

Connected Robot: 多数人が同時に操作することを想定した IoT ロボット

Robot of Internet for Assumption that Multiplayer use it at the same time

小林 夢大^{1*} 寒竹 俊之¹ 菅谷 みどり¹
Mudai Kobayashi¹ Toshiyuki Kantake¹ Midori Sugaya¹

¹ 芝浦工業大学大学院理化学研究科電気電子情報工学専攻

¹ Shibaura institute of technology

Abstract: インターネットを通じたコミュニケーションは不特定多数、共通の興味・関心を持つ人とつながりをもつことができる等のメリットがある。ロボットがこうしたネットワークに接続することで、これらのメリットを生かしたサービスを実現できる可能性がある。しかし、具体的なサービスや、接続に関する技術検討は十分にすすめられていない。本研究は、ロボットがインターネットに接続し、複数人によりロボットが共有される新しいゲームを開発し、リアルタイムな操作共有がもたらす効果について評価した結果を報告する

1 はじめに

近年、技術向上等により安価にコンピューターやインターネットを家庭に導入することが可能となり、日本のインターネット普及率は平成 15 年には 90% を超え、2017 年現在も 95% 程度を維持している。世界のインターネット普及率も、現在では 50% となっており [1]、今後も増え続けることが予想されている [2]。近年では、様々な「モノ」や「コト」がインターネットに接続され、利用者に応じて様々なサービスを提供する IoT (Internet of Things) の時代が始まっている [3]。IoT は様々な機器やセンサがネットワークに接続されることで、大量のデータをサーバやクラウド等のデータベースに蓄積することを可能としている。

また、人工知能 (AI) 分野や認識 (音声, 画像等) 分野を中心としたロボットに関する研究も急速に発達しており、それらの技術向上によって大量のデータを分析することが可能となっている。そして、ロボットも IoT の一部として、2014 年にはロボット革命実現会議でロボットの将来イメージが議論され、インターネットを活用したロボットサービスの実現に向けた研究開発も進められている [4]。例として、インターネットを介して遠隔で操作するロボット [5] や、インターネットから情報を取得し、学習するロボット [6] 等が開発されている。

さらに現在では、(1),(2) によって分析されたクラウド上のデータにロボットがアクセスすることで更なる

機能を得ることが可能となる IoRT (Internet of Robotic Things) という概念やクラウドロボットという概念が提唱されている [7]。このように、インターネットとロボティクスの融合技術は今後、世界的にも最も重要な「モノ」になると考えられる。

2 課題

2.1 ネットワークロボットとインターネット

ネットワークロボットとはネットワークとロボットが融合したものであり、ロボット、センサ、パソコン、スマートフォン等がネットワークを介して接続されたものである [8]。ネットワーク技術とロボット技術が融合されることにより、様々なサービスが可能となる。例えば、危険な場所に人が行かなくても、ネットワークを通じた遠隔操作により、ロボットが代行作業を行うことが可能である。そしてセンサ等によって物理環境の情報をサーバに集め分析し、その情報をロボットが利用することで、ロボット単体での動作よりも正確な動作が可能である [7]。

さらに、ネットワークがグローバルな回線に接続することにより実現する、インターネットサービスを利用することで、より多くのサービスをロボットが提供できる。例えば、浅沼らは、インターネットを介したロボットの操作によってローカルなネットワークより広範囲な遠隔操作を可能としている [5]。また、前田らはグローバルに広がるインターネット上の情報を用い

*連絡先: 芝浦工業大学大学院理化学研究科電気電子情報工学専攻
E-mail: MA17046@shibaura-it.ac.jp

てロボットが学習することで対話システムの向上を可能とした [6].

ここで、これらの提案に共通する、インターネットの利点をまとめると、広範囲の情報端末 (機器) を通じて次のパターンの情報共有が可能となる。

- (1) 機器同士の連携
- (2) 人同士の連携
- (3) 人と機器の連携

特に、インターネットは、(2) において不特定多数の人が連携しコミュニケーションをとることができる特性があることが重要であり、この特性を利用した SNS などのサービスが多数提供されている。これに対して、ロボットは、情報端末の一形態として考えられることから、広範囲において、(1)、(3) のパターンでの連携ができると考えられる。そして、広範囲において人と機器とが連携することが可能であれば、不特定多数の人が簡単に、機器と連携することも可能である。

2.2 従来型のインターネットに繋がるロボットの課題

従来型のインターネットにつながるロボットでは、2.1 節 (3) 人と機器の連携の形式である、1人が1台のロボットをインターネットを介して遠隔操作するようなサービスや [5]、(2) 機器同士の連携の形式である、SNS や Twitter の情報などから、会話パターンを獲得し、その情報を学習し会話を行うロボットなどがすでに提案されている [6]。これらのサービスの特徴は、1-to-1 であることがあげられる。このことから、2.1 で述べたインターネットの特性としてあげられる「不特定多数の人とのコミュニケーションを可能とする」といった特性や、不特定多数の人が簡単に機器と連携できるという利点を最大限有効に活用しているとはいえない。このことから、(3) の形を模索しつつ、不特定多数の人とのコミュニケーションを可能とすることを課題と考えた。

3 提案 : Connected Robots: 多数人が同時に操作することを想定したロボット

3.1 提案概要

本節では、本論文において提案するロボットについて説明する。

本論文にて提案する Connected Robots とは 2.1 節で述べたインターネットの利点を最大限に活用することを目的とし、図 1 のようにリアルタイムに複数人が、イ

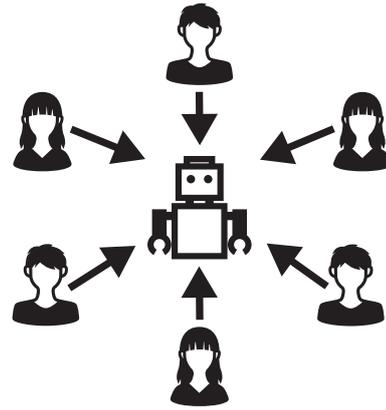


図 1: Connected Robots のモデル

ンターネットを介して接続可能なロボットである。このロボットは、従来型のインターネットに繋がるロボットでは行われていない、以下の項目の実現を目的としている。

- (1) 1 台のロボットを不特定多数が共有
- (2) 複数人からの同時操作の受け付け
- (3) ロボットを介しての不特定多数の人とのコミュニケーション

これらの項目の実現をすることによって新たなネットワークロボットのサービスの実現に繋がることが考えられる。

3.2 Connected Robots によるサービス

提案概要の実現によって、3.1 節 (1) 1 台のロボットを不特定多数が共有が可能になれば、カーシェアリング (1 台の車を複数人で共有し、車の貸し借りをするサービス) のように、1 台のロボットを複数人で共有し、買い物に行きたい時に、ロボットに買い物に行かせたりするようなサービスの実現が可能となる (1)。

また、3.1 節 (2) 複数人からの同時操作の受け付けが可能となれば多数のカメラが付いた点検用ロボット、警備用ロボットを複数人数で同時に操作することが可能となれば、視野が広がり異常検知能力の向上につながり、操作を分ければより多くの範囲の認識が可能となる。そしてシームレスな操作の切り替えが可能になり、操作する人の交代を簡単に行うことが可能であると考えられ、ロボットの遠隔操作機能の向上に繋がる (2)。

そして、3.1 節 (3) ロボットを介しての不特定多数の人とのコミュニケーションが可能となれば、インターネットの普及によって問題とされている人のコミュニケーション能力低下 [9] に対してユーザーにインター

ネットを通じた協調作業を与えることによって少なからず、他ユーザーが何をしてほしいか、何を考えているかという想像力向上をもたらすことが可能になると考えられる。複数人で1つの物进行操作することは、またチームとのコミュニケーション、他人との繋がりを感じられるために1人でゲームをプレイするものとは違った面白さを提供することが可能であると考えられる(3).

3.3 本研究における提案の評価方法

本論文では前章で述べたようなロボットについて述べているが、具体的なサービスや、接続に関する技術検討は十分にすすめられていない。そのため、本研究は、ロボットがインターネットに接続し、複数人によりロボットが共有される新しいサービスを提案、開発し、そのサービスを試してもらうことで、Connected Robotsの利点検証と、リアルタイムな同時操作共有がもたらす効果を評価する。

4 Connected Robots Game

4.1 概要

3.1節で述べた、Connected Robotsのアイデアの中心である(1),(2),(3)を具現化するサービスはまだ提供されていない。そこで、本研究は3.1節(1),(2),(3)を実現するサービスの一例として、Connected Robots Gameを提案する。

4.2 設計概要

Connected Robots Game (CRG) では、複数人が1つのチームを構成し、協力しあい、遠隔地にある1つのロボットを同時に操作する、不特定多数の人が協力しあって目標を達成することにより、他のユーザーとの連携や協力、コミュニケーションを楽しむ。CRGでは、3.1節(1),(2),(3)を実現するため、以下を設計目標とする。

- (1) 不特定多数が共有が可能のように、ロボットがデータベースで管理され、ユーザーはそのデータを参照してロボットにアクセスすることが可能
- (2) ロボットへの命令は並列処理され、複数の命令を処理することが可能
- (3) ユーザーたちはチャット画面でコミュニケーションを取りつつロボットを操作することが可能

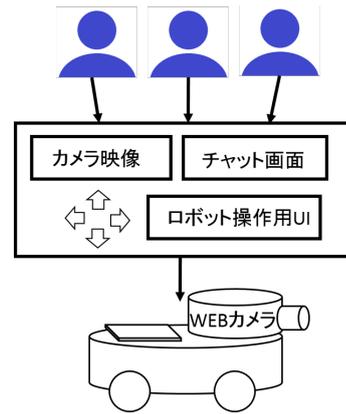


図 2: サービス概要図

4.3 サービス概要

図2に、CRGのサービス概要図を示す、複数人のユーザーがインターネットを介して遠隔地のロボットに接続し、協力しながら目標を達成するものである。ロボットにはカメラが装着され、ユーザーはインターネットを介して、カメラ映像を受信しながら、チャット画面を用いて他ユーザーと協力しながら、ロボットの操作を行う。

4.4 システム機能

図3に、CRGの機能図を示す。それぞれのグループに別れたユーザー、ロボットが存在し、ロボットはそれぞれサーバーを持っている。また4.2節(1)を実現するためにロボットを管理するデータベース、ユーザーがロボットへ簡易的にアクセスできるためのアクセスページが存在する。ロボットのIDがデータベースに登録され、そのデータベースを参照し、ユーザーは直接ロボットのサーバにアクセスすることが可能となっている。

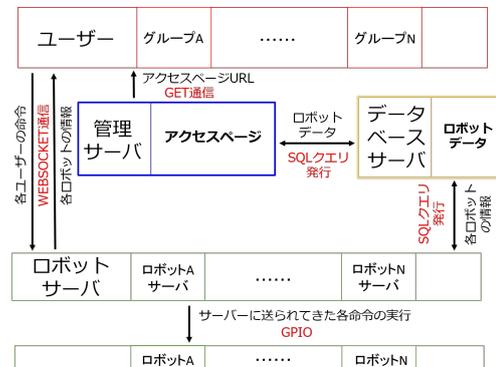


図 3: 機能図

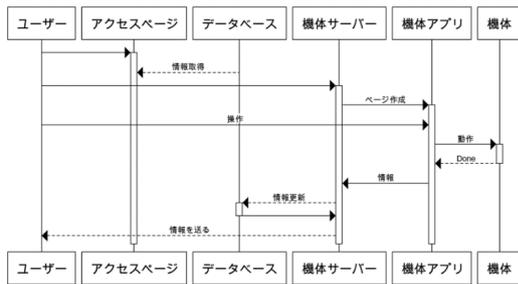


図 4: フロー図

4.5 システムフロー

CRG のシステムフロー図を図 4 に示す。フローは以下のようになっている。

- (1) ロボットがネットワークに接続されると、ロボットの持つ IP アドレスがデータベースに登録される
- (2) そのデータベースを用いてロボットへのアクセスページが更新される。
- (3) ユーザーはアクセスページを介してロボットサーバーへとアクセスする
- (4) ロボットサーバー上にロボット操作画面が生成される
- (5) ユーザーがネットワークを介して操作コマンドを送信するとその命令がロボットへ送信される
- (6) ロボットの情報(カメラ映像, 操作情報)がユーザーへと送信される

4.6 インターネットを介した接続

図 5 に操作画面を示す。画面上にはカメラ映像、そして、コミュニケーションを取りつつ操作を行うためのチャット画面、ロボット操作用の UI を用意した。映像はラズベリーパイ上に接続された WEB カメラをになっている。また、参加者は WEB アクセス時にユーザー名入力を求められ、それが参加者名として表示される。チャット画面ではその参加者名を用いてほかユーザーとコミュニケーションが取る事が可能である。これによって 4.2 節 (3) を可能としている。

4.7 ロボット操作システム

図 6 に、ロボットのハード構成を示す。ラズベリーパイに WEB カメラ、モータドライバ、バッテリーが接続



図 5: 操作画面

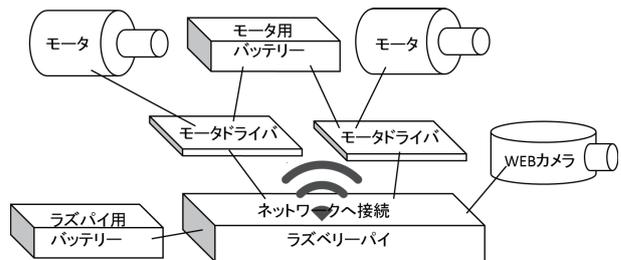


図 6: ロボット構成図

されたものになっている。ユーザーの命令は WebSocket 通信を用いて WEB を介してラズベリーパイ上に送信される。命令は、ラズベリーパイの GPIO を用いて、モータドライバへと信号を出力し、モータの出力となる。ユーザーから送られてくる命令は Node.js によって非同期的に処理されているため、複数命令を大量、同時に処理することが可能となっている。このシステムにおいて、例えば前進と後退の命令が同時に送られてきている際には、ロボットはそれぞれの命令を非同期的に処理し、前進と後退をひたすらと繰り返す。また現在入力されている操作は、画面上に表示されるようになっており、どのようにロボットが動作しているかロボットにアクセスしているユーザーはそれを確認することができる。このような設計により 4.2 節 (2) を可能としている。

4.8 ロボットの管理システム

この節ではロボットの管理システムについて説明する。ロボットの管理に用いるデータベースは Azure Database for MySQL を用いた。Azure Database for MySQL は Microsoft 社により提供されるクラウドプラットフォーム内のデータベース管理サービスである。MySQL はオープンソースで公開されている関係データベース管理システム (RDBMS) の一つであり、MySQL データベースサーバは、低容量の組み込みアプリケーションから、テラバイト級の情報量を擁する巨大なデータウェアハウスの稼働に至るまでのすべてに対応でき、スケラビリティを実現することができる [10]。

ロボットが起動すると、データベースサーバに接続

し、ロボットのホスト名がデータベースに登録される。そしてそのホスト名、ロボットの ID、データベースにロボットが登録された時間がアクセスページに表示されるようになっており、ユーザは誰でも簡単にアクセスページの URL を知りうるだけでロボットにアクセスすることが可能である。このような設計により 3.1 節 (1) を可能としている。

5 Connected Robots Game の評価

5.1 評価方法

本論文では Connected Robots の利点検証と、リアルタイムな同時操作共有がもたらす効果を評価する。そのため 3.2 節 (2) のように多数人の同時操作が、操作性向上に繋がるのかどうか、3.2 節 (3) のようにコミュニケーション向上を図れるような他人の存在感を感じつつ楽しめるサービスに繋がるのかどうかを評価する。その方法として、1 人から 5 人に、開発したサービスを使用してもらい、それぞれの場合に応じて

- 操作性
- 自分の存在感
- 他人の存在感
- 楽しさ

について操作者に質問し、評価を得た。また、操作者と操作の記録、ゲームをクリアするまでの時間の記録を行った。この時、1 人目は 1 回目から参加し、1 人で操作する場合から 5 人で操作する場合があります。2 人目は 2 回目から参加し 2 人から 5 人で操作する場合があります。そして、3 人目、4 人目、5 人目も同様である。

5.2 実験結果

図 7、図 8 に、人数が増えることによって、それぞれの評価項目がどのように変化するか記録したものを示す。また、図 7 の数値については表 1 に示す。そして、ゴールにたどり着くまでの時間を表 2 に示す。

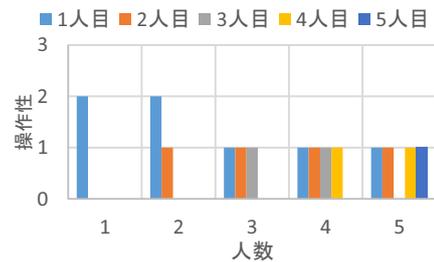
図 7 を見ると、操作者の人数が増えることによって、操作性が悪くなる、自分の存在感が薄くなる傾向があることが確認される。楽しさについては 5 人になると、減少されることが確認される。また、他人の存在感については、人数が増えてもある程度一定の評価になる傾向があることが確認される。そして、図 8 では、操作者の人数が増えることによって合計操作数が増えることが確認される。

表 1: 評価値

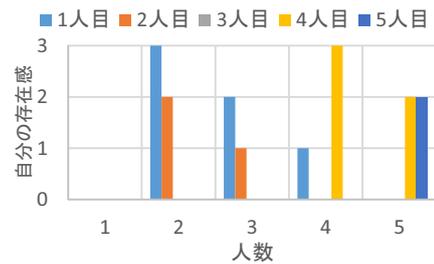
評価項目/数値	3	2	1	0
操作性	とてもよかった	まあまあよかった	よくなかった	とてもよくなかった
自分の存在感	とても感じた	まあまあ感じた	少し感じた	感じなかった
他人の存在感	とても感じた	まあまあ感じた	少し感じた	感じなかった
楽しさ	とても楽しい	まあまあ楽しい	つまらない	とてもつまらない

表 2: ゴールまでの時間

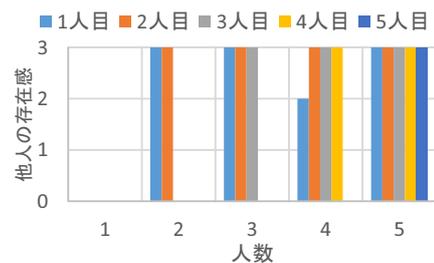
操作人数 [人]	ゴールまでの時間 [s]
1	120
2	77
3	149
4	179
5	186



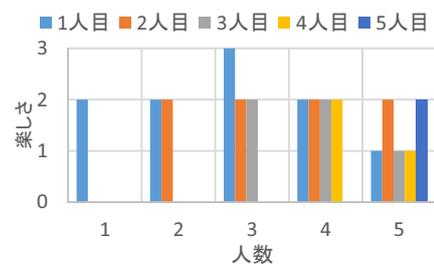
(a) 操作性



(b) 自分の存在感



(c) 他人の存在感



(d) 楽しさ

図 7: 人数に対する評価

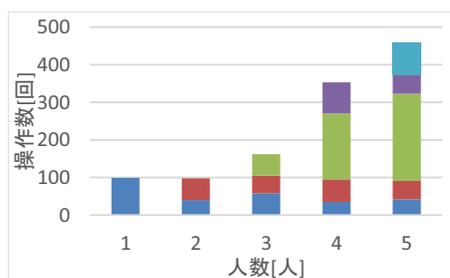


図 8: 人数に対する操作回数

5.3 考察と評価

この節では第 5.2 節で示した結果について考察する。はじめに、図 7(b), 図 8 から示される、人数が増加することによって、自分の存在感が薄れ、操作性が下がることについて考察する。これは多人数同時入力を受け付けているため、人数が増えることで、図 8 のように多くの操作が入力され、自分の操作がロボットに影響しなくなったためであると考えられる。このように自分の思うような動作ができないために、図 7(d) のように 5 人の場合では楽しさについての評価も減少したのだと考えられる。また、操作性が悪くなったため、表 2 のようにゴールまでの時間も長くかかったと考えられる。これより、操作人数が多すぎる場合については、第 3.2 節 (3) のようなサービスの実現にはつながらないと考えられる。

しかし、図 7(a), 図 8, 表 2 を見ると本実験において、二人での場合は操作性、操作回数、ゴールまでの時間は悪いものにはなっていない。これは、二人の場合では、リアルタイムな操作分担を行うことが可能であり、ロボットの操作向上に繋がったと考えられる。本論文で開発したサービスはロボットの移動だけであるが、第 3.2 節 (2) のような多数のカメラのついたロボットの遠隔操作や、シームレスな操作の切り替えを必要とサービスの実現に繋がると考えられる。

そして、図 7(d), (c) のように、人数が多くなることで楽しさの評価が下がってしまったが、ある一定の人数では楽しさについても、他人の存在感についても高い評価を得ることができたため、第 3.2 節 (3) のようなコミュニケーション向上を図れるような他人の存在感を感じつつ楽しめるサービスの実現にも繋がると考えられる。

6 おわりに

本論文ではインターネットとロボットが融合した技術についての有用性、また今後の社会において、Connected Robots と定義したインターネットを介した多人数同時

操作のできるロボットの有用性について述べ、ロボットがインターネットに接続し、複数人によりロボットが共有され、同時操作される新しいゲーム (Connected Robots Game) を開発し、リアルタイムな操作共有がもたらす効果についての評価を行った。その結果、新たなサービスの実現性を見出すことが出来た。

本論文では特定の複数人によってリアルタイムによって操作されるサービスによって、Connected Robots についての評価を行ったが、不特定多数人によって共有されることについては評価を行っておらず、今後そのことについても評価していく必要がある。また、不特定多数人に簡単にサービスを提供するために、システムのプラットフォーム化なども必要になると考えられる。

参考文献

- [1] <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>.
- [2] <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/index.html>.
- [3] 松原豊, 倉地亮, 高田広章. : iot 時代のセーフティとセキュリティ-日本の産業競争力の強化に向けて- : 3. 自動車分野のセーフティとセキュリティの動向と展望-自律走行の実現に向けて-. 情報処理, Vol. 58, No. 11, pp. 972-977, oct 2017.
- [4] 萩田紀博. : インターネットとロボットが融合した iot 研究開発とグローバル・イノベーション創出戦略. 横幹, Vol. 9, No. 2, pp. 90-94, 2015.
- [5] 浅沼和範, 梅田和昇. : インターネットを介した移動ロボットの遠隔操作におけるユーザインタフェース (機械力学, 計測, 自動制御). 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 68, No. 673, pp. 2702-2709, 2002.
- [6] 前田利之, 丹羽寿男, 吉田和美, 萱嶋一弘, 前田祐司. : ネットワーク機能をもつ高齢者福祉ペット型ロボットシステム. 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学, Vol. 102, No. 420, pp. 59-64, oct 2002.
- [7] Partha Pratim Ray. : internet of robotic things: Concept, technologies, and challenges. *IEEE Access*, Vol. 4, pp. 9489-9500, 2016.
- [8] 萩田紀博. : ネットワークロボット概論. 電子情報通信学会誌 = THE JOURNAL OF THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS, Vol. 91, No. 5, pp. 346-352, may 2008.
- [9] 高松正毅. : 現代のコミュニケーション環境とコミュニケーション論をめぐって. 高崎経済大学論集, Vol. 49, No. 2, pp. 105-114, sep 2006.
- [10] Randy Jay Yarger, George Reese, and Tim King. : *MySQL mSQL*. オライリー・ジャパン, 2010. 高見禎成, 寺田美穂子 (訳).