

Title	ターボ原理に基づく分散ワイヤレスネットワーク構成法に関する研究
Author(s)	松本, 正
Citation	科学研究費補助金研究成果報告書: 1-6
Issue Date	2011-06-13
Type	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/9789
Rights	
Description	研究種目: 基盤研究 (B), 研究期間: 2008 ~ 2010, 課題番号: 20360168, 研究者番号: 40452114, 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

機関番号：13302
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20360168
 研究課題名（和文） ターボ原理に基づく分散ワイヤレスネットワーク構成法に関する研究
 研究課題名（英文） COnnect All by Turbo NETworks (COATNET)

研究代表者
 松本 正 (Matsumoto Tadashi)
 北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
 研究者番号：40452114

研究成果の概要（和文）：

本研究課題は、符号・シグナリング方式の設計、上位レイヤ処理との統合、資源配分、実フィールドにおける有効性の実証、の4個のObjectivesからなる。共通する技術背景は、結果（受信信号）を生じる原因（送信信号）をターボ原理によって明らかにし、相互情報量の伝達特性を整合させることで最適分散ネットワーク構成法を明らかにすることである。それぞれのObjectivesに対して、当初の目標が達成できたと考える。詳細は4. 研究成果で述べる。

研究成果の概要（英文）：

The primary objectives of the COATNET project are fourfold: Optimal design of source/channel coding and signaling techniques, X-layer design optimization by the Turbo principle, Resource allocation based on the results of convergence property analysis of the mutual information exchange, and verification using field measurement data. A commonality among those objectives is to identify the cause (=transmitted signals) of the observation (=received signals) through extrinsic information transfer (EXIT) analysis, and the final goal is to establish optimal design of distributed networks. We believe that those primary objectives have been achieved, as detailed in 4: Achievement section.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

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：(1) Shannon 限界 (2) 相互情報量 (3) EXIT チャート (4) ターボ等化
 (5) 中継ネットワーク (6) 情報源符号化 (7) 通信路符号化 (8) BICM-ID

1. 研究開始当初の背景

シャノンの情報理論によれば、雑音のある無記憶通信路において情報速度が通信路容量を超えなければ、何らかの符号化を行うことにより信頼性の高い（誤り率が任意に小さい）通信が可能となる。一方、通信路容量に

迫る性能を示す符号は、1993年のターボ符号の提案、さらにその数年後の低密度パリティ検査（LDPC）符号の再発見により実用化が視野に入った。これらの符号に対する誤り訂正のための復号では、確率伝播に基づくアルゴリズムが用いられるが、本研究課題では、そ

の原理と手法を大規模分散ワイヤレスシステムの諸問題に適用することを主題として COATNET (COConnect All by Turbo NETworks) プロジェクトと称することとなった。

確率伝播に基づく復号アルゴリズム (その原理はターボ原理とも呼ばれる) は、原因 (通信の場合、送信信号) と結果 (受信信号) を結びつけるグラフ上において、原因の確率を反復的に伝播させることで送信情報に関する判定の確からしさを向上させるものである。これにより従来計算量的に不可能と考えられていた処理 (すなわち、長い符号に対する最適な性能に迫る復号) が現実的な計算量で行えるようになった。

ターボ原理の応用先は多岐にわたる。特に情報理論・通信方式分野においては、(1) デジタル通信における信号検出: 周波数選択性通信路でのターボ等化やマルチユーザ検出など、(2) ユニバーサルデータ圧縮: データ圧縮の限界に迫る Loss less, Lossy 圧縮符号化の開発、(3) ネットワーク情報理論: ワイヤレスマルチユーザ通信やセンサーネットワークのための相関のある複数の情報源に対する圧縮のための符号とシグナリング方式の構成などがあげられる。このように、ターボ原理の応用に関する研究報告が盛んに報告されていたことが研究開始時のとして特徴的背景であった。

2. 研究の目的

上述のような研究開始当初の背景の下で、本課題研究では次のオブジェクト (OBJ_x, x=1~4と略記する) を定義した。各OBJの目標を以下に整理して示す。

OBJ1: ワイヤレス通信系における高性能符号・シグナリング方式の設計: ①「ターボ原理」に基づく、物理レイヤにおける伝送方式の設計を行う。さらに、マルチユーザ MIMO (Multiple-Input/Multiple-Output) 伝送を対象とし、ターボ等化技術をマルチユーザ MIMO 通信路への拡張する場合の、「達成可能なレート領域」の限界に迫る符号化・シグナリング方法、②複数存在するターボループの受信側での最適なアクティベーション (処理手順)、及びそれに伴う「達成可能なレート領域」の限界への漸近の仕方を解明する。

OBJ2: ターボ原理に基づく上位レイヤ処理との統合: ターボ原理を適用する処理ノードの上位レイヤへの拡張を検討する。特に、①物理レイヤにおける処理 (波形等化や通信路符号の復号) と一体的に確率伝播アルゴリズムによって処理する方法を確立し、その限界を明らかにすること、②センサーネットワークにおける消費電力削減のための分散型デ

ータ圧縮、③マルチホップネットワークにおける最適なルーティング方式、を中心に焦点を絞って検討を進める。

OBJ3: ワイヤレス通信系におけるターボ原理に基づく資源配分: ターボ原理を利用したワイヤレス伝送系における通信の「達成可能なレート領域の拡大」を目的とし、時間・周波数・空間・電力といった伝送資源配分の最適化を試みる。さらに、資源配分自体を自律的に行う分散制御に関して基礎的な検討を行う。

OBJ4: 実フィールドにおける有効性の実証: 陸上移動通信路における伝送実験で得られた実測データを利用してオフラインシミュレーションを実施し、上記の項目で得られた成果の実フィールドにおける有効性を実証する。

3. 研究の方法

上述のような問題を確率伝播アルゴリズムを用いて解決し、理論限界に迫る構成を明らかにするためには、相互情報量伝達特性の最適化が必要となる。相互情報量伝達特性の評価方法として、EXIT (EXtrinsic Information Transfer) チャートと呼ばれる方法が有用であることが知られている。本課題研究の申請時以前から、本研究グループ (代表、分担) は EXIT チャートやそれを多次元に拡張した EXIT チャートを熟知しており、本研究でもそれを駆使した方法を主に採用した。

4. 研究成果

OBJ 毎に、成果を分類して以下に示す。

OBJ1: よく知られているように、Gaussian Code Book を用いることを前提とした通信路容量 (Gaussian Capacity という) は信号電力対雑音電力比 (SNR) とともに増大する。しかし、実際の通信では有限信号点を用いた変調信号が用いられるため、SNR を無限大としても通信路容量は信号点数の対数値に収束し、無限大とはならない。有限信号点変調を用いる場合の通信路容量は信号点拘束通信路容量 (Constellation Constraint Capacity: CCC) という。CCC は、SNR が低い場合は Gaussian Capacity にほぼ一致するが、SNR が高くなると次第に分離し、信号点数の対数値に収束する。この、Gaussian Capacity からの差は Shaping Loss と呼ばれる。Shaping Loss は信号点配置や信号点の出現確率によって変化する。OBJ1 では、従来の均一ユークリッド距離を持つ信号点配置に代わって不均一信号点配置を用い、信号点位置とそれらの出現確率を最適化することで、Shaping Loss を大きく低減できることを示した。さら

に、低密度パリティチェック符号の Check Node と Variable Node の次数分布を調整することで、Shaping Loss を低減した CCC に漸近する Bit Interleaved Coded Modulation with Iterative Decoding (BICM-ID) の構成が可能であることを示した。

一方、不均一信号点配置を用いることに対して実用上の制約（たとえば、デジタル・アナログ変換器の精度など）が多い。そこで OBJ1 では、信号点数が少ないうちは Shaping Loss も小さいことに着目し、通常の 4 相位相変調の各信号点に 2 ビット以上を割りあてる拡張マッピングについて詳しく検討した。EXIT チャート解析の結果、シングルパリティチェックを付加した不均一繰り返し符号を外符号とし、ビットインターリーブと拡張マッピングのための変調器との間に部分アキュムレータ (Partial Accumulator: PACC) を加える方式が、相互情報量伝達特性の点で非常に整合性がよいことが明らかとなった。さらに、不均一繰り返し符号の次数分布と PACC のパリティ比率、及び拡張マッピングのマッピングパターンを最適化するためのアルゴリズム、EXIT 拘束付バイナリスイッチングアルゴリズム (EXIT Constrained Binary Switching Algorithm: EBSA) を提案した。EBSA を上述の符号構成に適用することで 1 bit/Channel Use を実現する上述の符号を最適化した結果、Gaussian Capacity に相当する SNR に 0.5 dB まで接近する特性が得られることが明らかとなった。

さらに OBJ1 では、Loss less 及び Lossy なターボ情報源圧縮にも取り組み、記憶のある情報源に対してエントロピーレートに漸近する Loss less 等長符号化を、また、比較的短い線形符号を用いてレートひずみ関数に漸近する Lossy 符号化方法を、それぞれ示した。また、多値 (Non-Binary) 情報源符号化において、受信側でサイド情報が得られる場合の、低密度パリティ検査符号を用いた伝送方法を明らかにし、限界 (Slepian Wolf Bound) に漸近する特性が得られることを示した。(これらに関する詳細は、抽象的で専門的な表現が多く表れるため、本報告書では控える。)

一方 OBJ1 における他の重要課題である、ターボ等化をマルチユーザ MIMO 通信路への拡張する場合の、レート限界に迫る符号化・シグナリング方法と、アクティベーション (処理手順) の解明については、以下のように研究を進めた。

- (1) もっとも簡単な 2 ユーザ MIMO に対して、チャンネルのインパルスレスポンスが与えられた時の、達成可能なレートサムとそれを達成する符号が持つべき EXIT 曲面

を厳密に理論的に明らかにした。その結果、EXIT 曲面は Euler-Lagrange の偏微分方程式の解として与えられることを突き止めた。この方程式は解析的に説くことができないために、数値的に解くアルゴリズムを開発した。これを、実際の 2 ユーザ MIMO マルチパスチャネルにおける適用し、達成可能なレートサムが明らかになった。これで、各ユーザの最大レートが明らかとなったので、レートコンパティブルバンクチャード並列接続型ターボ符号を、さらに ACC させた接続した符号を用い、バンクチャードレートを変えることで、ターボクリフを発生する各ユーザのレートサムを評価した。その結果、上述の厳密解まで約 1.5dB まで接近できることが示せた。しかし、このことは、符号設計の点でまだ 1.5dB だけ改良の余地があることを示していることにもなる。

- (2) 上記(1)の結果をさら、2 ユーザ以上の場合にも拡張できるようにするために、上述の Euler-Lagrange 偏微分方程式そのものを近似し、これを動的計画法で解く方法を考案した。この方法によれば、任意の同時ユーザ数に対してレートサムの最大値と各ユーザに割り当てるべきレートを求めることができる。
- (3) 一方より実用に即した、マルチユーザ MIMO 通信路に対する適応レート割り当て符号選択のためのアルゴリズムとして多次元 EXIT チャートの代わりに Projected EXIT チャートを予測し、その結果に基づいてレート配分するべきユーザとストリームのスケジューリングを行う方式を提案した。この方式によれば、極めて簡単にレート配分と符号選択が可能となり、実用上のメリットは極めて大きい。

OBJ2: 上位レイヤとの組み合わせに関する研究は、主に情報源・通信路接続符号化の観点から研究を進めた。シャノンの分離定理によれば、情報源のエントロピーが通信路容量を超えない限り、情報源符号化と通信路符号化を独立に最適設計すればそれが全体としても最適になっている。しかし、これは、符号長が十分に長い場合だけに当てはまり、音声通信などの許容される遅延時間が制限されている場合には、両者 (情報源符号が上位レイヤ処理、チャンネル符号が下位レイヤ処理) を統合設計する必要がある。OBJ2 では、最も簡単なマルコフ 2 値情報源を考え、その出力を、ACC を介した (つまり、各コードワードの出現確率が見かけ上同一になる) で等長符号に符号化し、インターリーブを介してリピートアキュムレート符号 (Repeat Accumulate Code: RA Code) 化する方式を考案した。受信側では、確率伝搬アルゴリズム

によって、この逆動作が行われる。マルコフ情報源に対しては、状態遷移図上で事後確率最大アルゴリズム (MAP アルゴリズム) を実行し、バイナリ出力の周辺確率を求める。EXIT 解析の結果、非等長エントロピー符号化に迫る圧縮効率と、シャノン限界に漸近する誤り率スレッシュホールドが得られることが判明した。この事実は驚くべき結果であり、非等長符号が持つ、バウンダリエラーによる誤り伝搬の問題を完全に解決したことになる。また、(センサーネットワークへの応用を主目的とした) 相関のある情報源に対する情報圧縮技術であるスーパーターボ符号の復号アルゴリズムを、リレー通信に適用する方式を考案した。通常のリレー通信では、ソースとリレー間の誤り率はゼロと仮定するケースが多いが、考案したアルゴリズムによれば、ソースとリレー間での誤りは、両者の相関を定義すると考えることができる。つまり、共通デスティネーションではソースとリレーの両者から受信する信号を、相関のある情報源出力が符号化された信号とみなすことができる。そこで、リレーでは情報部分をインターリービングした後に再符号化して共通デスティネーションへ送信し、共通デスティネーションではこれらをスーパーターボ符号の復号アルゴリズムが実行され、結果的に、ソースとリレー間に誤りがあっても、訂正されて正しい情報が復元できる。ソースとリレー間の誤りを許容するリレー方式は本提案が世界初と考えられるうえ、多くの応用が期待できるため、成果を十分に蓄積できるまで発表を控えている。

OBJ2 における他の重要課題である、マルチホップネットワークにおける最適なルーティング方式に関する検討では、送信ダイバーシティと組み合わせる (受信側では最尤系列推定を行う) 場合のフレーム誤り率を、各ホップにおけるフレーム誤りを事象とするマルコフモデルで表現することで、最終局におけるフレーム誤り率の導出に成功した。この結果を用いれば、フレーム誤り率を最少とする状態遷移が明らかになり、最適ルーティング方式を明らかにできると考えられる。

さらに、周波数選択性フェージング下でのマルチホップ協調通信を想定し、サイクリックディレイ送信ダイバーシティを用いる方式を考案した。これによってマルチパス遅延の影響が回避できるとともに、ダイバーシティ利得が得られる。また、自己相関特性に優れた系列を定期的に伝送することで、受信局においてチャンネル推定と遅延の推定が可能となる。このことを用いて、ランダムに分布する遅延時間を送信側にフィードバックし、送信側で遅延時間をコントロールすることで、ダイバーシティ利得を最大化することが可能なことを示した。

OBJ3: この OBJ は、本 COATNET プロジェクトにおける最重要課題と位置づけ、検討を進めてきた。最重要課題とする理由は、送信局でチャンネルに関する情報が得られること (つまり、Time Division Duplexing: TDD 方式、又は受信局から送信局へのフィードバックチャンネルによってこの情報が得られる) によって、「達成可能なレート領域の拡大」、ある「全体の送信電力低減」が可能となる。

この種の問題は、送信電力に関するプリコーディングアルゴリズムに属することが広く知られており、空間多重に関しては、チャンネル行列の特異値分解によって得られる等価並列チャンネルへの、注水定理に基づく電力配分が通信容量の最大化を達成する。しかし、周波数と空間の両者への最適電力配分を目的とする場合、周波数領域のプリコーディングが新たな符号間干渉を発生するために、ターボ等化器の収束特性を考慮した電力配分を行わなければならない。つまり、復号器と等化器の EXIT カーブに拘束条件に加えた電力最小化問題となる。この問題を定式化すると、EXIT 曲線のギャップを拘束条件とする凸最適化問題になることが明らかとなった。従って、凸最適化問題を数値的に解くためのツール類を用いることが可能であるが、プリコード設計に支配的な性質を明らかにするために、最少数 (= 2) の拘束条件下で数学的厳密解を求めることを試みた。手法は、最適化ドメインを一旦デュアルドメインに写像し、このドメインでの Karush-Kuhn-Tucker 条件を満たす解を求め、再び元のドメインに戻して、解の実行可能性を調べる、という、広く用いられている方法を採用した。求められた厳密解は数学的一般性を保持している (数値的に求めた解ではないので) を複数の異なる拘束条件 EXIT ポイントに適用することが可能となった。結果として、拘束条件として定めた相互情報量の到達点を常に達成しながら、全体の送信電力を最小化できることが明らかになった。この結果を他の手法 (例えば、レート最大化アルゴリズムや MSE 最小化アルゴリズムなど) と比較すると、得られたアルゴリズムを用いることで、所定のトータルレートを維持しながら全体の送信電力を最小化できることが明らかとなった。このことは、送信電力を一定に保ったまま、達成可能なレート領域を拡大したことに他ならない。Multiple Access 通信路 (MAC) 領域への漸近など、情報理論的考察は残された課題である。

OBJ3 ではまた、ワイヤレスメッシュ通信やリレー通信、あるいはヘテロジニアス通信など、干渉を与えるシステムの存在によって周波

数の使用環境が時々刻々、かつ伝送局毎に異なる環境下で自律的に動作する、より実用的な方式開発を目的とした周波数整形技術を提案した。周波数整形によって生じる符号間干渉は、ターボ等化によって受信側で効率的に除去される。この方式の採用によって、さまざまな環境下において周波数利用効率の大幅な改善が可能となることをシステムレベルシミュレーションによって明らかにした（提案した周波数整形技術の適用対象やシミュレーションのパラメータによって改善効果が異なるため、定量的評価に関する記述は控える）。

OBJ 4: ドイツイルメナウ工科大学の Reiner Thoma 教授のグループによる、実フィールド（イルメナウ工科大学構内）における多次元チャネルサウンダーを用いた伝搬データを用いた (MatLab で処理できるように加工したデータを、ドイツ MEDAV 社が一般品として販売している。日本側代理店を経由して購入した)。最初に、実伝搬チャネルデータで与えられるチャネルインパルス応答が受信側で既知であると仮定してターボ等化アルゴリズムを実行し、実フィールドにおいても良好な特性がえられることを確認した。次に、受信機にはチャネルインパルス応答が未知であると仮定して、デコーダ出力のビット確率をチャネル推定のために繰り返し利用する、ターボチャネル推定を用いて、チャネル推定を含めた誤り率特性、及び EXIT チャートを評価した。チャネル推定アルゴリズムには追従特性に優れたマルチバーストサブスペース法を用い、サブスペーストラッキングには Low Rank Adaptive Filter (ROLAF) という適応アルゴリズムを用いた。これによって特異値分解の必要性を除去した。結果は、実フィールドで頻繁に生じるチャネル共分散行列のランクの変動に対して優れた追従性能を示し、EXIT チャート上でも追従誤差による収束特性の劣化が見られないことを示した。開発したチャネル推定アルゴリズムをリレー通信や協調通信に適用する事、またその特性を、実フィールドデータをもって実証する事は残された課題である。

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 9 件 : すべて査読あり)

2010 年 4 月～2011 年 3 月末 (この時期に投稿し、現在までに出版されているものを含む)

- [1] J. Karjalainen, M. Codreanu, A. Tölli, M. Juntti, and T. Matsumoto, "EXIT Chart-Based Power Allocation for Iterative Frequency Domain MIMO Detector", IEEE

Trans. Signal Processing, VOL. 59, NO. 4, 2011, pp. 1624-1641

- [2] 小川陽平、進藤篤史、井坂元彦, "AWGN 通信路の通信路容量に迫る符号可変長に関する検討", 電子情報通信学会論文誌 B Vol. J-94-B, No. 2, 2011, pp. 74-84
- [3] S. Sampei, K. Sakaguchi, S. Ibi, K. Yamamoto, "Wireless Distributed Network: For Flexible Networking and Radio Resource Management", IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B, No.12, 2010, pp. 3218-3227
- [4] M. Kotani and M. Isaka, "Lossy coding of binary sources with short linear codes," IEICE Trans. Fundamentals, vol. 93E-A, no. 11, 2010, pp. 2074-2076
- [5] 畑本浩伸, 衣斐信介, 三瓶政一, "無線メッシュネットワークにおける 2 ホップ並列協力中継伝送方式.", 電子情報通信学会論文誌 Vol.J 94-B, No.4, 2010, pp. 601-614
- [6] N. H. Tran, T. Le-Ngoc, T. Matsumoto, and H. H. Nguyen, "Achieving Near-Capacity Performance on Multiple-Antenna Channels with a Simple Concatenation Scheme", IEEE Transactions on Communications, Vol. 58, No. 4, 2010, pp. 1048-1059

2009 年 4 月～2010 年 3 月末

- [7] M. Grossmann, T. Orltepp, and T. Matsumoto, "Rate Allocation for 2-User MAC with MMSE Turbo Equalization," IEEE Trans. on Wireless Comm., Vol. 9, No. 3, 2010, pp. 1033-1043
- [8] 畑本浩伸, 衣斐信介, 三瓶政一, "広帯域無線通信システムにおける中継ノードを利用した部分スペクトル再送方式," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J93-B, No.1, 2010, pp. 53-68
- [9] H. Obata, S. Ibi, S. Sampei, "A Design for an EXIT Chart Based Scheduling and Rate Control for Multi-User MIMO Systems," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 8, No. 10, 2009, pp. 5124-5132 (査読あり)

2008 年 4 月～2009 年 3 月末

なし

[学会発表] (計 38 件:その内、下記に記述したものを全てを含めて 30 件が査読あり)

2010 年 4 月～2011 年 3 月末 (この時期に投稿し、現在までに発表されているものを含む)

- [1] Pen Shun, V. Tervo, K. Anwar, and T. Matsumoto, "Low - Complexity Strategies for Multiple Access Relaying," 2011-Spring IEEE Vehicular Technology Conference, Budapest, Hungary, 15-18 May, 2011
- [2] Shany, H. Murata, S. Aissaz, and S. Yoshida, Hybrid Network Coding and Cooperative Relaying Schemes for Bi-directional

- Communication Systems,” IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2011-Spring), Budapest, Hungary, 15-18 May, 2011
- [3] S. Ibi, S. Sampei, and L. Hanzo, “Joint Channel-and-Network Coding Using EXIT Chart Aided Relay Activation”, WCNC 2011, 28-31 March, 2011, Cancun, Mexico
- [4] S. Iwata, T. Hattori, and M. Isaka, “On coding for nonbinary sources with side information at the decoder,” International Symposium on Information Theory and its Applications (ISITA2010), Taichung, Taiwan, 17-20 Oct., 2010
- [5] V. Tervo, T. Matsumoto, and J. Karjalaine, “Joint Source-Channel Coding Using Multiple Label Mapping”, 2010-Fall IEEE Vehicular Technology Conference, Ottawa, Canada, 6-9 Sept., 2010
- [6] T. Matsumoto, K. Fukawa, D. Zhao, and A. Tolli, “Irregular Repetition and Single Parity Check Coded BICM-ID Using Extended Mapping -Optimal Node Degree Allocation,” China COM, Beijing, China, 25-27 August, 2010
- 2009年4月～2010年3月末
- [7] K. Anwar and T. Matsumoto, “MIMO Spatial Turbo Coding with Iterative Equalization,” International ITG Workshop on Smart Antenna, Germany, 23-24 February, pp.428-433, 2010
- [8] S. IBI, “Selfish and Cooperative Dynamic Spectrum Controls for broadband MIMO transmissions in Cognitive Wireless Networks,” ICICS 2009, 7-10 Dec., 2009, Macau, China
- [9] T. Shimizu, T. Matsumoto, H. Murata, K. Yamamoto, and S. Yoshida, “Code design for joint decoding of correlated sources using algebraic network coding over AWGN channels”, ICICS 2009, 7-10 Dec., 2009, Macau, Chian, 2009
- [10] Y. Ogawa, K. Honma, W. Morita, and M. Isaka, “On near-capacity signaling and coding scheme for the additive white Gaussian noise channel,” International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2009), Sendai, Japan, 7-10 Sep., 2009
- [11] J. Karjalainen, A. Tolli, T. Matsumoto, M. Juntti, “On Convergence Constrained Precoder Design for Iterative Frequency Domain MIMO Detector,” IEEE International Symposium on Information Theory, Seoul, South Korea, June 28-July 3, 2009
- [12] N. H. Tran, T. Le-Ngoc, and T. Matsumoto, “A simple near-capacity

- bandwidth efficient coded modulation scheme in Rayleigh fading”, IEEE International Conference on Communications, Dresden, Germany, 14-18 June, 2009
- 2008年4月～2009年3月末
- [13] M. Grossmann and T. Matsumoto, “Rate Allocation for K-user MAC with Turbo Equalization,” ITG/IEEE Workshop on Smart Antennas (WSA2009), Berlin, Germany, 17-18 February, 2009
- [14] S. Sasaki, H. Murata, K. Yamamoto, and S. Yoshida, “Study on distributed delay time control algorithm for cooperative multi-hop vehicular networks with cyclic delay diversity”, 2nd IEEE International Symposium on Wireless Vehicular Communications (WiVeC2008), Calgary, Canada, 21-22 Sept., 2008
- [15] Y. Oishi, H. Murata, K. Yamamoto, S. Yoshida, “Theoretical FER performance of multi-hop wireless cooperative networks using transmit diversity,” IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2008-Spring), Singapore, Singapore, 11-14 May, 2008

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.jaist.ac.jp/is/labs/matsumoto-lab/en/projects/coatnet.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 正 (Matsumoto Tadashi)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40452114

(2) 研究分担者

村田 英一 (Murata Hidekazu)

京都大学大学院・情報学研究科・准教授

研究者番号：60252475

井坂 元彦 (Isaka Motohiko)

関西学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：50351739

衣斐 信介 (Ibi Shinsuke)

大阪大学大学院・工学研究科・助教

研究者番号：10448087

(3) 連携研究者：なし