

状態遷移モデルにおける CCM から HCM への変換のための HCM 間通信手順の導出

Deriving Communication between HCM Processes for Transforming from CCM into HCM in State Transition Model

田倉 昭¹⁾
Akira TAKURA

太田 理²⁾
Tadashi OHTA

要 旨

ネットワークソフトウェアモデルやゲームプログラム制御では状態遷移図が使われている。状態遷移図にはセントラルコールモデル (CCM と略す) とハーフコールモデル (HCM と略す) の 2 つの代表的なモデルがある。2 つのモデルはそれぞれに一長一短があり、両モデルの自動相互変換ができれば、お互いの長所を活かして便利である。HCM から CCM への変換手法はすでに提案されている。HCM ではイベントの発生を全ての端末に通知し、イベント発生端末の周囲の状態が CCM で規定されているどの状態になっているかを探索する必要がある。本論文では、システムの状態が CCM で規定されている状態になっているかどうかを HCM 間の通信の結果として判定するための通信手順を提案する。提案手順では、通信システムの状態と CCM の状態のどちらもラベル付き有向グラフとして表現する。このときに、通信システムを表すラベル付き有向グラフの部分グラフとして CCM 状態が存在するかを HCM 間の通信の結果として判定する。提案手順により、CCM により集中制御される複数端末の制御を、端末毎に 1 つの HCM を割り当てて分散制御する際の通信を実現することができる。

1. まえがき

状態遷移図は、ネットワークソフトウェアモデルやゲームプログラムの制御に使われている^[1, 2]。状態遷移図には、サービスに係っている全ての端末の状態を 1 つの状態として表すセントラルコールモデル (CCM と略す) と、端末毎に状態を表現するハーフコールモデル (HCM と略す) がある。CCM は全ての端末の状態が一目でわかるのでサービスの仕様が理解し易い。反面、状態数が多くなり状態も複雑になる。このため、実際のプログラムでは HCM が使われることが多い。

¹⁾ 十文字学園女子大学人間生活学部 生活情報学科

Department of Career Planning and Information Studies, Faculty of Human Life, Jumonji University

²⁾ IEICE フェロー

IEICE Fellow

キーワード：状態遷移図, CCM, HCM, 通信, ラベル付き有向グラフ

両モデルの自動相互変換ができれば、お互いの長所を活かして便利である。HCMからCCMへの自動変換は中島らによって提案されている^[3]。筆者らは、与えられたCCMで記述された状態遷移図から、同じ状態遷移を行うHCMで記述された状態遷移図への自動変換について研究を進めており、これまでに、自動変換における基本的な課題と解決策について考え方を提案した^[4-11]。

HCMにおいては、イベント発生をサービスに関与している全ての端末に通知する必要がある。HCMにおける処理方式を限定しないようにHCMでは通信できる端末が状態遷移図の状態に記述された端末とイベントの引数に限定される事を前提とした。これまでにイベント発生を通知する信号（以降、単に信号と呼ぶ）の送り先を決定する方法として、信号フロー木を提案した^[7]。提案手法では、縮退した状態（CCMの複数の状態がHCMにおいて同一の状態となる）を持つ端末では信号の送り先を一意に決定できない場合がある。その場合には、信号の送り先を一意に決定できるようにHCMの状態を分割しなければならない^[10]。しかし、状態を分割するとHCMの状態数が増加してHCMのメリットが損なわれる恐れがあるばかりでなく、同一状態を別の状態名で管理することになり、理解の容易性や管理の面からも問題がある。

本論文では、CCMからHCMへの変換処理において、HCMの状態分割を行わずに信号の送り先を一意に決定できる手法を提案する。2節ではCCMとHCMによる制御方式について説明し、3節では本論文でとりあげる課題を説明する。4節で解決策の基本的な考え方を述べ、5節でCCMから変換されるHCMが行う通信手順を述べる。

2. CCMとHCMによる制御方式

通信システムにおいて、あるサービスの提供を受けているすべての端末を1つの状態遷移図にしたがって集中制御するプロセスを割り当ててサービスを提供する方式、と端末毎に制御プロセスを割り当てて、それらのプロセスが互いに通信を行いながらサービスを提供する方式がある。前者の方式では、CCMと呼ばれる状態遷移図にしたがって通信サービスが提供される。後者の方式では、状態遷移図としてHCMが使われる。図1は、サービスを制御するプロセスとそのサービスの提供を受けている端末との関係を表している。図において、三角形は端末を表し、円は制御プロセスを表す。CCMによる制御方式では、図1左の通り、制御プロセスは、あるサービスに係るすべての端末に対して1つのプロセスが割り当てられる。複数の端末を1つの制御プロセスによって集中制御を行う。図1右は、端末対応

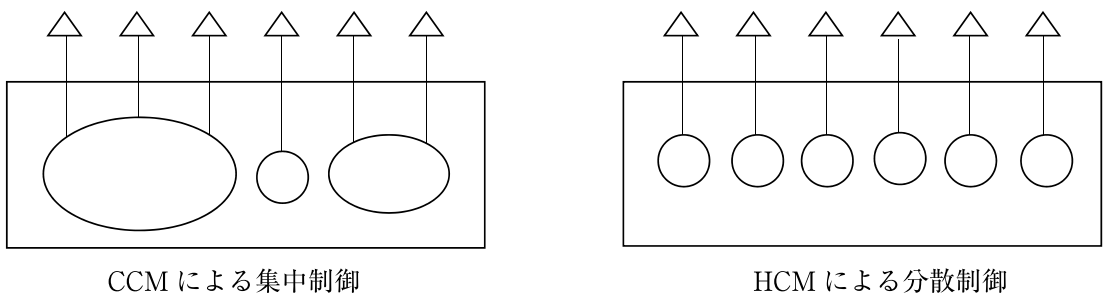


図1 端末と制御プロセスとの対応関係

に1つのプロセスが割り当てられるHCMによる制御方式を示している。制御方式がCCMかHCMにかかわらず、すべての端末は一意の識別子をもつ。さらに、HCMにおいて、ある端末に割り当てられたプロセスも端末の識別子を指定して識別することができる。以降では、プロセスを端末と呼ぶことがある。

3. 課題

3.1. 前提

(1) 信号の送信

CCMの状態遷移から端末毎に分割した状態遷移とHCMにおける状態遷移を同じにすることができれば、制御方式に依存せずと同じサービスの提供が可能となる。すなわち、HCMにおいてイベントが発生したときの各端末の状態を、CCMにおいて同じイベントが発生したときのそれぞれの端末の状態と同じにすればよい。そのためには、HCMにおいてイベント発生時、各端末の状態がCCMの状態に対応する状態である事を確認する必要がある。ある端末でイベントが発生したときに、イベントの発生をサービスに関係している全ての端末に送信し、CCMの状態を確定しなければならない。以降、CCMの状態を単にCCM状態と呼ぶことがある。

(2) 状態の表し方

あるサービスが進むにつれて、そのサービスに係る端末は、そのサービスに係る他端末の少なくとも1つとは何らかの関係を持つ。コンピュータで処理するためにはCCMにおける状態を形式的に記述しなければならない。そのため、1つの状態をその状態に記述される端末の状態および端末間の関係を表す状態記述要素（プリミティブと呼ぶ）の集合として表す^[3, 12, 13]。端末間の関係を表すプリミティブは端末を引数としてとる。端末を表す変数としてA, Bを使ったとき、端末Aと端末Bが関係pにあるとき、 $p(A, B)$ と表す。HCMにおける端末Aの状態は、Aの状態とAと直接関係を持つ端末との関係の集合として表す。従って、HCMにおける端末Aの状態はCCMの状態においてAを第一引数として持つプリミティブの集合で表される。端末Aと端末BのCCM状態が $p1(A)$, $p2(A, B)$, $p3(B)$ のとき、端末Aの状態は $p1(A)$, $p2(A, B)$ であり、端末Bの状態は $p3(B)$ である。

(3) 状態の包含関係

通信サービスでは、特定のサービスに関する設定が、他のサービスの進行とは無関係に端末毎の状態に保存されていることがある。このような設定もプリミティブとして記述する^[13]。このようなプリミティブは、そのプリミティブが関係しないサービスの実行中にも端末の状態として保持される。このため、CCMに記述された端末の状態がシステムの状態として満たされているかどうかの判定を行うとき、CCMから取り出したある端末の状態がシステムの状態に含まれればよいと定義する。ここで、プリミティブの集合P, Qの間の包含関係は、Pの任意のプリミティブがQにも存在するとき、PはQに含まれると定義する。CCMに記述された端末Aの状態が $p1(A)$, $p2(A, B)$, 識別子v1の端末の状態が $p1(v1)$, $p2(v1, v2)$, $m1(v1)$, $m2(v1, v2)$ であるとき、端末Aの状態は識別子v1の端末の状態で満たされていると定義する。

(4) 通信可能な端末

システム内の端末は「状態遷移図に記述された端末名とイベントの引数に現れる端末名しか知らない」と言う前提を設ける。また、状態によっては（プリミティブの意味が分かれば）全ての端末に通知

する必要がない場合がある。例えば、端末Aと端末Bが接続中の場合を考える。端末Aで切断イベントが発生したとき、端末Bの状態を問合せための信号を送ることなく、BにAの切断イベントを通知すればよい。しかしこれではサービスやプリミティブの意味に依存した手法となる。サービスやプリミティブの意味に依存しない汎用的な手法とするために、全ての端末に問合せ信号を送信する事とする。HCMにおいて端末Aが通信できる相手端末は、Aを第一引数として持つプリミティブにおけるA以外の引数である。あるプリミティブの第二引数にある端末は、第一引数にある端末の周囲の端末と呼ぶ。但し、Aがイベント発生端末の場合には、イベントの引数に対しても通信ができ、その意味でAの周囲の端末にはAを除くイベントの引数も含まれる。

一般には、端末A、Bが $p(A, B)$ の関係にあるとき、端末Bから端末Aに信号を送ることができるとは限らない。本論文では、 $p(A, B)$ と書かれたとき、端末Aから端末Bに信号を送ることができるという性質のみを使う。いったん端末Aから端末Bに信号を送った後は、端末Bは端末Aの識別子を知ることができ、端末Bから端末Aに信号を送ることが可能となる。

3.2. 信号フロー木の作成

(1) 有向グラフの作成

ある端末でイベントが発生したときに、その端末に係るサービスに参加する周囲の端末に信号を送る経路として信号フロー木を使う。信号フロー木を作成するために、まず通信可能な端末を有向辺で結んだ有向グラフを作成する。CCMの状態とイベントに基づいて、イベントが発生した端末からその周囲の端末へ有向辺を張る。有向辺の先の端末では、その有向辺の始点となる端末を除く周囲の端末へ有向辺を張る。前提として、有向辺を張る順序はイベント発生端末に近い順とし、同じ距離の場合にはアルファベット順とする。全ての端末へ有向辺が張られるまでこの処理を続ける事により有向グラフを作成する。状態遷移図の状態に記述された端末は少なくとも他の一つの端末と関係があるので、有向グラフに従って信号を送れば、全ての端末に信号が送られる。以降では、グラフにおいて端末のことを頂点と呼ぶことがある。

(2) 信号フロー木の作成

得られた有向グラフにおいて、同一端末を終点とする複数の有向辺がある場合には最初に張られた有向辺を残して他の有向辺を削除する。こうして得られた木を信号フロー木と呼ぶ。信号フロー木の根から有向辺に従って信号を送信すれば、全ての端末に信号を送る事ができる。

3.3. 信号フロー木の課題

(1) 縮退した状態

CCMの状態が異なればそれに対応する信号フロー木は異なる。すなわち、たとえ同じイベントが発生したとしても、CCMの状態が異なればHCMにおいて信号を送る端末が異なる。しかし、HCMにおいて縮退した状態にある端末はCCMの状態を識別できないので、信号送信先を一意に決められない場合がある。例えばCCM状態 r_1 , r_2 が以下の場合を考える。大文字アルファベットA, B, ……、Fは端末を表す変数とする。小文字アルファベットa, ……、fはプリミティブを表す。

$$r_1 : \{a(A, B), b(A, C), c(B, E), d(C, D), e(D, E), f(E)\}$$

$$r_2 : \{a(A, B), b(A, C), c(B, F), d(C, D), e(D, E), f(E), g(F)\}$$

端末Aの状態は、 r_1 と r_2 において、ともにa(A, B), b(A, C)である。端末Bはc(B, E)または

c(B, F) となり、第二引数の端末変数が文字面では異なるが、Bが保持する情報だけでは、他の端末との間に関係cにあることしかわからないので、異なる状態であることは識別できない。端末Cはd(C, D)、端末Dはe(D, E)、端末Eはf(E)である。以上より、r1, r2いずれの状態においても、端末A, B, C, D, Eの状態は、r1とr2においてそれぞれ縮退した状態である。r1, r2の状態でも端末Aに同じイベントが発生した場合におけるそれぞれの有向グラフを図2に示す。プリミティブは、辺と頂点のラベルとして表す。

図2に示した有向グラフから、2.2節の(2)で述べた方法で得られる信号フロー木を図3に示す。CCM状態r1, r2に対する信号フロー木は、それぞれr1', r2'である。

端末AはCCM状態r1, r2いずれの場合も同じ信号を端末Bと端末Cへ送信する。端末Cは、端末Aから信号を受信後、信号を端末Dへ送信する。しかし、端末Dは、CCM状態r1かまたはr2かの識別ができないので信号を端末Eへ送信するの否かを一意に決定できない。

(2) 周囲の端末の非決定性

システム内のある端末を始点とする2つの辺が同一ラベルを持つとき、それら2つのどちらがCCMの状態にある辺であるかは、その端末の情報だけでは識別できない。図4において、r3とr4はCCMの状態を表し、Sはシステムの状態を表す。以降では、システムの状態を実状態と呼ぶことがある。実状

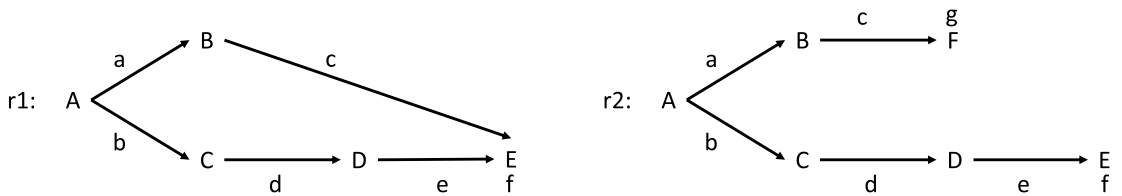


図2 CCM状態r1, r2に対する有向グラフ

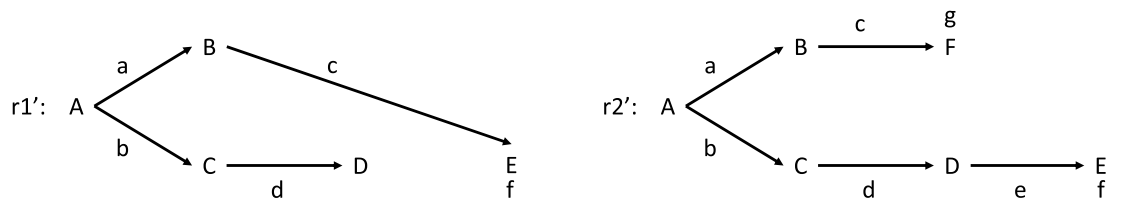


図3 CCM状態r1, r2に対する信号フロー木

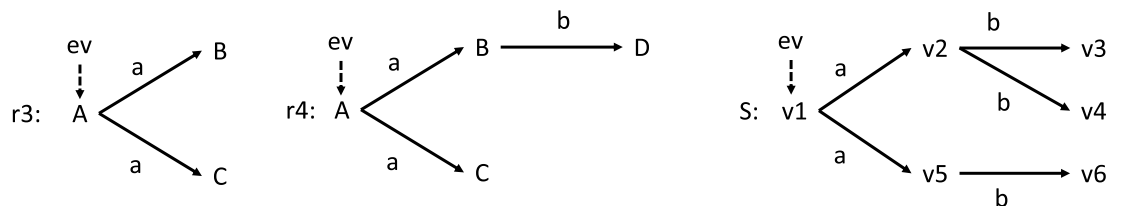


図4 周囲の端末の非決定性

態Sの端末v1においてイベントevが発生したとする。CCMにおいて、イベントevが発生したとき状態遷移する前の状態としてr3とr4があるとする。このとき、頂点v1を始点としラベルaをもつ有向辺のどちらがCCMの状態r3、r3における端末B、Cのどちらに対応するのかをv1の状態だけでは識別することができない。

3.4. 信号フロー木にない有向辺の識別

(1) 信号フロー木の根から葉に至る同一経路上にある頂点間を結ぶ辺

信号が届いた頂点では、CCM状態を表す有向グラフにおいてその頂点から根に近い側の頂点に向けた辺がある場合、それまで通過してきた頂点のどれと一致するかを同定することにより、その辺がCCM状態にある辺と対応するかどうかを判定することができる。また、元の有向グラフにおいて複数の頂点から同一の頂点に有向辺があるとき、根からの距離が最も近い頂点を始点とする辺が信号フロー木の辺となる。信号フロー木の辺とならなかった辺は、3.4 (2) で述べる信号フロー木の根から葉への異なる経路上にある頂点間を結ぶ辺となる。

図5は複数の辺の終点となる頂点があるCCM状態とその信号フロー木の例である。状態r5の信号フロー木はr5'であり、辺BDと辺CDは信号フロー木には含まれない。また、状態r6の信号フロー木はr6'であり、r6'においても辺CDは信号フロー木の辺とはならない。いずれの場合でも、信号フロー木に含まれない辺BD、辺CDは下の3.4 (2) で述べる信号フロー木の根から葉への異なる経路上にある頂点間を結ぶ辺となる。

(2) 信号フロー木の根から葉への異なる経路上にある頂点間を結ぶ辺

信号フロー木にない有向辺については、信号フロー木に沿って信号を送り、途中の端末の状態を集めて全体を集約しないと、同一であるか異なるかを判定することができない。図6に示す2つの状態r7、r8を考える。それぞれの信号フロー木はr7'、r8'となる。

信号フロー木r7'、r8'において、 $A \rightarrow B \rightarrow D$ と信号を送ったとき、Dに信号が届いた時点で、A、B、Dの状態を集めることができるが、それだけではr7、r8の識別を行うことができない。頂点DからA、B、D以外に向けてラベルeの辺があることは分かるが、ラベルeの辺の終点がCあるいはEが表す端末の識別子なのか、あるいはそれ以外なのかは判定することができない。 $A \rightarrow C \rightarrow E$ に沿って信号送信し、A、C、Eの状態と集約することでr7とr8の識別が可能となる。状態がr7であれば、Dを始点とするラベルeの有向辺の終点は、根Aを始点とするラベルbの有向辺の終点の端末と一致する。状態がr8

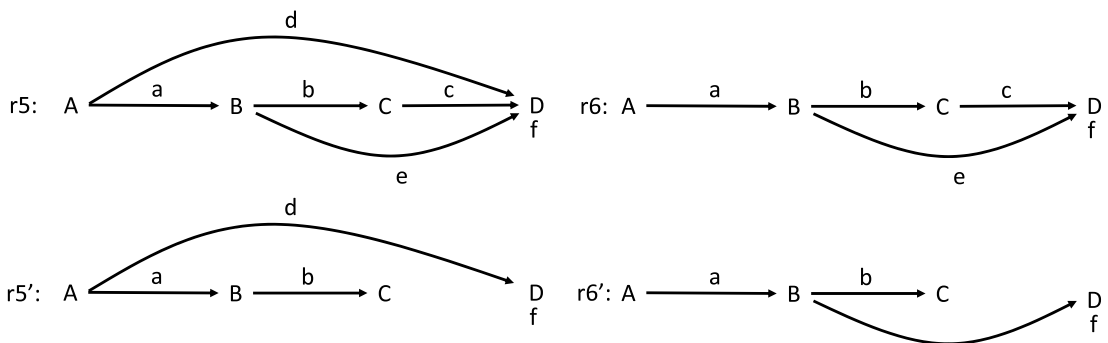


図5 複数の辺の終点となる頂点があるCCM状態の信号フロー木

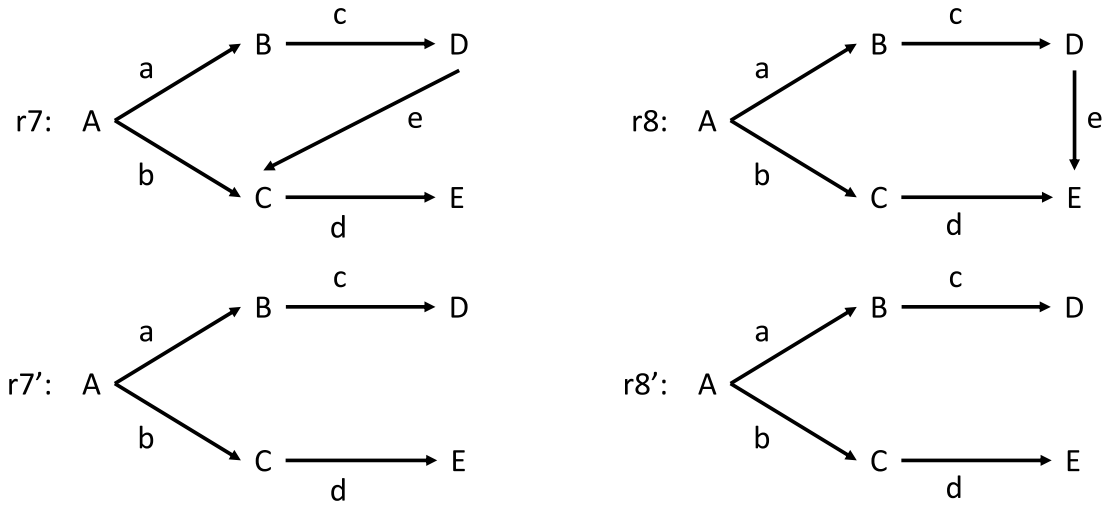


図6 信号フロー木にない有向辺を含む状態とその信号フロー木

であれば、Dを始点とするラベルeの有向辺の終点は、根Aからラベルb, dの順に通る道の先にある頂点と一致する。

3.5. CCMからHCMへの変換問題

これまでの考察により、次の定義に述べる準同型写像hを求めることできれば、CCMと同じ状態遷移をするHCM間の通信を導出することができる。

【定義】 CCMの状態r, システムの状態S, 任意のイベントevが与えられたとき, $V(r)$, $V(S)$, $V(ev)$ を, それぞれr, S, evに現れる頂点の集合, $E(r)$, $E(S)$, $E(ev)$ をそれぞれr, S, evの有向辺の集合とする. このとき, 次の条件を満足する準同型写像 $h: r \rightarrow S$ が存在すれば, Sにおいてイベントevが発生したとき, rはSにおいて満たされると定義する:

- (1) 任意の $v1 \in V(r)$, $v2 \in V(r)$ に対して, $v1 \neq v2$ ならば $h(v1) \neq h(v2)$ である.
- (2) 任意の $v1 \in V(r)$, $e1 \in E(r)$ に対して, 次の2条件を満足する $v2 \in V(S)$, $e2 \in E(S)$ が存在する.
 - ・ $h(v1) = v2$ かつ $h(e1) = e2$ である.
 - ・ $lb(v1) \subseteq lb(v2)$, $lb(e1) \subseteq lb(e2)$ である. ここで, lbは頂点または辺のラベルを表す.



CCM状態rが実状態Sにおいて満たされるとき, rにある端末は次状態に遷移可能である.

4. 遷移可能な状態を識別するための端末間通信

4.1. 信号フロー路と通信

CCMのある状態 r から導出された信号フロー木を r' とする。 r' において、根から葉に至るパスを信号フロー路と呼び、それらの信号フロー路に対して、 r' において一意に識別可能な名前を付ける。図7は、図6の2つの状態 $r7$ 、 $r8$ に対する、信号フロー木 $r7'$ 、 $r8'$ の信号フロー路に $p1$ と $p2$ という名前をつけ、それらを葉の頂点の後に括弧で囲んで表している。

信号フロー路に沿って信号を送り、その信号フロー路が遷移可能なCCM状態のどの信号フロー路に対応するのかを探索する。ある信号フロー路に沿って探索のために行う通信の途中において、信号フロー路にない有向辺の始点を通過するとき、その有向辺の終点の識別子を記録する。探索結果は、信号フロー路の集合として求まることがある。

4.2. 信号形式

1つの状態遷移図には、同じイベントを受け付けるCCM状態が複数存在することがある。同じイベントで遷移が起こる状態の中から、イベントが発生した状態がどれに対応するのかを求めればよい。異なるイベントを契機とした信号送信において、途中で通過する端末の状態が同一であることがある。そこで、区別のため送信信号には、根で発生したイベントを含める。

信号フロー路に沿って信号送信することにより、候補となる信号フロー路を絞り込む。このため、候補となる信号フロー路をその信号フロー路が含まれるCCM状態とともに集合にして、送信信号に含める。この候補となる信号フロー路の集合は、信号が葉に近づくにつれて絞り込みが進む。

3.4節で述べた信号フロー路にない辺が、候補となるCCM状態のどれに存在するのかを確定するため、そのような辺の終点となる端末の識別子を記録する。また、通過する端末の識別子も記録する。

以上より、イベント ev に対応する信号フロー路に沿って送信する問合せ信号 sig と sig が葉に到着したときにイベント発生端末に返す応答信号 ans の形式を次の通りとする。

$sig(ev, Seq, SP, SR)$

Seq: 信号が通過した端末の識別子の系列

SP: 次の端末に信号を送る時点で、既に実状態に含まれる、すなわち実状態で満たされていることが確定している信号フロー路の集合

SR: 絞り込み対象となる信号フロー路の集合とそれぞれの信号フロー路に含まれる頂点を始点とし、その信号フロー路にない辺の終点の識別子

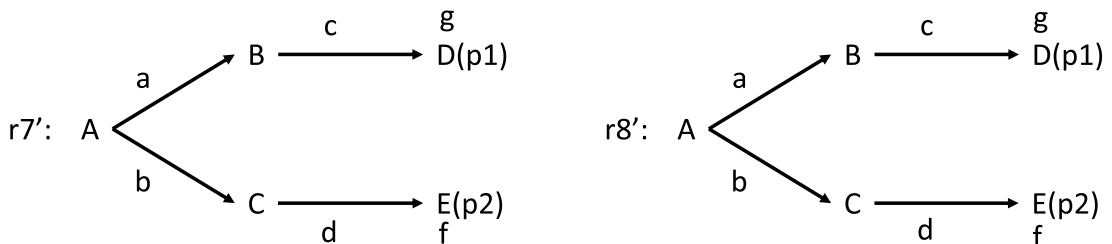


図7 信号フロー木 $r7'$ と $r8'$ に対する信号フロー路

ans(ev, Seq, SP)

Seq: 信号フロー路の根から葉までのすべての端末の識別子の系列

SP: 絞り込みが完了した信号フロー路の集合とそれぞれの信号フロー路に含まれる頂点を始点とし、その信号フロー路にない辺の終点の識別子

5. CCMの状態の絞り込み

5.1. 信号フロー路に沿った信号送信時の絞り込み

任意のイベント ev に対する送信信号の作成法と信号送信先の決定法を、イベント発生端末と問合せ信号を受け取った端末に分けて述べる。

(1) イベント発生端末

イベント発生端末における処理を述べる。イベント ev が識別子 $v1$ の端末で発生したとする。端末 $v1$ のプリミティブの集合、すなわち第一引数に $v1$ をもつプリミティブの集合を $pr(v1)$ とする。CCMのすべての状態のうち、イベント ev の発生により遷移が行われるCCMの状態の集合を $S(ev)$ とおく。 $S(ev)$ に含まれる任意の状態を s とおく。状態 s におけるイベント発生端末 t のプリミティブの集合を $pr(t)$ とする。このとき、 $S(ev)$ に含まれる状態のうち、 $pr(t)$ が $pr(v1)$ に含まれるような状態を $T(ev)$ とおく。この $T(ev)$ に含まれる状態に対して、イベント ev が発生する端末を根とする信号フロー木と信号フロー路を作成する。

$Seq = [v1]$, $SP = \{\}$ (空集合) とする。作成した信号フロー路のそれぞれに対して、根から出ている辺のラベルが、 $v1$ から出ている辺 e のラベルに一致するか含まれる場合、その信号フロー路は辺 e の終点となる端末に送る問合せ信号において、絞り込み対象となる信号フロー路の集合 SR の要素とする。こうして得られた SR が空集合でない場合には、イベント発生端末 $v1$ から出ている辺 e の終点端末が問合せ信号の送信先となる。

例を使って、イベント発生端末での処理を説明する。

【例】 イベント発生端末からの信号送信

イベント発生端末 $v1$ の周囲の状態が図8の場合を考える。

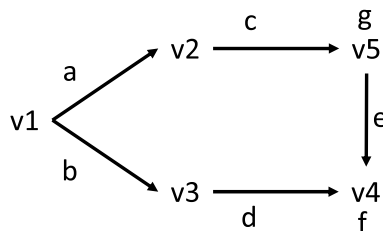


図8 イベント発生端末 $v1$ の周囲の状態

このとき、 $pr(v_1) = \{a(v_1, v_2), b(v_1, v_3)\}$ である。ここで、 v_i, v_t を頂点、 c をラベルとしたとき、 $c(v_i, v_t)$ はラベル c を持つ辺 $v_i v_t$ を表す。図 6 の 2 つの状態 r_7, r_8 の端末 A でイベント ev が発生したときに、どちらの状態においても状態遷移が起こるとする。与えられた CCM において、このような条件を満たす状態が r_7, r_8 のみであるとする。このとき、端末 v_1 から端末 v_2 、端末 v_1 から端末 v_3 に送る問合せ信号は、それぞれ次の通りとなる。

$$v_1 \rightarrow v_2: \text{sig}(ev, [v_1], \parallel, \{(r_7, p_1), (r_8, p_1)\})$$

$$v_1 \rightarrow v_3: \text{sig}(ev, [v_1], \parallel, \{(r_7, p_2), (r_8, p_2)\})$$

端末 v_1 で発生したイベントが ev 、端末 v_1 で絞り込みが完了した信号フロー路はないので、SP は空集合 \parallel となる。端末 v_1 を始点とするラベル a の有向辺には信号フロー木 r_7 の信号フロー路 p_1 と信号フロー木 r_8 の信号フロー路 p_2 が対応する可能性がある。このため、 $v_1 \rightarrow v_2$ の問合せ信号に載せる絞り込み対象となる信号フロー路の集合 SR は $\{(r_7, p_1), (r_8, p_1)\}$ となる。 $v_1 \rightarrow v_3$ の問合せ信号に載せる絞り込み対象となる信号フロー路の集合 SR は $\{(r_7, p_2), (r_8, p_2)\}$ となる。

[例終]

(2) 問合せ信号を受け取った端末

問合せ信号 $\text{sig}(ev, \text{Seq}, \text{SP}, \text{SR})$ を受け取った端末 v_i における処理について述べる。端末 v_i が信号フロー路において根から数えて i 番目の頂点であるとする。SR に含まれる各信号フロー路の i 番目の頂点 r_i のプリミティブの集合 $pr(r_i)$ が $pr(v_i)$ に含まれる信号フロー路が 1 つでもあれば、 v_i を SP の最後に付加する。 $pr(r_i)$ が $pr(v_i)$ に含まれない信号フロー路は SR から削除する。SR に含まれる各信号フロー路 p に対して、絞り込みが完了した信号フロー路か続けて絞り込みを行う必要がある信号フロー路かを分類する。端末 r_i が信号フロー路 q の葉に当たる端末の場合には、その信号フロー路 q を SR から SP に移す。この処理を行った後で、SR が空集合となった場合と SR に要素が残っている場合で、この後の処理が異なる。

(2-1) SR が空集合となった場合

更新後の Seq と SP を使って、応答信号 $\text{ans}(ev, \text{Seq}, \text{SP})$ をイベント発生端末 v_1 に送る。

(2-2) SR に要素が残っている場合

次の端末に問合せ信号を送る。問合せ信号を送る端末の決め方を示す。Seq に入っている識別子の数を i とおく。SR に残っている信号フロー路 q における i 番目の端末を始点とする辺のラベルを a とおく。信号フロー路 q における i 番目の端末のプリミティブの集合が $pr(v_i)$ に含まれ、かつラベル a の辺の終点が Seq に入っていない場合、 v_i を始点としラベル a を含む辺の先にある端末が問合せ信号の送信先となる。このような送信先が複数ある場合には、それらすべてが送信先となる。

端末 v_i を始点とする辺の中に信号フロー路にない辺がある場合には、その辺の終点の識別子を CCM の状態の対応する端末変数名と組みにして問合せ信号に載せる。この組み合わせは、信号フロー路上の端末を始点とし、信号フロー路にない辺がどの端末に接続しているかを応答信号がイベント発生端末に届いたときに判定するのに使う。

例を使って、信号フロー路の途中の端末で行う処理を説明する。

【例】 問合せ信号を次の端末に送る処理

図 8 の端末 v_2 は信号フロー路 (r_7, p_1) と (r_8, p_1) の途中の端末となる。端末 v_2 からラベル c の辺が出ている。信号フロー木 r_7 と r_8 の信号フロー路 p_1 の端末 B を始点とする辺のラベル c と一致する。そこで、端末 B を始点としラベル c を持つ辺の先に問合せ信号 $\text{sig}(ev, [v_1, v_2], \parallel, \{(r_7, p_1), (r_8, p_1)\})$

を送る. 同様に, 端末v3では, 問合せ信号 $\text{sig}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v3}], \{\}, \{(r7, p2), (r8, p2)\})$ を, ラベルdをもつ辺の終点である端末v4に送る.

v2→v5: $\text{sig}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v2}], \{\}, \{(r7, p1), (r8, p1)\})$
 v3→v4: $\text{sig}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v3}], \{\}, \{(r7, p2), (r8, p2)\})$

[例終]

例を使って, 信号フロー路の葉に当たる端末で行う処理を説明する.

【例】 応答信号をイベント発生端末に送る処理

図8の端末v5は信号フロー路 $(r7, p1)$ と $(r8, p1)$ の葉に当たる端末となる. 端末v5は頂点のラベルgとv5からv4に向かうラベルeの有向辺がある. したがって, 端末v5の状態は, 状態r7の端末Dと状態r8の端末Dの状態を満たしている可能性がある. ただし, ラベルeの辺の終点v4が状態r7の端末Cなのか, 状態r8の端末Eなのか, それら以外なのかを端末v5では判定できない. このため, $(r7, p1)$ が端末v1の周囲の状態に含まれるならば, 端末Cは識別子v3の端末でなければならない. 同様に, $(r8, p1)$ が端末v1の周囲の状態に含まれるならば, 端末Eは識別子v4の端末でなければならない. これらの条件がなりたてば, $(r7, p1)$ と $(r8, p1)$ は端末v1の周囲の状態に含まれる. よって, 条件付きで $(r7, p1)$ と $(r8, p1)$ が絞り込まれた信号フロー路であることを表す $\{(r7, p1 \mid C = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\}$ を識別子v1の端末に送る応答信号に載せる. 識別子v5の端末から識別子v1の端末への有向辺はないが, 根の識別子がv1であることは, 受信した問合せ信号より得られるため, v5からv1に応答信号を送ることができる.

図8の端末v4では, 絞り込まれた信号フロー路の集合 $\{(r7, p2), (r8, p2)\}$ を識別子v1の端末に送る応答信号に載せる.

v5→v1: $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v2}, \text{v5}], \{(r7, p1 \mid C = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\})$
 v4→v1: $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v3}, \text{v4}], \{(r7, p2), (r8, p2)\})$

[例終]

5.2. 応答信号受領時の絞り込み

イベント発生端末にすべての応答信号が届いたときの処理を示す. すべての応答信号が届いたことの確認法については, 次節で述べる.

イベント発生端末には, すべての応答信号が届く. 応答信号 $\text{ans}(\text{ev}, \text{Seq}, \text{SP})$ にSeqとSPに含まれる信号フロー路の関係より, CCM状態毎に含まれる端末変数に端末識別子を対応付ける. すべての端末変数に識別子を一対一に対応させることができたなら, 応答信号に含まれる端末変数割り当て条件が満たされるかどうか調べる. 条件が満たされれば, そのCCM状態は, イベント発生端末の周囲の状態を満たされることが確定する. この判定を応答信号に含まれるすべてのCCM状態に対して行う. 満たされるCCM状態が複数ある場合には, 任意の極大なCCM状態を適用可能とする.

例を使って, イベント発生端末に応答信号が届いたときの処理を説明する.

【例】 イベント発生端末にすべての応答信号が届いたときの処理

図7の例では, 2つの応答信号がイベント発生端末v1に届く. それらの応答信号は, $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v2}, \text{v5}], \{(r7, p1 \mid C = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\})$ と $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v3}, \text{v4}], \{(r7, p2), (r8, p2)\})$ である. 初めにr7が満たされるかどうか調べる. 応答信号 $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v2}, \text{v5}], \{(r7, p1 \mid C = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\})$ より, r7において, $A = v1, B = v2, D = v5$ となる. このとき, $\text{ans}(\text{ev}, [\text{v1}, \text{v3}, \text{v4}], \{(r7, p2), (r8, p2)\})$ より, $C = v3, E = v4$ となる. これらの割り当ては,

($r7, p1 \mid C = v4$)にある条件 $C = v4$ を満たさない。よって、 $r7$ は図8の実状態で満たされない。

次に $r8$ が満たされるかどうか調べる。 $\text{ans}(ev, [v1, v2, v5], \{(r7, p1 \mid C = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\})$ より $C = v4$ の条件が満たされれば、($r8, p1$)が満たされる。 $\text{ans}(ev, [v1, v2, v5], \{(r8, p1 \mid E = v4), (r8, p1 \mid E = v4)\})$ より、 $A = v1, B = v2, D = v4$ となる。 $\text{ans}(ev, [v1, v3, v4], \{(r7, p2), (r8, p2)\})$ より、 $A = v1, C = v3, E = v4$ となる。この対応関係は($r8, p1 \mid E = v4$)に含まれる条件 $E = v4$ を満たす。よって、 $r8$ は図8の実状態で満たされる。

[例終]

5.3. 応答信号の受信が完了したことの確認法

イベント発生端末から送った問合せ信号に対して、すべての問合せ信号が届いたかどうかを判定する方法を述べる。これまでに述べた問合せ信号と応答信号にもう1項目追加を行うことで判定が可能となる。項目を追加した問合せ信号を $\text{sig}(ev, \text{Seq}, \text{SP}, \text{SR}, \text{BN})$ 、応答信号を $\text{ans}(ev, \text{Seq}, \text{SP}, \text{BN})$ とおく。ある端末から問合せ信号を送るとき、その端末から問合せ信号の数、すなわち分岐の数(n とする)と分岐の何番目(i とする)かを組みにした分岐情報(n, i)を、それまでの分岐情報に追加して送る。ある端末で $\text{sig}(ev, \text{Seq}, \text{SP}, \text{SR}, \text{BN})$ を受け取り、その受信端末から問合せ信号を送る数が n 個であるとする。そのとき、その端末から次の端末に i 番目に送る問い合わせ信号は、 $\text{sig}(ev, \text{Seq}, \text{SP}, \text{SR}, [\text{BN}, (n, i)])$ とする。応答信号では、受信した問合せ信号のBNをそのまま載せる。

イベント発生端末で応答信号を受信するごとに、その応答信号が送信するまでに送信された問合せ信号の実状態を表した有向グラフ上のどこにいくつ分岐があり、そのうちのどの分岐から応答信号が届いたかを調べることができる。すべての分岐に対応する応答信号が届いた時点で、状態探索のための通信が終了したことが分かる。

図9は、分岐情報を信号に載せるための表現を表している。端末 $v1$ には分岐が2個あり、それぞれの分岐に(2, 1)と(2, 2)を割り当て問合せ信号に載せる。端末 $v2$ では、分岐が3個あり、それぞれに(3, 1), (3, 2), (3, 3)を割り当てている。例えば、端末 $v4$ に問合せ信号が届いたときには、BNは[(2, 1), (3, 1)]となっている。この問合せ信号に対する応答信号が $v1$ に届くと、 $v2$ の分岐のうちいくつの応答信号が届いているか、 $v1$ の分岐のうちいくつの応答信号が届いているかが判定できる。

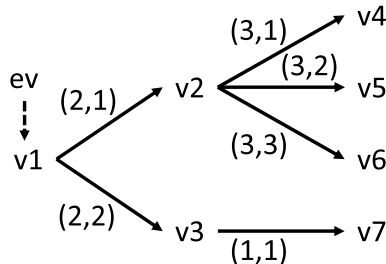


図9 分岐情報の表現

6. まとめ

縮退した状態を持つ端末において、イベント通知信号の送信先を決定し、システムの状態がCCMで規定されている状態になっているかどうかをHCM間の通信で判定するための通信手順を提案した。提案手順では、通信システムの状態とCCMの状態のどちらもラベル付き有向グラフとして表現する。このときに、通信システムを表すラベル付き有向グラフの部分グラフとしてCCM状態が存在するかをHCM間の通信の結果として判定する。提案した手順により、CCMにより集中制御される複数端末の制御を、端末毎に1個のHCMを割り当てて分散制御する際の通信を実現することができる。

今後は、CCMからHCMへの変換における、イベント発生の衝突検出と実行イベントの決定手順、分析部を含むCCMの状態遷移図のHCMの状態遷移図への変換について、今回提案した信号送信法に基づいて詳細な検討を行い、変換システムの手順を完成させる。

文献

- [1] 白鳥則郎編, “通信ソフトウェア工学”, 培風館, 1995.
- [2] Unityマニュアル, “ステートマシンの基本”
<https://docs.unity3d.com/ja/530/Manual/StateMachineBasics.html>, Jan. 2018.
- [3] 中島他, “仕様記述におけるHCMからCCMへの自動変換法”, 信学論 (B), vol. J88-B, no.3, pp.574-584, March 2005.
- [4] 田倉昭, 太田理, “CCMからHCMへの自動変換法の提案”, 信学会通信ソサエティ大会, B-19-17, Sept. 2010.
- [5] 田倉昭, 太田理, “状態遷移図のCCMからHCMへの自動変換法”, 信学会通信ソサエティ大会, B-19-6, March 2010.
- [6] 田倉昭, 太田理, “状態遷移図のCCMからHCMへの自動変換”, 第13回ネットワークソフトウェア研究会, pp.63-69, June 2011.
- [7] 田倉昭, 太田理, “状態遷移図のCCMからHCMへの自動変換手法”, 信学技報, vol.111, no. 197, pp.39-44, Sep. 2011.
- [8] A. Takura and T. Ohta, “Automatic Conversion from CCM to HCM in State Transition Model,” Proc. The Eighth Int. Conf. on Networking and Services, pp. 111-117, St. Maarten, Netherlands Antilles, March 2012.
- [9] 田倉昭, 太田理, “状態遷移モデルの自動変換アルゴリズムに関する一考察”, 信学技報, vol.112, no. 210, pp.55-60, Sep. 2012.
- [10] 田倉昭, 太田理, “CCMからHCMへのモデル変換における課題—信号送信フロー木の課題と解決策—”, 第1回ネットワークソフトウェア研究会, pp.27-31, April 2013.
- [11] 太田理, 田倉昭, “CMからHCMへのモデル変換における課題—イベント衝突の検出と実行イベントの決定—”, 第2回ネットワークソフトウェア研究会, pp.16-22, July 2013.
- [12] Y. Hirakawa and T. Takenaka, “Telecommunication Service Description Using State Transition Rule,” Proc. Sixth Int. Workshop on Software Specification and Design, pp. 140-147, Oct. 1991.
- [13] T. Yoneda and T. Ohta, “The Declarative Language STR,” Proc. of FIREworks Workshop, pp.197-212, May 2000.

