

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 確率モデルを用いた分析

Analysis Using Probabilistic Models for a Card Operation-Based Programming Learning Support System

清瀧 壽一^{*1}, 山本 凌雅^{*1}, 奥平 泰基^{*1}, 重松 大志^{*2}, 松本 慎平^{*1}
Toshikazu KIYOTAKI^{*1}, Ryoga YAMAMOTO^{*1}, Taiki OKUHIRA^{*1},
Hiroshi SHIGEMATSU^{*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: {bm21045, bm21143, bm20026, 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: md22004@cc.it-hiroshima.ac.jp

あらまし：本研究では、確率モデルを用いて、カード操作方式の学習支援システム(Card Operation-Based Programming Learning Support System, 以降 COPS)の学習ログから解決過程の潜在的な構造を導き出す方法を提案する。そして、その方法によって得られた結果は、学習者の思考パターンを推定するために有用であることを示す。部分間の関係を考えることに焦点を当てたプログラミング学習において、非本質的な認知負荷の影響をできる限り減らすため、COPS が開発され、その有用性が明らかになっている。一方、COPS の効果的な使い方に関する知見が必要とされている。ところで昨今、ラーニングアナリティクスと呼ばれる取り組みが注目を集めており、数多くの教育改善が実現されている。よって、学習ログの解析は、COPS を用いた学習の改善に効果的であると考えられる。本研究では、ベイジアンネットワークを用いて、記録された操作ログを分析する方法を提案する。そして、脱落の恐れがある学習者の発見をより容易に行なえることを示す。

キーワード：カード操作方式による学習支援システム、学習プロセス、ラーニングアナリティクス、ベイジアンネットワーク

1. はじめに

プログラミングは様々な能力や活動を必要とするため、初学者にとっては学習の負担が特に大きくなっている。そこで、部分間の関係を考えることに焦点を当てたプログラミング学習において、非本質的な認知負荷の影響をできる限り減らすため、カード操作方式の学習支援システム(Card Operation-Based Programming Learning Support System, 以降 COPS)が開発されている⁽¹⁾。先行研究によって、COPS はコーディング主体の学習と同等の学習効果を有しながら、従来よりも学習時間を短縮できる効率的な学習方法であることが明らかにされた。一方で、COPS をより効果的に活用するための実践法に関する知見が求められている。

ところで昨今、Learning Analytics(以降、LA)と呼ばれる取り組みが注目を集めている⁽²⁾。教育機関を対象とした LA の事例には、脱落のおそれがある学習者を発見し、特定の講座において失敗しないように配慮を受けられるようにするシステムがある⁽³⁾。これらのように、これまで学習履歴データの集計と統計による提示により、数多くの教育改善が試みられている⁽⁴⁾。よって、学習ログの解析は、COPS を教育現場でより効果的に活用するための知見の獲得に

有効であると考えられており、いくつかの取り組みが進められている⁽⁵⁾。

本研究では、ベイジアンネットワーク(Bayesian network, 以降 BN)を用いて、学習ログとして記録された操作データから学習者の思考パターンを推定するための方法を提案する。そして、提案法を実際の操作ログに適用し、思考パターンの推定に提案法は有用であることを示す。

2. ベイジアンネットワーク

BN は、確率変数をノードとする非循環有向グラフネットワーク構造と条件付き確率パラメータ集合によって離散確率分布の同時分布を近似するモデルである。有向リンクは確率変数間の依存関係を示し、条件付き確率表(Conditional Probability Table, 以降 CPT)によりその依存関係が定量的に表現される。BN は、事象の関係性を視覚的に理解しやすく、様々な条件付き確率を簡単に求めることができる。具体的には、あるノードに確定値(エビデンス)を設定することで、ベイズの定理に基づいて、リンクをたどりながらネットワーク中のノードの値が推定される。この操作は確率推論と呼ばれ、これにより、構造と CPT を学習済みの BN においては、得られたデータをエビデンスとしてセットすることで、目的変

数の確率値を推定できる。BN は変数間の依存関係がグラフィカルに表現され、一部の変数が既知の場合、他の変数を迅速かつ効率的に推論可能である。

3. 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 が採用するカード操作方式は、問題文とプログラムコードの書かれたカードを提示し、提示されたカードを並び替える演習方式である。カード操作方式は、プログラミングを分割した後、間接的に一部の活動を減らし、各活動に認知資源を集中させる仕組みである。COPS は、カード操作方式による演習を支援するためのアプリケーションである。

COPS において、カードは、マウスのドラッグ&ドロップで操作でき、右側から左側にカードを移動させてプログラムを組み立てる。組み立てられたコードは、JSON 形式に変換された後、C 言語コンパイラ用の Web インタフェースシステムを通して gcc で実行され、実行結果を受け取り画面に表示できる。実行結果に加えて、カードの並びに基づいて正誤を自動で判定し、学習者にフィードバックできる。

4. 実験結果

本研究では、C 言語の基礎を習得済みの大学生 20 名を対象として、C 言語により作成された学習課題 4 問を用いて演習を行なった。学習課題は素数のカウント、マージソート、回文判定、基数ソートとした。演習時間は 1 問 10 分の合計 40 分とし、演習後、20 名の操作ログを提案法により分析・可視化した。

本研究では、10 分以内に答えを見付けられた被験者を正解とし、10 分以内に答えを見付けられなかった被験者を不正解とした。そして、正解・不正解の被験者がそれぞれ解答欄に設定していたカードパターンの出現の有無をベイジアンネットワークの入力とした。例えば、1234 が正解のカードパターンとしたとき、1→13→143→134→1234、と 10 分以内に組み立てられた場合、「result」、「1」、「13」、「143」、「134」の列に出現のフラグを意味する 1 をデータに与えた。ここで、result は正解の時 1、不正解の時 0 となる。

提案法による可視化例を図 1 に示す。result は正誤結果を表している。図 1 より、result に影響を及ぼしているカードパターンがリンクで繋がれている。この可視化結果から、学習をする上で重要となるカードパターンの特定が可能となっている。また、確率推論の例として基数ソートの可視化例に result=0 のエビデンスを設定し、確率推論を行なった。結果を図 2 に示す。このようにエビデンスを設定するだけで、各カードパターンの出現確率を迅速に求めることができる。これを教授者が用いることで、学習者の思考プロセス推定が可能となる。

4 問全ての問題において、意図した形で可視化ができており、それによる学習者の思考パターン推定が可能であることを確認した。以上より、提案手法

が COPS の操作ログ解析に適応可能であることを明らかにできたと言える。



図 1 BN による可視化例

result	1,10,2,9	1,10,11,12,2,9	1,10,2	1,10,11,2
未設定	0.0909	0.1905	0.3228	0.2441
0	0.1145	0.2746	0.5251	0.5477

図 2 確率推論の例

5. おわりに

本研究では、BN を用いて、COPS のログデータを分析する方法を提案した。そして、実践から得られた実際の操作ログに適用し、提案手法が COPS の学習ログ解析に有用であることを明らかにした。

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(C)23K02697, 22K02815)の助成を受けて実施した成果の一部である。

参考文献

- (1) 松本慎平, 林雄介, 平嶋宗, 部分間の関係を考えることに焦点を当てたカード操作によるプログラミング学習支援システムの開発, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol.138, No.8, pp.999-1010, 2018.
- (2) Philipp Leitner, Mohammad Khalil, and Martin Ebner. Learning analytics in higher education—a literature review. Learning analytics: Fundamentals, applications, and trends: A view of the current state of the art to enhance E-learning, pp. 1–23, 2017.
- (3) K.E. Arnold and M.D. Pistilli. Course signals at purdue: using learning analytics to increase student success. Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge, pp. 267–270, 2012.
- (4) 植野真臣. e ラーニングにおけるデータマイニング. 日本教育工学会 論文誌, Vol. 31, No. 3, pp. 271–283, 2007.
- (5) 奥平泰基, 重松大志, 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確率モデルを用いたラーニングアナリティクスの検討, The 25th IEEE Hiroshima Section Student Symposium, pp.115-118, 2023.