

# 電子コンパスとコイルを用いた超低周波磁界による通信手法 対話する家具への応用の試み

石郷 祐介<sup>1</sup> 小林 孝浩<sup>1</sup> 渡辺 充哉<sup>2</sup> 森 誠之<sup>2</sup> 成瀬 哲哉<sup>3</sup>

**概要:** 地磁気センサとコイルを用いた超低周波磁界による通信手法を提案する。超低周波磁界は、身体を透過しやすく、到達範囲を限定しやすいため、生活空間において人の行動を検出する手法として活用することができる。特に、本研究では家具近傍の領域検出手法としての応用を考える。まず、椅子において座った際に情報を提示するシステムを想定して要件を定義した後、関連する各種技術との比較を行った。次に、通信プロトコルの規定、提案手法の静的・動的特性の検証実験を行い、その上で応用可能性として家具とひととの新しい関係性について検討した。

## Proposal and Implementation of Communication via Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields using an Electromagnetic Compass and Coil

ISHIGO YUSUKE<sup>1</sup> KOBAYASHI TAKAHIRO<sup>1</sup> WATANABE MITSUYA<sup>2</sup> MORI MASAYUKI<sup>2</sup>  
NARUSE TETSUYA<sup>3</sup>

**Abstract:** We propose a method of communication via extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields using an electromagnetic compass and coil. ELF electromagnetic fields can be utilized as a method for detecting human behavior in living spaces because they pass through the human body. In particular, we apply this proposed method to detect human behavior neighborhood furniture. We first define the requirements for the system that provides information to the user when the user sits on a chair. After that, we compare the proposed method with related methods. Next, we carry out the stipulation of the communication protocol, conduct verification experiments for static and dynamic characteristics, and examine the possibility for new relationships between furniture and people.

### 1. はじめに

生活空間におけるシステムのインタフェースをデザインすることにおいて、ひとと家具との関係性を考えることは重要な要素のひとつである。

ひとはライフスタイルに応じて、生活空間に多数の家具を配置して、家具を中心に生活を行う。例えば、ダイニングルームのテーブルで食事し、作業はデスクで行い、テレ

ビはソファで見る等、ひとの活動を家具を中心にすることで、生活における行動をおおまかに分類することができる。そこで、特定の家具に対するプリミティブなアクション(「机に物を置く」「椅子に座る」等)をトリガーにして、身につけているデバイスを動作させることができれば、より生活コンテキストに合わせたシステムをデザインすることが可能になる。

近年、電波を用いた領域検出技術が、屋内において、ひとの行動を計測する技術として用いられることが多い [1]。しかし、椅子のように身体が密着する可能性の高い家具に電波発信機を設置した場合、発信源を身体で覆ってしまう場合があり、電波が受信機まで届かずに、最も近くにあるにもかかわらず検出することができないといった問題が

<sup>1</sup> 情報科学芸術大学院大学  
Institute of Advanced Media Arts and Sciences

<sup>2</sup> 株式会社 GOCCO.  
GOCCO, Inc.

<sup>3</sup> 岐阜県生活技術研究所  
Gifu Pref. Research Institute for Human Life Technology

ある。

本研究では、超低周波磁界 [2] を発生させるコイルと、スマートフォンで電子コンパスとして利用されている地磁気センサを用いた、磁界による通信手法を提案し、それを領域検出手法として応用する。本提案による通信は、設置や初期設定が容易に行え、前述した従来の検出手法では難しいとされるケースを解決することができる。本論文は、まず関連手法の特性検証を行い、次に提案手法のシステム構成、通信プロトコルを説明する。また、その上で静的・動的条件におけるデコードの正誤率実験、家具展示会での試作の展示を報告し、最後に本研究の応用可能性として生活空間における家具とひととの新しい関係性の構築の可能性について示す。

## 2. 関連技術

領域検出手法は現在までに多数考案されている。本項では、複数の椅子のうち、どの椅子に座ったのかを複数のスマートフォンが個別に認識し、それに対応した情報を提示するシステムを想定して、以下の要件を挙げた。なお、体験者は、あらかじめ専用のアプリケーションを起動した状態のスマートフォンを所持していることを前提とする。

- (1) 椅子の外見を大きく変化させない
- (2) 「座る」以外のアクションを必要としない
- (3) 任意の数の特定領域 (50cm ~ 100cm) に入ったことを、各スマートフォンが個別に識別することができる
- (4) サービス規模に適した価格で設置できる
- (5) 設置や動作設定が容易に行える

以上の要件により、Wi-Fi 等の電波を発信する基地局を部屋に設置して測定する手法や、部屋に複数のカメラを設置し空間上の絶対位置を測定する手法は、家具の再配置が行われる可能性を考慮し、5の条件を満たせないと考えられたため、本研究の比較検証からは除外した。

### 2.1 電波による領域検出

Apple Inc. の発表した Bluetooth Low Energy (BLE) による位置検出技術「iBeacon」を用いて検証を行った。「iBeacon」は、ビーコンと呼ばれる BLE 発信機を設置した周辺領域を、iOS デバイスで一意的に認識できるサービスである。また、Bluetooth の届く約 50m の範囲で、ビーコンと iOS デバイスとの相対距離を「Immediate」「Near」「Far」の 3 段階で取得できる [3][4]。

検証実験では、ビーコンを椅子の座面裏に設置し、iPhone を持ったユーザが座った際に、それを領域判定で認識することができるか否かを検証した (図 1)。

これについて実験したところ、次のような不具合が発生した。まず、2 つのビーコンを 100cm 離して設置した場合、一方のビーコンから 60cm 上方での強度判別が行えなかった。そこで、ビーコン上方以外は電波強度を減衰する



図 1 ビーコン設置イメージ

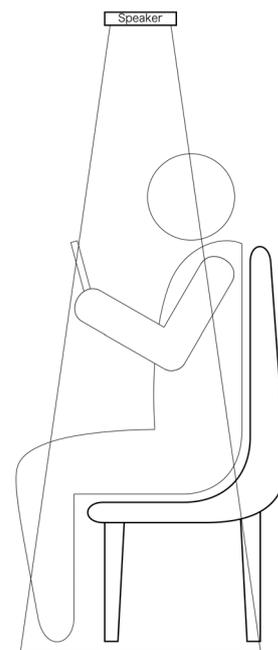


図 2 スピーカ設置イメージ

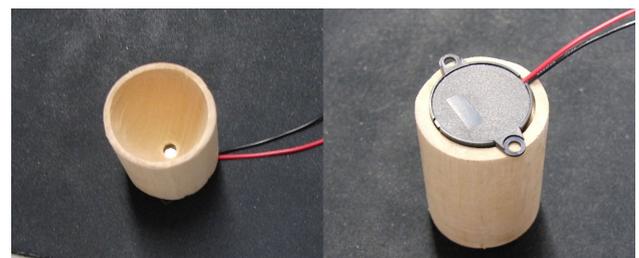


図 3 ホーン形状

構成として実験をしたところ、判別が可能になった。しかし、椅子に取り付け着座して計測したところ、ひとの大腿部により電波強度が著しく減衰したため、正しい判別がなされなかった。

## 2.2 音波による領域検出

ひとの耳には聞き取りにくい高可聴域音を利用したDTMF通信による無線通信技術が研究されている[5]。これを用いた実験として、椅子に座る人の頭上(または前面)にスピーカを設置し、音波の指向性を利用して、特定領域に存在するスマートフォンに信号を送信できるかを検証した(図2)。スピーカのホーン形状は、指向性を持たせるような設計を行った(図3)。

検証実験では、一定の指向性は得られたが、受信側での符号の分離が充分ではなく、音波の反射による誤作動やスマートフォンの姿勢によっては音波を正確に受信できないという課題が明らかになった。さらに、設置する空間の構造によっては、スピーカの設置そのものが困難という場合もあり、本研究では本手法を見送る判断をした。

## 3. 磁界による通信の仕組みと特徴

本研究で提案する磁界通信は、送信機から発生させた超低周波磁界に識別信号を載せ、それを受信機側の地磁気センサでセンシングし解析することで通信を行う。送信機は、磁界を発生させるコイルと制御回路によって構成され、受信機は、スマートフォン等に内蔵されている地磁気センサと解析プログラムからなる(図4)。なお、受信側には、複数のコンテンツを用意し各識別信号に応じて再生する。

磁界の特徴としては、身体を透過しやすいことが挙げられる。そのため、身体が密着する可能性が高い家具に埋め込んだ場合でも、通信への支障が起こる可能性が少なく考えられる。また、コイルの上方、側面における磁束密度は、コイルから離れた状態で距離の3乗に反比例して減衰していくため、局所的な通信の設計を行いやすい性質を持つ。

また、近年のスマートフォンには地磁気センサが内蔵されており、専用の外部機器を付ける必要がない。さらに、地磁気センサを内蔵した回路であれば、スマートフォンに限定されず、同様に通信を行うことができる。

なお、本通信は基本的に50cm~100cmでの使用を想定している。それ以上の距離では磁界が強くなり過ぎ、健康への影響が考えられるためである。本研究では、国際非電離放射線防護委員会(ICNIRP)のガイドラインに則して、1~3 Gauss程度の磁束密度で通信を行っている。

## 4. 通信プロトコル

送信側では、規定した複数の周波数磁界を一定時間(t秒)ごとに变化させ発信する(図5の1参照)。受信側で

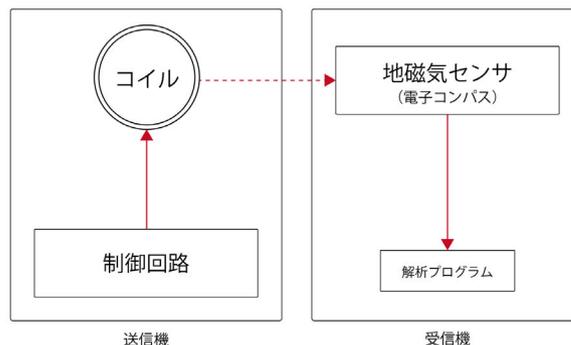


図4 システム構成

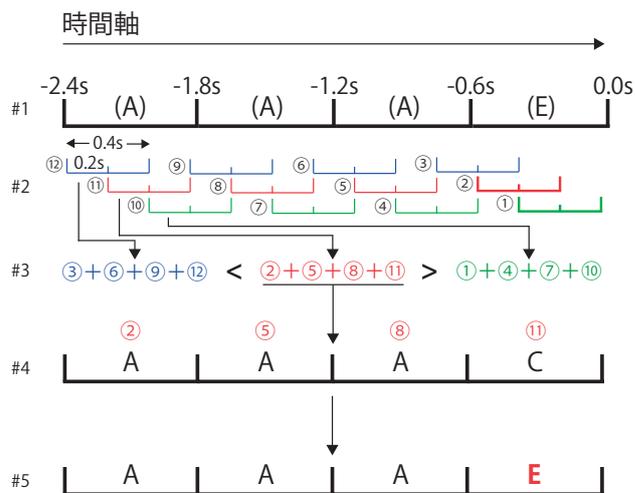


図5 デコードの仕組み

は、地磁気センサから取得したXYZの3軸それぞれの値を、一定時間(u秒)ごとに高速フーリエ変換(FFT)し、取得した周波数の組み合わせから符号を特定する。本実装では、 $t=0.6$ とし、uは $u < t$ である必要があるため、FFTのフレームサイズを16と設定した( $u \approx 0.4$ )。送信機から発信する磁界の周波数は、試作環境であるiPhone5(iOSバージョン7.0)の地磁気センサの更新間隔が平均26ミリ秒(サンプリング周波数38.4Hz)であったことと前述したFFTのフレームサイズから、基本周波数を2.4Hzとし、その1~4の整数倍の周波数4つを採用した(以下、それぞれをA、B、C、Dと呼ぶ)。さらに、磁界を発生しない時間を設け、区切り信号とした(以下、Eと呼ぶ)。そして、以上の信号の組み合わせから、例えばAAAを符号番号0、AABを符号番号1とするような6ビットの符号形態を定義した。

iPhoneの地磁気センサのサンプリング周期が揺らぐことから、プロトコルの設計においては送受信間での同期を必要としないことを考慮した。前述でFFTのフレームサイズを16としたが、8サンプルずつずらして(つまり、前半の半分は前回のFFTで使用したサンプルの後半と同一)FFTすることで、3回のうち最低一度は信号をまたがない

サンプルを得られるようにした(図5の2参照)。信号をまたいでいるかどうかの判定は、次のように行った。まず、ある時点までのFFT結果12個について、最大の信号強度と第2位の信号強度の比をそれぞれに求める。そして、これらについて、過去に向かって2つおきに4つ合計した値を、①、②、③それぞれを開始位置として、3通り計算する。これらは、信号の同期ずれを無視すれば、各信号の同じ位置での信号比の合計である。ある瞬間での信号比は、信号の混じり合いがないほど高い数値を取るため、サンプル位置をずらした3つの中から合計値が高い箇所が「信号間をまたいでいない瞬間」であるものと推定し、符号の解析対象として採用する(図5の3参照)。信号は、それらのFFTの結果の信号強度から最も高いものとする(図5の4参照)。区切り信号Eの判定は、4つのFFTの結果の中から最も無符号らしいものを次のように推定して決定する。各信号強度の合計と最も高い信号強度の比から算出した係数を、4つの符号区間についてそれぞれ求め、最も係数が高かったものとしている(図5の5参照)。また、Eを求めるために使用した係数が、一定の閾値を2回以上超えた場合は信号を受信していない状態として、符号解析を行わない。加えて、今回は領域検出の手法のための通信としているため、送信機からは同じ信号が繰り返し発信されているとして、解析した信号列を巡回してマッチングしている。

さらに、FFT結果の各信号強度には、iOSデバイスごとに特性が見られたため、それぞれのデバイスで固有の補正を行っている。

## 5. 検証実験

提案手法の静的および動的特性について検証した。検証に使用したコイルは直径30cm、太さは0.6mm、160回巻き、電圧5Vの矩形波で駆動させた。なお、発信する符号は「ADB」で固定した。

静的特性の実験として、コイルから受信機(iPhone5)を水平方向、垂直方向に移動して、静止状態でそれぞれ100回ずつデコードを行い、正しく符号を解析できたかを計測した。実験では、水平方向75cm、垂直方向50cmまでは、90%以上の正確さでデコードすることができた。また、水平・垂直ともに75cmを超えたところから、正解率が急激に下がるという結果が得られた(図6)。

次に、動的特性の実験として、150cm離れたところから、約3秒の時間で水平にコイルに近づき、コイルの上方60cmで静止した後、正しい符号を取得するまでの時間を検証した。実験では、平均1.8秒(最短0.6秒、最長2.4秒)という結果が得られた。1符号を送信するための時間2.4秒(ひとつの信号送信時間0.6秒×符号長4)よりも早く符号の取得が行えていることから、受信機の静止以前から信号を正しく受信している場合があることを示している。

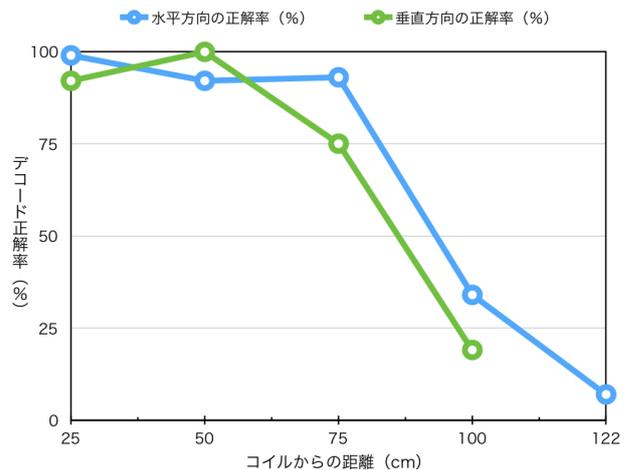


図6 距離に対するデコード正解率

## 6. 試作展示

本論文の提案手法の応用のひとつとして、家具展示会で来場者が使用するアプリケーションを開発し、家具製品展示会「2014 飛驒の家具フェスティバル」にて5日間(平成26年9月10日~14日)展示を行った。(図7、図8)。来場者は、貸し出されたiPad miniを手に持ちながら、送信機を座面裏に取り付けた椅子に座ることで、その椅子の情報(製品名、メーカー名、デザイナー名、概要等)を閲覧することができる(アプリケーションの画面については、今回は家具メーカーの許可を得られなかったため掲載しない)。送信機を設置した椅子は2脚用意し、100cm離して配置した。

体験者は約50人で、一般来場者も対象であったが、家具メーカーの関係者が多かった。体験した家具メーカーの関係者からは以下のような意見が聞かれた。

- 座るというアクションで情報が提供されるのは興味深く、ポップ等でなく手元で情報が閲覧できるのは良い
- ショールーム全体での使用だけでなく、小規模なコンセプト展示や新作発表など、脚数は少ないが、お客様に説明する情報が多い場合に使用してみたい
- ポップ等が不要になるので、ショールーム内がすっきりし、展示方法にも幅が出ると思う。電源の取り扱いと価格次第で導入してみたい
- アプリケーションにTwitter、Facebookとの連携機能があれば良いと思う

今回の試作アプリケーションでは、1符号を送信するための時間は2.4秒であったが、コンテンツが表示されるまでの遅延時間を気にした意見は聞かれなかった。



図 7 展示風景



図 8 体験の様子

## 7. おわりに

本論文では、スマートフォンに内蔵されている地磁気センサとコイルを用いて、超低周波磁界による通信を提案し、領域検出手法に応用した。そして、応用のひとつとして家具展示会で使用する製品情報提示システムを試作した。それにより、コンテキストに合わせて動作するシステムに活用できる可能性を示した。

試作システムでは、椅子に合わせて、あらかじめ決められた情報を提示するのみだったが、「椅子に座る」というアクションからユーザの製品に対する興味度を推測して、来場者ごとに製品をレコメンドすることも可能であり、発展形のひとつとして考えられる。

第1章では、家具はひとの生活に密接に関わっていると述べた。その上で、近年のスマートフォンにインストールされているエージェント機能に、ユーザが現在どの家具の近くにいるのかという情報を加えることで、より少ない言葉から精度よくユーザの求めている処理を行うことができると考えている。また、同時に家具自体をエージェント化することも考えられる。例えば、前述のレコメンドシステ

ムの場合では、椅子同士が連携し、自身の特徴から別の椅子を互いに薦め合うようなシステムを考えることができる。他にも、クローゼットから服を取り出す際に過去に着た服の組み合わせを提示したり、席を立った際に机に忘れ物があると教えてくれる等、家具が単なる調度品からエージェントへと変化することで、生活空間の情報の在り方を変えるシステム設計が可能になる。本提案手法である領域検出を用いた生活空間における家具のエージェント化への応用を、今後の研究課題としたい。

## 参考文献

- [1] 橋本佳幸, iOS 位置情報プログラミング iBeacon/GeoFence/Navi/CoreMotion/M7 の理解と実践 (2014).
- [2] 環境省環境保健部環境安全課, 身のまわりの電磁界について (2014).
- [3] Apple Inc, 位置情報とマッププログラミングガイド (2014).
- [4] Apple Inc., CLBeacon Class Reference [https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CLBeacon\\_class/\(2014/11\)](https://developer.apple.com/library/ios/documentation/CoreLocation/Reference/CLBeacon_class/(2014/11)).
- [5] 清水基, 平林真実, Clemens Buettner, 赤松正行, 高可聴闊音を利用した DTMF 通信によるパフォーマーと観客のインタラクションの実現 (2012).