

レイトレーシング法を用いた市街地道路上における UHF 帯電波伝搬解析

青山 良輔 今井 卓 田口 健治 柏 達也

北見工大 〒090-8507 北海道北見市

E-mail: now_i@mail.kitami-it.ac.jp

あらまし 市街地道路上における見通し外マルチパス環境では、移動体端末における受信信号振幅の確率過程にレイリー分布が仮定される事が多い。また、見通し内伝搬となる場合は仲上・ライス分布が用いられる場合もある。しかしながら、実際の市街地道路上において各到来波が上記仮定に従うかは不明な部分が多い。一方、近年、地上デジタル放送などの UHF 帯を用いた通信において、自動車などに設置された移動体端末における受信特性の把握が重要となっている。本研究では、レイトレーシング法を用いて市街地道路上における UHF 帯電波伝搬特性解析を行う。

キーワード 電波伝搬, UHF 帯, 市街地道路, 自動車, 地上デジタル放送

Analysis of Wave Propagation on Urban Street for UHF Band Using Ray Tracing Method

Ryosuke AOYAMA Suguru IMAI Kenji TAGUCHI Tatsuya KASHIWA

Kitami Institute of Technology, Kitami, Hokkaido, Japan

E-mail: now_i@mail.kitami-it.ac.jp

Abstract In non-line-of-sight multipath environments of urban street, it is assumed that a stochastic process of received signal power is given by the Rayleigh distribution. In line-of-sight environments, the Nakagami-Rice distribution can be used. However, it is not clear whether above mentioned assumptions are satisfied in an actual urban street. On the other hand, it is important to know the receiving characteristics of a mobile terminal mounted on a vehicle for the UHF band like the digital terrestrial broadcasting. In this study, radio wave propagation characteristics for the UHF band in urban street are investigated using the ray tracing method.

Keyword Radio wave propagation, UHF band, Urban street, Vehicle, Digital terrestrial broadcasting

1. はじめに

近年、ユビキタス社会の到来により自動車などの移動体端末において地上デジタル放送を受信する場合が増えている。

従来、UHF 帯における電波伝搬特性解析では主に地上アナログ放送及び携帯電話が対象となっていた[1]-[4]。地上アナログ放送では室内における視聴を対象としているため受信アンテナを建物屋上等に固定している事が多い。一方、携帯電話は低アンテナ高基地局及び歩道上における受信を対象としている事が多い。更に、携帯電話と地上デジタル放送とは周波数及び偏波が異なっている。

従って、地上アナログ放送及び携帯電話の電波伝搬特性を道路上における地上デジタル放送の伝搬特性に直接適用する事は必ずしも正確とは限らない可能性がある。

市街地道路上における見通し外マルチパス環境のモデル化では、移動体端末における受信信号振幅の確率過程にレイリー分布が仮定される事が多い。また、見通し内伝搬の場合には仲上・ライス分布が用いられる場合もある[5],[6]。実際の MIMO 測定用エミュレータにおいてレイリーフェージングを実現する場合、各到来波にランダムな位相及び振幅を与え、端末周囲の一樣方向から入力する方法が広く用いられている[7],[8]。しかしながら、実際の市街地道路上において各到来波が上記仮定に従うかは明確でない。

本研究では市街地道路上における地上デジタル放送を対象とした UHF 帯電波伝搬特性について調べる。本稿ではその第一段階として、道路上における電界分布及び到来波伝搬経路について調べる。尚、解析手法としてレイトレーシング法[9]を用いた。

2. レイトレーシング法を用いた市街地 UHF 帯電波伝搬解析

図 1 に市街地における電波伝搬の概略図を示す。市街地では移動体の周囲がビル等に囲まれているため、基地局からの電波はビル壁の反射等により移動体周囲の一樣方向から到来すると考えられる。この時、直接波が到来せず、各到来波がランダムな位相及び振幅を持つと仮定される場合、受信信号振幅 r の確率過程 $p(r)$ はレイリー分布に従う。

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここで σ^2 は平均受信電力を表す。また、レイリー分布に直接波が加わる場合は式(2)に示されるように仲上・ライス分布に従う。

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+v^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rv}{\sigma^2}\right) \quad (2)$$

ここで、 v は直接波の振幅、 σ^2 は直接波以外の平均受信電力、 $I_0(x)$ は 0 次の第一種変形ベッセル関数を表す。

しかしながら、実際の市街地道路上において到来波方向分布及び受信信号振幅等が上記仮定により近似されるのかは明確でない。そこで、レイトレーシング法による市街地道路上における電波伝搬特性解析を行う。

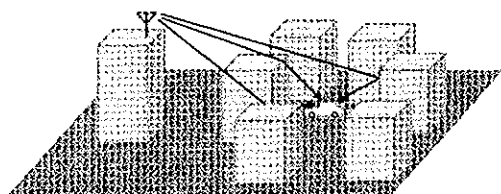


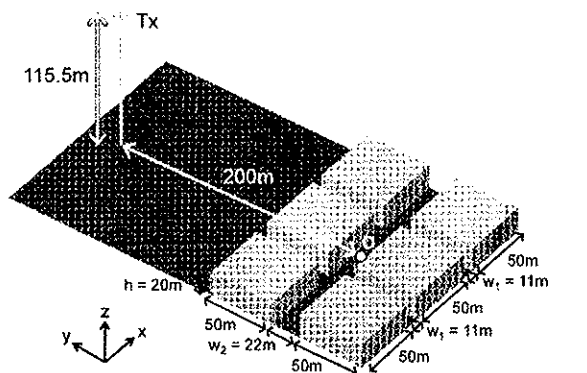
図 1 市街地における電波伝搬

2.1. 市街地交差点モデル

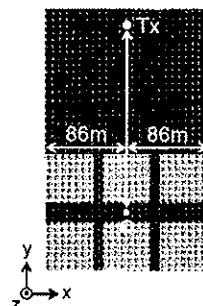
図 2 に本研究で用いた市街地交差点モデルを示す。また、表 1 に交差点パラメータを示す。本解析では、片側 2 車線の主要道路に片側 1 車線の道路が交差していると仮定した。交差点の 1 区画サイズは 50m とし、全ての建物の高さを 20m とした。また、路面の材質は乾燥状態のアスファルト[10]を想定した。ビル壁の材質はコンクリートとし、電気定数は ITU-R における 1GHz の勧告値[11]を用いている。送信点 Tx は片側 2 車線道路の中央を示す O 点から y 軸方向に 200m、高さ 115.5m に設置した。ビル群へは一樣強度の平面波が到来していると仮定した。使用周波数は地上デジタル放送帯域 470~710MHz の中間である 590MHz とし、偏

波は地上デジタル放送において重要となる水平偏波とした。

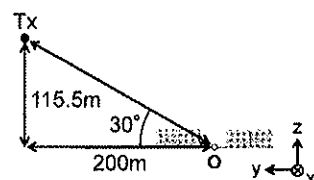
表 2 にレイトレーシング解析におけるパラメータを示す。本解析ではレイローチング法を用いた。尚、レイは解析対象となるビル群の方向のみに放射し、本数は約 17700 万本とした。また、回折点におけるレイ本数は 2000 本とした。最大反射回数及び最大回折回数はそれぞれ 10 回及び 1 回とした。



a) 全体外観図



b) 水平面



c) 垂直面

図 2 市街地交差点

表 1 交差点パラメータ

送信点 Tx	周波数		590 MHz	
	偏波		水平	
道路	道幅	w ₁ (片側 1 車線)	11 m	
		w ₂ (片側 2 車線)	22 m	
	アスファルト (乾燥)		ε _r	4.9
		σ	0.00761 S/m	
ビル	高さ		h	20 m
	コンクリート	ε _r	7.0	
		σ	0.0473 S/m	

表 2 レイトレーシングパラメータ

レイ本数	送信点 Tx	約 17700 万
	回折点	2000
最大反射回数		10
最大回折回数		1

3. 電波伝搬解析結果

本節では図 3 の観測面における電界分布, 観測点 A 及び B における到来波伝搬経路を示す。この時, 受信アンテナは自動車ルーフトップに設置する事を想定し, 観測面の高さを $z = 1.5\text{m}$ とした。

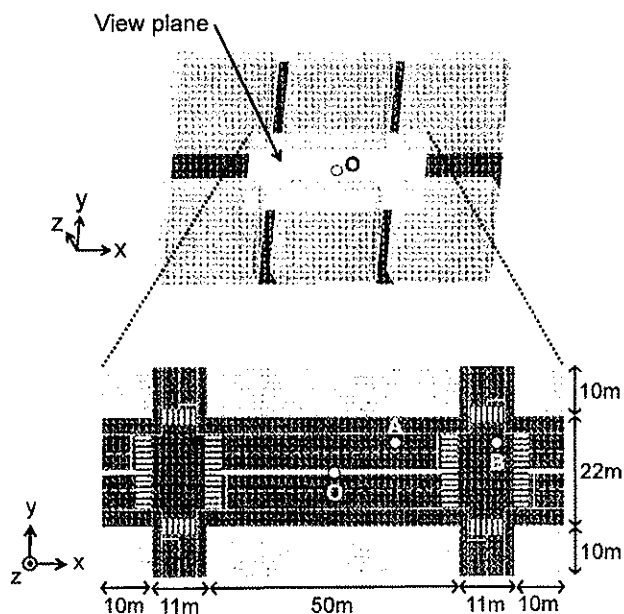


図 3 観測面, $z = 1.5\text{m}$

3.1. 電界分布

図 4 に観測面における水平偏波 (E_x , E_y , $\sqrt{E_x^2 + E_y^2}$) 成分及び垂直偏波 (E_z) 成分の電界分布を示す。尚, 電界値は送信点から 1.5m 離れた点の値を用いて正規化している。

本解析モデルにおいて水平偏波成分は観測面道路上のほぼ全体に分布する事が分かる。これは, 入力偏波が水平偏波のためである。

3.2. 伝搬経路解析

図 5 及び図 6 に観測点 A 及び B における到来波伝搬経路を示す。ここで, 「主要電力を持つ伝搬経路」とは,

各到来波の電力を降順に加算した和が全受信電力の 90% となる経路を示す。図 5 a) 及び図 6 a) の全伝搬経路を見ると観測点周囲の様々な方向から電波が到来している事が分かる。しかしながら, 図 5 b) 及び図 6 b) に示すように主要電力は特定の限られた経路からもたらされる事が示されている。

MIMO 測定用エミュレータでは, 到来方向が一様且つ位相及び振幅がランダムなレイリーフェージングを仮定する事が多い。しかしながら, 本解析モデルでは主要経路が特定方向に限られる事から各到来波の位相及び振幅がランダムにならず, 厳密な意味でのレイリーフェージングとならない可能性があると考えられる

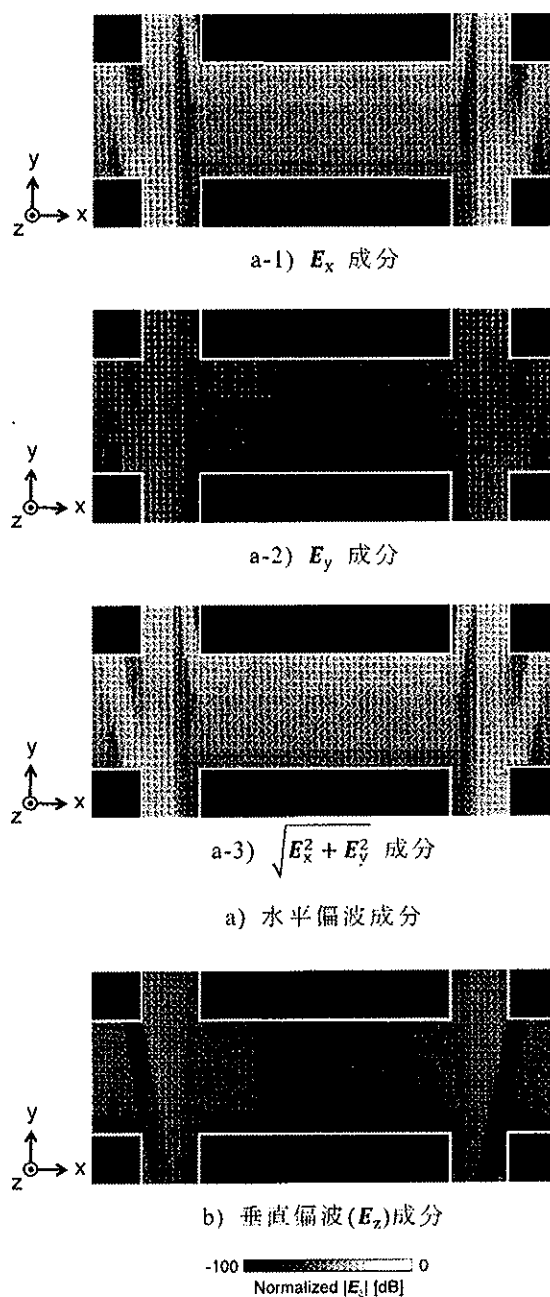
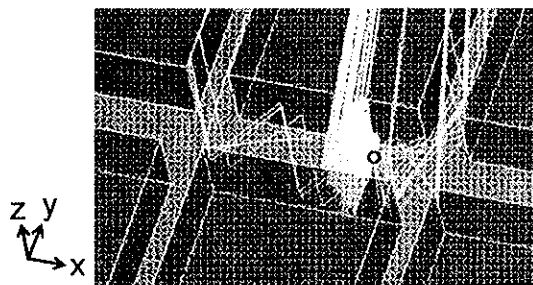


図 4 電界分布図



a) 全伝搬経路

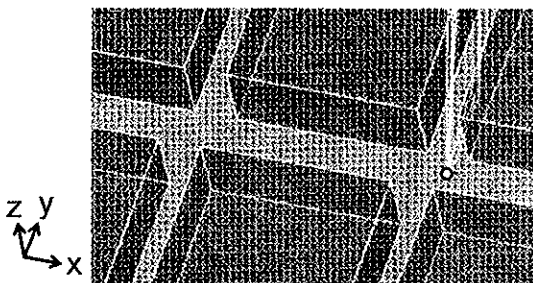


b) 主要電力を持つ伝搬経路

図 5 観測点 A における伝搬経路



a) 全伝搬経路



b) 主要電力を持つ伝搬経路

図 6 観測点 B における伝搬経路

4. むすび

本研究では市街地道路上における水平偏波入力に対する UHF 帯電波伝搬特性について調べた。具体的には市街地道路上における電界分布及び到来波伝搬経路について調べた。尚、解析手法としてレイトレーシング法を用いた。

結果として、本解析モデルにおいて水平偏波成分は道路上のほぼ全体に分布する事が示された。また、観測点 A 及び B における到来波伝搬経路解析では、主要経路が特定方向に限られる事が示された。そのため、市街地道路上においては厳密な意味でレイリーフェージングとならない可能性がある事が示された。

今後は、解析結果から得られる受信信号振幅の確率分布をレイリー分布と比較する予定である。また、送信アンテナ指向性及び送信点位置、道路幅、ビル高さ、ドップラー効果等を考慮した場合の解析を行う予定である。

謝 辞

研究に協力頂いた本研究室の風間孝佑氏及び杉江祐哉氏に謝意を表す。本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会の科学研究費(23560433 及び 22760260)の助成を得たものである。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] 平井正一, "UHF テレビジョン放送の電波伝搬," テレビ誌, vol. 21, no. 10, pp. 683-688, Oct. 1967.
- [2] 小園茂, 印口朗, "市街地の路上に置かれた低基地局アンテナ高による伝搬特性—基地局を置いた路上での特性—," 信学論 B-II, vol. J72-B-II, no. 1, pp. 34-41, Jan. 1989.
- [3] 加地正毅, "遅延プロファイルによる低アンテナ高電波伝搬メカニズムの検討," 信学論 B-II, vol. J80-B-II, no. 7, pp. 578-586, July 1997.
- [4] 藤井輝也, 太田喜元, 表英毅, "移動体通信における屋外見通し環境対応時空間電波伝搬モデル," 信学技報, AP2008-158, pp. 49-54, Jan. 2009.
- [5] C. Chong, F. Watanabe, K. Kitao, T. Imai, H. Inamura, "Evolution trends of wireless MIMO channel modeling towards IMT-Advanced," IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no. 9, pp. 2773-2788, Sept. 2009.
- [6] 篠沢政宏, P. Sahrul, A. Rizwan, 唐沢好男, "任意ドップラースプレッドのマルチパス環境を実現する MIMO 端末特性評価用電波反射箱," 信学論 C, vol. J93-C, no. 12, pp. 612-621, Dec. 2010.
- [7] 岡野由樹, 今井哲朗, "MIMO OTA 測定用空間チャネルエミュレータの構築と精度評価," 信学論 B, vol. J93-B, no. 9, pp. 1267-1275, Sept. 2010.
- [8] 唐沢好男, 中田克弘, "2 ステージ法による簡易型 MIMO-OTA 評価システム構成法の提案," 信学技報, AP2011-81, pp. 25-30, Oct. 2011.
- [9] 今井哲朗, "レイトレーシング法による移動伝搬シミュレーション," 信学論 B, vol. J92-B, no. 9, pp. 1333-1347, Sept. 2009.
- [10] E. J. Jaselskis, J. Grigas, and A. Brillingas, "Dielectric properties of asphalt pavement," J. Mater. Civ. Eng., vol. 15, pp. 427-434, Oct. 2003.
- [11] Rec. ITU-R P. 1238-6, "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz," ITU-R Recommendations, Oct. 2009.