

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13101  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2014～2016  
課題番号：26420344  
研究課題名（和文）BANコンテキストウェア通信のための伝搬路特性を用いた人体状態の同定法の研究

研究課題名（英文）Identification of Body Motion using Radio Channel Characteristics for BAN Context-Aware Communication

研究代表者  
Kim Minseok (KIM, MINSEOK)  
新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：40467030  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人体周辺の無線センサネットワーク（BAN）において、複数のセンサから取得した伝搬路の時間変動と人体の状態（動作や姿勢）との関係を実験的に明らかにし、人体の状態を高精度で同定する手法の開発を行った。また、人体の状態と伝搬路の状態との関係性（通信品質を決定する特徴量）を具体化し、人体の状態に応じたコーディネータの送信電力の最適化するコンテキストウェアネス通信法を開発し評価を行った。具体的な実施内容は次のようである。「伝搬路測定系の構築」、「信号設計と伝搬路測定法の開発」、「伝搬路の時間特性による人体状態の同定法の確立」、「人体状態による伝搬路状態の分類とモデル化」などを実施した。

研究成果の概要（英文）：This study studied an identification method of body motion using time variation of the radio signal strength taken by multiple body-worn sensors for BAN context-aware communication. In addition, the relationship between body motion and radio channel status has been investigated, and through the evaluation of an adaptive power control using identified body motion at coordinator, the feasibility of context-aware communication has been demonstrated.

研究分野：情報通信

キーワード：BAN 動作同定 コンテキストウェアネス 機械学習

## 1. 研究開始当初の背景

(1)近年、人体周辺での無線通信の関心が高まっており、体内植込み(インプラント)機器、または、ウェアラブルセンサにおいて、様々な目的に応じた高効率・高信頼性無線通信技術が重要な課題として認識されている。特に、人体周辺の無線ネットワーク技術(以下、ボディエリアネットワーク(Body Area Network: BAN)と呼ぶ)は、人体を中心として(body centric)機器同士を柔軟に接続する重要な役割を果たすものである。米国電気電子技術者協会(以下 IEEE)の標準化組織である IEEE802.15.6 委員会では、医療・ヘルスケアを主用途とした BAN の国際標準仕様を、昨年2月に公表しており、関連業界は BAN 製品化に向けて拍車をかけている状況である。高齢化社会における BAN の需要は医療・ヘルスケア市場で重要なポイントになっており、より革新的な技術の開発が期待されている。BAN においては、生体状態や通信路状態(リンク品質)が人体の状態(動作や姿勢)により大きく変化する問題ばかりでなく、人体の移動による BAN 同士のネットワーク間干渉が動的に発生するため、人体の状態を同定して適応的な処理を行う仕組み(コンテキストアウェアネス; Context Awareness)の導入が、BAN の本格的な実用化に向けて必修であると考えられる。

(2) BAN による生体情報の実時間モニタリングから、高齢者・患者の生体状態を把握することだけでなく、人体の状態の同定は、診断精度を向上や発病の原因分析・予防の観点から非常に重要である。BAN を用いた生体情報のモニタリング(実時間処理とデータベース化)により高齢者の転倒を予防する仕組みを導入すれば、医療コストの削減に大きく貢献できると考えられる。BAN における人体の状態の同定により、モニタリング周期の制御や通信頻度の調整など生体情報モニタリング性能の向上は勿論、消費電力やデータトラフィックの制御を効率的に行うなど、通信ネットワークの高度化も期待できる。

(3) 人体状態の同定手法として、従来から加速度センサとビデオセンサによる手法が主に用いられているが、医療ヘルスケア应用到幅広く活用するためには、同定精度の更なる向上と利用環境の拡大が課題になっている。BAN における伝搬路特性は、周囲環境、人体動作や姿勢、生体状態、個人差により大きく変化することが知られている。このような BAN 伝搬路の特徴は、無線通信の観点からは不利であるが、従来のセンサから得られる情報以上の特徴(Feature)が含まれていることから、伝搬路の時空間特性を用いることで、人体の状態をより高精度で同定する可能性がある。さらに、伝搬路状態を人体の状態に関係して体系化することで、通信性能の改善が期待できる。本研究課題に関連する既存の

研究の数は非常に少なく、これまで公表された成果も一般性や有用性の観点から実用化には不十分である。

## 2. 研究の目的

(1)人体周辺の無線センサネットワーク(BAN)において、コーディネータノードあるいは複数のセンサノードで取得したマルチリンク伝搬路の時空間特性と人体の状態(動作や姿勢)との関係を明らかにし、人体の状態を高精度で同定する手法の開発を目指す。また、人体の状態と通信回線の状態との関係性(通信品質を決定する特徴量または伝搬パラメタで表現)を具体化し、人体の状態に応じた通信方式の最適化(コンテキストアウェアネス: Context Awareness)の可能性を実験的に検討するものである。

### (2) マルチリンク伝搬路測定系の構築

複数のセンサにおいて伝搬チャネルを同時測定(相関測定)可能なマルチリンクチャネル測定系を開発する。柔軟性の優れた GNU Radio-USRP を用いて 2.4GHz 帯の基本測定系を構築する考えであり、加速度センサの搭載と小型アンテナの作成、人体に取り付け方法の開発が必要である。また、安価なモーションキャプチャ環境を構築し、人体状態の同定性能の評価に用いる。

### (3) 伝搬路の時空間特性による人体の状態の同定法の確立

人体の状態の同定に必要な技術として、実用的な信号の設計法と、最尤法やニューラルネットワーク、サポートベクタマシンなどの機械学習技術の開発を行う。また、本研究で開発した測定系を用いて様々な動作シナリオでの伝搬路測定を行い、開発した同定法を評価する。

### (4) 人体の状態と伝搬路状態の分類とモデル化

人体の状態と伝搬路状態(伝搬パラメタ)との関係を調査し、人体の状態の同定から逆に伝搬路状態をもっとも支配的な伝搬パラメタで分類・モデル化する。伝搬路状態の体系化により、BAN におけるコンテキストアウェア通信の可能性を実験的に検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) マルチリンク伝搬路測定系の構築

送受信機の調達: 複数のセンサにおいて伝搬チャネルを同時測定(相関測定)可能なマルチリンク伝搬路測定系を構築する。これまで、ZigBee センサノードを用いたウェアラブル測定系を構築しているが、対数値の受信信号強度(RSSI)だけが測定可能であり、詳細な解析に限界があった。一方、マルチポートオシロスコープによる測定系も構築しているが、低いダイナミックレンジや動的測定シナリオではケーブルの引き回しが問題であっ

た。この経験を踏まえて、高性能でかつ柔軟性も優れた GNU Radio-USRP というソフトウェア無線開発プラットフォームを調達し、2.4GHz 帯の基本測定系を構築した。

ウェアラブル化：GNU Radio-USRP 本体を人体表面上のセンサノードとして使用することはその大きさから困難であるため、小型アンテナをケーブルで繋ぎセンサノードとして取り付ける。しかし、動的シナリオの測定を行うためには、GNU Radio-USRP 本体も人体に取り付ける必要があるが、リュクサックなどに収納しケーブルの引き回しを最小限にした。測定上の制約から、コーディネータノード1台とセンサノード3台で測定系を構成する。

加速度センサと評価系の構築：RF センサ(伝搬路測定)に加えて加速度センサをセンサノードに搭載し、伝搬路特性に加えて同定性能を向上する方法を検討する。また、安価のモーションキャプチャ環境(Xbox Kinect を想定)を構築し同定性能の評価に用いる。

(2)伝搬路の時空間特性による人体の状態の同定法の確立

信号設計と伝搬路測定法の開発：人体の状態の同定に必要な情報が容易に取得できる測定用信号を、実用性を考慮して狭帯域と広帯域に分けて検討する。伝搬路の相反性により、コーディネータノードから測定用信号を送信し、各センサにおいて同一時間に受信された信号を用いて伝搬路推定を行う。

信号処理手法の開発：伝搬路の時空間特性である受信レベル変動や、ドプラ周波数と相関時間、レベル交差率などの統計情報を用いる人体状態の同定法の開発を目指す。測定される伝搬路特性には、アンテナと回路の特性を含んでおり、純粋に人体の影響のみを含んだ伝搬路の特性を得ることができないため、機械学習やニューラルネットワークなどのトレーニングに基づく信号処理手法が適用する。

測定による評価：初年度に開発した測定系を用いて様々な動作シナリオでのマルチリンク伝搬路測定を繰り返し行いながら、同定手法の開発と評価を並行する。伝搬路特性だけでなく、加速度センサの物理情報を用いる場合と、両方を混用する場合の効果についての評価を行う。

(3)人体の状態による伝搬路状態の分類とモデル化

人体の状態と伝搬路状態の関係付け：人体の状態と伝搬路状態との関係を調査し、人体の状態の同定から逆に伝搬路状態をもっとも支配的な特徴量あるいは伝搬パラメータで分類する。これは、通常の無線システムにお

ける伝搬路推定とは異なり、人体の状態を総合的に表すもので、BAN にもっとも適した情報になることを期待する。

伝搬路状態のモデル化：伝搬路状態の具体的なモデル化を行う。高効率・高信頼性の実現の観点から、IEEE 標準で規定されているスター型ネットワークの直接通信あるいはマルチホップ通信モデルを用いてコンテキストウェア通信の有用性を示す。

4. 研究成果

(1)マルチリンク伝搬路測定系の構築

送受信機の調達：複数のセンサにおいて伝搬チャンネルを同時測定(相関測定)可能なマルチリンク伝搬路測定系の構築が当初の目標であり、従来の ZigBee センサノードを用いたウェアラブル測定系や、マルチポートオシロスコープによる測定系における問題を解決した。高性能でかつ柔軟性も優れたソフトウェア無線開発プラットフォームをベースとする 2.4GHz 帯の基本測定系を開発した。ソフトウェアの実装と RF 直結によるラボテストを実施した。

ウェアラブル化：開発した送受信機本体を人体表面上のセンサノードとして使用することはその大きさから困難であるため、小型アンテナをケーブルで繋ぎセンサノードとして取り付ける方法を検討し、動的シナリオの測定に対応するためにリュクサックなどに収納しケーブルの引き回しを最小限にした。

加速度センサと評価系の構築：RF センサ(伝搬路測定)に加えて加速度センサをセンサノードに搭載し電波と加速度の同時測定を目指したが、加速度特性はスマートホンを用いて取得し性能評価を行った。モーションキャプチャ環境(Xbox Kinect を想定)を構築した

(2) 信号設計と伝搬路測定法の開発：人体状態の同定に必要な情報が容易に取得できる測定用信号を、実用性を考慮して狭帯域信号と広帯域信号に分けて検討し、狭帯域CW信号を用いて伝搬損失の時間変動から特徴量を抽出する方法を開発した。評価のために、伝搬路の相反性により、コーディネータノードから測定用信号を送信し、各センサにおいて同一時間に受信された信号を用いて伝搬路推定(伝搬損失時間変動の取得)を行った。

(3) 信号処理手法の開発：伝搬路の時空間特性である受信レベル変動や、Doppler 周波数と相関時間、レベル交差率などの統計情報から得られた特徴量に対して、機械学習処理を行い人体状態の同定する方法を開発した。

(4) 測定による評価：H26 年度に開発した測

定計を用いて様々な動作シナリオでのマルチリンク伝搬路測定を繰り返し行いながら、同定手法の開発と評価を行った。伝搬路特性だけでなく、加速度センサの物理情報を用いる場合と、両方を混用する場合の効果についての評価も実施した。9つの動作シナリオに対して実施した評価では、加速度センサを用いた場合、約76%の識別率となったが、本手法(伝搬路情報を用いる方法)により、約80%の識別率が得られた。

#### (5) 伝搬路の時空間特性による人体の状態の同定法の確立

信号処理手法の開発：2年目に確立した伝搬路測定法を用いてコーディネータノードから測定用信号を送信し、各センサにおいて同一時間に受信された信号を用いて伝搬路推定を行った。伝搬路の時変動特性である受信レベル変動から抽出した特徴量を用いて人体状態を同定する手法を開発した。測定された受信レベル特性には、アンテナと回路の特性を含んでおり、純粹に人体の影響のみを含んだ伝搬路の特性を得ることができないため、機械学習法(決定木)に基づく信号処理手法が適していることを確認した。

測定による評価：初年度に開発した測定系と2年目に確立手法を用いて様々な動作シナリオでのマルチリンク伝搬路測定を繰り返し行いながら、同定手法の開発と評価を行った。伝搬路特性だけでなく、加速度センサの物理情報を用いる場合と、両方を混用する場合の効果についての評価を行った。その結果、静的な動作において提案手法が従来の加速度センサを用いる方法より優れていることが確認できた。

#### (6)人体の状態による伝搬路状態の分類とモデル化

人体の状態と伝搬路状態の関係付け：人体の状態と伝搬路状態との関係を調査し、人体の状態の同定から逆に伝搬路状態をもっとも支配的な特徴量あるいは伝搬パラメタで分類する方法を開発した。これは、通常の無線システムにおける伝搬路推定とは異なり、人体の状態を総合的に表すもので、BANにもっとも適した情報になることを期待できる。伝搬路状態のモデル化：伝搬路状態の具体的なモデル化を行った。高効率・高信頼性の実現の観点から、IEEE標準で規定されているスター型ネットワークの直接通信あるいはマルチホップ通信モデルを用いてコンテキストウェア通信の有用性を示した。

#### 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1件)

Sukhumarn Archasantisuk, Takahiro Aoyagi,

Tero Uusitupa, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Human Motion Classification Using Radio Signal Strength in WBAN, IEICE Transactions on Communications, 査読有, Vol.E99-B, No.3, pp. 592-601, Mar. 2016.

##### [学会発表](計3件)

市川裕貴, 金ミンソク, BAN コンテキストウェア通信のための伝搬路特性を用いた人体動作の同定法の一検討, 電子情報通信学会 技術報告書, MICT2016-74, 大分県別府市花菱ホテル, 2017年1月20日

黒瀬拓人, 岩田樹, 黒川雄介, 金ミンソク, 重信佐々木, ソフトウェア無線機を用いた2.4GHz帯の電波伝搬路測定装置の開発, 電子情報通信学会 技術報告書, SR2016-64, 大阪府大阪市大阪大学 中之島センター, 2016年10月27日

Sukhumarn Archasantisuk, Takahiro Aoyagi, Minseok Kim, and Jun-ichi Takada, "Transmission Power Control in WBAN Using the Context-Specific Temporal Correlation Model," The 27th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2016), Valencia, Spain, Sept. 5, 2016.

##### [図書](計1件)

Sukhumarn Archasantisuk, Takahiro Aoyagi, Tero Uusitupa, Minseok Kim, Jun-ichi Takada, Wearable Technologies and Wireless Body Sensor Networks for Healthcare, IET Book (in press)

##### [産業財産権]

出願状況(計 0 件)  
取得状況(計 0 件)

##### [その他]

<http://eng.niigata-u.ac.jp>

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

金 ミンソク (KIM, Minseok)  
新潟大学・自然科学系・准教授  
研究者番号：40467030

##### (2)研究分担者

青柳 貴洋 (AOYAGI, Takahiro)  
東京工業大学・工学院・准教授  
研究者番号：10302944

##### (3)連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4)研究協力者

( )