

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14938

研究課題名（和文）複製容易小型ロボットによる実世界並列学習システムと等身大脚型ロボットへの学習転写

研究課題名（英文）Real-world parallel learning using easily duplicapable small robots to transfer the learning result to large-size robot

研究代表者

野田 晋太郎（Noda, Shintaro）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業ロボティクス研究センター・研究員

研究者番号：30825104

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ロボットが現実世界で認識に基づく動作を学習するシステムの実現において、複製容易であること、安価であることが重要である。前者は学習を並列化し高速化することでより複雑な動作を可能とするために必要であり、後者は学習段階の失敗動作で故障しても修理交換が容易であるために重要である。本研究ではこれらの課題に対して、スマートフォンと小型サーボを用いたロボットの学習システムを開発した。要素技術として、Android端末からサーボ制御を行うための基板設計と通信ソフトウェアの開発、シミュレータと実ロボットを統一的に扱い並列学習するソフトウェアの実装を行い、四足歩行ロボットの作成と歩行学習により動作確認を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は現実世界で学習するロボットシステムを実現するための基盤となるプラットフォームを開発することで、今後の応用研究を加速させることを目的としている。本成果を用いてより複雑な環境でのロボットの応用、特にモデル化が難しい生物や変化する環境を扱うシステムの実現を進めれば、例えば農業分野における作物の栽培管理ロボットなどに発展すると期待できる。本研究は安価で複製容易なロボット構成を示し、そのために必要な通信基板回路、学習ソフトウェア構成を示すことで、今後の知能ロボット研究の発展に資するものである。この成果を用いてより具体的な応用研究を今後進め成果を社会に還元する。

研究成果の概要（英文）：To realize a system that enables robots to learn recognition-based behaviors in real world, it is important to make the system easy to duplicate and inexpensive. The former is necessary to parallelize and speed up the learning process to enable more complex behaviors, and the latter is important to facilitate repair and replacement even if the robot fails due to a failed behavior in the learning phase. To address these issues, this study developed a learning system for robots using smartphones and small servos. As elemental technologies, we designed a PCB and developed communication software to control servos from an Android device, implemented software to handle simulators and real robots in a unified manner for parallel learning, created a quadruped walking robot, and confirmed its operation through learning to walk.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボット 学習 シミュレーション 並列化 強化学習 進化計算

## 1. 研究開始当初の背景

来る超高齢化社会に対処するため、人間に代わる労働力としてロボット技術に注目が集まっている。近年発達の著しい深層学習技術と合わせて、従来の単純作業の繰り返しを行うロボットから、より複雑な環境、特に変化を伴う生物や屋外環境にも対応可能なロボットへの進化が求められているのである。研究開始当初すでに深層学習を用いたロボットの例として、Google は産業用ロボットの並列学習により多様な物品を認識し把持する実験を公開した<sup>1</sup>。その数年後には Preferred Network がアーム付きの移動台車ロボットを用いて屋内の片づけ実験を成功させ<sup>2</sup>、世のロボット研究者を驚愕させていた。

ロボットの学習には、シミュレーションを用いる方法と、実際に現実世界で動作する中で学習する方法の二つが考えられる。前者は高速でありロボットが故障する心配もないが、学習結果を現実に適用するためにはシミュレーションと現実の誤差が問題となる。またシミュレーションできない、モデル化が難しい生物などを扱うには不向きである。後者は実時間でしか学習ができず、並列化には高価なロボットを複数台用意するコストが必要である。また学習段階では動作に失敗することも多いためロボットの故障が問題となる。

シミュレーションと現実の違いの吸収、ロボットを複数台用意し故障にも対応するコストの問題の二つを解決する研究が求められていた。

## 2. 研究の目的

シミュレーションと実世界での学習はともに長短があり、両方を統一して扱うことのできる学習環境を開発するとともに、実世界での学習を可能とするため、ロボットを複数台用意し、故障時も修理が容易である安価な構成実現により、今後の学習ロボット研究を加速する基盤システムの完成を目的とする。

ロボットは高価であり複数台揃えることが金銭的に厳しいという研究着手の難しさ、さらにそれぞれのロボットに個別の制御系や通信系が実装されているためにロボット事に学習ソフトウェアを準備する必要があり、手間がかかると同時に研究の積み重ねが難しいという研究維持の難しさがある。安価で複製容易なロボット構成を示し、体が変わっても共通しても用いることのできる基盤ソフトウェアが存在すればロボットの実世界での行動能力を向上させ、研究を加速させる波及効果があると期待できる。本研究ではロボットの構成として、スマートフォンをコンピュータとセンサ替わりに用いることで安価な小型ロボット構成を目指す。

小型ロボットは安価に作成が可能であり、複製や壊れた際の修理のコストを抑えることができる。またスマートフォンは小型で高性能な CPU を有し、ロボットによく用いられる加速度・ジャイロセンサ、カメラ、マイク、GPS が利用可能である。スマートフォン上で動作する制御ソフトウェアは端末が異なっても流用でき、オープンソースの深層学習ライブラリ<sup>3</sup>の利用も可能であるため知能ロボットを構成するために必要な要素が揃っている。

## 3. 研究の方法

複製容易小型ロボットを用いた学習システム実現のためには、(1)ロボットのハードウェア、(2)アクチュエータとの通信基板と通信ソフトウェア、(3)シミュレーションと学習ソフトウェアの三つを開発する必要がある。それぞれについて以下の内容を実施した。

(1) 複数種類のロボットを開発し、同じ通信システム、学習システムで動作することを示す。ロボットのコンピュータ、センサとしてスマートフォンを用い、アクチュエータとして小型サーボ、ロボットの骨格は 3D プリンタを利用したプラスチック部品により作成する。ロボットは一台数万円から十数万円の価格で開発可能な構成を示す。

(2) スマートフォンからアクチュエータを制御可能な通信基板の設計と通信ソフトウェアの実装、動作確認を行う。通信基板はスマートフォンの充電と、アクチュエータとの通信の両立を実現する。

(3) シミュレーション環境の構築と、シミュレーションと実ロボットで共通して利用可能な学習ソフトウェア構成を実現する。学習結果を別のロボットへの転写するソフトウェアの実装を行う。学習実験を行う。

<sup>1</sup> S. Levine et. al., “Learning Hand-Eye Coordination for Robotic Grasping with Deep Learning and Large-Scale Data Collection”, ISER, 2016

<sup>2</sup> Preferred Networks, Inc., “CEATEC JAPAN 2018: 全自動お片付けロボットシステム”, <https://www.youtube.com/watch?v=VGj3daiFNdM&feature=youtu.be>

<sup>3</sup> Tensorflow-agent: <https://www.tensorflow.org/agents?hl=ja>

#### 4. 研究成果

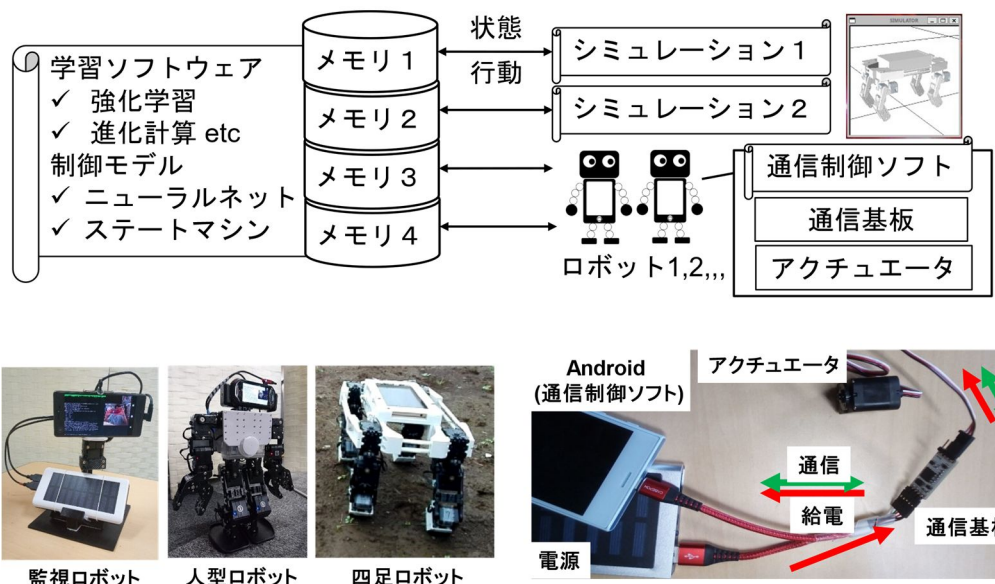


図 1 複製容易小型ロボット、通信システム、学習システムの概略図

図 1 に開発成果の全体像を示す。複製容易小型ロボットによる学習システムの開発を通じて三つの項目を以下に示す。(1)首型の監視ロボット、人型ロボット、四足ロボットの試作を通じて、安価で複製容易な構成を示す。(2) スマートフォンの充電とアクチュエータ通信の両方が可能な通信基板の設計を示す。(3)シミュレーションと実ロボットで統一的に利用可能な学習ソフトウェア構成とロボットの動作の様子を示す。

##### (1) 首型・人型・四足歩行型ロボットで共通して利用可能なハードウェア構成と価格

品名	個数	単価	価格
Android (Xperia X)	1	20000円	20000円
サーボ (双葉RS304)	2	4000円	8000円
モバイルバッテリー	1	3000円	3000円
通信基板(後述)	1	5000円	5000円
USBケーブル等			1500円
3Dプリンタ樹脂			1000円
合計			39500円

図 2 首型ロボットの構成と参考価格

作成した首型ロボットの構成と参考価格を図 2 に示す。サーボモータを 3D プリンタで作成したカバーにより挟むことで全体の骨格を形成した。サーボモータはパンとチルトの 2 自由度とし、Android 端末と通信基板を介して接続されている。バッテリーはスマートフォン用のモバイルバッテリーをサーボの電源と Android の充電に共通して用いた。

図の右側に部分リストとおおよその価格を示す。全体で 4 万円弱の安価な構成が実現されている。同様の構成で人型ロボット、四足歩行ロボットも作成できることを確認した。人型ロボットは Kondo 科学製のロボットに Android と通信基板をつなぐ構成、四足歩行ロボ



ットは胴体部のみ 3D プリントで脚部は人型ロボットと共通の構成とした。モータが増えた分、いずれも総額は 10 万強に増加したが安価な構成が実現された。

## (2) スマートフォンの充電とアクチュエータ通信の両方が可能な通信基板の設計

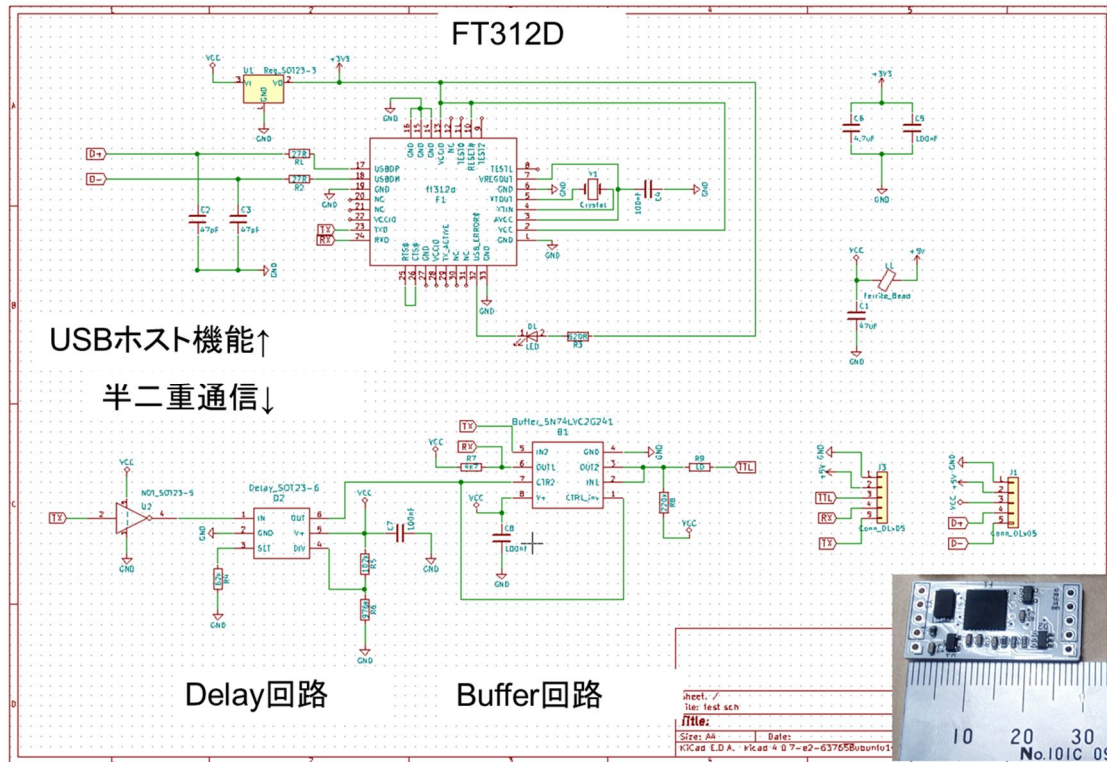


図 3 スマートフォンの充電とアクチュエータとの通信が可能な基板回路

市販の USB 通信基板はスマートフォン側を USB ホストとするため充電を受けられないことが多い。スマートフォンを USB ターゲットとし、充電を受けつつ通信するためには、通信基板が USB ホストの機能を有する必要がある。また市販の小型サーボモータ (例えば双葉電子製 RS304MD, 近藤科学製 KRS3304) は TTL 半二重通信に対応していることが多いため、そのための変換回路も必要である。

スマートフォンを充電しつつアクチュエータとの通信を可能とする基板回路図を図 3 に示す。図上部が USB ホスト機能をもつ回路、下側が TTL 半二重通信回路である。USB ホスト機能は、FTDI 製の FT312D を用いることで、Android 端末を USB ターゲットとする AOA モードでの通信を可能とした。

以上の構成で、充電を受けつつ 115200bps でサーボモータと通信することができ、KRS3304 利用時には 80Hz での角位置指令とエンコーダ読み出しが可能であった。

## (3) シミュレーションと実ロボットで統一的に利用可能な学習ソフトウェア構成

図 4 に実装した学習ソフトウェアの構成を示す。学習用のプロセスとロボットの運動学・動力学計算用のプロセスが分かれて存在し、それぞれが共有メモリを通じて通信を行う。ロボット計算プロセスは ROS<sup>4</sup>や共有メモリの通信を介して、シミュレータまたは実ロボットに間接角度指令を送り、センサデータを受け取る。この構成により学習プロセスはロボットがシミュレーションのものが現実のものであるか区別することなく学習することができ、

<sup>4</sup> ROS: Robot Operating System, <http://wiki.ros.org/ja>

並列に高速な学習が可能となる。

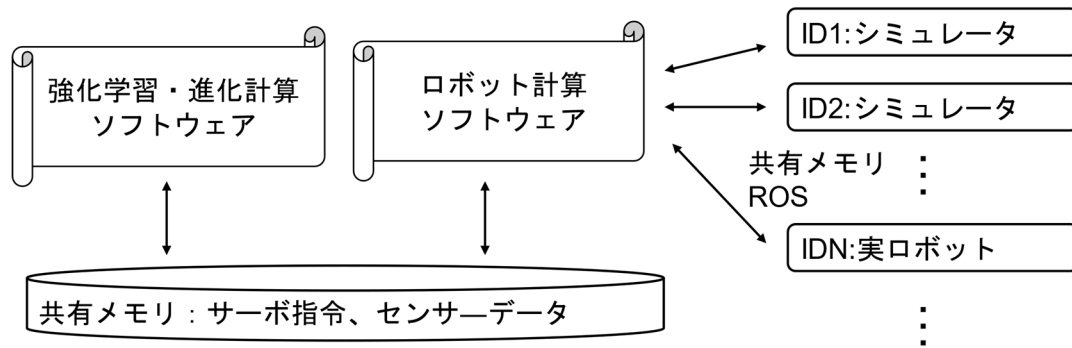


図 4 シミュレーションと実ロボットを統一して並列学習可能なソフトウェア構成

図 5 に、作成した四足歩行ロボットを用いて、シミュレーション上で歩行制御系を進化計算により学習し実際の不整地で歩行させた様子を示す。シミュレーション上では最大 3 cm の高低差まで歩行可能であり、実際の屋外での歩行も可能であることが確認された。同様の実験を圃場の枕地でも実施し、同じく歩行が可能であった。

また、四足歩行ロボットが、伏せの状態から立ち上がる強化学習実験も行った。シミュレーション上で 4 並列の学習、学習途中でロボットの重心位置を 3 cm 後方へ移動させたときの挙動、実ロボットを用いての学習をそれぞれ確認し、100k 回のシミュレーションで評価値が収束し立上り動作に成功する結果が得られた。また重心位置を変化された学習では 20k 回で元の評価値まで回復し 5 倍の効率で学習できる結果となった。これにより、並列学習システム、別ロボットへの転写、実ロボットでの学習の全動作確認が完了した。



図 5 学習した制御系により不整地歩行を行う四足ロボット

本研究では計画通り、ロボットの実世界での並列学習を可能とするシステム基盤を完成させることができ、今後学習ロボットシステムの研究を加速すると期待できる。進化計算とシミュレーションを用いた学習とシミュレーションと現実の誤差を最小化に関する箇所については、International Journal of Humanoid Robotics に Semi-Passive Walk and Active Walk by One Bipedal Robot: Mechanism, Control and Parameter Identification<sup>5</sup>と題して出版されている。強化学習と実ロボットを用いた実験については論文化されていないが、今後より具体的なタスクに実ロボットを用いた強化学習も適用し研究を進める計画である。

<sup>5</sup> Noda, S., Sugai, F., Kojima, K., Nguyen, K. N. K., Kakiuchi, Y., Okada, K., & Inaba, M. (2020). Semi-passive walk and active walk by one bipedal robot: Mechanism, control and parameter identification. International Journal of Humanoid Robotics, 17(02), 2050012.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Noda Shintaro, Sugai Fumihito, Kojima Kunio, Nguyen Kim-Ngoc-Khanh, Kakiuchi Yohei, Okada Kei, Inaba Masayuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Semi-Passive Walk and Active Walk by One Bipedal Robot: Mechanism, Control and Parameter Identification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Humanoid Robotics	6. 最初と最後の頁 ~
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S0219843620500127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------