

四個の正方形コイルを用いた磁気式モーションキャプチャの方法とその高速化に関する研究

山口, 崇

<https://doi.org/10.15017/462318>

出版情報：九州大学, 2011, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏 名：山口 崇

論文題名：四個の正方形コイルを用いた磁気式モーションキャプチャの方法と
その高速化に関する研究

区 分：甲

論 文 内 容 の 要 旨

物体や人体の動きを観測し、時系列の数値データに変換するモーションキャプチャの技術は、医療分野における3次元計測や運動解析、あるいは人工現実感をともなう対話型の入力装置など、さまざまな応用が存在する。磁気式モーションキャプチャは、位置と姿勢の実時間計測が可能で、死角がなく、低価格であるといった、光学式にない優れた特長をもっている。現状では実用化された磁気式システムの大半はダイポール磁界を用いているが、近年提案されている正方形コイルを磁界源とする方式では磁界計測系の性能への要求がダイポール磁界ほど厳しくないため、磁気式の特長はそのままにさらに安価なシステムを実現できる可能性が高い。特に笹田・森本により提案された方式は6個の正方形コイルを使い、計測に必要な参照磁界の数が少ない点が優れているが、正方形コイルの配置が対象物の移動の妨げになり利便性が損なわれる欠点があった。

本研究は、笹田・森本の方式から2個のコイルを取り除いて利便性を向上した、4個の正方形コイルを用いた磁気式モーションキャプチャの方法を提案し、位置を計測するための原理の構築、および位置を高速に推定するためのアルゴリズムの構築をおこなうことを目的とした。

第2章では、まず、立方体枠に沿って配置した4個の正方形コイルおよび直交3軸磁界センサを用いた磁気式モーションキャプチャの原理を、つぎのように構築した。参照磁界として、2つの準一様磁界と1つの勾配磁界を定義した。つぎに、座標系によらず位置のみにより値の決まる位置関数を、参照磁界ベクトルどうしのスカラー積を用いて定義した。これらにもとづいて、参照磁界をそれぞれ時分割で発生させ、磁界センサで測定された磁界ベクトルを用いて位置関数の値を計算すれば、それらの値を用いてセンサの位置を推定することができる。この位置の推定問題を、第1に、センサの位置を未知数とする非線形方程式系により、第2に、位置を非線形の位置関数の逆関数ととらえることにより定式化した。

第3章では、非線形方程式系による定式化について、まず、磁界の測定誤差の影響を考慮して、これを最小二乗問題として解釈し、その数値解をガウス-ニュートン法を用いて計算する位置推定アルゴリズムを提示した。つぎに、このアルゴリズムについて、計算機シミュレーションをおこなない、つぎのような結果を得た。まず、磁界の計測誤差がないときには、3つの位置関数を用い

て、立方体フレームの中心部に、一辺の長さが立方体フレームの少なくとも 0.6 倍の立方体領域を含む計測領域が得られることと、位置関数の数を 6 つに増やすとさらに広い計測領域が得られることを明らかにした。つぎに、磁界の測定誤差の影響を考慮した場合には、6 つの位置関数を用いて、立方体フレームの一辺の長さを 0.6 倍した立方体領域で安定に位置の推定が可能であることを明らかにした。

第 4 章では、位置関数の逆関数として位置を推定する定式化について、座標を位置関数のテイラー多項式で陽に表す方法を示した。これについて、テイラー多項式だけでは収束が悪く、十分な大きさの計測領域が得られないため、ベクトル ϵ アルゴリズムを適用して収束を改善した。また、これにより計測領域を広げることができることを明らかにした。このテイラー多項式とベクトル ϵ アルゴリズムを組み合わせた位置推定アルゴリズムにより、一辺の長さが立方体フレームのおよそ 0.6 倍の立方体領域で、磁界センサの位置を高速かつ安定に推定できることを明らかにした。また、ガウス-ニュートン法と比較すると、計測領域の大きさおよび推定の安定性は同等以上で、推定の速さはおよそ 100 倍以上に高速化できることを明らかにした。

第 5 章では、まず、正方形コイルの寸法に小さなずれがある場合を想定して、位置を近似するテイラー多項式を再計算することなく、簡単な補正を用いてその影響を軽減する方法を提示した。つぎに、一辺が約 0.3 m の正方形コイル、および直交 3 軸磁界センサとして 3 軸ホールセンサを用いて試作した計測システムにおいて、逆関数のテイラー多項式にベクトル ϵ アルゴリズムを組み合わせた位置推定アルゴリズムを実装し、実測により磁界センサの位置を推定する実験をおこなった。その結果、推定アルゴリズムは実測においても正しく機能することが確かめられ、またコイル寸法のずれに対する補正についても有効性を確認した。

以上の結果により本研究では、4 個の正方形コイルを用いて 2 つの準一様磁界と 1 つの勾配磁界を生成する磁気式モーショキャプチャの原理を提案し、これにテイラー多項式とベクトル ϵ アルゴリズムを組み合わせた位置推定アルゴリズムを組み合わせることにより、十分に大きな計測領域で、直交 3 軸磁界センサの位置を高速かつ安定に推定できることを明らかにした。本研究の成果は今後、簡単な構成でかつ安価な磁気式モーショキャプチャシステムの実現に役立つものであると考える。