

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12407

研究課題名(和文) 確率モデルに基づく適応的ヒントを提示する足場かけシステム

研究課題名(英文) Probability-based adaptive hints to scaffold learning

研究代表者

植野 真臣 (Ueno, Maomi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：50262316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、項目反応理論を用いて適応的ヒントを提示する足場かけシステムを開発した。具体的には、項目反応理論の段階反応モデルを用いて、ヒントごとの正答率が予測できるように定式化を行い、データから課題とヒントの特性パラメータを推定した。これを用いて、課題を提示したあとの学習者の反応から逐次能力を推定しながら、正答に至るまで、能力推定値に対する正答確率がある値になるようにヒントを学習者に提示するシステムを開発した。さらに、ヒント提示後の予測正答確率をどのように設定すればよいかを実験により明らかにした。また、被験者実験を行い、提案手法による足場かけ支援の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study developed a scaffolding system that provides adaptive hints to adjust the predictive probability of the learner's successful performance to the previously determined certain value, using the item response theory (IRT). Furthermore, using the scaffolding system, we compared learning performances by changing the predictive probability. Results show that scaffolding to achieve 0.5 learner success probability provides the best performance. Additionally, results demonstrate that a scaffolding system providing 0.5 probability decreases the number of hints automatically as a fading function according to the learner's growth capability.

研究分野：教育工学

キーワード：項目反応理論 足場かけ eラーニング 適応型テスト eテストング

1. 研究開始当初の背景

近年、教育の現場では、教師は学習者に教えずぎても、教えなさすぎても学習者の十分な発達は望めないという問題が注目されている。Vygotsky(1962, 1978)は、学習者が自力で解決できない課題でも、教師の支援によって学習者の成長を促すことができる「最近説発達領域」(ZPD; Zone of Proximal Development)の考え方を導入した最近説発達領域の考え方に従って、Bruner (1996)やWood et al.(1976)、Collins (1989)は、学習者の発達を促すためには、学習者が高次の課題に直面した際に教師が学習者の能力に応じて適度に支援をする「足場かけ」が重要であることを示している。足場かけでは、学習者のZPDに関する能力を正確に測定し、教師が支援した後の学習者のパフォーマンスを予測する必要がある。しかし、従来行われてきた能力評価や学習者への支援は教師の経験や勘によるものであり、学習者ごとに正確な支援を行うことは非常に困難であった。

そこで、Brown and Ferrara (1985)やCollins (1989)は、学習者の学習履歴データを用いてZPDにおける学習者の能力を客観的に測定できるように、ダイナミックアセスメントと呼ばれる新たな評価手法を開発した。彼らのダイナミックアセスメントは、学習者の支援に段階的なヒントを用いることで、課題を達成するまでに利用したヒント数から学習者を評価した。彼らが行なった実験では、少数のヒントで課題に正答した学習者ほど学習効率が良いことを示した。その後、Wood (2001)は、学習者の成長を促す支援を行うには、それまでの課題を達成するまでに利用したヒント数を評価することが重要であることを示している。

しかし、従来のダイナミックアセスメントには、以下の問題がある。1) 難易度の異なる課題の特性が評価に反映されておらず、能力評価としての信頼性が低い。2) 課題ごとの異なるヒントの特性が評価に反映されておらず、能力評価としての信頼性が低い。

2. 研究の目的

この問題を解決するために、申請者は、ヒントを与えた後の課題への反応についての項目反応理論(Item Response Theory, IRTと呼ぶ)を提案する。さらに、申請者は提案した項目反応理論を用いて、段階的ヒントを提示した後の学習者のパフォーマンスを予測し、最も学習効果が高くなるように、適応的にヒントを与えるアダプティブ・ラーニング・システムを開発する。

3. 研究の方法

(1) ダイナミックアセスメント・システム

申請者は、プログラミング学習におけるトレース問題について段階的ヒントを用いたダイナミックアセスメント・システムを開発する。システムでは初めにプログラミングの基礎知識について学習し、その後、プログラミングのコードを読み、変数の最後の値を回答する課題を数問学習する。学習は簡単な分野から始まり、学習が進むほど難易度が上がる。課題では、学習者が誤答した際には、図1のようにヒントとしてプログラミングの文法に関する説明やコードの意味などが段階的に提示され、学習者が課題を達成するまでヒントをより具体的な内容にしていく。

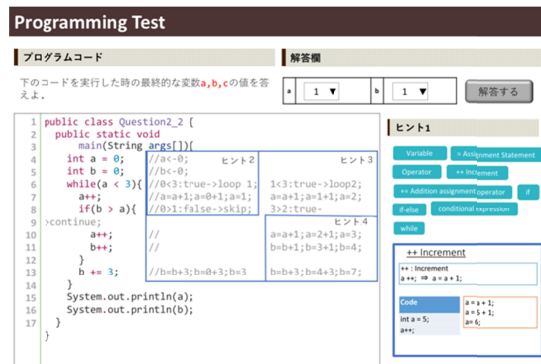


図1 ダイナミックアセスメント・システムの画面例

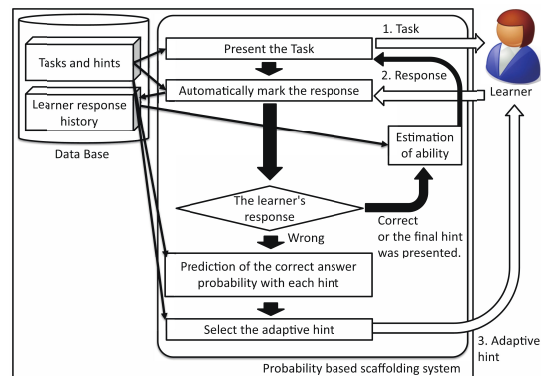


図2 システムのアルゴリズム

(2) 足場かけのアルゴリズム

システムのアルゴリズムを図2に示す。まず、システムは、学習者に課題jを提示する。学習者iは、その課題に解答する。システムは、その解答を自動で採点する。その結果が誤答であれば、項目反応理論に基づいて学習者の能力値 θ_i からヒントが提示された時の正答率を予測し、ヒントを提示する。

$$P(u_j = k | \theta_i) = \frac{1}{1 + \exp(-a_j \theta_i + b_{jk})} - \frac{1}{1 + \exp(-a_j \theta_i + b_{j(k-1)})}$$

ここで、 a_j , b_{jk} はそれぞれあらかじめ推定さ

れた課題 j の識別力パラメータとヒント k の難易度パラメータを示す。

これを学習者が課題に正答するか、ヒントがなくなるまで繰り返す。その後、項目反応理論に基づいて学習者の能力を推定し、次の課題を提示する。本システムでは、プログラミングの課題として、「変数」「条件分岐」「while ループ」「for ループ」「配列」が出題される。

4. 研究成果

(1) 学習効果の検討

ヒント提示手法の違いによる事前事後テストの学習効果の比較を行う。被験者は、工学系に在籍する大学生 93 名で、プログラミングに関する知識は入門レベルである。次のグループに分類した。

- A群 正答率が 0.8 に近くなるようにヒントを提示
- B群 正答率が 0.65 に近くなるようにヒントを提示
- C群 正答率が 0.5 に近くなるようにヒントを提示
- D群 ヒントを提示しない
- E群 ヒントを難しいものから順次提示
- F群 解答と解説を最初から丁寧に提示

事前テストと事後テストの平均点について、1 要因分散分析を行い、有意差があった項目を Tukey の方法で多重比較を行った。事前テストでは結果に有意差はなく、グループ間でほぼ同等の得点であり、被験者の事前のプログラミング知識レベルは等質であると考えられる。事後テストでは、予測正答確率が 0.5 の C 群が A 群、B 群、D 群、E 群、及び F 群に対して、1%水準、または、5%水準で有意に平均点が高かった。

図 3 に提示したヒント数の平均を示す。課題の難易度が異なるため、ヒント数が単調に減少しないが、課題 4 の後は、C 群のヒント数は減少しており、フェーディングが有効に働いていることがわかる。図 4 は、ヒント提示後の正答率を示している。この結果から、予測された正答率と実際の正答率がほぼ同等であることが示された。

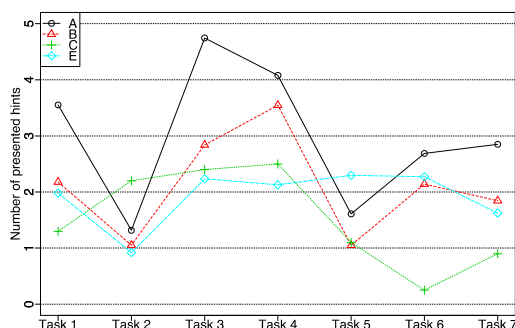


図 3 提示されたヒント数の平均

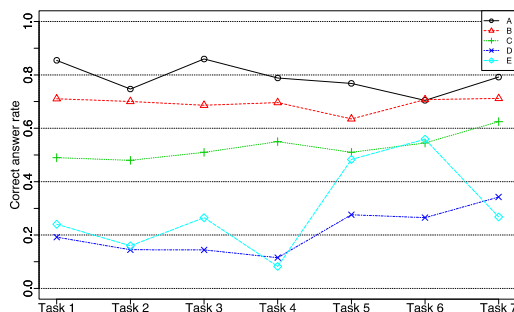


図 4 ヒント提示後の正答率

(2) 異なる課題への適用

申請者は、プログラミング学習におけるトレース問題に対して提案手法の有効性を検証した。ここでは、さらに、異なる課題への適用可能性を検討するため、プログラムのコードの一部に空欄を設けた穴あき課題を用いて提案手法を検討した。穴あき問題は、ある文章や数式、プログラム等の中で、ある箇所に空欄を設け、その空欄に当てはまる単語、数式等を選択または記述する出題形式である。表 1 は、提案手法を用いた穴あき課題に取り組んだ群と従来の穴あき課題に取り組んだ群の事前テスト・事後テストの得点について t 検定 (対応なし) の結果である。表 1 より、事前テストにおいては両群の間には有意差が認められなかった。一方、事後テストにおいては、両群の平均点の差において有意差が認められ、提案手法を用いた穴あき課題に取り組んだ群の平均点が有意に高いことが分かった。

表 1 事前・事後テストの結果

事前・事後テスト (N=41)	提案手法を用いた穴あき課題 (N=20)		従来の穴あき課題 (N=21)		t 値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
事前テスト (10 点)	4.40	1.88	4.29	1.93	0.19
事後テスト (12 点)	8.60	2.11	6.57	3.26	2.36*

< 引用文献 >

- L.S. Vygotsky (1962) Thought and Language, Harvard University Press
- L.S. Vygotsky (1978) Mind in society, Harvard University Press
- J. Bruner (1996) The Culture of Education, Harvard University Press, 1996
- D. Wood, J.S. Bruner and G. Ross (1976) The role of tutoring in problem solving, Journal of child psychiatry and psychology, 17, pp.89-100
- A. Collins, J.S. Brown and S.E. New

man (1989) Cognitive apprenticeship: teaching the craft of reading, writing and mathematics, In L.B. Resnick(Ed), Knowing, learning, and instruction: Essays, Lawrence Erlbaum Associates, pp.453-494
A.L. Brown and R.A. Ferrara (1985) Diagnosing zones of proximal development, In J.V. Wertsch(Ed), Culture, communication, and cognition: Vygotskian perspectives, Cambridge University Press, pp.273-305
D. Wood (2001) Scaffolding contingent tutoring and computer-supported learning, International Journal of Artificial Intelligence in Education, pp.280-292

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Maomi Ueno, Yoshimitsu Miyazawa (2018) IRT-based adaptive hints to scaffold learning in programming. IEEE Transactions on Learning Technologies, IEEE Computer Society. pp.1-15. [Preprint] (査読あり)
榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2018) 項目反応理論と穴あきワークシートを用いた適応的プログラミング学習支援システム. 教育システム情報学会誌. 35 巻, 2 号, pp.175-191. (査読あり)

〔学会発表〕(計 14 件)

堤瑛美子, 宇都雅輝, 植野真臣 (2018) ダイナミックアセスメントのための隠れマルコフ IRT モデル. 人工知能学会全国大会.
蛭名哲也, 宮澤芳光, 菊地良幸, 森本康彦 (2018) 項目反応理論に基づき学習者の学習状況を測定・可視化する学習評価支援システムの評価. 日本教育工学会研究報告集.
堤瑛美子, 宮澤芳光, 植野真臣 (2017) 確率的足場かけシステム: 学習者の課題への正答確率を最適にする最適ヒント生成システム. 教育システム情報学会第 42 回全国大会.
蛭名哲也, 宮澤芳光, 森本康彦 (2017) 項目反応理論に基づいた学習評価支援システムにおける能力可視化機能の検証. 教育システム情報学会第 42 回全国大会.
堤瑛美子, 宮澤芳光, 植野真臣 (2017) プログラミング学習における足場かけのための項目反応理論に基づいた適応的ヒントシステム. 教育システム情報学会学生研究発表会.

木下涼, 宇都雅輝, 植野真臣 (2017) 足場かけに基づくアカデミックライティング学習支援システム. 教育システム情報学会学生研究発表会.

蛭名哲也, 宮澤芳光, 長沼将一, 森本康彦 (2017) 項目反応理論に基づいた学習評価支援システムを用いた授業実践. 日本教育工学会第 33 回全国大会.

蛭名哲也, 宮澤芳光, 榎本命, 森本康彦 (2017) アクティブ・ラーニングにおける学習評価のための項目反応理論に基づく CBT の開発. 日本教育工学会研究報告集.

榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2016) 項目反応理論に基づいた適応的足場かけを用いた穴あきワークシートの提案. 教育システム情報学会.

榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2016) 適応的足場かけ機能を有するプログラミング演習用穴あきワークシートシステムの開発. 日本教育工学会.

榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2016) プログラミングを初めて学ぶ生徒のための適応的足場かけ機能を有する演習用 e ラーニングの提案. 日本情報科教育学会.

榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2016) 穴あきワークシートを用いた足場かけに基づく演習用 e ラーニングシステムの開発とプログラミング教育への適用. 日本教育工学会.

榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦 (2016) 項目反応理論に基づき学習支援を行うプログラミング演習用穴あきワークシートシステムの評価. 教育システム情報学会.

Maomi Ueno and Yoshimitsu Miyazawa (2015) Probability Based Scaffolding System with Fading. 17th International Conference on Artificial Intelligence in Education 2015(国際学会).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植野 真臣 (UENO, Maomi)
電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授
研究者番号: 50262316

(2) 研究分担者

宇都 雅輝 (UTO, Masaki)
電気通信大学・大学院情報理工学研究所・助教
研究者番号: 10732571

宮澤 芳光 (MIYAZAWA, Yoshimitsu)
東京学芸大学・次世代教育研究推進機構・助教

研究者番号：70726166

安藤 雅洋 (ANDO, Masahiro)
長岡技術科学大学・工学研究科・助教
研究者番号：00345539