

内田 潤一† 安達 由洋†

† 東洋大学工学部

1 はじめに

フローチャート、状態遷移図、あるいはシグナルフローグラフなど、特定の構文規則に基づいて基本図形を組み合わせた図の集まりを図形言語という。図形言語は理工学のさまざまな分野で利用されているが、新しい図形言語を開発したり、構文規則を定式化する作業は容易ではない。

本稿では、図形言語のグラフ構文規則を文脈依存 NCE グラフ文法を用いて定式化する作業を支援する研究について報告する。本研究で実現した図形言語設計支援システムは、ユーザが GUI を用いて入力したプロダクション集合に対して、自動的に構文解析可能性と合流性をチェックする機能、ユーザが指定した長さの導出で生成される図を一覧表示する機能、GUI 上で編集した図を構文解析する機能などを持つ。

2 文脈依存 NCE グラフ文法

図形言語の構文規則を定式化する基礎となる文脈依存 NCE グラフ文法 [1, 2] について概説する。

Σ をノードラベルのアルファベット、 Γ をエッジラベルのアルファベットとする。このとき、 Σ と Γ 上のグラフとは、三つ組 $H = (V, E, \lambda)$ である。ここで、 V はノードの空でない有限集合、 $E \subseteq \{(v, \gamma, w) \mid v, w \in V, v \neq w, \gamma \in \Gamma\}$ はエッジの有限集合、そして $\lambda: V \rightarrow \Sigma$ はノードラベリング関数である。グラフ H の構成要素をそれぞれ V_H , E_H , λ_H と書く。

定義 1 (文脈依存 NCE グラフ文法) 文脈依存 NCE グラフ文法とは 6 項組 $G = (\Sigma_N, \Sigma_T, \Gamma_N, \Gamma_T, S, P)$ である。ただし、

- (1) Σ_N : 非終端ノードラベルのアルファベット,
- (2) Σ_T : 終端ノードラベルのアルファベット,
- (3) Γ_N : 非終端エッジラベルのアルファベット,
- (4) Γ_T : 終端エッジラベルのアルファベット,

*Visual Language Design System Based on the Context-Sensitive NCE Graph Grammar

†Jyunichi Uchida, Yoshihiro Adachi, Department of Information and Computer Sciences, Toyo University

(5) $S \in \Sigma_N$: スタートラベル, スタートグラフ H_S は スタートラベル S を持つエッジのないノード 1 点からなるグラフである,

(6) P : プロダクションの空でない有限集合, P の各要素 p は 3 項組 (A, B, C) で表される。ただし、
 (a) $A \in GR_{\Sigma_N, \Gamma_N, \Sigma_T, \Gamma_T}$, $B \in GR_{\Sigma_N, \Gamma_N, \Sigma_T, \Gamma_T}$.
 (b) $C \subseteq \Sigma_{N \cup T} \times V_A \times \Gamma_{N \cup T} \times \Gamma_{N \cup T} \times V_B \times \{\text{in}, \text{out}\}$.

プロダクション $p = (A, B, C)$ において、 C を結合関係といい、 C の各要素 $(\sigma, v_A, \beta, \gamma, v_B, d)$ を p の結合命令という。□

定義 2 (導出) $G = (\Sigma_N, \Sigma_T, \Gamma_N, \Gamma_T, S, P)$ を文脈依存 NCE グラフ文法とする。 H と H' を $\Sigma_{N \cup T}$ と $\Gamma_{N \cup T}$ 上のグラフ、 A' を H の誘導部分グラフとする。そして $p' = (A', B', C') \in \text{copy}(P)$ であり、 H と B' は互いに素であるとする。このとき、プロダクションコピー p' のグラフ H への左適用とは、次の要素 $V_{H'}$, $E_{H'}$, $\lambda_{H'}$ を持つグラフ H' を構成することである。

$$\begin{aligned} V_{H'} &= (V_H - V_{A'}) \cup V_{B'}, \\ E_{H'} &= \{(v, \gamma, w) \in E_H \mid v, w \in V_H - V_{A'}\} \cup E_{B'} \cup \{(v, \gamma, y) \mid v \in V_H - V_{A'}, (v, \beta, x) \in E_H, (\sigma, x, \beta, \gamma, y, \text{in}) \in C', \lambda_H(v) = \sigma\} \cup \{(y, \gamma, v) \mid v \in V_H - V_{A'}, (x, \beta, v) \in E_H, (\sigma, x, \beta, \gamma, y, \text{out}) \in C', \lambda_H(v) = \sigma\}, \\ \lambda_{H'}(x) &= \begin{cases} \lambda_H(x), & x \in V_H - V_{A'} \\ \lambda_{B'}(x), & x \in V_{B'}. \end{cases} \end{aligned}$$

グラフ H にプロダクションコピー p' を左適用して H' が得られるとき $H \Rightarrow_{p'} H'$ と書き、 H から H' への導出ステップという。また、導出ステップの系列 $H_0 \Rightarrow_{p'_1} H_1 \Rightarrow_{p'_2} \dots \Rightarrow_{p'_n} H_n$ を導出といい、系列の長さ n を導出の長さという。□

$\mathcal{L}(G) = \{H \in GR_{\Sigma_T, \Gamma_T} \mid H_S \xRightarrow{*} H\}$ を G によって生成されるグラフ言語という。

ノードラベルのアルファベットの直和分解 $\Sigma_{NUT} = L_0 \oplus L_1 \oplus \dots \oplus L_n$ をレイヤードラベル集合という。また、 $L_0, L_1, \dots, L_n$ をレイヤー割り当てという。このレイヤードラベル集合上のグラフ間の順序を次のように定義する： $H < H' \Leftrightarrow \exists i: |H|_i < |H'|_i : \wedge \forall j < i: |H|_j = |H'|_j$ 。ここで $|H|_k$ は $|\{x \in V_H \mid \text{layer}(x) = k\}|$ と定義する。ただし、関数 layer は、与えられたグラフ H の任意のノードに対して、そのラベルが属するレイヤーのインデックスを返す。

定義 3 (レイヤード文脈依存 NCE グラフ文法) 文脈依存 NCE グラフ文法 $G = (\Sigma_N, \Sigma_T, \Gamma_N, \Gamma_T, S, P)$ は、そのすべてのプロダクション $p = (A, B, C) \in P$ が $A < B$ となるノードラベルアルファベットのレイヤー割り当てが存在するとき、レイヤードの性質を満たすという。また、このとき G をレイヤード文脈依存 NCE グラフ文法という。□

定理 1 $G = (\Sigma_N, \Sigma_T, \Gamma_N, \Gamma_T, S, P)$ をレイヤード文脈依存 NCE グラフ文法とする。スタートグラフを左辺に持つプロダクションを除くすべてのプロダクション $p = (A, B, C) \in P$ に対して次の条件 (1) と (2) が成り立つとき、 G は構文解析可能である：

- (1) $\forall \sigma \in \Sigma, \forall v_A \in V_A, \forall \beta \in \Gamma, \forall d \in \{\text{in}, \text{out}\}, (\sigma, v_A, \beta, \gamma, v_B, d) \in C$.
- (2) $(\sigma, v_{A1}, \beta_1, \gamma, v_B, d) \in C \wedge (\sigma, v_{A2}, \beta_2, \gamma, v_B, d) \in C$ ならば、 $v_{A1} = v_{A2} \wedge \beta_1 = \beta_2$ 。□

構文解析可能なレイヤード文脈依存 NCE グラフ文法に対して次の性質を持つボトムアップ構文解析アルゴリズム PARSE を構成できる。

性質 1 アルゴリズム PARSE は、構文解析可能かつレイヤードの性質を満たす文脈依存 NCE グラフ文法に基づいて任意のグラフを構文解析したとき、文法に対して正しいグラフには 'valid' とそのグラフを導出するプロダクションの系列を出力して停止する。また、文法に対して正しくないグラフには 'invalid' を出力して停止する。□

3 図形言語設計支援システム

図形言語を用いた応用プログラムでは、入力した図形の正しさの判定や、意味計算の基になる構文構造の認識のために構文解析が不可欠である。したがって、図形言語のグラフ構文規則は構文解析可能なグラフ文法で定式化する必要がある。本システムは、図形言語の構文規則を定式化する作業の各フェーズを支援するために次のような機能を持っている：

- ノードラベルとエッジラベルの登録

ユーザは GUI 上で容易にラベルの編集、登録、再利用ができる。

- プロダクションの編集、登録

ユーザは GUI 上で容易にプロダクションの編集、登録、再利用ができる。本システムは登録したプロダクション集合がレイヤード条件および構文解析可能条件を満たすか否かを自動的にチェックして、これらの条件を満足しないときにはユーザに警告を出す機能を持っている。

- プロダクションの適用、導出

ユーザは定義した文法の生成能力を GUI 上でプロダクションを実際に適用してチェックできる。本システムは、スタートグラフから順次、1 ステップごとにユーザが指定したマザーグラフに指定したプロダクションを適用して導出される図形を表示する機能を持っている。また、導出の長さを指定して、その長さの導出で生成できる図形の一覧を表示する機能もある。

- 図形の構文解析

ユーザは定義した文法の生成能力を、生成したい図形を構文解析することによりチェックできる。本システムは、登録されたラベルを用いて GUI 上で描いた図形を、登録されたレイヤード条件および構文解析可能条件を満たすプロダクションの集合を用いて構文解析する機能を持っている。

本システムで設計した図形言語のグラフ構文規則のデータはファイルに出力することにより、応用プログラムで利用することができる。

4 おわりに

文脈依存 NCE グラフ文法に基づいた図形言語の定式化を支援するシステムの開発研究を行った。現在、文脈依存 NCE グラフ文法を基底文法にした属性グラフ文法 [3] を扱えるようにシステムの拡張を行っている。

参考文献

- [1] Adachi, Y., Nakajima, Y., and Kobayashi, S., "An NCE Context-Sensitive Graph Grammar and its Application to Visual Languages", *Proc. Conference on Software: Theory and Practice of the 16th IFIP World Computer Congress* (2000), 108–116.
- [2] 安達由洋, 小林卓, "文脈依存 NCE グラフ文法とその構文解析可能性", 情報処理学会論文誌 (採録決定).
- [3] Adachi Y., Kobayashi S., Tuchida K., and Yaku T., "Attribute Graph Grammar for Signal Flow Graphs", *Proc. the IEEE International Conference on Control Applications*, (1999), 1549–1554.