

# レイトレース法を用いた大学講義室における空間ダイバーシティ効果の実証 Verifications of the Space Diversity Effects in a Lecture Room for 2.4GHz Propagation Characteristics

小笠原 玲央

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, Space Diversity, 2.4GHz, Multipath Fading, Delay Profile

## 1. まえがき

現在ではインターネットが広く普及し、人間だけでなくモノもインターネットを利用する IoT の時代が到来している。それに伴い、通信環境構築の重要性が増している為、大学内屋内の電波伝搬特性を把握することにより効率的な通信が行いえると考える。

本稿では、東京工科大学の研究棟 E 三階での屋内においての 2.4GHz 帯の電波伝搬シミュレーションを行い、無線通信環境を構築する為の電波伝搬特性を検討する。

## 2. シミュレーションの方針

### ① レイトレース法について

レイトレース法とは、電波を光に見立てることで目的の電波の伝搬路を追跡する方法である。今回のシミュレーションでは、送信点から受信点へ到達する伝搬路を追跡することで遅延時間や出射方向、到来方向などを算出する。図 1 にて反射や透過、回折について示す[1]。

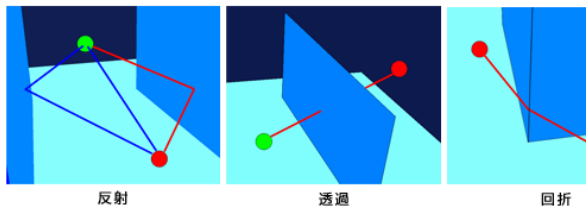


図 1 反射、透過、回折の軌跡

### ② 最小受信電力レベルの考え

入力雑音電力は式 1 の様に示すことが出来る。

$$P = k \cdot T \cdot B \dots (1)$$

(k : ボルツマン定数, T : 絶対温度[K], B : 帯域幅[Hz])  
ボルツマン定数を  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  [J/K], 絶対温度  $T = 300$  [K] とする。無線 LAN の帯域幅は 20 [MHz] なので帯域幅を 20 [MHz] とすると

$$P = k \cdot T \cdot B \\ = -97.2 [\text{dBm}]$$

以上より、無線 LAN では  $-97.2$  [dBm] より低い受信強度は受信できない。また、多値変調における C/N 比 23 [dB] 程度の余裕が必要となるので  $-74.2$  [dBm] 以上の受信強度が必要となる。

## 3. マルチパス環境への対応

### ① 空間ダイバーシティの導入手法

ダイバーシティとは、電波の相互干渉によるフェージングの影響を受けにくくする為に一つではなく複数のアンテナから電波を受信する技術のことを指す。空間ダイバーシティによってレベルの強い信号を選別したり、受信した信号の合成を行い通信の質や信頼性を向上させる事が出来る。

### ② ガードインターバルの導入手法

遅延波によるシンボル間干渉への対策としてガードインターバルを導入した。ガードインターバルとは、マルチパス環境下で発生する符号間干渉を防止する為に付加する冗長時間のことを示す。

## 4. 実験方法

### ① シミュレーション条件

本実験でシミュレーションを行う環境は、屋内環境で東京工科大学講義棟 E 三階の 300 人教室である。また、使用する通信機器としては、2.4 [GHz] の無線 LAN を想定している。

表 1 シミュレーションの各設定

アンテナ	送信電力	周波数	偏波
Omni	16.99dBm/50mW	2.4 [GHz]	垂直、水平
反射	透過	回折	
2 [回]	0 [回]	0 [回]	

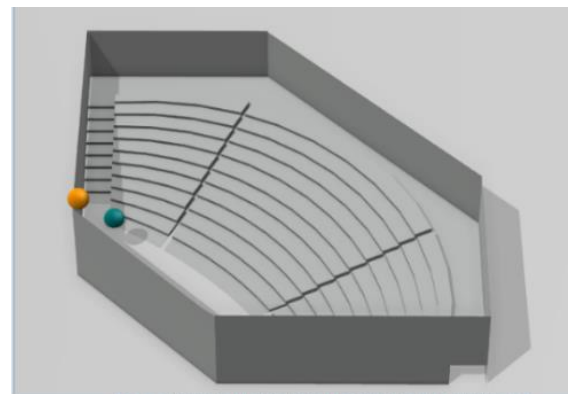


図 2 教室の 3D モデル

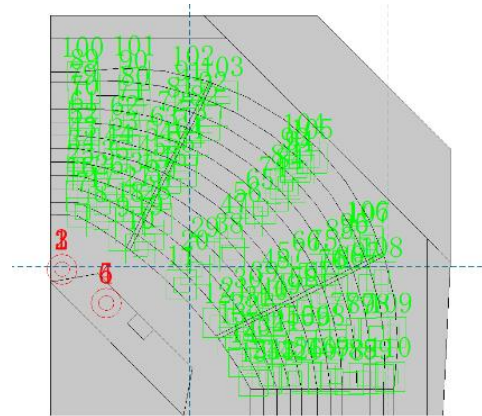


図 3 教室の送受信機の配置  
(赤 : 送信機、緑 : 受信機)

・シミュレーションの手順と実験環境

- ① 図2にあるようなモデルを sketchup にて作成し、机を木、その他の壁等をコンクリートとした。
- ② RapLab にて、送受信機図3のように配置し、条件を表1に示したように設定する。  
送信機の床からの高さはそれぞれ表に示す  
Tx1:10m Tx2:0.3m Tx3:4.85m  
Tx4:10m Tx5:0.3m Tx6:4.85m とした。

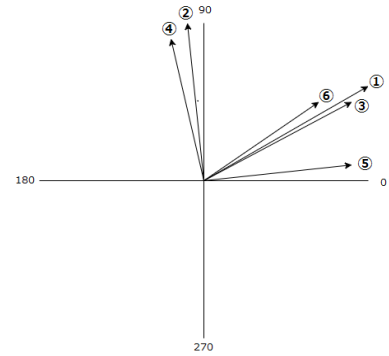


図6 Tx3とRx34の位相極座標

## 5. 実験結果

シミュレーション結果では、Tx1~Tx6 までの各送信機に対しての受信機の受信レベルを色分けして分析した。その中でも受信レベルが-81.6[dBm]と極端に小さい箇所があった送信機Tx3を図4に示す。

またTx3において、受信レベルが最大と最小の個所について位相グラフを図5,図6に示す。

図5では、①と⑤の位相を比較すると位相が179.68となり、 $179.69/180 = 0.998$  となりほぼ逆位相となっていることが分かる。同様に③と④の位相を比較すると位相が147.33となり、 $147.33/180 = 0.816$  となり、打消しが発生している。②と⑥では、比較した時の位相が65.34となり、 $65.34/180 = 0.363$  となり打消しはあまり発生していないと言える。また、この標準偏差は0.267となりバラツキは少ないと言える。

図6では、①と⑥の位相を比較すると位相が4.84となり、 $4.84/180 = 0.027$  となり強め合っていると言える。同様に③と⑤の位相を比較すると位相が24.84となり、 $24.84/180 = 0.138$  となり比較的強め合っていると言える。②と④の位相を比較すると位相が6.53となり

$6.53/180 = 0.036$  となりお互いに強め合っていると言える。また、この標準偏差は0.05となりバラツキは殆どないと言える。

表2 各電波の位相と標準偏差

	比較した電波	合成した位相	180°で正規化	平均値	標準偏差
図5	①+⑤	179.68	0.998	0.726	0.267
	③+④	147.33	0.816		
	②+⑥	65.34	0.363		
図6	①+⑥	4.84	0.027	0.067	0.05
	③+⑤	24.84	0.138		
	②+④	6.53	0.036		

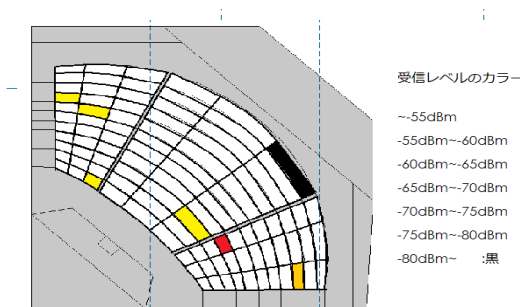


図4 Tx3の各席の受信強度分布

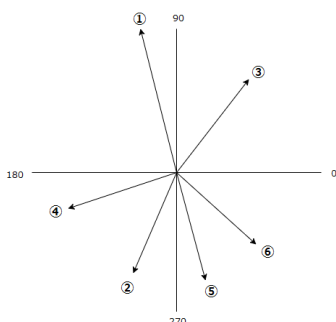


図5 Tx3とRx106の位相極座標

## SOTYの基準

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

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

$N \approx 1$  →二つの電波の位相は**逆位相**の関係にある

$N \approx 0$  →二つの電波の位相は**同位相**の関係にある

図7 SOTYの基準

## 6. まとめ

講義棟E教室内では、入力雑音電力-74.2dBmを下回る信号は最大361.4nsecとなりガードインターバルの800nsec以内に収まる。したがってシンボル間干渉は防止することが出来る為、通信する際にこれに関して影響はない。

図4では、極端に受信レベルが低い箇所があった。その中でも、受信レベル最も低い図5を図7の基準に則り分析をするとパスの打消しが発生していた。それが原因で受信レベルの低下が起きていることが分かる。

また、図6を同様に分析するとパスの強め合いが発生していた。それによって、受信レベルが高くなっていることが分かる。

その他の送信機では、同一の場所でも受信レベルが-55[dBm]を上回る箇所が存在する。その為、ダイバーシティによって受信レベルが大きい方と通信を行えるようにすることで安定して通信を行うことができる。

## 7. 今後の研究方針

今後の方針としては、送受信機の配置をパターン変えて計測し、ダイバーシティアンテナ間距離をコンパクトなものとするために模索していきたい。

更に、高帯域化時の周波数選択性フェージングによる波形歪の影響についても考察していきたい。

それらの実験で反射回数や回折、透過を増やしていく事でシミュレーションの精度をより高めていきたいと思う。

## 8. 参考文献

- [1] 構造計画研究所, “第1回: レイトレース法とは”, <[http://network.kke.co.jp/products/raplab/column.shtml#rap\\_column001](http://network.kke.co.jp/products/raplab/column.shtml#rap_column001)>