

令和 4 年 6 月 11 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04388

研究課題名(和文)無線周波数資源高度利用通信システムでの低複雑度等化器に関する研究

研究課題名(英文)The research on the low-complexity equalizer for the high-efficient wireless resources usage communication system

研究代表者

韓 承鎬 (HAN, CHENGAO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：10400714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無線周波数資源の利用効率を飛躍的に高められる完全相補系列系に基づいたCDMA通信システムに対して、反射波によるマルチパスやフェージングの影響を受けた受信信号から、低複雑度で送信された情報を復元するための等化器について研究した。
研究の結果、各パスの信号を分離し、その送信エネルギーを有効に利用することで、パスの数が多いほどフェージングに頑丈な線形等化器を開発した上に、受信された情報から誤った部分を訂正する新たな誤り訂正符号を開発し、同じエネルギーで送信された情報が誤る確率をおよそ1/100に低減した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、携帯電話や無線LAN等の急速な普及と超高速無線通信への需要の増加に伴い、無線周波数資源の枯渇問題が深刻化し、無線周波数資源は世界で最も貴重な資源となっている。その故に、無線周波数資源の有効利用技術は世界中から切実に求められており、情報通信分野で解決すべき最優先課題となっている。
本研究では、無線周波数資源の利用効率を飛躍的に高められる完全相補系列系に基づいたCDMA通信システムに対して、低複雑度で情報を復元できる受信機を開発し、ますます熾烈化されている情報通信技術の開発開発競争においての日本の優位性に貢献した。また、新しい高性能な誤り訂正符号を提案し、学術的に貢献した。

研究成果の概要(英文)：Since the complete complementary code division multiple access communication (CC-CDMA) system can isolate each path from the received signal transmitted over a wireless channel, we may utilize each reflected signal energy to combat fading distortion and realize a high-spectral efficiency.

In this research, we addressed to the CC-CDMA developed a low-complexity linear minimum mean square error equalizer. Moreover, we also developed a novel type Turbo error correcting codes and suppressed bit error performance to 1/100.

研究分野：無線通信システム

キーワード：無線通信システム 高無線周波数利用効率 完全相補系列系 低複雑度等化器 Turbo符号

1. 研究開始当初の背景

社会の高度情報化と共に、二十一世紀の国力の基礎となる基幹産業と成長した情報通信産業は、装置化技術、有線通信技術および無線通信技術から支えられている。その中で、LSI 技術の飛躍的な発展と光ファイバーの出現により、装置化技術と有線通信技術の開発は比較的順調に行われているが、無線通信技術の開発においては、その通信媒体である無線周波数資源の枯渇という重大な問題を抱えている。特に近年、携帯電話や無線 LAN 等の急速な普及と超高速無線通信への需要の増加に伴い、爆発的に増える情報通信需要の中での無線通信の割合は高まる一方である。その故に、無線周波数資源の枯渇問題はますます深刻化し無線周波数資源は世界で最も貴重な資源となっており、その有効利用技術は世界中から切実に求められている情報通信分野で解決すべき最優先課題となっている。また最近、ディープラーニングの出現により人口知能への期待が高まり、ディープラーニングに必要なデータを収集するために、すべてのものがインターネットにつながる Internet of Things (IoT) の実用化が急激に進んでいるが、IoT センサーの無線通信システムは限られた電力で駆動されている場合が多いため、搭載される通信システムには低複雑度が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、低複雑度で革新的な無線周波数利用効率を実現できる Z-CCC-CDMA 無線通信システムの実用化を目指して、必要な周辺技術の開発を行う。具体的には、三年間の研究期間に渡って、(1)低複雑度通信路等化技術、(2)誤り訂正符号の適応法、(3)高速移動通信環境でのドップラー影響の除去技術の開発を行う。

(1)低複雑度通信路等化技術

無線通信システムでは、電波の多重経路反射伝搬の影響や帯域制約により起こる信号波形の歪から送信データを復元するために、伝搬路の通信路推定を行い、そこから得られた通信路係数に基づいて受信信号に対して等化处理を行い、信号を判定する必要がある。その際に用いる等化器は、復元されるデータの精度に大きな影響を与えるが、最適な等化器の計算量は、一般的に送信シンボルサイズと通信路の長さ按比例して指数的に増えるため、低複雑度が要求される通信システムには適合しない。本研究では、Z-CCC-CDMA において、多重経路反射フェージング伝搬環境での通信路特徴を時間と周波数の 2 つの領域で理論解析を行い、平均自乗誤差を最小にする MMSE 線形等化器と同じダイバーシチを達成しながら、計算量がその以下になる等化器の開発を目指す。

(2)誤り訂正符号の適応法の開発

無線通信システムでは通常、所定の通信品質を達成するために、一定の誤りを校正できる誤り訂正符号を適応する。また、Z-CCC-CDMA についてシステム評価を行った結果、拡散演算の計算量と電力増幅器の非線形性に起因するクリッピング雑音への耐性にはトレードオフ関係があることが明らかになった。その故に、Z-CCC-CDMA では拡散演算の計算量が少ないシステムパラメータを選択した場合には、クリッピング雑音への耐性を強化するためにも誤り訂正符号の適応が不可欠となるが、クリッピング雑音の分布は熱雑音のガウス分布と異なる統計的な性質を有しているため、雑音環境での誤り訂正を目的とした符号は、クリッピング雑音環境下では最適とまらない可能性がある。本研究では、Z-CCC-CDMA システムのクリッピング雑音分布について詳しい解析を行った後、熱雑音、クリッピング雑音及びその 2 つの雑音が混在する場合の、システムに適した誤り訂正符号の設計と性能評価を行う。

(3)高速移動通信環境でのドップラー影響の除去技術の開発

自動運転などで安全性を保証するには、移動体と地面との間の高精度な無線通信が不可欠である。しかし、移動体の運動中に地面局と通信を行う時には、電波の周波数にドップラー変動が生じるため、通信路に時変性をもたらす。その故に、直前の通信路推定で得られた結果をそのまま通信路等化に使用すると通信品質が大きく劣化する。高速移動通信環境で通信を行う場合には、通信路の時間変動を追跡推定し、その結果を通信路等化に適用する必要があるが、通信路の追跡推定精度が通信品質に大きな影響を与えるほか、時変通信路では時不変通信路と比べて、等化器の計算量が莫大に増える。これまでの性能評価で、Z-CCC-CDMA システムは、ドップラー周波数偏移に頑丈である性質が計算機シミュレーションにより確認されたが、本研究では、この性質を利用するために、ドップラー周波数偏移の影響について理論解析を行った上に、低複雑度 Z-CCC-CDMA システムに適した時変通信路での通信路推定手法と通信路等化技術を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、理論的な手法を用いて最小二乗誤差の原理に基づいた等化器を設計した上に、計算機シミュレーションでその性能を確認する手法を用いて研究を進めた。

4. 研究成果

本研究を通じて、完全なダイバシティオーダーを実現できる線形等価機を開発した他、従来の Turbo 符号を見直し、適応する畳み込み符号とインターリーブを改良することで、従来の Turbo 符号の 1/100 の誤り率を実現した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yuki Tachibana and Chenggao Han
2. 発表標題 CS-CDMA System with Binary Z-connectable Complete Complementary Codes
3. 学会等名 IEEE Radar Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 竜、韓 承鎬
2. 発表標題 接続可能な完全相補系列系を用いた周期畳み込み直交多重接続システム
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水由 光、韓 承鎬
2. 発表標題 接続可能な完全相補系列系を用いたCCC-CDMAシステムとその性能評価...
3. 学会等名 水由 光、韓 承鎬
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Chenggao Han and Takeshi Hashimoto "Performance Enhanced Coded OFDM with Almost Linear Inter leaver over Rayleigh Fading Channels," submitted to IEEE Trans. Information theory, under second round review.
<https://doi.org/10.36227/tehrxiv.14740899.v2>

Hikaru Mizuyoshi and Chenggao Han "Concatenaive Complete Complementary Code Division Multiple Access and its Fast Transform," submitted to Transaction on Wireless Communications, under review.
<https://doi.org/10.36227/tehrxiv.14708250.v2>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------