

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 2日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650096

研究課題名（和文） ロボット教示のための無拘束ポータブルインタフェース

研究課題名（英文） A Wearable Interface for Robot Teaching

研究代表者

三浦 純 (MIURA JUN)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90219585

研究成果の概要（和文）：

本研究では、手の運動を含む全身運動を計測・認識し、日常作業を行う際の動作をヒューマノイドロボットに直感的に教示できるポータブルインタフェースの実現を目的として、(1)身に付けたカメラと慣性センサのみで、手の動きと身体移動を高速・高精度に推定する手法、(2)作業の手順を状態遷移モデルで表現し、身体運動認識と合わせてロボットに移動を含む作業を行わせる手法を研究し、実験によってその有効性を検証した。さらに、将来的な、遠隔地のロボットへの動作教示やロボットと人間の共同作業を目指して基礎的な研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

This research aims at developing a wearable interface for intuitively teaching everyday tasks to service robots. The interface measures human motions including hand motions and converts them into robot motion commands. We first developed the following two methods: (1) a method of estimating body/hand motions fast and reliably only from a camera and inertial sensors attached to the human body, (2) a method of making the robot perform tasks including manipulation and movement based on an FSM-based state transition model and the measured body/hand motions. These two methods have been tested using an actual humanoid robot. We also have conducted preliminary researches on robot teaching at a remote site and human-robot collaborative tasks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：ロボット教示、動作推定、行動認識、ヒューマノイド、作業モデル

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会の到来に伴い、生活の質を維持するためのサービスロボットへの期待が高まっている。ロボットが日常生活のさまざまな場面で人を補助することを考えると、そのために必要な知識をあらかじめすべて教えておくことは困難であり、現場での教示が不可欠である。そして、その際、できるだけ直

感的に動作が教示できることが望ましい。

そのようなロボット動作の教示手法として、人が作業を実現し、ロボット自らがそれを認識することにより動作を行う、という実演による教示がある。このアプローチでは、人が直感的に動作を教示することができるが、手腕の動作教示を対象とするものがほとんどである。

2. 研究の目的

本研究では

- (1) 身に付けたカメラと慣性センサのみで、手の動きと身体移動を高速・高精度に推定する手法の開発
 - (2) 身体運動認識結果と作業のモデルからロボットに移動を含む作業を行わせる手法の開発
 - (3) 遠隔地のロボットに動作を教示する手法の開発
 - (4) ロボットに人との共同作業を行わせるための手法の開発
- を目的とする。さらに、
- (5) 上記の手法を実際のヒューマノイドロボットシステムに適用し、実験的にその有効性を検証すること
- も目的である。

3. 研究の方法

- (1) 単眼視 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, 地図と移動の同時推定) 手法と慣性センサ情報処理を拡張カルマンフィルタで統合し、高速な動きに対応しかつドリフトを抑えた、高信頼の移動動作、ハンド動作推定手法を開発する。
- (2) 移動しながらの作業では、腕の動作、移動動作、物体への操作を行う必要がある。状態遷移モデルで表現した作業内容を参照し、現在の状況を認識しながら、それら複数の動作を適切に調停しながら安全なロボット行動を生成する手法を開発する。
- (3) 遠隔地での教示を想定し、人の動作認識と立体的な映像情報の取得を行って、ロボットの動作を指示するシステムを開発する。RGB-D カメラを用いて安定的な動作認識を行う。
- (4) 人とロボットによる協調作業を実現するために、まず2人による協調作業を観察し、作業のモデル化を行う。さらに、人の動作や作業環境の状況の観察結果と作業モデルを照合し、現在の作業の進行状況を認識しながら、適切なタイミングで適切な補助を行うことのできるシステムを構築する。

4. 研究成果

(1) 体の移動と手の動きの認識

装着型インタフェースで、体の移動と手の動きを認識するために、カメラによる画像情報と慣性センサ情報 (ジャイロ, 加速度計)

を用いる。画像情報については、単眼視 SLAM を行い、環境内の特徴点の位置の推定と体の位置・姿勢の推定を同時に行う。また、手先の位置・状態 (開閉) を認識する。慣性センサ情報は体や手の動きを直接的に計測する。前者は体や手の位置姿勢を安定的に取得できるが、速い動きによる画像のぶれへの対処が難しい。一方、後者は速い動きは計測できるもののセンサのバイアスによるドリフトは避けられない。これら2つの情報を拡張カルマンフィルタで統合し、相補的に利用することにより、高速かつ安定的に体の移動や手の動きを推定することが可能となった。

図1に開発したインタフェースを示す。図2に、体の移動の推定において、(a) 画像情報と慣性センサ情報を統合した場合、(b) 画像情報のみの場合、(c) 慣性センサ情報のみの場合の比較を示す。上段の画像中の赤いマークは対応のついた特徴点、青い点は対応のつかない特徴点を示し、下段は推定した人の位置・姿勢を示す。この時点で人はジャンプしているが、(b) 画像情報のみではすべての特徴点の対応付けに失敗し、また (c) 慣性センサ情報のみでは誤差の蓄積により位置・姿勢推定に失敗しているが、(a) 情報統合することにより正しい推定が行えている。

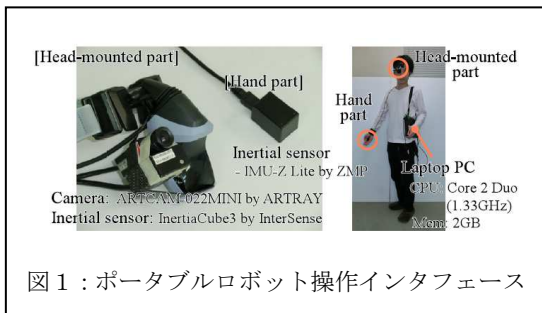


図1：ポータブルロボット操作インタフェース

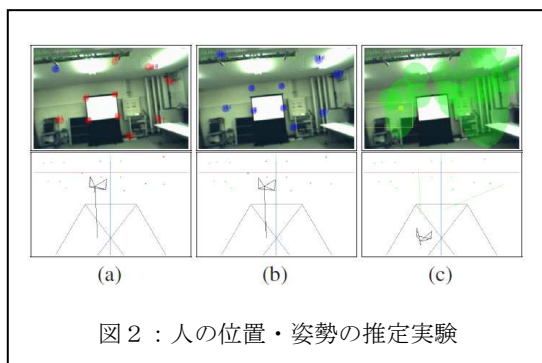


図2：人の位置・姿勢の推定実験

手の動き推定においても画像情報と慣性センサ情報の統合により、安定して推定を行う。手に装着した慣性センサの情報には体の動きが重畳されているので、体の移動の推定量を用いて、体に対する手の位置・姿勢を推定する。手領域は色情報と指付近のエッジ情報を組み合わせて安定的に抽出し、抽出した領

域の形状から手の開閉状態を認識する。図3に手の位置・姿勢および開閉状態を認識した結果を示す。

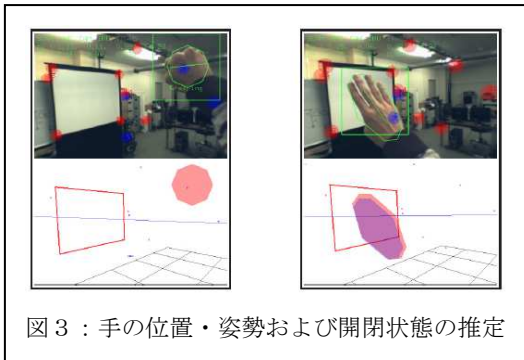


図3：手の位置・姿勢および開閉状態の推定

(2) ロボット作業のための動作の生成

推定した人の動作を基にロボットを動作させるには、対象とする作業の進行に応じた人間とロボットの動作のマッピングが必要となる。例えば、ロボットに物体を把持させるために人が手を動かしたときには、ロボットのアームによる物体の隠蔽の可能性を考慮して、まず物体位置の推定を行うべきである。しかし、把持している物体を置く場合には、ロボットは人の手の動きに従うべきである。また、テーブル上の物体を操作している際にロボットを移動させると危険なので、同時に実行をさせない等の管理が必要である。

そこで、本研究では移動しながらのピック&プレース作業を対象として、作業全体を有限状態機械 (FSM, finite state machine) としてモデル化し、これによりシステムの作業の進行を管理する。このFSMは、待機状態、ロボットの移動、物体の位置姿勢推定、ピック/プレース指示待機、ピック/プレース動作、ピック後の待機状態/ロボット移動/アーム操作といった、主にロボットの作業単位を状態とし、その作業単位の完了/失敗メッセージや、インタフェースの動きの検出メッセージをFSMの入力とすることで、状態と入力の組に応じて、次状態に遷移させ、遷移出力をロボット制御や認識制御等の他モジュールにコマンドとして送信する。

図4に移動しながらのピック&プレース作業を教示している様子を示す。

(3) 遠隔動作教示

人の動きの計測結果に基づきロボットの動作を教示する手法は、遠隔地のロボットに対しても適用可能である。ここでは、そのための基礎研究として、RGB-D センサによる人の姿勢取得とステレオ視を行うことのできるHMD (ヘッドマウントディスプレイ) によ

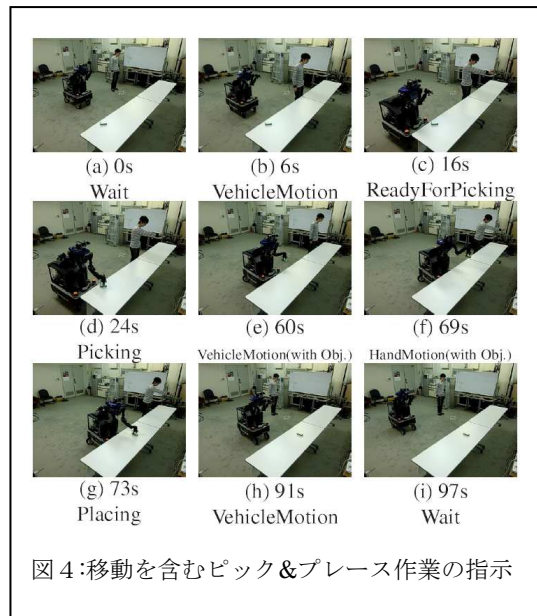


図4：移動を含むピック&プレース作業の指示

る遠隔地の情報取得を組み合わせたシステムを構築し、その操作等について検討を行った。

Kinect センサの骨格追跡により人のハンド位置を取得し、ロボットの機構を考慮して実現可能なロボットのハンド位置を生成し、ロボットを動作させる。一方、ロボット頭部に設置したステレオカメラ情報を1枚の画像に合成し、ネットワーク経由で送信してステレオ画像としてHMDに表示する。

図5は構築したシステムの構成図である。図6は壁を隔てた位置にあるロボットを操作してピック&プレース動作を行わせている状況を示す。3Dマウスを用いた動作指示との比較を行った。

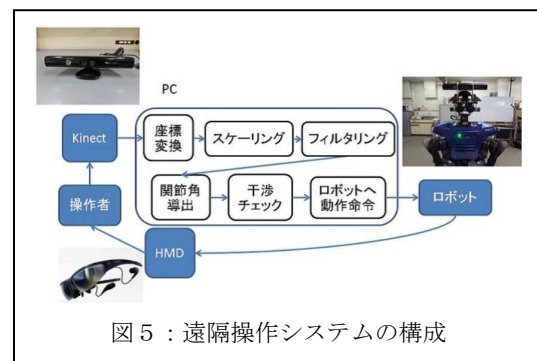


図5：遠隔操作システムの構成

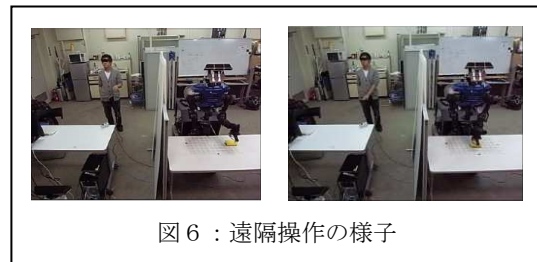


図6：遠隔操作の様子

(4) 人とロボット協調作業の実現

ロボットは人から指示された動作を単独で行うだけでなく、ときには人と協力しながら作業を行うこともあり得る。そのような共同作業においては、ロボットが作業の進行状況を正しく認識し、適切なタイミングで適切な動作を行う必要がある。

本研究では、テーブルの組立作業を対象とし、まず2人の人が作業を行う様子を複数ケース観察してどのような協調動作が現れるかを調べ、作業のモデルを構築した。モデルは組立対象物の状況や人の動作を状態とするFSM(有限状態機械)で記述し、ロボットは人を含む作業環境の視覚認識結果に基づき状態の遷移を検知し、必要な場所で補助動作を行う。

図7に対象とする作業(b)および人とロボットの協調作業の様子(a)を示す。

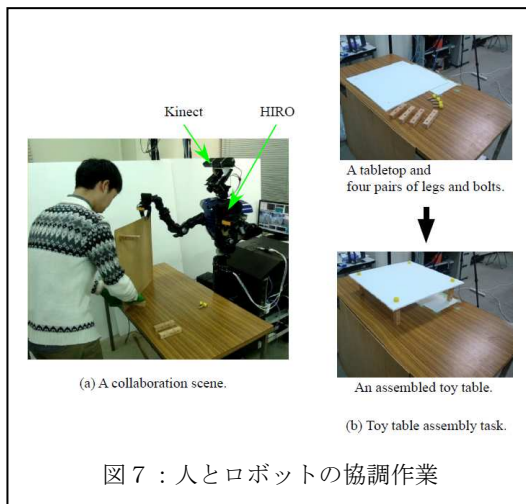


図7：人とロボットの協調作業

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7件)

① J. Sugiyama and J. Miura, "A Wearable Visuo-Inertial Interface for Humanoid Robot Control," Proc. 8th ACM/IEEE Int. Conf. on Human-Robot Interaction, 2 pages(CD-ROM) 2013.

② H. Goto, J. Miura, and J. Sugiyama, "Human-Robot Collaborative Assembly by

On-line Human Action Recognition Based on an FSM Task Model," Proc. HRI2013 Workshop on Collaborative Manipulation, 6 pages (Web), 2013.

③ J. Sugiyama and J. Miura, "A Wearable Robot Control Interface based on Measurement of Human Body Motion using a Camera and Inertial Sensors," Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics, pp. 565-570, 2011.

④ 茗花直幸, 杉山淳一, 三浦純, "手の動作認識に基づくヒューマノイドロボットの遠隔操作システム," 2013年ロボティクス・メカトロニクス講演会, 4 pages (CD-ROM), 2013.

⑤ 杉山淳一, 三浦純, "身体運動推定インタフェースを用いたヒューマノイドロボット操作システム," 第18回ロボティクス・シンポジウム, pp. 465-470, 2013.

⑥ 杉山淳一, 後藤拓喜, 三浦純, "RTミドルウェアによる双腕ロボットとAGVの協調作業システム," 2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会, 4 pages (CD-ROM), 2012.

⑦ 近嵐公太, 杉山淳一, 三浦純, "視覚を持つ双腕ロボットによる物体操作システムの開発," 2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会, 4 pages (CD-ROM), 2012.

[その他]

ホームページ:

<http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三浦 純 (MIURA JUN)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 90219585

(3) 連携研究者

佐竹純二 (SATAKE JUNJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 60392726