

체계 효과도 분석을 위한 공학/교전 모델 연동 시물레이션 기술 연구

홍정희^{1*} · 김탁곤¹

Interoperation between Engineering- and Engagement-level Models for System Effectiveness Analysis

Jeong Hee Hong · Tag Gon Kim

ABSTRACT

Effectiveness analysis of weapon system has been accomplished using engagement-level model alone. However, most previous works are prone to errors due to lack of behavioral information about the weapon systems. In order to overcome these limitations, this paper proposes an interoperation approach between the engagement- and engineering-level models. The proposed approach enables the engagement-level model to be supported by the engineering-level model representing the detailed behavior of weapon systems. Our methodology consider a limited combat situation including operational environments, dynamics and operational errors of weapons, and engagement orders. The paper describes a formalization of the system effectiveness analysis and defines an interface for interoperation between engagement- and engineering-level models. Then, we perform an anti-torpedo combat simulation as a case study.

Key words : System effectiveness analysis, Defense modeling and simulation, Interoperability

요 약

교전급 모델만을 이용한 기존의 체계 효과도 분석 방법은 각종 무기의 동작에 따른 영향을 반영할 수 없으므로 분석 결과에 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 제약 사항은 무기 체계의 특성을 구체적으로 모의하는 공학급 모델의 모의 결과를 교전급 모델의 시물레이션에 반영할 수 있도록 해주는 계층 간 연동 기술로 극복할 수 있다. 본 논문에서는 운용 환경, 운용 전술, 기계적 오차 등과 같은 요인에 따라 변하는 무기 체계의 동적인 특성을 공학급 모델과의 연동을 통해 교전급 모델의 시물레이션에 반영함으로써 체계 효과도 분석에 오차를 줄이는 방안을 제안하고자 한다. 또한, 체계 효과도 분석을 형식화하고 공학/교전 모델 연동을 위한 인터페이스를 정의한다. 본 논문에서 수상함의 대어뢰전 효과도 분석에 제안한 방법론을 적용함으로써 그 활용성을 보인다.

주요어 : 체계 효과도 분석, 국방 모델링 및 시물레이션, 연동

1. 서 론

국방 모델링 및 시물레이션은 시스템의 목적 및 모의하는 대상에 따라 공학급, 교전급, 임무급, 전구급의 네 가지의 다른 추상화 레벨을 가지는 계층적 모델로 분류된다

* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었다(UD080042AD).

접수일(2010년 12월 6일), 심사일(1차 : 2010년 12월 13일), 게재 확정일(2010년 12월 15일)

¹⁾ 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

주 저 자 : 홍정희

교신저자 : 홍정희

E-mail: jhhong@smslab.kaist.ac.kr

(Lalit 등, 1994). 무기 체계의 특성을 구체적으로 모의하는 공학급 모델을 최하위로 하여, 최상위에 군단 이상의 제대가 수행하는 연합 훈련 및 합동 훈련을 모의하는 전구급 모델이 있다.

이와 같은 계층적 모델 구조는 모의 대상 또는 추상화 레벨에 따라 다른 모의 레벨로 모델링함으로써 역할을 분담하고 목적에 적합한 시물레이션 모델을 구성할 수 있다. 그러나 단일 레벨의 모델만으로는 하위 레벨의 모의 결과를 반영할 수 없으므로 한계점을 만들어 내기도 한다. 예를 들어, 상위 모델의 시물레이션 시 하위 모델의 결과가 중요한 정보가 될 수 있으며 하위 모델의 시물레이션 상황은 상위 모델에 의해 제어될 수 있다. 하지만 단일 레벨

의 모델만을 모의하는 경우 다른 모델 레벨의 영향을 받는 요소는 사용자의 파라미터 입력으로 대체될 것이다. 이와 같은 경우 실제 모의 결과를 반영할 수 없으므로 오차가 발생할 가능성을 배제할 수 없을 뿐만 아니라 추가 파라미터의 필요성이 제기된다. 이러한 제약 사항은 상위 모델이 하위 모델의 모의 결과를 시뮬레이션에 적용하고 하위 모델의 시뮬레이션 상황을 제어할 수 있도록 해주는 계층 간 연동 기술로 극복할 수 있다.

본 논문에서는 전투 체계 효과도 분석을 위해 교전급 모델과 공학급 모델의 연동에 대해 다루고자 한다. 공학급 모델은 무기 체계의 기술적인 특징 및 작동을 모의하며 학술적으로는 연속 시스템 모델에 해당한다. 또한, 미분 방정식, 알고리즘 등으로 모델링 할 수 있으며 물리나 전기, 전자, 기계등과 같은 공학에 관련된 도메인 지식을 필요로 한다. 교전급 모델은 운용 상황에서 특정 표적이거나 적의 위협에 대한 개별 무기 체계의 효과도를 평가한다. 학술적 분류로는 이산사건 시스템 모델에 해당하며 DEVS(Discrete Event Systems Specification) 형식론(Zeigler 등, 2000), 란체스터 방정식 등으로 모델링할 수 있으며 전술/교전 규칙과 같은 군사학 또는 OR(Operations Research) 등의 도메인 지식을 필요로 한다.

기존의 연구에서는 교전급 모의 레벨에서 체계 효과도(Measure of Effectiveness, MOE) 분석을 수행함으로써 각종 무기의 제원과 관련된 성능 지수(Measure of Performance, MOP)를 파라미터 입력으로 반영해 왔다. 전투 상황에서 운용하는 무기의 성능이 운용 환경이나 전술 등과 같은 다른 요인에 의해 영향을 받지 않는다면 기존의 방법으로도 의미있는 분석 결과를 얻을 수 있다. 그러나 환경적인 요인 또는 운용 전술에 따라 같은 무기라 할지라도 다른 동작을 보이게 된다. 따라서 기존의 효과도 분석 방법에서는 무기 체계의 동적인 특성을 반영할 수 없으므로 인하여 체계 효과도 분석 결과에 오차를 유발할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 공학급 모델과 교전급 모델 간의 연동을 통하여 해결하고자 한다. 교전급 모델에서 공학급 모델의 모의 결과가 필요할 경우 공학급 모델의 모의 결과를 교전급 모델에 전달하여 교전급 모델의 시뮬레이션에 반영할 수 있도록 한다.

본 논문은 체계 효과도 분석을 형식화하고 무기 체계의 동적인 특성을 반영할 수 있도록 공학/교전 모델의 연동을 통하여 체계 효과도를 분석하는 방안을 고찰해본다. 또한, 연동으로 얻은 결과로부터 민감도 분석을 하여 각 요인들이 체계 효과도에 미치는 영향력을 살펴보고 체계 효과도 향상을 위한 전술 개선 및 무기의 요구 성능을 도

출할 수 있음을 보이고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 체계 효과도 분석 방법을 살펴보고 한계점을 알아본다. 3절에서는 체계 효과도 분석을 형식화하고 4절에서 공학/교전 모델 연동을 통한 체계 효과도 분석에 대해서 다룬다. 5절에서는 제안한 방법론을 적용한 사례로 수상함의 대어퇴전에 대한 효과도 분석을 수행하고 6절에서 결론을 맺기로 한다.

2. 관련 연구

본 절에서는 효과도 분석을 위해 제안된 기존의 방법들에 대해서 먼저 살펴보고자 한다.

Simpkins 등(2001)과 Cho 등(2007)은 다양한 무기 파라미터의 조정에 따른 효과도를 분석하고 있다. 앞선 두 연구 모두 전장에 대한 상황과 무기를 운용하는 데 있어서 다양한 교전 교리 또는 전술을 반영하고 있지 않다. Liang 등(2006)은 다양한 전술 대안에 따른 효과도를 분석하였다. 이러한 방법에서는 정해진 무기 체계에 대해 다양한 전술의 효과를 분석할 수는 있지만 다양한 무기 체계 또는 전장 환경의 변화에 따른 동일 무기 체계의 운용 성능의 변화를 교전 상황에 반영할 수는 없다.

허성필(1997)과 전제환 등(2007)의 연구에서는 무기체계와 관련된 설계 변수들과 교전과 관련된 전술 변수들의 다양한 조합을 반영하여 분석하고자 하였지만, 무기 자체의 자세한 동작을 고려하지 않음으로 인하여 전장 환경 등과 같은 요소에 의한 특성 변화는 고려하지 않고 있다.

본 논문에서는 무기 체계의 자세한 동작을 묘사하는 공학급 모델과 교전 상황에서 전술을 모의하는 교전급 모델 간의 연동을 통하여 선행 연구들의 제약사항들을 극복하고자 한다.

3. 효과도 분석

3.1 체계 성능 및 효과도 분석

무기 체계의 성능은 특정한 동작이나 기능상의 제원을 뜻하며 그림 1과 같이 정해진 특정 시험환경에서 기계적인 설계 파라미터에 따라 측정된다. 무기 체계의 경우 대개 공학급 모델로 표현되며 특정 상황에서의 성능 지수를 시뮬레이션을 통해 얻는다. 그러나 실제 전장 환경에서 무기의 효과지수는 그림 2와 같이 제한된 전투상황 즉, 해당 무기를 운용하는 전장 환경, 교전 교리에 따라 달라지며 이러한 상황은 교전급 모델로 표현된다. 따라서 체



그림 1. 무기 체계의 성능 측정



그림 2. 체계효과도 측정

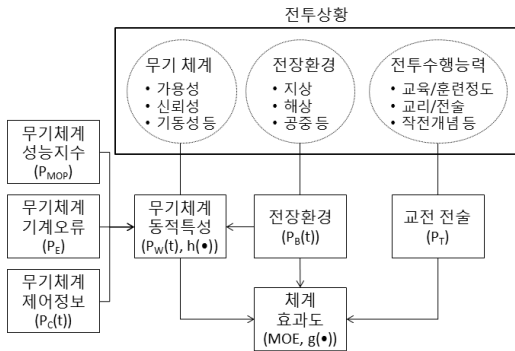


그림 3. 전투 상황과 체계 효과도의 관계

계의 효과도 분석을 위해 공학급 모델과 교전급 모델의 연동이 필수적이라는 것을 알 수 있다.

그림 3에서 보듯이 전투 상황에는 무기 체계, 전장 환경 및 전투수행 능력이 포함된다. 교전은 지상, 해상, 수중, 공중 등과 같은 공간에서 일어나며 어느 환경에서 교전이 벌어지는가가 무기체계에 큰 영향을 미칠 수 있다. 또한 교전이 일어나고 있는 전장에서의 환경 상태도 마찬가지로 전투 효과에 영향을 미친다. 같은 전장이라 하더라도 무기체계의 제원에 따라 다른 효과도를 보일 수 있으며 같은 무기라 할지라도 어떻게 운용하느냐에 따라 다른 효과도를 보일 수 있다. 이와 같이 체계 효과도를 측정할 때는 각 무기 체계의 성능, 교전이 발생하는 전장 환경, 그리고 운용 전술을 고려해야 한다.

3.2 효과도 분석의 형식화(Formalization)

3.1절에서 전투 체계의 효과도를 측정하기 위해 고려

해야 할 요소들을 살펴보았다. 이 요소들 간의 관계에 따른 효과도 분석을 아래와 같이 정의한다.

$$P_W(t) = h(P_{MOP}, P_B(t), P_E, P_C(t)) \quad (1)$$

$$MOE = g(P_W(t), P_B(t), P_T) \quad (2)$$

여기서,

$D = \{d_i\}$; 무기 체계 식별자 집합

$MOE = \{MOE_i | 1 \leq i < \infty\}$; 체계 효과도

$P_{MOP} = \{P_{MOP_{i,j}} | i \in D, 1 \leq j < \infty\}$; 무기 i 의 성능 지수 j 의 집합

$P_B = \{P_{B_i} | 1 \leq i < \infty\}$; 무기 체계에 영향을 미치는 환경 정보 집합

$P_E = \{P_{E_{i,j}} | i \in D, 1 \leq j < \infty\}$; 무기 체계 i 의 기계적 인 오류 j 의 집합

$P_C = \{P_{C_{i,j}} | i \in D, 1 \leq j < \infty\}$; 무기 체계 i 의 제어 정보 j 의 집합

$P_T = \{P_{T_{i,j}} | i \in D, 1 \leq j < \infty\}$; 무기 i 의 운용 교리 j 의 집합

$P_W = \{P_{W_{i,j}} | i \in D, 1 \leq j < \infty\}$; 무기 i 의 동적 특성 j 의 집합

식 (1), (2)와 같이 정의된 MOE와 무기 성능을 해석적 모델(analytic model)로 구성할 수 있으면 분석에 대한 비용과 노력을 절감할 수 있다. 그러나 P_T 와 같은 운용 전술에 대한 파라미터를 정량화하는 것은 거의 불가능하며 또한 환경 요소인 P_B 는 모델로 제공되기 때문에 환경이 미치는 영향을 계수로 정량화하는 것이 어렵다. 따라서 실제 전장 환경 및 무기체계 실험 환경을 컴퓨터상에서 유사하게 모의하는 시뮬레이션 모델로써 그 역할을 대신한다.

4. 공학/교전 모델 연동

4.1 공학급 모델

공학급 모델은 그 목적에 따라 MOP를 산출하기 위한 상세한 수준의 모델과 MOP가 이미 알려진 무기 체계의 시간에 따른 성능의 변화나, 환경 및 전술의 변화가 성능에 미치는 영향을 모의하기 위한 모델로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 후자를 대상으로 한다. 3절에서 살펴본 바와 같이 실제 환경에서 실무기를 운용하여 그 특성을 살펴

기에는 비용과 위험요소가 크므로 시뮬레이션 모델을 이용한다.

그림 4와 같이 공학급 모델은 무기 체계의 제원인 성능 지수 P_{MOP} , 무기의 정상적으로 동작할 확률등의 기계적인 오류 파라미터 P_E , 무기 체계에 영향을 미치는 환경 정보 P_B , 그리고 무기 체계의 제어 정보 P_C 에 따른 무기의 동적 특성을 모의한다. 이러한 공학급 모델은 학술적으로 연속시간 시스템에 해당되며 미분방정식, 알고리즘의 형태로 모델링할 수 있다.

4.2 교전급 모델

MOP와 마찬가지로 MOE 또한 실제 교전 상황을 구성하여 측정하는 것이 현실적으로 불가능하며 많은 설계 변수와 전술 변수를 통합하여 해석적 모델을 설계하는 것도 어려우므로 시뮬레이션 모델을 이용한다.

그림 5와 같이 체계의 MOE는 주어진 전투상황에 맞는 모의 논리를 모델로 표현한 교전급 모델에 무기 체계의 성능 지수, 전장 환경 정보, 운용 전술을 다양한 조합으로 반영하여 여러 상황에서의 MOE를 효과적으로 측정할 수 있다. 이러한 교전급 모델은 학술적으로 이산사건 시스템에 해당되며 DEVS 형식론, 란체스터 방정식 등으로 모델링 할 수 있다.

4.3 환경 모델

무기 체계의 효과도는 대기, 지형 등과 같은 환경적인 요소 및 해당 무기 체계가 실제 배치될 교전 환경을 함께 고려하여 분석해야 한다. 이러한 전장 환경을 나타내는 모델은 정적 모델과 동적 모델로 나눌 수 있다. 정적 모델은 교전이 이루어지는 전장의 정보를 초기에 정의하여 시뮬레이션 도중에는 바뀌지 않는다고 가정하며 반면에 동적 모델은 시시각각 바뀌는 지형, 바람, 기후 등과 같은 환경 요소를 모의한다.

4.4 공학/교전 모델 연동

기존의 방법은 전투 상황에서 운용 환경이나 전술 등이 무기의 동작 특성에 미치는 영향을 반영하기가 어렵다. 이와 같은 제한점을 극복하기 위해 공학급 모델로부터 무기의 동작 상태를 제공받아 교전급 모델에서 반영할 수 있는 연동을 통한 효과도 분석 방법을 제안한다.

그림 6과 같이 교전급 모델에서는 전장 환경 모델로부터 제공받은 환경 정보와 공학급 모델로부터 제공받은 무기 체계의 정보, 그리고 무기 체계의 운용 전술 조합을 통

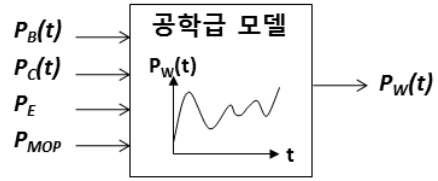


그림 4. 무기체계의 동적 특성 모의를 위한 공학급 모델

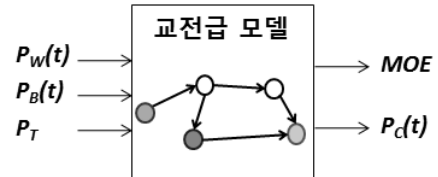


그림 5. 체계 효과도 측정을 위한 교전급 모델

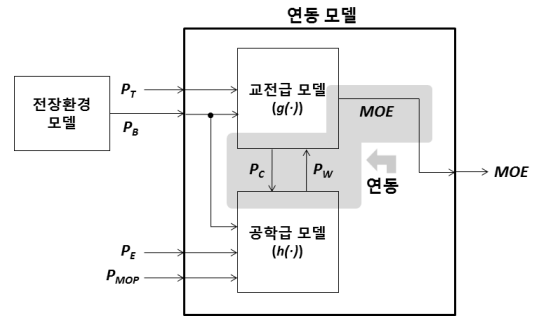


그림 6. 효과도 분석을 위한 공학/교전 모델 연동 개념

해 시나리오를 구성하여 전투 실험을 수행한다. 교전급에서 전투 상황을 모의하면서 무기 체계와 관련된 공학급 파라미터가 필요할 경우 해당 공학급 모델에 정보를 요청하게 된다. 이때, 교전급 모델은 공학급 모델의 작동에 영향을 미치는 환경 요소, 제어 정보를 공학급 모델로 넘겨준다. 요청을 받은 공학급 모델은 무기 체계의 다양한 기계 파라미터와 현재 환경에서의 동적 특성을 모의하여 위치 정보와 같은 동작 상태를 교전급 모델에 전달한다. 따라서 공학급 모델로부터 무기의 자세한 동작에 대한 모의 결과를 제공받음으로써 다양한 전장 환경, 전술에 대한 효과도를 측정할 수 있다.

4.5 연동 인터페이스 정의

공학급과 교전급에서 고려되는 파라미터를 식별하고 이들 중 공통되는 요소를 연동 데이터로 정의한다. 그림 6에서 보는 바와 같이 각각의 모델에서 고려되는 파라미터와 공통되는 요소를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 공학급/교전급 파라미터 분류

| 공학급 파라미터 | 교전급 파라미터 | 공통 파라미터 | 공유 파라미터 |
|----------------|----------|---------|------------|
| P_E, P_{MOP} | P_T | P_B | P_W, P_C |

P_E, P_{MOP}, P_T 와 같이 단일 레벨의 모델에서만 고려되는 파라미터는 각각의 모델로 독립적으로 제공되는 입력 변수가 된다. 이 중 P_E, P_{MOP} 는 무기체계와 관련된 기술 변수에 해당하며 P_T 는 무기의 운용 논리와 관련된 전술 변수이다. 이와 같은 변수들은 연동 모델의 시뮬레이션 전에 설정하는 정적인 값이라고 볼 수 있다.

위의 변수들과는 달리 공통 파라미터로 식별된 P_B 는 공학/교전 레벨 모두에서 필요로 하는 정보이며 이는 서로 제공하는 정보가 아니라 외부에서 제공되는 정보이다. 전장 환경 정보는 전장 환경 모델로부터 동적 또는 정적으로 제공될 수 있다.

P_W 와 P_C 와 같은 공유 파라미터는 시뮬레이션 도중에 교전급 모델과 공학급 모델 사이에서 계속적으로 주고받는 동적인 정보이다. 교전급 모델이 교전 상황 모의 도중 개별 무기 체계가 현재의 운용 환경에 따라 어떠한 성능을 내고 있는지에 대한 정보가 필요할 경우 해당 무기 체계 공학급 모델에 정보를 요청하거나 제어하는 P_C 를 제공한다. 이를 이용하여 공학급 모델은 현재 무기의 성능 상태 P_W 를 교전급 모델에 제공하여 효과도 측정에 반영할 수 있도록 한다.

교전급 모델과 공학급 모델이 연동 데이터 P_B 와 P_C 를 주고받기 위해서는 두 모델 사이에서 데이터 형식에 대한 규약과 데이터의 내용을 해석할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 두 모델은 독립적으로 존재하는 모델로써 시뮬레이션 되므로 시뮬레이션 시간을 동기화해야 한다. 이와 같은 데이터 교환과 시간 동기화에 대한 연동 표준인 HLA(High Level Architecture)(IEEE, 2000)는 이미 널리 사용되고 있으므로 두 모델을 HLA 규약을 만족시키도록 설계한다면 연동에 대한 기술적인 문제는 쉽게 해결할 수 있다.

5. 예제: 수상함의 대어뢰전 효과도 분석

5.1 수상함의 대어뢰전 시나리오

수상함의 대어뢰전 전술을 펼치는 전투 상황은 그림 7과 같다. 해상에서 기동하고 있는 수상함과 수중에서 수상함을 향해 발사된 어뢰, 그리고 어뢰에 대한 방어 체계

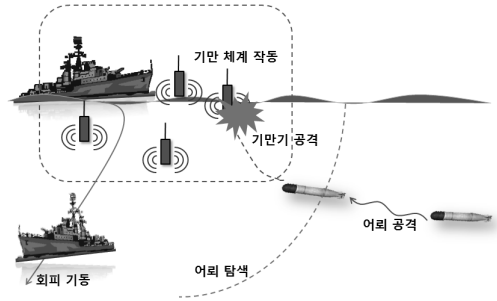


그림 7. 수상함의 대어뢰전 전투 상황

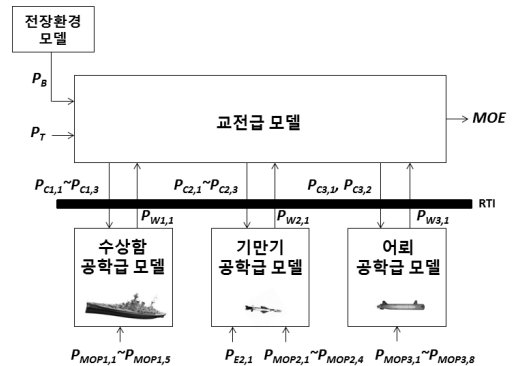


그림 8. 수상함의 대어뢰전 효과도 분석 연동 모델 구조

인 기만기가 있다. 기만 체계는 기만기의 동작 특성에 따라 고정식과 자항식 기만기를 사용하며 수상함은 4개의 기만기를 운용한다고 가정한다. 어뢰는 발사된 직후에 사형 탐색을 하다가 표적을 발견하면 직선 운동으로 표적을 향해 돌진하며 표적이 기만기일 경우 기만기를 명중시킨 후 다시 원형 탐색을 통해 다른 표적을 탐색한다(홍정희 등, 2010).

수상함의 대어뢰전 시나리오 절차는 다음과 같다.

- ① 발사된 적 어뢰가 표적을 탐색한다.
- ② 어뢰가 수상함의 경보 거리 내에 진입하면 수상함은 기만체계를 작동시키고 회피기동을 한다.
- ③ 어뢰는 기만기를 표적으로 인식하여 공격 후 새로운 표적을 재탐색한다.
- ④ 수상함이 어뢰를 회피하는데 성공하면 생존, 그렇지 않으면 파괴된 것으로 판단한다.

5.2 연동 모델 구성

그림 8과 같이 수상함, 기만기, 어뢰의 움직임을 묘사

표 2. 파라미터 리스트

| (a) 무기 체계의 성능 지수(P_{MOP}) | |
|-------------------------------|---|
| 이름 | 설명 |
| $P_{MOP_{1,1}}$ | 수상함의 속도(default=15knts) |
| $P_{MOP_{1,2}}$ | 수상함의 소스레벨(default=140dB) |
| $P_{MOP_{1,3}}$ | 수상함의 위치(default=<0,0,0>m) |
| $P_{MOP_{1,4}}$ | 수상함의 회전반경(default=3°/s) |
| $P_{MOP_{1,5}}$ | 수상함의 편향각(default=0°) |
| $P_{MOP_{2,1}}$ | 자항식 기만기의 속도(variable) |
| $P_{MOP_{2,2}}$ | 기만기의 동작시간(variable) |
| $P_{MOP_{2,3}}$ | 기만기의 소스레벨(default=140dB) |
| $P_{MOP_{2,4}}$ | 기만기의 발사각(default=3°) |
| $P_{MOP_{3,1}}$ | 어뢰의 속도 (<low/middle/high>=<18/23/35>knts) |
| $P_{MOP_{3,2}}$ | 수상함과과의 거리(default=10,000m) |
| $P_{MOP_{3,3}}$ | 어뢰의 동작시간(default=2400s) |
| $P_{MOP_{3,4}}$ | 사형 탐색시 최대 회전각(default=40°) |
| $P_{MOP_{3,5}}$ | 어뢰의 회전반경(default=3°/s) |
| $P_{MOP_{3,6}}$ | 어뢰의 편향각(default=180°) |
| $P_{MOP_{3,7}}$ | 어뢰의 상하 이동각(default = 0°) |
| $P_{MOP_{3,8}}$ | 어뢰의 탐지 능력(<Bean length, Bean angle>=<3000m, 24°>) |

| (b) 전장 환경(P_B) | |
|--------------------|--|
| 이름 | 설명 |
| 해류방향 | 수상함, 기만기, 어뢰의 속도에 영향을 미침 (default=수상함의 진행방향) |

| (c) 무기 체계의 기계적 오류(P_E) | |
|----------------------------|-------------------------|
| 이름 | 설명 |
| $P_{E_{2,1}}$ | 정상 동작할 확률.(default=90%) |
| | 발사 위치 오차.(default=5%) |

| (d) 무기 체계 운용 교리(P_T) | |
|--------------------------|----------|
| 이름 | 설명 |
| $P_{T_{1,1}}$ | 수상함 회피전술 |
| $P_{T_{2,1}}$ | 기만기 운용전술 |

| (e) 무기 체계 제어 정보(P_C) | |
|--------------------------|---|
| 이름 | 설명 |
| $P_{C_{1,1}}$ | ENGAGE_SHIP(EVASIVE_COURSE) 수상함의 회피기동 명령(회피방향) |
| $P_{C_{1,2}}$ | 수상함 공학급 모델 시뮬레이션 시작 |
| $P_{C_{1,3}}$ | 수상함 공학급 모델 시뮬레이션 종료 |
| $P_{C_{2,1}}$ | ENGAGE_DEC(ID, POSITION, LAU NCH_DIRECT, MOTION_TYPE) 기만기 운용 명령(기만기 식별자, 위치, 발사각, 종류) |
| $P_{C_{2,2}}$ | 기만기 공학급 모델 시뮬레이션 시작 |
| $P_{C_{2,3}}$ | 기만기 공학급 모델 시뮬레이션 종료 |
| $P_{C_{3,1}}$ | 어뢰 공학급 모델 시뮬레이션 시작 |
| $P_{C_{3,2}}$ | 어뢰 공학급 모델 시뮬레이션 종료 |

| (f) 무기 체계 동적 특성(P_W) | |
|--------------------------|--|
| 이름 | 설명 |
| $P_{W_{1,1}}$ | SHIP(POSITION, V, SL) 수상함 현재 정보(위치, 속도, 소스레벨) |
| $P_{W_{2,1}}$ | DECOY(ID, POSITION, V, SL) 기만기 현재 정보(식별자, 위치, 속도, 소스레벨) |
| $P_{W_{3,1}}$ | TORPEDO(POSITION, V) 어뢰 현재 정보(위치, 속도) |

하는 공학급 모델과 교전 전술 및 결과 분석 등을 수행하는 교전급 모델로 연동 모델을 구성한다.

각각의 모델은 RTI를 통하여 정보를 주고받으면서 연동 시뮬레이션을 수행한다. 교전급 모델은 DEVS 형식론으로 모델링하고 DEVSim++(Kim, 2010) 환경에서 개발하였으며, 공학급 모델은 미분방정식으로 모델링하고 MATLAB/Simulink(MathWorks, 2007)로 개발하였다. 이들 사이의 연동을 위하여 RTI 및 HLA 어댑터(홍정희 등, 2009)를 이용하였다(Sung 등, 2009).

각 모델의 파라미터 설계는 다음과 같다.

$$D = \{1, 2, 3\}$$

1: 수상함, 2: 기만기, 3: 어뢰

$$MOE = \{\text{수상함의 생존율}\}$$

$$P_{MOP} = \{P_{MOP_{1,1}}, \dots, P_{MOP_{1,5}}, P_{MOP_{2,1}}, \dots, P_{MOP_{2,3}}, P_{MOP_{3,1}}, \dots, P_{MOP_{3,8}}\}$$

$$P_B = \{\text{해류 방향}\}$$

$$P_E = \{P_{E_{2,1}}\}$$

표 3. 효과도 분석을 위한 실험 계획

| 실험변수 | 변수값 범위 |
|------------|--|
| 수상함 회피전술 | 30, 60, 90 ° |
| 기만기 운용전술 | DP1(고정식 4개), DP2(자항식 4개), DP3(전방위 2개 고정식, 후방위 2개 자항식), DP4(전방위 2개 자항식, 후방위 2개 고정식) |
| 기만기 동작시간 | 240, 360, 480sec |
| 자항식 기만기 속도 | 3, 6, 9knot |
| 총 실험횟수 | 108cases(각 case 별로 몬테카를로 시뮬레이션 100회 실행) |

표 4. 민감도 분석을 위한 메타모델(* for p < 0.05)

| Standardized Coefficient | Survival Rate | |
|--------------------------|---------------|---------|
| 수상함 회피전술 | 0.060 * | |
| 기만기 운용전술 | DP1 | 0.295 * |
| | DP2 | 0.864 * |
| | DP3 | 0.859 * |
| | DP4 | 0.479 * |
| 기만기 동작시간 | 0.171 * | |
| 자항식 기만기 속도 | 0.164 * | |
| R_{adj}^2 | 0.335 | |

$$P_T = \{P_{T_{1,1}}, P_{T_{2,1}}\}$$

$$P_C = \{P_{C_{1,1}}, \dots, P_{C_{1,3}}, P_{C_{2,1}}, \dots, P_{C_{2,3}}, P_{C_{3,1}}, P_{C_{3,2}}\}$$

$$P_W = \{P_{W_{1,1}}, P_{W_{2,1}}, P_{W_{3,1}}\}$$

각 파라미터에 대한 상세한 설명은 표 2와 같다.

5.3 실험 시나리오 설계

수상함의 대어뢰전 효과도 분석 연동 시뮬레이션의 목적은 기만기의 운용 전술 및 수상함의 회피 전술, 기만기의 성능 제한인 속도와 동작시간에 따른 수상함의 생존율을 살펴보는 것이다. 이를 살펴보기 위한 실험 계획은 표 3과 같다.

5.4 실험 결과 분석

연동 실험을 통하여 효과도 즉, 수상함의 생존율에 어떤 요소가 큰 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 실험 결과를 회귀 분석하여 메타모델을 구한 결과는 표 4와 같

다. 분석 결과 기만기의 운용 전술이 수상함의 생존율에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며 기만기의 동작시간이 길고 빠른 속도를 가진 기만기를 운용할수록 생존율을 높일 수 있음을 알 수 있다. 또한, 기만기의 운용 전술에 있어서 고정식 기만기보다 자항식 기만기가 더 효율적이라는 것을 알 수 있다. 그러나 자항식 기만기는 고정식 기만기보다 비싼 무기 체계이므로 비용과 효과도 사이에서 절충안이 필요하다. 이를 위해 고정식과 자항식을 함께 배치하여 운용하는 경우 DP3과 DP4의 회귀계수에 보듯이 어디에 배치하여 운용하느냐에 따라 모든 기만기를 자항식으로 운용했을 경우와 유사한 효과도를 보일 수 있음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구 계획

무기 체계의 실제 운용 효과는 해당 무기를 운용하는 전장 환경, 교전 교리 등에 따라 달라진다. 본 논문은 체계 효과도 분석 방법을 정의하고 무기 체계의 동적인 특성을 자세히 모의하는 공학급 모델과 교전 교리 및 상황을 모의하는 교전급 모델의 연동을 통한 효과도 분석 방법을 제안한다.

제안한 방법론을 수상함의 대어뢰전 효과도 분석에 적용하여 연동 시뮬레이션을 수행하다. 또한, 연동 시뮬레이션으로부터 얻은 결과에 대하여 파라미터의 민감도 분석을 통하여 각 요인들 중 체계 효과도에 큰 영향력을 미치는 요인을 식별하였다.

향후 연구로서 무기 체계의 효과도 분석을 통하여 체계의 운용 또는 새로운 체계의 획득 시, 효과도에 큰 영향을 미치는 요인으로 식별된 요소의 변화에 따른 효과도에 대한 추가 시뮬레이션을 수행함으로써 체계의 효과도 향상을 위한 전술 개선 방안 또는 무기의 요구 성능을 도출하여 제안하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었다(UD080042AD).

참고 문헌

1. 전제환, 지철규, 한남수, “공대공 전투효과도 분석(COBRA),” 한국항공우주학회 춘계학술발표회, pp. 428-431, 2007년 4월.

2. 허성필, “몬테칼로 시뮬레이션을 이용한 유도어뢰 회피전술 체계의 효과도 분석,” 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp. 219-222, 1997년 4월.
3. 홍정희, 성창호, 안정현, 김탁곤, “IEEE 1516 HLA/RTI 기반 연동 시뮬레이션을 위한 연동 어댑터의 설계 및 구현,” 한국군사과학기술학회 논문지, 12(1), pp. 88-96, 2009년.
4. 홍정희, 서경민, 김탁곤, “전투체계효과도 및 성능 분석을 위한 공학/교전 모델 연동,” 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 184-187, 2010년 6월.
5. B.P. Zeigler, T.G. Kim, and H. Praehofer, Theory of modeling and simulation, 2nd Ed., Academic Press, Inc., 2000.
6. C.H. Sung, J.H. Hong, and T.G. Kim, “Interoperation of DEVS models and differential equation models using HLA/RTI: Hybrid simulation of engineering and engagement level models,” Proceedings of the 2009 Spring Simulation Multiconference, Mar. 2009.
7. D.Y. Cho, M.J. Son, J.H. Kang, et al., “Analysis of a submarine’s evasive capability against an antisubmarine warfare torpedo using DEVS modeling and simulation,” Proceedings of the Spring Simulation Multiconference, pp. 307-315, 2007.
8. IEEE, “IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) - federate interface specification,” Std. 1516.1, 2000.
9. K.H. Liang and K.M. Wang, “Using simulation and evolutionary algorithm to evaluate the design of mixed strategies of decoy and jammers in anti-torpedo tactics,” Proceeding of the 38th Winter Simulation Conference, pp. 1299-1306, 2006.
10. K. Lalit, G. Joseph, and O. Richard (1994), “System acquisition manager’s guide for the use of models and simulations,” Report of the DSMC, Defense Systems Management College Press, 1994.
11. MathWorks, “Using SIMULINK manual,” The math works Inc, 2007.
12. S.D. Simpkins, E.P. Paulo, and L.R. Whitaker, “Case study in modeling and simulation validation methodology,” Proceedings of the 33rd Winter Simulation Conference, pp. 758-766, 2001.
13. T.G. Kim, “DEVSIm++ user’s manual,” <http://smslab.kaist.ac.kr>, 2010.



홍 정 희 (jhhong@smslab.kaist.ac.kr)

2005 부산대학교 전자전자정보컴퓨터공학부 학사
 2007 KAIST 전자전산학과 석사
 2007~현재 KAIST 전자전산학과 박사과정

관심분야 : Discrete Event Systems Modeling/Simulation, Distributed Simulation, Simulators Interoperation



김 탁 곤 (tkim@ee.kaist.ac.kr)

1975 부산대학교 전기공학과 학사
 1980 경북대학교 전기공학과 석사
 1988 Univ. of Arizona, 전기및컴퓨터공학과 박사
 1980~1983 부경대학교 통신공학과 전임강사
 1987~1989 (미)아리조나 환경연구소 연구엔지니어
 1989~1991 Univ. of Kansas 전기및컴퓨터공학과 조교수
 1991~현재 KAIST 전자전산학과 교수

관심분야 : 모델링/시뮬레이션 이론, 방법론 및 환경개발, 시뮬레이터 연동