

동적 구조를 지닌 이산사건 시뮬레이션 모델의 검증

최창범*, 김탁곤*

Verification of the Dynamic Structured DEVS Simulation

Changbeom Choi, Tag Gon Kim

Abstract

The Discrete Event Simulation(DEVS) Formalism can model a system of real world by hierarchical and modular manner. Moreover, the formalism has operational semantics so that the formalism can simulate the real world system easily. In order to model and simulate real system more accurately, one of the extension of the DEVS Formalism, the Dynamic Structured DEVS(DSDEVS) Formalism, was proposed. One of the major characteristic of DSDEVS Formalism is that the simulation models of the DSDEVS Formalism can change its structure at the execution time of the simulator. The DSDEVS Formalism is applied to the simulation of the Bank process or the agent based simulation of the defense simulation. The DSDEVS Formalism can model and simulation real-world system easily, however, there was no visual notation of DSDEVS to express the transition of the structure, so that the formalism utilize the tuple and the function to denote the simulation model. Moreover, there is no ongoing research about the verification of the DSDEVS Formalism.

The contributions of this paper is two fold. First, we propose visual notation of the DSDEVS so that the modeler can describe the DSDEVS in graphical way. Second, we propose the verification method and the verification environment of DSDEVS based on the graphical representation of the DSDEVS, so that the modeler can trace the transition of simulation model structure. By applying graphical notation of the DSDEVS, the modeler can model the DSDEVS simulation model without ambiguity and the modeler can verify the structure transition of the simulation model in execution time.

Key Words : Dynamic Structure DEVS, Model Verification, Execution Time Verification

* 한국과학기술원

1. 서론

모델링 및 시뮬레이션 (Modeling & Simulation: M&S) 공학은 전 세계적으로 자원과 시간, 인력을 낭비하지 않고 제품과 실험을 수행하기 위하여 사용되고 있다[1]. 특히, M&S 공학은 실세계를 다양한 각도와 다양한 수준으로 모델링을 수행하고, 모델링이 된 실세계를 모사하는 모델을 실행시켜 그 결과를 분석하는 등 다양한 분야에서 이미 활용되고 있다. 이러한 활용 예로써 산업 쪽으로는 이미 다양한 산업 제품의 설계와 제조 과정에서 핵심적인 역할을 수행하고 있으며, 국방 분야에서는 워 게임 모델, 항공 시뮬레이터와 같이 훈련 시뮬레이터로 훈련을 수행하여 자원과 시간, 인력 낭비를 줄이고 있다. 이처럼 실세계를 보다 정확하게 모사하기 위하여 제안된 정형적인 모델링 및 시뮬레이션 이론 중에는 이산 사건 시스템 명세 (Discrete Event System Specification) 및 이산 사건 시스템 형식론(DEVS: Discrete Event System Formalism)이 있다[2].

DEVS 형식론은 시스템 공학을 기반으로 실세계 체계를 계층적이고 모듈화 가능한 형태로 기술함으로써 모델의 재사용성 증대시키고, 운용 의미론을 내포하고 있어 실세계의 체계의 실행을 용이하게 모사할 수 있는 특징을 지닌다. 이러한 DEVS 형식론의 특징으로 기존의 국방 모델링 및 시뮬레이션 분야에서 DEVS 형식론은 에이전트 기반 시뮬레이션에 많이 사용되었다[3]. 이러한 DEVS 형식론을 활용하여 실세계를 수월하게 모사하기 위하여 확장된 정형적인 이론으로 동적 구조 이산 사건 시뮬레이션 형식론(DSDEVS: Dynamic Structured DEVS)이 있다[4]. DSDEVS 형식론은 실세계의 시스템이 동작하는 시간 중에 내부 구조가 변화될 수 있다는 점에 착안하여, 시뮬레이션이 수행되는 도중

에 시뮬레이션 모델의 구조가 변경될 수 있도록 DEVS 형식론을 확장하였다.

DSDEVS 형식론은 은행 시뮬레이션이나 군도메인에서 에이전트 기반 시뮬레이션 등에 활용되었다. 예를 들어, 은행은 손님과 창구로 구성되고, 창구의 수에 따른 손님의 대기 시간을 분석하는 시뮬레이션 한다고 하였을 때, 손님의 수를 시뮬레이션 모델이 관리하게 모델링할 수 있다. 이때 시뮬레이션 모델은 수행시간 중에 시뮬레이션 모델의 구조가 변경되지 않고, 시뮬레이션 모델에서 손님 수를 계산하고 지연 시간을 계산한다. 이에 반해, DSDEVS 형식론에서는 손님 개개인을 시뮬레이션 모델로 사상시켜 시뮬레이션을 수행할 수 있게 한다. 이러한 하는 것이 아니라, 손님 하나하나를 시뮬레이션 모델로 사상시켜 모델링을 하며, 이를 실행시간에 모델을 생성시켜 시뮬레이션을 수행하여 분석할 수 있다.

하지만, 지금까지의 DSDEVS 형식론은 명시적으로 DSDEVS 형식론을 표기하는 방법이 제안되지 않았고, 튜플 구조를 표기하고, 시스템의 구조의 변경에 대해서 모호하게 기술하여 실세계의 모델링에 적용되기 어려운 문제를 지니고 있다. 즉, 시뮬레이션의 수행 중에 동적으로 구조를 변경시키는 의미론을 명시적으로 표기하는 방법에 대한 연구가 없어, DSDEVS 시스템의 요구사항을 식별하고 표기하는데 많은 어려움이 있었다. 또한 DSDEVS 시뮬레이션 모델이 정확하게 구현되었는지 확인하는 검증에 대한 연구도 현재까지 알려진 바 없다.

본 논문은 이산사건 시뮬레이션 형식론 그래프를 사용한 동적 구조 이산사건 시뮬레이션 형식론의 명시적 표기법을 제안한다. 또한, 이산사건 시뮬레이션 형식론 그래프를 요구사항 명세로 사용하여 실행시간에 시뮬레이션의 구조의 변경을 검증할 수 있는 개발 환경을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 동적 구조

이산사건 시뮬레이션 형식론의 명시적 표기법은 동적 구조 시뮬레이션 모델에 대한 표기법으로 활용되어 모호함이 없는 동적 구조를 지닌 시뮬레이션 모델을 기술할 수 있으며, 시뮬레이션 중에 동적으로 구조가 변경되는 시뮬레이터의 정확성을 검증할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 검증을 위한 배경 지식에 대하여 소개한다. 3장에서는 DSDEVS의 명시적 표기법과 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 검증 환경을 소개한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 배경 지식

기본적으로 DSDEVS 형식론은 DEVS 형식론의 기본 구조인 원자 모델과 결합 모델의 구조를 사용하고 있다. 또한 DSDEVS 형식론은 DEVS 형식론과 달리 실행시간에 시뮬레이션 모델의 구조가 변경되기 때문에 이 구조 변경에 제한을 두고 있다. 본 장에서는 배경 지식으로 DEVS 형식론과 DSDEVS를 소개하고, DSDEVS 모델 구조 변경의 제한과 DSDEVS 모델을 검증할 때 요구되는 요구사항 항목에 대해서 설명한다.

2.1 DEVS 형식론

DEVS 형식론은 집합론에 근거한 객체 지향적인 특징을 지닌 대상을 모델링할 수 있는 수학적 틀이다. DEVS 형식론은 시뮬레이션 모델의 행위를 모의하는 원자 모델과 여러 원자 모델을 결합하여 계층적으로 모의 대상 시스템을 표현할 수 있도록 하는 결합 모델로 구성된다.

2.1.1 원자 모델

원자 모델(Atomic Model)은 DEVS 형식론을 구성하는 가장 기본적인 모듈로서 시스템

의 행동을 기술하는 모델이다. 원자 모델 M 의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$M = \langle X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta \rangle$$

X : 이산사건 입력 집합

Y : 이산사건 출력 집합

S : 일련의 이산사건 상태의 집합

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$: 외부 상태 천이 함수

$Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$: M 의 전체 상태

$\delta_{int} : Q \rightarrow Q$: 내부 상태 천이 함수

$\lambda : Q \rightarrow Y$: 외부 상태 천이 함수

$ta : S \rightarrow R_{0, \infty}^+$: 시간 진행 함수

2.1.2 결합모델

결합 모델(Coupled Model)은 여러 모델을 내부적으로 연결하여 만든 모델이다. 내부 구성요소가 되는 모델은 원자 모델과 결합 모델이 모두 가능한데, 이러한 내부 모델들을 계속 합쳐서 더욱 큰 시스템을 표현할 수 있다. 다음은 결합 모델의 수학적 명세이다.

$$CM = \langle X, Y, \{M_i\}, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

X : 이산사건 입력 집합

Y : 이산사건 출력 집합

$\{M_i\}$: 모든 이산사건 컴퍼넌트 모델들의 집합

EIC : 외부 입력 연결 관계

EOC : 외부 출력 연결 관계

IC : 내부 연결 관계

$SELECT : 2^{\{M_i\}} - \emptyset \rightarrow M_i$: 같은 시각에 존재하는 사건을 발생하는 모델들에 대한 선택 함수

2.2 DSDEVS 형식론

DSDEVS는 결합 모델간의 연결을 집합으로 표기하고, 이를 시스템을 구성하는 상태로 정의한다[5]. 따라서 이들 결합 모델간의 연결이 시간과 이벤트에 따라서 모델 간의 연결이

변화되는 것으로 시스템 구조의 변경을 정의한다. DSDEVS는 모델의 네트워크를 다음과 같이 정의한다.

$$DSDEVS N_{\Delta} = \langle X_{\Delta}, Y_{\Delta}, \chi, M_x \rangle$$

X_{Δ} = 네트워크의 입력 포트 이벤트의 집합

Y_{Δ} = 네트워크의 출력 포트 이벤트의 집합

χ = 실행 대표 모델의 이름

M_x = 실행 대표 모델

위 형식론에서 X_{Δ} , Y_{Δ} 는 각각 입력 포트와 출력 포트의 집합을 의미한다. 정의되는 입/출력 포트는 각각 구별되는 이름을 가지며 M_x 에 따라 특정 시간에 활성화된 포트 혹은 활성화되지 않은 포트에 구분되어질 수 있다. DSDEVS의 구조 변경을 담당하는 M_x 는 원자 모델로 표기되며 다음과 같이 정의된다.

$$M_x = \langle X_x, Y_x, S_x, \delta_{extx}, \delta_{intx}, \lambda_x, ta_x \rangle$$

또한 S_x 는 시스템의 구조를 나타내는 결합모델로 표현된다. 다음은 S_x 의 정의를 표기한 것이다.

$$S_x = \langle X^x, Y^x, \{M_i^x\}, EIC^x, EOC^x, IC^x, SELECT^x \rangle$$

S_x 는 기존 DEVS 형식론의 결합모델의 구조와 동일하다. M_x 에서 δ_{extx} 는 입력에 따른 S_x 의 변화를 기술하는 함수이며, δ_{intx} 는 기존 원자모델에서 정의된 것과 유사하게 시간에 따른 모델 구조의 변경을 기술하고, λ_x 는 해당 시간에 따른 시스템의 출력을 나타낸다. 따라서 DSDEVS 형식론은 이벤트와 시간에 따른 구조 변경을 수행할 수 있으며, DSDEVS 형식론이 제한하고 있는 구조 변경은 입력 출력 포트의 추가/삭제, 결합 모델에서의 원자 모델 혹은 결합 모델의 추가/삭제

로 시뮬레이션 모델 수준에서 구조 변경을 허락한다.

3. DSDEVS 형식론의 검증

본 논문에서 제안하는 DSDEVS 형식론의 검증은 크게 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 검증 요구사항 명세 방법과 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 검증 방법으로 구성된다. 먼저, 지금까지 DSDEVS 형식론으로 기술된 이전 장에서 소개한 것과 같이 다수의 튜플로 정의하여 요구사항을 기술하는 데 DSDEVS 형식론을 이해해야만 요구사항을 수월하게 기술할 수 있는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 기존에 DEVS 모델을 가시적으로 표현하는 DEVS 그래프 방법을 사용하여 DSDEVS 형식론을 정의하였다. 따라서 DSDEVS 형식론으로 기술된 시뮬레이션 모델이 정확히 구현되었는지를 검증하기 위한 요구사항은 1차적으로 DSDEVS 모델이 사용자가 원하는 동작을 수행하는지 확인할 수 있는 행위 명세 (Behavioral Specification)과 구조의 변경을 명세하는 구조 명세 (Structural Specification) 두 단계로 기술할 수 있다. 본 장에서는 DSDEVS 모델의 명세 방법과 이를 활용한 DSDEVS 모델의 검증 방법을 제안한다.

3.1. DSDEVS 형식론의 명시적 표기

DSDEVS 형식론을 구성하는 시뮬레이션 모델은 기본적으로 원자 모델을 사용하여 기술하기 때문에 DSDEVS 형식론으로 기술된 시뮬레이션 모델이 정확하게 구현되었는지 확인하기 위해서는 원자 모델을 기술하는 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 그림 1과 같은 원자 모델의 명시적 표기법을 사용하여 원자 모델의 동작을 표기한다. 그림 1에서와 같이 DEVS 원자 모델은 상태와 상태 천이 사이에서 사용자가 설계한대로 동작하는 지 검사할 수 있도록 원자 모델이 실행되면서 호

출되어야 하는 시뮬레이션 모델의 함수 등을 표기할 수 있다.

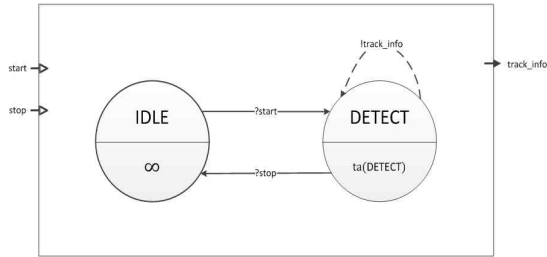


그림 1 DEVS 원자 모델의 명시적 표기법

이와 유사하게 사용자는 DEVS 형식론의 결합 모델을 그림 2와 같이 표기할 수 있다.

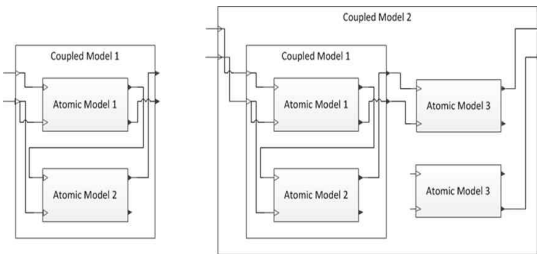


그림 2 DEVS 결합 모델의 명시적 표기법

DSDEVS의 동적 구조를 명시적으로 표기하기 위해서 본 논문이 제안하는 명시적 표기 방법은 그림 3과 같다. 그림 3에서 제안하는 시뮬레이션 모델의 동적 구조 변경은 기본적으로 원자 모델의 명시적 표기법을 따르며 각 상태는 결합 모델과 사상되어서 각 상태가 고유하게 나타내는 결합 모델의 구조로 표현될 수 있다. 이를 통하여 DSDEVS 형식론에서 정의하고 있는 이벤트와 시간에 따른 시뮬레이션 모델의 구조 변경을 나타낼 수 있으며, 앞서 제안한 원자 모델의 명시적 표기 방법을 통하여 행위 수준에서의 명세와 그림 3과 같이 시뮬레이션 모델 구조 수준에서의 명세를 통하여 DSDEVS 모델의 정확성 검증을 위한

요구사항 명세를 기술 할 수 있다.

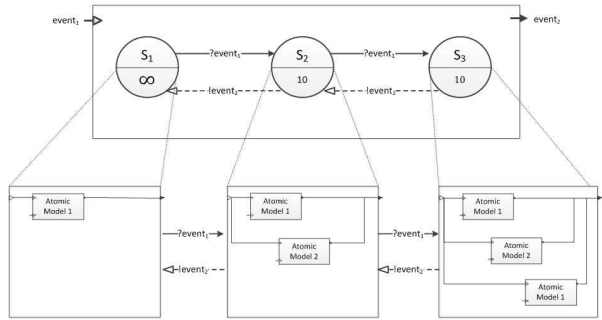


그림 3 DSDEVS의 동적 구조 변경의 명시적 표기법

3.2. DSDEVS 시뮬레이션 모델의 검증 환경

DSDEVS 모델을 검증 하기 위해서 본 논문에서 제안하는 검증 환경에 대한 개념도는 그림 4와 같다. 본 논문에서 제안하는 DSDEVS 시뮬레이션 모델 검증 환경은 시뮬레이션 엔진과 시뮬레이션 모델 사이에 시뮬레이션 이벤트들을 추출할 수 있는 시뮬레이션 데이터 추출기를 시뮬레이션 엔진에 삽입하고, 이벤트를 추출하여 앞 절에서 제안한 행위 명세와 구조 명세를 입력으로 받아 이들을 시스템 사상성을 이용하여 시뮬레이션 모델의 접근성 그래프(Reachability Graph)를 구하여 시뮬레이터에서 발생하는 이벤트가 해당 그래프를 만족하는 지 확인하는 구조로 이루어져 있다 [6].

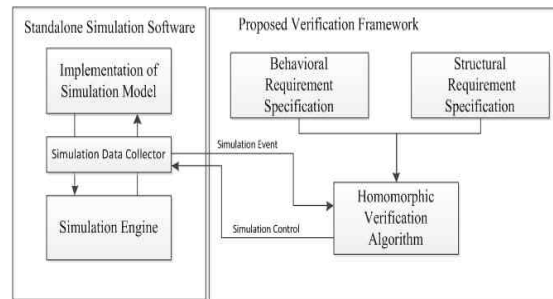


그림 4 DSDEVS 모델 검증 환경의 개념도

그림 5는 시뮬레이션 모델의 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 요구사항, 즉, DSDEVS 형식론을 기반으로 한 시뮬레이션 모델을 설계하는 DSDEVS 모델의 요구사항 명세 도구이다. 사용자는 그림 5와 같은 명세 도구를 사용하여 사용자가 설계하는 DSDEVS 시뮬레이션 모델의 구조 명세와 행위 명세를 기입하고, 이를 검증 프레임워크에서 검증하는 과정을 거친다.

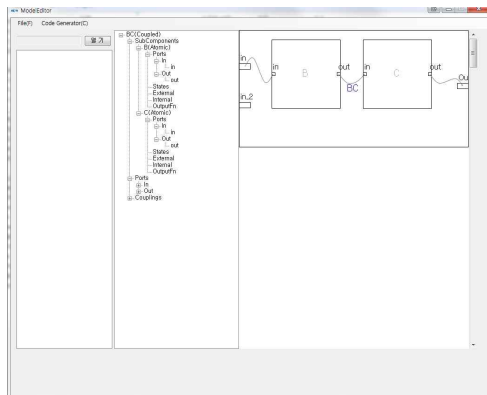


그림 5 DSDEVS 모델의 명세 도구

4. 결론

동적 구조를 지니는 이산 사건 시뮬레이션 모델은 실제계의 체계를 추상적으로 표현하지 않고, 시스템을 구성하고 있는 요소를 세분화하고, 시뮬레이션 실행시간에 이러한 구조를 변경할 수 있게 함으로써 보다 정확하게 실제계를 반영할 수 있는 장점이 있다. 동적 구조를 지니는 이산 사건 시뮬레이션은, Barros가 제안하는 DSDEVS 형식론으로 구현되었으며, 실제 에이전트 기반 시뮬레이션 등에 많이 사용되었다. 이런 DSDEVS 형식론으로 기술된 시뮬레이션 모델과 동적 구조를 구현한 시뮬레이터 사이에 구현자가 DSDEVS 형식론에 맞게 시뮬레이션 모델을 검증하는 연구는 현

제까지 알려진바 없다. 본 연구에서는 DSDEVS 형식론으로 기술된 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 모델 구현물 사이의 정확성을 검증하기 위하여 DSDEVS 형식론의 명시적 모델링 기법을 제안하고, 이를 활용한 검증 방법론을 제안한다. 이 검증은 시스템 사상성을 이용하여 DSDEVS 형식론으로 기술한 모델에서 생성될 수 있는 모든 이벤트 시퀀스를 확보한 후 시뮬레이션 모델을 수행하면서 발생하는 이벤트들을 통하여 해당 시퀀스를 모두 만족하는 지 확인하는 것을 통하여 검증을 수행한다.

Acknowledgement

본 연구는 문화체육관광부 및 한국 콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음

참고문헌

- [1] 김탁곤, "모델링 시뮬레이션 공학(M&S Engineering)," 정보처리학회 논문지, Vol. 14, No. 6, pp. 3 - 17, 2007년 11월.
- [2] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer and Tag Gon Kim, Theory of Modelling and Simulation (2nd Edition), Academic Press, 2000.
- [3] Tag Gon Kim, DEVSimHLA User's Manual, 2007. Available: <http://smslab.kaist.ac.kr>
- [4] F. Barros. "Dynamic Structure Discrete Event System Specification: Formalism, Abstract Simulators and Applications," Transaction of the Society for Computer Simulation, vol. 13, num. 1, 35-46, 1996.
- [5] Raphaël Duboz, Christophe Cambier, "Small World Properties in a DSDEVS Model of Ecosystem," Proceedings of the Open International Conference on Modeling and Simulation(OICMS05'), 2005, pp.65-71.
- [6] Ki-Jung Hong, Discrete Event Model Verification Methodology using System Morphism, Doctoral Dissertation KAIST, 2005