

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：56301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820116

研究課題名(和文) 電磁界教育に有用な拡張現実感技術を利用した3次元電磁界可視化システムの開発

研究課題名(英文) A Study on 3D Visualization System of 3D Magnetic Field Based on Augmented Reality Technology for Education Purpose

研究代表者

松友 真哉 (Matsutomo, Shinya)

新居浜工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号：90413856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電磁気学教育の場面で有用な可視化システムを開発した。本可視化システムは、拡張現実感技術を利用しており、さらにヘッドマウントディスプレイを用いた電磁界の3D表示も可能である。これを実現するために、3次元空間内における新しい磁束線描画手法について提案し開発を行った。これによって、電流や鉄心が存在する磁界もリアルタイムに可視化でき、ユーザに提示できるようになった。本システムを活用すれば、ユーザは3次元空間で自由に磁石や鉄心を動かしながら干渉する磁界の様子をリアルタイムに把握し観察することができる。

研究成果の概要(英文)：This 3D visualization system is based on augmented reality technology. The proposed system provides observation of a magnetic field distribution and its stereoscopic vision in 3D space using head mounted display(HMD). To improve the visualization capabilities, a new real-time method for drawing magnetic flux lines in 3D space is developed. It enables a user to easily observe and grasp a magnetic field generated by multiple sources (e.g., magnets and/or multiple irons) in an augmented 3D space. Additionally, it permits a user to freely and interactively move the magnetic sources within the visualization space and to observe the magnetic fields interference in real-time. As a result, one can intuitively and easy visualize, observe and grasp the magnetic field even in 3D space.

研究分野：電磁界可視化

キーワード：電磁界可視化 拡張現実感技術 電磁界解析 シミュレーション ヘッドマウントディスプレイ 電磁気学教育 磁束線

1. 研究開始当初の背景

電磁気学は、電気・電子・情報系の学生にとって核となる学問である。電磁気学を学ぶ際にまず重要なことは、電磁界の定性的な振る舞いを学習者がイメージできるかどうかである。しかし、電磁界は直接目で見て観察することができないため、初学者にとって電磁界を直観的にイメージすることは難しい。このため、電磁気学の教育においては電磁界を可視化して学習者の理解を手助けすることが有効な手段である。しかしながら、単に教科書や黒板で図を提示する、あるいはコンピュータ上で電磁界をシミュレーションして見せるだけでは、学習者の理解や興味を十分に引き出せない。

一方で近年、教育現場の ICT 化が各機関で促進されており、今後ますます活用が広がるものと予想される。しかし、現状の ICT 活用の目的は、情報提示のための利用が最も多く、デジタル教科書の域を脱していない。これに対して、デジタル技術を駆使した新たな教材開発に関する研究が不可欠であると思われる。

2. 研究の目的

本研究では、上述の背景を踏まえて、「拡張現実感技術と電磁界シミュレーションを融合した新しい3次元電磁界可視化システムの開発」を目的とした。拡張現実感技術は、現実世界に対して、情報の付加や削減を施すことで人工的に生成した拡張された現実をユーザがあたかも実際に見ているように提供するものである。本研究では3次元空間において磁石の模型やマーカーをカメラで撮影し、その対象およびそれによって作り出される磁界の分布をコンピュータで重畳して出力し、ユーザに対してリアルタイムに提示することが可能な手法の開発を目標とした。これが実現できれば、ユーザは拡張現実世界において、磁界の分布をあたかも現実世界で見ているかのように自然に観察することができる。さらに、ユーザ自らが磁石や鉄心の模型を好きな位置に動かすことにより磁界が干渉する様子も観察できる (図1.概念図)。

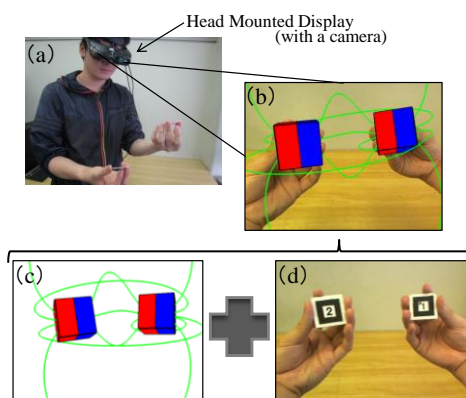


図1. 可視化システムの概念図

3. 研究の方法

本研究での目的を実現するために、以下の点について研究を行った。

- (1) 拡張現実感技術についての検討
本可視化システムに適した3次元空間内でのマーカー認識を精度よく高速に行える手法を検討し選定した。
- (2) 磁界解析手法の検討・開発
本可視化システムの最大の特長はリアルタイムに磁界を計算し現実空間に重畳して描画することにある。このための磁束線描画手法の検討・開発を行った。
- (3) 描画方法に関する検討
3次元空間に分布する電磁界の様子を2次元ディスプレイに表示すると観察し難い問題がある。そこで、本システムに適した描画デバイスの検討・選定、また、そのためのソフトウェア開発を行った。

4. 研究成果

(1) システム構成

今回開発したシステムでは、ユーザが手にしているオブジェクトをウェブカメラで撮影し、その3次元空間での位置を特定し、撮影された画像上に磁界情報を重畳しディスプレイに出力する。映像を出力する際には、通常のディスプレイを使用してもよいが、図2に示すようなカメラの付きのヘッドマウントディスプレイ (HMD) を利用すれば、より効果的な観察が可能である。ヘッドマウントディスプレイは頭部に装着する表示装置であり、通常のモニターで観察するのとは異なり、あたかも自分の目で直接見ているような観察を可能にし、大きな直感性と対話性を実現する強力なツールとなり得る。

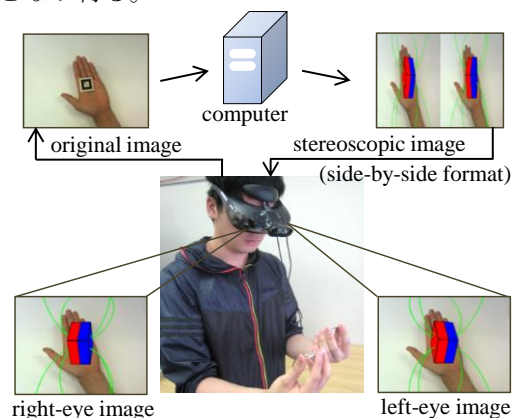


図2. 可視化システムの構成

(2) 3次元位置検出方法

2次元場での可視化システムでは、モック (磁石や電流の模型) の色情報を基に画像処理を行っていたが、3次元空間での位置を色情報のみで計算することは困難であった。そこで本システムでは、ウェブカメラの映像から3次元空間でのオブジェクトの位置を取得

する方法として、AR ライブラリである ARToolKit を使用した。なお画像処理時のアフィン変換などの幾何学変換に必要な変換行列の算出もこのライブラリを使用している。ウェブカメラによって撮影されたマーカーは、コンピュータ内で磁石や鉄心として認識され磁界計算及び可視化が実行される。

(3) 磁束線描画手法

画像処理によってマーカーの 3 次元位置が特定されれば、拡張現実空間内では、マーカーはあらかじめ登録している磁石や鉄心として扱われ計算される。今回の可視化システムでは、マーカー(仮想磁石)が複数存在するモデルにも対応しており、その際には、それぞれの磁石が作る磁界を重畳することで容易に磁界を計算することができる。

また、鉄心が存在する際の可視化手法も検討した。その結果、磁気モーメント法と仮想粒子追跡法を組み合わせることで、磁束線のリアルタイム描画が可能であることを明らかにした。

さらに、磁束線描画をより高速に実現するために、仮想粒子追跡法における粒子移動量を動的に変更する手法の開発を行った。通常、仮想粒子追跡法を利用した磁束線描画方法では、本質的に誤差が蓄積する問題がある(図3参照)。この誤差を低減するには、仮想粒子の移動距離を極めて微小に設定すればよい。しかし、本可視化システムでは、リアルタイム性を重視しているため、限られた計算時間では、仮想粒子の移動距離をあまり小さく設定できない。そこで、この移動距離を、磁束線の曲率に応じて動的に変更する手法(図4参照)を開発し、計算時間と精度を両立した可視化手法を実現した。

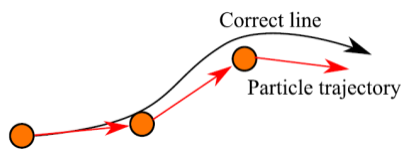


図3. 仮想粒子追跡法における誤差の蓄積

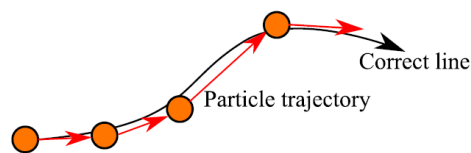


図4. 提案した動的な仮想粒子追跡法

(4) 可視化システムの処理手順

本システムの主な処理の流れを以下に示す。
 Step1 Web カメラでマーカーを撮影する。
 Step2 撮影した画像から登録してあるマーカーを検出し各マーカーに関する座標変換行列を取得する。
 Step3 各マーカーに対して設定したソース(磁石)の情報を座標変換行列によるアフィン変換でビュー座標系に写

像する。

- Step4 仮想粒子の出発点として各仮想磁石のN極に一定数を配置する。
- Step5 各粒子について仮想粒子追跡法によって軌跡を計算する。
- Step6 その軌跡に沿って磁束線の描画もしくはカラーコーンの配置(ユーザが選択可能)を行う。
- Step7 全ての仮想粒子について、各磁石内に入射した段階で追跡を中止する。
- Step8 全ての仮想粒子の追跡が終わったら、描画し Step1 へ戻る。

可視化システムの実行結果を図5、図6に示す。

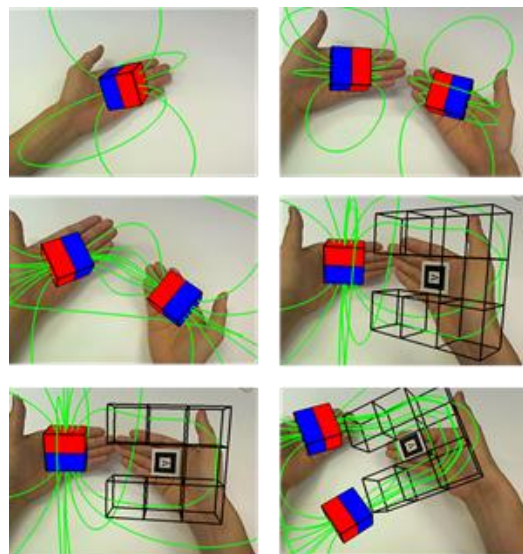


図5. 可視化システムの実行画面 (磁束線表示 磁石・鉄心モデル)

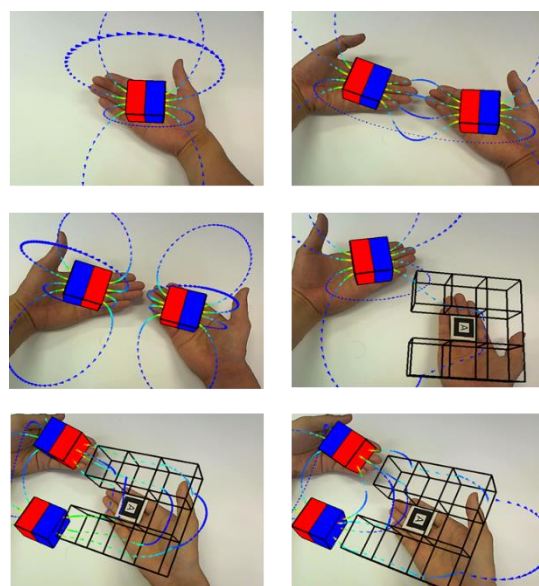


図6. 可視化システムの実行画面 (コーン表示 磁石・鉄心モデル)

また、実行画面を HMD で観察した結果、立体感が得られ磁束線を 3 次元的に観察可能であることが確認できた。また、教育効果の調査を目的として電磁気学分野を学び始めた中学生を対象に開発した可視化システムを体験してもらった(図7)。その結果「磁界の様子がイメージできた」といった良好な評価が得られた。今後の課題としては、教材として更に簡便な利用を実現するために、携帯情報端末上でも動作する可視化システムに発展すること、さらに可視化できるモデルの拡充等が挙げられる。



図7. 可視化システムの利用

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

[1] Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, Yuta Hiasa, Fumiaki Nobuyama, So Noguchi, “A new 3-D Visualization System of Magnetic Field with Augmented Reality Technology for Education”, 19th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, 2013, Budapest, Hungary

[2] 光藤健太, 松友真哉, 野口聡 “拡張現実感技術を利用した3次元磁場可視化手法の一検討”, 電気学会静止器回転機合同研究会, 2014, 東京

[3] 光藤健太, 松友真哉, 野口聡 “拡張現実感技術を利用した磁場可視化システムの開発状況”, 平成26年電気学会全国大会, 2014, 松山

[4] Shinya Matsutomo, Kenta Mitsufuji, Shunsuke Miyazaki, So Noguchi, “Immersive Real-time Visualization System of 3D Magnetic Field with Augmented Reality Technology for Education”, 20th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, 2015, Montreal, Canada

[5] 宮崎駿佑, 松友真哉, 野口聡 “ヘッドマウントディスプレイによる立体視を用いた3次元磁場の可視化システムの検討”, 平成27年電気関係学会四国支部連合大会, 2015, 高知

[6] 宮崎駿佑, 福山舟, 松友真哉, 野口聡 “拡張現実感技術を利用した磁界可視化教材の開発”, 平成28年電気学会全国大会, 2015, 仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松友 真哉 (MATSUTOMO, Shinya)

新居浜工業高等専門学校・

電子制御工学科・准教授

研究者番号：90413856