

(1) 研究題目

※スペースが足りない場合は、枠を追加いただいて構いません。

生体と電磁波の相互作用に基づくセンサ・通信・制御の統合最適化とスマートホーム基盤技術への応用

(2) 本研究の期間

(西暦) 2021年4月 ～ 2023年3月

(3) 本研究の成果と今後の課題

研究の目的

日常生活の基盤となる「家」を、情報通信・センサ・AI 技術などを駆使して快適な空間に近づける「スマートホーム」という考えがある。例えば空調やロボット掃除機などの家電をインターネットに接続し家の内外からスマホで操作したり、センサで検出したユーザの情報に基づきドアの鍵や照明を自動制御したり、スマートホームが対象とするシステムは家に関連するあらゆるものに及ぶ。これらの機能を実現する IoT 家電は既に数多く製品化されており、人々の暮らしを確実に豊かにしている。一方で、スマートホームという巨大システムの一部である各種 IoT 家電の設計思想は統一されておらず、家電ごとに異なる設定や操作が必要となり、ユーザビリティを低下させる原因となっている。本研究では、生活空間である「家」内のシステムに必ず人(ユーザ)が介在することに注目し、生体と電磁波の相互作用を用いてセンシング・通信・制御の異なるレイヤの技術を統合的に最適化し、次世代のスマートホーム基盤技術の創出を目指す。具体的には、人体周囲に生じる電磁界の応答を利用してユーザの生体信号や行動を検出、人体を介して検出情報を伝送し、家電や IoT 機器を自動制御する技術を開発する。そして開発された技術を通して、生活の基礎として人々が最も長い時間を過ごすであろう「家」を、居住者の立場から真に快適な空間に近づけることこそが、本研究の大きな目標である。

研究の成果

① スマートホーム構成システムの動向調査

まず現在のスマートホームを取り巻く最新の状況を調査し、利用を想定している家電や各種システム、操作方法、通信方法、規格などについて調査した。例えば住宅設備機器などを総合的に扱う LIXIL は、スマートホームに関連する家電およびシステムを統合的に制御するプラットフォームを発表し、2021年7月から販売を開始した。このプラットフォームには照明、エアコン、カメラなどの家電および、シャッター、給湯器、分電盤などの建材類も含むことが特徴である。ただし、その制御や通信については自社製品のみを対象とした独自仕様(アプリ)となっており、あらゆるスマートホーム関連機器・システムを統合的に扱うことを目的にはしていない。一方、世界的な動向としては、2021年5月に米国の Connectivity Standards Alliance (CSA)がスマートホームの新規格である「Matter」を発表した。Matter は各メーカーが独自に開発するスマートホーム機器の安全性と信頼性を担保しつつも、機器間の互換性を維持して利便性を阻害しないことを目的に立ち上げられた。現在 CSA には、Apple や Google を含む米国の IT 企業を中心に 300 社程度が加盟しており、今後のスマートホーム規格の本命になると考えられる。2022年10月時点で CSA はスマートホーム規格として「Matter 1.0」を正式にリリースすると同時に、グローバル認証プログラムを立ち上げた。このような状況であるが、日本国内企業はほとんど CSA に加入しておらず、スマートホーム規格について世界的な標準規格からの乖離が心配される。一方、スマートホームおよび Matter に関する情報は日本国内の関連展示会 (CEATEC, ワイヤレス・テクノロジー・パーク等) でもいくつかの企業から積極的な公開が行われており、今後どのように規格統合を進めていくのか注視が必要である。

※本書式に基づき収まるよう、本文は原則 10.5 ポイント以上の文字にてご記載願います。

② 電磁界変化に基づくユーザ位置検出

各種の家電を適切に制御するには、ユーザの位置や行動を高精度に検出することが重要である。例えば新型コロナウイルス感染症の接触確認アプリでは、ユーザ間の近接検知（つまり距離計測）に、Bluetooth Low Energy (BLE)の受信信号強度を用いている。しかしBLEは2.4 GHz帯の放射電磁界を利用する通信技術であるため、周囲の電磁環境によって電波伝搬は複雑となり、計測距離には著しい誤差が生じる。また、構造物や人体による信号減衰も無視できないほど大きい。このため、現実的には数 m 前後の計測精度しか確保できないと考えられる。本研究では、屋内環境で数 cm～数 10cm 誤差程度の位置特定を可能にするため、ユーザがリーダ端末や IoT 家電(およびこれらと電氣的に接続された壁、床、家具)などに触れたことを、人体周囲に生じている電磁界の微少な変化から検出する手法の開発を目指す。今回は、人体の手首部分で高周波信号を励振した場合の、周囲の電磁界分布について数値電磁界解析を用いて検討した。人体モデルとして、国立研究開発法人 情報通信研究機構から提供を受けた詳細人体モデル TARO を用いた。完全導体の電極を通して、左手首部分で信号を励振した。励振源の内部インピーダンスは 50Ω とし、インピーダンス整合は考慮していない。周波数による位置検出精度の差を比較するため、10 MHz および 920 MHz の 2 つの信号周波数を検討した。10 MHz は人体通信での利用が多数検討されていること、920 MHz は特定省電力無線として既に普及しており機器の入手が容易であることから、それぞれ採用した。図 1 にモデル周囲の電界分布を示す。図からわかるように、10 MHz では人体周辺に生じた電界は、人体から離れるにしたがって急激に減衰している。一方で、920 MHz では解析空間内で複雑な伝搬をし、定在波が生じている様子も確認できる。この結果から、10 MHz 程度の周波数で励振された人体周囲の電界強度をスマートホーム内に設置されたセンサで検出することで、数 cm～数 10cm 誤差で、高精度にユーザ位置を検出することが可能と考えられる。現在は、電磁ファントムによる検証実験を並行して行い、実験的に人体周囲の電界センシングおよび位置検出が可能であるか確認中である。

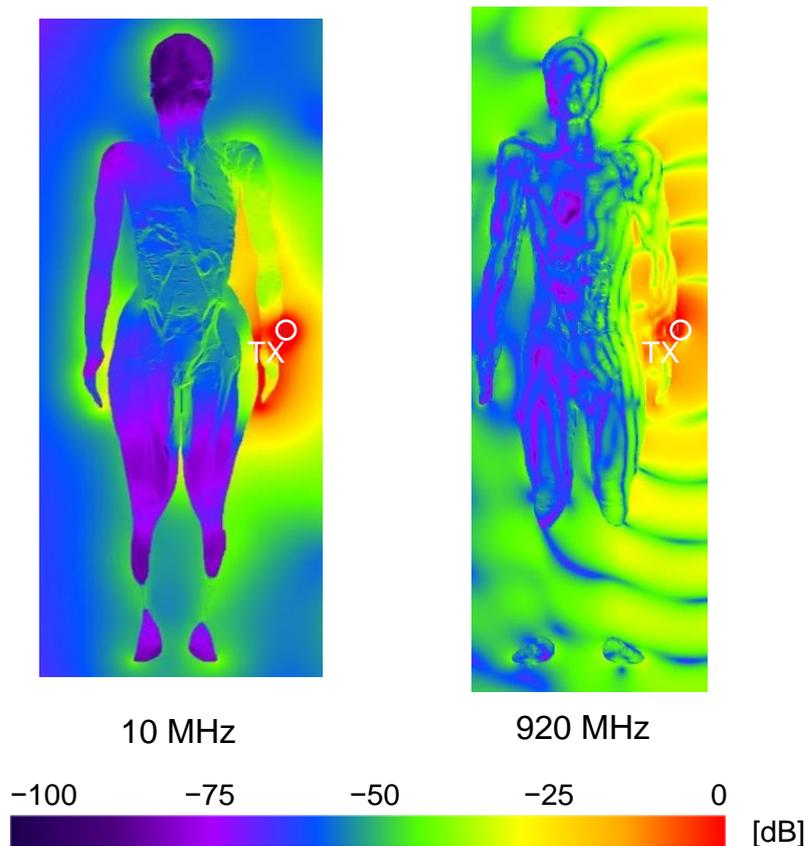


図 1 人体モデル周辺の電界分布（10 MHz および 920 MHz）

③ 生体インピーダンスに基づく操作・入力機能の向上

スマートホーム内の家電やシステムを直接する、あるいはスマートフォンアプリを介して操作する際、操作性の向上は重要である、一方で機器の小型化や搭載できるセンサ類の制限により、操作性には一定の制限がある。本研究では、②で示したユーザ位置検出の励振源やセンサを共用して機器の操作性や入力機能を向上させる手法として、生体インピーダンスに基づいて機器を操作する指の種類を識別する方法を提案する。機器を操作する指の種類を識別できれば、指によって異なる機能を付与でき、多種多様なスマート IoT 家電を本当の意味でスマートに操作することに繋がると考えられる。今回は、ユーザがスマートフォンを左手で把持し右手で操作する状況を想定し実験を行った。左手の親指付け根と右手の各指の腹にそれぞれ電極を接触させ測定したインピーダンスを生体インピーダンス（以降 Z_{bio} ）として評価に用いた。なお、電極と人体の接触状態による Z_{bio} 変動を考慮し、測定は 16 回連続で行い、その平均値を評価に用いた。図 2 に測定した各指の Z_{bio} 特性を示す。測定した 4~10 MHz の全帯域にわたり親指は他の指に比較して小さな Z_{bio} を示した。一方、親指以外の 4 本の指の Z_{bio} は、全体的には人差指、中指、薬指、小指の順で大きくなったが、7 MHz 超の周波数では人差指と中指の特性はほとんど同一となった。これは親指が他の指に比較して太く短いのに対し、親指以外の指では太さや長さに明確な差がないことが理由と考えられる。この結果から、適切な周波数を選択する前提で、小型機器に搭載可能な精度のインピーダンス測定回路でも指を識別の識別を十分実現できると考えられる。

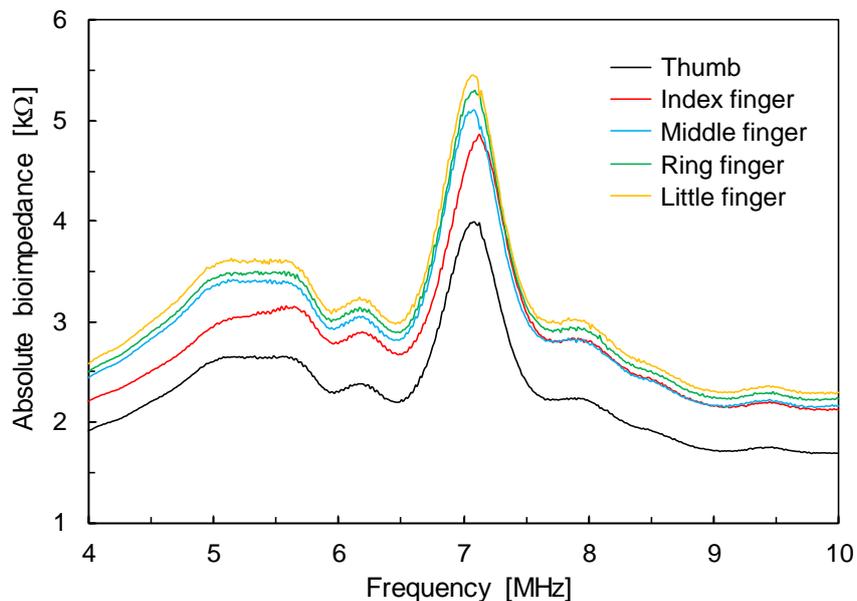


図 2 各指のバイオインピーダンスの周波数特性

まとめ

本研究では、生体と電磁波の相互作用に基づいたスマートホーム基盤技術の創出に向け、スマートホーム構成システムの動向調査、電磁界変化に基づくユーザ位置検出、生体インピーダンスに基づく操作・入力機能の向上などについて検討した。今後は個別の項目について継続検討を行い実用化レベルに達することを目標とする。さらに、個別技術を統合し、次世代スマートホームの基盤技術として整備することを最終目標として検討を進めていく予定である。