

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730054

研究課題名(和文)電波空間情報データ・マイニングにおける無線システム検出

研究課題名(英文)Radio system detection in the radio space information data mining

研究代表者

川喜田 佑介(Kawakita, Yuusuke)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：30468540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、無線信号に応じて適切な無線システムを起動させるため、無線通信の信号を含む周波数帯域を量子化し信号に含まれる周波数軸・時間軸の領域の特定とデータの蓄積利用に関する課題に取り組んだ。無線信号を広帯域から発見するスペクトルセンシングを高速かつ高精度に実現する手法、機械学習を用いて無線規格を判別する手法、電波の特性を利用して効率よくデータを保存する手法について論じ、関連する研究成果により、査読付き論文5編、国際会議プロシーディングス9件の採録および発表できた。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to operate the appropriate radio system according to the radio signal contained in the quantized data over wide frequency band, it was to solve the problems related to estimate of the area of the frequency domain and time domain that is included of the radio signal and to store and use of its data. We discussed the method to realize the spectrum sensing to find a radio signal from a wide frequency band with high-speed and high accuracy, method for determining the radio protocol using machine learning, and the method to store and user the data efficiently using the radio wave characteristics. By these research results, five peer-reviewed papers were accepted and nine international conference proceedings were accepted.

研究分野：情報学

キーワード：ubiquitous computing IoT spectrum sensing RFID platform

### 1. 研究開始当初の背景

本課題の提案者らが参画した JST CREST 「情報システムの超低消費電力化を目指した技術革新と統合化技術」研究領域(平成 24 年度終了)では、超低消費電力センサタグの研究開発が行われた。このセンサタグは、エナジハーベスティング給電によって動作させ、回路簡素化のための低性能な発振器を想定としたため、一般的な無線送信機と比較して周波数が不安定(中心周波数を 300MHz とすると 30MHz 程度の周波数変動)となる。このセンサタグ信号の受信システムは、事前に周波数帯を知ることができないという技術的課題が存在した。

前述の研究領域において、アプライアンス主導型ネットワーク (Appliance Defined Ubiquitous Network, ADUN) の研究開発が行われた。ADUN では、RFID や無線センサネットワークの既存通信規格にとらわれず超低消費電力センサタグなど多品種少量の無線インタフェースにネットワーク側が自動適応し、一般にハードウェアで構成される無線機がクラウド上でソフトウェア無線機として開発可能となる。ADUN の主要機能として、無線信号を含む帯域を量子化した情報 (電波空間情報) の配信とソフトウェア無線機の構成が挙げられる。提案者らが開発した電波空間情報配信機構は、所望の無線信号を含む広範囲の無線帯域を任意にサンプリングして電波空間情報配信サーバにて提供し、ユーザは構築可能サービス処理システム上で任意の無線機をソフトウェア無線機として構築できる。ADUN においても存在する無線システムに対する知識が事前に入手できない場合は、適切な無線システムを構成できないという技術的課題が存在した。

これらの課題を踏まえ、提案者は存在する無線システムに対する知識が事前に入手できなくても電波空間情報を解析し高頻度で発生する特徴的なパターンを見つけることで無線システムの検出ができると考えた。この技術を確立することにより構成可能な無線システムが存在するかを検出できれば、無線受信機を自動的に構成することもできるだけでなく、電波空間情報から有用な情報を導出するデータ・マイニングにも応用が可能と考えた。

### 2. 研究の目的

事前知識なしに信号源を自動認識するなど無線空間情報データ・マイニングの応用を展開する研究基盤を確立するため、広帯域の電波情報を量子化した電波空間情報から稼働中の無線システムを自動的に検出すること、特殊なビッグデータといえる電波空間情報の利用技術を確立することを本研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、稼働中の無線システムを検出

するため無線信号を含む電波空間情報の抽出し無線規格を判別する研究、特殊な大容量データである電波空間情報の利用技術の確立の、2 つの研究を並行して行った。また研究を実施するに当たり必要となった課題についても取り組んだ。以下にそれらの課題について述べる。

#### (1) 無線信号検出と無線規格判別に関する課題

センサタグの簡素な回路構成に起因する様々な不安定性の一つとして周波数の不安定性が挙げられる。この状況では周波数の割り当て情報を利用せずに広帯域から高速・高精度に無線信号を発見するブラインドスペクトルセンシングを実現することが課題とした。また、検出した信号の無線規格を機械学習によって判別することも課題とした。

#### (2) 電波空間情報の利用技術に関する課題

プラットフォームの主要な要素であり、電波空間情報を配信するサーバは不特定多数のユーザ・アプリケーションに共用されるため、その性能を制約する計算機資源を分析しスケールアウト可能にするためのアーキテクチャを設計することも課題とした。また、電波空間情報の配信に加えて蓄積利用を可能にするため電波空間の情報圧縮について検討することを課題とした。

#### (3) 関連する課題

以上の(1)および(2)の研究に当たり、記録する電波空間情報の具体的な検討が必要となり、端末および無線規格についての研究を行うこととした。また、記録した電波空間情報を利用するデータ・マイニングのアプリケーションの検討が必要となり、電波空間情報に含まれる信号の強度変化を使用するアプリケーションの研究も行った。前述のセンサタグは受信回路が省かれており、制御チャンネルのない端末のための多元接続を実現することが課題となった。また、センシング信号を直接アナログ変調すればサンプリングにかかる電力の削減が期待できる。そこで、パッシブ RFID 通信におけるサブキャリアにセンシング信号を重畳と復元についても課題とした。また、データ・マイニングのアプリケーション例として、モノ探しの想起支援に取り組んだ。一般的なモノ探しシステムの位置推定技術では測位や測距が必要であるが、記録される電波空間情報に含まれる情報のみでモノ探し想起支援ができることが望ましい。そこで、電波空間情報から取得可能な情報のみからモノ同士の近接性を推定することが課題とした。

### 4. 研究成果

本研究では、無線信号に応じて適切な無線システムを起動させるため、無線通信の信号を含む周波数帯域を量子化した信号の含まれ

る周波数軸・時間軸の領域の特定とデータの蓄積利用に関する課題に取り組んだ。無線信号を広帯域から発見するスペクトルセンシングを高速かつ高精度に実現する手法、機械学習を用いて無線規格を判別する手法、電波の特性を利用して効率よくデータを保存する手法について論じ、関連する研究成果により、査読付き論文5編、国際会議プロシーディングス8件の採録および発表できた。以下に課題ごとの詳細について述べる。

#### (1) 無線信号検出と無線規格判別に関する成果

無線信号を含む周波数帯域から無線信号を発見するため、周波数割り当て情報を用いずに広帯域信号を高速・高精度に検出するブラインドスペクトルセンシング技術について論じた。広帯域の信号検出を2ステージに分け、1ステージ目で検出された帯域のみ高解像度で検出を行うセンシング戦略を提案し、見逃し率を勘案しながら先行研究より高速に信号検出を行えることを示した。本成果は、IEEE PICOM2013[主な発表論文 学会発表7]に発表した。また、動的に周波数スパンを信号のサイズにあわせ広帯域信号からピークを検出する手法を提案し、解析的な評価より広帯域の信号においては先行研究より高速・高精度で中心周波数の推定を行えることを確認した。本成果は、電子情報通信学会論文誌(通信)[主な発表論文 雑誌論文3]に採録された。

無線信号の無線規格を判別するため、提案手法では、特徴量として時間軸、周波数軸、信号成分の強さの3次元グラフであるスペクトログラム情報を使用する教師あり学習によって無線規格の判別をする手法を提案した。提案手法では、先行研究では判別ができない条件(重畳など)での判別が可能になった。また、判別に適する機械学習の手法の制定について論じた。本成果の一部は、IEEE PICOM2013[主な発表論文 学会発表8]に発表した。

#### (2) 電波空間情報の利用技術に関する成果

仮想無線機を構成するプラットフォームの主要な要素であり、無線信号を含む帯域を量子化した情報を配信するサーバの性能を制約する計算機資源について論じた。調査の結果、帯域通過フィルタがクライアント毎の支配的な処理でありその計算量は推定可能であること、CPU実コア数が支配的な計算機資源である明らかにした。これらの知見を基に電波空間情報配信サーバのスケールアウト可能なアーキテクチャ提案を行った。本成果は、IEICE Trans. on Commun. [主な発表論文 雑誌論文4]に採録された。

電波空間情報のストリーム配信に加えて蓄積利用を可能にするためのファイルシステムレベルの圧縮効果について検討した。良好な圧縮率を得るには圧縮する電波空間情

報のファイルサイズに適切なサイズがあること、圧縮率は電波空間情報に含まれる信号の割合に関係することを明らかにした。本成果をIEEE Mobil Cloud2015[主な発表論文 学会発表5]にて発表した。

#### (3) 関連する成果

受信回路のないエナジハーベスティング無線センサからシンクノードへの通信について、制御チャネルのないスペクトル拡散通信のための拡散符号割り当てについて論じた。この研究では、RFID通信を使用し衝突した拡散符号のみを割り当てる方式を提案し、実験及びシミュレーションで割り当て手続きの簡略化が可能であることを示した。また、RFIDリーダライタの読み出し・書き込み性能比によって提案手法が優位となる範囲が存在することを明らかにした。本成果は、EAI Endorsed Trans. on Ambient Sys. [主な発表論文 雑誌論文2]に採録された。同様の研究課題を周波数多重化について検討し、チャネル割り当て手続きをRFタグのIDのモジュロ演算によって簡素化する手法を提案し、シミュレーションによって評価した。本成果をIEEE RFID-TA 2015[主な発表論文 学会発表3]にて発表した。

マルチサブキャリアパッシブ通信はパッシブRFID通信を拡張した通信方式であり、センサ端末においてサブキャリアを複数生成しセンシング信号の周波数分割多重化を実現する。このサブキャリアの高調波は他のサブキャリアと相互干渉を引き起こすが、周波数割り当てが既知であれば干渉のレプリカ信号を生成し干渉除去が可能となる。この処理を再帰的に繰り返す逐次干渉除去を実施し、センシング信号の周波数分割多重化と端末間同期不要化の実現可能性について実験的に確認した。この成果をIEEE RFID-TA 2015[主な発表論文 学会発表2]にて発表した。逐次干渉除去の実用化には位相トラッキングが必要でありこの方式について特許出願中である。また、サブキャリア周波数の不注意な割り当ては性能低下および周波数資源の利用効率を低下させる。そこで、センサ間の通信容量とアクセスの公平性の観点から効率的にサブキャリア周波数を割り当てる方式を提案した。本成果はIEICE Trans. on Commun. [主な発表論文 雑誌論文1]に採録された。

モノ探しの想起支援を目的として、モノ同士の近接性を提示する技術について論じた。測距や測位によってモノの物理的な位置を推定してから近接性を推定する手法が一般的であるが、提案手法ではRSSI系列間の距離関数と階層的クラスタリングによって直接グループを推定できる。また、測距や測位に必要な複数のセンサ端末やあらかじめ位置のわかっている参照ノードが不要となった。本成果をIEEE WF-IoT 2015[主な発表論文 学会発表1]にて発表した。また、距

離関数やクラスタリングアルゴリズムの組み合わせは複数考えられ、クラスタリング結果の評価が課題となる。そこで、応用に合わせたクラスタリング結果の評価基準として、新たに最近傍候補数 (NNNC) を提案した。

#### 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5件)

1. Nitish Rajoria, Yuki Igarashi, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa, "Comparative Analysis on Channel Allocation Schemes in Multiple Subcarrier Passive Communication System," IEICE Trans. On Commun., vol. E98-B, no. 9, pp. 1777-1784, Sept. 2015. (査読付き)  
DOI: 10.1587/transcom.E98.B.1777.
2. Ken Takahashi, Kenji Inoue, Yuusuke Kawakita, Jin Mitsugi, Haruhisa Ichikawa, "A Method to Assign Spread Codes Based on Passive RFID Communication for Energy Harvesting Wireless Sensors Using Spread Spectrum Transmission," EAI Endorsed Transactions on Ambient Systems, vol. 2, issue 6, pp. e5:1-4, Aug. 2015. (査読付き)  
DOI: 10.4108/eai.22-7-2015.2260267
3. 藤原寛, 佐藤学, 川喜田佑介, 市川晴久, "ブラインドスペクトルセンシングのための広帯域信号の中心周波数検出手法," 電子情報通信学会論文誌(通信), vol. J98-B, no. 7, pp. 717-726, Jul. 2015. (査読付き)
4. Yuusuke Kawakita, Haruhisa Ichikawa "A resource Analysis of Radio Space Distribution for the Wide-area Virtualization of Wireless Transceivers," IEICE Trans. Commun., vol. E97-B, no. 09, pp. 1800-1807, Sept. 2014. (査読付き)  
DOI: 10.1587/transcom.E97.B.1800
5. 川喜田佑介, 市川晴久, "自立給電型ワイヤレスセンサのためのユビキタス・センシング・プラットフォーム," 計測自動制御学会 学会誌「計測と制御」, vol. 52, no. 11, pp. 966-972, 2013. (査読付き)

[学会発表](計8件)

1. Masaya Tanbo, Ryoma Nojiri, Yuusuke Kawakita, Haruhisa Ichikawa, "Active RFID Attached Object Clustering Method Based on RSSI Series for Finding Lost Objects," Proc. IEEE WF-IoT 2015,

pp.363-368, Dec. 2015, Milan (Italy). (査読付き)

2. Yuki Igarashi, Nitish Rajoria, Yuusuke Kawakita, Jin Mitsugi, Haruhisa Ichikawa, "A performance analysis of interference rejection technique in multi-subcarrier multiple access," Proc. IEEE RFID-TA 2015, pp. 33-38, Sept. 2015, Tokyo (Japan). (査読付き)
3. Matsuda Tomoaki, Wakisaka Yuuki, Yuusuke Kawakita, Jin Mitsugi, Haruhisa Ichikawa, "Multiple Access Channel Allocation Improvement for Sensor Nodes Setting Based on RFID Communication," Proc. IEEE RFID-TA 2015, pp. 76-80, Sept. 2015, Tokyo (Japan). (査読付き)
4. Nitish Rajoria, Yuki Igarashi, Jin Mitsugi, Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa, "A Performance evaluation of subcarrier allocation methods in multi-subcarrier multiple access," Proc. IEEE RFID-TA 2015, pp. 105-106, Sept. 2015, Tokyo (Japan).
5. Yuuki Wakisaka, Haruhisa Ichikawa, Yuusuke Kawakita, "File System Level Compression of Radio Space Information Storage System for Sensor Platform," Proc. IEEE Mobile Cloud 2015, pp. 163-168, Apr. 2015, San Francisco (USA). (査読付き)
6. Yuki Igarashi, Yuki Sato, Yuusuke Kawakita, Jin Mitsugi, and Haruhisa Ichikawa, "A Feasibility Study on Simultaneous Data Collection from Multiple Sensor RF Tags with Multiple Subcarriers," Proc. IEEE RFID 2014, pp. 177-182 April 2014, Orlando (USA). (査読付き)
7. Yuki Mizutani, Manabu Sato, Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa, "Dynamic Spectrum Sensing for Energy Harvesting Wireless Sensor," Proc. IEEE PICom2013, pp. 429-433, Dec. 2013, Chengdu (China). (査読付き)
8. Manabu Sato, Yuki Mizutani, Yuusuke Kawakita and Haruhisa Ichikawa, "Feature Quantity for Universal Receivers to Identify Protocols of Radio Services and Devices," Proc. IEEE PICom2013, pp. 434-438, Dec. 2013, Chengdu (China). (査読付き)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

川喜田 佑介 (KAWAKITA, Yuusuke)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科情  
報学専攻・助教  
研究者番号：30468540

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし