

## 에이전트 기반의 NCW 전투모델링 시스템 설계

박세연<sup>1</sup> · 신하용<sup>1\*</sup> · 이태식<sup>1</sup> · 최봉완<sup>2</sup>

### Design of the Agent-based Network-Centric Warfare Modeling System

Seyoun Park · Hayong Shin · Taesik Lee · Bongwan Choi

#### ABSTRACT

While the future warfare is expected to be appeared as network-centric, effect-based, and coordinated cooperative, most current M&S systems reflect only the unit behaviors and interactions of each weapon system. There are limitations to analyze the behaviors of managing weapons cooperatively and sharing the situational awareness over the networks of distributed sensors, C2, and shooters using them. Therefore, we introduce the new design of the network-centric warfare modeling system using the agent-based modeling and simulation approach. We have developed a system for engagement-level warfare models and tested with multi-platform battleship warfare. In this paper, we propose the method to design battle agents, environments, and networks for network centric warfare modeling.

**Key words** : Network centric warfare, ABMS

#### 요약

미래 전쟁은 네트워크중심전, 효과중심전, 동시통합전의 양상으로 전개될 것으로 예상된다. 그러나 현존하는 M&S 시스템은 과거의 플랫폼 중심전 모델에 맞는 단위 무기체계별 행동과 한정된 상호작용에 대한 모델만을 고려하고 있어, 분산된 센서, 통신자원, 슈터들이 네트워크를 통해 결합되어 상황을 공유/인식하고 유기적으로 운영되는 모습을 모델링하기에는 한계가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 근래에 전투모델링 방법으로 그 실효성이 어느정도 인정되고 있는 에이전트 기반 모델링 및 시물레이션 방법을 이용하여 NCW 환경 하에서의 전투모델링 시스템을 설계 및 개발하였다. 기본 ABMS 방법론에서 NCW 효과 분석을 위한 개별 전투요소를 모델링하는 방법, 환경에 표현해야 하는 요소, 그리고 마지막으로 네트워크를 모델링하는 방법을 소개하고자 한다.

**주요어** : 네트워크중심전, NCW, ABMS, 전투분석모델

## 1. 서론

미래 전쟁은 과거의 플랫폼 중심의 전장개념과 달리 네트워크중심전(Network Centric Warfare, 이하 NCW), 효과중심전(Effective Based Operation, 이하 EBO) 및 그림 1과 같이 통합전의 양상으로 전개될 것으로 예상된다

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD080042AD).

접수일(2010년 9월 30일), 심사일(1차 : 2010년 11월 4일), 게재 확정일(2010년 11월 15일)

<sup>1)</sup> 한국과학기술원 산업및시스템공학과

<sup>2)</sup> 한남대학교 M&S 연구센터

주 저 자 : 박세연

교신저자 : 신하용

E-mail: hyshin@kaist.ac.kr

다. 그러나 현존하는 M&S 시스템은 NCW에 동원되는 단위 무기체계나 단순한 전장상황만을 고려하고 있어 NCW효과를 판단하는 데에는 한계가 있다. 단위무기체계별 전투모델링은 무기체계 행동과 한정된 상호작용에 대한 모델, 그리고 이들에 의해 전장환경에 미치는 결과에 대한 모델링으로 구성되는데, 센서, C2<sup>1)</sup>, 슈터요소들이 네트워크를 통해 정보를 공유한다면 상황에 대한 인식 및 전투조직의 운영방식이 달라질 것이며, 이에 따라 전장환경에 미치는 결과도 달라질 것이다. 또한 NCW는 기반시스템 구축 및 운영에 막대한 자원이 필요하므로, 실제적인 효과판단을 위해 자원의 경제성까지 고려된 M&S를 활용한 분석요구가 증대되고 있는 실정이다.

1) C2: Command & Control

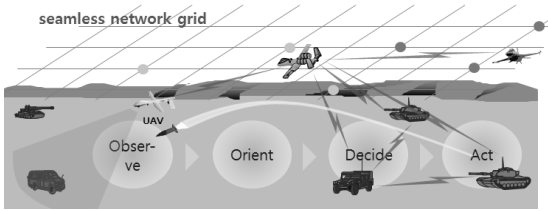


그림 1. NCW; yellow circles - sensors, blue circles - actors

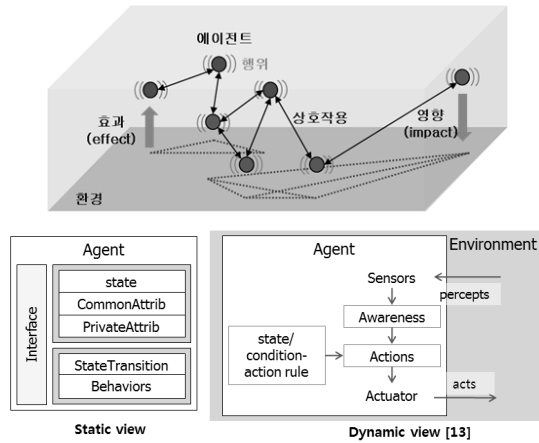


그림 2. ABMS 프레임워크

본 연구에서는 이러한 네트워크 중심전을 모의하기 위한 전투모델링 방법론으로써 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션(Agent-Based Modeling & Simulation, 이하 ABMS)의 실효성을 검토하고, 이를 이용한 효과적인 전투 모의 시스템 설계 방법을 제안하고자 한다.

1990년대 이후, 변화하는 전장환경에 맞추어 C4ISR<sup>2)</sup>과 장거리 정밀유도무기가 서로 결합된 네트워크 기반의 상호작용 상황을 묘사하기 위하여 에이전트 기반 모델링 방법이 많은 주목을 받아 왔으며, 국방 M&S 시스템에서도 실험적인 연구들을 통하여 그 실효성이 어느 정도 인정되고 있다(Easton 등, 2002<sup>[7]</sup>; Ilachinski, 2004<sup>[10]</sup>; Yang 등, 2005<sup>[14]</sup>).

ABMS 프레임워크 개념은 그림 2에 나타난 바와 같으며, 이를 통해 간단한 요소들의 자율적 행위를 묘사하는 기본 개념으로는 적합하나(Gilbert, 2007<sup>[9]</sup>; Macal 등, 2008<sup>[11]</sup>), 본 연구에서 목표로 하는 NCW 개념을 적용한 전투모의 시스템을 모델링 하기에는 좀 더 구체화 되어야 하는 부분들이 많이 있다. 이를 3, 4, 5장을 통해 설명할 예정이며, 간략히 정리하면 다음 3가지로 요약된다.

- **Component-based agent** 효율적인 전투분석실험을 위한 시스템은 전투요소들을 손쉽게 구성하여 사용할 수 있어야 하며, 이를 위해 재사용 가능한 컴포넌트들을 정의해두고 개별 무기체계 및 플랫폼은 이를 조합하여 모델링 함으로써 더 복잡한 행위를 손쉽게 나타낼 수 있다. 이를 가능하게 하기 위해서는 OOP를 지원하는 언어나 ABMS 툴킷을 사용할 필요가 있으며, 본 연구에서는 향후 설명될 system dynamics를 사용하기 위해 XjTechnologies 사의 AnyLogic을 사용하여 개발하였다. 그러나 본 논문에서 제안하는 전반적인 프레임워크는 OOP를 지원하는 어느 툴킷을 사용하여도 무관하며, 다만 system dynamics를 손쉽게 사용하고자 한다면 discrete event 기반이 아닌 연속시간 기반으로 시뮬레이션이 진행된다는 가정이 필요하다.

- **Network modeling** 네트워크는 NCW의 가장 핵심적인 역할을 하는 backbone 구조로서 전장요소를 하나의 유기적인 조직으로 묶는 역할을 하며 이를 묘사하기 위한 구조를 5장에서 제안한다.

- **ABMS + System dynamics의 composite modeling** 모델링하고자 하는 해상도에 따라 때로는 개별 무기체계의 물리적인 움직임까지를 필요로 할 때가 있고, 좀 더 coarse level에서 모델링하고자 할 때가 있다. System dynamics를 함께 사용하면 원하는 경우 함포가 운동방정식을 따라 움직이는 모습까지 묘사하거나, 함포 하나하나를 모델링하지 않고 시간에 따른 소모량 만을 묘사하는데에 손쉽게 사용될 수 있다.

## 2. 기존 연구

전장에서의 NCW 개념은 '80년대에 A.K. Cebrowski 제독에 의해 제안된 후 실효성과 기본 개념 및 지향 방향에 대해 많은 의견들이 있어 왔다(Alberts, 1999<sup>[4]</sup>; Alberts, 2000<sup>[5]</sup>; Garstks, 2003<sup>[8]</sup>). 또한 그 모습이 구체화 되면서, 기존의 위게임 모델에 일부 적용하여 실험한 형태의 연구들이 소개된 바 있다(C Alspaugh 등, 2004<sup>[6]</sup>; J Garstks, 2003<sup>[8]</sup>). 그러나 NCW는 아직 완전히 갖춰지지 않은 미래의 전장환경에 대한 개념이고, 개발되지 않은 무기체계나 네트워크 구축 전에 그 효과를 분석하기 위한 실험 큰 효과를 가져올 수 있는 측면이 많은 데에 반해 이를 모델링하기 위한 시스템은 많지 않으며, 연구 목적으로 소스가 공개된 사례는 WISDOM-II(Yang 등, 2005<sup>[14]</sup>) 정도이

2) C4ISR: Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance

다. 특히 국내에서는 거의 전무한 상태로 파악되고 있다.

한편 전투분석용 시스템 개발을 위해 ABMS를 도입한 사례는 최근 늘어나고 있으며, 대표적인 것이 ISSAC/EINSTEIN(Ilachinski, 2004<sup>[10]</sup>, <sup>[16]</sup>)이다. 이후 이와 비슷한 시스템으로 MANA, SEM, WISDOM-I/II, CROCADILLE(Easton 등, 2002<sup>[7]</sup>) 등이 개발되었다(Ilachinski, 2004<sup>[10]</sup>). 이 중 WISDOM-II는 NCW환경을 도입하기 위해 시스템 내에 네트워크를 명시적으로 분리하여 모델링 하는 것을 시도하였다. 그러나 이들 대부분은 상대적으로 단순하고 무리를 이루는 에이전트를 사용하여 창발적(emergent) 행위를 관찰하는 데에 목적을 두고 있어, 본 연구에서 대상으로 하는 시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 국내 사례로는 지승도(2008)<sup>[2]</sup>, 정찬호(2009)<sup>[3]</sup> 등에 의해서 해상전을 대상으로 ABMS를 도입해 본 연구가 발표된 바 있다. 위 두 논문에서는 함대함 전투를 대상으로 하고 있으며, 특히 정찬호 등(2009)<sup>[3]</sup>에는 계층적 명령체계의 모델링 구조에 초점을 맞추고 있다. 두 논문 역시 자율적 행위를 모델링 하는 데에 초점이 맞추어져 있으며 특별히 NCW를 대상으로 하지는 않는다.

본 연구에서는 ABMS를 이용하여 NCW환경 하의 교전급 모델을 모의 가능한 전투모델링 시스템을 개발하였으며, 설계 방법과 사례연구를 소개하고자 한다.

### 3. 전투요소 모델링

전투요소는 전장환경 하에서 행위를 하는 개체로 ABMS에서 에이전트로 표현되는 단위이다. 작은 단위로는 살상/비살상 무기체계부터 사람, 소프트웨어 컴포넌트, 플랫폼 그리고 분대단위 등 모델링하고자 하는 해상도에

따라 다양하게 정의될 수 있다. 실제 전장에서는 사람의 명령을 통해서만 움직이는 수동적인 개체도 있으나, 사람의 개입이 없이 자동으로 진행되는 전투상황을 묘사하기 위해서는 이러한 경우도 사람이 해주는 기능과 함께 묶어 하나의 에이전트로 묘사할 필요가 있다.

본 연구에서는 교전급 전투모델을 대상으로 하고 있으며, 그림 3에서는 모델링 대상 전투요소와 이를 담당하는 에이전트에 해당되는 클래스의 다이어그램을 보여주고 있다.

#### 3.1 센서 에이전트

본 연구에서는 센서는 radar로 한정하였으며 기능은 크게 탐지와 식별, 그리고 추적 3가지로 나누어진다. 탐지는 탐지 가능한 범위 내에 물체의 존재 여부를 찾아내는 역할로 물체가 탐지범위 R 내에 있을 때 이를 (1)과 같이 확률적으로 모델링할 수 있다.

$$P(x) = \begin{cases} \left(1 + \frac{r(x)}{2R}\right)^{-\frac{r(x)}{2R}}, & r(x) < R \\ 0, & r(x) \geq R \end{cases} \quad (1)$$

이 때 P(x)는 탐지 확률, r(x)는 센서로부터 물체까지의 거리를 나타낸다.

물체가 단순히 탐지거리 내에 있다고 하여도 현재 radar가 관측하는 방향과 다르거나 지형 및 기상조건에 의해 가려져 관측되지 않을 수 있다. 이러한 경우의 모델링을 위해서 line-of-sight 모델을 적용할 필요가 있으며, 이는 그림 4에서 보이는 바와 같이 frustum(절두체) culling과 ray casting을 조합하여 빠르게 계산할 수 있다.

식별은 새롭게 탐지된 물체가 적군인지 아군인지를 판별하고, 적군의 경우 어떤 종류의 무기체계인지를 판별하

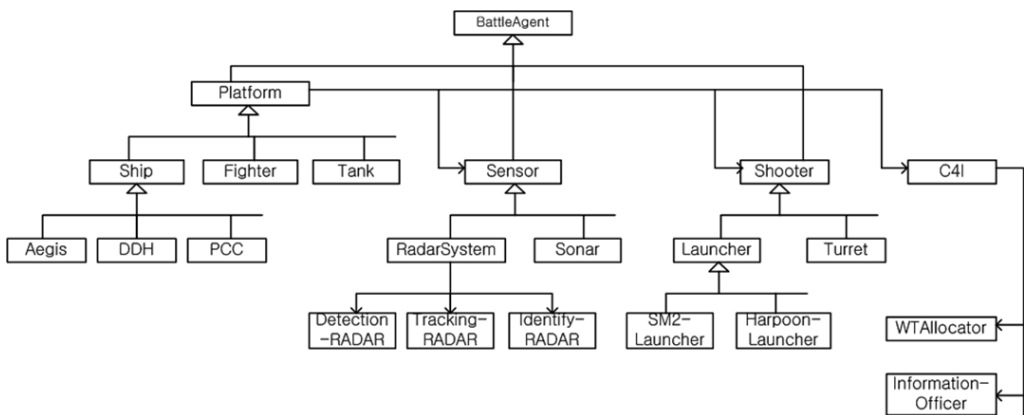


그림 3. 전투요소 에이전트 구조

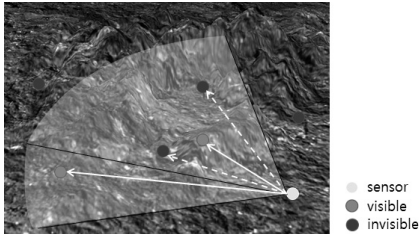
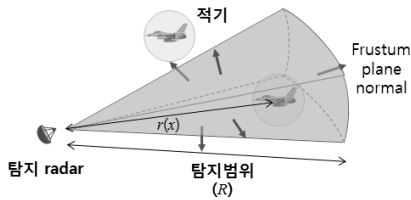


그림 4. 절두체(상)와 ray casting(하)을 이용한 탐지 모델

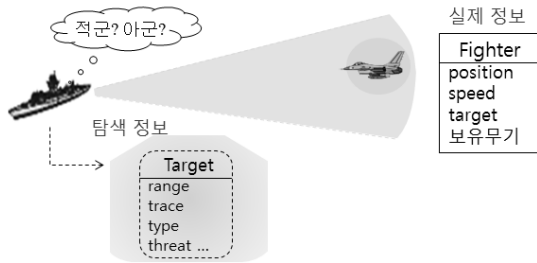


그림 5. Target 클래스 속성

는 역할로, 이를 가능하게 위해 각 에이전트는 속성으로 자신이 속한 부대의 ID와 (예: 청군 1, 홍군 2) 적의 탐지 radar 화면 상에 보여질 자신의 크기에 대한 정보(dot size)를 가지도록 한다. 예를 들어 스텔스 기능을 가지는 무기체계의 경우에는 본래의 크기에 비해 훨씬 작은 크기를 가지도록 한다. 실제 식별기는 파야 구별을 위해 사전에 암호화 된 코드를 이용하지만 본 연구에서는 모델링을 단순화하기 위해 식별기와 탐지된 물체의 ID를 비교하여 확률적으로 피아식별을 하며, 적군으로 식별된 경우 크기와 이동속도를 이용하여 무기체계 종류를 판별한다.

만약 식별된 물체가 적군이면 target을 저장하는 list에 추가하게 되는데, 이는 탐지를 통해 얻어진 정보이므로 실제 적군 에이전트의 위치와 종류, 속도와 오차를 가지고 있을 수 있다. 따라서 탐색된 정보를 저장하는 Target class를 정의하고 여기에 적군이 위치할 수 있는 범위(range)와 종류, 그리고 아군이 느끼는 위협도(threat) 등을 저장하도록 한다. 그리고 향후 네트워크를 통해 target의 정보를 공유 및 융합하여 네트워크에 의한 전투효과 변화를

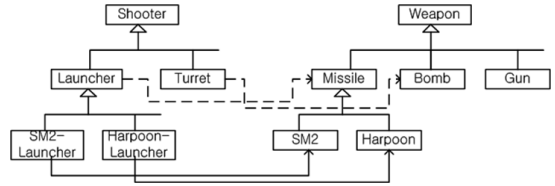


그림 6. 슈터 클래스 다이어그램

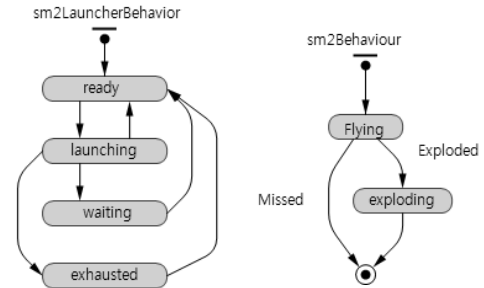


그림 7. 상태전이 다이어그램; 발사대(좌) 및 미사일(우)

보는 데에 사용한다.

마지막으로 추적 에이전트는 움직이는 궤적을 추적 및 저장하여 그 정보를 공격 및 방어시에 활용한다.

### 3.2 슈터 에이전트

슈터는 살상무기체계를 포함하는 타격시스템에 해당되는 에이전트로, 일반적으로 미사일이나 포탄의 명중률은 목표물의 위치의 정확도에 영향을 받는데, 본 연구에서는 센서로부터 생성된 Target object에 이 정보를 담아서 슈터로 전달된다. Target이 존재 가능한 range의 범위가 클수록 타격의 정밀도는 떨어지게 되며, shooter 쪽에서 자신이 보유한 무기체계의 종류에 따라 range에서 명중률로 변환하는 함수를 가지고 있으면 센서와 슈터간 구조의 독립성을 유지하면서도 센서에서 슈터로 연결되는 프로세스의 연관성이 표현 가능하다.

한편 무기체계 종류에 따라, 타격 명령이 들어온 시점으로부터 발사까지 준비 시간이 걸리거나, 동시발사가 가능/불가능한 경우 등의 다양한 상황이 가능하며, 본 연구에서는 효율적이고 사실적인 모델링을 위해 발사대와 실제 살상무기를 분리하여 모델링함으로써 무장할당시 고려해야 하는 요소들을 손쉽게 표현할 수 있게 하였다.

발사대는 그림 6에서 보이는 바와 같이 발사 가능한 무기체계를 직접 구성요소로 가지고 있으며, 보유 무기 개수와 발사시간간격 등의 속성을 가진다. 발사가 가능한 시점에는 ready 상태에 있다가 미사일이나 포탄을 발사하

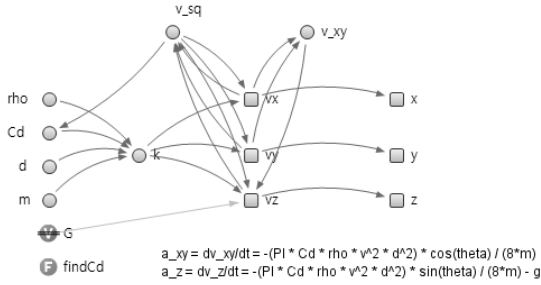


그림 8. System dynamics 적용 예

고 나면 다시 *ready* 상태로 가기까지 일정 시간이 걸리도록 그림 7과 같이 상태전이 다이어그램으로 모델링하면 실제적인 전투상황을 개념적으로 손쉽게 묘사할 수 있다. 또한 플랫폼에서 무기체계의 속성을 직접 다루지 않고 **Shooter**라는 추상클래스를 통해 공격하게 함으로써 무기체계와 플랫폼을 독립적으로 모델링 할 후 있게 하였다.

살상무기체계의 경우 공격의 성공여부를 단순히 확률변수를 생성하여 판단할 수도 있으나, 표현하고자 하는 모델의 상황과 해상도에 따라 실제 물리적 특성이 반영되어야만 정확한 모델링이 가능한 경우도 있다. 예를 들어 함정이 함포나 어뢰 등에 대해 회피기동을 하는 상황을 묘사하고자 한다면 함포나 어뢰가 목표하는 위치에 도달했을 때 함정과 만나야만 공격의 성공여부가 결정되는데, 이러한 상황은 단순 확률변수로는 표현하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실제 물리적인 속성을 표현하고자 하는 경우에는 **system dynamics**를 결합한 **composite modeling**을 하는 것을 제안하며, 많은 경우 **ABMS** 툴킷은 **time-based** 방식으로 시뮬레이션이 진행되므로 기존의 **discrete event** 방식에 비해 손쉽게 적용이 가능하다. 그림 8은 함포의 움직임을 표준탄도방정식을 적용한 예를 보여준다.

### 3.3 통신 에이전트

센서에서 들어오는 정보는 센서를 포함하고 있는 플랫폼의 통제센터로 전달되어 외부로 전달될 필요가 있는 정보의 경우 통신 에이전트를 통해 전달한다. 통신 에이전트는 자신이 속한 네트워크에게 정보 전달을 요청하거나, 또한 외부에서 전달되는 정보를 내부 에이전트에게 전달해 주는 역할을 하는 데, 이렇게 통신을 담당하는 에이전트를 분리한 이유는, 하나의 에이전트가 여러 다른 종류의 네트워크에 연결되어 있을 수 있는 상황에서 센서나 슈터 등을 네트워크 종류와 무관하게 독립적으로 모델링할 수 있게 하기 위함이다.

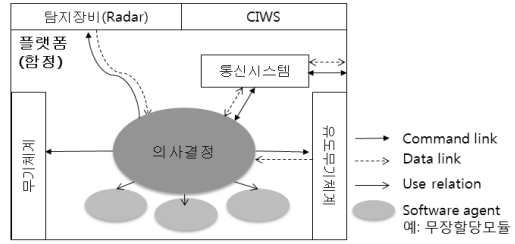


그림 9. Component-based agent

### 3.4 컴포넌트 기반 에이전트 모델링

일반적으로 플랫폼은 다양한 센서와 슈터 그리고 다른 종류의 플랫폼이 조합되어 하나의 플랫폼을 구성하게 되고, 경우에 따라 플랫폼들이 모여 부대를 이루어 전투를 수행하게 된다. 전투요소는 이러한 계층적 모습을 가지는 경우가 일반적이며 이때마다 상위계층부터 새롭게 하나 하나 설계 및 구현해 나가기에는 분석시스템의 목적에 맞지 않다. 따라서 독립적으로 분리 가능한 요소별로 컴포넌트화 하여, 이를 조합함으로써 상위 레벨의 에이전트를 손쉽게 구성할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 독립적인 단위로 하위 에이전트를 잘 나누고 인터페이스가 잘 정의되어 있어야 하는데, 대부분의 경우 실제 전투에 참여하는 요소단위로 나누거나 조합하여 모델링하면 직관적인 모델링이 가능하다. 그림 9는 하나의 함정을 구성하는 하위 에이전트를 보여준다.

컴포넌트 기반 에이전트를 구성함으로써 가질 수 있는 또 하나의 장점은, 일반적인 컴포넌트 기반 모델링과 같이 복잡한 전투 프로세스의 내용을 하나의 에이전트에 모두 표현하지 않고 독립적인 기능을 수행하는 에이전트들끼리의 상호작용으로 좀 더 손쉽게 표현할 수 있다는 점이다.

## 4. 환경요소 모델링

환경은 에이전트가 놓여있는 배경이 되는 수동적인 요소로 전투모의 모델링에서는 지형과 같은 물리적인 환경에 주로 영향을 받게 된다. 먼저 탐지 및 뒤에서 설명될 무선통신망을 통한 통신, 공격가능여부 등은 에이전트간 거리에 의해 영향을 받게 되므로 가장 기본적으로 에이전트가 놓일 있는 공간적 환경이 필요하며, 효율적 계산을 위해 기본 2D continuous space와 지형 및 해상을 표현 가능하도록 uniform grid에 높이 정보를 포함하는 Z-map을 사용하였다. 그림 10은 본 연구에서 사용된 환경요소의 개념을 보여준다.

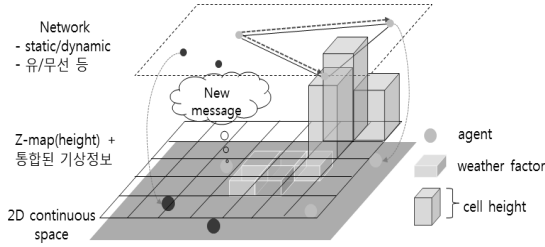


그림 10. 환경요소

## 5. 네트워크 모델링

네트워크는 환경의 일부로서 에이전트간의 관계를 나타내거나 직접적인 상호작용을 가능하게 하기 위해 사용한다. 거의 대부분의 ABMS 툴킷에서는 네트워크를 환경요소로 생성하여 사용할 수 있도록 기능을 제공하고 있으나, 이 네트워크는 노드들을 연결하는 데이터구조로서의 기본적인 역할만을 가지고 있다.

NCW에서의 network는 주로 명령이나 데이터를 전달할 수 있는 물리적인 통신망에 해당이 되며, 통신망의 종류 및 성능에 따른 전투효과의 모델링을 하고자 할 때에는 네트워크 자체에 특성 및 기능을 부여하는 것이 필요하며, 따라서 네트워크를 다음과 같은 방식으로 명시적으로 분리하여 모델링 하여 사용할 것을 제안한다.

네트워크의 종류는 크게 전투실험 중 그 구조가 변하는지 변하지 않는지에 따라 동적/정적 네트워크로 나누어 생각할 수 있다. 정적 네트워크는 명시적으로 시뮬레이션 초기에 연결관계를 가지고 한 노드로부터 메시지 전달요청이 들어오면 전달 가능한 모든 노드로 메시지를 전달한다. 동적 네트워크는 노드간 연결관계가 수시로 변할 수 있으므로 명시적으로 가지고 있는 것은 비효율적이며 메시지 전달시 Query를 통하여 전달 가능한 노드를 찾아 전달하도록 한다. 이 때 Query를 통해 어떤 노드를 찾는지는 네트워크의 속성에 따라 다를 수 있다. (예: broadcasting 방식으로 전송하는 네트워크와 ad-hoc 네트워크) 그림 11에서는 본 연구에서 사용한 네트워크의 클래스 다이어그램을 보여준다.

실제 통신의 경우 그림 12에서 보이는 바와 같이 전송망의 특성에 따라 정보전달의 종류 및 전송속도 등이 달라질 수 있는데, 이러한 특성을 네트워크에 반영을 하고, 정보전달 시에 사용하도록 한다. 또한 에이전트간 관계와 정보의 종류에 따라서도 전달 가능 방향이 달라질 수 있는데, 간단한 경우에는 물리적 네트워크 내에 저장이가

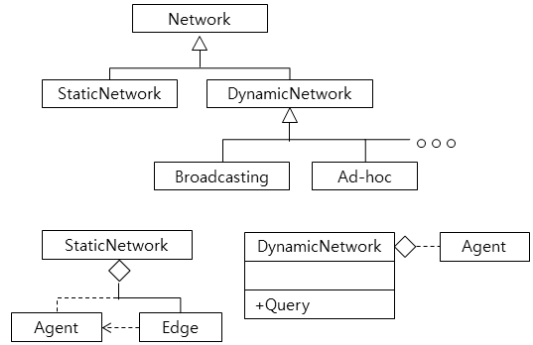


그림 11. 네트워크 데이터구조

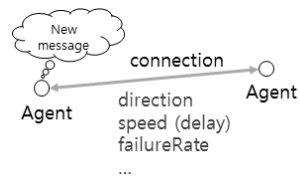


그림 12. 정보 전달

능하나, 관계 자체의 복잡도가 커지는 경우는 relation을 나타내는 logical network의 추가 설계가 필요할 수도 있다.

### 5.1 정보 전달 및 공유

네트워크를 통해 정보를 전달하는 경우, 앞서 설명한 바와 같이 네트워크 속성에 따라 전송 속도가 결정되며, 전달가능 방향은 두 에이전트 간 관계나 에이전트 속성에 따라 결정된다. 또한 데이터 전송 시에 전송 성공여부나 전송 지연 등은 네트워크 속성과 네트워크가 놓인 환경(지형+기상)에 영향을 받을 수 있다(Miller 등, 2006<sup>[12]</sup>). 예를 들어, 유선통신망의 경우는 환경요소와는 관련 없이 자체 성능에 의해서만 전송 성공률 및 지연시간이 결정되지만, 무선통신망으로 연결된 경우는 전달 에이전트간 위치에 따라 차폐물에 의해 차단되거나 안개, 구름 등의 기상 요소에 의해 메시지 전송 실패 가능성이 높아질 수 있다.

이와 같은 상황을 모델링하기 위해, 4장에서 설명된 바와 같이 환경요소 중 Z-map에 필요에 따라 지형과 기상 요소에 대한 정보를 저장하고, 그림 10의 최상위층에서 보이는 바와 같이 ray casting을 통해 두 에이전트 사이의 셀을 scan하여 차폐물 및 기상요소에 의한 전송차단여부를 빠르게 결정할 수 있다.

정보의 공유는 네트워크 모델이 주어지면 메시지 전송을 통하여 손쉽게 가능하며, 6장에서 실험한 예제 시나리오에서는 target의 위치정보, 그리고 각 플랫폼의 무장할

당 정보를 공유하였다.

### 5.2 정보 융합

전투요소 간에 정보를 공유하는 것만으로도 전투효과가 상승되는 측면이 있을 수도 있으나, 정보 공유의 효과를 극대화하기 위해서는 이를 통합하여 더 질이 높은 정보로 가공하고, 적합한 곳에 필요한 시간에 전달하는 일이 필요하다. 이를 위해서는 네트워크 구조 자체만으로는 부족하고, 전달된 정보를 융합하는 역할을 하는 에이전트가 필요하다.

예를 들어 미 해군의 대표적인 네트워크 전장관리체계인 협동교전능력(Cooperative Engagement Capability, 이하 CEC)의 경우 크게 3가지 융합 기능을 사용하고 있는데, 탐지 및 식별확률 증대, 추적 정밀도 향상, 그리고 공동협동교전(coordinated cooperative engagement)<sup>[15]</sup>이다. 여러 센서에서 측정된 데이터를 하나로 융합하여 가장 적합한 슈터를 통해 공격함으로써 빠르고 정확한 공격을 가능하게 하는 개념이다. 그림 13에서는 두 군데 이상에서 추적한 범위 공통영역을 추출함으로써 추적 정밀도가 향상되는 모습을 보여준다.

위와 같은 개념이 가능하게 하기 위해서는 한 센서노드에서 메시지가 발생하면 이를 받아서 융합하고 필요한 경우 무장할당을 하여 다시 전체 네트워크에 연결된 노드로 전달해주는(data distribution) 에이전트가 필요하며, 그림 14는 이를 담당하는 에이전트의 구조를 보여준다.

## 6. 예제 시나리오

네트워크를 통한 정보공유 및 정보융합에 의한 전투효과를 측정하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 예제를 실험하였다.

먼저 실험하고자 하는 상황은 3:3 함대함전으로, 청군(아군)은 자산을 지키며 정찰업무를 수행하고 있고, 홍군은 청군의 자산을 점령하기 위해 공격하러 오는 상황이다. 청군의 단순 전투력의 단순 합계는 홍군에 비해 약간 열세에 있다. 그러나 청군은 기능이 특화된 함정들이 network를 통해서 실시간 정보 공유 및 정보융합을 할 수 있는 능력을 갖추고 있는 반면, 홍군은 정보공유 능력만을 가지고 있다. 실험의 초기 조건은 표 1과 같으며 여기에서 전달되는 정보는 탐지된 target의 정보와 각 플랫폼의 무기 할당(weapon target allocation, WTA) 정보가 해당된다. 참고로 WTA 알고리즘은 박세연 등(2009)<sup>[1]</sup>의 내용을 사용하였다.

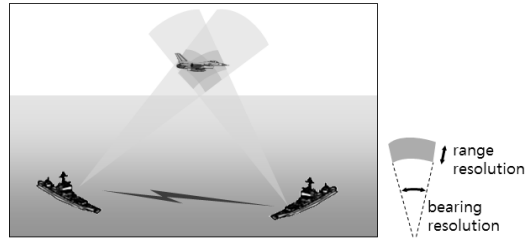


그림 13. 추적 정밀도 향상<sup>[15]</sup>

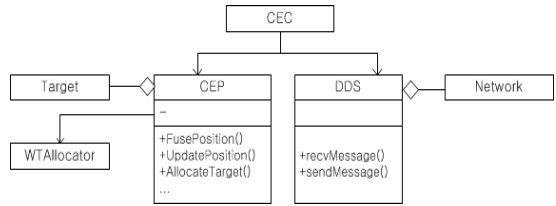


그림 14. CEC 클래스 구조: CEP(CE processor), DDS(data distribution system)

표 1. 시뮬레이션 초기 조건

청군 초기 조건	
Aegis 1척	
- Radar range	200km
- 함대함 미사일 범위	150km
구축함 (DDH) 2척	
- Radar range	50km / 200km
- 함대함 미사일 범위	150km / 50km
네트워크	- 전 함정간 실시간 정보공유 및 CEC를 통한 정보융합 - Centralized WTA
홍군 초기 조건	
Aegis 1척	
- Radar range	200km
- 함대함 미사일 범위	150km
구축함 (DDH) 2척	
- Radar range	150km
- 함대함 미사일 범위	120km
네트워크	- 전 함정간 실시간 정보공유 (정보융합 없음)

양군 모두 함정으로 이루어져 있다고 하더라도 청군과 홍군의 상황에 따른 움직임은 다를 수 있으며, 청군 내에서도 어느 부대에 소속되어 있는 지에 따라 같은 종류의 에이전트라 하더라도 다르게 행동할 수 있다. 또한 동일한 종류와 수의 에이전트에 대해 시나리오만 바꾸어 실험하고자 하는 요구가 많이 있을 수 있다.

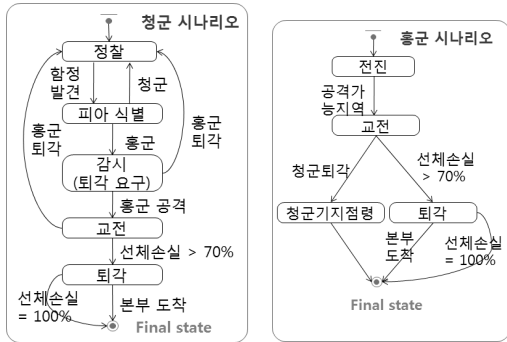


그림 15. 함대함전 시나리오

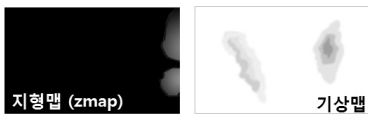


그림 16. 환경요소 데이터

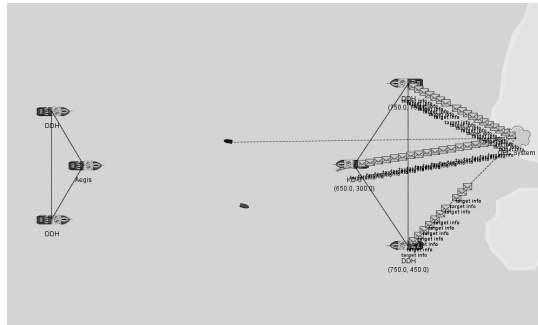
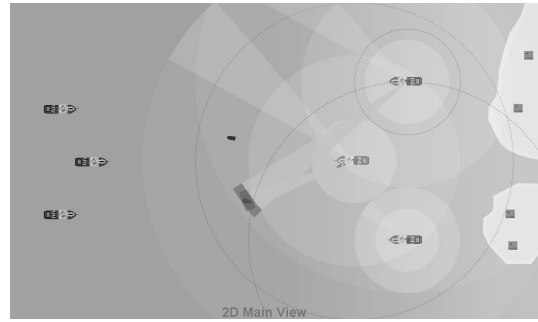


그림 18. 교전 상황: 적군 미사일 탐지(상) 및 정보전달(하)

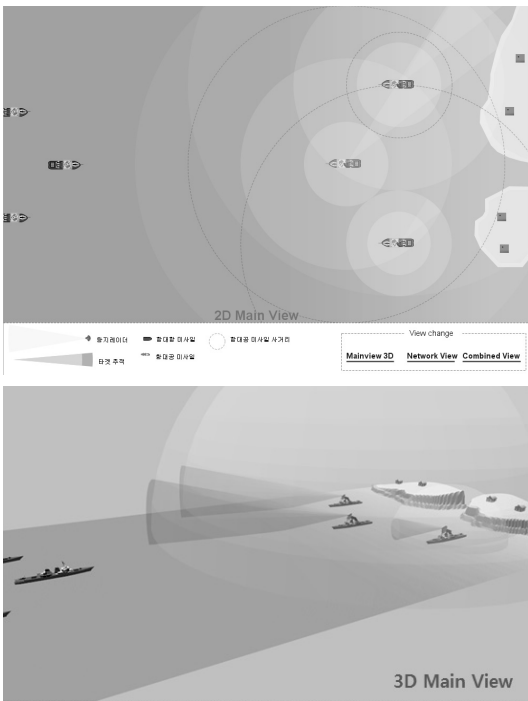


그림 17. 시뮬레이션 초기화면: 2D(상), 3D(하)

이를 위해 본 연구에서는 ‘청군’과 ‘홍군’ 상위 에이전트를 생성하여 그림 15와 같이 시나리오를 각 군의 상태전이 다이어그램으로 표현하고 상태 변화에 따라 하위 에이전트에게 메시지를 전달하거나, 하위 에이전트들의 상태를 조합하여 시나리오 진행상황을 변화하도록 하였다.

표 2. 함대함전 실험 결과

실험	미션 성공 여부	교전 시뮬레이션 시간		홍군손실대비 청군손실	
		평균	표준편차	평균	표준편차
CEC미적용	1회 성공	1403.09	12.8	160%	4.3%
CEC적용	성공	1487.40	24.3	0%	0

즉 모델과 시뮬레이션 실험을 분리함으로써, 모델에 해당되는 에이전트들은 재사용하고, 시나리오만 재정의함으로써 손쉽게 새로운 실험을 구성할 수 있다.

환경요소를 위한 지형과 기상 데이터는 그림 16과 같으며, 표 1의 정보와 그림 16의 데이터를 이용하여 구성된 시뮬레이션 초기 화면이 그림 17에 나타나 있다. 화면의 좌측은 홍군, 우측은 청군으로 구성되어 있으며, 청군의 경우에는 radar range 등과 같은 정보를 화면에 보여주고 있다. 또한 그림 18은 교전 도중의 홍군의 미사일을 탐지하여 추적하면서, 수정되는 정보를 CEC를 통해 융합하여 지속적으로 전달하고 있는 모습을 보여준다.

동일한 부대 구성에 대해 아군의 경우 CEC를 적용하여 정보융합 및 centralized WTA를 적용한 경우와, 그렇지 않고 정보공유만 한 경우 두 가지에 대해 각각 5번씩 실험한 결과를 비교하여 표 2에서 보여주고 있다. 결과에



표 3. ABMS 기반 전투분석 시스템 비교

	EINStein	CROCADILE	WISDOM	개발시스템
NCW지원	×	×	○	○
계층적 모델링	×	×	×	○
에이전트 모델	parametric	parametric	User-defined class	User-defined class
환경의 확장성	Block형태의 predefined region	Heightmap지원(2.5D)	Block형태의 predefined region	Heightmap+GIS format 지원예정
사용자지정 Scenario사용	미리 정해진 agent의 속성으로 전투 전개 (유연성/확장성 떨어짐)			script 형태의 시나리오 사용 가능

서 보여주는 바와 같이 CEC를 적용한 경우에는 결과 측면에서 열세의 전력을 이용해서도 손실이 전혀 없이 전투에 승리하는 큰 차이를 보여주고 있다.

### 7. 결 론

본 연구에서는 네트워크중심전을 모델링 하는 방법으로 에이전트기반 방법론을 검토하여 보았으며, 교전급 전투모델링 시스템을 설계·개발하였으며 간단한 함대함전 예제를 통해 NCW환경 하의 전투실험을 수행하고, 네트워크에 의한 전투효과를 보았다.

에이전트 기반 M&S 방법론은 전투분석 모델을 만드는 데에 직관적이고 효율적이면서도 표현하고자 하는 바를 실제 시스템과 비슷하게 표현 가능함으로써 목적에 맞는 방법으로 판단되며, 본 연구를 통해 NCW를 표현하는 데에도 네트워크 계층을 독립적으로 모델링하여 적용하기가 직관적이며 손쉽게 가능한 것으로 사료된다.

또한 간단한 해상전 실험을 통해 본 연구에서 제안한 방법으로 직접 교전급의 네트워크중심전 예제를 만들어 보았으며, 전투에서 실시간 정보융합의 효과를 실험을 통해 측정해 보았다.

ABMS 자체는 기본적인 개념만을 제공하고 있으므로, 구체적으로 전투요소나 네트워크를 어떻게 구성할 것인지에 대해서는 자세한 설계가 필요하며 본 연구를 통해 몇 가지 방향을 제안하였다. 본 연구를 통해 개발된 시스템이 ABMS를 기반으로 하는 다른 전투분석 시스템들에 비해가는 강점을 표 3에 비교하여 보았다. 또한 본 연구에서는 확장성을 염두에 둔 프레임워크를 제시하고 있으며, 만약 분석하고자 하는 시스템의 행위를 더 자세히 모델링 할 필요가 있는 경우 해당 컴포넌트의 행위를 추가하거나 좀 더 세분화 함으로써 손쉽게 확장이 가능할 것으로 예상된다. 예를 들어 보안을 통한 통신모델을 추가하고자 하는 경우 통신을 담당하는 에이전트가 메시지

송신시 암호화된 tag를 붙여 보내거나 하는 방식으로 통신 에이전트만 수정함으로써 손쉽게 동일한 프레임워크 하에서 확장이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 이 때 에이전트 행위 및 계층의 단계를 어느 정도까지 세분화 하고 어느 단계에서 추상화를 할 것인가는 이와 별개로 모델링 및 분석 대상에 따라 달라질 수 있으며, 전투의 규모가 커질수록 에이전트의 개수가 기하급수적으로 많아질 수 있는데, 이렇게 매우 많은 수의 에이전트를 이용하여 실험하는 방법에 대해서는 향후 더 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 박세연, 윤태균, 이준복, 이상탁, 주진환, 전재효, 변재정, 신하용, “함대공 전투에서의 동적무장할당 알고리즘과 정보공유 효과분석: 에이전트 기반 접근,” 한국 시뮬레이션학회 추계학술대회, 2009.
2. 지승도, 유용준, 정찬호, 이장세, 김재익, “에이전트 기반의 인간 미개입형 함정전투 M&S 시스템 설계 및 서해교전 사례연구,” 한국 시뮬레이션학회 논문지, 17(2), pp. 49-61, 2008.
3. 정찬호, 유용준, 류한일, 이장세, 지승도, 김재익, “다중 에이전트 기반의 다대다 함정전투 M&S시스템,” 한국 시뮬레이션학회 춘계학술대회, 2009.
4. D. Alberts, J. Garstka, and F. Stein. “Network centric warfare,” CCRP pulication series, 1999.
5. D. Alberts and J. Garstka, “Information Superiority & Network-Centric Warfare,” The information warfare site, 2000.
6. C. Alspaugh, N. dave, T. Hepner, A. Leidy, M. Stell, C. Tran, H. Woods, W. Youm, and A. Legaspi, “Modeling and Simulation in support of network centric warfare analysis,” C2 Research & Technology Symposium, 2004.
7. A. Easton and M. Barlow, “CROCADILE: an agent based distillation system incorporating aspects of constructive

- simulation,” SimTect 2002, May, 2002.
8. J. Garstks, “Network centric operations conceptual framework,” The Information Warfare Site, 2003.
  9. N. Gilbert, “Agent-based models”, SAGE Publications, 2007.
  10. A. Ilachinski, “Artificial war: multiagent-based simulation of combat,” World Scientific, 2004.
  11. C. M. Macal and M. J. North, “Agent-based modeling and simulation: Desktop ABMS,” 2008 Winter simulation conference, pp. 95-106, 2008.
  12. J.O. Miller and J.B. Honabarger, “Modeling and measuring NCW with the system effectiveness analysis simulation,” Coalition C&C in the networked era, 2006.
  13. S. Russell and P. Norving, “Artificial intelligence: a modern Approach,” 2nd ed., Prentice Hall, 2003.
  14. A. Yang, H.A. Abbass, and R. Sarker, “WISDOM-II: a network centric model for warfare,” LNAI, 3683, pp. 813-819, 2005.
  15. “The cooperative engagement capability,” Johns Hopkins APL technical digest, vol. 16(4), pp. 377-396, 1995.
  16. ISSAC/EINSTEIN Project: <http://www.cna.org/isaac/>



**박 세 연** (parksy@vmslab.kaist.ac.kr)

2002 KAIST 산업공학과 학사  
 2004 KAIST 산업공학과 석사  
 2009 KAIST 산업및시스템공학과 박사  
 2009~현재 KAIST 산업및시스템공학과 박사후과정

관심분야 : 에이전트 기반 시뮬레이션, 형상모델링



**신 하 용** (hyshin@kaist.ac.kr)

1985 서울대학교 산업공학과 학사  
 1987 KAIST 산업공학과 석사  
 1991 KAIST 산업공학과 박사  
 2002~현재 KAIST 산업및시스템공학과 조교수/부교수

관심분야 : 에이전트 기반 시뮬레이션, 몬테카를로 시뮬레이션, 금융파생상품 평가, 형상모델링



**이 태 식** (taesilk.lee@kaist.ac.kr)

1997 서울대학교 기계공학과 학사  
 1999 Massachusetts Institute of Technology 기계공학과 석사  
 2003 Massachusetts Institute of Technology 기계공학과 박사  
 2007~현재 KAIST 산업및시스템공학과 조교수

관심분야 : 시스템 모델링&시뮬레이션, 시스템 엔지니어링, 의료전달체계



**최 봉 완** (bwchoi721@hanmail.net)

1985 서울대학교 산업공학과 학사  
 1994 IOWA STATE UNIVERSITY 산업공학과 석박사  
 2000 RAND 연구소 객원 연구원  
 2005 해군본부 체계분석처장  
 2010 한남대학교 교수/ M&S연구센터 센터장

관심분야 : 위게임, 전투실험, 무기체계장비 연구개발 및 분석평가, 전투체계