

平成21年 5月 28日現在

研究種目： 若手研究 (B)
 研究期間： 2006～2008
 課題番号： 18760269
 研究課題名 (和文) フェージング相関を活用したOFDM伝送方式
 研究課題名 (英文) Research on OFDM transmission systems utilizing characteristics of fading correlation
 研究代表者
 笹森 文仁 (Sasamori Fumihito)
 信州大学・工学部・准教授
 研究者番号： 70298090

研究成果の概要： 携帯電話や地上デジタルテレビ放送などの電波を利用した通信では、ビルや山などによる反射によって電波の状態が著しく変化する。本研究では、上述した反射に対して頑健な方式として注目されているOFDM伝送方式を検討対象とし、ビル陰などで電波の状態が劣悪な環境においても効率的に通信が行えるような方法を提案した。また、その特性に対して理論的な解析を行うことによって、提案した方式の有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	210,000	3,510,000

研究分野： 通信工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード： 移動通信，OFDM，フェージング相関，ダイバーシチ，ビット誤り率，スループット，理論解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 背景

近年、マルチメディア情報サービスへの需要の高まりに伴い、有線ネットワークだけでなく移動通信ネットワークにおいても高速デジタル伝送の実現が求められている。移動を伴う高速デジタル伝送を実現する場合、建物などの反射によって形成される多重波伝搬路（マルチパ

ス）を経て受信される信号は、伝送帯域内の周波数成分ごとに異なる歪みが生じる“周波数選択性フェージング”の影響を受けるため、ビット誤り率 (BER) 特性の劣化が顕著になる。その対策技術として、狭帯域である複数の搬送波（サブキャリア）を密に配置して周波数利用効率を高める方式である OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing; 直交周波数分割多重) 伝送方式が注目を浴びており、地上放送、無線 LAN、移動通信

などに採用されている。

(2) OFDM 伝送方式の特徴

OFDM 技術を適用しない従来方式は、高速・広帯域な信号を直列伝送するのに対して、OFDM 伝送方式は、低速・狭帯域である複数の信号を並列伝送する方式である。さらに、伝送速度を保ちながら各サブキャリアの周波数間隔を密に配置できることから、背景で述べた特徴以外に、OFDM 伝送方式は以下の特徴を有する。

時間と周波数を 2 次元配列のように使用してデジタル変調信号を送信できる方式である。

伝搬路の相関（フェージング相関）を考えた場合、周波数軸方向に隣接する信号間の相関は高くなり、時間軸方向に隣接する信号間の相関は低くなる。

2. 研究の目的

本研究では、上述した OFDM 伝送方式の特徴を積極的に活用する方法を検討することを目的とする。フェージングの周波数変動と時間変動を決定づけるパラメータはそれぞれ、マルチパスによる遅延波の広がり（遅延スプレッド）とドップラー周波数であり、双方ともにビット誤り率特性を劣化させる要因となっている。これまでの研究で、上記 2 つのパラメータ値からフェージング相関の統計値を計算し、OFDM 伝送方式のビット誤り率特性を簡易かつ瞬時に計算できる手法（閉じた形の計算式）を確立した。遅延スプレッドとドップラー周波数は、周囲の地形や地物、送受信機の移動などによって時々刻々と変化するため、計算によってフェージング相関の変化を瞬時に検知できれば、ビット誤り率特性が常に最良となる送受信処理の方法を適応的に決定することが可能になる。その結果、エンドユーザが通信回線を評価する際の指標である伝送効率（スループット）特性も常に最良な状態を保つことが可能になる。

本提案手法では、デジタル信号伝送が従来の 1 次元（時間軸方向のみ）から 2 次元（周波数軸方向と時間軸方向）に拡張されるため、数ある送受信処理の選択幅がさらに広がることになる。「良好な特性（ビット誤り率特性およびスループット特性）が得られる方向」を念頭に置いて分類した送受信処理の具体例を以下に示す。

- (1) 相関が高い方が有利なケース
差動符号化／遅延検波、
差動符号化／多シンボル遅延検波 (MSDD)、

- (2) 相関が低い方が有利なケース
最大比合成ダイバーシチなど

すなわち、従来は時間軸方向でしか行われていなかった処理を周波数軸方向へも展開可能にし、その優位性を「理論的に」証明することが本研究の最終目標である。

3. 研究の方法

フェージング伝搬路の環境に応じた送受信処理の適応制御に関して、下記の手順で「計算機シミュレーション」と「理論」の両面から検討する。

- (1) OFDM 伝送方式におけるデータの送受信処理を忠実に再現する計算機シミュレーションプログラムを作成した後、変復調方式や各種システムパラメータ、各種伝搬路パラメータ（雑音およびフェージング）などを変化させたときのビット誤り率特性およびスループット特性を取得する。特に、上述した「良好な特性が得られる方向」を念頭におきながら、各種パラメータ設定を行う。

- (2) 計算機シミュレーションにおいて、白色ガウス雑音、フェージング、サブキャリア間干渉、シンボル間干渉などデータ伝送の障害となる各種干渉成分の統計量を同時に測定し、ビット誤り率に対する影響の度合いを把握する。

- (3) 取得した干渉量は全て、各種パラメータの変化によって大きく変動するため、それらパラメータを関数とした干渉量の数式化を干渉成分毎に行う。

- (4) 所望のデータに対する干渉のメカニズムを理論的に解明し、(3)で得られた数式を組み込んだビット誤り率を計算する近似式を導出する。また、(1)で取得したビット誤り率のシミュレーション値との比較を行い、近似式の妥当性を検証する。

- (5) (4)で得られたビット誤り率を計算する近似式を利用し、スループットを計算する近似式を導出する。また、(1)で取得したスループットのシミュレーション値との比較を行い、近似式の妥当性を検証する。

以上の結果（近似式）を用いて、OFDM 伝送方式の特徴を積極的に活用する本提案手法の優位性を理論的に証明する。

4. 研究成果

(1) 提案手法の概要

OFDM 伝送方式では、時間と周波数を 2 次元配列のように使用してデジタル変調信号を送信できる。一例として、変調方式を QPSK、サブキャリア数を 48 本にそれぞれ設定したときの提案手法の概念図を図 1 に示す。ただし、同図中の $S_{i,j}$ は、OFDM シンボルタイミング i 、サブキャリア番号 j の QPSK 信号を表している。OFDM の全サブキャリア (図 1 では 48) を 2 分割して QPSK 信号を 2 度送信し (図 1 では、例えばキャリア番号 1 と 25 で同一信号 $S_{i,1}$ を送信し)、受信側でダイバーシチ合成することにより、以下の 3 種類の相乗効果を期待するものである。

1 ビットの送信エネルギーが 2 倍増加
合成によるサブキャリア間干渉軽減
ダイバーシチ利得 (ただし、フェージング相関を有するために最大利得は得られない)

同手法を適用することによって情報ビットレートは半分になるが、変調方式を BPSK に変更する (情報ビットレートを半分にする) ことによって 1 ビットの送信エネルギーを 2 倍増加させる「適応変調方式」と比較した場合、同一の情報ビットレートを確保しつつ、サブキャリア間干渉軽減効果とダイバーシチ利得の分だけ高品質伝送が期待できる。以上は周波数ダイバーシチを活用した例であるが、同様にして時間ダイバーシチを活用することも可能である。ただし、時間間隔を空けて同一信号を送信するため、処理遅延が生じるという欠点がある。

(2) 特性評価

本提案手法では、変復調方式や各種システムパラメータ、各種伝搬路パラメータ (雑音およびフェージング) など、特性を左右する要因は非常に多いため、紙面の都合上、表 1 にシステム諸元の一例を示し、その時のビット誤り率特性とスループット特性を図 2 と図 3 にそれぞれ示す。ただし、同図中の CNR は搬送波電力対信号電力比 (Carrier to Noise power Ratio) であり、従来手法 (DBPSK) と提案手法 (DQPSK, 周波数ダイバーシチ) は同一の情報ビットレートであることを付記する。図 2 より、キャリア間干渉軽減効果 (interferences suppression) とダイバーシチ利得 (correlated diversity gain) による提案手法のビット誤り率改善効果が確認できる。また、図 3 より、

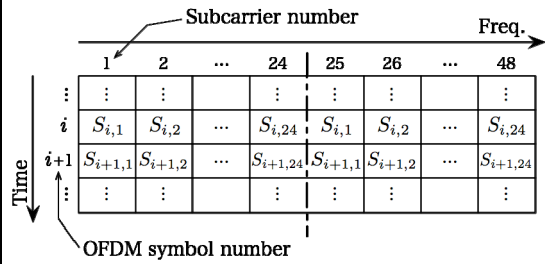


図 1 提案手法の概念図

表 1 システム諸元

変調方式	DBPSK	DQPSK
差動符号化方向	周波数軸方向	
サブキャリア数	48	
ダイバーシチ	無し	有り
ガードインターバル比	1/4	
雑音	加法的白色ガウス雑音	
フェージングモデル	ETSI / BRAN (channel-A)	
正規化ドップラー周波数	7×10^{-5}	
正規化遅延スプレッド	0.007	

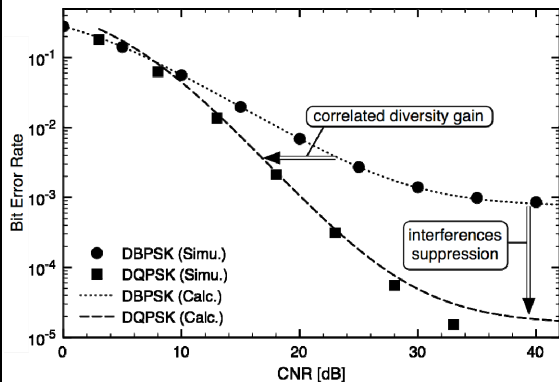


図 2 ビット誤り率特性

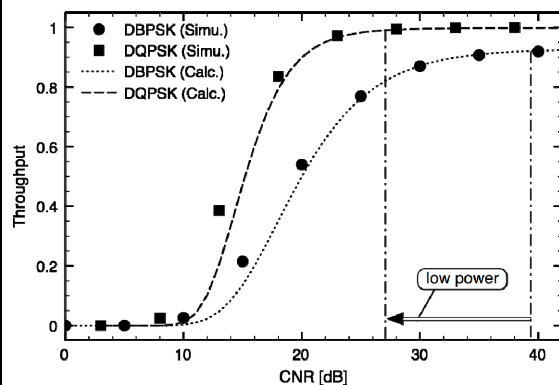


図 3 スループット特性

提案手法の方が最大スループットに到達する所要 CNR が低いことが分かる。すなわち、提案手法を用いることによって送信機の出力を低減することが可能になり、省エネ効果があることも確認できる。

(3) 理論検討

図 2 と図 3 に示した各特性において、プロット点で示してあるのが計算機によるシミュレーション値、線で示してあるのが理論解析結果（近似式）による計算値である（紙面上の都合により、計算式の記載は省略する）。同図より、ビット誤り率特性およびスループット特性ともにシミュレーション値と計算値が概ね一致していることから、提案手法の優位性を理論的に証明できることが確認できる。変復調方式や各種システムパラメータ、各種伝搬路パラメータパラメータの変化に対する特性を評価する方法として、計算機シミュレーションを用いることも可能であるが、シミュレーションに膨大な時間を要することが欠点である。一方、本検討により導出した近似式は閉じた形の計算式であることから、上記パラメータ変化に対して簡単かつ瞬時に特性を評価することができる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

F. Sasamori, Y. Ishikawa, S. Handa, S. Oshita, A Simple Expression of BER Performance in COFDM Systems over Fading Channels, IEICE Transactions on Fundamentals, vol.E92-A, no.1, pp.332-336, 2009, 査読有

Y. Ishikawa, F. Sasamori, S. Handa, S. Oshita, A Study on Post-Detection Diversity Combining for OFDM Systems, 2006 10th International Conference on Communication Technology Proceedings, vol.2, pp.1457-1460, 2006, 査読有

〔学会発表〕（計 8 件）

新井 紀裕, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, 適応制御を用いた符号化 OFDM システムのスループット特性, 電子情報通信学会信越支部大会, 2008.9.27, 新潟

中瀬古 浩己, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, MSDD/OFDM システムにおけるドップラー速度の推定法, 電子情報通

信学会信越支部大会, 2008.9.27, 新潟
渡邊 光春, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, MSDD/OFDM システムにおけるダイバーシチ適用時の尤度計算法, 電子情報通信学会信越支部大会, 2008.9.27, 新潟

渡邊 光春, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, MSDD/OFDM システムにおける BER 特性の一検討, 電子情報通信学会信越支部大会, 2007.9.29, 長野

新井 紀裕, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, OFDM シンボル内ダイバーシチ方式のスループット特性に関する一検討, 電子情報通信学会信越支部大会, 2007.9.29, 長野

中根 崇, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, MSDD/OFDM システムにおける速度推定法の一検討, 電子情報通信学会信越支部大会, 2007.9.29, 長野

竹村 寛行, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, OFDM シンボル内ダイバーシチ方式における BER 特性の一検討, 電子情報通信学会信越支部大会, 2007.9.29, 長野

石川 雄也, 笹森 文仁, 半田 志郎, 大下 眞二郎, OFDM シンボル内ダイバーシチ方式に関する一検討, 電子情報通信学会信越支部大会講演論文集, 2006.9.30, 新潟

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：適応制御型ダイバーシチ通信システム

発明者：笹森文仁, 半田志郎, 大下眞二郎

権利者：信州大学

種類, 番号：特許, 特願 2006-198378

出願年月日：2006 年 7 月 20 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹森 文仁 (FUMIHITO SASAMORI)

信州大学・工学部・准教授

研究者番号：70298090

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし