

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H01719

研究課題名(和文) 脳の情報処理原理を応用した無線センサーネットワークアルゴリズムの研究

研究課題名(英文) Research on brain-inspired algorithms for wireless sensor networks

研究代表者

若宮 直紀 (WAKAMIYA, Naoki)

大阪大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50283742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 25,400,000円

研究成果の概要(和文)：インパルス領域でセンシング、情報処理、通信の全てを実施する超低消費電力で超ロバストなオールインパルス無線センサネットワークの実現のため、センサノードにおける観測情報の符号化アルゴリズムならびに脳型の情報伝達・処理・抽出アルゴリズムを確立した。疎なインパルス信号の授受、高い信号間干渉などの制約下においても高信頼な通信、情報抽出が行えることを数値解析やシミュレーションによって示すとともに、実環境においても動作することを実機実験により検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

デバイスの構造や情報処理ならびに通信のアルゴリズムが極めてシンプルであることから低コスト、低消費電力でありながらも干渉や故障に対して非常にロバストな無線センサネットワークを容易に構築できることから、特に多数または高密度な環境でのセンシング情報収集を行う多様なアプリケーションの基盤技術として広く応用、展開が可能である。あわせて脳ならびに脳型の情報処理についても工学応用の観点での新たな知見を得ており当該分野の今後の発展に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：For the realization of an all-impulse wireless sensor network that is highly energy-efficient and robust due to it conducting all of its sensing, information processing, and communication in the form of impulses, we established algorithms for brain-inspired intra- and inter-nodes information coding, processing, communication, and information extraction. It was verified through numerical analysis and simulation that highly reliable communication was possible under constraints in which impulse signals were sparse and frequently collided with each other. Experiments using prototype devices showed the feasibility of our proposal.

研究分野：バイオ情報通信工学

キーワード：無線センサネットワーク 情報通信工学 ネットワーク 情報工学 脳・神経

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

無線センサネットワークはその実用性の高さや応用範囲の広さから国内外の様々な研究機関で活発な研究開発が行われてきており、IoT、ビッグデータの基盤技術の一つとして注目されている。一方で、無線センサネットワークの長期間運用のための低消費電力化は十分に達成されておらず、また、ロバスト性の向上に関する研究も未だ成熟していない。この理由の一つは、無線センサネットワークが、無線化されたコンピュータのIP通信システムであるアドホックネットワークの一種とみなされ、研究開発が進められてきたことにある。

2. 研究の目的

本研究では、センシング、情報処理、通信の全ての領域においてインパルスを用いるというオールインパルス無線センサネットワークという全く新しい考え方のもとで、メンテナンスフリーで長期間運用可能な無線センサネットワーク技術の実現を目指す。オールインパルス無線センサネットワークでは、シンプルなバイナリセンサが出力するオンオフ信号の系列(インパルス列)をインパルス領域のまま信号処理、伝送、伝達し、得られたインパルス列を信号処理することによって所望の情報を得る(図1)。インパルス無線やインパルスベースのノード内情報処理を行うことでノードにおける低消費電力化を図るとともに、ノード間の情報のやりとりに脳神経ネットワークの仕組みを応用することによって、これまでトポロジ制御や経路制御に費やされてきた電力や帯域を大きく削減するだけでなく、システムとしての高いロバスト性を獲得する。

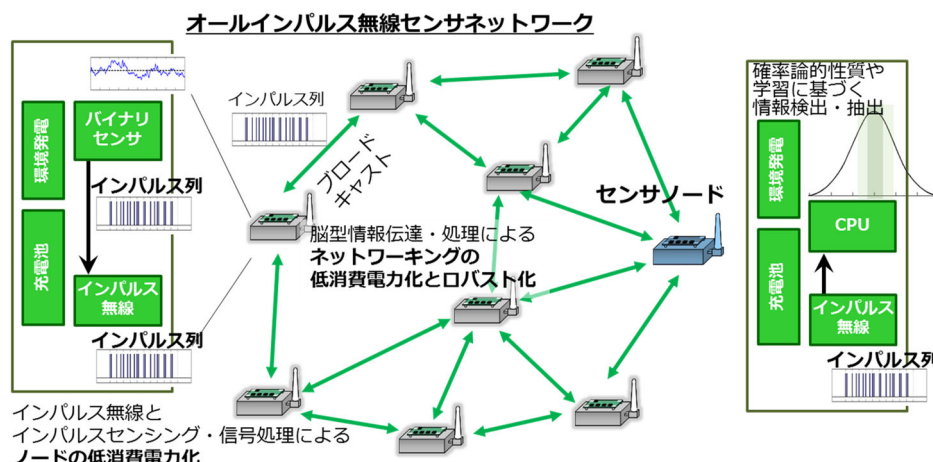


図1：オールインパルス無線センサネットワークの概念図

3. 研究の方法

インパルス領域でのセンシング、インパルス無線通信、ネットワークの全てを実現するオールインパルス無線センサネットワークのシステム設計を行うとともに、インパルスのみで、システム全体の符号化・情報伝達・信号処理の全てを実現するアルゴリズムを開発し、その理論限界を明らかにする。具体的には、任意かつ変化するトポロジを有する無線センサネットワークにおいて、複雑で高負荷なトポロジ制御や経路制御を必要としない単純なブロードキャスト型通信によって、センシング情報の統計処理やイベント検知、位置検出などの機能を提供するための機構を実現する。そのため、安定性の高い頑健なインパルス情報符号化を確立する「課題1：インパルス領域でのセンシングとノード内符号化アルゴリズムの研究」とインパルス列を中継するセンサノードでの簡易な演算やデータ集約、符号化を実施しつつも、極めてロバストなネットワーク技術を実現する「課題2：インパルス領域でのネットワークとノード間符号化アルゴリズムの研究」に取り組む。

4. 研究成果

課題1：インパルス領域でのセンシングとノード内符号化アルゴリズムの研究

オールインパルス無線センサネットワークにおける観測情報のノード内符号化にもとづくノード間情報共有の二つの平均コンセンサスアルゴリズムを開発した。これらのアルゴリズムでは、

各センサノードにノード ID などのセンサ固有の情報を割り当てる必要がなく、各センサノードは通信可能範囲内にある周囲のノードに対してブロードキャスト通信を行うだけであり、受信確認も必要としない。このような強い制限のもとでも、提案手法による平均値コンセンサスが有効に実現できることを示した。さらに、Arduino マイクロコントローラーを用いた試作機によるテスト環境を構築し、提案したコンセンサスアルゴリズムがインパルス通信によって動作することを確認した。なお、本テスト環境ではノードの状態の観測や、接続関係の変更などが行えるようにした。

また、「非同期パルス符号多重通信 (APCMA)」という新たなエラー訂正符号を提案し (図 2)、複数の送信機が干渉を最小にしつつ同一チャネル上でインパルス信号をブロードキャストすることを可能にした。さらに、315MHz 帯で通信を行う 20 台のインパルス無線センサノードからなるインパルス無線ネットワークを構築し、実機実験を行うことにより、提案手法が実環境でも期待通り動作することを確認した。また、ノード数や符号長と通信の信頼性の関係について解析モデルを構築し、その有効範囲を明らかにした。

さらに、センシングアルゴリズムとインパルス通信の最適な統合について研究を行った。具体的には、温度センサと湿度センサを備えたセンサノード (本体 36×18×20 立方 mm、315MHz 帯) を 100 台作製した (図 3)。実験により、センサ情報を読み出し、APCMA を用いて送受信できることを確認した。

開発したパルス符号化技術は、2005 年に Zhu と Sivakumar によって提案された「Communication through Silence (CtS)」という概念にもとづくものである。同様に CtS にもとづく手法の提案は多数発表されているが、いずれも複数端末による同時通信に対応していない。一方で我々の提案する APCMA は非常にシンプルかつ非同期な通信技術でありながらも通信干渉に対する高いロバスト性を有しており複数端末の通信を効果的に多重できることから、環境モニタリングや大規模集会時の健康状態の把握など多数のセンシング情報を収集、活用するアプリケーションへの適用が期待できる。実用化に向けた取り組みとして、開発した 315MHz 帯センサノードによって被験者周辺の温度・湿度を測定、収集する実験を進めている。さらに、符号エラーに対するロバスト性の向上や高スループットの達成に取り組むとともに、LoRa や Sigfox などの低電力広域網 (LPWA) で使用されるサブギガ帯や超広帯域無線 (UWB) を用いた実装を検討している。

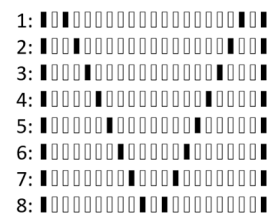


図 2 : APCMA 符号の例



図 3 : センサノード

課題 2 : インパルス領域でのネットワークとノード間符号化アルゴリズムの研究

オールインパルス無線センサネットワークでのシンプルなインパルス信号の授受からセンシング情報を抽出するため、脳型情報処理モデルの一つであるリザバ計算を応用する全く新しい手法を提案し、その有効性を示すとともに、高い情報処理能力や高いロバスト性を獲得するためのネットワーク構造を解析し、ネットワーク設計手法を確立した。

リザバ計算では結合の強さやトポロジがランダムな再帰型ニューラルネットワークに現れるニューロン発火のダイナミクスから入力信号に関する様々な情報を抽出する。無線センサネットワークをニューラルネットワーク、センシング情報をニューラルネットワークへの入力とそれぞれ対応づけることにより、オールインパルス無線センサネットワークにおけるインパルス信号の授受の様子を観測することでセンシング情報の抽出が可能となり、さらに、これまでトポロジ制御や経路制御に費やされてきた電力や帯域を大きく削減できる。センサノードで用いるニューロンモデルやパラメータ、信号授受の観測対象とするセンサノードの位置や数、センシング情報の抽出アルゴリズムを適切に設計することにより、近接性に依存したノード間接続などリザバ計算の理論モデルには存在しない制約の影響を受けながらも、ランダムに配置された 100 台のセンサノードのうち 5 台のセンサノードのインパルス信号発信状態を観測するだけで、単一イベントの有無を約 99% の精度で、また、同時に五つのイベントが発生した場合でも約 92% の精度でイベントを検知したセンサノードの識別を可能とした。図 4 において、シナリオ 1 は単一イベントの有無の識別、シナリオ 2 は単一イベントを検出したセンサノードの識別、シナリオ 3

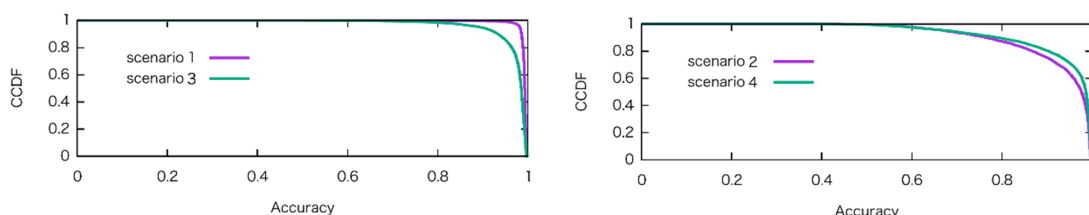


図 4 : イベント検知精度

は単一イベントと同時2イベントの識別、シナリオ4は同時2イベントを検出したセンサノードの識別であり、横軸は精度、縦軸は累積補分布である。また、イベント検知を行うオールインパルス無線センサネットワークの通信量が、従来の無線センサネットワークで隣接関係の把握のための通信のみを行う場合の1%~5%程度と極めて少なく、よって高い省電力効果を達成した。さらにデューティ比(稼働時間の割合)を0.6とすることで、約94%の高いイベント検知精度を保持したまま消費電力を一層低減できることを示した。

また、高い情報処理能力や高いロバスト性を獲得するための再帰型ニューラルネットワークの構造について、次数分布がべき則に従うトポロジ、モジュール構造を持つトポロジ、密な局所接続と疎な大域接続を持つトポロジ、ヒトの脳のコネクトームなど様々なネットワークを対象にネットワーク構造と計算・記憶能力の関係を分析した。さらに、ニューロンやシナプス結合のランダム欠損を発生させ、欠損前後の計算・記憶能力を比較することで、物理的な障害にロバストなネットワーク構造についても分析を行った。網羅的な評価、分析の結果、トポロジの高い不規則性、高いモジュール性、適度な再帰構造が計算・記憶能力に寄与することを明らかにした。さらに、ロバスト性の観点からは、不規則性とモジュール性に加えてクラスタ構造が重要であることを明らかにした。さらに、センサノード毎の通信範囲のみを調整することによって不規則なトポロジ、モジュール性の高いトポロジ、クラスタ性の高いトポロジをそれぞれ構成する手法を確立した。

これらの成果にもとづくことによって、領域内にランダムに散布されたニューロン型バイナリセンサのうち少数についてインパルス送信状態を観測するだけで高い精度でイベントを検知する超省電力でロバストな無線センサネットワークを構築できる。さらに、リザバ計算は適切に読み出しアルゴリズムを設計することによってあるダイナミクスから様々な出力が得られるという汎用的な計算モデルであることから、イベント検知に限らず極めて広範囲なアプリケーションへの応用が期待できる。

上記に加え課題2ではさらに、インパルス無線センサネットワークに適用可能な2種類の位置推定アルゴリズム、脳型の選択的注意領域の調整アルゴリズム、確率的インパルス伝達を利用する情報処理アルゴリズムの開発に成功し、ネットワーク上での大域安定的な同期動作に関する理論限界の導出にも成功した。

まず位置推定アルゴリズムについて、例えば観測領域内での局所的な温度上昇などの事象発生位置や発生範囲を、観測領域内にほぼ均等の密度で散布したインパルス無線センサネットワークで検出し推定するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、センサノードが発したインパルス列を観測領域周辺に設置した複数のアンカノードで検出し、インパルス列の到達時間差を利用する。このアルゴリズムにより設置センサノード

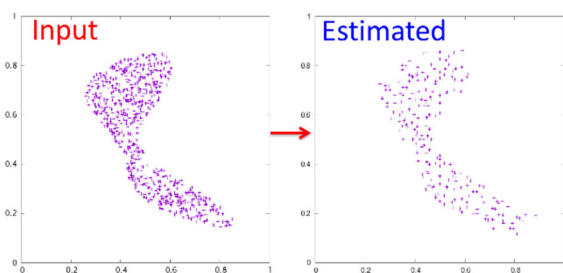


図5：イベント位置推定結果の一例

密度と同程度の精度での位置推定が可能であることを示し(図5)、さらに、センサノードのスリープ機構を加えることで、スリープ適用前と比較して、ノードでの電力消費が理論的には約90%の削減可能なことを示した。

上述の位置推定アルゴリズムは、観測領域内でのほぼ均一なセンサノード散布を前提としているが、観測領域内の物体配置や地形等によっては均一なセンサノード配置が困難な場合も想定される。そこでセンサノードが観測領域内に不均一に分布している場合に、各センサからアンカノードまでのホップ数のみを測定し、その計測結果に対して再帰的ベイズ推定を用いることで、センサノードの位置と密度分布の同時推定を繰り返し、その収束点としてセンサノードの位置推定を与えるアルゴリズム開発にも成功した。

センサネットワークでは、センシング対象となる事象の発生確率が高そうな領域を事前に動的に予測できれば、その領域に散布されたノードの動作頻度を選択的に増加させ、それ以外の頻度を低下させるなどの操作により、ネットワーク全体の消費電力を維持したまま事象観測精度向上が可能になると期待される。適応的予測による動的な資源配分の実現は脳神経システムの「選択的注意」メカニズムに相当すると考えられるため、適応的な選択的注意を実現する手法の研究も行い、既存の機械学習手法の一つを拡張し強化学習を利用することで、注意すべき領域の大きさが可変な場合でも、注意領域サイズを動的に調整可能なアルゴリズムの開発に成功した。

脳型の情報処理については、当初の想定以上に、脳の情報処理では確率的要因が重要であることが実験的に分かってきたため、インパルス生成や伝達の確率性に関する研究も重点的に実施した。脳内ではニューロンによるインパルス生成と、ニューロン間を結ぶシナプスでのインパルス列の伝達のどちらにおいても確率的動作が観測されているため、この確率の二重性に着目し、これら2種の確率性を同時に導入することで、効率的なベイズ推定が可能になり、特に、敵対的攻撃に対する高いロバスト性や、高い再学習性能など、実環境での安定的動作に重要と思われる性質を獲得可能なことを明らかにした。2種の確率性の相乗的効果を報告した研究はほぼ皆無で

あり今後、工学、生物学、数理科学等を含む多様な分野への展開が期待される。

また、センサノードなどネットワーク上で動作する素子の同期動作とネットワークトポロジーの関係を解明するため、同期動作の大域的安定性とネットワークの結合度の関係の理論解析も実施した。具体的には、インパルスを含む非線形相互作用を結合振動子ネットワークとして数理モデル化することで、ロバストな同期的動作実現には、結合度がある臨界定数以上である必要があることを示し、その臨界値下限の導出に成功した。センシング情報の脳型の符号化についても数値実験を行い、センサノイズと通信ノイズの関係によって最適符号化が変化する可能性も明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tatsuro Sakaguchi and Naoki Wakamiya	4. 巻 11
2. 論文標題 Consideration on liquid structure contributing to discrimination capability of Liquid State Machine	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 36 ~ 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.11.36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hisashi Kada, Jun-nosuke Teramae, and Isao T. Tokuda	4. 巻 10
2. 論文標題 Effective Suppression of Pathological Synchronization in Cortical Networks by Highly Heterogeneous Distribution of Inhibitory Connections	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Computational Neuroscience	6. 最初と最後の頁 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fncom.2016.00109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計33件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Jun-nosuke Teramae
2. 発表標題 Dual stochasticity in the cortex as a biologically plausible learning with the most efficient coding
3. 学会等名 The 43rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kota Yamanaka and Jun-nosuke Teramae
2. 発表標題 A biologically plausible and effective learning algorithm for spiking neural networks
3. 学会等名 The 43rd Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤裕也, 立川剛至, 寺前順之介
2. 発表標題 人工ニューラルネットワークにおけるべき則表現と学習則
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田亮介, 立川剛至, 寺前順之介
2. 発表標題 結合振動子系において完全同期以外の安定平衡点を持つ密なネットワークの探索
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ferdinand Peper, Kenji Leibnitz, Konstantinos Theofilis, Mikio Hasegawa, Naoki Wakamiya, Chiemi Tanaka, Jun-nosuke Teramae, Shinya Sekizawa, and Aohan Li
2. 発表標題 On high-density resource-restricted pulse-based IoT networks
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Okumura and N. Wakamiya
2. 発表標題 Analysis of reservoir structure contributing to robustness against structural failure of Liquid State Machine
3. 学会等名 The 2nd International Workshop on Reservoir Computing (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Okumura and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Consideration on structural property for robust Liquid State Machine
3. 学会等名 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺前順之介
2. 発表標題 大脳皮質の二重の確率性に基づく生物学的に妥当な学習アルゴリズムと最適表現
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤大輔, 寺前順之介
2. 発表標題 確率的教師あり学習における自発活動による破滅的忘却の抑制
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南拓也, 寺前順之介
2. 発表標題 確率的教師あり学習モデルにおける短期シナプス可塑性
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yutaro Murata, Jun-nosuke Teramae, Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Reinforcement Learning for Visual Attention with Scalable Size of Attentional Field
3. 学会等名 The 28th Annual Conference of the Japanese Neural Network Society (JNNS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daito Kamei and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Analysis of LSM-Based Event Detection in Impulse-Based Wireless Sensor Networks
3. 学会等名 The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuro Sakaguchi and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Consideration on Liquid Structure Contributing to Discrimination in Liquid State Machine
3. 学会等名 The 7th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ferdinand Peper
2. 発表標題 Error-Correction in Neuro-inspired Spike Signaling
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 若宮直紀
2. 発表標題 脳の情報処理メカニズムを応用した情報通信システム
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若宮直紀
2. 発表標題 インパルス無線センサネットワークにおける脳型情報処理
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口達郎, 若宮直紀
2. 発表標題 リキッドステートマシンの弁別能力に寄与する構造的特性に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村祐太, 若宮直紀
2. 発表標題 リキッドステートマシンの構造欠損による弁別能力の低下を抑制する構造的特性に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ferinand Peper, Kenji Leibnitz, Mikio Hasegawa, and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Spike-based Communication Networks with Error-Correcting Capability
3. 学会等名 日本神経回路学会誌, 25巻, 4号, pp.157-164
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ferdinand Peper, Tetsuya Shimokawa, Kenji Leibnitz, and Ben Seymour
2. 発表標題 脳のネットワークから脳に触発された情報ネットワーク
3. 学会等名 情報通信研究機構研究報告脳情報通信融合研究特集, Vol. 64, No. 1, pp.51-58
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ferdinand Peper
2. 発表標題 Neuromorphic Sensor Networks: Towards an Internet of Everything?
3. 学会等名 The 3rd Workshop on Bio-inspired Energy-Efficient Information Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ferdinand Peper
2. 発表標題 Communication Protocols for Highly Restricted Nodes
3. 学会等名 NII Shonan Meeting Seminar 114: Resilient Machine-to-Machine communication (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Haruka Kubota, Jun-nosuke Teramae, and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 An efficient sleep/wake-up protocol for localization in impulse wireless sensor networks
3. 学会等名 The 23rd Asia Pacific Conference on Communications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村田悠太郎, 寺前順之介, 若宮直紀
2. 発表標題 再帰的な選択的注意モデルにおける注意領域サイズの強化学習
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daito Kamei and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 Consideration on separation property of impulse-based wireless sensor networks
3. 学会等名 The 6th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 亀井大登, 若宮直紀
2. 発表標題 インパルス無線センサネットワークの分離性に関する考察
3. 学会等名 電子情報通信学会複雑コミュニケーションサイエンス研究会
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoki Wakamiya
2 . 発表標題 Impulse-based Wireless Sensor Network
3 . 学会等名 International Conference and Business Expo on Wireless & Telecommunication (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Ferdinand Peper, Kenji Leibnitz, Tetsuya Shimokawa, and Marie Ange Reniche
2 . 発表標題 Average consensus in asymmetric broadcasting wireless sensor networks through gossiping
3 . 学会等名 ACM International Workshop on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications 2016 (held under MobiQuitous ' 16) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Ferdinand Peper, Kenji Leibnitz, Tetsuya Shimokawa, Jun-nosuke Teramae, Akifumi Kasamatsu, Shukichi Tanaka, and Naoki Wakamiya
2 . 発表標題 Evaluation of Binary Sensing with Adaptive Thresholds in Spiking Wireless Sensor Networks
3 . 学会等名 電子情報通信学会 ASN研究会
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Naoki Wakamiya
2 . 発表標題 Impluse-based wireless sensor network
3 . 学会等名 International Conference and Business Expo on Wireless & Telecommunication (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruka Kubota, Jun-nosuke Teramae, and Naoki Wakamiya
2. 発表標題 localization and area localization in impulse-radio wireless sensor networks
3. 学会等名 IEEE SENSORS 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 久保田遥, 寺前順之介, 若宮直紀
2. 発表標題 インパルス無線センサネットワークによる検出事象領域の推定手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会 IN研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺前順之介, 若宮直紀
2. 発表標題 無線センサネットワークにおける再帰的ベイズ推定を用いたマルチホップ位置推定
3. 学会等名 電子情報通信学会 CCS研究会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 Communication Method and Network System	発明者 ベパー、ライプニッツ、下川、長谷川、黒田	権利者 情報通信研究機構、東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/027849	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 通信方法およびネットワークシステム	発明者 ベパー、ライプニッツ、下川、長谷川、黒田	権利者 情報通信研究機構、東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-014093	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	ペパー フェルディナンド (Peper Ferdinand) (40359097)	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報工学研究室・副室長 (82636)	
研究分担者	寺前 順之介 (Teramae Jun-nosuke) (50384722)	京都大学・情報学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	ライプニッツ ケンジ (Leibnitz Kenji) (70437432)	国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報工学研究室・主任研究員 (82636)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
フィンランド	Aalto University			
ベルギー	University of Namur			