

MIMO通信方式に基づく変動検出電波センサ

山田 寛喜

1. はじめに

近年、局所的豪雨による土砂災害による被害が毎年のように報告されており、その対策として、監視システムおよび早期の警報の発令が重要となってきた。土砂崩れや崖崩れの恐れのある場所では、現在、直接的な監視方法として、その場所へ、変動検出センサを設置する方法がとられることが多い。しかしながら、そのようなシステムでは、設置場所のみの点での観測となる。広域監視としては、カメラ（映像）が用いられるが、原則、目視による判断が必要となる点が問題といえる。それに対して、近年、広域監視が可能な地上設置型の合成開口レーダを用いた観測が注目されている。地上設置レーダの場合、送受のアンテナを空間的に走査し、大きな開口を実現する、あるいは、走査することと等価なアレーアンテナを実装し、高分解能性を実現するのが一般的である。

微小な変動の検出も可能とする観測を実現するには、機械的操作ではなく、電気的なアプローチであるアレーアンテナが望ましい。多素子化に伴うアレーアンテナのコスト増に対する解決策として、送受信アンテナを多素子化したMIMO（Multiple Input Multiple Output）通信方式のレーダへの利用が注目されている。これにより、通常のアレーアンテナによるレーダでは、実現できない高分解能特性の実現が可能となる¹⁾。本研究では、そのような性質に着目し、地上設置型MIMOレーダを用いた変動監視システムに関する検討を進めている。MIMOレーダにおいては、異なる場所に設置された送信アンテナから発信した電波の反射波を複数のアンテナ（アレーアンテナ）により観測することとなる。すなわち、送信（空間）ダイバーシチ効果も期待されるため、通常レーダに比べ飛躍的に検出性能が改善することが期待できる。今年度の研究では、その基礎検討として、変動検出性能の理論的・定量的な評価方法を明らかにした。

2. MIMOセンサシステムの変動検出性能

MIMOレーダでは、レーダであるため、すなわち、距離により監視ターゲット（たとえば崖）を分離することにより、非監視対象の変動分離が可能であるため、様々な物体が存在する環境下における適用が可能となる。しかしながら、本年度の検討では、簡単のため単一周波数の波を送信しているMIMOレーダを考えている。すなわち、距離分解能を有していない電波センサである。この場合、個々のターゲットの分離は不可能であるが、周波数利用効率の観点・面的な観測という目的に適した動作設定といえる。

MIMOセンサでは、まず変動がない状態のMIMOチャンネル行列を観測・保存し、その後の観測で得られたチャンネル行列との相関値により変動を検出する。理想的（変動なし）な場合、相関は1である。図1が、送信2素子、受信4素子のMIMOシステムにおける変動がない場合（w/o change）およびある場合（w/change）のチャンネル相関値の確率密度関数（PDF）である。ここではSNRが15dBとして評価した。雑

音が存在するため、変動がない場合においても必ずしも相関値は1とはならないが、ほぼ1に漸近した値をとることがわかる。同図には、変動がある場合として、元信号に対して-20dBの電力変動を加えた結果も示した。このように、非常にわずかな変動に関して、相関値は大きく変化することがわかる。この図に示した“Theory”が今回導出した理論式から得られたものであり、Simulation値はいくつかの電波伝搬特性を仮定した計算機シミュレーション結果である。両者はほぼ一致しており、導出された理論式の妥当性は明らかである。さらに、その妥当性を実験により検証した結果が図2である。この実験は、大学講義室において、無人時と有人（1名存在）時のMIMOチャネル行列の測定値を用いたものである。実験結果はSNRが15dBの理論曲線とほぼ一致しており、理論式の妥当性が示された²⁾。

3. まとめ

この研究によりMIMOセンサ、MIMOレーダにおけるチャネル変動検出理論の定量的な評価が可能となった。これらを用いることにより災害監視・防災用レーダの設計、検出特性の評価が容易となる。今後は、システムをMIMOレーダに発展させ、アプリケーションに適した周波数、アンテナ配置の検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 山田寛喜, “マルチアンテナのレーダ技術への応用 (MIMOレーダ),” URSI-C委員会 第22期 第4回公開研究会, 小樽, 2012年9月21日.
- 2) H. Yamada, et al., “Statistical Property of MIMO Sensors for Security Sensors,” Proc. of Korea-Japan Workshop on Antenna and Propagation Symposium, Gwangju, Korea, Jan. 2013.

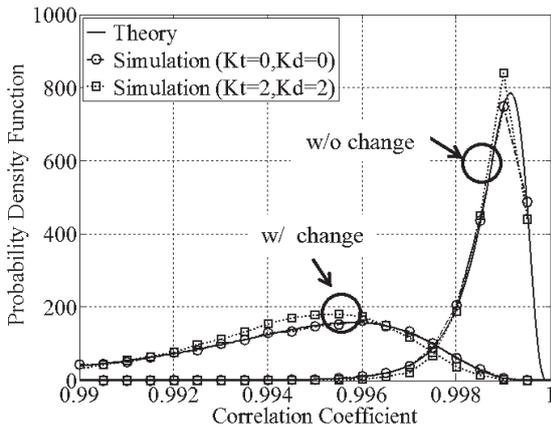


図1 MIMOチャネル相関の確率密度関数 (シミュレーション結果)

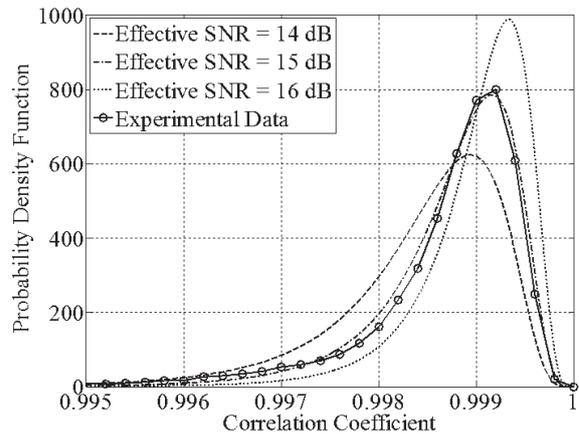


図2 MIMOチャネル相関の確率密度関数 (実験結果)