

報告番号	甲 第 13727 号
------	-------------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 回転磁石マーカによる動的磁場を用いたスマートデバイスの位置推定手法
(A Smart Device Positioning Method using a Dynamic Magnetic Field by a Spinning Magnet Marker)

氏 名 渡邊 康祐

論 文 内 容 の 要 旨

スマートフォンやスマートウォッチに代表されるスマートデバイスの登場によって個人が各種センサを持ち歩く時代が到来し、デバイス所持者一人一人の周辺環境のデータ取得が可能になった。例えば、スマートフォンには加速度センサや地磁気センサ、気圧センサなどのセンサが搭載されており、デバイス所持者のコンテキスト推定や行動認識などに利用されている。

スマートデバイスによるセンサデータの代表的な活用例として、位置情報を利用したサービスがある。屋外における位置情報の多くは GPS (Global Positioning System) をはじめとする GNSS (global navigation satellite system) によって取得され、屋外での誤差 50cm~5m のデバイスの位置推定を可能にした。人工衛星からの電波を利用した屋外での位置推定は、人工衛星からの電波が著しく減衰する屋内や地下などの空間では位置推定の精度が低下、もしくは利用そのものが困難になるため、屋内環境におけるデバイスの位置情報を取得するための様々な手法が提案されている。

スマートデバイスを誤差 10cm 以下の精度で位置推定が可能になれば、他の技術と組み合わせることで新たなサービスを創出できる。実現可能なサービスの例として、ワイヤレス給電伝送が考えられる。現在研究されているワイヤレス給電伝送には非放射型と放射型の 2 種類が存在し、給電可能な電力が放射型より多いことから、現在は非放射型の方が多く用いられている。しかし、非放射型の手法は給電側と受信側のコイルの位置ずれに弱く、高精度屋内位置推定によってワイヤレス給電伝送が効率化すれば、デバイスに搭載するバッテリーの

サイズの小型化や、屋内に設置した小型センサの定期的なバッテリー交換が不要になると期待される。またデバイスの位置を高精度で推定できれば、指向性のあるパラメトリックスピーカーを利用して、特定の人物や特定の領域に滞在している人へのピンポイントな音声情報の伝達が可能になる。例えば、大きな音を発生すべきでない深夜での音楽鑑賞や、病院での音声による情報伝達に利用できると考えられる。また騒音と逆位相の音波を発生させるノイズキャンセル技術、いわゆるアクティブノイズキャンセルが研究されており、もしデバイスの高精度位置情報が利用できれば、デバイスの周辺領域でのピンポイントなノイズキャンセルがパラメトリックスピーカーを用いて可能になると考えられる。

現在様々な位置推定手法が提案されているが、スマートフォンのように既に普及したスマートデバイスの高精度位置推定を実現する手法は存在していない。既存の位置推定手法で高精度かつ遮蔽物の影響を受けにくい手法の一つとしては動的磁場を用いた手法がある。しかしながら、動的磁場を用いた既存手法では十分な強さの磁場を生成するために 1kHz 以上の動的磁場を発生させるか、コイルの大きさを 1m 以上にするなどの工夫が必要であった。そのため、その利用例は工場や倉庫などの一部の環境に限られている。

動的磁場を用いたスマートデバイスの高精度屋内位置推定実現のために、本論文では以下の三つの貢献をした。

- ・安価な磁気センサで計測可能な動的磁場を発生させる装置の開発
- ・単一周波数の動的磁場を用いたデバイス静止時の 3 次元位置推定手法の提案
- ・低周波の動的磁場を用いたデバイス移動時の経路推定手法の提案

以下、それぞれの貢献について述べる。

本論文の一つ目の貢献は、スマートフォンのような既に普及したデバイスに搭載されている安価な磁気センサでの高精度位置推定を可能にする回転磁石マーカの開発である。スマートデバイスの磁気センサはサンプリング周波数が 100Hz 程度であるため、推定に利用する動的磁場の周波数はサンプリング定理から 50Hz 以下である必要がある。そのため本研究では回転磁石マーカを開発し、10Hz 以下の周波数の動的磁場を発生可能かつ、高精度位置推定のために磁石の回転角を制御可能な装置を開発した。図 1 は本研究で開発した回転磁石マーカである。回転磁石マーカによってスマートフォンのように普及したデバイスに搭載されている安価な磁気センサでも計測できる動的磁場の発生が可能になった。



図 1 : 本論文で開発した
回転磁石マーカ

本論文の二つ目の貢献は、単一周波数の動的磁場のみを用いて、静止しているデバイスの3次元位置を推定する手法の提案である。既存の動的磁場を用いる手法では3軸コイルによって異なる三つ以上の周波数を発生させて推定に利用するが、回転磁石マーカでは単一周波数の動的磁場しか発生できないため、既存のコイルによる手法を利用できない。本論文ではこの課題を解決するため、回転する磁石が空間中に発生させる動的磁場を定式化し、任意の空間座標と磁場ベクトルの関係式を導出した。これによって、回転磁石マーカが発生させる磁場を用いたデバイスの3次元位置推定が可能になった。図2は本論文で提案した回転磁石マーカを用いた位置推定手法のイメージである。特定の場所に設置した回転磁石マーカを原点として、3次元極座標でのデバイスの位置を推定する。評価実験の結果、回転磁石マーカから半径3m以内の領域でデバイスの3次元位置を誤差10cm以下で推定可能であった。

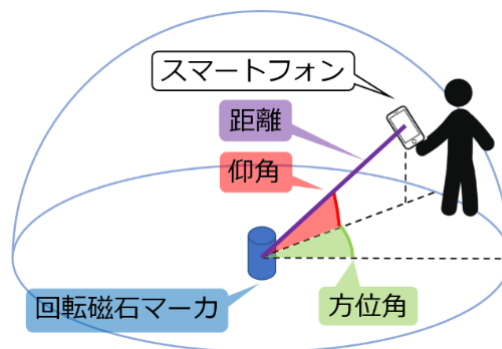


図2：回転磁石マーカを用いた位置推定のイメージ

本研究の三つ目の貢献は、単一周波数の動的磁場のみから移動しているデバイスの経路を推定する手法の提案である。既存手法では1kHz以上の動的磁場を用いているため、動的磁場の周期ごとに計測する磁場はデバイス静止時と同じであるとみなせる。しかし、スマートフォンの磁気センサで計測可能な磁場は最大で数10Hzであるため、動的磁場の周期に対するデバイス所持者の移動速度の影響を無視できない。デバイスが移動中に計測する磁場は静止時とは異なり非周期的になるため、デバイス静止時とは異なる推定手法が必要になる。本研究では、回転磁石マーカの磁場の影響下にあるデバイスが移動中に計測する磁場を定式化し、移動中に計測した磁場からデバイスの初期位置と移動速度の推定が可能になった。図3は経路推定の評価実験の様子である。定量的な評価のため、ベルトコンベアを作成し、一定の速度でスマートフォンを移動させて回転磁石マーカの動的磁場を計測した。その結果、回転磁石マーカから半径1m以内の距離で誤差10cm以下の高精度位置推定が可能であった。

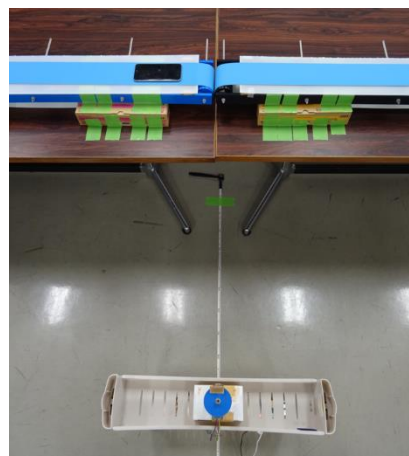


図3：回転磁石マーカを用いた経路推定実験の様子

本論文での研究によってスマートフォンのような一般的に市販されているデバイスでの誤差10cm以下の高精度屋内位置推定が可能になった。スマートデバイスの高精度屋内位置推定の普及によって、前述のワイヤレス給電伝送やパラメトリックスピーカーを用いた

ピンポイント音声伝達など、これまでの位置推定手法では困難だった新たなサービスの創出が期待される。

今後の展開の一つとして複数の回転磁石マーカを用いた推定手法の研究が挙げられる。複数の回転磁石マーカを利用すれば、推定可能範囲が拡大できるだけでなく、推定精度の向上が期待される。そのためには複数台の回転磁石マーカが 3 次元空間中に生み出す磁場を定式化し、それらの式とデバイスの位置の関係を導出する必要がある。また他の展開として、計測した磁気データから回転磁石マーカによる動的磁場の影響を抽出する手法の改良が挙げられる。本研究では加算平均や移動平均を用いてノイズを軽減したが、これらの手法では主にランダムなノイズの影響しか軽減できない。一方で信号処理や画像処理の分野では、スパースモデリングを用いたノイズ軽減処理手法や信号復元手法が提案されており、これらの手法を今回計測した磁気データに対して用いれば、より多くのノイズを含んだ磁気データからでも回転磁石マーカの動的磁場を抽出できる可能性がある。