3K−9

# 有限状態機械・ペトリネットによる分散仕様記述からの全体仕様記述生成アルゴリズム

藤田一樹　大本周広　稲積宏誠
青山学院大学理工学部経営工学科

## 1.はじめに

分散協調システムの設計においては，設計者がノード（計算機）間の通信動作を含む各ノードの動作仕様を記述する必要がある。しかし，一般にそれらの通信動作は複雑なデータ転送や同期通信を含むため誤りが生じやすい．そこで，分散システム全体の要求仕様から要求仕様通りに動作する各ノードの動作仕様を自動生成できることが望まれている．また，分散システムにおいては各ノードのリソースなどの内部仕様の変更が独自に行われる場合がある．このような状況では，全体仕様の見直しと分散仕様の再構成が必要となることが予想される．

そこで，本研究では有限状態機械とペトリネットを用いたソフトウェアの全体動作仕様から分散動作仕様への変換に関する一連の研究[1] [2]に注目し，整合性を満足する全体仕様への逆変換を実現するためにペトリネットモデルによるアルゴリズムを提案する．

## 2.拡張有限状態機械(EFSM)モデル[1]

分散システム全体の要求仕様を有限個のレジスタをもつ５字組 $M$=(S,R,$\pi$,$\delta$,init)の EFSM(有限制御部の状態の有限集合 s，有限個のレジスタの集合 R，ゲートの入出力による２種類の動作の集合$\pi$，状態遷移関数$\delta$，初期状態 init)としてモデル化する．

与えられた EFSM を$p$個のノードからなる分散システム上で協調して動作するシステムとして実現することを考える．各ノード$k$の動作仕様をEFSM$k$で表し，上述の EFSM としてモデル化する．このような $p$ 個の動作仕様を分散システムの動作仕様と呼ぶ．分散システムの動作仕様の導出に際しては，レジスタおよび入出力ゲートがそれぞれどのノードに属するのかをユーザが割り当てる．ただしレジスタは複数ノードに属してもよく，ノード間の通信路は無限容量をもつものとしてノード間メッセージ数最小条件を満足する分散仕様を求める．

各 EFSM$k$ は EFSM の１つの状態遷移を通信のための遷移を加えた幾つかの状態遷移系列に置き換えることにより構成される．また，レジスタの更新は更新すべき各ノードが，計算に必要な引数のレジスタ値を他ノードから受け取り，自ノードで計算後更新を行うことにより実現する．

レジスタの更新は，責任ノード Snode(Si)(その状態での同期監視ノード)と呼ばれるノードがレジスタ値や入力変数の送信要求，更新の指示を出す．このようなメッセージが$\mu$型メッセージである．また，直接レジスタ変更に関わるノードが用いるのが更新のためのレジスタ値の転送を行う$\beta$型メッセージである．さらに，レジスタ値の更新終了や責任ノードの交替を行う$\xi$型メッセージを必要とする．

分散仕様の導出に関してはレジスタ更新のための通信メッセージによる動作系列 TS(Proc1～Proc5)を決定することが重要となる．

[動作系列 TS]

Proc1　ノード $k\in$ Snode(Si)ならば $k$が実行可能であるかを判定し，実行可能な動作があれば実行する．

Proc2　ノード $k\in$ Snode(Si)ならば$\mu$型メッセージを送る．ノード $k\in$($\mu$を受け取るべきノード)ならば$\mu$型メッセージを受け取る．

Proc3　ノード $k\in$(レジスタ値を送るべきノード)ならばレジスタ値($\beta$型メッセージ)を送る．ノード $k\in$(レジスタ値を受け取るべきノード)ならば$\beta$型メッセージを受け取る．

Proc4　ノード $k\in$(レジスタ値変更を要するノード)ならばレジスタ値を更新する．

Proc5　ノード $k\in$(レジスタ値更新処理を行なったノード)ならば Snode(Sj)に$\xi$型のメッセージを送る．$k$ =Snode(Sj)ならば$\xi$からのメッセージを受け取る．

このように各動作の中で，Proc1 と Proc4 以外は分散仕様実現に伴う直接,間接的な通信のみの処理であることが分かる．

## 3.ペトリネットモデルによる全体仕様の逆導出

拡張有限状態機械モデルにるノードの分散動作仕様をペトリネットで表現し，ネットインバリアントに基づいて全体仕様を求めるための逆導出法を示す．

まず，個々のノードの分散仕様群をペトリネットに変換しノード間の通信を付加して全体仕様($PN$)を求める．次に，$PN$ からメッセージ通信を含まない実質動作(Proc1,Proc4)のみで構成される構造に簡約するためにペトリネットにおけるTインバリア

---

Generating Algorithm of Total Specificational Description by using Finite State Machine and Petrinet from Distributed Specificational Description
Kazuki Fujita, Narihiro Omoto, Hiroshige Inazumi
Department of Industrial and Systems Engineering, Faculty of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

ントを求める．Tインバリアントとは可能な動作系列を意味しており，初等的 T インバリアントで0でない要素に対応するトランジションは活性である．和分解不可能な初等的Tインバリアントでネット全体が被覆されていることは，その全体仕様の完全性を保障するものであり，さらに各初等的Tインバリアントは基本的動作系列を示すものと考えられる．そこで，全体仕様 *PN* を素動作系列のプレースと情報通信用のプレースを結合した接続行列から初等的Tインバリアントを求める．各初等的Tインバリアントに対して，トランジションに与えられるステートメントからその中に含まれる proc1 と proc4 を判別し，それらが連続動作となるように，ネット上で新たな結合関係をつくる．このとき全体仕様 *PN* 上での状態遷移関係の実行順序を保つために，実際に全体仕様 *PN* のネット上を proc1･proc4 を追跡しながら新たな結合関係を決定していくことにする．

［例］文献[1]で取り扱われたレジシステムをノード数２で図１のように分散配置し，各トランジションのステートメントが図２のように与えられたとする．

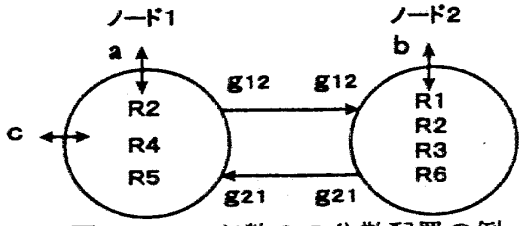

図１　ノード数２の分散配置の例

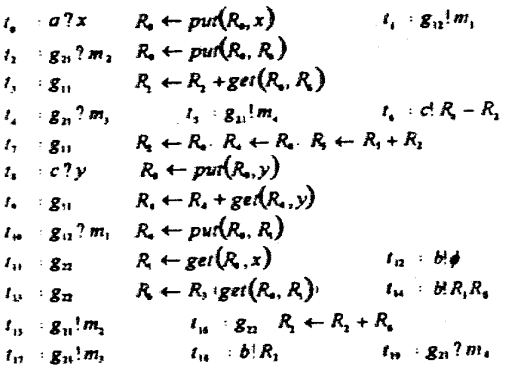

図２　各トランジションが持つステートメント

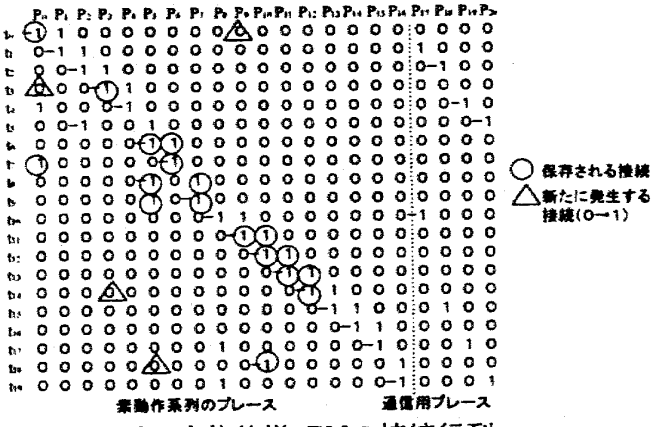

図３全体仕様 *PN* の接続行列

$t_0$ $t_1$ $t_2$ $t_3$ $t_4$ $t_5$ $t_6$ $t_7$ $t_8$ $t_9$ $t_{10}$ $t_{11}$ $t_{12}$ $t_{13}$ $t_{14}$ $t_{15}$ $t_{16}$ $t_{17}$ $t_{18}$ $t_{19}$

1 0 0 4 0 0 1 4 1 4 0 4 1 4 1 0 4 0 1 0

Tインバリアント

[1] 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

[2] 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0

[3] 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1

図４接続行列から求まる初等的Tインバリアント

図２において $a!E(\ ), b?x$ は外部入出力ゲートを，$g_{ij}$ はレジスタの更新を表すために便宜上使用されるゲートを表す．また，補助関数 *put* はレジスタへの値の格納を，*get* はレジスタからの値の取り出しを意味し，←でレジスタ更新を行っている．これにより，Proc1 は $t_0$, $t_5$, $t_8$, $t_{12}$, $t_{14}$, $t_{18}$ であり，Proc4 は $t_3$, $t_7$, $t_9$, $t_{11}$, $t_{13}$, $t_{16}$ であることがわかる．

プレース･トランジション行列を図３のように求める．ただし，$P_{17}$～$P_{20}$ は通信用の仮想プレースである．この行列から３つの初等的Tインバリアントを求め，それぞれのトランジションが Proc1,4 に属するる否かを判定し，実際の入出力処理とレジスタ更新処理を行なっているか，通信処理のみかを分類する．

以上の前処理の後，各初等的Tインバリアントに対応するトランジション列を接続行列上でたどりながら

(1)Proc1,4 以外のトランジションの接続関係を削除

(2)Proc1－Proc1,Proc1－Proc4 の接続となるように接続関係の変更

を繰り返す．その結果，図３の接続行列が更新され，全体仕様が構成されることになる．

## 4.おわりに

本研究では，分散仕様から全体仕様への逆導出アルゴリズムを提案し，その正当性を示した．

今回提案したTインバリアントによる解析に基づいたペトリネットによる仕様記述は，分散仕様と全体仕様の相互変換を無矛盾に行えるものとして有用である．双方向性をもつモデル化の枠組みにより，作業プロセスや資源の変更に即座に対応した支援を行えるものと考えられる．

## 参考文献

[1]岡野浩三，今城広志，東野輝夫，谷口健一：“拡張有限状態 機械モデルを用いた分散システムの要求仕様から各ノードの動作仕様の自動導出” 情処学論，vol.34,No.6,pp.1290－1301, 1993.

[2]山口弘純，岡野浩三，東野輝夫，谷口健一：“レジスタ付きペトリネットを用いた全体動作仕様から分散動作仕様の自動合成とその応用” 電情通学論，vol.J80-A,No.7,pp.1064－1072, 1997.