

위게임 모델과 통신 모델의 연동을 통한 전투력 및 통신시스템 요구 성능의 상호 분석

김탁곤*, 김덕수*, 성창호^o

Joint Analysis of Combat Power and Communication System via Interoperation of War Game Simulator with Communication Network Simulator

Tag Gon Kim*, Deok Su Kim*, Changho Sung^o

요 약

본 논문은 위게임 모델과 통신 모델을 HLA/RTI를 이용하여 연동 시뮬레이션 함으로써 부대 전투력과 통신 시스템의 요구 성능을 상호 분석하는 방법을 제안한다. 전투 효과도의 분석은 통신 모델의 시뮬레이션을 통해 얻어진 통신 효과도를 반영하여 위게임 모델의 시뮬레이션을 통해 이루어진다. 통신 시스템의 요구 성능 분석은 위게임 모델의 시뮬레이션에 의해 만들어진 작전 시나리오 및 부대 정보를 이용하여 통신 모델의 시뮬레이션을 통해 이루어진다. 이를 위해 연대급 규모 방어 작전을 모델링 및 시뮬레이션 하였으며, 적군의 생존 비율과 아군의 FM 무선기 송신 출력이 상호 분석을 위한 분석 지수로 사용되었다.

Key Words : 위게임, 통신 시스템, 시뮬레이션 연동, 전투력 분석, ROC 도출

ABSTRACT

This paper presents a method for joint analysis of combat power and communication system performance via interoperation of a war game simulator and a communication network simulator using HLA/RTI. Effectiveness analysis of combat power has been performed by war game simulation with consideration of communication effects simulated by the network simulator. Performance analysis of a communication system has been performed by network simulation with computer forces generated by the war game simulator. Survivability of the red force and transmission power of a tactical FM radio for the blue force have been measured for the joint analysis.

I. 서 론

위게임 시뮬레이터는 훈련, 분석, 획득을 목적으로 국방 모델링 및 시뮬레이션에 널리 사용되고 있다. 그러나 기존의 타격 자산 중심의 전투와 달리 미래 전쟁의 형태는 네트워크 중심전(Network-centric

warfare, NCW)으로 변화하고 있다. NCW는 여러 전투 요소들을 네트워크로 연결하여 전장 상황을 공유하고 통합적이고 효율적인 전투력을 창출하고자 하는 것으로^[1] 이러한 NCW 환경에서는 정보의 유통을 위한 통신의 중요성이 그 어떤 요소보다도 중요하기 때문에 통신 효과를 반영하지 않을 경우 그

※ 본 논문은 “2012년 육군정보통신학교 및 한국통신학회 군통신연구회 공동워크숍”에서 발표된 내용을 확장, 서술한 논문입니다.

◆ 주저자 : KAIST 전기및전자공학과, tkim@ee.kaist.ac.kr, 중신회원

° 교신저자 : KAIST 정보전자연구소, chsung@smslab.kaist.ac.kr, 정회원

* 합동군사대학교

논문번호 : KICS2012-08-397, 접수일자 : 2012년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 10월 24일

정확도와 현실성이 떨어질 수 있다. 실제 전장에서 통신 효과를 위게임 시뮬레이터에 반영하는 가장 쉬운 방법은 통신 효과를 파라미터화 하는 것이다. 그 정보는 데이터베이스에 저장되어 있고, 위게임 시뮬레이션에 그 정보를 사용함으로써 통신 효과를 반영할 수 있다. 보다 더 정확하게 통신 효과를 반영할 수 있는 방법은 실제 전장 환경을 표현한 통신 모델을 사용하는 것이다. 작전 시나리오에 맞는 통신 효과도 정보가 시뮬레이션 중에 계속적으로 측정되며, 이 정보가 위게임 시뮬레이션에 반영된다. 이 방법은 통신 모델과 위게임 모델 간 정보를 교환할 수 있는 인터페이스를 필요로 한다. 이를 위해 두 가지의 방법을 고려할 수 있다. 하나는 위게임 모델 내부에 통신 모델을 삽입함으로써 필요한 정보를 직접 접근하는 방법이고, 다른 하나는 두 모델을 서로 연동하여 정보를 간접적으로 접근하는 방법이다. 이를 각각 모델 결합(Integration)과 모델 연동(Interoperation)이라 부른다²⁾.

모델 결합과 연동의 가장 큰 차이는 내부 모델들 사이의 독립성이다. 모델 연동은 모델 설계 및 시뮬레이션의 독립성을 보장하고, 이는 각 모델을 분리해서 다양하게 분석하는 것을 가능하게 한다. 위게임 모델은 통신 모델의 통신 효과도를 반영한 부대 전투력을 측정하고, 반대로 통신 모델은 위게임 모델을 통해 만들어진 실제 전장 시나리오에서의 통신 장비 및 체계의 성능을 측정한다. 이러한 연동 시뮬레이션을 통해, 각 모델은 각각의 시뮬레이션 목적을 충족시키기 위해 독립적인 방식으로 결과를 분석할 수 있으며, 이것을 '상호 분석' 기법이라 부른다.

기존의 위게임 모델과 통신 모델의 연동을 통한 분석 사례로 독일 IABA 연구소에서 개발한 DNS(Die Neue Framework Simulation)와 영국 BAE Systems에서 개발한 CES(Communication Effects Server)가 있다. DNS 모델은 독일군의 지상 전투 훈련/분석모델, 지휘통제 통신 모델과 정찰 모델을 통합한 모델 연합체계³⁾이며, CES 모델은 미군의 OneSAF(One Semi-Automated Forces) 모델과 연동되어 OneSAF 안에서 전투에 참여 하고 있는 부대 또는 무기체계 사이의 통신효과를 모의하는 모델⁴⁾이다. 두 모델은 독일군과 미군의 교리와 전장 환경을 토대로 만들어졌기 때문에 한국군에 적용하기에 어려움이 있고, 사용하더라도 파라미터 변경 수준의 통신 모의만 가능한 단점이 있다. 타국의 연합체계를 사용하면서 나타나는 단점을 극복하

기 위해, 본 논문은 국방 시스템 모델링 단계에서부터 전투 논리와 전장 환경을 모두 고려하여 설계하고, 모델 구현 및 결과를 상호 분석하는 방법을 제안한다.

위게임 모델은 연대급 규모의 임무급 수준 모델을 표현하며, HLA 기반의 이산 사건 시뮬레이션 모델 개발 도구인 DEVSimHLA를 이용하여 모델링 및 시뮬레이션한다. 통신 모델은 음성 FM 무전기를 공학급 수준 모델로 표현하며, 네트워크 시뮬레이션 도구로 널리 사용되고 있는 OPNET을 이용하여 시뮬레이션 한다. 위게임 모델의 부대 전투력 효과도는 통신 효과를 반영한 위게임 시뮬레이션의 결과로 측정하고, 통신 시스템의 성능은 위게임 모델의 부대 정보를 이용한 통신 모델의 시뮬레이션을 통해 측정한다. 상호 분석을 위한 구체적인 분석 지수로 적 부대의 감소된 전투력과 FM 무전기의 송신 출력을 사용한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. II장에서는 우선 연구 동기를 설명하고, 이를 위해 시스템 모델과 상호 분석 개념에 대해 기술한다. III장에서는 전투 효과도와 통신 성능의 상호 분석을 위한 시스템 모델링 및 시뮬레이션 환경에 대해 설명한다. 이어서 각 모델의 분석 지수를 찾기 위한 실험 및 결과를 IV장에서 제시하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 연구 동기 및 상호 분석 개념

2.1. 연구 동기 - 상호 분석의 필요성

국방 시스템을 모델링하고 시뮬레이션하는 과정을 생각해보자. 그림 1은 해병대 상륙 작전을 위게임 모델로 만들고 시뮬레이션하는 과정에서 지휘관의 고민을 보여준다. 지휘관의 주된 관심 사항은 주어진 시간에 작전을 성공적으로 수행하기 위한 요소를 파악하는 것이다. 이 요소는 시스템을 바라보는 관점에 따라 두 가지 측면으로 나누어 생각할 수 있고, 각각이 시스템의 시뮬레이션 목적이 된다. 우선, 전투 논리적 측면에서 전투력을 분석하는 것이다. 예를 들면, 주어진 통신 장비나 체계를 사용하여 다양한 작전 시나리오 하에서 상륙작전의 성공률이 얼마나 되는지를 측정하는 것이다. 다른 관점으로는 전장 기능적 측면에서 통신장비나 체계의 성능을 분석하는 것이다. 예를 들면, 상륙 작전의 성공률을 95% 보장하기 위해서 통신 장비나 체계의 요구 성능제원을 측정하는 것이다. 지휘관은 작

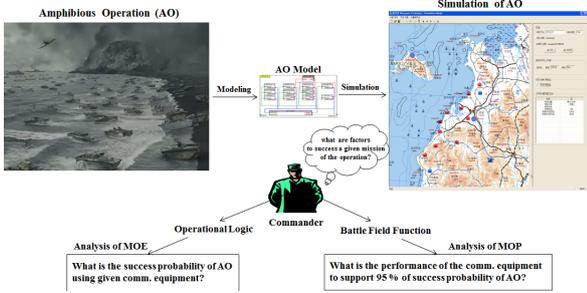
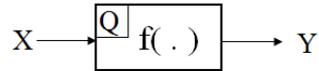


그림 1. 해병대 상륙 작전의 모델링 및 시뮬레이션
Fig. 1. Modeling and simulation of amphibious operation of the Marine Corps

전을 성공적으로 수행하기 위해 여러 측면을 고려해 시뮬레이션 목적을 결정해야 한다. 이 때 지휘관은 세 가지의 선택권이 있다. 하나는 전투 논리적 측면에서 전투 효과도인 MOE(Measurement of effectiveness)를 측정하는 것이고, 다른 하나는 전장 기능적 측면에서 장비의 성능인 MOP(Measurement of performance)를 측정하는 것이다. 마지막으로 각 요소의 균형을 고려(trade-off)하여 MOE와 MOP 모두 측정하는 것이고, 이 방법을 본 논문의 서론에서 ‘상호 분석’ 이라고 정의하였다. 다양한 전장 환경 속에서 지휘관이 의사 결정을 하기 위해 한 가지 요소만을 고려할 수 없다. 이러한 상호 분석 방법은 지휘관이 실제 다양한 전장 상황을 고려하여 최적의 의사 결정을 할 수 있도록 도와줄 것이라 판단되며, 이것이 본 논문의 연구 동기이다. 본 연구의 궁극적인 목표는 전투력 향상을 위하여 7대 전투발전요소⁵⁾의 균형점을 찾아가는 것이다.

2.2. 국방 시스템 모델

국방 시스템을 비롯하여 대부분의 시스템은 그림 2와 같이 추상적으로 모델링될 수 있다. 시스템은 시스템을 구성하는 변수와 파라미터의 집합으로 표현되며, 시스템 모델은 그것들 사이의 관계식을 나타내는 것이다. 그림 2와 같이 시스템이 변수 X, Y, Q를 가지고, 그 관계식은 $f(\cdot)$ 로 표현된다. 이 때 관계식 $f(\cdot)$ 는 수학적 방정식이나 알고리즘 혹은 논리적 표현으로 나타낼 수 있다. 수학적 방정식의 간단한 예는 $y=f(x,q)=2x+q$ 와 같은 형태이다. 관계식 $f(\cdot)$ 의 논리적 표현은 X, Y 사이의 규칙을 정의하는 것이다. 이것을 수학적으로 표현하면 $M = \{(x, y) \mid x \in X \text{ and } y \in Y, \text{ such that } X \text{ is conditions set and } Y \text{ is actions set}\}$ 이다. 알고리즘으로 표현된 관계식 $f(\cdot)$ 은 함수 프로토타입 형태의 입력 X에 대한 처리 절차와 그 결과를 의사 코



$f(\cdot)$: Relationship between X and Y in two forms

- (1) Mathematical equation
- (2) Algorithmic/logical description

그림 2. 시스템 모델의 추상적 표현
Fig. 2. Abstract representation of a system model

드(Pseudo code)로 표현하는 것이다. X에 대한 변수 유형과 함수의 반환값인 Y에 대한 변수 유형이 정의된다. 이와 같이 시스템 모델은 시스템 변수들의 관계식을 다양한 형태로 표현되며, 국방 시스템 모델 또한 그것을 구성하는 다양한 변수들의 관계식으로 표현할 수 있다.

국방 시스템을 분석하기 위해 국방 시스템을 구성하는 요소를 살펴보면, 병력, 전술, 장비, 군수, 지휘관의 경험 등의 요소들이 필요하다. 이 요소들은 국방 시스템을 구성하는 전체 변수 및 파라미터이다. 이것을 앞 절에서 설명한 두 가지 관점으로 나누어 보면, 전투 논리에 해당하는 요소들과 전장 기능에 해당하는 요소들로 구분해서 생각할 수 있다. 물론, 전투 논리와 전장 기능 모두와 관련된 요소들도 있을 수 있다. 그림 3은 상호 분석을 위해 두 가지 관점에서의 국방 시스템 모델을 보여주고 있다. 각 요소별로 변수 및 파라미터를 분리하면 전투 논리와 관련한 요소들 v_i^{CL}, p_i^{CL} , 전장 기능과 관련한 요소들 v_j^{BF}, p_j^{BF} 로 나눌 수 있다. 각 요소들의 관계식을 나타내는 방법은 두 가지가 있다. 가장 쉽게 생각할 수 있는 것이 국방 시스템 요소들을 하나의 관계식으로 표현하는 것이다. 이 관계식은 여러 하위 관계식 $f_i(\text{arg-i})$ 의 결합으로 표현된다. 이것은 그림 3의 DSM I과 같이 복잡한 시스템을 하나의 모델로 표현함으로써 하나의 시뮬레이션 결과를 보고자 하는 것이 목적이다. 이것은 기존에 시스템을 분석하기 위해 많이 사용된 방법으로 DSM I은 시스템의 모든 변수와 파라미터 정보를 가지고 있다. 반면, DSM II처럼 복잡한 시스템을 여러 개의 독립적인 시스템으로 모델링할 수 있다. 시스템을 두 가지 관점으로 나누어 전투 논리 모델(CLM)과 전장 기능 모델(BFM)로 모델링한다. 이 때 각 모델은 분리된 변수 및 파라미터의 관계식으로 표현된다. 그리고 두 모델과 모두 관계있는 요소들은 모델 간의 인터페이스를 통하여 정보를 교환할 수 있도록 한다.

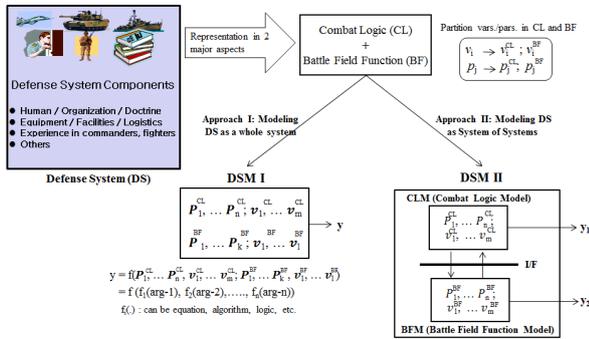


그림 3. 전투 논리 측면과 전장 기능 측면에서 바라본 국방 시스템 모델 및 모델링 방법론: 단일 시스템 또는 여러 개의 독립적인 시스템의 결합
Fig. 3. Defense system model as Operational Logic + Battle Field Functions: System vs. System of systems

두 모델링 방법의 가장 큰 차이점은 독립적인 모델의 개수이다. DSM I은 하나의 모델로 표현되고, DSM II은 독립적인 두 개의 모델로 표현된다. DSM II의 여러 개의 독립적인 시스템 모델링 기법은 모델 유지/보수, 실험 설계 및 분석 측면에서 장점이 있다. 모델 개발이 끝난 후 모델의 논리나 데이터가 변경되었을 때, 변경된 논리가 적용된 모델만 수정하고 다른 모델은 수정하지 않는다. 예를 들어, 전투 논리의 변경은 전투 논리 모델에만 영향을 주고 전장 기능 모델에는 영향을 주지 않는다. 실험 설계 시에도 각각의 모델에만 영향을 주는 변수 및 파라미터를 유동적으로 변화시킬 수 있다. 이런 독립적인 모델의 지역적 특성은 시스템의 상호 분석에 필수적이다.

2.3. 단일 분석과 상호 분석

관계식으로 표현된 시스템 모델을 시뮬레이션 하여 결과를 분석하는 방법은 모델링 방법과 마찬가지로 두 가지가 있다. 하나의 모델을 하나의 시뮬레이션 환경에서 시뮬레이션 하는 방법과 독립적인 모델을 각자의 시뮬레이션 환경에서 시뮬레이션하고 그것들을 연동하는 방법이 있다. 그림 4는 DSM I을 단일 시뮬레이션 환경에서 시뮬레이션하여 결과를 분석하는 것으로 본 논문에서 단일 분석 기법이라 부른다. 그림 5는 DSM II의 전투 논리 모델과 전장 기능 모델을 RTI와 같은 시뮬레이션 버스를 사용하여 연동함으로써 각 모델의 시뮬레이션 결과를 분석하는 것으로 상호 분석 기법이라 부른다. 상호 분석 기법의 가장 큰 장점은 분리된 두 모델이 각각의 시스템을 상세하게 묘사한 독립된 모델이라는 점이다. 단일 분석은 전체 시스템을 하나로 표현하기 때문에 하나의 분석 지수를 측정하기 위해 다른 요소들은 추상화할 수밖에 없다. 일반적인 위계

임 모델의 전투력 분석이나 통신 네트워크 분석^[6]이 단일 분석의 예이다. 그러나 상호 분석은 두 시스템이 독립적이기 때문에 동일한 레벨의 모델로 표현할 수 있다.

단일 분석은 전투 논리나 전장 기능 관련 분석 지수를 하나의 모델을 사용하여 측정한다. 그림 4에서와 같이 한 개의 시뮬레이션에서 전투 논리 파라미터 P_2^{CL} , P_3^{CL} 또는 전장 기능 파라미터 P_1^{BF} 에 대해 전투 논리 또는 전장 기능 변수 $V_1^{CL/BF}$ 의 변화에 따른 분석 지수 y 의 변화를 분석한다. 상호 분석은 분리된 두 모델인 전투 논리 모델과 전장 기능 모델에서 독립적으로 시뮬레이션하면서 필요한 정보를 상호 연동하면서 각각 분석 지수를 측정한다. 그림 5에서와 같이 각 모델은 각각의 분석 지수 y_1, y_2 를 구하기 위한 관계식으로 표현되고, 두 모델은 시뮬레이션 연동을 통해 시뮬레이션 결과를 분석한다. 이 때, 전투 논리 분석 지수 y_1 은 다양한 전장 기능 관련 파라미터들에 대해 전투 논리 변수 V_1^{CL} 의 변화에 따른 값의 변화이다. 그리고 전장 기능 분석 지수 y_2 는 다양한 전투 논리 관련 파라미터에 대해 전장 기능 변수 V_1^{BF} 의 변화에 따른 값의 변화이다. 즉, y_1 과 y_2 를 표현하는 관계식에 각각 서로 다른 모델의 파라미터인 전장 기능 파라미터와 전투 논리 파라미터를 인수로 가진다. 두 모델을 분리해서 독립적으로 각각 분석하더라도 그 결과는 서로 독립적이지 않을 수 있다. 그 결과는 서로의 모델에 영향을 줄 수 있으며, 이것이 상호 분석을 하는 이유이다.

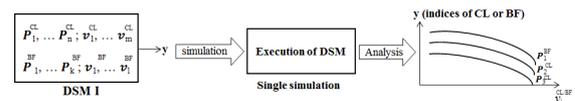


그림 4. 단일 시스템 모델 및 시뮬레이션 분석
Fig. 4. Single Simulation and Single Analysis of DSM I

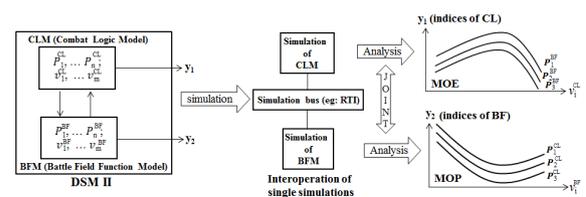


그림 5. 시뮬레이션 연동 및 상호 분석
Fig. 5. Interoperable Simulation and Joint Analysis of DSM II

III. 전투 효과도와 통신 성능의 상호 분석

제안한 상호 분석 기법의 적용을 위해 FM 무전 통신을 사용한 교전 작전 시스템을 모델링하고 시뮬레이션한다. 이를 위한 시스템 개요와 적용 기술, 그리고 시뮬레이션 연동 환경을 본 장에서 기술한다.

3.1. 상호 분석을 위한 시스템 개요

임무급 수준의 위게임 모델로부터 전투 효과도를 분석하기 위해서는 전투 논리와 전장 환경과 같은 실제 군의 모든 환경을 반영한 모델이 필수적이다. 그림 6은 부대원들이 무전기를 통해 교전 상황을 통신하는 실제 모습을 보여주고 있다. 이러한 작전 상황을 분석함에 있어서, 지휘관은 전투가 주어진 교리 또는 논리대로 잘 이루어졌는지 관심 있을 수 있고, 그와 동시에 교전 상황 통신에 사용된 무전기와 같은 통신 장비(망)의 성능에 관심 있을 수 있다. 전투 논리의 의한 임무 성공 여부는 주어진 통신 시스템을 이용하여 측정되고, 통신 장비의 성능은 주어진 전투 시나리오 하에서 측정된다. 두 분석 지수의 상호 분석을 위하여 그림 6과 같이 실제 교전 시스템을 관심 분야에 따라 전투 논리를 위한 모델 및 통신 장비 모델로 나눈다. 각 모델은 DEVSimHLA와 OPNET과 같은 M&S 도구를 이용하여 각각 위게임 시뮬레이터와 통신 시스템 시뮬레이터로 만들어진다. 위게임 시뮬레이터는 기동, 탐지, 교전 등과 같은 전투 논리를 반영하여 만들어지며, 통신 시스템 시뮬레이터는 위게임 시뮬레이터의 전투 논리의 실행을 지원하는 장비를 시뮬레이션한다. 두 시뮬레이터는 HLA/RTI를 이용하여 상호 연동을 하고, 이러한 시뮬레이션 연동을 통해 실제 군의 환경을 반영한 작전의 모델을 표현하게 된

다. 각 시뮬레이터의 연동 결과를 바탕으로 상호 분석을 실행한다. 통신 효과를 반영한 전투력은 위게임 모델의 시뮬레이션 결과로 얻을 수 있고, 작전 시나리오를 반영한 통신 시스템 성능은 통신 시스템 모델의 시뮬레이션 결과로 얻을 수 있다.

3.2. M&S 도구 및 적용 기술

3.2.1. DEVS 형식론 및 DEVSimHLA

DEVS(Discrete Event Systems Specification) 형식론은 1976년 B. P. Zeigler에 의해 제안된 집합론에 근거한 형식론이다¹⁸⁾. 이산 사건 모델을 시스템 이론적으로 표현하며, 그 모델은 입력, 출력, 상태, 상태변환 함수로 이루어진다. DEVS 형식론은 시스템을 계층적으로 모듈화 하여 모델과 인터페이스가 분리된 구조적 모델링이 가능하게 한다. DEVS 형식론의 장점은 시스템을 객체 지향적으로 모델링함으로써 모델 구현에 객체 지향적 프로그래밍 방법을 사용할 수 있다는 것이다. DEVS 형식론은 모델 표현을 위해 원자모델(Atomic Model)과 결합모델(Coupled Model)의 두 개의 모델 클래스를 정의하고 있다. 원자모델은 더 이상 분해 할 수 없는 컴포넌트이며 결합모델은 부 모델들의 결합체로서 부 모델들은 각각 원자 모델 혹은 결합 모델이다. 일반적으로 국방 시스템은 계층적으로 복잡한 구조로 이루어져 있기 때문에, DEVS 형식론은 이러한 시스템을 모델링하는 가장 적합한 모델링 방법론이다. DEVSimHLA¹⁹⁾는 DEVS 형식론으로 표현된 모델을 모델링하고 시뮬레이션할 수 있도록 해주는 라이브러리 도구이다. 이 외에도 네트워크 지원, 모델 및 시뮬레이터 검증, HLA 기반의 시뮬레이션을 가능하게 하며, 전체 M&S 주기에 걸쳐 사용가능한 도구이다.

3.2.2. OPNET

OPNET은 분산 시스템과 통신 네트워크의 모델을 지원하는 포괄적인 개발 환경을 지원한다. 시스템 모델의 동작과 성능을 분석할 수 있고 모델 설계, 시뮬레이션, 데이터 수집 및 분석과 관련된 다양한 툴을 제공하고 있다. 뿐만 아니라, 현존하는 거의 모든 통신 프로토콜과 표준장비 라이브러리를 제공하고 있어 전 세계적으로 가장 많이 활용되고 있다¹⁰⁾. OPNET은 객체 지향적 모델링을 지원하고 실제 통신 네트워크 구조와 유사하게 각각의 모델들이 계층적인 구조를 갖고 있으며, 계층 수준에 따

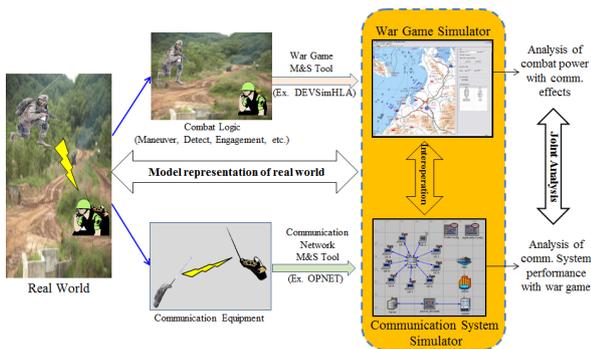


그림 6. 상호 분석을 위한 대상 시스템 개요
Fig. 6. Application of Joint Analysis: Overview

라 특성화된 에디터를 이용하여 각 모델을 개발할 수 있다. 최상위 네트워크 모델은 네트워크를 구성하는 노드와 노드 사이의 링크로 구성되어 있으며 프로젝트 에디터를 이용하여 통신 네트워크를 모델링 할 수 있다. 네트워크 모델의 하위 모델인 노드 모델은 라우터, 서버, 통신위성과 같은 실제 통신장비에 대한 모델링을 제공하고 내부적으로 프로세스와 관련된 모듈 블록과 모듈 사이의 데이터 흐름을 나타내기 위한 연결로 구성되어 있으며 노드 에디터를 이용하여 개발된다. 프로세스 에디터로 개발되는 프로세스 모델은 모듈의 내부적인 동작을 정의한 모델로서 FSM(Finite State Machine)으로 구성하여 세부단계까지 제어가 가능해 거의 모든 상황을 재현할 수 있다. 또한 링크 에디터를 이용하여 특정 대역폭과 비트 에러율, 전송지연, 패킷 형태 등을 나타낼 수 있고 패킷 에디터를 이용하여 패킷의 크기, 필드 정보 등을 나타낼 수 있다. OPNET은 HLA 서비스를 지원하며, DEVSimHLA 기반 시뮬레이터와 같이 HLA 서비스를 지원하는 다른 시뮬레이터와 연동이 가능하다.

3.2.3. High level architecture (HLA)

HLA(High level architecture)는 이기종 시뮬레이터간의 연동을 위한 상위 레벨 개념으로서, 1998년에 버전 1.3이 미 국방성(Department of Defense, DoD) 표준으로 채택되었으며 2000년에 IEEE 1516 표준으로 채택되었다. 최근 2010년에 HLA evolved 라는 이름으로 IEEE 1516 표준이 확장, 수정되었다^[11]. HLA는 HLA 프레임워크와 규칙(HLA Framework and Rules)^[11], 페더레이트 인터페이스 명세(Federate Interface Specification)^[12] 그리고 객체 모델 템플릿(Object Model Template - OMT)^[13]의 세 가지로 정의된다. 먼저, HLA 프레임워크와

표 1. 전투 논리를 위한 기능 및 부대 객체 식별
Table 1. Identification of Objects and Function for Operation Logic

Functions	Objects
Reconnaissance	Reconnaissance Platoon
Close Combat	Infantry Platoon
Fire Support	Mortar Section/Platoon, Artillery Company
Fire Control	Combat Support Company, Artillery Battalion
Command Control	Infantry Regiment/Battalion/Company, Command Post

규칙은 페더레이션(Federation)에 포함되는 구성 요소들의 역할과 상호 관계에 관한 전반적이고 기본적인 10개의 규칙들이다. 페더레이트 인터페이스 명세는 각 페더레이트(Federate)와 RTI 간의 기능적 인터페이스에 관한 규약으로 6가지의 서비스 관리 영역으로 나누어 기술하고 있다. RTI는 페더레이트 인터페이스 명세를 시스템 기증 및 프로그램 언어 별로 라이브러리 형태로 구현한 것이다. 마지막으로 OMT는 페더레이션을 구성하는 페더레이트들 간에 이루어지는 공통 데이터 영역을 구조적, 기능적으로 서술하는데 사용된다. 페더레이션을 구성하는 페더레이트들 사이의 공유 데이터 교환 구조를 서술하는 FOM(Federation Object Model)과 시뮬레이션 시스템이 페더레이션에 제공하는 기능을 표현하는 SOM(Simulation Object Model), 그리고 페더레이션과 페더레이트의 전반적인 기능을 모니터링하고 관리할 수 있는 MOM(Management Object Model)으로 구성된다.

3.3. 모델 설계 및 시뮬레이터 구현

앞 절에서 설명한 바와 같이, 실제 교전 작전은 위게임 모델과 통신 모델의 두 개의 모델로 분리되어 모델링되고 HLA./RTI를 이용하여 두 시뮬레이션을 연동한다. 위게임 모델은 기동, 탐지, 교전, 지휘통제 등의 전투 논리를 반영하기 위해 각 기능별 모델을 구성 요소로 가지고 있다. 즉, 교전 시스템을 구성하는 단위인 전투 부대 모델은 기동 모델, 탐지 모델, 교전 모델을 하위 모델로 가지고 있으며, 하위 모델은 서로 연결되어 정보를 교환할 수 있다. 통신 모델은 전투 부대가 보유하고 있는 통신 장비에 해당하는 노드와 여러 노드들의 연결 관계로 이루어져 있다.

3.3.1. 위게임 모델 설계 및 구현

위게임 모델은 포병 대대가 후방에서 지원하는 연대급 규모 방어 작전을 표현하기 위한 임무급 수준의 모델로 설계된다. 모델링을 위하여 전투 모의

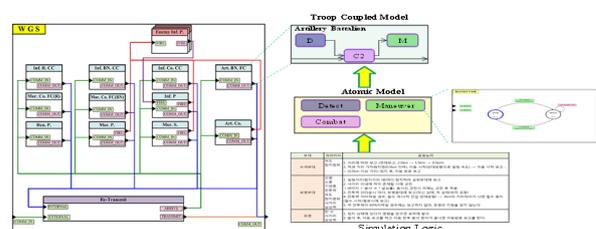


그림 7. DEVS를 이용한 위게임 모델 설계
Fig. 7. DEVS Model Structure for War Game Simulator

논리를 만들기 위해 관련 기능 및 그 기능을 수행하는 객체를 식별하면 표 1과 같다. 표 1의 정보는 훈련 교범, 지휘관의 경험 및 여러 국방 도메인 정보로부터 획득한다.

식별된 각 부대 객체와 기능은 DEVS 형식론을 이용하여 모델로 표현된다. 식별된 각 부대의 행동은 5개의 원자 모델로 표현되며, 그것은 탐지, 기동, 지휘통제, 전투, 화력지원이다. 각 부대 객체는 부대 특성 및 임무에 따라 5개의 원자 모델 중 일부를 하위 모델로 하는 결합 모델로 표현되며, 전체 위게임 모델의 계층적 구조는 그림 7에 나타나 있다. DEVS 형식론으로 모델링된 위게임 모델은 DEVSIMHLA 도구를 사용하여 C++ 환경에서 시뮬레이터로 만들어진다.

3.3.2. 통신 모델 설계 및 구현

통신 모델은 위게임 모델의 연대급 규모 방어 작전을 지원하는 음성 FM 무전기 및 통신망을 표현하기 위한 공학급 수준 모델로 설계된다. 통신 모델 내부는 위게임 모델과 동일하게 계층적 구조로 이루어져 있으며, 각 부대 객체가 보유하고 있는 통신 장비가 통신 모델의 노드로 매핑된다. 즉, 통신 모델의 노드 및 그 연결 관계는 위게임 모델의 부대 결합 모델 및 그 연결 관계와 동일하다. 음성 FM 무전기 및 통신망은 그림 8과 같이 OPNET 환경에서 계층적으로 모델링된다. 통신망, 무전기, 통신 프로토콜을 모델링하기 위해 OPNET 내부의 프로젝트, 노드, 프로세스 에디터를 사용한다.

3.4. 시뮬레이션 연동 환경

개발된 두 시뮬레이터를 HLA/RTI를 이용하여 시뮬레이션 연동을 하기 위해서는 두 시뮬레이터의 공유 객체와 메시지 정보가 기록되어 있는 FOM이 필요하다. 전투 모의 논리를 분석하여 두 시뮬레이

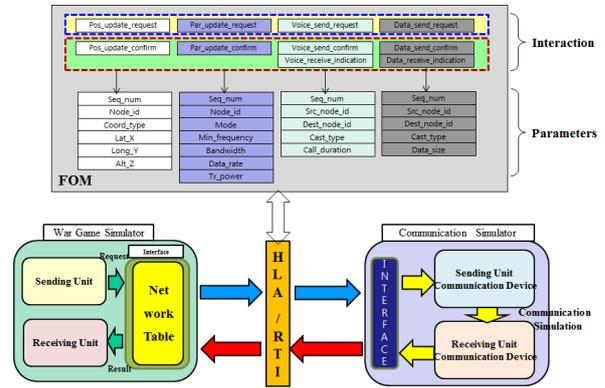


그림 9. 공유 데이터 FOM과 시뮬레이션 연동 환경
Fig. 9. FOM and Interoperation Environment

터 간 공유 객체(Object)는 정의하지 않고, 통신 장비의 위치 정보 및 파라미터 업데이트, 음성 및 데이터의 메시지 전송과 같은 인터랙션(Interaction)만을 정의한다. 그림 9는 구체적인 FOM 정보를 보여주고 있으며, FOM은 10개의 인터랙션과 메시지 내부의 여러 파라미터로 구성되어 있다. 상의 4개의 인터랙션은 위게임 시뮬레이터에서 통신 시뮬레이터로 전송되는 메시지로서, 통신 시뮬레이터 내부의 노드들의 위치정보와 통신 파라미터를 업데이트 할 수 있고 음성이나 데이터의 메시지 전송과 관련된 통신효과 모의를 요청할 수 있다. 하위 6개의 메시지는 통신 시뮬레이터가 위게임 시뮬레이터로부터 메시지를 정상적으로 수신하였음을 알리고, 위게임 시뮬레이터가 요청한 메시지 전송 요청에 대해 통신 효과를 계산하여 그 결과를 전달한다.

위게임 시뮬레이터는 그림 9에 보여지듯이 구성 요소로서 네트워크 테이블을 가지고 있고, 이것은 위게임 시뮬레이터의 부대 객체 정보와 통신 시뮬레이터의 통신 장비 노드 정보의 매핑 관계 및 노드들 사이의 통신망 연결 관계를 정의한 것이다. 실제 하나의 부대가 한 대 또는 여러 대의 통신장비를 보유하는 것과 같이 위게임 시뮬레이터의 부대 객체와 통신 시뮬레이터의 노드 객체 사이에 1:1 또는 1:N의 관계가 성립한다. 그리고 각 노드들은 주파수 또는 코드와 같은 통신 파라미터에 의해서 서로 다른 통신망으로 분리되어 있기 때문에 부대는 보유하고 있는 노드들의 통신 파라미터에 따라서 여러 통신망에 가입될 수 있다. 그러므로 통신 시뮬레이터를 경유하여 부대 사이의 메시지 전송을 모의하기 위해서는 두 부대가 보유하고 있는 노드들 중에서 실제로 하나의 통신망으로 연결되어 있는 노드들을 찾아 통신 시뮬레이터에 해당 노드들 사

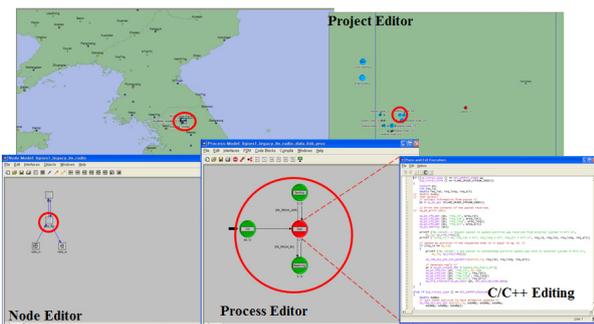


그림 8. OPNET 환경의 통신 시뮬레이터
Fig. 8. OPNET Model Structure for Communication Simulator

이의 메시지 전송을 요청해야만 한다. 네트워크 테이블은 이와 같이 부대 사이의 메시지 전송을 위해 부대정보를 실제 하나의 통신망으로 연결된 노드 정보로 변환하기 위해 참조된다. 네트워크 테이블은 사용자가 시나리오 생성과정에서 입력한 부대 정보와 각 부대가 사용하고 있는 통신망 정보를 이용하여 생성되며 노드정보는 부대 정보와 통신망 정보를 이용하여 자동으로 생성된다.

IV. 실험 설계 및 상호 분석 결과

상호 분석을 위한 실험 설계는 측정하고자 하는 두 개의 분석 지수에 맞게 두 개로 나뉜다. 실험 1은 통신 시뮬레이터로부터 측정된 통신 효과도를 적용하여 위게임 시뮬레이터에서 연대급 규모 방어 작전의 전투 효과도를 측정하는 것이다. 실험 2는 위게임 시뮬레이터에서 만들어진 교전 시나리오 상에서 통신 시뮬레이터를 이용하여 음성 FM 무전기의 적정 송신 출력을 측정하는 것이다.

4.1. 실험 시나리오 및 실험 환경

실험에 사용되는 시나리오는 다음과 같다. 적군은 아군부대를 격멸하기 위해 공격작전을 실시하고 아군은 적군의 진출을 저지하기 위해 방어 작전을 실시한다. 아군은 적군이 아군의 방어진지에 도달하기 전에 최대한 전투력을 감소시키기 위해 노력한다. 먼저 적지 중심에서 수색소대가 적의 진출을 조기에 식별하여 탐지결과를 연대 지휘소에 보고하고 연대 지휘소는 직접지원 포병대대를 통해 포병화력으로 적을 공격한다. 수색 소대를 통과하여 아군방향으로 진출한 적에 대해서는 아군의 보병부대가 이를 탐지하여 직접지원 포병대대에 화력을 요청하거나 보병부대에서 보유한 박격포를 이용하여 적을 공격한다. 마지막으로 방어진지까지 적군이 진출하

표 2. 전장 상황에서 FM 무전기의 음성 통신 통계
Table 2. Communication Parameters used in Experimentation I

Message	Voice	
	Talk Time (Sec)	
	Mean	Standard Deviation
Call / Ack	2.60	1.98
Position Report	4.52	3.26
Situation Report	6.65	5.50
Order	6.86	5.49

KCTC (Korea Combat Training Center)
'06 - 10, 11, 12 class

면 아군은 소총을 이용한 근접전투를 실시한다. 아군 부대는 적이 2.5km, 1km, 0.5km까지 근접했을 경우 적 탐지정보를 보고하고, 아군의 전투력이 이전 전투력 보고 시점보다 10%이상 감소되었거나 이동 전·후 및 사격 준비 완료 시에 상급부대에 이와 관련된 정보를 보고한다. 실험 환경은 Quad core 2.67GHz CPU, 3GB RAM, Windows PC이다. OPNET 버전은 v14.5이고 RTI는 DMSO HLA v1.3이다.

4.2. 실험 1: 통신 효과에 따른 부대 전투력 측정

실험 1은 다양한 통신 효과를 반영하여 적군의 잔존 부대수에 의한 생존 비율을 측정한다. 이를 통해 통신 효과에 의한 부대 전투력을 측정할 수 있다. 표 2의 파라미터는 실제 전장 환경에서 FM 무전기의 음성 통신 시 발생하는 메시지 내용과 통신 시간을 나타낸다. 이는 실제 육군 과학화 전투 훈련단(Korea Combat Training Center, KCTC)에서 2006년에 실제 훈련 간 음성 통화를 녹음하여 분석한 값들이다^[14]. 통신 효과에 따른 전투 효과도 측정은 세 가지의 경우로 나누어 측정하였다. 통신 효과를 반영하지 않은 경우와 FM 무전기 망을 추상화하여 표 2의 실제 데이터의 통계적 수치로 나타내는 경우, 그리고 실제 장비 데이터를 이용하여 만든 OPNET 기반 통신 시뮬레이터와의 연동을 통한 상호 분석 기법을 사용한 경우이다.

그림 10은 세 가지의 시뮬레이션에 대한 시간에 따른 적군의 손실을 나타낸다. 우선 통신 효과를 반영하지 않은 경우 적군 생존 비율이 급격히 하락함

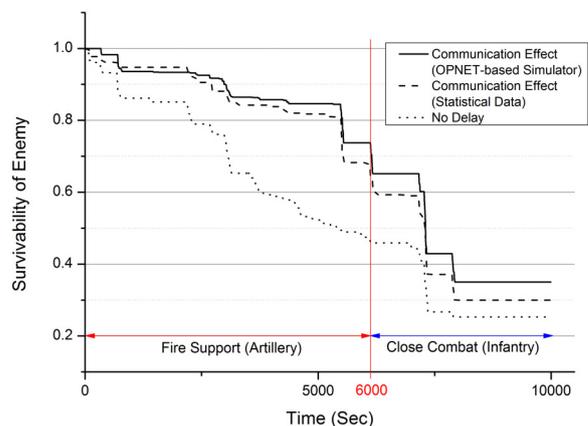


그림 10. 통신 효과 반영 여부에 따른 위게임 모델의 전투력의 변화
Fig. 10. Survivability of enemy forces with different communication effects

을 알 수 있다. 이는 통신 지연이 묘사되지 않았기 때문에 적을 공격하여 성공할 수 있는 기회가 다른 경우보다 더 많기 때문이다. 특히 6000초까지 통신 효과 유무에 의한 전투력 차이가 크게 나타나는데, 이는 6000초 이전에는 근접 공격 사거리 외에 적군이 존재하여 포병 화력에 의한 원거리 공격이 주로 실시되고, 포병 화력 운용 과정에서 통신의 사용이 많아 전투력 차이에 영향을 준다. 실제 데이터의 통계적 자료와 OPNET 기반 통신 시뮬레이터에 의한 결과 차이는 적군 생존 비율이 조금 다를 뿐 시간에 따른 적군의 손실 흐름은 동일함을 알 수 있다. 이는 통신 모델을 통계 데이터로 파라미터화 하여 추상화하였지만, 실제 작전 상황의 데이터를 사용하였기 때문이다. 그리고 OPNET 기반 통신 시뮬레이터가 실제 장비를 잘 모델링한 결과라고 볼 수 있다. 그러나 통계 데이터를 이용한 전투력 분석은 전장 상황을 통신 장비(망)을 추상화한 것으로 장비나 전장 상황이 달라졌을 때 그대로 적용할 수 없다. 이러한 제약 사항을 해결하는 것이 통신 시뮬레이터를 이용한 상호 분석 방법이다. 달라지는 통신 상황을 통신 모델에 반영함으로써 다양한 통신망에서의 전투력 측정이 가능하다.

4.3. 실험 2: 통신 시스템 요구 성능 측정

실험 2는 표 3과 같이 FM 무전기의 송신 출력을 다르게 하여 통신 모델을 시뮬레이션 하였을 때 적군의 잔존 부대수에 의한 생존 비율을 측정한다. 이 실험을 통해 목표로 하는 전투력 감소를 달성하기 위해 필요한 통신 시스템의 최소 요구 성능을 알아볼 수 있다.

그림 11은 서로 다른 FM 무전기의 송신 출력에 따른 전투 효과도의 변화를 보여준다. 적군의 생존 비율은 아군의 FM 무전기 송신 출력에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 무전기의 송신 출력이 0.04W일 때는 3000초 이상, 0.08W와 0.16W일 때는 300초 이상에서 적군의 손실이 이루어진다. 이는 송신출력이 0.04W일 때는 무전기의 통달 거리가 수색 소대와 연대 지휘소의 거리인 7.8Km 보다 작아서 공격을 할 수 없기 때문이다. 0.08W 이상일 때는 수색 소대의 적 탐지 결과를 받아들이며 포병

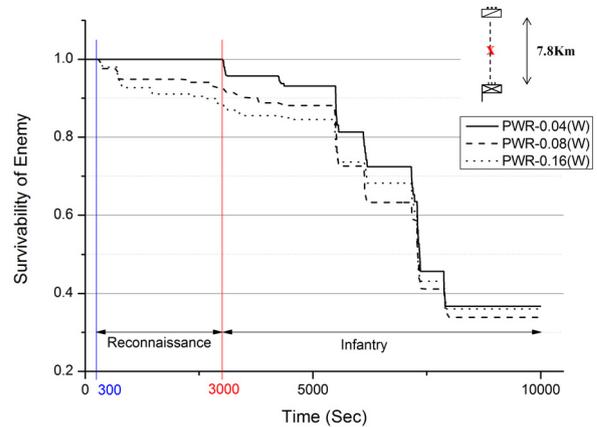


그림 11. 통신 장비 성능에 따른 위게임 모델의 전투력의 변화
 Fig. 11. Survivability of enemy forces as a function time with three transmission powers in radios

화력에 의한 원거리 공격이 실시된다. 즉, 전투 효과도를 극대화할 수 있는 통신 장비의 요구 성능은 FM 무전기의 송신 출력이 0.08W 이상이어야 한다는 것이다. 상호 분석 관점에서 볼 때, 이 실험은 특정 성공률 이상으로 임무를 완수하기 위해 필요한 통신 장비의 출력 성능을 찾는 것이다.

4.4. 실험 1과 실험 2에 관한 고찰

실험 1과 실험 2 모두 동일한 위게임 모델과 통신 모델을 사용한 것이다. 일반적으로 단일 분석을 할 경우 하나의 분석 지수를 측정하기 위해 다른 요소들을 추상화한다. 즉, 전투력 분석을 위해서는 통신 모델을 추상화하여 나타내고, 통신 장비 성능을 측정하기 위해서는 전투 논리를 추상화한다. 그 이유는 각각을 분석하기 위해 최적화된 모델링 방법론 및 시뮬레이션 도구가 존재하기 때문이다. 각각의 모델을 동일한 레벨의 상세도로 표현하고, 두 모델을 시뮬레이션 연동함으로써 통신 효과가 반영된 전투력 및 목표 전투력을 달성하기 위한 통신 장비의 요구 성능을 동시에 측정할 수 있다. 실험에서와 같이 서로 독립적인 두 모델을 이용하여 FM 무전기의 송신 출력을 변화시켜 가며 적군 생존 비율의 변화를 확인함으로써 MOE와 MOP 모두를 측정할 수 있다.

4.5. 상호 분석 결과 활용 방안

그림 12는 위게임 모델(WGS)과 통신 모델(CES)의 상호 분석 결과의 활용 방안을 보여준다. 통신 모델을 활용한 위게임 모델은 임무 계획 및 교리 개발에 있어 통신망의 효과를 측정하기 위함이고,

표 3. FM 무전기의 송신 출력
 Table 3. Transmission power of FM radios

Parameter	Transmission Power of FM Radios		
Values (W)	0.04	0.08	0.16

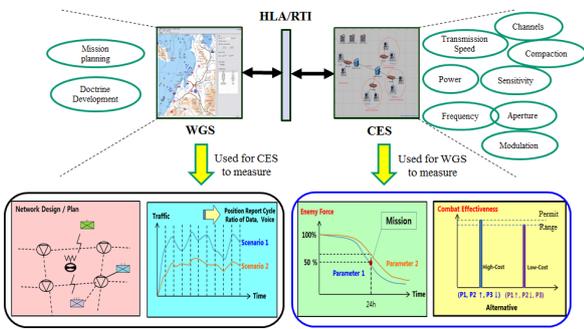


그림 12. 위게임 모델과 통신 모델의 상호 분석 결과 활용 방안
 Fig. 12. Extension of Interoperation between WGS + CES

위게임 모델을 활용한 통신 모델은 주어진 임무를 달성하기 위해 요구되는 통신 장비의 송신 출력, 속도, 채널 등의 성능을 측정한다. 이러한 상호 분석 개념은 다양한 전장 기능을 표현하는 하위 모델들과 보다 상위 수준의 위게임 모델인 전구급 모델의 분석에도 적용 가능하다.

V. 결 론

본 논문은 국방 시스템을 위한 상호 분석 기법에 제안하고, 위게임 모델과 통신 모델의 시뮬레이션 연동을 통해 그 효과를 확인하였다. 상호 분석을 위해, 시스템 복합 체계(System of systems) 방법을 사용하여 하나의 시스템을 여러 개의 부 시스템으로 분리하고, 각각을 독립적인 시스템 모델로 표현한다. 본 논문에서는 FM 무선 통신을 사용한 교전 작전 시스템을 두 개의 독립적인 모델로 표현하였다. 두 개의 모델은 연대급 규모 방어 작전을 표현하는 전투 논리 모델과 방어 작전을 지원하는 FM 무선 통신 장비 및 통신망을 표현하는 전장 기능 모델이다. 두 모델은 HLA/RTI를 이용하여 시뮬레이션 연동하였다.

NCW 환경에서 전장 기능 모델은 지휘 통제와 통신 기능 외에 정보, 감시, 정찰, 컴퓨터 등과 같은 C4ISR 체계 기능을 모두 포함하게 될 것이다. 이러한 복잡한 전장 환경에서의 교전 상황을 분석하는 가장 효과적인 방법이 두 모델을 분리해서 시뮬레이션 연동함으로써 시스템을 분석하는 것이다. 이러한 상호 분석 기법은 지휘관이 전투 논리와 이를 지원하는 전장 기능을 동시에 모두 고려하여 국방 시스템의 효과적인 해결책을 얻을 수 있도록 해준다. 전투력 향상을 위한 7대 전투발전요소들이 전

투 논리 모델과 전장 기능 모델에 모두 반영된다면, 국방 시스템 모델링에 있어 상호 분석 기법은 더욱 중요한 의미를 지니게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] H. No, T. J. Son, "NCW: Trends of developed countries and challenges of ROK," *Korea Defense Issue & Analysis*, No. 1046(05-19), May, 2005.
- [2] J.T. Pollock and R. Hodgson, *Adaptive Information*, Wiley-interscience, 2004.
- [3] W. Ko, "Analysis of MOE and MOFE in C4ISR system," *The Quarterly Journal of Defense Policy Studies*, No. 68, pp. 95-120, Jul. 2005.
- [4] Benjamin D. Paz, Joshua A. Baer, "Communication effects server integration with OneSAF for mission level simulation," in *Proceedings of the 2008 Fall Simulation Interoperability Workshop(SIW)*, pp. 271-276, Orlando, FL, Sep. 2008.
- [5] "Army Special Operations Forces," FM 3-05 (FM 100-25), Department of the Army, Sep. 20 2006.
- [6] J.-S. Park, Y.-H. Jeon, "Design and Implementation of a Simulator for the Performance Simulation of a Large-Scale Network Using OPNET," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol. 34, No. 3, pp. 274-287, Mar. 2009.
- [7] L. K. Piplani, J. G. Mercer and R. O. Roop, *Systems acquisition manager's guide for the use of models and simulation: Report of the DSMC 1993-1994*, Fort Belvoir, VA: Defense Systems Management College, Dec. 1994.
- [8] B. P. Zeigler, T. G. Kim, and H. Praehofer, *Theory of Modeling and Simulation*, Orlando, FL: Academic, Jan. 2000.
- [9] T. G. Kim, C. H. Sung, et. al, "DEVSim++ toolset for defense modeling and simulation and interoperation," *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Application*,

Methodology, Technology, vol.8, no.3, pp.129-142, Jul. 2011.

- [10] OPNET Technologies, Inc., OPNET Manual, <http://www.opnet.com/>.
- [11] "IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-framework and rules," *IEEE Std 1516-2010 (Revision of IEEE Std 1516-2000)*, pp. 1-38, Aug. 18 2010.
- [12] "IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-federate interface specification," *IEEE Std 1516.1-2010 (Revision of IEEE Std 1516.1-2000)*, pp. 1-378, Aug. 18 2010.
- [13] "IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA)-object model template (OMT) specification," *IEEE Std 1516.2-2010 (Revision of IEEE Std 1516.2-2000)*, pp. 1-112, Aug. 18 2010.
- [14] Y. H. Kim, "Requirement analysis for TICN based brigade level information distribution," *Korea Institute for Defense Analyses*, 2009.

김 덕 수 (Deok Su Kim)

2002년 2월 육군사관학교 전자공학 학사
 2011년 2월 KAIST 전기및전자공학과 석사
 2012년 1월~현재 합동군사대학교
 <관심분야> 통신 공학, 시스템 모델링, 시뮬레이터 연동

성 창 호 (Changho Sung)



2003년 2월 부산대학교 전자전기통신공학부 학사
 2011년 8월 KAIST 전기및전자공학과 박사
 2011년 9월~현재 KAIST 정보전자연구소 연수연구원
 <관심분야> 시스템 모델링, 하이브리드 시뮬레이션, 분산 시뮬레이션

김 탁 곤 (Tag Gon Kim)



1988년 Univ. of Arizona, 전기및컴퓨터공학과 박사
 1980~1983년 부경대학교, 통신공학과, 전임강사
 1987~1989년 (미)아리조나 환경연구소, 연구엔지니어
 1989~1991년 Univ. of

Kansas, 전기및컴퓨터공학과, 조교수
 1991~현재 KAIST 전기및전자공학과, 교수
 - 한국시뮬레이션 학회 회장 역임
 - SCS Simulation Editor-In-Chief 역임
 - SCS Fellow
 - 모델링 시뮬레이션 기술사(미국)
 - Who's Who in the World(Marguis 16thEdition, 1999) 등재
 - 연합사, 국방부/합참, 기품원 자문위원 역임
 - KIDA Fellow 역임
 - ADD 자문위원(현)
 <관심분야> 모델링/시뮬레이션 이론, 방법론 및 환경개발, 시뮬레이터 연동