

에이전트 기반의 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템 설계 및 서해교전 사례연구

지승도^{1†} · 유용준¹ · 정찬호¹ · 이장세² · 김재익³

Design of No-human-in-the-Loop Battleship Warfare M&S System applied to the Korea Yellow Sea Warfare Case using Agent-based Modeling

Sung-do Chi · Yong-jun You · Chan-ho Jung · Jang-se Lee · Jae-ick Kim

ABSTRACT

Most battleship warfare M&S systems run relatively slow and the simulation results are often unfair since the system should interact with human operators (controller and/or gamer). To deal with these problems, we have proposed the agent-based battleship warfare M&S system which interact with multiple agent systems instead of human operators. Agent-based M&S system may be able to efficiently support the analysis of effectiveness and/or the operational tactics development of given warfare by providing autonomous reasoning capabilities without the intervention of human controller. To do this, the paper propose the design concept and methodology using the advanced modeling and simulation framework as well as autonomous agent design principle. Several simulation tests performed on the battleship warfare case study on Korea Yellow sea will illustrate our techniques.

Key words : Autonomous agent, Battleship warfare M&S, No-human-in-the-Loop, DEVS, System entity structure

요 약

대부분의 함정 전투체계의 교전 시뮬레이션은 필수적으로 운용자(통제관 및 대함군)가 포함될 수밖에 없으므로 인해 시뮬레이션은 실시간 정도의 지속이며, 시뮬레이션 결과도 객관적인 평가가 어렵다. 이러한 문제를 다루기 위해 본 논문에서는 인간 대신 다중 에이전트 시스템을 이용하는 에이전트 기반의 함정전투 M&S 시스템을 제안한다. 에이전트기반 M&S 시스템은 인간의 개입을 배제하고 자율적 추론기능을 제공함으로써 전투체계의 효과도 분석 및 운용전술개발 등에 대한 효과적인 지원을 가능하게 해준다. 본 논문에서는 이를 위하여 첨단 M&S 프레임워크와 자율 에이전트 설계 원칙을 도입함으로써 인간 미개입형 M&S 시스템 설계 개념과 방법론을 제시하였고, 서해교전상의 함정전투 사례연구를 통해 그 타당성을 검증하였다.

주요어 : 자율 에이전트, 함정전투 M&S, 인간 미개입형, DEVS, 시스템 엔티티 구조

1. 서 론

함정 전투체계는 플랫폼, 각종 센서 및 무장을 효율적

으로 통제하기 위한 운용자의 영향이 다대한 의사결정 중심의 시스템이다. 이러한 체계의 교전 시뮬레이션은 필수적으로 운용자(통제관 및 대함군)가 포함될 수밖에 없으므로 인해 시뮬레이션은 실시간 정도의 지속에서 가능하며, 그 결과도 개입된 운용자의 능력에 의존적이므로 객관적인 시스템에 대한 평가가 어려워진다. 즉, 체계 효과도 분석을 목적으로 하는 시뮬레이션의 경우 설계 및 운용 변수의 다양하고 많은 조합의 경우의 수에 대한 반복 시뮬레이션이 소요되기 때문에 고속의 시뮬레이션 수행이 필요하며 신뢰성 있는 체계 효과도 분석을 위해서는 운용자의 능력의 효과가 배제된 분석이 가능해야 한다.

* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD030000AD)

2008년 4월 14일 접수, 2008년 4월 30일 채택

¹⁾ 한국항공대학교 컴퓨터공학과

²⁾ 한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부

³⁾ 국방과학연구소 함정전투체계개발단

주 저 자 : 지승도

교신저자 : 지승도

E-mail; sdchi@kau.ac.kr

이를 위해서는 시물레이션에서 운용자의 개입을 배제해야 하는 것이 필요하며, 운용자를 전투체계의 일부로 취급하여 전투체계가 자율적으로 의사결정을 하도록 함으로써 인간의 개입 없이 시물레이션의 수행이 가능해야 한다. 즉 국방 M&S 시스템에서 에이전트기술의 도입이 요청되는 이유를 요약하면; (1) 신속한 의사결정에 대한 요구, (2) 인간이 갖는 고정관념에 따른 의사결정 배제, (3) 인간 개입시 발생가능한 입력오류의 최소화, (4) 불필요한 상호작용 오버헤드 배제, (5) 실시간 이상의 고속수행 필요성, (6) 다양한 반복적 테스트 용이성 등의 국방 M&S 요구사항을 충족시키기 위해서는 에이전트기술과의 통합이 필수적이다.

이를 이해 본 논문에서는 에이전트 기법을 이용한 함정전투 M&S 시스템 설계 방법론을 제시하고자 한다. 에이전트는 지식을 활용하여 전투원이나 전투체계의 의사결정을 지원하는 소프트웨어로서 자율성, 통신, 추론 및 학습능력 등의 기본 성질을 보유하고 있다. 특히 에이전트의 자율성은 종말에 위치한 인간의 개입을 배제하고 자율적 추론기능을 제공함으로써 전투체계의 효과도 분석 및 교리개발 등을 위해 인간 개입을 배제한 교전 시물레이션의 구축을 가능하게 해준다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 에이전트기반 국방 M&S 시스템에 대한 연구 동향과 미래 전망에 대하여 소개한다. 다음으로 다양한 인간 미개입형 M&S 시스템의 분류 및 활용방안에 대하여 제안한다. 이어서 에이전트기반 인간 미개입형 M&S 설계방법론을 제시하고 서해교전 사례에 대해 시물레이션에 의한 분석을 수행하여 제안된 설계방법론에 대한 타당성을 검증한다.

2. 관련 연구

2.1. 에이전트기반 국방 M&S 시스템 소개

본 연구에서 제안하는 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템은 아직 국내외적으로 정립되고 달성된 바가 없는 미래형 M&S신기술에 속한다. 다만, 에이전트 기술을 국방 M&S에 도입하고자 하는 시도는 국내에서는 전무하지만 선진국에서는 점차 늘어나는 추세이다¹¹⁻⁹⁾. 특히, DARPA에서는 교전 시물레이션에 적용할 에이전트 연구가 현재 진행중인 것으로 알려져 있다. 그러나 우리나라의 경우 선진국과의 기술수준 비교에 있어서, 국방 M&S에 대한 지능 에이전트의 활용기술은 선진국의 80% 수준에도 못 미치는 것으로 보고되고 있어, 이 부분에 대한 연구가 시급한 실정이다.

에이전트기술을 국방M&S에 도입한 첫 번째 의미있는 시스템은 ISAAC⁶⁾으로, 이후 MANA⁷⁾, WISDOM⁹⁾이 개발되었고, 다시 인공생명개념이 도입된 EINStein⁶⁾과 CROCADILE⁸⁾ 등으로 발전되었다. 그러나 이들 시스템들은 스크립트기반의 단순 에이전트를 이용한 SAF (Semi-Automatic Force) 수준의 형태를 취하고 있다. 최근들어 에이전트와 인간이 함께 개입될 수 있는 분석용 및 훈련용 시스템으로 BattleModel^{11,2)}가 주목받고 있으며, 지휘관 훈련용 전용의 에이전트 시스템으로는 TAO ITS⁴⁾가 알려져 있다. 한편 대부분의 주요 시스템들은 주로 대항군 중심의 에이전트 (또는 에이전트를 이용한 부분적 인간 개입형)의 형태를 취하고 있어서, 본 논문에서 제안하고자 하는 인간 미개입형 요구사항을 충족시키지 못하고 있는 실정이다. (부록-표 1 참조)

2.2. 국방 M&S 시스템 전망

이제까지 국내외에서 개발된 국방 M&S 시스템들과 이에 관련된 문헌들¹¹⁻⁹⁾을 살펴보면, 국방 M&S 시스템의 미래 전망으로 다음 항목들이 제시됨을 알 수 있다.

- 통합화 : (1) 플랫폼 중심에서 네트워크 중심의 작전과 전장 개념으로의 이동을 통한 통합화, (2) NCW 개념 등 전장 개념의 복잡화, (3) 분석/획득/훈련 등의 통합 M&S 환경 요구, (4) 통합화, 복잡화 현상에 따른 조정, 협력, 협상 등의 다양한 기능의 에이전트 필요성 증가
- 플러그앤플레이 : (1) 재사용성을 강조한 컴포넌트 기반 소프트웨어 기법 활성화, (2) 재사용성의 중요성 증가, (3) 시스템 통합 (과거 및 현재, 국가 대 국가, 육/해/공, 계층적 모델간 등) 요구 증가
- 의사결정의 복잡성 : (1) 다양한 측면의 위협요소 상존, (2) 다양한 형태의 전장 참여 방식, (3) 접촉 의도에 관한 고도의 불확실성, (4) 평화기간 동안은 인적자원의 손실이 없어야 한다는 대중적 기대감
- 인간 모델링 : (1) 감정 및 인지 등 심리적인 요소의 중요성 증가, (2) 자율적 전략 생성의 필요성 증가, (3) 단순하고 기계적인 게이머로는 지휘관의 복잡한 심리상태 반영이 불가, (4) 아군/적군의 기만 및 은폐 등 심리적 전술 반영, (5) 고도의 이성적 그리고 감성적 처리가 가능한 지혜에이전트 필요성 대두, (6) 불확실성, 오류, 혼란, 신뢰, 두려움 등 의사결정 지휘자가 극복해야 할 복잡성 및 역동성에 대한 모델링 필요성

- 고속 시뮬레이션 : (1) 실시간 이상의 고속 시뮬레이션 수행 불가, (2) 충분한 실험 불가

이상에서 보듯이 에이전트 기반 모델링 기술은 미래 국방 M&S분야에서 가장 비중 있는 핵심적인 요소이자 최첨단 기술로 대두될 것임을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 미래 요구사항들을 반영한 에이전트 기반의 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템 설계 방법론을 제안한다.

3. 인간 미개입형 M&S 시스템 분류 및 활용방안

함정전투체계 시뮬레이션에 참여하는 인간 요소들과 그들간의 관계성은 그림 1과 같다.

먼저 국방 M&S에 직/간접적으로 관여하는 인간 유형은 아군, 통제관(연습통제/사후검토), 대항군 등 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 현재 국내외에서 개발된 대부분의 M&S 시스템의 경우, 아군 및 대항군은 수명에서 수백명이며, 통제관은 수명에서 수십명 정도가 참여할 수 있다¹⁾. 따라서 이와 같은 다수의 참여인원을 에이전트로 대체함으로써 시뮬레이션 목적별로 고속의 다양한 시뮬레이션을 전개하고자 하는 것이 본 연구의 궁극적 목적이라 할 수 있으며, 이에 따라 부록 표 1과 같이 일곱 가지 유형의 에이전트 기반 접근방법을 제안하고자 한다.

4. 에이전트기반 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템 설계 방법론

본 연구에서는 HEAP(Hierarchical Encapsulation and

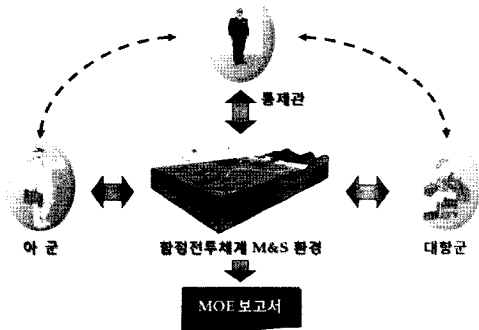


그림 1. 함정전투체계 M&S 환경과 참여하는 인간 요소들과의 관계

Abstraction Principle) 원칙 등을 통한 에이전트 설계 개념^[10-15]과 국방 M&S, 그리고 전술/전략 모델링 등을 고려한 자율에이전트 구조를 그림 2와 같이 제안한다.

그림은 다양한 자율적 기능들을 담당하는 다중 에이전트 모델 구조와 학습기능을 갖는 기본적인 단위 에이전트 모델링 개념을 보이고 있다. 다중 자율에이전트는 이와 같은 개념을 통하여 체계적으로 효과적으로 접근될 수 있다. 그림에서 최소단위의 자율적 기능을 담당하는 자율에이전트 모델은 전투관련 지식을 갖는 지식베이스(Knowledge Base)와 이 지식의 효율적 사용법(추론)을 담당하는 추론엔진(Inference Engine), 그리고 상황변화에 따른 학습기능을 담당하는 모듈(Learning Module) 등 세 부분으로 구성된다. 이러한 최소단위 자율에이전트들이 그림에서와 같이 다중에이전트 구조로 연동되어, 상호간의 작용에 의해 주어진 복잡한 문제들을 해결해 낼 수 있게 된다.

이러한 자율에이전트는 그림 2에 나타난 함정전투 M&S와 plug-and-play 개념으로 연동되어 작동하게 된다. 그림에서 보이는 바와 같이 자율에이전트 시스템은 적군 또는 아군(CFCS 등과 연계되어 인간지휘관의 역할을 담당) 또는 시나리오 생성기(시뮬레이션 시나리오를 통제하고 분석하는 역할을 담당) 등에 그 역할에 따라 적절히 배치되고 연동되어 앞서 제시한 바와 같이 다양한 형태의 인간 미개입형 M&S시스템으로 접근될 수 있다.

자율에이전트를 포함한 함정전투 M&S 구축을 위한

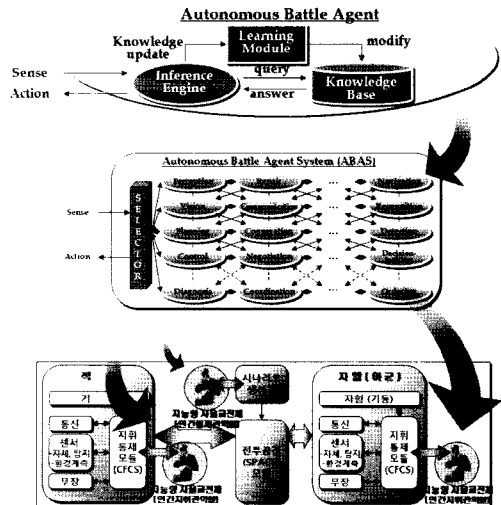


그림 2. 자율에이전트의 구조와 함정전투 M&S 시스템과의 관계

모든 엔티티 구조(SES: System Entity Structure)를 부록 그림 1에 첨부했다. 함정전투 시뮬레이션 환경은 총 11가지의 요소로 구성된다. 요소별로 물적요소, 인적요소, 환경요소, 전장상황요소, 평가요소, GUI요소, M&S기반요소 등 일곱 가지의 구성 요소들과, 상황별, 전투유형별, 목적별, 인간 개입형 등의 네 가지의 요소들이다. 상황별로 해상전, 전면전으로 분류되며, 전투유형별로 단일함정, 일대일, 일대다, 다대다, 전면전 등으로 분류된다. 목적별로는 분석용, 획득용, 훈련용으로 분류되며, 인간개입별로는 자동, 반자동, 수동으로 분류된다. 물적요소는 의사결정부시스템, 행위 부시스템, 인지 부시스템으로 구성되며, 그 종류로는 함정, 항공기, 잠수함 등이 있다. 이러한 방법으로 인적요소, 환경요소 등 함정전투 M&S에 관한 모든 구조적 대안들이 제시되었다. 따라서 제안된 SES 구조는 향후 새로운 국방 M&S 시스템의 구조설계에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

제안된 SES로부터 하나의 대안 구조 모델을 선택한 모델 구조도의 예(서해상에서의 2:2 함정교전 M&S를 위한 모델구조)가 그림 3에 있다. 각 모델들에 대한 간략한 기능은 다음의 4.1절과 4.2절에서와 같이 요약되며, DEVS (Discrete Event System Specification) 형식론을 통해 보다 세부적으로 표현된 모델을 부록-표 2, 3으로 첨부하였다.

4.1 함정 모델

함정모델은 인간지휘관을 대신하는 자율 에이전트(자율 교전체)모델을 포함하여 센서, 지휘통제모듈, 기동, 무장 등 6개 모델로 구성된다. 여기서 특히, 기동 모델은 공학급 모델로서 연속시간 모델로 표현되는 반면, 에이전트 모델은 교전급 모델로서 이산사건 모델에 의해 표현된다.

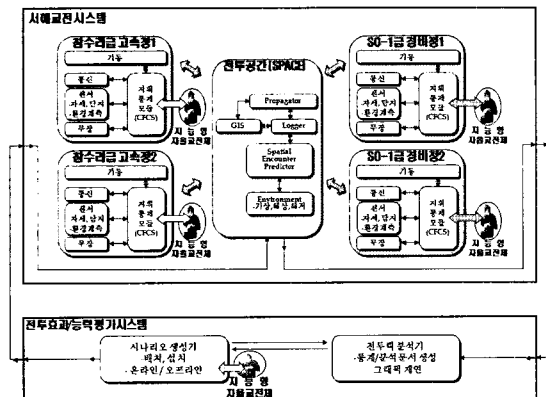


그림 3. 함정전투 모델 및 평가 시스템

센서 모델 : 전장의 환경 및 자함의 상태를 인식하고 적의 위협 여부를 판단하여 지휘통제모듈 모델로 전달한다.

지휘통제모듈 모델 : 센서 모델로 부터 받은 데이터를 선별하여 긴급히 처리해야 할 데이터(즉각적 반응을 요하는 데이터)일 경우 무장 모델로 전달해주고, 그렇지 않을 경우 지능형 자율 교전체 모델로 데이터를 전달한다.

지능형 자율 교전체 모델 : 자함의 의사결정 부분이라 할 수 있는 지능형 자율 교전체 모델은 지휘통제모듈 모델로부터 받은 데이터를 기초로 플래닝 작업을 수행하여 무장 모델로 데이터를 전달한다.

기동 모델 : 함정의 움직임(발진, 선회, 변속, 정지 등)을 제어하는 모델이다.

무장 모델 : 지휘통제모듈 모델의 의사결정 데이터를 받아 실행에 옮기는 모델이다.

통신 모델 : 아군 또는 적군과의 통신을 담당하는 모델이다.

4.2 SPACE 모델

Space 모델은 전장 및 환경을 관리하기 위한 모델이며 여기에는 SEP(Spatial Encounter Predictor), Propagator, Logger, Environment, GIS(Geographic Information System)와 같은 5개 모델로 구성된다.

SEP 모델 : 각 함정 모델들의 위치정보 및 궤도 변경 계산과 폭발 등으로 인한 영향범위를 계산하는 역할을 한다.

Propagator 모델 : 각 함정 모델의 공격 및 발산한 소리에 대해 그 영향범위 내에 있는 다른 함정들에게 전파하는 역할을 한다.

Logger 모델 : 각 함정들의 이동 메시지를 받아서 새로운 좌표를 갱신하는 역할을 한다.

Environment 모델 : 전장 환경의 날씨의 변화 및 시간적 변화를 설정하는 역할을 한다.

GIS 모델 : 전장 환경 정보 및 함정의 위치 정보를 저장하는 역할을 한다.

5. 사례 연구: 서해상에서의 2:2 함정교전 시나리오

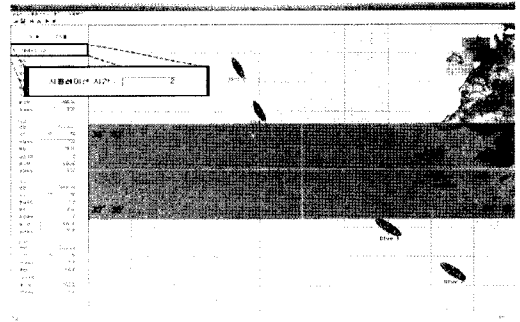
본 사례연구에서는 앞서 제시된 인간 미개입형들 중 대표적인 에이전트기반 시스템에 해당되는 네 번째 유형

인 참여군 미개입형 함정전투 M&S 시스템에 대한 검증 을 위해서 서해상에서의 2:2 함정 교전 시나리오에 대한 테스트를 수행하였다. 본 사례는 2002년 서해상 NLL에서 발생한 실제상황을 토대로 재구성된 가상 시나리오이다. 시나리오는 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 레드군의 북방한계선 침범으로부터 시작된다. 상황을 접한 블루군은 방어를 위해 발진을 시작하고 서로 유리한 위치를 선점하기 위해 기동한다. 레드군은 블루군을 포위하기 위한 합동전술을 결정한 뒤, 먼저 레드군 1번 함정은 블루군의 배후로, 레드군 2번 함정은 블루군의 앞을 막는다. 블루군은 레드군의 포위 의도를 파악하고 각개격파를 시도하여 교전이 이루어지는 상황이 전개된다. 물론 이러한 교전 상황에 따른 의사결정 명령은 각 함정에 탑재된 자율에이전트 시스템에 의해 진행되어진다. 시뮬레이션 수행을 위해 설정된 초기조건은 표 1과 같다.

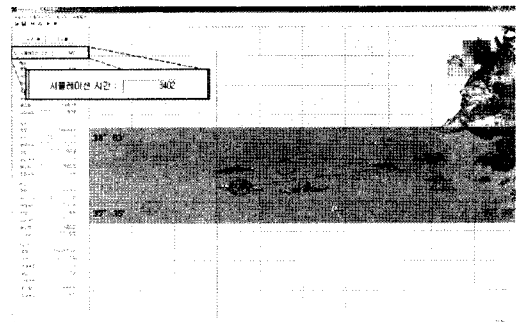
그림 4(b),(c),(d)는 앞서 설명된 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과를 시간별로 설명하고 있다. 그림 4(b)는 처음 각 함정의 초기 위치가 설정된 후 시뮬레이션 시간 3402 초 일 때의 화면으로 레드군이 북방한계선을 침범함에 따라 블루군이 각각의 목표 좌표로 이동하기 위해서 발진하게 된다. 그림 4(c)는 시뮬레이션 시간 3802초가 경과되었을 때의 화면으로 현재 블루군은 레드군의 포위 의도를 파악하고 각개격파를 시도, 먼저 레드군의 2번 함정을 향해 공격을 개시하여 레드군 2번 함정은 블루군 1번 함정에 응시를 하지만 격침당하는 상황이다. 마지막으로 그림 4(d)는 시뮬레이션 시간 9704초 경과후의 화면이다. 레드군 2번 함정은 블루군의 협공으로 격침당하고, 레드군 1번 함정은 블루군의 후미를 공격하려 하지만 블루군은 레드군 1번 함정을 포위한 후 블루군 2번 함정과 교전을 하

표 1. 시뮬레이션 초기 조건

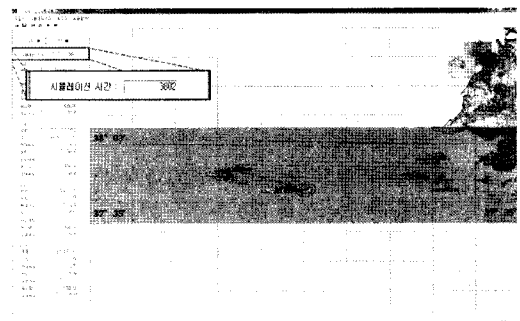
구 분	BLUE(아군)	RED(적군)	
장 소	서해안 NLL(Northern limit line)근방		
함 정 제 원	함정종류	참수리급 고속정(2척)	SO-1급 경비정(2척)
	만재배수량	148톤	215톤
	길 이	37m	42m
	너 비	7m	6.1m
	출 력	10800 마력	6600 마력
	최대속력	37노트	28노트
가용무기	30mm함포, 40mm함포	85mm함포, 37mm함포	
전 술	<ul style="list-style-type: none"> RED 군이 포위하면 각개 격파 시도 RED 군을 역으로 포 위하여 격파 	<ul style="list-style-type: none"> BLUE 군 발견시 포위 하여 격파 	



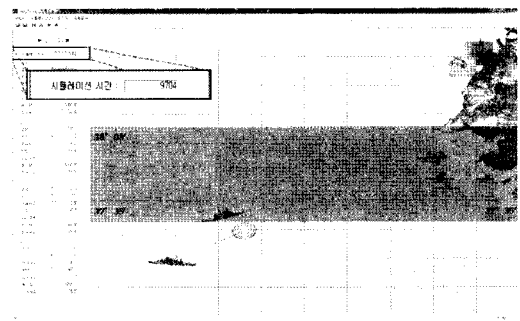
(a) t = 2(초기 상태)



(b) t = 3402



(c) t = 3802



(d) t = 9704

그림 4. 시뮬레이션 결과 화면(주요 시간대별 상황)

여 격침당해 시뮬레이션이 종료된다.

각각 함정의 초기위치, 각 함정의 명령 수행 상황, 레드군2의 격침된 상황, 레드군1의 격침된 상황을 상세히 표현한 시뮬레이션 결과표를 부록-표 4로 첨부했다.

표에서 같은 시간($t=2$) 대에 각 함정의 초기 위치를 보여주고 있다. 초기 위치에서 각 함정은 “Departure”라는 명령에 의해 각각의 방향으로 움직이기 시작하고 있다. 역시 같은 시간($t=3402$) 대의 각 함정의 위치를 보여주고 있다. 그러나 각 함정은 수행하고 있는 명령은 다르다. 각 함정은 자신에게 주어진 명령을 수행하며 함정 전투에 임하게 된다. 다음 시간대($t=3802$)에서는 블루군 함정의 공격에 의해 레드군 2번함이 격침되는 모습을 보여주고 있다. 블루군 2번 함정은 레드군 2번 함정에 공격(발포 명령에 의해)을 가하고 있다. 그 공격으로 레드군 2번 함정은 $t=3802$ 이후에 위치의 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 이는 곧 격침되었음을 의미한다. 마지막 시간대($t=9704$)에 레드군 2번과 같이 레드군 1번 함정이 블루군 2번 함정의 공격으로 격침되는 상황을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 기존의 국방 M&S 시스템에 에이전트 기술의 도입을 통한 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템의 설계 개념과 방법론의 제시를 주목적으로 한다. 즉 현행 교전 시뮬레이션 수행시 문제점인 고정된 시나리오에 의한 수행문제(창발적 실험 불가), 인간 의존적 교전 결과 문제(객관적 실험 불가), 그리고 고속시뮬레이션 문제(다양한 실험 불가) 등에 따른 해결방안으로 에이전트기반 M&S 시스템을 고려하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 국방 M&S 시스템에 대한 미래 요구사항 분석이 진행되었으며, 이를 토대로 현재까지 국내외적으로 미개척분야에 해당되는 인간 미개입형 M&S환경의 개념을 정립하고 일곱 가지 유형의 대안들을 제시하였으며, 각각의 활용방안을 검토하였다. 이를 통해, 선진국의 최신 연구사례인 BattleModel이나 TAO ITS 등의 에이전트기반 M&S 시스템 등을 포괄하는 다양한 접근방법이 도출되었다.

이를 위해 본 연구에서는 DEVS를 이용한 첨단 모델링 및 시뮬레이션 기법과 HEAP 개념을 도입한 에이전트 모델링의 유기적 통합을 통해 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템 설계 방법론이 효과적으로 제시되었다. 본 기법은 향후 보다 체계적인 요구사항공학과 연계를 통하여 SBA(Simulation-based Acquisition) 등 다양한 목적별 방법론으로 세분화될 수 있을 것이다.

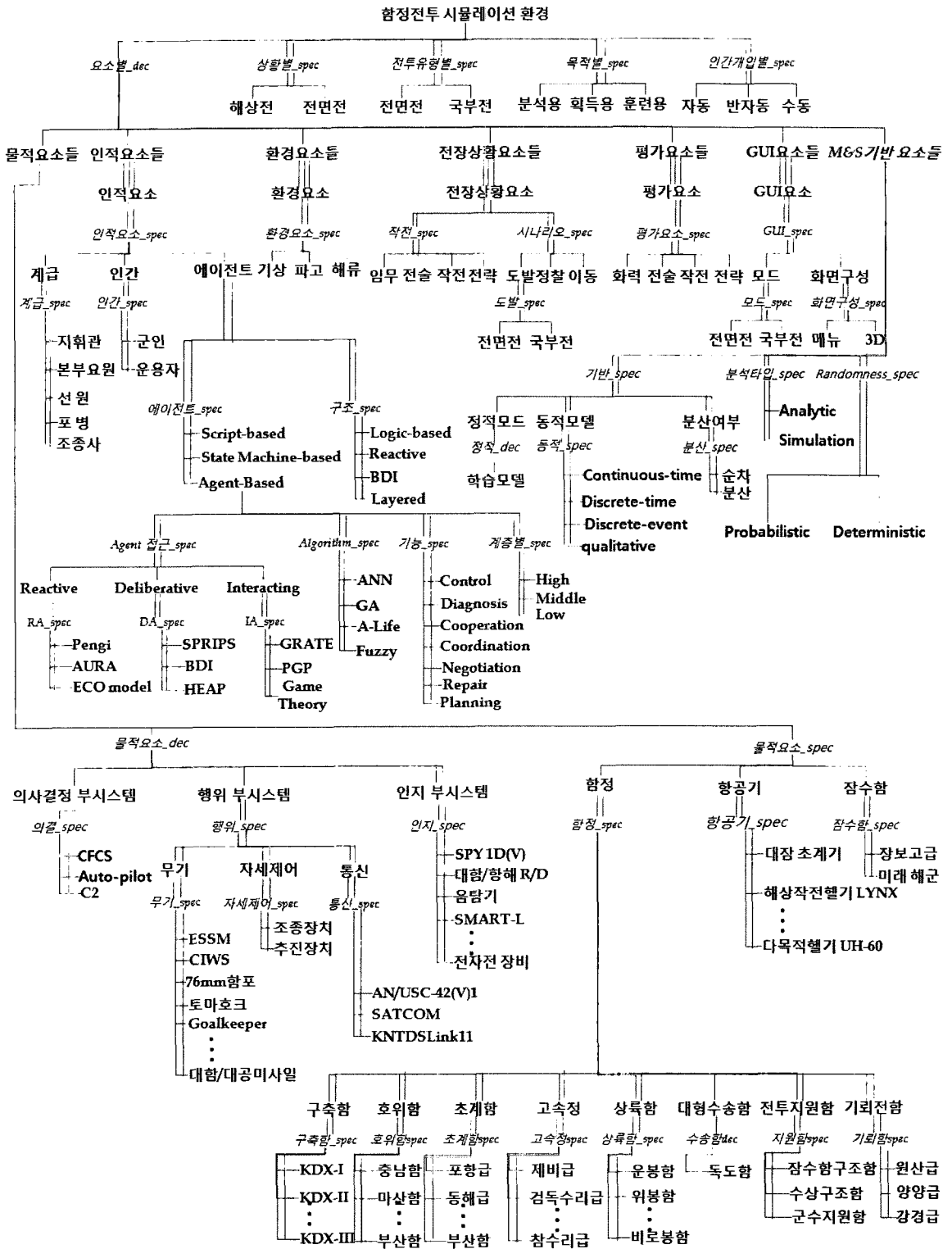
제안된 방법론의 유효성검증을 위해, 에이전트기반 함정전투 M&S 시스템이 DEVS에 의해 구현되어 성공적으로 테스트되었다. 데모시나리오는 서해 북방한계선에서 벌어지는 2:2 국부전으로 구성하였다. 본 사례연구는 비록 단순한 형태의 에이전트로 구성된 소규모 교전 시스템이지만, 공학급(연속시간 모델)과 교전급(이산사건 모델) 모델들이 연동된 인간 미개입형 M&S에 대한 구체적인 시도였다는 점에서 큰 의미가 있는 연구 성과로 판단된다.

향후 연구로는 보다 정교하게 다듬어진(최적 전술 및 전략 지식을 탑재한) 자율에이전트 시스템을 이용한 다중 플랫폼간의 고속 시뮬레이션이 필요하다. 또한 MOE(Measure of Effectiveness) 및 MOP(Measure of Performance) 등과 연계된 통제관 에이전트의 개발과 유전 알고리즘을 이용한 최적 전술 생성 등의 연구도 계속되어야 할 것이다. 그리고 에이전트들의 실시간 고속추론에 대한 요구사항과 기능성 및 에이전트간 통신 복잡도 사이의 최적화 해결방안에 대한 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. KESEM International, “BattleModel: Supporting capability lifecycle decisions”, Richmond, Australia: KESEM International, 2004.
2. K. Bennett, et al., “An application of DSTO’s Battle-Model using agent and human-in-the-loop”, SimTecT 2001, Canberra, Australia.
3. C. H. Douglass, “Future seabasing technology analysis - Logistics command and control”, Alexandria, Virginia: The CNA Corporation, 2006.
4. R. H. Stottler, M. Vinkavich, “Tactical Action Officer Intelligent Tutoring System (TAO ITS)”, San Mateo, CA: STOTTLER HENKE ASSOCIATES INC, 2006.
5. G. Taylor, S. Wood, K. Knudsen, “Enabling battlefield visualization: An agent-based information management approach”, McLean, VA: 10th International Command and Control Research and Technology Symposium: The future of C2, 2005.
6. Jenner, R., “Towards a Science of Experimental Complexity: An Artificial Life. Approach to Modeling Warfare”, Proceedings of 5th Experimental Chaos Conference. Orlando, FL. 2000.
7. Michael Babilot, “COMPARISON OF A DISTRIBUTED OPERATIONS FORCE TO A TRADITIONAL FORCE IN URBAN COMBAT”, The Master’s Thesis of Naval Postgraduate School, September, 2005.
8. Easton A., and Barlow M., “CROCADILE: An Agent

- Based Distillation System Incorporating Aspects of Constructive Simulation”, Proceedings of SimTect 2002, Melbourne Australia, 13-16 May, 2002.
9. <http://www.itee.adfa.edu.au/~alar/wisdom/index.html>
 10. B.P. Zeigler, Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models: Intelligent Agent and Endomorphic Systems, Academic Press, 1990.
 11. B.P. Zeigler et al, Theory of Modeling and Simulation, Academic Press, 2000.
 12. B.P. Zeigler, S.D. Chi et al, “Model-based Architecture Concepts for Autonomous System Design and Simulation”, In: Introduction to Intelligent and Autonomous Control, Kluwer, 1992.
 13. S.D. Chi and B.P. Zeigler, “Hierarchical Model-based Designs for High Autonomy Systems”, J. Intelligent and Robotic Systems, Vol. 9, pp. 193-203, 1994.
 14. S.D. Chi, “Model-based Reasoning Using the Symbolic DEVS Simulation”, Trans. of Modeling and Simulation, Vol. 14, No. 3, pp. 141-151, 1997.
 15. S.D. Chi and B.P. Zeigler, “Hierarchical Model-based Diagnosis for High Autonomy Systems”, Jour. of Intelligent and Robotic Systems, pp. 193-207, 1994.
 16. 구종도, 『함정공학개론』. 서울: 동명사, 2000.
 17. 홍성표, “남북한 해군 무기 성능 비교”, 북한 7월호, pp. 157-171, 2005.
 18. 육군사관학교 편저, 무기체계공학, 북스힐, 2003.
 19. 김경기, 한응기, “함정 전투체계의 대함유도탄 방어 능력 구현 방안”, 제7회 해군해양과학기술 심포지움 논문집, pp. 43-54, 2002.



부록 - 그림 1. 합정전투 시뮬레이션 SES(System Entity Structure)

부록 - 표 1. 에이전트 기반 국방 M&S 시스템의 접근 방안

특징 타입	처리방식									특 성	활용방안	해당시스템
	아 군			통제관			대항군					
	자 동	반 자 동	수 동	자 동	반 자 동	수 동	자 동	반 자 동	수 동			
타입 1: 완전 인간 개입형			○			○			○	<ul style="list-style-type: none"> 이상적인 경우 인간이 모든 과정에서 직접 의사결정 심전과 유사한 결과 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 이상적인 훈련용 	초기 워게임 모델 및 실전훈련 (UFL*, 연합훈련 등)
타입 2: 참여군 (아군 및 대항군) 인간 부분 개입형		○				○			○	<ul style="list-style-type: none"> 대부분의 함정전투 M&S에서 활용 참여군에 부분적으로 인간이 개입 인간 참여 비중을 줄이면서 완전 인간 개입형과 같은 결과를 기대하는 경우 	<ul style="list-style-type: none"> 현실적 대안 	청해, BattleModel, ISAAC, EINStein, MANA, CROCADILE, WISDOM
타입 3: 대항군 인간 미개입형			○			○	○			<ul style="list-style-type: none"> 대항군 전체를 에이전트로 대체 특정 전장 환경에서의 다양한 대항군의 전략에 대한 아군의 작전 훈련 및 효과도 분석용 	<ul style="list-style-type: none"> 해군 작전 모의/분석용 작전계획/방책별 효과도 분석 및 전력 평가 	N/A
타입 4: 참여군 (아군 및 대항군) 인간 미개입형	○					○	○			<ul style="list-style-type: none"> 참여군 전체를 에이전트로 대체 전장 주변요소(무기체계 및 환경 등)들이 전장에 미치는 영향 분석용 	<ul style="list-style-type: none"> 전시자원 소요 분석 무기체계, 센서, 무장 등 제원 특성에 따른 성능/효과 분석 무기체계 성능분석 전쟁모의를 통한 전투손실 분석 	N/A
타입 5: 대항군/통제관 인간 미개입형			○	○			○			<ul style="list-style-type: none"> 대항군 전체와 통제관을 에이전트로 대체 다양한 주변상황과 다양한 대항군의 전술에 따른 아군의 전술 분석용 지휘관 교육용 	<ul style="list-style-type: none"> 전술지휘관 교육용 해군 작전 모의/분석용 작전계획/방책별 효과도 분석 및 전력 평가 작전계획/방책과 성분/임무형 등 작전에 따른 전쟁모의 	TAO ITS
타입 6: 통제관 인간 미개입형			○	○					○	<ul style="list-style-type: none"> 통제관을 에이전트로 대체 각종 전장 상황 변화에 따른 참여군의 작전 결과 등을 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 해군작전별 효과도 분석 및 교리 개발 	N/A
타입 7: 완전 인간 미개입형	○			○					○	<ul style="list-style-type: none"> 참여군 및 통제관 전체를 에이전트로 대체 모든 가능한 상황에 대해 최적 전략을 생성시킬 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 해군작전별 최적 전략 생성 	N/A

* UFL(Ulchi Focus Lens) : 울지 포커스 렌즈 훈련

부록 - 표 2. 합정 모델의 의사코드

external transition function

when receive value on input port
 check the threat level
 hold-in "busy"

internal transition function

if phase is "busy"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "busy"
 output : send threat level to output port

(a) 센서 모델

external transition function

when receive value on input port from the 센서 model
 hold-in "passing"
 when receive value on input port from 지능형 자율교전체 model
 hold-in "commanding"

internal transition function

if phase is "passing"
 hold-in "passive"
 if phase is "commanding"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "passing"
 output : send the message to output port
 if phase is "commanding"
 output : send the message to output port

(b) 지휘통제모듈 모델

external transition function

when receive value on input port from the 지휘통제모듈 model
 hold-in "planning"

internal transition function

if phase is "planning"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "planning"
 decision-making:
 rule1: IF weather.wind = "low" and
 our.position="26883.07, -1285.61" and
 our.direction = "334"
 THEN output : send the "turning" message to output port
 rule2: IF weather.wave height = "middle" and
 enemy.position="338.43, -5619.64" and
 our.direction = "180°02"
 THEN output : send the "fire" message to output port

(c) 지능형 자율교전체 모델

external transition function

when receive value on input port the 지휘통제모듈 model
 if (value == "Departure")

Departure(); hold-in "departing"
 else if (value == "ChangeSpeed")
 Speed-up() or Speed-down()
 hold-in "changing-speed"
 else if (value == "Turning")
 Turning(); hold-in "turning"
 else if (value == "ReverseEngine")
 ReverseEngine(); hold-in "reversing"

internal transition function

if phase is "departing" or "changing-speed" or
 "turning" or "reversing"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "departing" or "changing-speed" or
 "turning" or "reversing"
 output : send the message to output port

(d) 기동 모델^[16]**external transition function**

when receive value on input port from the 무장 model
 act the decision
 hold-in "acting"

internal transition function

if phase is "acting"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "acting"
 output : send the message to output port

(e) 무장 모델^[17-19]**external transition function**

when receive value on input port
 if (value == "commander's message" ||
 value == "warning message")
 hold-in "communicating"

internal transition function

if phase is "communicating"
 hold-in "passive"

output function

if phase is "communicating"
 output : send the message to output port

(f) 통신 모델

부록 - 표 3. SPACE 모델의 의사코드

external transition function

when receive value on input port from the Logger and Environment model

calculate the location information of each ship
hold-in "calculating"

internal transition function

if phase is "calculating"
hold-in "passive"

output function

if phase is "calculating"
output : send the ship location information to output port

(a) SEP 모델

external transition function

when receive value on input port from the GIS and Logger model

check the propagation range of weapons or environment elements
hold-in "propagating"

internal transition function

if phase is "propagating"
hold-in "passive"

output function

if phase is "propagating"
output : send the propagation message to output port

(b) Propagator 모델

external transition function

when receive value on input port from the GIS and Propagator model

update location
hold-in "updating"

internal transition function

if phase is "updating"
hold-in "passive"

output function

if phase is "updating"
output : send the updated location message to output port

(c) Logger 모델

external transition function

when receive value on input port from the SEP model
setup the environment and time

hold-in "setting"

internal transition function

if phase is "setting"
hold-in "passive"

output function

if phase is "setting"
output : send the set message to output port

(d) Environment 모델

external transition function

when receive value on input port from the Propagator and Logger

save GIS information
hold-in "storing"

internal transition function

if phase is "storing"
hold-in "passive"

output function

if phase is "storing"
output : send the GIS information message to output port

(e) GIS 모델

부록 - 표 4. 시간별 각 함정들의 정보(시뮬레이션 결과)

시간(t)	함정명	속도(m/s)	배의 위치	방향(방위각)	수행명령	공격 목표 위치
2.00	BLUE1	0.10	(19999.93, -19999.93)	135°	Departure	N/A
	BLUE2	0.05	(34999.96, -34999.96)	135°	Departure	N/A
	RED1	0.03	(-9999.99, 19999.97)	290°	Departure	N/A
	RED2	0.03	(-14999.99, 34999.97)	290°	Departure	N/A
3.00	BLUE1	0.20	(19999.79, -19999.79)	135°	Departure	N/A
	BLUE2	0.10	(34999.89, -34999.89)	135°	Departure	N/A
	RED1	0.06	(-9999.97, 19999.91)	290°	Departure	N/A
	RED2	0.06	(-14999.97, 34999.91)	290°	Departure	N/A
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
3401	BLUE1	11.75	(-14599.84, -4829.01)	140° 16'	Turnig	N/A
	BLUE2	12.28	(313.87, -5619.59)	179° 88'	Speed-down	N/A
	RED1	20	(20160.28, 1921.96)	334° 49'	Speed-up	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Speed-up	N/A
3402	BLUE1	11.75	(-14605.82, -4823.99)	139° 96'	Turnng	N/A
	BLUE2	12.27	(301.60, -5619.56)	179° 88'	Speed-down	N/A
	RED1	20	(20160.28, 1921.96)	334° 49'	Fire	(-14587.8, -4838.97)
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
3403	BLUE1	11.75	(-14611.79, -4818.96)	139° 76'	Turning	N/A
	BLUE2	12.27	(289.33, -5619.54)	179° 88'	Speed-Down	N/A
	RED1	20.00	(20178.33, 1913.35)	334° 49'	Speed-Down	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
3801	BLUE1	13.03	(-17903.34, -1554.79)	135° 15'	Speed-up	N/A
	BLUE2	10.57	(-4242.37, -5609.83)	179° 88'	Speed-Down	N/A
	RED1	17.26	(26852.37, -127089)	334° 49'	Speed-Down	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
3802	BLUE1	13.04	(-17912.59, -1545.59)	135° 15'	Speed-up	N/A
	BLUE2	10.57	(-4242.37, -5609.83)	179° 88'	Fire	(-16298.79, 1188.37)
	RED1	17.26	(26867.94, -1278.32)	334° 49'	Speed-Down	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
3803	BLUE1	13.05	(-17921.84, -1536.38)	135° 15'	Speed-up	N/A
	BLUE2	10.56	(-4252.93, -5609.81)	179° 88'	Speed-Down	N/A
	RED1	17.26	(26883.07, -1285.61)	334° 06'	Turning	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
9703	BLUE1	0.00	(-18889.51, -15098.51)	-135°	ReverseEngine	N/A
	BLUE2	18.27	(-30731.60, -31242.95)	345° 21'	Speed-up	N/A
	RED1	0.0	(-14071.96, -20410.30)	312° 49'	ReverseEngine	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
9704	BLUE1	0.00	(-18889.51, -15098.51)	-135°	ReverseEngine	N/A
	BLUE2	18.27	(-30737.60, -31242.95)	345° 21'	Fire	(-14071.96, -20410.30)
	RED1	0.0	(-14071.96, -20410.30)	312° 49'	ReverseEngine	N/A
	RED2	18.01	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)
9705	BLUE1	0.00	(-18889.51, -15098.51)	-135°	Fire	(-14071.96, -20410.30)
	BLUE2	18.25	(-30719.95, -31247.61)	345° 21'	ReverseEngine	N/A
	RED1	0.00	(-14071.96, -20410.30)	312° 49'	ReverseEngine	N/A
	RED2	18.27	(-16298.79, 1188.37)	180° 02'	Fire	(338.43, -5619.64)



지 승 도 (sdchi@kau.ac.kr)

1982 연세대학교 전기공학과 학사
 1984 연세대학교 전기공학과 석사
 1985~1986 두산 컴퓨터(현 한국 디지털) 근무
 1991 미국 아리조나대학교 전기전산공학과 박사
 1991~1992 미국 SIMEX Systems and S/W 회사 S/W 담당자로 근무
 1992~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심분야 : 이산사건 시스템 모델링 및 시뮬레이션, 컴퓨터 보안, 지능시스템 디자인 방법론, 시뮬레이션 기반 인공생명, 교통 모델링



유 용 준 (ilog21c@kau.ac.kr)

2003 한국항공대학교 컴퓨터공학과 학사
 2005 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사
 2005~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사 과정

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 워게임, 네트워크 보안



정 찬 호 (chanho66@kau.ac.kr)

2006 청운대학교 컴퓨터공학과 학사
 2008 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사
 2008~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사 과정

관심분야 : 모델링 & 시뮬레이션, 워게임



이 장 세 (jslee@hhc.ac.kr)

1997 한국항공대학교 전자계산학과 학사
 1999 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사
 2003 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사
 2004~현재 한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부 조교수

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 네트워크 보안, 지능시스템 설계, 인공생명



김 재 익 (jaeick@add.re.kr)

1990 경북대학교 전자공학과 학사
 1992 경북대학교 전자공학과 석사
 1992~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 합정 전투체계 무장통제장치 개발, 전투체계 모델링 및 시뮬레이션, 전투체계 교전 효과도 분석