

広域電波強度分布測定システム (DoREMI) の開発

情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

小山泰弘、岳藤一宏、堤正則、宮内結花、市川隆一

1. はじめに

情報通信研究機構では、2007年度から4年間の研究期間で、総務省の電波資源拡大のための研究開発制度に図1で示すような『広域電波強度分布測定技術の研究開発』の課題を提案し、評価委員会での審査ののち同課題の研究開発の委託を受けた。この研究課題では、これまで鹿島宇宙技術センターを中心とした研究開発で培われた VLBI 観測・データ処理技術を基盤として、地上の電波源の分布を測定することで、新たな用途に活用するための基礎技術を実証することを目指して研究開発を実施した。本報告では、本研究開発の成果の概要を報告する。

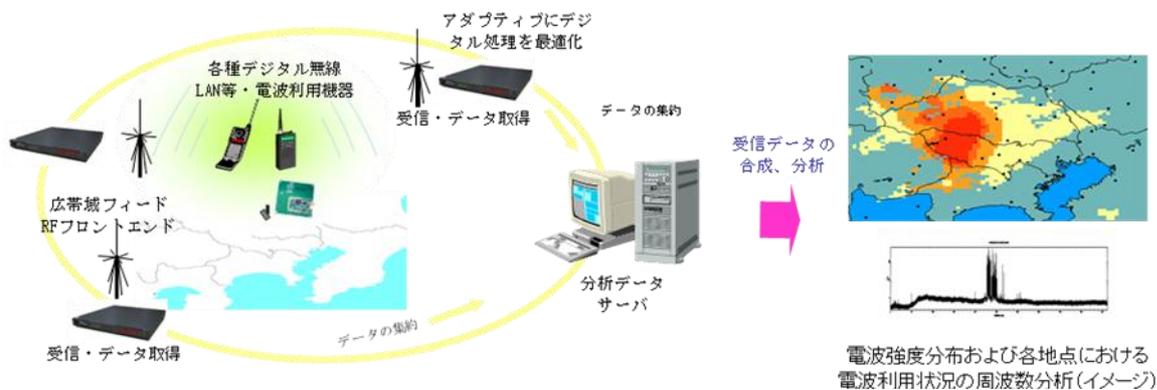


図1 広域電波強度分布測定技術のイメージ

2. 研究開発の概要

従来、送信機の位置を特定する方法としては、指向性の強いアンテナを方向を変化させながら、受信強度が最大になるところの方向を探知する方探と呼ばれる方法が一般的に使われている。一方、本研究課題で提案した方法は、複数のアンテナで受信した信号を干渉計として合成し、電波の強度分布を推定しようというものである。そして、そのために開発を行った実証実験システムを Distribution of Radio Emission Measurement Interferometer = DoREMI と呼ぶこととした。本システムによる電波強度分布推定の原理を図2に示す。まず対象とする地点を取り囲むように無指向性のアンテナを設置し、そこで受信された信号を AD サンプリングして記録する。測定対象のエリアを一定間隔のメッシュで区切り、メッシュ上の点 (i,j) における g_{ij} を

$$g_{ij} = \text{sqrt} \int [f_A(t+\tau_{Aij})+f_B(t+\tau_{Bij})+f_C(t+\tau_{Cij})+f_D(t+\tau_{Dij})]^2 dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

として計算し、これを各メッシュ点における一次的な電波強度推定値としてコンターマップによって電波強度分布を可視化する。ここで、 $f_X(t)$ は受信ノード X において受信して記録したデータの時系列、 τ_{Xij} は各メッシュ点から受信ノード X までの距離を光速で割って得られる遅延時間であり、積分は、観測した一定の時間(例えば 1ms 程度)に対して行う。電波源から放射された電波はそれぞれの遅延時間だけずれて受信ノードで受信され、記録されるので、(1)式で計算される値 g_{ij} は電波源の位置に相当する

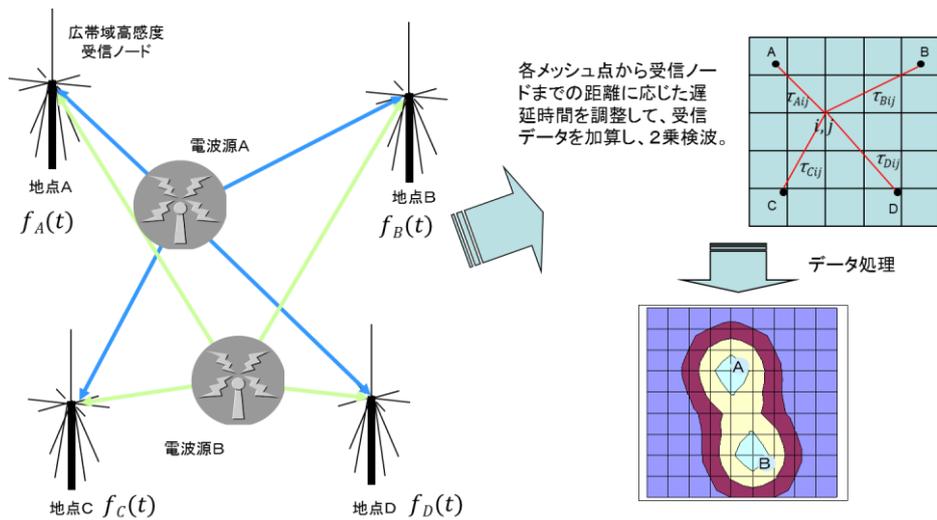


図2 DoREMI による電波強度分布推定の原理

メッシュ上で極大となると期待できる。この方式は、非常に単純な加算型の干渉計であるので、電波源のないところにも受信ノードのペアを焦点とした双曲線上の軌跡も現れることになる。このような双曲線は、理想的には図2の原理によって得られたイメージから差し引くことが可能であり、そのような画像処理を施すことによって、より正確な電波強度分布マップを得ることができる。この原理を実験によって実証するため、図3に示す受信システムを開発した。対象とする周波数範囲を 100MHz から 3GHz と設定し、1024Hz 以下の低周波数部をディスコーンアンテナで、1024MHz 以上の高周波数部には涙滴型モノポールアンテナと曲面反射鏡アンテナの2つのタイプのアンテナを新しく開発した。開発したアンテナの写真を図4に示す。曲面反射鏡アンテナは、ある放物線をその軸に垂直な直線の周りに回転させた軌跡によって構成される反射鏡を製作して、放物線の焦点に固定したキャビティバック型スパイラルアンテナで給電することにより、水平面方向からくる電波を効率よく受信できるような特性を持つアンテナとして開発した。

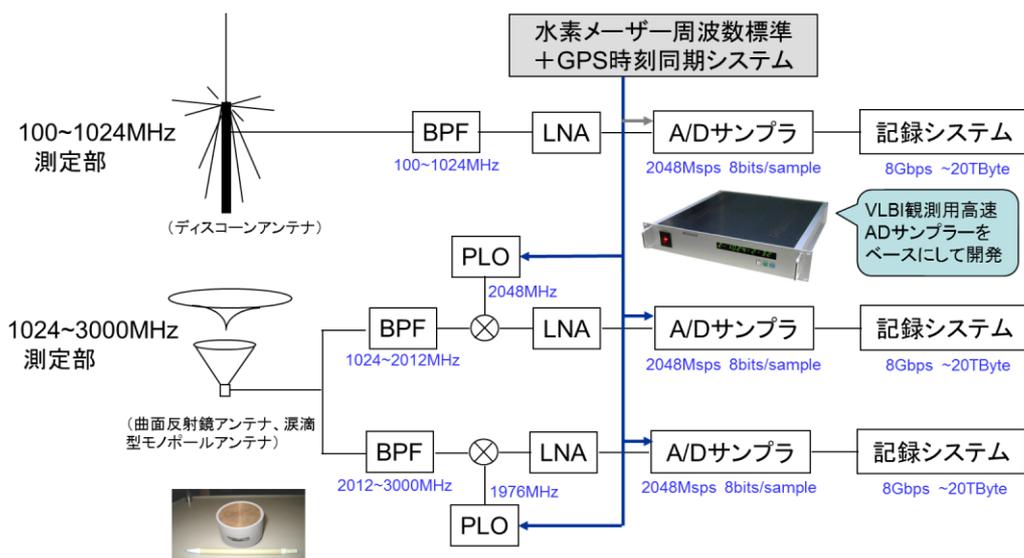


図3 受信システムの構成



図4 ディスクコーンアンテナ(左)、曲面反射鏡アンテナ(中央)、涙滴型モノポールアンテナ(右)

3. 概念実証のための試験観測

本研究課題の原理の有効性を技術的に実証するため、2011年8月に鹿島宇宙技術センターにおいて無線 LAN のルーターを電波源とした実証実験を実施した。受信ノードは、図5に示すように、無線 LAN ルーターからそれぞれ 44m、27m、148m、137m 離れた地点に設置した。受信ノードには涙滴型モノポールアンテナを設置し、2GHz から 3GHz までの受信信号を広帯域の AD サンプラーである ADS3000+ でサンプリングしたのち、0~64MHz の帯域にデジタルベースバンド変換処理を行った信号を K5/VSI 記録装置を用いて記録した。ADS3000+には、共通の水素メーザーから 10MHz の基準信号と 1PPS 信号を供給し、時刻同期を行った。

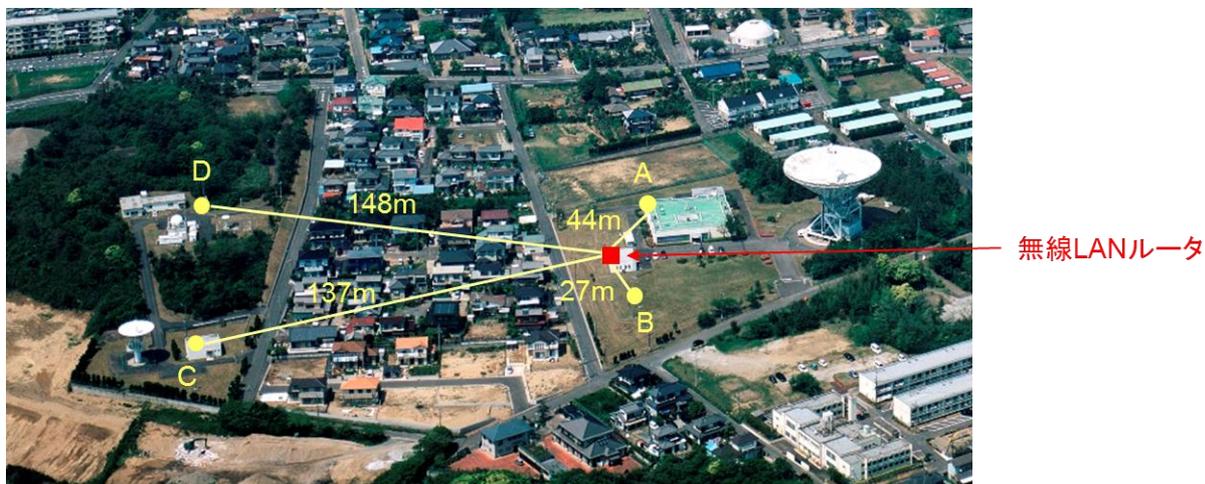


図5 実証実験における受信ノードと電波源として設置した無線 LAN ルーターの配置

記録したデータを合成し、1ms の積分時間、メッシュ間隔 2m、表示領域 400m×400m に対して解析して得られた電波強度分布の一次推定結果を図6に示す。受信ノードにおける時刻同期には、共通の水素メーザーから供給した 1PPS 信号を用いているため、ケーブル長の不均一による同期誤差が生じている。そのため、記録された信号の 6 つの組み合わせペアに対する相互相関関数から、時刻同期誤差の推定を行い、その同期誤差を補正する処理を行っている。前節で述べたように、受信ノードのペアを焦点とする双曲線のパターンが多数見られ、特に無線 LAN ルーターからの距離に近い A 地点と B 地点の

ペアから生じる双曲線が顕著であるが、このような幾何的なパターンは受信ノードの位置から計算される双曲線を消去するような二次処理をすることで、より正確な電波強度分布推定結果を得られるものと期待される。本実証実験により、まだまだ基礎的ではあるものの、本方式の原理の実証ができたものと考えられる。

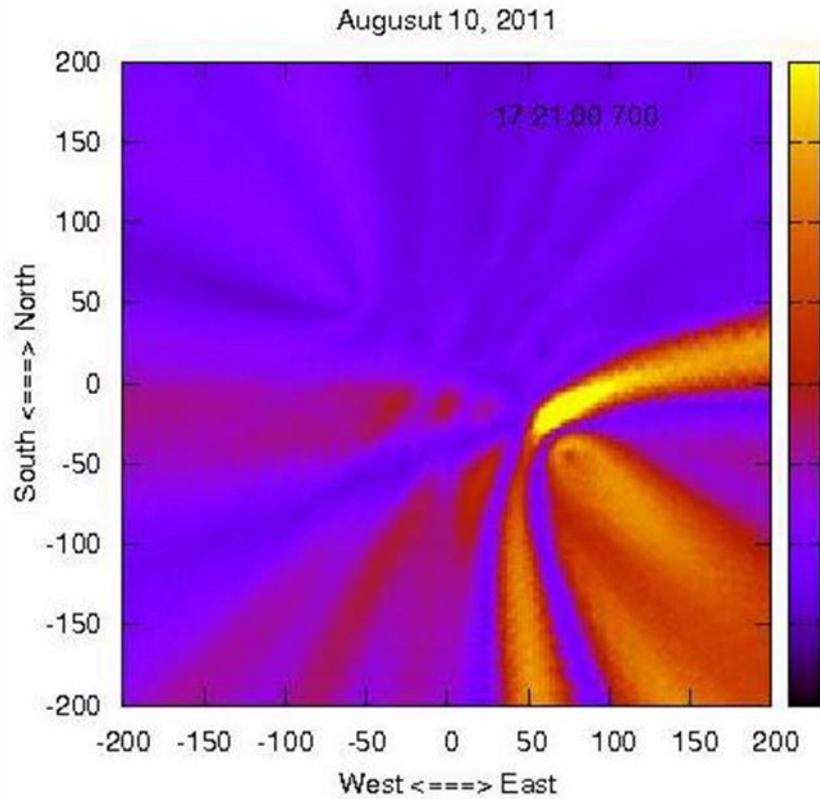


図6 電波強度分布一次推定結果

今後は、電波源の数を複数に増やし、また受信ノード間の距離を広く取りながら、より現実的な状況での原理実証を進めていきたい。

謝辞

本研究は、総務省の電波資源拡大のための研究開発制度のもとでの研究委託により実施されました。