

# レイトレース法を用いた直線廊下での移動体によるマルチパス電波伝搬特性の実証

Verifications of the Affections due to the Moving Obstacles in a Straight Corridor  
for 2.4GHz Propagation Characteristics

吉村拓也

指導教員 渡辺正浩

東京工科大学コンピュータサイエンス学部 無線システム研究室

Key Word: Ray Trace, Moving Obstacles, Straight Corridor, Multipath Fading, Delay Profile

## 1 まえがき

現在、様々なモノが無線技術により相互に通信を行う IoT の時代が訪れている。モノのインターネットを実現するにあたり、構造物での人の電波伝搬特性を明らかにし、通信を行う回線設計に必要な情報を得ることが重要だと考えられる。本研究では、直線廊下での人の位置の違いによるシミュレーションを行い、結果を比較し電波伝搬特性を明らかにする。

## 2 最小受信感度

最小受信感度： $P$  とは、潜在する熱雑音 (White Noise) と回路で付加される雑音の合計である。受信信号強度が最小受信感度より低いと雑音に信号が埋もれてしまい受信できない。

$$(式) P = \frac{NF + k \cdot T \cdot B}{NF}$$

NF:付加雑音(ここでは\*1 倍(0dB)とする)

k:ボルツマン定数  $1.38 \times 10^{-23} [\text{J/K}]$

T:絶対温度  $300 [\text{K}]$ , B:帯域幅 [Hz]

## 3 シミュレーション概要

シミュレーションの測定環境をまとめたものを表1として示す。コンクリートと水に設定した複素誘電率は反射の際の応答の強さを表したものであり、単位は(F/m)である。

シミュレーションでは直線廊下 55m のモデルを複数個作り、それぞれのモデルに端からの距離を変えて水の柱を設置する。人の化学分比は水が 70% であり、複素誘電率は水と近似できるため今回のシミュレーションでは人の代わりに水の柱を人の大きさに設定した。送受信点と人の距離によって受信レベル、位相がどのように変わるか比較を行う。

シミュレーションに使用した人を置いた凹凸のない直線の閉鎖的空間と用いた水のモデルを図1、シミュレーション環境を表1として示す。

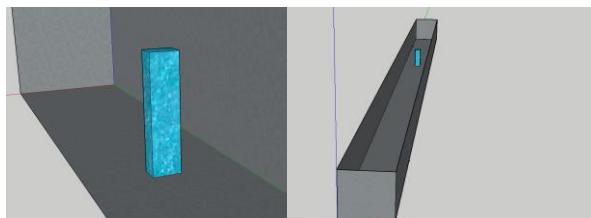


図 1 人を置いた凹凸のない直線の閉鎖的空間と人のモデル

表 1 シミュレーション環境

|    | アンテナ | アンテナ高 | 送信電力     | 周波数    | 偏波   |
|----|------|-------|----------|--------|------|
| 直線 | omni | 1.5m  | 0dBm/1mW | 2.4GHz | 垂直偏波 |

|    | 全長  | 廊下の幅 | 高さ   |
|----|-----|------|------|
| 直線 | 55m | 2.4m | 2.6m |

|    | 反射 | 透過 | 回折 |
|----|----|----|----|
| 直線 | 6  | 0  | 0  |

|   | 高さ   | 縦幅   | 横幅    |
|---|------|------|-------|
| 人 | 1.7m | 0.3m | 0.45m |

|        | 複素誘電率     |
|--------|-----------|
| コンクリート | 5.7-0.56j |
| 水      | 78.0-8.0j |

シミュレーションの手順を以下に示す。

1. 図 1 に示すモデルを sketchup にて作成、モデルの材質は全てコンクリートとする。
2. RapLab にてシミュレーションの実行、表 1 に設定した項目にてシミュレーションを行う。
3. シミュレーションの結果から、距離測定と相関処理を行い構造物の判別をする。

## 4 シミュレーション結果

実験棟廊下のシミュレーション結果を受信レベルの変化を基にグラフにしたものを作成して示す。

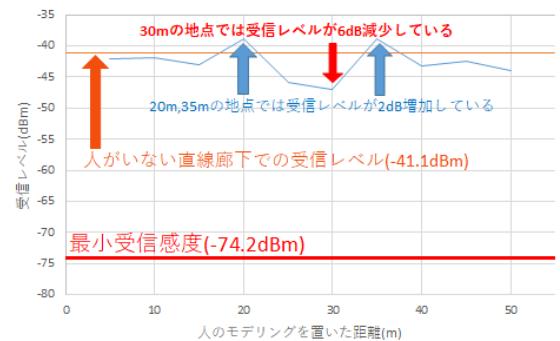


図 2 シミュレーション結果

黄線は人がいないモデルを示したもので、青線が人の距離を変えてシミュレーションを行ったものである。

#### 4.1 受信レベル

人がいるモデルでは、人がいないモデルに対して全体的に受信レベルは下がる傾向にある。これは人に当たった電波が反射して受信点まで到達するパスが減るためである。このことは人が中心にいる 25,30m の付近が顕著であるが、20m と 35m 付近では受信レベルが、人のいない廊下よりも 2dB ほど増加していることがわかる。

なぜ、人がいる方が受信レベルが上がるのかその原因を探るため 20m,30m のパス情報を調べる。各モデルで受信電力が最大受信電力よりも 4dBm 低くなるまでの 8 個のパスの位相を調べグラフ化し図 3, 図 4 として示す。

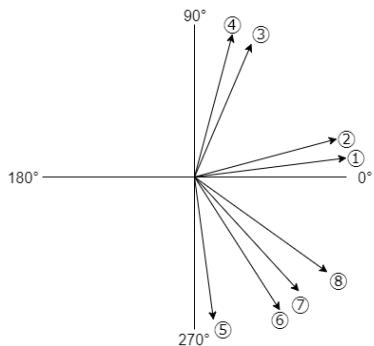


図 3 20m での位相極座標

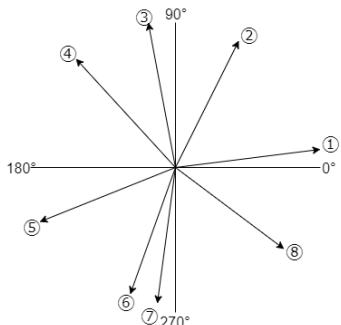


図 4 30m での位相極座標

図 3 では、①と⑧, ②と⑦, ③と⑥, ④と⑤の位相を比較し、図 4 では、①と⑤, ②と⑥, ③と⑦, ④と⑧の位相を比較した。その結果を表 2 で示す。

表 2 各パスの位相と標準偏差

|    | 比較した電波        | 合成した位相 | 逆位相の度合い | 度合いの平均 | 標準偏差   |
|----|---------------|--------|---------|--------|--------|
| 図4 | ①7.8+⑧321.7   | 329.5  | 0.169   | 0.112  | 0.0697 |
|    | ②13.8+⑦313.1  | 326.9  | 0.184   |        |        |
|    | ③71.5+⑥303.6  | 15.1   | 0.084   |        |        |
|    | ④78.6+⑤279.5  | 358.1  | 0.011   |        |        |
| 図5 | ①13.8+⑤204.2  | 169.6  | 1.058   | 1.012  | 0.0705 |
|    | ②74.6+⑥254.3  | 180.3  | 0.998   |        |        |
|    | ③98.0+⑦260.7  | 197.3  | 0.904   |        |        |
|    | ④130.4+⑧326.5 | 163.9  | 1.089   |        |        |

#### SOTY の基準

$$\theta_1 + (-\theta_2) = \theta_s \quad \theta_s: \text{合成位相} \quad N: 180^\circ \text{ 正規化}$$

$$\theta_s / 180^\circ = N$$

$$N \equiv 1 \rightarrow \text{二つの電波の位相は逆位相の関係にある}$$

$$N \equiv 0 \rightarrow \text{二つの電波の位相は同位相の関係にある}$$

図 5 SOTY の基準

結果として図 3 では合成した①と⑧, ②と⑦, ③と⑥, ④と⑤の位相の合計が  $2n\pi$  ラジアンに近いため同位相であり強め合っていることが分かる。また、標準偏差の値も 0.07 と小さくバラつきはほとんどない。

図 4 では、①と⑤, ②と⑥, ③と⑦, ④と⑧では合成した位相は  $(2n-1)\pi$  ラジアンに近い値になっており逆位相であり弱め合っていることがわかる。また標準偏差の値も 0.07 と図 4 同様にバラつきが少ない。このことから 20m 付近の受信レベルは互いに強め合っているため高く、30m 付近の受信レベルは互いに打ち消しあい弱め合っているため弱くなっていることが分かる。

#### 4.2 遅延プロファイル

各距離においての遅延プロファイルについて図 5 を基に考察を行う。

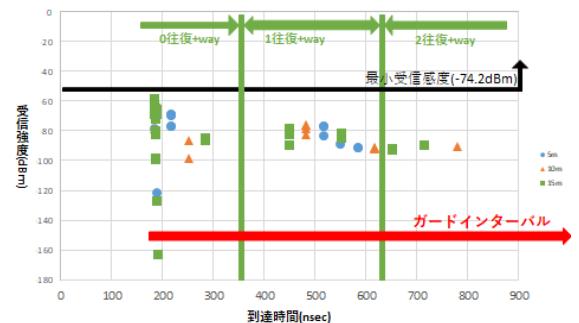


図 6 5m, 10m, 15m の遅延プロファイル

図 6 より、受信点から人までの距離による遅延はないと考えられる。また受信強度は最小受信感度の -97.2dBm を超えているため電波の受信に問題はない。符号間干渉についても到達時間は一番遅いものでも 782nsec であり、無線 LAN のガイドインターバルである 800nsec を超えていないため起こらない。

#### 5 まとめ

直線廊下の人の有無のシミュレーションを行い、人の位置により受信電力の変化や遅延プロファイルの影響について検討することができた。

受信電力については 20m 付近での電波の増幅や 30m 付近での減衰について、合成ベクトルの検証の結果位相同士の干渉や強め合いにより増減が起こったことが確かめられた。

#### 6 今後の研究予定

今後の研究予定としては人の人数や台車などの人以外の障害物を増やしたモデルでの干渉実験や、反射、回折回数を増やしてより詳細なパスの分析を行いたい。

また、今回のシミュレーションで起こった受信電力の増減の規則性について調べることができなかつたのでそれについても掘り下げたいと考える。

さらに、広帯域におけるシミュレーションを行い周波数選択性フェージングによる波形歪みの影響について考察する。