

# 回路理解のコンピュータ・モデル

## Computer Model of Understanding Circuits

田中卓史  
Takushi Tanaka

福岡工業大学 情報工学科

Department of Computer Science and Engineering, Fukuoka Institute of Technology

We present a computer model of understanding circuits. Circuits are viewed as sentences, and their elements as words. Circuit structures are defined by logic grammar called extended-DCSG. The grammar rules not only define circuit structures but also their relations to electrical behavior and functions. When given circuits are parsed, their structures and functions are derived.

### 1. はじめに

電子回路に関する推論や思考などの回路理解の過程を内省し、モデル化する研究を進めている。回路理解は大きく回路の構造理解と回路上で起こる電気現象の理解(動作理解)に分けてとらえることができる。AI研究の初期の時代に回路の構造理解に関する研究として、パターン認識の立場から回路を言語として扱う方法が提案されたが[Fu 82]、実用的なパーザを作るまでには至らなかったと思われる。一方、Sussmanらに始まるAI分野における回路の研究[Kleer 79]は回路の動作理解の研究として見ることができ、後に定性推論の研究へと発展している。

ここでは回路の構造理解と動作理解の統合を目指して回路理解のモデル化を行うために、最初に回路知識を構成するおよその概念を示し、次ぎに回路の構造理解から動作理解へ向けて進めている研究を紹介する。

### 2. 回路知識を構成する概念

これまで、回路の知識がどのような概念から構成されるかを客観的に調べるため、集積回路の設計に関する本の全文をコンピュータに入力してKWICコンコーダンスを作成し、語彙の分類を行った。

#### 2.1 ものの概念

回路の構成要素

- └ 端子
  - └ 外部端子 - 入力端子、出力端子、電源端子、
  - └ 素子の端子 - エミッタ、ベース、アノード、
- └ 素子
  - └ 受動素子 - 抵抗器、コンデンサ、コイル、
  - └ 能動素子 - 電圧源、電流源、信号源、
  - └ 半導体素子 - トランジスタ、ダイオード、
- └ 回路
  - └ (構造) - 直列回路、並列回路、ブリッジ、
  - └ (機能) - 増幅回路、発振回路、変調回路、
  - └ (部分) - 終段、帰還回路、バイアス回路、
  - └ (見方) - 等価回路

回路上の電気現象

- └ 電圧
  - └ (属性) - 交流電圧、直流電圧、パルス電圧
  - └ (機能) - 入力電圧、動作電圧、飽和電圧、
  - └ (場所) - コレクタ電圧、電源電圧、 $V_{be}$ 、
- └ 電流
  - └ (属性) - 直流電流、高周波電流、信号電流

- └ (機能) - 充電電流、バイアス電流、リーク
- └ (場所) - ベース電流、コレクタ電流、負荷
- └ 信号、雑音

#### 2.2 量、特性の概念

電気的な量

- └ 電圧電流の属性 - 平均値、実効値、周波数、位相角
- └ 素子の属性 - 抵抗、誘導、容量、 $H_{fe}$ 、許容損失、
- └ イミッタンス - インピーダンス、アドミッタンス、
- └ 回路の属性 - 増幅度、時定数、周波数特性、CMR、

#### 2.3 状態の概念

素子・回路の電気的狀態

- └ (スイッチ) - オン、オフ
- └ (コンデンサ) - 充電、放電
- └ (トランジスタ) - 能動、飽和、遮断
- └ (ダイオード) - 順バイアス、逆バイアス
- └ (増幅回路) - A級バイアス、B級バイアス、C級、

#### 2.4 ことの概念

電圧・電流

- └ (挙動) - 加わる、流れる、伝わる、
- └ (量の変化) - 変化する、増える、減る、～となる、

素子・回路

- └ (機能) - 発振する、制御する、増幅する、変換する、
- └ (構成) - 構成する、結合する、形成する

#### 2.5 様相の概念

- (程度) - ほぼ、正確に、以下、十分な、越えて、大きい、
- (その他) - 常に、可能、必然、許容、必要、要求、

#### 2.6 こと概念相互の関係

- (原因・結果) - 原因となる、結果を生じる、～になる、
- (理由・結論) - ～ので～なる、なぜなら、より、ゆえに
- (条件・事象) - 仮定して、もし、～のとき、～はいつも、
- (目的・行為) - ～するため、～するように

### 3. 回路の知識表現

#### 3.1 言語として見た回路

電子回路は一般に特定の目的のための機能ブロックとして設計される。機能ブロックはより下位の機能ブロックを組み合わせさせて構成され、最終的にトランジスタや抵抗器のような単一の部品の組み合わせから構成される。このような機能ブロックの

階層構造が言語の文法構造に似ていることから、回路を言語的に取り扱うことができる。回路素子を単語、回路を文、回路の構成規則を文法規則に対応させ論理プログラミングの方法で回路の構造解析を行う方法を提案している [田中 01]。素子は述語論理の複合項で表され、複合項の変数を共有することで素子の接続関係を表しているため、語順には意味を持たせていない。構造解析は語順を持たない言語 [Tanaka 91] の構文解析として行われる。

### 3.2 構造知識

回路の構造知識は文法規則の形で表される。パイポーラアナログ集積回路の構成要素は基本的にトランジスタと抵抗器だけなので、外部端子を含めても終端記号は数個あればよい。全ての機能ブロックは最終的にこれらの記号の組み合わせから構成される非終端記号として表すことになる。自然言語と比較して終端記号は極端に少ない。また、回路の構造も構成的に定義して行くことができる。

### 3.3 拡張 DCSG

機能ブロックは目的に対して有用な動作を行う。機能ブロックが機能するには特定の電氣的な条件が必要になる。すなわち、部分回路が機能ブロックとして同定されると、特定の電氣的条件のもとに特定の電圧や電流が機能を発揮する。そこで、文法規則は次ぎのような一般形をしている。

$$A, \{F_1, \dots, F_l\} \longrightarrow B_1, \dots, B_m, \{C_1, \dots, C_n\}.$$

A は定義される機能ブロック、 $B_1, \dots, B_m$  はそれを構成する下位の機能ブロックあるいは単体の回路素子であり、回路の接続条件を表している。左辺及び右辺の中括弧で囲まれた項は意味項と呼んで、回路の電氣的特性や条件を表している。すなわち、回路の電氣的特性や条件は回路の構造から生じる意味と考えている。

左辺の意味項は回路の機能を表し、右辺の意味項は回路が機能を発揮するための電氣的条件を示す。すなわち、この規則は「 $\{F_1, \dots, F_l\}$  の機能を持つ回路ブロック A は  $B_1, \dots, B_m$  から構成され、電氣的条件  $\{C_1, \dots, C_n\}$  の下で機能を発揮する」と読むことができる。

拡張 DCSG では終端記号は単に書き換えるべき右辺を持たない次ぎの形の文法規則として表される。

$$A, \{F_1, \dots, F_l\}.$$

すなわち、回路素子 A は無条件に電氣的な特性  $\{F_1, \dots, F_l\}$  を持つと読むことができる。トランジスタの場合は能動、飽和、遮断状態のそれぞれに意味項のことなる定義を与えておくと、構造解析の際に非決定的に適用されることになる。

## 4. 構造理解と動作理解

De Kleer は回路上の電圧・電流の因果関係を回路から直接的に求める試みを行っている [Kleer 79]。基本的な原理から動作理解を行うため、回路のパターン情報を意図的に排除しており、因果関係が発散する傾向にあった。発散を押えるために、不確実なヒューリスティクスを導入している。一方、我々の方法は回路を設計者により意図的に構成された文とみなし、動作理解の前に構文解析を行っているため、先に素子や部分回路の目的・機能の情報が多量に得られている。すなわち、回路をどう読めば良いかの情報が得られているので、発散してしまう電圧・電流の因果関係もどれが機能にとって重要なもので、どれが副次的なものが区別できる。

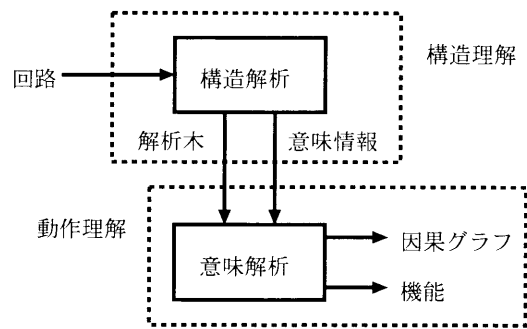


図 1: 回路理解のモデル

## 5. 設計と解析

SPICE のような回路シミュレータは与えられた回路から、各部の電圧や電流を数値的に求めることができる。一方、回路理解モデルは人の回路理解のシミュレータとして働き、回路から機能や動作を言語的・記号的に求めることができる。回路理解モデルが導く機能や動作は回路の実際の動作を表すのではなく、設計者が意図した機能や動作を表している。システムはロジックプログラムで構成されているので、入出力を取り換えると設計動作を行うことになる。

## 6. おわりに

回路の構造定義には予め限られた数の終端記号を用いて文法規則を定義する。一方、意味項を記述するための記号は予め定めておくことが難しく、文法規則の増加とともに増えて行くことになる。そこで新しい述語の導入時に解釈の一貫性を保つため自然言語との変換が行えるようにしている。

この研究は回路に対して言語理解の方法がある程度通用することを示している。しかし、最初に示した回路の概念分類を眺めると、まだ形式化できていない部分が多いことに気づく。回路の構造と機能に関する概念は文法規則として定義されたのであるが、実際の回路理解には記号化の難しい特性曲線や信号波形など図形上の推論も重要になり、記号的な方法の限界も存在すると考えられる。

## 参考文献

- [Fu 82] K.S. Fu: Syntactic Pattern Recognition and Applications, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall (1982).
- [Kleer 79] J. De Kleer: Causal and Teleological Reasoning in Circuit Recognition, TR-529, Artificial Intelligence Lab., M.I.T. (1979).
- [Tanaka 91] Takushi Tanaka: Definite Clause Set Grammars: A Formalism for Problem Solving, J. Logic Programming, Vol.10, pp. 1-17 (1991).
- [田中 01] 田中卓史: 論理文法「拡張 DCSG」と回路理解への応用、人工知能学会論文誌 16 巻 6 号 A, pp.454-464 (2001).
- [IC 76] Interdesign Inc.: 101 Analog IC Designs, Sunnyvale, CA., (1976).