

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420393

研究課題名(和文) 高速に変動する電波環境下で大容量化を実現する差動時空符号化に関する研究

研究課題名(英文) Differential space-time coding with large channel capacity in fast time-varying radio frequency environment

研究代表者

久保 博嗣 (KUBO, Hiroshi)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40633243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高速に伝送路が変動する条件の下、周波数資源を有効利用しつつ大容量化を実現するための予測形差動時空周波数符号化方式を提案した。本提案方式は、伝送路変動を予測し、かつ、時間軸と空間軸を活用した差動時空符号化に新たに周波数軸を協調させるものである。最後に計算機シミュレーション結果から、提案方式は従来方式と比較して、(1)サービスに必要な基地局数を1/10以下に削減でき、(2)周波数資源を2～4倍有効活用できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to achieve high frequency efficiency and large channel capacity, this research proposes differential space-time-frequency coding based on channel prediction for fast time-varying channels. The proposed scheme predicts time-varying channels and employs not only space-time domain signal processing but also frequency domain signal processing. Finally, computer simulation results confirm that the proposed schemes have the following excellent features compared with the conventional schemes: (1) the number of base stations for communications can be reduced to 1/10 thanks to the proposed schemes; (2) the proposed schemes can achieve 2-4 times better frequency efficiency.

研究分野：無線通信

キーワード：通信方式 変復調 信号処理 符号化 MIMO伝送方式

1. 研究開始当初の背景

災害時も含めた通信インフラとして、同一周波数にて複数の基地局が連携して、同報通信を実現する移動体通信システム(同一周波数複数局同時送信システム)が有効である。本通信システムでは、高速移動環境への対応、限られた周波数資源下での大容量化、通信システム実現に必要な基地局数の削減、という解決すべき課題が存在する。

上記の課題は、それぞれ相互に関連しており、総合的な観点から課題を明確化して、解決するための技術検討が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、高速な伝送路変動の下で良好な性能を実現し、従来より大容量化を図ることができ、かつ、システム構成が簡単な通信方式を実現することを目的とする。具体的な数値目標としては、(1)基地局数を 1/10 以下に削減し、(2)周波数利用効率を 2~4 倍改善することを目指す。

上記目標を達成するために、通信方式に要求されるパラメータについて議論する。まず、基地局数を削減するには、基地局のカバーエリアを拡大する必要がある。しかし、カバーエリアを拡大すると、エリア半径に比例して反射等で発生する遅延広がりが増大する。この遅延広がりは、マルチキャリア伝送方式により解決できるが、その結果 1 シンボル当たりの伝送路変動が高速になる。即ち、従来の 3 倍を超える伝送路変動に対応することができれば、上記(1)の基地局数を 1/10 以下に削減するという目標を達成できる。次に、周波数利用効率を改善するには、単位周波数当たりの送信ビット数を増加させれば良い。即ち、単位周波数当たりの送信ビット数を 2~4 倍とできれば、上記(2)の周波数利用効率を 2~4 倍改善するという目標を達成できる。

3. 研究の方法

本研究では、伝送路変動を評価するパラメータとして正規化最大ドップラー周波数を用い fDT と表記し、単位周波数当たりの送信ビット数を m と表記する。また、差動時空符号化としては、差動時空ブロック符号化(DSTBC)と差動時空トレリス符号化の一種である PADM (per transmit antenna differential mapping) を取り上げて検討する。

従来の差動時空符号化を用いた場合、fDT が 1% の条件にて m=2bps/Hz 程度が動作限界であった。本研究では、以下(1)から(5)に記載する技術を研究することにより、fDT が 3% の条件にて m=4bps/Hz、fDT が 1% の条件にて m=4~8bps/Hz を実現することにより、2. で述べた目的を達成する。

- (1) 差動時空符号化用予測形復調方式
- (2) 差動時空符号化 PSK マッピング
- (3) 差動時空符号化空間多重
- (4) ネットワーク符号化変調信号多重

(5) 差動時空周波数協調 SC/MC 融合変調

ここで、SC はシングルキャリア、MC はマルチキャリアを示す。

4. 研究成果

3. で述べた項目に関して、得られた成果をまとめる。なお、差動時空符号化としては、PADM と DSTBC を取り上げ PADM に関しては、空間多重(SM)と送信ダイバーシチ(TD)の 2 種類を評価した。

(1) 差動時空符号化用予測形復調方式

高速な伝送路変動に対応するには、伝送路を予測する方式が有効である。そこで、本研究では、予測形復調方式として、図 1 に示すように、現在の伝送路特性を推定する際に、過去の伝送路特性を平均化するのではなく、過去の伝送路特性から予測する方式を提案した。

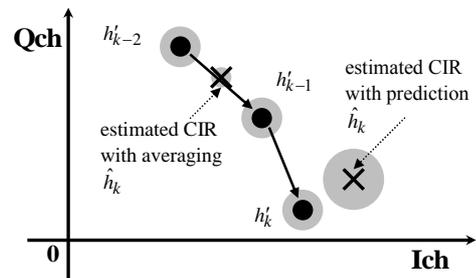


図 1 伝送路予測の原理

本提案原理は、差動時空符号化である PADM と DSTBC に適用可能であるばかりでなく、更に従来の差動符号化に対しても適用可能な広汎な原理である。

(2) 差動時空符号化 PSK マッピング

PADM では、多値変調時に受信感度が低下するという問題がある。図 2 に、提案する PADM の受信感度を改善する時空 PSK マッピングを示す。ここで、図中の p=1 は送信アンテナ 1、p=2 は送信アンテナ 2 に対応することを示す。従来の PSK マッピングは図中の(a)のように、各信号点に関して対称な形状を有しているが、提案するマッピングは図中の(b)のように非対称な形状を与えることで、各信号点間の距離を拡大し、受信感度を改善可能である。

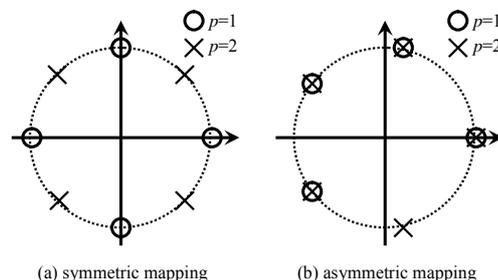


図 2 時空 PSK マッピング

(3) 差動時空符号化空間多重

PADM は DSTBC と異なり, SM を実現可能である. SM は一般に受信感度改善に効果があり, 差動時空符号化にても受信感度改善の効果を期待できる. 更に, 本研究では, SM を適用した PADM の予測形復調方式を提案した.

(4) ネットワーク符号化変調信号多重

PSK 系の変調方式においては, 位相加算によりネットワーク符号化が可能となる. この原理は差動符号化も含む差動時空符号化に適用可能となる. 本研究では, ネットワーク符号化変調を用いた差動時空符号化を提案し, 中継器が存在するネットワーク符号化が適用可能な条件にて, 周波数利用効率を 2 倍と拡大した.

(5) 差動時空周波数協調 SC/MC 融合変調

SC を並列伝送することで, SC 伝送方式と MC 伝送方式の中間体を実現する, 多重 SC 伝送方式を提案した. 本方式は, キャリア間の周波数間隔を任意の値に設定できるため, f_{DT} が大きい場合でもキャリア間干渉を抑圧可能である. この性質から, 多重 SC 伝送方式は, キャリア間干渉キャンセラの搭載が不要となるという利点がある.

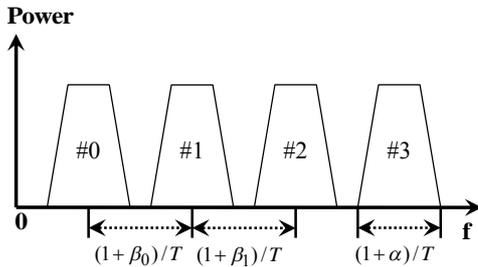


図3 多重 SC 伝送の構成

(6) 総合的な性能評価結果

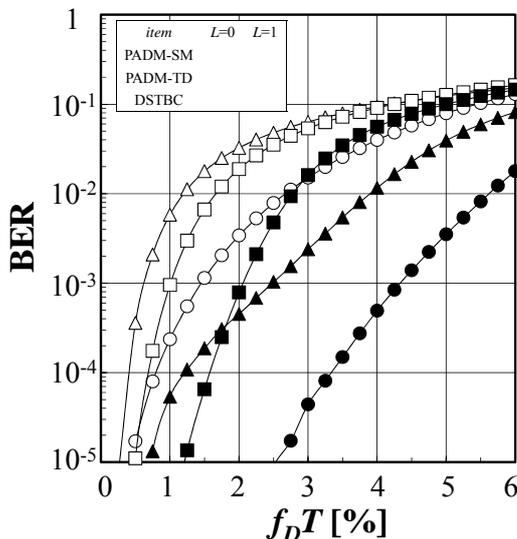


図4 m が 4bps/Hz 時の BER 特性

図4に, 伝送路予測無(L=0)と伝送路予測有(L=1)の PADM-SM, PADM-TD, DSTBC の 3 つの差動時空符号化に関して, m が 4bps/Hz 時の f_{DT} をパラメータとした BER 特性を示す. ここで, 受信アンテナ数は 2 とする. ターゲット BER を 0.5% 程度に設定すると伝送路予測有の PADM-SM にて約 5% の f_{DT} に対応可能なことが示される.

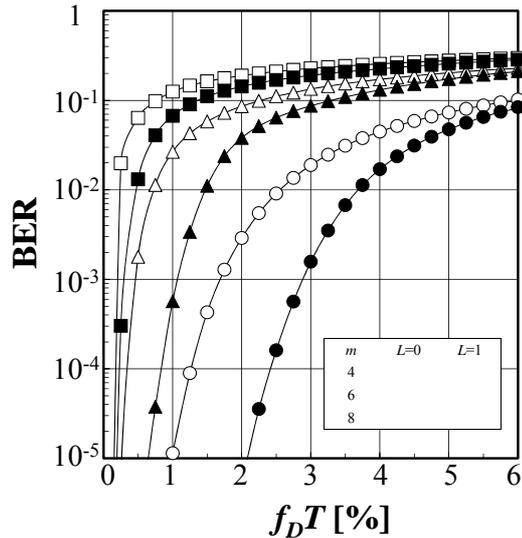


図5 DSTBC の BER 特性

図5に伝送路予測無(L=0)と伝送路予測有(L=1)の DSTBC に関して, m が 4, 6, 8bps/Hz 時の f_{DT} をパラメータとした BER 特性を示す. ここで, 受信アンテナ数は 4 とする. ターゲット BER を 0.5% 程度に設定すると, 伝送路予測有の DSTBC にて m が 6bps/Hz 時に約 1% の f_{DT} に対応可能なことが示される.

実現性の観点から議論すると, PADM は高速時変伝送路への高い追従性を有するが, m が大きくなると計算量が現実的でなくなる. 他方, DSTBC は高速時変伝送路へ追従性は低下するが, 計算量が m に依存しないという特長がある.

以上を総合すると, 本研究成果により, 次の結果が得られる.

- f_{DT} が 5% の条件にて 4bps/Hz を達成可能
 - f_{DT} が 1% の条件にて 6bps/Hz を達成可能
- 上記結果を勘案すると,
- 従来の 3 倍を超える伝送路変動に対応することで, 基地局数を 1/10 以下に削減可能,
 - 単位周波数当たりの送信ビット数を 2~4 倍とすることで, 周波数利用効率を 2~4 倍有効活用可能,
- という目標を達成できた.

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)

宮崎律子, 湯本菜々瀬, 久保博嗣, “簡易

な1次伝送路予測による判定帰還多重遅延検波とその音響通信への応用,” Journal of Signal Processing, vol. 20, no. 5, (2016-09 掲載予定) 査読有.

中村 洸貴, 久保博嗣, “差動時空ブロック符号化のためのブロックタイミング推定法,” 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J99-B, no. 4, pp. 377-380 (2016-04) 査読有.

[学会発表](計 14 件)

R. Miyazaki, N. Yumoto, and H. Kubo, “Simple decision-feedback multiple differential detection employing first-order channel prediction and its applications to underwater acoustic communications,” RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2016 (NCSP '16), Honolulu, Hawaii, US, pp.439-442 (March 8, 2016) 査読有.

森 俊樹, 山岸 拓真, 久保 博嗣, “高次伝送路予測による PADM (per transmit antenna differential mapping) 空間多重の多値変調特性,” 2015 年第 38 回情報理論とその応用シンポジウム, 下電ホテル (岡山県倉敷市), 8.2.2 (2015-11-26).

山岸 拓真, 森 俊樹, 久保 博嗣, “高次伝送路予測による PADM (per transmit antenna differential mapping) 送信ダイバースチの多値変調特性,” 2015 年第 38 回情報理論とその応用シンポジウム, 下電ホテル (岡山県倉敷市), 8.2.3 (2015-11-26).

湯本 菜々瀬, 森田 宗一郎, 村山 陽寛, 久保 博嗣, “シングルキャリア差動符号化 QPSK/遅延検波による実環境水中音響通信でのビット誤り率評価結果,” 2015 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 沖縄県立博物館・美術館 (沖縄県那覇市), RCS2015-232, pp. 251-256 (2015-11-06).

長野 翔太, 河合 渉平, 久保 博嗣, “アナログネットワーク符号化に基づく 2 重ループ適応雑音除去による水中環境音信号抽出法,” 2015 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 沖縄県立博物館・美術館 (沖縄県那覇市), RCS2015-233, pp. 257-256 (2015-11-06).

山岸 拓真, 森 俊樹, 久保 博嗣, “高次伝送路予測による PADM (per transmit antenna differential mapping) 送信ダイバースチの多値変調特性,” 2015 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 沖縄県立博物館・美術館 (沖縄県那覇市), RCS2015-241, pp. 305-310 (2015-11-06).

森 俊樹, 山岸 拓真, 久保 博嗣, “高次伝送路予測による PADM (per transmit antenna differential mapping) 空間多重の多値変調特性,” 2015 年電子情報通信学

会技術研究報告 (無線通信システム), 沖縄県立博物館・美術館 (沖縄県那覇市), RCS2015-242, pp. 311-316 (2015-11-06).
道尾涼, 久保博嗣, “ネットワーク符号化位相変調とその Per-Survivor Processing によるブラインドスタートアップが可能な復調方式,” 2014 年電子情報通信学会技術研究報告 (ワイドバンドシステム), 北九州市立大学 (福岡県北九州市), WBS2014-65, pp. 69-74 (2015-03-02).

中村 洸貴, 宮崎 律子, 久保博嗣, “マルチキャリア差動時空ブロック符号化のための高次予測判定帰還ブロック遅延検波,” 2014 年電子情報通信学会技術研究報告 (ワイドバンドシステム), 北九州市立大学 (福岡県北九州市), WBS2014-66, pp. 75-80 (2015-03-02).

宮崎 律子, 久保博嗣, “高速フェージングのためのマルチキャリア高次予測判定帰還遅延検波,” 2014 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 沖縄県青年会館 (沖縄県那覇市), RCS2014-35, pp. 19-24 (2014-06-17).

H. Kubo, “A Simple decision-feedback block differential detection scheme for DSTBC,” IEEE Vehicular Technology Conference 2014-Spring (VTC2014-Spring), Seoul, Korea, (May 19, 2014) 査読有.

久保博嗣, “高次伝送路予測を適用した PADM (Per transmit Antenna Differential Mapping) 送信ダイバースチの特性,” 2013 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 早稲田大学 (東京都新宿区), RCS2013-340, pp. 205-210 (2014-03-03).

久保博嗣, “[招待講演] 高速時変伝送路に適した差動時空符号化とその無線通信システムへの応用,” 2013 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 松江テルサ (島根県松江市), RCS2013-193, pp. 87-92 (2013-11-21).

久保博嗣, “差動時空ブロック符号化のための判定帰還ブロック遅延検波の特性,” 2013 年電子情報通信学会技術研究報告 (無線通信システム), 上智大学 (東京都千代田区), RCS2013-160, pp. 103-108 (2013-10-18).

[図書](計 1 件)

村瀬 淳 監修 (村瀬淳・大野公士・府川和彦・須田博人・富里繁・市坪信一・諏訪敬祐・大鐘武雄・久保田周治・大槻知明・久保博嗣・岡崎彰浩・石川義裕・檜橋祥一・垂澤芳明・伊東健治・内野政治・山尾泰・相河聡・塚本勝俊・豊田一彦), “無線通信の基礎技術 デジタル化からブロードバンド化へ,” オーム社, 担当章 8 章, pp. 85-100 (全 199 頁) (2014).

〔その他〕

ホームページ等

差動時空符号化に関する研究成果

<http://www.ritsumeai.ac.jp/~kubohiro/wsp1-dstc.pdf>

6．研究組織

(1)研究代表者

久保 博嗣 (KUBO HIROSHI)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40633243