

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560396

研究課題名（和文）時空間符号化MIMO無線通信方式の高度化による
超高信頼・安全・安心な移動無線設計研究課題名（英文）Design of mobile communication systems with high reliability and safety
through the advancement of space time MIMO wireless techniques

研究代表者

岩波 保則（IWANAMI YASUNORI）

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：40144191

研究成果の概要（和文）：近年の携帯電話、無線LAN、ワイマックス等のデジタル移動体無線通信技術では、その高速性・大容量性は確保されつつある。しかし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な制御信号用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技術開発を通しその高度化を行った。特に MIMO 下り回線技術、リレー中継方式や受信 BER 推定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 cellular phone, wireless LAN and WiMax are now achieving their high data rates and reliability. But those schemes are based on the retransmission strategy to assure the high reliability, thus they lack for the real time property. Accordingly, this research aimed to develop the wireless transmission schemes without retransmission but with very high reliability. Through the advancement of space time coded MIMO techniques from various approaches, we developed the new schemes. Especially, we developed the downlink MIMO techniques, relaying schemes and the BER estimation techniques at the receiver.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,900,000	570,000	2,470,000
平成22年度	900,000	270,000	1,170,000
平成23年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：変復調

1. 研究開始当初の背景

近年の携帯電話（3.5～3.9世代）、無線LAN（IEEE802.11a,g,n,j）、ワイマックス（WiMAX, IEEE802.16e）等のデジタル移動体無線通信技術では、その高速性・大容量性は確保されつつある。しかしこれらは自動再送制御（ARQ）に基

づく無線通信であり、信頼性は確保されても通信遅延時間が大きくなる。従ってリアルタイム性を有する高い信頼性には欠けており、交通事故防止のITS通信や移動ロボット制御の通信の様に、人命に関わる分野では、殆ど利用できない。そこで本研究では、1回のみ伝送で再

送を行わない超高信頼な制御用信号無線データ通信方式の開発を目指し、このために研究代表者等が従来から研究を進めてきた時空間符号化MIMO (Multiple Input Multiple Output)無線通信方式の高度化を行う。

2. 研究の目的

交通事故防止やロボット制御通信など再送制御を用いないリアルタイム性を有する超高信頼度で高速な無線通信方式は、必須の技術になると考えられ、このキーポイントとなるデジタル変復調方式の開発は極めて重要である。ITS通信に於ける事故防止、安全走行、移動ロボット制御信号用データ伝送などでは再送は許されず、1回だけの伝送で超高信頼で高速なデータ伝送が要求される。このようなリアルタイム性のある超高信頼な無線伝送方式の開発が本研究の目的である。

3. 研究の方法

研究の方法は、基本的に計算機シミュレーションによった。例えば提案した変復調システムである「LDPC符号化MIMO-SC-FDE空間多重化通信方式」に関しては、LDPC符号化された出力ビットは n ビットずつ $M=2^n$ 値QPSK信号にマッピングされ、S/P変換されMIMO通信路へ送信される。受信側では多重干渉波として受信され、ISIキャンセラーとMLDの後LDPC復号され、さらにターボ軟値繰り返しフィードバック復号される。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

「LDPC符号化空間多重MIMO-OFDM-MLD Type-IIハイブリッドARQ方式のスループット特性の検討」に関する研究の実施

本研究項目では、LDPC復号結果の判定帰還を用いた繰り返しチャンネル推定、IFFTによる雑音除去、また外側フィードバックによる繰り返しMLDを用いた、LDPC符号化空間多重MIMO-OFDM Type-IIハイブリッドARQ方式を提案した。提案方式のBER特性、スループット特性及び平均再送回数特性を、16パス等電力準静的レイリーフェージング通信路に対し、計算機シミュレーションによって検討

した。この結果、提案方式では、従来方式に比べ、大きくスループット特性が改善することが判った。

「MIMO周波数選択性通信路に於ける時間領域等化・分離器方式の比較検討」に関する研究の実施

本研究項目では周波数選択性MIMO通信路に於けるLDPC符号化時間領域逐次処理形MLD繰り返し復号方式及びLDPC符号化MIMO MLSE方式を提案した。提案SE with MLD方式では、LDPC復号結果を硬値又は軟値としてISIキャンセラーへフィードバックし、ISIを再度キャンセルする為の高精度レプリカを生成して繰り返し復号処理を行った。硬値と軟値フィードバックでは軟値フィードバックによる改善利得が大きく、マルチパス数が増加するとともに、遅延パスダイバーシチ効果によりBER特性が良くなった。また、LDPC符号化MIMO MLSE方式もLDPC符号化SE with MLDに近いBER特性を示した。

「周波数選択性MIMO通信路に於けるMFSKのMLD受信方式に関する検討」に関する研究の実施

FSK(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。しかし、FSK方式は非線形変調方式であるため、従来、周波数選択性通信路に対し、受信側で等化処理を行うことが難しかった。研究代表者等はFSK信号について、非線形な処理を行うFSK検波器の前に線形等化器を置く方式について検討し、サイクリックプレフィクス(Cyclic Prefix; CP)を用いるSC-FDE(Single Carrier - Frequency Domain Equalization)方式がFSK信号の等化方式としても利用出来ることを示した。そしてさらにBER特性を改善するために、CPの代わりに零挿入(Zero Padding; ZP)を用いる最尤判定法(Maximum Likelihood Detection; MLD)の適用を行った。

「周波数選択性MIMO通信路に於けるチャンネル測定と受信BER値の推定」に関する研究の実施

無線通信においてリアルタイムで高品質な伝送を要求される場面が多々ある。たとえば、自動車の衝突防止システムでは一瞬の情報伝送の誤りでさえ人命にかかわってくるため、情報伝送の誤りは起きてはならない。受信機側で現在受信しているパケットの受信BERを推定することで、誤り確率の高いパケットを破棄して情報伝送の誤りを回避することなど考えられる。本研究では、パイロット信号の送信により無線通信路特性

と受信雑音電力の測定を行い、これらを元に受信 BER 値の推定を試みる。無線通信方式として、IEEE802.11p などでも採用されている OFDM 方式と、マルチパス通信路における周波数ダイバーシチ効果が期待できる Single Carrier-Frequency Domain Equalization (SC-FDE)方式を検討した。

「周波数選択性 MIMO 通信路に於ける M-FSK 伝送に対する ISI キャンセラーと MLD を用いた時間領域信号分離検出方式」に関する研究の実施

FSK(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。しかし、FSK 方式は非線形変調方式であるため、従来、周波数選択性通信路に対し、受信側で等化処理を行うことが難しかった。また、無線通信の高データ速度・高信頼度化に向け MIMO 方式は必須となりつつあるが、MIMO 方式の変復調は基本的に線形行列演算に基づくため、非線形 FSK 変調方式への適用は従来余り検討されて来なかった。我々は、まず FSK 信号の復調前における線形等化方式につき検討し、Cyclic Prefix(CP)を用いる SC-FDE 方式が FSK 信号の等化方式としても利用出来ることを示した。その上で、さらに良い BER 特性が期待できる方式として、CP の代わりに Zero Padding(ZP)を用いた最尤判定法(Maximum Likelihood Detection; MLD)の適用についても検討を行い、BER 特性の大幅な改善を行った。

「マルチユーザ MIMO ダウンリンクにおける最適な送信ウェイトを用いた DPC 伝送方式」に関する研究の実施

本研究項目では、マルチユーザ MIMO ダウンリンクにおけるユーザ間の干渉 (IUI: Inter-User Interference)除去について、粒子群最適化手法 (PSO: Particle Swarm Optimization)による最適な送信ウェイトを用いた DPC(Optimal Weights for Dirty Paper Coding)伝送方式を提案した。従来の DPC 伝送方式に比べ、本提案方式では、複数の受信アンテナを持つ各ユーザに DPC 伝送方式が利用可能になる。基地局では送信ユーザダイバーシチが得られ、システムのキャパシティーレート特性も確保できる。各ユーザへの送信利得を最大にするために、ユーザ 1 では、最大ビーム法(MB: Maximum Beam)で送信し、ユーザ 1 以降のユーザに対しては、PSO 最適化手法を用いて最適な送信ウェイトを探索する。計算機シミュレーションにより優れた BER 特性が得られることを示した。

「MIMO 周波数選択性通信路に於けるシ

ングルキャリア伝送を用いた等化方式の比較検討」に関する研究の実施

本研究項目では、周波数選択性 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 通信路におけるシングルキャリア空間多重通信方式の受信機の構成の比較検討を行った。先に提案した符号間干渉 (ISI)とアンテナ間干渉 (IAI)の補償を時間領域で行う逐次処理型 MLD 等化器 (SE with MLD, Sequential Equalizer with MLD)に於いて、MLDに M-Algorithm の原理を適用し、MLD の総探索回数を削減した。また、更なる復号誤り率特性向上のため、送信側で LDPC (Low Density Parity Check) 符号化を行った。受信機側で高信頼な LDPC 復号結果を ISI キャンセラー用のレプリカ生成用にフィードバックする繰り返し復号処理受信機方式の提案を行った。無符号化時における SE with MLD, SE with M-Algorithm, MLSE, SC-FDE, SC-FDE ISI canceller + MLD 受信機の BER 特性を比較した。次に LDPC 符号化時における SE with MLD, SE with M-Algorithm, MLSE, SC/MMSE 受信機の BER 特性を比較した。最後に各受信方式の積和総演算量について比較検討した。

その他に研究実施した項目も数多くあるが、これらについては研究発表成果の中で示す。また査読有の発表論文は新規性を有するものであり、国内外において新しい提案と考えられる。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、移動体無線伝送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 18 件)

- ① Cong Li, Yasunori Iwanami, "An Effective transmit Weight Design for DPC with Maximum Beam in Multi-user MIMO Downlink," The Seventh International Conference on Wireless and Mobile Communications, ICWMC2011, pp. 24-29, 2011. 査読有
- ② Yasunori Iwanami, Kenji Nakayama, "MLD-based MFSK Demodulation on MIMO Frequency Selective Fading Channel," The Seventh International Conference on Wireless and Mobile Communications, ICWMC2011, pp. 30-35, 2011. 査読有

- ③ Azlan ABD AZIZ and Yasunori IWANAMI, "Mitigating Error Propagation with An Adaptive Detect-and-Forward Strategy in Cooperative Relay Channels," Proc. of International Conference on ICT Convergence (ICTC 2011), Seoul, Sept. 2011, pp. 240 – 244, 2011. 査読有
- ④ Azlan ABD AZIZ and Yasunori IWANAMI, "A Simple Symbol Estimation for Soft Information Relaying in Cooperative Relay Channels," Int. Journal of Commun. Networks and Systems (IJCNS), Scientific Research Publishing , Vol. 4, No. 9, Sept. 2011, Page(s): 568-577, 2011. 査読有
- ⑤ Azlan ABD AZIZ and Yasunori IWANAMI, "Maximum Likelihood Combining in Cooperative Relay Networks with Different Modulations," Proc. of International Conference on ICT Convergence (ICTC 2011), Seoul, Sept. 2011, pp. 234-239, 2011. 査読有
- ⑥ Yuya Takahashi, Yasunori Iwanami, Eiji Okamoto, "A comparative study on MIMO MLSE turbo equalizer on frequency selective channels," 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2011), 5pages, 2011. 査読有
- ⑦ Cong Li, Yasunori Iwanami, "Effective transmit weight design for DPC with maximum beam in multiuser MIMO OFDM downlink," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E94-A, No.12, pp.2710-2718, December 2011. 査読有
- ⑧ Azlan Abd Aziz, Yasunori Iwanami, "Maximum Likelihood Detection for Detect-and-Forward Relay Channels," Int'l J. of Communications, Network and System Sciences, vol.4, No.2, pp.88~97, 2011. 査読有
- ⑨ Cong LI, Yasunori IWANAMI, Eiji OKAMOTO, "A study on Dirty Paper Coding with a maximum beam in multiuser MIMO downlinks," TENCON 2010, Nov.21-24, Fukuoka, pp.2288~2293, 2010. 査読有
- ⑩ Azlan ABD AZIZ, Yasunori IWANAMI, Eiji OKAMOTO, "Symbol-based Soft Relaying Strategy for Cooperative Wireless Networks," TENCON 2010, Nov.21-24, Fukuoka, pp.2361~2366, 2010. 査読有
- ⑪ Satoshi NAKANOBU, Yasunori IWANAMI, Eiji OKAMOTO, "A Comparative Study on Time Domain Sequential Equalizer with MLD and MLSE Equalizer on MIMO Frequency Selective Channels," IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E93-B, No.11, pp.3197~3202, 2010. 査読有
- ⑫ Takashi KOZAWA, Yasunori IWANAMI, Eiji OKAMOTO, Ryota YAMADA, Naoki OKAMOTO, "An Evaluation on Throughput Performance for Type II Hybrid-ARQ Using Non-binary Rate-Compatible-Punctured LDPC Codes," IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E93-A, No.11, pp.2089~2091, 2010. 査読有
- ⑬ Kenji Nakayama, Yasunori Iwanami, Eiji Okamoto, "MIMO MFSK receivers using FDE and MLD on quasi-static frequency selective fading channels," International Symposium on Information Theory and its Applications 2010 (ISITA2010), Oct.17-20, 6pages, 2010. 査読有
- ⑭ Azlan ABD AZIZ, Yasunori IWANAMI and Eiji OKAMOTO, "On the improvement of maximum likelihood detection in multiple relay systems", IEEE WCNC2010, April 18-21, Sydney, 6pages, 2010. 査読有
- ⑮ Y. Tsuruta, Y. Iwanami, E. Okamoto, "A Study on LDPC Coded Hybrid-ARQ Using Spatially Multiplexed MIMO-OFDM," The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2009), 5pages, 2009. 査読有
- ⑯ S. Nakanobu, Y. Iwanami, E. Okamoto, "A Study on Time Domain Sequential Equalizer with MLD and MLSE Equalizer on MIMO Frequency Selective Channels," The 12th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2009), 5pages, 2009. 査読有
- ⑰ Li Cong, Iwanami Yasunori, Okamoto Eiji, "Comparative study for Tomlinson-Harashima Precoding based on MMSE criteria in multiuser MIMO downlink system," TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference, 23-26 Jan. 2009. 査読有
- ⑱ Aziz, Azlan Abd, Iwanami Yasunori, Okamoto Eiji, "Efficient combining technique with a low-complexity detect-and-forward relay for cooperative diversity," TENCON 2009 - 2009 IEEE Region 10 Conference, 23-26 Jan. 2009. 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- ① 李聡、岩波保則、「マルチユーザ MIMO ダウンリンクにおける最適な送信ウェイトを用いた DPC 伝送方式の検討」、電子情報通信学会

無線通信システム研究会
IEICE-RCS2011-216, pp.161-166, 2011 年
11 月 18 日.

- ② 李 晟、岩波保則、岡本英二、山田良太、岡本直樹、「Overlap 法を用いた MIMO シングルキャリア伝送に於ける繰り返し信号分離検出方式」、電子情報通信学会 無線通信システム研究会、RCS2010-253、pp.31-36、2011 年 3 月 2 日.
- ③ 中山健治、岩波保則、岡本英二、「周波数選択性 MIMO 通信路に於ける M-FSK 伝送に対する ISI キャンセラーと MLD を用いた時間領域信号分離検出方式」、第 33 回情報理論とその応用シンポジウム、pp.266-271、2010 年 12 月 1 日.
- ④ 浅野靖貴、岩波保則、岡本英二、「周波数選択性 MIMO 通信路に於けるチャネル測定と受信 BER 値の推定」、第 33 回情報理論とその応用シンポジウム、pp.272-277、2010 年 12 月 1 日.
- ⑤ 鶴田優介、岩波保則、岡本英二、「LDPC 符号化空間多重 MIMO-OFDM-MLD Type-II ハイブリッド ARQ 方式のスループット特性の評価」、電子情報通信学会、信学技報, vol. 109, no. 440, RCS2009-309, pp. 297-302, 2010 年 3 月 5 日.
- ⑥ 中信公志、岩波保則、岡本英二、「MIMO 周波数選択性通信路に於ける時間領域等化・分離器方式の比較検討」、電子情報通信学会、信学技報, vol. 109, no. 440, RCS2009-337, pp. 467-472, 2010 年 3 月 5 日.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 6 件)

名称：マルチユーザ MIMO マルチストリーム DPC 伝送方式

発明者：李聡、岩波保則

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2011-109210

出願年月日：2011 年 5 月 16 日

国内外の別：国内

名称：マルチユーザ MIMO 下りリンク AF リレー伝送方式における送信ウェイトの設計

発明者：李聡、岩波保則

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2011-109238

出願年月日：2011 年 5 月 16 日

国内外の別：国内

名称：FSK 信号に対する周波数選択性 MIMO 通信路におけるゼロ挿入と最尤判定法を組み合わせ

た伝送方式

発明者：岩波保則、岡本英二、中山健治

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2010-042631

出願年月日：2011 年 2 月 26 日

国内外の別：国内

名称：MIMO LDPC 符号化 MLSE ターボ等化器

発明者：岩波保則、岡本英二、高橋裕也

権利者：国立大学法人名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2011- 39904

出願年月日：2011 年 2 月 25 日

国内外の別：国内

名称：MIMO 通信路に於ける受信 BER 値の推定方式

発明者：岩波保則、岡本英二、浅野靖貴

権利者：国立大学法人名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2010-189499

出願年月日：2010 年 8 月 26 日

国内外の別：国内

名称：マルチユーザ MIMO ダウンリンクにおける最適なウェイトを用いた DPC 方式

発明者：岩波保則、岡本英二、李聡

権利者：名古屋工業大学

種類：特許

番号：特願 2010-42633

出願年月日：2010 年 2 月 26 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・工学研究科・教授

研究者番号：40144191

(2)研究分担者

岡本 英二 (Okamoto Eiji)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10358963

(3)連携研究者

()

研究者番号：