

# 任意の多重波到来角分布のフェージング波を発生するフェージングシミュレータ A Fading Simulator for Generation of Multipath Fading with Arbitrary Arrival Angles

大國英徳  
Hidenori Okumi

佐尾智基  
Tomoki Sao

工藤栄亮  
Eisuke Kudoh

安達文幸  
Fumiyuki Adachi

東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻  
Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

## 1. まえがき

最近、アンテナダイバーシチ受信、適応アンテナアレーや MIMO などのマルチアンテナシステムが注目を集めている。マルチアンテナシステムを用いるときのデジタル伝送特性は、各アンテナ素子の指向性ばかりでなく、多重波を構成する素波の到来角分布、強度分布やドップラシフト分布に大きく依存する。本論文では、これらを考慮した多重波の表現式に基づいてフェージング環境を忠実に DSP でシミュレートするフェージングシミュレータについて述べている。

## 2. フェージングモデル

簡単のためアンテナ数を 2 とする。第  $i$  ( $=0, 1$ ) アンテナで観測されるフェージングの複素包絡線  $z_i(t)$  は、第  $n$  素波の複素包絡線を  $\xi_{i,n}(t)$  とすると、 $z_i(t) = \sum_{n=1}^N \xi_{i,n}(t)$  で表せる [1]。アンテナ間隔を  $l$ 、第  $n$  素波の到来角およびドップラシフトをそれぞれ  $\alpha + \theta_n$  および  $f_{d,n}$  ( $\leq f_D$ ;  $f_D$  は最大ドップラシフト周波数)、搬送波波長を  $\lambda$  とすると、 $\xi_{i,n}(t)$  は次式のように表せる。

$$\xi_{i,n}(t) = A_n \exp j[2\pi[f_{d,n}t + (2i-1)(l/2\lambda) \cos(\alpha + \theta_n)] + \psi_n] \quad (1)$$

ここで、 $A_n$  および  $\psi_n$  はそれぞれ素波の振幅と位相、 $\alpha$  は到来角の中心である。

## 3. フェージング相関特性と誤り率

送信局から半径  $r$  の円内に散らばる多数の散乱物により電波が反射されて多重波が生成されるというモデルを用いた。フェージングシミュレータでは、DSP を用いて式(1)の演算を忠実に実行して搬送波周波数 240MHz のフェージング波を発生させた。送受信局間の距離  $L=1000\text{m}$ 、 $r=10\text{m} \sim 300\text{m}$  として 32 個の散乱物の配置をランダムに発生させ、様々な到来角広がり  $\sigma$  を持つ多重波を発生させた ( $\sigma=0.287 \sim 2.87^\circ$ )。アンテナ間隔  $l$  の関数としてプロットした  $\rho$  の測定結果を図 1 に示す。到来角の中心を  $\alpha=60^\circ$  とした。2 アンテナ間のフェージング振幅相関  $\rho$  の理論値は次式で与えられる [1], [2]。

$$\rho = \exp[-(2\pi\sigma \sin(\alpha)/\lambda)^2] \text{ if } \sigma \ll 360^\circ, J_0^2(2\pi l/\lambda) \text{ if } \sigma = 360^\circ \quad (2)$$

ここで、 $J_0(\cdot)$  は第 1 種 0 次ベッセル関数である。なお、 $\sigma=360^\circ$  は多重波が全ての方角から一様に到来する Jakes モデルを表す。測定結果と理論値はよく一致している。また、アンテナ間隔  $l=5$  における最大比合成(MRC)ダイバーシチ受信時の同期検波 BPSK の平均 BER 特性を図 2 および図 3 に示す。到来角広がり  $\sigma$  または到来角  $\alpha$  が小さくなるとフェージング相関が強くなるので、ダイバーシチ受信効果も減少してしまうことがよく分かる。このように、マルチアンテナシステムでは素波のふるまいの影響を強く受けることが分かる。なお、 $\sigma=360^\circ$  のときの平均 BER の測定値と平均 BER の理論カーブ ( $\rho=0$ ) とにずれは、同期検波のためのパイロットに挿入損によるものである。

## 4. むすび

アンテナダイバーシチ受信だけでなく適応アンテナアレーや MIMO アンテナシステムの性能評価に利用可能なフェージングシミュレータについて述べた。

### 参考文献

[1] 奥村, 進士: 移動通信の基礎, 信学会, 1986 年. [2] F. Adachi, et al., IEE Proc., 133, Pt. F, 6, pp.506-516, Oct. 1986.

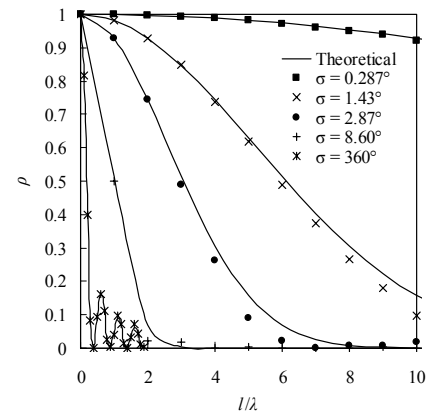


図 1 フェージング相関  $\alpha=60^\circ$

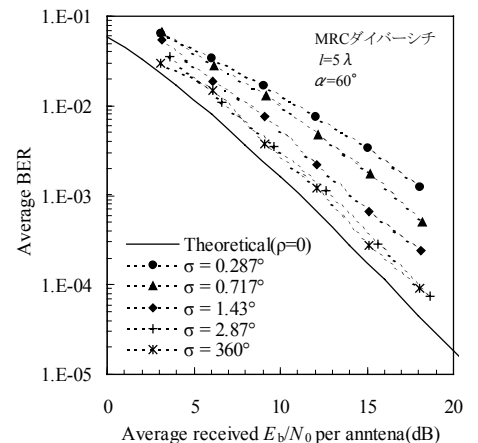


図 2 到来角広がりの影響

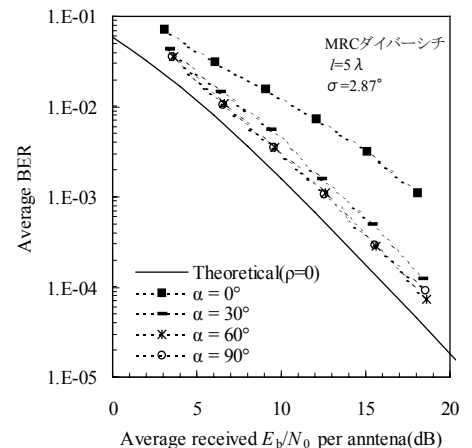


図 3 到来角の影響