

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：21602
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2022
課題番号：19K12252
研究課題名(和文) プログラミング教育のための知的エディタ

研究課題名(英文) Intelligent Editor for Programming Education

研究代表者
渡部 有隆 (Watanobe, Yutaka)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：30510408
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：プログラミングの問題集を提供し自動採点を支援するシステムとして知られている Aizu Online Judge (以下AOJ) を主軸に、プログラムの修正、補完、分類を支援する機械学習モデルの開発・評価を行った。さらに、エディタを含む学習支援システムのユーザインタフェース、及び学習支援システム全体のアーキテクチャを考案し実装した。これらのモデルの構築理論、技術要素、アーキテクチャ、経験は主要な国際学術雑誌や国際学会にて発表された。また、本学習支援システムのユーザインタフェースは通年開発され、機能を制限・拡張しながら継続的に運用されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義
プログラミング技術の習得は容易ではなく、その教育には高度な技術と経験が求められる。さらに、圧倒的な教育者不足による教育格差も発生している。従って、人材不足の解消、持続的かつ平等な教育、質の高い教育を実現するためには、AIを備えた学習・教育支援システムが不可欠となっている。本研究テーマは、運用実績のある独自のオンラインジャッジシステム及びそのデータ資源を研究基盤とし、各種学習支援の自動化を試みる独創的な研究であり、プログラミング教育及びIT人材育成に貢献する技術要素の理論を生み出すとともに、実運用を通して教育現場に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Based on Aizu Online Judge (hereafter AOJ), a well-known system that provides a collection of programming questions and supports automatic grading, the project developed and evaluated machine learning models to support program correction, completion, and classification. Furthermore, a user interface for the learning support system, including the editor, and the overall architecture of the environment were devised and implemented. These models, technical elements, architectures, and experiences were published in major international journals and at international conferences. The user interface of this learning support system has been developed, and the system has been continuously operated with limited and extended functions.

研究分野：学習支援システム

キーワード：学習支援 プログラミング

1. 研究開始当初の背景

IT 人材不足の警鐘や初等教育におけるプログラミング必須化が示す通り、プログラミング教育と人材育成が重要視されている。また、ソフトウェア開発の現場では、プログラミング言語やフレームワークの多様化により、継続的な自学と技術習得が求められている。このような時代では、技術の変化に対応し持続可能な、優れたプログラマ・IT 人材をより効率よく育成するための学習支援が必要となる。しかし、その活動は熟練した指導者でも容易ではなく、地域性による指導者の過不足で教育格差も発生している。従って、人材不足の解消、持続的かつ平等な教育、質の高い教育を実現するために、AI を備えた支援システムが不可欠となっている。

2. 研究の目的

プログラミングの教育及び学習を効率化する、知的な支援機能を備えたエディタを開発し、プログラミング教育及び IT 人材育成に貢献することを目差した。ここで「知的」とは、人間の指導に代わり得る、人工知能による指摘・提案を指し、本エディタは、主にプログラムコードの修正、補完、改善を支援するものである。具体的には、本エディタの支援機能を大規模な学習履歴データと機械学習を用いて拡充し、プログラミング学習における検索・閲覧・コーディング・採点が行えるユーザインタフェースに組み込み、統合的な学習支援環境を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

プログラミングの問題集を提供し自動採点を支援するシステムとして知られている Aizu Online Judge (以下 A0J) を研究基盤とし、以下の理論を探求し、実装・評価を行った。

- (1) ユーザインタフェースやエディタの知的機能として還元するために、A0J に蓄積されたデータを活用した、各種学習支援を行うための機械学習モデルの開発と評価、及びデータ駆動型の学習支援を目指した教育データマイニングを行った。
- (2) A0J のサーバサイドのシステムにおいて、学習者の履歴やソースコードを体系的に蓄積する仕組みを実装し、そのアーキテクチャの理論を探求した。
- (3) A0J のクライアントサイドのシステムとして、本知的エディタを搭載する統合学習環境のユーザインタフェースを実装・運用することで、その構築理論を探求した。

4. 研究成果

本研究プロジェクトの成果は、以下の 5 項目に分類される。

(1) A0J に集積されたデータを活用し、エラー検知、コード修正、コード補完に関するいくつかの機械学習モデルを考案し実装・評価した。これらのモデルはニューラルネットワーク(ディープラーニング)で実装され、解答ソースコードが蓄積された教育的な問題セットを用いて評価が行われた。実験結果は、プログラミングやアルゴリズムの入門レベルの問題セットに対して、高い精度でバグ検知とコード補完が行えることを示した[1,2,3,4,5]。

(2) ソースコードを機能レベルで分類する機械学習モデルを実装し評価した[6]。これらのモデルは、ニューラルネットワーク(ディープラーニング)に基づいており、問題を解決するアルゴリズムを高い精度で分類することができる。これらのモデルは、各種コーディングタスク用のモデルの開発や教育データマイニングに応用できる。教育支援やソフトウェア開発においては、特定の機能を有するプログラムの検索や分類に応用できる。

(3) データ駆動型の学習支援を目指した教育データマイニングを行った。具体的には、教育現場から得られた学習者のデータを解析する機械学習モデルを構築した。これらのモデルは、クラスタリングやルールマイニングのアルゴリズムで実装された。実験結果は、これらのモデルが問題解決データから有用な特徴、クラスタ、パターン、ルールを効果的に抽出できることを明らかにした。さらに、これらの抽出データの分析から、学習者の弱点、支援範囲、個別指導の指針を提供することができる[7,8]。

(4) プログラミングの学習支援環境で生み出されたデータを蓄積・管理・活用するためのエコシステムを形成し、本ユーザインタフェースと連動するオンラインジャッジシステムの API を提供するサーバ群のアーキテクチャに関する理論を、実践や経験に基づき発表した[9,10]

(5) プログラミングの自律型学習を支援するユーザインタフェースを探求しその設計を行った。具体的には、機械学習モデルから得られたフォードバックやコンテンツを、学習者の学習効果・学習効率を考慮しながら適宜表示・制御する仕組みを考案した[11]。教育・研究基盤となる本インタフェースのクライアントシステムを段階的に実装しながら運用している[12]。

<引用文献>

- [1] Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura, A Bidirectional LSTM Language Model for Code Evaluation and Repair. *Symmetry* 13(2) 247-247 2021.
- [2] A Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura, Neural Network Based Intelligent Support Model for Program Code Completion, *Sci. Program.* 2020, 7426461-18, 2020.
- [3] Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura, Source Code Assessment and Classification Based on Estimated Error Probability Using Attentive LSTM Language Model and Its Application in Programming Education, *Applied Sciences*, 10(8), 2973-2973, 2020.
- [4] Kenta Terada, Yutaka Watanobe, Code completion for programming education based on deep learning, *International Journal of Computational Intelligence Studies* 10 (2-3), 78-98.
- [5] Taku Matsumoto, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura, A model with iterative trials for correcting logic errors in source code, *Applied Sciences* 11 (11), 4755.
- [6] Yutaka Watanobe, Md. Mostafizer Rahman, Md. Faizul Ibne Amin, Raihan Kabir, Identifying algorithm in program code based on structural features using CNN classification model, *Applied Intelligence*, 53(10), 12210-12236.
- [7] Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Taku Matsumoto, Rage Uday Kiran, Keita Nakamura, Educational Data Mining to Support Programming Learning Using Problem-Solving Data, *IEEE Access*, 10, 26186-26202, 2022.
- [8] Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Rage Uday Kiran, Truong Cong Thang, Incheon PAIK, Impact of Practical Skills on Academic Performance: A Data-Driven Analysis, *IEEE Access*, 9, 1-1, 2021.
- [9] Yutaka Watanobe, Md. Mostafizer Rahman, Taku Matsumoto, Uday Kiran Rage, Penugonda Ravikumar, Online Judge System: Requirements, Architecture, and Experiences, *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, 32(06), 917-946, 2022.
- [10] Yutaka Watanobe, Chowdhury Intisar, Ruth Cortez, Alexander Vazhenin, Next-Generation Programming Learning Platform: Architecture and Challenges, *SHS Web of Conferences*, 77 01004, 2020.
- [11] Yutaka Watanobe, Md Mostafizer Rahman, Alexander Vazhenin, Jun Suzuki, Adaptive User Interface for Smart Programming Exercise, 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE), 1-7, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Md Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Rage Uday Kiran, Truong Cong Thang, Incheon Paik	4. 巻 9
2. 論文標題 Impact of Practical Skills on Academic Performance: A Data-Driven Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 139975-139993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3119145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Md Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Taku Matsumoto, Rage Uday Kiran, Keita Nakamura	4. 巻 10
2. 論文標題 Educational Data Mining to Support Programming Learning Using Problem-Solving Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 26186-26202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3157288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura	4. 巻 13(2)
2. 論文標題 A Bidirectional LSTM Language Model for Code Evaluation and Repair	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13020247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura	4. 巻 2020
2. 論文標題 A Neural Network Based Intelligent Support Model for Program Code Completion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Programming	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/7426461	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Md. Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura	4. 巻 10(8)
2. 論文標題 Source Code Assessment and Classification Based on Estimated Error Probability Using Attentive LSTM Language Model and Its Application in Programming Education	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Science	6. 最初と最後の頁 2973
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10082973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuto Yoshizawa, Yutaka Watanobe	4. 巻 4
2. 論文標題 Logic Error Detection System based on Structure Pattern and Error Degree	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.25046/aj040501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yutaka Watanobe, Chowdhury Intisar, Ruth Cortez, Alexander Vazhenin	4. 巻 77
2. 論文標題 Next-Generation Programming Learning Platform: Architecture and Challenges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SHS Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/shsconf/20207701004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanobe Yutaka, Rahman Md. Mostafizer, Amin Md. Faizul Ibne, Kabir Raihan	4. 巻 53
2. 論文標題 Identifying algorithm in program code based on structural features using CNN classification model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Intelligence	6. 最初と最後の頁 12210 ~ 12236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10489-022-04078-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Watanobe Yutaka, Rahman Md. Mostafizer, Matsumoto Taku, Rage Uday Kiran, Ravikumar Penugonda	4. 巻 32
2. 論文標題 Online Judge System: Requirements, Architecture, and Experiences	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering	6. 最初と最後の頁 917 ~ 946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/s0218194022500346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsumoto Taku, Watanobe Yutaka, Nakamura Keita	4. 巻 11
2. 論文標題 A Model with Iterative Trials for Correcting Logic Errors in Source Code	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4755 ~ 4755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11114755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Terada Kenta, Watanobe Yutaka	4. 巻 10
2. 論文標題 Code completion for programming education based on deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Intelligence Studies	6. 最初と最後の頁 78 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJCISTUDIES.2021.115424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yutaka Watanobe, Md Mostafizer Rahman, Alexander Vazhenin, Jun Suzuki
2. 発表標題 Adaptive User Interface for Smart Programming Exercise
3. 学会等名 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Md Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Rage Uday Kiran, Truong Cong Thang, Incheon Paik
2 . 発表標題 Challenges and Exit Strategies for Adapting Interactive Online Education Amid the Pandemic and its Aftermath
3 . 学会等名 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology & Education (TALE) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Md Rahman, Yutaka Watanobe, Rage Uday Kiran, Raihan Kabir
2 . 発表標題 A Stacked Bidirectional LSTM Model for Classifying Source Codes Built in MPLs
3 . 学会等名 Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Yutaka Watanobe, Md Rahman, Uday Kiran Rage, Ravikumar Penugonda
2 . 発表標題 Online Automatic Assessment System for Program Code: Architecture and Experiences
3 . 学会等名 International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Md Rahman, Yutaka Watanobe, Uday Kiran Rage, Keita Nakamura
2 . 発表標題 A Novel Rule-Based Online Judge Recommender System to Promote Computer Programming Education
3 . 学会等名 International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Md. Mostafizer Rahman, Shunsuke Kawabayashi, Yutaka Watanobe
2. 発表標題 Categorization of Frequent Errors in Solution Codes Created by Novice Programmers
3. 学会等名 The 3rd ETLTC International Conference on Information and Communications Technology (ETLTC2021) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Taku Matsumoto, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura
2. 発表標題 Logic Error Detection Algorithm Based on RNN with Threshold Selection
3. 学会等名 19th International Conference on New Trends in Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques (SoMeT_20) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Md Mostafizer Rahman, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura
2. 発表標題 Evaluation of Source Codes Using Bidirectional LSTM Neural Network
3. 学会等名 202020 3rd IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Taku Matsumoto, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura
2. 発表標題 Towards Hybrid Intelligence for Logic Error Detection
3. 学会等名 Proceedings of the 18th International Conference on New Trends in Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques (SoMeT_19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Terada, Yutaka Watanobe
2. 発表標題 Code Completion for Programming Education based on Recurrent Neural Network
3. 学会等名 2019 IEEE 11th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 情報処理システム、情報処理方法、振分装置、通知装置、振分プログラム及び通知プログラム	発明者 渡部有隆	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-121259	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 プログラミング学習支援プログラム、情報処理装置及びプログラミング学習支援方法	発明者 渡部有隆	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-121263	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------