

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03106

研究課題名(和文) プログラミング授業をサポートするティーチングアシスタントロボットに関する研究

研究課題名(英文) Research on teaching assistant robot to support programming classes

研究代表者

吉野 和芳 (Yoshino, Kazuyoshi)

神奈川工科大学・創造工学部・教授

研究者番号：10298284

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：車輪型ロボットを活用したプログラミング授業における教師をサポートするティーチングアシスタント(TA)ロボットの構築を目指し、つまずきそうな学習者の発見と声掛け、車輪型ロボットの組み立て時のアドバイス、プログラミング時のアドバイスの3点について研究を進めてきた。ではTAロボットのカメラ映像を処理して教室内でつまずきそうな学習者を発見し、そばに移動し、声掛けをする。では車輪型ロボットの結線を確認することやロボットのパーツの取り付け位置をアドバイスすることを行った。ではTAロボットが車輪型ロボットの動きを見ながら、学習者の作成したプログラムを推定し、アドバイスすることを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットプログラミング授業では、ロボットの組み立てやプログラミングにおいてその進み具合の差が生徒間で大きく、授業を担当している教師にとっては、その授業進行がとても難しい。本研究では、それらの授業でつまずきそうな生徒を教師に代わってサポートするTAロボットを構築するものである。

このTAロボットは、プログラミング授業担当教員の負担を軽減させるだけでなく、学習者もプログラミング学習をスムーズに進めることができ、いわゆる「プログラミング嫌い」を生まないことにつながる。また、他の授業へ応用することにより、学習につまずく学習者を減らすことや、学習障害のある子どもたちの学習サポートにも貢献できる。

研究成果の概要(英文)： We have been studying the construction of a teaching assistant (TA) robot to support teachers in programming classes using wheeled robots for elementary school children in three areas: (1) detection of students who seem to be stumbling, (2) advice during the assembly of wheeled robots, and (3) advice during programming.

In (1), a TA robot detects a student who is likely to stumble in the classroom by processing the camera image of the TA robot, moves to his/her side, and calls out to him/her. In (2), the TA robot checks the wiring of the wheeled robot and gives advice on the installation position of the robot's parts. In (3), the TA robot indirectly checked the program created by the student and gave advice while watching the movement of the wheeled robot.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ティーチングアシスタントロボット プログラミング教育 授業支援 画像処理 Papper LEGO MINDSTORMS EV3 アドバイス

## 1. 研究開始当初の背景

2020年度より、小学校においてもプログラミングが必須化されるという提言がある。しかし、どのような内容を学習させるかなどについては現在も検討中であり、具体的な内容が定まっていない。また、現役の教師たちの中には、プログラミング自体を学んできていない教師も多く、指導者不足の問題、その解決法としての指導者の育成方法に関して議論されている。さらには、指導者だけでなく、プログラミングの授業を受ける子どもたちの中には、将来の目標が定まっていないために、プログラミングに対する学習意欲が湧かない子も出てくる可能性があり、理科離れと同じような現象が起こるのではないかという懸念もある。

一方、「プログラミング必須化」というキーワードだけが独り歩きし、スクラッチというビジュアルプログラミング言語を使ったプログラミング塾やLEGO社のロボットキットを使ったロボットプログラミング塾が注目され、増え続けているという現状もある。

申請者も小学生や中学生を対象としてロボットプログラミングの講習会を10年ほど前から実施してきている。この講習会に参加する子どもたちは、プログラミング塾に通っている子どもたちと同様にロボットプログラミングを体験したいというモチベーションで参加しているため、講習会中も意欲的で、集中して取り組んでいる。しかしながら、当然のことではあるが、ロボットの組み立てやプログラミングの進み具合には、個人差があり、練習課題ができた子どもたちには追加チャレンジ課題を出しながら、飽きさせないように工夫しているが、参加人数が多くなると、その進度の差が大きくなり、多様になってくるため、講師一人では対応しきれないという経験を繰り返している。そのため、申請者の実施している講習会では、アシスタントとして学生たちに手伝ってもらっている。

これらの現状を考えると、目標が定まっていない子どもたちや目標が異なる子どもたちが混在するクラスでプログラミングの授業を教師が一人で担当することは、進度の早い子どもたちでは、授業に飽きてしまったり、勝手なことを始めたりして、授業を円滑に進められなくなる可能性が考えられ、逆に、進度の遅い子どもたちは、授業につまずいてしまい、どの教科でも当てはまることだが、特に、算数やプログラミングのようにこれまでの知識を利用して新しい知識を学習する、いわゆる、積み上げ式の授業では、少しでもつまずいてしまうと、その先の授業について行けず、学習意欲の喪失につながってしまう可能性が考えられ、それらをフォローするために教師の負担も増大することが予想される。

そこで、申請者は、プログラミングの授業を実施するにあたって、授業を円滑に進ませ、多様な子どもたちに対応することが重要であり、その上で、教師の負担を減らし、かつ、授業につまずく学習者たちも減らしていくための授業展開の工夫が必要であると考えた。

## 2. 研究の目的

プログラミング授業において、多様な子どもたちに対応して授業につまずく学習者を減らし、授業を効率よく、円滑に進めていけるようにするとともに、学習している子どもたち自身がプログラミングの能力を身に付けることができるような授業運営する教師たちのサポートを目的とし、授業中に、授業につまずきそうな学習者を見つけ、その子どもの状況に合わせて対応するティーチングアシスタントロボットの構築を目指す。具体的には、プログラミング授業の中で、ティーチングアシスタントロボットが、つまずいている学習者は、どこが分からないのか、どこが間違っているのか、どうすると良いのかを会話やその学習者のプログラム、プログラムを実行したときの結果から推測し、理解して、適切にアドバイスすることによって、つまずいている部分を学習者自身が気づき、解決できるように導くことを行う。

## 3. 研究の方法

ティーチングアシスタントロボットの構築を目指し、研究期間内では、小学生の子どもたちの車輪型ロボットを活用したプログラミング授業における教師のサポートを対象とし、子どもたちが車輪型ロボットを組み立てているときのアドバイス、車輪型ロボットを走行させるプログラムを作成しているときのアドバイスを適切に行うための基礎技術を確認する。

ロボットプログラミング授業では、小学生でもロボットの組み立てからプログラミングまで感覚的にできる教材として、LEGO社製のLEGO MINDSTORMS EV3というロボットキットで組み立てる車輪型ロボット(図1)を利用し、その車輪型ロボットを動かすプログラムはApple社のiPad上でビジュアル的に作成できるEV3ソフトウェア(図2)を使用して作成する。また、ティーチングアシスタントロボットの本体として、子どもたちにも親しみがあることから、Softbank社のPepper(図3)を利用することとした。ティーチングアシスタントロボットに必要な処理やPepperの制御は、ネットワークでPepperと接続したコンピュータで行う。

具体的には、研究期間内では、以下の3点に絞って研究を進めていく。

### (1) つまずきそうな学習者の発見と声掛け

Pepperに備わっているビデオカメラで授業中の教室を見渡し、その映像を画像処理して、挙手した学習者や作業の手が止まっている学習者をアドバイスする必要がある学習者として発見し、その学習者のそばにロボットが移動して、どうしたのかと積極的に声掛けをする。具体的には、教室内を撮影したビデオ映像から肌色領域や顔の検出を行い、それらの位置のずれの有無や

顔の位置と手（顔以外の肌色領域）の位置との関係から、つまずきそうな学習者かどうかの判定を行う。ここでは、積極的な声かけを重視し、実際にはつまずいていない学習者を誤検出しても良い程度の判定精度を目指す。

#### (2) 車輪型ロボットの組み立て時におけるアドバイス

車輪型ロボットは、申請者が作成した組み立てマニュアルに沿って、学習者が組み立て、センサやモータを EV3 本体と結線し、完成する。研究初年度は、組み立てが終わった車輪型のロボットの結線の確認を画像処理のパターンマッチングを応用して実現し、間違っている場合は、間違っているところを指摘する技術を確立する。その後、組み立て途中でつまずきそうな学習者を①の方法で発見したあと、その学習者が作業している組み立てマニュアルのページを画像処理によって検出するとともに、学習者と会話することによってつまずいているところを確認し、パーツの説明や取り付け位置などについてアドバイスする。

#### (3) プログラミング時におけるアドバイス

研究初年度においては、教師が指示したプログラムが正しく作成できているかを確認し、間違っている場合は、学習者が作成したプログラム内で確認すべき部分についてアドバイスすることを行い、翌年度以降、学習者が作成するプログラム（アルゴリズム）に柔軟性を持たせてもアドバイスできるように改良していく。プログラムは、複数のアルゴリズムにでも対応できるように、プログラムを直接確認するのではなく、車輪型ロボットの挙動を画像処理で検出し、学習者が考えているアルゴリズムの推定を行い、正解の動きと比較することによって、どの部分に誤りがあるのかを判断することとする。



図 1. EV3 による車輪型ロボット

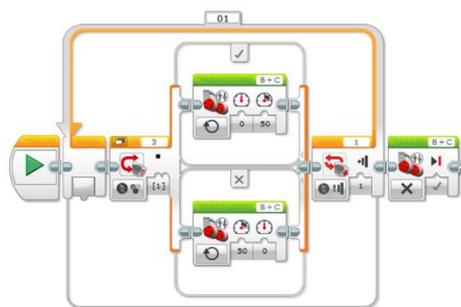


図 2. EV3 プログラム例



図 3. Pepper

### 4. 研究成果

TA ロボット・システムでは、TA ロボットとして Softbank 社の Pepper を利用し、学習者とのコミュニケーションやアドバイスをを行う。TA ロボットの制御は Pepper と Wi-Fi 経由でつなげた PC を利用し、TA ロボットに搭載されているビデオカメラの映像を PC で受信し、PC 内で処理して TA ロボットに動作の指示を与えている。

以下では、研究期間内で主に実施した研究の内容とその成果について述べる。

#### (1) つまずきそうな学習者の発見と声掛け

TA ロボットは、つまずきそうな学習者や質問のある学習者を教室内で発見し、その学習者の下へ移動して、その質問内容に対応する。今回、つまずきそうな学習者や質問のある学習者は、TA ロボットの方を見ながら挙手し、TA ロボットにそのことを伝えることとした。

挙手した学習者は、TA ロボットが教室内を見渡した映像を PC に送り、受信した PC では TA ロボットの方を向いている顔を画像処理によって検出し、それらの検出された顔の上部付近で肌色領域を探索し、顔の位置と肌色領域との位置関係から、挙手した学習者を発見している。学習者の顔の検出は、Haar-like 特報量検出法を利用し、実装は画像処理用のライブラリ OpenCV を利用して行った。この方法により、複数人の挙手した学習者の検出も可能である。

TA ロボットの学習者の下への移動は、つまずきそうな学習者の検出でその学習者の画像内での位置が分かることから、その方向を PC から TA ロボットへ指示することで行っている。TA ロボットとして利用している Pepper は、Pepper 自身の足元についての距離検出センサで周りの状況を確認し、障害物にぶつからないよう走行ルートを探索しながら、目的の方向に移動できる。図 4 は、TA ロボットがつまずきそうな学習者の下へ移動している様子を表している。このように、TA ロボットは机にぶつからないよう旋回し、挙手している学習者の下へ移動している。



図4 TA ロボットがつまづきそうな学習者の下へ移動する様子

## (2) 車輪型ロボットの組み立て時におけるアドバイス

学習者たちがプログラミング学習に利用する車輪型ロボットは、学習者たちが組み立て手順書をタブレットで見ながら作成する。この組み立て時における学習者からの質問の多くは、「このパーツはどこにつけるの?」というものである。そこで、図5のように学習者が接続位置の分からないパーツをTA ロボットに見せた後、TA ロボットは、学習者が質問したパーツを認識し、そのパーツ接続位置をアドバイスすることを行った。



図5 学習者によるTA ロボットへのパーツの質問の様子

パーツの認識は、PyTorch というディープラーニングフレームワークを利用して行った。パーツの学習では、車輪型ロボットの組み立てに利用するパーツの映像とその位置、そのパーツ番号を図8のようなデータセットとして与え、その学習結果を利用して、学習者が手に持って質問したパーツの認識を行う。この方法でパーツの認識を行ったところ、質問者がパーツの形状を特徴付ける向きに持っていないことでうまく認識できないことが分かった。この問題を回避するためには、いろいろなパーツの持ち方を想定した画像を学習データセットに加え、学習させる必要がある。

パーツ接続位置のアドバイスでは、同じパーツが複数の組み立てステップの中で利用されることがあるため、まずは学習者がどの組み立てを行っているのかを確認する必要がある。これは、学習者がタブレットを見ながら車輪型ロボットを作成していることから、そのときの画面を認識することで実現できる。そこで、組み立て手順書にある組立図の一覧を参照画像としてあらかじめ作成しておき、その参照画像と学習者が組み立て時に見ている画面の2つを特徴点マッチング手法を利用して比べ、参照画像内で特徴点の一致が集中している画像を検出し、学習者が取り組んでいるステップの確認を行った。

パーツ接続の質問に対するアドバイスは、学習者が見ている組み立て手順書と同じ図の中に、学習者が質問したパーツの位置を丸印や矢印などを描画し、その図をTA ロボットの前面にあるディスプレイに表示させて行う。このとき表示する図は、各パーツや各組み立てステップですべてあらかじめ用意しておいている。

車輪型ロボットの組み立てが終わった後、TA ロボットは、そのロボットで利用しているモータとタッチセンサ、カラーセンサの結線の確認を行う。電子部品の結線は、自由に行うことができるが、基本的なプログラム学習時に結線が異なっていると同一サンプルプログラムでも車輪型ロボットの動作も異なり、プログラミング学習に支障が出ることから、ここでは結線を合わせるため確認を行う。

学習者が作成したロボットの結線の確認は、学習者がプログラミング学習に利用するEV ソフトウェアにおけるハードウェアページを利用して行う。ハードウェアページは、車輪型ロボットの本体EV3とそれらに接続しているモータやセンサの種類が視覚的に分かるようになっている。図6のハードウェアページでは、LモータがポートBとCに接続され、タッチセンサがポート1、カラーセンサがポート3に接続されていることを表している。

学習で利用する車輪型ロボットと同じ結線状態ならば、ハードウェアページでは、モータやセンサが同じ位置に表示され、結線に間違いがある場合、それらは違う位置に表示されることになる。そこで、TA ロボットは、車輪型ロボットの製作が終わった学習者から順にハードウェアページを見せてもらい、その画面を評価して結線の確認を行い、学習者に結線が合っていること、

間違っていることを伝えるとともに、間違っている場合は間違っている内容と修正方法をアドバイスを行う。

学習者が利用しているタブレットの画面はTAロボットからは図6のように見える。そのため、学習者が画面を見せた角度によってその見え方が異なり、評価が難しくなる。そのため、まずは、タブレットが写っている映像からタブレットのハードウェアページ部分をコーナー検出法によって抽出し、その映像を真上から見た画像に透視投影変換する。次に、抽出されたハードウェアページからモータとセンサのそれぞれの位置をテンプレートマッチング法によって検出する。学習者のハードウェアページで検出されたモータやセンサの位置と正しく接続された位置を比較し、TAロボットは学習者に正しく修正するためのアドバイスをを行う。



図6 学習者のタブレットの状態とハードウェアページ

### (3) プログラミング時におけるアドバイス

ここでは、車輪型ロボットの基礎プログラミングを対象とし、タッチセンサやカラーセンサを利用して指定されたコースで決められた走行を行うための制御プログラムを学習する過程でTAロボットが学習者のプログラムを評価し、プログラムが間違っていた場合、その修正方法を学習者にアドバイスする。

プログラムは、その実行結果は同じでも、その解放、アルゴリズムは複数ある。車輪型ロボットの基礎プログラミング学習でも同様である。そのため、プログラムを直接確認することはせず、車輪型ロボットの動作から間接的にプログラムを確認・評価することを行う。具体的には、学習者が作成したプログラムで動作する車輪型ロボットの移動の軌跡を検出し、正しく動作した場合の軌跡と比較することで、プログラムの間違いを間接的に評価し、両軌跡の違いのパターンからプログラムの間違いを推定し、プログラムをどのように修正したらよいかをアドバイスする。図7に学習者が車輪型ロボットを走行させている様子を示す。



図7 車輪型ロボットのプログラミング学習時のアドバイスの様子

車輪型ロボットの軌跡は、TAロボットが撮影したコース上を走行している車輪型ロボットの映像から、ロボットが写っていないコースだけの画像を背景画像とした背景差分法を利用してロボットを抽出し、その重心位置を順に求め、時系列につなげていくことで得る。

学習者のプログラムが正しければ、両者のロボットはほぼ同じ軌跡を描く、しかし、学習者のプログラムに間違いがあれば、その軌跡に違いが出る。そこで、学習者の作成したプログラムは、正しいプログラムでの車輪型ロボットの軌跡と学習者の作成したプログラムで走行したロボットの軌跡をそれぞれ検出し、学習者のロボットの軌跡から正しいロボットの軌跡と一致する部分を取り除き、残った軌跡の形からプログラムの間違いを推定し、評価することを行う。

タッチセンサの学習においても学習者が間違えるところとそのときのロボットの軌跡はパターン化することができ、これらのパターンからTAロボットは、プログラムの間違いを推定し、学習者にアドバイスすることができる。

このように、基礎的なプログラムの学習のときに学習者が良く起こす間違いは限られており、その時のロボットの軌跡も限定できることから、ロボットの軌跡の違いとその原因をパターン化し、さらに、TAロボットが学習者にするアドバイスの内容も合わせてデータベースとして記録しておくことで、適切にアドバイスができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 Yoshino Kazuyoshi、the Kanagawa Institute of Technology, Atsugi, Japan、Zhang Shanjun	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of Teaching Assistant Robot for Programming Classes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Information and Education Technology	6. 最初と最後の頁 327 ~ 334
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18178/ijiet.2020.10.5.1384	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 -

1. 著者名 Yoshino Kazuyoshi、Zhang Shanjun	4. 巻 1
2. 論文標題 Teaching-Assistant Robot Tutoring Students in the Classroom	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. of The 15th International Conference on Education Technology and Computers (ICETC2023)	6. 最初と最後の頁 113 ~ 119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3629296.3629314	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
---------	---------