

次世代移動通信システムにおける 鉄道のサービスエリアに関する検討

English Title A Study on the Service Area of Railways in the Next Generation Mobile Communication System

学生氏名 徐 晨涛*¹
指導教員 前山 利幸*¹

*¹ 拓殖大学 大学院工学研究科

Takushoku University, Graduate School of Engineering

本稿では、高速移動中の列車に対するドップラー効果が無線ネットワークの誤り率に与える影響について、単一基地局付近で直進する列車の状況から始め、複数基地局間を曲線区間を走行する場合および障害物からの反射パスのドップラーシフト計算方法を説明することだ。

キーワード: 高速列車, 基地局, カーブ, ドップラーシフト, BER。

1. はじめに

高速鉄道におけるサービスエリアに関してこれまで、多くの研究が行われておりドップラーシフトの補正や信号対雑音比の影響^[1], 列車の直進時の誤り率^[2]がある. 本研究では、線路の曲線区間を高速移動する列車内におけるドップラーシフトの変動について検討する.

2. ドップラーシフトの求め方

カーブの内側に基地局を配置した例を図1に示す. BS (0,0)を原点, レールへの接線の垂直方向であり, d は基地局とレール間の最短距離である. r をレールの曲率半径, θ は列車と基地局との角度, (x, y) を列車の現在位置である.

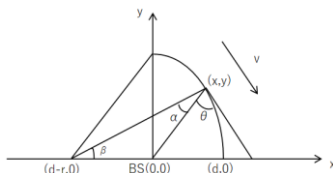


図1 カーブの内側に基地局を配置

ドップラーシフト f_d は以下の式1のように近似できる.

$$f_d = \begin{cases} f \times \frac{v}{c} \times \frac{r-d}{\sqrt{r_d^2+d^2+\frac{d}{r}r_d^2}} \times \frac{r_d\sqrt{4r^2-r_d^2}}{2r^2}, y > 0 \\ -f \times \frac{v}{c} \times \frac{r-d}{\sqrt{r_d^2+d^2+\frac{d}{r}r_d^2}} \times \frac{r_d\sqrt{4r^2-r_d^2}}{2r^2}, y < 0 \end{cases} \quad (1)$$

カーブの外側に基地局を配置した場合は以下の式2のように近似できる.

$$f_d = \begin{cases} f \times \frac{v}{c} \times \frac{r+d}{\sqrt{r_d^2+d^2+\frac{d}{r}r_d^2}} \times \frac{r_d\sqrt{4r^2-r_d^2}}{2r^2}, y > 0 \\ -f \times \frac{v}{c} \times \frac{r+d}{\sqrt{r_d^2+d^2+\frac{d}{r}r_d^2}} \times \frac{r_d\sqrt{4r^2-r_d^2}}{2r^2}, y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

3. 障害物が受信側の信号に与える影響

3.1 GBSM シングルループモデル^[2]

GBSM モデルのモデル化原理は、障害物がある幾何学的関係に従ってチャンネル内にランダムに分布し、各障害物が信号を反射・散乱すると仮定し、受信側で受信したすべてシヨウガ部によって反射された信号を合計することによって受信側の CIR を求めることである^[3]. モデルは以下の図2となる.

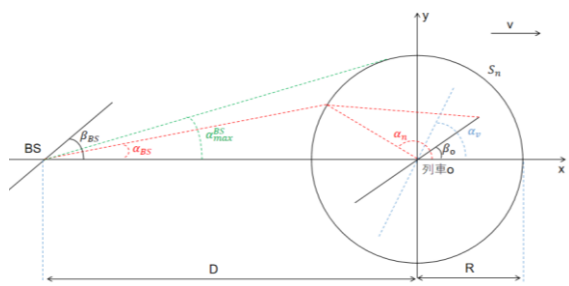


図2 GBSM シングルループモデル

基地局と移動局の間時変関数は以下の式3となる。

$$D(t) = \sqrt{D^2 + (vt)^2 - 2D \times vt \times \cos(\alpha_v)} \quad (3)$$

障害物 S_n から列車までのドップラーシフトを正確に導出するために、 $D(t)$ を導出し、基地局と列車間の相対半径方向速度を求めて、以下の式4となる。

$$\frac{dD(t)}{dt} = \frac{v^2 - D \times v \times \cos(\alpha_v)}{\sqrt{D^2 + (vt)^2 - 2D \times vt \times \cos(\alpha_v)}} \quad (4)$$

移動環境での無線通信では、受信角度 α_n も変化する。そのため、障害物 S_n から発生するドップラーシフトは以下の式5となる。

$$f_D = -f_{max} \cos(\alpha_n - \alpha_v) \quad (5)$$

距離は変化し続けるので、受信角度 α_n も時間 t とともに変化して、以下の式6となる。

$$f_D = -\frac{v}{\lambda} \cos(\alpha_n(t) - \alpha_v) \quad (6)$$

したがって、障害物 S_n から移動局のアンテナまでの最終的なドップラーシフトは以下の式7となる。

$$f_D(t) =$$

$$\frac{f_c}{c} \times \frac{v^2 t - D \times v \times \cos(\alpha_v)}{\sqrt{D^2 + (vt)^2 - 2D \times vt \times \cos(\alpha_v)}} \times \cos(\alpha_n(t) - \alpha_v) \quad (7)$$

4. BER シミュレーションと測定結果の分析

カーブの場合、列車速度は時速 500km、曲率半径は 5000m とした。シミュレーションの結果を図3に示す。カーブを横切るときの BER の変化はよりランダムであることがわかった。列車が遠ざかれば遠ざかるほど、ドップラー周波数の偏差は大きくなり、BER も大きくなる。

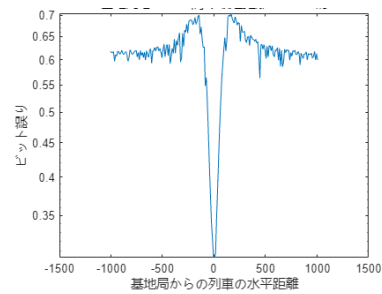


図3 基地局と列車間の水平距離に対する BER (500km/h)

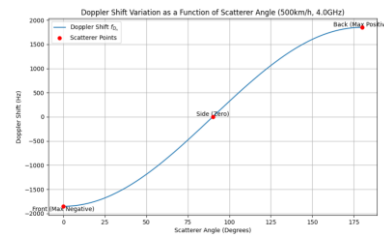


図4 列車間の運行角度に対するドップラーシフト

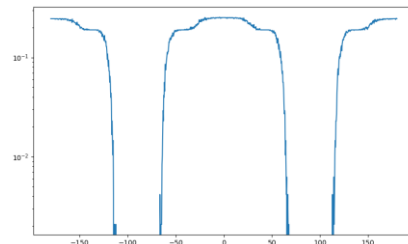


図5 列車間の運行角度に対する BER

ドップラーシフトは、障害物からの反射信号や受信角度が 0° から 180° の場合、最大値になって、BER も最大値になる。角度差は 90° の場合、列車が障害物と平行に移動して、離れること近づけることがなくて、ドップラーシフトは 0 になり、BER も最小値になる。この結果は図5に示す。

4. まとめ

本研究では、高速鉄道環境における曲線区間でのドップラーシフトと BER をシミュレーションし、列車の進行方向や障害物の位置によるドップラーシフトの変動と、それに伴う BER の変化を確認した。シミュレーション結果から、曲線区間において列車の前方および後方に位置する障害物が異なる周波数シフトを引き起こし、列車が基地局から遠ざかるほど BER が増加する傾向が確認された。