

平成21年5月27日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2005～2007
 課題番号：17200003
 研究課題名（和文）アンテナの指向性を利用するユビキタスインフラストラクチャに関する
 実証的研究
 研究課題名（英文）Empirical Study on Ubiquitous Infrastructure
 using Antenna Directionality
 研究代表者
 渡辺 尚（WATANABE TAKASHI）
 静岡大学・創造科学技術大学院・教授
 研究者番号：90201201

研究成果の概要：

本研究は、アンテナ指向性を利用して空間利用効率を向上させるユビキタスインフラを開発することを目的とする。具体的には、可変指向性アンテナ（スマートアンテナ）を用いたメディアアクセス制御(MAC)およびルーチングの開発および実スマートアンテナを用いた実装実験を行った。開発した指向性アンテナテストベッドは国際的にも先進性が高いと考えられる。さらに、超小型指向性アンテナおよび小型無指向性アンテナを用いたセンサネットワーク MAC プロトコルおよびルーチングの開発に取り組んだ。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2006年度	13,100,000	3,930,000	17,030,000
2007年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
年度			
年度			
総計	33,300,000	9,990,000	43,290,000

研究分野： 計算機ネットワーク、アドホックセンサーネットワーク、分散システム

科研費の分科・細目：(分科) 情報学 (細目) 計算機システム・ネットワーク

キーワード： ユビキタスネットワーク、アドホックネットワーク、
 メディアアクセス制御 (MAC)、スマートアンテナ

1. 研究開始当初の背景

近年、生活環境に多数のセンサ、プロセッサ、アクチュエータを埋め込み、詳細かつタイムリーに収集した情報に基づいて様々な機器を制御して種々の高度サービスを提供するユビキタス社会が検討されつつある。ユビキタス社会を支える通信インフラストラクチャの開発に当たっては、超多数のデバイスから同時に発生する情報の効率的通信、ノードの

ハードウェアの複雑化、および消費電力に対する厳しい制約の三点が問題になる。これらを解決するためには、単純なハードウェアかつ省電力で、通信チャネルを近隣ユーザで繰り返し使える率（空間利用効率）を向上させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、アンテナ指向性を利用して空間

利用効率を向上させるユビキタスインフラストラクチャを開発することを目的とする。具体的には、

テーマ 1) スマートアンテナを用いたメディアアクセス制御(MAC)プロトコルの開発、ルーティングプロトコルの開発および実スマートアンテナを用いた実装実験

テーマ 2) 超小型指向性アンテナおよび小型無指向性アンテナを用いた再配布可能センサネットワーク MAC プロトコルおよびルーティングの開発

テーマ 3) 指向性アンテナを用いるユビキタスアプリケーションの開発

に取り組む。

3. 研究の方法

本研究では各種提案プロトコルを、スマートアンテナテストベッド上に実装評価している。実スマートアンテナを用いた実装評価は世界的にほとんどなされておらず本研究の特徴と言える。さらに、ネットワークシミュレータ上に実装し、定量評価している。これに加え、待ち行列理論等を用いたネットワークの理論解析も行っている。

4. 研究成果

下記に各課題で得られた成果をまとめる。

テーマ 1) スマートアンテナを用いた MAC プロトコルの開発、ルーティングの開発および実スマートアンテナを用いた実装実験

アンテナの指向性を電子的、ソフトウェア的に制御可能な可変指向性アンテナ(スマートアンテナ、もしくは指向性アンテナ)は、各種デバイス技術やアンテナ技術の進展に伴い小型化が進み、自動車などの移動端末や、ノート PC 等の携帯型端末への利用も現実的になりつつある。指向性アンテナを利用することで、空間利用効率の向上と通信距離延長の効果が得られることが知られている。

空間利用効率向上を目指したアドホックネットワークへのスマートアンテナの利用に関して、従来手法として、MMAC, DMAC, DMAP, DDSR 等のメディアアクセス制御(MAC)およびルーティングが考案されている。本課題では、スマートアンテナを用いたアドホックネットワークの開発を進め、以下の成果を得た。

- ① SWAMP 等の指向性 MAC プロトコル開発
- ② 指向性 MAC プロトコルの実スマートア

ンテナを用いた実装

- ③ スマートアンテナの利用に適したルーティングの開発

①では、SWAMP 等の指向性 MAC プロトコルを提案し、さらに指向性アンテナ利用時特有の問題を解決するためにプロトコルの拡張を行った。SWAMP は、ビーム方向性制御のための位置情報の把握および空間効率向上・通信距離拡張を 4 種ビームパターンと 2 種通信モードを切り替えることで同時に解決する。

SWAMP 等の指向性 MAC プロトコルを、指向性隠れ端末問題、deafness 問題および unheard RTS/CTS 問題への対応、ソフトウェアオーバーヘッドの軽減、移動予測の五点で拡張した。指向性隠れ端末とは、指向性アンテナを用い通信距離を伸ばすことで、他ノードの通信に干渉を与える問題である。Deafness 問題とは、通信相手がビジーであることを知らないために起こる問題である。Unheard RTS/CTS 問題とは、周辺の通信を検出できないことで衝突が発生する問題である。以下の方法を検討した。

- (A) Backward RTS(BRTS)方式 MAC プロトコル：送信端末は RTS を送信した後、送信アンテナの指向性を 180° 後方に向け、再度 RTS を送信することで指向性隠れ端末問題を軽減。
- (B) High gain CTS(HCTS)方式 MAC プロトコル：CTS 送信時に送信アンテナのビームを絞り、CTS の到達距離を伸ばすことで、指向性隠れ端末問題を軽減。
- (C) NAV indicator 方式 MAC プロトコル：上記の 2 方式とは異なり、新たな拡張フレームを導入し指向性隠れ端末問題を軽減。
- (E) 受信者主導ポーリング方式 MAC プロトコル：Deafness が発生している端末に対してポーリング。
- (F) 通信予測方式 MAC プロトコル：ルート情報を用いて通信を予測し deafness を回避。

また、移動予測に関しては、スマートアンテナを用いたアドホックネットワークにおいて、制御情報量を増大させることなく位置情報の精度を向上させる方式を提案した。

②では、①で提案した指向性 MAC プロトコルを実際のスマートアンテナであるエスパアンテナを用いて実装した。実環境においては、フェージング等の受信電力の変動や、指

向性パターンにおけるサイドローブやバックローブ等が存在する。スマートアンテナを用いた MAC プロトコルを実現するには、実装実験により性能評価することでその影響を解析し、現実のアンテナパターンや伝播環境に対応可能な方式へ拡張する必要がある。本課題では、まず、実際のエスパアンテナのビームパターンを用いたシミュレーションを行い、実アンテナパターン利用時の性能を定量的に評価した。その上で、実アンテナ利用時に性能劣化を防ぐ新たな MAC プロトコルを提案し、有効性を確認した。次に、エスパアンテナを用いて SWAMP などの各種指向性 MAC プロトコルを実装可能なエスパアンテナテストベッド (UNAGI/ESPAR: Ubiquitous Network testbed with Adaptively Gain-controlled antenna for performance Improvement/ESPAR) を開発した。UNAGI/ESPAR は、マイコン上に C 言語で MAC プロトコルを実装可能である。3 台の UNAGI/ESPAR を用いた実機実験でスマートアンテナの空間利用効率向上効果を定量的に評価した。また、deafness 問題による性能劣化も実装実験で定量的に評価した。

③では、スマートアンテナを用いたルーティングの開発を行った。指向性アンテナは、エネルギーを所望の方向へ集中して放射するため、送信電力効率が格段に向上するという利点を有する。SWAMP では、この利点を利用してアンテナの通信距離の拡大効果をネットワーク層で利用することで、効率的なルーティングが可能である。スマートアンテナを用いたアドホックネットワークにおいてルート構築時にルートを直交させるルーティングを提案した。提案ルーティングは基礎評価により、自ルートのジグザグ性および、複数ルート間のクロス性を併用することでスループットを向上できることを明らかにした。

テーマ 2) 超小型指向性アンテナおよび小型無指向性アンテナを用いたセンサネットワーク MAC プロトコルおよびルーティングの開発

ユビキタスインフラには、自然環境情報収集が不可欠であり、スケーラビリティ、ハードウェアの単純性および省電力性への要求が厳しいセンサネットワークは重要な検討課題である。以下の二つの課題に取り組んだ。

④ 小型無指向性アンテナを用いた MAC およびルーティング

⑤ 超小型指向性アンテナを用いた MAC およびルーティング

④では、小型無指向性アンテナを用いたセンサネットワークにおいて、(A) ノード再散布を考慮したルーティング、(B) ノード移動性に対応可能な MAC およびルーティング、(C) 複数シンクを用いたネットワークライフタイム延長手法を検討した。

(A)では、ノードの再散布を前提とし、ノードの電力消費に地理的な偏りを持たせることで、電力が枯渇した地域にのみ逐次的にノード再散布を行うことでネットワーク全体の機能を停止させることなく運用可能な新たなルーティングを提案した。

(B)では、台風や海流といった高速移動する対象環境のセンシングを可能にするための MAC およびルーティングについて検討した。提案手法はシンクからのクエリの伝播範囲を段階的に拡大することでノードの移動性に対応しつつ制御情報量を削減し消費電力の削減が図る手法を提案し、シミュレーションにより有効性を確認した。

(C)に関しては、センサネットワークにおいて、観測データの発生が地理的に偏る場合には、シンク付近のノードが早期にバッテリー枯渇を起こすことにより、ネットワーク寿命を達成できないという問題に対し、複数のシンクを用い、各ノードが複数のシンクを届け先とするパケット分配送信方式 (DispersiveCast) を提案した。DispersiveCast は、各シンクへのホップ数を基に各ノードが分散的にパケット送信割合を決定する送信方式と、複数のシンクに到達するトラフィックを均衡化させるようにシンクが集中的にパケット送信割合を決定する送信方式からなる。両送信方式の性能を評価し、DispersiveCast がネットワーク寿命の延長を可能とすることを示した。また、センサノードの分布が一様でない場合では、ボトルネックノードは必ずしもシンク付近ではない問題に対応する DCAM (DispersiveCast of Packets to Avoid bottleneck nodes in using Multiple sinks) を提案した。DCAM ではまず、シンクがボトルネックノードを見つけだす。そして、各ノードは見つけ出されたボトルネックノードの負荷を減少させるように、複数のシンクを届け先とする。DCAM の性能を評価した結果、DCAM は 0-DOP 送信方式より 1.58 倍のネットワーク寿命を示した。

⑤ではセクタアンテナ等のアンテナの指向性を固定することでより単純なハードウェアで実現可能な超小型指向性アンテナの適用について検討した。まず、センサネットワークにおける超小型指向性アンテナの適用についての基礎検討をすすめ、MAC およびルーチングに関して理想化した場合における、ノード密度に対するシンクへの情報到達率の関係や、指向性アンテナのビーム角度が諸特性に与える影響を定量的に明らかにした。さらに本課題では、基礎検討の結果明らかになった知見を用いて、指向性アンテナ適用時に効率的に動作する MAC およびルーチング方式を見出した。さらに、アドホックネットワークと協調動作させるためにシンクノードが持つべき機能を洗い出し、両ネットワークの協調動作方式について検討した。

テーマ3) ユビキタスインフラストラクチャの新たなアプリケーションの検討

本課題はテーマ1および2において記載した課題①～⑤までの下位層からのアプローチと並行して、上位層からのアプローチでユビキタスインフラの必要要素技術について検討した。モバイルコンピューティング、ITS、エンターテイメントへの適用について検討した。センサネットワークに関しては、土木分野への応用として、橋脚の建設時に、コンクリート中に加速度センサを多数注入し橋桁に埋め込むことで、橋の耐震性や老朽化状況を調べるアプリケーションの検討や、災害救助分野への応用として、地震等の災害時にセンサの位置情報や収集した生体情報を利用して、人命救助を行うといったアプリケーションの検討を開始している。

さらに本課題では、UNAGI/ESPAR 上に TCP/IP を実装し、その上に web サーバおよび web ブラウザを実装したデモシステムを開発し、ACM MOBICOM' 07 に出展し、学生デモコンテストでベスト3 を獲得するなど世界的に評価を受けた。スマートアンテナを用いた MAC プロトコルを実システムに実装し、汎用のアプリケーションを動作させた例は国際的にも先進的であり、アプリケーション創出の観点からも意義深いものと考えられる。また、情報処理学会の国内シンポジウム DICOMO' 08 のデモコンテストにも出展し、最優秀なデモ展示に与えられる野口賞を受賞した。

さらに、センサ端末の省電力化問題に対して、スマートアンテナを用いた階層型センサネットワークを提案した。安価で大量に利用が可能な無指向性アンテナを用いたノードによりセンシングを行い、高価で少数利用が望ましいスマートアンテナを用いたノードをクラスタヘッドとして利用する。無指向性アンテナの通信距離が短い欠点をスマートアンテナの利用による通信距離拡張で補い、スマートアンテナが高価である点をクラスタヘッドとして利用することで補う。スマートアンテナを利用することで通信距離を拡張することが可能となるため、中継ホップ数の削減やそれによる各センサ端末の中継負荷が削減できる。これによりスループットの向上や消費電力の削減を図る。また、本課題では実機である UNAGI と Mica Mote を利用して階層型センサネットワークの実装を行い、実環境でのスループットと省電力化についての評価を行っている。これらユビキタスインフラの実装実験を通じて、新たな多様なアプリケーションの実現可能性について検討した。

5. 主な発表論文等

2005年～2007年の3年間で、雑誌論文21件、国際会議18件、国内研究会等72件を発表した。以下に代表的な論文を示す。詳細は、<http://www.watanabe-lab.net> を参照。

[雑誌論文] (計20件)

- ① 送信電力と送信レートを適応制御するアドホックネットワーク MAC プロトコル. 萬代雅希, 前多聡, 渡辺尚. 電子情報通信学会論文誌. Vol. J91-B, No. 3, pp. 239-249. 2008.03
- ② Demonstration Abstract: UNAGI: A Protocol Testbed with Practical Smart Antennas for Ad hoc Networks. Naoya Koumura, Hikaru Mitsuhashi, Masahiro Watanabe, Masaki Bandai, Sadao Obana, Takashi Watanabe. Mobile Computing and Communications Review. Vol. 12, No. 1 pp. 59-61. 2008.01
- ③ スマートアンテナを用いた無線 LAN をベースとするアドホック無線装置の設計と考察. 渡辺正浩, 小花貞夫, 渡辺尚. 情報処理学会論文誌. Vol. 49, No. 1, pp. 288-299. 2008.01
- ④ An On-Demand Routing Using Signal Strength for Multi-Rate Ad Hoc Networks. M. Bandai, T. Watanabe. IEICE Transactions on Communications. Vol. E90-B, No. 9, pp. 2504-2512. 2007.09
- ⑤ A Proposal for Service Differentiation

- by a Link Layer Protocol Based on SR ARQ and Its Evaluation. T. Shikama, T. Matsuda, Y. Terashima, T. Watanabe, T. Mizuno. 情報処理学会論文誌. Vol. 48, No. 7, pp. 2393-2404. 2007. 07
- ⑥ A Routing Protocol with High Node Exchangeability for Sustainable Sensor Networks. Y. Yuasa, M. Bandai, T. Watanabe. IEICE Transactions on Communications. Vol. E90-A, No. 7, pp. 1353-1361. 2007. 07
- ⑦ スマートアンテナを用いた指向性MACプロトコルのテストベッドの構築と実験による効果の考察. 渡辺正浩, 萬代雅希, 小花貞夫, 渡辺尚. 情報処理学会論文誌. Vol. 48, No. 7, pp. 2187-2198. 2007. 07
- ⑧ Performance Evaluation of Directional MAC Protocols for Deafness Problem in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. 情報処理学会論文誌. Vol. 48, No. 7, pp. 2199-2210. 2007. 07
- ⑨ 片方向リンクが存在するアドホックネットワークにおけるルーティング方式の提案と検討. 福井裕介, 萬代雅希, 渡辺尚. 情報処理学会論文誌. Vol. 48, No. 7, pp. 2211-2225. 2007. 07
- ⑩ A Directional MAC Protocol with Deafness Avoidance in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEICE Transactions on Communications. Vol. E90-B, No. 4, pp. 866-875. 2007. 04
- ⑪ Delay Analysis of the Selective-repeat ARQ Protocol with the Per-Flow Resequencing Scheme. T. Shikama, S. Seno, T. Watanabe and T. Mizuno. 情報処理学会論文誌. Vol. 47, No. 2, pp. 369-381. 2006. 02
- ⑫ A Reliable Advanced-Join System for Data Multicasting in ITS Networks. T. Munaka, T. Yamamoto, T. Watanabe. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol. 6, No. 4, pp. 424-438. 2005. 12
- ⑬ アドホックルーチングプロトコルの制御メッセージによる無線LANリンクスループットへの影響の分析. 小野良司, 撫中達司, 渡辺尚. 電子情報通信学会論文誌 センサネットワーク小特集. Vol. J88-A, No. 12, pp. 1422-1431. 2005. 12
- ⑭ マルチホーミングにおける端末間経路選択のための片方向遅延差測定方式. 小川清, 飯田登, 萬代雅希, 渡辺尚. 電子情報通信学会論文誌. Vol. J88-B, No. 11, pp. 2251-2262. 2005. 11
- ⑮ Performance Analysis of a Directional MAC Protocol for Location Information Staleness in MANETs. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. 情報処理学会論文誌. Vol. 46, No. 11, pp. 2623-2632. 2005. 11
- ⑯ 無線アドホックネットワークにおける位置依存情報複製配置手法. 土田元, 沖野智幸, 田森正紘, 渡辺尚, 水野忠則, 石原進. 電子情報通信学会論文誌. Vol. J88-B, No. 11, pp. 2214-2227. 2005. 11
- ⑰ アドホックネットワークにおいてスマートアンテナを利用したMACプロトコルの特性評価. 高田昌忠, 長島勝城, 渡辺尚. 情報処理学会論文誌. Vol. 46, No. 10, pp. 2513-2522. 2005. 10
- ⑱ An ad hoc networking scheme in hybrid networks for emergency communications. T. Fujiwara, T. Watanabe. International Journal on Wireless Ad hoc Networks, Elsevier. Vol. 3, Issue3, pp. 607-620. 2005. 09
- ⑲ スマートアンテナを用いるアドホックネットワークMACプロトコルの指向性隠れ端末問題とその解決法. 関戸正規, 高田昌忠, 長島勝城, 萬代雅希, 渡辺尚. 情報処理学会論文誌. Vol. 46, No. 9, pp. 2226-2235. 2005. 09
- ⑳ An Access Protocol for Urgent Traffic in Wireless Networks Enhanced with Ad Hoc Networking. T. Fujiwara, N. Iida, T. Watanabe, Wiley Periodicals: Electronics and Communications in Japan. Part 1, vol. 88, no. 7, pp. 52-64. 2005. 07
- [学会発表] (計 18 件)
- ① A Scheme for Damage Information Gathering Based on Micro Perspective in Sensor Networks. T. Fujiwara, T. Watanabe. International Workshop on Disaster and Emergency Information Network Systems (IWDENS2008). pp. 1095-1100. 2008. 03
- ② A MAC Protocol with Directional Antennas for Deafness Avoidance in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM2007). 2007. 12
- ③ UNAGI : a Protocol Testbed with a Practical Smart Antenna for Ad hoc Networks. H. Mitsuhashi, N. Kourama, M. Watanabe, M. Bandai, T. Watanabe, S. Obana. The Thirteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom2007). デモ. 2007. 09
- ④ Empirical Discussion on Directional MAC Protocols for Ad hoc Networks using Practice Smart Antennas. M. Watanabe, H. Mitsuhashi, M. Bandai, S. Obana, T. Watanabe. IEEE International Conference on Communications (ICC2007). CD-ROM. 2007. 06
- ⑤ A Testbed with a Practical Smart Antenna for Directional MAC Protocols in Ad hoc Networks. H. Mitsuhashi, M. Watanabe, S. Obana, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE International

- Workshop on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINA Workshops 2007). Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE2007), pp. 731-736. 2007.05
- ⑥ Service Differentiation by a Link Layer Protocol Based on SR ARQ over a Satellite Channel. T. Shikama, T. Watanabe, T. Mizuno. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM2006). CD-ROM. 2006.12
- ⑦ A Directional MAC Protocol for Practical Smart Antennas. Y. Takatsuka, K. Nagashima, M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM2006). CD-ROM. 2006.12
- ⑧ A Routing Algorithm for Avoiding Interference in Power Heterogeneous Wireless Ad Hoc Networks. Y. Fukui, M. Bandai, T. Watanabe. International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2006). pp. 1098-1102 (CD-ROM). 2006.09
- ⑨ DispersiveCast: Dispersive Packets Transmission to Multiple sinks for Energy Saving in Sensor Networks. T. Suzuki, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2006). CD-ROM. 2006.09
- ⑩ A Receiver-Initiated Directional MAC Protocol for Handling Deafness in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE International Conference on Communications (ICC2006). CD-ROM. 2006.06
- ⑪ Energy Efficient Route Construction Scheme with Continuous and Discrete Power Control in Ad Hoc Sensor Networks. M. Bandai, S. Nakayama, T. Watanabe. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2006). CD-ROM. 2006.05
- ⑫ Routing Protocol of Sustainable Sensor Networks with High Exchangeability of Nodes. Y. Yuasa, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2006). CD-ROM. 2006.05
- ⑬ A Directional Hidden Terminal Problem in Ad hoc Network MAC Protocols with Smart Antennas and its Solutions. M. Sekido, M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM2005). CD-ROM. 2005.11
- ⑭ An Extended Directional MAC for Location Information Staleness in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshop Wireless Ad Hoc Networking. pp. 899-905. 2005.06
- ⑮ Directional NAV Indicators and

- Orthogonal Routing for Smart Antenna Based Ad Hoc Networks. M. Sekido, M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshop Wireless Ad Hoc Networking. pp. 871-877. 2005.06
- ⑯ Delay Analysis of the Selective-Repeat ARQ with the Per Flow Resequencing. T. Shikama, T. Watanabe, T. Mizuno. IEEE International Conference on Communications (ICC2005). Vol.1, pp. 26-32. 2005.05
- ⑰ Performance Analysis of a Directional MAC for Location Information Staleness in Ad Hoc Networks. M. Takata, M. Bandai, T. Watanabe. International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2005). pp. 82-87. 2005.04
- ⑱ Directional NAV Indicators for Smart Antenna Based Ad Hoc Networks. M. Sekido, M. Takata, M. Bandai and T. Watanabe. International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2005). pp. 70-75. 2005.04

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 尚 (Watanabe Takashi)
静岡大学・創造科学技術大学院・教授
研究者番号：90201201

(2) 研究分担者

- ・小花 貞夫 (Obana Sadao)
国際電気通信基礎技術研究所・適応コミュニケーション研究所・所長
研究者番号：60395043
- ・水野 忠則 (Mizuno Tadanori)
静岡大学・創造科学技術大学院・教授
研究者番号：80252162
- ・萬代 雅希 (Bandai Masaki)
静岡大学・情報学部・助教
研究者番号：90377713
- ・渡邊 正浩 (Watanabe Masahiro)
国際電気通信基礎技術研究所・適応コミュニケーション研究所・主任研究員
研究者番号：00395047

(3) 連携研究者なし