

MIMO チャネル容量における素子間相互結合の影響について

B-1-224

Effects of mutual coupling effect for MIMO channel capacity

井浦 裕貴¹
Hiroki Iura

山田 寛喜¹
Hiroyoshi Yamada

小川 恭孝²
Yasutaka Ogawa

山口 芳雄¹
Yoshio Yamaguchi

¹:新潟大学 工学部
Faculty of Engineering, Niigata University

²:北海道大学 大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Hokkaido University

1 まえがき

近年、複数の送受信アンテナによる MIMO チャネル通信が注目を集めている [1]. 実際のシステムの小型化を考えるとアンテナ素子間隔を狭めることが不可欠であるが、素子間隔が狭くなると素子間相互結合、空間相関がチャネル容量に影響する [2,3]. 本稿ではモーメント法により計算した素子間相互結合行列 [4] を用いて、素子間隔変化に伴う空間相関、素子間相互結合の変化、それらの有無による MIMO チャネル容量の変化についてシミュレーションによって検討する.

2 チャネル応答行列とチャネル容量

MIMO チャネル通信が有効であるレイリーフェージング環境では、素子間隔の変化は空間相関、素子間相互結合の変化を生じさせる. 本稿の解析では、送信は理想的 (送信の空間相関、素子間相互結合無し) とする. このとき、チャネル応答は

$$\mathbf{H}_{total} = \mathbf{C}_a \mathbf{C}_s \mathbf{H}_{iid} \quad (1)$$

となる. \mathbf{C}_a は素子間相互結合行列, \mathbf{C}_s は空間相関行列, \mathbf{H}_{iid} は i.i.d チャネル応答行列を表す. 送受信でチャネル応答は既知とする, チャネル容量は SVD により得られた各固有パス λ_i により次式で与えられる (4×4 システムを想定).

$$C = \sum_{i=1}^4 \log_2(1 + \lambda_i \text{SINR}) \quad (2)$$

3 シミュレーション結果

シミュレーションでは、送信側の空間相関・素子間相互結合は無いものとし、受信側のみの変化を評価した. 4×4 の MIMO システムを想定し、受信は 50Ω で終端された 4 素子ダイポールアレー (素子長=0.464λ, ワイヤ半径= 0.004λ) とした. 空間相関は受信アレーを中心とする円周上に 20 個の散乱点がランダムに存在するレイリーフェージング環境を模擬し、各受信点での信号の相関により与えた. 素子間相互結合は文献 [4] に基づきモーメント法 (NEC2) によって求めた.

シミュレーションでは、各々の影響の効果を調べるため、空間相関と素子間相互結合双方が存在する場合 (w. spatial+coupling), 空間相関の影響のみが存在し i.i.d 伝搬の場合 (w. spatial only), 素子間相互結合のみを考慮し i.i.d 伝搬 (w. coupling only) の 3 つに関して評価した. 素子間隔を変化させた際のチャネル容量の変化を図 1 に示す. 同図より素子間隔が 0.5λ 以上では、いずれも理想的な容量が得られているが、近接するに従い劣化が生じている. 空間相関のみが存在する場合では、素子間隔減少に伴い大きな容量低下 [3] となる. 非現実的ではあるが素子間相互結合のみが存在 (w. coupling only) し i.i.d 伝搬の場合では、相互結合のための容量低下が認められる. 実際には、空間相関、素子間相互結合双方が存在する. その結果が図 1 の "w. spatial+coupling" である. 空間相関のみの場合に比べ、容量が改善されていることが分かる. これは、素子間相互結合により素子パターンが変化 [2] し、各ブランチ間の実効相関が低下したため

である. 式 (1) の $\mathbf{C}_a \mathbf{C}_s$ の部分を用いて評価した各ブランチ間の実効相関の計算例を図 2, 図 3 に示す. 図 2 より 0.2λ 付近では、空間相関のみの場合に比べ、素子間相互結合による相関抑圧効果が現れている. また、図 3 から分かるようにブランチの組み合わせにより変化の様子は異なる. 他のブランチ間の相関の変化も含めると、全体としては素子間相互結合が空間相関抑圧に寄与し図 1 の結果となったものと考えられる.

4 むすび

本稿では、素子間隔が及ぼす MIMO チャネル容量に与える影響を空間相関と素子間相互結合の観点から検証した. この MIMO 受信モデルにおいては、素子間相互結合は特性改善に働くことを確認した.

参考文献

- [1] 唐沢, 信学論 B, vol.J86-B, no.9, pp.1706-1720, 2003 年 9 月. [2] V.Jungnickel, et. al., IEEE Commun. Lett., vol.7, no.8, pp.361-363, Aug.2003. [3] チュア, 阪口ほか, 信学技報, vol.AP2003-211, pp.13-18, 2003 年 11 月. [4] H.T.Hui, IEEE Trans. Microwave and Wireless Components Lett., vol.12, no.5, pp.178-180, May 2002.

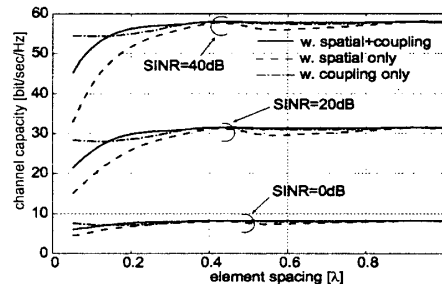


図 1 素子間隔によるチャネル容量の変化

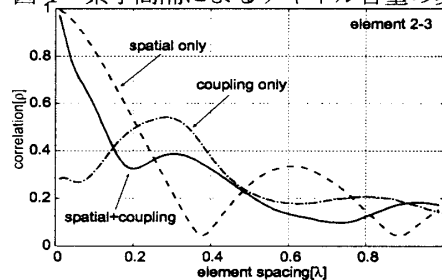


図 2 ブランチ 2-3 間の実効相関係数の変化

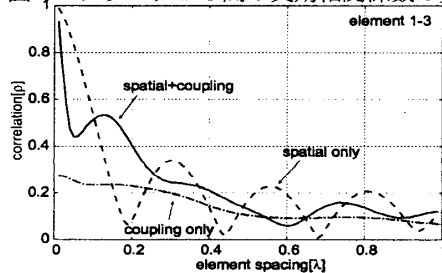


図 3 ブランチ 1-3 間の実効相関係数の変化