

はじめに

並列プログラム言語MENDEL/SSの複合オブジェクトは、本体部と同期部から構成される。このMENDELプログラムの自動生成において、本体部は部品再利用により合成され、同期部は時制論理とベトリネットから合成される。本報告では、時制命題論理とベトリネットから同期部を自動生成する手法を述べる[1]。

時制論理とベトリネット

時制論理は、並列システムの制約を記述するのに通している。しかし、並列システムの構造を記述しようとすると、フレーム問題に直面し記述量が膨大になる。一方、ベトリネットは、並列システムの構造を記述できる汎用的な言語である。そこで、システムの構造はベトリネットで記述し、システムの制約は時制論理で記述するという組み合わせが有効である(図1)。

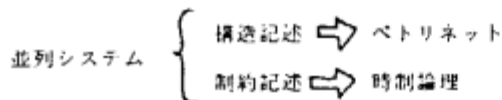


図1 時制論理のベトリネットの組み合わせ
MENDEL ネット (構造記述)

MENDELのソースプログラムから、その構造を表わす有限ベトリネットが自動的に生成できる。これをMENDEL ネットと呼ぶ。例えば、「2人の哲学者の食事」のMENDELプログラムから生成されるMENDEL ネットは図2のようになる。

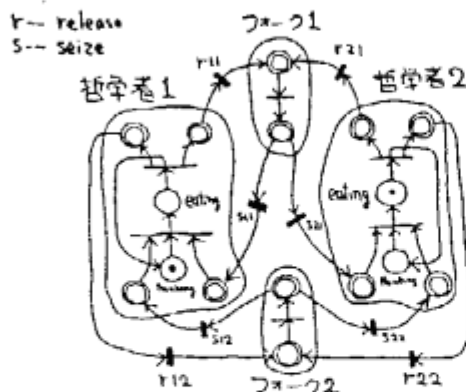


図2 「2人の哲学者の食事」 MENDEL ネット

Synchronization part synthesis from Temporal Logic
Naoshi Uchihira, Hideji Kawata, and Shinichi Honiden
Systems & Software Eng. Lab., TOSHIBA Corp.

ここで、オブジェクト内部のトランジションをメソッドトランジション（細棒で表示）と呼び、オブジェクト間のトランジションをゲートトランジション（太棒で表示）と呼ぶ。

同期仕様記述言語TSL (制約記述)

MENDEL ネットで与えられたシステムの構造において、オブジェクト間の同期制約は、ゲートトランジションの発火順序の制御で実現できる。同期制約を、時制命題論理をベースとした同期仕様記述言語TSL (Temporal Specification Language) で記述する[2]。図2の例の場合、同期制約は次のようなTSL記述となる。

$$\square(r11 \leftrightarrow r12) \wedge \square(r21 \leftrightarrow r22) \wedge \square \diamond(s11 \vee s12) \wedge \square \diamond(s21 \vee s22)$$

ここで、 s_{ij} は哲学者 i がフォーク j を掴むこと、 r_{ij} は哲学者 i がフォーク j を放すこと、を意味している。

同期部の生成手順

MENDEL ネットとTSLによる同期制約から、同期部を生成する手順を図3に示す。

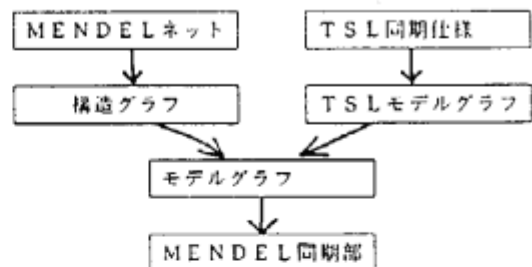


図3 同期部の自動生成手順

MENDEL ネットから構造グラフの生成

まず、MENDEL ネットから可到達木 (reachability tree) を作る。プレースの中のトークンの数が有界であれば、この可到達木から、トランジション名をエッジとする状態遷移図が簡単に導出できる。有界でなければ、しきい値処理をして、疑似的に有界にして、状態遷移図を作る。ここで、各エッジには、ゲートトランジションかメソッドトランジションがのっているが、発火制御の対象はゲート

だけなので、メソッドトランジションを、有限オートマトンにおける遷移とみなして状態遷移図を縮約する。縮約されたグラフを構造グラフ (SG) と呼ぶ。

TSLからTSLモデルグラフの生成

この生成手続きは、時刻命題論理の定理証明手法の1つであるタブロー法をベースとしている[3]。このタブロー法により、TSLで記述された同期仕様 (TS) から、その仕様を充足する全てのモデルの集合をグラフ形式で生成することができる。生成されるグラフをTSLモデルグラフ (TM) と呼ぶ。TMの各エッジには、構造グラフと同様にゲートトランジションがついている。このTM上を公平に推移しながら、エッジ上のゲートトランジションを発火させる任意の系列はTSのモデルである。つまり、その発火系列は同期仕様を満たしている。同期仕様に自己矛盾があれば、TMは空グラフになる。

モデルグラフ=構造グラフ×TSLモデルグラフ

TMから導ける任意の発火系列が、TSを満たすことは保証されている。しかし、TMはシステムの構造に無関係に生成されたものであるから、その発火系列が実際のシステム上で実行可能である保証はない。そこで、TMと構造グラフとの積をとることにより、構造を考慮したうえで実行可能な発火系列の集合をグラフ形式で生成する。このグラフを単にモデルグラフ (MG) と呼ぶ。

(定理)

Mが空グラフのとき、TSを充足する発火系列は存在しない。

定理の逆はいえない。すなわち、Mが空でなくても、M上の発火系列が実行可能とは限らない。その理由は、MENDELソースプログラムからMENDELネット、構造グラフを生成する過程で、細かいプログラム情報を無視するために制約を緩和させる方向で処理しているからである。「2人の哲学者の食事」の例の場合、図4のようなモデルグラフが生成できる。

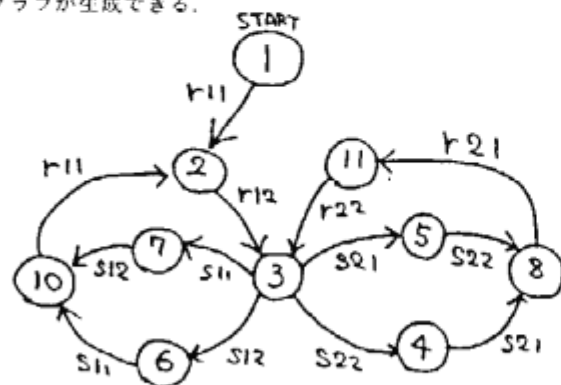


図4 「2人の哲学者の食事」のモデルグラフ

同期部のコード生成

モデルグラフは、有限オートマトンである。MENDELの同期部は有限オートマトンの形式で生成される。「2人の哲学者の食事」の例の場合、図5のような同期部のプログラムが生成できる。公平さは、MENDELのインタプリタが保証する。

```
sync: [
    ([ trans(n(1).n(2).[],r11) ,
      trans(n(2).n(3).[],r12) ,
      trans(n(3).n(4).[],s22) ,
      trans(n(3).n(5).[],s21) ,
      trans(n(3).n(6).[],s12) ,
      trans(n(3).n(7).[],s11) ,
      trans(n(4).n(8).[],s21) ,
      trans(n(5).n(8).[],s22) ,
      trans(n(6).n(10).[],s11) ,
      trans(n(7).n(10).[],s12) ,
      trans(n(8).n(11).[],r22) ,
      trans(n(10).n(2).[],r11) ,
      trans(n(11).n(3).[],r22) ],
    n(1)) ]
```

図5 生成されたMENDELプログラムの同期部

まとめ

MENDELプログラムの同期部を自動生成する手法を示した。本手法は、実際Prologマシン (PS1) 上で実装されており、いくつかの例題で有効性を確認した。今後の課題は次の2点である。

- ①ベトリネットを用いる処理は、ブレースの数に指数的に比例した計算量を要する。これは、大きなプログラムを扱う場合の最大のネックとなる。構造グラフの効率的生成手法の確立が必要である。
- ②ここで生成したモデルグラフが楽観モデルとすれば、悲観モデルに対応するグラフを生成する手法を考察する。すなわち、制約をきつくなる方向で構造グラフを生成し、TSLモデルグラフとの積をとり、モデルグラフを生成する。

謝辞

本研究は、ICOTの再委託研究の一環として行なわれた。ICOTの関係各位に感謝する。

参考文献

- [1] Uchihira, N. et al., Concurrent Program Synthesis with Reusable Components Using Temporal Logic, COMPSAC87.
- [2] 内平 他, ベトリネットと時刻論理による並列プログラミング言語, 情報プログラミング言語研究会17-2, 1988.
- [3] Manna, Z. and Wolper, P., Synthesis of communicating processes from temporal logic specification, TOPLAS, vol. 6, no. 1, 1984.