김일성종합대학학보 주체110(2021)년
수 학 제67권 제2호

색페트리망과 확장시태론리로 표현된 형식명세서의 시험경우생성방법

한 도 욱

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》(《**김정일**선집》증보판 제11권 138~139페지)

우리는 체계의 품질보증에서 중요한 요구로 나서는 시험경우생성방법에서 제기되는 한가지 문제를 설정하고 해결하였다.

모형에 기초한 시험은 체계모형에 대한 시험경우를 자동적으로 생성하지만 많은 시험경우들을 생성하기때문에 시험효률에 영향을 주며 시험효률을 높이기 위해 특정의 시험목표에 대한 시험경우를 생성하는 방법이 연구되고있다.[6]

계산나무론리(Computation Tree Logic: CTL)[4]와 확장된 계산나무론리(ASK-CTL)[1, 5]를 리용하여 체계모형에 대한 형식적검증을 진행하는 연구들이 있다.

선행연구[4]에서는 모형검사도구 SMV의 론리인 계산나무론리를 리용하여 립증실례와 시험경우들사이의 형식적인 관계를 론의하였다.

론문에서는 색페트리망[3]과 CTL의 확장형식인 ASK-CTL을 리용하여 서술된 형식명세서에서 특정의 시험목표에 대한 시험경우를 생성하는 한가지 방법을 제안한다.

정의 1 색페트리망 CPN=$(\sum, P, T, A, N, C, G, E, M_0)$의 상태공간[2]은 방향그라프 $\mathrm{SSG}=(\mathrm{St}, \mathrm{Ar})$로 표시할수 있다. 이 방향그라프를 상태공간그라프(SSG)라고 부른다. 여기서 St는 초기표식 M_0으로부터 도달가능한 모든 정점들의 모임이고 Ar는 가지들의 모임 $\mathrm{Ar}=\{(M, (t, b), M')\in \mathrm{St}\times\mathrm{BE}\times\mathrm{St} \mid M[(t, b)>M'\}$이며 t는 이행이고 b는 변수가 가지는 값, BE는 이행과 변수값으로 이루어진 속박들의 모임이다. M, M'는 표식이며 상태를 표현한다.

주어진 색페트리망의 $\mathrm{SSG}=(\mathrm{St}, \mathrm{Ar})$에서 어떤 비지 않은 유한개의 정점－가지들의 순서렬 $\pi=S_0a_1S_1a_2\cdots a_kS_k$를 S_0에서 S_k까지의 경로라고 말한다. 여기서

$$S_i\in \mathrm{St}\ (0\le i\le k),\quad a_i\in \mathrm{Ar}\ (1\le i\le k)$$

이때 S_0을 경로의 시작점, S_k를 경로의 끝점이라고 하며 $|\pi|=k$를 경로의 길이라고 한다. $S_0=S_k$이면 닫긴 경로라고 말하며 π^ω로 표시한다. π^{ω^n}은 π^ω를 n번 반복한다는 것을 표시한다.

$\mathrm{Spaths}(S)$는 정점 S에서 시작하는 모든 경로들의 모임이고 $\mathrm{Apaths}(a)$는 가지 a에서 시작하는 모든 경로들의 모임이다. ASK-CTL은 색페트리망의 상태공간에서 상태정보와 이행정보를 취급하기 위하여 CTL을 확장한 론리이다. α를 정점공식, β를 가지공식, SSG의 상태 S에서 정점공식 α가 성립된다는것을 SSG, $S\models_{\text{상태}}\alpha$로 표시하며 SSG의 가지 a에서 가지공식 β가 성립된다는것을 SSG, $a\models_{\text{가지}}\beta$로 표시한다.

또한 SSG의 상태 S 에서 정점공식 α 가 성립되지 않는다는것을 SSG, $S \not\models_{상태} \alpha$ 로, SSG의 가지 a 에서 가지공식 β 가 성립되지 않는다는것을 SSG, $a \not\models_{가지} \beta$ 로 표시한다.

정의 2 ASK-CTL공식 ϕ 와 상태공간그라프 $\mathrm{SSG} = (\mathrm{St},\ \mathrm{Ar})$, 정점 $S \in \mathrm{St}$ (가지 $a \in \mathrm{Ar}$)가 주어졌을 때 SSG, $S \models_{상태} \phi$ (SSG, $a \models_{가지} \phi$)이라면 $S \in \mathrm{St}$ 를 ϕ 에 대한 립증상태(립증가지), SSG, $S \not\models_{상태} \phi$ (또는 SSG, $a \not\models_{가지} \phi$)라면 $S \in \mathrm{St}$ 를 ϕ 에 대한 반증상태(반증가지)라고 부른다.

실례로 ASK-CTL의 정점공식 $\phi = \mathrm{POS}(p)$ 의 립증상태 $S_0 \in \mathrm{St}$: SSG, $S_0 \models_{상태} \mathrm{POS}(p)$ 는 어떤 경로 $\pi = S_0 a_1 S_1 a_2 S_2 \cdots a_k S_k$ 에서 SSG, $S_k \models_{상태} p$ 이다. 여기서 $p = NF(\alpha) \in AP$ 는 원자명제이다.

정의 3 상태공간그라프 $\mathrm{SSG} = (\mathrm{St},\ \mathrm{Ar})$ 에서 ASK-CTL공식 ϕ 의 증거그라프는 뿌리를 가진 방향그라프 $\mathrm{G}_E = (\mathrm{St}_E,\ \mathrm{Ar}_E)$ 이다. 여기서 $\mathrm{St}_E \subseteq \mathrm{St},\ \mathrm{Ar}_E \subseteq \mathrm{Ar}$ 이다.

증거그라프의 뿌리정점은 $\mathrm{Head}(\mathrm{G}_E)$ 로 표시한다. 상태공간그라프에서 ϕ 에 대한 모든 증거그라프들의 모임을 $\mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$ 로 표시한다.

증거그라프는 주어진 ASK-CTL공식에 대한 증명이며 증명에 필요한 모든 정보들을 포함하는 상태공간그라프의 부분그라프이다.

ASK-CTL공식 ϕ 의 증거그라프 $\mathrm{G}_E = (\mathrm{St}_E,\ \mathrm{Ar}_E)$ 의 뿌리정점 $\mathrm{Head}(\mathrm{G}_E)$ 에서부터 나가는 가지들의 렬을 ASK-CTL공식 ϕ 에 대한 시험경우라고 말한다.

ASK-CTL의 공식 $\mathrm{POS}(\phi)$ 의 증거그라프에 대하여 다음의 성질이 성립된다.

① $G_E \subseteq S\,\mathrm{SG}$

② SSG, $\mathrm{Head}(\mathrm{G}_E) \models_{상태} \mathrm{POS}(\phi)$

③ $\pi \in \mathrm{Spaths}(\mathrm{Head}(\mathrm{G}_E))$ 인 경로 $\pi = S_0 a_1 S_1 a_2 S_2 \cdots a_k S_k$ 의 어떤 S_i 에 대하여 $t \in \mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$, $t \subseteq G_E$, $S_i = \mathrm{Head}(t)$ 이다.

④ $\pi \subseteq \mathrm{G}_E$

ASK-CTL의 정점공식(가지공식) ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 와 증거그라프 G_E 에 대하여서도 류사한 성질들이 성립된다.

정리 1 상태공간그라프 $\mathrm{SSG} = (\mathrm{St},\ \mathrm{Ar})$ 와 ASK-CTL공식 ϕ 에 대하여 정점 $S \in \mathrm{St}$ (가지 $a \in \mathrm{Ar}$)가 SSG 에서의 ϕ 에 대한 립증상태(립증가지)이기 위하여서는 ϕ 의 증거그라프 $t \in \mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$ 가 있어서 $S = \mathrm{Head}(t)$ ($a = \mathrm{Head}(t)$)일것이 필요하고 충분하다.

이 정리는 모든 ASK-CTL공식의 립증상태는 증거그라프의 뿌리정점에 있다는것을 보여준다. 만일 SSG 의 초기정점 S_0 이 ASK-CTL공식의 립증상태이라면 S_0 을 뿌리정점으로 하는 ASK-CTL공식의 증거그라프가 존재한다.

따라서 시험경우는 초기정점우의 ASK-CTL공식에 대한 증거그라프만 고려하면 된다.

증명 모든 ASK-CTL공식들에 대하여 류사하게 증명할수 있기때문에 여기서는 상태공식 $\mathrm{EV}(\phi)$ 인 경우에 대하여서만 증명한다.

상태공간그라프 $\mathrm{SSG} = (\mathrm{St},\ \mathrm{Ar})$ 와 ASK-CTL공식 $\mathrm{EV}(\phi)$ 에 대하여 정점 $S \in \mathrm{St}$ (가지 $a \in \mathrm{Ar}$)가 상태공간그라프에서의 $\mathrm{EV}(\phi)$ 에 대한 립증상태라고 하면 정의로부터 SSG, $S \models_{상태} \mathrm{EV}(\phi)$ (SSG, $a \models_{가지} \mathrm{EV}(\phi)$)인 모든 경로 $\pi \in \mathrm{Spaths}(S)$, $\pi = S_0 a_1 S_1 a_2 S_2 \cdots a_k S_k$ 에 대하여 다음의 성질이 만족된다.

① $S=S_0$ ($a=a_1$)

② π 우의 어떤 상태 S_i (a_i)에 대하여 SSG, $S_i \models_{상태} \phi$ (SSG, $t_i \models_{가지} \phi$)이다.

따라서 $S_i = \mathrm{Head}(t)$ ($a_i = \mathrm{Head}(t)$)인 증거그라프 $t \in \mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$ 가 있다.

경로 $\pi = S_0 a_1 S_1 a_2 S_2 \cdots a_k S_k$ 에서 상태들의 모임을 St_E , 가지들의 모임을 Ar_E 로 하면 $G_E = (\mathrm{St}_E,\ \mathrm{Ar}_E)$ 는 $S = \mathrm{Head}(G_E)$ ($a = \mathrm{Head}(G_E)$)인 $\mathrm{EV}(\phi)$ 에 대한 증거그라프이다.

거꾸로 증거그라프 $t \in \mathrm{EVD}(\mathrm{EV}(\phi),\ \mathrm{SSG})$ 가 있어서 $S = \mathrm{Head}(t)$ ($a = \mathrm{Head}(G_E)$)라고 하면 정의로부터 SSG, $S \models_{상태} \mathrm{EV}(\phi)$ (SSG, $a \models_{가지} \mathrm{EV}(\phi)$)이다.(증명끝)

정리 2 상태공간그라프 $\mathrm{SSG}=(\mathrm{St},\ \mathrm{Ar})$ 와 ASK-CTL공식 ϕ 에 대하여 ϕ 의 증거그라프 $t \in \mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$ 에서 $\mathrm{Head}(t)$ 부터 시작하는 경로 π 가 $\pi = \pi_1 \pi_2^{\omega^n}$ 으로 표시되면 t 를 $\mathrm{Head}(t) = \mathrm{Head}(t')$ 부터 시작하는 경로 $\pi' = \pi_1 \pi_2^{\omega^1}$ 을 가지며 같은 공식 ϕ 를 만족시키는 증거그라프 $t' \in \mathrm{EVD}(\phi,\ \mathrm{SSG})$ 로 축소할수 있다.

정리 2로부터 증거그라프에 닫긴 경로가 있으면 그 닫긴 경로를 한번 포함하는 증거그라프로 만들수 있다는것을 알수 있다.

다음으로 증거그라프에 의한 시험경우생성알고리듬에 대하여 보자.

적은 로력과 자원을 가지고 짧은 시간안에 체계의 약점을 발견하는것이 시험의 목적이다.

체계의 정확성검증을 위한 시험경우는 대단히 많으며 지어 무한모임일수도 있기때문에 특정의 시험목표에 대한 시험경우를 생성하는 방법이 연구되고있다.

정의없이 리용하는 기호들은 선행연구[1, 2]에 따른다.

알고리듬은 다음과 같다.

입력: 색페트리망모형 CPN, 시험목표를 ASK-CTL로 서술한 공식 ϕ

출력: 공식 ϕ에 대한 시험경우모임

단계 1 색페트리망모형 CPN에 대한 상태공간그라프 SSG를 생성한다.

단계 2 SSG의 교착상태에서 체계의 정상종결상태와 강련결성을 판정하고 만족되지 않으면 체계에 부족점이 있는것으로 판단하고 단계 6에로 이행한다.

단계 3 ϕ에 대한 판정을 진행한다. SSG, $S \not\models_{상태} \phi$이면 단계 6에로 이행한다.

단계 4 시험경우를 생성한다.

// arcs: 가지들의 목록, visited: 이미 탐색한 가지들의 목록

① GenerateTestCaseSet(OutArcs([1]), [])로 초기화한다.

② 다음의 함수를 수행한다.

```
function GenerateTestCaseSet(arcs, visited){
   arcs←OutArcs(DestNode(hd(arcs)));
    if arcs= =nil then nil
    else
    i←1
    while(i<length(arcs))
       if (mem visited hd(arcs))= =true then
             GenerateTestCaseSet(tl(arcs), visited)
          else if (SourceNode(hd(arcs))= =φ를 만족시키는 상태) then
                   rev(hd(arcs)::visited); 단계 5에로 이행
```

```
                else
                    GenerateTestCaseSet(tl(arcs)^^(OutArcs(DestNode(hd(arcs))),
                  hd(arcs):: visited))
            end if
        i←i+1
        end of while
        }
```

단계 5 visited의 출력

단계 6 정지

명백히 이 알고리듬은 상태공간이 유한이고 ASK-CTL공식 ϕ의 증명그라프가 있으면 반드시 유한걸음만에 시험경우를 생성한다.

이와 같이 우리는 색페트리망과 계산나무론리의 확장형식인 ASK-CTL을 리용하여 서술된 형식명세서에서 특정의 시험목표에 대한 시험경우를 생성하는 한가지 방법을 제안하였다.

참 고 문 헌

[1] S. Christensen et al.; Design/CPN ASK-CTL Manual, University of Aarhus, 1～16, 1996.

[2] K. Jensen et al.; CPN Tools State Space Manual, University of Aarhus, 1～49, 2006.

[3] K. Jensen et al.; Coloured Petri Nets, Springer, 1～384, 2009.

[4] D. Wijesekera et al.; Proceedings of the 3rd International Workshop on Advances in Model-Based Testing, ACM Press, 75～84, 2007.

[5] Xiaoxing Sun; China Communications, 5, 89, 2016.

[6] J. O. Gutsfeld; Model Checking Software 25th International Symposium, Springer, 153～170, 2018.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

A Method of Generating Test-cases for the Formal Specification Described by Colored Petri Net and an Extended Temporal Logic

Han To Uk

The paper proposes a method of generating test-cases for the formal specification described by colored petri net and ASK-CTL which is an extension of CTL.

Keywords: colored petri net, temporal logic