

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700112

研究課題名(和文) 家庭用ロボットのためのクラウドソーシングプラットフォームの確立

研究課題名(英文) Crowdsourcing platform for domestic robots

研究代表者

坂本 大介 (Sakamoto, Daisuke)

東京大学・情報理工学(系) 研究科・特任講師

研究者番号：00556706

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本申請課題においてはクラウドソーシングを活用することで、家庭用ロボットの家事遂行を補助するためのクラウドソーシングプラットフォームの開発を行う。クラウドソーシングを活用することにより、家庭内でのロボットによる作業のための地図作成、モノの位置の把握、ロボットの複雑なタスク遂行などが可能となる可能性がある。一方で、クラウドソーシングを家庭用ロボットへ応用するためには1)リアルタイム性、2)プライバシー問題、3)適切なロボットの操作インタフェースの設計という問題が存在する。本研究では、これらを考慮した試作システムを開発し、実際にクラウドソーシングサービス上で実験および検討を行った。

研究成果の概要(英文)：We create a system that supports domestic robots for performing household tasks by utilizing a crowdsourcing. We consider that this makes it easy to create maps of a house, detect a location of an object, and perform a complex task by utilizing the crowdsourcing. On the other hand, there are some concerns to use the crowdsourcing services, such as 1) real-time operation, 2) privacy issue, and 3) designing an appropriate user interface. In this research, we created a proof-of-concept prototype system and conducted an experiment to investigate the appropriateness of the system.

研究分野：総合領域、情報学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインタフェース クラウドソーシング

1. 研究開始当初の背景

クラウドソーシング (Crowdsourcing) とは不特定多数の人 (Crowd) に作業を依頼する (Sourcing) ウェブサービスの一つである。クラウドソーシングは欧米ではすでに一般的な業務委託形態となりつつあり、このため、ヒューマンコンピュータインタラクション (Human-Computer Interaction: HCI) において急激に注目を集めており、ACM SIGCHI や UIST などの HCI を代表する最重要国際会議において多くの発表が行われている。クラウドソーシングは作業委託を受ける人がインターネット上のどこにいても良いという点において、人種や言語、国や時差を意識しない新しい業務形態として注目されている。これはつまり、日本で依頼をした作業がインドや、南米、アジアのどこかで行われるため、日本時間で夕方発注した作業が日本時間の次の朝に帰ってくる可能性がある。さらには、作業が行われる国を問わないため、業務形態が一新する可能性があるため、注目されている。現在では、日本ではまったくこの取り組みが行われていないが、可及的速やかにクラウドソーシングに関する研究を行わなければ、他国に遅れをとるだけでなく、経済的に大打撃を受ける可能性が高い。

2. 研究の目的

家庭用ロボットの作業遂行にクラウドソーシングを活用するためには、以下の3つの大きな問題を解決する必要がある。また、本研究を遂行するにあたっては基礎研究も重要となる。

(1) リアルタイム性

クラウドソーシングは作業をウェブサービスを通して他者に依頼するが、その作業が直ちに実行される保証はない。

- ① 現在のクラウドソーシングプラットフォームとの連携の検討、および連携システムの構築を行う。
- ② リアルタイム性が必要な作業と、そうでないものを適切に分割することで、この問題を回避することを検討する。
- ③ 実際の作業完了までの時間の評価を行う。

(2) プライバシー

家庭での作業をクラウドソーシングする際には、作業者は依頼者の家の中を見る必要がある。これは利用者のプライバシーを侵害することとなり、本提案手法の普及を阻害する可能性がある。

- ① 家庭内の映像を実際の画像ではなく、これを模した絵に変換する仕組みを確立する。
- ② 変換についてもクラウドソーシングを用いる。具体的には、家庭内の映像を分割し、すべての映像を見えないようにすることを検討する。
- ③ 試作したシステムについて、プライバシーが保護されつつも正しく作業が行えるか

どうかについて評価を行う。

(3) 家庭用ロボットの遠隔操作インタフェースの開発

作業者は実際に家庭用ロボットを操作して、依頼された作業を遠隔で行うが、このための適切なユーザインタフェース設計が必要となる。

- ① ロボットの動作作成・遠隔操作のクラウドソーシングのための適切なユーザインタフェース設計論はまだ無く、未知であるため、この検討を行う。
- ② ロボットの専門家ではないクラウド上の作業者にとっても、作業が十分に遂行することができるインタフェースの検討をする。
- ③ 試作したインタフェースを、上述した2点を合わせて評価する

(4) ユーザインタフェースの基礎研究

また、家庭用ロボットの操作インタフェースについてはクラウドソーシングプラットフォームに載せるための前段階として基礎的な検討を行う必要がある。このため、本研究においてはロボットのためのユーザインタフェースの基礎研究についても平行して実施する。

3. 研究の方法

上述した問題を考慮した試作システムを構築する。本研究ではプライバシーの問題に対応するシステムと実際にロボットへ指示を与えるシステムを分けて実装する。本研究においてはマイクロタスク型のクラウドソーシングを利用するため、ユーザインタフェースや作業内容が簡潔である必要がある。マイクロタスクとは、作業が非常に細かな状態に分割されたものであり、概ね数分 (可能であれば1分以内) に完了するようなものである。このため、作業を可能な限り簡単かつ明確にする必要がある。

(1) 家の画像を匿名化するシステム

家の天井からの画像 (天井に取り付け、真下を向いたカメラの画像; トップダウンビュー) を利用する。システムではこの画像を分割し、家の構造および部屋の状況を想像することが難しい状態にする。次に、分割された画像に対して、ロボットが動作する範囲を知ることが目的として床の指定をしたり、家具等の位置を知ることが目的として家具の種類・位置を指定したりするシステムである。これらの全ての操作はスケッチで行うため、操作に習熟する必要がない。このため、マイクロタスク型のクラウドソーシングに適していると考えられる。開発したウェブシステムのスクリーンショットを図1に示す。

Sketching Home

Please complete two tasks below

1. Select entire floor by sketching.
2. Select all furniture by sketching.

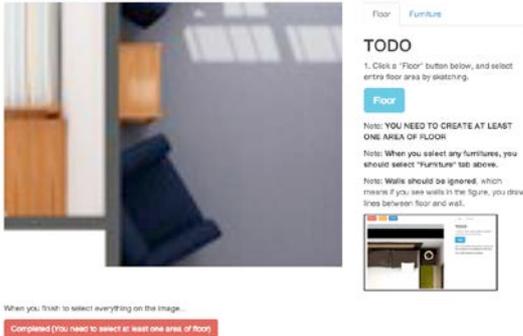


図 1 家の内部の映像を匿名化するシステム

(2) ロボットへ指示を与えるシステム

匿名化された画像を利用して、ロボットに対して具体的に作業の指示を与えるシステムを開発する。本研究においては、掃除・モップがけ（領域の指示）およびモノの移動の指示に注目したシステムを開発する。本システムは我々が以前開発したシステムをウェブインタフェース化するものであり、家事の種類や操作の内容は概ね同じものである。開発したウェブシステムのスクリーンショットを図 2 に示す。

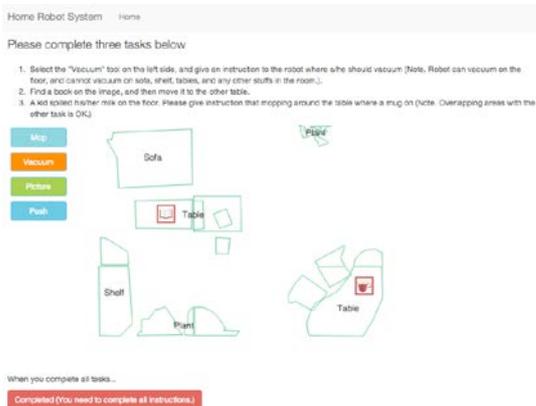


図 2 ロボットに家事の指示を与えるシステム

(3) クラウドソーシング実験

本研究においてはクラウドソーシングプラットフォームとして世界最大級の CrowdFlower¹を利用した。本プラットフォームの貢献者 (Contributor) は世界中に 500 万人以上存在し、いつでもタスクを設定することが出来るなど、利用者としての自由度が高いものである。また、本プラットフォームは主としてマイクロタスクを扱っており、本研究での目的に適している。

¹ <http://www.crowdfunder.com/>

4. 研究成果

(1) クラウドソーシング実験の結果

① 画像の匿名化手法

図 3 に実験の結果の例を示す。本実験ではワンルーム 2 件、1LDK 1 件、2LDK 2 件の合計 5 件の画像を利用した。実験では 5 件同時にクラウドソーシングする場合と 1 件毎に分けてクラウドソーシングする場合に分けた。また、どの程度の分割が適切かを検証するために、同じ部屋の画像について複数の分割パターンを設定してクラウドソーシングをするものも含めた。

実験では貢献者への指示として「床の選択」と「家具の選択」を依頼した。どちらの選択手法についてもスケッチ操作によるものであることを、アニメーションを利用するなどして簡単に示した。貢献者は操作方法について説明を読んだあと、具体的な作業を行った。タスク完了時にはこの説明を読む時間も含まれている。

この結果、5 件同時にクラウドソーシングをした場合 (350 タスク、1 タスク 10 セント) にはタスク完了までの時間が 5 時間 50 分であり、1 タスクの平均完了時間は 3 分 29 秒であった。一方で、タスク完了までの時間については最初の 100 件までで 1 時間 1 分、200 件で 2 時間 19 分、300 件までで 3 時間 37 分であった。一方で、1 件だけクラウドソーシングした場合 (146 タスク、1 タスク 10 セント) にはタスク完了までの時間が 2 時間 33 分であり、1 タスクの平均完了時間は 3 分 2 秒であった。タスク完了時間について 100 件までで 10 分、145 件までで 48 分であったが、最後の 146 件目だけが非常に遅い結果となった。これは全てのクラウドソーシングにおいてこの傾向が確認された。



図 3 画像の匿名化の例

図 4 に複数の分割パターンを比較した結果を示す。比較には 2LDK の画像を用いた。図中の左が 12 分割、右が 20 分割の例である。概要として部屋の様子を知るためには 12 分割でも十分のように思える。一方で、20 分割の場合には家具の詳細についても示されていた。総じて、分割を増やす方が部屋の詳細

が示される傾向があるため、ロボットへの家事の指示をするためには分割率が高いほうが適しているであろうと考えられる。

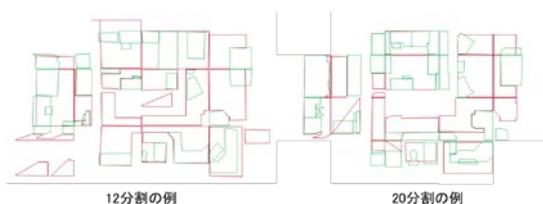


図 4 複数の分割パターンの例
(2LDK の家の場合)

② ロボットへの家事の指示手法

図 5 に実験の結果の例を示す。本実験では匿名化された家の情報からロボットの指示をどの程度作成することができるのかに注目して実験を行った。画像の匿名化実験で得られた画像について、再構成のために利用する画像を実験者が選択し、手動で画像を再構成した。本実験で利用する画像については床の領域の線に関して、他の領域と連続している部分については削除して利用した。

実験では貢献者への指示として「掃除する領域の選択」と「物体の移動の指示」を依頼した。領域選択はスケッチによるものであるが、物体の移動はドラッグアンドドロップによる操作である。どちらの操作についてもアニメーションを利用するなどして簡単に示した。貢献者は操作方法について説明を読んだあと、具体的な作業を行った。具体的な指示内容としては「ソファやテーブルを避けながら、ロボットが掃除すべき領域を選択してください。」「画像中から本を見つけて、他のテーブルに移動させてください。」等があった。

このシステムについてクラウドソーシングを行った(100タスク、1タスク10セント)。この結果、タスク完了までの時間は1時間52分であり、1タスク平均完了時間は5分21秒であった。50タスクまでの完了時間は18分27秒であった。指示の質としては6割程度が指示通りにスケッチし、移動の指示ができていた。

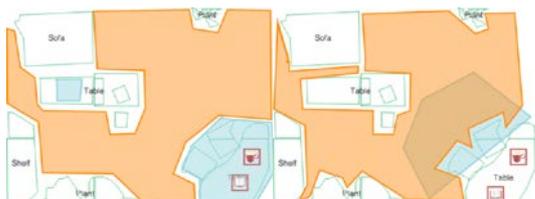


図 5 家事の指示手法の結果
(2パターン)

(2) 今後の展望

本研究においては家庭用ロボットの家事の指示について、プライバシーを考慮するために画像を分割し匿名化する手法、および匿名化された画像を利用したロボットへの家事の指示手法についてクラウドソーシングを活用したシステムの研究を行った。結果としてはリアルタイム性については十分な結果が得られなかったが、画像の匿名化は数時間毎、もしくは1日単位という長い期間で実施するものであると考え、十分に実用的な範囲での結果が得られたと考えている。匿名化の手法についても家事の指示を与えることができ、かつ十分な匿名化ができたと考えている。さらに、ロボットの家事の指示については我々が過去に実施した研究をクラウドソーシングしたものであったが、これについてもこれまでの研究に近く、クラウドソーシングであっても十分にロボットへの指示ができたことを示すことができたと考えている。

一方で、クラウドソーシングの結果についてはノイズが多く含まれていた。具体的には、スケッチ操作について真面目に取り組んでいないようなものや、落書きのようになってしまったもの、さらにシステム上の制約を突いて適当に作業したものなどがあった。これらの質を十分に保証するための仕組みについては今後の研究課題である。

本研究を開始した当初から2年あまりが経過し、日本においてもクラウドソーシングサービスが複数立ち上がり「クラウドソーシング」という言葉自体が広まりつつある。1節「研究開始当初の背景」で示したような時代背景から、様々な場面でクラウドソーシングが利用されるような時代に入ってきているという実感もある。今後も継続的にロボットを利用する場面でのクラウドソーシングの活用について検討を行っていく。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① James E. Young, Takeo Igarashi, Ehud Sharlin, Daisuke Sakamoto, and Jeffrey Allen. Design and evaluation techniques for authoring interactive and stylistic behaviors. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems (TiiS) 3, 4, Article 23 (January 2014), 36 pages, 査読有り.
DOI: 10.1145/2499671

[学会発表] (計21件)

- ① Makoto Nakajima, Daisuke Sakamoto, and Takeo Igarashi. 2014. Offline Painted Media for Digital Animation Authoring. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in

- Computing Systems (CHI '14). ACM, New York, NY, USA, 321-330, 2014/4/28, Toronto, Canada.
- ② Daniel Saakes, Vipul Choudhary, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami and Takeo Igarashi. 2013. A Teleoperating Interface for Ground Vehicles using Autonomous Flying Cameras. In Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT '13). IEEE, USA, 13-19, 2013/12/11, Tokyo, Japan.
- ③ Jun Kato, Daisuke Sakamoto, and Takeo Igarashi. 2013. Picode: inline photos representing posture data in source code. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13). ACM, New York, NY, USA, 3097-3100, 2013/5/2, Paris, France.
- ④ 坂本大介, ヒューマンコンピュータインタラクションの手法を応用したロボット操作インタフェース, 日本ロボット学会 第30回記念 学術講演会, 1M2-4, 2012年9月17日, 札幌.
- ⑤ Jun Kato, Daisuke Sakamoto, and Takeo Igarashi. 2012. Phybots: a toolkit for making robotic things. In Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference (DIS '12). ACM, New York, NY, USA, 248-257, 2012/6/14, Newcastle, UK.
- ⑥ Jeffrey Allen, James E. Young, Daisuke Sakamoto, and Takeo Igarashi. 2012. Style by demonstration for interactive robot motion. In Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference (DIS '12). ACM, New York, NY, USA, 592-601, 2012/6/14, Newcastle, UK.
- ⑦ Yuta Sugiura, Calista Lee, Masayasu Ogata, Anusha Withana, Yasutoshi Makino, Daisuke Sakamoto, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. 2012. PINOKY: a ring that animates your plush toys. In Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12). ACM, New York, NY, USA, 725-734, 2012/5/7, Austin, Texas, USA.

[その他]
ホームページ等
<http://daisukesakamoto.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 大介 (SAKAMOTO, Daisuke)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任講師

研究者番号：00556706