

**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：14603

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300081

研究課題名(和文) 多次元行動情報を付加したセマンティックマップによるロボットサービス

研究課題名(英文) Robot Service Based on Semantic Map Integrating Feasible Motion in 3D Map

## 研究代表者

小笠原 司 (OGASAWARA, Tsukasa)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：30304158

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：人を支援するロボットにサービスを適切に提供可能にするためには、従来のロボットのための環境地図だけではなく、人の行動に関するセマンティックな情報が必要となる。そこで、三次元環境地図に意味情報を付加したセマンティックマップを提案する。さらに、人の三次元行動情報を認識し表現する手法について研究を行い、行動履歴を記録する手法を明らかにする。さらに、セマンティックマップからロボットの行動を生成する手法について探求する。

研究成果の概要(英文)：In order for a service robot to provide a human with appropriate service, the robot needs to recognize human's behavior from both human's motion and object's functionality. In this research, we propose a method to generate a 3D semantic map in which human motion is associated with environmental information. Then, we recognize human's behavior by classifying the features of both object's shape and human's motion. Finally, we focus on how to generate robot services using the semantic map.

研究分野：知能ロボットシステム

キーワード：知能ロボティクス サービスロボット 人間生活環境 モニタリング モデル化 情報システム

## 1. 研究開始当初の背景

従来の移動ロボットでは、ジオメトリックな情報とトポロジカルな情報を用いて移動ロボットのナビゲーションが行われていたが、家庭やオフィスで活躍が期待されているサービスロボットをロボスタに動作させるためには、3次元環境地図が必要とされる。そこで、移動の構造や搭載するセンサの異なる複数台のロボットで利用可能な3次元汎用環境地図について研究に取り組んできた。また、人とロボットの共存のためには、人の計測・認識技術が重要な要素技術であり、人の行動計測について研究を行い、歩行軌跡を基にロボットの移動可能経路を計画する手法などの成果を得ている。しかしながら、これは2次元地図上での軌跡として表現されている。今後、人にサービスを行うためには、人の空間内での行動情報をできるだけ細かく取得するとともに、環境地図に関して、セマンティックな情報を付加する必要がある。

## 2. 研究の目的

人へのサービスに柔軟かつロボスタに対応するためには、単なる位置情報、あるいは、形状情報から構成される3次元地図ではなく、人の行動や特性、また、環境に置かれている物体の属性などを地図情報と同時に共有する必要がある。本研究では、このような環境の情報に限らず人の行動に関する情報を含んだ情報を基にサービスを実現する手法の確立を図る。環境地図に意味情報を付加したセマンティックマップ化する。特に、人の行動情報を認識し表現する手法について検討する。

## 3. 研究の方法

人の多自由度運動を行動認識し、3次元環境地図と融合したセマンティックマップを構成するために、下記のようなサブテーマについて研究を進める。

### (1) セマンティックマップの生成手法

提案済みの3次元環境地図は屋内での限られた領域での環境を表現した地図であった。これを拡張し、セマンティックマップを構成する手法を確立する。

### (2) 人の行動履歴の認識と記録

複数台の距離センサの情報を融合して、空間内での人の動作をトラッキングする手法を構築する。また、移動ロボットに搭載した距離センサにより、人の動きを観察することにより、行動を計測する手法について研究するとともに、環境地図内に行動情報を埋め込むことにより、セマンティックマップを構成する。

### (3) セマンティックマップに基づく行動の生成

3次元環境地図に埋め込まれている特徴

点情報から、ナビゲーション情報を生成し、これを基に移動ロボットのナビゲーションを行う。さらに、セマンティックマップの情報を基に、人を支援するサービスロボットの構成を目指す。

## 4. 研究成果

### (1) セマンティックマップの生成手法

人間の動作と環境の形状の両方の情報を関連付けて意味を付加したセマンティックマップを構築した。

#### ① 人間の動作分類と意味付け

提案手法では、まず人間の全身動作を計測した動作列データから動作を分類する姿勢特徴量を抽出する。次に、メッシュ情報を付加した環境の3次元ポイントクラウドデータを用意し、モーションシーケンスの各フレームの動作点に対応したポイントクラウドの形状特徴量を抽出する。抽出した姿勢特徴量と形状特徴量を入力とし、K-means法によってモーションシーケンスを分類する。各クラスに対して規範姿勢との尤度に基づく動作認識をし、認識結果を3次元環境地図にマッピングする。

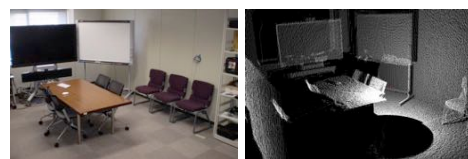
#### ② 環境情報と動作情報の取得

3次元セマンティックマップのもととなる面情報を付加した3次元ポイントクラウドを生成する。点群データの取得には、図1に示す、回転台にLIDARを取り付けて作成した3次元スキャナを用いる。

実験環境として図2(a)に示すミーティングスペース（奈良先端大 情報科学研究科 A511 室）を使用し、テーブルの角4か所と床面2か所の計6か所に本装置を設置して3次元ポイントクラウドを取得する。計測データの例を図2(b)に示す。



図1 3D スキャナ



(a) ミーティングスペース (b) 3D ポイントクラウド

図2 ミーティングスペースの概観と3D ポイントクラウドマップ

また、人間の動作の計測には、Xsens 社のストラップ式モーションキャプチャシステムを用いる。図 2 のミーティングスペースにおいて、一般的なミーティングスペースにおいて行われるであろう動作として「指さす」「横たわる」「右手で置く」「座る」「座り手を動かす」「脚を組んで座る」「膝を抱えて座る」「立つ」「左脚を前に出し歩く」「右脚を前に出し歩く」「右手で書く」の 11 種類の動作をいくつか組み合わせた動作パターンを計測した。

## ② 3次元セマンティックマップの生成

ポイントクラウドに動作のクラス番号に応じた重みを付与していく。検出した動作点を用い、図 2 に示すポイントクラウドの各ポイントにおいて、人間の動作との関連を表す尤度を計算していく。マップ生成結果を図 3 に示す。図 3 において、それぞれ、赤色が“(1) 座る”、青色が“(2) 歩く”、桃色が“(3) 物を取る(置く)”、緑色が“(4) 書く”、オレンジ色が“(5) 指差す”、黄色が“(6) 座って作業する”のクラスに対応している。

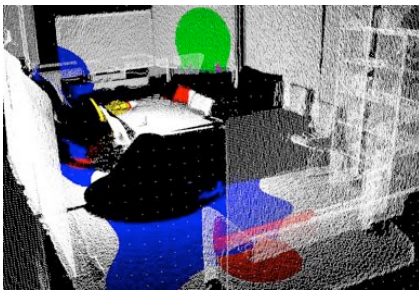


図 3 3次元セマンティックマップ

## (2) 人の行動履歴の認識と記録

-人間の動作のクラスタリング-

図 4 に示す 21 点で表した人間の骨格モデルを用い、腰座標  $\mathbf{X}_0$  を基点とした座標系での各点へのノルム (式 (1)) の集合を用いて姿勢を表現する。また、基本姿勢 (“気をつけ”の姿勢) を  $\mathbf{N}$  とし、基本姿勢と現在の姿勢の差を姿勢特徴量  $\mathbf{p}_i$  とする (式 (2))。特徴量の次元数は、採用した図 4 の骨格モデルにより 20 次元となっている。

$$\bar{\mathbf{x}}_i = \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_0\| \quad (1)$$

$$\mathbf{p}_i = \|\bar{\mathbf{x}}_i - \bar{\mathbf{n}}_i\| \quad (i=1\sim 20) \quad (2)$$

姿勢特徴量  $\mathbf{p}_i$  を k-means 法を用いてクラスタリングし、動作の分類を行う。クラス数  $K=6$  として、一連の動作シーケンスを分類した。各クラスターの代表的な姿勢を図 6 に示す。図 6 より、6 つのクラスターがそれぞれ“(1) 座る”“(2) 歩く”“(3) 物を取る

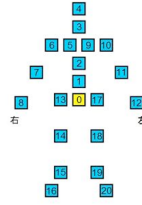


図 4 骨格モデル



図 5 計測の様子

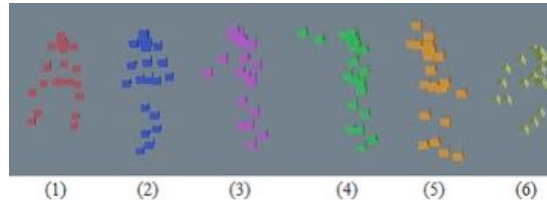


図6 k-means による動作の分類

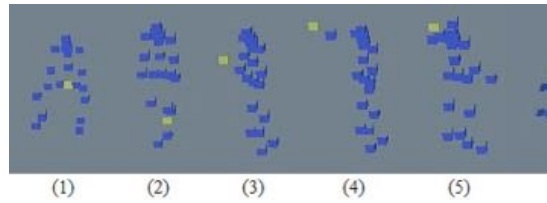


図7 動作点の検出結

(置く)”“(4) 書く”“(5) 指差す”“(6) 座って作業する”といった動作に該当しており、姿勢特徴量が動作分類に有効であることが確認できた。

## (3) セマンティックマップに基づく行動の生成

セマンティックマップの情報を基に、人を支援するサービスを実現するための行動生成法について取り組んだ。具体的には、人の行動情報を考慮した安全な行動の生成方法に関して取り組み、距離画像からの情報を基に、ロボットと人との最短距離と人の運動の方向性を考慮して、安全な回避動作を生成する手法を構築した。また、屋内および屋外におけるセマンティックマップを基に、人に対して支援サービスを行うロボットシステムの検討を行った。屋外では駐車場のよう場所でのモニタリングへの応用を検討した。また、屋内では、家庭やオフィスでの人への給仕動作を効率的に行うシステムについて検討した。以下では屋外でのモニタリングへの応用、および、家庭やオフィスでの給仕動作を行うシステムについて述べる。

### ① 屋外でのモニタリングへの応用

マルチレイヤ型 LIDAR を使用したインターバル計測により、3次元形状のモデルから変化を検出し、その変化がどのような物体であるかを分類する方法を構築した。具体的には新規物体、消失物体、比較対象となる計測では未計測な物体に分類する方法を提案する。ここでインターバル計測とは、定点カメラの連続的な計測ではなく、時間的に間隔をおいて計測することである。

まず LIDAR による計測でポイントクラウドデータを得る。これを入力データとして独立に ICP-SLAM を行い、環境地図を得る。次にインターバル計測ごとに得られた複数の環境地図に対し、ICP アルゴリズムを適用し位置合わせを行い、その差分をとることで変化を検出する。最後に変化点に対して異なった時間に計測した各観測点から得られる距離画像を比較することで、変化点が新規物体の点であるか、消失地点の点であるか、または異なる時間では計測できなかった点であるかを分類する。経時変化が起こった環境では、一回の計測範囲に変化領域が大半を占める可能性がある。しかし、環境の全体を見れば変化していない領域が占める割合が多いことが期待される。そこで先に、得られた環境地図を位置合わせすることで、各インターバル計測で得られた環境について環境変化に影響されずに位置合わせすることが容易になる。

図 8 は変化前に計測されて生成された環境地図であり、図 9 は変化後に計測されて生成された環境地図である。この 2 つの地図を ICP アルゴリズムによって位置合わせしたものが図 10 である。変化した点以外に赤や青の点がずれて見えないことから、正しく位置合わせされていることが分かる。

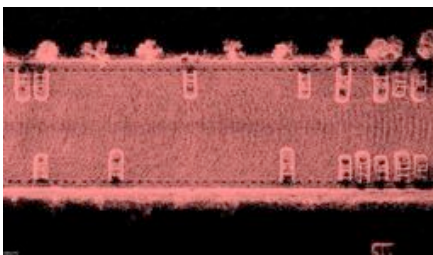


図 8 環境地図 (変化前)

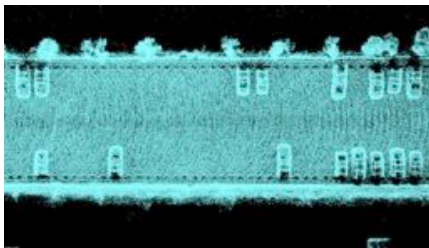


図 9 環境地図 (変化後)

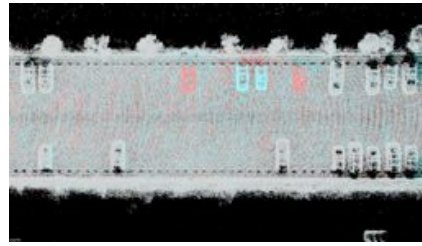
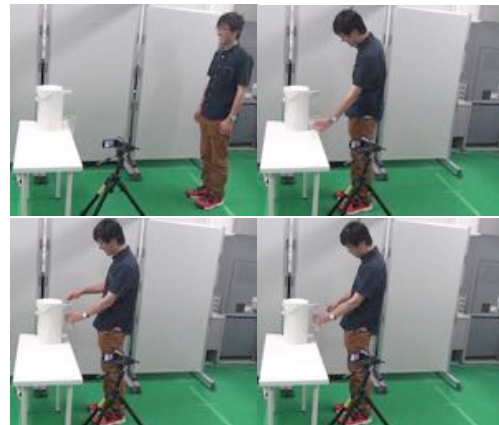


図 10 変化前後の位置合せ結果

### ② 給仕動作を効率的に行うシステムへの応用

人間との対応が求められる家事を代行する上では、人間のような即応性を持ったロボットが望まれる。その際に、セマンティックマップは有効であると考えられる。簡単な家事タスクであるコーヒーを給仕する動作(図 11)を、等身大ヒューマノイドロボットに実装し(図 12)、環境での経過時間を計測して、同じタスクにおいての人間の経過時間との比較を行い、今後の家事タスクの実装の手がかりを探った。

ロボットで実現した結果と人間の給仕動作の経過時間を比較すると、2 倍程度の差が生じた。双腕の動作の組み合わせだけでなく、歩行動作中にポットに手をのばすなど、全身動作との連携が課題となる。また、今回の実装は、歩行コンポーネントとマニピュレーションコンポーネントをスクリプト言語で順番に実装したが、実験のコップへの把持動作の実行タイミングを例とするような、セマンティックマップの情報を基に複合的に動作を実装する必要があることが確認できた。



(a) 動作開始: 0[s] (b) 歩行終了: 3[s]  
(c) お湯を注ぐ: 5[s](d) 動作終了: 17[s]  
図 11 人間のコーヒー給仕タスクの一連動作

## 5. 主な発表論文等



図 12 ロボットによるコーヒー給仕タスク

(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 5 件)

① Y. Ochiai, K. Takemura, A. Ikeda, J. Takamatsu, and T. Ogasawara: “Remote Control System for Multiple Mobile Robots using Touch Panel Interface and Autonomous Mobility”, in Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 3272-3277, 2014, 査読有.

② G. Garcia Ricardez, A. Yamaguchi, J. Takamatsu, and T. Ogasawara: “Extended Asymmetric Velocity Moderation: a Reactive Strategy for Human-Safe Robot Control,” in Proceedings of 2013 IEEE Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 450-455, 2013, 査読有.

[学会発表] (計 19 件)

① 築地原 里樹, 山口 明彦, 吉川 雅博, 高松 淳, 小笠原 司: “等身大ヒューマノイドロボットによる給仕動作の実現と実行時間に対する考察”, 第 32 回 日本ロボット学会学術講演会, 2014 年 9 月 4 日, 九州産業大学 (福岡県福岡市).

② 木村 孝広, 吉川 雅博, 竹村 憲太郎, 高松 淳, 小笠原 司: “環境の形状情報を付加した人間の動作分類に基づく 3 次元セマンティックマップの生成”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2014, 2014 年 5 月 25 日, 富山国際会議場 (富山県富山市).

③ 田辺 雅人, 吉川 雅博, 竹村 憲太郎, 高松 淳, 小笠原 司: “インターバル 3 次元形状計測からの環境変化の識別”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2014, 2014 年 5 月 25 日, 富山国際会議場 (富山県富山市).

④ 木村 孝広, 勝山 貴史, 竹村 憲太郎, 高松 淳, 小笠原 司: “移動ロボットを用いたユーザの姿勢情報分類及びマッピング”, ロボティクスメカトロニクス講演会 2013, 2013 年 5 月 22 日, つくば国際会議場 (茨城

県つくば市).

⑤ 浦辻 勇輝, 竹村 憲太郎, 高松 淳, 小笠原 司: “QoL 向上のためのアノテーション付き地図図を利用したモビリティ支援”, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会, 2013 年 9 月 4 日, 首都大学東京 (東京都八王子市).

⑥ 田辺 雅人, 竹村 憲太郎, 吉川 雅博, 高松 淳, 小笠原 司: “インターバル 3 次元計測からの環境変化の検出”, 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2013 年 12 月 18 日, 神戸国際会議場 (兵庫県神戸市).

⑦ 勝山 貴史, 竹村 憲太郎, 高松 淳, 小笠原 司: “人間の動作により意味付けされた 3 次元セマンティックマップの生成”, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012 年 9 月 17 日, 札幌コンベンションセンター (北海道札幌市).

[その他]

ホームページ等

<http://robotics.naist.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小笠原 司 (OGASAWARA, Tsukasa)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 30304158

### (2) 研究分担者

高松 淳 (TAKAMATSU, Jun)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 90510884

竹村 憲太郎 (TAKEMURA, Kentaro)

東海大学・情報理工学部・講師

研究者番号: 30435440

池田 篤敏 (IKEDA, Atsutoshi)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 20609903

### (3) 研究協力者

吉川 正博 (YOSHIKAWA, Masahiro)

山口 明彦 (YAMAGUCHI, Akihiko)

築地原 里樹 (TSUICHIHARA, Satoki)

木村 孝広 (KIMURA, Takahiro)

田辺 雅人 (TANABE, Masato)

浦辻 勇輝 (URATSUJI, Yuki)

勝山 貴史 (KATSUYAMA, Takafumi)

落合 佑哉 (OCHIAI, Yuya)