

HLA 기반 연동시물레이션을 통한 통신 효과를 반영한 네트워크 중심전 전투 효과도 측정을 위한 메타 모델링

강봉구, 김탁곤, 안명길*, 천재영*
한국과학기술원, *국방과학연구소,

bkgang@smslab.kaist.ac.kr, tkim@ee.kaist.ac.kr, happymkahn@add.re.kr, jycheon@add.re.kr

Meta-modeling for Combat Powers of Network Centric Warfare Considering Communication Effect via Simulation Interoperation using HLA

Bong Gu Kang, Tag Gon Kim, Myung Kil Ahn*, Jae Young Cheon*
KAIST, *ADD(Agency for Denfense Development).

Abstract

NCW(Network Centric Warfare) 환경에서 통신의 중요성으로 인해 통신 효과를 반영한 전투 효과도에 관한 연구가 이루어져왔다. 기존의 연구로는 워 게임 모델과 통신 모델의 연동 시물레이션을 통해 통신 파라미터가 전투 효과도에 미치는 영향에 대해 분석한 연구가 있다. 그러나 이러한 연동 시물레이션을 통하면 시물레이션 속도가 느려져 오랜 시간이 소요된다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 통신 파라미터와 전투 효과도 사이의 메타 모델을 제안한다. 이 메타 모델을 DEVS 모델로 구성된 군단급 규모의 워 게임 모델과 NetSPIN 환경의 SPIDER망인 통신모델의 HLA/RTI 하의 연동 시물레이션에 적용하여, 입력과 출력 간의 직관적인 관계를 파악한다. 이러한 메타 모델을 역으로 발전시켜 추후에는 통신 장비 요구 분석에 도움을 줄 것이라 생각한다.

Keywords : 워 게임 시물레이터, 통신 시물레이터, 시물레이션 연동, 메타모델, NetSPIN

I. 서론

통신 시스템의 발전으로 인해 전장 환경이 NCW(Network Centric Warfare)로 변화하게 되었다. NCW 환경에서는 정보의 유통을 위한 통신이 무엇보다도 중요하기 때문에 통신효과를 반영하지 않을 경우, 워 게임에 대한 정확도와 현실성이 떨어지게 된다. 이러한 통신 효과의 중요성에도 불구하고 기존의 워 게임에서는 제한된 방법으로 통신 효과를 반영하였다. 최근에는 사실적으로 묘사하기 위해 실제 전장상황을 전투 모델과 통신 모델로 분리하여 연동하는 방법이 고안되었고, 이러한 방법을 통해 NCW 환경에서 실질적인 전투 효과도와 통신 시스템의 성능을 측정할 수 있게 되었다 [1]. 이 방법을 통해 그림 1의 위 부분에서와 같이 HLA/RTI 연동을 통하여 통신 파라미터 변화에 따른 전투 효과도를 측정할 수 있다. 그러나 이러한 연동을 통하여 시물레이션을 수행하게 되면 시물레이션 시간이 길고, 통신 파라미터와 전투효과도 사이의 직관적인 관계 파악이 힘들다. 이러한 단점을 극복하기 위해 연동 시물레이션을 그림 1의 아래와 같이, 입력으로 통신

모델의 파라미터와 출력으로 워 게임 모델의 전투 효과도를 갖는 메타 모델을 구성한다. 이러한 메타모델을 구성하면 시물레이션 시간을 줄일 수 있고, 통신 파라미터와 전투 효과도 사이의 직관적인 관계 파악이 가능하다.

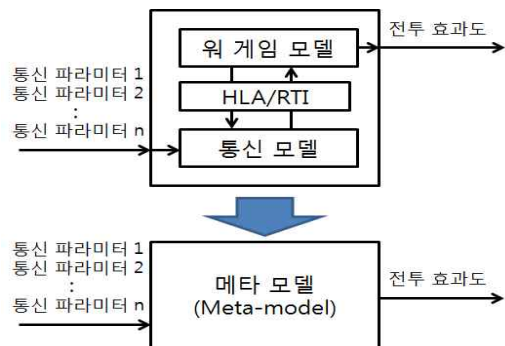


그림 1. 기존 연동 시물레이션의 메타 모델링

본 논문에서는 HLA/RTI를 통한 위 게임 모델과 통신 모델의 연동 시물레이션으로부터 메타모델을 구성하여, 통신모델 파라미터와 위 게임 전투효과도 사이의 관계를 파악한다. 위 게임 모델은 DEVS 형식론을 통해 군단급 규모로 설계되었고, 통신 모델은 NetSPIN 기반의 군단급 규모인 SPIDER망을 대상으로 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 배경 지식으로 위 게임 모델과 통신 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 메타 모델을 구성하고 마지막 장에서 결론을 맺는다.

II. 배경지식

본 장에서는 메타모델 실험에 필요한 위 게임 모델과 통신 모델에 대해 살펴보고, 이들 사이의 연동 과정 및 시나리오에 대해 살펴본다.

가. 위 게임 모델

NCW 환경의 위 게임 모델을 묘사하기 위해 본 논문에서는 육군 군단 구성을 참조하여 시물레이션을 위한 모델링을 하였다 [2]. 군단은 사단, 방공부대, 포병 여단 그리고 수색부대로 구성된다. 각 사단은 연대, 방공부대 그리고 포병연대로 구성된다. 각 연대는 대대, 방공부대로 이루어지고, 각 대대 역시 중대, 방공 부대로 이루어진다. 보병 부대 모델은 적을 타격하기 위해 방공 지휘소 및 포병 부대와 통신하고, 직속으로 박격포를 갖고 있다. 적 대상이 지상군일 경우, 사정거리에 따라 포와 박격포를 이용하여 공격하고, 공군일 경우, 방공무기를 이용하여 공격한다. 군단에 속해있는 수색부대는 최전방에 배치되어 탐지정보를 군단으로 보고한다. 연대 이하의 모의 논리는 '비전21'의 모의논리를 사용하였고, 연대 이상의 모의 논리는 '비전21'을 참고하여 부대 규모에 맞게 적용하여 사용하였다.

각 모델은 DEVS(Discrete Event Systems Specification) 형식론을 이용하여 설계되었다 [3]. 부대의 경우, 부대 종류에 따라 기동(Maneuver), 탐지(Detect), 교전 및 피해평가(Combat), 지휘통제(C2), 화력지원(Fire Support)과 같은 원자모델이 합쳐진 결합모델로 표현된다. 그림 2는 보병지휘소를 예로 들어 설명하고 있다. 그림 상을 통해 보병지휘소가 기동, 탐지, 지휘통제 원자모델로 구성됨을 알 수 있고, 그림 하를 통해서 지휘통제 원자모델의 동작을 확인할 수 있다. 이러한 각 부대들이 모여서 위 게임 모델을 구성하게 된다. 각 부대들 사이의 통신은 재전송(Retransmit) 모델을 통해 이루어진다. 재전송 모델을 통해 실제 부대의 통신 교리와 같이 부대 간 통신이 실패되는 경우 지정한 횟수만큼 재전송을 시도한다.

나. 통신 모델

OPNET은 통신 네트워크 모델에 대한 개발 환경을 지원한다. 모델의 동작 및 성능 분석이 가능하고, 모델 설계, 시물레이션, 데이터 수집 등 다양한 툴을 제공하고 있다 [4]. 현존하고 있는 대부분의 통신 프로토콜과 장비의 라이브러리를 제공하고 있어서 가장 많이 사용되고 있다. NetSPIN은 OPNET을 기반으로 군에서 운용 중인 전장통신 환경을 모델로 구축하고, 그 환경 상에서 정보교환요구 충족여부, 정보의 적시성 등을 시험평가하고 문제점을 분석하여 최적의 대안을 제

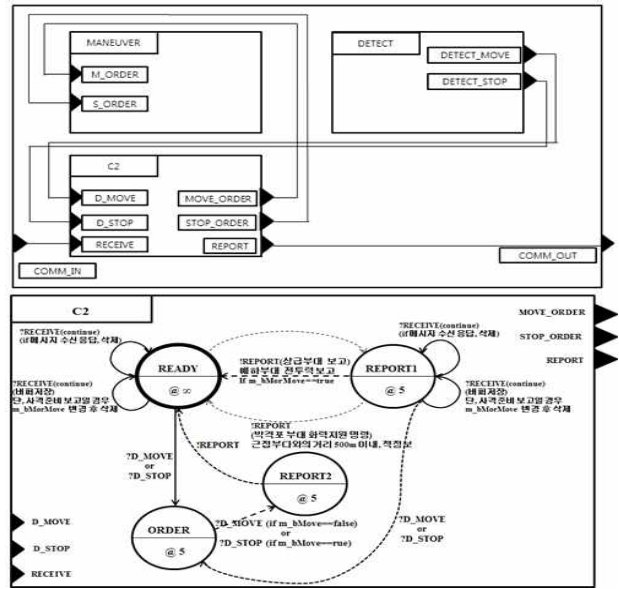


그림 2. DEVS 결합 모델 : 보병 연대 지휘소 (상), DEVS 원자 모델 : 지휘통제 모델 (하)

시하기 위한 네트워크 M&S 도구를 의미한다. NetSPIN은 OPNET Modeler를 기반으로 개발되며 유사 체계로는 미국의 JCSS가 있다 [5]. NetSPIN은 응용 연구 종료 후 2011년 9월부터 시험 개발을 진행 중에 있다. 본 실험에서는 NetSPIN에서의 전장 환경을 위 게임 모델과 같은 규모인 군단급 SPIDER 격자망을 이용하여 묘사한다. SPIDER망 또한 내부 군단 조직 구성과 유사하게 계층적으로 구성된다. SPIDER망에서 각 통신소 모델의 지리적인 위치를 살펴보면, 최하위에 군단 통신소가 배치되고, 군단 통신소 주위에 사단 통신소와 포병 여단 통신소가 존재한다. 사단 내부에는 연대 통신소와 포병 연대 부대들이 계층적으로 존재한다. 각 통신소에 사용되는 주요 통신 장비는 크게 TDU(간선분배장치)와 TMR(전술 다중채널 무선장비) 2개로 분류된다. TDU는 IP라우터로 일반적인 라우터 기능과 더불어 회선 및 데이터를 통합하여 전송하는 기능을 수행한다. TMR은 무선 전송장비 모델로 교환 장비 모델 혹은 TDU 모델로부터 유입된 다중화 신호의 48Km 이상의 장거리 무선 전송을 담당한다.

다. 시물레이션 연동

실제 NCW 전장 환경에서 위 게임에서 각 부대들 간의 통신에는 지연시간이 발생하게 된다. 이러한 지연 시간의 계산은 위 게임으로부터 통신소 및 통신 메시지 정보를 넘겨받은 NetSPIN에 의해 계산되고, NetSPIN은 계산된 시간을 위 게임에게 전달한다. 이를 위해 RPR FOM에 명시된 Data라는 Interaction을 사용한다. Data는 송신, 수신 통신소 아이디를 의미하는 OriginationEntity, ReceivingEntity와 메시지 시퀀스를 의미하는 RequestIdentifier, 그리고 데이터 집합을 의미하는 VariableDatumSet 총 4개의 Parameter로 구성된다.

지연시간 이외에도 실제 전장상황과 같이 통신소의 파괴에 대한 묘사가 필요하다. 이러한 묘사를 위해 위 게임 모델 상에서 통신소가 파괴되는 경우에 NetSPIN의 해당 통신소의 상태를 파괴상태로 변경하

여 준다. 이를 위해 RPR FOM에 명시된 Ground Vehicle이라는 Object를 사용한다. Ground Vehicle에는 통신소의 위치를 나타내는 WorldLocation, 파괴 상태를 나타내는 DamageStatus, 그리고 통신소 아이디를 의미하는 EntityID 총 3개의 Attribute로 구성된다.

위 게임 모델과 통신 모델은 HLA/RTI를 이용하여 Interaction을 교환하거나 Object를 공유한다. HLA/RTI는 이와 같은 데이터 교환 기능과 더불어 시간 동기화 기능도 수행하게 된다.

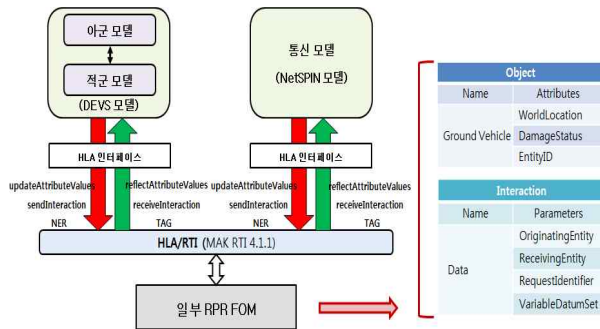


그림 3. 연동 환경 및 일부 RPR FOM

라. 시뮬레이션 시나리오

본 시뮬레이션에서는 육군 방공 작전 시나리오를 적용하였다. 아군은 군단으로 방어하고, 적군은 군단 규모로 육상과 공중으로 나뉘어서 공격한다. 시뮬레이션 시작 시 아군의 최전방에 위치한 수색부대는 적에 대한 탐지정보를 최후방의 군단 사령부에 전달한다. 군단 사령부에서는 정보 융합, 피아 식별 후 적에게 가장 효과적인 타격을 입힐 수 있는 타격 자산을 선택하여 무기할당을 한다. 이 무기할당을 전달 받은 타격자산은 공격을 수행한다. 통신 실패와 통신 지연이 적을수록 정밀타격이 가능하기 때문에 적군의 피해는 증가한다.

III. 메타 모델링

이번 장에서는 이전 장에서 살펴본 연동 시뮬레이션을 바탕으로 메타 모델을 구성한다. 첫 번째 절에서는 여러 통신 파라미터 중에서 메타 모델에 사용하기 위한 통신 파라미터를 추출하고, 두 번째 절에서는 추출된 통신 파라미터를 이용하여 메타 모델을 구성한다.

가. 입력 파라미터 추출

본 절의 목적은 전투 효과도에 영향을 주는 통신 파라미터를 추출하는 것이다. 이를 위해, 통신 트래픽에 영향을 줄 수 있는 통신 모델의 속성 변수를 변경해 가면서 적의 생존율을 측정한다. 속성변수로는 TDU의 Datagram Forwarding Rate, IP라우터에서 패킷 처리를 위해 사용하는 메모리 크기인 Memory Size, TMR의 데이터 속도와 송신채널에서 데이터 송신에 사용하는 출력인 Tx Power, 그리고 수신 채널에서 수신 여부의 기준이 되는 Valid Rx Power Level 총 5가지이다. 실험은 5가지 속성변수 중 4가지는 고정시킨 후, 1가지 변수에 대해서만 최소값과 최대값을 적용하여 결과의 변화를 살펴본다.

각 케이스에 대해서는 30번의 반복실험을 하고, 실험환경은 위 게임 시뮬레이터 PC의 경우 i7-3770 3.4GHz, 12GB RAM, Windows PC이고, NetSPIN 시뮬레이터 PC의 경우 i7-X980 3.33GHz, 12GB RAM, Windows PC이고, NetSPIN 버전은 v0.1(OPNET 17.1)이고, RTI 버전은 MAK RTI v.4.1.1이다.

전투 효과도에 영향을 주는 통신 파라미터로는 데이터 포워딩률, 데이터 속도, 전송 출력이 판별되었다. 데이터 포워딩률이 낮은 경우, 메시지 중 일부만 처리해 메시지의 손실이 발생했기 때문이다. 데이터 속도의 경우 약간의 전송지연으로 인해 전투 효과도에 영향을 주었고, 송신 출력 또한 전송 유무에 영향을 주었기 때문에 전투 효과도에 영향을 주었다. 그 밖의 라우터의 메모리 사이즈에 대해서는 현재 사용하고 있는 메시지의 용량이 라우터 메모리 사이즈를 초과하지 않아 영향을 받지 않았고, 유효 수신 출력에 대해서도 영향을 받지 않았다. 이는 충분히 높은 출력으로 메시지가 전송되기 때문이다.

나. 메타 모델링

메타 모델은 시뮬레이션 모델을 한 단계 더 추상화시켜 간단하게 표현한 모델을 의미한다. 이러한 추상화 과정을 통해, 간단한 모델로 표현되기 때문에 시뮬레이션 모델에 비해 적은 계산 량을 가진다는 장점과 입력과 출력과의 관계가 직관적이라는 장점이 있다.

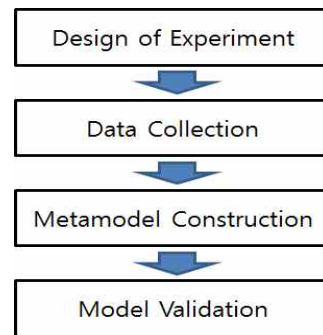


그림 4. 메타 모델링 과정

메타 모델링 과정은 그림 5에서와 같이 크게 Design of Experiment, Data Collection, Meta model Construction, Model Validation 4가지 단계로 구성된다.

Design of Experiment는 여러 개의 샘플 스페이스 중 어느 샘플을 추출할 것인가에 대한 문제로, 이상적인 샘플을 추출할 경우 시뮬레이션 시간과 그에 따른 돈을 절약할 수 있다. 본 실험에서는 RSM (Response Surface Modeling)에서 주로 사용되는 FCC (Face-centered Central Composite)을 이용하여 샘플을 추출하였다. 이는 입력 변수의 수(n)을 차원으로 갖는 다차원 영역을 생성하여 각 변수의 정점과 두 변수의 면 중심점에서 실험 점을 추출하는 방법이다. 아래의 표1은 FCC로 추출한 15개의 실험 점을 보여준다. 메모리 사이즈는 16MB, 유효 수신 전력은 79dBm으로 고정시킨 후, 3가지 파라미터에 대해 값을 변경한다.

	데이터 포워딩률	데이터 속도	송신 출력
1	5000 bits/s	256kbps	0.32W
2	5000 bits/s	256kbps	15.8W
3	5000 bits/s	8192kbps	0.32W
4	5000 bits/s	8192kbps	15.8W
5	500,000 packets/s	256kbps	0.32W
6	500,000 packets/s	256kbps	15.8W
7	500,000 packets/s	8192kbps	0.32W
8	500,000 packets/s	8192kbps	15.8W
9	5000 bits/s	2048kbps	2.51W
10	500,000 packets/s	2048kbps	2.51W
11	5000 packets/s	256kbps	2.51W
12	5000 packets/s	2048kbps	2.51W
13	5000 packets/s	2048kbps	0.32W
14	5000 packets/s	2048kbps	15.8W
15	5000 packets/s	2048kbps	2.51W

표 1. FCC로부터 얻은 15개의 실험케이스

Data Collection에서는 FCC로부터 얻은 15개의 실험케이스에 대한 데이터를 수집한다. 각 케이스에 대해서는 30번의 반복실험을 하고, 통신 파라미터에 변화에 따른 적의 생존률을 측정한다.

Meta model Construction에서는 Data Collection 과정에서 얻은 데이터를 바탕으로 일차 선형 회귀 분석을 통하여 표 2와 같은 메타모델을 구성하였다.

($R^2_{adj} : 0.638$)

	표준화 계수(β)	유의확률
상수		0.000
데이터 포워딩률	-0.845	0.000*
데이터 속도	0.042	0.797
송신 출력	-0.019	0.909

표 2. 일차 선형 회귀 분석 결과

Model Validation은 이전 과정에서 구한 메타모델의 타당성에 대해 논의하는 과정이다. 구해진 메타 모델은 0.638의 결정계수로 이는 회귀분석에서 얻은 메타모델이 관측된 표본을 얼마나 잘 설명해 주고 있는지를 보여준다. 회귀 분석 결과에서 신뢰구간 95%를 기준으로 유의확률이 0.05 이하인 경우 해당 파라미터를 의미 있는 것으로 간주하는데, 본 실험에서는 데이터 포워딩률이 이에 해당되는 것으로 나타났다. 표2에서의 데이터 포워딩률은 -0.845로 강한 직선 경향의 음의 값을 가진다. 이는 데이터 포워딩률이 증가할수록 아군의 통신 원활하게 되고, 통신을 통해 전달받은 메시지로부터 적을 공격해 적의 생존율을 낮추기 때문이다. 이러한 실험 계획법과 회귀 분석을 통해 통신파라미터와 전투 효과도 사이의 직관적인 이해가 가능해진다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 연동을 통하여 통신 효과를 반영한 전투 효과도 측정 과정에서 발생했던 시뮬레이션이 길었다는 문제와 통신파라

미터와 전투효과도 사이의 직관적인 파악이 불가능하다는 점을 개선하기 위해 메타모델을 구성하였다. 통신 파라미터를 입력, 전투 효과도를 출력으로 갖는 메타모델을 통해 전투 효과도와 통신 파라미터 간의 직관적인 관계파악이 가능이 가능하다. 추후 연구에서는 이러한 수식관계를 역으로 이용하여, NCW 환경에서의 특정 전투 효과도를 만족시키는 통신 장비 요구 분석에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국방과학연구소 연구용역과제(UD110086ED)의 지원 및 관리로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 김덕수, 배장원, 김탁곤, “통신 효과 시뮬레이터와의 연동을 고려한 DEVS 기반의 위계임 시뮬레이터 개발”, 한국군사과학기술학회 '11종합학술대회, pp. 115 - 118, 2011년 6월.
- [2] 강봉구, 김병수, 배장원, 성창호, 김탁곤, 안명길, 천재영, “NCW 통신 체계의 전투 효과도 분석을 위한 NetSPIN 통신 모델과 위계임 모델의 시뮬레이션 연동”, 한국시뮬레이션학회논문지, pp. 43 - 55, 2012년 9월.
- [3] Zeigler BP, Praehofer H and Kim TG. “Theory of Modeling and Simulation”, 2nd ed. San Diego, New York: Academic Press, 2000.
- [4] OPNET Technologies, Inc, *OPNET Manual*, <http://www.opnet.com/>
- [5] Defense Information Systems Agency, <http://www.disa.mil/Services/Enterprise-Engineering/JCSS>