

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560355

研究課題名（和文）高速移動環境におけるブロードバンド移動通信方式に関する研究

研究課題名（英文）Research on broadband mobile communication techniques
in time selective fading channels

研究代表者

田野 哲 (SATOSHI DENNO)

京都大学 大学院情報学研究科・准教授

研究者番号：80378835

研究成果の概要（和文）：現在、FFT (Fast Fourier Transform) を利用したブロック伝送が様々な無線通信システムで利用されている。但し、非常に高速に端末が移動する際には、大きく特性が劣化する。本研究課題では、この問題を解決する新しい通信方式を考案した。そして、ブロック周波数で規格化した最大ドップラー周波数 $f_D T = 0.25$ という高速で端末が移動する環境でも、高い品質で通信が可能になること計算機シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Nowadays, block-wise signal processing with FFT (Fast Fourier Transform) is widely used in wireless communication systems. But, block-wise signal processing degrades seriously in fast time varying channels. This research program proposes a novel scheme that mitigates the performance degradation in such channels. It is shown by computer simulation that the proposed scheme achieves superior performance in fast time varying channels with 0.25 of the maximum Doppler frequency normalized by block size, $f_D T$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：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：高速フェージング，周波数領域等化，高速フーリエ変換（FFT）．フェージング歪，並列等化，誤り訂正符号，繰り返し歪補償

1. 研究開始当初の背景

無線 LAN (Local Area Network) に加えてセルラー携帯電話，PHS (Personal Handy-phone System) 等においても数十～百メガビットの高速通信を実現するために OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) や FFT (Fast Fourier Transform) 等化器が適用されている。理論解析だけでなく、屋外実験でも、これ等により、高速通信が可能になることが示され

ている。

2. 研究の目的

端末が高速に移動すると、前記の技術は著しく特性を劣化させるという問題がある。例えば、2.5GHz 帯の WiMAX をリニアモーターカーで利用した場合、この劣化要因により全く通信ができない。

3. 研究の方法

高速に端末が移動する場合、通信路状況もそれに応じて高速に変動する。移動通信環境の場合、この伝送路環境を高速フェージング伝送路と呼ぶ。そこで、高速フェージング伝送路でも高い特性を達成する、フェージング歪補償技術をFFT等化器に適用することから研究を開始する。次に、高速フェージングでの特性を向上させる可能性を持つ下記の項目について研究を進める。

- a) 伝送路推定法, b) 誤り制御技術の融合
- c) インターリーブ設計, d) OFDMへの拡張

4. 研究成果

FFT等化器に下記の技術を効果的に組み合わせることで、大きく特性が改善できることを明らかにした。

(a) 誤り訂正符号とインターリーブの導入
フェージング歪補償では復調したデータ系列から、高速フェージングに起因する歪成分のレプリカを作成し、これを受信信号から除去することで特性を改善する。特性改善効果は復調したデータ系列の正確さに依存している。この解析結果に基づき、誤り訂正やインターリーブを導入したところ、データの正確さを向上し、より特性が改善できることが分かった。

(b) 繰返し干渉補償
さらに、誤り訂正復号器の出力信号を用いてフェージング歪補償を行うことで更なる特性改善が可能であることも示した。さらに、この処理を繰り返すことにより、より一層の特性改善が可能になることが明らかになった。その際、誤り訂正能力を超える劣悪な信号が入力された場合には、特性が改善できないという問題点も明らかになった。

(1) 並列FFT等化

上記の問題点を克服する技術として並列FFT等化器を考案した。並列FFT等化器では、並列にFFT等化を配置し、各々異なった伝送路応答値を用いて等化を行なう。次に、各等化器出力のうち、品質の高い信号だけを選択合成する。選択合成された信号は前記(a)で検討したインターリーブ及び誤り訂正復号器に入力される。並列に配置された各々の等化器の出力信号の特性は、従来法の特性と一致するが、各々の信号を選択合成することにより、大幅に特性が改善される。

(a) 干渉補償技術との融合

並列FFT等化に上記の干渉補償技術を適用することで、さらに特性を改善できることを明らかにした。実際、計算機シミュレーションによりその特性改善効果を定量的に評価した。図1に符号化率1/2の誤り訂正符号を用

いた場合の特性例を下に記す。横軸は E_b/N_0 で、縦軸は平均ビット誤り率である。伝送路は10パスのレイリーフェージング伝送路で、各々の遅延波の電力は全て同一とした。FFTサイズで正規化した最大ドップラー周波数 $f_D T$ は 10^{-3} である。また、変調方式はQPSK (Quaternary Phase Shift Keying)である。一方、FFTサイズは256シンボルで、その後10シンボルのCP (Cyclic Prefix)を付加したフレーム構成を用いている。但し、伝送路応答は受信機で分かっているものとした。

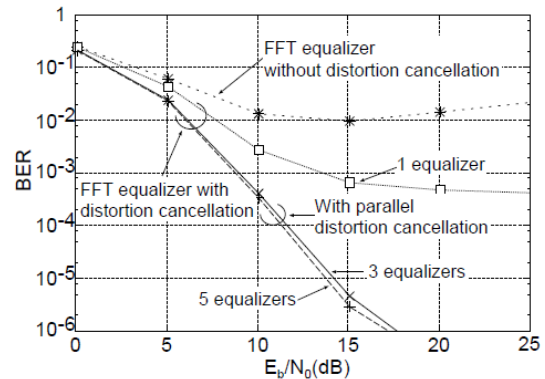


図1. 並列FFT等化器のBER特性

「1-equalizer」が従来法であり、「3-equalizer」や「5-equalizer」が並列FFT等化器の特性である。具体的には3-equalizerや5-equalizerは各々3並列FFT等化、5並列FFT等化を意味している。明らかに、並列FFT等化器により大きく特性が改善されている。但し上記のように、これは伝送路推定が完璧であることを前提としている。即ち、伝送路応答値をカンニングした場合の特性である。ところが、高速フェージング伝送路における高精度な伝送路推定は決して簡単な問題ではない。加えて、符号化率1/2の誤り訂正符号を用いているため、伝送速度が低下するという問題もある。そこで、下記の方式を新たに考案した。

(b) 繰返し伝送路推定

通常、伝送路推定は通常、信号に付加されている既知信号を利用して行われる。これは、既知信号で推定された伝送路応答はそのフレーム中は殆ど変化しないことを前提としている。しかし、高速フェージング伝送路では、この前提が成立しない。即ち、高速フェージング伝送路では1フレーム内においても、伝送路応答が刻一刻変化する。従って、データ区間においても伝送路推定を行う必要がある。無論、データ区間の信号は等化をする以前に知るすべは無く、従来法では高精度な伝送路応答が困難であった。そこで、この高

速フェージング伝送路でも高精度に伝送路応答を推定する手法を考案した。提案法では、データ区間の前後に既知信号を付加したフレーム構成を利用する。まず、既知信号を用いて、フレームの先頭と最後の時間における伝送路推定を行う。次に、先頭と最後における伝送路推定を内挿補間することでデータ区間の伝送路応答とする。次に、この伝送路応答を用いて並列 FFT 等化を行う。そして、並列 FFT 等化された信号は誤り訂正復号された送信信号の推定値を得る。次の繰り返し FFT 等化では、この復号された信号を利用して、再度、伝送路推定を行う。この処理を、並列 FFT 等化を繰り返すたびに、並列 FFT 等化器では、干渉補償が繰り返される毎に信号の品質が向上する。更には、品質の時間分布も変化していく。原理的に、復号された信号の推定精度が向上すれば、伝送路推定の精度も向上する。無論、伝送路推定の精度が向上すると、相乗効果的に復号される信号の特性も向上する。

(c) 繰り返し雑音推定

各 FFT 等化器では MMSE (Minimum Mean Square Error) 規格で周波数領域等化を行っている。MMSE 等化では信号の雑音電力に関する情報が必要になる。通常は、AWGN (Additive White Gaussian Noise) だけが重畳されるだけなので、通信を開始する際に、簡単に雑音推定を実施するだけで十分である。ところが、高速フェージング伝送路で FFT 等化を行う場合、フェージング歪が発生し、これが雑音と等価となる。伝送路応答の変動の仕方はフレーム毎に異なるため、歪成分もフレーム毎に異なる。従って、フレーム毎に雑音を推定する必要がある。雑音推定にも (b) の繰り返し伝送路推定と同様に、既知信号が必要になる。そこで、(b) の繰り返し伝送路推定で利用した既知信号を雑音推定でも利用する。そして、(b) 同様に並列 FFT 等化を繰り返すたびに、雑音推定も繰り返し行う。これにより、繰り返す毎に MMSE 等化の能力が向上し、伝送特性を向上できる。

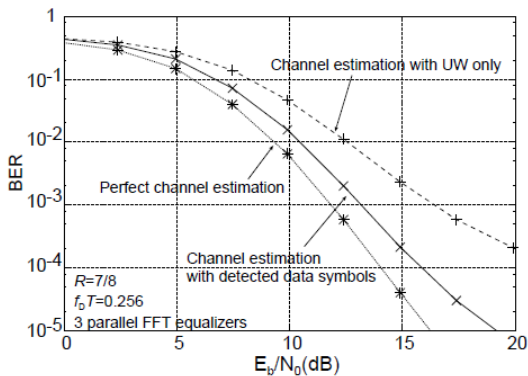


図 2. 繰り返し推定の特性

これら (b) 及び (c) の技術により、符号化率 7/8 の誤り訂正を利用し、通信速度の高速化を図ったとしても、高い通信品質が達成できることを明らかにした。下記にその特性を示す。変調方式は QPSK であり、伝送路は 10 パスのマルチパスフェージング伝送路であり、FFT サイズで正規化した最大ドップラー周波数 $f_D T$ は 10^{-3} である。同図において、「channel estimation with UW only」が、内挿補間だけを利用した伝送路推定を用いた場合の特性、そして「channel estimation with detected symbols」が提案法の特性である。提案法により特性が大きく改善されていることが分る。ちなみに「Perfect」は伝送路応答をカンニングした場合であり、提案法はカンニングした場合に近い特性が達成されている。

(2) 並列 OFDM 復調器

上記の FFT 等化器のアイデアを OFDM 受信機に適用した、並列 OFDM 復調器の構成を明らかにした。但し、上記で提案した伝送路推定では正確な推定が困難になるという問題が明らかとなった。そこで、周期的にインパルスを送ることで伝送路推定の特性が改善できることを発見した。これを用いることで、FFT 等化と同様の優れた特性が達成できることを示した。図 3 にその特性を示す。サブキャリア数は 256、変調方式は QPSK である。また、伝送路は 10 パスのマルチパスレイリーフェージング伝送路で、FFT サイズで正規化した最大ドップラー周波数 $f_D T$ は 10^{-3} である。参考のために、最大ドップラー周波数 f_D が 0 の時の従来法の特性も付記している。同図で、PTDIC と PFDIC は提案法の特性である。PTDIC は時間領域で干渉補償を行い、と PFDIC は干渉補償を周波数領域で行う。両方とも従来法よりはるかに優れた特性を達成している。

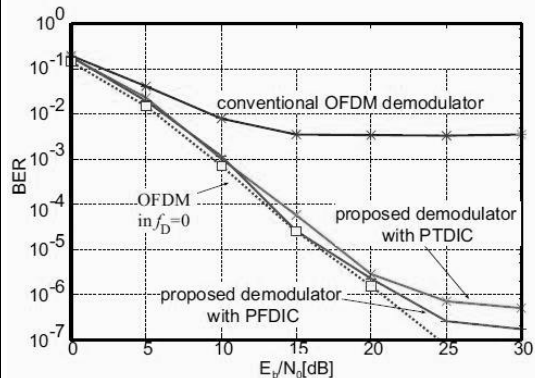


図 3. 並列 OFDM 復調器の特性

(3) 多値変調系への拡張

上記では、QPSK という比較的多値数の小さな変調方式を用いている。LTE や WiMAX 等では

高速通信を達成するために、16QAM 等の多値変調を適用している。そこで、上記並列 FFT 等化器を 26QAM 変調等の多値変調に適用する際の問題点や、設計指針を明らかにした。多値化されると、ビット誤りが信号の品質に敏感になる。従って、繰返しの回数や、FFT 等化の並列数を変調方式器に応じて変化させる必要があることを明らかにした。さらには、変調方式や最大ドップラー周波数に対して、最適な繰返し回数や、並列数が存在することを明らかにした。

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)

- (1) Satoshi Denno, Ippei Aoki, Daisuke Umehara and Masahiro Morikura, “An Iterative Parallel OFDM Demodulation for Fast Time-Varying Fading Channels,” Proceedings of 4th international conference on signal processing and communication systems (ICSPCS), Gold coast, Australia, Dec. 13-15, 2010. (査読有)
- (2) 橋本 幸一郎, 田野 哲, 梅原 大祐, 守倉 正博, “高速フェージング伝送路のための並列 FFT 等化,” 信学論 (B), Vol. J92-B No. 7 pp. 1174-1184, July 2009. (査読有)

[学会発表] (計 3 件)

- (1) 磯貝太喜, 田野 哲, 梅原大祐, 守倉正博, “高速マルチパスフェージングチャンネルにおける並列 FFT 等化を用いた高速伝送方式,” 電子情報通信学会 総合大会, B-5-7, 東京都市大学、世田谷区、3月15日、2011.
- (2) 磯貝太喜, 田野 哲, 梅原大祐, 守倉正博, “高速フェージングチャンネルにおける高エネルギー伝送方式の検討,” 電子情報通信学会 無線システム研究会, vol. 110, no. 251, pp. 211-215, 大阪大学、吹田市、10月29日、2010.
- (3) 橋本幸一郎, 田野 哲, 梅原大祐, 守倉正博, “並列フェージング歪み補償 FET 等化器の劣化要因解析とその補償法,” 電子情報通信学会 無線システム研究会, vol. 108, no. 135, pp. 1-6, 京都大学、京都市、7月17日、2008.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

[その他]

ホームページ等 : 該当無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田野 哲 (DENNO SATOSHI)

京都大学・大学院情報学研究科・准教授

研究者番号 : 80378835

(2) 研究分担者

梅原 大祐 (UMEHARA DAISUKE)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号 : 50314258

(3) 連携研究者

該当無し