

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月20日現在

機関番号： 55101
研究種目： 基盤研究 (C)
研究期間： 平成21年度 ~ 平成23年度
課題番号： 21500088
研究課題名 (和文)
擬似逆行列補題を用いた適応型ブラインド信号分離技術の開発とMIMO通信への応用
研究課題名 (英文)
Development of a Block-Based Adaptive Blind Deconvolution Algorithm Using the Matrix Pseudo-Inversion Lemma and Its Application to MIMO Systems
研究代表者
河野清尊 (KIYOTAKA KOHNO)
独立行政法人 国立高等専門学校機構 米子工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
研究者番号： 90225376

研究成果の概要 (和文)：

これまでの「ブラインド信号分離のための擬似逆行列補題とそれを用いた適応型超指数法」に関する理論的な研究成果をベースにして、

- ブロックベースへの拡張による適応型超指数法の高速化
- DSPリアルタイムシミュレータを用いたMIMO通信実験システムの構築
- 適応型超指数法のMIMO通信実験システムへの実装と評価および改良

を行った。特に、従来のブロック型の逆行列補題を行列が正則でない場合に拡張した擬似逆行列補題の一般解を証明し、その有効性を適応型超指数法の高速化で確認することができた。

研究成果の概要 (英文)：

The matrix inversion lemma gives an explicit formula of the inverse of a positive-definite matrix \mathbf{A} added to a block of dyads (represented as $\mathbf{B}\mathbf{B}^H$). It is well-known in the literature that this formula is very useful to develop a block-based recursive least-squares algorithm for the block-based recursive identification of linear systems or the design of adaptive filters. We extend this result to the case when the matrix \mathbf{A} is singular, and present a matrix pseudo-inversion lemma along with some illustrative examples. Based on this result, we propose a block-based adaptive multichannel super-exponential algorithm. We present simulation results for the performance of the block-based algorithm in order to show the usefulness of the matrix pseudo-inversion lemma.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	2,700,000	810,000	3,510,000
平成22年度	500,000	150,000	650,000
平成23年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学，計算機システム・ネットワーク

キーワード： モバイルネットワーク技術，ブラインド信号分離

1. 研究開始当初の背景

ブラインド信号分離 (Blind Source Separation/Blind Deconvolution) 技術は、図1に

示すように、複数の原信号が混合システム(無

線伝搬路)を通して時間的・空間的に混合して受信される状況において、原信号と混合システムが未知(すなわち、ブラインド)であるとき、受信された観測信号のみから信号成分を抽出して原信号を復元するデジタル信号処理技術であり、近年、移動通信、音声・音響信号処理や脳科学の分野で活発に研究されている。

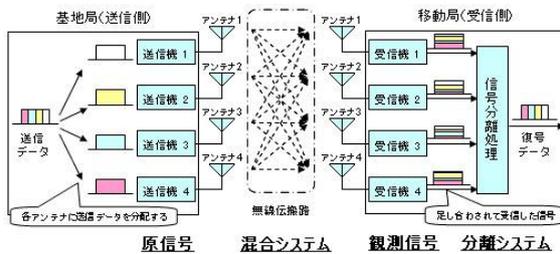


図1 MIMOシステム

筆者らは、このブラインド信号分離技術の中でも、初期値によらずしかも望む解に高速に(指数関数的に)収束するという特長を有する「超指数法(Super-Exponential Method)」について、逐次型、ロバスト型、適応型の考案およびコンピュータシミュレーションによるそれらの有効性の検証を行ってきた。

特に、擬似逆行列補題(Matrix Pseudo-Inversion Lemma)を用いた適応型(Adaptive)超指数法は、原信号(送信機)の数よりも観測信号(受信機)の数が多いというような、観測信号の共分散行列が退化した場合で、しかも混合システム(伝搬路、チャンネル)が時間的に変化する(時変、time-variant)環境に対して大きな成果をあげた。

K. Kohno, Y. Inouye and M. Kawamoto, "A Matrix Pseudo-Inversion Lemma for Positive Semidefinite Hermitian Matrices and Its Application to Adaptive Blind Deconvolution of MIMO Systems," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I*, vol. 55, no. 1, pp. 424-435, Feb. 2008.

一方、今後の移動通信の変調方式として、第4世代(G4)では符号分割多元接続(CDMA)と直交周波数分割多重化(OFDM)の融合変調方式が有力視されている。また、第5世代(G5)ではMIMO通信とOFDMの融合変調方式が採用されると言われている。

2. 研究の目的

このような移動通信では、時々刻々変動する伝搬路に合わせた適応的な等化が必要であり、安定的に動作する等化手法が求められている。特に、多くのユーザが同時に同一チ

ヤネルを利用する場合や、同一ユーザが多くの信号を同一チャンネルを使って送信する場合には、多源情報信号として取り扱うMIMO通信が必要となる。

本研究の目的は、第5世代(G5)移動通信で採用されるであろうMIMO通信に利用されることを考慮して、擬似逆行列補題を用いた適応型超指数法をベースにした、実環境で動作する多源情報信号のブラインド信号分離のための手法を確立することである。

本研究ではこの目的を達成するために、以下の3つの項目を実施する。

① 適応型超指数法の高速度化

各時刻の観測信号に対して処理を行うサンプルベースであったこれまでの適応型超指数法を、ある時間分の観測信号をまとめて処理するブロックベースに拡張して高速度を図る。

② MIMO通信実験システムの構築

DSPリアルタイムシミュレータを用いたMIMO通信の模擬実装実験と解析を行うシステム(「MIMO通信実験システム」と呼ぶ、図2)を構築する。

③ 適応型超指数法の実環境への実装と評価および改良

適応型超指数法をMIMO通信実験システムへ実装して実環境での評価を行い、その結果を受けて改良を加える。

従来の伝搬路の等化方法は、送信側でテスト信号を送信して、受信側ではそのテスト信号と合うように等化器のパラメータを調整するノンブラインド法であった。この方法では、情報信号の伝送速度の大きな低下を招く。一方、ブラインド法はテスト信号を送信する必要がなく、動画像のような信号の高速伝送に対しては積極的に利用されることが期待できる。

また、擬似逆行列補題を用いた適応型超指数法は、原信号(送信機)の数よりも観測信号(受信機)の数が多いような場合で、しかも混合システムが時間的に変化するような実際のMIMO通信に適しており、今後、直交周波数分割多重化(OFDM)との融合が進展すれば、本研究で確立した手法が、将来第5世代のデジタル移動通信で利用され得る。

3. 研究の方法

【初年度（平成21年度）】

適応型超指数法の高速化とMIMO通信実験システムの構築を行う。

(1) 適応型超指数法の高速化

各時刻の観測信号に対して処理を行うサンプルベースから、ある時間分の観測信号をまとめて処理するブロックベースに拡張することにより高速化を図る。

擬似逆行列補題のブロックベースへの拡張については既に提案し、その有効性をコンピュータシミュレーションにより検証済みである。

K. Kohno, Y. Inouye and M. Kawamoto, "A Matrix Pseudo-Inversion Lemman and Its Application to Block-Based Adaptive Blind Deconvolution for MIMO Systems," in *Proc. ISCAS 2007*, New Orleans, U.S.A., May 27-30, 2007, pp. 3490-3493.

このブロックベースの擬似逆行列補題を用いた適応型超指数法のアルゴリズムを考案し、コンピュータシミュレーションによりその有効性を検証する。

(2) MIMO 通信実験システムの構築

図2に示すような DSP リアルタイムシミュレータを用いた MIMO 通信の模擬実装実験と解析を行う MIMO 通信実験システムを構築する。

図2において、

- ・サイバネットシステム(株)の会話型数値解析プログラム「MATLAB/Simulink」
- ・コーメックス電子(株)のDSPリアルタイムシミュレータ「PDRS-6000」
- ・アジレント・テクノロジー(株)のファンクション・ジェネレータ「33220A」

は既に導入しており、新たに科学研究費補助金により、アジレント・テクノロジー(株)のオシロスコープ「DS07014A」を導入してMIMO通信実験システムを完成させる。これにより、通信信号をDSPリアルタイムシミュレータ内で混合させ、適応型超指数法アルゴリズムにより実時間で分離し、分離結果を解析・評価することが可能となる。

【2年目（平成22年度）】

適応型超指数法の実環境（MIMO 通信実験システム）への実装を行う。

MATLAB の M ファイルで記述した適応型超指数法のアルゴリズムを Simulink で記述しなおし、DSP シミュレータで実行させる。

【3年目（平成23年度）】

適応型超指数法の実環境（MIMO 通信実験シ

ステム）で評価と改良を行う。

(1) 適応型超指数法の実環境（MIMO 通信実験システム）で評価と改良

オシロスコープを用いて原信号と分離信号間の誤り率により評価を行う。評価の結果、有効性が確認できない場合には、アルゴリズムの改良を行う。

(2) 研究成果の発表

得られた研究成果を学会口頭発表および論文発表により公表する。

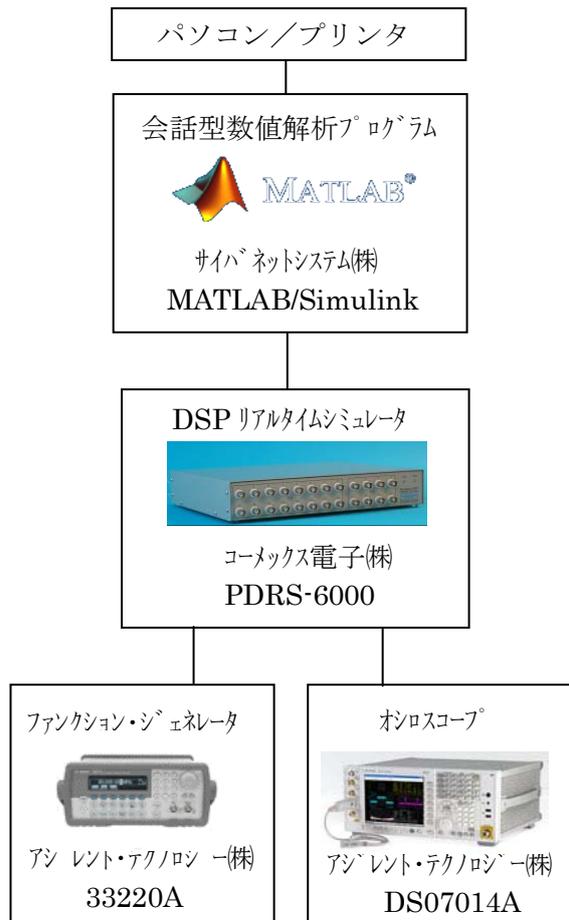


図2 MIMO 通信の模擬実装実験と解析を行うシステム
(MIMO 通信実験システム)

4. 研究成果

(1) 適応型超指数法の高速化

各時刻の観測信号に対して処理を行うサンプルベースから、ある時間分の観測信号をまとめて処理するブロックベースへの拡張を行った。このブロックベースの擬似逆行列補題を用いた適応型超指数法のアルゴリズムを考

案し、コンピュータシミュレーションによりその有効性を検証した。

これら適応型超指数法高速化に係わる成果を、IEEE ISCAS 2010 (Paris, France) で口頭発表 (5. 主な発表論文等の[4]) を行うとともに、IEEE Transactions on Circuits and Systems-I への論文発表 (5. 主な発表論文等の[1]) を行った。

(2) MIMO通信実験システムの構築

アジレント・テクノロジー(株)のオシロスコープ「DS07014A」およびベクトル信号解析ソフトウェア「89601A」を導入することにより、DSP リアルタイムシミュレータを用いたMIMO通信の模擬実装実験と解析を行う「MIMO通信実験システム」を構築した。これにより、通信信号をDSP リアルタイムシミュレータ内で混合させ、適応型超指数法アルゴリズムにより実時間で分離し、分離結果を解析・評価することが可能となった。

しかし、予算の都合上、当初導入予定だったアジレント・テクノロジー(株)のシグナル・アナライザ「N9020A」をオシロスコープ「DS07014A」に変更せざるを得なかったため、機能・性能上の制約を受けることになった。

(3) MIMO通信実験システムへの適応型超指数法の実装

MIMO通信実験システム上で、適応型超指数法を用いたアルゴリズムを Simulink で記述して実行できるようにした。しかし、復元分離行列の推定と観測信号からの原信号の復元分離の切り替え方法、および Simulink の標準 Blockset にない機能の実現に問題が残った。

(4) MIMO通信実験システムに実装した適応型超指数法の評価および改良

MIMO通信実験システムに実装した適応型超指数法の評価と改良を行う予定であったが、問題点の抽出にとどまり改良までは至らなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

[1] K. Kohno, M. Kawamoto and Y. Inouye, "A Matrix Pseudo-Inversion Lemma and Its Application to Block-Based Adaptive Blind Deconvolution for MIMO Systems," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I*, vol. 57, no. 7, pp. 1449-1462, July 2010.

[2] Mitsuru Kawamoto, Kiyotaka Kohno, Yujiro

Inouye and Koichi Kurumatani, "A Modified Eigenvector Method for Blind Deconvolution of MIMO Systems Using the Matrix Pseudo-Inversion Lemma," *Circuits and Systems*, vol. 02, no. 1, pp. 7-13, Jan. 2011.

[3] 河本満, 井上雄二郎, 河野清尊, 浅野太, "ブライント信号処理の最近の動向: 超指数法と固有ベクトル法," *電子情報通信学会論文誌A*, V OL. J92-A, pp. 276-285, May 2009.

[学会発表] (計3件)

[4] K. Kohno, M. Kawamoto and Y. Inouye, "A Block-Based Adaptive Super-Exponential Deflation Algorithm for Blind Deconvolution of MIMO Systems Using the Matrix Pseudo-Inversion Lemma", in *Proc. ISCAS 2010*, Paris, France, May 30 - June 2, 2010, pp. 801-804.

[5] 川戸聡也, 河野清尊, "実時間信号処理システムを用いた音声信号のブロック適応型ブライント分離," *第20回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集*, 岡山, Nov. 26-27, 2011, pp.107-108.

[6] 吉岡慎二, 河野清尊, "実時間信号処理システムを用いた音声信号の適応型ブライント分離," *第18回計測自動制御学会中国支部学術講演会*, 鳥取, Nov. 28-29, 2009, pp.220-221.

[その他]

ホームページ等

<http://www.yonago-k.ac.jp/denshi/stafflab/kohno/kohno/paper.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河野清尊 (KIYOTAKA KOHNO)

独立行政法人 国立高等専門学校機構
米子工業高等専門学校・電子制御工学科・
教授

研究者番号: 90225376

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者