

広帯域移動伝搬のモデル化に関する研究開発 (033103003)

Radio Propagation Modeling for Wideband Mobile Communications

藤井 輝也 日本テレコム株式会社 研究所
Teruya Fujii, Laboratories, Japan Telecom Co., LTD.

三上 学 表 英毅 太田 喜元 舩井 淳祥 長手 厚史
Manabu Mikami Hideki Omote Yoshichika Ohta Hiroyoshi Masui[†] Atsushi Nagate
日本テレコム株式会社 研究所
Laboratories, Japan Telecom Co., LTD.

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

ユビキタスネットワークにおける高速無線アクセスを実現するための周波数帯として、マイクロ波帯が有望視されている。しかし、移動通信としてのマイクロ波帯は未開拓であり、高速無線伝送方式やセル構成等の「無線アクセス技術」、「周波数有効利用技術」等を開発するために必要な「マイクロ波帯電波伝搬モデル」は皆無である。我が国がユビキタスネットワークを世界に先駆けて標準化するためには、先ずマイクロ波帯の開拓が必要となる。本研究開発は、マイクロ波帯における電波伝搬測定に基づいて、「伝搬損失モデル」、「伝搬変動モデル（時空間パスモデル）」の開発を世界に先駆けて行い、「無線アクセス技術」等の国際標準化を先導すると共に「マイクロ波帯電波伝搬モデル」の国際標準化を目指す。

Abstract

Microwave-band is a promising candidate frequency band to realize high-speed wireless access systems for ubiquitous networks. Unfortunately, the characteristics of microwave propagation for mobile communication are not clarified enough up to now, and there are not any propagation models in microwave-band necessary for developing wireless access systems with higher frequency utilization technology. In this research, we develop ahead of the world both the path loss model and the fading model (time-spatial path model) in microwave-band based on measurement results. Moreover we promote to standard the developed propagation models internationally.

1. まえがき

移動通信システムを効率よく実現するためには、利用する周波数帯における電波伝搬特性の解明が不可欠である。

本研究開発では、移動通信として未開発であるマイクロ波帯の電波伝搬測定を行い、マイクロ波帯における伝搬損失モデル及び時空間変動モデル（以下、時空間パスモデル）を確立する。そして、確立したモデルの国際標準化を目指す。

2. 研究内容及び成果

2.1 マイクロ波帯における電波伝搬モデルの確立

マイクロ波帯において広帯域の移動通信システムを構築するためには、マイクロ波帯の (a) 伝搬損失特性、(b) 伝搬遅延特性、(c) 電波到来角度特性 の各モデルを確立する必要がある。そこで、マイクロ波帯域として、3.35GHz 帯、5.2GHz 帯、5.77GHz 帯、8.45GHz 帯での測定系を構築し、都内の市街地および郊外地において測定を行った。

(a) 伝搬損失モデルの確立

電波の伝搬損失特性はアンテナ高や周波数といった基本的なパラメータのみでなく、道路の広狭や建物の高低など都市構造に大きく依存する。高精度な伝搬損失推定を行うためには都市構造を十分に考慮する必要がある。先ず測定結果を基に周波数特性について解析した。その結果、マイクロ波帯の周波数特性はおおよそ $20 \log f$ (f : 周波数) で近似できることがわかった。そこで、UHF 帯からマイクロ波帯の周波数に適用できるように拡張した伝搬損失推定式 (拡張坂上式) を開発した。開発した伝搬損失推定式 $L(d)$ を次式に示す。

$$L(d) = 101 - 7.1 \log W + 7.51 \log \langle H \rangle - \left\{ 24.37 - 3.7 \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^2 \right\} \cdot \log h_b + (43.42 - 3.1 \log h_b) \log d - \left[3.2 \left\{ \log (11.75 h_m) \right\}^2 - 4.97 \right] + 20 \log f \quad (1)$$

ここで、 W は道路幅[m]、 $\langle H \rangle$ は平均建物高[m]、 h_b は基地局アンテナ高[m]、 d は基地局と移動局間距離[km]、 f は周波数[MHz]、 h_m は移動局アンテナ高[m]である。

(b) 伝搬遅延プロファイルモデルの確立

伝搬遅延プロファイル特性は送受信間距離や基地局高などの基本的なパラメータのみならず、都市構造によって大きく変化する。そこで準マイクロ波帯からマイクロ波帯の測定結果をもとに、都市構造及び伝送帯域幅を考慮できる伝搬遅延プロファイルモデルを新たに開発した。開発した伝搬遅延プロファイル推定式 $E(k, d)$ を次式に示す。

$$E(k, d) = - \left\{ 19.1 + 9.68 \log \left(h_b / \langle H \rangle \right) \right\} \times B^{\{-0.36 + 0.12 \log (h_b / \langle H \rangle)\}} \times d^{\{-0.38 + 0.21 \log (B)\}} \cdot \log(k) \quad (2)$$

但し、 $E(k, d)$ は先頭パス ($k=1$) が 0dB となるように規格化した伝搬遅延プロファイルである。ここで、 B は伝送帯域幅[MHz]、 k はパス番号（時間分解能 $1/B$ により正規化した遅延時間）である。

(c) 電波到来角度プロファイルモデル

電波到来角度プロファイル特性も送受信間距離や基地局高などの基本的なパラメータのみならず、都市構造に大きく依存する。そこで市街地および郊外地で測定を行い、

都市構造を考慮できるマイクロ波帯の電波到来角度プロファイルモデルを新たに開発した。開発した電波到来角度プロファイル推定式を次式に示す。

$$P_a(\theta) = (a + |\theta|)^{-\beta}$$

$$a = -0.2d + 2.1 \left\{ \left(\frac{\langle H \rangle}{h_b} \right)^{0.23} \right\} \quad (3)$$

$$\beta = (-0.015 \langle H \rangle + 0.63)d - 0.16 + 0.76 \log(h_b)$$

(d) 時空間パスモデル

時空間信号処理を用いた無線伝送技術の評価を精度良く行うためには、電波の伝搬遅延時間（時間）と到来角度（空間）を同時に説明出来るパスモデルが必要不可欠である。そこで、移動局周辺の建物透過に伴う電波伝搬減衰量に着目し、異なる伝搬減衰特性を有する複数(n)の散乱体モデルで構成する新たな時空間パスモデルを開発した。今、基地局を原点(0, 0)、移動局を(D , 0)、基地局での電波の到来角を θ 、電波の伝搬距離を l とおくと散乱体を考慮した時空間パスモデルの同時確率密度関数 $p(\theta, l)$ は次式で表せる。

$$p(\theta, l) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \frac{(l^2 - D^2)(l^2 + D^2 - 2lD \cos \theta)}{8\pi k_{xi} k_{yi} \{1 - (R+1)\exp(-R)\} (l - D \cos \theta)^3}$$

$$\times \exp \left[-\sqrt{\frac{1}{k_{xi}^2} \left\{ \frac{2lD - (l^2 + D^2) \cos \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2 + \frac{1}{k_{yi}^2} \left\{ \frac{(l^2 - D^2) \sin \theta}{2(l - D \cos \theta)} \right\}^2} \right]$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1 \quad (4)$$

ここで、 γ_i, k_{xi}, k_{yi} は i 番目の散乱体の相対電力、道路の「縦コース(x 方向)」及び「横コース(y 方向)」の減衰定数をそれぞれ表している。 γ_i, k_{xi}, k_{yi} を最適化することで市街地の測定結果を非常に良く説明できることを確認した。

2.2 セルラ対応エリア推定システムの開発

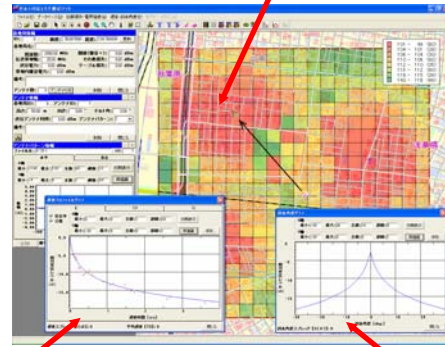
本研究で開発した式(1)の伝搬損失モデル、式(2)の伝搬遅延モデル、式(3)の電波到来角度モデルをもとに、伝搬損失、伝搬遅延プロファイル、電波到来角度プロファイルを簡易に推定できるセルラ対応伝搬推定システムを開発した。ただし、都市構造パラメータは市販の電子住宅地図から抽出している。図1に推定結果の一例（表示結果）を示す。本システムを用いることにより、マイクロ波帯の伝搬損失、伝搬遅延プロファイル、伝搬遅延スペクトル、電波到来角度プロファイル、電波到来角度スペクトルを精度良く高速に推定できる。本システムは、都市構造を考慮して上記伝搬パラメータを同時に推定できる世界初のシステムと考えられる。

3. むすび

本研究開発では、マイクロ波帯の広帯域伝送方式の開発に不可欠な伝搬損失、伝搬遅延及び電波到来角度等の伝搬諸元を全て極めて簡易な数式モデル(式(1)～(4))で実現した。

また、国際標準化に関しては、ITU-R SG3 において(b)の伝搬遅延モデルの標準化活動を行っている。(c)の電波到来角度モデル、(d)の時空間パスモデルに関してもITU-R SG3 対応国内委員会の判断を受けて、国際標準化を目指したい。最後に、上記活動はあくまでも予定であり、予算等の都合により実施できない場合もある。終了後も標準化活動を継続するためのご支援(主として、標準化への参加費用負担等)をお願いしたい。

式(1)を基に算出した受信電力推定値（色表示）



式(2)による伝搬遅延プロファイル推定値

式(3)による電波到来角度プロファイル推定値

図1 セルラ対応エリア推定システム
(伝搬損失、伝搬遅延、電波到来角度推定)

【国際標準提案リスト】

- [1] ITU-R SG3, Doc.3K/48, Japan, "PRELIMINARY DRAFT NEW RECOMMENDATION: The prediction of delay profile for broadband land mobile services using the UHF and SHF bands," ITU-R Doc. 3K/TEMP/19 (2004.10.22).
- [2] ITU-R SG3, Doc.3K/81, Japan, "Support document for new predicting the delay profile for broadband land mobile services using the UHF and SHF bands (1)," ITU-R Doc. 3K/TEMP/43 (2005.10.3).
- [3] ITU-R SG3, Doc.3K/82, Japan, "Support document for new predicting the delay profile for broadband land mobile services using the UHF and SHF bands (2)," ITU-R Doc. 3K/TEMP/43 (2005.10.3).

【参加国際標準会議リスト】

- [1] ITU-R SG3 WP3J, 3K, スイス、ジュネーブ、2004年10月18日～29日。
- [2] ITU-R SG3 WP3J, 3K, アメリカ、クリーブランド、2005年9月28日～10月7日。

【誌上発表リスト】

- [1] T. Fujii, "Delay profile modeling for wideband mobile propagation," Proc. VTC2004-Fall, vol.1, pp.38-42, Los Angeles, California, USA (2004.9.27).
- [2] T. Fujii and H. Omote, "Time-spatial path modeling with multi-scattering attenuation factors for wideband mobile propagation," Proc. IEEE VTC2006-Spring, Melbourne, Australia (2006.5.8).
- [3] 表 英毅, 太田喜元, 三上 学, 藤井輝也, "広帯域移動体通信におけるパス到来角度プロファイルモデル," 信学技報, AP2005-184, (2006.3.1).

【受賞リスト】

- [1] 舩井 淳祥, 電子情報通信学会 平成15年度学術奨励賞, 2004年3月23日。
- [2] 表 英毅, 電子情報通信学会 平成17年度学術奨励賞, 2006年3月25日。

【報道発表リスト】

- "日本テレコム、次世代移動体通信システム向けの5GHz帯実験用無線局免許を取得", 日本テレコム報道発表, 2004年10月25日。