김일성종합대학학보 JOURNAL OF KIM IL SUNG UNIVERSITY
(자연과학) (NATURAL SCIENCE)
주체103(2014)년 제60권 제6호 Vol. 60 No. 6 JUCHE103(2014).

UML상태도의 연산적의미론에 대한 연구

신춘옥, 박철진

UML설계에 대한 모형검사를 적용하는데서 첫단계는 UML도식들의 형식적의미론을 결정하고 의미론적인 넘기기를 실시하여 검증모형을 얻는것이다.[1, 2] 이로부터 론문에서는 UML상태도의 연산적의미론을 고찰하였다.

먼저 UML상태도를 계층적인 표식붙은 이행체계(LTS)로 추상화하고 그것의 연산적의미론을 크리프케구조우에서의 연역체계로 정식화하였다.

계층적인 LTS는 다시 LTS들로 구성되며 세련화함수에 의하여 그것들사이의 계층성과 병행성을 특징지을수 있다.

정의 1 LTS는 다음과 같은 4원조이다.

$$\text{LTS } A=(States_A,\ S_A^0,\ Labels_A,\ Tr_A)$$

여기서 $States_A$는 S_A^0으로부터 시작하는 상태들의 유한모임이고 $Labels_A$는 이행표식들의 유한모임이다. 그리고 $Tr_A \subseteq States_A \times Labels_A \times States_A$는 LTS에서의 이행관계이다.

한편 이행 $t \in Tr_A$에 붙은 표식 $l_t \in Labels_A$는 3원조 (ev, g, ac)이다. 여기서 ev는 상태이행을 발생시키는 사건, g는 감시자, ac는 작용들의 목록이다.

이러한 이행 $t=(s, (ev,\ g,\ ac), s')$에 대하여 다음의 함수들을 정의한다.

$$source(t)=s,\ t\arg et(t)=s',\ event(t)=ev,\ guard(t)=g,\ action(t)=ac$$

또한 이행 t에 대하여 원천상태제약을 주는 함수를 $sr(t)$, 목표상태를 결정하는 함수를 $td(t)$로 한다.

정의 2 (계층적LTS) 계층적LTS는 다음과 같은 4원조이다.

$$H=(F,\ E,\ rf,\ L)$$

여기서 F는 $\forall A_1,\ A_2 \in F : States_{A_1} \cap States_{A_2} = \phi$인 LTS A_i들의 모임이고 E는 사건 ev들의 모임이다. 그리고 $rf : \bigcup_{A\in F} States_A \to 2^F$는 상태들의 세련화함수로서 F에 나무구조를 준다. 즉 $A_{\text{root}} \notin \bigcup \text{rng}\, rf$인 유일한 뿌리 LTS $A_{\text{root}} \in F$가 존재한다.

이때 뿌리가 아닌 매 LTS는 꼭 하나의 조상상태를 가진다. 즉 $\bigcup \text{rng}\, rf = F \setminus \{A_{root}\}$이며 $\forall A \in F \setminus \{A_{root}\} : \exists_1 s \in \bigcup_{A' \in F\setminus\{A\}} States_{A'} : A \in (rf(s))$이다.

그리고 순환이 없다. 즉

$$\forall S \subseteq \bigcup_{A\in F} States_A : \exists s \in S : S \cap \bigcup_{A\in F} States_A = \phi,\ \ L = \bigcup_{A\in F} Labels_A .$$

이상의 고찰로부터 매 LTS는 A를 뿌리로 하며 세련화함수 rf를 가지는 계층적LTS로 고찰하며 이때 $rf(s)=\phi$인 상태 s를 기초상태라고 한다.

한편 $A \in F$에 대하여 A안의 LTS들, 상태들, 표식들, 이행들을 각각 다음과 같이 표시한다.

$$\Gamma_A = \{A\} \bigcup (\bigcup_{A' \in (\bigcup_{s \in State_A} rf_A(s))} \Gamma_{A'}), \qquad \Theta_A = \bigcup_{A' \in \Gamma_A} States_{A'},$$

$$\Lambda_A = \bigcup_{A' \in \Gamma_A} Labels_{A'}, \qquad \Delta_A = \bigcup_{A' \in \Gamma_A} Tr_{A'}$$

우리는 LTS A를 단순 LTS 혹은 A에 의하여 특징지어지는 H의 부분계층적LTS $subH_A$로 고찰한다.

UML상태도에서의 상태이행을 모형화하기 위하여 상태선행, 충돌이행, 이행우선권, 직교상태의 개념들을 아래에서 정의한다.

정의 3 (상태선행) $s,\ s' \in \Gamma_H$ 에 대하여 $s \prec s' \Leftrightarrow s' \in \Gamma_{rf(s)}$ 이다. 그리고 $\le$는 $\prec$의 반사폐포이다.

정의 4 (충돌이행) $t,\ t' \in (\Delta_H)$에 대하여 t가 t'와 충돌한다는것은

$$t,\ t' \wedge ((source(t) \le source(t')) \vee (source(t') \le source(t)))$$

이 성립한다는것을 말하며 이때 $t \# t'$로 표시한다.

정의 5 (우선권도식) 3원조 $(\Pi,\ \triangleleft,\ \pi)$를 우선권도식이라고 부른다. 여기서 $(\Pi,\ \triangleleft)$는 부분순서이고 $\pi : \Delta_H \to \Pi$는 $\forall t,\ t' \in (\Delta_H) : \pi(t) \triangleleft \pi(t') \wedge t \ne t' \Rightarrow t \# t'$가 성립하는 넘기기이다.

정의 6 (직교상태) 두 상태 $s,\ s' \in \Theta_H$ 에 대하여 직교상태 $s \parallel s'$를

$$s \parallel s' \Leftrightarrow \exists s'' \in (\Theta_H) : A,\ A'' \in (rf(s'')) : A \ne A' \wedge s \in \Theta_A \wedge s' \in \Theta_{A'}$$

로 정의한다.

UML상태도식에서의 상태계층에서는 보다 안쪽에 있는 상태에서 시작하는 이행이 보다 높은 우선권을 가진다.

따라서 H의 직교상태들의 모임 즉

$$\{S \subseteq (\Theta_H) \mid \forall s, s' \in S : (s \ne s' \Rightarrow s \parallel s')\}$$

와 $\le^S$ ($\le$의 모임에로의 옮김)는 부분순서를 이루며

$$f(t) = \{s \mid s \in (source(t) \wedge sr(t) = \varnothing\} \cup (sr(t))$$

를 이행에 우선권을 할당하는 우선권함수로 정의할 때

$$\forall t,\ t' \in (\Gamma_H.(f(t) \le^S f(t') \wedge t \ne t' \Rightarrow t \# t'))$$

로 된다.

계층적LTS의 대역적인 상태는 계층적LTS를 이루는 부분LTS들의 국부적인 상태에 의하여 표시한다.

정의 7 (계층적LTS의 상태구성) H의 상태구성은 다음의 조건을 만족시키는 모임 $C \subseteq (\Theta_H)$이다.

① $\exists_1 s \in States_{Aroot} : s \in C$

② $\forall s, A : s \in C \wedge A \in rf(s) \Rightarrow \exists_1 s' \in A : s' \in C$

그리고 $A \in F$ 에 대하여 A의 모든 상태구성의 모임을 $Conf_A$로 표시한다.

이상의 개념에 기초하여 계층적LTS로 모형화한 UML상태도의 연산적의미론을 상태들의 모임에서의 이행관계를 반영하는 크리프게구조로 정의한다. 여기서 UML상태도로 서술된 체계상태는 계층적LTS의 상태구성과 계층적LTS가 호상작용하여야 할 환경 ε에 의하여 결정된다고 보았다.

정의 8 계층적LTS H의 연산적의미론은 크리프케구조 $K_H=(S, s^0, \xrightarrow{\Delta})$이다. 여기서 $S=Conf_H\times\varepsilon$ 은 K_H 의 상태들의 모임, $s^0=(\beta_0, \varepsilon_0)\in S$ 는 초기상태, $\xrightarrow{\Delta}\subseteq S\times S$ 는 우선권에 기초한 H의 LTS의 비충돌이행들의 최대모임이다.

관계 $A\& P::(\beta,\ \varepsilon)\xrightarrow{\Delta}(\beta',\ \varepsilon')$는 계층적 LTS A의 표식붙은 이행을 모형화하며 Δ은 발화되는 A의 LTS의 이행들을 표시한다. 모든 $s''\in S$ 에 대하여 $s\le s''$인 상태 s와 모임 $S\subseteq\Gamma_{rf(s)}$ 에 대한 S의 폐포를 $c(s,\ S)=\{s' | \exists s'\in S: s\le s'\le s''\}$ 로 정의한다. 그리고 술어 $is\_join_{j=1}^{n}\varepsilon_j\ G$ 는 G가 $\varepsilon_1,\ \cdots,\ \varepsilon_n$의 련합으로 될수 있다는것을 규정한다.

크리프케구조 K_H 에서의 연역규칙은 다음과 같다.

① 진행규칙

$t\in\{t\in State_A | \{source(t)\}\bigcup(sr(t))\subseteq\beta\wedge event(t)\in\varepsilon\wedge(\beta,\varepsilon)|= guard(t)\}$,

$\neg\exists t'\in P\bigcup\bigcup_{A'\in\Gamma_A}\{t\in State_{A'} | \{source(t)\}\bigcup(sr(t))\subseteq\beta\wedge event(t)\in\wedge(\beta,\varepsilon)|= guard(t)\}: \pi(t)\lhd\pi(t')$

가 만족되면

$$A\& P::(\beta,\ \varepsilon)\xrightarrow{\{t\}}(c(taget(t),\ (td(t)),\ new(action(t))$$

가 성립된다.

② 합성규칙

$\{s\}=\beta\cap State_A$,

$rf_A(s)=\{A_1,\ \cdots,\ A_n\}\neq\varnothing$,

$(\wedge_{j=1}^{n}A_j\ \&\ (P\cup\{t\in State_A | \{source(t)\}\cup(sr(t))\subseteq\beta\wedge event(t)\in\varepsilon\wedge(\beta,\varepsilon)|= guard(t)\}::$

$(\beta,\varepsilon)\xrightarrow{\Delta_j}(\beta_j,\ \varepsilon_j))\wedge is\_join_{j=1}^{n}\varepsilon_j\ G,$

$(\bigcup_{j=1}^{n}\Delta_j=\varnothing)\Rightarrow(\forall t\in\{t\in State_A | \{source(t)\}\cup(sr(t))\subseteq\beta\wedge event(t)\in\varepsilon\wedge$

$(\beta,\ \varepsilon)|= guard(t)\}:\ \exists t'\in P: \pi(t)\lhd\pi(t')$

가 만족되면

$$A\& P::(\beta,\ \varepsilon)\xrightarrow{\bigcup_{j=1}^{n}\Delta_J}(\{s\}\cup\bigcup_{j=1}^{n}\beta_j,\ G)$$

가 성립된다.

③ 더듬기규칙

$\{s\}=\beta\cap State_A$

$rf_A(s)=\varnothing$

$\forall t\in\{t\in State_A | \{source(t)\}\cup(sr(t))\subseteq\beta\wedge event(t)\in\varepsilon\wedge(\beta,\ \varepsilon)|=$

$= guard(t)\}: \exists t'\in P: \pi(t)\lhd\pi(t')$

가 만족되면

$$A\& P::(\beta,\ \varepsilon)\xrightarrow{\varnothing}(\{s\},\ nil)$$

이 성립된다.

우의 진행규칙은 A의 이행이 허용되고 이 이행의 우선권이 충분히 높으면 이행이 발화되고 새로운 상태에 도달한다는것을 규정하며 합성규칙은 LTS가 어떻게 이행의 실행을 부분 LTS에 넘기고 이 이행이 웃쪽으로 전달되여가는가를 보여준다. 보다 높은 우선권을 가

지는 허용된 이행이 A에 없고 이행의 실행을 위탁받을수 있는 부분LTS가 존재하지 않으면 A는 더듬기규칙에 따라서 잠간 정지한다.

정리 관계 $A\&P::(\beta,\ \varepsilon)\xrightarrow{\Delta}$는 Δ가 다음의 성질을 만족시키는 모임의 포함관계아래에서 최대일 때 그리고 오직 그때에만 성립한다.

① $\forall t, t' \in \Delta : \neg t \# t'$

② $\Delta \subseteq \bigcup_{A' \in \Gamma_A} \{t \in State_{A'} | \{source(t)\} \cup (sr(t)) \subseteq \beta \wedge (event(t) \in \varepsilon \wedge (\beta,\ \varepsilon) |= guard(t)\}$

③ $\forall t \in \Delta : \neg \exists t' : \bigcup_{A' \in \Gamma_A} \{t \in State_{A'} \mid \{source(t)\} \cup (sr(t)) \subseteq \beta \wedge (event(t) \in \varepsilon \wedge (\beta,\ \varepsilon) |=$
$= guard(t)\} : \pi(t) \lhd \pi(t')$

④ $\forall t \in \Delta : \neg \exists t' \in P : \pi(t) \lhd \pi(t')$

참 고 문 헌

[1] M. E. Beato et al.; Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 127, 4, 3, 2005.

[2] S. Zhang et al.; In 4th International Conference on Secure Software Intergration and Reliability Improvement Companion, IEEE Computer Society, 1～6, 2010.

주체103(2014)년 2월 5일 원고접수

On the Operational Semantics of UML-Statechart

Sin Chun Ok, Pak Chol Jin

We abstracted UML-statechart to hierarchical labelled transition system(LTS) and defined its operational semantics as the deduction system on kripke structure in order to apply model checking to UML design model.

Key words: UML-Statechart, semantic