

7E-8

コントローラ合成における状態割当手法

浜 真一 山内 尚 岸本 有豊

日本電気株式会社

1. はじめに

VLSI大規模化、設計TAT短縮に伴い、高位仕様記述からの回路合成及び回路検証が強く要求されている。本論文では回路合成、特にコントローラ合成における論理物理モデル上の状態割当手法を提案する。状態コードは状態変数の数によって決まるブーリアンキューブ上のノードに位置することにより決まるものとする。同種の従来手法([1], [2])は遷移状況から状態を接近させることによる利得を見積り、取舍選択を行うことにより状態コードを決定していた。本手法では評価基準から決まる概念的類似度を力としクラスタリング及びシミュレーテッド・アニーリング法を拡張した惑星形成シミュレーションを適用して状態コードを決定する。コントローラ実現面積を評価基準とし、現在のカラム状態割当と比較した結果、平均約20%の面積縮小を実現出来た。

2. 本手法の概要

今日まで様々な状態割当手法が提案されてきた。しかし総てのコントローラに対し最適な状態割当を実現出来る手法は発見されていない。"あるタイプのコントローラに対してはある手法が有効である。"と結論するのが現状である。しかし事前にコントローラがいかなるタイプに属するかを決定することも一般に容易でない。多様な手法を準備し、コントローラ毎に複数解から最適な解を選択するのが妥当である。以下に本手法の概要を示す。状態割当を状態の概念化と考え、目標に適合する様な状態の分類を試みる。評価基準から決まる目標(1)から(1)を達成するための状況(2)を導出する。(2)から状況を識別するための述語(3)を導出する。状態(4)と(3)から(4)を主語とする述語論理命題(5) (以後命題と略す)を作成する。状態割当前の状況(6)を参照し、命題(5)の真理値(7)を計算する。(7)のパターンから状態間の概念的類似度(8)を計算する。(8)を力とし物理モデル上で(4)のコード(9)を決定する。(9)を構成する状態変数値(10)は分類を識別する指標である。データとクロックのみを入力とするDフリップフロップ(11)が(10)を保持する場合、現在状態の分類は一個以上の(11)の出力値により識別され、次状

態の分類は一個以上の(11)のデータ入力値により識別される。(9)の決定により発生する状況(12)が(2)に近い程(9)は最適解に近いことになる。次に概念化による目標の達成を例により示す。ここで論理実現面積の縮小は論理の単純化により実現される。 i, j, k を入力変数とし、 Y を出力変数とし、 a, b, c, d, e を現在状態における状態変数とし、 A, B, C, D, E を次状態における a, b, c, d, e に対応する状態変数とし、 $F(), G()$ を論理関数とする。

[例1]

目標:"出力論理を単純にする。"

目標を達成するための状況:" Y に1が設定されるのは、ある分類の状態からの遷移時に限る。"

命題:"状態 S は遷移時に Y に1を設定する。"

(アンダーライン部分が述語である。)

物理モデル上でのコード決定による概念化の結果として" Y に1が設定されるのは $a=0$ かつ $b=1$ かつ $c=0$ で識別される分類の状態からの遷移時に限る。"の状況が発生する。出力論理は $Y=abcF(i, j, k, d, e)$ となり、 a, b, c の参照を積 abc に限定出来ることにより論理が単純となる。

[例2]

目標:"次状態論理を単純にする。"

目標を達成するための状況:"ある分類の状態に遷移するのはある分類の状態からに限る。"

命題:"状態 S は状態 Q に遷移する。"及び"状態 S は状態 Q から遷移する。"

概念化の結果として" $B=1$ で識別される分類の状態に遷移するのは $b=1$ かつ $d=0$ かつ $e=1$ で識別される分類の状態からに限る。"の状況が発生する。次状態論理は $B=bdeG(i, j, k, a, c)$ となり、 b, d, e の参照を積 bde に限定出来ることにより論理が単純となる。

3. 物理モデルの枠組み

物理モデルとして惑星形成モデルを採用する。惑星はブーリアンキューブ上のノードに位置づけられた状態の全体として定義される。総ての状態がブーリアンキューブ上の異なるノードに位置づけられることにより惑星の構成が決定される。惑星形成モデルの最大の特徴は温度変化のシナリオにある。惑星は重力により縮小し、減少した結合エネルギー及び位置エネルギーは熱エネルギーに変化することにより温度上昇をもたらす。熱エネルギーは惑星外空間に放出され最終的に冷えた惑星を出現させる。次に概念との関連を含め物理モデルの概要を式で示す。

A State Assignment Method in Controller
Synthesis

S. Hama, H. Yamauchi, A. Kishimoto
NEC Corporation

惑星のエネルギー=結合エネルギー+位置エネルギー+熱エネルギー

$$\text{結合エネルギー} = \sum_{s,q} fc[s,q] * ds[fn[s],fn[q]]$$

ここでfc[,]は状態間の力(概念的類似度)、fn[]は状態の位置づけられているノード、ds[,]はノード間のハミング距離である。

$$\text{位置エネルギー} = \sum_s m[s] * g * ds[fn[s],n0]$$

ここでm[]は状態の質量(その状態への遷移を持つ状態割当前の入力変数に関する積項数)、gは重力加速度、n0はオール0コードに対応するノードである。

$$\text{熱エネルギー} = c * T$$

ここでTは惑星の温度、cは係数である。

$$d(\text{熱エネルギー})/dt = G(T)$$

ここでtは時間、G()は惑星外空間への熱エネルギー放出関数である。

$$\text{熱擾乱因子} (=taf) = \exp(-1 * \Delta E / T)$$

ここでΔEはブーリアンキューブ上で状態の交換あるいは移動を行った場合の(結合エネルギー+位置エネルギー)の変化である。

$$\text{しきいエネルギー} = - \text{擾乱数}([0,1])$$

以下に状態間の結合エネルギーと状態の位置エネルギーの計算例を示す。(図1)

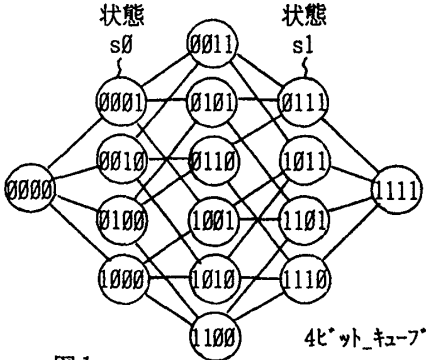


図1

s0, s1間の概念的類似度を5とする。0001, 0111間のハミング距離は2である。s0, s1間の結合エネルギーは10 (=5*2)となる。s1の質量を8とする。0000, 0111間のハミング距離は3である。s1の位置エネルギーは24g (=8*g*3)となる。

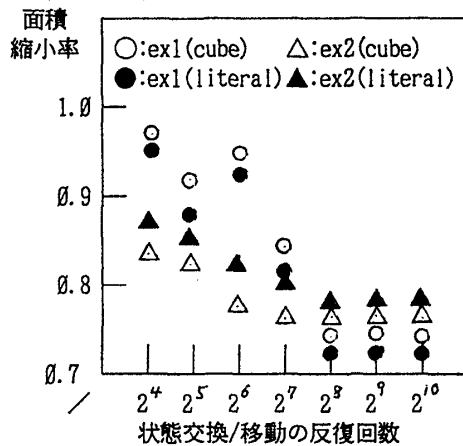
4. 惑星形成シミュレーションの概要

惑星の初期構成は状態間の力に基づき状態を順次結合することにより決定される(クラスタリング)。シミュレーテッド・アニーリング(1)は(ΔE<0) or (ΔE>0) and (taf>しきいエネルギー)の場合、状態の交換あるいは移動を実施し、惑星構成を更新する。(1)による結合エネルギーの低下は状態の概念的凝縮(2)を意味する。(2)は状態間の

力を概念的類似度として生じる。

5. 実行結果

試行を7個のテストコントローラに対して行った。カラム状態割当と比較して出力論理及び次状態論理の2段最適後の積項数で平均約22%減少、リテラル数で平均約19%減少を実現出来た。本手法のカラム状態割当に対する面積縮小率と状態交換/移動の反復回数との関係を図2に示す。ここで面積縮小率=(本手法による面積)/(カラム状態割当による面積)、図2では7例のうち典型的な2例を示す。



ex1(18in,13out,15sta) ex2(22in,11out,9sta) 図2

6. おわりに

コントローラ合成における状態割当手法として論理物理モデル上の状態割当手法を提案した。カラム状態割当手法より面積小の回路を合成することが出来た。

今後の課題を以下に示す。

- ・目標、状況、述語等の相互関係を知識ベース化し知的処理を可能とする。
- ・物理モデル上でのエネルギー変化、温度変化のシナリオを改造する。

【参考文献】

[1] G.Saucier et al
"State Assignment Using a New Embedding Method Based On an Intersecting Cube Theory"
26th ACM/IEEE DAC '89 pp321-326

[2] S.Devadas et al
"Mustang : State Assignment of Finite State Machines Targeting Multilevel Logic Implementations"
IEEE Trans CAD Vol.7 No.12 '88