

## 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25日現在

機関番号：12701  
 研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21360181  
 研究課題名（和文） コグニティブUWB無線による高度交通安全・環境観測ネットワークの研究  
 研究課題名（英文） Project on ITS, Global Climate Observation Networks based on Cognitive Ultra-Wideband Radio Technology  
 研究代表者  
 河野 隆二 (KOHNO RYUJI)  
 横浜国立大学・工学研究院・教授  
 研究者番号：90170208

研究成果の概要（和文）：本研究では、第一に複数の車両による高度安全運転システムおよび車両ディーラをハブとするリアルタイム車両監視・整備ネットワークなどの高度交通安全ネットワーク、第二に、その発展として車両を遠隔センサープローブとした地球観測・保全ネットワークの構築に必要な要素技術として、コグニティブ無線・ネットワーク、UWB無線を中心として研究を行った。これにより、従来の高度交通システム(ITS)では達成し得なかった車両と事業者のネットワーク化による高度の交通安全と地球環境の観測・保全を実現するネットワークの構築を行った。

研究成果の概要（英文）：This research focuses on design and investigation of (1) highly reliable and safe vehicle traffic networks including intelligent safety controlling network with a communicating group of cars, and a real time remote monitoring and maintaining networks with a car dealer as a hub, and as their extension, (2) a global environmental monitoring and maintaining network. In order to pursue the research, novel technologies on cognitive radio and network, ultra wide band (UWB) have been proposed and investigated. As a result, innovation in safety driving cars and global environmental monitoring and maintaining has been achieved.

## 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 6,900,000  | 2,070,000 | 8,970,000  |
| 2010年度 | 3,700,000  | 1,110,000 | 4,810,000  |
| 2011年度 | 3,100,000  | 930,000   | 4,030,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 13,700,000 | 4,110,000 | 17,810,000 |

## 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：通信方式（無線、有線、衛星、光、移動）、ITS（高度交通システム）

## 1. 研究開始当初の背景

コグニティブ(Cognitive)無線・ネットワークは、無線利用環境をスペクトルセンシングなどにより認識し、電波を時間・空間・周波数でシステム間相互干渉を抑えて安全かつ効率的に活用する無線技術である。認識した

環境や利用者の需要・優先度に応じて、無線機ソフトウェアの書き換えにより再構成の可能(Reconfigurable)なソフトウェア無線(Software Defined or Reconfigurable Radio; SDR)と組合され、急激に需要が伸びる無線応用により逼迫する電波資源の対策、多様化

する無線システムの共存や干渉対策として注目されている。

一方、超広帯域(UWB: Ultra Wideband)無線は、第3世代 Wideband CDMA に比べても数千倍の超広帯域を用いた数百 Mbps-数 Gbps の超高速伝送、電力スペクトル密度が機器雑音以下で被干渉性に優れ、1 ナノ秒以下のインパルス無線による 30cm 以下の高精度測距が可能な無線技術として、急速に注目されている。このため、UWB 無線の伝送・測距に関する理論的性能限界、UWB 無線を実現する伝送方式やアンテナ・RF 回路・デバイスなどの設計理論や技術が国内外学会で発表され、産業界では PC・家電を中心とするデバイス・製品が開発されている。

これらのコグニティブ無線、UWB 無線などの物理層技術を、複数の無線ノード間のコラボレーティブダイバーシティ・ネットワーク符号化などの協調通信やアドホックネットワークのルーティング・MAC プロトコルなどのネットワーク層技術と共に統合的に最適化するクロスレイヤ技術を駆使して、従来の高度交通システム(ITS)では達成し得なかった車両と事業者のネットワーク化による高度の交通安全と、地球環境の改善を実現する学術的イノベーションを創生する。

## 2. 研究の目的

本研究の大局的な目的は、コグニティブ(Cognitive)無線・ネットワーク、超広帯域(UWB: Ultra Wideband)無線を中心とする先端無線情報通信技術(ICT)を交通および環境システムに導入し、従来の高度交通システム(ITS)では達成し得なかった車両と事業者のネットワーク化による高度の交通安全と環境観測を実現するネットワークを構築することにある。具体的には、研究代表者が研究、開発、標準化、法制化に注力している UWB 無線を中心に、ソフトウェア無線、コグニティブ無線、アレーアンテナ、協調通信などの先端情報通信技術を駆使し、次の3システムを研究する。

- (1)複数車両による高度安全運転システム
- (2)車両ディーラをハブとするリアルタイム車両点検・保守ネットワーク
- (3)車両を遠隔センサープローブとした地球環境観測ネットワーク

## 3. 研究の方法

本研究では、複数の車両による高度安全運転システムと車両ディーラをハブとするリアルタイム車両監視・整備ネットワークなどの高度交通安全ネットワーク、および車両を遠隔センサープローブとした地球環境観測ネットワークの構築に必要な要素技術の研究を対象とする。

- (1)複数の車両による高度安全運転システム

の要素技術の考案とシステム設計

- ①車両内・車両間での UWB 伝搬環境測定とモデル化

- ②車両間の相対距離・位置を 10cm 以下の精度で測距・測位する UWB 方式の考案、性能解析

- ③対象物の速度・加速度・移動方向など運動をリアルタイムで解析し車群全体の相対マップを構成するコグニティブ協調通信測距方式の考案、性能解析、システム概念設計

- ④歩行者が携帯電話・無線 PAN・BAN などと上述の車両間協調コグニティブ通信測距ネットワークのリンクによる高度歩行者保護ネットワークの基本検討を行う。

- ⑤車両・歩行者・障害物などの対象物の区別や形状を認識する方式の考案、性能解析を行い、システム概念設計を行う。

- (2)車両ディーラをハブとするリアルタイム車両点検・保守ネットワークの基本検討と要素技術の開拓

- ①コグニティブ車両保守・整備ネットワークのための車内制御・監視 LAN の考案と性能解析、方式考案、性能解析

- ②車内制御・監視 LAN と公衆ネットワークを融合したコグニティブ車両点検・保守ネットワークのアーキテクチャの基本検討と概念設計、基本検証

- ③リアルタイム車両監視・整備ネットワークの各要素技術の最適化、特に各車両内の保守管理制御 LAN における必要な物理層技術の最適化と、車両とディーラ間のネットワークにおける必要な情報通信量、トラヒック解析などのネットワーク層技術の最適化

- (3)複数車両による高度安全運転システムの統合技術の最適化と基本実験プラットフォームの構築

## 4. 研究成果

以下に3. 研究の方法に基づいて得られた主要な研究成果について説明する。

### 4.1 路上に割り振られた拡散符号による接続系列を用いた車車間通信測距方式の研究

超広帯域無線(UWB:Ultra-Wide Band)を用いた車車間通信測距システムにおける、データ転送レートと測距限界距離のトレードオフの問題解決の手法として、接続系列を適用する検討を行い、近接車両間の符号重複を回避するため、路上に拡散符号を配置する方式を検討し、計算機シミュレーションによって性能を評価した。

提案方式と、全ての系列を等確率で選択し接続系列を作成する従来方式の場合の測距誤差を、それぞれ計算機シミュレーションによって求めた。結果を図 4.1 に示す。

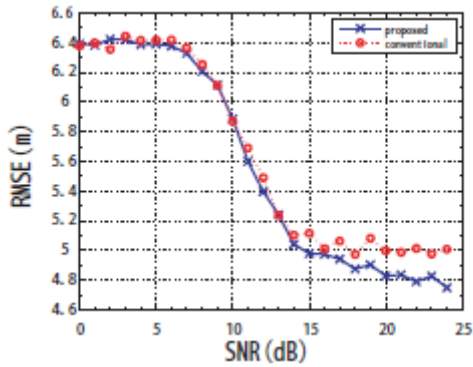


図 4.1 測距誤差の比較

路上に拡散符号を割振る方式を用いて接続系列を作成することで、接続系列を用いた UWB 測距誤差を軽減することを確認した。

#### 4.2 DS-UWB レーダにおける Spectrum Shaping code を用いた干渉低減技術の研究

UWB レーダの占有帯域幅は非常に広域なため既存システムとの周波数共存問題が発生する。そこで干渉低減技術として DS-UWB レーダの拡散系列を Spectrum Shaping code により符号化し、レーダの周波数スペクトルを操作する方法を提案する。レーダの周波数スペクトルの任意の周波数帯にノッチを生成し、既存システムの周波数帯を避けることで干渉低減を実現する。今回、提案法の性能評価を DS-UWB レーダの測距誤差で行った。本シミュレーションでは既存システムとして加入者系無線アクセスシステム (FWA: fixed wireless access) が UWB の占有帯域内に存在すると想定した。

シミュレーション諸元を表 4.1、4.2 に示す。

表 4.1 DS-UWB レーダ諸元

|          |  |
|----------|--|
| 送信信号     | DS-UWB 信号                                |
| パルス間隔    | 1[ns]                                    |
| 測距距離     | 0-50[m]                                  |
| 拡散系列     | M 系列 (系列長 127)<br>SSC 符号化系列 (系列長 127*20) |
| チャンネルモデル | AWGN チャンネル                               |

表 4.2 干渉波諸元

|          |             |
|----------|-------------|
| 変調方式     | QPSK        |
| 伝送速度     | 37.44[Mbps] |
| 占有周波数帯域幅 | 28.1[MHz]   |

シミュレーション結果を図 4.2、4.3 に示す。図 4.2 が従来法の特長で、図 4.3 が提案法の特長である。図 4.3 からわかるように提案法を用いた場合、既存システムがある環境下でも既存システムの影響をほぼ受けていないことが分かった。

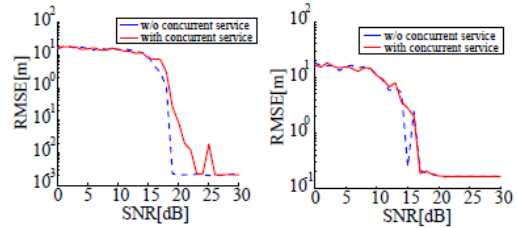


図 4.2 測距誤差(従来法) 図 4.3 測距誤差(提案法)

#### 4.3 DS-UWB レーダを用いた自動車速制御に関する研究

DS-UWB レーダは、非常に短い時間のパルスと拡散系列を用いるため、高精度測距と高速通信を同時に実現することを可能とし、また、車間距離に応じて拡散系列を更新し、処理利得を調節することで、信号減衰を補償することができる。本研究では、2 車両の追従走行環境を想定し、通信測距用の接続系列による DS-UWB レーダの測距値を、追従車の自動車速制御に用いたときの性能を示した。

図 4.4、図 4.5 に時間経過に伴う車間距離と測距処理時間の変化をそれぞれ示す。図において、理想環境は常に正確な車間距離が測定できる結果、最大系列のみは拡散系列の更新を行わず常に最長の接続系列を用いた時の結果、系列更新ありは許容できる標準偏差を 0.5 と 0.15 とし系列更新を行った時の結果である。これより、系列更新を行う場合、車間距離が短くなるにつれ処理時間を短縮できることがわかる。しかし、一方で車間距離の変化は、最大系列長のみを用いる場合が最も理想環境に近く、系列更新により追従性能が劣化している。

また、系列更新の許容標準偏差を大きくすると、処理時間は短く、追従性能は劣化することが確認できた。今後は、車群環境において DS-UWB レーダを用いた場合の制御安定性などの検討が必要である。

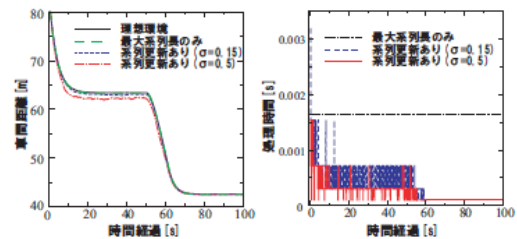


図 4.4 車間距離の時間変化 図 4.5 測距の処理時間

#### 4.4 通信速距とレーダを同時に実現する DS-UWB 信号の packets 構成に関する研究

高度車両安全のため、通信測距 (CBR: Communication-Base Ranging) とレーダを同時に実現する DS-UWB (Direct Sequence Ultra Wideband) 信号の packets 構成について検討を行った。通信測距として無線技術により車

両間の距離を測る車車間測距方式は自車両から通信測距用の信号を送信し、それを受信した測距対象となる車両からの返信を受信するまでの時間を自車両のクロックで計測し、測距を行うという Tow-Way Ranging 方式である。レーダによる測距では対象車両までの距離情報のみしか得ることができないのに対し、通信測距ではさらにブレーキやステアリングなどの制御情報を共有することが可能であるため、より高度な車両安全を実現することができるものとして期待されている。しかし、通信測距を行うには自車両だけでなく、測距対象車両にも通信測距システムが搭載されていることが前提となる上、障害物などの検出も行うことはできないという欠点が存在する。また、レーダと通信測距のデバイスを両方搭載することはスペースやコストの面で好ましくない。そこで、一つのデバイスにより生成される UWB 信号を基本的にはレーダによる周辺車両や障害物までの測距に用い、システム搭載車両から返信が確認できたときにはそれを用いて通信測距を行うという、レーダと通信測距を同時に実現するシステムを提案し、レーダと通信測距による従来できなかった高信頼高精度測距が可能となった。

#### 4.4 多次元ラティスフィルタによる車内外ネットワークの等化・干渉除去統合システムの研究

車内制御無線 LAN に耐干渉性に優れ与干渉の少ない超広帯域(Ultra Wide Band: UWB)無線を用いた場合に、周波数共用する路車間通信 DSRC 信号との相互干渉の問題を、音声のエコーキャンセラのダブルトークの問題と類似であることに着目し、多次元ラティスフィルタを用い、車内制御信号と車外からの DSRC 信号を分離する干渉キャンセラと車内制御信号の波形等化を同時に適応制御する方式を考案し、性能解析を行った。

フィルタの反射係数から予測伝達関数が最小位相であることを確認し、ビット誤り率(BER)特性を従来提案していたトランスバーサル型と比較した結果を図に示す。図 4.8 からラティスフィルタによる提案方式の方が少ない係数で等化誤差が小さくなり、BER 特性が改善されている。

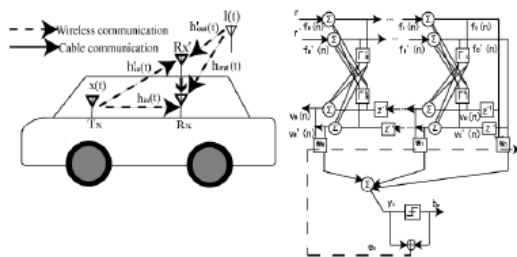


図 4.6 車内・車外 UWB 通信環境

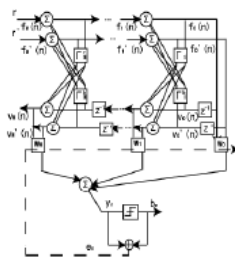


図 4.7 2次元ラティス

フィルタ

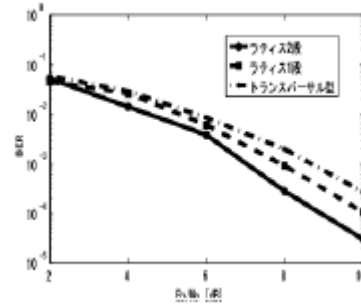


図 4.8 BER 特性

#### 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 14 件)

(1) Pham ThanhHiep, Fumie Ono, Ryuji Kohno, "Controlling Distances and Transmit Powers for Reliable Multi-Hop MIMO Relay System," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Special Issue on Advanced Technologies for LTE Advanced, Springer, Vol.4, ISSN1687-1499, April 2012, 査読有, DOI:10.1186/1687-1499-2012-153

(2) Shinichiro Miyazaki, Shoichiro Yamasaki, and Ryuji Kohno, "Single-Carrier Transmission Using Overlap Frequency Domain Equalizing and Coherent Averaging," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E94-A, no.11, pp.2169-2177, Nov. 2011, 査読有, <http://ci.nii.ac.jp/naid/130001489627>

(3) Haruka Suzuki and Ryuji Kohno, "Throughput Efficiency of Hybrid ARQ Error-Controlling Scheme for UWB Body Area Network," InTech, Open Access Publisher, ISBN 978-953-307-461-0, no.15, pp.289-310, Sept. 2011, 査読有, <http://www.intechopen.com/books/ultra-wideband-communications-novel-trends-system-architecture-and-implementation/throughput-efficiency-of-hybrid-arq-error-controlling-scheme-for-uw-b-body-area-network>

(4) Keisuke Sodeyama and Ryuji Kohno, "Performance Analysis of Spectrum Management Technique by Using Cognitive Radio," InTech, Open Access Publisher, ISBN 978-953-307-324-8, no.13, pp.264-272, Sept. 2011, 査読有, <http://www.intechopen.com/books/novel-applications-of-the-uw-b-technologies/performance-analysis-of-spectrum-management-technique-by-using-cognitive-radio>

t-technique-by-using-cognitive-radio

(5) Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, Jun-ichi Takata, Kiyoshi Hamaguchi, Ryuji Kohno, "Numerical Simulations for Wearable BAN Propagation Model during Various Human Movements," IEICE Trans. Communications, pp.2496-2499, vol.E94-B, no.9, Sept. 2011, 査読有, [http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e94-b\\_9\\_2496&category=B&year=2011&lang=E&abst=](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e94-b_9_2496&category=B&year=2011&lang=E&abst=)

(6) Koji Enda, Ryuji Kohno, "Iterative Delay Compensation Algorithm to Mitigate NLOS Influence for Positioning", Current Trends and Challenges in RFID, ISBN 978-953-307-356-9, pp357-374(2011-7), 査読有, <http://www.intechopen.com/books/current-trends-and-challenges-in-rfid/iterative-delay-compensation-algorithm-to-mitigate-nlos-influence-for-positioning>

(7) Huan-Bang Li, Ryuji Kohno, "Standardization on Body Area Network and a Prototype System Based on UWB," Journal of Medical Systems, Springer Science+Business Media, LLC 2011, 35:1255-1263 DOI 10.1007/s10916-011-9662-9, Published online: 2 March 2011, 査読有, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21365254>

(8) Igor Dotolic and Ryuji Kohno, "Low Complexity Chirp Pulsed Ultra-Wideband System with Near-Optimum Multipath Performance," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.10, Issue 1, pp.208-218, Jan. 2011, 査読有, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5648778&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F7693%2F5686852%2F05648778.pdf%3Farnumber%3D5648778>

(9) Tsuguhide Aoki, Hideki Ochiai, Ryuji Kohno, "Combined Trellis Precoding and Error Correcting Codes in Multi-User MIMO-OFDM Systems," IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E93-A, No.12, pp.2663-2671, Dec. 2010, 査読有, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10027986072>

(10) Pham Thanh Hiep, Ryuji Kohno, "Optimizing Position of Repeaters in Distributed MIMO Repeater System for Large Capacity", IEICE trans. commun., vol.E93-B, No.12, Dec. 2010, 査読有, <http://ci.nii.ac.jp/naid/10027986072>

(11) Bin Zhen, Minseok Kim, Jun-ichi Takada and Ryuji Kohno "Characterization and Modeling of Dynamic On-Body

Propagation at 4.5 GHz," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.8, pp.1263-1267, Aug. 2010, 査読有, [http://www.ap.ide.titech.ac.jp/publications/Archive/IEEE\\_AWPL\\_8\\_1263\(08Zhen\).pdf#search=Characterization and Modeling of Dynamic OnBody Propagation at 4.5 GHz](http://www.ap.ide.titech.ac.jp/publications/Archive/IEEE_AWPL_8_1263(08Zhen).pdf#search=Characterization%20and%20Modeling%20of%20Dynamic%20OnBody%20Propagation%20at%204.5%20GHz)

(12) Keisuke Sodeyama, Koji Ishibashi, Ryuji Kohno, "An analysis of interference mitigation capability of low duty cycle UWB communications in the presence of wideband OFDM system", wireless personal communications journal, Vol.54, Issue 1, July 2010, 査読有, <http://www.springerlink.com/content/y234646832768g31/>

(13) Gabriel P. Villardi, Giuseppe T.F. Abreu, Ryuji Kohno, Hiroshi Harada "STBCs with Orthogonal Decoder for Highly Time-Selective Channels," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol.56, No.2, pp.380-387, May 2010, 査読有, <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5505943&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F30%2F5505923%2F05505943.pdf%3Farnumber%3D5505943>

(14) Haruka Suzuki, Marco Hernandez, Ryuji Kohno "Hybrid ARQ Error-Controlling Scheme for Robust and Efficient Transmission of a UWB Body Area Network" IEICE on Com., Vol.E93-B, No.04, pp.826-832, April 2010, 査読有, [http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e93-b\\_4\\_826&category=B&year=2010&lang=E&abst=](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e93-b_4_826&category=B&year=2010&lang=E&abst=)

[学会発表] (計13件)

(1) Yuya Kazumoto, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno, "Study on Position Estimation of Implanted Devices by Using Signal Processing for UWB Ground Penetrating Radar," 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), San Diego, CA, USA (2012.03.28)

(2) Ryo Iwakura, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno, "A Study on Packet Design to Realize Position Estimation as well as Information-Communication for Mobile Robot," 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), San Diego, CA, USA (2012.03.27)

(3) 井波綾、河野隆二、"車内UWB無線における多次元ラティスフィルタによる等化・干渉除去方式の一検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会、A-17-9、北海道(日

本)、(2011.09.14)

(4) Koji Enda, Ryuji Kohno, “UWB Localization Algorithm to Improve Accuracy under NLOS Environment”, The annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2011) (2011.09.11)

(5) Tatsuya Soejima, Chika Sugimoto, Ryuji Kohno, “A study on routing selection for avoiding interference in UWB ad-hoc networks,” International Symposium on Information Theory and its Applications 2010 (ISITA2010), 台中 (台湾), (2010.10.18)

(6) Aya Inami, Chika Sugimoto and Ryuji Kohno, “Performance Analysis of Equalization and Interference Cancellation by Adaptive Digital Filter for UWB-IR System inside a Vehicle,” ISITA 2010, Taityu, Taiwan (2010.10.18)

(7) Junzoh Tsuchiya, Masayuki Hayashi, Ryuji Kohno, “Platoon Characteristics of Automatic Vehicle Speed Control for Vehicles Equipped with DS-UWB Radar,” IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications 2010 (ISSSTA 2010), Taichung, Taiwan, pp. 125-130, (2010.10.17)

(8) Sumito Nishikawa, Ryuji Kohno, “DS-UWB Packet Structure For the Hybrid of Communication-Base-Ranging and Radar,” the International Federation of Automotive Engineering Societies 2010 (FISITA 2010) World Automotive Congress, Budapest, Hungary (2010.05.30)

(9) 福島嘉一、河野隆二、“車車間通信における、地理情報を利用した耐切断性ルーティングプロトコルに関する一検討、” 信学技報、ITS2009 (2010.02.15)

(10) 前田隆太郎、河野隆二、“直交マッチドフィルタを用いた車車間通信の干渉除去方式の一検討、” 信学技報、ITS2009-35、pp. 101-104 (2009.12.07)

(11) 金子賢治、河野隆二、“UWB センサネットワークにおける逐次的協調位置推定アルゴリズムに関する一検討、” 信学技報 WBS2009-47、pp. 61-65 (2009.12.07)

(12) Kensuke Ohkuni, Masayuki Hayashi, Ryuji Kohno, “A Study on Interference mitigation method with Spectrum Shaping code in DS-UWB radar,” The 9th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Lille, France (2009.10.20)

(13) Ryuji Muta, Ryuji Kohno, “Throughput Analysis for Cooperative Sensing in Cognitive Radio Networks,” The

20th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'09), Tokyo, Japan (2009.09.13)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河野 隆二 (KOHNO RYUJI)  
横浜国立大学・  
工学研究院・教授  
研究者番号：90170208

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

落合 秀樹 (OCHIAI HIDEKI)

横浜国立大学・  
工学研究院・准教授  
研究者番号：20334576

小野 文枝 (ONO FUMIE)

横浜国立大学・  
工学研究院・助教  
研究者番号：20385537

辻 宏之 (TSUJI HIROYUKI)

独立行政法人情報通信研究機構・  
横須賀無線通信研究センター・主任研究員  
研究者番号：80358952