



Title	独立成分分析によるブラインド無線信号分離の諸特性
Author(s)	塩見, 英久; 岡村, 康行
Citation	電子情報通信学会技術研究報告. A・P, アンテナ・伝播. 2008, 108(304), p. 47-50
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51309
rights	Copyright©2008IEICE
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

独立成分分析によるブラインド無線信号分離の諸特性

塩見 英久[†] 岡村 康行[†]

[†] 大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

E-mail: [†]{shiomi,okamura}@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 本報告では、QPSK 信号のランダム混合を独立成分分析により信号分離する際の特性について検討した。複素数値 FastICA の評価尺度として CNR を用い、サンプル数、源信号電力のダイナミックレンジについて、基本 ICA モデルと加法性雑音 ICA モデルについて検討した。基本 ICA モデルについては、CNR とサンプル数とが線形関係にある領域ではほとんど分離が成功すること、信号数が増加するにつれて分離に必要なサンプル数が増加するが、8 信号 20dB 程度の分離ならば 200 サンプル程度必要であることがわかった。さらに、分離信号数が既知であれば独立成分分析が極めて広いダイナミックレンジを有し、DUR が 10dB 程度あれば余剰信号成分が存在しても信号分離が可能であることを示した。雑音に対してはサンプル数の大きな領域での性能劣化が激しく、むやみにサンプル数を増やしても性能は向上しないことがわかった。

キーワード 独立成分分析, MIMO, ブラインド信号分離

Characteristics of Blind Signal Separation for Wireless Mixture using Independent Component Analysis

Hidehisa SHIOMI[†] and Yasuyuki OKAMURA[†]

[†] Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Machikaneyama 1-3, Toyonaka-shi, Osaka, 560-8531 Japan

E-mail: [†]{shiomi,okamura}@ee.es.osaka-u.ac.jp

Abstract This report presents the characteristics of a blind signal separation for qpsk random mixture using independent component analysis. To obtain the performance of Complex Valued Fast ICA, CNR was used. The dependence of the CNR on a number of samples and a dynamic range of source signals was considered on basic ICA model and ICA model with additive white noise.

Key words Independent Component Analysis, MIMO, Blind Signal Separation

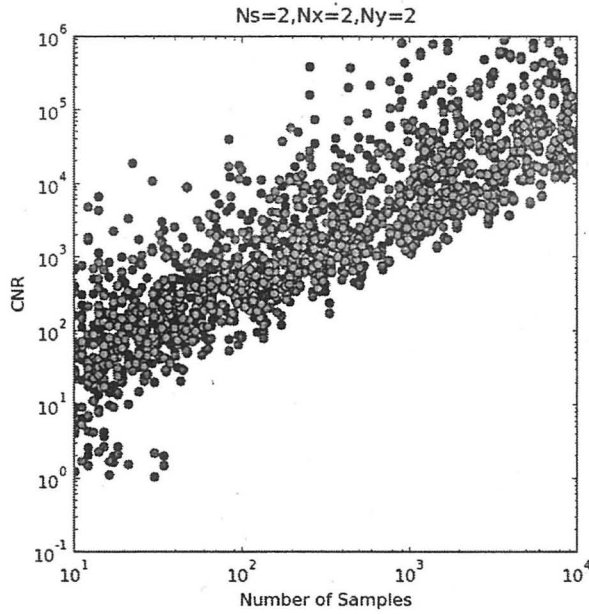
1. ま え が き

MIMO 通信において送受信荷重の決定方法は重要な課題である。決定方法として有力な手法は、教師信号を用いたトレーニングによるチャネルの測定情報を基に送受信荷重を決定する手法である。しかしながら、装置校正誤差や非線形歪み、測定遅延などに起因するチャネルの測定誤差が通信性能を劣化させることがある [1]。そこで、著者らは通信信号そのものを用いたチャネルの推定が可能な独立成分分析を用いる研究を行っている。音声信号分野で発展した独立成分分析を無線信号に応用する試みは近年活発になっている。[2]~[9] 独立成分分析の特徴は、教師信号を用いたトレーニングが不要なこと、及び、アレイ応答に関する情報が不要なことである。本報告では、QPSK 信号に対する独立成分分析の基本特性をモンテカルロシミュ

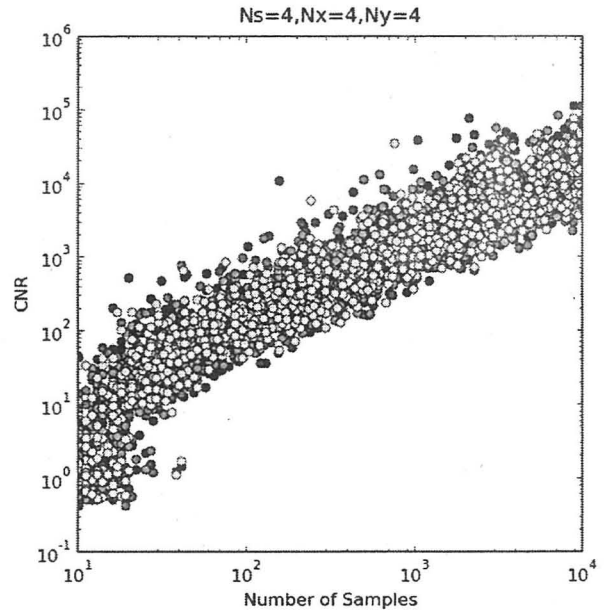
レーションにより検討した。まず、基本 ICA モデルにおける CNR のサンプル数依存性から、分離に必要なサンプル数、分離精度について検討する。さらに、CNR の DUR 依存性からダイナミックレンジについて検討する。最後に、加法性雑音 ICA モデルにおける CNR の諸特性から、耐雑音性能を検討する。

2. シミュレーション

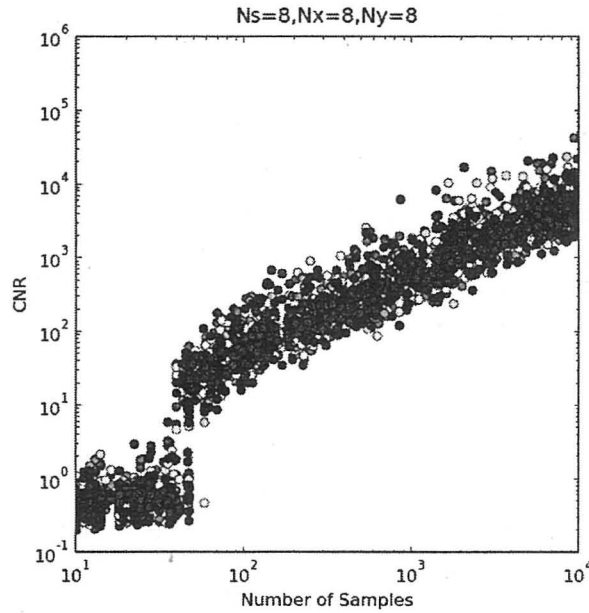
独立成分分析において仮定される信号混合を表す基本 ICA モデルを式 1 に示す。 x は観測信号、 A は混合行列、 s は源信号を表す。加法性雑音を付加した混合モデルは次節で検討する。源信号 s は等価低域信号であり、サンプルタイミング t における複素数値のインパルス列である。複素数の実部は $\cos$ 成分、虚部は $\sin$ 成分を表す。実際の無線通信では帯域制限によるシンボル間干渉を防ぐ送受信フィルタや搬送波周波数同期、シン



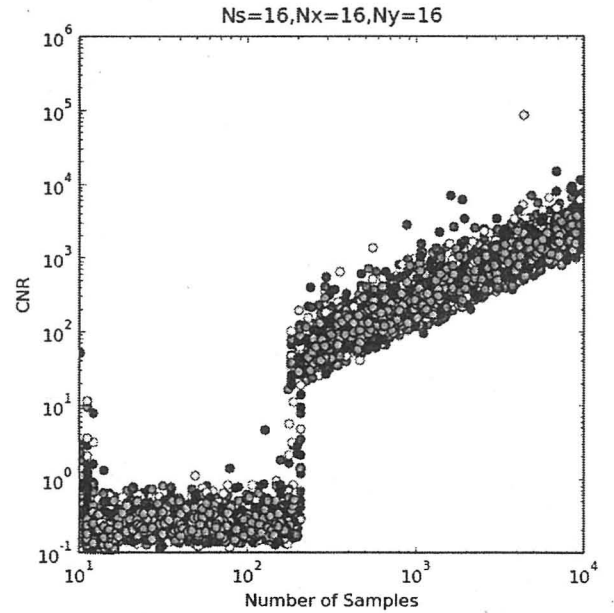
(a) 源信号が2個の場合



(b) 源信号が4個の場合



(c) 源信号が8個の場合



(d) 源信号が16個の場合

図1 基本ICAモデルにおけるCNRのサンプル数依存性

ボル同期などが不可欠であるが、本報告では、独立成分分析そのものの特性を評価するため、シンボル間干渉は無く搬送波周波数とシンボルタイミングは完全に同期しているものとする。また、1シンボル当たり1回サンプルする。

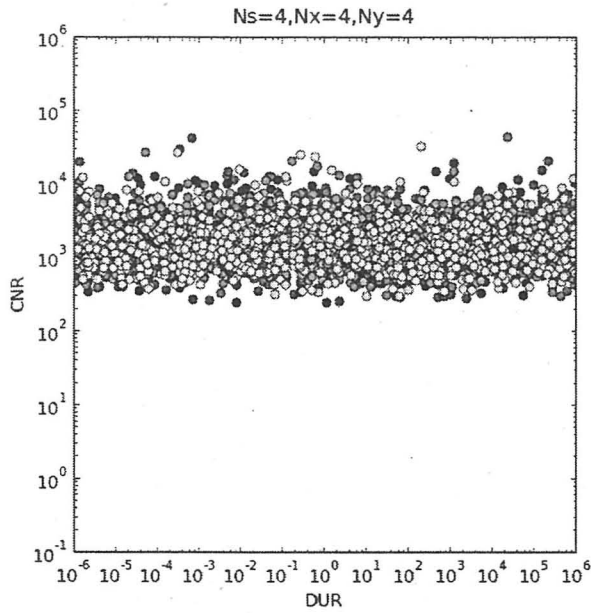
$$x(t) = As(t) \quad (1)$$

分離信号は観測信号を用いて式2より求める。 y は分離信号、 W^H は分離行列である。ここで、適切な分離行列 W^H を求める手法が独立成分分析である。 W^H を求めるために、本報告では複素数値FastICA [10], [11]を用いた。独立成分分析ではベクトル表現した分離信号の順序と、各々の分離信号の複素振幅

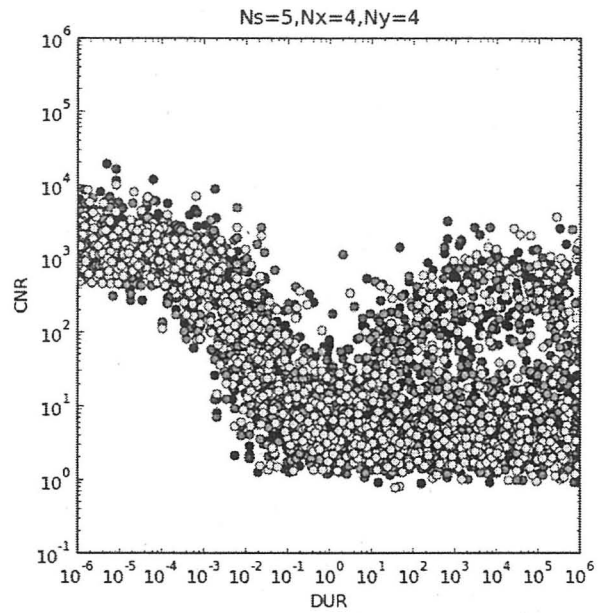
に任意性があることに注意しなければならない。また、本報告で用いたアルゴリズムでは分離信号数を事前に与えなければならない。後節に述べるように、必ずしも分離信号数と源信号数を一致させる必要はない。

$$y(t) = W^H x(t) \quad (2)$$

分離品質の評価には式3の搬送波電力対雑音電力比CNRを用いた。 CNR_i は、第*i*分離信号 y_i に対応する源信号成分 s_j が含まれている割合を示す指標である。ここで、振幅と順序の不定性を考慮して、すべての源信号成分*j*に対してCNRを計算し、その最大値を第*i*分離信号の CNR_i とした。

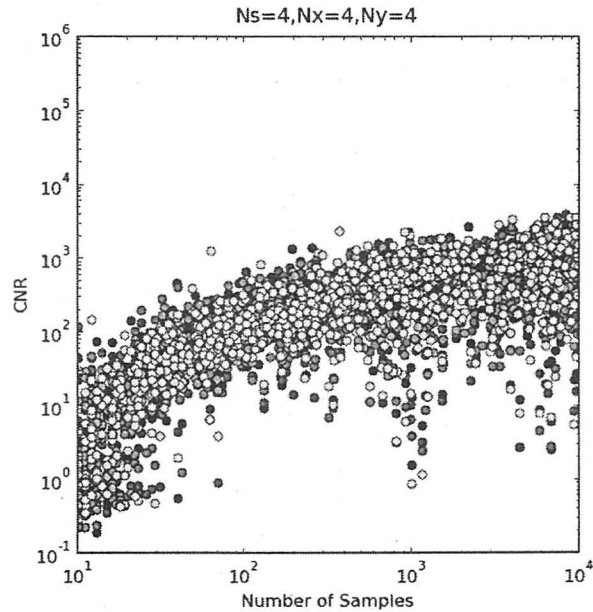


(a) 源信号が 4 個, 観測信号が 4 個の場合

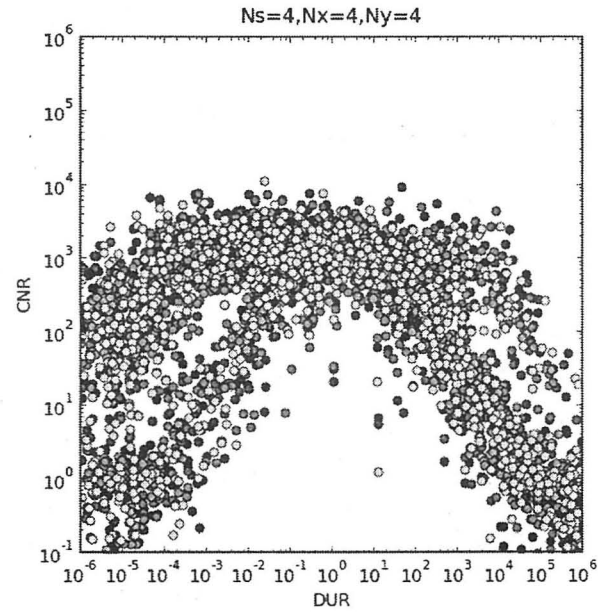


(b) 源信号が 5 個, 観測信号が 4 個の場合

図 2 基本 ICA モデルにおける CNR の DUR 依存性



(a) 源信号が 4 個の場合のサンプル数依存性



(b) 源信号が 4 個の場合の DUR 依存性

図 3 加法的雑音 ICA モデルにおける CNR の諸特性

$$CNR_i = \max_j \frac{E[y_i s_j]^2}{E[y_i^2]E[s_j^2] - E[y_i s_j]^2} \quad (3)$$

まず、CNR のサンプル数依存性について検討した。図 1 にシミュレーション結果を示した。図 1(a) に源信号が 2 個の場合、図 1(b) に源信号が 4 個の場合、図 1(c) に源信号が 8 個の場合、図 1(d) に源信号が 16 個の場合を示した。復元信号の数は源信号に等しいと与えた。全ての源信号の搬送波電力は同一であるとした。混合行列は最大振幅 1 の一様分布複素乱数で与えた。それぞれ、縦軸は CNR、横軸はサンプル数を各々対数

で示し、点はそれぞれの分離信号を示す。試行回数は、源信号数が 2 個、4 個の場合には 1000 回、源信号数が 8 個、16 個の場合には 500 回とし、すべての分離信号をプロットした。サンプル数は 1 試行毎に一様乱数で与えた。おおむね、信号分離が失敗すると CNR が 1 桁を示す。

全体としてサンプル数が 200 未満のところに不連続が見られる。源信号が 2 個の場合には不連続が不明瞭だが、4 個、8 個、16 個の場合は、それぞれ 40 個、60 個、200 個の位置に存在する。それ以上サンプル数が大きくなると CNR はサンプル数に

対して線形に増加する。線形関係にある領域ではすべての信号分離が成功した。必要な CNR が 20dB、源信号数が 8 個までであれば、基本 ICA モデルの分離には 200 サンプル程度あれば十分であると言える。

次に、ダイナミックレンジを調べるため、CNR の DUR 依存性を調べた。第 1 源信号を所望波、それ以外を不要波とした。不要波の搬送波電力はすべて同一とした。DUR は所望波の搬送波電力と不要波の搬送波電力との比で与えた。DUR は -60dB から 60dB まで一様分布乱数で与えた。残りの条件はサンプル数依存性のシミュレーションと同様にした。

図 2(a) に源信号 4 個の場合の CNR を示した。縦軸に CNR を、横軸に DUR を各々対数で示した。DUR が 120dB の範囲で変化しても CNR には変化が見られなかった。すなわち、基本 ICA モデルにおいては信号間のダイナミックレンジは極めて広く、小さな信号成分でも見つけ出すことができる。ただし、分離信号の数が源信号の数と等しい場合においてである。

独立成分分析では、一般に、源信号の数よりも観測信号及び分離信号の数が大きくなければならない。しかしながら、源信号の数が観測（分離）信号の数よりも大きい場合でも、いくつかの源信号の電力が十分小さく、実質的に源信号の数が観測（分離）信号の数よりも小さいとみなせる条件はないだろうか。

図 2(b) に源信号 5 個、観測（分離）信号 4 個の場合の CNR を示した。DUR が 0dB を境界にして、-10dB より小さい領域では信号分離が可能となり、サンプル数 1000 個の制限である CNR が 30dB 程度まで一様に分離精度が向上することがわかる。DUR が 0dB より大きい領域では、ほぼ完全に分離不能となる。DUR が 10dB より大きい領域で十分な CNR を示す信号があるが、これは単に所望波電力のみが卓越しているためにすぎない。

最後に、雑音が信号分離にどのような影響を与えるのかを検討した。加法的雑音 ICA モデルを式 (4) に示す。

$$x(t) = As(t) + n(t) \quad (4)$$

ここで、 n は加法的白色雑音を示す。分離モデルは式 (2) と同様である。

雑音電力を表すために、観測信号に対する源信号 1 個当たりの信号対雑音電力比を SNR とした。なぜなら、分離信号の雑音ループがほぼ SNR と等しくなるので扱い易いためである。混合行列の各要素は同様に最大振幅 1 の一様分布を示す複素乱数とした。

図 3(a) に加法的雑音 ICA モデルにおける CNR のサンプル数依存性を示した。源信号数と分離信号数とが共に 4 個の場合について SNR を 30dB として 1000 回試行した。全体的に基本 ICA の場合と同様の傾向を示すが、雑音による分離性能の劣化がみられる。十分大きなサンプル数の場合でも信号分離に失敗する場合は 2% 程度発生していることがわかる。さらに、サンプル数が大きくなっても、CNR の天井が 30dB 程度に制限されていることがわかる。したがって、加法的雑音 ICA モデルにおいては、いたずらにサンプル数を増やしても効果が少なく、SNR と同程度のサンプル数が適していると言える。

図 3(b) に加法的雑音 ICA モデルにおける CNR の DUR 依存性を示した。源信号数と分離信号数とが共に 4 個の場合について SNR を 40dB として 1000 回試行した。基本 ICA モデルの場合と同様、DUR が大きい場合と小さい場合にそれぞれの所望波成分に対応する信号が観測できるが、これらは信号分離の本質的な成分ではないので、信号の集中している部分について検討する。DUR が -30dB から 0dB の領域では雑音の影響をあまり受けず、良好な分離性能を示したが、0dB 以上または -30dB 未満では分離性能が劣化した。この原因についてはより詳しく検討しなければならない。

3. ま と め

本報告では、QPSK 信号のランダム混合を独立成分分析により信号分離する際の特性について検討した。評価尺度として CNR を用い、サンプル数、源信号電力のダイナミックレンジについて、基本 ICA モデルと加法的雑音 ICA モデルについて検討した。基本 ICA モデルについては、CNR とサンプル数とが線形関係にある領域ではほとんど分離が成功すること、信号数が増加するにつれて分離に必要なサンプル数が増加するが、8 信号 20dB 程度の分離ならば 200 サンプル程度必要であることがわかった。さらに、分離信号数が既知であれば独立成分分析が極めて広いダイナミックレンジを有し、DUR が 10dB 程度あれば余剰信号成分が存在しても信号分離が可能であることを示した。雑音に対してはサンプル数の大きな領域での性能劣化が激しく、むやみにサンプル数を増やしても性能は向上しないことがわかった。

文 献

- [1] 高岡展輔, ガチャニンハリス, 安達文幸, “OFDM/TDM におけるチャネル推定誤差の影響,” 信学技報, CS2004-153, pp.7-12, 2005.
- [2] 島田裕平, 山田寛喜, 山口芳雄, “独立成分分析を利用した不等間隔リニアアレーのためのブライントアレー校正手法,” 信学論誌, Vol.J91-B, No.9, pp.980-988, 2008.
- [3] 高橋明日香, 塩見英久, 岡村康行, “独立成分分析による複数無線タグの同時読取に関する検討,” 信学総合大会, B-1-132, 2005.
- [4] 塩見英久, 中尾武志, 岡村康行, “独立成分分析によるアレイ信号処理とそのアンテナシステムへの応用,” 放射科学研究会, RS05-13, 2006.
- [5] H.Shiomi, T.Nakao and Y.Okamura, “Novel Adaptive Algorithm using Independent Component Analysis for Array Antenna System,” ISAP06, TE2-2, Nov. 2006.
- [6] 矢田達郎, 塩見英久, 岡村康行, “独立成分分析によるマイクロ波混信信号のブライント分離実験,” 信学技報, MW2007-92, 2007.
- [7] E.Carlos and J.Takada, “ICA based blind source separation applied to radio surveillance,” IEICE Trans. Commun., vol.E86-B, no.12, pp.3491-3497, Dec. 2003.
- [8] K. Yokoi, N. Hamada, “ICA-Based Separation and DOA Estimation of Analog Modulated Signals in Multipath Environment,” IEICE Trans. Commun., vol.E88-B, no.11, pp.4246-4249, Nov. 2005.
- [9] 今井光治, 市毛弘一, 新井宏之, “FastICA によるディジタル変調信号のブライント信号分離,” 信学技報, AP2006-35, pp.7-12, 2006.
- [10] A.Hyvarinen, J.Karhunen and E.Oja, “Independent Component Analysis,” John Wiley & Sons, Inc., 2001.
- [11] E.Bingham and A.Hyvarinen, “A Fast Fixed-Point Algorithm for Independent Component Analysis of Complex-Valued Signals,” Int. J. of Neural Systems, 10(1):1-8, 2000.