

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560454

研究課題名(和文) 時空間符号化とネットワーク符号化による超高信頼な無線通信方式の開発

研究課題名(英文) Development of highly reliable wireless communication schemes using space time codes and network coding

研究代表者

岩波 保則 (Iwanami, Yasunori)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40144191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年のスマートフォン、高速無線LAN、モバイルワイマックス等のデジタル移動体無線通信技術では、高速性・大容量性が進展しているが、さらなる改善が必要である。また、これらは再送に基づく無線通信であり、信頼性は確保されても遅延時間が大きくなり、リアルタイム性に欠けている。そこで本研究では、再送を行わない超高信頼で高速な制御信号用の無線データ通信方式の開発を目指し、時空間符号化MIMO無線通信方式における様々な要素技術の開発を行い、その実現を試みた。特に、マルチユーザMIMO下り回線技術、リレー中継方式、シングルキャリア繰り返し等化方式やMFSKのコヒーレント受信方式を通し目的の実現を計った。

研究成果の概要(英文)：The recent mobile communication schemes such as smart phones, wireless LAN's and mobile WiMax's are now gradually improving their high data rates and reliability. However, due to the rapidly increasing user traffics, the high data rates and reliability should further be improved. Furthermore, as those schemes are based on the retransmission strategy to ensure the high reliability, they lack in the real time property. Accordingly, this research aimed to develop the high speed wireless transmission schemes without retransmission but with very high reliability. Through the advancement of various element technologies in space time coded MIMO techniques, we developed the new schemes to achieve the objective. Especially, we developed the downlink MIMO MU techniques, relaying schemes, single carrier receiver with iterative equalization and MFSK coherent receiver techniques.

研究分野：通信工学

キーワード：高信頼無線通信 MIMO 時空間符号化 LDPC符号 リレー無線伝送

1. 研究開始当初の背景

本研究では、無線通信の信頼性とリアルタイム性を飛躍的に高める為に、時空間符号化とネットワーク符号化を用い、高速で超高信頼性・リアルタイム性のある未来の無線通信方式を開発するとした。すなわち、複数の送信アンテナ及び複数の受信アンテナを用いる時空間通信路に対し、時空間符号化及びネットワーク符号化を行うことにより、デジタル無線通信の信頼度を飛躍的に向上させ、超高信頼な制御用無線信号を遅延無しのリアルタイムで伝送することを目的とした。無線通信の高速性は、3.9G の LTE など徐々に確保されつつあったが、その高信頼度化に関しては、再送(ARQ)をベースに対処されており、リアルタイム性を欠き、制御用信号の無線伝送などの用途に対しては甚だ不十分な状況にあった。

2. 研究の目的

従来の携帯電話によるデータ通信では、第3.9世代LTEの出現により、データ伝送速度の高速化や高移動性については次第に満足されつつある。しかし高信頼度化については、再送による誤り訂正方式を採用しており、1回のみでの伝送で済む高信頼なリアルタイム伝送については全く不十分な状況である。無線LANのMIMO-OFDM方式であるIEEE802.11nやWiMax方式では、受信側で誤りがあった場合には、送信側から再送を繰り返して信頼性を確保するので時間遅れを生じ、リアルタイム性が無い。病院や工場などの医療機器やロボットにおける無線信号の伝送に於いては、再送は許されず、リアルタイム性と誤動作防止の為に超高信頼性を有する無線通信方式が必要である。すなわち、本研究では、研究期間内に、複数の送受信アンテナを用いるMIMO通信方式、中継器(リレー)伝送及びネットワーク符号化を組み合わせた双方向のリアルタイム性のある超高信頼な無線データ伝送方式を開発する。

3. 研究の方法

研究の方法は、基本的に理論導出とアルゴリズムの開発及び計算機シミュレーションによった。例えば提案した下り回線の無線伝送システムである「マルチユーザMIMO下りリンク非再生リレー伝送におけるVP伝送方式」に関しては、マルチユーザMIMO下りリンク非再生リレー伝送方式において、ユーザ間の干渉(IUI: Inter-User Interference)除去につき、VP(Vector Perturbation)法あるいはBD(Block Diagonalization)+VP法を用いた送信ウェイト設計法を提案した。BD+VP法ではBD法でユーザ間干渉を回避し、各ブロックのユーザに対してVP法を用いてストリーム間干渉を除去する。提案するマルチユーザMIMO下りリンク非再生リレー伝送システムのBER特性と達成可能なレート特性を検討した。この提案方式例におい

てまず各信号処理ブロックの理論解析やアルゴリズムの検討を行った。次いでFortran言語、C言語あるいはMATLAB言語(m言語)による計算機シミュレーション実験を行ない、ビット誤り率特性やパケット誤り率特性を検討して高信頼で高速な無線伝送方式を開発した。

4. 研究成果

平成24年度は、周波数選択性MIMO通信路におけるシングルキャリア伝送を用いた時空間符号化方式に関して、MIMO SC-FDE(Single Carrier - Frequency Domain Equalization)方式に関して研究を行った。すなわち、MIMO Interleaved SC-FDMA(MIMO Interleaved Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)方式の受信機構成につき、まず周波数領域等化(FDE: Frequency Domain Equalization)による仮判定後に、ISI(Inter-Symbol Interference)キャンセラーでISIを除去し、次にMLDを用いて送信アンテナストリーム間の空間多重分離を行って復調信号を得て、さらにこれを改善された仮判定値として用いISIキャンセルとMLD(Maximum Likelihood Detection)を繰り返す受信機構成を提案した。さらにMLDの演算量を削減するため、MLDの代わりに最尤解の得られるSD(Sphere Decoding)を適用し、計算機シミュレーションによりBER特性と演算量削減効果を検証した。また、提案受信機構成をLDPC符号化した場合に対し、信頼度の高いLDPC復号結果を再びISIキャンセラーにフィードバックし、これを繰り返すことで、更なるBER特性の改善を図った。

平成25年度は、周波数選択性MIMO通信路におけるシングルキャリア伝送を用いた時空間符号化方式に関して、周波数選択性MIMO通信路におけるMアルゴリズムMLSEターボ等化器に関して研究を行った。すなわち、周波数選択性MIMO通信路における空間多重通信方式に関し、LDPC符号化MIMO MLSE-Mアルゴリズムターボ等化受信方式を検討した。Viterbi Algorithmを用いたMLSE(Maximum Likelihood Sequence Estimation: 最尤推定系列)等化器は、最良のBER特性を示す等化器であることが知られている。本研究では、マルチパス遅延波によるISI(Inter Symbol Interference)及び空間多重によるIAI(Inter Symbol Interference)の補償を行うのに、まずMLSE等化器を用いる。次に、Mアルゴリズム等化器では、ISIとIAIの増加に伴うMLSEのトレリス線図の状態数の増加を抑制するため、トレリス線図の状態数を1と固定し、生き残りパスの数をM本として近似的に最尤送信信号系列を求め、演算量を削減する。LDPC符号化した場合に対し、LDPC復号器の信頼度の高い軟値復号結果をMアルゴリズム等化器にフィードバックし、Mアルゴリズム等化器のISI及びIAIの補償能力を高める。またフィードバックを繰り返す際に、

M アルゴリズム等化器の生き残り本数を減らすことでさらなる演算量の削減を目指した。既存の LDPC 符号化 MLSE ターボ等化器、LDPC 符号化 SC/MMSE ターボ等化器との比較を通し、その BER 特性を検討した。

平成 27 年度は、周波数選択性 MIMO 通信路における MFSK 信号のコヒーレント受信に関して研究を行った。すなわち、MFSK(M-ary Frequency Shift Keying)信号は、定包絡線性を有し電力効率の高い非線形増幅器の使用に有利である。近年、無線通信の高速化・高信頼化に向け MIMO 方式は必須となりつつあるが、MFSK 変調方式への適用は余り検討されて来なかった。これは MIMO 方式の信号分離や等化などの信号処理が基本的に線形行列演算に基づいて行われるため、非線形な FM 変調には適用しにくいためと考えられる。本研究では、周波数選択性 MIMO 通信路において、MLD(Maximum Likelihood Detection)に基づく、MFSK 信号のコヒーレント(coherent)受信方式を検討した。すなわち、受信 MFSK 信号に対し、周波数及び位相同期した受信レプリカ信号を発生させ、これらの間の信号間距離を最小にする受信方式を検討した。さらに、受信信号の観測区間長を拡大することにより、BER 特性の改善が可能であることを示した。また、球内復号法であり最尤解の得られる SE (Schnorr Euchner)アルゴリズムを用いて MLD の計算量の削減を行った。

その他に研究実施した項目も数多くあるが、これらについては〔雑誌論文〕及び〔学会発表〕の中で示す。また査読有の発表論文は新規性や有効性を外部で審査されたものである。今後の展望として、本研究の手法をさらに継続的にまた段階的に発展させることにより、移動体無線通信における一層の通信品質の改善、大容量化やリアルタイム化が可能になると考えられる。

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 12 件)

Cong Li, Yasunori IWANAMI, "A design of transmit weights for non-regenerative multiuser MIMO relay system," IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 5 pages, May 2012. 査読有
Hironori Tanaka, Yasunori Iwanami, "On Throughput Characteristics of Type II Hybrid-ARQ with Decode and Forward Relay using Non-Binary Rate-Compatible Punctured LDPC Codes," the Eighth International Conference on Wireless and Mobile Communications ICWMC 2012, pp.272-277, June 2012. 査読有

Daniel Ciarlini Pinheiro, Yasunori Iwanami, "MIMO Detect-and-Forward Relay scheme using Symbol LLR Threshold," ISITA2012 (2012 International Symposium on Information Theory and its Applications), Honolulu, Hawaii, USA, pp.682-686, October 28-31, 2012. 査読有

Masaaki MORIYAMA, Yasunori IWANAMI, "Complexity reduction using QRD-M or SD in MIMO Interleaved SC-FDMA receiver with iterative detection," ISITA2012 (2012 International Symposium on Information Theory and its Applications), Honolulu, Hawaii, USA, pp.145-149, October 28-31, 2012. 査読有

Cong Li and Yasunori Iwanami, "Comparative study of transmit weight designs for nonregenerative Multiuser MIMO downlink relay system," 6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS2012, Gold Coast, Australia 6pages, 12-14 December 2012. 査読有
Solimanzoy Fayeqa Haider, Cong Li, Yasunori Iwanami, "Performance improvement by MRC combining with multiple relays and receives antennas in AF relay networks," The 15th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT2013, 03D-04, 6 pages, January 2013. 査読有
Cong Li, Yasunori Iwanami, "Linear and Nonlinear Time Domain Block Equalizers on MIMO Frequency Selective Channels," Int'l J. of Communications, Network and System Sciences, Volume 6, Number 3, pp.119-127, March 2013. 査読有

Solimanzoy Fayeqa Haider, Cong Li, Yasunori Iwanami, "Performance of AF Relay Networks with Multiple Relays and Multiple Antennas at Destination Using MRC Combining," Int'l J. of Communications, Network and System Sciences, Volume 6, Number 5, pp.197-203, May 2013. 査読有

Yuichi Yamane and Yasunori Iwanami, "Iterative Detection of M-FSK Signal on MIMO Frequency Selective Fading Channels," The Ninth Advanced International Conference on Telecommunications AICT2013, pp.38-43, June 2013. 査読有

Tomotaka Hamada and Yasunori Iwanami, "On Type II Hybrid-ARQ with Decode and Forward Relay using Non-Binary Rate-Compatible Punctured LDPC Code on

MIMO SC-FDMA up-link," The Tenth International Conference on Wireless and Mobile Communications ICWMC 2014, pp.112-117, June 2014. 査読有
Takamasa TAKAHASHI and Yasunori IWANAMI, "Low complexity MIMO Interleaved SC-FDMA receiver using MRC with iterative detection," The 2nd IEEE International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT2014), pp.23-27, Nov. 2014. 査読有

Masaki Tsukamoto and Yasunori Iwanami, "Complexity Reduced MIMO Interleaved SC-FDMA Receiver with Iterative Detection," Int. J. Communications, Network and System Sciences, Vol.7, pp.508-518, Dec. 2014. 査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

山根勇一、岩波保則、「MIMO M-FSK 信号に対する ISI キャンセラーと MLD を用いた繰り返し信号分離検出方式」、電子情報通信学会、信学技報、RCS2012-354, pp.417-422, 2013 年 3 月。

森山真旭、岩波保則、「MIMO Interleaved SC-FDMA 繰り返し受信方式における球内復号による演算量削減の検討」、電子情報通信学会、信学技報、RCS2012-351, pp.399-404, 2013 年 3 月。

都築宏昭、岩波保則、「インパルス性雑音の影響を低減した MIMO SC-FDE 送受信機構成の検討」、信学技報、RCS2012-349, pp.387-392, 2013 年 3 月。

李 聡、岩波保則、「LR aided MMSE VP 法を用いたマルチユーザ MIMO AF リレー伝送方式の検討」、電子情報通信学会 2013 年総合大会、B-5-171, p.581、2013 年 3 月。

棚橋祐介、李聡、岩波保則、「マルチユーザ MIMO 下り回線における BD+MMSE THP 伝送方式の検討」、電子情報通信学会 2013 年総合大会、B-5-182, p.592、2013 年 3 月。

浜田知孝、岩波保則、「多元 Rate-Compatible LDPC 符号化 MIMO SC-FDMA Type II Hybrid-ARQ リレー伝送方式のスループット特性の評価」、信学技報、RCS2013-369, pp.383-388, 2014 年 3 月。

大城悠太郎、岩波保則、「周波数選択性 MIMO 通信路における M アルゴリズム MLSE ターボ等化器の検討」、信学技報、RCS2013-307, pp.7-12, 2014 年 3 月。

高橋孝優、岩波保則、「MIMO Interleaved SC-FDMA 方式の ISI + IAI canceller + MRC 繰り返し受信方式による BER 特性改善及び演算量削減の検討」、電子情報通信学会 2014 年総合大会、B-5-99, p.494、2014 年 3 月。

岡本和浩、岩波保則、「周波数選択性 MIMO 通信路における MFSK 信号のコヒーレント受信に関する検討」、信学技報、RCS2014-362, pp.363-368, 2015 年 3 月。
張国玉、岩波保則、「複数受信アンテナを用いた AF リレー伝送方式に関する検討」、電子情報通信学会 2015 年総合大会、B-5-58, p.413、2015 年 3 月。
飯田健太郎、岩波保則、「最大比合成を用いたマルチユーザ MIMO リレー伝送方式の検討」、2015 年総合大会、B-5-129, p.484、2015 年 3 月。

〔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 1 件)

名称：FSK 信号に対する周波数選択性 MIMO 通信路に於ける、周波数領域等化と非同期検出方式を組み合わせた伝送方式
発明者：岩波保則、岡本英二、肱元学
権利者：名古屋工業大学
種類：特許
番号：特許第 5360744 号
出願年月日：2008 年 9 月 25 日
取得年月日：2013 年 9 月 13 日
国内外の別：国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩波 保則 (IWANAMI, Yasunori)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：40144191

(2) 研究分担者

()
研究者番号：

(3) 連携研究者

()
研究者番号：