

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 5月 25日現在

機関番号：14301
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009年度～2011年度
 課題番号：21760289
 研究課題名(和文) 周波数領域等化ブロック伝送方式を用いた1セル繰り返し移動体通信システムの研究
 研究課題名(英文) One-cell reuse mobile communications systems using block transmission with frequency domain equalization
 研究代表者
 林 和則 (HAYASHI KAUZNORI)
 京都大学・大学院情報学研究科・准教授
 研究者番号：50346102

研究成果の概要(和文)：周波数領域等化ブロック伝送方式に基づいたマルチユーザ通信システムによって1セル周波数繰り返しの移動体通信システムを実現するための要素技術の研究を行った。主な成果を以下に示す：1) 送信ビームフォーミングウェイトの決定の際に経験的に使用されていた SLNR (Signal to Leakage plus Noise Ratio) の理論的裏付け。2) サブキャリア毎に1ビットの受信 CSI (Channel State Information) のフィードバックのみで、最適解に近い電力配分を実現するアルゴリズムの実現。3) 周波数領域等化システムにおける非同期干渉信号の効果的な抑圧法の提案。

研究成果の概要(英文)：In order to achieve one-cell reuse mobile communications systems using block transmission with frequency domain equalization, we have obtained the following results as the key element technologies：1) theoretical reasoning of the SLNR (Signal to Leakage plus Noise Ratio) criterion for the transmit beamforming weight, 2) realization of nearly optimum subcarrier power allocation with 1-bit CSI (Channel State Information) feedback for each subcarrier, 3) asynchronous co-channel interference cancellation scheme for frequency domain equalization systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：通信・ネットワーク工学

1. 研究開始当初の背景

IEEE802.16e をベースとしたモバイル WiMAX システムや 3GPP LTE (Long Term Evolution), 第4世代移動体通信システムに代表されるように、無線 LAN や ADSL, 地上波デジタル TV 放送などに採用されているサイクリックプレフィックスを用いた周波数領域等

化に基づくブロック伝送方式を、移動体通信システムに適用するための取り組みが盛んになされている。移動体通信システムでは無線 LAN などと異なり面的展開が求められるため、本質的にマルチセル環境となる。このため、これまで周波数領域等化ブロック伝送方式ではあまり問題とされてこなかった干渉信号、特に他セルからの干渉信号の

問題を如何に解決するかが極めて重要となる。また、これから新たに導入されるシステムでは第3世代移動体通信システムなどの従来の方式に比較してより高い周波数利用効率を達成することが求められるため、1セル繰り返しの(全てのセルで同一の搬送波周波数を用いる)周波数スケジューリングが必要となることも予想される。このような環境では干渉信号対策がさらにその重要度を増すと考えられる。

2. 研究の目的

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式やサイクリックプレフィックスを用いたシングルキャリア伝送 (SC-CP)方式などの周波数領域等化ブロック伝送方式によって、1セル周波数繰り返しの移動体通信システムを実現することをその目的とする。

3. 研究の方法

(1) 初年度の研究では、周波数領域等化ブロック伝送方式に基づいたマルチユーザ通信システムによって1セル周波数繰り返しの移動体通信システムを実現することを想定し、このようなシステム最も大きな問題となる“干渉”を空間軸及び周波数軸の信号処理によって抑圧する手法を検討した。従来研究では特に下り回線の通信において送信ビームフォーミングを用いて干渉を抑圧する手法が提案されており、SLNR (Signal to Leakage plus Noise Ratio) 基準のウェイトを用いることで良好な特性が得られることが経験的に知られていたが、その理論的な裏づけは十分になされていなかった。そこで本研究では、2ユーザ環境でSLNR基準の送信ビームフォーミングを行ったときに得られるウェイトの理論解析を行なった。

(2) 2年目の検討においては、OFDM方式やSC-CP方式などの周波数領域等化ブロック伝送方式に基づいたマルチユーザ通信システムによって1セル周波数繰り返しの移動体通信システムを実現することを想定し、自動的にサブキャリアの共有や棲み分けが行われる送信電力配分法について検討した。従来、このような目的のためには、繰り返し注水法による送信電力配分が提案されているが、この手法では端末で受信SINRを観測するために複数回にわたって実際に信号を送信し、かつ観測された実数値のSINR情報をサブキャリア数分だけ基地局にフィードバックする必要があり、そのオーバーヘッドが実装上の大きな問題であった。

(3) 最終年度には、より積極的な同一チャネル干渉の抑圧を行なうために、OFDM方式やサイクリックプレフィックスを用いたSC-CP方式などの周波数領域等化ブロック伝送方式のための干渉対策法について検討を行った。特に一般的なセルラーシステムで想定される、FFTタイミング

に非同期な干渉信号を如何に抑圧するかが技術課題であった。本研究では、周波数領域等化システムではあまり採用されない、時間領域のアダプティブアレーアンテナを採用することを試みた。

4. 研究成果

(1) 初年度には、2ユーザ環境でSLNR基準の送信ビームフォーミングを行ったときに得られるウェイトを解析することで、このウェイトがパレート最適解を与えることをはじめて理論的に示した。ここで興味深いことは、SLNR基準の非協力ゲームのナッシュ均衡点が、受信SINR基準の非協力ゲームのパレート最適点になっているということである。さらにSLNR基準に基づくビームフォーミングと、マルチユーザ環境でのリソースの割当法の一つである繰り返し注水定理にSLNR基準による評価関数を導入した手法を併用することで従来手法に比べて非常に少ないオーバーヘッド(フィードバック量)で大幅に周波数利用効率を改善可能であることを計算機シミュレーションによって明らかにした。

(2) 2年目には、これまでに送信ビームフォーミングのために提案されているSLNR基準を導入することにより、原理的にフィードバックが不要な電力配分法を検討した。この手法では基地局からの実際の信号送信は不要であるものの、干渉基地局から希望端末までの通信路情報が全く利用出来ないため、従来法に比べて達成可能レートが小さくなってしまふ。そこで提案方式では、サブキャリアにつき1ビットの情報を1度だけフィードバックし、これをSLNR基準を用いた電力配分の初期条件に利用することで、干渉基地局-希望端末間の通信路情報を考慮しつつ、電力配分を決定するためのオーバーヘッドを大幅に削減することに成功した。さらに、計算機シミュレーションにより、提案方式を用いることで従来の繰り返し注水法による手法とほぼ同等の特性が得られることを明らかにしている。

(3) 最終年度の検討では、非同期干渉信号を効果的に抑圧可能な周波数領域等化システムのための受信ビームフォーミング法の実現に成功した。提案方式の特徴は以下の通りである。1) Pre-FFT型ワイドバンドのアレーの採用、2) アレー出力で干渉信号を完全に抑圧、3) FDE出力でのSNRが最大にあるようにアレーウェイトを制御。これらの方針により提案方式は同期、非同期の両方の干渉信号に対して、極めて効果的な抑圧効果が得られることを数値実験によって確認した。これにより、本研究の目的である、1セル繰り返しの移動体通信システムの実現に大きく近づいた。

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 9 件)

- ① M. Nagahara, T. Matsuda, K. Hayashi, “Compressive Sampling for Remote Control Systems,” IEICE Transactions on Fundamentals, 査読有, Vol.E95-A, No. 4, pp.713-722, Apr. 2012.
- ② M. Kaneko, K. Hayashi, P. Popovski, H. Yomo and H. Sakai, “Uplink Contention-based CSI Feedback with Prioritized Layers for a Multi-Carrier System,” IEEE Trans. Wireless Commun., 査読有, Vol.10, No.12, pp.4282-4293, Dec. 2011.
- ③ T. Matsuda, M. Nagahara, K. Hayashi, “Link Quality Classifier with Compressed Sensing Based on 11-12 Optimization,” IEEE Communications Letters, 査読有, Vol.15, No.10, pp.1117-1119, Oct. 2011.
- ④ M. Kaneko, K. Hayashi and H. Sakai, “Sum Rate Maximizing Superposition Coding Scheme for a Two-User Wireless Relay System,” IEEE Communications Letters, 査読有, Vol.15, No.4, pp.428-430, Apr. 2011.
- ⑤ M. Kaneko, K. Hayashi and H. Sakai, “Superposition Coding based Wireless Network Coding Scheme for Two-Way Cooperative Relaying,” IEICE Trans. Commun., 査読有, Vol.E93-B, No.12, pp.3354-3361, Dec. 2010.
- ⑥ Y. Yoshida, K. Hayashi, H. Sakai, “Marginalized Particle Filter for Blind Signal Detection with Analog Imperfections,” IEICE Trans. Commun., 査読有, Vol. 93-B, No.2, pp.336-344, Feb. 2010.
- ⑦ W. Bocquet, K. Hayashi, H. Sakai, “Systematic Design of Single Carrier Overlap Frequency Domain Equalization,” Journal of Systems Science and Complexity, 査読有, vol.30, no.1, Jan. 2010.
- ⑧ Y. Yoshida, K. Hayashi, H. Sakai, and W. Bocquet, “Analysis and Compensation of Transmitter IQ Imbalances in OFDMA and SC-FDMA Systems,” IEEE Trans. Signal Processing, 査読有, vol.57, no.8, pp.3119-3129, Aug. 2009.
- ⑨ M. Kaneko, P. Popovski, K. Hayashi, “Throughput-Guaranteed Resource Allocation Algorithms for Relay-aided Cellular OFDMA System,” IEEE Trans. Vehicular Technology, 査読有, vol.58, no.4, pp.1951-1964, May 2009.

[学会発表] (計 30 件)

- ① 中野俊彦, 金子めぐみ, 林 和則, 酒井英昭, “マルチキャリア変調方式を用いたマクロセル・フェムトセル共存環境のための送信電力割り当て法,” 信学技報, RCS2012-21, pp.121-126, Apr. 2012.
- ② C. T. Nguyen, K. Hayashi, M. Kaneko, H. Sakai, “Maximum a posteriori approach for Anonymous RFID Tag Cardinality Estimation,” ICASSP2012, Mar. 2012.
- ③ M. Nagahara, D. E. Quevedo, T. Matsuda, K. Hayashi, “Compressive Sampling for Networked Feedback Control,” ICASSP2012, Mar. 2012.
- ④ 竹中紳二, 林 和則, 金子めぐみ, 酒井英昭, 工藤理一, 村上友規, “非同期OFDM干渉信号抑圧のためのPre-FFT型広帯域アダプティブアレーの検討,” 信学技報, SIP2011-90, pp.73-78, Jan. 2012.
- ⑤ 能口宗久, 林 和則, 金子めぐみ, 酒井英昭, “周波数領域等化システムのための単一周波数全二重無線中継,” 信学技報, SIP2011-109, pp.177-182, Jan. 2012.
- ⑥ M. Nagahara, D. E. Quevedo, J. Ostergaard, T. Matsuda, and K. Hayashi, “Sparse comm and generator for remote control,” IEEE I CCA' 11, Dec. 2011.
- ⑦ C. T. Nguyen, K. Hayashi, M. Kaneko, P. Popovski, H. Sakai, “Maximum Likelihood Method for RFID Tag Set Cardinality Estimation using Multiple Independent Reader Sessions,” APSIPA ASC 2011, Oct. 2011.
- ⑧ M. Kaneko, K. Hayashi, P. Popovski, H. Sakai, “Fairness-Constrained Rate Enhancing Superposition Coding Scheme for a Cellular Relay System,” WPMC' 11, Oct. 2011.
- ⑨ H. Yamaura, M. Kaneko, K. Hayashi, H. Sakai, “Superposition Coding Scheme with Discrete Adaptive Modulation for Wireless Relay Systems,” VTC2011Fall, Sept. 2011.
- ⑩ C. T. Nguyen, K. Hayashi, M. Kaneko, P. Popovski, H. Sakai, “RFID Tag Identification with Probabilistic Dynamic Framed Slotted ALOHA,” APWCS 2011, Aug. 2011.
- ⑪ K. Hayashi, M. Kaneko, T. Fujii, H. Sakai, Y. Okada, “Iterative Water Filling Based on SLNR with 1-shot 1-bit Feedback,” ICASSP2011, May 2011.
- ⑫ M. Kaneko, K. Hayashi, H. Sakai, “Fairness and Throughput Enhancing User-combining Scheme Based on Superposition Coding for a Wireless Relay System,” ICASSP2011, May 2011.
- ⑬ 山浦寛史, 金子めぐみ, 林 和則, 酒井英昭, “無線中継伝送のための離散変調方式を用いた重畳符号化法の検討,” 信学技報, IN2010-179, pp.211-216, Mar. 2011.

- ⑭ 松田崇弘, 永原正章, 林 和則, “11/12 最適化手法を用いたネットワークトモグラフィ,” 信学技報, IN2010-179, pp. 211-216, Mar. 2011.
- ⑮ 松島大樹, 林 和則, エリザベート ディカルバルホ, ペーター ポポフスキー, 酒井英昭, “L1 ノルム最小化を用いた部分空間法によるブラインドスパス通信路推定,” 信学技報, RCS2010-256, pp. 49-54, Mar. 2011.
- ⑯ 松田崇弘, 永原正章, 林 和則, “無線ネットワーク化制御システムについての通信工学的検討,” 第3回高信頼制御通信研究会, Jan. 2011.
- ⑰ 池田思朗, 林 和則, 田中利幸, “最大出力制約下での通信路容量と変調方式,” 第33回情報理論とその応用シンポジウム, Nov. 2010.
- ⑱ 永原正章, 松田崇弘, 林 和則, “圧縮センシングの遠隔制御系への応用,” 第25回信号処理シンポジウム, Nov. 2010.
- ⑲ 永原正章, 松田崇弘, 林 和則, “L1-L2 最適化にもとづく最適制御入力のスパス表現,” 第2回高信頼制御通信研究会, Nov. 2010.
- ⑳ 金子めぐみ, 林 和則, 堀井敦生, 酒井英昭, “無線リレーを用いた双方向通信のためのSuperposition Coding法,” 信学技報, RCS2010-47, pp. 173-178, Jun. 2010.
- 21 林 和則, 藤井武志, 金子めぐみ, 酒井英昭, 岡田洋侍, “OFDMA下り回線のためのSLNR基準を用いた電力配分法,” 信学技報, RCS2010-22, pp. 25-30, Jun. 2010.
- 22 藤島 泰郎, 林 和則, 金子めぐみ, 酒井英昭, 西森 健太郎, 工藤 理一, 村上 友規, “仮想回り込み経路を用いたビームフォーミングによる無線中継回り込み波キャンセラ,” 第24回信号処理シンポジウム, Nov. 2009.
- 23 林和則, 酒井英昭, “アウテージ解析によるAF無線中継器の最適配置の検討,” 信学技報, AP2009-124, pp. 31-36(AP), Nov. 2009.
- 24 K. Hayashi, R. Takami, M. Kaneko, N. Fukaya, H. Sakai, “Amplify-and-Forward Relaying Based Multi-Relay Wireless Network Coding,” APSIPA ASC 2009, Oct. 2009.
- 25 K. Hayashi, M. Kaneko, T. Fujii, H. Sakai, Y. Okada, “Transmit Beamforming and Iterative Water-Filling Based on SLNR for OFDMA Systems,” PIMRC2009, Sept. 2009.
- 26 林和則, 金子めぐみ, 藤井武志, 酒井英昭, 岡田洋侍, “SLNRを最大にする送信ビーム形成ベクトルのパレート最適性,” 2009 信学ソ大, ABS-1-9, Sept. 2009.
- 27 M. Kaneko, K. Hayashi, P. Popovski, H.

Yomo, H. Sakai, “Uplink Random Access Scheme with Variable Collision Protection for OFDMA CSI Feedback,” WPMC' 09, Sept. 2009.

- 28 K. Hayashi, T. Fujii, M. Kaneko, H. Sakai, Y. Okada, “Transmit Beamforming and Power Allocation for Downlink OFDMA Systems,” PHYSCOMNET2009, Jun. 2009.
- 29 Y. Yoshida, K. Hayashi, H. Sakai, “On the effect of transmitter IQ imbalance at OFDMA receivers,” ICASSP2009, Apr. 2009.
- 30 M. Kaneko, K. Hayashi, P. Popovski, H. Yomo, H. Sakai, “Uplink Random Access Scheme with Prioritized Orthogonal Layers for OFDMA CSI Feedback,” 2009 信学総大, BS-3-12, Mar. 2009.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 出願年月日 :
 国内外の別 :

○取得状況 (計◇件)

名称 :
 発明者 :
 権利者 :
 種類 :
 番号 :
 取得年月日 :
 国内外の別 :

[その他]
 ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 和則 (HAYASHI KAZUNORI)
 京都大学・大学院情報学研究科・准教授
 研究者番号 : 50346102

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :