

## $\pi$ -계산론리를 시간 $\pi$ -계산론리로 확장하기 위한 한가지 방법

방은철, 김용석

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 나라의 경제발전과 인민생활향상에서 전망적으로 풀어야 할 문제들과 현실에서 제기되는 과학기술적문제들을 풀고 첨단을 돌파하여 지식경제건설의 지름길을 열어놓아야 합니다.》

$\pi$ -계산론리는 병행체계, 통신체계를 모형화하기 위한 언어로 출현하여 보다 복잡한 체계들을 어떻게 모형화하며 그것의 정확성을 어떻게 검증하겠는가 하는 방향에서 연구가 진행되고있다.

선행연구[1]에서는 실시간체계를 모형화하기 위하여 리산시간속성을 가지는  $\pi$ -계산론리의 문장론을 확장하고 그것의 조작적의미론을 제기하였다.

선행연구[2]에서는 시간속성을 가진 시간자동체를  $\pi$ -계산론리로 변환하기 위한 연구를 진행하였다.

실시간체계에서 처리들은 물리적인 장치들을 조종하는 조종기로 볼수 있으며 이것들은 시간, 거리, 압력, 가속도와 같은 물리적속성들을 가지고 모형화되어야 체계의 정확성이 담보된다. 그러나 선행연구[1, 2]들에서는 리산시간속성을 가지는 처리들을 모형화하기 위한 방향에서 연구들이 진행되었으며 연속시간속성에 대해서는 논의하지 못하였다.

실시간체계에서 연속시간속성은 중요한 속성이며 이러한 속성들이 만족되어야 체계의 정확성을 담보할수 있다.

여기로부터 논문에서는 체계의 연속시간속성을 모형화하기 위한 방법을 제기하고 그에 따라 시간  $\pi$ -계산론리의 문장론을 확장하고 그 조작적의미론을 연구하였다.

### 1. 시간계수기와 그 연산

실시간체계에서 처리는 다른 처리로부터 받는 통보문의 내용뿐아니라 그 시간제약에도 의존한다. 다시말하여 한 처리로부터 다른 처리로 통보문을 보내거나 다른 처리로부터 통보문을 받는 체계의 행동은 어떤 시간제약을 만족하여야 한다.

이러한 체계의 행동을 모형화하기 위하여 우리는 시간계수기와 그 연산을 먼저 논의한다.

처리들사이에 주고받는 통보문을 우리는 다음과 같은 3원조로 표현한다.

$$M ::= \langle m, t_m, C \rangle$$

여기서  $m$ 은 통보문의 내용,  $t_m$ 은 통보문에 대한 시간표식,  $C$ 는  $t_m$ 을 생성하는데 리용되는 시간계수기이다.

한편 시간계수기의 재설정과 시간표식은 시간계수기를 표현하는데서 중요한 개념이다.

이제  $\Gamma$ 를 시간계수기이름들의 무한모임,  $\Theta$ 를 시간표식을 표현하는 변수들의 무한모임이라고 하면 이러한 시간계수기의 BNF표기법은 다음과 같다.

$$C ::= C_c C_r$$

웃식에서  $C \in \Gamma$ 는 시간계수기를 의미하며  $C_c$ 는 시간제약율,  $C_r$ 는 시간계수기재설정을 의미하는데 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} C_c &::= (c \sim r) C_c (c - t \sim r) C_c \mid \varepsilon \\ C_r &::= (c = 0) C_r \mid \varepsilon \sim = \langle \rangle \mid \leq \mid \geq \end{aligned}$$

여기서  $t \in \Theta$ 는 통보문의 시간표식을,  $\varepsilon$ 은 빈시간계수기연산을 의미한다.

## 2. 시간 $\pi$ -계산론리의 문장론

시간  $\pi$ -계산론리는  $\pi$ -계산론리에 위에서 논의한 시간계수기개념을 확장한것이다. 시간  $\pi$ -계산론리의 문장론을 BNF표기법으로 다음과 같이 표현한다.

$$M ::= C\bar{x}\langle y, t_y, c \rangle.P \mid Cx(\langle y, t_y, c \rangle).P \mid C_r.p \mid 0 \mid M + M'$$

여기서  $P ::= M \mid P \mid P' \mid !P \mid \nu zP \mid [x = y]P$ 이다.

시간  $\pi$ -계산론리식의 매 항목들의 의미는 다음과 같다.

$C\bar{x}\langle y, t_y, c \rangle.P$ 는 시간계수기연산을 진행한 후 통로  $x$ 를 통하여 이름  $y$ 와 시간표식  $t_y$ , 시간계수기를 통보문으로 보내고 처리  $P$ 를 수행한다는것을 나타낸다. 이때 시간계수기연산에 시간제약연산이 포함된다면 통보문은 시간표식에 반영된 시간안에 보내지게 된다. 또한 시간계수기재설정연산이 포함된다면 통보문이 보내진 후에 시간계수기의 재설정이 진행된다.

$Cx(\langle y, t_y, c \rangle)$ 는 통로  $x$ 를 통하여 통보문을 받기 위해 시간계수기연산을 수행하는 동안 대기하다가 통보문을 받은 후 처리  $P$ 를 수행한다는것을 나타낸다.

$C_rP$ 는 시간계수기연산  $C$ 를 수행한 후 처리  $P$ 를 수행한다는것을 나타낸다.

$[x = y]P$ 는  $x = y$ 이면  $P$ 가 성립된다는것을 나타낸다.

$P + P'$ 는 처리  $P$ 와  $P'$ 의 비결정적인 선택실행을 나타낸다.

$!P$ 는 처리  $P$ 의 반복실행을 나타낸다.

$P \mid P'$ 는 처리  $P$ 와  $P'$ 의 병행실행을 나타낸다.

$\nu zP$ 는 속박통로처리로서 통로  $z$ 를 통한 통신은  $P$ 내에서만 진행될수 있다는것을 나타낸다.

시간  $\pi$ -계산론리에서도 자료와 통로를 구별함이 없이 다 이름으로 처리한다. 즉 이름은 대상에 대한 참조로 되며 처리들사이의 연관정보를 나타낸다. 이때 이름은 제한이름(Bound Name)과 자유이름(Free Name)으로 분류되는데 속박통로와 입력동작의 통로는 제한이름이며 나머지이름은 자유이름이다.

처리  $P$ 에 대하여  $fn(P)$ 는  $P$ 속에 있는 자유이름들의 모임이며  $bn(P)$ 는 제한이름들의 모임이다.

### 3. 시간 $\pi$ -계산론리의 조작적의미론

시간  $\pi$ -계산론리의 조작적의미론은 처리가 어떤 동작을 수행하는가를 나타내는 조건규칙들의 모임이다.

이때 동작은 BNF표기법으로 다음과 같이 표현한다.

$$\alpha_t := C_\tau, \bar{x}\langle y, t_y, c \rangle | C_\tau, x\langle y, t_y, c \rangle C_\tau, \bar{x}\langle y, t_y, c \rangle | C_\tau, \langle \tau, t \rangle$$

한편 조건규칙은 규칙이름과 함께  $A/B$  형식으로 표현하는데 그 의미는  $A$ 가 성립하면  $B$ 도 성립한다는것이다. 그리고 표현식  $P \xrightarrow{\alpha} Q$ 의 의미는 처리  $P$ 가 동작  $\alpha$ 를 수행한 후에 처리  $Q$ 로 된다는것을 나타낸다.

이때 시간  $\pi$ -계산론리의 대표적인 조작적의미론은 다음과 같다.

$$\text{TAU} \frac{\{C_c\}}{C_c C_r \tau. P \xrightarrow{C_r \langle \tau, t \rangle} P}$$

$$\text{OUT} \frac{\{C_c\}}{C_c C_r \bar{x} \langle y, t_y, c \rangle . P \xrightarrow{C_r \bar{x} \langle y, t_y, c \rangle} P}$$

$$\text{INP} \frac{\{C_c(d/c)\}}{C_c C_r x \langle z, t_z, c \rangle . P \xrightarrow{C_r \{d/c\} x \langle z, t_z, d \rangle} P \{y/z, t_y/t_z, d/c\}} y \notin f_n(\text{vz}P)$$

$$\text{MAT} \frac{P \xrightarrow{\alpha_t} P'}{[x = x] P \xrightarrow{\alpha_t} P'}$$

$$\text{SUM} \frac{P \xrightarrow{\alpha_t} P'}{P \neq Q \xrightarrow{\alpha_t} P'}$$

$$\text{PAR} \frac{P \xrightarrow{\alpha_t} P'}{P | Q \xrightarrow{\alpha_t} P'} \text{bn}(\alpha_t) \cap \text{fn}(Q) = \emptyset$$

$$\text{COM} \frac{P \xrightarrow{C_r \bar{x} \langle y, t_y, c \rangle} P', Q \xrightarrow{C'_r \bar{x} \langle z, t_z, c \rangle} Q'}{\bar{P} | \bar{Q} \xrightarrow{C_r C'_r \langle \tau, t \rangle} \bar{P}' | \bar{Q}' \{y/z, t_y/t_z, c/d\}}$$

$$\text{RES} \frac{P' \xrightarrow{\alpha_t} P'}{\text{vz}P \xrightarrow{\alpha_t} \text{vz}P'} z \notin n(\alpha_t)$$

$$\text{REP} \frac{P \xrightarrow{\alpha_t} P'}{!P \xrightarrow{\alpha_t} P' | !P}$$

매 규칙들의 의미는 처리들이 시간계수기와 그것의 연산을 가지는것을 내놓고  $\pi$ -계산론리의 조작적의미론의 의미와 같다.

### 맺는 말

시간속성을 가진 실시간체계를 모형화하기 위하여  $\pi$ -계산론리를 시간  $\pi$ -계산론리로 확장하였다.

우선 시간계수기와 그것의 연산을 주었으며 시간  $\pi$ -계산론리의 문장론을 새롭게 논의하여 시간속성을 가진 실시간체계를 모형화할수 있게 하였다.

또한 그것의 조작적의미론을 정의하고 시간  $\pi$ -계산론리의 대표적인 조작적의미론을 주었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Saurabh Agarwal; International Journal of Grid Distribution Computing, 8, 5, 137, 2015.
- [2] Yuanyuan Zhang; Information Technology Journal, 10, 6, 1194, 2011.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

## A Method for Extending the $\pi$ -Calculus to Timed $\pi$ -Calculus

*Pang Un Chol, Kim Yong Sok*

We proposed a method for extending the  $\pi$ -calculus to timed  $\pi$ -calculus in order to model the real-time system.

Key words:  $\pi$ -calculus, formal modeling, operational semantics