

무기체계 효과도 분석을 위한 개체 플러그인 방식의 모의 재구성 연구

김태영[†]

Simulation Reconfiguration using Entity Plug-in approach for Weapon System Effectiveness Analysis

Taeyoung Kim[†]

ABSTRACT

The simulation-based weapon system effectiveness analysis is to support the decision making in the acquisition process of the defense domain. The effectiveness of the weapon system is a complexly influenced indicator from various factors such as environment, doctrine and so on. And the measurement of effectiveness can be defined differently in compliance with major issues in the weapon system. Because of this, the weapon system effectiveness analysis requires the comparative experiment of various alternatives based on the underlying assumption. This paper presents the efficient approach to reconfigure the simulation using the reflection technique. The proposed method contains the recoupling and resetting the simulation entity using DEVS(Discrete Event System specification) formalism-based dynamic plug-in method. With the proposed method, this paper designs the effectiveness analysis environment that can efficiently handle the various alternatives of the weapon system.

Key words : Dynamic Reconfiguration, Discrete Event System, Runtime Plug-in Approach, Simulation-based Weapon System Analysis, Defence Modeling & Simulation

요약

무기체계 효과도 분석은 시뮬레이션 기반 획득 단계에서 합리적 의사결정을 지원하기 위한 수단 중 하나이다. 무기체계의 효과도는 환경과 교리 등 복합적인 요소에 영향을 받는 지표이며 주요 관심 이슈에 따라 다르게 정의될 수 있다. 이로 인해 무기체계 효과도 분석은 공통적인 조건과 환경 상에서 다양한 대안에 관한 비교 실험을 요구한다. 이에 본 연구는 리플렉션 기법을 활용하여 모의 구조를 효율적으로 재구성할 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 DEVS(Discrete Event System specification) 형식론을 기반으로 하며 모의 개체의 동적 플러그인을 통한 구조 및 환경 재구성을 포함하며 이를 통해 다양한 대안 요구를 다룰 수 있는 효과도 분석 환경을 구상하고자 한다.

주요어 : 동적 재구성, 이산 사건 시스템, 실행시간 플러그인 기법, 무기체계 모의 분석, 국방 M&S

1. 서론

21세기의 기술혁신은 경제, 사회, 문화 등 거의 모든 분야에 새로운 패러다임과 발전 방향을 제시하고 있다. 그 중 주목할 요소는 정보통신 기술의 발전을 매개로 축

발된 개별 플랫폼 간의 유기적인 연계 및 협업 환경을 기반으로 한 새로운 가치의 창출이다. 이러한 환경의 변화는 국방 분야에도 중대한 영향을 미치고 있으며, 급변해가는 미래 전장 환경과 이에 대응할 수 있는 변화를 요구 받고 있다(Park 2017; Chung 2017). 기존의 무기체계는 단순히 수치적으로 쉽게 우열을 가릴 수 있는 성능 등의 지표에 집중하였으나, 현재는 다양한 환경 및 특성 등을 복합적으로 고려한 정량적 지표의 도출과 활용을 강조하고 있다. 모델링 및 시뮬레이션(M&S: Modeling and Simulation)은 무기체계의 효과도를 정량적으로 분석하

Received: 14 February 2018, Revised: 19 April 2018,
Accepted: 15 May 2018

[†] Corresponding Author: Taeyoung Kim
E-mail: taeyoung_kim@dtqa.re.kr or silverwild@gmail.com
Defence Agency for Technology and Quality

여 개발 및 획득 과정에서 합리적 의사결정을 지원하기 위한 방법으로 활용하고 있으며, 시뮬레이션 기반 획득(SBA: Simulation-based Acquisition)은 미래 국방력 강화를 위한 과학적이고 합리적인 정책 수단으로 자리매김하고 있다(Patricia 1999; Kim and Lee 2016).

M&S는 실제 체계를 가상의 모형으로 표현하고, 논리와 규칙에 의거하여 모의를 실시하는 방식이다. 가장 이상적인 M&S는 모든 요소와 상황, 특성을 완벽하게 모의에 반영하는 것이지만, 가용자원과 비용 등의 현실적인 한계로 인하여 M&S를 활용하여 풀고자 하는 관심영역에 집중한다(Kim 2007). 이에 실제 체계의 구성요소는 모의에서의 중요성에 따라 생략할 수도 있고, 단순한 자료만 입력하는 모형으로 표현할 수도 있고, 세부 모의 논리를 정의하여 실제와 똑같이 동작하도록 구현할 수도 있다. 이러한 차이는 모델의 해상도(Resolution)와 모의 충실도(Fidelity)로 표현할 수 있으며, 분석하고자 하는 이슈에서 요구하는 수준에 부합하도록 그 해상도와 충실도를 설정한다(Choi, Seo, Kwon and Kim 2013). 특히 국방 분야에서 보편적으로 운용하고 있는 기존의 워 게임 모델은 개발단계에서 설계한 기본적인 모의 수준에서 입력 매개변수나 환경변수를 설정하여 약간의 유연성을 부여하는 방식이다. 그러나 단위 무기체계의 분석은 관심 이슈에 따라 세부 개체의 요구 모의수준에 차이를 보일 수 있다. 예를 들어 방공작전 상황에서 대공미사일의 탐지추적용 감지기의 효과를 분석할 때, 탐지와 관련된 모델은 상당히 자세하고 정밀한 수준의 표현을 요구한다. 반면 미사일의 발사나 탄두효과를 표현하는 모델은 탐지 효과 분석에 적합한 수준만 표현할 수 있어도 무방하다. 또한 어떤 지표를 분석하고 측정할 것인가에 따라 적용 시나리오나 측정 방식이 달라질 수 있으며, 이에 따라 시뮬레이션의 구성에도 변화가 발생할 수 있다. 이러한 특성은 이미 결정된 해상도와 충실도 내에서 일부 입력변수나 조건을 조정하는 방식만으로는 많은 제약이 따르며, 상황에 따라서는 모의에 중요한 영향을 끼치지 않는 요소이지만 모델에서 요구하는 수준에 맞게 모델링을 수행하거나 환경을 다시 구성해야 할 수도 있다.

본 논문은 교전 시뮬레이션을 실행시간에 동적으로 재구성하는 것을 목표로 두고 연구를 실시하였다. 다만 이러한 실행시간 동적 재구성은 플러그인 방식의 환경을 기반으로 구현할 수 있으며, 이를 위한 표준 형식을 요구한다(Kim, Kim and Lee 2015; Kim, Lee and Han 2016a, Kim 2016). 일반적으로 무기체계 효과도 모의는 교전급 모델을 기반으로 분석을 실시하기 때문에 본

연구는 이산 산선 형식론과 그 시뮬레이션을 다루는 이산 사건 시스템 명세(DEVS: Discrete Event System Specification)를 연구의 토대로 설정하였다(Kim 2013; Choi, Moon, Kim, Kim and Lee 2015). DEVS는 모듈 단위와 계층적 결합 구조를 활용하여 실 체계를 모델링할 수 있으며, 모델에 명세한 사건의 입력력과 처리, 상태의 천이와 시간 전진을 통해 시뮬레이션 할 수 있다(Ziegler 1987; Ziegler, Moon, Kim and Ball 1997; Ziegler, Praehofer and Kim 2000). 본 연구는 이러한 DEVS 모델링의 특성에 리플렉션(Reflection) 기법을 활용한 모델의 동적 호출, 교체, 재구성 절차를 적용한 플러그인 방식의 설계를 제안하며, 무기체계 모의 분석에서 다양한 형식의 모의실험을 위한 동적 재구성 가능한 환경을 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 이산 사건 형식론과 리플렉션을 간략히 소개한다. 3장은 본 연구에서 다루고자 하는 시뮬레이션 동적 재구성을 명확히 정의하고, 이를 이산 사건 시뮬레이션에 적용하는 방안을 소개한다. 그리고 제안 방법을 적용한 모습을 간략한 시연 형태로 4장에서 소개하여 그 가능성을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 DEVS 형식론

DEVS 형식론은 실세계의 요소를 수학적 형태로 표현하기 위한 모델링 형식론으로 단위 모델인 원소 모델은 모델 고유의 상태와 시간을 보유한다. 그리고 원소 모델은 입력사건에 의한 상태 천이와 시간의 흐름에 따른 출력사건 및 내부적 상태 천이를 통해 실 세계에서 발생하는 현상 및 실체계의 동작을 동적으로 나타낼 수 있다. 이러한 원소 모델은 타 원소 모델과 결합하여 표현하고자 하는 특정 모듈을 표현할 수 있으며, 이를 결합 모델이라 칭한다. 그리고 결합 모델은 또 다른 원소 모델 및 결합 모델과 결합하여 상위의 결합 모델을 구성하는 형태로 모의하고자 하는 체계를 계층적으로 표현할 수 있는 특성을 보인다(Ziegler 1987; Ziegler, Moon, Kim and Ball 1997; Ziegler, Praehofer and Kim 2000).

DEVS 시뮬레이션은 위와 같은 형식론을 근거로 명세하고 구성한 모델을 활용하여 사건의 관점에서 모의를 진행한다. 모의는 예정된 사건을 기준으로 시간전진과 타 모델로의 출력, 타 모델로부터의 입력을 수행하며 더 이상 예정된 사건이 없으면 곧 모의 수행할 내용이 없음

의미한다. 이러한 이산 사건 시물레이션의 특징은 일정표에 따라 부여받은 과업을 수행하고 그 결과를 출력하거나 전시하는 실 체계의 형태와도 부합한다. 국방 분야는 작전계획에 따라 임무를 수행하는 교전급 이상의 전투모의 및 위 게임에 DEVS 형식론과 그 시물레이션을 활용하고 있다(Kim 2007; Kim 2013; Seo, Choi, Kim and Kim 2014; Choi, Moon, Kim, Kim and Lee 2015).

본 연구 역시 모의분석의 수준을 교전급으로 설정하고 있기에 DEVS 모델링 및 시물레이션에 동적으로 모의 개체의 교체 및 재구성을 수행할 수 있도록 설계를 추가하고자 한다.

2.2 리플렉션 기능

리플렉션은 객체지향 구조와 실시간에 코드를 해석하여 실행하는 인터프리터 방식의 특성을 활용하여 애플리케이션이 실행시간에 자신의 구조와 동작을 검토하고 수정할 수 있는 기능을 제공한다. 리플렉션의 특징은 애플리케이션이나 라이브러리의 상세한 정보를 알지 못하더라도 실행시간에 그 내부를 추적할 수 있으며, 이렇게 얻은 정보를 활용하여 개체 생성, 호출, 접근 등의 작업을 수행할 수 있다(Lee and Park 2012; Kim, Go and Park 2015).

리플렉션을 가장 효과적으로 사용하고 있는 분야로 통합 개발 환경(IDE)을 꼽을 수 있다. 최근의 IDE는 사용자의 활동에 즉각적으로 반응하여 해당 정보를 제공하며, 임의로 추가하였거나 갱신이 발생한 모듈 및 라이브러리를 즉시 반영하여 그 정보를 제공할 수 있다. 또한 리플렉션을 활용한 개체의 생성, 호출, 접근 기능은 기존 서비스의 확장, 재조합, 재구성 등에 활용할 수 있으며, 이를 적용하여 애플리케이션의 실행을 중단하지 않고 그 기능을 다시 로드하여 변경하는 등의 연구 역시 진행되고 있다(Lee and Park 2012; Ferry, Chauvel, Song and Solverg 2017).

본 연구는 이러한 리플렉션 기능을 활용하여 플러그인 방식으로 모의 구조의 동적 재조합 및 재구성 환경을 설계하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 .NET Framework와 C# 언어에서 지원하는 네이티브 기능만을 적용하여 모델링 라이브러리 및 시물레이션 엔진을 설계 및 구현하였으며, 이에 대한 상세한 내용은 3장에서 서술한다.

3. 개체 플러그인 방식의 동적 모의 재구성

본 연구는 2장에서 서술한 바와 같이 리플렉션 기법을

기반으로 DEVS 기반 시물레이션 상에서 개체 플러그인 방식의 모의 재조합 및 재구성 방법을 구상하였다. 본 장에서는 플러그인 방식을 적용하기 위한 DEVS 형식론 기반의 모델링 라이브러리와 시물레이션 엔진을 먼저 소개하고, 설계한 환경에 적용한 모의 구조의 동적 재조합과 시물레이션 재구성 방법을 다룬다.

3.1 모의 재구성을 위한 기반 라이브러리 설계

본 연구는 이미 구성한 시물레이션 상의 특정 개체를 교체하여 모델 구조를 재조합하고, 이를 통해 시물레이션을 재구성하기 위한 목적으로 리플렉션 기능을 활용하였다. 이를 위해 본 연구는 상술한 바와 같이 비교적 강력한 리플렉션 기능을 지원하는 C# 언어와 .NET Framework를 기반으로 모델링 라이브러리와 시물레이션 엔진을 설계하였다.

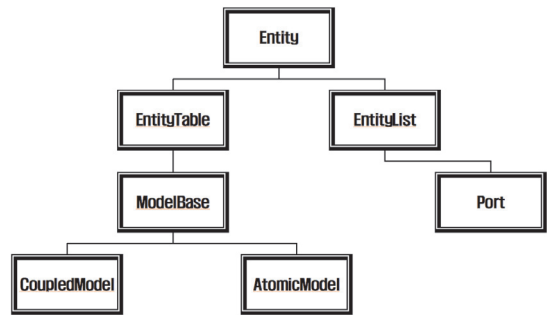


Fig. 1. Object structure diagram of modeling library

Figure 1은 본 연구에서 설계한 모델링 라이브러리의 구조를 보여준다. 기본 구조는 객체 지향 환경에서 이산 사건 모델링 연구(Ziegler 1987)를 밑바탕으로 하고 있으며, 객체의 상속과 다형성을 토대로 유연한 확장성을 보장하도록 설계하였다. Figure 1의 라이브러리에서 Entity는 기본적으로 문자열, 정수, 실수 등의 단일 정보를 담은 모델이자 DEVS 형식론 모델 간의 정보를 교환하기 위한 가장 기본적인 형태의 메시지 모델이다. 그리고 이렇게 단일 정보를 다루는 모델에 어떤 기능적 요소를 추가하여 어떤 목적으로 활용할 것인가에 따라 다양한 형태로 확장할 수 있는 기저 객체의 역할을 수행한다(Ziegler 1987, Kim 2016). 본 연구에서 설계한 라이브러리에서 이 기저 객체를 확장하여 정의한 객체의 목적 및 역할은 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

모델링 라이브러리는 객체 지향 프로그래밍에서의 상속과 다형성 개념을 활용하여 DEVS 형식론에 맞게 모델

Table 1. Object description table of modeling library

Class Name	Parent	Roles
Entity	-	Root object, General-purpose data container
EntityList	Entity	List type data container
EntityTable	Entity	Table type data container
Port	EntityList	Event message port for DEVS model
ModelBase	EntityTable	State common properties for DEVS model
AtomicModel	ModelBase	State specific properties for Atomic model
CoupledModel	ModelBase	State specific properties for Coupled model

링을 수행할 수 있도록 최소 범위의 표준 구조를 제공하는 것이 기본 목적이다. 이를 통해 사용자가 모델링 라이브러리를 활용하여 명세한 객체는 DEVS 시뮬레이션 엔진과 결합하여 모델로서의 역할을 수행할 수 있다. 다만 본 연구는 모델링 라이브러리가 이러한 기본적인 목적과 기능뿐만 아니라, 모델 객체가 순수하게 모델링 단계에서 필요로 하는 정보와 그 기능만 다를 수 있도록 제한하도록 설계하였다. 이에 따라 모델링을 수행한 산출물은 단순히 DEVS 형식론에 따라 명세한 객체만을 포함하며, 그 자체로는 그 어떠한 기능을 수행하지 못하는 동적 링크 라이브러리(DLL: Dynamic Link Library) 형태의 모델 객체 라이브러리로 구성된다. 이러한 특성은 시뮬레이션 엔진의 설계에도 영향을 미친다.

본 연구에서 설계한 시뮬레이션 엔진은 Figure 2에 도시한 바와 같이 모델 풀을 관리하는 모듈과 DEVS 시뮬레이션을 제어하는 모듈로 구성된다.

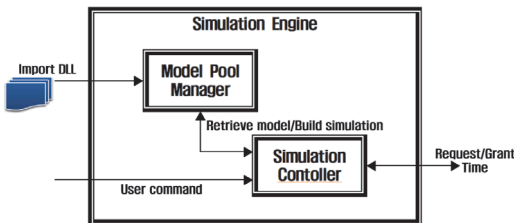


Fig. 2. Brief configuration of simulation engine

모델 풀 관리 모듈은 상술한 모델링 라이브러리를 통해 구성된 모델 객체 라이브러리에서 모델 객체를 가져와 그 정보를 관리하기 위한 목적이다. 특히 시뮬레이션 엔진과 모델 객체 라이브러리는 별개의 프로그래밍 산출이므로 리플렉스 기능을 활용하여 모델 객체 라이브러리의 어셈블리(.NET Assembly) 자체를 시뮬레이션 엔진의 실행 영역으로 들여온다. 이 과정에서 모델 풀 관리 모듈

은 DEVS 시뮬레이션에 호환 가능한 구조와 동작을 포함하는지 메타 정보를 검토한다. 기본적으로 메타 정보의 검토는 표준 구조를 따르고 있는지 최소한의 요건을 먼저 확인하고 그렇지 않을 경우 사용자가 정의한 변수와 메서드가 시뮬레이션에서 요구하는 기능에 맵핑하여 활용할 수 있는지를 작명규칙과 실제 실험적 호출을 통해 검증한다. 그리고 검증을 통과한 모델 객체는 사용자가 시뮬레이션에 사용할 수 있도록 모델 풀에 그 정보를 등록한다.

시뮬레이션 제어 모듈은 사용자가 선택한 모델 객체를 기반으로 모의 환경을 구성하고, 수행 과정에서 전체 시뮬레이션의 시간 관리 역할만 담당하도록 설계하였다. 구체적으로 시뮬레이션 제어 모듈은 현재의 시간과 다음 사건이 일어날 시간 정보만을 관리할 뿐이며, 이에 따라 다음 시간을 부여하는 기능만을 수행한다. 이로 인해 시뮬레이션 엔진은 자신과 결합한 모델이 어떠한 구조이고, 어떠한 기능으로 무슨 정보를 다를 수 있는지 알지 못한다. 이러한 설계를 통해 시뮬레이션 엔진은 결합한 모델의 구조와 무관하게 정해진 일련의 작업을 수행할 수 있으며, 결합된 모델의 구조가 중간에 변화하더라도 다음 사건이 일어날 시간의 변화 이외에는 그 어떠한 영향을 받지 않는다. 다만, 시뮬레이션의 수행은 모델에서 출력, 내부 상태 천이, 외부 상태 천이과 모델 간의 결합관계에 따른 메시지 전달 등을 적절한 절차에 맞게 호출하여 기능을 수행하도록 제어해야 한다. 이에 본 연구는 사용자가 구성한 모델과 시뮬레이션 엔진 사이에서 중개 역할을 수행하도록 Figure 3과 같이 어댑터 개체를 설계하였다(Kim, Kim and Lee 2015; Kim 2016).

Figure 3의 어댑터 개체는 사용자가 구성한 모델이 시뮬레이션 엔진과 결합할 수 있도록 플러그 역할을 수행한다. 구체적으로 어댑터 개체는 시뮬레이션을 위해 구성된 모델의 구조를 파악하고, 하위 구성 모델의 정보를 계

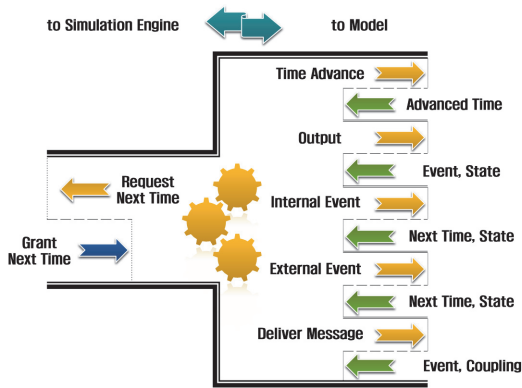


Fig. 3. Concept Design of Plug-in Adaptor for Simulation

층적으로 수집하고 관리한다. 이 때 어댑터의 관심 정보는 하위 구성 모델에서 다음에 수행해야 할 기능과 그 시간이다. 그리고 어댑터 개체는 시뮬레이션 엔진에서 내려온 다음 시간의 부여에 따라 모델이 적절한 작업을 수행하도록 해당 기능에 접근하며, 모델 간의 결합관계에 따른 메시지의 전달 등의 상호작용을 다룬다. 그리고 시뮬레이션 엔진에서 다음 사건이 일어날 시간을 파악할 수 있도록 모델의 상태 정보를 갱신하고, 다음 시간을 부여 받았을 때 수행할 작업을 준비한다. 이러한 일련의 절차를 반복하면서 어댑터 개체는 사용자가 구성한 모델과 시뮬레이션 엔진이 적절하게 상호작용 하면서 모의를 수행할 수 있도록 지원한다.

이러한 어댑터 개체의 특성은 모델의 교체와 그에 따른 구조의 변화에 유연하게 대응하고자 적용한 설계이다. 즉, 어댑터 개체는 자신과 결합한 객체의 내부를 검토하여 DEVS 시뮬레이션 수행을 위한 정보 수집과 내부의 기능을 호출할 수 있으며, 기존에 결합했던 객체가 다른 객체로 바뀌더라도 호환성을 충족한다면 아무런 영향 없이 시뮬레이션을 위한 상호작용을 이어나갈 수 있다.

다만 상술한 내용은 모의 재구성을 위하여 설계한 모델링 라이브러리와 그에 따라 구성된 모델 개체와 시뮬레이션 엔진 사이에서 중간 역할을 담당하는 어댑터 개체의 기능과 특성에 관한 부분이다. 이를 활용한 모의 모델의 재조합과 시뮬레이션 재구성은 이어지는 3.2장에서 상세하게 다룬다.

3.2 플러그인 방식의 모의 재구성 구현

본 연구는 3.1장에서 서술한 바와 같이 기본적으로 모델링 라이브러리를 통해 표준 구조를 통해 모델 개체를 생성하며, 시뮬레이션 엔진의 모델 관리 모듈에서 정보

미상의 객체 내부를 추적하여 그 호환성을 검증하는 절차를 거친다. 따라서 어댑터 개체와 결합하는 객체는 기본적으로 DEVS 형식론에 따른 모듈 단위의 구성과 계층형 결합구조를 지니는 모델이다(Ziegler 1987). 이 때 모델의 구조는 Figure 4와 같이 트리 형태로 표현할 수 있다.

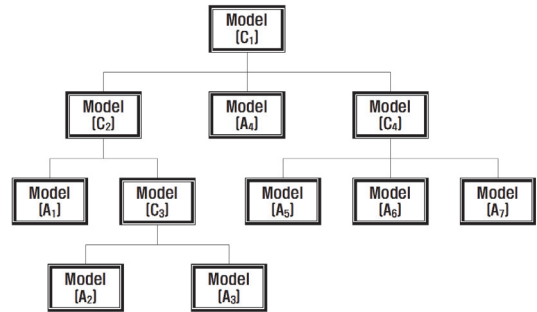


Fig. 4. Model Structure of Discrete Event System

일반적으로 트리 구조는 노드의 값을 변경하여 그 용을 변화시키거나, 새로운 노드의 추가 및 기존 노드의 삭제를 통해 그 구조를 변경할 수 있다. 이러한 특성을 고려하면 DEVS 모델 역시 하위의 특정 모델을 교체하거나, 새로운 모델의 추가 및 기존 모델의 삭제를 적용하여 재조합할 수 있는 구조에 가깝다. 그러나 DEVS 결합구조는 일반적인 트리구조와 차별되는 요소를 하나 품고 있다. 특히 결합모델은 단순히 하위 구성모델의 명세뿐만 아니라 구성 모델 간의 소통을 위한 연결 관계(Coupling)를 명세해야 한다. 이는 모의 수행 과정에서 모델 간 메시지 전달을 위한 통로이며, 결합구조에 명확히 포함되는 요소이다(Ziegler 1987). 따라서 이를 가시화하면 Figure 5와 같이 표현할 수 있다. 그림에서 사각형 테두리로 표현한 레이어가 모델에 해당하며, 각 모델은 다른 모델과

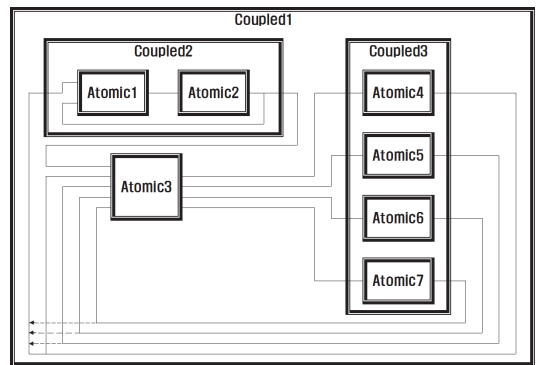


Fig. 5. Appearance of Coupled Model in DEVS

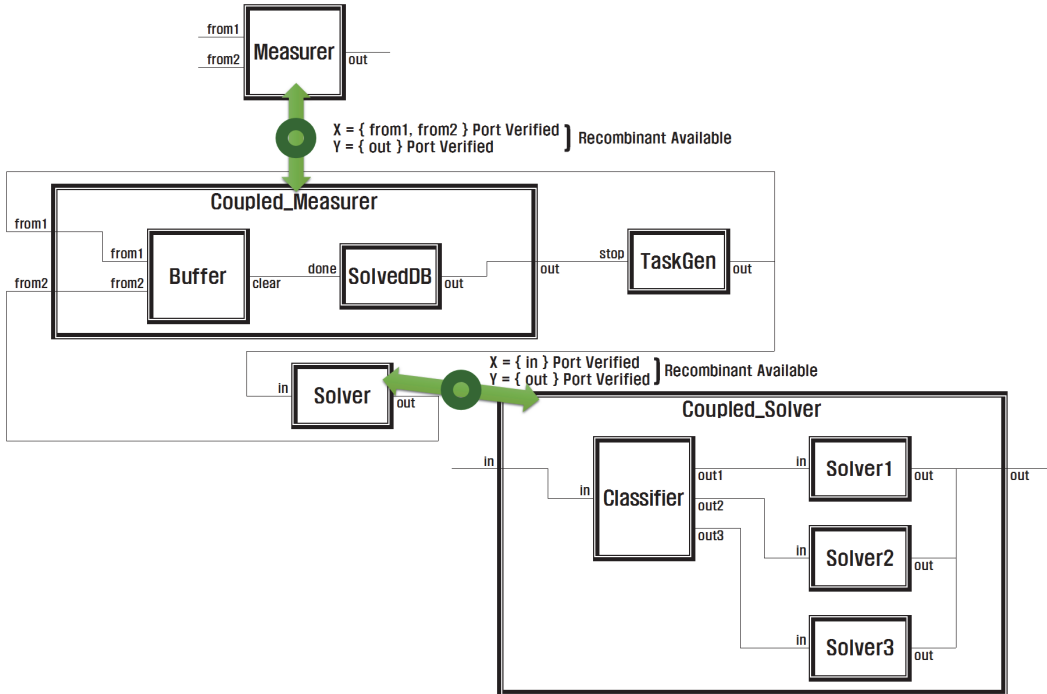


Fig. 6. Model re-coupling based on homogeneous I/O port specification

소통하기 위한 링크를 보유하고 있다. 따라서 모델의 교체, 추가, 삭제는 이러한 모델 간의 연결 관계까지 고려해야 한다(Choi, Seo, Kwon and Kim 2013).

DEVS에서 연결 관계는 구체적으로 사건의 입출력을 위한 송신 포트와 수신 포트 사이의 연결을 명세한 것이다. 이에 연결 관계의 명세는 모델과 포트의 쌍 형식으로 송신부와 수신부를 짝지으며, 이 정보를 참조하여 모델에서 출력한 사건을 다른 모델의 입력으로 전달한다. 이러한 명세구조와 동작원리는 현실의 우편 시스템에 비유할 수 있으며, 모델 부분은 보내는 사람과 받는 사람, 포트 부분은 보내는 주소와 받는 주소에 대응시킬 수 있다. 또한 현실의 우편 시스템은 주소만 정확하게 기입되어 있으면 문제없이 우편물을 전달하며, 우편물의 내용이나 받는 사람의 문제는 우편시스템에서 고려하지 않는다.

이러한 개념은 DEVS 시뮬레이션에도 유사하게 적용할 수 있다. 즉, 어떤 모델이 다른 모델로 바뀌더라도 초기에 설정한 연결 관계에 변화가 없다면 모의 과정에서 다루는 메시지의 발송과 수신 과정은 동일하게 처리할 수 있다. 따라서 Figure 6에 도시한 바와 같이 모델의 메타 정보에서 입출력 포트를 비교하여 호환 가능 여부를 검증(Choi, Seo, Kwon and Kim 2013; Kim 2016)하여

대체 가능한 모델을 식별할 수 있다. 이와 같이 검증한 모델 개체는 DEVS 형식론에 따라 명세한 로직을 보유하고 있고, 기존에 구성한 모의 모델에 결합하여 자유롭게 재조합할 수 있음을 보장한다.

이러한 모의 모델 재조합은 무기체계 효과도 분석 관점에서 크게 4가지 유형으로 구분할 수 있다.

- 원소 모델 → 원소 모델 : 동일한 기능을 수행하지만 세부 모의논리나 입력 매개변수가 다른 대안 모델로 교체한다.
- 원소 모델 → 결합 모델 : 분석 이슈에 관한 요소를 좀 더 정밀하게 분석할 수 있도록 모델의 기능을 확장한다.
- 결합 모델 → 원소 모델 : 분석에 영향을 끼치지 않는 요소를 생략할 수 있도록 모델의 기능을 축소한다.
- 결합 모델 → 결합 모델 : 위 3가지 유형에 모두 해당할 수 있으며, 다른 요소를 분석하기 위하여 모델 전체를 교체하는 목적으로도 적용할 수 있다

이러한 모델의 동적 재조합은 모델 개체와 시뮬레이션 엔진, 그리고 DEVS 모델의 구조에서 상위 결합 모델과 하위 구성 모델 간의 유연한 결합을 지원하는 환경을 요

구한다. 이에 본 연구는 3.1장에서 다른 어댑터 개체를 통해 Figure 7과 같이 플러그인 방식으로 결합할 수 있는 구조의 모의 환경을 설계하였다.

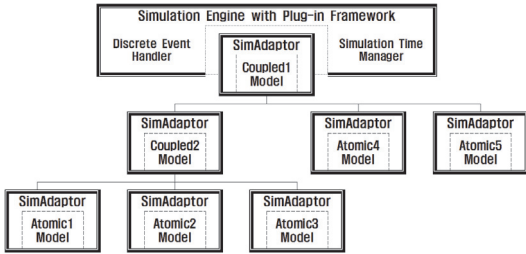


Fig. 7. DEVS simulation environment with plug-in approach

프로그래밍의 다형성, 동적 바인딩 특성 등을 적용 (Ziegler 1987; Kim 2016)하여 탑재한 모델의 유형에 맞게 기능을 호출한다.

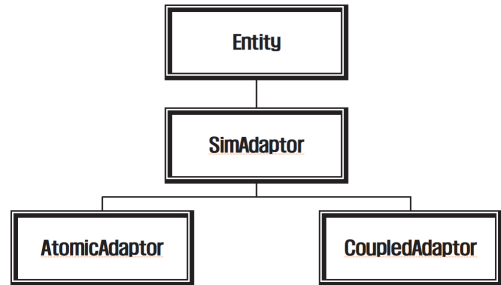


Fig. 9. Polymorphism structure for adaptor object

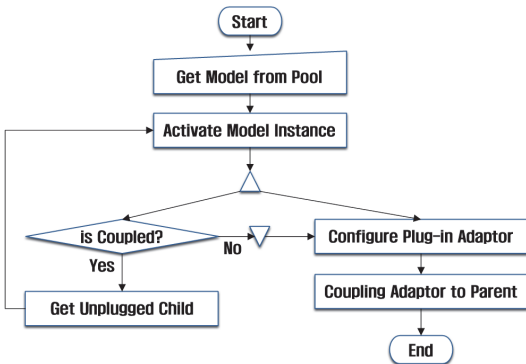


Fig. 8. Construction procedure for plug-in simulation environment

본 연구에 설계한 모의 환경은 어댑터 개체가 시뮬레이션 하려는 모델의 구조와 동일하게 계층적 구조를 형성한다. 이를 위해 시뮬레이션 엔진의 모의 모듈은 Figure 8에서 도시한 절차에 따라 하향식으로 결합구조를 탐색하여 생성한 어댑터 개체에 모델을 플러그인 하고, 상위의 개체와 연결하면서 모델의 상태 및 다음 사건 시간 등의 정보를 보고하는 시뮬레이션을 구성(Kim 2016; Kim, Lee and Han 2016a)한다. 이 과정에서 어댑터 개체는 원소모델이나 결합모델 중 하나를 탑재하게 되므로, 각 유형에 맞는 기능을 포함하는 어댑터를 필요로 한다. 이에 본 연구는 모델링 라이브러리의 구성 방식을 참조하여 Figure 9와 같이 공통적인 기능을 정의한 추상 객체와 이를 기반으로 각 유형의 모델에 대응하는 객체를 정의하였다. 이러한 설계에 라 어댑터 개체는 현재 플러그인 결합을 수행하려는 모델의 형식을 검토하여 그와 매칭되는 객체로 생성된다. 시뮬레이션 엔진은 이러한 어댑터 개체의 정보를 추상 객체를 기반으로 관리하며, 객체지향

이러한 설계에 따라 모델의 재조합과 그에 따른 모의 재구성은 Figure 8에 도시한 절차의 부분적 추가 수행으로 표현할 수 있다. 즉, 모델의 재조합은 기존 모델을 탑재한 어댑터 개체에서 대체하려는 모델의 내부를 하향식으로 탐색하여 구조를 바꾸는 작업에 해당하며, 모의 재구성은 추가로 구성된 하위 계층의 어댑터 개체에서 수집한 모델의 정보를 상위 계층에 보고하여 시뮬레이션 엔진에 전달하는 작업이다.

이를 통해 본 연구에 설계한 환경은 다양한 분석 대안에 따른 실행시간 모델 재조합 및 모의 재구성 환경을 지원할 수 있다. 그러나 이는 기본적으로 기존에 구성된 모의 환경을 임의로 개조하는 접근법이므로 여러 위험성을 내포하고 있는 작업이다. 다만 무기체계 효과분석을 목적으로 수행하는 위 게임 모델의 개체는 핵심적인 요소를 정형화 할 수 있는 특성을 지닌다. 교전을 수행하는 개체는 표적의 정보를 입력받아 공격 등의 행위를 수행하며, 탐지를 위한 개체는 현재 가시범위 내의 표적 정보를 입력받아 탐지 결과를 출력한다. 물론 모의 개체가 어떤 장비를 표현하는가에 따라 구체화된 모델에서는 차이를 보일 수 있다. 그러나 유사한 기능을 수행하는 장비, 예를 들어 소총과 권총은 표적을 인식하여 사격을 하는 본질적 행위는 동일하다. 또한 무기체계의 분석 대안은 동일한 개념의 유사 장비이며, 완전히 성질이 다른 장비를 비교하지 않는다. 따라서 이로 인한 문제 가능성은 낮은 편이다.

다만 메시지 호환성으로 인한 문제는 완벽하게 해소할 수 없다. 본 연구의 설계는 메시지 입출력을 위한 외부형상적 호환성은 모델의 정보를 기반으로 검증할 수 있다. 그러나 메시지 형식의 호환성은 모든 메시지 유형에 관한 메타 정보와 자료 간의 매핑 관계를 식별하여 내장

하지 않는 이상은 이 문제를 다루지 못한다. 다만 이 문제는 모델 간 공통 메시지 형식을 설계 및 적용(Kim, Lee and Han 2016b)하여 일부 해소할 수 있다. 예를 들어 어댑터 개체에서 리플렉션을 통해 수신한 메시지 객체의 내부를 검토하고, 데이터에 해당하는 부분을 추출하여 모델링 라이브러리에서 명세한 EntityTable 객체로 변환하여 모델에 전달하는 방법을 적용할 수 있다. 이를 통해 모델은 항상 공통된 형식으로 데이터를 수신할 있다. 다만 본 연구에서 제안한 설계는 데이터를 변환하여 제공하는 과정까지만 지원할 수 있으며 필요한 자료의 존재 여부 조회와 값을 가져오는 절차는 모델링 단계에서 직접 명세해야 한다.

상술한 방법을 통해 본 연구는 무기체계 모의 분석에서 시뮬레이션 동적 재구성성은 모델링 단계에서의 각 개체 모델에 대한 정형성을 부여하고, 유형 명세 등을 통한 분류기법을 적용하여 범용 체계를 다루는 환경에 비해 그 위험성을 상당히 낮출 수 있다. 이를 통해 다양한 모의 대안 분석요구와 환경에 맞는 교전 시뮬레이션의 동적 재구성 환경을 제공할 수 있다.

4. 사례연구

본 연구는 3장에서 소개한 개체 플러그인 방식의 교전 시뮬레이션 동적 재구성 기법의 가능성 평가를 위해 Figure 10과 같은 교전 시나리오를 적용하여 사례연구를 실시하였다.

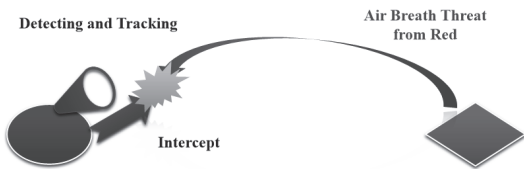


Fig. 10. Sample Scenario for Point Defense Engagement

사례연구를 위한 시나리오는 함선 간의 해상교전 상황을 기반으로 하며, 개함방공에 초점을 맞춰 모의 시나리오를 구성하였다. 모의 상황은 임의의 지점에서 날아오는 적의 탄도탄 위협을 탐지하고 이에 대한 요격을 실시하여 아군 함선의 생존 효과를 평가한다. 이를 위해 본 연구는 현대 전장에서 적의 공격수단을 직접 요격할 수 있는 방어화력(Defensive Firepower) 개념을 기존의 란체스터 모델에 추가로 반영한 Salvo Combat 모델(Hughes 1995)을 기반으로 이산 사건 시스템과 그 모델을 명세하였다.

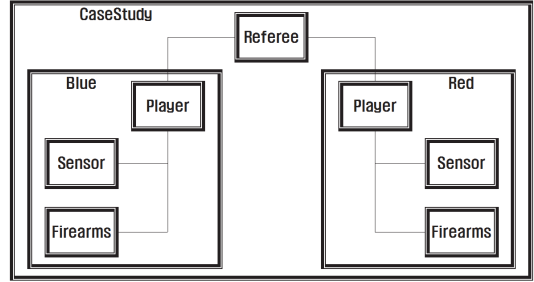


Fig. 11. Base Structure of Case Study Model

모델의 기본 구조는 Figure 11과 같으며, 모의상황 부여 및 결과판정을 하는 Referee 모델과 청군과 홍군을 표현하기 위한 Blue 모델 및 Red 모델로 구성된다. 그리고 Blue와 Red 모델은 모의상황에 따라 세부 모델의 제어 및 자신의 피해평가를 수행하는 Player 모델, 탐지모의를 수행하고 그 결과를 보고하는 Sensor 모델, 공격 및 방어 화기를 모의하기 위한 Firearms 모델로 구성된다. 각 모델은 모의를 위한 최소 충실도 수준으로 구성하며, 시연을 위한 M&S 모델은 3장에서 소개한 바와 같이 C# 기반으로 개체 플러그인 방식의 동적 모의 재구성 가능한 환경을 구현하였다. 세부 모델 풀은 모델링 단계에서 동적 링크 라이브러리(DLL) 형태로 구축되며, 대안에 대한 비교분석 상황을 고려하여 아래와 같이 실행시간 재구성을 실시할 수 있도록 모델을 추가로 작성하였다.

첫 번째 재구성은 청군에서 탐지 레이더 역할을 하는 감지기 모델을 교체하는 상황이다. 이 때 기존의 Sensor 모델은 탐지 범위 내의 표적을 아무런 제약 없이 모두 발견할 수 있는 단순한 모델인 반면, 교체하려는 Sensor2 모델은 거리 별 탐지확률을 적용한 모델이다. 이어서 두 번째 재구성은 청군에서 방어사격을 실시하는 화기 모델을 교체하는 상황이다. 기존의 Firearms 모델은 가장 가까운 표적을 하나 선정하여 요격하는 모델인 반면, 교체하려는 Firearms2 모델은 원거리 요격을 위한 ABM 모델과 근접방어를 위한 CIWS 모델로 구성되는 결합 모델이다. 마지막 재구성은 결합모델인 Red 모델의 동작을 간소화하여 모의하는 RedABT 모델로 교체하는 상황이다.

이러한 모의 재구성 시나리오는 Salvo Combat 모델을 기반으로 특정한 비교분석 시뮬레이션을 가정하여 본 연구에서 설계한 개체 플러그인 방식을 적용한 사례이다. 이에 시나리오는 시뮬레이션 중 모델의 교체를 상정하여 작성하였으며, Referee 모델에서 임의로 생성하는 총 1만 개의 교전 상황을 모의하도록 설정하였다. 시뮬레이션 모델의 재구성은 모의 엔진에 설정한 계획에 따라 상술한

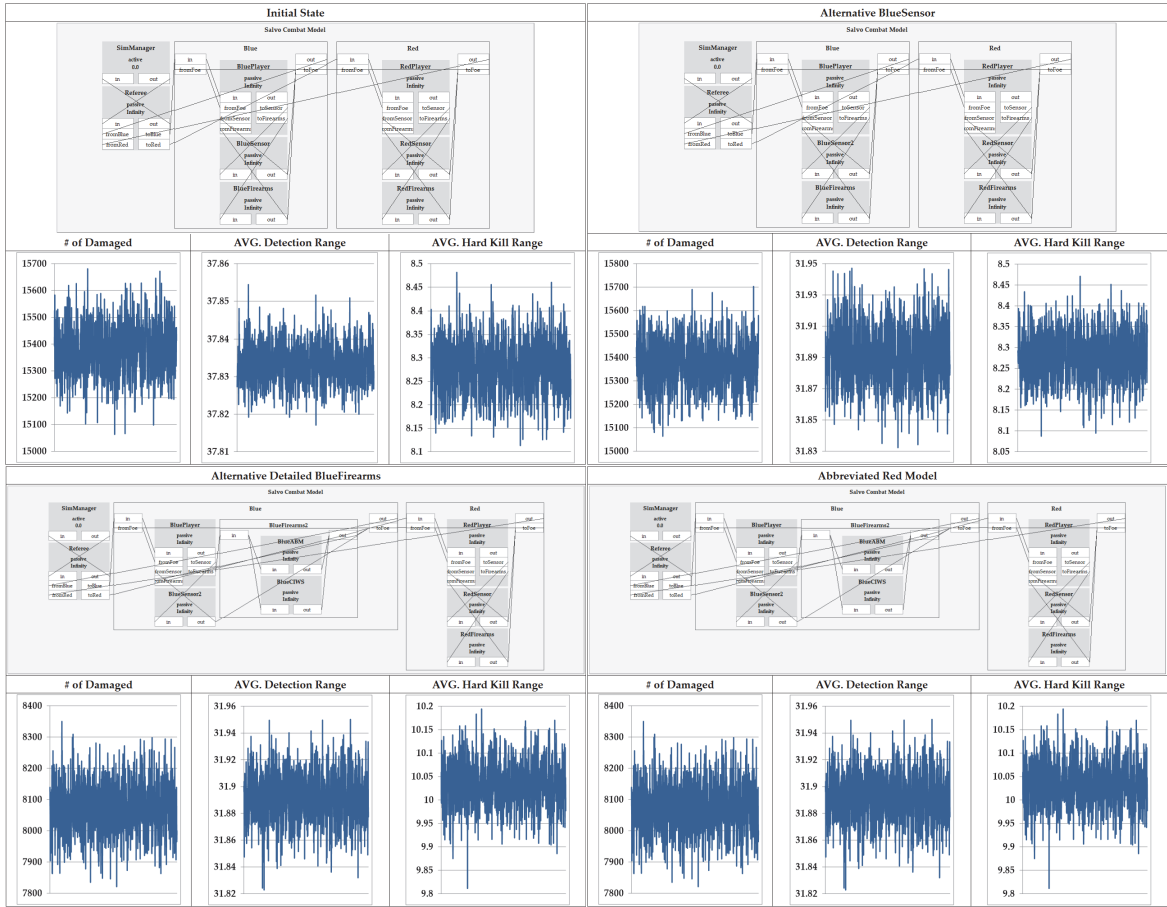


Fig. 12. Reconfigured model structure and result graph of each state for case study simulation

Table 2. Input parameters for case study simulation

Side	Model	Parameter	Value
Blue	BlueSensor	Probability of Detection	0.60
		Max. Detection Range	40.0km
	BlueFirearms	Probability of Kill	0.20
	BlueABM	Max. Shoot Range for Missile	25.0km
Red	BlueCIWS	Max. Shoot Range for CIWS	2.5km
	RedPlayer	Initial Distance from Blue	50.0km
	RedFirearms	Probability of Kill	0.701

4가지 모형을 번갈아가면서 적용하는 방식이며, 교체 대상 모델에 현재 처리중인 사건이 없고 사건의 출력 이후 내부 상태 천이에 따라 다음 사건을 예약하는 단계에서 교체하도록 설계하였다. 이러한 조건은 기존에 입력받은 사건을 모델에서 처리하는 과정에서 출력된 사건의 결과가 왜곡되는 상황을 막기 위함이다. 이에 따라 전체 상황

을 하나의 사건으로 부여하는 시나리오는 부여한 상황의 종료 이후에 교체할 수 있으나, 해당 상황을 특정 시점을 기준으로 여러 사건으로 분할한 경우에는 수행 중간에 얼마든지 이를 교체할 수 있다(Choi, Seo and Kim 2017).

이에 따라 본 시나리오는 기존에 부여한 항공위협 의 요격 및 피해평가에 영향을 끼치지 않는 시점에 모델의

교체를 수행하여 각 모형별로 2,500회의 상황을 다루도록 설정하였다. 그리고 이러한 시뮬레이션 재구성이 모의 결과에 미치는 영향을 평가하고자 공중위협 탐지거리와 요격거리, 피격횟수를 측정하였으며, 이를 위한 세부 입력 값은 Table 2와 같다. 이를 통해 총 1,000회의 모의를 반복하였으며, 각 단계 별 모델 구조의 모습과 측정된 결과는 Figure 12와 같다.

시뮬레이션 재구성이 증대한 영향을 미치는 구간은 그래프에서 볼 수 있듯이 청군의 감지기 모델을 단순 탐지 모델에서 거리별 탐지확률을 적용한 모델로 교체하는 두 번째 재구성으로 탐지거리가 약 6km 가량 감소하는 결과를 얻었다. 또한 청군의 화기모형을 단순 교전모델에서 원거리 요격과 근거리 요격으로 세분화한 세 번째 재구성은 피격횟수가 절반 수준으로 감소하였고, 동시에 평균 요격거리가 2km 가량 증가하는 결과를 얻었다. 이는 확장된 모델에 따라 설정한 거리를 기준으로 ABM 모델과 CIWS 모델이 서로 역할을 분담했기 때문이다. 반면 홍군 모델을 축소한 네 번째 재구성은 각 하위 모델로 분산되어 있던 기능을 하나의 모델에서 수행하도록 변경한 수준이었기 때문으로 분석된다. 따라서 앞선 변화에서 유추할 때 특정 기능을 제거하거나 간략화 하는 형태로 추가 변화를 꾀하였다면 그에 따른 효과를 볼 수 있었을 것으로 추정할 수 있다.

이와 같은 형태로 제안한 실시간 재구성 방법은 시뮬레이션 수행 과정에서 모델 기능 및 모의 수준을 교체하거나 확장과 축소를 통해 다양한 모의 상황을 표현할 수 있으며, 이를 통해 분석하고자 하는 목적에 맞게 실험을 재구성할 수 있는 동적 환경을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

무기체계 효과도는 측정 및 분석하고자 하는 이슈에 따라 여러 대안에 대한 비교 실험을 요구한다. 이러한 대안 무기체계의 모델은 파라메트릭 데이터, 모의 논리, 세부 모델의 구성 등과 같은 차이를 보일 수 있다. 다만 정적으로 구성되는 시뮬레이션은 모의 조건에 따른 시나리오와 환경을 개별적으로 준비해야 되므로 본 연구는 모델의 입출력 호환성과 어댑터를 활용하여 동적 모의 구조 및 시뮬레이션 재구성이 가능한 환경을 설계하였다. 그리고 Salvo Combat 모델을 참고한 간략한 교전 시나리오를 사례연구로 적용하여 무기체계 모의 분석에서 제안한 방법의 활용 방안을 검토 및 시연하였다. 향후 연구는 본 연구에서 간략한 설명으로 대체한 모델 유형에 따

른 모델 풀의 자동 구성, 이형 메시지의 변환, 시뮬레이션 재구성 시 위험성 감소를 위한 안전성 확보 등의 보강연구를 통해 본 연구의 완성도를 높이고자 한다.

References

- Choi, J., Moon, S., Kim, T., Kim, J. and Lee, J.S. (2015), "Study of Development for Distributed Battlefield Simulation Environment - One-to-One Single Unit Engagement Model -," *Journal of the Korea Society for Simulation*, 24(4), 69-76.
- (최정석, 문성환, 김태영, 김재권, 이종식. (2015). 분산전장 모의환경 구축 방법에 대한 연구. *한국시뮬레이션학회논문지*, 24(4), 69-76.)
- Choi, S.H., Seo, K.-M., and Kim, T. G. (2017) "Accelerated Simulation of Discrete Event Dynamic Systems via a Multi-Fidelity Modeling Framework," *Applied Sciences*, 7(10), 1056.1-1056.23.
- Choi, S.H., Seo, K.M., Kwon, S.J. and Kim, T.G. (2013), "Multi-fidelity Modeling and Simulation Methodology to Enhance Simulation Performance of Engineering-level Defense Model," *Journal of the Korea Society for Simulation*, 22(4), 67-82.
- (최선한, 서경민, 권세중, 김탁곤. (2013). 공학급 국방 모델의 시뮬레이션 성능 향상을 위한 다중 충실도 M&S 기법 연구. *한국시뮬레이션학회논문지*, 22(4), 67-82)
- Chung, C.I. (2017) "The fourth industrial revolution and RMA 4.0," *The Journal of Strategic Studies*, 24(2), 183-211.
- (정춘일. (2017). 4차 산업혁명과 군사혁신 4.0. *전략연구*, 24(2), 183-211.)
- Ferry, N., Chauvel, F., Song, H., and Solberg, A. (2017) "Towards Meta-adaptation of Dynamic Adaptive Systems with Models@ Runtime," In *Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, Port, Portugal, February 19-21, 2017.
- Hughes, W. P. (1995) "A salvo model of warships in missile combat used to evaluate their staying power", *Naval Research Logistics (NRL)*, 42(2), No. 2, 267-289.
- Lee, J. and Park, Y.S., (2012) "Dynamic Configuration using Partial Functional Reflection," *Proceeding of*

- Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 39(1B), 207-210
(이지현, 박영식. (2012). 부분 기능의 리플렉션을 이용한 동적 설정. 한국정보과학회 학술발표논문집, 39(1B), 208-210.)
- Park, C.W. (2017) "The forth industrial revolution and the korean defense industry," Defense & Technology, 459, 80-99.
(박춘우. (2017). 4차 산업혁명과 한국 방위산업의 대응 방안. 국방과 기술, (459), 80-99.)
- Patricia, S. (1999) "Simulation Based Acquisition: An Effective, Affordable Mechanism for Fielding Complex Technologies," OUSD(A&T), 3
- Kim, H.J. and Lee, H.Y. (2016) "Defense System Acquisition Management System Considering SBA Effectiveness Analysis," Journal of the Korea Society for Simulation, 25(4), 137-144.
(김형중, 이해영. (2016). SBA 효과도 분석을 고려한 국방 무기체계도입 관리시스템 구조. 한국시뮬레이션학회논문지, 25(4), 137-144.)
- Seo, K.M., Choi, C., Kim, T.G., and Kim, J.H. (2014), "DEVS-based combat modeling for engagement-level simulation," Simulation, 90(7), 759-781.
- Ziegler, B.P. (1987), "Hierarchical, modular discrete-event modelling in an object oriented environment," SIMULATION, 49, 219-230.
- Ziegler, B.P., Moon, Y., Kim, D. and Ball, G. (1997) "The DEVS environment for high-performance modeling and simulation," Computational Science and Engineering, IEEE
- Ziegler, B.P., Praehofer, H. and Kim, T.G. (2000), "Theory of Modeling and Simulation : Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems," Academic Press, 2000.
- Kim, K.W., Kim, S.M. and Lee, K.S. (2015), "A Plugin for Distributed Simulations in Plug-and-Play Simulation Engines," The Conference Proceedings of the Korean Operations Research and Management Science Society, 2149-2254.
(김근원, 김성민, 이강선. (2015). Plug-and-Play 시뮬레이션 엔진을 위한 분산실시간 Plugin의 개발. 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 2149-2154.)
- Kim, J., Go, N., and Park, Y., (2015) "A Code Concealment Method using Java Reflection and Dynamic Loading in Android," Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology, 25(1), 17-30.
(김지윤, 고남현, 박용수. (2015). 안드로이드 환경에서 자바 리플렉션과 동적 로딩을 이용한 코드 은닉 법. 정보보호학회논문지, 25(1), 17-30.)
- Kim, T. (2016), "Dynamic Scalable Distributed Real-time Simulation Engine Using Remote Interoperable Plug-in Approach," Ph. D. Thesis, Inha University
(김태영 (2016), 원격 연동 플러그인 방식의 동적 확장형 분산 실시간 모의 엔진, 인하대학교 박사학위 논문)
- Kim, T., Lee, J. S., and Han, Y. (2016a), "Plug-in Approach for Distributed Interoperable Environment using Consignment Technique of Simulation Entity" Advanced Science and Technology Letters, 133, 63-67.
- Kim, T., Lee, J. S., & Han, Y. (2016b) "Autonomous Scalable Protocol of Consignment Service Grid for Distributed Interoperable Environment" Advanced Science and Technology Letters, 133, 68-72.
- Kim, T.G. (2007), "Modeling and Simulation Engineering," Communication of the Korea Information Science Society, 14(6), 3-17.
(김탁곤. (2007). 모델링 시뮬레이션 공학. 정보과학회지, 25(11), 5-15.)
- Kim, T.G. (2013) "Theory and Technology of Defense M&S - Introduction," 2013 An Open Lecture for Industry-academic Cooperation, SMSLAB, KAIST.



김 태 영 (taeyoung_kim@dtaq.re.kr or silverwild@gmail.com)

2007 인하대학교 컴퓨터공학과 공학사
2009 인하대학교 컴퓨터정보공학과 공학석사
2016 인하대학교 컴퓨터정보공학과 공학박사
2017~ 현재 국방기술품질원 연구원

관심분야 : 병렬 분산 컴퓨팅, 모델링 & 시뮬레이션, 국방 M&S, 연동 협업 체계