

搬送波の位相偏移を考慮したスペクトル拡散通信の伝送特性

2008MI249 遠山 成美 2009SE317 安井 隆真

指導教員：奥村 康行

1 はじめに

近年、通信技術は目まぐるしく成長している．そのなかでもスマートフォンやタブレットといった通信技術を駆使した製品は日常生活で必要不可欠となっている．そうした技術と生活するなかで消費者は、データ伝送の高速化を求めている．しかしデータ伝送の高速化にともない問題になってくるのがマルチパスフェージングの影響である．これを解決することが必要となっている．[1]

マルチパスフェージングはデータ通信が高速化すればするほど、信号に大きな影響をあたえる．今回、その影響を軽減するためにスペクトル拡散方式 (spread spectrum, SS) という通信方式を用いる．

また、先行研究 [2] では通信路の劣化要因であるマルチパスフェージング、ランダム雑音 (AWGN 伝送路) まで考慮し研究をおこなっていた．しかし、本来データの送信側と受信側では周波数と位相は一致しない．本研究では、その位相の差を考慮し伝送特性を研究する．目的は、送信機と受信機の周波数の差に対する条件を明らかにすることである．

2 研究対象の技術と課題

この章では研究対象の技術と課題について説明する．

2.1 データ伝送路の全体図

まず研究対象の技術について説明する．データは送信機側からビルなどの反射物を通り受信機側に届く．図 1 にデータ伝送路の構成図を示す．送信される電波は、反射をへて位相、振幅、遅延が異なる複数の信号に分かれて合成され、受信機に受信される．その合成された信号は、電力の減衰や波形歪みが生じる．それをマルチパスフェージング (multipath fading) という．

また周波数、位相は送信機と受信機で値が一致しない．なぜなら、その時の環境により値が変わるからである．送信機側と受信機側で変化することを搬送波偏移と言う．先行研究 [2] では位相偏移を考えていない理想的な条件で研究していた．本研究では搬送波の位相偏移を考慮して伝送特性を研究する．

2.2 伝送路の特性

通信路の劣化要因には、マルチパスフェージング、ランダム雑音 (AWGN 伝送路)、搬送波の位相偏移がある．マルチパスフェージングは先行波と遅延波が足されることによって波形に歪みが発生する．この変化を波形歪と呼ぶ．また、マルチパスフェージングはデータ伝送が高速になるほど波形歪が大きくなる．無線通信による高速データ伝送を可能にするためにはこのマルチパスフェージングの対策が不可欠となる．

本研究では先行波と遅延波を完全に分離しマルチパスフェージングの影響を軽減する方法を用いる．マルチパ

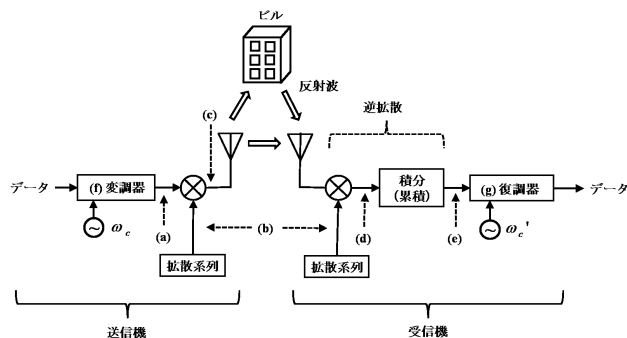


図 1 データ伝送路の全体図

スフェージングは遅延波が重なることによって生じるため先行波と遅延波を分離すれば問題解決できる．この方法をスペクトル拡散方式 (spread spectrum, SS) という．

スペクトル拡散方式は、無線 LAN、携帯電話などで利用されている．この方法は、時間軸上で信号の幅を短くすることによって遅延波の分離を可能にする．その実現のためには、直接拡散方式 (direct-sequence/ss, DS/SS) と周波数ホッピング方式 (frequency hopping/SS, FH/SS) の 2 種類がある．本研究では、マルチパスフェージング対策として重要な技術を含む直接拡散方式について研究する．直接拡散方式の送信機では、BPSK や QPSK に変調される．変調器出力はデータのシンボルである．

ランダム雑音 (AWGN 伝送路) は別名 Additive White Gaussian Noise (加法的白色ガウス雑音) と呼ばれている．振幅レベルは正規分布 (ガウス分布) であり、広い周波数で雑音レベルが変化しないという特徴がある．雑音のランダムな位相変動を表現するために、正規分布で生じた乱数を実部と虚部に持つ．実世界のノイズとしてよく似ているためよく用いられる．本研究でも AWGN 伝送路を使用する．

2.3 搬送波の位相偏移

この節から課題を示す．先行研究 [2] では、搬送波の周波数偏移、位相偏移を考慮しない条件のもとでシミュレーションを行っていた．しかし本来ならばそのときの温度、振動、反射物などの環境によって偏移が起きる．そのためデータの送信側と受信側で周波数の値は一定ではない．受信機側の PLL 回路は送信側と受信側の周波数の偏移を戻そうとする．しかし PLL 回路によって位相のずれが生じる．そのため、搬送波の位相偏移が起こってしまう．本研究ではこの位相偏移に重点をおき研究する．

図 1 に示す変調器と復調器の部分の構造図を図 2 に示す．[3] 左側が変調器、右側が復調器を表している．変調器側の復素信号の実部を m_1 、虚部を m_2 とする．変調器側の ω_c は発信機の周波数であり、復調器側の ω_c' は再生された周波数である． $-\tau/2$ は位相を示している．この場

合では変調器と復調器の値が $-\tau/2$ で同じになっている．位相偏移を考慮する時はこの値が変わる．そして変調器で値が掛け算され復調器へくる．そして低域通過フィルタ (Low-passfilter) を通り残ったデータが式 (1), (2) の m_1' と m_2' となる．また, 式 (1), (2) の位相 θ は送信側と受信側での位相偏移を表している．この 2 つの式をプログラムに組み込むことで位相偏移が起こる場合をシミュレーションする．この位相偏移を表した式を (1), (2) に示す．

$$m_1' = m_1(t) \cos \theta - m_2(t) \sin \theta \quad (1)$$

$$m_2' = m_2(t) \cos \theta - m_1(t) \sin \theta \quad (2)$$

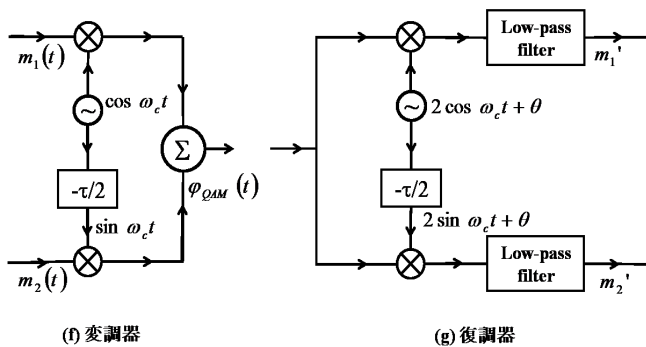


図 2 変調器, 復調器の構造図

3 シミュレーション

この章では本研究のシミュレーションについて示す．位相偏移を考慮したシミュレーションを行う時, 位相の変化が一定の場合と時々刻々と変化する場合の 2 通りをシミュレーションした．送信機と受信機の位相偏移を θ とする．本研究では位相偏移を sin 波で表し, 加える．位相偏移 θ の最大値をそれぞれ $\pi/64, \pi/32, \pi/16$ としシミュレーションした．また, θ の変動周期が 10 [シンボル間隔] の場合で行った．図 3 は位相偏移 θ の変動周期が 4 シンボル間隔の場合である．

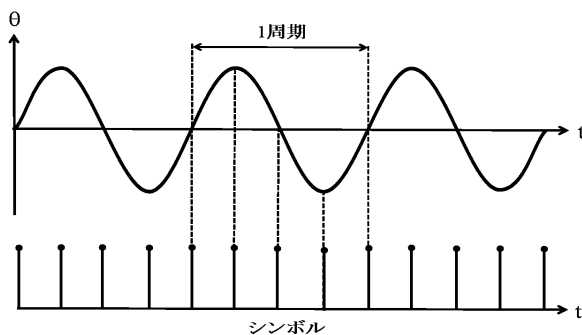


図 3 位相偏移 θ の変動周期=4 [シンボル間隔] の場合

位相 0 と比べた時に何 $\text{dB}E_b/N_0$ が劣化したか調べた．また, 直接波のみ (反射なし) で位相の変化が一定の場合と位相が時々刻々と変化する場合も検証した．

表 1 シミュレーション条件

ソフトウェア	MATLAB
データ変調方式	BPSK
伝送路	AWGN 周波数選択性フェージング (2ray-model, 3ray-model Exponential-model)
M 系列の周期	15
データビット数 [bit]	1×10^6
位相偏移 θ	$\pi/64, \pi/32, \pi/16$
RAKE 合成	あり
θ の変動周期 [シンボル間隔]	10

3.1 シミュレーション条件

マルチパスフェージングの影響を軽減するためにスペクトル拡散方式を用いる．3 つの伝送路モデルを通して位相偏移を考慮したシミュレーションを行う．3 つの伝送路モデルは, [4] から 2ray-model, Exponential-model を使い 2ray-model から 3ray-model を作った．ここでシミュレーション条件を表 1 に示す．

3.2 遅延プロファイル

遅延プロファイルは, 現実の世界を想定している．BPSK 変調器を通した場合を想定する．本研究では, 無線 LAN の規格 IEEE802.11g を使用した．この無線 LAN の通信速度は 10Mbps であるので 1 シンボル間隔 $0.1\mu\text{s}$ である．よって先行波と反射波の経路差 m が 2ray-model と 3ray-model が 40m, Exponential-model が 2m である．

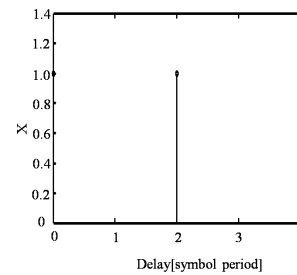


図 4 2ray-model の遅延プロファイル

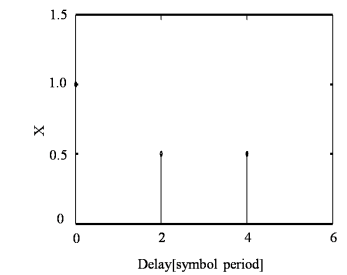


図 5 3ray-model の遅延プロファイル

使用した 3 つの伝送路について説明する．まず図 4 に 2ray-model の遅延プロファイルを示す．これは直接波に対して 1 本の遅延波だけが受信されるモデルである．そして図 5 に 3ray-model の遅延プロファイルを示す．直接波に対して 2 本の遅延波が受信されるモデルである．3ray-model は 2ray-model 同様, 信号の反射体が少ない．2ray-model, 3ray-model は屋外を想定しているモデルである．最後に図 6 に Exponential-model の遅延プロファイルを示す．今回は直接波に対して 14 本の遅延波が指数関数的に受信されるモデルである．また遅延時間が増えるたびに信号の電力も減衰する．この Exponential-model は室内を想定したモデルである．図 4 から図 6 の縦軸 X を Normalized-power (規格化電力) と定義する．X を反射

波の電力/先行波 (遅延 0) の電力とする .

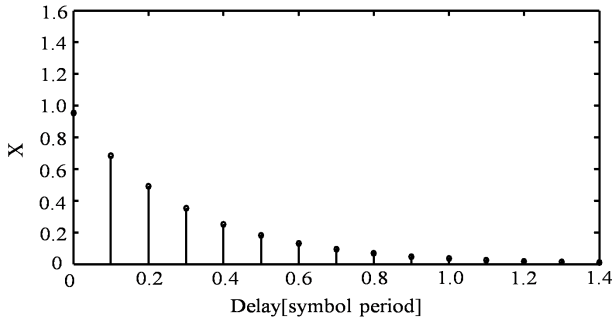


図 6 Exponential-model の遅延プロファイル

4 シミュレーション結果

この章にシミュレーション結果を示す .

4.1 直接波のみ (反射なし)

直接波のみ (反射なし) で位相が一定の値で変化する場合を図 7 に示す . 直接波のみ (反射なし) で位相が時々刻々と値が変化する場合を図 8 に示す

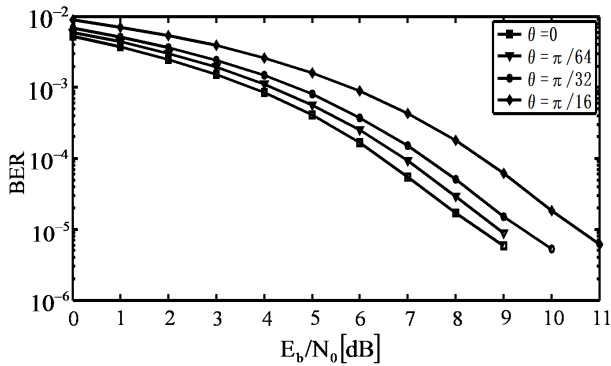


図 7 直接波のみ (位相の変化が一定の場合)

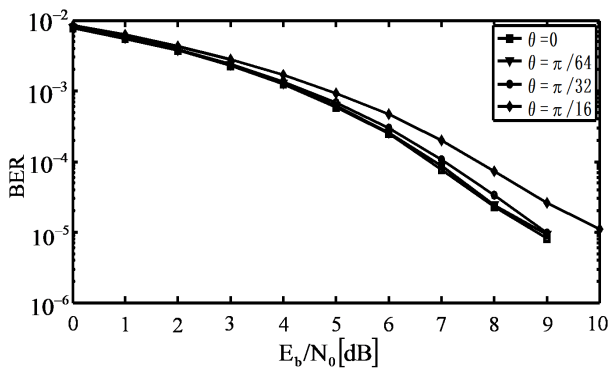


図 8 直接波のみ (位相が時々刻々と変化する場合)

4.2 2ray-model

2ray-model 伝送路で位相が一定の値で変化する場合を図 9 に示す . 2ray-model で位相が時々刻々と値が変化する

る場合を図 10 に示す . またシミュレーション結果の信頼度を 2ray-model の時々刻々と変化する場合で確かめた . $\theta = \pi/32$ で E_b/N_0 が (a)9dB, (b)7dB, (c)4dB の場合 BER の最大値と最小値の差異を求めた . この差異は (a) 1.4×10^{-5} , (b) 0.71×10^{-4} , (c) 0.29×10^{-3} であることが明らかになった .

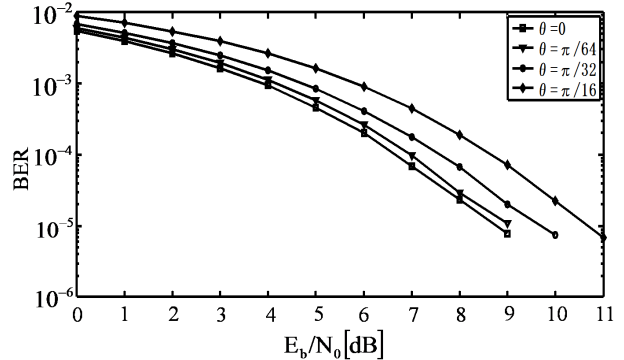


図 9 2ray(位相の変化が一定の場合)

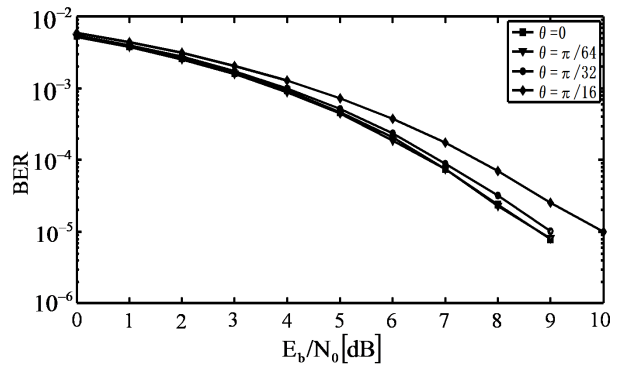


図 10 2ray(位相が時々刻々と変化する場合)

4.3 3ray-model

3ray-model 伝送路で位相が一定の値で変化する場合を図 11 に示す . 3ray-model で位相が時々刻々と値が変化する場合を図 12 に示す .

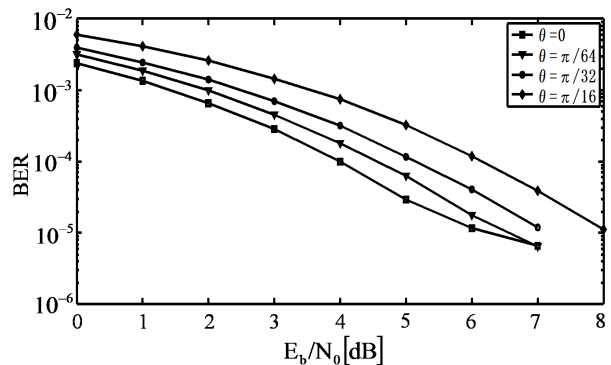


図 11 3ray(位相の変化が一定の場合)

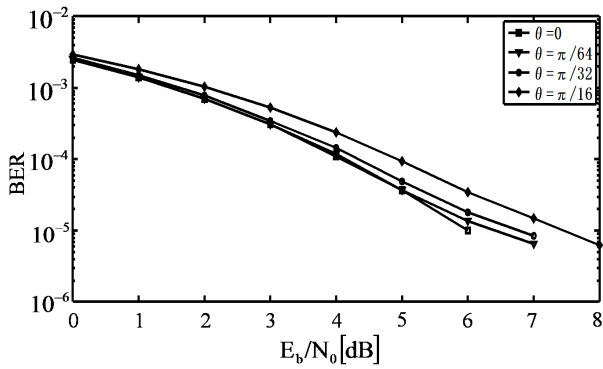


図 12 3ray(位相が時々刻々と変化する場合)

4.4 Exponential-model

Exponential-model 伝送路で位相が一定の値で変化する場合を図 13 に示す．Exponential-model で位相が時々刻々と値が変化する場合を図 14 に示す．

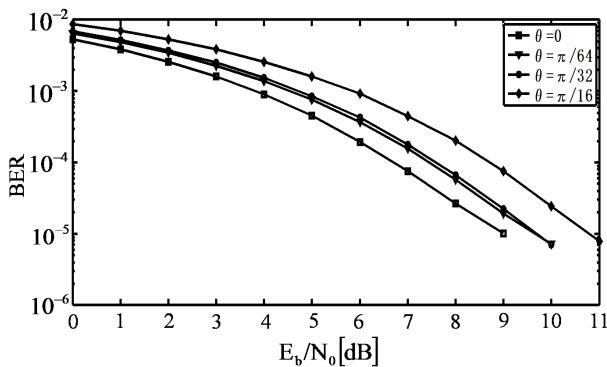


図 13 Exponential(位相の変化が一定の場合)

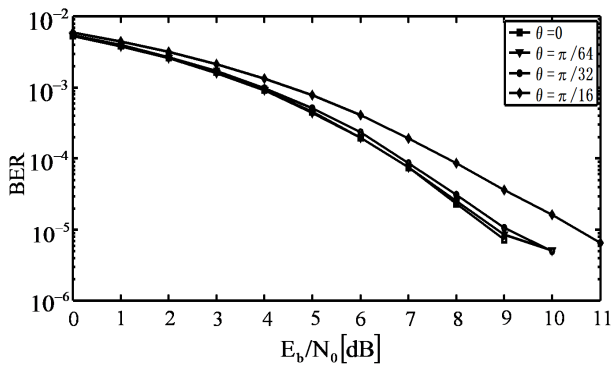


図 14 Exponential(位相が時々刻々と変化する場合)

5 シミュレーション考察

シミュレーション結果を表 2 に示す．位相の変化が一定の場合は BER の劣化が大きい．それは，位相の偏移が常に最大値のため BER の劣化が大きくなるのである．そして位相の値が時々刻々と変化する場合は，BER の劣化が小さい．その理由は位相が小さくも大きくも偏移するため

表 2 シミュレーション結果一覧

		E_b/N_0 の劣化量 [dB]		
		$\pi/64$	$\pi/32$	$\pi/16$
直接波のみ	位相が一定	0.5	1	2
	位相が時々変化	0	0.5	1
2ray-model	位相が一定	0.5	1	2
	位相が時々変化	0	0.5	1
3ray-model	位相が一定	0.5	1	2
	位相が時々変化	0.5	1	2
Exponential	位相が一定	1	1	2
	位相が時々変化	0.5	1	2

BER の劣化が小さくなるのである．つまり位相の最大値が小さい方が誤り率が小さくなるのである．2ray-model の位相が一定の値で変化する場合，SNR の劣化が 1dB 許容できるなら θ の位相偏差は $\pi/32$ におさえなければならない．また，位相の値が時々刻々と変化する場合 SNR の劣化が 1dB 許容できるなら θ の位相偏差は $\pi/16$ におさえなければならない．

6 まとめ

スペクトル拡散通信方式を使用しシミュレーションを行い伝送特性を研究した．先行研究 [2] では周波数，位相偏移を考慮しないでシミュレーションを行っていた．しかし現実世界では，周波数と位相は常に一定ではない．そのため本研究ではその位相偏移を考慮して研究を行った．

シミュレーションには 3 つの伝送路 (2ray-model, 3ray-model, Exponential-model) を使った．それぞれの伝送路で位相偏移を考慮してシミュレーションを行った．位相の変化が一定の場合と位相が時々刻々と変化する場合である．また，3 つの伝送路以外に直接波のみで遅延のない場合もシミュレーションした．シミュレーションの結果をみると，位相の変化が一定の場合は BER の劣化が大きいことが分かった．また位相の値が時々刻々と変化する場合は，BER の劣化が小さくなった．つまり位相の最大値が小さい方が誤り率が小さくなるのである．2ray-model の位相が一定の値で変化する場合，SNR の劣化が 1dB 許容できるなら θ の位相偏差は $\pi/32$ におさえなければならない．また，位相の値が時々刻々と変化する場合 SNR の劣化が 1dB 許容できるなら θ の位相偏差は $\pi/16$ におさえなければならない．

参考文献

- [1] 神谷幸宏，MATLAB によるデジタル無線通信技術，コロナ社，東京，2008．
- [2] 梶原将裕，奥田智宏，太田智大，“周波数選択性フェージング伝送路におけるスペクトル拡散通信の伝送特性，” 2011 年度南山大学数理工学部情報通信学科卒業論文，2012．
- [3] B.P.Lathi，Modern Digital and Analog Communication Systems，OXFORD UNIVERSITY PRESS，1998．
- [4] Y.S.Cho，MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB，Wiley-IEEE Press，2010．