プロセス数に依存しない動作記述における状態の到達可能性解析 *

4Q−4

柴田 健次、平川 豊、竹中 豊文 †
ATR通信システム研究所 ‡

1 はじめに

不特定多数のプロセスを扱う通信システムにおいて、動作を記述する際、プロセスを固定して表す場合が多い。従って、状態の到達可能性解析は、通常固定されたプロセス数の範囲内で行われている。しかしながら、任意個のプロセスを扱う場合、あるプロセス数からなるシステムでは状態の到達可能性が言えず、より多くのプロセス数からなるシステムでは、状態の到達可能性が言える、ということが起こり得る。そこで、本稿では、プロセス数に依存しないシステムの動作記述法を前提に、プロセス数と到達可能な状態の集合との間の関係について示し、到達可能性を判定する手法について提案する。

2 部分要求の充足性問題

2.1 プロセス数に依存しない動作記述法

プロセス数に依存しない通信サービスの記述法として、現状態、イベント、次状態の形式による状態要素を用いたルール記述を既に提案している [1][2]。図1の一番目のルールは「プロセスAの現状態がidleのとき、Aがoffhookをすれば、dial-toneを受けている状態に遷移する」ことを意味している。ここで、Aはプロセスを一般的に示しており、Aにプロセス名を代入することで、任意のプロセスに対して上述のようにルールを適用できる。

idle(A) offhook(A) : out(A, dial-tone).
out(A, dial-tone), idle(B) dial(A, B) :
out(A, ringback, B), out(B, ringing, A).
out(A, ringback, B), out(B, ringing, A)
offhook(B) : path(A, B), path(B, A).
out(A, dial-tone), path(B, C)
dial(A,B) : out(A, busy), path(B, C).

図 1: 基本電話サービス記述 (一部)

2.2 部分的要求記述

本稿では、要求として前節で述べた形式の状態記述を用い、始状態および目標状態からなる部分的要求記述を考える。例えば、「プロセスAがdial-toneを受け、プロセスBがプロセスCと通話している状態」を始状態とし、この始状態から「プロセスAがプロセスBと通話している状態」という目標状態に到達したい、という部分要求は、次式のように記述する。

$$out(A, dial-tone), path(B,C) \longrightarrow path(A,B)$$

この要求と、あるシステムのふるまいを規定したルール集合が与えられたとき、「ルール集合に規定される動作によって部分要求が満足されるか否か」という要求充足性判定問題が考えられる。充足性判定問題は、以下のような具体的な問題が計算機により実行できるという点で重要である。

- サービス記述が要求を満足しているか否かの判定
- 既存サービスの組合せによって部分的な要求を構成する場合の、組合わせる既存サービスの候補の抽出
- 部分的な要求を満足する具体的なイベント系列の抽出

上記要求充足性判定問題はさらに2つの判定問題に分割される。

- 指定された始状態への到達可能性
- 指定された始状態から目標状態への到達可能性

3 状態の到達可能性判定

本章では、前章で示した問題のうち、指定された始状態への到達可能性について検討する。

3.1 モデル化および定義

図1のサービス記述において、プロセスの状態として、idle、out等の述語を規定し、引数に自プロセス、対象プロセス等を指定した。ここでは、状態を $s_i(0 \le i \le n-1)$ で示す。例えば、プロセスAが状態 s_1、プロセスBが状態 s_2 の2つのプロセスで規定される始状態は、"$s_1(A), s_2(B)$" のように記述する。以下に、ここで扱うモデルの前提条件を示す。

- 各プロセスの状態は、$s_i(0 \le i \le n-1)$ によって記述される。
- 全てのプロセスは、同じ有限状態オートマトンである。
- システムのふるまいは、不特定多数のプロセス間の状態遷移を特定するルール集合 R で記述される。
- 判定しようとする要求の始状態に規定されるプロセス数を q、ルールの適用によって状態が遷移するプロセス数の最大値を r とし、$max(q,r) = m$ とする。

本稿で使用する用語および記号の定義を以下に示す。

[定義 1] システム T_n
n 個のプロセス $P_1, \cdots, P_n$ からなるシステムを T_n と書く。ここで、各プロセスの初期状態は、s_0 とし、T_n の動作は、R で規定される。 □

[定義 2] システム状態
T_n の各プロセス P_i が状態 v_i であるとき、$(v_1, \cdots, v_n)$ をシステム状態と呼ぶ。 □

[定義 3] 状態集合
集合 $\{t_1, \cdots, t_k\}$ において、任意の $i(1 \le i \le k)$ に対して $t_i \in \{s_0, \cdots, s_{n-1}\}$ のとき集合 $\{t_1, \cdots, t_k\}$ を状態集合と呼ぶ。 □

---

*Reachability analysis for a behavior desc ɔtion independent of the number of processes
†Kenji SHIBATA, Yutaka HIRAKAWA, T yofumi TAKENAKA
‡ATR Communication Systems Research Laboratories

[定義 4] システム状態が T_n で到達可能
システム状態 $(s_0, \cdots, s_0)$ は T_n で到達可能である。システム状態 $(t_1, \cdots, t_n)$ が T_n で到達可能であり、かつ、あるイベントによってシステム状態が $(t_1, \cdots, t_n)$ から $(z_1, \cdots, z_n)$ に変化するとき、システム状態 $(z_1, \cdots, z_n)$ は T_n で到達可能である。 □

[定義 5] 状態集合が T_n で到達可能
システム状態 $(t_1, \cdots, t_n)$ が T_n で到達可能のとき、$\{z_1, \cdots, z_m\} \subseteq \{t_1, \cdots, t_n\}$ を満たす状態集合 $\{z_1, \cdots, z_m\}$ は、T_n で到達可能である。 □

[定義 6] $R_m(T_n)$
T_n で到達可能な状態集合のうち、要素数 m の状態集合を要素とする集合。 □

[定義 7] $Min(\{t_1, \cdots, t_n\}, m)$

(1) $n > m$ の場合
以下を満足するプロセス数 i の最小値。
$\{z_1, \cdots, z_m\} \subset \{t_1, \cdots, t_n\}$ なる、任意の状態集合 $\{z_1, \cdots, z_m\}$ が T_i で到達可能である。

(2) $n \leq m$ の場合
以下を満足するプロセス数 i の最小値。
ある状態集合 $\{z_1, \cdots, z_m\}$ が存在し、
$\{t_1, \cdots, t_n\} \subseteq \{z_1, \cdots, z_m\}$ かつ、
状態集合 $\{z_1, \cdots, z_m\}$ が T_i で到達可能である。

□

[定義 8] 到達可能性判定問題
動作規定記述 R、状態集合 $\{x_1, \cdots, x_m\}$、初期状態 s_0 が与えられたとき、以下を満足する T_n が存在するならば、$\{x_1, \cdots, x_m\}$ は到達可能である。
$\{x_1, \cdots, x_m\}$ が、$\{x_1, \cdots, x_m\} \subseteq \{z_1, \cdots, z_n\}$ を満たし、$\{z_1, \cdots, z_n\}$ が T_n で到達可能。 □

3.2 到達可能状態とプロセス数との関係

本節では、到達可能な状態と、システムを構成するプロセス数との間のいくつかの性質を示す。

[性質 1] あるプロセス数のシステムで、ある状態集合 $\{t_1, \cdots, t_m\}$ が到達可能であれば、より多いプロセス数のシステムにおいても、同じ状態集合 $\{t_1, \cdots, t_m\}$ が到達可能である。
すなわち、

$$R_m(T_i) \subset R_m(T_{i+1}) \ or \ R_m(T_i) = R_m(T_{i+1})$$

□

[性質 2] T_i で到達可能な状態集合のうち、要素数が m の状態集合を要素とする集合の要素数は有限である。
すなわち、

$$\forall i, \exists M; \ | R_m(T_i) | \leq M$$

□

[性質 3] 任意の k に対して以下が成立する。
T_k で到達可能な一つのシステム状態を $(u_1, \cdots, u_k)$ としたとき、あるイベントにより、システム状態が $(u_1, \cdots, u_k)$ から $(v_1 \cdots, v_k)$ に変化したとする。このとき
$Min(\{v_1, \cdots, v_k\}, m) \leq m \cdot Min(\{u_1, \cdots, u_k\}, m)$
が成り立つ。 □

3.3 到達可能性の判定条件

不特定多数のプロセスで構成されるシステムにおいて、状態集合の到達可能性を判定するには、判定に必要なシステムのプロセス数を決定することが必要となる。そのための定理として、以下が導かれる。

[定理] 不特定多数個のプロセスの動作を規定するルール集合が与えられたとき、以下が成立するような整数 k が存在する。

$$k \leq i; \ R_m(T_{m^i}) = R_m(T_{m^{i+1}})$$
$$k > i; \ R_m(T_{m^i}) \subset R_m(T_{m^{i+1}})$$

□

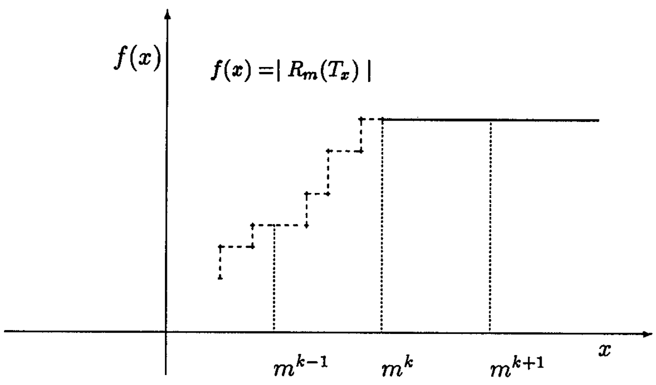

図 2: 定理の説明図

本定理は、3.2 節で示した性質を利用し、以下の 2 点を示すことによって証明される。

- $\exists j; \ R_m(T_{m^j}) = R_m(T_{m^{j+1}})$
- $R_m(T_{m^j}) = R_m(T_{m^{j+1}})$ のとき、
$j < k, \forall k; \ R_m(T_{m^k}) = R_m(T_{m^{k+1}})$

本定理により、次のことが言える。$i = 1$ から始め、$R_m(T_{m^i}) = R_m(T_{m^{i+1}})$ となった時の i を k とする。指定された状態集合の到達可能性判定は、プロセス数 m^k で構成されるシステムについて行えば十分である。

4 おわりに

不特定多数のプロセスで構成されるシステムに対して、状態の到達可能性判定の問題を検討した。到達可能な状態とシステムを構成するプロセス数との関係を明らかにし、到達可能性判定を行うのに十分な手法を提案した。今回は、指定された部分的要求の始状態の到達可能性について検討したが、始状態から目標状態への到達可能性判定問題についても同様な条件が成立する。

参考文献

[1] Hirakawa, Y., Harada, Y., Takenaka, T., "A Description Method for Advanced Telecommunication Services," 信学会交換システム研究会資料, SSE 89-87 pp. 37-42, Oct. 1989

[2] Hirakawa, Y., Harada, Y., Takenaka, T., "Behavior Description For A System Which Consists Of An Infinite Number Of Processes," Bilkent Int. Conference on New Trends in Communications, Control, and Signal Processing, July 1990 (to be published)