

対象理解を必要とする問題解決過程のモデル化

1D-5

— ITSにおける認知モデル —

柏原 昭博 平島 宗 中村 祐一 豊田 順一

大阪大学 産業科学研究所

1. はじめに

ITS (Intelligent Tutoring System) では、学生の理解状態をどこまで考慮するかによって個別教育能力が決定される^[1]。著者らは、ITSにおける個別教育をより高度なものにするために問題解決に対する考察を深め、認知過程までも考慮したITSの構築を目指し研究を進めている。解法が明示的に存在する問題解決の認知モデルは、平島らによって提案されている^[2]。解法が明示的に存在する領域では、解法の実行が重要となる。一方、解法が明示的に存在しない領域では、問題の示す対象の理解と操作による対象の理解が重要となる。例えば電気回路の問題では、回路という対象を理解し、その回路に対して電流を操作することによって電流がどのように流れるかなどを理解しながら問題が解決される。本稿では、このような対象理解を必要とする問題解決過程を定式化した認知モデルを提案する。問題領域はデバイス(抵抗, コンデンサ)の合成が可能な電気回路とする。

2. 問題解決過程の定式化

電気回路で電流の値を求める場合、まず回路を理解し、電流がどのように流れるか回路を辿りながら理解することが必要となる。そして、理解した結果により電流値が導かれる。ここで、回路のような対象を理解することを対象理解とする。また、回路において電流の流れを辿ることを回路に対する電流の対象操作とみなし、流れの理解のような、操作による理解を対象操作による対象理解とする。本稿では問題解決に必要な対象の理解を静的対象理解、対象操作による対象理解を動的対象理解として区別する。さらに、動的対象理解を電流を流すなどの定性的な操作による定性的理解と電流の値を求めるなどの定量的な操作による定量的理解に分類する。

対象理解を定式化する上で、まず領域固有の対象の構成要素を整理しそれらを表示しなければならない。一般に対象の構成要素は、いくつかの属性とその値により表現できる。そこで、属性とその値からなる構成要素を対象ユニットとする。また、関係付けられた対象ユニットの集合を対象モデルとする。対象に対する理解において、その属性の値を対象とみなした理解が必要となる場合がある。この場合、対象モデルは対象ユニットの階層構造を持つとみなすことができる。電気回路問題では、回路構成要素(デバイス, 電源, 導線), 構造(直列, 並列)が具体的な対象ユニットである。図1に抵抗の対象ユニットを示す。

著者らは、静的対象理解を対象モデルの生成として捉え、動的対象理解を領域固有の対象操作による対象モデルの詳細化として捉える。さらに定性的(定量的)理解とは定性的(定量的)操作による対象モデルの詳細化であると捉える。ここで、生成とは問題が示す対象ユニットを抽出することであり、詳細化とは生成された各対象ユニットにおける属性の値を明らかにすることをいう。

以上の定式化された対象理解を用いて、認知モデルを静的、動的対象理解の2つのフェーズから構成する。

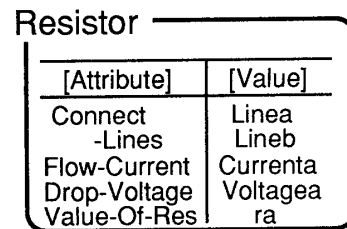
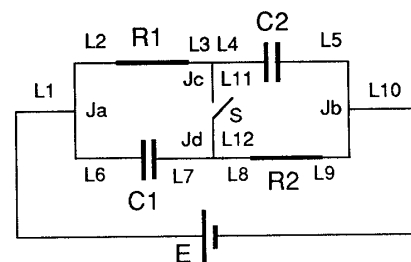


図1 抵抗の対象ユニット



抵抗値 r_1, r_2 である抵抗 R_1, R_2 と電気容量 c_1, c_2 であるコンデンサ C_1, C_2 を図のようにつなぎ電池 E によって電圧 e をかける。
 1) R_1 に流れる電流を求めよ。
 2) C_1 に蓄えられる電気を求めよ。

図2 電気回路問題

3. 静的対象理解フェーズ

解法が明示的に存在しない場合、問題解決に必要な対象を理解しなければ解を導くことはできない。本フェーズは、この静的対象理解過程を扱う。

対象モデルの生成は、生成オペレータによって行われるとみなす。このオペレータを静的理解オペレータと呼ぶ。図2は、実際の電気回路の問題である。静的理解オペレータは、デバイスとその結合導線からデバイスの対象ユニットを生成する。また、結合導線の関係から構造の対象ユニットを生成する。例えば、 R_1 の導線 L_2, L_3 は C_1 の導線 L_6, L_7 と各々 $J_a, J_c(J_d)$ により結合しているため、 R_1 と C_1 は並列構造になり

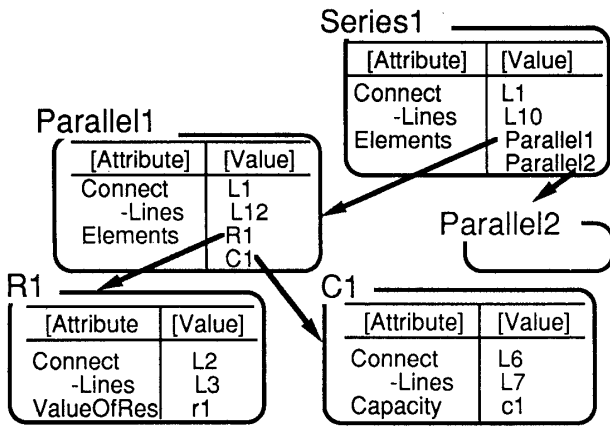


図3 静的対象理解

Parallel1 が生成される。図3に問題の静的対象理解を示す。対象ユニット間のリンクは、階層構造を表す。

4. 動的対象理解フェーズ

静的対象理解が十分になされても、対象操作によって対象がどのようになるかを理解できなければ解を導くことはできない。本フェーズは、この動的対象理解過程を扱う。

対象モデルの詳細化は、詳細化オペレータにより行われるとみなす。このオペレータを動的対象理解オペレータと呼ぶ。動的対象理解オペレータによる詳細化の過程は対象ユニットごとに異なるため、各対象ユニットにそれぞれオペレータを持たせる。動的対象理解オペレータは、定性的オペレータと定量的オペレータに分類できる。そこで、動的対象理解フェーズを定性的理解フェーズと定量的理解フェーズに分類して捉える。

4.1 定性的理解フェーズ

対象操作による定性的な理解がなければ、定量的に解を導くことはできない。本フェーズにおける対象操作として、方向のみを持つ物理量を考える。図2の問題で電流の流れを理解するために、Series1 に電流をL1からL10 に流す。直列構造のオペレータは、対象操作として電流を与えられると階層構造をなす構成要素に電流を伝搬し、その全てに電流が流れるとき電流を属性の値として付加する。Series1 は、電流操作をParallel1, Parallel2 に伝搬し、さらに各並列構造は各デバイスに操作を伝搬する。R1, R2 は電流を流すため、Parallel1, Parallel2 には電流が流れる。従って、Series1 に電流が流れることになりオペレータは属性として電流を付加する。以上のように、定性的オペレータによる詳細化の過程は、階層構造における操作の伝搬と属性の付加からなる。操作の伝搬は回路を辿ることに相当する。電流操作と同様に電圧、電気量を操作すると、対象モデルは図4になる。

(Series1, R1, C1 のみ記述。)

4.2 定量的理解フェーズ

問題の定量的な解は、定性的に理解された対象を用いて求められる。本フェーズにおける定量的オペレータとしてオームの法則、合成抵抗、合成容量がある。図2の回路において電流の値を求めるために、オペレータは定性的理解で得られた対象モデルから電流を流す抵抗ユニットを抽出し合成抵抗を求める。そしてオームの法則を用いることによりSeries1

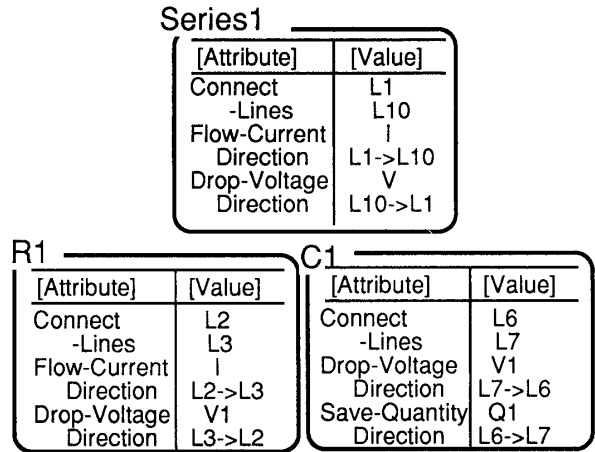


図4 定性的操作による定性的理解

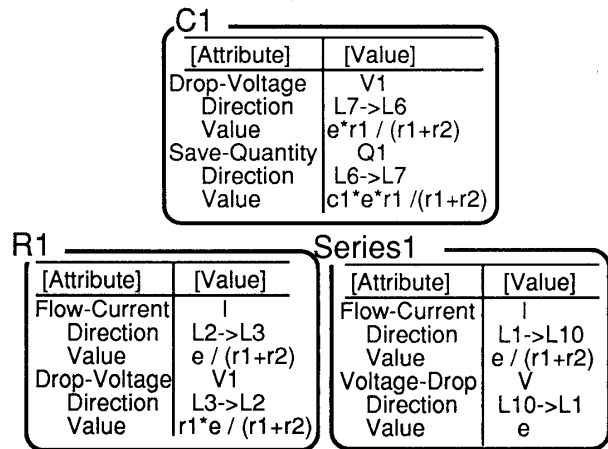


図5 定量的操作による定量的理解

に流れる電流の大きさを決定する。以上のような定量的オペレータの作用は、電気回路における物理量を定量的に求めることに相当する。電圧、電気量についても操作を与えた結果、対象モデルは図5のようになる。

5. おわりに

本稿では、対象理解を必要とする問題解決過程の認知モデルを提案した。本モデルの特徴を以下に示す。

1. 問題解決過程を静的、動的対象理解の2つのフェーズにより構成した。
2. 動的対象理解を定性的理解、定量的理解に分類した。
3. 静的対象理解を対象モデルの生成、動的対象理解を対象モデルの詳細化として定式化した。

対象モデルの生成、詳細化は、学生のメンタルモデルの生成、詳細化に相当すると考えることができる。今後、メンタルモデルに対する考察を深め本モデルをより洗練する予定である。また、現在本モデルを用いた教育戦略の運用、学生モデルの構築、システムの構築について検討中であり別に報告する予定である。

【参考文献】

[1] Wenger, E.: Artificial Intelligence and Tutoring Systems, Morgan Kaufmann Publishers, p.486 (1987).
 [2] 平島ほか: ITSのための認知モデル: 問題理解と問題解決, 人工知能学会研究会資料, SIG-KBS-8902 (1989).