通信システム用仕様設計における追加仕様の検証方式

上田佳寛　柴田健次　田中亘　長谷川晴朗

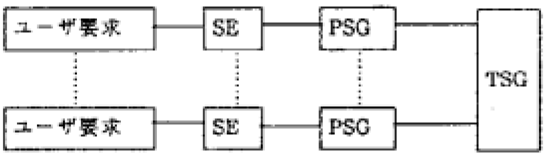
沖電気工業(株)

1　はじめに

我々は、通信システムにおいて曖昧なユーザ要求から全体として整合のとれた設計仕様を自動的に作成する仕様設計エキスパートシステムEXPRESS(EXPeRt system for ESS)を構築中である。本システムでは、設計仕様をペトリネットにより表現しており、関数行列等による代数的な解析法を用いて作成した仕様の論理検証を行っている。本論文では、作成された設計仕様に別のサービスが含まれるかどうかを、代数的な解析により検証する方式について述べる。

2　サービスグラフの統合

EXPRESSにおいて、ユーザ要求から相互に矛盾のない仕様を作成する過程を図1に示す。



SE　：サービス要素　　Service Element
PSG：部分サービスグラフ　　Partial Service Graph
TSG：統合サービスグラフ　　Total Service Graph

図1　設計仕様の作成過程

(1) SE

SEは、ユーザ要求中の動作及び状態を表す文を格構造に変換しシステムとしての表現を統一したものである。

(2) PSG

PSGは、SEをペトリネットに対応させたものである。SEの動作をトランジションとし、対象毎に変化前の状態と変化後の状態をそれぞれ入力プレースの集合、出力プレースの集合として表す。ここで、ペトリネットを使用したことにより、単に状態を表現するだけでなく、トランジションを発火後トークンを移動させて状態の推移を明確にできる利点がある。

(3) TSG

TSGは、複数の断片的なPSGを統合して作成した求める最終の設計仕様である。表現形式は、ペトリネットとの対応を明確にしたものとしており、単一の状態に一つのプレースを対応させ、かつ、一つのプレースに接続し得るトランジションを明確にしている。

図2に内線相互接続サービスの発呼者先掛、ダイヤル音聴取中切断及びホットライン接続呼出中切断の3つのサービスを統合したTSGを示す。統合方法は、一つのPSGをTSGとパターンマッチングさせ、TSGの中に存在しないものがあれば、これをTSGに付加することにより行う。

3　ペトリネットの関数行列

ここで簡単に、ペトリネットの行列について述べる。トランジションの入力関数及び出力関数を表す行列D^-,D^+を定義する。各行列は、トランジションに対応するm個の行とプレースに対応するn個の列から成る。D^-のj行i列の要素はPiからTjに入るアークの多重度を、またD^+のj行i列の要素はTjからPiに出ていくアークの多重度を示す。各プレースに存在するトークンの数を、n次元ベクトルμ(マーキングと呼ぶ)で表すと、(a)式が成立する時Tjが発火する。

$$\mu \geqq e[j]\cdot D^- \quad \cdots\cdots\cdots(a)$$

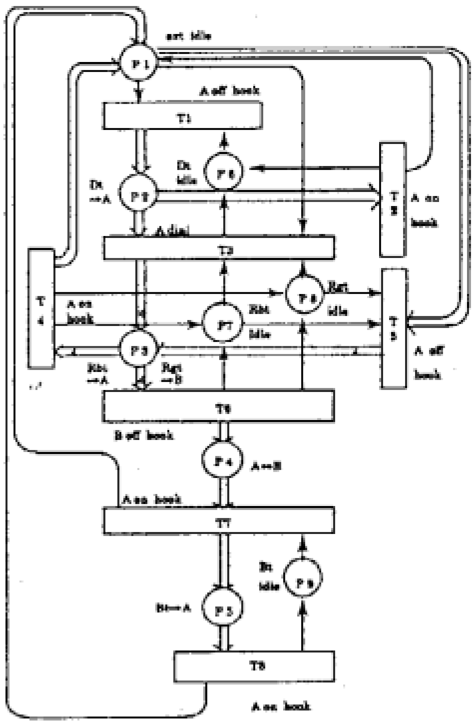


図2　TSG(統合サービスグラフ)

但し、e[j]は第j成分が1でそれ以外の成分が0のm次元ベクトルである。

また、マーキングμ_0において、Tjが発火すると、新しいマーキングは次のようになる。

$$\mu = \mu_0 + e[j]\cdot D \quad \cdots\cdots\cdots(b)$$
$$D = D^+ - D^-$$

従って、マーキングμ_0において発火列

$$\sigma = Tj_1, Tj_2, \cdots, Tj_n$$

が発火すると、新しいマーキングは次のようになる。

$$\mu = \mu_0 + (e[j_1] + \cdots\cdots + e[j_n])\cdot D$$
$$= \mu_0 + f(\sigma)\cdot D \quad \cdots\cdots\cdots(c)$$

4　発火可能ベクトルの定義

f(σ)が次の3項目を充たす時、これを発火可能ベクトルと定義する。

(1) f(σ)のすべての成分は、非負整数である。

A Verification Method of Added Design Specification in a Communication System.
Yoshihiro UEDA, Kenji SHIBATA, Wataru TANAKA, Haruo HASEGAWA
OKI Electric Industry Co.,Ltd.

(2) $f(\sigma)$は、ペトリネット行列のカーネルベクトルである。つまりベクトル$f(\sigma)$が発火可能ベクトルであれば、次式を充たす。

$$f(\sigma)\cdot D = 0$$

(3) $f(\sigma)$の示すトランジションの発火列において、少なくとも一つは、すべて(a)式を充たす発火列を持つ。

項目(3)では、$f(\sigma)$が擬似解(トランジションの可能な発火列に対応しない解)ではないことを意味している。

このとき、発火可能ベクトルとなる$f(\sigma)$は、マーキングμがμ自身から可達となるときの解になる。もしμにおいてアイドル状態を示すプレースのみにトークンがあるならば、$f(\sigma)$が一つのサービスであるといえる。

5 単一のサービスの発見

本システムのペトリネットグラフに発火可能ベクトルを適用して新サービスを求めることができる。発火可能ベクトルで表されるサービスは、複数の単一のサービス(他のどのようなサービスの和でも表せないサービス)の和により構成される場合が多い。しかし新サービスとは、既存のサービスの和により構成されるものではない。そこですべての単一のサービスと、既存のサービスが単一のサービスであることが分かれば、新サービスを求めることは容易にできる。次の2条件は、発火可能ベクトルから単一のサービスを求めるためのものである。

(Ⅰ)マーキングμにトークンが存在しているプレース以外のプレースにおいて、そのプレースに含まれるトークンが、常にそのプレースに対するトランジションからの入力アーク数をこえてはならない。

(Ⅱ)移動する任意の2つのトークンが、ある時点において直接的あるいは間接的に関係しなければならない。

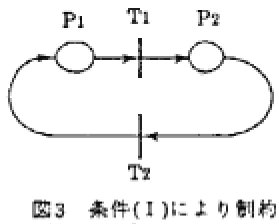
①直接的とは、複数のトークンが、あるトランジションにより同時に発火し、同じプレースに同時に含まれる時のトークン間関係のことをいう。

②間接的とは、直接的なトークンを辿ることにより、2つのトークンが関係づけられ、その2つのトークンが直接的な関係になっていない場合のことをいう。例えば、aとbが直接的関係,bとcが直接的関係であり、aとcが直接的関係でなければ、aとcを間接的関係という。

次に、(Ⅰ),(Ⅱ)の2つの条件について簡単に説明する。

5.1 プレースに存在するトークン数の条件

(Ⅰ)の条件は、プレースに存在するトークン数を制限することにより、発火可能ベクトルの一次従属なベクトルを単一のサービスの発火可能ベクトルとするときのものである。ペトリネットグラフのモデルで例を示す。(図3)



$$\begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

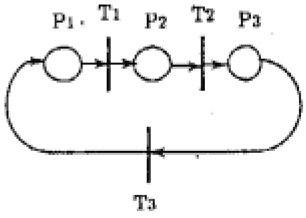
図3 条件(Ⅰ)により制約を受ける例

この行列のカーネルベクトルは(n,n)(但しnは非負整数)となる。初期マーキングを$\mu=(2,0)$とおくと、T_1発火→T_2発火よりマーキングは元に戻り(1,1)は発火可能ベクトルとなる。次に、ベクトル(2,2)を考えた場合において、$T_1 \to T_1 \to T_2 \to T_2$と発火することは可能である。このことは、$T_1$を発火し、その後$T_2$を発火するということを二度繰り返しているに過ぎない。このような場合は、P に存在するトークンの最大数を入力アーク数とすることにより、単一のサービスによる発火可能ベクトルを一意に決めることができる。

5.2 ペトリネットにおけるトークン間関係

(Ⅱ)の条件は(Ⅰ)と同様に、単一のサービスの発火可能ベクトルを求めるために制限を行うものである。一例を図4に示す。

この行列におけるカーネルベクトルは(n,n,n)(但しnは非負整数)となる。初期マーキングを$\mu=(2,0,0)$とおくと、$T_1 \to T_2 \to T_1 \to T_3 \to T_2 \to T_3$発火よりマーキングは元に戻りベクトル(2, 2, 2)は発火可能ベクトルとなる。また、(Ⅰ)の条件も充たすが、この場合も$T_1 \to T_2 \to T_3$と発火することを二度繰り返すことに過ぎない。このような場合については、移動する2つのトークンの関係を検証することにより、単一のサービスによる発火可能ベクトルを一意に決めることができる。



$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

図4 条件(Ⅱ)により制約を受ける例

6 統合後のTSGから新サービスが求まる例

実際に、図2のペトリネットグラフにより新サービスを求めてみる。図2で統合する前の3つのサービスのベクトルは、以下の3ベクトルである。

p = (1,0,1,0,0,1,1,1)
q = (0,0,0,1,1,0,0,0)
r = (1,1,0,0,0,0,0,0)

この3つのベクトルは一次独立なベクトルである。また、他の一次独立なカーネルベクトルは、以下のものである。

s = (1,0,1,1,0,0,0,0)

それについて発火順序を求めると、$T_1 \to T_3 \to T_4$のルートが成り立つことがわかる。またベクトルsは、条件(Ⅰ)、(Ⅱ)も充たす。よってベクトルsは発火可能ベクトルとなり、新サービスといえる。次にベクトルp,q,r,sによる一次従属なベクトルの中に、新サービスがあるかどうかを調べる。ここでは、発火ベクトル$f(\sigma)$を、次の範囲で調べる。

$$f(\sigma) = \sum_{i=1}^{8} k \cdot e[i], (0 \leqq k \leqq 2, k \text{ は整数}; \sum_{i=1}^{8} k \neq 0)$$

ベクトルp,q,r,sの4つの一次独立なベクトルによって、上の式を充たすような一次従属なベクトル$f(\sigma)$は、37個存在する。それらの中で、4章の定義(3)を充たし、かつ条件(Ⅰ),(Ⅱ)を充たすベクトルは、p,q,r,s及び

t = (0,0,0,0,1,1,1,1)

の5つである。よって図2のペトリネットによる行列から、ベクトルp,q,r以外の単一のサービスによる発火可能ベクトルs,tを求めることができる。このことは、p,q,rを統合することにより、新サービスs、tが求まることを意味する。

7 おわりに

ペトリネットを用いて表現した設計仕様に、関数行列を使用した解析を行って新サービスの発見に適用した。今後は、色つきトークンの導入されたシステムにも関数行列を使用した解析の可能性を、調べてみるつもりである。

なお、本研究は第5世代コンピュータプロジェクトの一環として行っているものである。

参考文献

[1]青柳他:"通信システムにおける仕様設計エキスパートシステムの一検討",信学研資、SE86-10,(1986)
[2]J.L.Peterson :"Petri Net Theory and Modeling of Systems",Prentice-Hall,(1981)
[3]長谷川他:"ペトリネットを利用した通信システム設計仕様の解析",信学会第2回ネット理論研究会、pp.75-84(1986)