

Knowledge Tracing と 2 母数 IRT による学習者モデルの生成

土井 康平[†]大枝 真一[†]木更津工業高等専門学校 情報工学科[†]

1 はじめに

近年、教育現場に e-Learning システムが普及してきたことにより、学習のログデータが大量に手に入るようになった。このような膨大な教育データから有益な情報を発見することを目的とした Educational Data Mining (EDM) という研究分野があり、盛んに研究が行われている。

Intelligent Tutoring Systems (ITS) と呼ばれる e-Learning システムは、学習者の実力に合った設問を適切に出題することで、効率の良い学習環境を提供する。ITS では、システムを利用した学習者のログデータから学習者モデルを生成し、それに基づいて出題する設問を選択している。よって、ITS が用いる学習者モデルの精度が高ければ高いほど、学習者はより効果的なフィードバックを得ることができる。そこで、本研究では、高精度な学習者モデルを生成することを目的とする。

学習者モデルは、学習者のある設問に対する正答確率を予測することができる。学習者モデリングの標準的な手法として、Knowledge Tracing がある [1]。また、Knowledge Tracing に項目反応理論 (IRT) を組み合わせることによって、予測精度を向上した先行研究が存在する [2]。本研究では、先行研究における IRT モデルを 1 母数から 2 母数にすることによって、学習者モデルによる予測精度の向上を図る。

2 手法

2.1 Knowledge Tracing

Knowledge Tracing は、学習者モデリングの標準的な手法である。Knowledge Tracing では、設問を解くために必要な各スキルについて、図 1 のようなダイアグラム

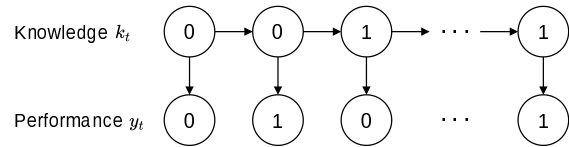


図 1 Knowledge Tracing

で表現される。図 1 は、学習機会を t 、学習者のスキル状態 (習得・未習得) を潜在変数 k_t 、設問に対する解答結果 (正答・誤答) を変数 y_t としている。

Knowledge Tracing では、各スキルに対して 4 つのパラメータ $P(L_0)$, $P(T)$, $P(G)$, $P(S)$ が設定され、式 (1)~(4) で定義される。

already know

$$P(L_0) \stackrel{\text{def}}{=} P(k_0 = \text{true}) \quad (1)$$

learn

$$P(T) \stackrel{\text{def}}{=} P(k_t = \text{true} | k_{t-1} = \text{false}) \quad (2)$$

guess

$$P(G) \stackrel{\text{def}}{=} P(y_t = \text{true} | k_t = \text{false}) \quad (3)$$

slip

$$P(S) \stackrel{\text{def}}{=} P(y_t = \text{false} | k_t = \text{true}) \quad (4)$$

$P(L_0)$ は学習者があらかじめスキルを習得している確率 (already know) である。 $P(T)$ は学習者のスキル状態が未習得から習得に遷移する確率 (learn) である。Knowledge Tracing では、スキル状態が習得から未習得に遷移する確率を 0 としており、一度習得したスキルは忘れないことを仮定している。また、 $P(G)$ はスキルを習得していないにもかかわらず、設問に正答する確率であり、推測 (guess) を表している。 $P(S)$ はスキルを習得しているにもかかわらず、設問に誤答する確率であり、ケアレスミス (slip) を表している。

Knowledge Tracing では、学習機会 t までの解答結果、および各スキルに対して設定される $P(L_0)$, $P(T)$, $P(G)$, $P(S)$ を式 (5)~(8) に適用することで、未来の学習機会 $t+1$ における設問の正答確率を求めることができる。ここでは、学習機会 t でスキルを習得している事

Generating a Student Model with Knowledge Tracing and Two Parameters Item Response Theory

[†] Kohei Doi, Department of Information and Computer Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College

[†] Shinichi Oeda, Department of Information and Computer Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College

象 ($k_t = \text{true}$) を L_t とする.

$$P(L_t|y_t = \text{true}) = \frac{P(L_t)(1 - P(S))}{P(L_t)(1 - P(S)) + (1 - P(L_t))P(G)} \quad (5)$$

$$P(L_t|y_t = \text{false}) = \frac{P(L_t)P(S)}{P(L_t)P(S) + (1 - P(L_t))(1 - P(G))} \quad (6)$$

$$P(L_{t+1}) = P(L_t|y_t) + (1 - P(L_t|y_t))P(T) \quad (7)$$

$$P(y_{t+1} = \text{true}) = P(L_{t+1})(1 - P(S)) + (1 - P(L_{t+1}))P(G) \quad (8)$$

式 (5) および式 (6) は, 学習機会 t での解答結果を得たという条件の下で, 学習機会 t におけるスキルの習得確率を求めている. 式 (5) および式 (6) で求めた確率を式 (7) に代入することで, 未来の学習機会 $t+1$ におけるスキルの習得確率を求めることができる. さらに, 式 (7) で求めた確率を式 (8) に代入することで, 未来の学習機会 $t+1$ における設問の正答確率を求めることができる.

2.2 項目反応理論

学力のように直接的に測ることができない潜在的な能力を, 複数の項目を用いて間接的に測定することを目的とした理論が項目反応理論 (item response theory, IRT) である. 式 (9) のように, 項目への正答確率を表す関数を 2 母数ロジスティックモデルといい, 図 2 のような曲線で表される.

$$P_j(\theta_i) = \frac{1}{1 + \exp(-1.7 a_j(\theta_i - b_j))} \quad (9)$$

ここで, i は被験者, j は項目であり, θ_i は被験者母数, b_j は難易度 (困難度) 母数, a_j は識別力母数と呼ばれる.

2.3 Knowledge Tracing と IRT の組み合わせ

Knowledge Tracing での正答確率を求める式 (5)~(8) は, 式 (10) のように書き換えられる.

$$P(y_{t+1} = \text{true}|\mathbf{y}) = \sum_{l \in \{\text{true}, \text{false}\}} P(y_{t+1} = \text{true}|k_{t+1} = l) \cdot P(k_{t+1} = l|\mathbf{y}) \quad (10)$$

ここで, 式 (10) の $P(y_{t+1} = \text{true}|k_{t+1} = l)$ は guess と slip を表している. この部分を 2 母数ロジスティックモデルに置き換える.

$$P(y_{t+1} = \text{true}|\mathbf{y}) = \sum_{l \in \{\text{true}, \text{false}\}} \text{IRT}(\theta_i, a_j, b_j, c_j) \cdot P(k_{t+1} = l|\mathbf{y}) \quad (11)$$

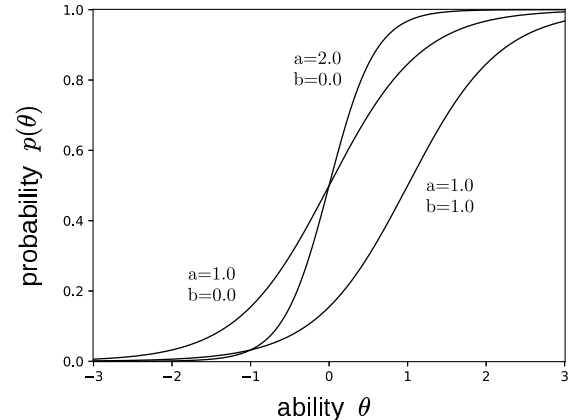


図 2 2 母数ロジスティックモデル

IRT には, Knowledge Tracing の guess と slip に対応するパラメータがない. そこで, Knowledge Tracing と同じ働きを持たせるためにバイアスパラメータ c_l を付け加えた. バイアス c_l を加えたモデルを式 (12) に示す.

$$\text{IRT}(\theta_i, a_j, b_j, c_j) = c_l + \frac{1 - c_l}{1 + \exp(-1.7 a_j(\theta_i - b_j))} \quad (12)$$

以上により, Knowledge Tracing と IRT を組み合わせた予測が可能となる.

3 まとめ

本研究では, 学習者モデリングの標準的な手法である Knowledge Tracing の精度向上を目指し, Knowledge Tracing と 2 母数 IRT を組み合わせる手法を提案した.

謝辞

本研究は, JSPS 科研費 19H01728 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Albert T. Corbett, John R. Anderson, “Knowledge Tracing: Modeling the Acquisition of Procedural Knowledge,” *User Modeling and User-Adapted Interaction*, No.4, pp.253–278, 1995.
- [2] Mohammad M. Khajajah, Rowan M. Wing, Robert V. Lindsey, Michael C. Mozer, “Integrating Latent-Factor and Knowledge-Tracing Models to Predict Individual Differences in Learning,” *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining*, 2014.