

移動体に搭載する円形回転アンテナを用いた OFDM 受信機の受信特性改善に関する一検討

荻原 宏典[†] 安川 博[†]

[†] 愛知県立大学大学院

1 はじめに

移動通信環境下で OFDM 変調方式を用いる場合、伝送路特性は、受信機の移動に伴うドップラーシフトにより時変フェージングとなり、受信特性が大きく劣化する。これに対しては一般に、伝送路特性の時間変動を追従した伝送路特性推定法を適用する対策がとられる。現在まで提案されてきた伝送路特性推定法の多くは、パイロットシンボルを用いた補間法を応用した手法である [1]。しかし、移動体の速度が速くなるにつれ、推定精度が劣化するという問題がある。

それらに対して著者らは、円形素子配列のアレーアンテナ (以下、回転アンテナ) を回転させ、受信アンテナの大地に対する相対速度を下げることにより、伝送路特性の時間変動から生じる受信特性劣化を補償する手法を提案した [2]。これは既存手法とは異なり、伝送路特性の時間変動を物理的に補償する手法である。また、移動体の速度変化に対応するため、伝送路特性の時間変動を最も補償する回転数に更新する手法を提案した [3]。しかし、移動体の速度変化に対する追従性は、十分に検討されていない。本稿では、移動体の速度が段階的に変化する状況を想定し、計算機シミュレーションにより回転数制御法の移動速度変化に対する追従性を評価する。

2 回転アンテナを用いた OFDM 受信機

回転アンテナは n 本アンテナを同心円状に等間隔に配置したものである。アンテナの本数は、実装時の容易さから 6 の倍数を用いる。図 1 に示すように、移動体の移動方向に対して反時計回りに $\pi/2$ [rad] 回転させた点 P_2 を中心とした $2\pi/n$ [rad] の区間 (点 P_1 から P_3) を受信区間とし、この区間に存在しているアンテナが受信を行うものとする。受信アンテナが P_1 から P_3 まで回転したとき、 P_1 にあるアンテナに受信アンテナを切り替える。この動作を繰り返すことで、移動により生じるドップラーシフトを補償する。アンテナ

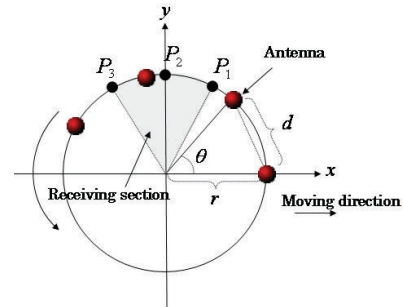


図 1: The receiving section of rotating antenna

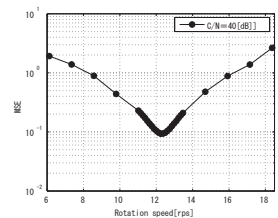
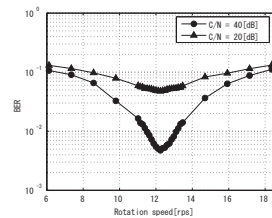


図 2: BER vs. Rotation speed, 図 3: MSE vs. Rotation speed, $v = 100$ [km/h]

が受信区間を通る間に l_f 個の OFDM シンボルを受信するものとし、この l_f を受信フレーム長と定義する。また、アンテナの回転数 R は P_2 でドップラーシフトが最も補償されるように、式 (1) を満たす値に設定する。

$$R = \frac{v}{2\pi r}. \quad (1)$$

3 アンテナ回転数の制御

3.1 回転数制御法

図 2 に表 1 の条件における回転数 R 対 BER(Bit Error Rate) 特性を示す。図 2 より、回転数 R 対 BER 特性は下に凸の特性を有することが分かる。また、BER が最小となる回転数は式 (1) に半径 $r = 0.36$ [m] と移動体の速度 $v = 100$ [km/h] を代入した値と一致する。すなわち、最適な回転数は移動体の速度により異なるため、移動速度が変化する場合には常にその移動速度情報が必要になる。回転アンテナは通信を伴う大型移動体に設置されることが想定されるため、移動速度は速度計などにより得ることができる。しかし、システム導入の容易性などを考慮すると移動速度が回転アンテナの内部で得られることが望まれる。そこで、回転数対 BER 特性が下に凸であることを利用して、最急降下法により最適な回転数を求めることを考える。ところが、実システムでは BER を求めることが困難で

A Study on Improving Performance of OFDM Receiver Using Rotating Circular Array Antenna for Vehicle Communications

[†] Hironori OGIHARA(im102003@cis.aichi-pu.ac.jp)

[†] Hiroshi YASUKAWA(yasukawa@ist.aichi-pu.ac.jp)

Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University ([†])
1522-3, Ibaragabasama, Nagakute, Aichi, 480-1198, JAPAN

表 1: Simulation parameters

Carrier frequency (f_c)	473.142 MHz
Modulation	64QAM
Number of subcarriers (N)	5617
Symbol duration ($\frac{1}{f_s}$)	1008 μ s
Guard interval (T_g)	126 μ s
Sub-carrier spacing (f_0)	0.992 kHz
Number of antennas (n)	18
Channel Model	
Propagation model of GSM Typical Urban Area	

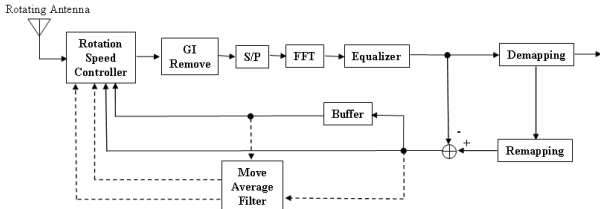


図 4: Receiver structure to control rotation speed

あるため、代わりに受信機におけるシンボル復調判定誤差に注目する。復調判定誤差は、各シンボルの復調判定前後の二乗誤差を受信フレーム内のシンボル数で平均化した値 $E [|e(R_m)|^2]$ である。図 3 に回転数対復調判定誤差 (MSE: Mean Square Error) 特性を示す。シミュレーション条件は表 1 である。図 3 より、回転数対 MSE 特性は下に凸の特性を持ち、MSE は BER と同様に回転数 12.25[rps] において最小となる。この特性より、BER の代用として受信シンボルの復調判定誤差を評価関数に用いて、最急降下法により最適な回転数を求めることが可能となる。このとき ($m + 1$) 番目の受信フレームにおける回転数 R_{m+1} は、

$$R_{m+1} = R_m - \mu \left(\frac{E [|e(R_m)|^2] - E [|e(R_{m-1})|^2]}{R_m - R_{m-1}} \right) \quad (2)$$

となる。ここで、 μ は収束速度を決めるステップサイズパラメータである。

3.2 受信機構成

GI の除去など、通常の OFDM 受信機と同様の処理が行われる。それらに加えて MSE を求めるための Remapping 部や Buffer、移動平均フィルタ、回転数コントローラから構成される。 $m - 3$ 番目までの受信フレームから求められた MSE を Buffer に保持し、移動平均フィルタに通して MSE 特性を平滑化する。その後、 m 番目の受信フレームから求めた MSE と同時に回転数制御部に入力し、回転数を更新する。

4 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにより、前節で述べた回転数制御法の移動速度変化に対する追従性を評価する。シミュレーション条件は表 1 である。

図 5 は、 $\mu = 0.1$ とした場合における、静止状態から時速 100km の最適な回転数 12.25[rps] への更新特

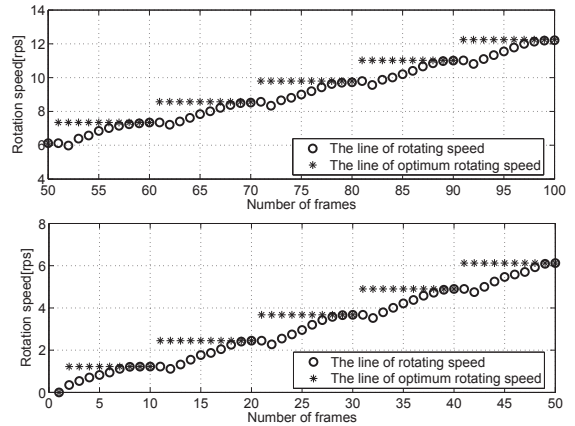


図 5: Rotation speed vs. Number of frames, $\mu = 0.1$, $n = 18$, $v = 0 \sim 100$ [km/h], $C/N = 40$ [dB]

性である。ここで、移動体は初期動作として、静止状態から時速 10km まで加速し、信号を 10 フレーム受信する毎に、時速 10km ずつ段階的に加速するモデルを想定する。また、それぞれの移動速度に対する最適な回転数を、図 5 中の凡例およびグリッド線として示す。移動速度が変化した場合、MSE が移動平均フィルタの平滑化能力を上回るほど増加するため、回転数は 1 フレーム分減少する。しかし、図 5 より、10 フレーム以内にそれぞれの速度に対する最適な回転数へと更新されていることが分かる。以上より、回転数制御法が移動速度変化に追従可能であることが示された。

5 むすび

本稿では、移動体の速度変化に対する回転数制御法の追従性について検討した。移動体が、静止状態から時速 100km まで、時速 10km ずつ段階的に加速するモデルを想定して計算機シミュレーションを行い、回転数制御法が移動体の速度変化に追従可能であることを示した。今後の課題として、他のモデルによる追従性の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] Y. Ju Lim, D. Soo Hyum and S. Kyu Park, "Pilot Patterns for OFDM Communication System in a Fast Time-Varying Channel" IEICE Trans. Commun., Vol.E89-B, No.1, pp.243-246, 2006.
- [2] H. Ogihara and H. Yasukawa, "A Study on Improving OFDM Performance by Controlling Speed of Rotating Circular Array Antenna", Proc. of ISCIT 2010, pp.651-654, 2010.
- [3] H. Ogihara and H. Yasukawa, "OFDM Receiver Performance Using Rotating Circular Array Antenna for Vehicle Communications", The 73rd IEEE VTC2011-Spring, 3F-3, 2011.