

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12179

研究課題名（和文）AI技術を活用したセルフレビュー可能なプログラミング学習支援環境の研究

研究課題名（英文）A Study on a Self-reviewable Programming Learning Support Environment Using AI Technologies

研究代表者

橋浦 弘明（HASHIURA, Hiroaki）

日本工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：20597083

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：プログラミングを習得するためには、学習者自らが多くのプログラム作成を行う必要があり、授業時間外でも学習者には自学自習が求められる。この自学自習にあたっては、自分の作成したプログラムの誤りについて自分自身で認識できる必要があるが、GUI（Graphical User Interface）のプログラムは実際に起動して、画面を直接確認してみないと要求された仕様を満足しているかどうかを判断することが難しいという問題がある。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、GUIプログラムに対応したセルフレビューを支援するオンラインジャッジシステムの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はプログラミングにおけるGUI出力に着目し、その出力の正誤を自動的に判定するシステムを開発することによって、オンラインジャッジシステム（OJS）の適用範囲をHTMLを用いたウェブアプリケーションまで広げることができるようになった。これにより、HTMLを用いたウェブアプリケーションプログラミング学習においてプログラミングの誤りがどのようなところに発生しやすいのかの一端を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：To learn programming, students must create many programs themselves, and they are required to study on their own, even outside of class. In this self-study, it is necessary for students to be able to detect errors in their own programs, but it is difficult to judge whether a GUI (Graphical User Interface) program meets the required specifications without actually running the program and viewing the screen directly. Therefore, to solve these problems, this study developed an online judging system to support self-checking for GUI programs.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：プログラミング GUI オンラインジャッジ セルフレビュー ウェブアプリケーション

1. 研究開始当初の背景

一般にアプリケーションソフトウェアは入出力が文字ベースになっている **CUI** (Character User Interface, 図1) と、ウィンドウ、アイコン、ボタンなどを用いた表示を行っている **GUI** (Graphical User Interface, 図2) に大別できる。

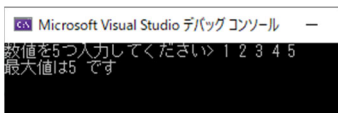


図1：CUI アプリの例

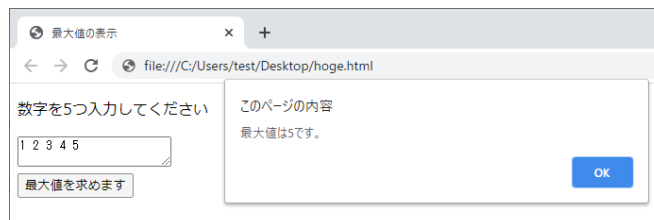


図2：GUI アプリ（ウェブブラウザ）の例

今日のスマホやPCで利用されているアプリケーションは、そのほとんどが **GUI** である。そのため、実用的なソフトウェア開発を行うためには、**GUI** によるインターフェース実装の習得が不可欠となる。その一方で、入門者向けのプログラミング演習においては依然として **CUI** のプログラムが用いられていることが多い。これは、学習者や教授者にとって **GUI** のプログラムが煩雑であるというだけでなく、**GUI** のプログラムは実際に起動してみないと要求された仕様を満足しているかどうかを判断することが難しいということも大きく影響している。図2の例で考えてみると、評価者はアプリケーション上のボタンを押してみるまで、どのような結果表示がどのように行われるかは画面上のボタンを押してみるまで分からないだけでなく、ユーザーの環境（画面の大きさなど）により、その表示位置等も微妙に変化する。

プログラミングを習得するためには、**CUI/GUI** に関わらず学習者自らが多くの時間をプログラム作成の練習に費やす必要があり、当然のことながら授業時間外でも学習者には自学自習が求められる。この自学自習にあたっては、自分の作成したプログラムの誤りについて十分なフィードバックを受け、その誤りを自分自身で認識するセルフレビューが必要である。昨今の新型コロナウイルス感染症拡大に伴って、大学等を始めとする高等教育機関では遠隔講義が実施されている状況にあり、十分なプログラミング学習を行うことは難しい状況にある。よって本研究ではセルフレビューを支援するシステムを開発することとした。

2. 研究の目的

前述のような問題を解決するための方法の1つにオンラインジャッジシステム[1]がある。オンラインジャッジシステムとは、プログラムを **Web** 上から提出するとそのプログラムの正誤を受け取る事ができるシステムの総称である。元々は **ACM-ICPC**[2]や **Google Code Jam**[3]などに代表されるプログラミングコンテストのために開発されたシステムであるが、プログラミング教育にも幅広く用いられている。しかしながら、一般的なオンラインジャッジシステムは **GUI** アプリケーションに対応していない。これは、プログラミングコンテストがアルゴリズムの正しさや処理効率を競うためのものであり、プログラムの見た目については始めから評価項目に入っていないためである。したがって、プログラムの **GUI** 的な実行結果を考慮したオンラインジャッジシステムを実現することとした。

そこで、本研究では以下の2点に着目し、これらを明らかにすることを目的とする。

1. **GUI** アプリケーションに対応したオンラインジャッジシステムを実現すること
2. **GUI** アプリケーションの実装の誤りはどのようなところに発生しやすいのか

これらを明らかにすることができれば、これまで指導者が手動で行っていた **GUI** アプリケーションの一部を定量的に評価でき、プログラミング教育のオンライン化範囲の拡大やソフトウェア自動テストの新たな手法を確立することができる。

3. 研究の方法

本研究が提案する学習環境を **ViTE-AI: Visual Testing Environment utilizing AI** と呼ぶ。**ViTE-AI** は利用者のプログラムをサーバ内に用意したサンドボックス内で起動し、アプリケーションの実行結果を画像として取得する。その後、取得した画像と解答例を画像認識技術によって比較し、その類似度等から見た目の正誤を判断することを可能にする。これにより、従来は人力によるインスペクションによってしか検出することができなかったソフトウェアの実行結果の

誤りについて自動評価を実現することができる。
 本提案で開発する ViTE-AI はウェブブラウザのみで動作し、他に追加のソフトウェアの導入が不要なシステムとする。本研究で開発するシステムの全体像を図 3 に示す。
 開発対象のシステムはオンラインジャッジツールであるプログラム評価エンジンとプログラムの実行結果の画像を解析する実行結果評価エンジンの 2 つから構成される。さらに、本システムを既存の AISEE[4] と連携して動作させることで、2 つのエンジンの処理結果と、プログラムの作成過程を結合させることが可能となる。

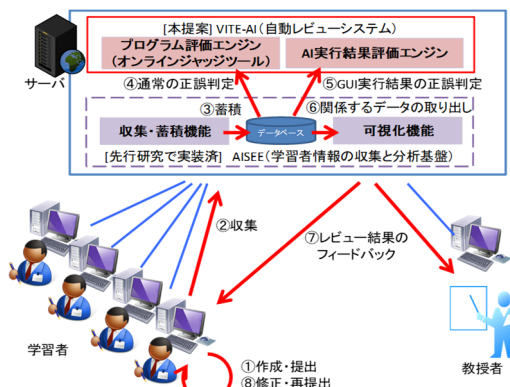


図 3 : システムの全体像

4. 研究成果

ウェブアプリケーションの実行結果の画像を解析する実行結果評価エンジンとして SpiderTailed[5] (図 4) を構築した。また、SpiderTailed[5] を用いたオンラインジャッジシステムを構築し、その評価を行った[6]。

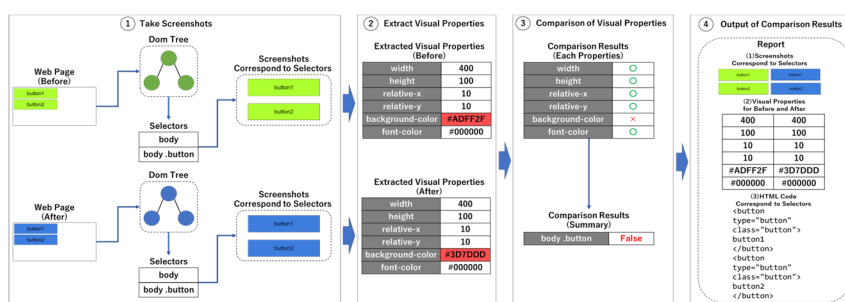


図 4 : SpiderTailed の概要[5]

さらに、ウェブアプリケーションの自動レビューの精度を高めるための取り組みとして、設計とプログラムの齟齬を検出する UMLDS[7] の開発を行い、得られた知見を ViTE-AI に統合した。

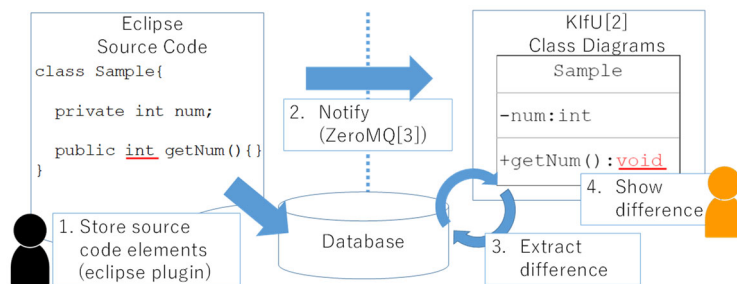


図 5 : UMLDS の概要[7]

また、ウェブアプリケーションのテスト精度を向上させるために Java Web アプリケーションのためのプログラムトレーサーの試作[8]や新たなウェブアプリケーションテストのためのドライバの開発[9]などを行い、その開発の途上において世の中で広く使われているウェブアプリケーションの未知の脆弱性 (CVE-2023-22838) [10] を発見し、その修正に貢献した。

<引用文献>

[1] S. Wasik, M. Antczak, J. Badura, A. Laskowski, T. Sternal, “A Survey on Online Judge Systems and Their Applications,” ACM Comput. Surv. 51, 1, Article 3, Apr. 2018, DOI:10.1145/3143560.
 [2] “ACM International Collegiate Programming Contest,” <<https://icpc.global/icpc/>> (Accessed 2020/10/27).
 [3] “Google Code Jam,” <<https://codingcompetitions.withgoogle.com/codejam>> (Accessed 2020/10/27).
 [4] 橋浦 弘明, “ソフトウェア開発過程の収集分析基盤 AISEE の概要” 日本工業大学研究報告, 49(3), pp.44-45, Dec. 2019.

- [5] Takato OKAJIMA, Takafumi TANAKA, Atsuo HAZEYAMA, Hiroaki HASHIURA, “SpiderTailed: A Tool for Detecting Presentation Failures Using Screenshots and DOM Extraction,” Proc. of the 14th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE2022), pp.117-126, Aug. 2018. DOI: 10.1007/978-3-031-17583-1_4
- [6] 岡嶋 隆人, 橋浦 弘明, “Web GUI を対象とした OJS プロトタイプの実装と評価,” 日本ソフトウェア科学会第 40 回大会(2023 年度)講演論文集, R-3, Sep. 2023.
- [7] Takahiro YAMAZAKI, Takafumi TANAKA, Atsuo HAZEYAMA, Hiroaki HASHIURA, “A Tool for Supporting Round-Trip Engineering with the Ability to Avoid Unintended Design Changes,” Proceedings of the 11th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD 2023), pp.125-132, Sep. 2023. DOI: 10.5220/0011667500003402
- [8] 村田 匠, 橋浦 弘明, “Java Web アプリケーションのためのプログラムトレーサーの試作,” 信学技報, Vol. 122, No. 345, KBSE2022-53, pp. 58-63, Jan. 2023.
- [9] 高橋 黎, 櫛山 淳雄, 橋浦 弘明, “Web アプリケーションに対する欠陥再現支援手法,” 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 2023 論文集, pp. 39-47, Aug. 2023.
- [10] 一般社団法人 JPCERT コーディネーションセンター, 独立行政法人情報処理推進機構, “JVN#04785663: EC-CUBE における複数のクロスサイトスクリプティングの脆弱性,” <<https://jvn.jp/jp/JVN04785663/index.html>> , (accessed 2024-05-20).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Takahiro Yamazaki, Takafumi Tanaka, Atsuo Hazeyama, Hiroaki Hashiura	4. 巻 1
2. 論文標題 UMLDS: A Round-Trip Engineering Support Tool to Avoid Unintended Design Changes	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Model-Driven Engineering and Software Development 2023 Revised Selected Papers, Communications in Computer and Information Science, Springer Cham (in press)	6. 最初と最後の頁 -
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 -

1. 著者名 近藤 羽音、橋浦 弘明、樫山 淳雄	4. 巻 2024
2. 論文標題 ソフトウェア開発PBLにおけるiコンピテンシディクショナリとSentence-BERTを用いた獲得スキル可視化支援システムの試作	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 実践的IT教育シンポジウム rePiT 論文集	6. 最初と最後の頁 17~26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/repit.2024.0_17	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 佐藤 央、樫山 淳雄、橋浦 弘明	4. 巻 2024
2. 論文標題 ALRIGHT: ソフトウェア開発PBLでの設計文書インスペクションの振り返りを支援する可視化アプリケーションの開発	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 実践的IT教育シンポジウム rePiT 論文集	6. 最初と最後の頁 9~16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/repit.2024.0_9	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 高橋 黎、樫山 淳雄、橋浦 弘明	4. 巻 1
2. 論文標題 Webアプリケーションに対する欠陥再現支援手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 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2023論文集	6. 最初と最後の頁 39-47
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 -

1. 著者名 Yamazaki Takahiro, Tanaka Takafumi, Hazeyama Atsuo, Hashiura Hiroaki	4. 巻 1
2. 論文標題 A Tool for Supporting Round-Trip Engineering with the Ability to Avoid Unintended Design Changes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development	6. 最初と最後の頁 125-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5220/0011667500003402	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 -

1. 著者名 Okajima Takato, Tanaka Takafumi, Hazeyama Atsuo, Hashiura Hiroaki	4. 巻 1
2. 論文標題 SpiderTailed: A Tool for Detecting Presentation Failures Using Screenshots and DOM Extraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 14th International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering	6. 最初と最後の頁 39-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-17583-1_4	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 -

1. 著者名 橋浦 弘明	4. 巻 52(2)
2. 論文標題 セルフレビュー可能なプログラミング学習支援環境 ViTE-AI の概要	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本工業大学研究報告	6. 最初と最後の頁 24-25
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 無
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 尾崎 弘幸, 橋浦 弘明	4. 巻 1
2. 論文標題 トレース表の作成過程を利用した学習者のプログラム理解過程の分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会 第8回実践的IT教育シンポジウム rePiT2022	6. 最初と最後の頁 50-59
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 齊藤 悠太, 國分 健弘, 田中 昂文, 櫛山 淳雄, 橋浦 弘明
2. 発表標題 要素のレイアウトに着目したクラス図作成支援手法の提案
3. 学会等名 情報処理学会第86回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 吉田 隼, 佐藤 央, 近藤 羽音, 橋浦 弘明, 櫛山淳雄
2. 発表標題 ChatGPTを用いた生成プログラムの自動修正システムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岡嶋 隆人, 橋浦 弘明
2. 発表標題 Web GUIを対象としたOJSプロトタイプの実装と評価
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第40回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 圭佑, 橋浦 弘明
2. 発表標題 デザインテーブルを用いたソフトウェアテスト学習支援ツール
3. 学会等名 電子情報通信学会2023年総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村田 匠, 橋浦 弘明
2. 発表標題 Java Web アプリケーションのためのプログラムトレーサーの試作
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡嶋隆人, 田中昂文, 櫛山淳雄, 橋浦弘明
2. 発表標題 Web GUIに対するオンラインジャッジシステムプロトタイプの実装
3. 学会等名 第29回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋黎, 櫛山淳雄, 橋浦弘明
2. 発表標題 Webアプリケーション開発における欠陥再現の自動化ツールの提案
3. 学会等名 第29回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ(FOSE 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯山 隆章, 橋浦 弘明
2. 発表標題 ソフトウェアの概念モデルに対する欠陥検知手法の検討
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第35回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡嶋隆人, 田中昂文, 樫山淳雄, 橋浦弘明
2. 発表標題 スクリーンショット抽出とDOMの利用によるPresentation Failure検知手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋浦 弘明, 岡嶋 隆人, 田中 昂文, 樫山 淳雄
2. 発表標題 Web アプリケーションに対するオンラインジャッジシステムの提案
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎 貴弘, 田中 昂文, 樫山 淳雄, 橋浦 弘明
2. 発表標題 クラス図とソースコード間のラウンドトリップエンジニアリング支援ツール
3. 学会等名 電子情報通信学会知能ソフトウェア工学研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

「CVE-2023-22838: EC-CUBEにおける複数のクロスサイトスクリプティングの脆弱性」を開発者に報告 <<https://jvn.jp/jp/JVN04785663/index.html>> (accessed 2024-05-20)。

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
研究分担者	樫山 淳雄 (Hazeyama Atsuo) (70313278)	東京学芸大学・教育学部・教授 (12604)	
研究分担者	田中 昂文 (Tanaka Takafumi) (30851274)	玉川大学・工学部・講師 (32639)	

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