

カード操作によるプログラミング学習支援システムにおける ヒートマップによる学習活動の可視化

Visualizing Learning Activities Using Heatmaps in a Card-Based Programming Learning Support System

檜木野 陸^{*1}, 渡邊 雄太^{*1}, 田辺 七海^{*2}, 松本 慎平^{*1}
Riku NARAGINO^{*1}, Yuta WATANABE^{*1}, Natsumi TANABE^{*2}, Shimpei MATSUMOTO^{*1},
^{*1} 広島工業大学情報学部

^{*1} Faculty of Applied Information Science, Hiroshima Institute of Technology
Email: {bm23112, bm22255, s.matsumoto.gk}@cc.it-hiroshima.ac.jp

^{*2} 広島工業大学大学院工学系研究科

^{*2} Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology
Email: md24003@cc.it-hiroshima.ac.jp

あらまし：本研究では、カード操作方式によるプログラミング学習支援システム COPS において、教授者が学習者の状態を授業中に即時把握するためのリアルタイムモニタリング手法を提案する。COPS は初学者の学習支援に一定の効果を示してきた一方で、多人数授業環境において教授者が個々の学習状況を把握し、適切な支援判断を行うための可視化機能が不足していた。そこで本研究では、学習者のカード操作ログをリアルタイムに集約し、操作内容に学習的意義を反映した重み付けを行った上で、活動度をヒートマップ形式で可視化する手法を提案する。実験の結果、提案手法は従来の画面監視方式と比べて学習者状態の識別精度を有意に向上させ、特に停滞状態の検出において高い再現率を示した。また、NASA-TLX による主観評価から、教授者の認知負荷を大幅に低減できることが確認された。以上より、提案するヒートマップによるリアルタイム可視化は、教室環境における学習支援に有効であることが示された。

キーワード：カード操作によるプログラミング学習支援システム、ヒートマップ、可視化

1. はじめに

カード操作によって学習者の活動を制限するプログラミング学習支援システム COPS (Card Operation-based Programming Learning Support System) は、初学者がプログラム構造を理解しやすい学習環境として開発されてきた(1)。COPS は、誤答パターンの分析や学習活動の誘導に一定の効果を示している一方で、教授者が授業中に個々の学習者の進捗や状態を即時に把握し、その場で適切な支援を行うためのリアルタイム可視化機能を備えていなかった。

この点に関連して、Shimada らは、リアルタイム学習分析システムを導入することで、教授者が学習者の状況を即時に把握でき、講義の進行や内容を柔軟に調整できること、さらに学習効果の向上にも寄与することを示している(2)。これらの知見から、教室環境における学習支援では、教授者が学習者の状態をリアルタイムに把握し、必要な支援を迅速に行うためのモニタリング手法が重要であるといえる。したがって、COPS においても、教授者による学習状況のリアルタイム把握を可能とする支援機能の導入が求められる。

そこで本研究では、大盛らが提案したリアルタイム圧縮可視化手法を応用し、COPS のような構造操作型プログラミング学習に適した新たな学習支援インタフェースを提案する(3)。具体的には、学習者のカード操作ログをリアルタイムに集約し、その操作の特徴を学習文脈に基づいて可視化することで、教

授者が学習内容との対応関係を踏まえながら、どの学習者に支援が必要であるかを即座に判断できる環境の実現を目指す。

2. 提案法

2.1 大盛方式による活動状況可視化手法

大盛らは、PC 教室のように学習者一人ひとりの操作状況を直接把握しにくい環境を対象として、マウスクリックやキーボード入力、マウス移動といった操作情報をリアルタイムに収集し、可視化する学習活動可視化手法を提案している(4)。この手法では、各学習者の操作量を一定時間ごとに集計し、座席配置に対応したヒートマップ形式で表示することで、操作が停止している学習者や、過剰に操作を行っている学習者を直感的に識別できる。これにより、教授者は多数の学習者の状況を俯瞰的に把握し、支援が必要な学習者を迅速に特定することが可能となる。

本研究では、この大盛方式の基本的な枠組みを踏襲しつつ、カード操作方式によるプログラミング学習支援システム COPS に適用する。COPS における操作は、単なる入力行為ではなく、学習者の思考過程や問題解決行動を反映するものであるため、操作内容の学習的意味を考慮した可視化が必要となる。

2.2 COPS における活動度の重み付け

COPS における学習活動は、命令カードの配置や修正といった構造操作を中心とするため、操作の種類によって学習上の意味合いが異なる。そこで本研

究では、各操作に対して学習的意義を反映した重み付けを導入し、活動度を定義する。具体的には、カードの移動操作（ドラッグアンドドロップ）を1回につき1活動、カードの削除操作を1回につき1活動、正誤判定ボタンの押下を1回につき3活動として扱う。

2.3 相対評価に基づく活動状態の判定

単純な活動量の可視化では、授業全体の進捗速度や課題の難易度によって「適切な活動量」の基準が変動するため、支援が必要な学習者の判定が困難となる。そこで本研究では、学習者集団内での相対的な活動状態を評価するため、移動平均および標準偏差に基づく統計的指標を導入する。具体的には、一定期間内における同時受講者の活動度の平均値 μ と標準偏差 σ をリアルタイムに算出し、 $\mu \pm 2\sigma$ の範囲を基準とする。各学習者の活動度がこの範囲を上回る場合を過剰操作状態、下回る場合を停滞状態として判定する。提案システムでは、この相対評価に基づき、平均的な学習者と支援が必要な学習者をヒートマップ上で色分けして表示することで、教授者が即時に状況を把握できるようにする。

3. 実験方法

被験者は大学生10名とした。実験では、教授者が同時に20名の学習者を監視し、支援が必要な学習者を特定する状況を想定した。被験者には、1分間の授業風景を模擬した映像を提示し、映像視聴後に学習者の状態判定を行わせた。この映像視聴と判定を1セットとし、計10セット実施した。提示する情報は、以下の2条件に分けた。統制群では、20名分のCOPS操作画面をタイル状に並べ、1つのモニタ上に同時表示した映像を提示した。実験群では、20名分の学習活動を、提案手法に基づくヒートマップ形式で可視化した画面を提示した。両条件において、映像の内容および提示時間は同一とした。

各映像の視聴後、被験者には、20名の学習者の中に支援が必要な学習者が存在したかを判断させ、該当する学習者の座席位置を回答させた。学習者の状態は、以下の4つのカテゴリに分類した。通常は、課題を順調に解いている状態を指す。停滞は、操作が長時間行われていない、あるいは思考が行き詰まっている状態を指す。フィードバック依存は、思考を伴わず、正誤判定ボタンの結果のみに依存して操作を進めている状態を指す。乱雑は、意図が読み取れない不規則な操作を繰り返している状態を指す。

提案手法の有効性を評価するため、学習者状態の識別結果に基づき、正解率、適合率、再現率、およびF値を算出した。これらの指標は、全体の識別性能を評価するためにマクロ平均として集計した。また、統制群と実験群の結果について、対応のあるt検定を用いて統計的有意差の有無を検証した。さらに、教授者の認知的負荷を評価するため、実験終了後にNASA-TLXを用いた主観評価アンケートを実

施した。精神的負担、身体的負担、時間的切迫感、作業成績、努力、不満・ストレスの各項目について回答を求め、両条件間で比較を行った。

4. 結果

10名の被験者によるモニタリング実験の結果、全体の正解率は、統制群で0.425、実験群で0.530となり、提案手法を用いた場合に有意な向上が確認された ($t(9)=2.67$, $p<0.05$)。この結果は、ヒートマップによる可視化が、学習者状態の把握を支援し、判断精度の向上に寄与したことを示している。

また、マクロ平均による再現率は、統制群の0.422に対し、実験群では0.527と大きく改善された。これは、従来の画面監視方式では見落とされがちであった学習者の変化を、提案手法が効果的に可視化できたことを示唆している。一方で、適合率については統制群がわずかに高い値を示したが、総合的な識別性能を示すF値では、実験群が0.500と統制群を上回っており、提案手法の有効性が確認された。

NASA-TLXを用いた主観評価の結果、精神的負担および時間的切迫感において、統制群と実験群の間に有意な差が認められた ($p<0.01$)。特に精神的負担は、実験群において大幅に低下しており、提案手法が教授者の認知負荷を軽減することが示された。また、作業成績の自己評価も有意に向上しており、識別精度の向上と整合的な結果となった。

これらの結果から、提案するヒートマップによるリアルタイム可視化は、教授者の判断を支援するだけでなく、認知的負担を低減し、より安定した支援行動を可能にする手法であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、COPSにおいて教授者が学習者の状態を授業中に即時把握するためのリアルタイムモニタリング手法として、活動度をヒートマップ形式で可視化し、その有用性を示した。

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会科学研究費助成事業(基盤研究(B) 25K00844, 25K00843, 基盤研究(C) 23K02697, 22K02815)の助成を受けて実施した成果の一部である。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 重松大志, 奥平泰基, 松本慎平, カード操作によるプログラミング学習支援システムにおけるコンパイラとの接続機能の実装, 情報処理学会論文誌, 65(6), pp.1102-1115(2024)
- (2) A. Shimada, Shin'ichi Konomi, Hiroaki Ogata, Real-Time Learning Analytics System for Improvement of On-Site Lectures, Interactive Technology and Smart Education, Vol.15, No.4, pp.314-331 (2018).
- (3) 大盛将・垣内洋介・松本慎平, 「授業におけるPC操作情報を用いた活動状況可視化手法」, 教育システム情報学会誌, Vol.36, No.2, pp.107-117 (2019).