

オンライン上でのロボットプログラミングの 協調学習を促進するエージェントシステムの研究

多田 遥香^{*1}, 田中 文英^{*2}

^{*1} 筑波大学 理工学群 工学システム学類

^{*2} 筑波大学 システム情報系 知能機能工学域

A Study of Agent Systems to Facilitate Online Collaborative Learning in Robot Programming

Haruka Tada^{*1}, Fumihide Tanaka^{*2}

^{*1} College of Engineering Systems, School of Science and Engineering, University of Tsukuba

^{*2} Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

協調学習を導入した授業は、様々な先行研究において教育的な効果が大きいと報告されている。しかし、現代社会では貧富の差による教育格差が問題となっており、協調学習のような質の高い教育を受けられる機会は平等に与えられていない。そこで本研究では、オンライン上でのロボットプログラミングの協調学習を促進するためのエージェントシステムとその評価方法を提案する。そして、教師の役割の一部を自動化してコストを削減することで問題の解決を目指す。

キーワード: エージェント, 協調学習, ロボットプログラミング教育, e-Learning, チャットボット

1. はじめに

1.1 協調学習の必要性

協調学習とは、同じもしくは異なるレベルの知識や経験をもった複数人がひとつの目標に向かって協調作業し、それぞれが新しい知識を獲得する過程を指す学習形態である⁽¹⁾。文部科学省の「学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料」⁽²⁾によると、未来の社会を見据えて教育するには「個別最適な学び」と「協働的な学び」という観点から学習活動の充実の方向性を改めて捉え直し、主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善につなげていくことが重要であるという。ここにおける「協働的な学び」は上記の協調学習と同様の意味であると捉えられる。また、協調学習の効果は様々な先行研究において報告されている。例えば中山ら(2021)⁽³⁾は、ペアプログラミングを取り入れた協調学習の実施方法を提案し実践した。その結果、

児童は自分の役割を理解して課題に取り組むだけでなく、つまづいた際にも役割の交代やアドバイスを受けることを選択し、ねばり強く進めることができたという。以上より、協調学習は今後の教育において重要な役割を果たすと考えられる。

1.2 協調学習とロボットプログラミング教育

現在、プログラミング教育は小学校、中学校、高等学校において必修化されている。文部科学省の「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)」⁽⁴⁾によると、プログラミング教育によって身につく「プログラミング的思考」は、どのような進路、職業を選択するにあたって、これからの時代において共通に求められる力であるという。近年では、ロボットを活用したプログラミング教育であるロボットプログラミング教育が普及している。塩澤ら(2019)⁽⁵⁾によると、ロボットプログラミング教育は、ロボットが動くことで初心者にもプログラムの動

きが視覚的に理解しやすく、複数の学習者がプログラムの動作結果を目の前で共有できるという点で、協調学習に向いているという。以上より、ロボットプログラミング教育の協調学習を普及させることは、未来を担う子どもたちの人材育成に恩恵を与えるといえる。

1.3 教育の問題点と研究目的

ロボットプログラミング教育を提供するには知識や技術のある教師を雇うことや、ロボットプログラミング教材を確保することにより、環境を整備する必要がある。しかし、教育格差が広がる現状をみると普及は難しいといえる。世界では、貧富の差による教育格差が問題になっている。UNESCO(2019) (6)によると、2018年では2億5840万人の子ども、若者が学校に通っていない。この数字は子ども、若者の世界人口の6分の1を占めるという。また、日本では教師の多忙化による教育格差が問題となっている。大島(2020) (7)が行った小学校教員への調査によると、調査対象者のほとんどが超過勤務による多忙感を感じており、79名中67名がプログラミング教育を行うことに不安を抱いているという。

そこで、ロボットプログラミング教育における教師の役割の一部を自動化しコストを削減することが、教育格差をなくしてロボットプログラミング教育の協調学習を普及させることへの第一歩となるのではないかと考えた。本研究では、ロボットプログラミングのペア学習の場면을ターゲットとし、オンライン上での協調学習を促進するためのエージェントシステムを提案する。

2. 提案システム

我々は、ロボットプログラミング教育における教師の役割のうち、「授業中の言葉がけ」と「ペアのマッチング」に注目した。「授業中の言葉がけ」を自動化するe-Learningシステムと、「ペアのマッチング」を自動化するマッチングシステムを以下で提案する。

2.1 「授業中の言葉がけ」を自動化するe-Learningシステムの提案

名取ら(2012) (8)によると、協調学習を促進するために教師がすべきことは、子どもの問いかけに対して答

えを伝えることではなく、さらに学びを深めていけるような言葉がけや疑問を投げかけることであるという。そこで、子どもが問いかけた際に、協調学習を促進するような言葉がけをするチャットボットを含んだ、e-Learningシステムを提案する。

提案するe-Learningシステムは、図1のようにビデオ通話越しに子ども同士を繋げ、話し合いながらプログラミング学習を進めるためのwebサイトである。ビデオ通話はzoomなどの既存のビデオ通話サービスを用い、ビデオ通話サービスと同時にe-Learningシステムのwebサイトを開くこととする。

図2は、実際に開発したe-Learningシステムである。まず、ページの上部に表示されている「超音波センサーをマスターしよう！」が授業全体の目標であり、その下に表示されている「ミッション2：壁にぶつかる前に止まろう」が10分間で行うミッションである。目標の達成に必要な基礎知識は下の解説動画によって解説される。そして、解説動画の右側にあるのが教師の代わりに言葉がけをするチャットボットである。

このチャットボットは、Googleの最新のディープラーニング技術でチャットボットが作成できるサービスDialogflow(9)を用いて作成した。子どもは、授業中につまづいたときに、チャットボットに問いかけることができる。そして、チャットボットは子どもの問いかけから困惑内容を推定し、さらに学びを深めていけるよ

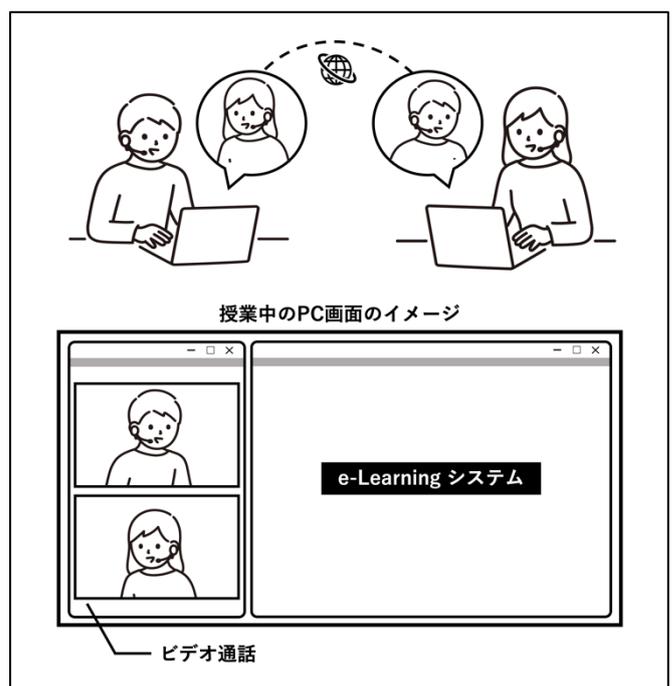


図1 e-Learningシステムの概要図



図 2 開発した e-Learning システム

うな言葉がけを自動で返信する。例えば、子どもが「超音波センサーの動かし方がわからない」と入力すると、予め設定している「センサー」というキーワードを抽出する。そして、「センサーを動かすのに使うブロックは合っているかな?ペアの子に相談してみよう!」や「動画ではどのように動かしていたかな?ペアの子に聞いてみよう!」のように、ランダムでセンサーに関連する返答をする。キーワードは「ライト」や「繰り返す」など、目標を達成するのに疑問が生まれやすいと思われるワードを予め設定した。キーワードの抽出には Dialogflow の AI 技術が使われており、打ち間違いなどをフォローすることも可能である。また、返答は名取ら(2012) (8) の協調学習を実践した授業観察の、教師の発言を参考に作成した。

2.2 「ペアのマッチング」を自動化するマッチングシステムの提案

マッチングの指標については、様々な研究がなされている。例えば、大矢ら(2009) (10) によると、基礎学力、経験、興味、入力速度の順にマッチングの指標として有効であるという。また、内田(2016) (11) によると、性別、基礎学力、パーソナリティ特性の 3 指標がペアワ

ークの効果をも高めるために有効であるという。さらに、異性で基礎学力差が小さいペア編成が、ペアワークの効果向上に貢献するという。このように、これまでの先行研究では子どもへの事前アンケートやテストで得られるもののみをマッチングの指標としている。

それに対して、我々は事前アンケートやテストで得られる特性よりも、子どもの自然な言動から得られる曖昧な特性をマッチングの指標とする方が、より良い教育効果が得られるのではないかと考えた。提案するマッチングシステムでは、図 3 のように仮想エージェントとの事前学習での音声データを解析してマッチングの指標とする。図 3 の「仮想エージェントとの事前学習」を 2.2.1 項で、「音声データの解析」を 2.2.2 項で、「解析したデータをもとにマッチング」を 2.2.3 項で説明する。

2.2.1 仮想エージェントとの事前学習

事前学習で開く web ページは、2.1 節で提案した e-Learning システムに類似しているが、学習相手が仮想エージェントになっているという点とチャットボットがないという点で異なる。開発した仮想エージェントは、子どもと一緒に与えられたミッションに取り組み、実際の子どものように話しかけてきたり、わからない点を相談してきたりする。

実際の子どもではなく仮想エージェントにする理由は、実際の子どもを相手にすると、相手の特性によって発話内容が変わってしまうためである。たとえば、

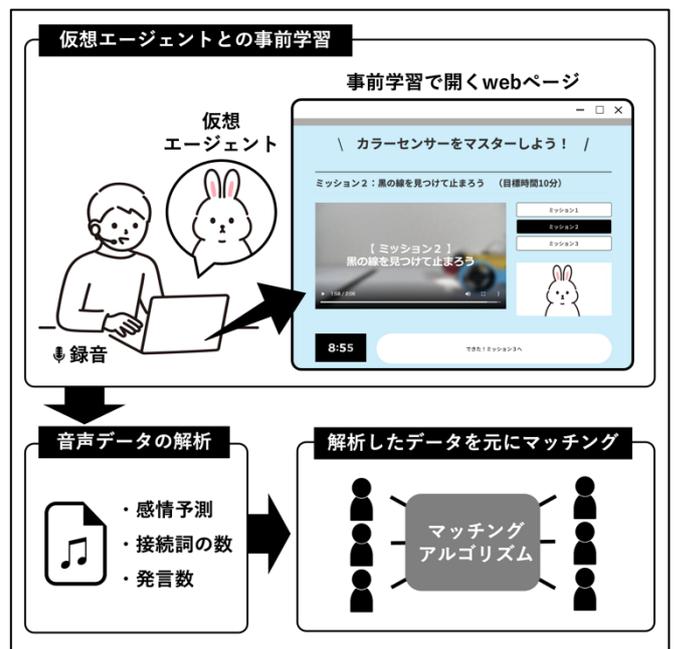


図 3 マッチングシステムの概要図

Aの特性を測るために実際の子どもである相手Bと学習をするとする。Bの発言数が多くたくさん話しかけてきた場合はAの発言数も多くなると予測できるため、Bの特性によってAの特性も変わってしまい、平等に特性を測ることができない。よって、相手の特性を固定するために仮想エージェントを用いることとした。

2.2.2 音声データの解析

図4のように、仮想エージェントとの事前学習で録音したデータを解析する。具体的には、子どもの特性に関係すると思われる「感情予測」「接続詞の数」「発言数」の3つをデータとして出力する。開発したシステムでは、録音した音声のうち、一定時間以上小音量が続く箇所や瞬間的に音が鳴っている箇所は発言していないと判定して、発言している部分の音声データのみを分割して抽出する。そしてそれぞれの音声データに対して、感情予測、接続詞の数、発言数を求める。求める方法は以下で説明する。

(1)感情予測の方法

感情予測モデルは、Kouhei(2018)⁽¹²⁾を参考に作成した。Kouheiは、感情—音声データセットを用いて感情解析を行っている。モデルの構造には時系列データを扱うことができるという点で音声解析に向いているLSTM (Long Short Term Memory)を、特徴量にはメル周波数ケプストラム係数を、データセットには研究

データリポジトリである Zenodo の「The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song」⁽¹³⁾を用いている。このデータセットには、8つの感情 (neutral, calm, happy, sad, angry, fearful, disgust, surprised) を表した音声合計 1440 個収録されている。また、学習には Python の深層学習ライブラリ Keras⁽¹⁴⁾を用いている。

これらを参考にして感情予測モデルを作成したところ、訓練データ(training)・テストデータ(validation)の正解率を表したグラフは、図5のようになった。図5からわかるように、テストデータでの正解率が65%を超える感情予測モデルを作成することができた。作成した感情予測モデルを用いて、図4のように事前学習での音声データそれぞれの感情レベルの配列を求め、それを平均したものを事前学習全体での感情予測のデータとする。例えば、授業中にn回発言すると、n個の音声データが作成される。そのうち、i番目の音声データの neutral のレベルをN(i), calm のレベルをC(i), happy のレベルをH(i), sad のレベルをS(i), angry のレベルをA(i), fearful のレベルをF(i), disgust のレベルをD(i), surprised のレベルをU(i)とする。すると、i番目の音声データの感情レベルの配列emotion(i)は、式(1)となる。そして、すべての音声データの感情レベルの配列を平均した事前学習全体での感情予測のデータemotion_sは、式(2)のように算出する。

$$emotion(i) = [N(i), C(i), H(i), S(i), A(i), F(i), D(i), U(i)] \quad (1)$$

$$emotion_s = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D(i), \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U(i) \right] \quad (2)$$

(2)接続詞の数を数える方法

はじめに、Google による AI の研究とテクノロジーを活用した APIである Speech-to-Text⁽¹⁵⁾を用いて、事前学習での音声データそれぞれをテキストに変換する。そして、柴田(2017)⁽¹⁶⁾の CSJ での検索で用例数が100件以上確認された接続詞を参考に、「でも」や

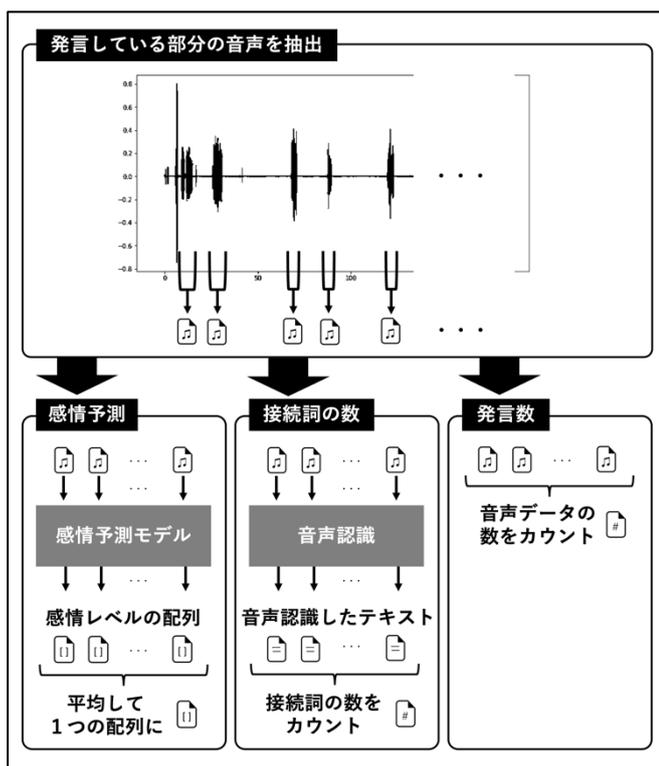


図4 音声解析の概要図

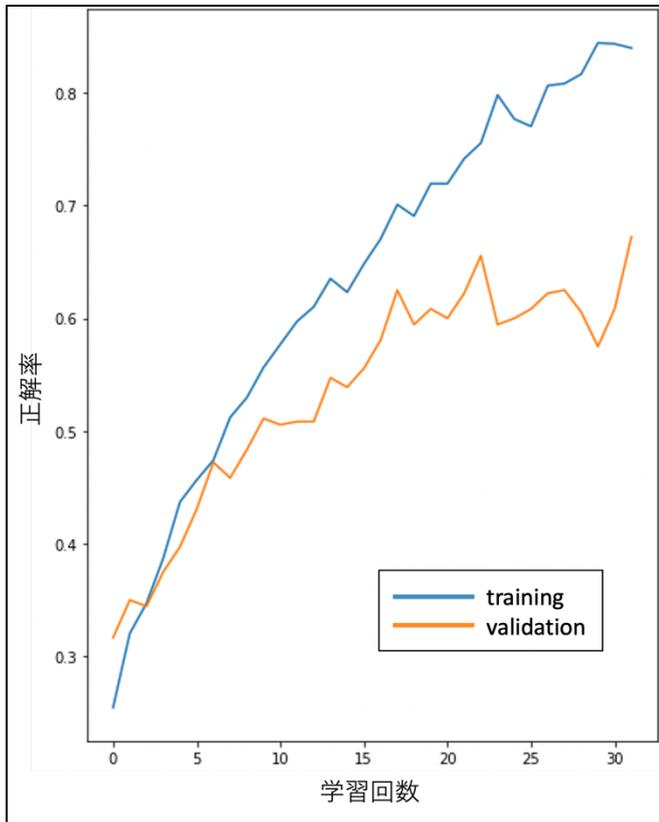


図 5 感情予測モデルの評価

「から」など、合計 44 種類の接続詞をカウントし、その数を事前学習全体での接続詞の数のデータとする。

(3) 発言数を数える方法

発言数は、抽出した音声データの数をカウントし、その数を事前学習全体での発言数のデータとする。

2.2.3 解析したデータを元にマッチング

仮想エージェントとの事前学習における「感情予測」「接続詞の数」「発言数」の 3 つのデータを指標とし、マッチングアルゴリズムを用いてマッチングを行う。マッチングアルゴリズムの作成は図 6 のように、実験 1 を通したデータを用いて行う。

実験 1 では大学生を 10 名程度集め、ランダムでペアを組んでいき、ペアでそれぞれ実験を行う。子どもではなく大学生を実験参加者とする理由は、この実験は e-Learning システムや仮想エージェントの問題点を発見するための予備的な役割を果たすためである。まずは大学生での実験を繰り返し、問題点を改善した後に子どもでの実験を行う。

まず実験 1-1 では、ペアはそれぞれ仮想エージェントと学習し、2.2.2 項の解析法でその際の音声データを解析する。次に実験 1-2 では、2.1 節で提案した e-Learning システムを用いてペア同士で学習し、内田

(2016)⁽¹¹⁾の「ペアワーク満足度」と「ペアワーク活性度」を用いて、ペアの相性を評価する。内田は、この 2 つに加えて「テストの成績上昇度」でも相性を評価している。内田の用いている「テストの成績上昇度」は、プログラミング教育において「プログラミング的思考の上昇度」と読み替えることができる。「プログラミング的思考の上昇度」は 1 回の授業で見えにくいことから、「テストの成績上昇度」は指標としないこととする。内田は、「ペアワーク満足度」を測るための子どもへのアンケートの評価項目として表 1 の項目を、その回答方法には 4 件法を用いている。また、「ペアワーク活性度」を測る指標として、発話数が用いられている。発話数は、発話のひとつまとまりを発話単位としてカウントしている。

そして、全てのペアについて評価し終えた後、それぞれの解析データと相性の関係を考察し、その考察をもとにマッチングアルゴリズムを作成する。例えば、

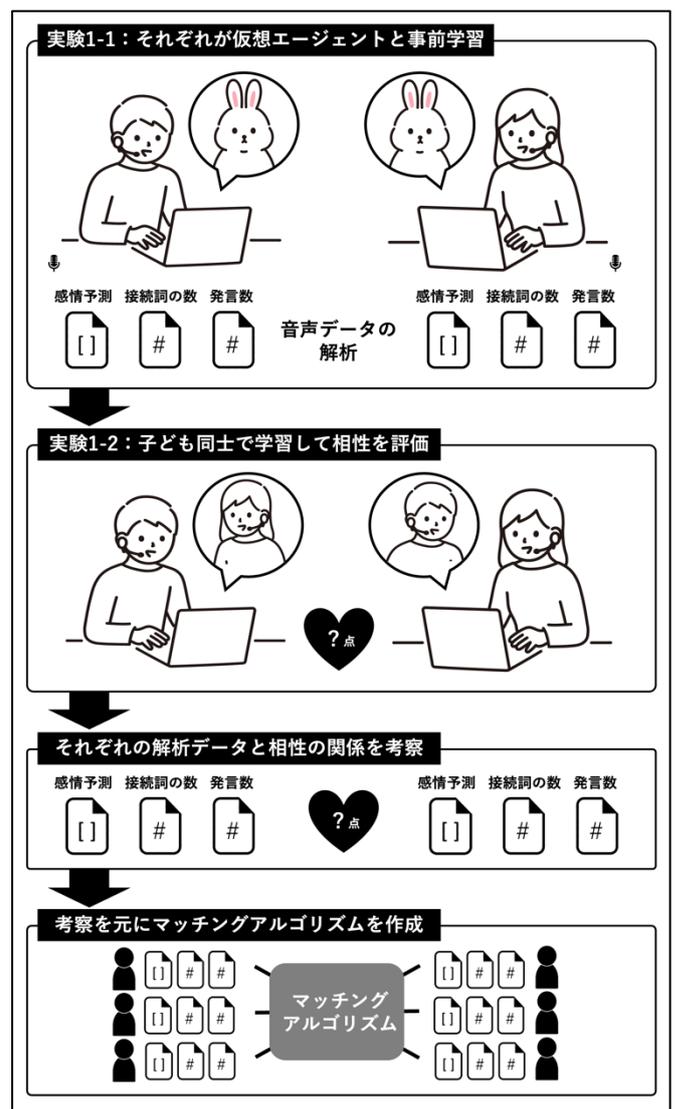


図 6 マッチングアルゴリズムの作成方法

発言数の多い実験参加者と発言数の少ない実験参加者が相性の良い傾向にあれば、発言数の差が大きい2人を優先的にペア編成するようなマッチングアルゴリズムを作成する。

3. システムの評価方法

3.1 e-Learning システムの評価

実験1-2では、e-Learning システムを使用する。よって、e-Learning システムの評価は実験1の実験参加者へのインタビューにより行う。インタビュー項目は表2に示す。

3.2 マッチングシステムの評価

マッチングシステムの評価は、内田(2016)⁽¹¹⁾によって効果が確認されている「性別と基礎学力を用いたペア編成方法」と比較することによって行う。内田は、性別と基礎学力に加えてパーソナリティスコアを用いたペア編成方法も提案している。しかし、この編成方法では成績上昇度が使用されており、2.2.3項で述べた理由より成績上昇度は見えにくいことから、この編成方法は用いないこととした。内田は、性別と基礎学力を用いたペア編成方法について、

- (1) 受講生を基礎学力のスコアに基づいて降順にソートする。
- (2) ソート結果の順番にペアを編成する。
- (3) (2) でペア編成が同性同士となった場合は、基礎学力のスコア差が小さい異性と入れ替える。ただし、基礎学力スコア差が2点超(20点満点)となる場合は、異性との入れ替えは行わず、同性ペアとする。(11)

と説明している。本実験では、PC操作やプログラミングの経験を20点満点で評価することで、基礎学力スコアとする。以降、2.2節で提案したマッチングシステムに用いられているマッチングアルゴリズムをマッチングアルゴリズムA、内田の「性別と基礎学力を用いたペア編成方法」をマッチングアルゴリズムBと呼ぶ。マッチングシステムの評価は図7のように、実験2を通して行う。

表1 ペアワーク満足度アンケート評価項目(内田(2016)⁽¹¹⁾を参考に作成)

1	ペアワークは楽しかったです
2	ペアワークでの相談が役立ちました
3	ペアワークはよい方法だと思います
4	ペアと個人では、ペアの方が回答しやすいと思います
5	ペアワークによって理解が深まりました

表2 e-Learning システム満足度アンケート評価項目

1	スムーズに授業を進められることができましたか?
2	チャットボットの返信は問題の解決に良い影響を与えましたか? また、その理由を教えてください。
3	チャットボットの返信は問題の解決に悪い影響を与えましたか? また、その理由を教えてください。
4	チャットボットを使用してみて、改善点があれば教えてください。
5	今後もチャットボットを使用してみたいと思いますか? また、その理由を教えてください。

実験2では大学生を10名程度集め、ランダムにグループ1とグループ2の半分に分けて実験を行う。子どもではなく大学生を実験参加者とする理由は、2.2.3項で述べた実験1での理由と同様である。

まず、図3で示したようにマッチングシステムを使用するためには、仮想エージェントとの事前学習が必要である。よって、実験2-1では全員が仮想エージェントと学習し、2.2.2項の解析法でその際の音声データを解析する。次に、実験2-2ではグループ1とグループ2の実験参加者を、実験2-1で解析したデータを指標として、マッチングアルゴリズムAに基づいてマッチングする。そして、それぞれマッチングした相手と2.1節で提案したe-Learningシステムを用いて学習する。最後に、内田の「ペアワーク満足度」と「ペアワーク活性度」を指標として、ペアの相性を評価する。実験2-3では、グループ1とグループ2の実験参

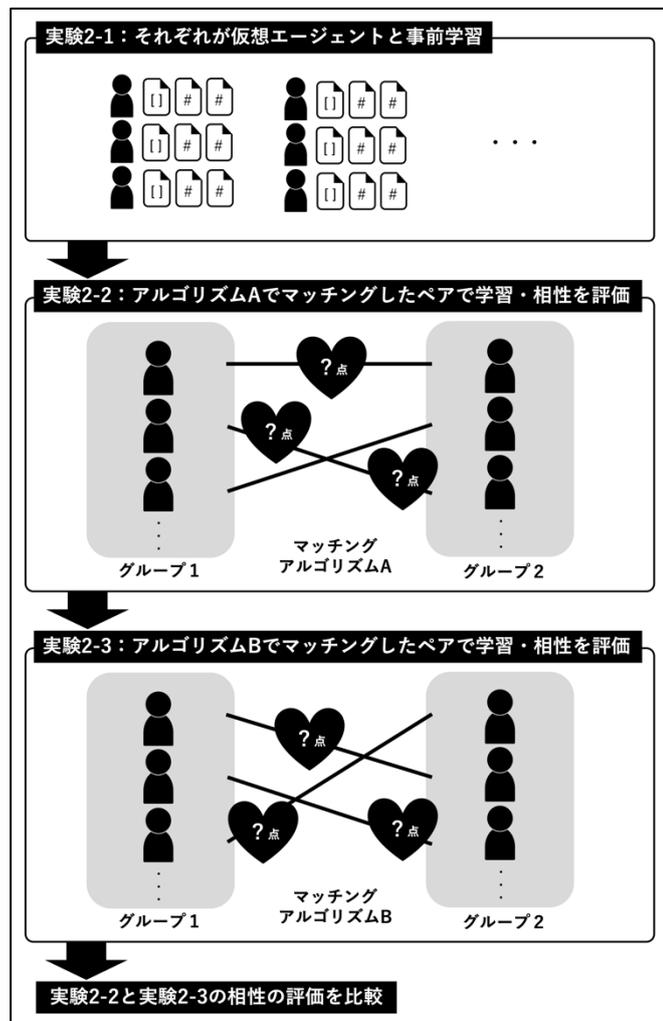


図 7 マッチングシステムの評価方法

加者をマッチングアルゴリズム B に基づいてマッチングし、実験 2-2 と同様に学習・評価する。最後に、実験 2-2 と実験 2-3 の評価を比較することによって、マッチングシステムの評価を行う。

4. まとめと今後の課題

本研究では、オンライン上でのロボットプログラミングの協調学習を促進するための「授業中の言葉がけ」と「ペアのマッチング」を自動化するエージェントシステムを提案した。

今後、マッチングアルゴリズムを作成するための実験、e-Learning システムとマッチングシステムを評価するための実験を行う。そして、システムの問題点や改善点を明らかにし、更なるシステムの向上を目指す。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19H01112 の助成を受けて行われました。

参考文献

- (1) 森幹彦, 池田心, 萩原学, 嵯峨正規, 上原哲太郎, 喜多一: “ソーシャライズド・コンピュータと協調学習”, 人工知能学会全国大会論文集, 第 22 回 (2008)
- (2) 文部科学省初等中等教育局教育課程科: “学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に関する参考資料”
https://www.mext.go.jp/content/210330-mxt_kyoiku01-000013731_09.pdf (2021) (最終アクセス 2022 年 9 月 9 日)
- (3) 中山舞祐, 森本康彦: “ペアプログラミングを取り入れた小学校プログラミング教育の実施方法の提案と評価”, 日本教育工学会論文誌, S44092 (2021)
- (4) 文部科学省: “小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について (議論の取りまとめ)”
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm (2016) (最終アクセス 2022 年 9 月 9 日)
- (5) 塩澤秀和, 松本祐依: “AR を用いたロボットプログラミング学習支援の提案”, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, 2019, pp.1125-1130 (2019)
- (6) UNESCO: “New methodology shows that 258 million children, adolescents and youth are out of school”
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370721?posInSet=11&queryId=d1d425b0-3319-466d-8ab4-9012242321b6> (2019) (最終アクセス 2022 年 9 月 9 日)
- (7) 大島崇行, 齋藤博, 岡島佑介: “小学校教員の多忙化とプログラミング教育への意識・不安解消を目指す研修プログラムによる意識の変容”, 上越教育大学研究紀要, 40(1), pp.33-43 (2020)
- (8) 名取春香, 山内紀幸, 市川寛: “『学び合い』を促進する授業: A 小学校の「自然 (理科)」の授業観察から”, 山梨学院短期大学研究紀要, 32, pp.115-124 (2012)
- (9) Google Cloud: “Dialogflow”
<https://cloud.google.com/dialogflow/docs?hl=ja> (最終アクセス 2022 年 9 月 13 日)
- (10) 大矢芳彦, 内田君子: “情報基礎教育におけるペア学習の試みとその組み合わせ指標に関する基礎研究”, 名古屋外国語大学外国語学部紀要, 36, pp.223-241

(2009)

- (11) 内田君子：“情報リテラシー教育におけるペアワークメンバー編成法に関する研究” (2016)
- (12) Kouhei Watanabe：“Colaboratory で感情-音声データセットを使った感情解析をやってみた”，GitHub
<https://gist.github.com/kou029w/02467375d5bfd2d3210735aac2de23ea> (2018) (最終アクセス 2022 年 9 月 13 日)
- (13) Zenodo：“The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song”
<https://zenodo.org/record/1188976#.YyFOMuzP2Ak>
(最終アクセス 2022 年 9 月 14 日)
- (14) Keras Documentation：“Keras:Python の深層学習ライブラリ” <https://keras.io/ja/> (最終アクセス 2022 年 9 月 13 日)
- (15) Google Cloud：“Speech-to-Text”
<https://cloud.google.com/speech-to-text?hl=ja> (最終アクセス 2022 年 9 月 14 日)
- (16) 柴田好葉：“話し言葉における接続詞の文体的特徴について”，言語資源活用ワークショップ発表論文集, 2, pp.85-92 (2017)