



Title	独立成分分析による無線混信号のブラインド信号分離と無線タグへの応用
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. SIS, スマートインフォメディアシステム. 2007, 107(373), p. 43-48
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51314
rights	Copyright©2007IEICE
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無線混信号のブラインド信号分離と 無線タグへの応用

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 1-3
E-mail: †shiomiee@ee.es.osaka-u.ac.jp

あらまし 独立成分分析による無線混信号のブラインド分離とその無線タグへの応用について検討した。アレイアンテナを用いたブラインド信号分離により複数の無線タグの混信号を同時に識別する事が可能であることをシミュレーション及び実験で示した。2つの模擬無線タグと2素子アレイアンテナ及び2つのダイレクトコンバージョン受信機から構成される基礎的な実験系において、複素数値 fastICA により混信号が分離できた。

キーワード 独立成分分析, RFID, マルチリード, 適応アンテナ

Blind Separation of Wireless Signal Mixture using Independent Component Analysis and its Application to Wireless Tags

Hidehisa SHIOMI[†] and Yasuyuki OKAMURA[†]

[†] Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Machikaneyama 1-3, Toyonaka-shi, Osaka, 560-8531 Japan
E-mail: †shiomiee@ee.es.osaka-u.ac.jp

Abstract In this paper, we apply a blind separation technique of the wireless signal mixtures using independent component analysis to wireless tags. The simulation and experiment of a blind signal separation were demonstrated and provided a good separation of the mixture. There were used in the experiment that 2 dummy tags, 2 element array antenna, two direct conversion receivers and a fast independent component analysis. This research is useful to separation of the signals from the multiple small terminals in the future ubiquitous network systems.

Key words Independent Component Analysis, RFID, Multi-Read, Adaptive Antenna

1. はじめに

無電源で駆動し様々な物体に張り付けることができる RFID はユビキタス社会において重要な役割を担う技術のひとつである。様々な周波数の電波を用いる RFID のなかでも UHF/マイクロ波 RFID は数メートルの距離から多数のタグを一括認識できるため特に注目されている。従来方式による複数タグ読み込み時の電波占有時間は、順次読み込み方式のため、タグの数に比例して長くなる傾向にあるが、将来のユビキタス社会を目指した電波資源の有効活用の観点からは、電波占有時間が短い並列読み込み方式の利用が望ましい。また、日本では UHF-RFID に割り当てられている周波数帯域がとて狭く、認識に時間がかかるのと他のリーダーの動作に干渉してしまう問題があるため、並列読み込み方式の実現が急務である。

本報告では、アレイアンテナを用いた信号分離技術による複

数タグの並列読み込みを提案し、シミュレーションと実験により検討する。これまで、トレーニング過程の実現が困難であるため、アレイアンテナを用いた信号分離技術（適応アレイアンテナ技術）を無線タグへ適用することは困難であった。我々は、独立成分分析を用いたブラインド信号分離による適応アレイアンテナ技術の無線タグへの適用を試みた。独立成分分析は、1986年、Herault と Jutten により最初に提案され、1997年、高速で安定した fast-ICA が Hyvärinen と Oja により提案され、様々な分野への応用が広がった。独立成分分析はしばしば音声信号処理や画像処理、脳神経イメージング、経済分析などの分野で広く用いられているが、RFID への応用はまだ検討されていない。[1]~[5]

まず、複数タグの読み取り技術について簡単に述べる。次に、本研究で最も重要な技術である独立成分分析とブラインド信号分離について述べる。さらに、アダプティブアレイアンテナに

よる信号分離について述べ、シミュレーションと実験の結果を示す。本論文で提案する手法は、性能の制約が大きな端末を多数使用するセンサネットワークなど、将来のユビキタス社会を担う通信技術にも広く応用が可能である。

2. 多重通信方式

多重通信は伝送路を複数の端末で共有し複数の情報を独立に伝送する技術である。各々の送信端末が発する電波信号は伝送路で混合されて伝搬し受信端末へ到達する。受信端末は混合された受信電波から与えられた手がかりを使って所望の信号だけを分離して情報を解釈する。無線通信で普遍的に用いられている周波数により信号を分離する方式を周波数分割多重通信方式 (Frequency Division Multiple Access: FDMA) と呼ぶ。信号を分離する手がかりは周波数以外にも時間・空間・拡散符号などが考えられており、それぞれ時分割多重通信方式 (TDMA)、空間分割多重通信方式 (SDMA)、符号分割多重通信方式 (CDMA) と呼ぶ。

RFID システムでは、しばしば、多数の無線タグが独立に発する無線信号を分離するために TDMA に属する遅延再送信を用いる。遅延再送信では、複数のタグが各々別々のスロット (単一のタグの信号で占有された期間) を利用して情報を順次送信する方式である。もしスロットに複数のタグの信号が含まれると混信してしまいそのスロットの信号は受信できなくなる。このことを衝突と呼ぶ。タグは乱数によりスロットを選択するため適当な確率で衝突の発生する可能性がある。衝突が発生した場合、衝突したタグはスロットを選択し直してから再送信する。

遅延再送信にはフィードバック制御が必要なため、しばしば送りたい情報よりも多くの情報を通信しなければならない。また、複数の RFID リーダが存在する場合、単一のリーダが再送信を繰り返してすべての RF タグを読み込むまで伝送路を占有するため、その間は他のリーダが通信を開始することができなくなる。このような状況を回避するため、RFID リーダ間にも Listen Before Talk などのフィードバック制御が導入され、再送信の回数を減らす様な制御法が検討されているが、並列読み込み技術はこれらの課題を根本的に解決する。

本報告では、アレイアンテナによる並列読み込み技術について述べる。アレイアンテナは、無線タグの位置の相違を利用して、異なる複数の観測点における測定データを相互に干渉させて、所望の信号だけを分離することができる。しかしながら、従来、観測信号の干渉比率を決定するために教師信号を用いたトレーニング過程が必要であることから、RFID のように教師信号が得られないシステムには適用が困難であった。そこで、独立成分分析によるブラインド信号分離技術を用いて干渉比率を無教師学習させることで、アレイアンテナによる並列読み込みを実現した。

3. 独立成分分析とブラインド信号分離

独立成分分析 (ICA) は、式 (1) のように、確率変数を統計的に独立な変数の線形結合に分解する手法である。[1]~[3]

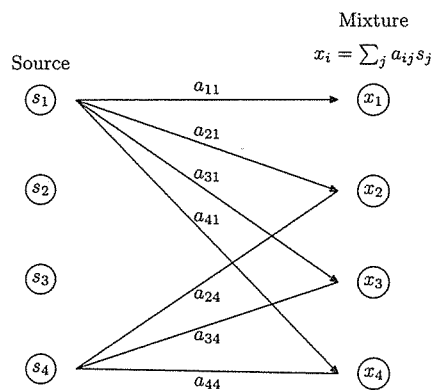


図 1 基本 ICA モデル

Fig. 1 A basic ICA model.

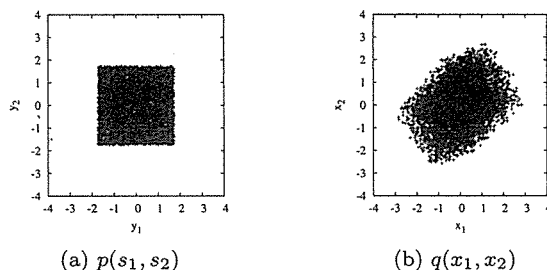


図 2 互いに独立・従属な変数の結合確率密度分布の例

Fig. 2 An example of the joint probability density of the statistical variables

$$x(t) = a_1 s_1(t) + a_2 s_2(t) + \dots + a_M s_M(t) \quad (1)$$

ここで、 $x = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T$ は確率変数ベクトルを、 s_j は独立変数を、 $a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{Mj})^T$ は結合係数ベクトルをそれぞれ示す。式 (1) を基本 ICA モデルと呼び、図 1 に図示した。

統計的独立性は以下のように定義される。式 (2) のように、確率変数 s_j の結合確率密度関数 $p_{12\dots M}$ が周辺確率密度関数 p_j の積で表わせるとき、確率変数 s_j は互いに独立である。

$$p(s_1, s_2, \dots, s_M) = p_1(s_1)p_2(s_2)\dots p_M(s_M) \quad (2)$$

例えば、一様分布を示す 4 つの互いに独立な確率変数 s_1, s_2, s_3, s_4 と、これら s_j の線形結合で構成される 4 つの混合 x_1, x_2, x_3, x_4 を考える。図 2(a),(b) に結合確率密度分布 $p(s_1, s_2)$ と $p(x_1, x_2)$ をそれぞれ示す。このとき、 s_1 と s_2 は互いに独立であり、 x_1 と x_2 は独立成分 s_j の結合であるため、互いに従属である。横軸はそれぞれ s_1 、 x_1 を、縦軸はそれぞれ s_2 、 x_2 を示す。それぞれの変数は平均 0・分散 1 に正規化され、サンプル点数は 5000 ポイントである。図 2(a) の分布は、 s_1 と s_2 が互いに独立であるため正方形を示し、図 2(b) の分布は、 x_1 と x_2 が互いに従属であるために非一様分布を示すことがわかる。

多くの ICA アルゴリズムは確率変数 x_i の線形結合 y_j を互いに最も独立にする結合係数 w_i を決定する。式 (3) に y_j を示す。

$$y(t) = w_1 x_1(t) + w_2 x_2(t) + \dots + w_N x_N(t) \quad (3)$$

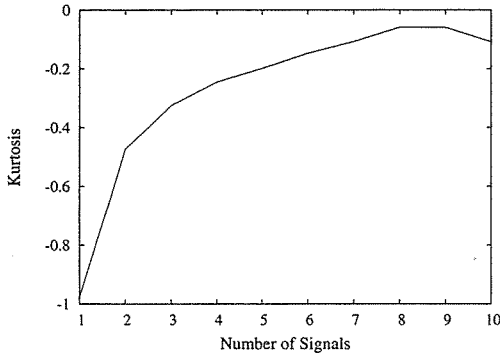


図3 多数の独立成分から成る線形混合が示す尖度

Fig. 3 A kurtosis of the variables composed by a linear combination of the multiple independent components.

ここで、 $y = (y_1, y_2 \dots y_N)^T$ は推定ベクトルを、 $w_i = (w_{1i}, w_{2i} \dots w_{Ni})^T$ は復元ベクトルをそれぞれ示す。得られた y_j は、その順序と分散を除いて s_j と一致する。これらの任意性を示す行列を Q とおくと、 $y = Qs$ の関係がある。

y_j の統計的独立性を最大にする操作には独立性を測る基準が必要である。統計理論の中心極限定理によれば、多数の独立成分の混合から成る確率変数の密度分布は、独立成分の数が増加するにつれてガウス分布に近づく。したがって、 y_j の分布がガウス分布からどれだけ離れているかを判断する量が、独立性を測る基準に適していると考えられる。ある確率変数の分布がガウス分布からどれだけ離れているかを判断する基準として、4 次の高次統計量と密接な関連のある尖度 (Kurtosis) がしばしば用いられる。式 (4) に複素確率変数の尖度を示す。

$$kurt = E\{|y|^4\} - 2 \quad (4)$$

確率変数の分布がガウス分布に十分近ければ尖度は零を示す。図3に異なる数の独立成分を混合した信号の尖度を示す。ここでは、独立成分の周辺確率密度分布は一様分布とし、混合係数はすべて1とした。横軸に独立成分の数、縦軸に尖度を示す。独立成分の数が増加するにつれて尖度が零に近づく事がわかる。図3では成分数が8までは尖度が一様に零に近づいている。成分数が8以上になると十分ガウス分布に近くなるが外れ値などの影響により尖度が完全に零になることはまれである。尖度はICAの基礎的な独立基準であるが外れ値や密度分布により収束が遅くなったり発散する場合があるため、より安定な収束が得られる独立基準として情報エントロピーと深い関係のあるネグエントロピーなども提案されている。

多くのICAアルゴリズムは独立基準をコスト関数とした勾配法や不動点法を用いて復元ベクトル w_j を決定する。本研究では、安定した無線信号の分離を行うため、ネグエントロピーを用いた複素数値 fastICA [2] を用いた。アルゴリズムを簡単に以下に示す。

- (1) 観測信号 x を白色化した z を計算する。
- (2) 復元行列 $W = (w_1, w_2 \dots w_M)^T$ を乱数要素で初期化した後、直交化する。
- (3) 復元行列の変化である δW が十分小さくなるまで4

～5番を繰り返す。

- (4) 以下の式で W を更新する。

$$W \leftarrow E\left\{z(w^H z)^* g(|w^H z|^2)\right\} - E\left\{g(|w^H z|^2) + |w^H z|^2 g'(|w^H z|^2)\right\} w$$

- (5) 新しい W を正規化、直交化する。

推定ベクトル y は複素共役転置行列 W^H と白色化観測信号 z の行列積で式 (5) で表わせる。

$$y(t) = W^H z(t) \quad (5)$$

ブラインド信号分離は多数の信号源から発せられた信号 s_j が混合して到来する環境において、異なる混合係数で混合される複数の点で観測した結果 x_i のみから源信号を推定する問題である。源信号が互いに統計的に独立である場合、この問題は基本ICAモデルに帰着されるため、観測信号を独立成分分析で処理することで源信号が推定できる。実際の環境では観測時に雑音が付加されることが多いが、信号電力と比較して雑音電力が十分小さい場合には雑音は無視できるし、もし、十分に速いサンプリング速度があれば、低域通過フィルタを介することで雑音を低減することもできる。

4. 適応アレイアンテナ

適応アレイアンテナは、異なる複数の要素アンテナで観測した信号を適当な比率で相互に干渉させることで、所望の信号だけを分離する技術である。代表的な構成は、図4に示す線状アレイアンテナ [6]～[8] である。 i 番目の無指向性アンテナが位相中心 o から d_i の場所に配置されている。位相中心は第1要素に位置している。異なる方向から到来する電波信号 s_j が各々のアンテナに到達すると、異なる複素数値係数が積算されて受信機 x_i で受信される。第 j 信号 s_j は角度 θ_j の方向に位置する波源から到来する。

適切な荷重ベクトル $w_j^H = (w_{j1}^*, w_{j2}^* \dots w_{jN}^*)$ を選択し、受信信号 x と荷重ベクトル w_j^H の内積をとることで s_j に相当する復元信号 y_j を得る。適切な荷重ベクトル w_j^H を得るために様々な手法が提案されており、参照信号を用いたトレーニングにより事前に荷重ベクトルを得る手法がしばしば用いられる。しかしながら、タグの存在自体を検出する事が目的のRFIDではトレーニングによる事前の荷重ベクトルの取得は現実的ではないため、観測信号から源信号をブラインド信号分離する必要がある。図4に示すアダプティブアレイアンテナは、典型的な基本ICAモデルに雑音を付加したモデルで定式化できるため、独立成分分析によるブラインド信号分離が可能である。

4.1 シミュレーション

独立成分分析によるブラインド信号分離の方法とシミュレーション結果を示す。まず、図4に示す適応アレイアンテナの受信信号は、式 (6) により計算できる。

$$x_i(t) = \sum_j a_i(\theta_j) s_j(t) + n_i(t) \quad (6)$$

$$a_i(\theta_j) = \exp\left(j \frac{2\pi \xi_i}{\lambda} \cos \theta_j\right)$$

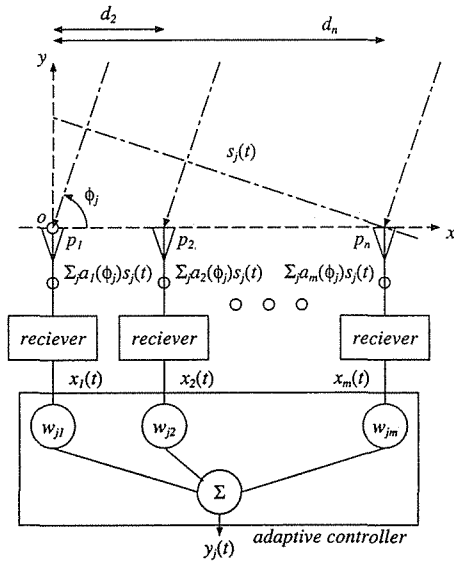


図4 Mケの異なる電波信号が到来する場合のN素子線状アレイによるアダプティブアンテナの構成
 Fig. 4 A configuration of the adaptive linear array antenna with N elements when M radio signals arrived.

ここで、 $a_i(\theta_j)$ は第 j 到来波に対する第 i 要素アンテナのアレイ応答ベクトルを、 λ は搬送波の自由空間波長を、 n_i は受信機が付加する雑音を示す。このシミュレーションでは、簡単のため要素アンテナ間の相互結合の影響を無視した。

ブラインド信号分離の性能評価の指標として信号対干渉雑音電力比 (SINR) を用いた。第 i 到来波の SINR は式 (7) で計算した。

$$\text{SINR}_i = 1 - \frac{E[\text{Re}(x_i x_i^*)] E[\text{Re}(s_i s_i^*)]}{E[\text{Re}(s_i s_i^*)]} - \frac{E[\text{Re}(x_i s_i^*)]^2}{E[\text{Re}(s_i s_i^*)]} \quad (7)$$

独立成分分析によるブラインド信号分離では、所望の源信号を直接推定できるが、アダプティブアレイアンテナの指向性パターンの計算・合成には荷重ベクトル \tilde{w}_j が必要である。荷重ベクトル \tilde{w}_j の計算には最小自乗誤差法を用いた。最小自乗誤差法により、条件式 (8) を満たす荷重行列 $\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_N)^T$ を求める。

$$\min (E\{y - \tilde{W}x\}) \quad (8)$$

アレイアンテナの位相中心を第 1 要素アンテナの位置に合わせたので、計算した荷重ベクトル \tilde{w}_i を、 $\tilde{w}_i \leftarrow \tilde{w}_i / |\tilde{w}_i|$ のように正規化した。要素アンテナを無指向性アンテナとした事を考えると、第 j 信号を受信するアレイアンテナの指向性パターン $F_i(\theta)$ は、式 (9) より計算できる。

$$F_i(\theta) = |\tilde{w}_i^T \tilde{a}(\theta)| \quad (9)$$

ここで、 $\tilde{a}(\theta)$ は θ 方向から到来した信号に対するアレイ応答ベクトルを示す。

次に、シミュレーション結果を示す。使用した計算機は MacBook 2GHz / 2GB HDD / OSX 10.4.8、シミュレーション

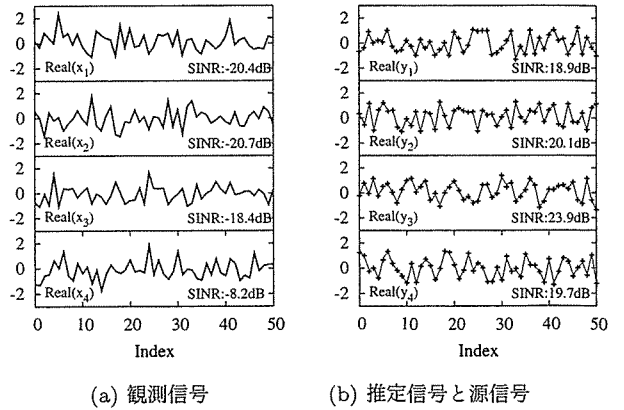


図5 シミュレーションにより得られた信号の実数部
 Fig. 5 The waveforms of the observed, source and estimated signals.

ソフトウェアは GNU Octave 2.1.73 (i386-apple-darwin 8.5.3) を用いて実装した。観測信号と源信号の数は共に 10 信号とした。源信号は互いに独立で一様分布の確率変数とした。要素アンテナは搬送波の半波長の等間隔に配置した。各信号の到来方向は乱数により決定した。

図5にシミュレーション結果を示す。図5(a)は受信信号 x_i の実数部、(b)の実線は源信号 s_j 、十字印は推定信号 y_j の実数部をそれぞれ示す。独立成分分析の順序と分散の不定性を省いて結果を評価し易くするために、シミュレーション結果をそれぞれ平均0・分散1に正規化し、源信号と推定信号の順序を揃えた。受信信号は10信号のうち第1～4信号を、源信号・推定信号は10信号のうち第1～2信号を示した。横軸は信号のサンプル番号を、縦軸は信号の正規化した値をそれぞれ示す。このシミュレーションでは受信信号 x_i の信号対雑音比は40 dB、サンプル数は1000点とした。図5より、推定信号は源信号とよく一致した。残りの8つの推定信号も同様に源信号とよく一致し、18 dB以上のSINRが得られた。独立成分分析により源信号とよく一致する推定信号が得られることを示した。

RFIDの信号に含まれる情報は比較的小さいため、独立成分分析に必要なサンプル数が必ずしも得られない可能性がある。そこで、サンプル点数と信号数を変化させたとき、推定信号のSINRの最悪値がどのように変化するかシミュレーションした結果を図6に示す。このシミュレーションではSNRを40 dBとした。横軸はサンプル点数を、縦軸は信号数を、濃淡はSINRを示す。図6より、10信号までの信号をSINRで10 dB以上の信号分離を得るためには300点程度のサンプルが必要であることがわかる。また、3～5信号程度の信号分離であれば100点程度のサンプルが、2信号であれば20～30点程度のサンプルがあればSINRで10 dB以上の信号分離が可能である事がわかる。

図7に独立成分分析の結果を基に、式9により計算した指向性パターンを示す。SNRは40 dB、サンプル点数は1000点、源信号と観測信号の数は共に4信号とした。源信号は(30,

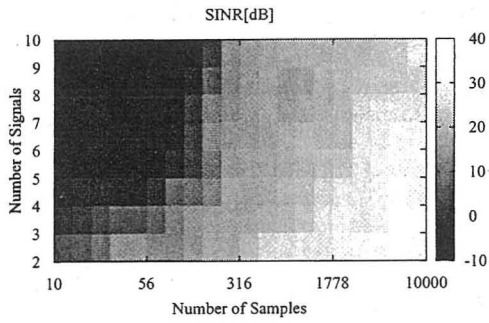


図 6 サンプル点数と信号数を変化させた時の推定精度 (SNR: 40 dB)
 Fig. 6 A map of the estimation accuracy with different sample figure and signal figure.

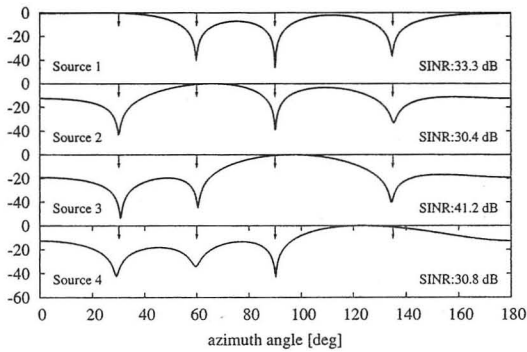


図 7 シミュレーションにより得られた指向性パターン (SNR: 40 dB)
 Fig. 7 A directivity pattern simulated. (SNR: 40 dB)

60, 90, 135) 度からそれぞれ到来するものとした。図 7 では、それぞれの源信号を受信するためのパターンを縦に重ねて表示した。横軸は方位角を度で、縦軸は指向性をデシベルでそれぞれ示す。それぞれのパターンの上部に配置した矢印は源信号の到来方向を示す。シミュレーションでは、不要な干渉波が指向性のヌル点により抑圧され、30 dB 以上の SINR が得られた。独立成分分析により、観測信号だけを用いてアレイアンテナの指向性のヌル点を適応的に制御して信号分離が可能である事を示した。

RFID では複雑な電波伝搬環境により到来信号の受信電力が極端に低くなる状態がしばしば発生する。以下に信号電力と比較して雑音電力が大きな状況 (SNR: -6 dB) におけるシミュレーション結果を示す。図 8 はシミュレーションにより得られた指向性パターンである。シミュレーション条件と書式は図 7 と同様とした。受信信号の SINR は 8 dB 未満であった。図 8 の場合も、指向性のヌル点を干渉波方向へ向けているが、図 7 の場合と異なり角度誤差が発生した。得られた SINR も SNR: 40 dB の場合と比較すると小さかったが、独立成分分析による信号分離によって、不十分ながらも SINR が 8 dB から 0 dB 程度に改善されたと言える。多くのブラインド信号分離アルゴリズムは雑音に対して弱く機能しない場合が多いのと比較して、独立成分分析によるブラインド信号分離は雑音が優勢な環

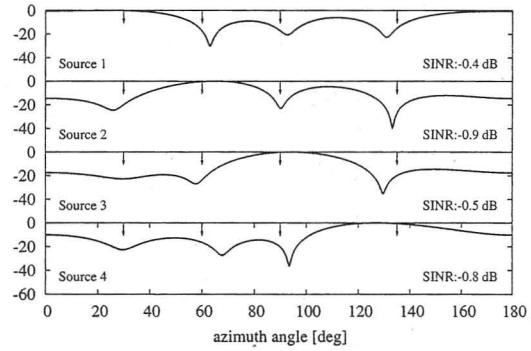


図 8 シミュレーションにより得られた指向性パターン (SNR: -6 dB)
 Fig. 8 A directivity pattern simulated. (SNR: -6 dB)

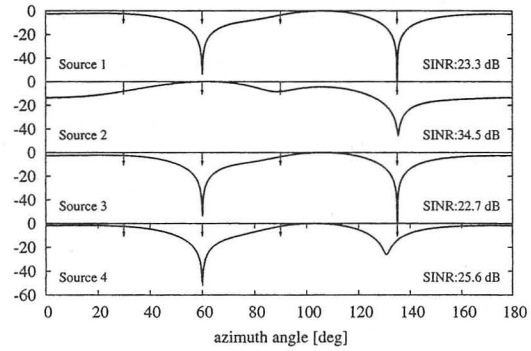


図 9 シミュレーションにより得られた指向性パターン ($s_1 = s_3$)
 Fig. 9 A directivity pattern simulated. ($s_1 = s_3$)

境でも機能する点が優れている。

RFID では複雑な伝搬環境によりマルチパスなどに起因する相関性干渉波が発生することがある。以下に相関性干渉波が到来した場合 ($s_1 = s_3$) のシミュレーション結果を示す。図 9 はシミュレーションにより得られた指向性パターンである。シミュレーション条件と書式は図 7 と同様とした。図 9 では、互いに独立な干渉波に対しては指向性のヌル点が向けられているが、相関性干渉波に対してはヌル点が向けられていない。しかしながら、推定信号 y_i の SINR が 22 dB 以上得られていることから、相関性干渉波は各々逆位相で打ち消し合うように合成され、これらが所望波となった場合には強め合うように合成されているものと考えられる。多くのブラインド信号分離アルゴリズムは相関性干渉波が存在すると機能しなくなるのと比較すると、独立成分分析によるブラインド信号分離は相関性干渉波が存在する環境でも通常と同様に機能する点が優れている。

4.2 実験

以下に独立成分分析によるブラインド信号分離の実験結果を示す。RFID システムを模擬するための実験系を図 10 に示す。実験は電波暗室内で行い、周波数が 2450 MHz の垂直偏波のマイクロ波を用いた。マイクロ波送信源として YIG 発振器と対数周期アンテナを用いた。マイクロ波出力は発振器の出力端で測定して 6 dBm であった。模擬 RF タグとして中心にショットキーダイオードを装荷した半波長ダイポールアンテナを用い

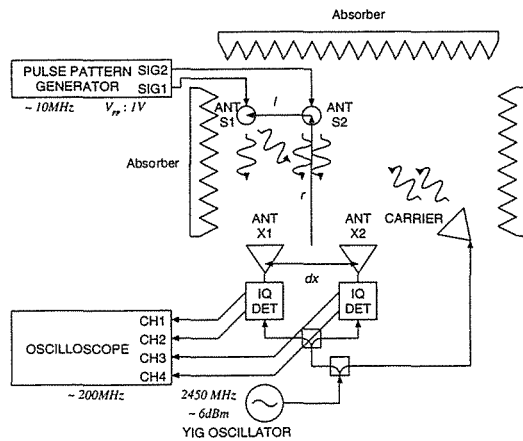


図 10 模擬 RFID 実験系

Fig. 10 An experimental setup of a RFID simulator.

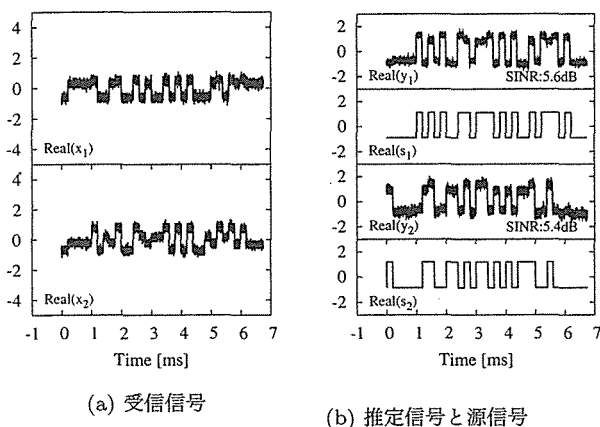


図 11 独立成分分析によるブラインド信号分離の実験結果

Fig. 11 An experimental result of blind signal separation.

た。ショットキーダイオードのバイアス電圧をパルス信号発生器により制御することで、後方散乱電力の変化による ASK 信号を得た。パルス幅 0.2 ms のパルス信号発生器は PIC により製作した。実験では模擬タグと受信アンテナを共に 2 個用いた。受信アンテナはスロットアンテナを用い、 300 mm の間隔で配置した。模擬タグのひとつはアレイアンテナの中心の正面に固定し、いまひとつを左右に移動した。受信した信号はダイレクトコンバージョン受信機の I-Q 検波器により振幅と位相を検出する。検出した信号はロングメモリを搭載したデジタルストレージオシロスコープにより記録した。

対数周期アンテナから模擬タグへ向けて放射されたマイクロ波は、後方散乱されてアレイアンテナに到達する。後方散乱の際、パルス信号発生器の電圧変動に伴って負荷変調されたダイポールアンテナによって、マイクロ波に ASK の変調がかけられる。図 11(a) にアレイアンテナで受信されたマイクロ波の I 成分を示す。模擬タグの間隔は 100 mm 、源信号は一様分布する 2 値 32 bit パルス、アレイアンテナと模擬タグの間隔は 300 mm 、オシロスコープのサンプリングレートを 1 MS/sec とした。互いに独立な 2 つの模擬タグから発せられたマイクロ波信号が混合してアレイアンテナで受信されていることがわかる。

図 11(a) の受信信号を独立成分分析によりブラインド信号分離した結果を図 11(b) に示す。信号分離にはシミュレーションと同一のプログラムを用いた。 s_j は源信号を、 y_j は推定信号をそれぞれ示す。独立成分分析により源信号とよく一致する推定信号が得られた。図 11 にはマイクロ波の I 成分のみを示したが、Q 成分についても同様であった。本実験により、独立成分分析によるブラインド信号分離では受信信号だけが必要なため、簡単な構成で多重通信を実現できることを示した。

5. まとめ

アレイアンテナによる無線タグ混信信号のブラインド分離について検討した。教師信号とトレーニング過程が不要な独立成分分析によるブラインド信号分離を用いることで、従来適用困難であった適応アンテナ技術による複数無線タグの並列読み込みが可能であることを示した。シミュレーションと実験により、良好な信号分離が得られることを示した。アレイアンテナを使用するためにアンテナの小型化が今後の課題である。本研究で用いた独立成分分析は極めて少ない事前知識で信号を分離できるため移動体通信における信号処理に有効でありユビキタス社会における新しい通信システムの実現に大きく貢献できると期待する。

謝辞 本研究は文部科学省科学研究費補助金若手研究 (B)-18760274 の補助を受けて実施した。

文 献

- [1] A.Hyvärinen, E.Oja, "A Fast Fixed-Point Algorithm for Independent Component Analysis," *Neural Computation* 9:1483-1492, 1997.
- [2] E.Bingham and A.Hyvärinen, "A fast fixed-point algorithm for independent component analysis of complex-valued signals," *Int. J. of Neural Systems*, 10(1):1-8, 2000.
- [3] A. Hyvärinen, J. Karhunen and E. Oja, "Independent Component Analysis," John Wiley & Sons, 2001.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] B.Widrow, et.al, "Adaptive Antenna Systems," *Proc. IEEE*, 55(12):2143-2159, 1967.
- [7] S.P.Applebaum, "Adaptive Arrays," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 24(5):585-598, 1976.
- [8] Van Trees and Harry L., "Optimum Array Processing. Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory," John Wiley & Sons, Inc. 2002.
- [9] U.Madhow, "Blind adaptive interference suppression for direct-sequence CDMA," *Proceedings of the IEEE*, 86(10):2049-2069, 1998.