

## 階層状態遷移図の記述品質に対する評価手法の提案

鈴木淳志  
芝浦工業大学

中島毅  
芝浦工業大学

### 1. 研究の背景

状態遷移図は、動的な振る舞いを記載するのに適している。この状態遷移図だが、記述する際、状態数が多すぎると状態爆発を起こしてしまい読み取ることが非常に困難になる問題がある。この問題を克服するために、状態遷移図に階層性、並列性を持たせることでコンパクトな記述が可能となる階層状態遷移図[1]が考案された。これにより、複雑で規模の大きい対象についても状態遷移図での記述が可能となった。

しかし、状態遷移図記述方法に自由度が増加したため、記述者のスキルや経験によって複雑で可読性が悪くなる場合が出るようになった。そこで、状態遷移図を記述中に、品質を定量的に確認し、より良い設計に導くための支援が必要である。

### 2. 先行研究

先行研究として、階層状態遷移図の階層性[2]と並列性[3]に3つの指標を与え、それにより状態遷移図の複雑度の評価を行うものがある。階層性複雑度には、階層の深さと階層をまたぐ状態遷移へのペナルティ付加により複雑度を評価する。状態遷移複雑度は、階層的な状態における遷移についての複雑度を評価する。状態結合度は、並列状態間の依存関係の複雑度を評価する。また、仕様記述問題を作成し修士授業においてサンプルを集め、同一問題の複数サンプルを比較することによって、複雑度を値で品質の良し悪しを評価できること確認している。しかし、先行研究では、単一の階層状態遷移図の複雑度が仕様自体の大きさ（規模）によるものか設計の良し悪しによるものかを判断できない。

### 3. 研究目的

研究は、階層状態遷移図の複雑度を用いて、単一の設計結果の良し悪しを判断するため、階層状態遷移図の複雑度を正規化するための適切な規模指標を定義し、階層性の良さを表す指標を提案することを目的とする。

### 4. 階層状態遷移図における複雑度の提案

#### 4. 1 重みの定義

階層状態遷移図において階層の深さによる状態の重要度を表すために、ある状態  $X$  の重み  $w(X)$  を以下のように定義する。

- $X=U$  の場合： $w(U)=1$
- $X=OR$  状態の場合： $w(X)=w(Sp(X))/noc(Sp(X))$
- $X=AND$  状態の場合： $w(X)=w(Sp(X))$

ここで  $noc(X)$  は状態  $X$  の子の数を表す。OR 状態の場合、親状態の空間を状態の個数で等分に分割していると考えている。AND 状態の場合は、親状態からコピーされ

ていると考え、親状態と同じに設定している。図1に重みの計算例を示す。

階層が深くなれば重みは減っていくので、この重みを複雑度の定義に用いることにより凝集性を評価することを狙っている。

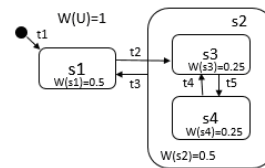


図1 AND状態も含めた重みの計算例

#### 4. 2 状態階層複雑度

階層化による状態の重みを足し合わせていく複雑度である。階層化を適切に行うことで、可読性と凝集性の評価に利用することを狙っている。

ある階層状態遷移図の状態階層複雑度  $C_s$  を、状態  $X$  の階層複雑度  $C_s(X)$  を用いて再帰的に定義する。

- $C_s=C_s(U)$
- 状態  $X$  について、子の集合  $Sub(X)=\{X1, X2, \dots, XN\}$  とすると、 $X$  の状態階層複雑度  $C_s(X)$  は：
- $Sub(X)=\phi$  の場合： $C_s(X)=0$
- $N>0$  かつ  $Sub(X)$  が OR 状態の場合： $C_s(X)=w(X)+\sum_{i=1}^N C_s(Xi)$
- $N>0$  かつ  $Sub(X)$  が AND 状態の場合：

$$C_s(X)=\sum_{i=1}^N C_s(Xi)$$

図1を例にすると以下となる。

$$C_s(X)=1+1.5=1.5$$

#### 4. 3 状態遷移複雑度

遷移する際に通過した状態の重みを足し合わせていく複雑度である。状態遷移はテストケースと考え、可読性とテスト性の評価に利用することを狙っている。階層を跨ぐ状態遷移は複数の状態を通過するため、跨ぐ状態が増えると複雑度は増加する。

(初期状態からの遷移は含まない) 状態遷移  $t_i$  が通過する状態の数を  $t_i$  とする。このとき、ある階層状態遷移図の状態遷移  $Vt_i (i<N)$  としたとき、状態遷移複雑度  $C_i$  は、次式で表す。

$$C_t = \sum_{i=1}^N Vt_i$$

図1を例にすると以下となる。

$$C_i(t) = 1+2+1+1+1 = 6$$

### 5. 階層性の良さを表す指標の提案

#### 5. 1 状態と状態遷移に関する規模指標

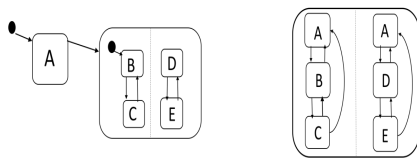
階層状態遷移図の2つの複雑度を、それぞれ状態に関する階層性の導入度と、状態遷移数の削減度として評価することを考える。この際、元々仕様が持っている規模を、単純状態規模、状態遷移規模の2つの指標を当たりに定義する。

(1) 状態の展開方法

AND 状態がない場合、状態の規模は末端状態数であると考えられる。しかし AND 状態があると本来はその段階で状態数の掛け算により評価する必要が出てくる。現在、階層状態遷移図のモデリングはUMLのコンテキストで使われており、それによれば並列した状態マシンであるオブジェクトによる実世界モデルがノーマルな姿となる。

そのため規模指標を導入する際、以下のステップで階層状態を展開する。

- ① AND 状態の展開： 図2のように、OR 状態の下にある AND 階層状態を、すべて最上位に持ってくるように展開し、階層状態遷移図を変換する。この際、AND 状態の上位にある OR 状態は、各 AND 状態下にコピーされる。



(a) 展開前 (b) 展開後

図2 階層状態遷移図の AND 状態の展開

- ② 抽象 OR 状態の展開： さらにすべての抽象 OR 状態を展開する。
- ③ 状態遷移の展開： ①②ともに状態遷移も展開される。この際、抽象状態から出る状態遷移は展開される状態に引き継がれる。

(2) 単純状態数  $N_s$  と単純状態遷移数  $N_t$  の定義

$N_s$  = 展開された状態遷移図の状態数

$N_t$  = 展開された状態遷移図の状態遷移数

5.2 階層性のよさを表す2つの指標

規模指標として定義した、単純状態数と単純状態遷移数を用いて、階層状態をうまく利用できているかどうかを表すための2つの指標を定義する。

(1) 階層状態利用度  $(C_s-2)/N_s$

階層状態遷移複雑度は、各階層の状態を2つにするように階層性を持ち込めば最小値2がとなる。この指標値は、小さいほど階層性をうまく取り入れていると評価できる。

(3) 状態遷移削減度  $C_t/N_t$

階層状態をうまく用いると、状態遷移の数を削減できる。しかしながら、不必要に抽象状態を持ち込むと、状態を跨ぐ状態遷移が生じやすくなる。この指標値は小さ

いほど階層状態をうまく使っていることを表す。

6. 記述実験結果に基づく考察

6.1 記述実験

2つ仕様記述問題を学生に作らせ、提案する2つの指標値の計算結果の分布を調べた。

S1 エアコンの仕様： サンプル数4

S2 自動車の操作の仕様： サンプル数5

6.1 実験結果と考察

上記9サンプルに関する階層状態利用度  $(C_s-2)/N_s$  と状態遷移削減度  $C_t/N_t$  の分布を図30に示す。

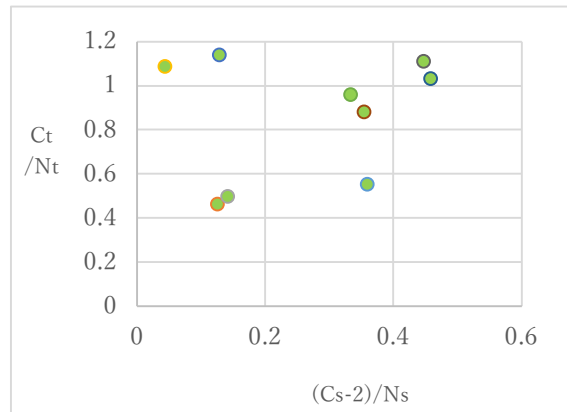


図3 階層性評価の散布図

これから以下のことが分かった。

- 2つの仕様の値の分布に大きな差異はなく、同一の指標で階層性のよさを評価できる可能性がある。
- 明らかに悪い階層性を表すものとして、以下のような閾値を設定できる可能性がある。
  - $(C_s-2)/N_s > 0.4$
  - $C_t/N_t > 1.0$

8. まとめ

階層状態遷移図の複雑度を正規化するための適切な規模指標を定義し、階層性の良さを表す2つの指標を提案した。実験により、この指標が、仕様の規模や形に依存せず、悪い設計を判断するための基準値を設定できる可能性を確認した。サンプル数が少ないため信頼性に少し欠けるため今後さらなるサンプルを用意しデータを抽出し、さらなる評価を行いたい。

参考文献

[1] David HAREL.STATECHARTS:A VISUAL FORMALISMFORCOMPLEX SYSTEMS, Science of Computer Programming 8 (1987) 231-274.  
 [2] 階層状態に対する複雑度評価の提案 須藤翔太 芝浦工業大学 2016年卒 卒業論文  
 [3] 階層状態遷移図に対する AND 状態間の結合度を評価する手法の提案とツール実装 中村悠太 芝浦工業大学 2017年卒 卒業論文

「Proposal of evaluation method for description quality of hierarchical state transition diagram」  
 「Atsushi Suzuki・Shibaura Institute of Technology」