

실시간 시스템을 위한 Statechart에서의 동적 우선순위 기법

천경아⁰ 박홍진 김영찬
중앙대학교 컴퓨터공학과
(amie, hjpark, yckim)@sslslab.cse.cau.ac.kr

The Dynamic Priority in Statecharts for Real-Time System

Kyung-Ah Chun⁰ Hong-Jin Park Young-Chan Kim
Dept. of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

요 약

Statechart는 기존 상태추이도를 확장한 것으로서, 반응시스템을 명세하기 위해 제안된 가지적 정형기법이다. 그러나 statechart에서의 비결정성은 실시간 시스템에서의 예측가능성에 심각한 문제를 유발할 수 있다. 또한, 이를 해결하기 위한 기존의 우선순위 표현방법은 statechart의 비결정성을 완전히 해결하지 못하고 있을 뿐 아니라 실시간 시스템에서 요구하는 다양하고 동적인 우선순위 변화를 표현하기에 부적합하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 미리 예측가능하고 동적으로 우선순위를 변화시킬 수 있는 동적 우선순위 개념을 제안한다.

1. 서론

Statechart는 David Harel이 반응시스템을 명세하기 위해 제안한 가지적 정형기법이다[1][2]. statechart는 기존의 상태추이도(state-transition diagram)에 계층성, 병행성, 동보통신(broadcast-communication) 개념을 추가해 확장한 것으로서, 상태와 전이를 쉽게 클러스터화하거나 구체화시킬 수 있는 정형기법이다.

그러나 statechart는 두 가지 경우에 statechart의 상태전이를 결정할 수 없도록 만드는 경우가 발생할 수 있는데, 첫 번째는 두 개 이상의 이벤트가 동시에 발생하여 시스템이 몇 가지 방법으로 반응할 수 있는 경우가 있으며, 두 번째는 하나의 주어진 이벤트에 대하여 시스템이 여러 가지 경우로 응답할 수 있는 가능성을 갖게 될 때이다. 이러한 비결정성은 현재 많은 부분에서 요구되고 있는 실시간 시스템에서 시간적 요구사항을 만족시키기 위해 반드시 필요한 예측가능성에 심각한 문제를 가져오는 요인이 될 수 있다.

Statechart를 이용하여 실시간 시스템을 명세하기 위해서는 실시간 시스템에서 기본적으로 필요로 하는 우선순위 개념을 제공하여야 하며, 이 우선순위 개념을 이용하여 statechart의 비결정성을 제거하여 시스템의 행위를 미리예측할 수 있도록 하여야 한다. 현재 statechart에서 제공하고 있는 우선순위는 부정 이벤트를 이용하거나[3], 구조적 우선순위 개념 사용하고 있다[4]. 그러나 이러한 기존의 우선순위 표현방법들은 여전히

비결정성을 완전히 해결하지 못할 뿐 아니라[6], 실시간 시스템에서 요구하는 다양한 우선순위 단계와 우선순위의 동적인 변화를 표현하기에는 구조적 표현방법이 부적합하다고 할 수 있겠다.

따라서, 본 논문에서는 statechart의 이와 같은 문제점을 해결하고 실시간 시스템을 표현하기 위한 방안으로 동적 우선순위 개념을 statechart에 적용하였다. 동적 우선순위는 statechart에서의 우선순위를 이벤트나 상태와 전이의 구조를 이용하여 표현하기보다는 전이의 변수로서 명시적으로 표현해주는 방법이다. 우선순위를 명시적인 변수로 표현함으로써 복잡하고 다양한 우선순위를 간단하게 표현할 수 있으며, 조건에 따라 우선순위를 쉽게 변화시킬 수 있어 statechart를 실시간 시스템을 명세할 수 있는 정형언어로 손쉽게 확장할 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 statechart에 대한 간략한 소개를 하고 3장에서 statechart에서의 비결정성과 이를 해결하기 위한 기존의 우선순위 기법을 살펴볼 것이다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 실시간 시스템을 위한 동적 우선순위 기법을 소개하고, 마지막으로 5장에서 결론과 향후연구방향에 대해서 설명하도록 한다.

2. Statechart

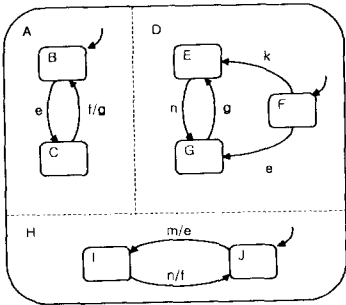
Statechart는 David Harel이 반응시스템을 명세하기 위해 제안한 가지적 정형기법으로서[1][2], 기존 상태추이도(state-transition diagram)에 계층성, 병행성, 동보통신(broadcast-communication) 개념을 추가해 확장한 것으로서,

본 논문은 한국과학기술원 특경기초연구의 지원을 받음
(과제번호:1999-2-303-008-3)

상태와 전이를 쉽게 클러스터화하거나 구체화시킬 수 있는 정형기법이다. 간략하게 표현하자면 다음과 같다.

Statecharts = 상태추이도+계층성+병행성+동보통신

계층성은 XOR 분할(decomposition)로 나타내어 질 수 있다. 예를 들어 <그림 1>에서 상태 A는 B와 C의 XOR이 되며, 따라서 시스템이 상태 D에 있을 경우에는 상태 A나 C중 하나에 존재하게 된다. 이에 반해 병행성은 두 개 이상의 XOR 분할이 AND 분할로 이루어져 있는 것을 말한다. 즉, <그림 1>에



<그림 1> Statechart의 예

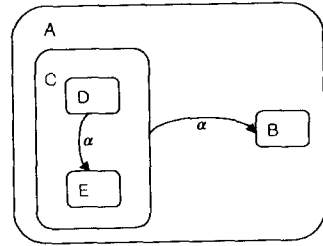
서 상태 A, D, H는 병행한 상태가 된다. 마지막으로 동보통신은 하나의 외부적 이벤트가 발생함으로써 인해서 해당 이벤트와 관련된 모든 전이들이 발생할 수 있음을 나타낸다. <그림 1>에서 이벤트 f가 발생했을 때 f/g라는 레이블을 갖는 전이가 발생하면서 즉각적으로 이벤트 g에 대한 반응이 일어나게 된다.

만약, <그림 1>에서 시스템이 (B, F, J)에 있고 이벤트 m이 발생한다면, 다음 구성(configuration)은 이벤트 e에 의해서 트리거된 (C, G, D)가 될 것이다. 이를 길이 2의 연쇄반응(chain reaction)이라고 한다. 여기에서 이벤트 n이 발생하게 되면, 길이 3의 연쇄반응을 통해 새로운 구성 (B, E, J)가 될 것이다.

3. 비결정성과 우선순위

Statechart에서의 비결정성에는 두 가지 종류가 있는데, 하나는 두 개 이상의 이벤트가 동시에 발생하는 경우이고, 다른 하나는 하나의 이벤트에 대해서 다양한 반응이 일어날 수 있는 가능성이 있을 때이다. 그러나 일반적으로 statechart에서 두 개 이상의 이벤트가 동시에 발생하는 것을 고려하지 않으므로, 본 논문에서는 하나의 이벤트에 대해서 두 개 이상의 반응이 일어날 가능성을 갖는 경우만을 생각하도록 하겠다. 예를 들어 <그림 2>에서 이벤트 α 가 발생할 경우 전이는 상태 D에서 상태 E로 가거나 상태 C에서 상태 B로 갈 수 있다.

Statechart에서는 이와 같이 비결정적인 상황이 발생하는 것을 해결하기 위하여 우선순위 개념을 도입하고 있으며, 현재 statechart에서 제공하고 있는 우선순위는 부정 이벤트를 이용하거나[3], 구조적 우선순위 개념 사용하고 있다[4]. 부정 이벤



<그림 2> 비결정성을 갖는 statechart

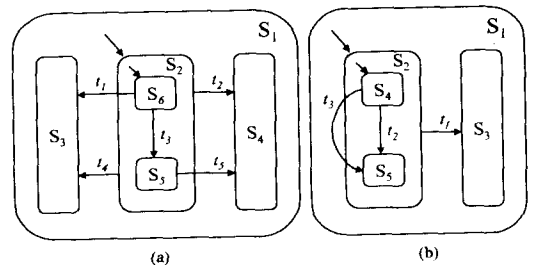
트를 사용하여 우선순위를 표현할 경우에는 전이를 다음과 같이 표현해 줌으로써 전이간의 우선순위의 차이를 주게 된다.

$$t_1 : \alpha \quad t_2 : \beta \wedge \neg \alpha$$

만약 α 와 β 가 동시에 발생된다면, t_1 만 발생하게 될 것이다. 그러나 부정 이벤트를 이용하여 우선순위를 나타낼 경우에는 간단한 시스템을 표현하기에는 적합하지만 시스템이 복잡해질수록 동시에 발생하는 이벤트의 수가 늘어나게 되고 이에 따라 많은 이벤트들의 조합을 고려해야만 하는 문제점을 가지고 있으며[5], 여전히 비결정성을 완전히 해결하지 못하고 있다[6].

이에 반해 구조적 우선순위 개념은 시스템의 복잡성과 상관 없이 전이가 속한 적용범위(scope) 상태가 계층구조에서 얼마만큼 높은계층에 속하는지에 따라서 우선순위를 결정하게 된다 [4]. 예를 들어 <그림 2>에서는 구조적 우선순위 개념에 따라 상태 C에서 B로의 전이가 상태 D에서 상태 E로의 전이보다 높은 우선순위를 갖는다. 그러나, <그림 3>에서는 이와 같은 구조적 우선순위 개념을 사용한다 하더라도 (a)에서는 t_1, t_3 와 t_2, t_4 가 (b)에서는 t_1, t_3 가 여전히 같은 우선순위를 갖고 있으므로, 만약 같은 이벤트에 반응하는 전이라고 한다면 비결정적인 문제가 발생하게 된다.

이와 같이 부정 이벤트 방법이나 구조적 우선순위 방법은 비결정성을 여전히 포함할 수 있으며, 이러한 비결정성은 이러한 비결정성은 statechart를 이용하여 반응시스템을 안정적으로 명세할 수 없게 만들 뿐 아니라, 현재 많은 부분에서 요구되고 있는 실시간 시스템을 명세하기에는 많은 제약점을 갖게 한다. 특히, 실시간 시스템에서의 비결정성은 시간적 요구사항을 만족시키기 위해 반드시 필요한 예측가능성에 심각한 문제를 가져오는 요인이 될 수 있다.



<그림 3> 비결정성을 갖는 statechart

또한, 기존의 statechart에서 사용하고 있는 위의 우선순위 표현방법들은 단지 비결정성을 제거하기 위해서만 도입된 방법 이므로 정적 우선순위를 포함하고 있다. 따라서 실시간 시스템에서 요구하는 다양한 우선순위 단계와 우선순위의 동적인 변화를 표현하기에는 부적합하다고 할 수 있겠다.

4. 동적 우선순위

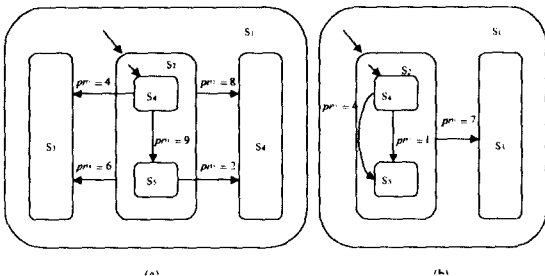
제 3 절에서 살펴본 바와 같이 statechart에서 사용하는 우선 순위 표현방법은 실시간 시스템에서 요구하는 다양하고 동적인 우선순위를 포함하기에 한계가 있으며, 상태변화의 비결정성이 실시간 시스템의 시간적 요구사항을 만족시킬 수 없는 심각한 문제를 가져오는 원인이 된다. 따라서, statechart를 이용하여 실시간 시스템을 명세하기 위해서는 실시간 시스템에서 기본적으로 필요로 하는 우선순위 개념을 제공하여야 하며, 이 우선 순위 개념을 이용하여 statechart의 비결정성을 제거하여 시스템의 행위를 미리 예측할 수 있도록 하여야 한다.

본 논문에서는 전이에 명시적인 우선순위 번호(explicit priority number)를 갖는 변수를 추가하여 명시적으로 이벤트에 대한 전이과정의 우선순위를 표현하고, 시스템의 필요에 따라 혹은 사용자 임의로 우선순위를 변경할 수 있도록 하였다. 이와 같이 우선순위를 명시적인 변수값으로 정의해 줌으로써 시스템이 어떤 과정을 거쳐 변화해 나갈 수 있는지를 미리 예측할 수 있으므로 실시간 시스템에서 요구하는 시간적 제약조건을 만족시킬 수 있다. Statechart의 전체집합을 Z 라고 하고, Z 에 포함되어 있는 모든 전이집합을 T_Z 라고 할 때, 동적 우선순위를 간단하게 정의하자면 다음과 같다.

[Definition] Statechart $Z \in Z$ 이고, 두 개의 전이 $t_1, t_2 \in T_Z$, t_1, t_2 각각의 명시적인 우선순위 변수(explicit priority variable)값을 pr_{t_1}, pr_{t_2} 라고 할 때, 다음과 같은 경우 t_1 이 t_2 보다 우선순위가 높다:

1. $pr_{t_1} > pr_{t_2}$
2. 만약, $pr_{t_1} = pr_{t_2}$ 라면, t_1 의 적용범위(scope)가 t_2 의 적용범위보다 계층에서 높은 위치에 있다.

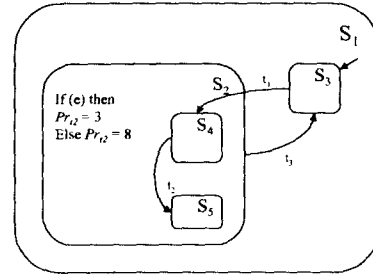
<그림 4>는 <그림 3>에 동적 우선순위를 적용하였을 경우



<그림 4> 동적 우선순위를 갖는 statechart

를 보여주고 있다. <그림 3>에서와 달리 (a)에서는 전이 t_3 가 (b)에서는 전이 t_1 이 가장 높은 우선순위를 갖음을 알 수 있다.

<그림 5>는 동적 우선순위에서 조건에의해서 동적으로 우선 순위가 변화되는 것을 볼 수 있다. 이벤트 e가 발생했을 경우 전이 t_2 의 우선순위는 3이 되며 그 외에는 우선순위가 8이 된다.



<그림 5> 우선순위의 동적변화

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 기존의 statechart가 실시간 시스템을 표현하기에 부족한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 동적 우선순위 개념을 제안하였다. 동적 우선순위는 statechart에서의 우선순위를 이벤트나 상태와 전이의 구조를 이용하여 표현하기보다는 전이의 변수로서 명시적으로 표현해 주는 방법을 사용하였으며, 우선순위를 명시적인 변수로 표현함으로써 복잡하고 다양한 우선순위를 간단하게 표현할 수 있었다. 또한, 조건에 따라 우선순위를 쉽게 변화시킬 수 있어 statechart를 실시간 시스템을 명세할 수 있는 정형언어로 손쉽게 확장할 수 있었다.

앞으로는 동적 우선순위 개념을 더욱 확장하여, 시스템 상태들의 마감시간을 고려한 우선순위의 변화와 우선순위 계승 프로토콜을 적용하여 실시간 시스템에서 요구하는 보다 다양하고 복잡한 우선순위 변화를 표현할 수 있는 방법을 연구하도록 하겠다.

참고문헌

- [1] D.Harel, "Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems," Science of Computer Programming, 8, pp. 231-274, 1987.
- [2] D.Harel, A.Pnueli, J.P.Schmidt and R.Sherman, "On the formal semantics of statecharts," Proc. 2nd IEEE Symposium on Logic in Computer Science, pp. 54-64, 1987.
- [3] A.Pnueli, M.Shalev, "What is a Step: On the Semantics of Statecharts," Proc. TACS '91, Lecture Notes in Computer Science 526, Springer, Berlin, pp.244-264, 1991.
- [4] D.Harel, A.Namad, "The STATEMATE Semantics of Statecharts," ACM Trans. Software Engineering Method, 1996.
- [5] H.S.Hong, J.H.Kim, S.D.Cha and Y.R.Kwon, "Static Semantics and Priority Scheme for Statecharts," Proc. Computer Software and Application Conference '96, Dallas, Texas, USA, pp.114-120, 1996.
- [6] A.Maggiolo-Schettini, M.Merro, "Priorities in Statecharts," Proc. LOMAPS'96, LNCS vol 1192, pp 404-429, 1996.