

時変動屋内 MIMO 伝搬路のドップラスペクトル解析

Doppler Spectrum Analysis of Time-Varying Indoor MIMO Channel

水谷 慶 阪口 啓 高田 潤一 荒木 純道
Kei Mizutani Kei Sakaguchi Jun-ichi Takada Kiyomichi Araki

東京工業大学 理工学研究科
Graduate School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

受信側だけでなく送信側においても伝搬路情報を使用するクローズドループ型の MIMO 通信システムは、伝搬路の時変動によりその伝送特性が大きく劣化する [1]。よって、環境の変動速度がシステム設計の一つの要素となる。本稿では、時変動屋内 MIMO 伝搬路における伝搬測定データを用いてドップラスペクトル解析を行い、文献 [2] の釣鐘形と比較して環境の変動速度を推測する。

2 屋内伝搬路のドップラスペクトル

屋内無線 LAN システムのように、端末の位置が固定され、その周辺で人が動きまわるような環境において、ドップラスペクトル $S(f)$ は、搬送波周波数 f_c 、光の速度 c 、環境の変動速度 v_0 を用いて

$$S(f) = \frac{1}{1 + A \left(\frac{f}{f_d}\right)^2} = \frac{1}{1 + 9 \left(\frac{f}{f_c v_0}\right)^2} \quad (1)$$

のようにモデル化できる [2]。一方、伝搬路のドップラスペクトルは、測定した MIMO 応答行列の自己相関係数

$$\rho(\tau) = \frac{1}{m_r m_t m_f} \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{m_t} \sum_{k=1}^{m_f} \frac{\sum_{n=1}^N h_{ijkn}(0) h_{ijkn}^*(\tau)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N |h_{ijkn}(0)|^2 \sum_{n=1}^N |h_{ijkn}(\tau)|^2}} \quad (2)$$

をフーリエ変換して求められる。ここで i, j, k, n は、それぞれ受信アンテナ (m_r 本)、送信アンテナ (m_t 本)、サブキャリア (m_f 本、IEEE802.11a 準拠 OFDM)、時間サンプル (N 個) のインデックス、 $h_{ijkn}(0)$ と $h_{ijkn}(\tau)$ は、時間 τ だけ離れた 2 つの周波数応答 (MIMO 応答行列の要素) である。

3 測定と解析

測定は、中心周波数 5.06GHz、半波長間隔 4 素子線形アレーンテナを使用して、図 1 のような室内で行った。測定中、人が 10 秒間で室内を 1 周し (約 1m/s)、その間、4ms 間隔で MIMO 応答行列を取得した。図中の一点鎖線およびその上の数字は、歩いた経路とその時刻 $t[s]$ を示している。

本測定のように、送受信アンテナ間 (第 1 フレネルゾーン) の見通しがよく、端末が移動しない環境では、変動成分よりアンテナの配置や部屋の構造で決まる静的成分 (平均値) の寄与が大きいため、高い自己相関 (時間相関) 特性が得られる。図 2 は、測定した MIMO 応答行列 \mathbf{H} とそこから平均値 $\bar{\mathbf{H}}$ を差し引いた変動成分 $\mathbf{H}_{var} = \mathbf{H} - \bar{\mathbf{H}}$ の自己相関係数である。図よりその影響が明らかである。なお、測定データは、 $t=5\sim 9$ の 1000 サンプルを $h_{ijkn}(0)$ として使用した ($m_r=4$,

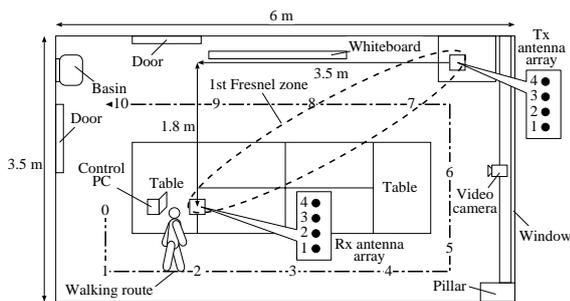


図 1 測定環境

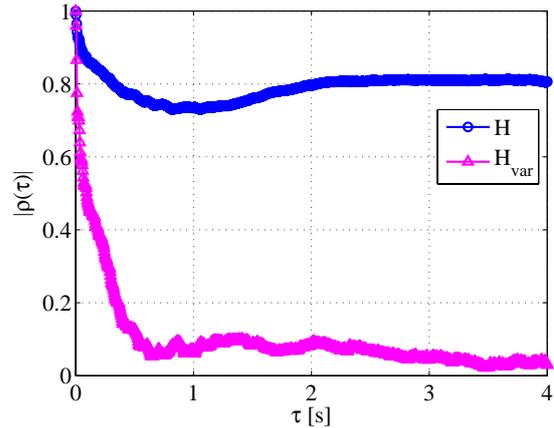


図 2 自己相関係数

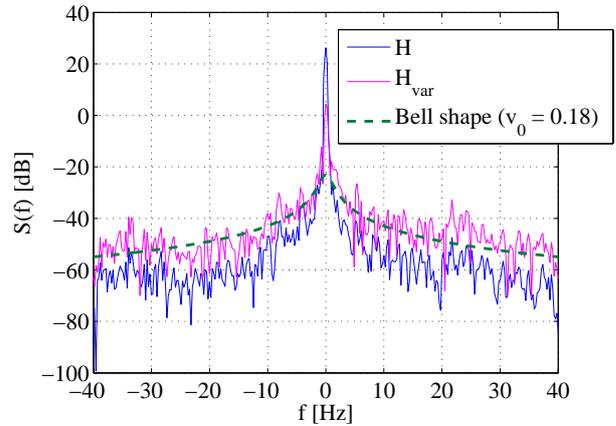


図 3 ドップラスペクトル

$m_t=4, m_f=52, N=1000$)。また、 τ はデータ取得間隔 4ms の整数倍とした。

次に、これらの値を用いて求めたドップラスペクトルを図 3 に示す。縦軸は平均電力で正規化している。DC 成分の大きさは、伝搬路の静的成分 (平均値) に依存する。図 3 中の破線は、最小二乗法で \mathbf{H}_{var} にフィッティングした式 (1) で与えられるドップラスペクトル ($v_0=0.18$) であり、本測定における環境の変動速度は約 0.18m/s と推測される。

4 今後の課題

本解析では、人が送受の見通し間を通過するか否かなどのダイナミックな統計解析を行わないで、MIMO 伝搬路の平均的な変動特性を求めたが、今後は、見通しによる影響やアンテナ間の特性などを検討する予定である。

参考文献

[1] 水谷, 阪口, 高田, 荒木, “屋内 MIMO 伝搬路の時間変動特性解析,” 信学技報, AP2005-118, Dec. 2005.
[2] V. Erceg, et al., “TGn Channel Models,” doc.: IEEE 802.11-03/940r4, May 2004.