

到来方向推定システムの基礎と実装例

Minseok Kim

これまでアレイ・アンテナを用いて所望の信号をうまく合成する方法について説明した。しかし、実はこれ以外にもさまざまなアプリケーションがある。本章では、アレイ・アンテナを用いた電波の到来方向推定法 (Direction of Arrival Estimation) について解説し、FPGAを用いた回路実装を紹介する。

(筆者)

1. 電波の到来方向推定 (DOA Estimation)

最近、携帯電話が目覚ましい勢いで普及しています。しかし、建物の中などには電波の届かない場所が多く存在し、対策としてリピータ (Repeater) と呼ばれる電波中継器を利用している場合が多くあります。ここで、認可を受けていない違法なリピータが使用された場合、これらの放射する不法電波がノイズとなり、携帯電話やそのほかの通信環境

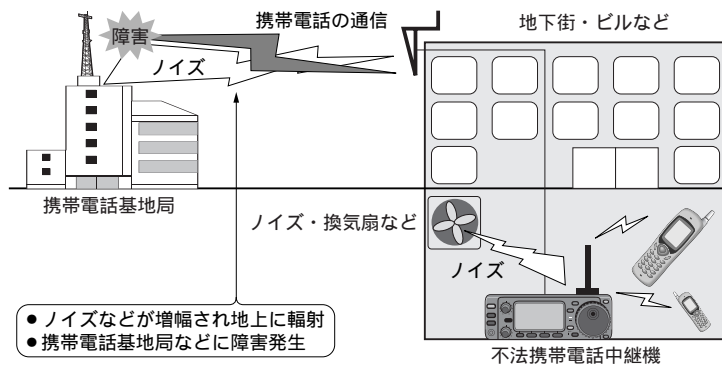


図1 不法中継器の問題

を悪化させるとして問題となっています(図1)。

このため、不法リピータを検出する装置として、複数の地点において不法電波の到来方向 (DOA : Direction of Arrival) を測定し、その位置が特定できるシステムがすでに開発されています。また、アレイ・アンテナを用いて推定する手法もいろいろと検討されています。

携帯電話による緊急時の通報が増加しています。米国連邦通信委員会 (FCC) が緊急通話サービスの向上のため、緊急時の携帯電話利用者の居場所を特定できる機能 Enhanced 911 (E-911) の制度化を行いました。高精度の位置測定技術が望まれています⁽¹⁾。やはりこの場合にも、アレイ・アンテナを用いた高精度の到来方向推定が重要な技術として認識されています(図2)。

さらに、図3のようにセルラ移動通信において、ユーザ端末の到来方向情報を有効に利用することが考えられます。例えば、所望ユーザの方向には送信電力を集中させ、ほか

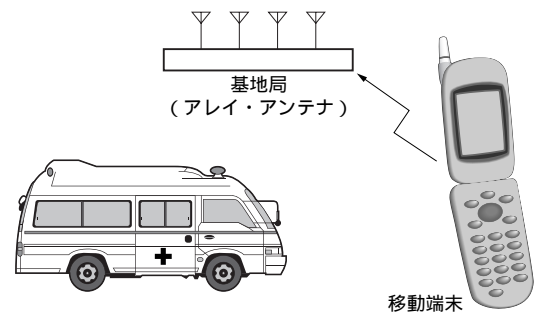


図2 救急システムにおけるアレイ・アンテナの応用

KeyWord

電波の到来方向推定法, フーリエ変換, ビーム・フォーマ法, 多重信号分離法, MUSIC, 固有値分解

のユーザ方向には指向性のヌルを形成することで干渉を低減できます。搬送波周波数が上下回線で異なる周波数分割複信(FDD: Frequency Division Duplex)において有効な方法として知られています。到来方向情報は上下回線において統計的に等しいことが分かっているので、上り回線(移動端末-基地局)で推定した到来方向情報を下り回線(基地局-移動端末)に用いることができます。ここでは、伝搬路の変化に追いつけるように高速で、かつ、高精度の到来方向推定処理が必要になります。

このように、電波を用いた無線局端末の位置推定は、そのほかにもレーダ・システム、伝搬路同定システムから、近年ではさまざまな無線通信システムやセンサ・ネットワーク、コグニティブ無線まで、その応用が広がりつつあるといえます。

アレイ・アンテナを用いた到来方向推定手法は、フーリエ変換の原理に基づいています。最も基本的な手法のビーム・フォーマ法(Beamformer)、線形予測法(Linear Prediction)に基づく手法としてCapon法や最大エントロピー法、さらに、アレイ入力信号の相関行列の固有値展開に基づく手法として多重信号分離法(以下 MUSIC: Multiple Signal Classification)や ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques)法が考案されました。また、マルチパスの影響を受けやすい環境にはチャンネル特性のデータベース化による指紋法(Finger Print)などが提案されています。

これについてもっと詳細な理論が知りたい方は、参考文献²⁾を参考にしてください。

本章では、アレイ・アンテナにおける到来方向推定法について、その基礎原理を説明し、現在、最も幅広く利用さ

れている多重信号分離法(MUSIC)について解説します。また、FPGAを用いたハードウェア構成と信号処理部の実装例を簡単に紹介します。

2. 到来方向を推定する方法

到来方向推定手法についてまともに説明しようとする、非常に専門的な話になってしまいます。ここでは、その原理を直感的に捉えられるように、できる限り簡単におさらいをします。

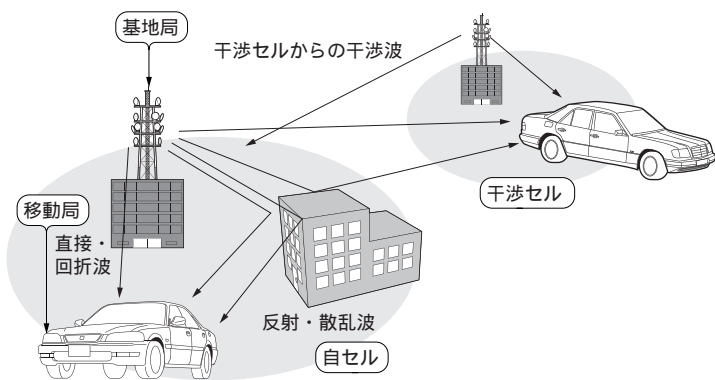
アレイ・アンテナによる到来波の方向推定には、古い歴史があります。指向性ビームによる空間走査を行うビーム・フォーマ法が最も簡単な手法と知られています。ビーム・フォーマ法は、一様励振アレイ・アンテナのメイン・ローブ(主ビーム)を全方向に対して走査し、得られた電力スペクトルから出力電力が大きくなる方向を探索する方法です²⁾。

図4のように、重み係数ある角度 θ にするためには、第2章の説明より以下のようにアレイ・ステアリング・ベクトルに設定することで、メイン・ビームを角度 θ に向けることができます。

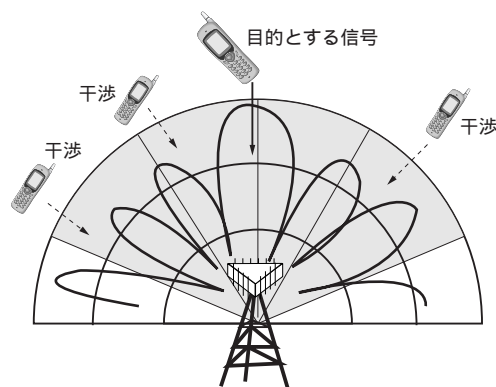
$$\omega(\theta) = \left[1, \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}d\sin\theta\right), \dots, \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}d(M-1)\sin\theta\right) \right]^T \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 M はアンテナ素子数、 d はアンテナ素子間隔を示します。このとき、アレイ出力は以下ようになります。

$$y(\theta) = \omega^H(\theta) \cdot x \dots\dots\dots(2)$$



(a) 移動通信における伝搬状況



(b) 到来方向から所望ユーザに電力を集中させることができる

図3 セラ移動通信における到来方向推定の利用

- 1
- 1 App
- 2
- 2 App
- 3
- 3 App
- 4