

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00501

研究課題名(和文) 反転授業のためのプログラミング言語学習用例題自動生成システムの研究

研究課題名(英文) Study on Automatic Generation of Programming Exercises for Learning Programming Language with Flip-teaching Approach

研究代表者

若谷 彰良 (WAKATANI, Akiyoshi)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：60330403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：プログラミング言語学習においては、一般に、大量の例題を行うことで学習効果を高めることができる。本研究では、プログラミング言語学習を反転授業に適用した際に必要となる例題作成を、webベースで自動生成できるシステムの開発を行った。対象として、初級者向けのC言語の学習に加え、並列プログラミング環境のCUDAとOpenMPの学習を対象としたシステムの開発も行い、パワーポイントに音声合成をつけた電子教材を組み合わせ評価した。評価の結果、文法的理解を深めるツール及び意味論的理解を深めるツールに加え、両者を統合した穴埋め形式のツールを用いることで、学習効率が改善できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：In order to learn programming languages, we generally have to carry out many practical programming exercises. We developed web-based applications that automatically generate programming exercises, which are necessary to apply flip-teaching to programming language education. Our system is for learning the fundamental level of C language and several parallel programming tools including CUDA and OpenMP, and the system is equipped with electronic material of PowerPoint with speech synthesis. Our experimental results show that not only syntax practices and semantic practices but also integrated practices are required to improve the ability of learners.

研究分野：並列処理

キーワード：MOOC 反転学習 自動生成 並列プログラミング CUDA OpenMP

1. 研究開始当初の背景

MOOC (Massive Open Online Courses) を用いた反転授業 (flip teaching) が大学教育において注目を浴びている。これは従来の一斉講義をクラスで行うのではなく、オンライン教材を用いて事前に一斉講義しておき、クラスではインタラクティブな取り組みを中心に行うものである。プログラミング言語の教育において反転授業を取り入れるためには、一斉講義のオンライン化だけではなく、プログラム課題を事前に取組むことも必要であると考えられる。というのは、プログラミング言語の習得には、実際のプログラム作成を通じた実際的な学習が不可欠であるからである。そのため、多くの学習本では例題が掲載され、その例題に対するプログラム作成を学習者が自分で行ない、その体験から理解を深めるように学習が進められている。

プログラミング言語習得における学習過程において、構文の理解を行う統語論的理解とプログラムの動作の理解を行う意味論的理解が重要である。そこで、前者に関してエラーを含むプログラムの修正であるデバッグ能力を涵養する例題を用意し、後者に関しては、プログラムの結果を予測するプログラム解読能力を涵養する例題を提供することとする。よって、この2種類の例題を生成するシステムを作成し、反転授業の予習として取り込み、学習効果を高めることができる。

先行するシステムとして、プログラミング言語の学習に利用でき、web ベースのツールとしても利用可能なオンラインのプログラミング環境がいくつかある。例えば、codepad や ideone では、C 言語、Java や C++ のようなコンパイラ言語だけでなく、Ruby などのスクリプト言語も利用可能で、プログラムの入力、コンパイル、(サーバ上での) 実行と実行結果の表示が行えるようになっている。しかし、プログラミング課題を自動的に生成するものではないので、これだけでは反転授業の予習をすることはできない。また、プログラミング言語学習のために穴埋め問題を自動生成するツールというのはいくつかある。例えば、Haskell プログラミングにおける穴埋め問題の自動生成を行う。このツールは正解を元に自動生成しているので、本質的に異なる例題を生成することはできない。

これらはいずれも異なる例題を自動生成することはできないが、本研究のシステムでは、テンプレートから変数名の変換等をランダムに行うことにより、正解を変化させ、また問題も変化できるので、反転授業の学習者に対して大量の例題を提供できる。

2. 研究の目的

本研究は、複数のプログラミング言語やプログラミング環境に対して、統語論的理解及び意味論的理解を向上するために、初学者が学習上で必要となる例題を、学習進度にあわせて、自動的に生成するシステムを開発する

ことを目標とする。このためには、以下の問題点を解決する必要がある。

(1) C 言語に対するプロトタイプについては既に作成済であるが、テンプレート選択を利用し、学習進度にあわせたシステムの作成は未着手である。また、アプリケーション毎に適切なプログラミング言語は異なるが、C 言語以外のプログラミング言語についても未着手である。そこで、複数のプログラミング言語に対して、学習進度にあわせた例題が作成できるようにシステムを拡張する必要がある。

(2) 統語論的理解及び意味論的理解を向上するために、デバッグ能力及びプログラム解読能力の向上に対する例題を生成するが、これらがプログラミング言語学習においてどれくらいの効果を示すかの評価が未着手である。そこで、適当数の被検者に本システムを利用してもらい、どれくらいの教育的効果を示すかを明らかにする。

(3) 前項の検証結果をもとに、必要な追加ツールの提案とその実装及び、MOOC と組み合わせた実証実験システム上で再検証をしていく。

3. 研究の方法

前述の問題点に関して、C 言語に対するプロトタイプをすでに開発している。例題を大量に作るのはかなりの手間を要するが、このシステムは、いくつかのテンプレートとランダム要素を付加する生成ツールを組み合わせることでそれを実現しており、web ベースで電子教材を供給するために PHP でコーディングを行っている。

このシステムは、構文エラーの解消とプログラム動作の予測を行う例題を提供するものである。構文エラーを解消するにはプログラミング言語の理解が前提になるが、学習者は通常、トライアンドエラー方式でプログラムエラーを修正し、それにより反対に構文の理解が進み、統語論的理解を深められると考えられる。また、プログラム作成においては、どのような計算がなされるかを想像しながらプログラムを書くことになるが、逆に言うと、書かれたプログラムを解読して、その計算結果を求める能力を涵養することで意味論的理解を深められる。

本研究では、C 言語だけでなく、それに関連する他のプログラミング言語やプログラミング環境にも対応することにより適用分野の拡大をはかり、また、利用するテンプレートをうまく選択することにより、学習進度にあわせた例題が生成できるシステムを作成する。さらに、教育システム構築の手法をもとに MOOC と組み合わせた実証実験システムを構築し、初学者に対する、プログラミング言語の統語論的理解及び意味論的理解に関する学習効果の評価を行っていく。

この研究計画では、web ベースの環境で、

プログラミング言語の学習に必要な例題作成を自動に行うシステムを作成し、MOOC と統合して実証実験環境を構築する。

研究計画の進め方の概略を以下に示す。

- (1) 複数のプログラミング言語学習に必要な例題作成のためのテンプレートとランダム要素を作成し、生成ツールと統合する。
- (2) 学習進度に合わせたテンプレート選択を行う機能を付加し、MOOC での学習にあわせた例題生成を実現する。
- (3) MOOC のシステムと例題作成システムを統合し、実証実験環境を構築し、適正数の学習者による本システムの有用性の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 平成 27 年度

プログラミング教育においては文法のような知識習得だけでなく、実際にプログラムを作成する体験がその理解には重要となる。そのために、テンプレートとランダム要素による C 言語の例題自動生成ツールの作成と、MOOC を用いた実証実験環境の予備的な実装を行い、評価を行った。具体的には、反転授業の事前学習のような自習環境におけるプログラミング教育における例題プログラミングを、1) 文法理解のためのプログラムデバッグ問題(文法的理解)、2) プログラム意味理解のための出力推定問題(意味論的理解)、の 2 要素に集約し、その例題をテンプレートから自動生成する web アプリケーションを PHP 言語を用いて開発した。さらに、簡易的な MOOC と組み合わせた実験環境を構築し、その評価により一定の効果を確認した。

評価対象として、数値積分を実装する C 言語プログラミングの学習を用い、そのための MOOC には、パワーポイントで作った資料から音声合成した音声を付加したコンテンツを利用した。評価においては、バグを含むプログラムからバグを指摘する理解度チェック問題を、例題自動生成ツールを使用する前と後で実施し、その効果を検証した。その結果、文法的理解に関しては効果が確認されたが、意味論的理解に関しては十分な結果を得られなかった。そこで、学習時間全体は変えずに、意味論的理解のための学習時間を増やし、文法的理解の学習時間を減らすことにより再実験をしたところ、文法的理解の効果はそのまま、意味論的理解の効果を高められることが分かり、学習時間の比率の重要性が確認できた。

また、関連して、魔方陣パズルを用いた小学生用算数学習ソフトを、Jetson TK1 を用いたシステムを構築し、python で実装し、その評価を行った。

(2) 平成 28 年度

平成 27 年度での C 言語に対する web アプリケーションだけでなく、新たに、並列計算用のプログラミング環境の学習のために、GPU

環境向けツールの CUDA と、共有メモリ環境向けツールの OpenMP に対する自学学習用 web アプリケーションを作成するとともに、それぞれのツールに対して、MOOC に相当する学習コンテンツをパワーポイントと STORM Maker により作成した。

これらの学習効果を確認するための簡易な実験を行い、一定の学習ツールの効果は確認できたが、特に意味論的理解についてさらに効果を高める必要があることが分かった。そこで、学習用 web アプリケーションとして、従来は、文法的理解と意味論的理解のそれぞれに対するツールを用いていたが、それらに加えて新たに、両者と統合した穴埋め形式の学習用 web アプリケーションを開発した。これは、学習効果の改善を図るために、プログラムの一部を空欄としたものを提示するとともに、実行結果を提示し、学習者にその結果になるようにプログラムの一部を考えてもらうものである。学習者は文法の理解とともにプログラムの意味理解の確認も同時に行えるものとなっている。

さらに、プログラミング言語学習用例題自動生成のための機械学習アルゴリズムの基礎検討のため、動画像の時系列データを周波数に着目して前処理としてフーリエ変換を行ったのち、階層クラスター分析を行った。その結果、上級者と初心者の分類はある程度可能であることが確認できた。

(3) 平成 29 年度

平成 28 年度に行った、穴埋め形式の学習用 web アプリケーションに関して、並列計算用のプログラミング環境の学習に適用し、その効果を確認した。CUDA に関する実験で、例題を自動生成する学習ツールで学習をする前後での理解度テストの結果を比較し、穴埋め形式(統合的な)の学習ツールの有無の効果を評価した。評価においては、1) MOOC による事前学習(パワーポイント資料を STORM Maker で音声を付加したもの)、2) 理解度チェック 1、3) 学習ツールの使用(2 種もしくは 3 種)、4) 理解度チェック 2、のステップで行った。

文法的な理解に関しては、穴埋め形式のツールの有無に係わらず、学習ツールの使用後の理解度は向上していた。しかし、意味論的理解に関しては、穴埋め形式の学習ツールがない場合は向上が見られなかったが、穴埋め形式のツールを追加することで、理解度も深まった。穴埋め形式のツールは学習者にとって平易なもので、何度もトライできるものであり、プログラムの全般的な理解を急速に深めるものと考えられ、初学者にとっては有効なものであると思われる。

また、CUDA だけでなく、OpenMP に対する評価も行い、3 種類の学習ツールを用いることの効果を確認した。なお、CUDA における文法的理解は OpenMP に比べて低くなっている。この理由は、プログラミングにおいて使用さ

れるキーワードの長さの違いに起因すると推察される。すなわち、CUDAにおけるキーワードは比較的長く、正しく記憶するまでには一定の時間がかかるので、すぐには、習熟度は高まらないと思われる。

さらに、プログラミング言語学習用例題自動生成のための教材提示システムの基礎検討のため、テキストを順次提示してスマートフォンでもまとまった量の文書を容易に読むことができるソフトウェアを開発し評価した。

今後の課題としては、OpenMP や CUDA に関する学習ツールおよびMOOCの充実とともに、初級者だけではなく中級者にも利用できるような高度なレベルの学習ツールの作成や、他のプログラミングフレームワーク (AVX や MPI など) や他のプログラミング言語 (Java など) への展開を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

若谷彰良, 前田利之

初学者向け CUDA プログラミング教育のための教材開発

甲南大学紀要知能情報学編, Vol.9, pp.85-94, 2017, 査読なし

http://pplinux.is.konan-u.ac.jp/~wakatani/my_paper3/pdf/kiyou2016-2.pdf

北川智也, 若谷彰良

リアルタイムパズルソルバの試作

甲南大学紀要知能情報学編, Vol.9, pp.1-23, 2016, 査読なし

http://pplinux.is.konan-u.ac.jp/~wakatani/my_paper3/pdf/kiyou2016-1.pdf

若谷彰良, 前田利之

プログラミング教育用例題自動生成システムの開発

甲南大学紀要知能情報学編, Vol.8, pp.1-8, 2015, 査読なし

http://pplinux.is.konan-u.ac.jp/~wakatani/my_paper3/pdf/kiyou2015-1.pdf

[学会発表](計9件)

A. Wakatani and T. Maeda

Web Applications for Education of Parallel Programming

29th annual conference of the Society for Information Technology and Teacher Education, Washington (USA), 2018.3

T. Maeda and A. Wakatani Personalized Mobile Rapid Sentence Reading with Multi-lingual Extension

28th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and

Mobile Radio Communications, Montreal (Canada), 2017.10

A. Wakatani and T. Maeda

Web-based Applications for Learning GPU Programming

2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications, Larnaca (Cyprus), 2017.8

T. Maeda, A. Wakatani and M. Yajima

Skill Analysis using Time Series Image Frequency

International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2017), Penang (Malaysia), 2017.1

A. Wakatani and T. Maeda

Evaluation of Software Education using Auto-generated Exercises

19th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering, Paris (France), 2016.8

T. Maeda, Y. Fukushige, M. Yajima and A. Wakatani

User Interface Configuration for Mobile Healthcare System

3rd World Congress on Computer Applications and Information Systems, Dubai (United Arab Emirates), 2016.1

A. Wakatani and T. Kitagawa

Development of Real-time Magic Square Solver

2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas (NV, USA), 2016.1

若谷彰良, 前田利之

自習に適したプログラミング教育用例題自動生成システム

情報処理学会 第132回CE研究発表会, 福井, 2015.12

A. Wakatani and T. Maeda,

Automatic Generation of Programming Exercises for Learning Programming Language

14th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, Las Vegas (NV, USA), 2015.6

6. 研究組織

(1)研究代表者

若谷 彰良 (WAKATANI, Akiyoshi)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号: 60330403

(2)研究分担者

前田 利之 (MAEDA, Toshiyuki)

阪南大学・経営情報学部・教授

研究者番号： 70320041