

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 18 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300044

研究課題名(和文)非接触型ワイヤレス3Dトラックパッドの開発

研究課題名(英文)Development of contactless 3D wireless track-pad

研究代表者

梶 修一郎 (Hashi, Shuichiro)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：90324285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円、(間接経費) 4,620,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、LC共振型磁気マーカを用いたワイヤレス位置検出手法を基盤として、仮想空間におけるインタラクティブコンテンツに対して、人間の手指を介した直観的なアクセスを可能にする次世代型のヒューマンインタフェースを指向した、非接触型ワイヤレス3Dトラックパッドを開発した。誘導磁界計測用センサ数を32ch(入力)化し、各磁気マーカの位置・方向の収束計算は、マルチコアCPUを搭載したワークステーションを用いた並列計算アルゴリズムを適用することで、2個の磁気マーカの検出の場合は100Hz、5個の場合で53Hz、また10個の場合で20Hzと、システムの検出速度の大幅な高速化を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed and developed a wireless magnetic position sensing system that uses LC resonant magnetic markers (LC markers), which is considered as a useful candidate of an input device of fingers motion for a virtual environment. The measurement apparatus composed of multi channels A/D convertors, which has 32 simultaneous analog inputs at 4 MS/s per channel with 16-bit resolution, was constructed. According to evaluation result, the total capturing speed of the system was around 100 Hz (one capturing per second) for two markers detection under synchronized operation of 32 A/D convertors. In addition, the capturing speed are 53 Hz for five LC markers and 20 Hz for ten LC markers.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学/メディア情報学・データベース

キーワード：ユーザーインターフェース 磁気モーションキャプチャ バーチャルリアリティ ワイヤレスマーカ

1. 研究開始当初の背景

近年、情報デバイスやテレビなどの家電を含むメディア機器で扱うコンテンツは、より情報量の密な3D(3次元)オブジェクトの時代へ突入しており、高精細な描写や質の高い表現が可能となってきている。またこの3Dの技術を利用して、ディスプレイ内に表示された3Dオブジェクトにアクセスし、複数人で対話しながら3Dコンテンツを共有または加工するなど、新しい協調型デバイスに関する研究も進められており、3D利用技術は益々発展していくと思われる。3D仮想空間にアクセスするためには、より直観的なインターフェースが必要となるが、人間の感覚的(五感のうち触覚と視覚)な観点から実際の手指動作で対応することが適しており、ストレスおよびフォースフリーの手指のモーションキャプチャ技術を用いたインターフェースの実現が望ましい。よって従来技術には無い新しい発想のヒューマンインターフェース(HI)の開発が必要である。

手指の動きをトレースする技術としては、古くから光ファイバやベンド(歪み・圧電)センサを利用したデータグローブ、光学マーカの位置を追尾する光学式、磁気センサを用いた磁気式などが提案・実用化されている。しかしながら、手指の細やかな動きを精度良く捉えるためには、非拘束で着脱が容易な小型・軽量のワイヤレスマーカを用い、さらに(光学的な)検出死角の無い技術が必要となるが、これらの条件を全て満足する技術が確立されているとは言い難い。

2. 研究の目的

本研究では、これまで基礎技術の確立に取り組んできた、LC共振型磁気マーカを用いたワイヤレス位置検出手法を基盤として、仮想空間におけるマルチメディアおよびインタラクティブコンテンツに対して、人間の手指を介した直観的なアクセスを可能にする次世代型のヒューマンインターフェースを指向した、非接触型ワイヤレス3Dトラックパッドを開発することを目的とする。手指動作に対して拘束感の無い非接触型ワイヤレス3Dトラックパッドの実現により、仮想空間内に存在する3Dコンテンツに対して、指で「触れ」、その様子を「見ながら」、「動かす」際に、より臨場感の高い疑似感覚を付加することが可能になると考えられる。

3. 研究の方法および研究成果

3Dトラックパッドシステムの検出空間の拡張を図るため、励磁コイルおよび検出コイルアレイの再構成と位置検出性能の評価を行った。システムの模式図を図1に、実際に構築したシステム全体の写真を図2に示す。システムは大きく分けて、励磁コイル、検出コイルアレイを一体化したコイル部(左側)と、計測・制御部(右側)から構成されている。図3に示すように、検出コイル部に

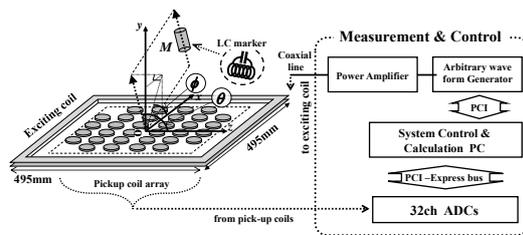


図1 ワイヤレス3Dトラックパッドシステムの模式図

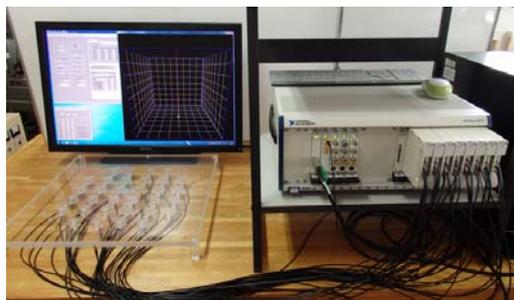


図2 構築したワイヤレス3Dトラックパッドシステム

において32個(32ch)の検出コイル(直径25mm、100回巻)を60mm間隔で格子状に配置しており、また検出コイルを固定したボードの外周に励磁コイル(495×495mm、13回巻)を配置して一体化されている。

3Dトラックパッドシステムの計測部(図1の右側破線部)は、1台あたり4chの入力端子を有し、高速なサンプリング性能(4MS/秒)のADコンバーター8台(合計32ch)による計測部と、LC共振型磁気マーカ励磁用の任意波形を生成するためのファンクションジェネレータから構成されている。サンプリング性能の向上に伴って、磁気マーカに設定できる共振周波数範囲を500kHz帯まで拡張可能となったことから、10個の磁気マーカの同時検出を実現した。

図4に試作したLC共振型磁気マーカの一例を示す。直径3mm、長さ15mmのフェライト磁心に100~600回の巻線を施しその両端にチップコンデンサが接続されており、マーカ自身がLC共振回路を構成している。共振周波数は90~450kHzの範囲で他のマーカと干渉のない周波数を考慮して任意に設定してある。全体のサイズは直径4mm程度、長さ



図3 32chに拡張した検出コイルアレイ、およびフレーム外周に一体化された励磁コイルアレイ

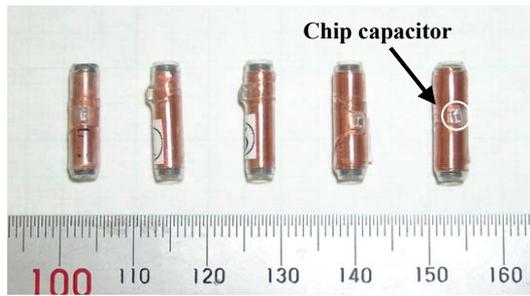


図4 試作した LC 共振型磁気マーカー

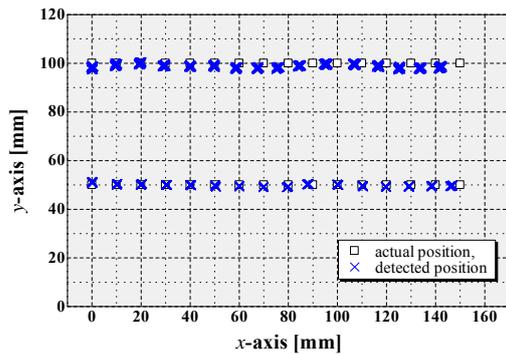


図5 x-y 平面上における位置検出評価結果

15 mm、重さは 0.9g 以下であるため、手指に貼付してもほとんど違和感のないサイズである。

多チャンネル化と磁気マーカーの同時検出可能数の増加に伴って、システム制御・計算用 PC に対する計測データの FFT 処理および磁気マーカーの位置・方向の計算の負荷が増大し検出速度の低下が懸念されたが、FFT 処理は計測部に内蔵された FPGA (Field-Programmable Gate Array) ボードに担当させ、また磁気マーカーの位置・方向の算出はマルチコア CPU (~8 個の CPU を用いた並列計算アルゴリズムを適用することで、検出速度の大幅な高速化を実現した。CPU の有するコア数と磁気マーカーの数に対する検出速度の評価を行ったところ、2 個の磁気マーカーまでは CPU コア数によらず、100Hz 程度の検出速度を実現した。また、マーカーの数に従って検出速度は低下していくが、CPU コア数が 4 個から 8 個へと増えるにつれて計測速度が大幅に改善し、磁気マーカー 5 個の場合では 53Hz (CPU : 8 コア) を実現した。FFT の処理速度については正確な計測ができていないが、入力数 (32ch) にのみ依存するため 1ms 以下で動作していると予測される。磁気マーカー数 10 個の場合、約 20Hz 程度の検出速度となり、10 本の指の動きをほぼリアルタイムで計測可能なシステムを実現できた。磁気マーカーの数が増えたときの更なる検出速度改善の方策として、専門家による位置方向の逆問題計算のアルゴリズムの最適化、もしくは、より高速な計算が可能な DSP や GPGPU などを用いることが挙げられる。

試作した磁気マーカーを用いて、図 2 の 3D



図6 指に添付した 5 個の磁気マーカーのモーションキャプチャの様子 (検出速度: 約 50Hz)

トラックパッドシステムの位置検出性能の評価を行った。検出コイルアレイの中心軸上 ($x=z=0$) で $y=50, 100, 150, 200$ mm の 4 つの座標位置に磁気マーカーを配置して、それぞれ 10 回の位置検出を行った。その際、励磁コイルには $60V_{pp}$ を印加した。励磁コイルのインピーダンスを考慮すると、励磁電流値は約 $0.14 A_{pp}$ となる。その結果、 $y=150$ mm までのばらつきは 5mm 以下となったが、 $y=200$ mm では 20mm 程度の大きなばらつきとなった。また、 $y=50$ mm、および $y=100$ mm において $x=0 \sim 150$ mm の x-y 平面上における評価結果を図 5 に示す。検出コイルアレイ面から $y=50$ mm の距離では概ね実際の磁気マーカーの位置が検出されていることが判る。 $y=100$ mm の距離になると、検出コイルアレイの端部に近づくにつれて、実際の位置と検出位置とのずれが大きくなっていく様子が伺える。これは、アレイ端部付近において、磁気マーカーからの誘導磁界信号を有効に検出できる検出コイル数が少なくなることに加え、有効に検出できない検出コイルにも一定のノイズレベルの誘起電圧が計測されてしまうことが原因であるが、磁気マーカーの位置算出時にノイズレベル以下の電圧は用いないなどの対策を講じることでずれを抑えることが可能になると考えられる。

手指動作の検出状態を模擬した評価を行うにあたり、5 自由度で動作が可能なロボットアームの先端に、磁気マーカーと光学式モーションキャプチャシステムの光学マーカーを並べて取り付けて評価を行った。その結果、3D トラックパッドシステムの検出位置と光学式モーションキャプチャシステムで検出された位置および軌跡は概ね一致した。また両者のマーカーサイズを考慮すると、3Dト

ラックパッドシステムの検出分解能の方が優れており、磁気マーカを指先に添付した場合でも、指先の細やかな動きを高精度に検知できる性能を有していることが明らかとなった。実際に片方の手指に5個の磁気マーカを貼付して、指の動きを検出している様子を図6に示す。

以上の結果より、センサシステム計測部に用いたADコンバーターのサンプリング性能の向上に伴い、磁気マーカに設定できる共振周波数範囲を500kHzまで拡張可能となったことから、10個の磁気マーカの同時検出を実現した。測定帯域にはまだゆとりがあるため、12個程度までの同時検出が可能であることから、同時検出可能な磁気マーカ数の目標は達成できた。また、FFT処理のFPGA化と、マルチコアCPUによる磁気マーカの位置・方向算出プロセスを並列処理化することで、磁気マーカ10個で20Hzと、検出速度の大幅な高速化を実現した。逆問題の算出アルゴリズムに最適化の余地があること、またこの計算部分にGPGPUなどの高速演算可能なプロセッサを導入することで将来的には更なる高速化が可能であると考えられる。検出時の繰り返し位置精度は、センサアレイ面から150mmの距離まで5mm以下であったが、センサアレイの端部の上方付近においては、実際のマーカとの位置の誤差が大きくなる傾向が見られた。よって今後は検出位置と実際の磁気マーカの位置とのずれを極小化できるよう検討が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3件)

- ① S. Hashi, S. Yabukami, K. Ishiyama, K. I. Arai, Downsizing of LC Markers for a Wireless Magnetic Position Detection System, Sensor Letters, 査読有、11巻、2013年、98-101
DOI: 10.1166/sl.2013.2789
- ② S. Hashi, K. Ishiyama, Wireless Magnetic Sensing System for Bioengineering Application, Sensors, 2012 IEEE, 査読無、2012年、1-4、
DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411310
- ③ S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, K. I. Arai, Wireless magnetic position sensing system using optimized pick-up coils for high accuracy, IEEE Transactions on Magnetics, 査読有、47巻、2011年、3542-3545
DOI: 10.1109/TMAG.2011.2154313

[学会発表] (計 7件)

- ① Y. Hayashi, W. Goto, S. Hashi, K. Ishiyama, Nanostructure of Composite Film Embedded Co-ferrite Nanoparticles

Prepared by Combination of EPD and Electroplating, 58th Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2013年11月6日、デンバー(アメリカ)

- ② S. Hashi, T. Kuboki, K. Ishiyama, S. Yabukami, T. Ozawa, K. Takashima, Y. Kitamura, Y. Itoh, H. Kanetaka, Development of a high speed wireless magnetic motion capture system up to 100 Hz, 12th Joint MMM-Intermag Conference, 2013年1月7日、シカゴ(アメリカ)
- ③ 久保木誉, 栢修一郎, 石山和志, 藪上信, 金高弘恭, ステントグラフトの位置ずれ診断用位置検出システムの検討, 平成24年度スピニクス特別研究会, 2012年11月27日、秋田
- ④ (招待講演) S. Hashi, K. Ishiyama, Wireless Magnetic Sensing System for Bioengineering Application, IEEE Sensors 2012, 2012年10月29日、台北(台湾)
- ⑤ T. Kuboki, S. Hashi, K. Ishiyama, K. Ishiyama, S. Yabukami, H. Kanetaka, Study of wireless position sensing system for diagnosis of a stent graft's shift, The 2nd International Conference of Asian Union of Magnetics Societies, 2012年10月2日、奈良
- ⑥ S. Hashi, T. Kuboki, K. Ishiyama, S. Yabukami, T. Ozawa, K. Takashima, Y. Kitamura, Y. Itoh, H. Kanetaka, Wireless magnetic position sensing system composed of multi channels digitizer for realtime monitoring, 9th European Conference on Magnetic Sensors and Actuator, 2012年7月2日、プラハ(チェコ)
- ⑦ S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, K. I. Arai, Wireless magnetic position sensing system using optimized pick-up coils for high accuracy, IEEE International Magnetics Conference 2011, 2011年4月28日、台北(台湾)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栢 修一郎 (HASHI, SHUICHIRO)
東北大学・電気通信研究所・准教授
研究者番号: 90324285

(2) 研究分担者

石山 和志 (ISHIYAMA, KAZUSHI)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：20203036