$\kappa_t=M_t x1R_{t-1} x2R_{t-1} x3R_{t-1} x4R_{t-1}$ $K_t \in \Re^{m\times m\times m\times m}$ (59)
小さな更新を用いてκ_tを対角化する	$\kappa_t x1R_z x2R_z x3R_z x4R_z$ (60)
小さな更新に基づいて回転行列R_zを推定する	$R_t=R_z R_{t-1}$ (61)
信号スナップショットs_tの推定	$s_t=R_z(R_{t-1}z_t)$... (62)

表４．４次統計量の繰り返し更新

【０１５３】

実際には、各更新あたり複数のスナップショットを使用して繰り返し更新を実施することができる。その場合、この実施形態は、各更新あたりに存在するスナップショットと同数の推定信号スナップショットを生成する。

【０１５４】

この実施形態では、式（５０）、（５２）および（５８）は指数関数的に減衰するウインドウ、すなわち忘却係数を使用して処理を重みづけしたウィンドウを形成する信号から生成される統計量を表す。図１～１７に関連して説明した第１の例の移動ウィンドウアプローチに関しては、統計量は矩形のウィンドウから生成される。式（５１）、（５３）～（５６）、および（５９）～（６２）は、第１の実施形態と同じ処理である。高次ステージにおいてだけＢＬＩＳＳのテンソルバージョンが使用される。これにより、４次統計量を更新することが可能になる。

【０１５５】

臨床医による脳波図（ＥＥＧ）測定結果の解析は、例えば癲癇、脳腫瘍、脳損傷などの脳機能不全を診断するために十分に確立された技術である。しかし、実際には、この解析は非常に困難なものになり得る。その理由は、ＥＥＧ測定結果が、不要な電気的干渉（アーチファクト）により重大な影響を受けやすい微弱な電気信号を発生するからである。このような干渉は、眼球の移動および／またはまばたき（眼のアーチファクト）、患者の筋肉の動き、ならびに主電源による干渉などのソースから生じる。

【０１５６】

ＢＳＳアプローチを使用して不要な干渉を抑制することによって、ＥＥＧデータ中の関心のある信号を分離することができる。所望のＥＥＧ信号が反復的（「擬似連続的（ｐｓｅｕｄｏ－ｃｏｎｔｉｎｕｏｕｓ）」）であるときは、追跡ＢＢＳ法を使用してそれらを追跡することができるので、長期間の監視が可能になる。癲癇発作を繰り返す患者から臨床ＥＥＧデータを取得することができる。これらのデータは、反復的なＥＥＧ信号、すなわち時間に対するＥＥＧ電圧を発生する。これらのデータは、従来は、８つの頭皮電極を患者に貼り付け、ＥＥＧ装置を用いて電極電圧を監視することによって取得していた。Ｅ

ＥＧ信号は、干渉によって雑音が混入した繰り返しの癲癇発作信号から構成されていた。信号中の癲癇発作を推測することはできたが、干渉のために確実には識別することができなかった。例えば、８つの信号のいずれかの信号の極大を数えただけでは、発作の正確な回数は得られなかった。本発明の繰り返し追跡実施形態をＥＥＧ信号に適用して推定信号を提供することができる。５秒間にわたる取得ステージが使用され、各更新は２５６Ｈｚ、すなわち１２８データサンプルを生成するのに０．５秒のサンプルレートで、１２８のデータスナップショットからなるそれぞれのセットを使用して生成された。推定された信号には信号のスワップが存在せず、干渉よりも大きな振幅の容易に識別可能なスパイクによって示される繰り返しの癲癇発作が示されている。信号対干渉および雑音比はスパイクの高さの変化に応じて３～６の範囲となる。

【図面の簡単な説明】

【０１５７】

【図１】本発明の方法を示す概略構成図である。

【図２ａ】信号分離の各ステージを示す信号散布図である。

【図２ｂ】信号分離の各ステージを示す信号散布図である。

【図２ｃ】信号分離の各ステージを示す信号散布図である。

【図２ｄ】信号分離の各ステージを示す信号散布図である。

【図３】本発明の方法を示す構成図である。

【図４】胎児のＥＣＧ解析における信号スワッピングを示す図である。

【図５】本発明で使用される更新処理を示すベクトル図である。

【図６】２つのほぼ独立な信号の散布図である。

【図７】母体および胎児のＥＣＧデータを用いて本発明の信号分離を示す図である。

【図８】特定の信号に対象を絞り込むように構成された本発明の方法を示す構成図である。

【図９】双生児の妊婦の外部腹部電極を用いて得られた、信号分離前のＥＣＧデータを示す図である。

【図１０】本発明を用いて図９のデータから信号を分離して得られた結果を示す図である。

【図１１】図９のデータにおける双生児の胎児のＥＣＧ信号に対象を絞り込むように構成された本発明の方法を用いて得られた結果を示す図である。

【図１２】信号分離前の単生児の胎児ＥＣＧデータを示す図である。

【図１３】図１２のデータのＥＣＧ信号に対象を絞り込むように構成された本発明の方法を用いて得られた結果を示す図である。

【図１４ａ】信号スワッピングの修正の前後で相互相関された信号の擬似３次元プロットを示す図である。

【図１４ｂ】信号スワッピングの修正の前後で相互相関された信号の擬似３次元プロットを示す図である。

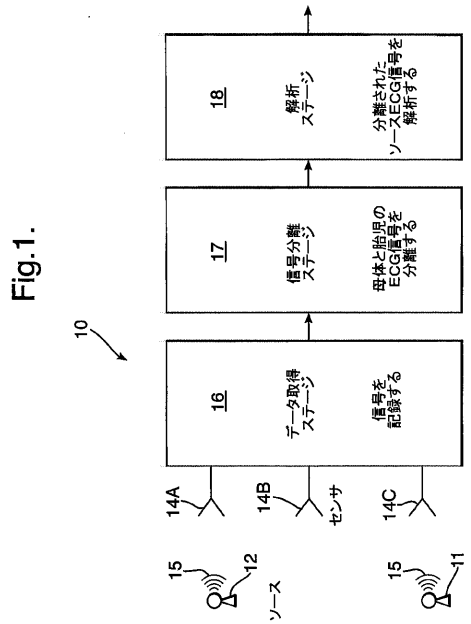
【図１５】胎児ＥＣＧ監視を実施するのに適した電極装置を概略的に示す図である。

【図１６】患者が横たわっているマットレスの下のセンサを用いて得られた、信号分離前の心拍／呼吸データを示す図である。

【図１７】本発明を使用して図１６のデータから信号を分離して得られた結果を示す図である。

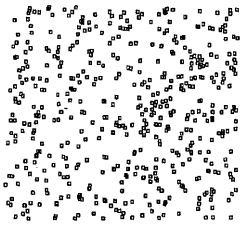
【図１】

Fig.1.



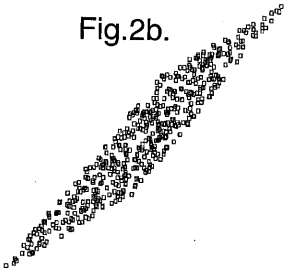
【図２ａ】

Fig.2a.



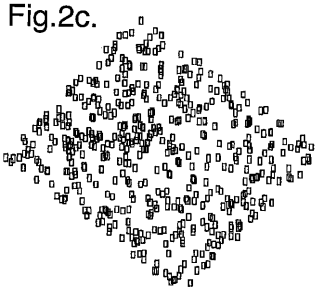
【図２ｂ】

Fig.2b.



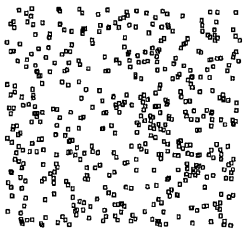
【図２ｃ】

Fig.2c.



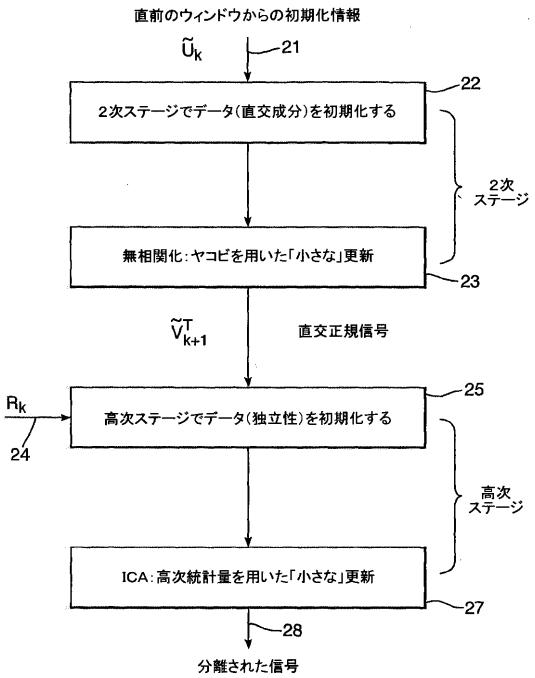
【図２ｄ】

Fig.2d.



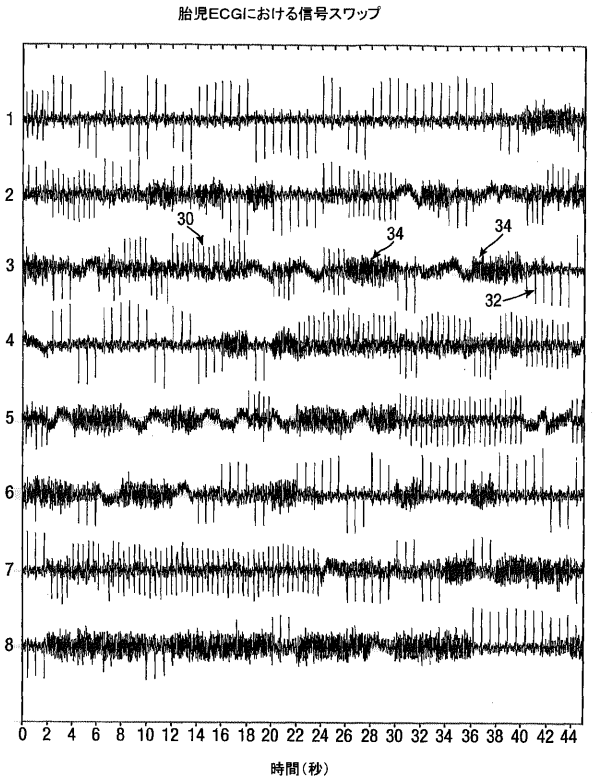
【図３】

Fig.3.



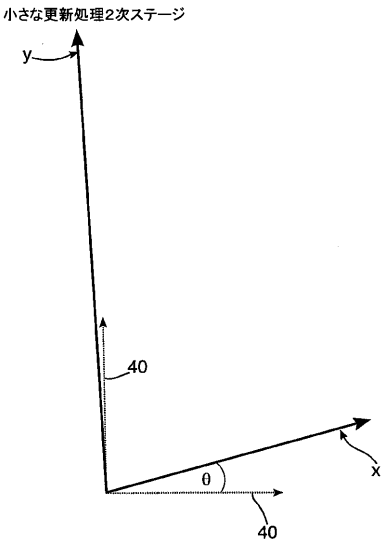
【図４】

Fig.4.



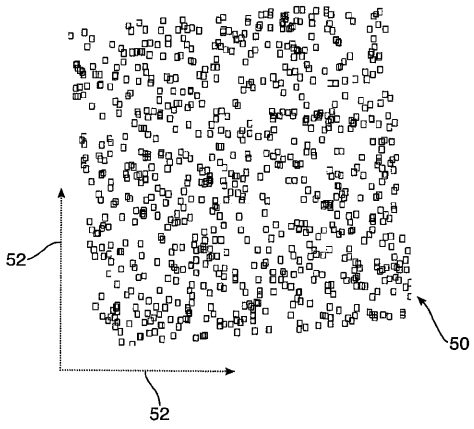
【図５】

Fig.5.



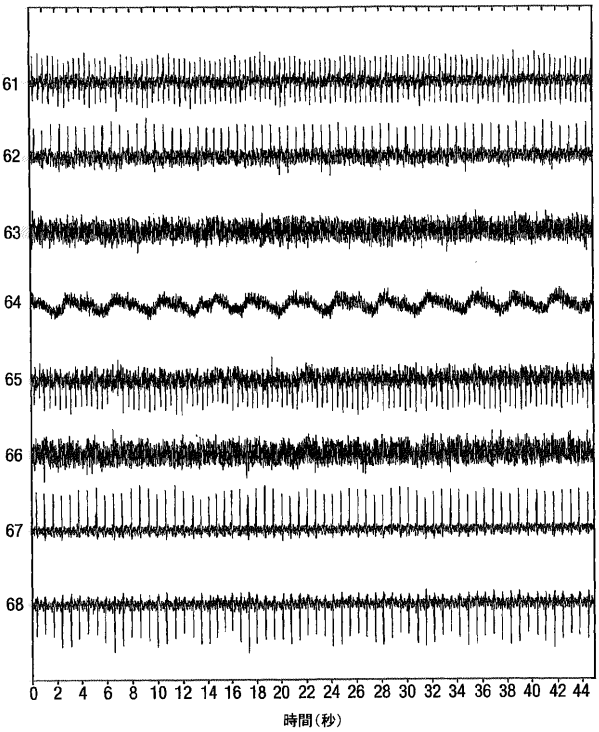
【図６】

Fig.6.



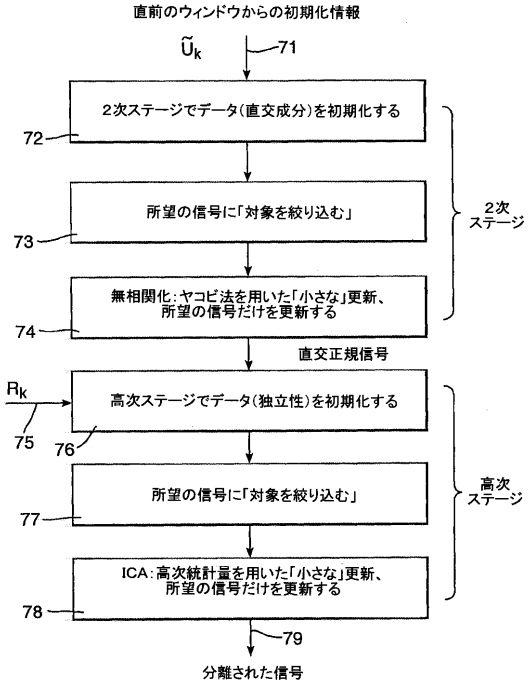
【図７】

Fig.7.



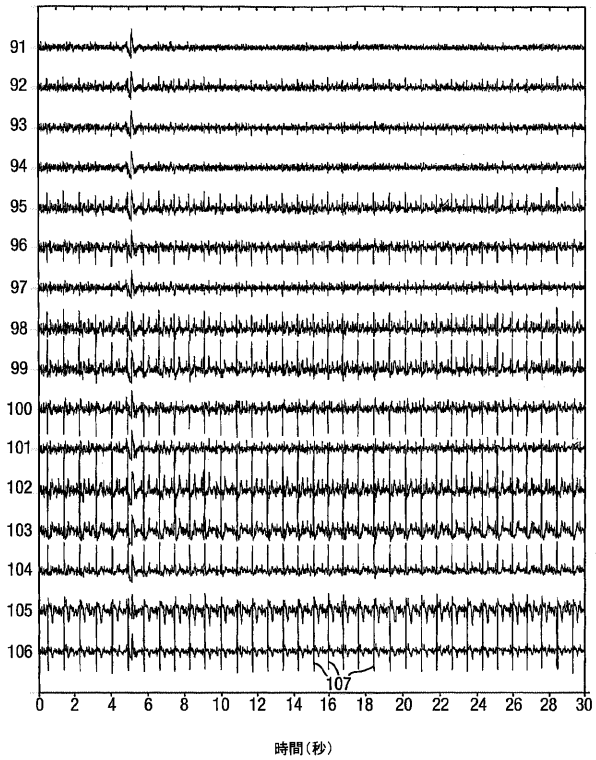
【図８】

Fig.8.



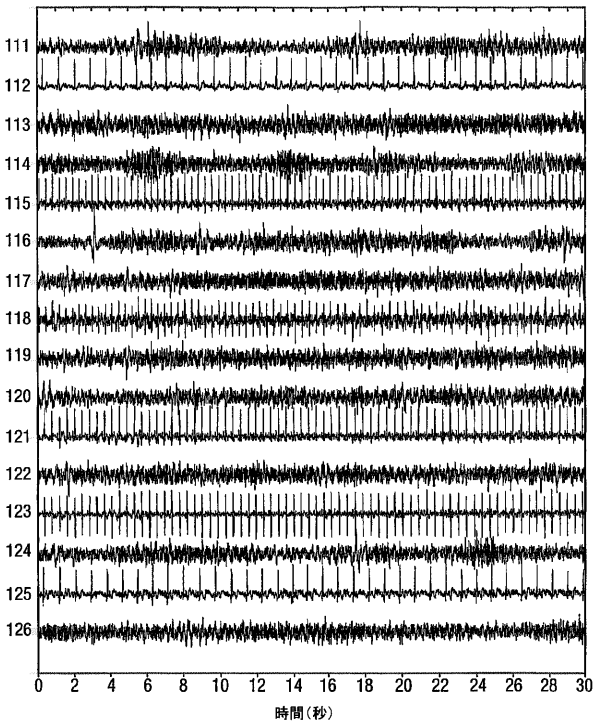
【図９】

Fig.9.



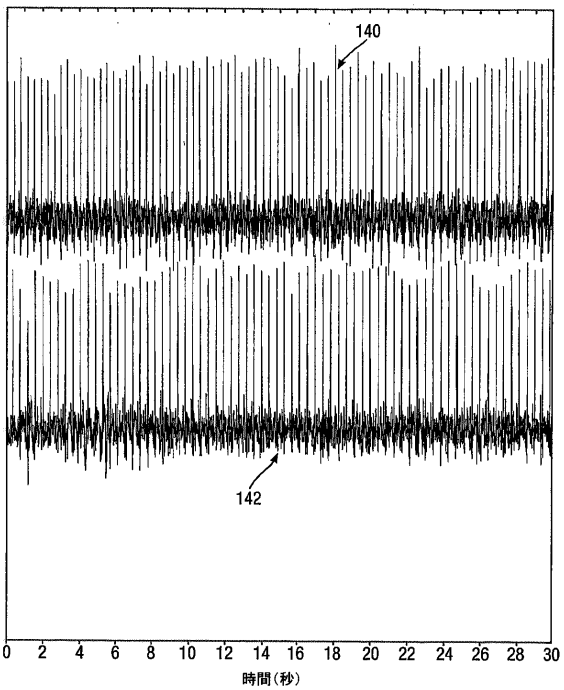
【図１０】

Fig.10.



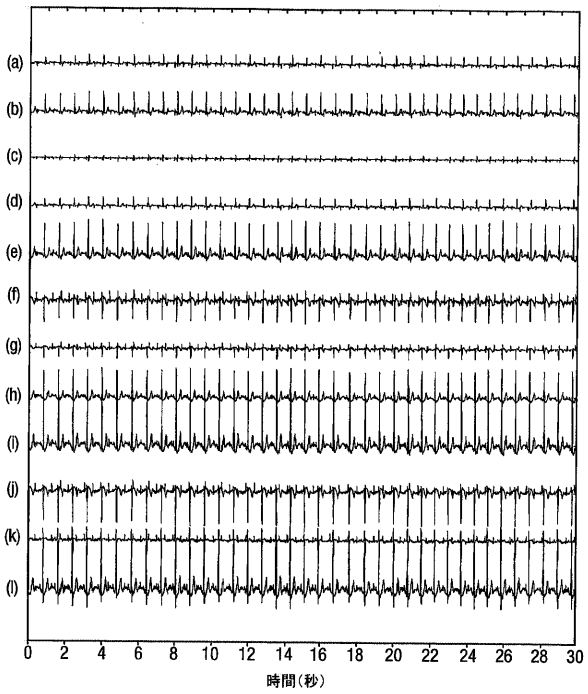
【図１１】

Fig.11.



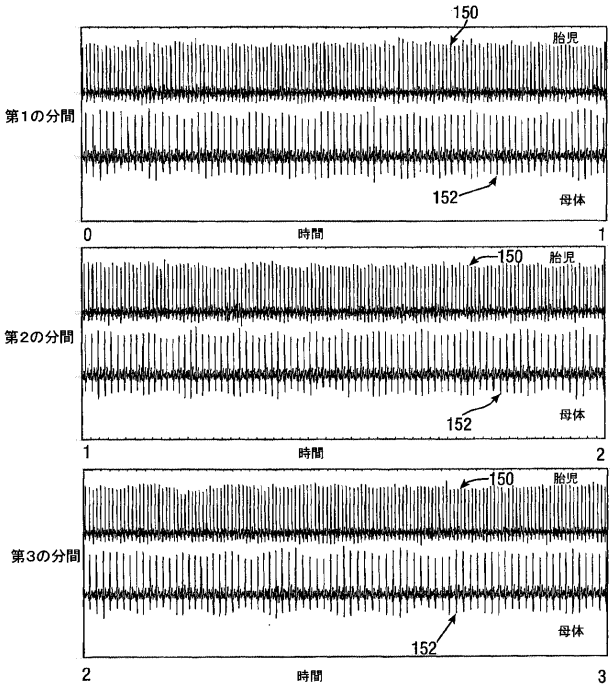
【図１２】

Fig.12.



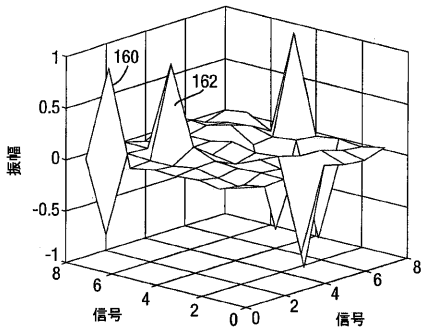
【図１３】

Fig.13.



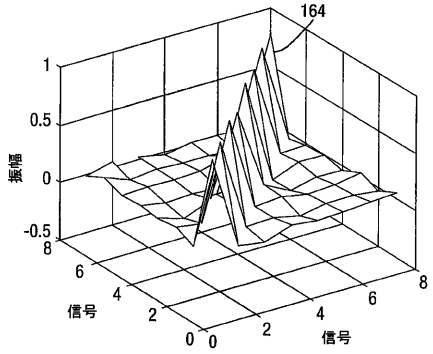
【図１４ａ】

Fig.14a.



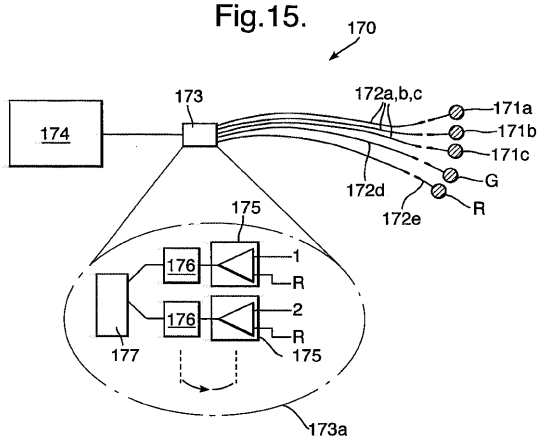
【図１４ｂ】

Fig.14b.



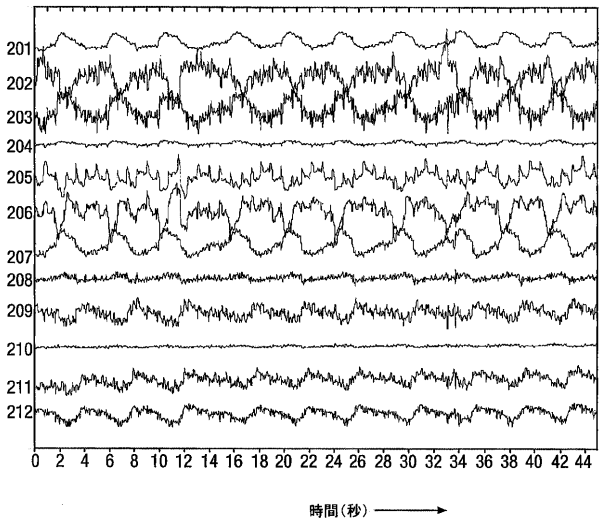
【図１５】

Fig.15.



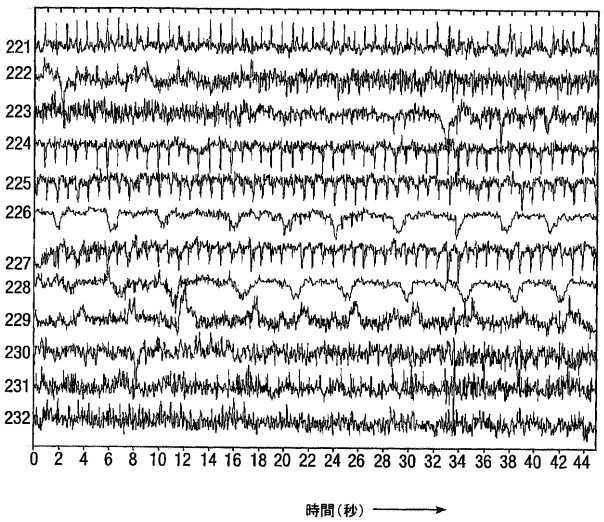
【図１６】

Fig.16.



【図１７】

Fig.17.



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/GB2004/004714

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G06K9/00

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)
G06K

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)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX, BIOSIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MARKOWITZ Z ET AL: "Blind de-mixing real-time algorithm of piecewise time series mixture" NEURAL NETWORKS, 1999. IJCNN '99. INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON WASHINGTON, DC, USA 10-16 JULY 1999, PISCATAWAY, NJ, USA,IEEE, US, vol. 2, 10 July 1999 (1999-07-10), pages 1033-1037, XP010372706 ISBN: 0-7803-5529-6 cited in the application P. 1034-1036, sections "II. Method" and "III. Result"figures 2-6 ----- -/--	1-6

[X] Further documents are listed in the continuation of box C. [ ] 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
4 November 2005	29/11/2005

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	Granger, B

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/GB2004/004714

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CARDOSO J-F ET AL: "EQUIVARIANT ADAPTIVE SOURCE SEPARATION" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 44, no. 12, December 1996 (1996-12), pages 3017-3030, XP000688521 ISSN: 1053-587X cited in the application P. 3019-3022, Sections "III. Serial Matrix Updating" & ""IV. Serial Updates for Orthogonal Contrasts"	1-6
A	A. CICHOCKI: "Adaptative Blind Signal and Image Processing" 2002, WILEY , XP002351650 page 274, column 277 page 291 - page 292	1-6
A	EVERSON R M ET AL: "PARTICLE FILTERS FOR NON-STATIONARY ICA" ADVANCES IN INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS, XX, XX, 2000, pages 23-41, XP008047977 cited in the application p. 28-33, Sections "2.4 Particle Filters", "2.5 Illustration of non-Stationary ICA"figures 2.2,2.3	1-6
A	JAFARI M G ET AL: "A COMBINED KALMAN FILTER AND NATURAL GRADIENT ALGORITHM APPROACH FOR BLIND SEPARATION OF BINARY DISTRIBUTED SOURCES IN TIME-VARYING CHANNELS" 2001 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. (ICASSP). SALT LAKE CITY, UT, MAY 7 - 11, 2001, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP), NEW YORK, NY : IEEE, US, vol. VOL. 5 OF 6, 7 May 2001 (2001-05-07), pages 2769-2772, XP008048013 ISBN: 0-7803-7041-4 cited in the application the whole document	1-6

-/--

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter nal Application No
PCT/GB2004/004714

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LATHAUWER DE L ET AL: "FETAL ELECTROCARDIOGRAM EXTRACTION BY BLIND SOURCE SUBSPACE SEPARATION" IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 47, no. 5, May 2000 (2000-05), pages 567-572, XP002234358 ISSN: 0018-9294 page 570, left-hand column, paragraph 1 - page 571, right-hand column, paragraph 1; figures 1-5	1-6

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/GB2004/004714

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: 8-33
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/GB2004 /004714

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Continuation of Box II.2

Claims Nos.: 8-33

1 The International Preliminary Examining Authority considers that claims 23-33 are so unclear that they fail to comply with the prescribed requirements to such a extent that a meaningful search could not be carried out under Article 17(2)(a)(ii) PCT.

1.1 These claims relate to a software. However they are not defined by the features of the software, but by the result to be achieved.

2 The International Searching Authority considers that claims 7-11, 18-22 are so unclear and so inadequately supported by the description that they fail to comply with the prescribed requirements to such a extent that a meaningful search could not be carried out. Therefore no international search report will be established for these claims under Article 17(2)(a)(ii) PCT.

2.1 Claims 7 and 18 do not make sense (it is the data which is a measure of the signals and not vice-versa; and if the signals are statistical measures, then they are already processed, and do not come from sensors, see desc. p. 10, 20 - p. 11, l. 8).

2.2 Claims 8 and 19 are undefined and unclear in that the term "snapshot" is not defined and that its awkward wording does not appear to make any sense nor to be supported by the disclosure of the claimed invention in the description (p. 38, l. 9 - p. 44, l. 7). This applies likewise to claims 9 to 11 and 20 to 22 as they are dependent on claim 8.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure. If the application proceeds into the regional phase before the EPO, the applicant is reminded that a search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guideline C-VI, 8.5), should the problems which led to the Article 17(2) declaration be overcome.

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IS,IT,LU,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,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,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,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,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100124855
弁理士 坪倉 道明
(72)発明者 スペンス, ジエフリー
イギリス国、ウスターシヤー・ダブリユ・アール・１４・３・ピー・エス、モールバーン、セント・アンドリユーズ・ロード、イー・ビルデイング・ルーム・５１０、モールバーン・テクノロジー・センター、キネテイツク・リミテツド
(72)発明者 クラーク, アイラ・ジエームズ
イギリス国、ウスターシヤー・ダブリユ・アール・１３・６・ピー・イー、モールバーン、リトル・クレーブロード、リトル・クレーブロード・フアーム
(72)発明者 マクホワイルター, ジヨン・グラハム
イギリス国、ウスターシヤー・ダブリユ・アール・１１・２・イー・テイ、モールバーン、セント・アンドリユーズ・ロード、モールバーン・テクノロジー・センター、キネテイツク・リミテツド

Ｆターム(参考) 4C027 AA02 BB01 CC01 CC02 KK03
5B056 AA00 BB31 BB61 BB64 BB71 BB81