

## 振幅確率分布を用いた医用テレメータ受信入力電圧の推定と評価

○藤井清孝、遠藤望愛、藤井正実、古平聡

北里大学 医療衛生学部 医療工学科 臨床工学専攻

### 1. はじめに

当研究室では、先行研究として AR 検出機能と電波の数理モデルを組み合わせた医用テレメータの電波特性学習用デバイスの製作及び評価をおこなっている[1]。AR の距離算出機能と電波伝搬の数理モデルにより、電波の距離減衰を考慮した推定値を仮想物体や数値を介して情報を可視化することを実現してきた (図 1)。

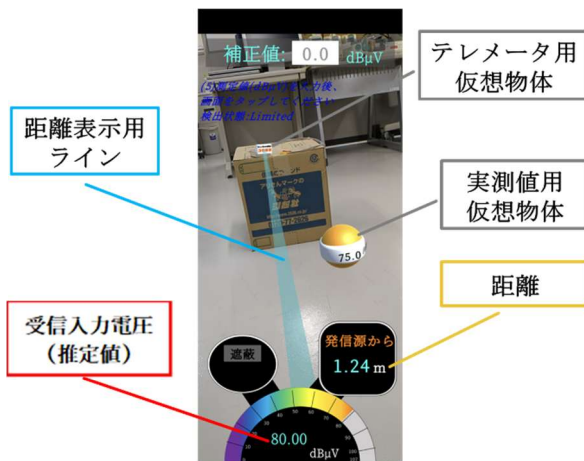


図 1 先行研究で開発した電波特性学習用デバイス

製作デバイスでの推定値とスペクトラムアナライザで測定した実測値とを比較したところ、値に変動及び差が生じた。そこで今回、推定値を実測値へ近づけるべく算出理論式の再検討をおこなったので報告する。

## 2. 方法

### 2.1 先行研究での理論式

小電力医用テレメータの送信電力 1mW から換算した 107 dBμV を最大受信入力電圧とし、「フリスの伝達公式」の自由空間伝搬損における距離減衰を差し引くことで算出した。

$$107 + 20 \log_{10} \left( \frac{c}{4\pi df} \right)$$

$d$  : 距離 (※AR 検出機能による変数)  
 $f$  : 医用テレメータの中心周波数  $c$  : 光速

### 2.2 振幅確率分布を考慮した理論式

#### 2.2.1 振幅確率分布

EMC 領域では、振幅確率分布 (APD : Amplitude Probability Distribution) は「妨害波の包絡線が閾値を超える時間確率」として定義されている[2]。ここでは、以下に説明するフェージングにおける振幅変動の確率分布として用いている。

病院内など医用テレメータが一般的に用いられる環境では、電波は壁や床、天井などに反射するなど様々な経路をたどって受信アンテナへ到達する (マルチパス)。このようなマルチパスでは、経路長の変化にともなう位相のずれによりフェージングが生じる[3]。フェージングは、確率的要素を含んでおり、電波伝搬で用いられる振幅確率分布は多数存在する。今回は、その代表的な分布であるレイリー分布を用いた。

#### 2.2.2 レイリー分布

送/受信アンテナがお互いにはっきりと見える環境である見通し内環境から送信される見通し波 (直接波) が存在しない場合、その受信信号はレイリー分布に従うことが知られている[3]。そこで、先行研究での理論式にレイリー分布を加味した理論式を検討した (新理論式)。

$$107 + 20 \log_{10} \left( \frac{c}{4\pi df} \right) + 20 \log_{10}(R)$$

$R$  : レイリー分布に従うランダム変数 (フェージング)

#### 2.2.3 新理論式における距離特性シミュレーション

直交する 2 つの独立な正規分布から導

かれる振幅の分布であるレイリー分布の確率密度関数は下式であらわされる。

$$f(x; \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

$\sigma$  : スケールパラメータ  
 $x$  : 振幅の瞬時値

シミュレーションは python 上でおこなった。各距離における理論的受信電力はフリスの伝達公式から算出し、NumPy ライブラリの np.random.rayleigh 関数を用いることで、この分布に従う擬似乱数を生成し、受信電圧の振幅として模擬した。距離は 100m までとし、5m 毎に 10 サンプルの推定を実施した。電波の周波数は 420MHz、送受信アンテナのゲインは、ともに 1 として計算した。

### 3. 結果

図 2 は、レイリーフェージングを考慮した受信電圧の距離特性をシミュレーションした一例である。受信電圧は疑似乱数により生成されるため、実行ごとに結果が異なる。赤い破線は先行研究での理論式により算出した推定値、青い点はレイリーフェージングを考慮した推定値、緑の実線は各距離における青い点の平均である。フェージング特有の距離による変動を再現することができた。

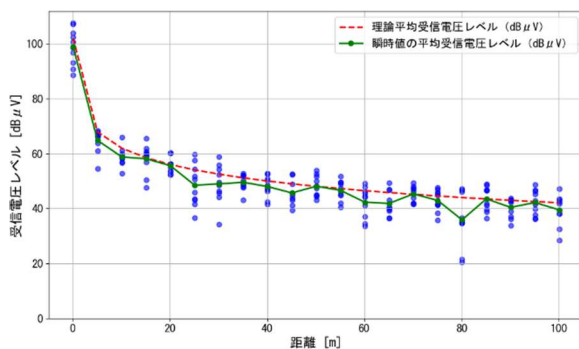


図 2 新理論式におけるレイリーフェージングを考慮した受信電圧の距離特性をシミュレーションした一例

### 4. 考察

先行研究では、実測値の測定環境として、大学内廊下で実施している。本環境下では、見通し内伝搬が優位であることが想定されるため、レイリー分布の当てはまりが悪い可能性がある。一方で、距離特性の場合には、距離が遠いほど反射の影響が大きくなるとともに、直接波以外の到来波の割合も大きくなると考えられる。このように、直接波と反射波とが混在する中で直接波の強度が強い場合には、一般的には仲上-ライス分布に従うことが知られている[2]。見通し内伝搬が優位な廊下、見通し外伝搬が優位な壁越しなど、各環境に応じた分布の検討が必要であると考ええる。

### 5. まとめ

今回、医用テレメータの使用を想定し、レイリーフェージングを考慮した受信電圧の距離特性シミュレーションを実施した結果、フェージング特有の距離による変動を再現することができた。

今後は、様々な環境で医用テレメータの電波測定実測を実施し、環境ごとにおける電波特性を把握し、各分布との当てはまりを検討していきたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 佐藤陸斗、藤井清孝、海老根智代、古平聡：AR 技術を用いた医用テレメータ電波特性学習用デバイスの提案，令和 5 年度医療・福祉における電磁環境研究会
- [2] 後藤薫、石上忍、松本泰、篠塚隆、山中幸雄：妨害電磁波の振幅確率分布測定とデジタル無線通信の保護．情報通信研究機構，Vol. 52，No. 1，69-76，2006.
- [3] 高田 潤一：電波伝搬の基礎理論．映像情報メディア学会誌，Vol. 70，No. 1，142-148，2016.