

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02809

研究課題名（和文）プログラミング学習サイトにおける学習者のつまづきの検出方法に関する開発と評価

研究課題名（英文）Development and Evaluation of Methods for Detection of Learning Difficulties on Programming Learning Sites

研究代表者

高野 辰之（Takano, Tatsuyuki）

関東学院大学・理工学部・助手

研究者番号：30637294

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではWebブラウザを利用したプログラミング教育環境において、これまでの内容の制約とサーバーの負荷の両方を少なくしたシステム構築を実現する方法を検討した。まず、Webブラウザ上での仮想マシンを組み入れた環境の試験的な構築、次にプログラミング初学者のソースコードを解析するソフトウェアの評価項目とフィードバックの検討を実際の講義で行った。そして、その研究成果に基づいてプログラム解析器をWebブラウザでの仮想マシンで動作させ、PC上との違いについて検証した。検証の結果、一部を除きほぼ全ての機能について評価結果の出力が確認され、開発したシステムの有用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では一般的にサーバー側で行われてきたプログラムの実行・評価をWebブラウザ側にプログラムの実行環境を用意することで、プログラミング学習環境を容易に提供し、サーバーの計算能力の制約を取り除いたシステム構築に関して可能性を示した。そして、開発したプログラム解析器を実際の講義に利用し、コンパイラーが出力するメッセージより詳細なメッセージを返却する手法の改善を重ね、その機能を取り入れたプログラミング学習サイトを試作し、より細かい学習サポートの手法が機能することを示した。これらの研究成果から社会的・学術的意義を有するものとする。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated a method to realize a system construction that reduces both the restriction of contents and the server load in a programming education environment using a Web browser. First, an environment incorporating a virtual machine on a Web browser was constructed on a trial basis. Next, evaluation items and feedback for software that analyzes source code for beginning programming students were studied in actual lectures. Then, based on the research results, we ran the program analyzer in a virtual machine on a Web browser and verified the differences from a PC. As a result of the verification, the output of evaluation results was confirmed for almost all functions with some exceptions, indicating the usefulness of the developed system.

研究分野：学習支援システム

キーワード：学習支援システム プログラミング教育 ソースコード解析

1. 研究開始当初の背景

未来の情報化社会で必要とされる能力として、プログラミング教育は世界的に学校教育への取り組みが進められている[1]。そして、我が国においても学校教育でのプログラミング教育の必修化に伴い、今後ますます期待され重要となる教育分野である。

プログラミング教育環境の導入には Web サイトで構築された学習環境が利用や維持管理の容易さに関して利点がある。また、サイトの情報から学習者の学習状況を分析し、学習をどのようにサポートできるかデータから検討できる利点もある。

Web ブラウザを利用したプログラミング学習サイトは主な仕組みとして、学習者が使用するブラウザとその通信先であるサーバーの機能を連携して成り立っている。プログラミング言語にはブラウザで実行されることを想定しているものは多くなく、そのような言語を扱ったサイトの場合はサーバー側で実行などを行って、その結果をブラウザに伝えている。そして、学習者の数が増えるとサーバー側の負担が比例して大きくなる。

Web ブラウザを用いたコンピューティングの分野では C 言語や Java といったプログラミング言語を JavaScript にコンパイルする技術やコンパイル後の仮想マシンコードを実行する JavaScript で作成されたランタイム環境[2]などが開発されている。このような研究・開発の発展に伴い Web ブラウザで実行・評価できるプログラミング教育環境を整えることが現実的となってきた。

本研究ではブラウザに実行する環境を整えることで学習者数が増えてもサーバーの負担が少なく、さらに学習者が作成過程のプログラムを解析することで学習のサポートも行うサイトの開発とその評価を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、Web ブラウザを利用したプログラミング教育環境において、これまでの内容の制約とサーバーの負荷の両方を少なくしたシステム構築を実現することである。

その実現のために、サーバー側で行っていた実行や評価機能を Web ブラウザに実行環境を用意することで、その機能の負荷を Web ブラウザへ移行する。また、プログラミングの学習において学習者のプログラムを解析し、プログラミングの文法上のミスや作成するプログラムの仕様に対する不備などについて、きめ細かいサポートを行えるプログラミング学習サイトを構築する。

3. 研究の方法

本研究の目的を実現するために主に以下の課題について取り組みを行う。

- (1) Web ブラウザ上での仮想マシンを組み入れた環境の構築
- (2) 学習者をサポートするためのプログラム解析器の改良
- (3) プログラミング学習環境として PC 上との比較による再現度の調査

課題(1)はプログラミング学習サイトの基礎となる部分を研究期間の早い時期に構築することで、研究期間の見通しを良くすることが主な狙いである。

また、仮想マシンを開発した研究チームの報告による実際の機能やパフォーマンスを確認し、プログラミング学習サイトの設計を行う。そして、プログラミング学習サイトを配信するサーバーの設置とそれに伴うネットワーク設計などを行い、開発・評価の基盤を構築する。

課題(2)は学習者がプログラミングを習得する際に起こす誤りなどを把握し、理解を深めるためのメッセージを提供するために、ソースコードアナライザーの機能とメッセージの適切な表現方法を検討する。そのために、実際の教育機関のプログラミング科目で出題される課題をソースコードアナライザーで評価し、その評価に基づいたメッセージをフィードバックする方法を用いて改良を行う。

課題(3)は、プログラミング学習サイトの基礎的な機能を構築し、比較対象とするプログラミング科目で実際に行っている PC によるプログラミング環境との違いなど調査する。実際に授業などで利用されることを想定し、Web サーバーにプログラミング学習サイトを構築する。

そのユーザーインターフェースは演習にソースコードの作成に必要なテキストエディタやコンパイル・実行を行うためのコマンドプロンプトを備えるようにし、Web ブラウザ上で構築された学習環境と PC での学習環境の違いを調査する。また、課題(2)のソースコードアナライザーを組み込み、実際に Web ブラウザ上でソースコードの評価が機能することを確認し、そのときのレスポンスについても学習サイトとして利用可能か検討する。

4. 研究成果

本研究では3年間の研究期間で実施した。研究の方法に示したそれぞれの課題について成果を述べる。課題(1)は1年目において試験的な環境構築を行い、サーバーとソフトウェアの構築から行った。サーバーには新規にワークステーションを用意し、研究協力者の機関においてネットワークを含めたシステムを設計・構築し、仮想化プラットフォームの実現によって様々な

OS による実験環境を整えた。システムの構築と設置には研究代表者と研究協力者のいずれの機関が考えられるが、研究協力者の機関にした理由は、今後予定している実験や評価を行うのにネットワーク環境などが研究代表者の機関よりもより適していたからである。

ソフトウェアの構築には、JavaScript で作成された仮想マシンの再構築環境の整備から進めた。これは仮想マシンが開発された当時に対象としていた Java のバージョンを現在のバージョンでも対応させるためである。再構築環境が整うことにより、Java 仮想マシンの仕様に変更がない場合、Java に新たな文法が追加されたとしても対応が可能となる。学習対象予定のプログラムについて Web ブラウザでコンパイルと実行が行えることを確認した。

課題(2)はこれまで開発したソースコードアナライザーを組み込んだ採点支援ソフトウェアを利用して 100 名規模のプログラミング科目でプログラミング初学者である学生が提出した課題を評価し、サポートするための項目とフィードバックの検討を行った。採点支援ソフトウェアは、コンパイル、プログラムの定義、インデントなどのコーディング規約、ユニットテストなど様々な項目で評価が行える。さらに、課題ごとに変数名やプログラムの作成方法に関する条件などを設定できるため、評価項目を教育目的に合わせて柔軟に設定し、学習の理解度を確認できる。最終年度では各課題に対して一人あたり平均 108.9 文字、各課題では平均 8559.0 文字のフィードバックメッセージを返却した。そして、すべての講義が終了した際に評価項目や評価項目に合わせて作成される自動フィードバックメッセージについて、実際の学生にアンケートを採ることで改善を行った。

実施したアンケートでは 115 名の回答が得られた。アンケートは指摘内容の正確さ、細かさ、読みやすさ、評価の一貫性などのフィードバックメッセージについての項目と、学習に役立てられたかという総合的な項目、この評価システムによるプログラミング学習サイトを利用したいかという需要に関する項目を設定し、各項目で肯定的な回答が大半を占めた。さらに、研究協力者の教育機関において、プログラミング科目を対象にして提出されたソースコードにソースコードアナライザーを利用し、手続き型による構造的プログラミングの基礎からオブジェクト指向プログラミングの基礎の学習範囲について評価を行った。また、プログラミング学習について学習者の基礎的な概念の理解に関する共同研究を行い、プログラミングについて扱われる基礎的な学習項目の理解を確認する問題の作成手法の開発などの成果を挙げた。

課題(3)は最終年度に取り組みを行った。具体的な内容としては、まず開発したソースコードアナライザーを Web ブラウザでの仮想マシンで動作できるように余分な機能の削除とモジュール化を行った。余分な機能としては、ソースコードの文字コードの判定や実行時のサンドボックスに関わる部分である。今回の場合は、提出されたソースコードを教員用 PC で評価するために実装された機能であるため、本研究での各学習者がブラウザで実行する際には不要となった。また、ファイルの文字コードもブラウザ側で指定することができるため、ソースコードアナライザーから機能を取り除いた。

検証方法については、対象としたプログラミング科目で演習や課題に用いられているプログラムのソースコードについて、ソースコードアナライザーの主要な評価項目の機能を全て確認することを目的として、採点支援ソフトウェアと同様のプロセスの処理を行い、その出力を確認した。ソースコードアナライザーは正解例のソースコードと提出されたソースコードの構造と動作の比較を行うことで評価を行う。項目はファイル名の一致、ファイル名とクラス名の一致、コンパイル、インデント、クラスのアクセス修飾子、クラス名の一致、クラスの継承、クラスのインターフェイスの実装、インポート文、パッケージ宣言、フィールドの型、フィールド名、フィールドのアクセス修飾子、余分なフィールドの宣言、メソッドのアクセス修飾子、メソッドの返却値の型、メソッド名、メソッドの引数の型、メソッドの引数名、メソッドの余分な定義、ユニットテストなどである。ユニットテストはクラス名やメソッド名にスペルミスがあれば、そのスペルミスを考慮して実行できる仕組みとなっている。出力とプロセス中のログを確認した結果、一部の機能について不具合やパフォーマンスの課題がみられたが、機能全体として当初の予定通りの成果が得られた。機能の不具合としてはソースコードアナライザーでは Java のクラスローダーの仕組みを利用して、同じクラス名でも同じプロセスで実行できる仕組みになっているが、そのクラスローダーから外部ライブラリとなっているクラスが一部読み取れないというものがあつた。また、パフォーマンスについては、ソースコードの定義を構文解析するパーサーがソースコードアナライザー独自の部分とコンパイラの部分など、それぞれが各評価でソースコードを分析するため、重複して類似した処理が複数回行われており、PC 上と比較して多くの時間がかかることが判明した。今後、ソフトウェアの設計を見直ししながら改善をしプログラミング学習サイトとしてより利便性を高めていく予定である。

<引用文献>

- [1] 大日本印刷株式会社, “ 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究 : 文部科学省平成 26 年度・情報教育指導力向上支援事業 : 報告書 ”, 大日本印刷, 2014
- [2] John Vilks and Emery D. Berger, “ Doppio: breaking the browser language barrier ”, In Proceedings of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI ' 14), ACM, pp.508-518, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Takashi Kohama, Tatsuyuki Takano, Osamu Miyakawa
2. 発表標題 Development of Tools to Support the Creation of Programming Test Questions
3. 学会等名 The Barcelona Conference on Education 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiki Sugihara, Tatsuyuki Takano, Takashi Kohama, Osamu Miyakawa
2. 発表標題 Development of an Automatic Multiple Choice Question Generation System to Promote Understanding of Programming Concepts
3. 学会等名 The Asian Conference on Education 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuyuki Takano, Takashi Kohama, Osamu Miyakawa
2. 発表標題 Development of a Java Source Code Analyzer for Learning Support That Runs in a Web Browser
3. 学会等名 The Asian Conference on Education 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田 啓樹, 高野 辰之, 小濱 隆司, 宮川 治
2. 発表標題 プログラミングにおける概念の学習支援システムの開発
3. 学会等名 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 杉原 美騎, 高野 辰之, 小濱 隆司, 宮川 治
2. 発表標題 プログラミングにおける知的技能に注目した多肢選択問題自動生成システムの設計開発
3. 学会等名 情報処理学会研究報告コンピュータと教育 (CE)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuyuki Takano, Osamu Miyakawa, and Takashi Kohama
2. 発表標題 Development of a Tool to Analyze Source Code Submitted by Novice Programmers and Provide Learning Support Feedback with Comments
3. 学会等名 The Asian Conference on Education & International Development 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔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
---------	---------