慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	MIMO-OFDMAのリソース割り当てとパケットスケジューリングに関する研究
Sub Title	Resource allocation and packet scheduling in MIMO-OFDMA
Author	笹瀬, 巌(Sasase, Iwao)
Publisher	
Publication year	2011
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2010.)
JaLC DOI	
Abstract	MIMO-OFDMAのスループット特性と誤り率特性の改善、およびユーザの公平性を得るために、リソース割り当てとパケットスケジューリングに関する研究を行う。まず、OFDMAにおける各トラヒックのQoS(Quality-of-Service)要求を考慮したパケットスケジューリング及びサブチャネル割り当て法を検討する。また、OFDMA-CDMにおけるRate Adaptationを用いたサブチャネルとOVSF符号割り当て法、および、MIMO-OFDMAにおけるサブキャリアおよび電力割り当て法を考える。そして、計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を明らかにする。
Notes	研究種目：基盤研究(C) 研究期間：2008～2010 課題番号：20560366 研究分野：工学 科研費の分科・細目：電気電子工学・5104通信・ネットワーク工学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_20560366seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様式Ｃ-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２３年３月３１日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究（Ｃ）
研究期間：2008～2010
課題番号：２０５６０３６６
研究課題名（和文）　ＭＩＭＯ－ＯＦＤＭＡのリソース割り当てとパケットスケジューリングに関する研究
研究課題名（英文）　Resource Allocation and Packet Scheduling in MIMO-OFDMA
研究代表者
笹瀬 巌（SASASE　IWAO）
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号：00187139

研究成果の概要（和文）：
MIMO-OFDMA のスループット特性と誤り率特性の改善、およびユーザの公平性を得るために、リソース割り当てとパケットスケジューリングに関する研究を行う。まず、OFDMA における各トラヒックの QoS(Quality-of-Service)要求を考慮したパケットスケジューリング及びサブチャネル割り当て法を検討する。また、OFDMA-CDM における Rate Adaptation を用いたサブチャネルと OVSF 符号割り当て法、および、MIMO-OFDMA におけるサブキャリアおよび電力割り当て法を考える。そして、計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を明らかにする。

研究成果の概要（英文）：
We investigate resource allocation and the packet scheduling methods in an ODFMA-MIMO system to improve the throughput and the error rate as well as to ensure the fairness among the users. First, we examine the packet scheduling and the sub-channel allocation schemes that satisfy the each QoS requirement of traffic in OFDMA. Second, we propose the sub-channel allocation and the OVSF code assignment schemes in OFDMA-CDM with Rate Adaptation, and the sub-carrier and the power allocation schemes in MIMO-OFDMA. Finally, we evaluate the performances of the proposed schemes by computer simulations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総　計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：電気電子工学・5104 通信・ネットワーク工学
キーワード：リソース割り当て、パケットスケジューリング、OFDM、MIMO、 QoS

１．研究開始当初の背景

近年、無線機器の小型化、伝送速度の高速化などに伴い、ユーザが意識せず様々なワイヤレス通信方式とシームレスにつながることができるブロードバンドワイヤレス通信技術が求められている。シームレスにつなげるためには、優れた変復調方式・多元接続方式・アンテナ技術を利用することがコスト面や接続面で有利となる。このような背景から、周波数選択性フェージングに強く高速伝送が可能な OFDM 変調方式、および、複数の送受信アンテナを用いることにより高品質かつ高速な伝送を実現する MIMO が基盤技術として注目され、これらを組み合わせた研究開

発が盛んに行われている。

主な MIMO 技術は、時空間ブロック符号化（STBC: Space-Time Block Code)、および空間分割多重（SDM：Spatial Division Multiplexing）の 2 つがある。STBC は、複数アンテナから同一情報を送信し、簡易な線形処理により最大比合成することで伝送品質を改善する。一方 SDM は、複数アンテナから異なる情報を送信し、受信機側で情報を分離することで、帯域幅を変えずにスループット、および周波数利用効率を向上する。

また、OFDM 変調方式に基づく多元接続方式として、OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) が注目されている。OFDMA は、各ユーザのバースト的トラヒック特性・ユーザモビリティ・チャネル状況を基地局が考慮し、サブキャリアの周波数・変復調方式・電力など柔軟に対応させた動的リソース割り当てを行うことで、ユーザダイバーシチ効果による特性改善が期待できる。しかし、MIMO と OFDMA を組み合わせた MIMO-OFDMA におけるリソース割り当てを有効に行うためには様々な検討事項がある。

２．研究の目的

MIMO-OFDMA のスループット特性と誤り率特性の改善、およびユーザの公平性を得るために、リソース割り当てとパケットスケジューリングに関する研究を行う。まず、OFDMA における各トラヒックの QoS 要求を考慮したパケットスケジューリング及びサブチャネル割り当て法を検討する。また、OFDMA-CDM における Rate Adaptation を用いたサブチャネルと OVSF 符号割り当て法、および、MIMO-OFDMA におけるサブキャリアおよび電力割り当て法を考える。そして、計算機シミュレーションにより、提案方式の有効性を明らかにする。

３．研究の方法

(1) ODFMA におけるパケットスケジューリングおよびサブチャネル割り当て法

OFDMAにおいて、各トラヒックのQoS要求を満たしつつ、トラヒックの総スループット特性を改善するパケットスケジューリングアルゴリズム及びサブチャネル割り当て方式を検討する。まず、RT(Real-Time)トラヒックにおけるQoS指標の決定式に、パケットロス率指標としてRTトラヒックの最大許容パケットロス率に対する瞬時パケットロス率比を導入し、かつnrtPS(non real time Polling Service)におけるQoS指標の決定式に、最低保証データレート指標として瞬時スループットに対する最低保証データレート比を導入する。また、割り当て可能ビット数の大きいユーザ数に重みを置き、全サブチャネルの中で割り当て可能な最大ビット数から降べきの順に各サブチャネルにおいて割り当て可能なユーザ数を算出し、最大ビット数を割り当て可能なユーザ数が最小となるサブチャネルから順にユーザにサブチャネルを割り当てる方式を検討する。

(2)OFDMA-CDMにおけるRate Adaptationを用いたサブチャネルとOVSF符号割り当て法

OFDMA-CDMにおいて、チャネル状況やQoS要求に応じて、拡散符号の多重比率を変化させることにより、送信レートを制御し、送信信号の信頼性を向上させる手法としてrate adaptationが注目されている。本研究では、OFDMA特有のマルチユーザダイバーシチ効果を獲得するサブチャネル割り当て及び拡散符号長よりも短いビット長においても直交関係を維持することが可能なOVSF符号割り当て法を検討する。OFDMA-CDMでは、1サブチャネルの大きさがOFDMAと比較して大きいため、サブチャネル全体を俯瞰した割り当てが重要となる。そこで、最大および平均のSINRだけでなく、最小のSINRまでを指標として用いるサブチャネル割り当て法を検討する。また、OVSF符号割り当てを行うことで、よりフラットフェージングに近い形で逆拡散を行い、更なるフェージングの影響の抑制を図る。計算機シミュレーションにより、提案のサブチャネル割り当て及びOVSF符号割り当て法がフェージングの影響を低減し、BER特性を改善できることを明らかにする。

(3) MIMO-OFDMAにおけるサブキャリアおよび電力割り当て法

送信電力が一定の条件下で，アンテナ相関を考慮した MIMO-OFDMA システムでのリソース割り当て方法を検討し、相関のある MIMO チャネルにおいても、スループット特性を最大化できるよう、チャネル行列の固有値を考慮した適応的なビット割り当て方式を提案する。計算機シミュレーションにより、提案方式が、チャネル行列の固有値に従い各送信アンテナに電力を割り当て、空間多重とビット割り当て方式を適応的に組みあわせることにより、送信電力を増加させることなく、同一周波数帯域においてチャネル容量と伝送レートを改善できることを明らかにする。

４．研究成果

(1) OFDM における定常状態 Kalman ゲインを

用いたチャネル推定
OFDM システムにおいて、定常状態での Kalman ゲインを用いたチャネル推定法を検討した。Kalman フィルタを用いる場合、フィルタの実行に 5 ステップを必要とし、依然、演算量が膨大となる問題がある。また、各受信データサンプルに Kalman フィルタを適用する必要があり、演算回数を減らす方式が必要となる。静的なチャネル状態では、Kalman ゲインは一定値に収束することが知られている。よって、収束した Kalman ゲイン、つまり定常状態でのゲインを直接見つけることができれば、フィルタの実行回数を 3 ステップ除去することが可能となり、演算回数を大幅に削減することができる。提案方式では、行列の対角性を利用することにより、Kalman フィルタ問題をベクトル領域からスカラ領域へ変換し、複雑な Riccati 問題を解くことなく、定常状態での Kalman ゲインを容易に導出することを可能にした。また、SNR によるチャネルの雑音分散を導出する手法も併せて提案した。コンピュータシミュレーションにより、提案方式が従来の Kalman フィルタよりも大幅に演算量を低減できることを示した。

(2) MLSTBC における Segment LLL を基にした LR aided SIC 検出
Multi-Layered Space-Time Coding(MLSTC)

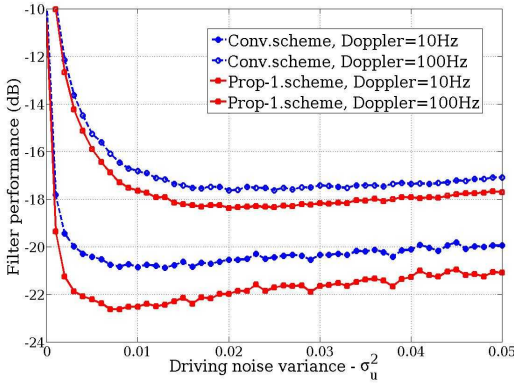

図 1 ノイズに対するフィルタ特性

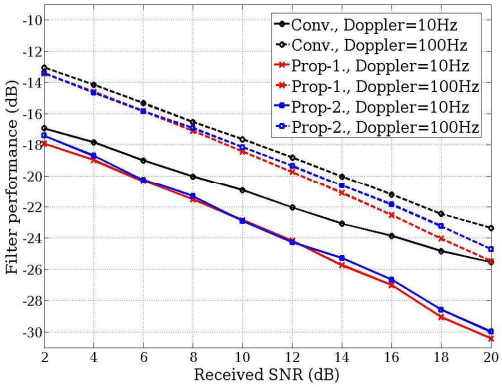

図 2 SNR に対するフィルタ特性

アーキテクキャにおいて新しい格子基底縮小アルゴリズムを用いた LR aided Successive Interference Cancellation(LR aided SIC) 検出方式を提案した。提案方式は、格子基底縮小(LR: Lattice-Reduction)アルゴリズムに基底行列を分割し、セグメント毎に基底縮小を行う Segment Lenstra、Lenstra and Lovasz (Segment LLL) を用いる。Segment LLL は、基底行列をセグメント化しセグメント単位で直交化操作を行うため基底縮小の正確性は劣化するものの演算量を低減することができる。計算機シミュレーションにより特性評価を行った結果、提案方式は、従来の LR aided SIC に比べて、BER 特性は僅かに劣化するが基底縮小アルゴリズム演算量を低減可能とし、BER 特性と演算量のトレードオフが実現可能であることを示した。

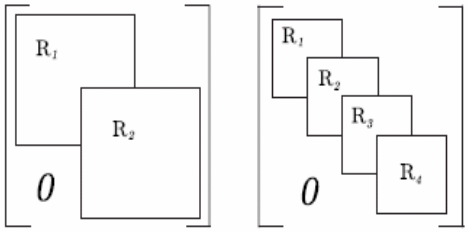

図 3 セグメント化の様子

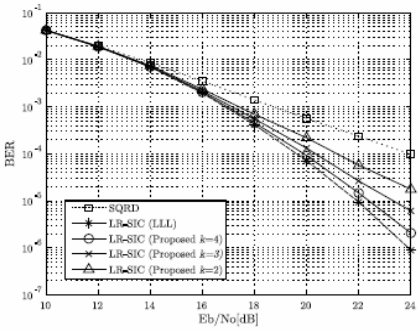

図 4 BER 特性比較(16-QAM)

(3) 適応チャネルを用いた OFDMA におけるフィードバック量の削減
適応チャネルを用いた OFDMA におけるフィードバック量を削減するために、スケジューリング時間およびパケットサイズを固定することより、適応変調におけるビットレート差を利用する方式を提案した。提案方式では、パケットサイズを固定することにより、スケジューリング時間とフィードバック間隔をユーザの送信レートにより調整することができるため、必要なサブチャネル情報のみフィードバックすることができる。計算機シミュレーションにより特性評価を行った結果、

提案方式は、従来方式と比較し、スループット特性の劣化を最小限に抑えながら、フィードバック量を削減できることを示した。

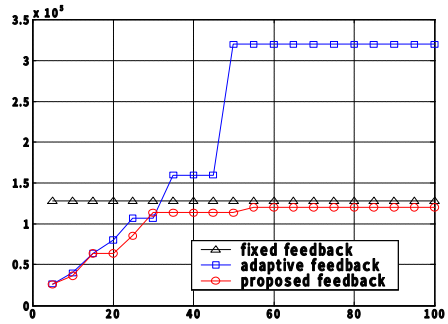

図 5 フィードバック量の比較

(4) 中継セルラーネットワークにおけるパケットスケジューリング

中継セルラーネットワークにおいて、無線チャンネルの品質とパケット遅延の変動に応じて適当な中継局と伝送レートを選択するパケットスケジューリングアルゴリズムを提案した。中継セルラーネットワークにおいては、モバイル端末は、セルラーだけでなく中継局へ無線インターフェースを持ち、基地局は、各モバイル端末に対して、有限長のバッファキューを用いてデータ転送を行う。提案アルゴリズムでは、セルラーチャネル品質の悪い端末に対しては、セルラーチャネル品質の良い端末を中継局として選択して中継伝送を行なうことにより、端末の要求や伝送路の品質を考慮してセルラーリンクおよび中継リンクの伝送レートを調整したパケットスケジューリングが可能となる。計算機シミュレーションを行った結果、提案のスケジューリングアルゴリズムは、各モバイル端末に対応でき、システム性能、パケット損失とトラヒックバランスの改善を図ることができることを示した。

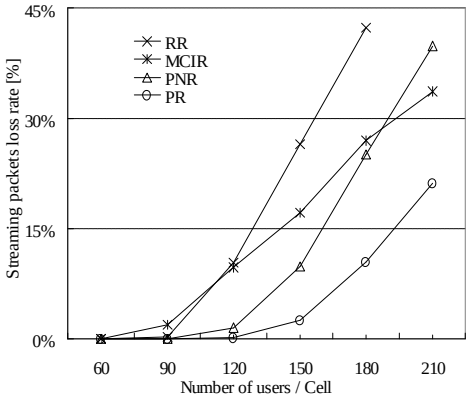

図 6 ユーザ数が増加した場合のパケットロス率

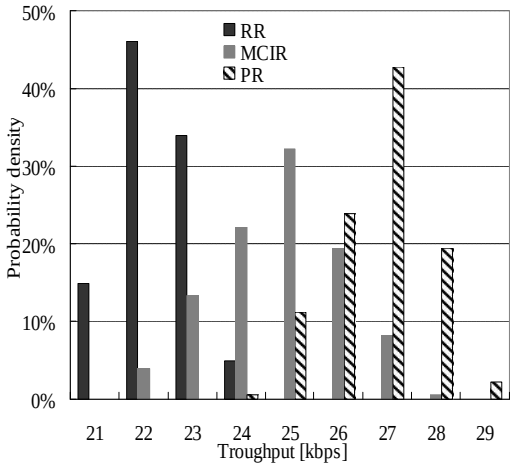

図 7 スループット特性の確率密度分布

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 5 件）

(1) Maung SANN MAW and Iwao SASASE, Reduced Complexity in Antenna Selection for Polarized MIMO System with SVD for the Practical MIMO Communication Channel Environment, IEICE Trans. on Communications, Vol. E93-B, No.9, pp. 2389-2399, September 2010, 査読有

(2) Maduranga Liyanage and Iwao Sasase, Steady-state Kalman filtering for channel estimation in OFDM systems for Rayleigh fading channel, IEICE Trans. on Communications, E92-B,No.7, pp. 1256—1263,2009, July 2010, 査読有

(3) 武藤圭祐, 笹瀬巌, MLSTBC システムにおいて Segment LLL を利用した Lattice-Reduced aided SIC 検出, 電子情報通信学会論文誌, J92-B, No.8, pp. 256—1263, 2009 年 8 月, 査読有

(4) Rui Zhou and Iwao Sasase, Packet scheduling for cellular relay networks by considering relay selection, channel quality and packet utility, Journal of Communications and Networks, KICS , Vol 11, No.5, pp.464-472, October 2009、査読有

(5) 飯島諭, 笹瀬巌, チャネル情報のフィードバック間隔を適応的に変化させる OFDMA システムにおいて、パケットサイズの固定化と変調方式における送信レートの差異を利用した CQI フィードバック量の削減, 電子情報通信学会論文誌,

J91-B, No.7, pp. 746-755, 2008年7月, 査読有

〔学会発表〕(計12件)

(1) Maduranga Liyanage and Iwao Sasase, Broadcast traffic queueing in OFDMA systems for spectrum efficiency and improved QoS provisioning, IEEE Globecom 2010, 2010年12月8日, (Miami, USA)

(2) Maung Sann Maw and Iwao Sasase, "Resource allocation for multiuser-MIMO-OFDM uplink system," 電子情報通信学会通信方式研究会、CS2010-9、pp. 37-42、2010年9月3日、東北大学(仙台市)

(3) Satoru Iijima and Iwao Sasase, Allocation of subchannel based on SINR and OVSF codes with allocation rate to reduce the self interference in OFDMA-CDM with rate adaptation, The 20th Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009, 2009年9月15日, ウエスティンホテル東京(東京都)

(4) Kinzang Chhogyal and Iwao Sasase, Finite horizon MDP framework for dynamic OFDM resource allocation, The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication (WPMC2009), 2009年9月9日, ホテルメトロポリタン仙台(仙台市)

(5) Maung Sann Maw and Iwao Sasase, Adaptive polarization and bit loading with SVD for the practical MIMOcommunication channel environment, The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication (WPMC2009), 2009年9月8日, ホテルメトロポリタン仙台(仙台市)

(6) Norifumi Matsui, Keisuke Mutou, Satoru Iijima and Iwao Sasase, Weight combining and subchannel allocation to reduce self interference in OFDMA-CDM system, The 2009 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, 2009年8月24日, Univ. of Victoria, (Victoria, Canada)

(7) Maduranga Liyanage and Iwao Sasase, Steady-state Kalman filtering for channel estimation in OFDM systems utilizing SNR, IEEE 2009 International Conference Communications (ICC'09), 2009年6月17日, International Congress Center Dresden (Dresden, Germany)

(8) Takamasa Hasegawa and Iwao Sasase, Resource allocation scheme for multi-cell OFDMA considering the Interference to cell-edge users, The 14th Asia-Pacific Conference on Communications, 2008年10月16日, (Akihabara, Japan)

(9) Keisuke Mutou, Rui Zhou and Iwao Sasase, Lattice-reduction aided SIC detection by exploiting segment LLL for MLSTBC systems, The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2008), 2008年9月11日, (Lapland, Finland)

(10) Kaori Anan, Masahiko Fujikawa, Akihiko Okazaki, and Iwao Sasase, MIMO-OFDMA resource allocation selecting users with maximum capacity and large minimum eigenvalue, The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2008), 2008年9月11日, (Lapland, Finland)

(11) Masahiro Fujikawa and Iwao Sasase, Sub-channel allocation scheme with real time traffic users' priority updating to increase non real time traffic throughput and satisfy real time traffic users' allowable delay in downlink OFDMA, The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2008), 2008年9月11日, (Lapland, Finland)

(12) Maduranga Liyanage and Iwao Sasase, Efficient subcarrier utilization for OFDMA systems by intra-cell subcarrier sharing with cooperative base stations, The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2008), Lapland, Finland, Sept. 2008, 2008年9月11日, (Lapland, Finland)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.sasase.ics.keio.aqc.jp

6. 研究組織

(1)研究代表者

笹瀬 巌(SASASE IWAO)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号:00187139

(2)研究分担者

該当なし

(3)連携研究者

該当なし