

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650070

研究課題名(和文) 概念ドリフトモデリングを用いた普及型自律移動ロボットによる長期間見守りの実現

研究課題名(英文) Realization of Long-Term Monitoring by a Home-Use Autonomous Mobile Robot Using Concept Drift Modeling

研究代表者

鈴木 英之進 (Suzuki, Einoshin)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・教授)

研究者番号：10251638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：バッテリー交換時などは除くが、長期間にわたり対象者を室内で見守り、身体的・精神的な変化を推定する安価で小型な自律移動ロボットの製作に成功した。ロボットは2種類あり、片方4台は部品から製作し、もう片方2台はロボットキットを基盤とする。いずれもノートブックPCとKinectを搭載する。これらのロボットを用い、人姿勢見守りアプリケーション2種類と顔表情見守りアプリケーションを開発した。前者は転倒防止を目的とし、観測する大量の骨格データを逐次クラスタリングし、互いに類似する危険姿勢を発見する。後者は精神的苦痛検出を念頭におき、クラスタリングによって発見した否定顔を検知する。関連研究でも成果をあげた。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in constructing low-cost, small autonomous mobile robots which monitor the target person indoor during a long term excluding occasions such as battery replacements and estimate physical and psychological changes. There are two kinds of robots. One kind (4 robots) was constructed from components and the other kind (2 robots) is based on a robot kit. Each robot of any kind is equipped with a notebook PC and a Kinect device. We have developed two kinds of human posture monitoring applications and a face monitoring application. The former, which aims at preventing falls, incrementally clusters a huge number of observed skeleton data and discovers dangerous postures which are mutually similar. The latter is motivated by psychological pain detection and detects negative faces which were discovered by clustering. We have also made achievements in relevant research.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：知能情報学

キーワード：人見守り 異常姿勢発見 否定顔検知 普及型自律移動ロボット データストリームマイニング

## 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、JST 戦略的国際科学技術協力推進事業・日仏研究交流課題“自律型スワーム制御のための記号的発見と数値的機械学習の統合”(H20年度-H23年度)などの助成により、学習・発見する自律型ロボットのハードウェア・ソフトウェア・手法・理論に関する研究成果・資産を得た。たとえば H23 年時に 15 台保有していた自律型移動ロボットは、高さ・幅・奥行きがそれぞれ 20cm 程度と小型かつ 1 台当たりの価格が約 11.4 万円と安価であり、CPU 1GHz, RAM 1GB, SD カード 16GB, カメラ解像度約 7.6 万画素, WIFI, 連続動作 70 分間, フル充電 30 分間, ログデータ記録間隔 0.3 秒と高性能を誇る。このロボットは比較的高度なデータマイニングタスクを遂行できるが、実験時間は高々 1 時間と短い。

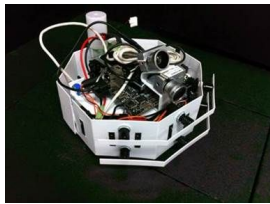


図1 旧ロボット

## 2. 研究の目的

バッテリー交換時や外出時などは除くが、数十日間などきわめて長期間にわたり対象者を室内で見守り、身体的・精神的な変化を推定する安価で小型な自律移動ロボットの製作に挑戦する。複数の学生たちに、研究室滞在時にはロボットの見守り対象者となってもらい、研究を進める。普及型自律移動ロボットが、対象者の変化(ドリフト)を推定する方式を構築し評価する。

## 3. 研究の方法

### (1) 自律移動ロボットの製作

人に関する種々の情報を取得するためのゲーム機用インタフェースとして Microsoft 社が開発した Kinect を搭載する、安価で小型な自律移動ロボットを製作に取り組んだ。図1の旧ロボットは制御用 MPU として Pandaboard と Arduino を搭載していたが、Kinect 制御などのために本研究ではノートブック PC を搭載することにした。H24 年度は部品からの製作、H25 年度はより完成度が高いロボットキット: TurtleBot2 with Kobuki を基盤とする製作に取り組んだ。

### (2) 人姿勢見守りアプリケーションの開発

自律移動ロボットが人の骨格データを Kinect で取得して転倒防止を目的とする姿勢発見を行う、人見守りアプリケーションの開発に取り組んだ。観測する大量の骨格データを逐次クラスタリングし、互いに類似する危険姿勢を発見することを目標にした。危険

性が高い場合とそれほど高くない場合のそれぞれに対処するアプリケーションの開発に取り組んだ。

### (3) 顔表情見守りアプリケーションの開発

自律移動ロボットが人の顔表情データを Kinect で取得して顔表情を処理する、人見守りアプリケーションの開発に取り組んだ。見守り内容に関しては、開発評価検証のサイクルを繰り返した。

### (4) 基盤技術の開発

(1)-(3)の基盤となる技術として、固定 Kinect で観測された骨格データに関する代表例選択法、旧ロボットを用いた異常部分画像の検出、別の自律移動ロボットによる人状態推定、関連するデータマイニング・機械学習手法、顔表情ベンチマークデータの構築とその解析、移動ロボットによる特徴抽出などに取り組んだ。

## 4. 研究成果

### (1) 自律移動ロボットの製作

平成 24 年度中に、数十分間にわたり対象者を室内で見守る自律移動ロボット 4 台の製作に成功した[2-4]。図2に4台を示す。各ロボットは、ノートブック PC と Kinect を搭載し、図1に示す旧ロボットに比較して保守と開発が容易であり、見守り対象者に関する骨格情報などを高速かつ簡便に取得できる。1 台当たりの価格は、レーザー測域センサーを搭載しない場合は約 12 万円、搭載する場合は約 21 万円である。

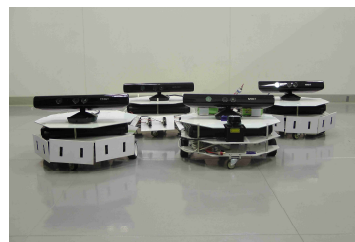


図2 H24 年度に製作したロボット

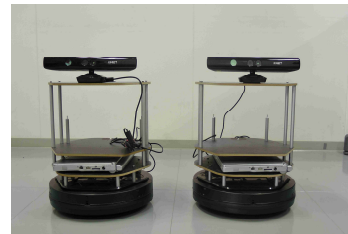


図3 H25 年度に製作したロボット

平成 25 年度には、数時間にわたり対象者を室内で見守るより完成度が高い自律移動ロボット 2 台の製作に成功した[2-4]。図3に2台を示す。これらのロボットは、ロボットキ

ット: TurtleBot2 with Kobuki を基盤としており、図2に示すロボットより製作が大幅に効率的であり、動作もさらに安定している。1台当たりの価格は搭載するノートブックPCに依存し、約28万円から約31万円である。機械学習・データマイニングコミュニティにおいて、自律型移動ロボットが観測データから知識を発見するという研究課題は新規性が高く、旧ロボットについて研究発表を行ったDS2012やIDA2012などの国際会議でも高い関心を呼んだ[8-10]。今後は、たとえば2014年度中に発売される新型Kinectを搭載する、人間に関する情報をより多種類かつ高精度に計測できる自律移動ロボットの製作に取り組む予定である。

### (2) 人姿勢見守りアプリケーションの開発

自律移動ロボットが人の骨格データをKinectで取得して転倒防止を目的とする姿勢を発見する、人見守りアプリケーションの開発に成功した[2-4]。観測する大量の骨格データを逐次クラスタリングし、互いに類似する危険姿勢を発見する方式を考案・実装した。危険性が高い場合とそれほど高くない場合のそれぞれに対処するアプリケーションの開発に成功した。図4に前者において発見された危険姿勢クラスタ内の画像例を、図5に後者における実験風景の例を示す。

数ヶ月間にわたり、これらの安価で小型な自律移動ロボットが室内で対象者を見守れることを繰り返し実験で確認した。人に関する情報取得はKinectに負う点が大いだが、ロボットの位置制御、観測データの逐次クラスタリング、危険姿勢を検出するための骨格間非類似度、転倒危険性がそれほど高くない場合の見守り評価などに関して新規手法・方式を提案し、その有効性を実験によって確認した。

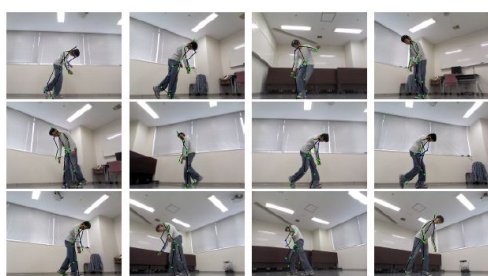


図4 転倒危険性が高いアプリケーションにおいて発見された危険姿勢クラスタ内の画像例

高齢者の転倒は頻度が高く、深刻な影響を及ぼす場合が多い。たとえば米国では、毎年30-60%の高齢者が転倒し、そのうち10-20%が負傷、入院、死亡する[A]。EUではその検出・予防を目的とする大規模プロジェクトが複数存在し、特にFP7のGiraffPlusとHOBBITプロジェクトは、移動ロボットを用いる解決策に取り組んでいる。



図5 転倒危険性がそれほど高くないアプリケーションの実験風景

これらに対し、本研究には自律移動ロボットが発見機能を有するという独自性があり、研究発表を行った国際会議では高い関心を呼んだ(学会発表3, 5)。今後は学会発表2などにより、世界的な関心をさらに高めていく。

### (3) 顔表情見守りアプリケーションの開発

自律移動ロボットが人の顔表情データをKinectで取得して顔表情を処理する、人見守りアプリケーションの開発した。図3の自律移動ロボットは、観測した大量の顔表情データから得られた検出器を用い、否定顔を検出する。図6に実験の様子を、図7に観測された顔画像の例を示す。画像のサイズは40x40ピクセル程度と小さく、ロボットが対象者以外の画像を観測する場合もある。



図6 顔表情見守りアプリケーションの実験の様子

クラスタリングなど種々のパターン発見を試し、長期間見守りという趣旨に合致しかつ実現可能な否定顔の検出を行うアプリケーションを開発した。図8に否定顔の例を示す。今後は(4)の基盤技術のさらなる活用や(2)の人姿勢見守りアプリケーションとの統合を通し、さらなる発展を目指す。

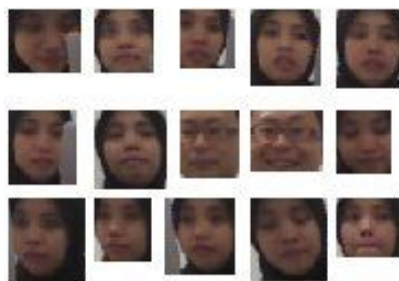


図7 ロボットが観測した顔画像の例



図8 否定顔の例

#### (4) 基盤技術の開発

(1)-(3)の基盤となる技術として、固定 Kinect で観測された骨格データに関する代表例選択法、旧ロボットを用いた異常部分画像の検出[9]、別の自律移動ロボットによる人状態推定[8,10]、関連するデータマイニング・機械学習手法[6,7,11]、顔表情ベンチマークデータの構築とその解析[1]、さらに別の移動ロボットによる特徴抽出[5]などに成功した。

#### 参考文献

A. Rubenstein, L.Z.: Falls in Older People: Epidemiology, Risk Factors and Strategies for Prevention, Age and Ageing, Sep; 35 Suppl. 2:ii37-ii41, 2006.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計11件)

1. Angdy Erna, Linli Yu, Kaikai Zhao, Wei Chen, and Einoshin Suzuki: Facial Expression Data Constructed with Kinect and their Clustering Stability, Active Media Technology, Lecture Notes in Computer Science 8610 (AMT 2014), Springer-Verlag, 2014 (accepted for publication).

2. Einoshin Suzuki, Yutaka Deguchi, Daisuke Takayama, Shigeru Takano, Vasile-Marian Scuturici, and Jean-Marc Petit: Towards Facilitating the Development of a Monitoring System with Autonomous Mobile Robots, Information Search, Integration and Personalization (Post-Proceedings of 2013 International Workshop on Information Search, Integration, and Personalization), CCIS, Springer (accepted for publication).

3. Yutaka Deguchi, Einoshin Suzuki: Skeleton Clustering by Autonomous Mobile Robots for Subtle Fall Risk Discovery, Foundations of Intelligent Systems, Lecture Notes in Artificial Intelligence (ISMIS 2014), Springer-Verlag, June 2014 (accepted for publication).

4. Yutaka Deguchi, Daisuke Takayama, Shigeru Takano, Vasile-Marian Scuturici, Jean-Marc Petit, Einoshin Suzuki: Multiple-Robot Monitoring System Based on a Service-Oriented DBMS, Proc. Seventh ACM International Conference on Pervasive

Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2014), May 2014.

5. Shigeru Takano, Ilya Loshchilov, David Meunier, Michele Sebag, and Einoshin Suzuki: Fast Adaptive Object Detection towards a Smart Environment by Mobile Robots, Ambient Intelligence (AmI 2013), LNCS 8309, Springer-Verlag, pp. 182-197, 2013.

6. Shin Ando and Einoshin Suzuki: Time-sensitive Classification of Behavioral Data, Proc. Thirteenth SIAM International Conference on Data Mining (SDM 2013), pp. 458-466, April 2013.

7. Hao Shao, Bin Tong, and Einoshin Suzuki: Query by Committee in a Heterogeneous Environment, Advanced Data Mining and Applications (ADMA 2012), pp. 186-198, LNAI 7713, Springer, December 2012.

8. Asuki Kouno, Daisuke Takayama, Einoshin Suzuki: Predicting the State of a Person by an Office-Use Autonomous Mobile Robot, Proc. 2012 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2012), pp. 80-84, December 2012.

9. Einoshin Suzuki, Emi Matsumoto, Asuki Kouno: Data Squashing for HSV Subimages by an Autonomous Mobile Robot, Discovery Science (DS 2012), LNAI 7569, Springer-Verlag, pp. 95-109, October 2012.

10. Shinsuke Sugaya, Daisuke Takayama, Asuki Kouno, Einoshin Suzuki: Intelligent Data Analysis by a Home-Use Human Monitoring Robot, Advances in Intelligent Data Analysis XI - 11th International Symposium (IDA 2012), LNCS 7619, Springer-Verlag, pp. 381-391, October 2012.

11. David Meunier, Yutaka Deguchi, Riad Akrou, Einoshin Suzuki, Marc Schoenauer, Michele Sebag: Direct Value Learning: a Preference-Based Approach to Reinforcement Learning, Proc. ECAI-12 Workshop on Preference Learning: Problems and Applications in AI (PL-12), pp. 42-47, August 2012.

[学会発表](計11件)

1. Angdy Erna: Facial Expression Data Constructed with Kinect and their Clustering Stability, 2014 International

Conference on Active Media Technology (AMT 2014), Warsaw, August 2014.

2. Yutaka Deguchi: Skeleton Clustering by Autonomous Mobile Robots for Subtle Fall Risk Discovery, 21st International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS 2014), Roskilde, Denmark, June 2014.

3. Yutaka Deguchi: Multiple-Robot Monitoring System Based on a Service-Oriented DBMS, Seventh ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2014), Rhodes Island, Greece, May 2014.

4. Shigeru Takano: Fast Adaptive Object Detection towards a Smart Environment by Mobile Robots, Fourth International Joint Conference on Ambient Intelligence (AmI 2013), Dublin, December 2013.

5. Einoshin Suzuki: Towards Facilitating the Development of a Monitoring System with Autonomous Mobile Robots, 2013 International Workshop on Information Search, Integration, and Personalization (ISIP 2013), Bangkok, September 2013.

6. Shin Ando: Time-sensitive Classification of Behavioral Data, Thirteenth SIAM International Conference on Data Mining (SDM 2013), Austin, Texas, April 2013.

7. Hao Shao: Query by Committee in a Heterogeneous Environment, Eighth International Conference on Advanced Data Mining and Applications (ADMA 2012), Nanjing, December 2012.

8. Einoshin Suzuki: Predicting the State of a Person by an Office-Use Autonomous Mobile Robot, 2012 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2012), Macau, China, December 2012.

9. Einoshin Suzuki: Data Squashing for HSV Subimages by an Autonomous Mobile Robot, Fifteenth International Conference on Discovery Science (DS 2012), Lyon, France, October 2012.

10. Einoshin Suzuki: Intelligent Data Analysis by a Home-Use Human Monitoring Robot, 11th International Symposium (IDA 2012), Helsinki, October 2012.

11. Michele Sebag: Direct Value Learning: a Preference-Based Approach to Reinforcement Learning, ECAI-12 Workshop on Preference Learning: Problems and Applications in AI (PL-12), Montpellier, France, August 2012.

【その他】

1. 概念ドリフトモデリングを用いた普及型自律移動ロボットによる長期間見守りの実現 (<http://www.i.kyushu-u.ac.jp/~suzuki/ka ken1213-j.html>)

2. Realization of Long-Term Monitoring by a Home-Use Autonomous Mobile Robot Using Concept Drift Modeling (<http://www.i.kyushu-u.ac.jp/~suzuki/ka ken1213.html>)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 英之進 (Suzuki, Einoshin)  
九州大学・大学院システム情報科学研究  
院・教授  
研究者番号: 10251638

### (2) 連携研究者

高野 茂 (Takano, Shigeru)  
九州大学・大学院システム情報科学研究  
院・助教  
研究者番号: 70336064

ボウボウ ソマール (Boubou, Somar)  
九州大学・大学院システム生命科学府・博  
士課程学生

菅谷 信介 (Sugaya, Shinsuke)  
九州大学・大学院システム情報科学府・博  
士課程学生

高山 大介 (Takayama, Daisuke)  
九州大学・大学院システム情報科学府・修  
士課程学生

出口 豊 (Deguchi, Yutaka)  
九州大学・大学院システム情報科学府・修  
士課程学生