성능/교전 효과도의 상호 분석이 가능한 전투 개체 기반의 모델링 방법론 - 제1부 : 개념 모델 설계

서경민^{*,1)} · 김탁곤¹⁾ · 송해상²⁾ · 김정훈³⁾ · 정석문⁴⁾

¹⁾ 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

²⁾ 서원대학교 컴퓨터공학과

³⁾ 국방과학연구소 수중임무분석실

⁴⁾ 해군사관학교 무기체계공학과

Combat Entity Based Modeling Methodology to Enable Joint Analysis of Performance/Engagement Effectiveness - Part 1 : Conceptual Model Design

Kyung-Min Seo^{*,1)} · Tag Gon Kim¹⁾ · Hae-Sang Song²⁾ · Jung Hoon Kim³⁾ · Suk Moon Chung⁴⁾

¹⁾ Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

²⁾ Department of Computer Engineering, Seowon University, Korea

³⁾ Agency for Defense Development, Korea

⁴⁾ Korea Naval Academy, Korea

(Received 7 November 2013 / Revised 17 February 2014 / Accepted 8 March 2014)

ABSTRACT

This paper proposes a flexible and highly reusable modeling methodology for a next-generation combat entity which enables joint analysis of performance/engagement effectiveness. According to the scope of the proposed work, the paper is divided into two parts; Part 1 focuses on a conceptual model design, whereas Part 2 proposes detailed model specification and implementation. In Part 1, we, first, classify the combat entity model as combat logic and battlefield function sub-models for joint analysis. Based on the sub-models, we propose two dimensional model partition method, which creates six groups of a single combat entity model by two dimensions: three-activity and two-abstraction. This grouping enables us to reconfigure the combat entity model by sharing the same interface within the group, and the same interface becomes the fundamental basis of the flexible model composition. Furthermore, the proposed method provides a model structure that effectively reflects the real world and maximizes the multi-level reusability of a combat entity model. As a case study, we construct a model design for anti-surface ship warfare. The case study proves enhancement of model reusability in the process of scenario expansion from pattern running to wire guided torpedo operations.

Key Words : Defense System(국방 시스템), Engagement/Engineering Model(교전/공학 모델), Tactic(전술), Naval Warfare(해전), Model Reusability(모델 재사용성)

* Corresponding author, E-mail: kmseo.kumsung@gmail.com

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

차기 전투기/잠수함, 자항식(Mobile) 기만기, 선유도(Wire-guided) 어뢰와 같은 새로운 개념의 차기(Next-generation) 전투 플랫폼/무기 체계(혹은 시스템으로 본 연구에서는 문맥에 따라 체계와 시스템을 혼용하여 사용한다)는 개발에 막대한 예산과 기간이 소요된다. 이에 따라 개발 초기 단계부터 체계의 성능 분석을 통한 군 요구의 적절성 검토와 함께 이들을 효과적으로 운용할 수 있는 전술/교리를 개발하는 과정이 지속적으로 요구된다^[1]. 모델링 시뮬레이션(M&S : Modeling and Simulation)은 이러한 성능 분석과 전술/교리의 시험 평가에 좋은 대안이 될 수 있는데^[2], 예를 들어 고속정 전투 체계의 함포 성능 분석^[3]이과 수상함 대잠 탐색 전술 분석^[4]등에 M&S의 활용이 가능하다.

차기 전투 플랫폼/무기 체계의 M&S 적용은 전장에서 활용되는 체계의 공학적 성능 측면인 전장 기능(Battlefield Function)과 이를 운용하는 전술/교리와 같은 전투 논리(Combat Logic)를 융합한 상호 분석(Joint Analysis)적인 효과도(Effectiveness)를 측정하는 것에 그 목적(Objective)이 있다^[5]. 이러한 성능/교전(Performance/Engagement) 효과도의 상호 분석은 체계 개발 전(前) 단계부터 수행되어야 하기 때문에 반복/점진적인(Iterative & Incremental) M&S를 통해 기존의 전투 논리의 예상치 못한 문제점을 발견하고 개선하거나 제안된 전장 기능 요구사항이 적절한 지를 검토/수정해야 한다. 따라서 차기 전투 플랫폼/무기 체계의 효율적인 전투 평가를 위해서는 체계를 전장 기능 요소와 전투 논리 요소에 따라 부 체계(Sub-system) 별로 세분화하여 모델링하는 것이 필요하고, 이러한 모델링 결과는 M&S 적용 전(全) 단계에 걸쳐 목적에 따라 부 체계의 수정/확장이 용이해야 한다.

최근 많은 국내·외 사례에서 전투 플랫폼/무기 체계의 M&S에 대한 연구들이 많이 진행되어 왔는데, 이들은 다음의 제약 사항을 가진다. 먼저, 전투 플랫폼/무기 체계를 전장 기능과 전투 논리를 표현하는 데 있어 현실에 근접하게 표현하는 기법이 부족하였고^[6,7], 다음으로 모델링 결과를 변화하는 교전 상황에 맞추어 수정/확장하는 데 있어서 한계점^[8-11]이 있었다. 특히, 이들은 전장 기능과 전투 논리 요소 중 일부 요소에 한하여 재구성성이 유연한 모델링 방법을 제안했기 때문에 다양한 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위해서는 모델 재사용성 측면에서 제한적이다.

본 연구는 성능/교전 효과도의 상호 분석에 적합하도록 개선된 모델링 방법론을 제안한다. 모델링 대상은 차기 전투 플랫폼/무기 체계로써 수상함, 잠수함, 항공기 등과 같은 전투 세력과 어뢰, 미사일, 기만기 등과 같은 무장 세력이 해당되며 이들을 통칭하여 ‘전투 개체(Combat Entity)’라고 정의한다. 제안하는 방법론의 궁극적인 목적은 해당 전투 개체의 전장 기능 요소와 이를 운용하는 전투 논리 요소를 융합한 상호 분석적인 전투 평가(효과도)를 도출하는 것이다. 이를 위해 본 연구는 제안 방법의 내용과 범위에 따라 1부와 2부로 나누어 설명한다.

먼저, 1부의 주된 내용은 일반적인 M&S 개발 단계^[12] 중에서 개념 모델 설계(Conceptual Model Design) 단계에 해당한다. 제안하고자 하는 개념 모델 설계는 전투 개체 모델의 핵심 활동(Activity)인 전술 운용(Tactical Employment) 측면에서 전투 논리 요소를 세분화하여 제시하고 이를 전장 기능 요소와 결합하여 전체 모델을 구성하는 방안이다. 이러한 모델 설계 방법을 본 연구에서는 2차원 모델 분할 기법(Two Dimensional Model Partition Method)이라 제안한다. 제안하는 기법의 가장 큰 장점은 전장 기능 요소 뿐 아니라 전투 논리 요소 측면에서도 부 모델(Sub-model)의 재사용(Reusability)이 용이하고, 성능/교전 효과도의 상호 분석 과정 중에 발생하는 일부 부 모델의 수정/확장에 유연하는 점이다.

사례 연구로써 개념 모델 설계의 효용성을 입증하기 위해 수상함의 대함어뢰전에 대하여 2차원 모델 분할 기법과 기존의 모델 설계를 비교/분석하였다. 그리고 이어지는 2부에서는 1부에서 제안하는 개념 모델 설계를 바탕으로 상세 모델 설계(Detailed Model Design)와 모델 구현을 설명하고, 시뮬레이션을 통한 성능/교전 효과도의 상호 분석 결과를 살펴본다.

본 연구의 1부 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서 연구 동기를 설명하고, 3장에서 관련 연구로 국방 모델 및 시뮬레이션의 계층 구조와 교전/공학 모델에 대한 기존 연구를 살펴본다. 4장에서는 전투 논리와 전장 기능 측면에서 전투 개체 모델의 구성 요소를 제시하고, 5장에서 제안하고자 하는 모델 설계 방법인 2차원 모델 분할 기법을 설명한다. 이어서 6장은 사례 연구로 제안 방법과 기존 방법에 대해 M&S 과정 중 발생하는 모델 재사용성을 비교/분석하고, 7장에서 결론을 맺는다.

2. 연구 동기 - 성능/교전 효과도의 상호 분석

교전 상황에서 개별 전투 개체는 특정한 임무를 수행한다. 예를 들어 해전(Naval Warfare)에서 잠수함이 수행하는 임무 중 하나인 대함전(ASW : Anti Surface ship Warfare)을 생각해 보자. 대함전의 임무 달성은 어뢰와 같은 공격무기 체계로 표적 수상함을 명중시키는 것이고, 이 때 전투 평가(효과도 지수)는 표적의 명중률로 나타낼 수 있다^[1]. 이러한 교전 상황은 보통 단계별 세부 절차^[13]로 나뉘는데, 탐색, 접근, 식별, 공격 및 회피 등이 그것들이다.

Fig. 1. Several detailed tactics for submarine's ASW (Anti Surface ship Warfare)

Fig. 1은 대함전 전술의 몇 가지 세부 절차를 나타낸다. 예를 들어, 표적의 예상 경로를 예측하기 위한 표적접근 전술(Tactic₁), 공격 무기의 발사 전술(Tactic₂), 표적을 효과적으로 명중하기 위한 공격무기의 탐색 전술(Tactic₃), 공격무기의 유도제어 전술(Tactic₄) 등은 대함전의 교전 효과도 측정을 위해 고려되어야 하는 세부 전술들이고 이들 전술의 운용이 바로 전투 논리 요소가 된다.

대함전과 같은 특정한 임무의 정확한 전투 평가를 위해서 앞서 설명한 다양한 전투 논리 요소 뿐 아니라 기동 체계(P_{Moving})나 탐지 체계(P_{Sensing}) 등과 같은 전투 개체의 성능 요소인 전장 기능 요소도 고려해야

한다. 대부분의 경우 전투 개체는 전장 기능 요소와 전투 논리 요소가 서로 밀접한 관계를 가지고 상호작용(Interaction)을 통해 특정 임무를 수행한다. 예를 들어, Tactic₃의 탐색전술의 효용성은 일정한 성능 이상의 기동/탐지 체계가 보장이 되어야 한다. 따라서 국방 시스템 모델은 전투 논리와 전장 기능을 모두 고려한 전투 개체 모델을 포함해야 하고 Fig. 2는 이를 추상적으로 나타낸다.

Fig. 2. Abstraction representation of defense system model for joint analysis

Fig. 2의 국방 시스템 모델은 교전에 참여하는 다수의 전투 개체 모델과 피해평가(Damage Assessment) 및 환경 모델 등을 포함한다. 전투 개체 모델은 앞서 설명한 바와 같이 상호 분석을 위해 전투 논리 요소와 전장 기능 요소를 모두 포함하고, 이들 요소는 상호작용을 통해 모델 내부적으로 정해진 동작을 수행한다. 이렇게 전투 논리 요소와 전장 기능 요소를 균형 있게 고려하여 분석하는 방법을 Kim의 연구결과^[5]에서 상호 분석 방법이라고 제안하였다. 본 연구에서도 Kim의 연구결과와 마찬가지로 전투 개체에 대한 상호 분석이 본 연구의 동기가 되며, 상호 분석이 가능한 전투 개체의 효율적인 모델링 방법에 대하여 제안하고자 한다.

3. 관련 연구

본 장에서는 시스템 해상도에 따른 국방 모델 및 시뮬레이션의 계층 구조를 소개하고, 계층 구조 중에서 본 연구와 동일한 수준인 교전/공학 모델에 대한 기존 연구들을 비교/분석한다.

3.1 국방 모델 및 시뮬레이션의 계층 구조

국방 모델은 무기 체계의 성능 지수 도출을 위한 상세한 설계 공학부터 새로운 전술/전략/작전의 개발과 효과 분석에 이르기까지 다양하게 활용이 가능한데, 활용 목적과 시스템의 해상도에 따라 국방 모델의 수준은 달라진다. 일반적으로 국방 시스템 모델의 수준은 Fig. 3과 같이 크게 전구(Theater), 임무(Mission), 교전(Engagement), 공학(Engineering) 모델의 네 단계로 구분된다^[14]. 전구 모델은 키 리졸브 훈련과 같은 국가 급 전쟁에 관한 모델이고, 임무 모델은 군단이나 사단 급에 해당한다. 그리고 교전 모델은 대대나 부대 혹은 단일 플랫폼/무기 체계 급이고, 공학 모델은 플랫폼/무기 체계의 구성 요소 수준에 관한 것이다.

Fig. 3. Hierarchy of defense models and simulations

이 중 교전 모델은 일대일 혹은 다대다와 같은 제한된 시나리오에서 국방 시스템을 모델링하는 것으로 교전 모델의 목적은 특정한 임무에 대하여 개별 플랫폼/무기 체계의 전술적 효과를 평가하는 것이다^[14]. 그리고 공학 모델은 개별 플랫폼/무기 체계의 기동/탐지부 체계와 같은 공학적 요소를 모델링하여 상위 수준의 모델에 공학적 성능 지수를 제공한다. 예를 들어, Fig. 3의 세종대왕함(DDG-991)이 대함전, 대잠전(Anti Submarine Warfare), 특수전(Special Warfare) 등과 같은 특정 임무 수행에 대한 M&S는 교전 모델의 전술 요소와 공학 모델의 기능 요소를 포함하여 전투 평가를 수행한다. 따라서 개별 전투 개체에 대한 전투 평가를 위한 본 연구의 모델링 방법론은 국방 시스템의 계층 구조에 의하면 교전/공학 모델에 해당하므로 본 연구의 모델링 범위를 교전/공학 모델로 제한한다.

3.2 교전/공학 모델에 대한 기존 연구의 비교/분석

본 절에서는 교전/공학 수준으로 개발된 전투 개체 모델의 기존 연구를 비교/분석한다. Table 1을 통해 기존 연구들을 모델링 방법에 따라 크게 세 가지로 분류하였다.

Table 1. Previous works : engagement/engineering models development depending on battlefield functions and combat logics

모델링 방법	단일 모델링	전장 기능을 고려한 모델링	일부 전투 논리를 고려한 모델링
모델 구성도	[6] [7]	[8] [9]	[10] [11]
특징	<ul style="list-style-type: none"> 전투 개체의 모든 동작 및 행위를 하나의 모델로 표현한다 모델 동작의 이해가 용이하다 	<ul style="list-style-type: none"> 전투 개체를 전장 기능적으로 분류된 다수의 하위 모델로 구분하여 모델링한다 	<ul style="list-style-type: none"> 전술 편집기를 통해 전투 개체의 일부 전투 논리를 변경한다
단점	<ul style="list-style-type: none"> 모델의 수정 및 확장이 어렵다 단발성 연구가 되기 쉽다 	<ul style="list-style-type: none"> 전투 논리의 단계적 개발은 고려하지 않는다 	<ul style="list-style-type: none"> 전투 논리의 변경이 제한된 범위 내에서만 적용 가능하다

첫 번째는 전투 개체 모델을 전장 기능 및 전투 논리에 따라 구분하지 않고 하나의 단일(Integrated) 모델로 표현한 경우로 초기 연구 단계에서 많이 사용되었다. 이 모델링 방법은 주로 특정한 임무에 대한 성능/교전 효과도를 분석하는 데 초점을 맞추었기 때문에^[6,7], 새로운 임무나 동일 임무 내에서 세부 전술이 변경된다면 모델 전체를 수정해야 하는 단점이 있다. 두 번째로, 이러한 단점을 극복하고자 전투 개체 모델을 목적에 따라 하위 모델로 분류하여 모델링한 연구가 진행되어 왔는데, 모델 분류의 가장 큰 목적은 주로 전장 기능적 요소에 국한되어 왔다^[8,9]. 따라서 전장 기능적 측면에서 하위 모델을 재사용할 수 있는 장점은 있지만 서론에서 설명한 전투 논리 요소의 개선이나 확장을 반영하기에는 모델의 유연성이 떨어지고 재사용성 측면에서 단점을 가진다. 마지막은 전투 논리 요소의 유연한 변경을 적용하기 위해 일부 전술/교리를 변경할 수 있는 모델링 방법이다. 그러나 이러한 연구들도 전술 편집기와 같은 도구를 활용^[10,11]하여 특정 전술에 한하여 전술/교리의 변경이 가능하기 때문에 결국 제공하는 범위 밖의 전술/교리에 대하여 수정하고자 한다면 전투 개체 모델 전체를 수정해야 하는 단점이 있다.

기존 연구들을 종합해 보면 전장 기능과 전투 논리

요소 중 일부 요소에 한하여 재구성이 유연한 모델링 방법을 제안했기 때문에 다양한 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위해서는 모델 재사용성 측면에서 제한점을 가진다. 즉, 과거에 모델링한 전투 개체를 전장 기능과 전투 논리가 모두 확장된 임무에 재사용하기에는 무리가 있으며 그것의 확장/변경에도 역시 한계점을 지닌다. 특히, M&S 개발 도중에 발생하는 전투 논리 요소의 변경을 유연하게 적용하는 모델링 방법은 그동안 제안된 바가 없다. 따라서 본 연구는 이러한 단점들을 보완하고자 전장 기능과 전투 논리 요소를 모두 고려한 모델링 방법을 제안하고 1부는 전체 연구의 전반부로 개념 모델 설계에 초점을 맞춘다.

4. 전투 개체 구성 요소

전투 개체의 개념 모델 설계를 제안하기에 앞서, 본 장에서는 전투 논리와 전장 기능 측면에서 전투 개체의 구성 요소를 제시하고 이들 간의 관계에 대하여 설명한다.

4.1 교전 시나리오의 의미론(Semantics)

성능/교전 효과도를 분석하기 위해서는 교전이 발생하는 전장 상황과 교전 상황에 참여하는 전투 개체들의 임무를 묘사할 수 있는 시나리오가 필요하다. 개별 전투 개체는 주어진 교전 시나리오 내에서 타 전투 개체들과 상호작용을 통하여 전투 논리, 즉 전술 운용을 수행하고 임무를 달성한다. Table 2는 전투 개체가 임무를 달성하기까지 필요한 네 가지 의미론(Semantics)을 제시한다.

제시한 의미론은 전투 논리의 상세도(Level of Detail)에 따라 계층적 표현을 따른다. 즉, 교전 시나리오에서 전투 논리의 가장 상위 개념은 임무이고, 임무를 달성하기 위해 개별 전투 개체는 각기 다른 전술(Tactic)을 운용한다. 전술은 세부적으로 일련의 과업(Task)들의 흐름으로 표현될 수 있고, 과업의 구체적인 수행 결과는 행동(Action)을 통해 결정된다. 이러한 교전 시나리오의 의미론은 실제 군에서 사용하는 개념을 본 연구의 범위에 맞게 정제하였기 때문에 제시한 의미론을 사용한 모델링 결과는 실세계에서의 표현과 동일하다. 따라서 표현의 동일화는 M&S 개발자로 하여금 군사 전문가와 협업하여 모델링을 수행할 때 문제 영역과 구현 영역 간의 의미적 차이 없이 실

세계를 효과적으로 반영하는 모델링을 수행할 수 있는 근거가 된다.

Table 2. Four semantics of engagement scenario

교전 시나리오의 공통의미	설명	예시
임무 (Mission)	전투개체가 전장 환경에 따라 기본적으로 수행하는 작전 유형으로 성분 작전 (Component Operation)이라고도 함	대함전 (Anti-Surface Ship Warfare) 대잠전 (Anti-Submarine Warfare) 특수전 (Special Warfare)
전술 (Tactic)	전투개체가 임무 목적을 달성하기 위한 기술과 방법의 총칭으로써 임무 달성을 위해 전투에서 병력을 가장 효율적으로 배치하고, 기동하며, 공격하는 기술	대함전 전술 대잠전 전술 특수전 전술
과업 (Task)	전술의 구성요소로서 해당 전투개체가 임무 수행을 위해 달성해야 하는 단일 혹은 그 이상의 세부 전술	대함전 전술을 위한 탐색, 접촉, 식별, 접근, 공격, 회피 등의 세부 단계
행동 (Action)	과업을 수행하는 데 필요한 구체적인 역할을 정의	접근 단계를 수행하기 위한 세부적인 접근 방법 (예: Sprint&Drift, Point&Lead, Point&Lag, Lag&Lead 등)

Fig. 4. Engagement scenarios : relationships among missions, tactics, tasks, actions

Fig. 4는 앞서 설명한 의미론 간의 포함 관계를 설명하기 위해 잠수함이 수상함에 어뢰 공격을 하는 특정한 교전 시나리오를 예로 나타내었다. 전투 개체는 해당 개체가 직면한 상황에 따라 임무가 달라지는데 Fig. 4의 잠수함의 경우에는 대함전 임무를 수행하고, 수상함은 대잠전 임무를 수행한다. 잠수함은 대함전 임무에 해당하는 전술을 운용하기 위해 일련의 과업들을 수행한다. Fig. 4에서 잠수함은 탐색, 접촉, 식별, 접근, 공격 및 회피의 과업을 수행하고 이들 과업은 상황에 따라 순차적 혹은 동시적으로 수행된다. 또한, 각 과업의 구체적인 역할은 행동을 통해 실현되는데, 예를 들어 잠수함의 접근 과업에 대한 행동은 Lag&Lead, Point&Lag, Point&Lead^[10] 등이 있다.

4.2 전투 개체의 전투 논리 요소 분류

앞 서 설명한 교전 시나리오의 의미론을 바탕으로 전투 개체의 전투 논리 요소를 세분화한다. 서론에서 설명하였듯이 성능/교전 효과도의 상호 분석 과정은 일부 모델의 수정/확장이 M&S 개발 도중에 발생할 수 있음을 전제한다. 그리고 이러한 모델의 수정/확장은 특히 전투 논리 요소에서 자주 발생한다. 예를 들어, 패턴형(Pattern Running) 어뢰의 재탐색(Re-search) 전술은 원형(Circular), 사형(Snake), 나선형(Helical), 직선(Straight) 등의 다양한 기동 패턴의 조합을 통해 개발되는데, 이들의 조합이 M&S 개발 도중에 목적에 따라 다양하게 수정될 수 있다^[15]. 따라서 효율적인 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위해서는 전장 기능 요소 뿐 아니라 전투 논리 요소까지도 유연하게 적용할 수 있는 전투 개체의 모델링 구조가 필요하며 이것이 전투 개체의 전투 논리 요소를 분류하는 궁극적인 이유이다.

Fig. 5. Proposed conceptual hierarchy of combat logic components

Fig. 5는 이러한 특징을 반영하기 위해 본 연구에서 제안하는 전투 개체의 전투 논리 계층도이다. 전투 논리의 공통 요소는 전투 개체를 작전 구역에 배치하고, 전술 운용을 한 다음, 전술적 임무를 완수하면 복귀하는 순으로 이루어진다. 이러한 공통 요소는 전투 개체에 주어지는 임무(예: 대함전, 대함전, 특수전 등)에 따라 다르게 구체화된다. 3장에서 언급하였듯이 본 연구의 범위를 국방 시스템 모델 중 교전/공학 모델로 제한하였기 때문에 전투 개체의 임무는 미리 식별된다고 가정하고 전투 논리의 의미론 중 전술에 초점을 맞추어 전투 논리 요소를 분류한다.

본 연구에서 제안하는 전투 논리(전술) 요소는 Fig. 5와 같이 과업, 행동, 파라미터(Parameter)의 세 단계로 구분된다. 단계를 나눈 근거는 크게 두 가지인데, 첫째는 단계별 전술의 추상화 수준이고 둘째는 이들이 구체화 되는 시기와 수정 빈도이다. 즉, 과업 단계로 갈수록 추상화 수준이 높고, 개발 초기에 식별이 가능하며, 파라미터 단계로 내려갈수록 전술이 구체화되고 수정/변경의 가능성이 높아진다.

Fig. 5의 대함전 전술을 예로 들어 설명해 보자. 대함전 전술은 M&S 개발 초기에 이동, 정찰, 접근, 전투 계획, 회피라는 일련의 과업의 흐름으로 전술의 틀(Frame)이 구성되는데, 이러한 틀은 M&S 개발 과정동안 거의 변경되지 않는다. 대신, 전투 논리의 다양성은 과업의 하위 성분인 행동과 파라미터에 의해 이루어진다. 예를 들어, 접근 과업에서 어떠한 기동 패턴으로 표적에 접근할 것인지(예: Lag&Lead 기동, Lead&Lag 기동), 혹은 교전계획 과업에서 어떤 무기 체계를 어떻게 사용할 것인지(예: 무기 체계의 유형, 발사 방향, 유도 방법 등) 등은 동일한 전술의 틀(과업의 흐름)에서 전투 논리가 다양화되는 가능성을 보장한다. 마지막으로, 전투 평가를 위한 가장 구체적인 전술 정보는 무기 체계의 발사 방향, 예상 위치 및 기동 주기 등과 같은 양적 요인(Quantitative Factor)이다. 제안하는 전투 논리 계층 구조에서는 이러한 양적 요인을 파라미터로 분류하였고, 파라미터는 시뮬레이션을 통해 전투 평가를 정량적으로 수행하는 데 중요한 역할을 한다.

요약하면 제시한 전투 논리 계층 구조는 전투 개체 모델의 개발 도중에 구체화되는 전술 정보의 흐름에 따라 분류하였고, 이러한 계층적 분할은 추가적으로 실제 모델을 개발하는 데 있어 단계별 정보식별의 기준을 마련한다.

4.3 전투 개체의 전장 기능 요소 분류

본 절에서는 전투 개체의 교전/성능 효과도의 상호 분석에 필요한 또 다른 요소인 전장 기능 요소를 설명한다.

Fig. 6을 통하여 개별 전투 개체가 전투 논리(전술 운용)를 수행하는 데 필요한 입력과 출력을 원형 그래프 형태로 나타내었다. 주어진 원형 그래프에서 음영으로 표시된 부분은 개별 전투 개체의 내부적으로 발생하는 입력과 출력을 나타낸다. 즉, 전투 개체는 먼저 전장 상황을 인식하고(Fig. 6의 1) 이를 바탕으로 전술 운용 방안을 결정한다. 결정된 전술 운용은 전투 개체

의 탐지 활동(II)과 동적 활동(III)의 물리/기능적 결과로 나타난다. 그리고 물리/기능적 결과는 다시 전술 운용의 반응(IV)으로써 전투 논리 요소에 영향을 미치게 된다. 교전 상황 동안에 개별 전투 개체는 내부적으로 I부터 IV까지의 과정이 지속적으로 이루어지면서 타 전투 개체와 상호 작용을 한다.

Fig. 6. Proposed battlefield function components of combat entity

따라서 개별 전투 개체는 전술 운용의 원인이 되고 전술 운용의 결과로 나타날 수 있는 전장 기능적인 요소로 탐지/동적 활동이 필요하다. 탐지 활동의 경우 주로 전장 상황을 인식하는 기능을 수행하고, 동적 활동은 전투 논리의 결정에 따른 행동 방침(Course of Action)을 수행한다. 이어지는 5장에서는 본 장에서 설명한 전투 논리와 전장 기능 요소들을 바탕으로 전투 개체의 개념 모델을 완성한다.

5. 전투 개체의 개념 모델 설계

5.1 전장 기능과 전투 논리 요소를 반영한 전투 개체의 2차원 모델 분할 기법

제안하는 개념 모델 설계를 간단히 설명하면 세분화된 전투 논리 요소와 전장 기능 요소를 하위 모델로 구분하고 이들을 결합하여 전체 모델을 구성하는 방안이다.

전투 논리 요소는 앞 절에서 설명하였듯이 전술에 해당하고, 구체적으로는 지휘/통제(Command and Control), 무장 할당/통솔, 전술적 기동/회피^[13] 등이 이에 해당한다. 본 연구에서는 이러한 전술을 운용하는 부 모델을 제어(Control) 모델이라 명명한다. 이러한 제어 모델이 전술 운용을 통한 의사결정을 수행하기 위해서는 레이더(Radar)나 소나(Sonar)와 같은 각종 탐지장비들로부터 획득한 데이터가 바탕이 되어야 하고, 의사결정의 결과는 무장 할당/통솔과 같은 지휘명령이

되기도 하지만 전술적 기동/회피와 같은 전투 개체의 동적인 움직임으로 나타나기도 한다. 이와 같이 제어 모델에 탐지 정보를 제공하는 모델을 탐지(Sensing) 모델이라 하고, 제어 모델의 의사결정에 대한 동적인 움직임을 수행하는 모델을 기동(Moving) 모델이라 하며, 이들이 전투 개체 모델의 전장 기능 요소가 된다. 따라서 제안하는 전투 개체 모델은 수평적으로 전장 기능과 전투 논리 요소에 따라 탐지/제어/기동의 부 모델들로 세분화할 수 있다.

다음으로 탐지/제어/기동 부 모델들을 수직적으로 세분화하는 방법에 대하여 살펴본다. 수직적 세분화의 기본적인 근거는 4장에서 제시한 전투 논리 요소의 분류 근거와 동일하다. 즉, 부 모델은 모델의 추상화 수준과 구체화되는 시기에 따라 과업 모델(TM : Task Model) 계층과 행동 모델 계층(AM : Action Model)으로 구분된다. 전투 논리 요소에 따라 TM과 AM으로 세분화되는 제어 부 모델과 마찬가지로 탐지/기동 부 모델들 역시 TM과 AM으로 분류할 수 있는데 그 이유는 다음과 같다. 전장 기능적 활동인 기동과 탐지는 실제 모든 과업에 걸쳐서 수행이 되고, 이들 활동의 구체적인 행위 역시 제어 부 모델과 마찬가지로 행동으로 간주할 수 있기 때문이다. 기동 부 모델을 예로 들면, 해당 모델의 TM은 제어 모델로부터 받은 명령을 갱신하여 기동하는 일련의 과정을 상위 개념에서 진행하고, 실제 이러한 명령을 해석하여 구체적인 움직임을 수행하는 행위는 AM을 통해 실행된다. 이렇게 수평적으로는 요소에 따라 수직적으로는 추상화 수준에 따라 전투 개체를 분할하는 방법을 본 연구에서는 2차원 모델 분할 기법이라 정의한다. 제안하는 기법은 특정한 기준에 의해 명확히 구분된 부 모델들의 결합 특성으로 인해 이들 부 모델의 재사용성 측면에서 이점이 있으며 이로 인해 일부 모델의 수정과 확장이 일어나는 반복/점진적인 상호 분석에 효과적으로 적용이 가능하다.

Fig. 7은 2차원 모델 분할 기법을 나타낸다. 하나의 전투 개체 모델은 탐지/제어/기동 부 모델로 구성되고, 각 부 모델 역시 TM과 AM으로 계층적으로 분류된다. 그리고 추가적으로 4장 나절에서 설명한 전투 논리 요소의 3단계인 파라미터는 모델로 설계할 필요가 없기 때문에 TM의 내부 변수로 처리한다. 이렇게 명확히 분류된 여섯 가지의 구성 요소들은 정의된 인터페이스(I/F₁, I/F₂)를 통해서만 서로 상호작용한다. 이러한 구성 요소들 간의 지역적 특성은 시스템의 상호 분석

Fig. 7. Proposed conceptual model design : two-dimensional model partition method

에 필수적이다. 즉, 구성 요소의 관심 영역 별 분할 설계는 개별 구성 요소의 구현을 용이하게 해주고 신속한(Just-in-time) 개발과 동시 공학, 상호 운용성 및 재사용성과 같은 활동/속성을 기술적으로 가능하게 한다^[12].

앞서 설명하였듯이, 하나의 전투 개체 모델은 Fig. 7의 의사소통 매개체인 인터페이스(I/F_1 , I/F_2)를 통해 상호작용한다. 이렇게 독립적인 시스템들의 시스템으로 구성된 형태를 복합 체계(System of Systems)라 하고 복합 체계의 M&S를 위한 방법^[5]은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 째는 단일 컴퓨팅 환경에서 여러 개의 부 체계가 정보를 공유하면서 하나의 형태를 이루어 협력하는 모델 결합(Integration) 형태이고, 두 번째는 단일/분산 컴퓨팅 환경에서 HLA/RTI와 같은 중재자를 이용한 모델 연동(Interoperation)의 방법이다. 이러한 모델 결합과 모델 연동은 시뮬레이션 성능, 모델 재사용성, 분산 환경 등의 다양한 기준에 의해서 선택이 될 수 있는데, 본 연구의 2부에서는 두 가지 방법 중에서 모델 결합 방법을 다룰 것이다.

5.2 실세계의 시스템 구성과 모델 표현의 관계

본 절은 대상 시스템인 실세계 시스템과 이를 추상적으로 표현한 시스템 모델 간의 관계를 예를 통해

알아본다. 설명하고자 하는 예는 잠수함의 대함전 시나리오이고, 이에 대한 실세계 시스템 구성과 모델 표현을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8. Relation between real-world system and its model representation

실세계 시스템은 주어진 전장 환경에서 교전에 참여하는 다수의 전투 개체 시스템으로 이루어지고 전투 개체 시스템 역시 다수의 하위 시스템(부 체계)으로 구성된다. Fig. 8의 전투 개체 시스템 중 하나인 잠수함을 예로 들면, 잠수함은 기동/전투/탐지 체계 뿐 아

나라 공기 조화를 위한 대기관리 체계, 잠항 능력을 위한 추진동력 체계, 무장 발사를 위한 발사관 체계, 심해의 외부압력을 견딜 수 있는 선체구조 체계 등의 부 체계^[13]들로 구성된다.

모델은 이러한 대상 시스템을 100% 표현하는 것이 아니라 미리 설정된 모델링 목적에 맞게 시스템을 추상화하는 과정^[12]이다. 본 연구의 모델링 목적은 성능/교전 효과도의 상호 분석이기 때문에 상호 분석에 필요한 전장 기능 요소(탐지/기동 체계)와 전투 논리 요소(전투 체계)만 상세히 모델링하고 나머지 부 체계들은 모델링 대상에서 제외하거나 필요한 경우 단순하게 파라미터화 하여 데이터 변수로 처리한다. 이런 추상화 과정은 모델링 목적이 다르면 동일한 대상 시스템에 대하여 모델이 달라질 수 있음을 암시한다. 예를 들어, 잠수함의 교전 능력이 아닌 잠항 능력에 대한 모델링을 수행할 경우 부 체계 중에서 추진동력 체계와 기동 체계만 상세히 모델링하면 된다.

이렇게 목적에 맞는 모델링 과정을 목적 지향적 모델링(Objective-driven Modeling)^[12]이라 하고, 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위해 탐지/전투/기동 체계에 집중한 2차원 모델 분할 기법은 모델링 목적에 부합하는 적절한 접근 방법으로 볼 수 있다. 이어지는 사례 연구에서는 목적(성능/교전 효과도의 상호 분석) 지향적 모델링을 위해 제안한 기법을 실제 M&S 개발에 적용하고 모델 재사용 측면에서 실험 결과를 분석한다.

6. 사례 연구

제안하는 2차원 모델 분할 기법을 잠수함의 대함전(ASW) 모델 개발에 적용하였다. 성능/교전 효과도의 상호 분석 결과는 2부에서 설명하고, 1부에서는 모델의 재사용성을 측정하였다. 시뮬레이션을 위한 실험군은 2차원 모델 분할 기법을 적용한 모델 구성이고, 대조군은 기존에 개발된 대어뢰전 시뮬레이터^[15]의 모델 구성이다. 하위 절에서는 단계별 전투 논리 개발과 이에 따른 모델 구성 결과, 결과 고찰 순으로 설명한다.

6.1 점진적 전투 논리 개발 - 패턴형 어뢰 전술과 선 유도 어뢰 전술

어뢰는 유도 방법에 따라 직주(Straight Running), 패턴형, 선 유도(Wire Guided) 어뢰로 분류된다^[13]. 본 사례 연구에서는 대함전의 공격용 무기 체계로 패턴형

어뢰 모델을 먼저 개발한 다음, 패턴형 어뢰 모델에서 기능적으로 확장된 선 유도 어뢰 모델을 개발하였다. 패턴형 어뢰는 표적의 예상 위치에 도달했음에도 불구하고 표적을 타격하지 못한 경우 해당 위치에서 내부 논리에 따라 일정한 패턴으로 기동하게 된다. 그러나 어뢰 탐지 소나의 한계점과 어뢰가 어뢰대항책에 기만되는 등의 문제로 인해 패턴형 어뢰는 한계점을 가지는데, 이를 보완하기 위해 선 유도 어뢰를 사용한다^[13]. 선 유도 어뢰는 잠수함과 케이블로 연결되어 있어 탐지 성능이 어뢰보다 상대적으로 우수한 잠수함에 의해 어뢰의 침로나 속력 등을 제어가 가능하다. 모델 측면에서 살펴볼 때 패턴형 어뢰를 적용한 모델 개발과 선 유도 어뢰를 적용한 모델 개발의 다른 점은 전자에서 후자로 단계적으로 개발되면서 일부 전투개체 모델들(잠수함과 어뢰)에 선 유도 어뢰 전술에 대한 전투 논리가 추가된다는 것이다.

Fig. 9. Incremental combat logic development examples : from pattern running to wire guided torpedo development

Fig. 9은 앞 서 설명한 두 가지 모델 개발에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 도시는 미 해군 연구소(Naval Research Laboratory)에서 시뮬레이션 검증용으로 개발한 애니메이션 도구인 SIMDIS^[16]를 사용하였다. Fig. 9(a)는 패턴형 어뢰를 활용한 대함전 모델 개발의 경우로 어뢰 탐색 패턴에 대한 전투 논리(전술)는 직선, 사형, 원형 패턴의 조합을 이용하였다. Fig. 9(b)는 선 유도 어뢰를 활용한 대함전 모델 개발로 기존 Fig. 9(a)에서 잠수함에 의해 선 유도

어뢰의 침로를 변경하는 제어 기술이 확장되었다. 실제로 특정 임무에 대한 성능/교전 효과도 분석은 이와 같이 다양한 세부 기술이 반복/점진적으로 적용되면서 상호 분석되는 경우가 대부분이다. 전체적인 교전 시나리오에 대한 자세한 설명은 Kim의 연구 보고서^[15]를 참고하기 바라며 이어지는 절에서는 시뮬레이션을 위한 실험군과 대조군의 모델 구성 결과를 살펴본다.

6.2 모델 구성 결과

제안하는 기법을 적용한 모델 구성 결과를 간단히 도시하면 Fig. 10과 같다. 전체 국방 시스템 모델은 교전 상황에 참여하는 전투개체 모델들과 환경 모델, 그리고 교전 상황을 평가하는 피해평가 모델로 구성된다. 전투 개체 모델의 종류는 수상함, 잠수함, 어뢰, 기만기 모델로 총 네 가지이고, 기만기 모델은 수상함이 어뢰대항책으로 총 네 발을 발사하기 때문에 네 개의 모델로 구성된다. 그리고 각 모델은 2차원 모델 분할 기법을 적용하여 다수의 AM과 TM으로 구성된다. 이러한 전투 개체 모델들과 환경, 피해평가 모델은 정의된 인터페이스를 통해 상호작용을 하며 모델 동작을 수행한다.

Fig. 10. Overall defense model structure for ASW

개발된 모델의 종류와 수를 구체적으로 살펴보기 위해 Fig. 11(a)에 실험군과 대조군에서 개발된 전투 개체 모델을 계층에 따라 나타내었다. 피해평가 모델과 환경 모델의 경우에는 전투개체 모델의 재사용성을 측정하는 사례 연구의 특성 목적에 해당되지 않기 때문에 실험 측정에서 제외하였다. 두 표에 기입된 숫자는 각 계층에서 개발된 모델/함수/파라미터의 개수

실험군		전투 개체											
전술의 공통의미	모델 설계	잠수함			어뢰			수상함			기만기		
		탐지	제어	기동	탐지	제어	기동	탐지	제어	기동	탐지	제어	기동
과업	TM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4
행동	AM	2	6(1)	2	2	5(1)	2	2	5	2	2	3	2
파라미터 (전술 테이블)	TM 내 상태변수	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

대조군		전투 개체											
전술의 공통의미	모델 설계	잠수함			어뢰			수상함			기만기		
		탐지	제어	기동	탐지	제어	기동	탐지	제어	기동	탐지	제어	기동
과업	TM	1	1(1)	1	1	1(1)	1	1	1	1	1	1	1
행동	AM	1	1(1)	1	1	1(1)	1	1	1	1	1	1	1
파라미터 (전술 테이블)	TM 내 상태변수	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

범례: 해당 영역에 포함된 전체 모델의 수 (수정된 모델의 수)

(a) Number of developed models of two groups

재사용 측정	실험	대조군	실험군
모델 설계 측면에서의 재사용 비율 (수정되지 않은 모델 수 / 전체 모델 수) %		12/16 x 100 = 75 (%)	61/63 x 100 = 97 (%)
모델 구현 측면에서의 재사용 비율 (수정된 클래스의 소스 코드 / 전체 클래스의 소스 코드) %		3276 / 5626 x 100 = 58 (%)	31786 / 32696 x 100 = 97 (%)

(b) Reusability measurement of two groups

(c) Software code insertion of control group

Fig. 11. Simulation results: measurement of model reusability between two groups

를 나타낸다. 먼저, 실험군은 제안하는 2차원 모델 분할 기법을 잘 적용하여 탐지/제어/기동 체계가 명확히 구분되어 있고, 부 체계 내부적으로도 상세도에 따라 TM과 AM으로 구분되어 있다. 그러나 대조군은 본 연구의 초기 단계에 수행된 모델 개발 결과이기 때문에 특정한 기준 없이 부 모델로 세분화하였고, 이로 인해 다양한 전투 요소나 전장 기능 요소를 확장한 상호 분석에는 효과적으로 사용할 수 없었다. 이어지는 절에서 모델 재사용 측면에 대하여 고찰해 보기로 한다.

6.3 결과 고찰

Fig. 11(a)의 두 표에서 음영 처리된 부분은 Fig 9(a)에서 Fig. 9(b)로 점진적 전투 논리 개발을 진행하면서 수정된 모델 부분을 나타낸다. 각 부분에 기입된 숫자의 의미는 Fig. 11(a)의 범례에 나타내었다. 모델의 재사용성 분석을 위해 모델 설계와 모델 구현(모델 구현에 대한 상세한 설명은 2부에서 다룬다)의 두 가지 측면에서 재사용률을 측정하였고, Fig. 11(b)를 통해 정리하였다. 모델 설계 측면의 재사용률은 전체 모델 수와 점진적 전투 논리 개발을 진행하면서 재사용된 모델 수의 비로 측정하였다. 그리고 모델 구현 측면은 객체 지향적 프로그래밍을 통해 개발된 전체 클래스의 소스 코드와 수정되지 않은 클래스의 소스 코드의 비로 측정하였다.

점진적 전투 논리의 개발에 따라 실험군은 모델 설계 관점에서 97%의 재사용률을 보인 반면 대조군은 79%의 재사용률을 보인다. 그리고 모델 구현 관점에서는 실험군은 97%, 대조군은 58%의 재사용률이 측정되었다. 실험군의 경우, 2차원 모델 분할 기법을 적용하여 선 유도 어뢰에 대한 전투 논리가 추가되었을 때 추가된 전투 논리가 적용된 모델(잠수함의 제어 AM, 어뢰의 제어 AM)만 수정하고 다른 모델은 수정하지 않는다. 그러나 대조군의 경우 모델의 분리가 효율적으로 이루어지지 않았기 때문에 잠수함과 어뢰의 제어/기동 모델 대부분을 수정해야 한다. 특히, 모델 구현 관점에서는 기존의 구현 결과를 40%가 넘게 수정해야 하는 단점이 있다. 이렇게 모델 구현 단계에서 재사용성이 크게 떨어지는 이유를 Fig. 11(c)에 간단히 나타내었다. 대조군의 경우, 개념 모델 설계 단계에서부터 모델의 분리가 제대로 이루어지지 않았기 때문에 모델 구현 시에 확장하고자 하는 전투 논리 요소를 전체 소스 코드의 중간 중간에 삽입해야 하였고, 이것이 모델 재사용성을 낮추는 근본적인 원인을 제공한다. 따라서

Fig. 11(b)에서 알 수 있듯이, M&S 개발 초기 단계에서부터 목적에 따라 효율적인 개념 모델 설계가 필요하다.

7. 결론

미래 전장 환경은 첨단 기술의 발달로 인해 차기 전투 플랫폼/무기 체계의 획득이 요구되고 이들의 전투 평가를 수행하기 위한 성능 요구사항 검증 및 전술/교리 개발이 매우 중요하다. 본 연구는 차기 전투 플랫폼/무기 체계를 모델링 대상으로 하여 성능/교전 효과도의 상호 분석을 위한 효율적인 모델링 방법론을 제안하였다. 먼저, 상호 분석을 위해 전투 논리 요소와 전장 기능 요소를 식별하여 계층적으로 제시하고, 이를 바탕으로 두 가지 요소를 융합한 2차원 모델 분할 기법을 제안하였다. 제안하는 모델 분할 기법은 구성 요소의 관심 영역 별 분할 설계를 통해 개별 구성 요소의 개발과 재사용이 용이하고, 무엇보다 점진/반복적 특성을 지닌 성능/교전 효과도의 상호 분석에 적합하다.

실제로 M&S 개발 단계에 제안하는 기법을 적용하여 기존의 연구 결과에 비해 모델 재사용 측면에서 큰 이득이 있음을 입증하였다. 본 연구의 2부에서는 제안하는 개념 모델 설계를 바탕으로 상세 모델 설계를 위한 모델링 형식론을 먼저 정의하고, 모델의 구현, 그리고 실제 성능/교전 효과도의 상호 분석 결과를 제시할 것이다

References

- [1] 유병주, 이종호, 권오정, “국방 M&S를 활용한 훈련체계 혁신 방안,” 국방정책연구, pp. 67-68, 2005.
- [2] Andreas Tolk, “Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation,” Wiley, 2012.
- [3] 황근철, “고속정 전투체계의 함포 중심 대공전 성능 분석,” 한국군사과학기술학회지, 제10권, 제4호, pp. 62-72, 2007.
- [4] 이민규, “어뢰대항전술 영향을 고려한 수상함의 대잠탐색패턴 연구,” 한국군사과학기술학회지, 제13권, 제2호, pp. 204-210, 2010.
- [5] 김탁근, 김덕수, 성창호, “위게임 모델과 통신 모

- 텔의 연동을 통한 전투력 및 통신시스템 요구,” 한국통신학회논문지, 제37권, 제10호, pp. 993-1003, 2010.
- [6] 박정민, 구분화, 이영현, 류동기, 홍우영, 고한석, 임묘택, “표적 회피기동과 어뢰음향대향체계를 고려한 경어뢰의 효과도 분석,” 한국시뮬레이션학회 논문지, 제20권, 제4호, pp. 1-11, 2011.
- [7] Cao Haiwang, Xue Chaogai, “An Integrated System for Underwater Warfare Simulation,” 2009 Chinese Control and Decision Conference(CCDC 2009), pp. 5551-5554, 2009.
- [8] 김명훈, 강경남, 이종근, 지승도, 이상민, “DEVS 기반 가상전장 모델링 및 시뮬레이션,” 한국시뮬레이션학회 2002년 춘계학술대회, pp. 52-59, 2002.
- [9] Sang C. Park, Yongjin Kwon, Kilyoung Seong, JaiJeong Pyun, “Simulation Framework for Small Scale Engagement,” Computer & Industrial Engineering, Vol. 59, pp. 463-472, 2010.
- [10] Myeong-Jo Son, Doo-Yeoun Cho, Tae-wan Kim, Kyu-Yeul Lee, Young-In Nah, “Modeling and Simulation of Target Motion Analysis for a Submarine using a Script-based Tactics Manager,” Advances in Engineering Software, Vol. 41, pp. 506-516, 2010.
- [11] 김탁곤, 김정훈, “잠수함 전투체계 교전효과도 분석용 시뮬레이션 구축 기법 연구,” 국방과학연구소, 위탁연구최종보고서, 2012.
- [12] 김탁곤, 국방 M&S 이론 및 기술 - 총론편, 2012년 산학협동 공개강좌 교재, 시스템 모델링 시뮬레이션 연구실, KAIST, 2012.
- [13] 대한조선학회 편찬/집필 위원회, 함정, 텍스트북스, 2012.
- [14] Lalit K. Piplani, Joseph G. Mercer and Richard O. Roop, Systems Acquisition Manager's Guide for the use of MODELS AND SIMULATIONS, Report of the DSMC 1993-1994, Defense Systems Management College Press, 1994.
- [15] 김탁곤, 나영인, “대어뢰전 복합운용전술 효과도 분석,” 국방과학연구소, ADDR-417-090376, 2012.
- [16] U.S. Naval Research Laboratory, SIMDIS User's Manual, 2006, Available from: <https://simdis.nrl.navy.mil>