

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730158

研究課題名(和文) 装着型計測装置を用いた人間の操作行動観察に基づく室内構造認識手法の研究

研究課題名(英文) A Research of Indoor Environment Recognition based on Human Behavior Measurement using Whole-body Wearable Sensors

研究代表者

矢口 裕明 (Yaguchi, Hiroaki)

東京大学・情報理工学(系)研究科・特任講師

研究者番号：00568115

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、人間の日常生活行動を計測するための、小型軽量で自立可能な装着型センサシステムの開発と行動認識機能の研究を行った。センサシステムは頭部に三次元カメラを、頭部と体幹、手足の末梢部の計6箇所に加速度センサとジャイロを組み合わせた姿勢センサを用いることで、人間の視界にある対象物や手の動きと同時に、カメラの計測範囲外にある足の動きを計測できるようなシステムとした。このセンサを用いて日常生活行動の計測を行い、日常動作の特徴や計測の有用性を調査するとともに、歩行動作認識や環境地図作成の実装応用を行った。

研究成果の概要(英文)：In this project, I developed small, light-weight and standalone wearable sensor system to measure daily-life activity of human and researched behavior recognition methods. The sensor system can measure objects and handling motion in human viewing and leg activity out of camera viewing simultaneously via head-mounted 3D camera and 6 motion sensors, constructed by acceleration sensor and a gyro sensor on head, body, and ends of arms and legs. Using this sensor I measure and analyze feature of daily-life activity and usability of the sensor, and also implemented walking recognition and 3D environment mapping.

研究分野：知能ロボット

キーワード：ウェアラブルセンサ 行動認識 環境認識 三次元計測 歩行認識

1. 研究開始当初の背景

提案者はこれまでに頭部装着型三次元視覚を用いた生活環境のモデル構築を行う為の構成論を論じてきた[引用文献 1]。この中で提案者は、人間が知識として持つドア、テーブル、小型物体といった異なるスケールや形状に関する前提を人間の行動が示し、人間と環境を同時に観察することで生活環境の情報を収集することができるという新たなモデル構築手法を提案した。

この手法を実現するために提案者は、1. 頭部装着型センサデバイスの試作検討を通じた小型軽量システム構築、2. 自己運動、環境の形状、他者運動の同時推定による環境認識機能の実現、3. 手先分離認識による把持物体と手先運動の同時認識機能の実現、4. 対象物に対する仮説を用いた室内環境のモデル構築手法の提案を行った。

ここで解決されていない問題は、4.においてモデル構築に用いている仮説、例えば平面同士の直交性や物体の対称性などは対象物によって適切に選択する必要があるが、仮説の選択は人間が行うことでモデル構築を実現してきた。つまり仮説の選択には対象物の判別が必要であるがこれが実現されていない。これは人間の行動を認識し、その行動に応じて仮説を切り替えることで実現が可能であると考えられる。そこで本研究課題では人間の行動を認識可能で、かつ日常生活行動の計測と認識が装着者の行動を阻害することがないように小型軽量自立可能な、全身装着型の動作計測デバイスの構築手法について研究する。

2. 研究の目的

本研究では人間の行動に関連付けて環境や物体の計測を行い、モデル化することを目指し、日常生活行動を長時間に渡り計測することのできる小型計量な全身装着型センサを構築することを目的とする。これまでの研究を通じて、人間の行動を認識するためには頭部に装着したカメラの映像を元にした周辺環境や手先位置、それに基づく行動認識では不十分であり、カメラの視界におさまらない体幹や足の動きを認識することが特に重要であることがわかった。一方で全身の関節角度のようないわゆるモーションキャプチャを用いた手法では、装着にかかる時間や装着者への負担が大きいことが予想される。そのため、特に動作を反映すると思われる手足の末梢部と体幹、また頭部カメラに付随する形の計6箇所に加速度計やジャイロを組み合わせたモーションセンサを取り付け、日常動作を阻害することなく、計測、認識が可能であることを示すことを目的とする。

3. 研究の方法

人間の全身行動と環境を同時に計測でき、且つ行動を阻害しない装着型センサデバイスをカメラや頭部にこだわらず試作検討を行い、早い段階から実験を行えるようにする。さらにセンサデバイスを用いた行動認識と環境認識のアルゴリズムについての研究を行う。特に、研究期間中に計算機やセンサの性能が向上する、実験において改良の必要な部分が判明するなどした場合は、スパイラル開発的にデバイス、アルゴリズムの双方を進めていく形を取る。

4. 研究成果

(1) 全身装着型三次元モーションセンサの構築

本研究においては、まず人間が装着することを前提として、頭部に三次元視覚センサ、頭部と体幹、手足の末梢部にモーションセンサ、腰に計算機とバッテリーを搭載した全身装着型モーションセンサの構築を行った[学会発表 1][図 1]。このセンサデバイスは計算機を含めて充電機を用いて自立可能となっており、学会発表においては実際に装着した状態で登壇し、デモンストレーションを行うことができた。

構築したデバイスにおいては、頭部から作業中の手先の三次元計測を行うには計測距離が不十分であることがわかった。そこで研究期間中に三次元カメラをより安価で計量なステレオカメラへと置換し、全体の計量化と計算機のリプレースを行った[図 2]。これにより、手先のような近距離から屋外のような遠距離までカメラの計測範囲が拡大し、行動・計測可能な時間を1時間以上に延長した。

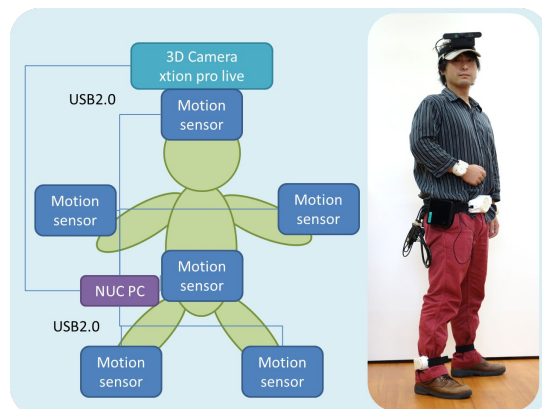


図 1 全身装着型三次元モーションセンサ



図 2 近距離・屋外両対応ステレオカメラ

(2) 全身装着型三次元モーションセンサを用いた日常生活動作の計測

構築したセンサを用いて、複数の日常生活動作の計測実験を行い、センサを装着した状態でも動作を阻害することなくデータの計測が可能であることを示し、またその内容の分析を行った[学会発表 1,3][図 3]。

まず基本的な動作として、掃除機がけやお茶くみなど日常生活に関する動作を二人の被験者を通じて計測した。この結果、歩行動作まで含めた日常動作については、両腕を使うか片腕だけを使うか、歩行と同時に行動を行うか否かなど、個人差が大きいことがわかった。特に足の使い方には特徴があり、足を使った動作の認識が重要であることがわかった。

また目的を持った一連の動作について、計測にかかる時間や計測される情報量を確認するため、調理行動を題材とした計測実験を行った[図 4]。調理行動では食材の切り分け、調理器具の操作、よそいつけなど複数の基本動作が組み合わさっており、それぞれのフェーズによって人間の行動量に差があること、特に加熱調理中はほとんど無駄動作であり、人間に動きがないときは計測頻度をおとすなどの工夫が必要であることがわかった。一方で 30 分間の調理行動を計測した結果 30 分で 75GB 程度の容量を必要とすることが確認された。

(3) 全身装着型三次元モーションセンサを用いた行動認識機能の実現

構築したセンサを用いた行動認識機能として、脚部と体幹に装着されたセンサを用いることで、上半身の動きと独立して下半身の歩行状態の検出と移動方向、距離を推定する機能を実現した[学会発表 2]。

前項 2.(2)の実験結果を踏まえると、人間の日常生活動作において、下半身の動作は直立、着座、踏み変えのような場所の移動を伴わない動作と、歩行のような場所の移動を伴う動作に大別可能であり、移動行動の検出が行動の判別に重要であることがわかった。



図 3 基本動作・お茶くみの計測



図 4 調理行動計測実験



図 5 歩行認識を応用したロボットによる追従

歩行時の下半身の動作の特徴として、両足の周期的な運動と体幹の速度変動に着目し、手の振りのような上半身の動きに関わらず歩行動作を認識するアルゴリズムを構築した。すなわち、両足の加速度振幅がどちらも 2[Hz]程度となる場合には歩行状態であり、その加速度の二重積分が移動距離となる。かつ片足が設置しているときはその脚の速度は零となり、進行方向は体幹の向きに従う。というアルゴリズムである。

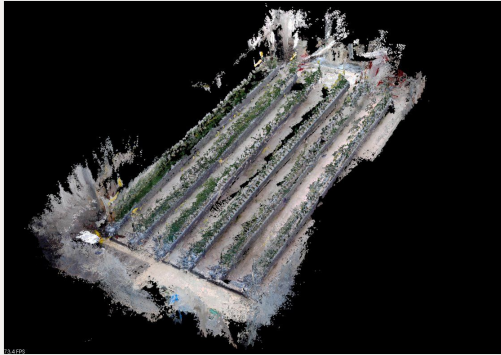


図 6 頭部ステレオカメラを用いた三次元環境地図構築

学会発表2では、このアルゴリズムが実時間で動作することを示すため、センサの出力した人間の歩行状態をロボットに出力することで、ロボットのセンサを用いずに人間に追従することのできるシステムを構築し、その効果を示した[図5]。

(4) 頭部カメラを用いた環境認識手法の実装応用

頭部カメラによる環境認識の実現のために、オープンソース・ソフトウェアとして発表されている三次元環境地図作成ライブラリ RTABMAP[引用文献 2]をステレオカメラで利用可能とし、環境地図作成ができるよう実装応用を行った[図 6]。この機能を用いることで室内全体の三次元地図を人間の歩行を通じて構築することができるようになった。

<引用文献>

[1] Hiroaki Yaguchi, Kei Okada, and Masayuki Inaba. Head-mounted 3d multi sensor system for modeling in daily-life environment. In Proceedings of The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 5585-5590, 10 2009.

[2] M. Labbé and F. Michaud, “Online Global Loop Closure Detection for Large-Scale Multi-Session Graph-Based SLAM,” in Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014.
<http://introlab.github.io/rtabmap/>

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)

[学会発表](計3件)

[1] 矢口 裕明, Wesley P. Chan, 浅野 悠紀, 長濱 虎太郎, 稲葉 雅幸.“家事行動を観察学習するためのヘッドマウント・ウェアラブルセンサシステム”.第32回日本ロボット学会学術講演会講演論文集.2014年9月4日.九州産業大学(福岡)

[2] 矢口 裕明, 浅野 悠紀, 稲葉 雅幸.“全身装着型モーションセンサを用いた人間の歩行状態推定に基づく遠隔追従ロボットの実現”.日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集.2014年5月28日.富山市総合体育館(富山)

[3] 矢口 裕明, 浅野 悠紀, 稲葉 雅幸, “人間行動と環境情報の同時計測のための全身装着型モーションセンサシステム”.第14回SICEシステムインテグレーション部門講演会講演概要集.2013年12月20日.神戸国際会議場(神戸)

[その他]

ステレオカメラに関するオープンソース・ソフトウェアの改良に貢献した。

[1] ps4eye (ステレオカメラドライバ)

<https://github.com/longjie/ps4eye>

[2] image_pipeline (ステレオ画像処理ライブラリ)

https://github.com/ros-perception/image_pipeline

6 . 研究組織

(1)研究代表者

矢口 裕明 (YAGUCHI, Hiroaki)

東京大学・情報理工学(系)研究科・特任講師

研究者番号： 00568115