

Preliminary Results on 3D Channel Modeling : From Theory to Standardization

I .Introduction

Introduction

■ チャネルモデル

- 伝送技術の性能評価における基本ステップ
- チャネル分析は簡単でないため、モデリングに対し多くの取り組み

■ 理論研究におけるチャネルモデルの過程

□ 初期

- Large Scale Fading (LSF) がメイン
- Small Scale Fading (SSF) はドップラー効果のみ

□ その後

- 広帯域・マルチアンテナ技術登場
- SSFに信号の多重反射・アンテナ要素間の空間相関を考慮

Introduction

■ 無線標準化におけるチャネルモデル

- チャネルを生成するreferenceチャネルモデルの開発に関心
- 企業にとって重要
 - (他企業と?) 同じチャネル条件に合わせて調整可
 - 本物のようなチャネルでの性能評価を実現

■ 無線標準化の過程・歴史

- GSM (Global System for Mobile Communications)
 - 第二世代方式の1つ
 - COST 207により標準化
- 無線チャネルの空間構造を考慮したモデル
 - COST 259により標準化
 - MIMOチャネルモデルへの重要なステップ

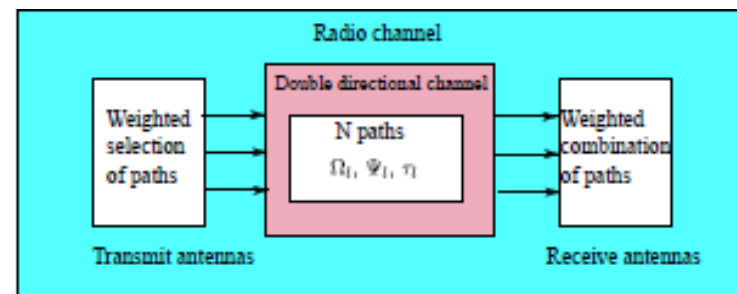


Fig.2 無線チャネル

Introduction

- チャネルモデルの性能向上
 - 既存は方位角面での伝搬のみ想定
 - 仰角方向におけるチャネルの自由度を活用
- 3Dビームフォーミング・Full Dimension MIMO (FDMIMO)
 - 仰角方向も考慮したアンテナパターンを適用
 - 信号強度の向上
 - 他ユーザーへの干渉の減少
 - 屋内・屋外環境でより有益なパスを見つけやすく

Introduction – この論文の貢献について –

- チャンネルモデリングに関する調査・研究
 - [13] : 伝搬とLSF・SSFに関する結果(マルチアンテナモデリング無)
 - [14] : チャンネルモデリングの包括的情報を提供
 - [15] : パラメータ化・検証結果を含む伝搬モデリングの概要
 - [16] : MIMOチャンネル伝搬モデルと最新の信号処理技術

- この論文では
 - 3Dビームフォーミング
 - FD-MIMO

} 2事項に関する3GPPの活動を明らかに

- 論文の構成
 - Section II : 時変SISO・MIMOチャンネルの数学的モデリング
 - Section III : 標準化チャンネルモデルの概要
 - Section IV : 3GPPで進行中の研究

II . Channel Models : from SISO to MIMO Channel Models

Channel Models : from SISO to MIMO Channel Models

- 既存チャネルモデルで考慮されているLarge Scale効果
 - Path Loss
 - 電磁波の伝搬による電力の平均的な減衰
 - 距離・キャリア周波数と共に指数関数的に増加
 - 測定によりパラメータを決定
 - Large scale fading(shadowing)
 - 障害物によって引き起こされるシャドーイングによる電力の平均的な減衰
 - 対数正規分布としてモデル化
- 以降はBSとUE間のダウンリンクチャネルに注目
 - σ_{SF} ・・・シャドーイング
 - PL ・・・パスロス(dB)

A. SISO Channel Model

■ Non-time dispersive channels (非時間分散チャネル)

- 遅延時間で広がりを持たないチャネル
- 放出された波をスケーリングする分布
- 時刻 t で送信の単位インパルス $\delta(\cdot)$ に対する, 時刻 τ でのインパルス応答

$$h(t, \tau) = 10^{-\frac{\sigma_{SF} + PL}{10}} \delta(\tau - \tau_0) \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r}_{UE}(t)) \quad (1)$$

波数ベクトル

UEの位置

$$\|k\| = \frac{2\pi f}{c}$$

- $\vec{r}_{UE}(t) = \vec{v}_0 t + \vec{r}_{UE,0}$ となった場合

$$h(t, \tau) = 10^{-\frac{\sigma_{SF} + PL}{10}} \exp(j\vec{k} \cdot \vec{v}_0 t) \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r}_{UE,0}). \quad (2)$$

- 実効周波数 $f_D = \frac{\vec{k} \cdot \vec{v}_0}{c}$ だけシフト→ドップラー効果

A. SISO Channel Model

- Time dispersive channels (時間分散チャネル)
 - 遅延時間で広がりを持つチャネル
 - インパルス応答はすべてのパスの足し合わせ

$$h(t, \tau) = 10^{-\frac{\sigma_{SF+PL}}{10}} \sum_{l=1}^{N_C} \alpha_l(t, \tau_l) \delta(t - \tau_l). \quad (3)$$

↑
↑
 パス減衰 l番目のパスの遅延時間

- この場合マルチパス伝搬によるSSFが生じる
- 受信側で深刻なフェージングを被る可能性あり
 - 品質向上のため、フェードマージン (追加電力) を提供 [22], [23]

B. MIMO Channel Model

- SISOは遅延時間, 電力, 位相情報を統計
→これだけではMIMOチャネルは表現できない
- MIMOチャネルを表現するために
 - 無線チャネル
 - 伝搬チャネル(アンテナ影響除去) } これを区別すると良い
- 双方向MIMOチャネル (=伝搬チャネル)
 - 送受信機のアンテナ数に依存しない
 - 2偏波考慮の場合, スカラーもしくは 2×2 行列となる
 - 放射・到来方向の情報も考慮

B. MIMO Channel Model

■ 双方向MIMOチャネル

□ 1番目のMPCを表現する双方向インパルス関数

$$h_{\ell}(t, \tau, \Omega, \Psi) = \alpha_{\ell} \delta(\tau - \tau_{\ell}) \delta(\Omega - \Omega_{\ell}) \delta(\Psi - \Psi_{\ell}) \exp(j\vec{k}_{\ell,r} \cdot \vec{r}) \quad (4)$$

送信側角度 $\Omega = (\phi, \theta)$
 受信側角度 $\Psi = (\varphi, \vartheta)$

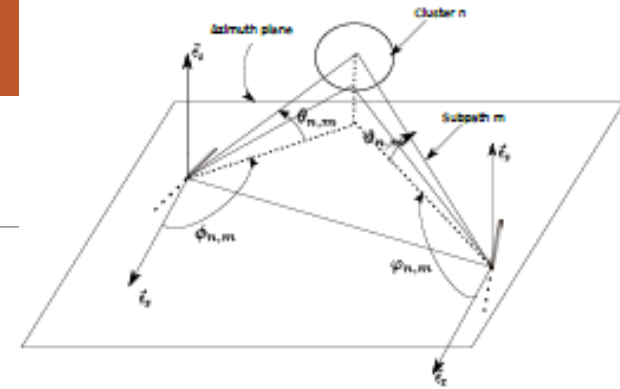


Fig. 5. 3D channel model

□ 双方向インパルス応答

$$h(t, \tau, \Omega, \Psi) = \sum_{l=1}^{N_C} \alpha_{\ell} \delta(\tau - \tau_{\ell}) \delta(\Omega - \Omega_{\ell}) \delta(\Psi - \Psi_{\ell}) \exp(j\vec{k}_l \cdot \vec{r}) \quad (5)$$

偏波考慮 ver⁻ 送信側 受信側

$$\mathbf{h}(t, \tau, \Omega, \Psi) = \begin{bmatrix} h^{VV}(t, \tau, \Omega, \Psi) & h^{VH}(t, \tau, \Omega, \Psi) \\ h^{HV}(t, \tau, \Omega, \Psi) & h^{HH}(t, \tau, \Omega, \Psi) \end{bmatrix} \quad (6)$$

偏波の向きについての図

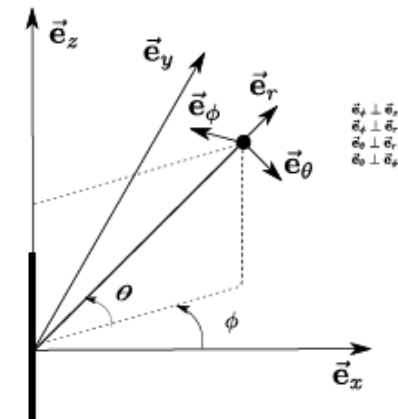


Fig. 1. A vertically polarized antenna element

B. MIMO Channel Model

■ 無線チャネル

- アンテナの効果を組み込んだチャネル
- 送信機・受信機のアンテナ数をそれぞれ $N_T \cdot N_R$ とすると、無線チャネルは $N_R \times N_T$ の行列

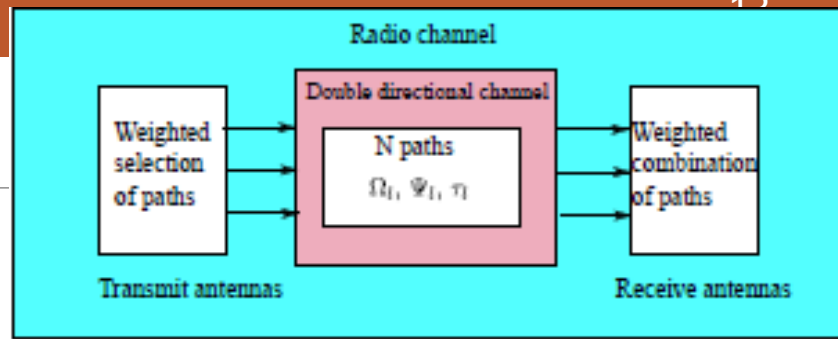


Fig. 2. The radio channel

$$\mathbf{H}(t, \tau) = \int \underbrace{\underline{\mathbf{g}}_r(\Psi)^T}_{\text{アンテナパターン}} h(t, \tau, \Omega, \Psi) \underbrace{\underline{\mathbf{g}}_T(\Omega) \underline{\mathbf{a}}_R(\Psi) (\underline{\mathbf{a}}_T(\Omega))^T}_{\text{アレー応答}} d\Omega d\Psi \quad (7)$$

アンテナパターン
(偏波考慮の場合は 2×1)

アレー応答

双方向MIMOチャネル
 $h(t, \tau, \Omega, \Psi)$ を代入

$$[\underline{\mathbf{a}}_R(\Psi)]_i = \exp(j \underline{\mathbf{k}}_{R, \Psi} \cdot \underline{\mathbf{x}}_{R, i}) \quad (8)$$

$$[\underline{\mathbf{a}}_T(\Omega)]_i = \exp(j \underline{\mathbf{k}}_{T, \Omega} \cdot \underline{\mathbf{x}}_{T, i})$$

位置ベクトル
...グローバルデカルト座標系
($\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$)に基づき計算
(See Fig.1)

$$\mathbf{H}(t, \tau) = \sum_{\ell=1}^{N_C} \delta(\tau - \tau_\ell) \underline{\mathbf{g}}_r(\Psi_\ell)^T \alpha_\ell \underline{\mathbf{g}}_T(\Omega_\ell) \underline{\mathbf{a}}_R(\Psi_\ell) (\underline{\mathbf{a}}_T(\Omega_\ell))^T \quad (10)$$