

복합체계 개념에 기반한 국방체계 모델링 시뮬레이션 방법론

김탁곤[†] · 권세중 · 강봉구

한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Modeling and Simulation Methodology for Defense Systems Based on Concept of System of Systems

Tag Gon Kim · Se Jung Kwon · Bonggu Kang

Department of Electrical Engineering, KAIST

A complex system such as defense systems is in a form of System of Systems (SoS) in which each component is a system being independent of other component systems. Dynamical behavior of SoS is represented by a composition of behaviors of component systems. Thus, a M&S tool/environment would not be efficient for development of heterogeneous models nor for simulation in a centralized environment. Moreover, such an environment restricts reusability and composability. This paper presents an interoperation method for M&S of defense systems as SoS. The approach first develops component system models using tools, each specialized to M&S of each component system. It then interoperates such simulations together to simulate a whole system as SoS. HLA/RTI is employed for such interoperation, which is a DoD/IEEE standard to support interoperation. We will introduce a case study for interoperable simulation of defense systems, which consists of a wargame simulator and a communication simulator.

Keywords: System of Systems, Defense Modeling and Simulation, Simulation Interoperation

1. 서론

국방 체계는 <Figure 1>과 같이 인력, 조직, 장비, 물자, 교리, 군수, 지휘관의 경험 등 다양한 형태의 기능 및 구조를 가지는 부체계들이 복잡하게 구성된 체계이다. 이러한 국방 체계의 설계 및 최적화 등은 목적지향적 국방 M&S 기술을 통해 이루어지고 있으며 군사 훈련/연습, 국방 체계 분석 및 획득 분야 등에 각각 많은 활용이 이루어지고 있다. 더 나아가 국방 M&S 기술은 궁극적으로 단순히 (부)체계를 최적화하는 도구로서만 쓰이는 것이 아니라 7대 전투발전요소(DOTMLPF : Doctrine(교리), Organization(조직), Training(훈련), Material(물자), Leadership(리더십), Personnel(인력), Facilities(장비))들의 전역적 최적화를 목적으로 하여 이를 통해 국방 전력을 극대화 시키는 방법으로 사용되고 있다.

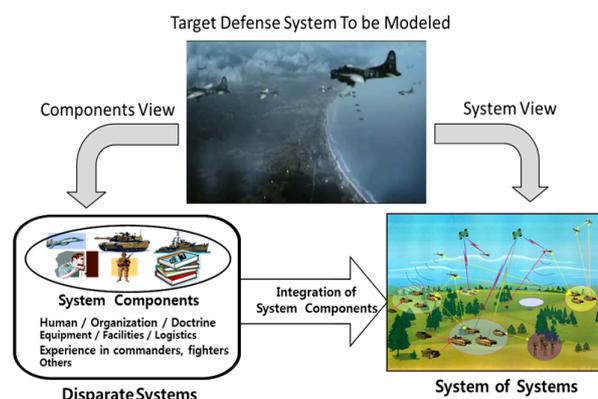


Figure 1. Defense system(Kim, 2013)

이러한 국방체계는 일반적인 체계 모델링 및 시뮬레이션 방

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(UD110006MD).

[†] 연락저자 : 김탁곤 교수, 305-701 대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동 373-1) 한국과학기술원(KAIST), Tel : 042-350-5454,

Fax : 042-350-8454, E-mail : tkim@ee.kaist.ac.kr

2013년 6월 30일 접수; 2013년 8월 22일 수정본 접수; 2013년 9월 22일 게재 확정.

법론이 아닌 독립적인 기능들을 수행하는 요소들이 결합된 체계로서의 방법론이 필요하다. 특히, 전장의 환경이 플랫폼 중심의 전투에서 다양한 체계가 연관되어 있는 복잡한 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)으로 변화하고 있으며 이러한 NCW 환경은 다양한 전투 요소들을 네트워크로 연결하여 전장상황을 공유하고 통합적이고 효율적인 전투력 창출을 요구하기 때문에(No *et al.*, 2005), 복잡적이고 복잡한 국방 체계 요소들의 체계를 모의해야 할 필요가 더 증대되고 있다.

이러한 특성을 가지는 국방체계는 체계 이론에 의해 복합체계(System of Systems, SoS)로 분류될 수 있는데, 복합체계란 어떤 기능이나 성능에 대한 새로운 요구사항을 만족시키기 위해 각각의 개별 부체계(Subsystem)들이 결합된 집합 체계를 뜻한다(Eisner *et al.*, 1991). 일반적으로 각각의 부체계들은 독립적으로 실행되고 관리될 수 있는 특성을 가지며 그 자신의 특화된 요구사항을 수행한다. 그러나 각 개별 부체계 스스로는 만족시킬 수 없는 새로운 요구사항이 주어졌을 때는 이에 필요한 부체계들을 연동한 복합체계를 통해서만 새로운 요구사항을 만족시킬 수 있다. 예를 들어 수상함의 대어뢰전 체계를 구성하는 수상함, 어뢰, 잠수함, 기만기 등은 각기 독립적인 부체계들로 식별될 수 있으며(Seo *et al.*, 2011) 식별된 각 체계들은 수상함의 대어뢰 생존율이라는 효과도 분석요구를 만족시키기 위해 하나의 결합된 복합체계로 인식되어야 한다.

이러한 복합체계의 행동을 모의하고 분석하기 위해서 모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation, M&S) 이론이 필요하다. 복합체계 M&S를 위한 방법은 크게 부체계 모델들의 결합(Integration)과 연동(Interoperation)으로 나눌 수 있다(Pollock *et al.*, 2004). 체계 결합은 두 개 또는 여러 개의 부체계가 정보를 공유하면서 하나의 형태를 이루어 협력하는 방법이고(Tolk, 2002; Sahin *et al.*, 2007), 체계 연동은 각 부체계들이 독립적으로 동작하면서 이들 사이의 정보 교환을 통해 복합체계의 목적을 이루는 방법이다. 체계 결합과 연동의 가장 큰 차이는 내부 체계들 사이의 독립성이다. 연동을 통한 접근은 체계 모델링 및 시뮬레이션의 독립성을 보장하고 의존성을 최소화하는 반면, 결합을 통한 접근은 일정한 성능을 보장하는 대신, 각 부체계 모델들이 서로에게 강하게 결합되어 유지보수성, 재사용성 등이 크게 떨어진다. 따라서 국방 M&S를 위해서는 매년 복잡한 전장 상황을 모의하기 위해 결합된 모델을 구성하는 것보다 이미 구성되어 있는 부체계 모델들을 재사용하면서 정보 교환에 대한 인터페이스를 정의하여 연동하는 것이 훨씬 적합한 접근이다.

이러한 연동을 통한 복합체계 M&S 연구는 다양한 방법을 통해 이루어져 왔는데, 웹 서비스를 통한 연동 체계와 표준 미들웨어에 기반한 연동체계로 크게 나눌 수 있다. 웹 서비스를 통한 연동 체계는 웹 서비스 구조를 연동 체계에 도입하여 물리적/논리적으로 분리된 시뮬레이터들을 연동하는 방안이다. 서비스 지향 아키텍처(SOA)를 사용한 DEVS/SOA(Mittal *et al.*, 2007; Mittal *et al.*, 2009) 등의 경우에는 부체계의 구현이 다른

프로그래밍 언어로 구현된 DEVS 모델 혹은 특정한 XML 언어에 국한되는 문제가 있었으며, REST-ful 웹 서비스를 사용한 DCD++(Al-Zoubi *et al.*, 2009)의 경우에는 독립적인 부체계간의 연동보다는 한 개의 모델을 분산 시뮬레이션하는 것에 중점을 맞추는 등의 문제가 있다. 특히, 공개된 웹 서비스를 통한 접근은 보안이 중요한 국방 체계의 시뮬레이션에 있어서 부적합했다.

다른 한편으로, 표준 미들웨어에 기반한 연동 방법으로 DIS(Davis, 1995), CORBA(Ben-Natan, 1995), RMI(Downing, 1998) 등의 미들웨어를 사용한 연구들이 있었으며 특히 IEEE 1516 표준으로 채택되어 있는 HLA/RTI를 사용한 많은 연구가 진행되었다(Kim and Kim, 2005; Sung *et al.*, 2009; Sung *et al.*, 2011; Hong *et al.*, 2011; Bae *et al.*, 2012; Kim, Kim and Sung, 2012). 특히 HLA/RTI와 부체계 시뮬레이터 사이의 인터페이스 역할을 하는 Adaptor(Kim *et al.*, 2011)를 개발함으로써, 시뮬레이터와 연동 미들웨어 사이의 의존성을 줄여 결합성(Composability)과 모듈성, 재사용성 등을 더욱 높이는 복합체계 시뮬레이션 구조를 설계 할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 복합체계 M&S 방법론은 국방체계가 복합체계임을 고려하여 각 부체계들이 독립적인 체계임을 모델링 및 시뮬레이션 과정에 반영하는 것이다. 따라서 모델링 과정에서 각 부체계 모델링에는 독립적인 M&S 도구/환경을 사용하고 이들 부체계 모델들 사이에 교환될 별도의 정보를 명시적으로 명세한다. 시뮬레이션 과정에서는 부체계 개발에 사용된 도구/환경을 연동함으로써 각 부체계들의 시뮬레이션 개발에 사용된 M&S 도구/환경에서 수행되며 부체계들 사이의 시뮬레이션 연동체계의 정보 교환은 모델링 과정에서 명시된 별도의 명세서를 통해 실행되도록 하였다. 이를 위하여 본 논문은 복합체계 모델링 형식론을 제안하여 이미 개발된 모델들 간의 인터페이스를 정의하였으며 DEVS BUS 이론(Kim *et al.*, 2003)을 통해 기술된 복합체계 모델의 연동 시뮬레이션 알고리즘을 제안한다. 제안된 연동 시뮬레이션 이론은 적합한 미들웨어를 통해 구현되어 복합체계 모델의 연동 실행을 가능하도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 복합체계로서의 국방체계의 분류에 대해 간단하게 다룬다. 이어서 제 3장에서 국방 복합체계 M&S의 요구사항을 식별하고 이를 토대로 제 4장에서 국방복합체계 M&S 프레임워크를 통해 복합체계 모델의 모델링 및 시뮬레이션 이론을 제안한다. 제 5장에서 프레임워크를 통해 설계된 복합체계 모델이 연동 미들웨어를 통해 실제로 어떻게 개발/구현되는지 보인다. 제 6장에서는 사례연구를 통해 실제 국방체계에 적용된 예를 보이고 제 7장에서 결론을 맺는다.

2. 국방 모델 모의 수준 분류 및 시뮬레이션 분류

국방체계의 구성 요소들은 모델링과 시뮬레이션 관점에서 다

음과 같이 분류할 수 있다. 우선 모델링 관점에서의 국방체계는 목적 및 상세도에 따라 4단계로 구분되는데, 전구급(Theater), 임무/전투급(Mission/Battle), 교전급(Engagement), 공학급(Engineering)으로 이루어진다.

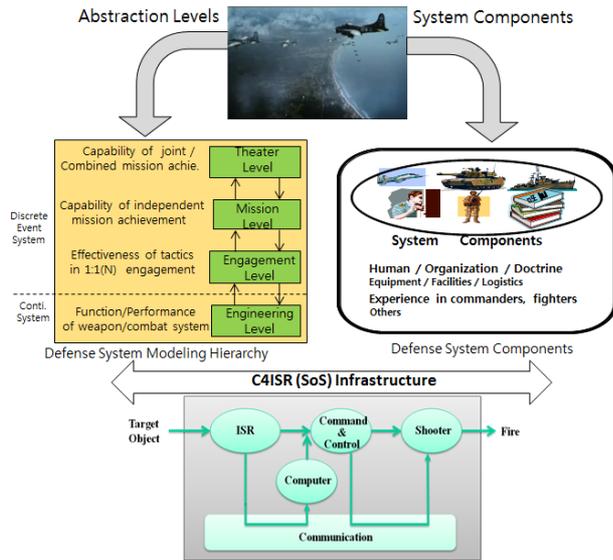


Figure 2. Defense system classification and example(Kim, 2013)

<Figure 2>는 모의수준에 따라 국방체계를 분류한 그림이다. 최상위에 위치하는 전구급 모델은 연합/합동훈련 및 위계임을 통한 합동 및 연합군의 전력 구조 분석 등의 목적으로 사용되어 전쟁전략을 모의하며 임무급은 부대훈련의 목적으로 사용되어 다수 대 다수의 교전등을 모의한다. 교전급은 전투 체계 개발을 목적으로 하여 전술평가나 체계효과도 등을 구할 수 있게 하며 공학급은 단일 무기체계의 무기성능이나 체원 등을 모의하는 목적으로 사용된다. 주로 교전급 이상의 모델은 이산 사건 체계로 모델링되며 공학급 모델은 연속 체계로 모델링된다. 이러한 추상화 및 모의 대상에 따른 모델의 구분을 통해서, 모델링 목적에 따라 명확한 모델의 구성 및 설계를 수행할 수 있다. 이러한 다양한 수준의 모델들은 결합되어 요구사항을 만족하는 복합체계를 이루게 되는데 지휘(Command), 통제(Control), 통신(Communications), 컴퓨터(Computers), 정보(Intelligence), 감시(Surveillance) 및 정찰(Reconnaissance) 등으로 구성되는 C4ISR 체계가 대표적인 예이다.

반면에, 시뮬레이션 관점에서 국방체계 시뮬레이션 방법은 실기동(Live), 가상(Virtual), 구성(Constructive) 시뮬레이션으로 이루어진다. 구성(C) 시뮬레이션은 각종 위계임과 같이 가상 상황 하에서 가상의 병력으로 훈련하는 것이고, 가상(V) 시뮬레이션은 전차나 전투기 등과 같은 장비 내부와 동일한 환경을 구성하고 실제 사람이 탑승하여 가상 상황 하에서 실제 훈련을 할 수 있도록 하는 시뮬레이션이다. 실기동(L) 시뮬레이션은 실제 기동 훈련으로서 실제 병력이 실제 지형 하에서 직접 기동하면서 훈련하는 것을 말한다(Kim, 2011).

3. 복합체계 특징 및 국방 M&S를 위한 복합체계 요구사항

국방체계를 복합체계 관점에서 모델링 및 시뮬레이션하기 위한 복합체계 요구사항을 식별하기 위해 먼저 복합체계의 특징을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 각각 특정한 요구사항을 만족시키는 것에 전문화되어 있는 부체계들로 이루어진다. 둘째, 각각의 부체계는 독립적으로 운영될 수 있으며 그 각각이 점진적으로 개발되고 발전될 수 있다. 셋째, 각각의 부체계는 서로 다른 종류(heterogeneous)이며 동시성을 지니고 지리적으로 분리되어 있을 수 있다. 넷째, 복합체계 또는 그 하위의 부체계들이 창발적 행동(Emergent Behavior)을 보인다(Maier, 1996)(Kim, 2009). 이러한 복합체계의 특징을 통해 국방 M&S의 요구사항을 정리하면 크게 두 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 국방체계를 모델링하고 시뮬레이션하기 위해서는 먼저 전문화된 부체계 모델들을 재사용하는 것이 필요하다. 따라서 각 부체계 모델 간의 결합되어 있는 정보를 줄이고 인터페이스를 통해 정보를 공유하는 연동방식을 통해 복합체계를 모델링해야 한다. 연동방식은 각 부체계들의 자율성과 독립성을 인정하기 때문에 서로 다른 종류의 체계 모델도 하나의 복합체계를 구성할 수 있으며 복합체제로 구성된 뒤에도 독립적으로 개선, 발전될 수 있는 특징 및 장점이 있다.

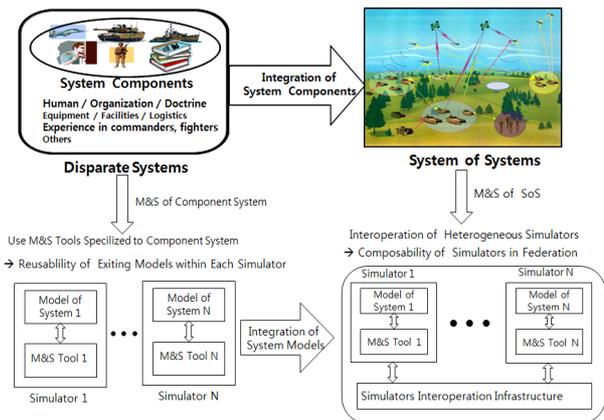


Figure 3. M&S methodology for defense SoS(Kim, 2013)

본 논문이 제안하는 복합체계 M&S 방법론은 <Figure 3>과 같이 각각의 컴포넌트 체계들의 모델을 연동하여 복합체계를 모델링한다. 각각의 모델은 내부의 논리 표현 방법이 서로 다르기 때문에 각기 다른 형태의 전문화된 M&S 방법론을 가지고 각기 다른 시뮬레이션 틀에 의해 실행된다. 이들은 시뮬레이션 연동 기반시설을 통해 실행되어 복합체계 모의를 가능하게 한다.

둘째, 국방체계는 (부)체계 간의 상호작용을 통해 창발적인 행동을 보이는 특성이 있기 때문에 상호 분석이 필요하다. 창발적 행동이란 체계의 행동이 단순히 개별적인 부체계들의 행동의 독립적인 합으로 이루어지는 것이 아니라 각각의 부체계들이 다른 체계들과의 연결 관계와 상호작용을 가짐으로 인해

새로운 행동을 보이는 것을 말한다. 예를 들어 교전급 방어체계의 경우, 하위 모델인 공학급 모델에서 계산된 운동론적 상위 모델인 교전급 모델의 중요한 파라미터로 사용된다. 이러한 파라미터 연관 관계로 인해 각 부체계들은 서로 독립적인 행동을 보이는 것이 아니라 상호 보완적인 관계를 가지며 다른 부체계의 행동에 영향을 받는다.

이러한 파라미터는 체계를 바라보는 관점에 따라 전투 논리적 측면과 전장 기능적 측면으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 전투 논리적 측면은 어떠한 장비나 체계를 사용하여 다양한 작전 시나리오 하에서의 작전 성공률과 같은 전투 효과도인 MOE(Measurement of effectiveness)를 측정하는 것을 의미한다. 전장 기능적 측면은 전투 논리적 측면과는 역으로 특정 작전 성공확률이 주어진 경우, 이를 만족시키기 위한 장비나 체계의 요구/제원인 MOP(Measurement of performance)을 측정하는 것을 의미한다. 위와 같은 전투 논리적 측면에서의 MOE와 전장 기능적 측면에서의 MOP는 서로 상호 보완적 관계(Trade-off)에 있기 때문에, MOE와 MOP를 모두 고려하는 분석 방법이 필요하고, 이러한 분석 방법을 상호 분석이라 한다(Kim, Kim and Sung, 2012).

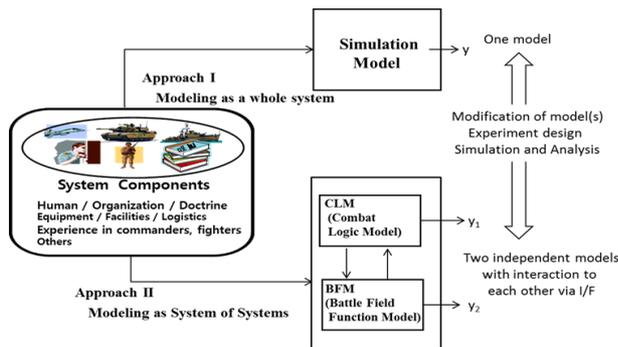


Figure 4. Joint analysis(Kim, Kim and Sung, 2012)

<Figure 4>는 상호 분석과 단일 분석의 차이점을 설명한다. 상호 분석에 반대되는 단일 분석은 전체 체계를 하나의 모델로 표현하기 때문에 하나의 분석 지수를 측정하기 위해 다른 요소들은 추상화할 수밖에 없다. 일반적인 부체계 시뮬레이터들이 그러한 예이다. 반면에 상호 분석은 서로 독립적인 체계를 연동하여 필요한 정보를 상호 연동하면서 각각 분석 지수를 측정할 수 있다. 두 모델을 분리해서 독립적으로 각각 분석하더라도 그 결과는 서로 독립적이지 않을 수 있으며 그 결과는 서로의 모델에 영향을 줄 수 있기 때문에 상호 분석이 필요하다(Kim, Moon, and Kim, 2012).

이상의 두 가지 요구사항은 결국 연동체계를 통해 만족시킬 수 있다. 따라서 본 논문은 두 요구사항을 충족시키기 위한 연동체계를 통한 복합체계 M&S 프레임워크를 제안하며 그림 5와 같은 장점을 지니도록 한다. 제안된 방법론은 각각의 전문화되고 효율적인 모델링 방법들을 연동하기 때문에 각각의 시뮬레이터의 재사용성을 높이고 각 시뮬레이터의 결합성을 높

일 수 있다. 따라서 새로운 시뮬레이터의 참여가 쉬워지고 각 시뮬레이터를 개선하는 것도 독립적으로 이뤄질 수 있기 때문에 복합체계 M&S의 유지성을 높일 수 있다. 또한 분석 관점에서는 독립적이지만 연동된 상호 분석을 통해서 장발적 행동을 보이는 체계의 다양한 분석이 가능하다.

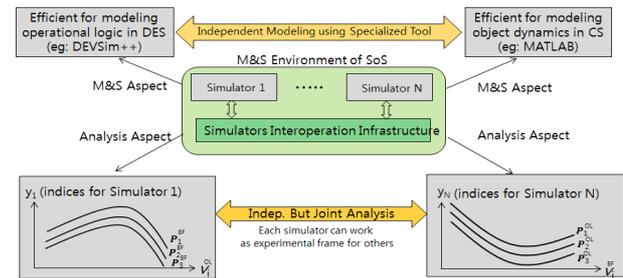


Figure 5. Benefits of interoperation : M&S vs analysis(Kim, 2013)

4. 제안하는 복합체계 M&S 프레임워크

제안하는 복합체계 M&S 프레임워크는 앞서 식별한 복합체계 M&S의 요구사항에 따라 연동 체계로 구성된다. 복합체계의 M&S 프레임워크는 형식론을 통해 독립적으로 개발되어 있는 부체계 모델들 간의 인터페이스를 정의하고, DEVS BUS 이론(Kim et al., 2003)을 통해 서로 다른 모델들이 하나의 복합체제로 연동하는 것을 가능하게 한다.

4.1 복합체계 모델링 형식론

복합체계 모델링 형식론은 이미 완성되어 있는 모델들을 대상으로 모델의 종류와 그들 간의 교환되는 정보에 대해 기술하도록 구성되어 있다. 복합체계 모델을 구성하는 부체계 모델은 이미 해당 체계에 적합한 M&S 틀에 의해서 모델링된 모델들을 의미하며 이들의 내부동작은 복합체계 모델링 형식론에서 다루지 않는다. 다만, 각 부체계 모델은 외부와 연결되는 입력과 출력을 가지고 있으며 이러한 입력과 출력은 체계 연결 명세(SCS, System Coupling Scheme)을 통해 다른 모델의 입력/출력과 연결된다. 이러한 구조는 이미 구성되어 있는 체계 모델들을 인터페이스를 통한 정보교환만을 명시하는 것으로 사용하는 연동개념에 기반을 두고 있다.

다음은 제안하는 복합체계 모델 M_{sos} 의 형식론이다(Kim, 2013).

- ◆ $M_{sos} = \langle \{M_i\}, SCS \rangle$
 - ❖ M_i : Component System Model
 - $M_i \in \{ CS Model, DES Model, Hybrid Model \}$
 - Modeled by M&S Tools for Specific Domain
Eg: DEVSim++, MATLAB, OPNET etc.
 - ❖ SCS : System Coupling Schemes
 - $SCS \subseteq \cup M_i.Y \times \cup M_i.X$
 - $M_i.X$: Set of Inputs of M_i
 - $M_i.Y$: Set of Outputs of M_i
 - Information Exchange between component system models

복합체계 모델 M_{sos} 는 다수의 컴포넌트 모델 M_i 와 그들 간의 정보교환을 명세하는 SCS 정보로 연결되어 있다. 컴포넌트 모델은 다양한 모델들이 포함될 수 있는데, 연속 시간 체계 (Continuous Time System) 모델, 이산 사건 체계 (Discrete Event System) 모델 등이 가능하며 이들을 조합한 하이브리드 (Hybrid) 체계 모델 또한 가능하다. 특히, 국방 체계의 교전급 이상 모델은 주로 이산 사건 체계 모델로, 공학급 모델은 주로 연속 시간 체계 모델로 모델링되기 때문에 국방 복합체계 모델의 컴포넌트 모델들은 다양한 형태로 구성된다.

4.2 복합체계 모델 시뮬레이션 : DEVS BUS 이론

사용자에 의해 설계된 복합체계 모델은 연동 시뮬레이션을 통해 실행되어야 한다. 시뮬레이션은 데이터 관리와 시간 관리가 필요한데, 연동 시뮬레이션은 각 컴포넌트 모델 내부의 시간 및 데이터에 대해서는 관심을 가지지 않으며 오직 상위에서 이들 간의 데이터와 시간을 조율하는 역할을 한다. 이러한 연동 시뮬레이션을 위해 제안된 것이 DEVS BUS 이론이다 (Kim *et al.*, 2003). DEVS BUS는 각기 다른 모델의 연동에 하드웨어 BUS의 개념을 도입한 것으로 서로 다른 시뮬레이터를 연동하기 위해 가상의 BUS를 설정하며 다음 <Figure 6>과 같다.

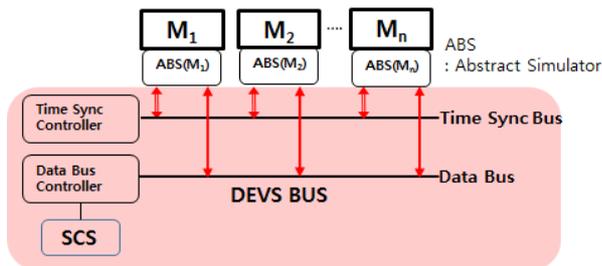


Figure 6. Concept of DEVS BUS

DEVS BUS는 크게 시간 동기화 버스와 데이터 동기화 버스로 이루어지며 각 버스는 컨트롤러에 의해서 제어된다. 각각의 버스는 부체계의 모델을 실행하는 추상화된 시뮬레이터 (Abstract Simulator)에 연결되며 각 모델에 대한 시뮬레이터는 외부로 공개된 프로토콜을 통해 $(*, t)$, $(done, t_N)$, (x, t) , (y, t) 메시지를 DEVS BUS와 주고받으며 이를 통해 시간 동기화 및 데이터 전달이 이루어진다.

각 메시지는 DEVS 시뮬레이션 프로토콜 (Zeigler *et al.*, 2000)에 기반하고 있다. $(*, t)$, $(done, t_N)$ 메시지는 시간 동기화를 위한 시뮬레이션 메시지로서, $(*, t)$ 메시지는 시간 진행의 허락을 의미하며 t 는 시간까지 안전하게 모델이 실행될 수 있음을 의미한다. $(done, t_N)$ 메시지는 모델의 다음 실행 시간 t_N 을 공지함으로써 다른 모델들과 더불어 시간 관리가 이루어질 수 있도록 한다. (x, t) 와 (y, t) 는 시각 t 에 발생하는 데이터 교환에 대한 메시지로서, (y, t) 메시지는 각 모델이 출력해 내는 데이터이며 (x, t) 는 각 모델이 입력을 받는 데이터이다. 즉, 어떤 모델

에서 출력된 (y, t) 는 다른 모델에 입력되는 (x, t) 로 변환되어 연결된 모델에 입력된다. 이때 데이터 교환에 대한 정보는 복합체계 모델에 기술한 SCS를 참고하여 이루어진다. 복합체계 모델에서 기술한대로 SCS는 모델과 모델의 입출력을 쌍으로 묶은 것이다. 한 모델의 실행결과로서 발생한 출력은 SCS에 기술되어 있는 대로 다른 모델에 입력으로 전달된다.

이러한 프로토콜과 데이터를 이용하여 각 컴포넌트 모델을 실행하는 컨트롤러의 알고리즘은 다음과 같다. 각각 시간 동기화 버스 컨트롤러와 데이터 버스 컨트롤러가 각각의 모델의 메시지를 컨트롤한다. 시간 동기화 컨트롤러가 하는 일은 간단하게 각 컴포넌트 모델의 시간 요청 ($done, t_N$)을 받아서 최소 시간을 결정하는 것이다. 시간 요청의 의미는 그 시간까지는 아무런 이벤트가 발생하지 않는다는 뜻이기 때문에 최소 시간까지 진행하면 시뮬레이션의 인과관계 (Causality)를 위반하지 않는다. 데이터 버스 컨트롤러는 각 모델로부터 들어온 (y, t) 메시지를 받아 SCS 정보를 참고하여 데이터를 전달해야 하는 모델을 찾고 출력 메시지를 입력 메시지로 변환하여 전달한다. 각 모델들의 시뮬레이션 알고리즘은 이러한 메시지에 대한 프로토콜을 가지고 있어야 하며 $(*, t)$ 메시지를 통해 시간 진행 허락을 받고, (x, t) 메시지를 통해 데이터를 전달 받는다. 이러한 내용은 다음의 알고리즘에 기술되어 있으며 각각 시간 동기화 버스 컨트롤러 (TimeSyncController)와 데이터 버스 컨트롤러 (DataBusController)의 행동을 나타낸다.

TimeSyncController Algorithm

Variable :

T : current time

m : set of models with request times

When receive $(done, t_N)$

store t_N to related element of m

check if all $(done, t_N)$ s have been received

if not, end

select models with the smallest request time, t'

send $(*, t')$ to the models

$T := t'$

End

DataBusController Algorithm

Variables :

SCS : System Coupling Scheme

When receive (y, t)

find destinations from SCS

translate (y, t) to (x, t)

send (x, t) to destination models

End

5. 복합체계 연동 프레임워크 구현

제 4장에서 다룬 복합체계 M&S 프레임워크를 통해 기술된 복합체계 모델은 실제 시뮬레이터들과 연동 체계를 통해 구현/실행된다. 일반적으로 이미 개발되어 있는 시뮬레이터들은 서로 다른 모델 표현 및 명세 방법을 가지며 물리적으로 분산되어 있을 수 있다. 이러한 분산된 시뮬레이터들 사이의 연동은 연동 미들웨어를 통해 이루어지는데, 본 논문에서는 서로 다른 언어로 개발되어 있는 부체계 시뮬레이터 연동에 적합한 (Buss *et al.*, 1998) 표준 미들웨어인 HLA/RTI(IEEE 2000)를 사용한다. HLA(High Level Architecture)는 서로 다른 종류의 시뮬레이터들의 연동을 지원하기 위하여 정의된 분산 시뮬레이션 표준으로서 2000년에 IEEE 1516 표준으로 채택되었으며 2010년에 개정된 HLA-evolved 버전이 IEEE 1516-2000 표준으로 채택되었다. HLA는 분산된 환경에서 수행되는 개별 시뮬레이터를 페더레이트(Federate)라 정의하고 이들의 집합을 페더레이션(Federation)이라 한다. 그리고 이러한 표준 규약이 실제 소프트웨어로 구현된 것이 RTI(Run Time Infrastructure)이다.

5.1 복합체계 시뮬레이션을 위한 DEVS BUS 이론의 RTI 구현

제 4.2절의 DEVS BUS를 통한 연동 이론은 RTI 서비스를 통해 구현된다. RTI를 통하여 연동에 참여하는 페더레이트는 RTI 서비스가 제공하는 API를 통해 외부와의 정보 교환에 대한 내용을 기술해야한다. HLA 프레임워크가 제공하는 RTI 인터페이스는 공개된 총 103개의 서비스 함수 API와 페더레이트의 39개의 콜백(Callback) 함수로 이루어진다. 따라서 연동에 참여할 시뮬레이터는 39개의 콜백 함수를 구현하여 RTI가 자신을 호출할 수 있도록 해야 한다. 이러한 페더레이트를 HLA 규격을 만족하는 시뮬레이터라 하며 HLA-Compliant 시뮬레이터라고 부른다.

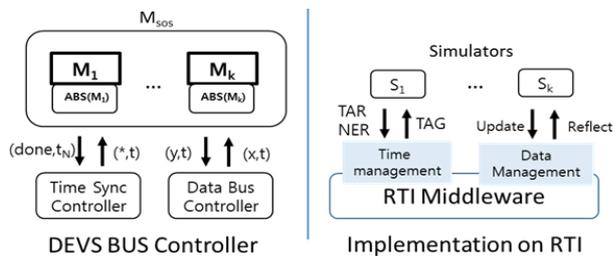


Figure 7. Mapping from DEVS BUS controller to implementation

이러한 독립적인 페더레이트들은 DEVS BUS 이론을 사용하여 연동될 수 있다. 제 4.2절에서 설명한 DEVS BUS 알고리즘들은 RTI 서비스 및 콜백 함수로 구현할 수 있으며 필요한 RTI 서비스로는 데이터 관리와 시간 관리 서비스가 있다. <Figure 7>과 <Table 1>은 RTI와 DEVS BUS의 연관성 및 인터페이스 함수의 연결을 나타내고 있다.

Table 1. Mapping table from DEVS BUS protocol and RTI API

DEVS BUS	RTI
Data Bus	Data Management Service
$(y, t) \rightarrow (x, t)$	Object : updateAttributeValue() → reflectAttributeValue() Interaction : sendInteraction() → receiveInteraction()
Time Sync Bus	Time Management Service
$(*, t)$	timeAdvanceGrant()
$(done, tN)$	timeAdvanceRequest() or nextEventRequest()

5.1.1 데이터 버스(DEVS BUS) → 데이터 관리 서비스(RTI API)

DEVS BUS의 데이터 버스는 RTI의 데이터 관리(Data Management, DM) 서비스로 구현된다. RTI의 DM 서비스는 Publish/Subscribe(P/S) 방식의 데이터 공유 방식을 가진다. P/S 방식의 데이터 전달은 비동기 전송 방식으로 페더레이트와 페더레이트 사이에 공유 데이터를 두고 한 페더레이트가 데이터를 업데이트(Update)하면 RTI를 거쳐 이 데이터를 구독하는 다른 페더레이트들이 데이터를 반영(Reflect)하는 형태의 데이터 전송 방식이다. 데이터를 구독하는 페더레이트들은 데이터 생산자가 누군지 알지 못한채로 FOM(Federate Object Model)에 정의된 데이터를 구독한다. 이러한 구조는 데이터 생산자와 데이터 사용자를 시간적/공간적으로 격리시켜 의존성을 줄여 연동성과 재사용성 등을 높인다. 일반적으로 공유되는 데이터는 오브젝트(Object)라 하며 Update/Reflect로 이루어지는 공유 과정을 거친다. 반면에 페더레이트 간의 간단한 명령을 내리는 것과 같이 공유되어야 하는 데이터가 시간이 지나도 유지할 필요가 없는 휘발성 정보인 경우에는 Send/Receive로 이루어지는 인터액션(Interaction) 형태의 데이터를 전달한다.

모델의 입출력간의 관계를 기술한 SCS는 RTI에서 FOM 파일과 각 페더레이트의 P/S API 호출로서 구현된다. 페더레이트가 발생시키는 (y, t) 메시지는 Update/Send를 통해 RTI에 전달되며 이는 각 페더레이트가 구현해 놓은 Reflect/Receive 콜백 함수를 통해 해당 페더레이트에 입력 (x, t) 로서 전달된다. FOM 파일에는 각 오브젝트와 인터액션에 대한 정보가 담겨 있어서 어떠한 오브젝트와 인터액션이 공유되는지를 나타낸다. 하나의 페더레이션은 페더레이트 간의 공유 데이터 정보를 위해 하나의 FOM 파일을 공유하며 이 파일이 가진 정보에 대해 각 페더레이트가 P/S API들을 호출하는 것으로 데이터 공유가 일어날 수 있게 된다.

5.1.2 시간 동기화 버스(DEVS BUS) → 시간 관리 서비스(RTI API)

DEVS BUS의 시간 동기화 버스는 RTI의 시간 관리(Time Management, TM) 서비스로 구현된다. RTI의 시간 관리는 각

페더레이트가 다음 시간 진행을 요청하고(NextEventRequest (NER), TimeAdvanceRequest(TAR)) 그것을 RTI로부터 허락받는다(TimeAdvanceGrant, TAG) 구조로 이루어진다. 이것은 DEVS BUS의 다음 실행 시간을 알리는 (done, t_N) 메시지와 실행 허락을 받는 (*, t) 메시지에 대응될 수 있다. 따라서 각 페더레이트는 시간 진행을 하기에 앞서 다음 시간 진행 시간을 요청하고 이에 따른 결과를 받을 때까지 대기하고 RTI는 모든 시간 요청에 대하여 논리적 시간의 인과관계(Causality)를 유지하는 최소 시간까지 시간 진행을 허락하면서 시뮬레이션을 진행한다.

페더레이트에게 전달되는 Data의 관점에서 본다면 NER 요청은 데이터가 전달될 일이 발생했을 때 무조건 처리를 요청받는 형태로 일반적인 이벤트 시뮬레이션의 인터럽트 방식과 비슷한 구조이다. 반면 TAR은 시간 진행이 허락된 시간까지의 데이터를 모두 전달받는 Pooling 방식이다. 각 페더레이트가 t_N 이라는 시간까지의 진행을 요청했다는 뜻은, 현재 시간부터 t_N 까지는 페더레이트 실행이 일어나지 않는다는 뜻인데, 그 사이에 전달되는 데이터들에 대해서는 t_N 시간까지의 진행이 허락을 받을 때까지 처리되지 않는다. 페더레이트를 구현하는 M&S 전문가가는 이러한 차이를 잘 구분하여 시간 동기화 요청 API를 호출해야한다.

5.3 RTI를 통한 복합체계 모델 개발 방법론

본 논문이 제안하는 복합체계 모델 개발 방법론은 목표 체계를 모델링하기 위해 협동 모델링 방법론(Sung, 2011)을 적용하여 국방전문가, M&S 전문가, 플랫폼 전문가의 협조 체제 구축을 통해 각 분야 전문가들의 협조체계 아래서 목표 체계를 모델링하고 연동체계를 구현할 수 있도록 한다.

모델링 및 시뮬레이션 과정은 체계에 대한 지식을 바탕으로 추상적인 행위들을 모델링하여 모델을 설계하고 이러한 모델을 실행하여 원하는 결과를 분석하는 과정들로 이루어진다. 이러한 과정에서 해당 체계의 도메인의 지식 없이는 제대로 체계를 추상화할 수 없기 때문에 해당 도메인의 전문가가 참여해야하며, 적합한 모델 설계와 시뮬레이션 이론 제공을 위하여 M&S 공학 전문가가 필요하다. 또한 컴퓨터 프로그램, 네트워크, 데이터베이스 등을 통해 시뮬레이터가 구현되어 실행되기 때문에 플랫폼 전문가가 참여해야한다. 특히 국방 M&S에서는 도메인 지식이 제한적으로 공개되어 있어 M&S 공학 전문가, 플랫폼 전문가들만으로 국방 시뮬레이터가 제대로 개발되고 사용되기가 현실적으로 불가능하다. 또한 군사학을 공부한 국방 지식을 가진 교관이 모델을 구현하여 시뮬레이터를 제작한다는 것도 쉽지 않은 일이다.

<Figure 8>은 이러한 각각의 엔지니어가 어떤 전문성을 가지며 어떤 상호작용을 하는지에 대한 그림이다. 각 엔지니어는 서로 협업을 할 수 있는 분야가 조금씩 다르며 서로간의 상호작용을 통해 M&S 프로세스의 각 부분을 담당할 수 있다. 협동 모델링 방법론은 설계에서부터 국방 시뮬레이터를 완성하기

까지 M&S 절차에 이러한 전문가들의 협력을 이끌어내기 위한 방법론을 제공한다(Sung et al., 2012). 마찬가지로 협동 모델링 방법론은 복합체계 개발에도 적용될 수 있다. 이미 개발된 부체계 시뮬레이터들 간의 연동으로 이루어지는 복합체계에서도 국방 전문가, M&S 전문가, 플랫폼 전문가의 협동 복합체계 모델링이 필요한데, 다음 <Figure 9>와 같다.

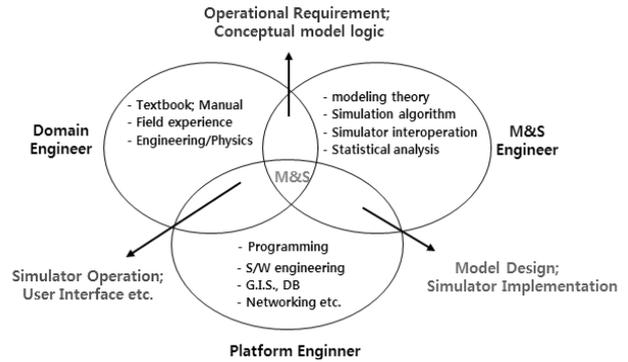


Figure 8. Expert cooperation for M&S(Sung et al., 2012)

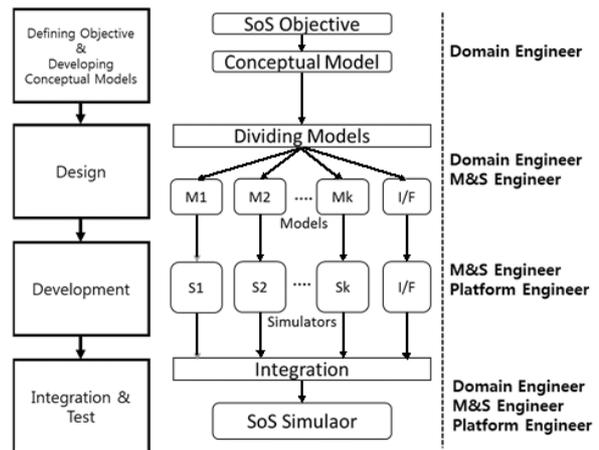


Figure 9. Cooperative process for SoS development

<Figure 9>에서 복합체계 개발은 목적 정의 및 개념분석, 복합체계 설계, 복합체계 개발, 복합체계 통합 및 테스트 순으로 이루어진다. 복합체계 설계에 해당하는 목적 정의 및 개념분석은 주로 도메인 전문가, 즉 국방 전문가에 의해서 이루어지며 개발할 시뮬레이터의 목적, 요구사항 등이 정리된다. 특히, 국방 모의 수준에 따른 모델 수준 분류 등에 따라 어떤 종류의 모델이 필요한지 식별해야하며 그들 간에 공유되어야 하는 정보에 대해 명시해야한다. 이어서 복합체계 설계 단계에서는 국방 전문가와 M&S 전문가가 함께 어떤 부체계 모델이 필요한지 식별한다. 특히, 국방 전문가에 의해서 만들어진 공유 정보에 대해서 인터페이스 모델이 설계되어야 하는데 이것은 M&S 전문가에 의해서 이뤄진다. 설계된 모델은 M&S 전문가와 소프트웨어 전문가에 의해 실제 시뮬레이터로 구현되며 통합과정을 거쳐 최종 구현물이 발생한다. 최종적으로 구현된

복합체계 시뮬레이터는 각 분야 전문가들의 테스트를 거쳐 데이터 분석 및 평가에 사용된다.

이러한 복합체계 모델 개발 방법론은 좀더 세부적으로 나누어서 Top-down 접근법과 Bottom-up 접근법으로 정리할 수 있다. Top-down 접근법은 시뮬레이터 개발 과정에서 연동을 고려하여 개발을 진행하는 것이며, Bottom-up 접근법은 기존 시뮬레이터들의 연동을 위한 접근으로서 재사용성의 초점을 맞춘 것이다.

Top-down 방식은 M&S 목적으로부터 새로운 체계를 개발할 때 사용하는 방법으로 페더레이션을 구성할 복합체계 모델(M_{SOS})을 개발한 후에 이에 맞게 각 시뮬레이터와 인터페이스를 설계한다. 상세한 시뮬레이터 설계의 결과로서는 시뮬레이션 모델이 생성되며 이러한 모델은 각각의 시뮬레이터로 구현된다. RTI에서의 인터페이스 설계의 결과물은 FOM 파일에 해당하며 시뮬레이터와 인터페이스 결과물은 복합체계 통합 과정을 통해 복합체계를 이룬다.

Bottom-up 방식은 이와 반대로 기존의 시뮬레이터를 재사용하는 것에 초점을 맞춘다. M&S 목적으로부터 필요한 시뮬레이터를 식별하고 그들의 재사용성을 조사한다. 외부 인터페이스를 제공하지 않거나 RTI API들을 사용하여 연동하는 것이 불가능하면 연동 시뮬레이션에 참여할 수가 없다. 식별된 재사용 시뮬레이터들은 연동에 맞게 수정되어야하며 인터페이스 규격에 따라 인터페이스 결과물이 생성된다. 이러한 인터페이스와 수정된 시뮬레이터들은 복합체계를 이루도록 통합되어 연동 시뮬레이션이 가능한 형태가 된다.

이러한 Bottom-up 접근법은 기존 시뮬레이터들을 연동하고 그 사이의 인터페이스를 설계하기 때문에 시뮬레이터 재사용으로 인하여 개발 비용이 감소한다. 그러나 기존 시뮬레이터에 대한 잦은 수정으로 인해 안정성이 떨어지고 비용이 증가하는 부담이 생긴다. 반면 Top-down 접근법은 처음 개발 당시부터 연동을 고려하기 때문에 연동이 용이하다는 장점이 있으나 새로운 모델을 개발하는 것에 따른 비용이 증대 된다.

6. 사례 연구

국방 시뮬레이터는 시뮬레이션 목적에 따라 훈련용, 분석용, 획득용, 그리고 전투실험용으로 분류된다. 훈련용 시뮬레이터는 지휘관 및 참모의 훈련 목적으로 사용될 수 있고, 분석용 시뮬레이터는 전력구조 분석, 전술 평가 및 대안 분석에 사용될 수 있다. 획득용 시뮬레이터는 체계 설계 검증 및 시험평가에 사용될 수 있고, 마지막으로 전투 실험은 미래 전투발전요소(DOTMLPF)의 제안 및 검증에 사용될 수 있다(Kim, 2012).

<Table 2>는 KAIST SMS연구실에서 개발된 다양한 복합체계 M&S 사례이다. 훈련용 M&S 연동체계 사례의 경우, 이산 사건 체계 명세(DEVS) 실행 도구인 DEVSim++(Kim *et al.*, 2011)를 이용하여 개발한 청해, 창공, 천자봉 모델과 미군의 CBS,

Table 2. Case studies of defense SoS M&S

	Training	Analysis	Acquisition	Battle Experiment
Purpose of Federation	US-ROK combined wargame exercises	Analysis of effectiveness of mobile decoys	Verification of ROC for communication system to support a given mission	Development of doctrine for chemical warfare exercise
Abstraction Level of Simulation Interoperation	Mission Level + Mission Level	Engagement Level + Engineering Level	Mission level + Engineering level	Engagement level + Engineering level
M&S tools / Interoperation Environment	DEVSim++ (Mission) ↕ RTI DEVSim++ (Mission)	DEVSim++ (Engagement) ↕ RTI MATLAB (Engineering)	DEVSim++ (Mission) ↕ RTI OPNET (Engineering)	UNITY 3D (Game) ↕ RTI Ad Hoc Sim (Engineering)
Reference	Kim <i>et al.</i> , 2011	Sung <i>et al.</i> , 2011	Kim, Kim and Sung, 2012	Kim, 2013

RESA 모델 등을 한미 연합훈련에 연동한 사례가 이에 해당한다. 분석용 M&S 연동 체계 사례의 경우, 교전급과 공학급 연동을 통한 수상함 방어체계가 대표적인 사례이다. 연속 체계의 모델 및 알고리즘 표현을 위해, MATLAB/Simulink를 사용하여 모델을 개발한 후, 이를 DEVSim++으로 개발된 교전 분석 모델과 연동한 사례이다. 획득용 M&S 연동체계 사례의 경우, 임무급과 공학급 연동을 통한 통신효과를 반영한 전투효과도 측정이 이에 해당한다. 위 게임의 통신효과를 표현하는 과정에 있어서 통신모델은 통신에 특화된 OPNET을 사용하였다. 마지막으로 전투 실험 M&S 연동체계 사례의 경우, UNITY 3D게임엔진으로 개발된 교전급 시뮬레이터와 화학적 구름을 세포 오토마타 모델로 구현한 공학급 시뮬레이터를 연동한 사례이다(Kim, 2013). 각 연동 사례의 복합체계를 구성하는 부체계 시뮬레이터들은 모두 독립적으로 실행가능한 시뮬레이터들이다. 각 시뮬레이터들을 새로운 요구사항에 맞게 인터페이스(FOM)를 설계하고 RTI를 통해 연동하였다. 이를 통해 더욱 정밀한 결과를 내거나 상호운용 분석을 하거나 지리적으로 멀리 떨어진 시뮬레이터들의 연동 시뮬레이션을 이루는 등의 성과를 얻을 수 있었다.

제 6.1절에서는 이러한 사례들 중 통신효과를 반영하기 위해 통신 시뮬레이터와 위게임 시뮬레이터를 연동한 획득용 복합체계 시뮬레이터에 대해서 자세히 다룸으로써, 국방체계의 요구사항으로 제시한 연동체계와 상호 분석이 어떻게 이루어지는 보인다.

6.1 사례 연구 : 위게임모델과 통신모델의 연동을 통한 복합체계 연동 시뮬레이터 구현

실제의 전장 환경은 <Figure 10>(a)에서와 같이 부대원들이 통신효과를 가지는 무전기를 통해 교전 상황을 통신하며 전투를 수행하기 때문에 통신효과에 대한 체계와 전투에 대한 체계로 이루어진 복합체계로 분류할 수 있다. 이러한 복합체계인 전장 환경을 모델링 하는 경우에 있어서, 기동, 탐지, 교전과 같은 전투 논리적 측면과 무전기와 같은 전장 기능적 측면으로 나누어 생각해 볼 수 있고, 각각은 도메인에 특화된 M&S

도구인 DEVSIM++와 OPNET를 사용하여 개발한다.

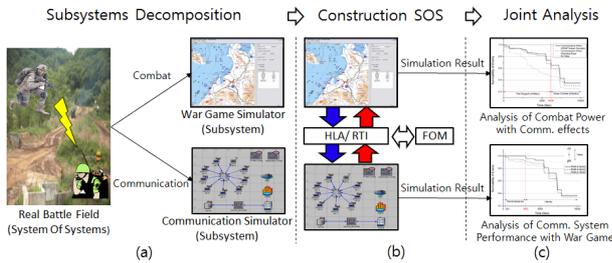


Figure 10. SoS M&S for wargame simulator and communication simulator

실제 전장 환경은 각 독립된 시뮬레이터(부 체계)가 동일한 전장 환경을 반영하고 있기 때문에, 이를 묘사하기 위해서는 각 부체계들의 시뮬레이터들을 HLA/RTI가 제공하는 연동 환경을 통해 <Figure 10>(b)와 같이 하나의 복합체계 연동 시뮬레이션 환경으로 구성한다. 이와 같은 연동 시뮬레이션을 통해 <Figure 10>(c)와 같이 위 게임 시뮬레이터를 중심으로는 통신 효과를 반영한 전투력을 측정할 수 있고, 통신 시뮬레이터를 중심으로는 작전 시나리오 하에서의 통신 장비의 성능을 측정할 수 있다.

6.1.1 복합체계 모델링 및 구현

사례 연구의 목적은 포병대대의 후방지원을 받는 보병연대의 방어작전의 효과도를 분석하는 것으로 복합체계 모델은 위 게임 시뮬레이터와 통신 시뮬레이터로 구성된다. 위 게임 시뮬레이터는 포병 대대가 후방에서 지원하는 보병연대급 규모의 모델로 설계된다. 1개의 보병 연대는 보병대대에서 보병 소대에 이르기까지 계층적인 구조로 구성되며 화력지원은 박격포 및 포대에 의해 이뤄진다. 각 모델은 DEVS 형식론을 사용하여 모델로 표현되고, 탐지, 기동, 지휘통제, 전투, 화력지원 5개의 원자 모델 중 일부를 하위모델로 갖는 결합모델로 표현된다. DEVS 형식론으로 표현된 모델은 DEVS 모델 실행 환경인 DEVSIM++ 도구를 사용하여 시뮬레이터를 구성한다.

통신 시뮬레이터의 경우 위와 동일한 연대급 규모로 구성되며, 실제 군에서 사용 중인 공학급 수준의 음성 FM 무전기 및 통신망으로 설계된다. 무전기 및 통신 프로토콜까지의 계층적인 표현을 위해, 통신 분야에서 가장 많이 사용되고, 객체 지향적 모델링이 가능한 OPNET을 사용하여 시뮬레이터를 구성한다. 이러한 구성을 복합체계 모델 형식론으로 나타내면 <Figure 11>과 같다.

M_{sos} 는 위게임 시뮬레이터 M_{war} 와 통신 시뮬레이터 M_{com} 로 구성되어 있다. 실제 전장 환경에서와 같이 위게임 시뮬레이터와 통신 시뮬레이터는 동일한 환경에 존재하여야 한다. 예를 들어, 위 게임 시뮬레이터의 부대가 이동하는 경우 부대에서 소유하고 있는 통신장비도 이동할 것이고, 이와 같은 위치 변화를 통신 장비를 표현하고 있는 통신 시뮬레이터에도 반영

해 주어야 한다. 따라서 M_{war} 은 출력으로서 위치(Pos)와 통신장비 성능(Par)을 내보내어 업데이트한다. 이 정보는 M_{com} 에 전달되어 반영된다. 위게임 모델에서 음성이나 데이터가 발생하면 통신효과를 반영하기 위해서 통신 모델을 거쳐서 다시 위게임 모델로 돌아오게 되는데, 이때 Voice Send/Receive, Data Send/Receive를 통해서 데이터가 전달된다.

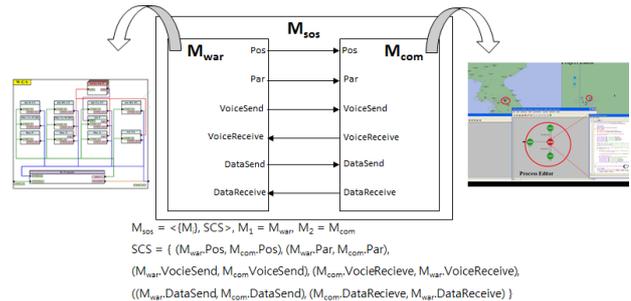


Figure 11. Designed SoS model

위와 같이 모델링된 복합체계 모델은 <Figure 10>(b)처럼 연동체계를 통해 구현된다. 이를 위해, 각 개발된 시뮬레이터를 미들웨어인 HLA/RTI를 사용하여 연동하였고, 전체 연동 환경 및 연동 시 필요한 FOM을 SCS 정보를 기초로 하여 개발하였다. SCS 정보에 따라 필요한 클래스들을 선언하였으며 이것을 FOM에 기술함으로써 시뮬레이터들이 필요한 정보를 공유할 수 있도록 하였다. FOM 설계 및 각 시뮬레이터 구현에 대한 자세한 내용은 (Kim, Kim and Sung, 2012)에 상세하게 기술되어 있으며 방법론을 제안하는 본 논문에서는 생략하였다.

6.1.2 복합체계의 상호 분석 결과(Kim, Kim and Sung, 2012)

연대 방어 작전의 개념을 단순하게 기술하면 아래와 같다. 적군은 아군 부대 격멸을 위해 공격 작전을 실시하고, 아군은 이를 방어하기 위해 적의 전투력을 최대한 감소시킨다. 공격 시작 시, 적지 중심에서 수색 소대가 탐지정보를 연대 지휘소에 보고하고, 연대지휘소는 포병대대의 포대를 통해 적을 공격한다. 수색 소대를 통과하여 진출한 경우, 보병 부대가 이를 탐지하여 직접 포병대대에게 화력요청을 하거나 직접 박격포를 사용하여 공격한다. 마지막으로 방어진지까지 진출 시, 소총을 이용한 근접전투를 수행한다.

국방 M&S의 목적은 모의실험을 통해 지휘관으로 하여금 최적의 의사 결정을 할 수 있도록 도와주는 것이다. <Figure 12>와 같이 지휘관은 위와 같은 작전개념에서 두 가지 관심사를 가지게 되는데, 전투논리적인 측면에서 볼 때의 주어진 장비 및 체계를 사용했을 때의 작전 성공률과 전장기능적인 측면에서 볼 때의 어떤 작전 성공률을 달성하기 위한 장비 및 체계의 최소 성능이다. 따라서 각각에 대한 실험을 진행하여 실험 1은 전투논리적인 측면에서 주어진 파라미터에 대한 전투 효과도를 측정하며, 실험 2는 전장 기능적인 측면에서 무전기 장비의 필요 성능을 구한다.

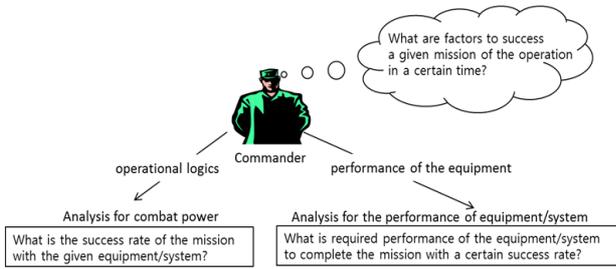


Figure 12. Experimental Objective(Kim, 2013)

실험 1의 목적은 통신효과를 반영한 전투 효과도를 측정하는 것으로 실험 결과는 아래의 <Figure 13>(a)와 같다. 통신효과가 고려되지 않은 경우, 통신 지연을 표현하지 않기 때문에 적을 공격하기 용이하여 적의 생존율이 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 통신효과가 반영되는 경우에 대해서는 적의 생존율이 비슷한 경향으로 감소하는 것을 볼 수 있고, 이를 통해 통신 시뮬레이터가 실제 통신 장비를 사실성 있게 묘사하고 있음을 확인 할 수 있다. 특히, 포병 화력 운용 과정에서 통신 사용이 많기 때문에 근접전투 시작 전인 6000초까지 적 생존율에서 많은 차이를 보이고 이러한 데이터를 통해 주어진 통신 파라미터에 따른 전투력을 구할 수 있게 된다.

실험 2의 목적은 전투 효과도를 만족하는 무전기의 최소 송신 출력을 측정하는 것으로, 0.04W, 0.08W, 0.16W 총 3가지 경우에 대해 실험을 수행한다. 실험 결과는 아래의 <Figure 13>(b)와 같다. 0.04W 경우는 3000초 이상, 0.08W과 0.16W의 경우는 300초 이상에서 적 생존율이 감소한다. 이는 0.04W의 경우 무전기의 통달거리가 수색 소대와 연대 지휘소의 거리인 7.8Km 보다 짧아, 통신이 불가능하기 때문이다. 0.08W 이상인 경우 통달거리가 증대되어, 통신을 통한 화력지원 요청이 가능하여 원거리 공격이 가능하기 때문이다. 이를 통해 무전기의 송신 출력

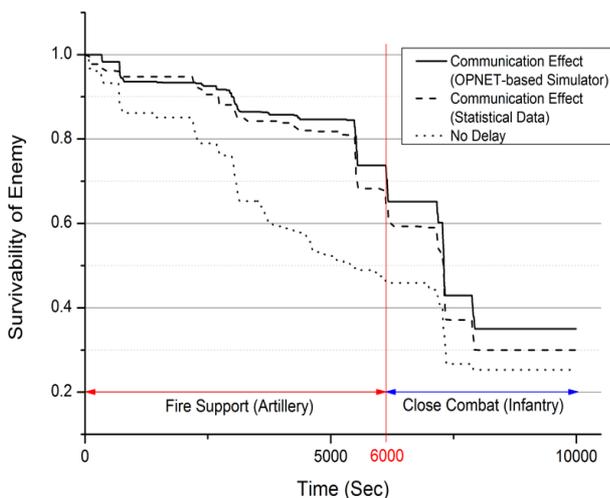
이 최소 0.08W 이상을 만족해야 한다는 것을 확인 할 수 있다. 위의 두 실험에서와 같이, 전투 논리적 측면과 전장 기능적 측면 모두를 연동을 통해 측정할 수 있다. 이와 같은 복합체계의 상호 분석을 통해, 전투 논리 측면에서는 임무 및 교리 개발에 사용될 수 있고, 전장 기능적 측면에서는 특정한 임무 달성을 위해 필요한 무기 체계의 성능을 측정할 수 있다.

7. 결론

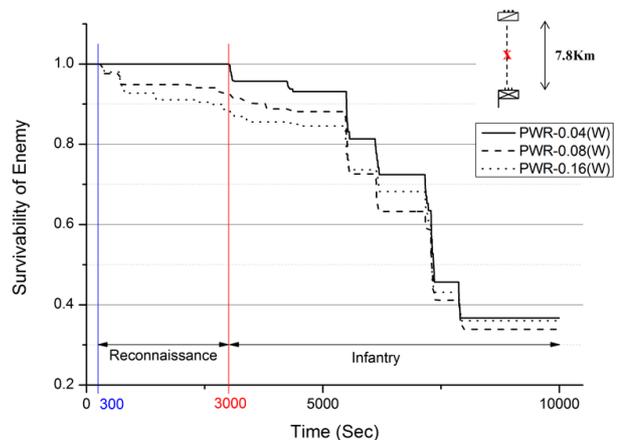
지금까지 국방체계를 위한 복합체계 M&S를 위한 방법론을 제안하고 이에 대한 실제 구현 예시를 보였다. 복합체계로서의 국방체계 M&S의 중요한 요구사항은 크게 재사용을 위한 연동과 상호 분석이다. 국방체계 M&S는 연동을 이용한 복합체계로 구성됨을 통해서 기존에 개발되어 있는 국방 모델들을 재사용할 수 있으며 유지성을 높일 수 있다. 특히, 서로 다른 종류의 체계를 모사한 경우에 연동체계를 통해 새로운 요구사항을 만족시킬 수 있다. 또한 상호 분석을 통해 국방체계의 다양한 측면을 고려함으로써 국방체계 혁신을 위한 효과적인 해결책을 얻을 수 있도록 한다.

제안하는 복합체계 M&S 프레임워크는 모델 개발을 위한 형식론과 DEVS BUS를 통한 연동 이론을 제공하며 이러한 과정이 다양한 전문가들이 함께 참여하여 이루어지도록 한다. DEVS BUS 연동 이론은 다양한 미들웨어를 통해 구현될 수 있으나 서로 다른 체계 시뮬레이터들 간의 연동에 적합한 표준 미들웨어인 HLA/RTI를 사용함으로써 연동 체계의 재사용성, 결합성, 유지성 등을 더욱 높일 수 있다.

제안된 복합체계 기반 국방체계 M&S 방법론은 LVC 연동 체계 구축에도 적용될 수 있으며 구축된 연동체계는 훈련, 분석, 획득 및 전투실험 등에 다양하게 활용될 수 있다.



(a) Experiment 1 : Enemy Survivability according to different communication effects



(b) Experiment 2 : Enemy Survivability according to radio powers

Figure 13. Experimental results(Kim, Kim, and Sung, 2012)

참고문헌

- Al-Zoubi, K. and Wainer, G. (2009), Performing distributed simulation with restful web-services, *In Proc. Conf. Winter Simulation(WSC)*, 1323-1334.
- Bae, J.-W., Kang, B.-G., Kim, B.-S., Sung, C.-H., Kim, T.-G., Ahn, M.-K., and Lee, S.-I. (2012), Methodology of Analyzing the Measure of Combat Effectiveness Reflecting Communication Effects in Network Centric Warfare, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 21(3), 57-69.
- Ben-Natan, R. (1995), *Corba: A Guide to Common Object Request Broker Architecture*, McGraw-Hill, NJ, USA.
- Buss, A. and Jackson, L. (1998), Distributed Simulation Modeling : A Comparison of HLA, CORBA, and RMI, *In Proc. 30th Conf. on Winter Simulation*, 819-826.
- Eisner, H., Marciniak, J., McMillan, R. (1991), Computer-aided system of systems (S2) engineering, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Decision Aiding for Complex Systems, Conference Proceedings*, 531-537.
- Davis, P. K. (1995), Distributed interactive simulation in the evolution of DoD warfare modeling and simulation, *In Proc. IEEE*, 83(8), 1138-1155.
- Downing, T. B. (1998), *Java RMI : Remote Method Invocation*, IDG books worldwide, Foster, USA.
- Hong, J.-H., Seo, K.-M., Seok, M.-G., and Kim, T.-G. (2011), Interoperation between Engagement-and Engineering-level Models for Effectiveness Analyses, *The Journal of Defense Modeling and Simulation : Applications, Methodology, Technology*, 8(3), 143-155.
- IEEE (2000), *IEEE standard for modeling and simulation(M&S) high level architecture(HLA)-framework and rules*, IEEE Std 1516-2000.
- IEEE (2000), *IEEE standard for modeling and simulation(M&S) high level architecture(HLA)-federate interface specification*, IEEE Std 1516.1-2000.
- IEEE (2000), *IEEE standard for modeling and simulation(M&S) high level architecture(HLA)-object model template(OMT) specification*, IEEE Std 1516.2-2000.
- Kim, J.-H., Moon, I.-C., and Kim, T.-G. (2012), New Insight into Doctrine via Simulation Interoperation of Heterogeneous Levels of Models in Battle Experimentation, *SIMULATION : Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, 88(6), 649-667.
- Kim, T.-G. and Kim, J.-H. (2005), DEVS Framework and Toolkits for Simulators Interoperation Using HLA/RTI, *In Proc. Asia Simulation Conference*, 16-21.
- Kim, T.-G. (2009), *CC543 Lecture Note*, Department of Electrical Engineering, KAIST.
- Kim, T.-G., Sung, C.-H., Hong, S.-H., Hong, J.-H., Choi, C.-B., Kim, J.-H., Seo, K.-M., and Bae, J.-W. (2011), DEVSim++ Toolset for Defense Modeling and Simulation and Interoperation, *The Journal of Defense Modeling and Simulation : Applications, Methodology, Technology*, 8(3), 129-142.
- Kim, T.-G. (2011), *IE801 Lecture Note*, Department of Electrical Engineering, KAIST.
- Kim, T.-G., Kim, D.-S., and Sung, C.-H. (2012), Joint Analysis of Combat Power and Communication System via Interoperation of War Game Simulator with Communication Network Simulator, *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 37C(10), 993-1003.
- Kim, T.-G. (2013), Simulations Interoperation Approach for Modeling and Simulation of Defense System as System of Systems, *Spring Sim 2013, TMS Symposium, Plenary Talk*.
- Kim, Y.-J., Kim, J.-H., and Kim, T.-G. (2003), Heterogeneous Simulation Framework Using DEVS Bus, *Simulation*, 79(1), 3-18.
- Maier, M. W. (1998), Architecting Principles for System of Systems, *Systems Engineering*, 1(4), 267-284.
- Mittal, S. and Risco, J. L. (2007), DEVSML : Automating DEVS Execution over SOA Towards Transparent Simulators, *In Proc. DEVS Integrative M&S Symposium*.
- Mittal, S., Risco, J. L., and Zeigler, B. P. (2009), Devs/soa : a cross-platform framework for net-centric modeling and simulation in devs unified process, *Journal of the Simulation*, 85(7), 419-450.
- No, H. and Son, T. J. (2005), NCW : Trends of developed countries and challenges of ROK, *Journal of the Korea Defense Issue and Analysis*, 1046, 5-19.
- Pollock, J. T. and Hodgson, R. (2004), *Adaptive Information*, Wiley-interscience.
- Sahin, F., Sridhar, P., Horan, B., Raghavan, V., and Jamshidi, M. (2007), System of Systems Approach to Threat Detection and Integration of Heterogeneous Independently Operable Systems, *Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, 1376-1381.
- Seo, K.-M., Song, H.-S., Kwon, S.-J., and Kim, T.-G. (2011), Measurement of Effectiveness for an Anti-torpedo Combat System Using a Discrete Event Systems Specification-based Underwater Warfare Simulator, *The Journal of Defense Modeling and Simulation : Applications, Methodology, Technology*, 8(3), 157-171.
- Sung, C.-H., Hong, J.-H., and Kim, T.-G. (2009), Interoperation of DEVS Models and Differential Equation Models using HLA/RTI : Hybrid Simulation of Engineering and Engagement Level Models, *In Proc. Spring Simulation MultiConference*.
- Sung, C.-H. and Kim, T.-G. (2011), Framework for Simulation of Hybrid Systems : Interoperation of Discrete Event and Continuous Simulators Using HLA/RTI, *In Proc. 25th ACM/IEEE/SCS Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation(PADS)*, 14-17.
- Sung, C.-H. and Kim, T.-G. (2012), Collaborative Modeling Process for Development of Domain-Specific Discrete Event Simulation Systems, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C : Applications and Reviews*, 42(4), 532-546.
- Tolk, A. (2002), Computer Generated Forces-Integration into the Operational Environment, *RTO SAS Lecture Series on 'Simulation of and for Military Decision Making'* held in The Hague.
- Zeigler, B. P., Kim, T.-G., and Praehofer, H. (2000), *Theory of Modeling and Simulation*, Academic Press.