

## E5 アレーアンテナを用いた電波伝搬モニタシステムの試作

千葉 建治郎 原 六蔵 山田 寛喜 山口 芳雄  
新潟大学工学部

### 1. まえがき

現在、携帯電話やそれを用いたデータ通信、PHS、無線LAN等のデジタル通信技術が発達している。しかし、移動体通信において、壁等からの反射回折等により、電波が多く経路を経て到来する。そして、それらの多重波がお互いに干渉しあい、入射するマルチパスフェージングが発生する。この状況下で高速通信実現のためには、電波伝搬構造の解明が不可欠である。そこで、その解明のために、実験室レベルで測定可能なシステムの製作を行なうことで、さまざまな伝搬構造を明らかにできる。

本研究では、測定システムとして、FM-CWレーダを利用した電波伝搬モニタシステムを構築した。さらに、本システムを用いた基礎運用実験として、電波暗室内において、アレーアンテナを用い、1波入射電波到来方向推定実験を行なった。そして、スーパーレゾリューション法の一つであるMUSIC法[1]により到来方向推定を行い、検討を行った。

### 2. 測定システム

本システムにおいて、用いるFM-CWレーダは、周波数変調が施された連続波を送信信号としてターゲットに照射し、ターゲットからの反射信号と送信信号から得られるビート信号の周波数(ビート周波数)から、ターゲットまでの距離を測定するものである。図1に、本研究で製作した測定システムの概要図を示す。

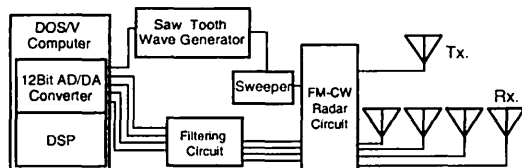


図1. 測定システム構成図

本システムは、制御用DOS/Vコンピュータと送信信号生成ユニット(Saw Tooth Wave Generator, Sweeper)、送受信アンテナ、FM-CWレーダ回路(Power Divider, Mixer)と受信信号処理ユニットから構成される。また、送信アンテナには、半波長ダイポールアンテナ、受信アンテナには、4素子の無指向性モノポールアンテナを直線アレー状に配置したアンテナを使用した。そして、送信信号と受信信号から得られるビート信号を4チャンネル同時サンプリングさせ、測定する。

### 3. Hilbert 変換

到来方向推定を行うためには、複素データが必要になる。しかし、本システムでは、各素子において、電界強度を測定した実数データ(ビート信号)しか得ることができない。そのため、Hilbert変換を用いて、実数データを複素データへ変換する必要がある。以下に処理方法を示す。(jは虚数単位とする)

1. 実数データをフーリエ変換する
2. 1.で得たデータの正周波数成分を-j倍、負周波数成分をj倍する

3. 2.で得たデータを逆フーリエ変換して、時間領域に戻す
4. 3.で得たデータをj倍して、実数データを加える

### 4. 実験

電波暗室内において、構築したシステムの基礎運用実験として、1波入射電波到来方向推定実験を行った。実験状況を図2に示し、測定パラメータを表1に示す。データ取得には、まず、20°の位置に送信アンテナを配置する。その後、10°、0°、-10°、-20°、-30°、-40°に電波がアレーアンテナに入射するように送信アンテナを走査させ、データを取得した。そのデータを用い、オフラインでデータ処理を行い、MUSIC法により到来方向推定を行った。ただし、測定データにおいて、2.4[GHz]に相当するデータを用い到来方向推定を行った。

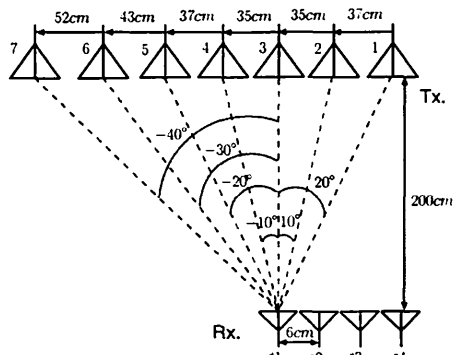


図2. 実験状況図

表1. 測定パラメータ

中心周波数	2.4 [GHz]
掃引周波数幅	0.2 [GHz]
アレー素子数	4
素子間隔	0.06[m]
測定ポイント	101
スナップショット	1

### 5. System Calibration 処理

本システムで用いるアンテナ、及び、一部のケーブルは手作業により製作している。そのため、アンテナの受信特性、ケーブルの伝送特性、コネクタの接続状態等により、各受信チャンネルでの測定データは、振幅値に差が生じる。また、遅延時間推定結果においても、各チャンネルで差が生じる。そのため、各チャンネル毎に、このような誤差を均一にする処理が必要になる。

以下に用いた処理方法を示す。ここでは、各チャンネルが同一の電波を受信する0°入射データを用いる。FFTによる遅延時間推定結果を用い、各受信チャンネル毎に遅延時間推定結果を示す複素ビートスペクトラ

ムを最大ピーク値で規格化する。これにより、各チャンネルの受信データの振幅値を均一にできる。遅延時間補正は、ある任意チャンネルの遅延時間を基準とし、その他のチャンネルとの遅延時間差をビート周波数差として取り出す。この周波数差を位相として、複素データを複素平面で回転させる。これにより、各チャンネルのアンテナ素子と測定装置を繋ぐケーブルの長さが補正される。これらの作業により、0°入射データを0°入射と推定できるようにした振幅補正係数、遅延時間補正係数を他の測定された入射データに施すことにより、チャンネル間の振幅差、経路長差を補正する。

System Calibration 処理前後の式は以下のように表される。

$$\hat{y}_B(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \hat{Y}_B(\Delta fn) e^{j2\pi \Delta fn t} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Cal}[\hat{y}_B(t)] &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C \hat{Y}_B(\Delta fn - \delta f) e^{j2\pi \Delta fn t} \\ &= C \hat{y}_B(t) e^{j2\pi \delta f t} \end{aligned} \quad (2)$$

Cal[ ] : System Calibration 処理

$\hat{y}_B(t)$  : 複素ビート信号

$\hat{Y}_B(\Delta fn)$  : 複素ビートスペクトラム

C : 振幅補正係数

$\delta f$  : 遅延時間補正係数

$\Delta f$  : 周波数間隔

N : ポイント数

実験から得られる測定データはノイズ等の不要成分が含まれる。そこで、この不要成分の除去、抑圧するため、Gate 処理を行う。処理方法としては、FFT による複素ビートスペクトラムのピーク値を中心に、サイドローブが含むように、Hanning 窓関数を施す。この処理を行うことで、1 波成分を示すメインローブがより際立ち、また、ノイズ等の不要成分を除去でき、到来方向推定精度が向上する。

## 6. 解析結果及び考察

測定データ、System Calibration 処理・Gate 処理後のデータを MUSIC 法により推定した結果をそれぞれ図 3、図 4 に示す。また、測定データと System Calibration 処理後の推定角度の比較を表 2 に示す。

図 3 の推定結果から、測定データによる推定値からでも、誤差は有するものの、角度変化を確認することができる。さらに、System Calibration 処理・Gate 処理を行うことで、全体的に誤差を減らし、高精度に到来方向を推定できる。

## 7. まとめ

本報告では、FM-CW レーダを利用した電波伝搬モニタシステムを構築を行い、1 波入射到来方向推定を行うことで、実際の運用が可能であることを示した。また、System Calibration 処理・Gate 処理を行うことで、誤差を減らし、高精度に到来方向を推定できることを示した。今後は、マルチパス波の検討、System Calibration 処理精度向上、リアルタイムシステムの実現、さらなる多チャンネル化が挙げられる。なお、この研究成果の一部は文部科学省科研費によるのである。

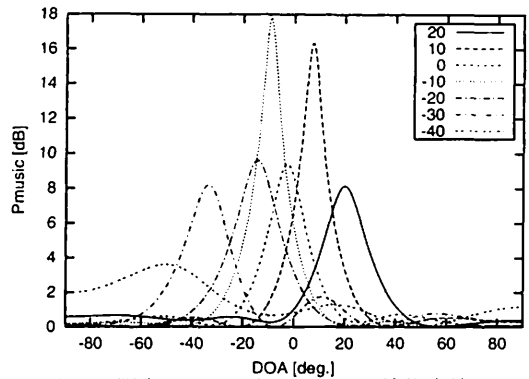


図 3. 測定データによる MUSIC 法推定結果

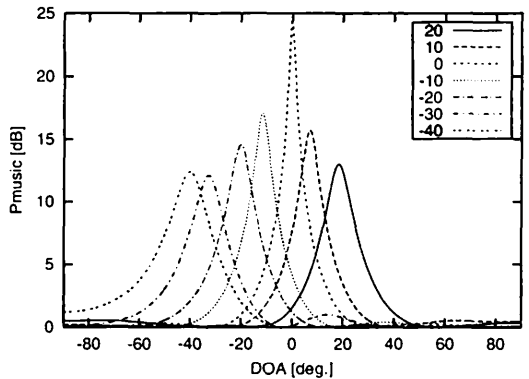


図 4. System Calibration 処理・Gate 処理後のデータによる MUSIC 法推定結果

表 2. 到来方向推定値の比較

送信位置	理論値	測定データ	校正後データ
1	20.0°	19.9°	18.4°
2	10.0°	7.3°	6.9°
3	0.0°	-2.7°	0.0°
4	-10.0°	-9.2°	-11.6°
5	-20.0°	-14.3°	-20.1°
6	-30.0°	-33.6°	-32.8°
7	-40.0°	-50.4°	-40.0°

## 参考文献

- [1] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol.AP-34, no.3, pp.276-280, March 1986.