

# マルチパスフェージング対処のための空間・周波数ダイバーシチ効果の検討

A study on the Effect of Spatial and Frequency Diversity for Multi-Path Phasing

秋田 学 渡辺 優人 稲葉 敬之  
Manabu Akita Masato Watanabe Takayuki Inaba

電気通信大学大学院情報理工学研究所  
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

## 1. まえがき

レーダで目標の計測を行うとき、目標からの直達波と路面反射波からなるマルチパス環境となりマルチパスフェージングが発生し、レーダの検知範囲においても距離によっては、受信電力の極小点が現れ、目標の検知が困難となる。このため、マルチパスフェージング対策はレーダにおいて重要な技術課題となっている。筆者らは、多周波ステップCPCミリ波レーダ[1]を開発している。本レーダは、狭受信機帯域幅で高分解能および遠距離探知性能を実現する独自の変調方式を採用しており、電波暗室における原理検証実験にて有効性が実証されている[2]。本レーダは、ITS産業分野(安全運転支援システム等)への応用を想定しており、アスファルト路面環境における探知距離性能評価試験を行っている。過去に、直達波と海面反射波からなるマルチパスフェージング対策として、周波数ダイバーシチ効果について報告されている[3]。本稿では、アスファルト路面環境における空間および周波数ダイバーシチ効果について検討する。

## 2. マルチパスと空間・周波数ダイバーシチ

本稿ではマルチパス波はエレベーション方向のみに存在することを想定する。受信アンテナの高さを  $H_a$ 、目標の高さを  $H_t$ 、受信アンテナから目標までの距離を  $R$ 、受信アンテナから路面反射点までの距離を  $R_1$ 、路面反射点から目標までの距離を  $R_2$  とおくと、目標からの直接波の到来方向  $\theta_d$ 、マルチパス波の到来方向  $\theta_r$  は、次式で表される。

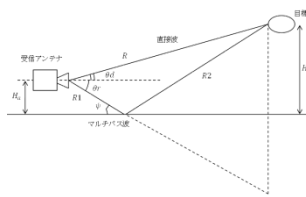


図1. マルチパス伝送路モデル

$$\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{H_t - H_a}{R}\right) \quad (1) \quad \theta_r = \tan^{-1}\left(\frac{H_t + H_a}{R}\right) \quad (2)$$

直接波とマルチパス波の路長差  $dR = R_1 + R_2 - R$ 。マルチパス波は、路面で反射する際にフレネル反射係数  $\Gamma_h$  の偏角で位相シフトが生じるため、直接波とマルチパス波の位相差  $\phi_s$  は次式で表される。

$$\phi_s = \arg(T_h) \cdot 1 + \frac{2\pi}{\lambda_n}$$

目標の反射特性は無指向性であるとする、直接波の受信信号アレーモードベクトル  $A_c$ 、路面反射波の受信信号アレーモードベクトル  $A_r$  は、それぞれ次式で表すことができる。

$$A_c = \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda_n}R\right) \quad (3) \quad A_r = \rho^{sc} \cdot \exp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda_n}R + \phi_s\right) \quad (4)$$

$\rho^{sc}$  は、マルチパス波の路面反射時の反射係数、受信信号は各経路の信号の加算として、以下の式で表される。

$$X_t = [A_{cc} \cdot A_c] + [A_{cc} \cdot A_r] + [A_{rc} \cdot A_c] + [A_{rc} \cdot A_r] \quad (5)$$

## 3. 空間・周波数ダイバーシチ効果の検討

### 3.1. 空間ダイバーシチ

図2に目標高度を0.8m、送信周波数60.5GHz、アンテナ高さを0.5m～1.0mに変化させたときの受信信号強度を示

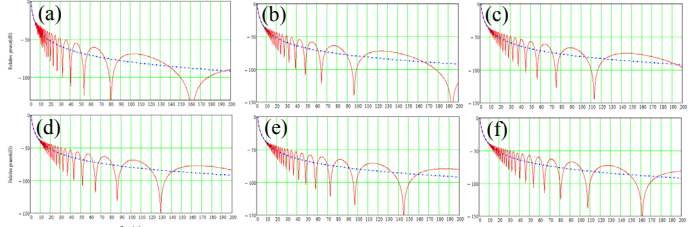


図2. アンテナ高さ0.5m～1.0mにおける受信信号強度の距離特性((a)0.5m, (b)0.6m, (c)0.7m, (d)0.8m, (e)0.9m, (f)1.0m)

す。アンテナ高さ0.5mを基準とすると、探知距離性能で課題となる100～200mの距離に着目したとき、アンテナ高度0.7mおよびアンテナ高さ0.5mのときにヌルとなる距離160m周辺で強め合う結果となり、空間ダイバーシチの効果を用いるとき、0.5mのアンテナ高度に対して、0.7mのアンテナの組み合わせが有効であると考えられる。

### 3.2. 周波数ダイバーシチ

図3に目標高度を0.8m、アンテナ高さ0.8m、送信周波数を24.5GHz、60.5GHz、76.5GHz、79.5GHzに変化させたときの受信信号強度を示す。図3より、送信周波数24.5GHzにおいては距離100～200mにおいてマルチパスフェージングによるヌルとなる距離がないことがわかる。周波数ダイバーシチを用いるとき、24GHzの送信周波数との併用もしくは、60.5GHzおよび76.5GHzもしくは79.5GHzの周波数

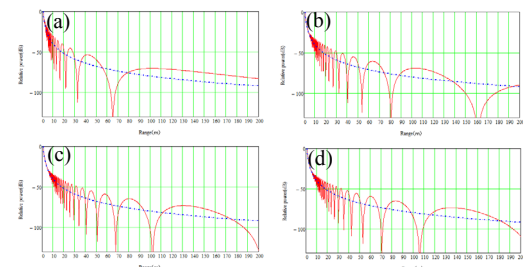


図3. 各信送周波数における受信信号強度の距離特性((a)24.5GHz, (b)60.5GHz, (c)76.5GHz, (d)79.5GHz)

## 4. むすび

本稿では、多周波ステップCPCミリ波レーダの探知距離性能評価試験におけるマルチパスフェージング特性について実験結果とシミュレーション結果を示した。同条件における空間・周波数ダイバーシチ効果の検討結果をあわせて示した。

### 謝辞

本稿に示す研究内容は、総務省の委託研究「電波資源拡大のための研究開発(狭帯域・遠近両用高分解能小型レーダー技術の研究開発)」により実施されたものである。

### 参考文献

- [1] 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCレーダの提案と原理検証実験", 電気学会論文誌C, Vol. 135 (2015) No. 3, pp.285-291, 2015
- [2] 渡辺優人, 秋田学, 稲葉敬之, "多周波ステップCPCレーダの鉄道環境への応用のための基礎実験", 電気学会論文誌C, Vol. 135, No. 5, pp.513-520, 2015
- [3] 稲葉敬之, 荒木純道, "マルチパス環境での空間・周波数最大比合成法", 電子情報通信学会論文誌B, Vol. J85-B, no.12, pp.2280-2289, 2002.