

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：21602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16174

研究課題名（和文）知的プログラミング学習支援環境

研究課題名（英文）Intelligent Programming Learning Support Environment

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） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、昨今国内外で意識が高まっているプログラミング教育を支援するためのシステム及びそれを実現するアルゴリズムの研究開発を行った。本プロジェクトでは、プログラムを自動採点・評価し、提出プログラムと学習履歴が日々蓄積されていくオンラインプログラミング学習支援システムのユーザインタフェースを段階的に拡張している。サーバサイドに集積・配備されたデータを活用し、様々なタイプのフィードバックを実現するためのアルゴリズムを開発した。また、集積データを広く公開し、第三者によるアルゴリズムやユーザインタフェースの研究開発を推進するアーキテクチャに基づき本システム全体を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発されたプログラミング学習支援環境は、プログラマの人材育成に貢献し、将来懸念される指導者不足の問題解決にも繋がる。さらに、本研究で考案された教育データマイニングに関するアルゴリズム及び公開データは、教育現場だけではなく、ソフトウェア工学や開発現場にも応用することができる。

研究成果の概要（英文）：In this project, the system and related algorithms have been considered to support programming education. Through the project, the user interface of the online programming learning support system, where submitted programs and learning history are accumulated, has been extended in stages. Using the accumulated data, several machine learning algorithms have been developed to provide different types of feedback. The system has also been extended based on the architecture which promotes the research and development of algorithms and user interfaces by the third parties.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：学習支援システム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- 1) プログラミング教育と人材育成が重要視される中、プログラミング学習に関する様々なシステムが登場し、対話型サービス、ビデオ講義、SNS 機能のように、そのコンテンツが多様な形態に発展しながら拡充していた。
- 2) プログラムの技術訓練に広く貢献しているサービスのひとつが、提出されたプログラムを自動採点・評価するオンラインジャッジシステムであった。世界的にはいくつかの大学においてオンラインジャッジが運営されていたが、国内では申請者(研究代表者)が開発・運営する Aizu Online Judge が知られていた。オンラインジャッジは発展途上であり、国内外の教育機関において様々な機能拡張が提案されていた。
- 3) オンラインジャッジには、課題ごとに様々なアプローチを用いた解答コードが日々蓄積されているため、様々な知識・知見に加え、ユーザの学習履歴が集積されていく特性があった。一方、機械学習(深層学習)が発展し様々な分野でその応用事例が増加していた。そこで、集積データと機械学習による教育データマイニングによって、学習者への適格なフィードバックと指導者の支援が可能であると考え、本研究の着想に至った。

### 2. 研究の目的

- 1) 本プロジェクトの目的は、学習者がリアルタイムに各種適格なフィードバックを得られる環境を構築することで、昨今国内外で意識が高まっているプログラミング教育と人材育成に貢献することであった。具体的には、プログラムを自動採点・評価し、提出プログラムと学習履歴が日々蓄積されていくオンラインのプログラミング学習システムのユーザインタフェースを拡張するために、サーバサイドに集積・配備されたデータを活用した機械学習等のアルゴリズムを開発した。異なるタイプのアルゴリズムによって様々なフィードバックを提供することで、学習の効率化と指導者の負担軽減を目指した。

### 3. 研究の方法

- 1) 本研究プロジェクトでは長期的な目標として、知的なエディタを備えたオンラインのユーザインタフェースを構築し、段階的に機能を実装している。ユーザインタフェースは API によってサーバ側に接続し、フィードバックを実現する。サーバ側は、集積データの活用を推進するアーキテクチャによって構築された。
- 2) 集積データを活用し、機械学習や静的解析アルゴリズムによるソースコード内のバグ検知等でコーディング支援を行うモデルを開発し評価を行った。
- 3) その他のフィードバックやインタフェースの基本要素となり得る、教育データマイニングに関するアルゴリズムを考案した。具体的には、問題分類、人材評価、ソースコード分類、教育資料の自動生成を行う機械学習アルゴリズムをそれぞれ開発した。

### 4. 研究成果

- 1) 学習支援システムのユーザインタフェースを構築するため、現行のシステムのサーバサイドをリソース指向のアーキテクチャに従い再構築した。本アーキテクチャにより、本課題で実装する機能を含む様々なサービスの配備が容易になり、当該研究者を含む第三者が開発するユーザインタフェースやアルゴリズムとの統合も容易になった。
- 2) 上記アーキテクチャによるデータ活用を通して、学習支援の中核となるアルゴリズムの提案、実装、及び評価を行った。機械学習アルゴリズムによる課題の推薦と人材評価、深層学習による学習経路の提案、静的解析や深層学習によるロジックエラー検知に関するアルゴリズムを開発した。具体的な成果を抜粋し以下の項目で述べる。
- 3) リスクのある学習者の早期発見を目的とし、学習者のプログラムとしての能力を推定する手法を提案し評価した[1]。この課題では、オンラインジャッジシステムのログデータについて、自己組織化機能マップ(KSOFM)ニューラルネットワークを応用した。提案モデルは、オンラインジャッジシステムのプログラムを「専門家」、「中級」、「リスクあり」に分類する。評価実験では、テストセットで94%の精度で分類を実現した。検証と比較のために、同じデータセットでさらに3つの予測モデルを学習し、その中で多層ニューラルネットワークと決定木は、それぞれ97%と96%の精度を記録した。対照的に、サポートベクターマシンの精度スコアは約88%となったが、「リスクあり」のユーザを特定するという点で、99%の再現率スコアを獲得した。

- 4) 機械学習を応用した学習者と指導者を支援する教育データマイニング研究の一環として、学習経路を推薦するアルゴリズムを提案した[2]。本アルゴリズムは、学習者のスコアを可視化する能力チャートにリカレントニューラルネットワークを適用し学習経路を推薦するものである。学習経路は試行錯誤のプロセスを含む学習者の提出履歴から構築され、学習者の能力チャートは現状の知識の指標として使用される。能力チャートを使用して学習経路推奨システムを構築するためのアプローチを提案し、逐次予測モデルと再帰型ニューラルネットワークに基づく実装を行った。オンラインジャッジシステムのデータを活用し、評価実験を行った。
- 5) プログラミングの問題をその難易度に基づいて分類できるエキスパートシステムを提案した[3]。本研究では、ファジールール導出に基づくエキスパートシステムを提案した。これらのファジールールは、オンラインジャッジシステムのデータベースの提出ログデータをクラスタ分析することによって導き出された。プログラミング問題の特徴に基づいて、様々なクラスタリングアルゴリズムを検討した。エキスパートシステムのパフォーマンスは、3つの異なる学習モデル（決定木、ランダムフォレスト、K近傍）と比較を行った。テストデータを用いた実験結果は、本エキスパートシステムに対するファジールールの有効性を示した。この成果は、プログラミング学習支援プラットフォームにおける、初心者プログラムの自主学習を支援する。
- 6) プログラムのデバッグをサポートするフィードバックシステムを提供するため、論理エラーを検出するアルゴリズムを提案した[4]。本アルゴリズムは、バグ検出に特化したLSTMネットワークと独自の言語モデルに基づくものである。ネットワークのハイパーパラメータについて、複雑さとトレーニング時間の観点から、バグ検出に最適なモデルを調査した。評価実験では、オンラインジャッジシステムの解答コードによってトレーニングされたモデルが、プログラムの静的構造に基づいてコンパイルされたコードのバグを検出できることを示した。
- 7) 畳み込みニューラルネットワークに基づいてソースコードを分類する方法を提案した[5]。ニューラルネットワークの目的は、対応するソースコードで使用されるアルゴリズムのタイプを予測し、得られた結果を様々な種類の支援やプログラミング教育の評価に使用できるようにすることである。提案された方法では、ソースコードはその変数名や関数名などのキーワードを排除したシーケンスに変換される。アルゴリズムをいくつかの種類に分類する実験では、特定のソースコードで使用されるアルゴリズムを高い精度で予測できることを示した。

[1] Chowdhury Md Intisar, Yutaka Watanobe, Classification of online judge programmers based on rule extraction from self organizing feature map, 2018 9th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), 313-318.

[2] Tomohiro Saito, Yutaka Watanobe, Learning Path Recommendation System for Programming Education based on Neural Networks, International Journal of Distance Education Technologies (IJDET), Vol. 18, No. 1, 36-64.

[3] Chowdhury Md Intisar, Yutaka Watanobe, Cluster analysis to estimate the difficulty of programming problems, Proceedings of the 3rd International Conference on Applications in Information Technology, 23-28

[4] Yunosuke Teshima, Yutaka Watanobe, Bug detection based on lstm networks and solution codes, 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 3541-3546.

[5] Hiroki Ohashi, Yutaka Watanobe, Convolutional neural network for classification of source codes, 2019 IEEE 13th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc), 194-200

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 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomohiro Saito and Yutaka Watanobe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Learning Path Recommendation System for Programming Education based on Neural Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Distance Education Technologies	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 該当する

1. 著者名 Yi-Cheng Chen, Shih-Hao Chang, Wei-Hsun Liao, Jianquan Liu, Yutaka Watanobe	4. 巻 12
2. 論文標題 A cloud-based system for dynamically capturing appliance usage relations	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Web and Grid Services	6. 最初と最後の頁 257-272
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1504/IJWGS.2016.079161	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 該当する

〔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 Chowdhury Md Intisar, Yutaka Watanobe, Manoj Poudel, Subhash Bhalla
2. 発表標題 Classification of Programming Problems based on Topic Modeling
3. 学会等名 7th International Conference on Information and Education Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Intisar Chowdhury, Yutaka Watanobe
2. 発表標題 Cluster Analysis to Estimate the Difficulty of Programming Problems
3. 学会等名 3rd International Conference on Applications in Information Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Tomohiro Saito, Yutaka Watanobe
2 . 発表標題 Learning Path Recommender System based on Recurrent Neural Network
3 . 学会等名 The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Intisar Chowdhury, Yutaka Watanobe
2 . 発表標題 Classification of Online Judge Programmers based on Rule Extraction from Self Organizing Feature Map
3 . 学会等名 The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yuto Yoshizawa, Yutaka Watanobe
2 . 発表標題 Logic Error Detection Algorithm for Novice Programmers based on Structure Pattern and Error Degree
3 . 学会等名 The 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yunosuke Teshima, Yutaka Watanobe
2 . 発表標題 Bug Detection based on LSTM Networks and Solution Codes
3 . 学会等名 Bug Detection based on LSTM Networks and Solution Codes, The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Chowdhury Md Intisar, Yutaka Watanobe
2. 発表標題 Fuzzy Rule Mining by Clustering Approach to Estimate the Difficulty of Programming Problems
3. 学会等名 The 2018 World Congress on Information Technology Applications and Services (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Tomohiro Saito, Yutaka Watanobe
2. 発表標題 Problem Recommendation System based on Learning Path of Ability Charts
3. 学会等名 3rd International Symposium on Big Data Analytics in Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Machine Learning Approach for Strength and Rating Estimation of Online Judge Programmer
2. 発表標題 Chowdhury Md Intisar, Yutaka Watanobe
3. 学会等名 3rd International Symposium on Big Data Analytics in Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Mirai Watanabe, Yutaka Watanobe, Alexander Vazhenin
2. 発表標題 Architecture for Hybrid Language Systems
3. 学会等名 16th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yutaka Watanobe, Takuya Akiba, Ozy	4. 発行年 2016年
2. 出版社 POST & TELECOM PRESS	5. 総ページ数 406
3. 書名 Algorithms and Data Structures for Programming Competitions	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----