離散事象系モデリングの一手法について

5W-3

猪股 俊光，橋爪 進，小野木 克明，西村 義行
豊橋技術科学大学　工学部

1．まえがき

離散事象系のモデルとしては，種々のシミュレーション言語，ペトリネット，あるいはそれに類するものなどがあるが，まだシステムの構造解析や設計に繋がるまでに体系化が進められているとはいえない．

そこで筆者らは，離散事象系の解析・設計法の基礎となるモデルの開発を目指して，一つのモデル，事象ファイルグラフ［ＥＦＧ：Event File Graph］を考え，これを中間言語とする３種のシミュレーション言語（ＢＳＦ，ＧＰＳＳ，ＥＣＳＬ）間のトランスレータを試作することによって，ＥＦＧがこれらを含む表現能力を有することを示した[1]．特に，ＥＦＧは離散事象系が非決定性を含んでいればそれをそのまま表現することが可能である．

ここでは，ＥＦＧの解析能力に関する考察結果ついて述べる．

2．離散事象モデル：ＥＦＧ

ＥＦＧは２種類のノード（事象の集合Ｅ，ファイルの集合Ｆ）からなる２部有向グラフである．集合Ｆは，ステートファイルの集合Ｑとタイマーファイルの集合Ｄに分割される．各事象$e_i \in E$には生起の条件を表す論理関数Λ_iと生起に伴ってステートファイルが変化する規則Γ_iが対応する．ただし，$q_k \in Q$からe_iに向かうアークが存在するときq_kはΛ_iの引数となり，e_iからq_jへのアークが存在するときe_iの生起に伴って規則Γ_iによってq_jの内容が変化するものとする．また，e_iから$d_j \in D$にアークが存在するとき，e_iの生起に伴ってタイマーファイルが起動されてτ_{ij}時間（タイマー継続時間）経過したのち，d_jから出るアークの指す事象が生起するものとする．入力ファイルがステートファイルの事象をステートイベント，タイマーファイルの事象をタイムイベントという．

図１に単一窓口待ち行列システムのＥＦＧによるモデリングの例を示す．

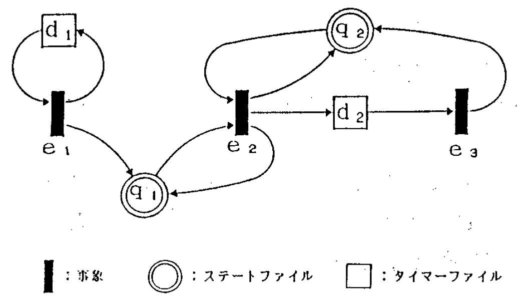


図１　単一窓口待ち行列システムのＥＦＧ

なお，ＥＦＧから次のようにしてSchruben[2]の事象グラフ［ＥＧ：Event Graph］（Ｅ，Ａ）を抽出することができる：ＥＦＧにおいて，e_iからe_jへの初等的なパスが存在するとき，ＥＧにおいてe_iからe_jへのアークa_{ij}を設ける．Ａはこのようにして作られたアークa_{ij}の全体の集合である．図２にＥＦＧ（図１）から抽出されるＥＧを示す．

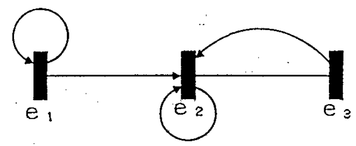


図２　図１のＥＦＧから抽出されるＥＧ

3．ＥＦＧとＥＧによるシステムの構造解析

3．1　ＥＦＧによる非決定性の抽出

一つのステートファイルから複数個のステートイベントへのアークが存在する部分を見いだすことにより，系の持つ非決定性を抽出することができる．例えば図３において，ステートファイルq_2から事象e_1，e_2へのアークが存在することから，事象e_1，e_2とステートファイルq_1，q_2，q_3の状況に応じて，事象e_1，e_2の発生について衝突が起こり得ることがわかる．

On a Discrete Event System Model
Toshimitsu INOMATA, Susumu HASHIZUME, Katsuaki ONOGI, Yoshiyuki NISHIMURA
Toyohashi University of Technology

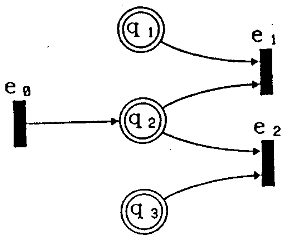


図３　衝突の可能性のある事象

３．２　ＥＧによる解析

前述のようにＥＦＧからＥＧが抽出できるので，Schrubenにより開発された次のような解析が可能である[2]．

ｉ）　必要な状態変数（ファイル）の決定．

ｉｉ）　ＥＧを強連結成分に分解することによる開始事象の抽出．

ｉｉｉ）同時に発生可能なタイムイベントの抽出．

ｉｖ）　独立でない事象の抽出によるＥＧの縮約．

筆者らは，ⅳ)のＥＧの縮約を行うための一つのアルゴリズムを作成したので以下に述べる．

＜ＥＧの縮約のアルゴリズム：図４＞

①　ＥＧのアークに時間の重みを付け，重み付き隣接行列$S=(s_{ij})$を求める．

$$s_{ij}=\begin{cases}\infty & e_i\text{から}e_j\text{へのアークが存在しないとき．}\\ 0 & e_j\text{がステートイベントであるとき．}\\ \tau_{ij} & e_j\text{がタイムイベントであるとき，ただし，}\tau_{ij}\text{はアーク}a_{ij}\text{のタイマーファイル継続時間．}\end{cases}$$

②　$S^{\cdot(i)}$を求める（i=n-1：nはＳの次数）．

③　開始および終了事象以外に対応するＳの列で，対角要素以外に∞と０しか値としてもたないノード集合Ｋを求める．

④　$k\in K$について次のことを行う．
$S^{\cdot(i)}$のｋ行ｋ列を除くと共に，$S^{\cdot(i)}$の添字ｋも取る．

⑤　④で求めた行列をもとにＥＧ′をかく．

ここで，$S^{\cdot(i)}$の演算を次のように定義する[3]．

$$S^{\cdot(i)}=S^{\cdot 1}\dot{+}S^{\cdot 2}\dot{+}\cdots\dot{+}S^{\cdot i}$$

$\dot{+}$は最小和で，$X\dot{+}Y=Z$　のa行b列の元を

$$z_{ab}=\min_{b}(x_{ab},\ y_{ab})$$

とする．

また，　$S^{\cdot i}=\underbrace{S\dot{*}S\dot{*}\cdots\dot{*}S}_{i\text{個}}$　の$\dot{*}$は最小積であり，$X\dot{*}Y=Z$　のa行c列の元を

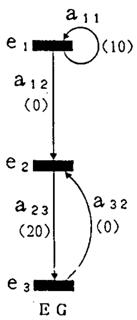
$$z_{ac}=\min_{b}(x_{ab}\dot{*}y_{bc})$$

とする．ただし，

$$x_{ab}\dot{*}y_{bc}=\begin{cases}\infty & x_{ab}\text{と}y_{bc}\text{のいずれかが}\infty\text{のとき．}\\ x_{ab}+y_{bc} & x_{ab}\text{と}y_{bc}\text{がともに}\infty\text{でないとき．}\end{cases}$$

また，最小積を求めるとき，各元に次のような規則で添字を与えていくものとする．

$$x_{lm}\dot{*}y_{mn}=z_{lmn}$$



①
$$S=\begin{array}{c|ccc} & 1 & 2 & 3\\ \hline 1 & 10 & 0 & \infty\\ 2 & \infty & \infty & 20\\ 3 & \infty & 0 & \infty\end{array}$$

②　$S^{\cdot(2)}=S^{\cdot 1}\dot{+}S^{\cdot 2}$
$$=\begin{bmatrix}10_{11} & 0_{12} & \infty\\ \infty & \infty & 20_{23}\\ \infty & 0_{32} & \infty\end{bmatrix}\dot{+}\begin{bmatrix}20_{111} & \infty & 20_{123}\\ \infty & 20_{232} & \infty\\ \infty & \infty & 20_{323}\end{bmatrix}$$
$$=\begin{array}{c|ccc} & 1 & 2 & 3\\ \hline 1 & 10_{11} & 0_{12} & 20_{123}\\ 2 & \infty & 20_{232} & 20_{23}\\ 3 & \infty & 0_{32} & 20_{323}\end{array}$$

③　$K=\{2\}$

④　２行２列を除く
$$S^{\cdot(2)\prime}=\begin{array}{c|cc} & 1 & 3\\ \hline 1 & 10_{11} & 20_{13}\\ 3 & \infty & 20_{33}\end{array}$$

⑤　ＥＧをかく

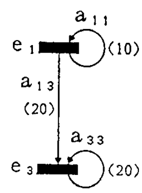


図４　ＥＧの縮約

４．あ　と　が　き

考案したＥＦＧの解析から，衝突する可能性のある事象の組の抽出が可能であることを指摘した．

また，ＥＦＧからSchrubenのＥＧを抽出することができ，従って開始事象などの解析が可能となることを指摘した．特に，ＥＧの縮約からはシステムをモデル化する際に必要最小限の事象の組が求められる．

参　考　文　献

1）猪股，橋爪，小野木，西村：”ある離散事象モデルを用いたシミュレーション言語間のトランスレータの試作”，SICE'86,pp.279-280.

2）Schruben,L："Simulation Modeling with Event Graphs",Communications of the ACM, Vol.26,No.11,1983.

3）小野寺力男：”グラフ理論の展開と応用”，森北出版，1973.