

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 30 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360156

研究課題名(和文) 超大容量マルチユーザMIMO無線LANシステムの超低消費電力化設計に関する研究

研究課題名(英文) A study on Super-low-power design of super-high-capacity Multi-User MIMO Wireless LAN system over 3Gbps

研究代表者

尾知 博(OCHI, Hiroshi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：50185617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3 Gbps以上の伝送レートを有する超大容量マルチユーザMIMO無線LANシステムのLSI化設計とその国際標準化(IEEE802.11ac)を実施した。学術的な研究成果として、マルチユーザMIMOの為に低感度非線形プリコーディングや、コグニティブ8x8MIMOシステムのアプローチ開発とチップ化設計を実施した。また、それらの研究開発成果をIEEE802.11ac国際標準化委員会へ随時技術提案し、そのうち2件が採択され、本研究開発の方式を国際標準化の一部とする目的も達成できた。本研究における国際標準化活動は、国家的科学技術戦略という観点からも非常に重要であり、今後も継続していきたい。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have pursued a design of super-high-capacity Multi-User MIMO Wireless LAN system over 3Gbps and its international standardization activities in IEEE802.11ac. As academic contributions, we have proposed and designed an actual chip design in terms of 1) a low-sensitivity non-linear pre-coding, and 2) a cognitive sense 8x8 MIMO decoder algorithms. Those results have been presented at IEEE802.11ac international standardization committee as proposals. Among several our proposals, two of them have been accepted in this standard so that our project aim has been successful in view of international standardization contribution. It is important to pursue such an standardization activity as an output of this kind of national budget in view of a government scientific strategy.

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：ネットワーク 無線LAN MIMO

1. 研究開始当初の背景

ブロードバンド・ワイヤレスシステムとして、MIMO 技術を用いた IEEE802.11n 無線 LAN や WiMAX、LTE が注目され、一部実用化が進んでいる。しかし、MIMO 技術は膨大な演算量を必要とするため、2×3 本のアンテナを用いた 300Mbps 程度の伝送レートを有する MIMO 通信システムのチップ化は無線 LAN で実現されているが、いまだに 4×4 本以上のアンテナを用いた 300Mbps 以上の伝送レートを有する MIMO 無線システムの LSI チップは実現されていない。マルチユーザ MIMO システムも同様の理由で、LSI 化はされていない。このように、MIMO デコーダの高ストリーム化と低消費電力化に関する研究が今後の MIMO システムの普及の鍵を握る。

2. 研究の目的

本研究では、3 Gbps 程度の伝送レートを有する超大容量マルチユーザ MIMO 無線 LAN システムの LSI 化設計とその国際標準化を進める。具体的に本研究開発では、2.5-3Gbps 程度の超高速伝送レート(超大容量)を有するコグニティブ方式による超低消費電力 8x8MIMO 無線 LAN システムのチップ化設計さらに FPGA 検証ボードによる実証システムおよび TEG チップの開発までを 4 年間で実施する。また、その成果を IEEE802.11ac 国際標準化委員会へ随時技術提案(平成 20,21 年度で既に 3 件提案済み)し、本研究開発の方式を国際標準化の一部とすることも目的とする。

従来において未踏分野である、8x8 以上の MIMO システムのチップ化設計およびそのマルチユーザ無線システムへの応用は、学術的に高い新規性とインパクトがあるばかりでなく、部分的な採択になるとしても、国際標準化活動は国家的科学技術戦略という観点からも非常に重要である。

3. 研究の方法

平成 22・23 年度の 2 年間は、-1 システム方式設計・プロポーザル検討(九州工大)と -2 コア IP の低消費電力化 RTL 設計(北海道大)を中心に実施する。前者は理論導出とその Matlab による検証、後者はコグニティブ制御による低消費電力化アーキテクチャの理論的導出および論理設計(Verilog 言語を使用)さらにその論理検証(ModelSim を使用)を実施する。

また、平成 23 年度は、-1、-2 の研究成果を受けて、まず -3 システム実装(KAIST, 九州工大, ㈱レイドロクス)を開始する。続いて -4 マルチユーザ 8x8 MIMO システムの FPGA ボード実装を実施し、平成 23 年度以降に当該システムの電波暗室ならびに実環境での実証実験を合同チームで実施する。

一方、4 年間を通して、各サブテーマの研究成果を受けて、-5 IEEE802.11ac 国際標準

規格化委員会に、プロポーザルを合同で提案していき、本研究の一部を国際標準化に載せる努力を最大限実施する

4. 研究成果

(1) 国際標準化活動

本研究では、3 Gbps 以上の伝送レートを有する超大容量マルチユーザ MIMO 無線 LAN システムの LSI 化設計とその国際標準化(IEEE802.11ac)を進めた。

具体的に本研究開発では、2.5-3Gbps 程度の超高速伝送レート(超大容量)を有する超低消費電力 8x8MIMO 無線 LAN システムのチップ化設計さらに FPGA 検証ボードによる実証システムの開発を 4 年間で実施した。また、その研究開発成果を IEEE802.11ac 国際標準化委員会へ随時技術提案を実施し、そのうち 2 件が採択され、本研究開発の方式を国際標準化の一部とする目的も達成できた。

(2) 下りリンクマルチユーザ MIMO システムの開発に関する研究成果

学術的な研究成果は以下の通りである。まず、下りリンクマルチユーザ MIMO システムにおいて、線形プリコーディングよりもユーザ検出が優れる非線形プリコーディングについて着目し、Tomlinson-Harashima (TH) プリコーディングのデジタル回路設計を行った。TH プリコーダは LQ 分解と重み付け回路から構成されて、LQ 分解は浮動小数点数演算を実行するプロセッサ、重み付け回路は固定小数点数演算回路で実装している。LQ 分解と重み付け回路の計算順序やデータフローを工夫することで従来設計よりも最大 15% の消費電力低減を達成した。

また、本 TH プリコーダの欠点であるチャネル推定精度の劣化による BER 特性の劣化要因を理論的に解析し、その補正方法も示した。具体的には、以下の通りである。

従来 THP 手法から、THP のシステムモデルの一般表現は図1 のように表される。



図1: THP システムモデルの一般表現

$u$  は送信シンボル,  $n$  はノイズを表す.  $H$  はチャネル行列,  $Q$  と  $R$  はそれぞれ  $H$  を QR 分解したときのユニタリ行列と上三角行列であり,  $R$  と同じ対角成分を持つ対角行列を  $D$  とする.  $M$  は送信ストリーム数,  $A$  と  $B$  は  $M \times M$  の対角行列であり,  $AB = D^{-1}$  の約がある. 従来 THP 手法の Type 1 では  $A = D^{-1}$ ,  $B = I$  となり, Type 2 では  $A = I$ ,  $B = D^{-1}$  となる. また,  $A_{m,m}$  と  $B_{m,m}$

はそれぞれA とB の $m$  行 $m$  列の要素を表す。 $f_c(\cdot)$  はモジュロ演算を表し、 $\mathbf{P}$  はソート行列、 $\mathbf{F}$  はIUI 補償のためのフィードバック行列、 $\gamma$  は送信電力の正規化ゲインである。次に、THP 手法の雑音強調成分の一般表現は式(1) で与えられ、Cauchy-Schwarzの定理より以下の関係式が成り立つ。

$$G = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{m=1}^M A_{m,m}^2 \sum_{m=1}^M B_{m,m}^2} \geq \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M A_{m,m} B_{m,m} \quad (1)$$

ここで、 $B_{1,1}/A_{1,1} = \dots = B_{M,M}/A_{M,M}$  となるとき、つまり  $\mathbf{A} = \mathbf{B} = \sqrt{\mathbf{D}^{-1}}$  のときに  $G$  は最小値を取る。 $\sqrt{\mathbf{Z}}$  は任意の行列  $\mathbf{Z}$  の各要素の平方根の値を要素を持つ行列として定義する。これより、 $\mathbf{A} = \sqrt{\mathbf{D}^{-1}}$ 、 $\mathbf{B} = \sqrt{\mathbf{D}^{-1}}$  としてプリコーディングを行うことで、雑音強調成分  $G$  は最小値となる。

以上の手法を利用して、以下の図のような良好な結果を得ている（提案方法：印）性能比較のため、提案手法と従来THP 手法、MMSE THP手法、LRA THP 手法、さらに線形プリコーディング手法であるChannel Inversion 手法との比較を行う。

図9 にチャネル推定誤差が無い場合のビット誤り率(BER)特性を示す。チャネル推定誤差が無い場合、提案手法はLRA THPと比較してBER =  $10^{-4}$  の点において約2 [dB] の劣化があるものの、他の既存手法よりも優れた伝送性能を示している。一方、チャネル推定誤差有の場合、THP 手法は全体的に伝送性能が劣化しており提案 THP 手法はBER =  $10^{-4}$  付近においてエラーフロアを示している。

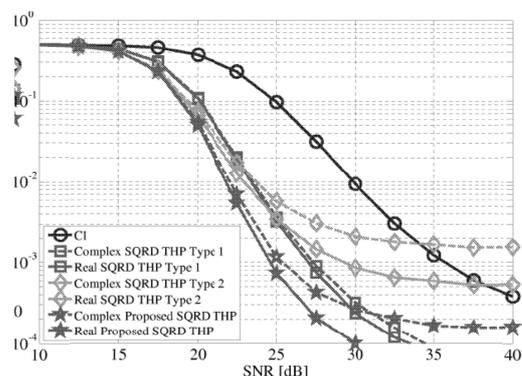


図9 複素数で復号した場合と実数で復号した場合の BER 比較 (CSI 誤差: 35[dB])

Fig.9 Coded BER comparisons of Complex and Real SQRD THP (CSI error: 35[dB])

### (3) 高次 MIMO デコーダの開発

さらに、従来において未踏分野である、8x8 以上の MIMO デコーダを行列のブロック体格化の手法により、低次デコーダの並列処理に

変換し、デコードを実施するアルゴリズムを開発した。以下にアルゴリズムを説明する。

MU-MIMO において、ブロック対角化手法 (BD 法) はユーザ間の干渉成分である IUI (Inter User Interference) を送信機でプリコーディングを用いて除去するための手法として知られている [7], [8]。ここで通信路情報行列  $\mathbf{H}$ 、送信信号ベクトル  $\mathbf{x}$ 、受信信号ベクトル  $\mathbf{y}$ 、雑音ベクトル  $\mathbf{n}$  を定義する。受信信号ベクトル  $\mathbf{y}$  は式 (2) で定義する。

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (2)$$

通信路情報行列  $\mathbf{H}$  は各ユーザ通信路情報行列  $\mathbf{H}_k$  からなる。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1^T & \mathbf{H}_2^T & \dots & \mathbf{H}_k^T & \dots & \mathbf{H}_K^T \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

ここで  $k$  はユーザであり、 $k$  は  $2 \leq k \leq K \leq M$  の値をとり、 $K$  は最大同時通信ユーザ数、 $M$  は送信アンテナ数を示す。

従来手法のブロック対角化法では、SVD (Singular Value Decomposition) を使用して行列  $\hat{\mathbf{H}}_k$  からヌル空間ベクトル  $\mathbf{V}_k^n$  を計算する。

$$\hat{\mathbf{H}}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1^T & \dots & \mathbf{H}_{k-1}^T & \mathbf{H}_{k+1}^T & \dots & \mathbf{H}_K^T \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

$$\hat{\mathbf{H}}_k = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^H = \mathbf{U} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{\Sigma}} & \mathbf{O} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{V}_k^b & \mathbf{V}_k^n \end{bmatrix}^H \quad (5)$$

行列  $\hat{\mathbf{H}}_k$  は  $k$  ユーザ通信路情報  $\mathbf{H}_k^T$  以外のユーザ通信路情報行列  $\mathbf{H}_1^T, \dots, \mathbf{H}_K^T$  からなる。行列  $\mathbf{U}, \mathbf{V}$  はユニタリ行列、行列  $\mathbf{\Sigma}$  は特異値を対角成分にもつ対角行列  $\hat{\mathbf{\Sigma}}$  と零行列  $\mathbf{O}$  からなる。そして、ユニタリ行列  $\mathbf{V}$  は基底ベクトル  $\mathbf{V}_k^b$  とヌル空間ベクトル  $\mathbf{V}_k^n$  からなる。

各ユーザ通信路情報行列に対するヌル空間ベクトル  $\mathbf{V}_k^n$  を使用して BD 重み行列  $\mathbf{W}_{BD}$  を得る (式 (6))。

$$\mathbf{W}_{BD} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1^n & \mathbf{V}_2^n & \dots & \mathbf{V}_K^n \end{bmatrix} \quad (6)$$

MU-MIMO 送信機は送信信号ベクトル  $\mathbf{x}$  に BD 重み行列  $\mathbf{W}_{BD}$  を掛ける。そのとき、受信信号ベクトル  $\mathbf{y}$  はブロック対角行列  $\mathbf{B}$  を用いて式 (7) で表わされる。

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{H}\mathbf{W}_{BD}\mathbf{x} + \mathbf{n} \\ &= \mathbf{B}\mathbf{x} + \mathbf{n} \end{aligned} \quad (7)$$

ブロック対角行列  $\mathbf{B}$  は式 (8) で表わされる。

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{B}_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{B}_K \end{bmatrix} \quad (8)$$

上記の式より、ブロック対角行列  $\mathbf{B}$  はいくつかの非零部分行列  $\mathbf{B}_k$  と零行列  $\mathbf{O}$  からなることがわかる。

提案手法はブロック対角化を高次 SU-MIMO 復号での演算量削減手法として使用する。提案手法の受信信号ベクトルも式 (2) で表わされる。通信路情報行列  $\mathbf{H}$  をエルミート転置した行列を行列  $\mathbf{H}^H$  とする。

提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}$  は SVD の代わりに QRD (QR Decomposition) を使用して計算する。行列  $\hat{\mathbf{H}}_k^H$  に対して QRD を行いヌル空間ベクトル  $\mathbf{Q}_k^n$  を得る。ここで提案手法ではインデックス  $k$  はユーザではなく通信路情報行列  $\mathbf{H}$  の部分行列を意味する。

$$\hat{\mathbf{H}}_k^H = \mathbf{Q}\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_k^b & \mathbf{Q}_k^n \end{bmatrix} \mathbf{R} \quad (9)$$

行列  $\mathbf{Q}$  は基底ベクトル  $\mathbf{Q}_k^b$  とヌル空間ベクトル  $\mathbf{Q}_k^n$  からなるユニタリ行列で、行列  $\mathbf{R}$  は上三角行列である。このようにして、ヌル空間ベクトル  $\mathbf{Q}_k^n$  を使用して提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}$  を得る。式 (10) に提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}$  を示す。

$$\mathbf{W}_{prop} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_1^n & \mathbf{Q}_2^n & \cdots & \mathbf{Q}_K^n \end{bmatrix} \quad (10)$$

提案手法を使用してブロック対角化した行列  $\mathbf{B}_{prop}$  は式 (11) で表わされる。

$$\mathbf{B}_{prop} = \mathbf{H}^H \mathbf{W}_{prop} \quad (11)$$

ここで、式 (11) の行列  $\mathbf{B}_{prop}$  をエルミート転置すると、次の式が得られる。

$$\mathbf{B}_{prop}^H = \mathbf{W}_{prop}^H \mathbf{H} \quad (12)$$

式 (12) より、提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}$  を受信機側で使用してブロック対角行列  $\mathbf{B}_{prop}^H$  を得られることがわかる。受信信号ベクトル  $\mathbf{y}$  に左からエルミート転置した提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}^H$  を掛けると式 (13) が得られる。

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_{prop}^H \mathbf{y} &= \mathbf{W}_{prop}^H \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{W}_{prop}^H \mathbf{n} \\ &= \mathbf{B}_{prop}^H \mathbf{x} + \mathbf{W}_{prop}^H \mathbf{n} \end{aligned} \quad (13)$$

この後、提案高次 MIMO システムは行列  $\mathbf{B}_{prop}^H$  の部分行列  $\mathbf{B}_k^H$  毎に MIMO 復号を行う。また、提案手法では雑音ベクトル  $\mathbf{n}$  に提案 BD 重み行列  $\mathbf{W}_{prop}^H$  が乗算されることによる雑音強調は行わない。

以下の表のパラメータを用いて、上記で提案した MIMO デコーダのシミュレーション特性を次の図に示す。印が提案手法である。

Parameter	Value
Simulator	IEEE 802.11ac
Number of data bytes per packet	500
Number of iteration	2,000
Bandwidth	40 MHz
Modulation	16-QAM
Channel type	D
MIMO Decoder	Linear MMSE, LRA-MMSE, MLD, Proposed Decoding
FEC (Forward Error Correction)	Not use (Uncoded)

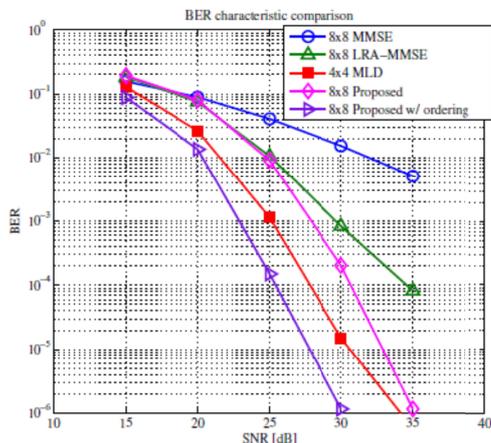


図7 提案手法と従来線形 MIMO 復号法の誤り訂正無し時の BER 特性比較

図7に8×8 MIMOにおける提案手法と従来線形 MIMO 復号法との BER 特性の比較を示す。8×8 Proposed は LRA-MMSE と比較して BER が  $10^{-4}$  で約 4dB 程改善される。Channel Ordering 手法を使用した BER 特性の結果(8×8 Proposed w/Channel ordering) から、最適な Channel Ordering パターンが得られた場合、8×8 Proposed w/ Channel ordering は LRA-MMSE と比較して BER が  $10^{-4}$  で約 9dB 程改善される

#### (4) 総括

4×4 MIMO デコーダのチップ化設計およびそのマルチユーザ無線システムとしての FPGA プロトタイプボードにより実装が成功し、学術的に高い新規性とインパクトを与えたと考えている。

また、一連の国際標準化活動は国家的科学技術戦略という観点からも非常に重要であり、今後も継続していきたい。

#### 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 10件)

Shogo FUJITA, Leonardo LANANTE Jr., Yuhei NAGAO, Masayuki KUROSAKI, and Hiroshi OCHI, Novel THP Scheme with Minimum Noise Enhancement for Multi-User MIMO Systems, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E96-A、pp.1340 - 1347、2013年

Thi Hong Tran, Leonardo Lanante, Yuhei Nagao, Hiroshi Ochi, Hardware Design of Multi Gbps RC4 Stream Cipher, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E96-A、pp.2120 - 2127、2013年

Kazi Obaidullah, Constantin Siriteanu, Shingo Yoshizawa, Yoshikazu Miyanaga, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E96-A、pp.1984 - 1992、2013年

Kosuke Shimazaki, Shingo Yoshizawa, Yasuyuki Hatakawa, Tomoko Matsomoto, Satoshi Konishi, Yoshikazu Miyanaga, A VLSI Design of a Tomlinson-Harashima Precoder for MU-MIMO Systems Using Arrayed Pipelined Processing, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E96-A、pp.2114 - 2119、2013年

Nozomi Miyazaki, Shingo Yoshizawa, Yoshikazu Miyanaga, Low-Power Dynamic MIMO Detection for a 4x4 MIMO-OFDM Receiver, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E97-A、pp.306 - 312、2013年  
Leonardo LANANTE, Jr. Masayuki KUROSAKI Hiroshi OCHI, Low Complexity Compensation of Frequency Dependent I/Q Imbalance and Carrier Frequency Offset for Direct Conversion Receivers, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E95-B No.2, pp.484 - 492、2012年2月  
Shingo Yoshizawa, Yoshikazu Miyanaga, Design of Area- and Power-Efficient Pipeline FFT Processors for 8x8 MIMO-OFDM Systems, 査読有、IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E95-A, No.2, pp.550-558, 2012年2月  
Yuya Miyaoka, Masayuki Kurosaki, Hiroshi Ochi, RTL Design of High-Speed QR Decomposition for MIMO Decoder, 査読有、IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E95-A, no.11, pp.1991-1997, 2012  
Jaeseong Kim, Shingo Yoshizawa, Yoshikazu Miyanaga, Variable Wordlength Soft-Decision Viterbi Decoder for Power-Efficient Wireless LAN, 査読有、Integration, the VLSI Journal, Vol.45 Issue 2, 2012  
Hisayoshi Kano, Shingo Yoshizawa, Takashi Gunji, Shougo Okamoto, Morio Tawarayama, Yoshikazu Miyanaga, Development and Outdoor Evaluation of an Experimental Platform in an 80-MHz Bandwidth 2x2 MIMO-OFDM System in 5.2-GHz Band, 査読有、IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E94-D No.2, pp.2400 - 2408、2011年12月

〔学会発表〕(計 7件)

Hiroshi Ochi, Multi-User Wireless MIMO System -From Theory to Chip Design-, International Symposium on Telecommunication 2012 (招待講演), Tehran, 2012年11月7日  
Shogo Fujita, Leonardo Lanante Jr., Yuhei Nagao, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi, Modified Tomlinson Harashima Precoding Using Square Root for Multi-User MIMO Systems, 査読有、IEEE Vehicular Technology Conference(VTC) 2012-Fall, 10.1109/VTCFall.2012.6399162 Quebec, Sep 8<sup>th</sup>, 2012  
Leonardo Lanante, Hiroshi Ochi,

Hardware Design of 1.3Gbps Multi-User MIMO System for IEEE802.11ac, 査読有、IEEE Vehicular Technology Society(VTS) Asia Pacific Wireless Communications Symposium(APWCS), Kyoto, Aug 4<sup>th</sup> 2012

Yuya Miyaoka, Yuhei Nagao, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi, "Sorted QR Decomposition for High-Speed MMSE MIMO Detection Based Wireless Communication Systems," Proc. 2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2012), pp. 2857--2860, Seoul, Korea, May 20-23(23), 2012

Thi Hong Tran, Leonardo Lanante, Yuhei Nagao, Masayuki Kurosaki, Hiroshi Ochi, "Hardware Implementation of High Throughput RC4 Algorithm," 2012 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS-2012), pp. 77-80, Seoul, Korea, May 20-23(20), 2012

Leonardo Lanante Jr., Arumjeni Mitayani, Yuhei Nagao, Masayuki Kurosaki, Hiroshi Ochi, "Packet Delayed Lattice Reduction Algorithm for High Performance MIMO Decoder" IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2012), pp 236-240, Paris France, Apr 2<sup>nd</sup> 2012  
Leonardo Lanante Jr., Daisuke NOJIMA, Takuro YOSHIDA, Yuhei NAGAO and Hiroshi OCHI, Packet Error Rate Evaluation for 11ac PHY, IEEE802.11n 国際標準(提案) doc.:IEEE802.11-12/120r0, Jacksonville, Florida, USA, Jan 19<sup>th</sup> 2012

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2件)

名称:チャンネル推定装置およびチャンネル推定プログラム  
発明者:尾知博、ニコスランタ、黒崎正行  
権利者:国立大学法人九州工業大学  
種類:特許  
番号:特願 2013-027126  
出願年月日:平成 25 年 2 月 14 日  
国内外の別:国内

名称:プリコーディング装置およびプリコーディング方法並びにプリコーディング処理プログラム  
発明者:尾知博、藤田省吾、レオナルド ランテ ジュニア、長尾勇平、黒崎正行  
権利者:国立大学法人九州工業大学  
種類:特許  
番号:特願 2012-186970

出願年月日：平成 24 年 8 月 27 日

国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://dsp.cse.kyutech.ac.jp/research/MIMO/MIMO.html>

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

尾知 博 (OCHI, Hiroshi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号： 5 0 1 8 5 6 1 7

### (2)研究分担者

吉澤 真吾 (YOSHIKAWA, Shingo)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号： 2 0 4 4 7 0 8 0

黒崎 正行 (KURISAKI, Masayuki)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号： 8 0 4 0 4 0 9 4