

審査の結果の要旨

氏 名 千葉 昭宏

物体の三次元定位は、工場や倉庫での移動ロボットの制御や屋内ナビゲーション、雪崩や瓦礫に埋もれた人の探索など、広範な応用を有する。本論文は、「双極子回転型電磁場源を用いた三次元定位法」と題し、遮蔽や周辺環境の影響を受けにくい低周波磁場に注目し、位置推定手法の基礎理論、検証実験、および応用システム構築を行ったものであり、全6章から構成されている。

第1章「序章」では、屋内環境における三次元定位の応用と背景を述べ、画像、赤外線、超音波、電波、低周波磁場を用いる従来研究の利点と欠点を整理・比較し、遮蔽や反射の影響の少ない低周波磁場に注目することを述べている。その上で、従来法のように電磁場源とセンサの同期を前提とすることなく、高いSN比で計測可能な量から位置推定する手法を導出することを目的として述べている。

第2章「双極子回転型電磁場源定位の基礎理論」では、水平面内で回転する磁気双極子が生成する磁場を観測し、電磁場源の三次元位置を推定する基礎理論を導出している。回転磁気双極子により生成される磁場は、電磁場源とセンサを結ぶ方向の直線振動と回転振動に分解できることに注目し、観測磁場をフーリエ変換し、磁気双極子の回転周波数成分から磁場の直線振動成分を抽出することで、電磁場源の三次元位置が推定できることを示している。また、電磁場源がセンサの直上に来る場合、もしくは同一平面上にある場合は、磁場の鉛直成分が消えてしまうこと、この場合は磁場の水平面内成分の正負の回転周波数成分を用いることでやはり定位可能であることも示している。本手法は、磁気双極子モーメントの回転の初期位相を知る必要がなく、電磁場源とセンサ間の通信が不要であり、かつSN比の高い計測が可能な周波数成分により、電磁場源の三次元位置が直接、陽に推定できる特徴を有することを述べている。

第3章「双極子回転型電磁場源定位の検証」では、第2章で述べた定位方法の有効性を実験的に検証している。静磁石をモータで回転させる機械式双極子回転型電磁場源と、三軸直交磁気インピーダンスセンサで構成されるセンサユニットを用いた実験により、2m×4m程度の範囲において、誤差100 mm以内での定位を行っている。また移動する電磁場源が追跡可能であること、センサがアルミ板に囲まれていても同精度で定位できること、部屋内の完全に遮蔽されたセンサを用い部屋外の電磁場源が定位可能なことを示している。さらに直交するコイルを用いて等価的に磁気双極子モーメントを回転させる電磁式双極子回転型電磁場源も作成し、機械的な回転の不要な系でも同一原理で推定可能なことも示している。

第4章「電磁場源定位を応用した携帯端末の位置推定」では、瓦礫埋没者の探索や屋内ナビゲーションなど、携帯端末のセンサ座標系が世界座標系と必ずしも一致しない場

合に対し、第2章で述べた電磁場源定位法を拡張し、携帯端末中の加速度センサおよび磁気センサを用いて姿勢を補正して定位する手法を提案している。携帯端末の近辺に磁性体が存在し地磁気が歪んでいる場合でも利用可能にするよう、回転磁気双極子を移動させる、あるいは複数の回転磁気双極子を用いることで姿勢を補正し定位する手法を導出している。瓦礫埋没者の探索を想定した複数のスマートフォンの同時位置推定、および屋内ナビゲーションを想定した複数の電磁場源を用いたスマートフォンの自己位置推定を実験により検証している。また、機械式と電磁式の両方の機構を組み合わせたハイブリッド型電磁場源も提案している。

第5章「電波源の探索」では、比較的長距離の探索を目指した電波源探索について述べている。電磁波のエネルギーの流れを表すポインティングベクトルに着目し、計測した電場ベクトルから磁場ベクトルを計算した上でポインティングベクトルを推定し、エネルギー流の上流に進むことで電波源に到達する手法を提案している。第2章から第4章で述べた、範囲は比較的限定されるが精度の高い低周波の電磁場源定位と、第5章で述べた、範囲は広いが必ずしも精度の高くない高周波電波源探査とを組み合わせることにより、遠距離から近距離まで連続して高精度に探索可能な定位手法を確立するという将来展望を述べている。

第6章「結論」では、本研究の成果がまとめられている。

以上要するに、本論文は、屋内環境での三次元位置推定問題に対し、回転する磁気双極子が生成する低周波磁場を用い、センサ位置で計測した磁場の回転周波数成分を用いて回転磁気双極子の三次元位置を陽に推定する理論を導出し、実験により有効性を実証したものである。高精度計測可能な周波数成分による定位が可能であり、かつ電磁場源とセンサの通信が不要である手法を導いた本論文は、屋内における携帯端末の定位、工場内での移動車定位や、瓦礫埋没者探索など、金属や遮蔽物が多数ある環境下で精確な定位が求められる応用に対する確固とした基礎を与えるものであり、システム情報学に対する貢献が大きいと判断される。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。