

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330416

研究課題名(和文) 摂動に基づく、プログラミング言語の文法知識習得支援技術の研究開発

研究課題名(英文) Knowledge acquisition of program language grammar by supporting technology based on perturbation

研究代表者

古宮 誠一 (Komiya, Seiichi)

国立情報学研究所・先端ソフトウェア工学・国際研究センター・特任教授

研究者番号：60338308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：コーディングサンプルにシステム主導で変更を加える(これを摂動と呼ぶ)とともに、その変更内容に絡む質問を学習者に出題し、回答させるシステムを開発・導入して、プログラミング言語の文法知識を習得させる。このような学習法を「摂動に基づく学習法」と呼ぶ。このような学習法を導入すれば、教材作成者の意図を反映させた形で教材を用意することができる。このため、教材作成者の工夫によって充実した教材を用意できれば、学習者に文法知識を効率良く、しかも広くて深いレベルで習得させることができると考えられる。このような学習法を支援するシステムを構築するための基礎となるミューテーション解析統合環境を構築した。

研究成果の概要(英文)：A system makes modifications to the coding samples according to direction by a material creator, and asks questions on the modification contents to a learner and the learner answers the questions. The learner learns grammar knowledge of programming languages through using the system to assist above-mentioned process. Such a learning method is called perturbation-based learning. By introducing such a learning method, it is possible to prepare teaching materials reflecting the intention of the creator. For this reason, if the creator can prepare very good teaching materials by devising teaching materials, we believe that the learners can learn grammar knowledge efficiently and widely and deeply. We have constructed a mutation analysis integration environment as the basis for constructing a system that supports such a learning method.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：文法知識の習得 Project-Based Learning 摂動に基づく学習 帰納推論に基づく学習 ミューテーション解析支援環境

1. 研究開始当初の背景

近年、ソフトウェアは大規模化・複雑化する一方なのに、その開発には短納期化・低コスト化が求められている。このため、ソフトウェア開発技術者の育成が急務であるのに、情報処理業界はこれに対処できていない。このため、今日では即戦力となるようなソフトウェア開発技術者の育成が大学に期待されている。このような期待に応えるために我々は、

- (1) 演習時間の不足を補うために、演習課題の達成に必要なすべての作業が、時間と場所の制約を受けずに実施できるようにした、ソフトウェア開発演習支援ツール EtUDE[1]を研究開発して、授業時間外でも演習ができるようにした。
- (2) 演習授業に **PBL (Project-Based Learning)**を導入して、ソフトウェア開発技術の実践的な演習を行ってきた[2]。
- (3) PBLによる演習授業では、期限までに課題を達成できないチームが出ないようにする必要がある。このため、ソフトウェア開発に必要なスキルを持つ学生が必要なスキルごとに、各チームにそれぞれ1人以上存在し、かつ、チーム間での各チームの総合力の差が最少になるようなチーム編成案を自動生成するツールを研究開発し、これを使って学生達を割り当てた[3][4][5]。
- (4) チームごとに研究室の学生を割り当て、受講生の相談に乗るようにさせた[2]。
- (5) 1つのチームに属する学生が協力して1つの課題を達成する方式を採用したために見えなくなった、個人指導が必要な学生を自動検出するツールを開発して、個人指導を行っている[6]。
- (6) 個人ごとに異なる課題達成への貢献度の差異を反映させた評価方法(採点法)を開発し、採用した[7]。

上記のように PBL を成功させるための様々な工夫をして演習授業を行ってきたので、演習授業はそれなりの成果が得られている。その一方で、プログラミングが苦手なために、この演習授業の履修を避ける学生も少なくない。このため、プログラミングの苦手な学生を少しでも減らし、ソフトウェア開発演習を受講する学生を増やすことにより、ソフトウェア開発技術に堪能な学生を少しでも多く育てて社会に輩出したい。この目的のために、

- (7) **プログラミング(処理アルゴリズムの構築)**を容易にするために、プログラムの挙動を可視化するツール[8][9]を研究開発し、プログラミングの演習授業に導入して少なからぬ成果を挙げた。

しかし、このツールを開発し導入しても、プログラミングの文法知識の習得に失敗した学生の苦手意識克服には役立っていない。

学生のプログラミングへの苦手意識を克服するには、下記の2つの支援ツールを開発し、授業に導入する必要がある。

- (P1) コンパイルエラーの修正作業支援システム
- (P2) 摂動に基づく、プログラミング言語の文法知識習得支援システム
上記のような計画を立て、既に支援システム(P1)を開発し、実験によりその有効性を確認した[10]。

2. 研究の目的

学生のプログラミングへの苦手意識を克服するために、残された課題

- (P2) 摂動に基づく、プログラミング言語の文法知識習得支援システム(P2)を研究開発することが本研究の目的である。

学習対象となるプログラミング言語が何であるかを問わず、国内にも海外にも、

文法知識習得を目的とした支援ツールの研究は未だない。

(1) 摂動に基づく、プログラミング言語の文法知識習得支援ツールとは

① 通常の場合における、プログラミング言語の文法知識習得法

プログラミング言語の文法知識を習得するには、文法説明書に書かれたコーディングサンプルをコンピュータに入力し、コンパイルするとともに、文法書に書かれたデータを流して、文法書に書かれた通りの処理結果が得られることを確認する。この動作を繰り返すことによって文法知識を学習する。これはプログラムの文法知識を習得するために一般的に採用されている学習法である。しかし、これでだけではコーディングサンプルに書かれた内容以上の知識は習得できない。

② 本研究で採用する、プログラミング言語の文法知識習得法

システム主導で、コーディングサンプルに変更を加える(これを摂動と呼ぶ)とともに、その変更内容に絡む質問を学習者に
出題するシステムを開発・導入して、プログラミング言語の文法を習得する。このような学習法を「摂動に基づく学習法」と呼ぶ。

システム主導でコーディングサンプルに変更を加えながら出題するので、学習者の学習内容の広さと深さを制御できる。このため、このシステムを利用する全ての学習者に対して、教材作成者の意図する広さと深さで学習させることができる。このため、充実した教材を用意できれば、コーディングサンプルを実行するだけの学習法よりも、広くて深いレベルで文法知識を効率よく習得できると考えられる。このような学習支援方式は斬新であり、(文法知識を学びたいという意識の低い人でも、)高い学習効果と効率が期待される。

そして、より効率よく文法規則を習得さ

せるために、出題方法を工夫する。例えば、学習の本質は帰納推論であると言われて
いるので、出題内容と出題順序を工夫する
ことにより、学習する際に、学習者自身が
持つ学習能力である帰納推論を、学習者に
誘発させるような出題をする。このような教材呈示方式も斬新であり、これまでのところ、我が国はもちろん諸外国にも上記と類似する研究事例はない。

(2) 研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

研究期間中に支援ツール(P2)の開発と、その適用実験を通じて次のことを明らかにする。

(P2-1) コーディングサンプルとその差分(プログラムコード)の両者を支援ツール(P2)に入力するだけで、コーディングサンプルに変更(摂動)を加えられるようにするにはどのようにすれば良いか、その実現方法を明らかにする。

(P2-2) 支援ツール(P2)を使用して学習した場合と使用せずに学習した場合の比較実験により、支援ツール(P2)の有効性を明らかにする。

(P2-3) 学習者に帰納推論を誘発するような出題をした場合と、誘発しないような出題をした場合との比較実験により、後者よりも前者のほうが文法規則の習得に有効であることを明らかにする。

3. 研究の方法

『摂動に基づく、プログラミング言語の文法知識習得支援ツール』を開発するには、コーディングサンプルの一部に、ソースコードの変更(=摂動)を加える仕組み(P2-1)を実現しなければならない。そのためには、ソフトウェア・テストの分野で採用されている『ミューテーション解析環境』と呼ばれる仕組みを拡張した『ミューテーション解析統合環境』を構築しなければな

らない。

4. 研究成果

そこで、本研究では『ミュートーション解析統合環境』を構築した。

『ミュートーション解析統合環境』の主な処理とその機能は次の通りである。

(1) オリジナル一覧

LOAD 時に管理情報ファイル(XML)を DOM として扱い、2 階層目(各レコード)の **file**, **remarks**, **date**, **status**, **instructor** 属性を読み込む。

(2) ミュートーションオペレータ編集処理

LOAD 時にミュートーションオペレータマスターファイル(XML)を DOM として読み込んで全レコードを処理表示。「読み込み」ボタンで、選択されたミュートーションオペレータファイルを読み込み、表示中の該当行に「✓」印を付ける。

「保存」ボタンで、指定されたファイルに保存。このとき「✓」印が付いている行が保存対象となる。

(3) ミュータント生成処理

「適用」ボタン押下時に、C ソースファイル名、適用ミュートーションオペレータファイル名を引数にして、既に作成した **unparse** を呼ぶ。但し、その前に、対応するミュータント管理情報ファイルのある **directory** 内のファイルを全て削除しておく。もしこのとき、**directory** がなければ作成する。OK なら(全体の)管理情報ファイルの該当レコードの **status** を「ミュータント生成済」に変更する。そして、管理情報ファイルを新規作成する。

(4) ミュータント表示処理

LOAD 時に、選択された **original** C ファイルに 1 対 1 に対応するミュータント管理情報ファイル(最後にミュータ

ント生成されたデータ)を読み込む。

2 階層目(1 行のみ)の **remarks**, 3 階層目(AOR などの分類)のノード名と **remarks** を読み込む。4 階層目の **file**, **From**, **line** 属性を読む。

(5) 比較表示処理

LOAD 時に、ミュータントのファイル名から相違行番号を得る(無ければエラー)。**original** とミュータントの C ソースファイルを同時に 1 行ずつ読み込む。先頭に「行番号(3 桁で統一されている):」を付加。行末に
を付加して、文字列をそれぞれ繋げて行く。このとき、相違番号に一致したら、**font=red** 指定をその行に対して挟む。この行を HTML 側に返す(表示側でこの行を中央にするために)。

(6) 集計処理

LOAD 時に、指定のログファイルを 1 行ずつ読み込む。3 行で 1 回のテスト結果。但し、正しい形式か否か判断できないので形式チェックはしない。

1 行目は **original** かミュータントかの判定。このとき、「**main**」が含まれているなら **original**, それ以外ならミュータントと判断する。但し「**main**」以外が複数あったら出現回数が最も多いものを採用する。読み込み時点では取り敢えず全部保持する。2 行目は入力値で単純に全部保持する。3 行目は出力値で単純に全部保持する。**Original** 以外(ミュータント)が複数あれば最頻のものを探し出して集計対象として採用。**original** のデータを後ろから Loop し、それが初出であれば、入力値が同じミュータント結果を後ろから探す。無ければ比較できないので **continue**, 有れば比較データのほうに保持する(入力値, **original** の結果), ミュータントの結果, 判定)。比較データの結果を 1 つ

ずつ比較して OK(結果が異なっているとき)か、NG (結果が同じとき)の判定を比較データクラスに記録し、個数をカウントアップする。

OKの個数/(OKの個数+NGの個数)をミュータントスコアとして計算する。

研究期間内になすべきことのうち、(P2-1)は、『ミューテーション解析統合環境』の構築という形で実現したが、(P2-2)と(P2-3)はこれからである。特に、学習効果の高い摂動の与え方(=出題方法)を明らかにするには、試行錯誤が必要である。本研究で開発した『ミューテーション解析統合環境』を、本研究の意義をご理解下さる多くの研究者に配布し、その方達と共同で本研究を進めて行きたい(研究の輪を広げて行きたい)。

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 1件)

① 田中昂文, 森一樹, 橋浦弘明, 樋山淳雄, 古宮誠一, "演習授業で各学生が行うソフトウェア開発作業の細粒度履歴データに基づく演習過程確認手法の提案," Proceedings of FOSE2013, 近代科学社, レクチャーノート/ソフトウェア工学 39, ソフトウェア工学の基礎 XX, pp.297-298, No. 2013. (国内・査読あり) (2013年12月5日発行).

[学会発表] (計 16件)

① 上之菌和宏, 古宮誠一, "Javaを対象とした部品合成による自動プログラミングシステム," 電子情報通信学会信学技報 SS2013-2, pp.7-12, 香川大学(幸町校舎), May 9, 2013.

② 古宮誠一, "要求仕様の理解と妥当性確認の為の議論の実施に向けて~議論の内容を構造化して記録する為のモデルの提案

~,"KBSE2013-82, pp.19-24, 沖縄県青年会館, March 6, 2014.

③ 古宮誠一, 今泉俊幸, 橋浦弘明, 松浦佐江子, "プログラミング学習支援環境 AZUR ~ ブロック構造と関数動作の可視化による支援," 情報処理学会研究報告, 2014-SE-183, No.5, pp.1-8, 化学会館(東京), March 19-20, 2014.

④ 田中昂文, 森一樹, 橋浦弘明, 樋山淳雄, 古宮誠一, "オブジェクトモデリング演習における学習者にとっての難所の検出手法と支援システムの提案," 情報処理学会研究報告, Vol.2014-SE-183, No.10, pp.1-8, 化学会館(東京), March 19-20, 2014.

⑤ 古宮誠一, "要求仕様の内容』の理解と妥当性チェックのための議論の必要性~その議論の内容を理解し易い形で即時記録するためのモデルの提案~, 派生開発コンファレンス 2014, ポスター発表, 横浜市開港記念会館, June 6, 2014.

⑥ Takafumi Tanaka, Kazuki Mori, Hiroaki Hashiura, Atsuo Hazeyama, and Seiichi Komiya, "Proposals of a Method Detecting Learners' Difficult Points in Object Modeling Exercises and a Tool to Support the Method," Proc. of 12th Intl. Conf. on Software Engineering Research, Management and Applications (ACIS SERA 2014), pp.650-655, Kitakyushu, Japan, Aug. 31-Sept.4, 2014, IEEE Computer Society. (国際・査読あり)

⑦ Hiroaki Hashiura, Kazuki Mori, Takafumi Tanaka, Atsuo Hazeyama, and Seiichi Komiya, "An Environment for Collecting Fine-grained Development Records to Help with Programming Exercise," Proc. of 12th Intl. Conf. on Software Engineering Research, Management and Applications (ACIS SERA 2014), pp.739-744, Kitakyushu, Japan, Aug. 31-Sept.4, 2014, IEEE

Computer Society. (国際・査読あり)

⑧ 田中昂文, 橋浦弘明, 樫山淳雄, 古宮誠二, “クラス図作成演習における学習者の編集過程の細粒度分析,” 電子情報通信学会信学技報 KBSE2014-54, pp.13-18, 電気通信大学(東京), March 5-6, 2015.

⑨ 古宮誠一, “[招待講演]知能ソフトウェア工学の伝統と将来に向けて,” “KBSE2015 ミニシンポジウム, 機会振興会館(東京), May 26, 2015.

⑩ 田中昂文, 橋浦弘明, 樫山淳雄, 古宮誠二, “学習者のクラス図作成過程における成果物と正解例との類似度の変遷を用いた進捗状況可視化手法の提案, 情報処理学会ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2015 論文集, pp.206-207, 慶応大学(日吉), Sep. 7-9, 2015.

⑪ 橋浦弘明, 森一樹, 田中昂文, 樫山淳雄, 古宮誠一, “細粒度履歴情報と講義のコンテキストを活用したプログラミング学習支援,” 電子情報通信学会信学技法 KBSE2015-60, pp.69-74, 由布市(大分県), March 3-4, 2016.

⑫ 古宮誠一, 上之蘭和宏, 八重樫理人, “講義内容の要約字幕作成支援システム～意思決定手法とバスケット分析に基づく支援方法の検討～,” 電子情報通信学会信学技 ET2015-109, pp.87-92, 香川大学(幸町), March 5, 2016.

⑬ 古宮誠一, 比護徹治, 森一樹, 橋浦弘明, “同時期に複数のプロジェクトに従事する作者の作業優先順序決定方法の提案,” 情報処理学会研究報告, 2016-SE-191, No.26, pp.1-8, 大阪大学(吹田校舎), March 14-15, 2016.

⑭ 古宮誠一, 上之蘭和宏, 八重樫理人, “講義内容の要約字幕作成支援システム～意思決定手法とバスケット分析に基づく支援方法の提案～,” 電子情報通信学会信学技法 KBSE2016-1, pp.1-6, 同志社大学(東京オフィス), May 26, 2016.

⑮ 田中昂文, 橋浦弘明, 樫山淳雄, 古宮誠二, 平井佑樹, 金子敬一, “ER モデリング演習における学習者の思考過程収集手法とその適

用, 電子情報通信学会信学技 KBSE2016-2, pp.7-12, 同志社大学(東京オフィス), May 26, 2016.

⑯ 桃井凌, 杉本徹, 古宮誠一, 上之蘭和宏, 八重樫理人, “講義内容の要約字幕作成支援システム～意思決定手法とバスケット分析に基づく支援機能の実装と評価～,” 情報処理学会研究報告 2016-IS-137, No.6, pp.1-8, (公)はこだて未来大学(函館), Aug. 25-26, 2016.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古宮 誠一 (KOMIYA, Seiichi)

国立情報学研究所 先端ソフトウェア工学・国際研究センター・特任教授

研究者番号: 60338308

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号:

(4) 研究協力者

なし ()