

국방 M&S의 가상군 행위 모델링 방법론 연구: 조사와 미래방향을 중심으로

조남석 · 문호석 · 변재정[†]

The Study on CGF Behavior Modeling Methodologies for Defense M&S: Focusing on Survey and Future Direction

Namsuk Cho · Hoseok Moon · Jai Jeong Pyun[†]

ABSTRACT

Immediate and serious attention on CGF(computer generated forces) behavior modeling for defense M&S (modeling & simulation) is required in response to the reduction in the number of troops and development of 4th industrial technologies. It is crucial for both military person and engineer to understand such technologies. The research aims to provide guidelines for establishment of research direction on CGF behavior modeling. We investigate traditional and/or novel methodologies such as rule-based, agent-based, and learning-based method. Discussions on future direction of applicable area and strategies are followed. We expect that the research plays a key role for understanding CGF behavior modeling.

Key words : CGF, Defense M&S, Behavior Modeling, Artificial Intelligence

요약

인구수 감소와 국방개혁으로 인한 병력 감축, 4차 산업혁명 기술의 초고도화에 따른 기술적 요인으로 국방 M&S의 개체를 자동화 모의하는 것은 이제 군의 현실적인 목표가 되었다. 자동화 모의 기술의 사용자인 군과 기술을 개발해야 하는 공학자들의 공통된 방향설정이 필요한 시점이다. 본 연구는 향후 국방 M&S의 자동화 모의 연구를 위한 가이드라인을 제시한다. 이를 위해, 먼저 자동화 모의를 가능하게 방법론들 규칙-기반방법, 에이전트-기반방법, 학습-기반방법에 대해 논의하고, 이어서 이러한 방법론을 어떠한 방향으로 개발해야 하는지에 대해 논의한다. 연구를 통해 국방 M&S의 자동화 모의 기술 연구가 본격화 되고, 군과 개발자 사이의 간극이 좁혀지기를 기대한다.

주요어 : 가상군, 국방 M&S, 행위자 모델링, 인공 지능

1. 서론

우리 군은 목적에 따라 폭 넓게 활용할 수 있는 다양한 국방 M&S(modeling & simulation)를 발전시켜 왔다. 1990년대 초에 미군으로부터 CBS(corps battle simulation, 군단 전투지휘훈련용 위게임모델)가 도입되어 사용되기 시작됐고, 한국군에서 독자적으로 1990년대 후반에 군단 및

사단의 전투지휘훈련¹⁾(battle command training program, BCTP)을 위해 창조21모델을 개발하였다(Kim, 1998; Moon, 2018). 창조21모델 개발 후부터 한국군은 다양한 위게임 모델을 개발하게 되었다(MND, 2016). 최근에는 Live(실), Virtual(가상), Construtive(구성)의 다양한 시뮬레이션 방법들을 통합하여 군사 훈련에 적용하기 위해서 LVC 합성전장훈련체계를 도입하고 이를 위해 기존에 보유하고 있던 훈련용 위게임 모델의 성능 개량을 추진하고 있다(DTaQ, 2019).

특히 LVC 합성전장훈련체계 뿐만 아니라 해상도(여기서는 표현되는 객체의 묘사 수준, 즉 객체를 부대로 또

* 본 연구는 국방과학연구소의 지원 아래 수행되었습니다. (관리번호 2019060AAC2-00)

Received: 29 March 2020, Revised: 26 April 2020,

Accepted: 4 May 2020

[†] Corresponding Author: Jai Jeong Pyun

E-mail: deepkeeper@add.re.kr

Agency For Defense Development

1) 지휘관 및 참모들의 전시 작전상황에서 필요한 의사결정과 전투지휘 절차를 숙달시키기 위해 실시되는 훈련

는 개체로 표현하는 수준을 의미함)가 서로 다른 모델들을 활용하여 하나의 전장상황을 표현하기 위한 연구를 많이 다루고 있다(Moon and Kim, 2018). 이런 연구에서 중요하게 강조되는 부분 중에 MRM(multi-resolution modeling, 다중해상도모델링)과 CGF(computer generated forces, 가상군)가 있다. 두 개념은 서로 연관되어 있는데, MRM은 해상도가 다른 모델들이 객체를 상세수준(disaggregated-level)으로 또는 집약수준(aggreated-level)으로 표현하여 상호 객체를 변환시키고 그 정보들을 일치시키는 기술이며 방법론이다. 여기서 상세수준으로 객체들을 표현하면 훈련용 위게임 모델에서는 상세화된 객체들에 사용자에 의한 명령을 하달하는 방법보다는 상세화된 객체가 전장 상황에 맞게 자율적으로 판단하여 자동으로 모의될 수 있는 즉 자동화 모의를 할 수 있는 CGF가 필요하다. 여기서 자동화 모의란 시뮬레이션 모델 속 개체(entity)들이 사용자의 조작 없이 또는 최소한의 조작을 통해 자율적으로 행동하는 것을 의미한다.

자동화 모의 기술이 변화하는 한국군 상황 속에서 중요하게 간주되는 이유는 다음과 같다. 첫째, 개체단위로 시뮬레이션 되는 다양한 훈련용 위게임 모델들이 개발되어 조작해야 할 대상 개체들이 급격하게 늘었다. V체계만 하더라도 전차, 육군항공기, 전투기 등의 시뮬레이터들이 개발되어 장비단위로 전투원을 훈련시키고 있는데 장비훈련자들은 실제 조정사나 장비사용자들이 참여하여 훈련하더라도, 대항군으로 운영될 개체들을 게이머가 조작하기에는 병력운영에서 상당한 부담으로 작용한다. 즉 대항군의 경우는 자동화 모의 기술이 절실히 요구된다. 둘째, 4차 산업혁명 시대의 급속한 기술발전 속에서 국방 M&S와 연관된 많은 기술들이 진보하고 있다. 첨단과학 군을 표방하는 군의 입장에서 선진군에 뒤처지지 않는 M&S기술을 확보할 필요가 있으며, 자동화 모의 기술은 한국군에게는 기술성숙도가 낮은 분야로 기술발전이 요구되는 분야이다. 셋째, CGF의 자동화 모의기술은 훈련에 참여하는 전투원의 훈련효과를 개선하는데 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 정해진 패턴을 반복하는 훈련도 중요하지만, 때로는 비정형화된 훈련 상황 부여가 몰입성(immersion)을 향상시켜 줄 수 있기 때문이다. 마지막으로, Yun *et al.*(2016)이 연구에서 지적한 바와 같이, 게이머의 개인 능력에 따라 부대 훈련의 성패가 결정되는 문제, 게이머가 시뮬레이션을 준비하는 동안 본연의 임무를 하지 못하는 문제 역시 자동화 모의의 동기가 될 수 있다.

이러한 중요성에도 불구하고 한국군의 국방 M&S 자동화 모의 기술은 부족한 편이다. 현재 군이 개발하여 보유

하고 있는 훈련 또는 분석용 모델 중 자동화 모의 기술을 탑재한 모델은 없으며, 몇 차례의 핵심기술 연구가 있었으나 가시적인 성과를 이끌어 내지는 못했다(DTaQ, 2019).

본 연구는 국방 M&S 내 활용되어야 하는 CGF의 자동화 모의 기술의 현 수준을 진단하고, 한국군의 전투력 발전에 기여할 수 있는 자동화 모의 기술 적용 방안과 이를 달성하기 위한 구체적인 방향에 대해 논의한다. CGF의 자동화 모의 기술에 대한 국내의 기존 연구들(Han *et al.*, 2011; Han, 2016; Lee *et al.*, 2012; Jung, 2013)과 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 CGF의 자동화 모의를 위한 국내의 최신의 방법론을 소개한다. 여기에는 본 연구진이 조사한 범위내에서 국내에서 한 차례도 논의되지 않았던 학습기반의 머신러닝 기법도 포함한다. 둘째, 기존 연구들이 특정 방법론에 익숙한 독자를 대상으로 하였다면, 본 연구는 CGF 자동화 모의 기술의 직접적인 사용자인 군과 그것을 개발해야 하는 공학자 모두에게 필요한 내용을 담고 있는데, 이는 본 연구를 통해 CGF 자동화 모의 기술의 큰 흐름을 파악할 수 있도록 하기 위함이다. 마지막으로, 본 연구는 방법론을 설명하는데 그치지 않고 그 방법들을 어떻게 활용할 수 있는지에 대한 정책적 제언을 포함한다.

이를 위해 본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 2장에서는 위게임 속 개체의 자동화 모의를 위한 방법론에 대해 설명한다. 3장에서는 방법론에 대한 이해를 바탕으로 우리 군의 M&S 체계에 이 기술을 적용하기 위한 방안에 대해 논의한다. 마지막으로, 4장에서는 연구를 요약하고 차후연구 방향을 제시한다.

2. CGF 자동화 모의 방법론

본 장에서는 국방 M&S의 개체(부대 또는 전투원)의 자동화 모의를 위한 방법론에 대해 설명한다. 다양한 모의 방법론 가운데서 CGF 자동화 모의 대상이라고 할 수 있는 인간의 ‘지능’ 또는 ‘의사결정 체계’를 ‘흉내(mimic)’낼 수 있는 방법론을 제시한다. 제시되는 방법론은 그것이 추구하는 공학이론의 차이에 따라 ① 규칙-기반 방법론 ② 에이전트-기반 방법론 ③ 학습-기반 방법론 세 가지이다. 이 세 분류는 엄밀하게 상호배타적이지 않지만, CGF 자동 모의 기술과 관련된 거의 모든 세부 방법론을 포함할 수 있어 유용하다.

2.1 규칙-기반 방법론

규칙-기반 방법론은 사전에 정의한 규칙(rule)에 따라

개체의 행동을 부여하는 방법이다. 사실, 후절에서 논의할 에이전트 기반 방법, 학습기반 방법 역시 규칙-기반 방법론 만큼의 또는 최소한으로 축소된 규칙을 여전히 필요로 하기 때문에 이들 역시 규칙에 기반 한다고 볼 수 있다. 하지만, 본 절에서 설명하는 규칙-기반 방법은 개체의 모든 행동을 정확하게 정의해야만 한다는 차이가 있다. 규칙-기반 방법에서 표준이 되는 가장 중요한 규칙은 군의 교리(doctrine)이다. 이 때문에 많은 연구자들이 이 방법을 교리-기반(doctrine-driven) 방법이라고도 부르고 있다(Teng *et al.*, 2013). 규칙-기반에 따른 자동화 모의 방법을 설명하기 위해 간단한 예를 살펴본다.

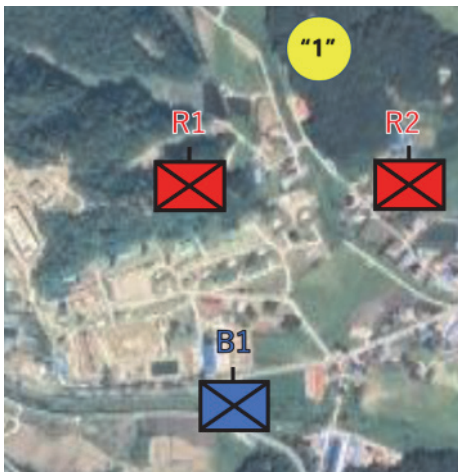


Fig. 1. Case Example : Blue(B1) maneuvers to Objective "1" where two Reds(R1,R2) defend.

Figure 1에서 사용자가 조작하는 청군(B1)은 목표지역(노란색 원)으로 기동해야 하며, 이때 이를 방어하는 홍군(R1,R2)은 자동 모의된다고 가정한다. 이때, 홍군에게 ‘규칙1 : 450m내 접근하는 적과 교전한다.’는 간단한 규칙을 부여한다. 모델 안에서 홍군은 청군이 450m 내에 위치하는 지를 지속적으로 확인하고 조건이 맞으면 교전한다. 이와 같이 가장 간단한 구현에서도 몇 가지 문제점이 나타난다. 먼저, 현실과 가까운 홍군의 행동을 묘사하기 위해 정의해야 하는 규칙의 개수가 지수적으로 증가한다는 것이다. 예를 들어, ‘규칙2 : 규칙1은 오직 홍군이 청군을 식별 하였을 때만 발동한다.’가 추가되었을 때 자율 개체의 행동 범위는, 두 규칙 모두 이진변수이므로, 2^2 개로 증가한다. 두 번째 문제점은 규칙의 나열(enumeration) 통해 모든 상황을 표현할 수 없다는 점이다. 수학적으로는, $\neg(\vee(\text{규칙1} \wedge \text{규칙2} \wedge \dots \wedge \text{규칙n}))$ 에 해당하는, 그

리고 컴퓨터 코딩규칙에서 ELSE에 해당하는 항목이 정의되지 않을 수 있다는 점이다. 예를 들어, 규칙1과 규칙2는 홍군과 청군이 450m내에 있는가와 홍군이 청군을 식별하였는가 두 가지 규칙에 따라 4개의 행동이 나타나는데, 실제로는 청군이 500m 멀리 떨어져 있는 상황에서 홍군에게 식별될 수도 있는 것이다. 이 경우는 앞서 정의된 규칙2에 의해 규칙1이 발동하지 않고, 자동화 모의되는 홍군은 아무런 행동을 취하지 않게 된다. 이는 비현실적이다. 세 번째, 규칙-기반 방법이 확률적으로(stochastic) 작동하지 않으면 훈련효과가 감소될 수 있다. 예를 들어, 훈련부대가 적을 식별하기 위해 예상되는 지역에 접근하여 자동화 개체가 교전을 시작하면, 해당 지역을 고의적으로 이탈 후 그곳으로 화력요청을 계속하는 ‘이기기 위한 패턴’만을 반복할 수 있다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 규칙-기반 방법에서 전장의 불확실성을 모의하기 위한 연구는 지속적으로 있었다. Han(2016)은 FSM(Finite State Machine) 기법에 기반하여 자율지능 CGF 구현방법을 제안하였다. 예를 들어, 홍군이 ‘교전’이라는 상태로 전이하기 위해서는 다른 조건들을 상태(450m 내 탐지), 즉 환경변화를 고려해야 하는데 이때 전이규칙을 확률적으로 정의하는 경우 일정한 자율성을 부여할 수 있게 되는 것이다. Lee *et al.*(2012)은 마르코프 프로세스로 소부대의 급속공격을 모델링하여 확률적인 의사결정을 묘사하였다. 마지막으로, 규칙-기반 방법론은 고차원의 결심체계(high-order)를 모의하는 것이 제한된다. 예를 들어, 홍군의 지휘관이 청군을 기만하기 위해 의도적으로 경계지역에서의 교전을 최소화할 수도 있다는 것이다. 이처럼 지휘관의 지휘의도 또는 의도적인 규칙회피 등을 규칙 기반으로 정의하는 것이 불가능한 것은 아니지만, 이를 구현 시 모델의 복잡도가 폭발적으로 증가할 수 있고 또한 지휘관의 직관과 같은 정성적 요소를 규칙으로 표현하는 것도 쉬운 일이 아니다. Jung(2013)은 목표라는 상위 규칙을 행동에 반영시키기 위해 목표지향 행위계획을 제안하였다. 이 방법은 목표에 따라 여러 개의 하위 과업을 만들어 낸 후 그 중 가장 목표에 부합하는 하위 과업을 찾아내는 방식이다. 예를 들어, Figure 1의 홍군이 ‘교전 최소화’라는 목표를 가지고 있다면 하위 과업인 교전 또는 미교전의 선택에서 목표에 조금 더 부합하는 미교전을 택할 수 있다는 것이다. 지금까지 기술된 많은 제한점에도 불구하고, 규칙-기반 방법론은, 규칙이 잘 정의되었다는 가정 하에, 구현이 직관적이고 쉽다는 장점을 가지고 있다. 또한, 적군 또는 이군의 교리를 가장 충실하게 묘사할 수 있다는 것 또한

장점이다. 적의 싸우는 방법을 알고, 그에 따른 내가 싸우는 방법을 훈련하는 군 훈련 특성을 고려했을 때 완전히 자율적인 행동을 하는 대항군의 행동과 적의 교리에 맞게 행동하는 다소 비자율적인 대항군의 행동 중 어떤 것이 합리적인지는 쉽게 답을 낼 수 없다는 점이다. 자율화라는 것의 평가를 누가 하는지 역시 중요한 쟁점이다. 규칙-기반에 의해 움직이는 CGF가 훈련부대 입장에서 ‘자율적으로 움직인다’라고 느낄 수 있고 이로 인해 훈련에 몰입할 수 있다면 그것은 성공적인 자동화 모의라고 할 수 있다. 물론, 공학자의 관점에서는 CGF의 행동에 어떤 자율행동 메카니즘이 적용되지 않았기 때문에 이를 자동화 모의라고 부를 수 없을 것이다.

2.2 에이전트-기반 방법론

에이전트 기반 방법론은 모델 안에서 정의된 에이전트(agent)가 자신에게 부여된 규칙에 따라 또는 다른 에이전트와의 정보교환을 통해 행동을 취하는 방법이다. 에이전트 기반 방법론은 복잡계(complex system)를 이해하기 위한 방법론으로 널리 활용되기도 하는데, 에이전트에게 최소한의 규칙을 부여하고 그들의 자발적 행동에 따라 도출되는 현상을 관찰하여 복잡계의 현상을 설명하고자 한다(Wilensky, 2017). CGF의 자동화 모의를 위한 에이전트 방법론의 설명을 위해 다시 Figure 1의 상황을 참조한다. 여기서도 홍군을 자동모의 CGF, 청군을 훈련부대가 조작하는 개체로 가정한다. 에이전트 기반 방법론 역시 규칙의 정의가 필요하다. 하지만, 규칙-기반 방법론과 같이 모든 행동에 대한 상세한 규칙 정의는 필요 없다. 예를 위해 임의적으로 부여한 규칙을 Figure 2와 같이 정의한다. 에이전트 기반 방법에서는 상급부대의 결정을 묘사하는 또 다른 개체인 R3를 추가하였다.

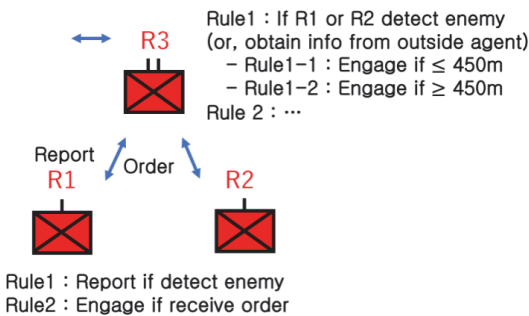


Fig. 2. Example of rule definition for three CGFs in agent-based modeling

홍군의 개체인 R1 또는 R2는 적을 탐지 시 상급부대인 R3로 탐지보고를 한다. 그리고 R3가 교전 명령하달 시 교전을 한다. 규칙-기반 방법과 다른 점은 R1과 R2가 가지고 있는 규칙이 단순하다는 것이다. R3는 이들을 대신하여 판단을 내려야 하지만 반면 탐지, 교전과 같은 단순 행동으로부터는 자유롭다. 또한 R3와 소통하는 다른 에이전트들이 있을 수 있기 때문에 R1과 R2는 자신이 식별하지 않은 적과도 교전이 가능해진다. 이처럼, 에이전트 별로 별도의 규칙을 부여하고 상호간의 정보 교환 등을 통해 행동을 결정하는 것이 에이전트 기반 방법의 핵심이다. 이 방법은 에이전트의 규칙과 과업을 정의하고 그들이 소통하는 방식 등에 따라 여러 가지 방법으로 구분된다.

Sin *et al.*(2017)은 전자, 차량, 소대와 같은 개체 또는 부대 단위의 유닛 에이전트(unit agent)를 먼저 정의하고 해당 에이전트의 기능에 해당하는 요소들을 서브 에이전트(sub agent)로 구성하여 다중 에이전트 기법을 구현하였다. 예를 들어, 전차는 인접 전차, 상급부대 지휘소와 같은 유닛 에이전트와 소통할 뿐 아니라 탐지, 기동, 사격, 통신과 같은 기능을 묘사하는 서브 에이전트와도 소통한다. Kim *et al.* (2018)은 위 연구에서 서브 에이전트들이 수행하는 역할을 담당하는 환경(Environment) 에이전트를 정의하여 실시간으로 변하는 전장 상황을 인식하고 에이전트들의 행동을 공유할 수 있도록 하였다. Sin *et al.*(2013)은 M&S 프레임워크인 DEVS(Discrete Event System Specification) 환경에서 에이전트 기반 모델링을 구현할 수 있는 아키텍처에 대해 연구하였다. 고차원의 의사결정에 필요한 추론 과정을 묘사하기 위한 다양한 연구도 이루어졌다. Lee and Hong(2007)은 전술급 제대의 지휘통제 결심에 작용하는 추론과정을 다중 에이전트 방법으로 구현하였다. 군 지휘관과 참모가 수행하는 부대 지휘절차의 각 요소를 기능별 에이전트로 구현하면서 동시에 부대의 지휘계선(Chain of command)에 따라 상위 또는 하위 에이전트를 정의하였다. Yun *et al.*(2015)은 에이전트 기반 방법으로 보병 중대의 목표 공격 간 지휘/통제(C2) 행위를 구현하였다. 연구에서, 각 에이전트는 명령(Order)과 보고(Report)를 반복하며 상황을 인식하고 사전에 수학적으로 정의된 규칙에 따라 의사결정을 내린다. 이 연구는 중대급의 C2기능을 구현하였지만, 상위 제대에서의 C2 구현 적용 가능성을 보여주었다.

전투 간 고차원의 의사결정을 위해 에이전트 기반 방법을 적극적으로 발전시키고 있는 곳은 NATO이다. 먼저, 노르웨이의 국방연구소인 FFI(Norwegian Defence Research Establishment)는 위게임 모델에서 전투객체

CGF를 통제할 수 있는 지휘자를 자동 모의하는 데 있어 CxBR(Context-Based Reasoning)로 불리는 에이전트 기반 방법론을 활용하였다(Lovlid *et al.*, 2013). CxBR은 미국의 Central Florida 대학에서 개발되어 여러 분야에서 다중 에이전트 모델 구현을 위해 사용되고 있는 방법론이다(Stensrud *et al.*, 2004). CxBR의 기본적인 아이디어는 사람이 추론(reasoning)을 할 때 두뇌의 지식 모두를 사용하는 것이 아니라 일부만을 사용한다는 것이다. 사람의 지식을 컨텍스트(context)라고 한다면, 모델 안의 CGF도 사람을 따라 컨텍스트의 일부만을 취사선택하고 거기에 맞추어 행동을 결정하게 될 것이다. 사람의 지식이 모델 안에서 컨텍스트로 표현이 되기 때문에 컨텍스트를 정의하는 것이 이 방법론의 핵심이 된다. 예를 들어, Figure 2의 상황에서 상급지휘자인 R3가 ‘적극적인 교전’과 ‘소극적인 교전’ 두 가지의 컨텍스트를 가지고 있다고 가정해 보자. R3가 적극적인 교전 컨텍스트를 활성화 하고 있다면, R1의 적 탐지 보고 시 R1에게 교전이라는 컨텍스트를 하달하고 이들은 교전을 시작하게 된다. 반면, R3가 소극적인 교전 컨텍스트에 있었다면 R1의 적 탐지 보고가 있어도 교전 컨텍스트를 하달하지 않는다. 즉, 교전이 일어나지 않게 된다. 컨텍스트는 새로운 정보에 따라 지속적으로 변화할 수 있다. FFI 연구소는 2018년 CxBR로 자동 모의되는 대대의 전투를 실험하기도 하였으며, CGF의 자동모의를 위한 방법론으로 CxBR을 계속 발전시키고 있다(Lovlid *et al.*, 2018).

인간의 추론 과정을 묘사하기 위해 사용되는 또 다른 에이전트 기반 방법론은 BDI(Belief-Desire-Intention)이다. BDI에서 B(Belief)는 에이전트의 상태나 환경에 대한 정보를 나타내고, D(Desire)는 에이전트의 동기 또는 달성하고자 하는 최종상태를 나타낸다. I(Intention)는 에이전트가 현재 추구하고 있는 세부 계획을 나타낸다(Georgeff *et al.*, 1998). BDI에서 에이전트는 이 세 가지 구성요소에 의해 자신의 행동을 선택한다. 설명을 위해 Figure 1의 상황을 참조한다. 본 예시에서는 청군인 B1을 자동 모의하는 것으로 가정한다.

먼저 B1의 Belief가 상급부대에서 명령한 목표지역 도달시간인 H.hour와 현재시간의 차이값인 x , 그리고 B1이 적을 발견했는지를 나타내는 이진변수 y 로 구성한다고 가정한다. B1의 Desire는 목표탈취 또는 적 공격이며, Intention은 기동, 대기, 또는 교전으로 구성된다. B1은 Intention 중 가장 Belief와 Desire에 부합하는 것을 탐색한다. B1 에이전트는 x 가 크고(시간이 많이 남았고) y 가 0인(적을 발견하지 않음) 상태에서 첫 번째 Desire인 목표

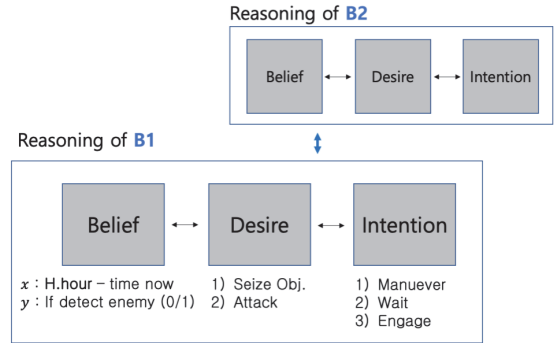


Fig. 3. Example of BDI Reasoning with two agents

탈취에 가장 부합하는 Intention인 기동을 선택한다. 이제, 모의가 진행되던 중 Belief에 변화가 생겨 y 가 1이 되었으며 시간은 충분한 상태라고 가정해 보자. B1은 여전히 우선순위가 높은 Desire인 목표탈취를 위해 기동을 한다. 하지만, 만약 상급부대를 묘사하는 B2 에이전트가 자신의 Intention인 적 소멸을 달성하기 위해 B1의 Desire 우선순위를 적 공격으로 변경하였다고 해보자. B1은 이제 Belief에도 부합하며, 새로운 Desire에 가장 알맞은 Intention인 교전을 선택한다. 반면, B2가 B1의 Desire를 적 공격으로 바꾸었다 하더라도, 만약 x 값이 매우 작은 상태(목표탈취까지 시간이 급박)이면 B1은 자신의 Desire를 다시 목표탈취로 변경하고 기동이라는 Intention을 선택할 수도 있을 것이다. 예시를 통해 설명한 모델은 다양하게 다르게 구성될 수 있다. 이처럼, BDI는 각 에이전트의 추론 절차를 직관적으로 묘사할 수 있으며, 에이전트 간의 위상차이가 명확하고 명령/보고의 절차에 최적화되어있는 군의 의사결정 체계를 묘사하는데 적합하다.

Lovlid *et al.*(2013)은 전투 시뮬레이션에서 자동화 모의를 위해 BDI방법과 앞서 설명한 CxBR방법이 사용되었을 때의 차이점에 대해 설명하였고, Heinze *et al.*(1998)은 공군 전투기의 공중전을 위한 CGF의 자동화 모의를 위해 BDI 기법을 적용하였으며, 기술적으로는 AAIL(Australian Artificial Intelligence Institute)에서 BDI 구현을 위해 개발한 dMARS라는 플랫폼을 사용하였다. 정리하자면, NATO를 중심으로 한 연구진들은 개체의 자동모의를 위하여 BDI와 CxBR을 두 축으로 하는 에이전트-기반 방법론을 지속적으로 연구하고 있다. BDI는 이미 잘 알려진 에이전트 모델링 패러다임이라 친숙하다는 장점이 있고, CxBR은 확장성이 용이한 모듈 구조를 가졌다는 장점이 있다.

본 절에서는 개체의 자동화 모의를 위한 한 가지 대안

인 에이전트 기반 방법론에 대해 논의하였다. 방법의 장점은 다음과 같다. 첫째, 에이전트 모델에서는 에이전트가 외부 환경 또는 다른 에이전트와의 정보교환을 통해 사전에 정의하지 않은 행동이 발현될 수 있다는 점에서 모든 행동을 엄격하게 정의해야 하는 규칙-기반 방법에 비해 정의해야 할 규칙의 수가 줄어들 수 있다. 더구나, 공개된 에이전트 모델링 툴(NetLogo, dMARS, AnyLogic 등)이 풍부하여 이를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 이는 최초 모델의 구현단계 뿐 아니라 모델의 수정, 디버깅 단계에도 영향을 미치는 중요한 요소이다. 둘째, 모델의 구현에 실질적으로 참여하여 도메인 지식을 제공해야 하는 소요군의 입장에서 가장 이해하기 쉬운 방법이다. 즉, 소요군과 개발자의 간극을 최소화 할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 셋째, NATO의 연구사례에서 알 수 있듯이, 지휘관의 의사결정과 같은 고차원의 추론을 묘사할 수 있는 가장 적합한 방법론이다.

반면 에이전트 기반 방법론은 다음과 같은 제한점을 가지고 있다. 먼저, 대부분의 에이전트 모델링은 최소한의 또는 규칙-기반 방법에 비등할 정도의 규칙정의, 그리고 전투 시나리오 작성을 요구한다. CxBR의 경우 컨텍스트 맵이라고 부르는 행동모음 리스트를 사전에 제작해야 하며, BDI 역시 기본계획(Base Plan)을 사전에 작성해야 한다. 이 과정에서 군의 도메인 전문 지식이 제대로 전달되지 않으면 모델의 추론 과정 역시 신뢰를 할 수 없게 된다. 이러한 연유로 대부분의 에이전트 기반 방법들은 인간의 인지활동을 잘 표현하지 못한다(lack of cognitive credibility)는 비판에서 자유롭지 못하다. 이로 인해, 인간의 지능을 가장 잘 표현할 수 있는 학습-기반 방법론들이 CGF의 자동화 모의를 위한 대안으로 떠오르게 된다.

2.3 학습-기반 방법론

본 연구에서 말하는 학습-기반 방법론은 일반적으로 통칭되는 인공지능 기술 또는 머신러닝 기술의 일부인 지도학습(Supervised Learning), 비지도학습(Unsupervised Learning), 그리고 강화학습(Reinforcement Learning)을 포함한다. 기술의 필요성을 설명하기 위해, 다시 Figure 1의 상황을 참조한다. 여기서, 목표지역으로 기동해야 하는 청군인 B1을 자동모의 한다고 가정한다. 앞 절에서 설명한 규칙-기반 방법 또는 에이전트 기반 방법을 통해 B1의 주요 의사결정인 교전, 교전회피, 기동 등을 결정하는 추론과정을 묘사할 수 있었다. 하지만, 두 방법 모두 B1의 경로는 사용자에 의해 사전 입력이 되어 있어야 한다는 한계를 가지고 있다. 물론, 앞의 두 방법론을 사용하

여, 다음에 어디로 이동할 것인지를 자동 모의할 수도 있지만 이것은 매우 비효율적이다. 예를 들어, 에이전트 기법인 BDI로 묘사 시, B1이 매 시간 동,서,남,북 중 어디로 갈 것인지를 판단하기 위해 Belief, Desire, Intention을 검색하고 인접 에이전트와 정보를 주고받아야 한다는 것이다. 하지만, 학습-기반 방법론을 적용한 CGF는 이처럼 사소한 경로 결정에서부터 교전시작과 같은 중요한 의사결정까지를 모두 자율적으로 결정할 수 있다. 이러한 이유로 학습-기반 방법론은 전투원의 인지활동을 가장 잘 표현할 수 있는 기술로 부상하고 있다.

앞 서 설명한 바와 같이, 학습-기반 방법론은 지도학습, 비지도학습, 강화학습을 포함하는데 이 중 CGF의 자동화 모의에 가장 적합한 기술은 강화학습이다. 지도학습으로 두 명의 전투원 CGF의 교대전진을 학습시킨 연구 사례는 존재한다 (Lovlid *et al.*, 2017). 하지만, 지도학습 또는 비지도학습은 유효한 분석이 될 수 있는 방대한 데이터 수집의 어려움 그리고 전투행위의 옳고 그름을 판정하기 어렵다는 제한점이 있어 CGF의 자동화 모의 기술로 활용되기 어렵다는 것이 중론이다(Toubman *et al.*, 2016; Kallstrom *et al.*, 2019). 반면, 강화학습은 개체가 시도와 실패(Trial-and-Error)를 반복하며 학습을 하기 때문에 ‘정답지’를 필요로 하지 않는다.

강화학습의 적용 예를 설명하기 위해 Figure 1을 격자 단위로 표현한 Figure 4를 참조한다. 그림에서 설명하는 강화학습 방법은 OpenAI의 Gym(Brockman *et al.*, 2016) 중 Frozen Lake의 형식을 차용한 것이다.

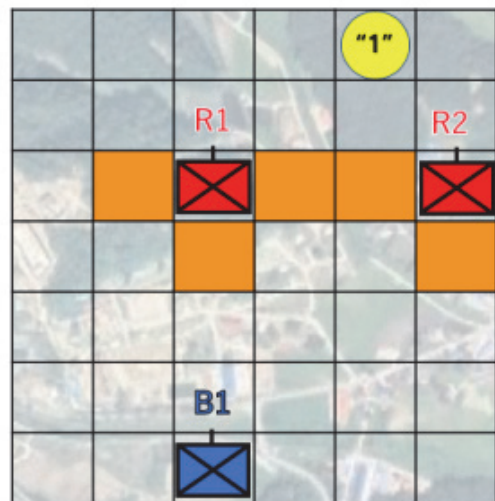


Fig. 4. Grid Expression of Area of Operations for Reinforcement Learning

Figure 4에서 자동화 모의의 대상은 B1이며, 목표 “1”을 탈취하는 것이 최종목표이다. R1과 R2 주변에 음영으로 표시된 격자는 모두 R1, R2의 가시거리 내로 가정하여, 교전이 가능한 위치이다. B1은 임의로(random action 가정 시) 격자를 옮겨 다니면서 주변 환경을 학습한다. 그리고 기동 또는 교전을 자율적으로 선택한다. 만약 우리가 B1이 목표에 도달했을 때 리워드(reward)를 부여한다면 B1은 이를 기억하여 점점 목표에 도달하기 위한 행동규칙을 학습한다. 만약 B1이 교전을 피하지 않고 목표에 도달할 수 없음을 학습한다면 자동화 개체는 기꺼이 교전을 감수할 것이다. 그리고 교전에서 패할 경우 리워드를 받을 수 없으므로 교전에서 이기면서 목표를 확보하는 행동을 추구하게 된다. 제시한 예시는 강화학습의 수없이 많은 방법 중 하나에 불과하며 더 효율적으로 B1을 자동 모의하는 구현 방법이 존재할 것이다.

강화학습 방법으로 위게임 CGF의 추론을 구현하는 연구는 대부분 공군전투기의 공중전을 대상으로 이루어지고 있다. 뉴로-퍼지 이론을 이용한 비행기 조종에 필요한 인지 활동 연구(Cardullo, 1999)를 필두로 하여, Toubman *et al.*(2015)은 2 대 1 공중전 상황에서 강화학습으로 학습한 행동이 2 대 2 공중전에서도 유용함을 보였고, Teng *et al.*(2012), Teng *et al.*(2013)은 강화학습 CGF와 규칙 기반 CGF, 강화학습 CGF와 인간 게이머의 대결 실험을 꾸준히 진행하며 강화학습 기술을 발전시키고 있다. 특히, Teng *et al.*의 연구 결과에서 흥미로운 점은 강화학습 CGF는 규칙 기반 CGF를 손쉽게 제압할 수 있지만 인간 게이머(veteran) 조종사를 상대로는 우세하지 못했다는 점이다. 이는 도메인의 전문적 지식을 강화학습 알고리즘이 이해하는 상태(State) 및 행동(Action) 벡터로 변환하는 작업이 어렵다는 것을 보여주는 사례라고도 할 수 있다. 최근, Tan *et al.*(2019)은 기억(memory)이라는 중요한 인간의 인지활동을 구현하기 위해 ART(Adaptive Resonance Theory)에 바탕을 둔 신경망 알고리즘을 소개하였다. 알고리즘을 연리얼 토너먼트라는 FPS(First-Person-Shooter)게임 속 CGF에 적용하여 실험하였으며, 공군 시뮬레이터인 Strive-CGF Air Combat Maneuver Simulation에도 이를 적용하여 약 100번의 학습 후에 강화학습 CGF가 규칙 기반 CGF를 제압할 수 있음을 보였다. 이 연구결과를 통해 절차기억(procedural) 뿐 아니라 의미(Semantic) 또는 일화(Episodic) 기억 체계들도 묘사가 가능함을 주장한다. 이는 곧 위게임 내에서 더 복잡한 의사결정 모의에 강화학습이 적용될 수 있음을 의미한다.

학습기반 방법론은 인간의 추론활동을 나타내는 3단

계 “Sense, Think, Do”의 루프(Abdellaoui, 2009)를 가장 충실하게 표현한다고 할 수 있다. 학습기반 방법론이 CGF 자동화 모의 분야에 성공적으로 적용되면 불필요한 많은 소요를 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 현 시점의 기술력을 바탕으로 판단한 학습기반 방법론의 한계는 다음과 같다. 먼저, 학습기반 방법론이 전투 시 고차원의 의사결정 추론에 성공적으로 적용된 사례가 없다. 전투기의 공중전을 위한 강화학습 연구는 많이 이루어진 반면, 개체가 다양하고 우발 상황이 많은 지상군의 전투에 대한 연구가 부족한 이유가 여기에 있다. 많은 환경요소가 강화학습 모델에 반영될 시 State와 Action 벡터의 크기가 급격히 증가하고 이 경우 모델은 정말 중요한 State를 학습할 기회를 갖지 못하게 된다. 이를 해결하기 위해, 복잡한 과업을 여러 개의 세부 과업으로 구분하는 curriculum 학습, 리워드 획득이 너무 뒤쳐질 경우 보너스 리워드를 제공하는 Reward Shaping 기법, 한 개체에 너무 많은 Action을 할당하지 않고 여러 개의 개체를 생성하는 Multi-agent 학습 등 다양한 세부 기법 등이 존재하지만 (Kallstrom *et al.*, 2019) 이러한 기법 등이 위게임 내에서 실증적으로 증명된 사례는 없다. 둘째, 강화학습을 포함한 학습-기반 방법은 계산시간이 많이 소요된다(computationally expensive). 기본적으로, 강화학습의 소요시간은 상태벡터, 행동벡터, 그리고 discount factor의 함수로서 바운드(bound)된다는 이론적 배경이 있지만(Azar, 2011), 위게임 내에서 실시간으로 이루어지는 모든 의사 결정에 강화학습이 이루어지는 것은 현실적으로 어렵다.

3. 자동화 모의 정책적 제한

제 2장에서는 CGF의 자동모의를 위한 방법론들에 대해 고찰하였다. 본 장에서는 앞 장에서 설명한 방법론을 어떻게 우리 국방 M&S에 적용할 수 있는지에 대해 구체적으로 논의한다.

3.1 자동화 모의 적용 방안

Table 1은 3가지 방법론 각각에 대해 그 기술이 적용 가능한 분야와 기술의 적용을 통해 얻을 수 있는 기대효과를 요약한 표이다. 먼저, 기술의 적용 가능 분야를 논의한다. 규칙 기반 방법론은 엄격하고 매우 상세하게 작성된 규칙을 기반으로 행동하는 CGF를 가지고 있으며, CGF의 행동의 변동성이 적다고 할 수 있다. 따라서, 적의 전투행동에 대비하는 아 전투행동을 계획하고 이를 검증하

는 실험에서 유용하게 활용될 수 있다. 예를 들어, 적 갱도 포병에 대응하기 위한 아 전투행동을 발전시키는 경우가 여기에 해당할 수 있다. 또는 폴밀게임(politico-military Game, POL-MIL Game, 정치군사게임)²⁾과 같이 필요한 시나리오의 수가 많지 않고, 시나리오를 자동으로 생성하기 위해 투입되는 비용 대비 그 활용빈도가 낮은 경우에는 구현이 가장 간단한 규칙-기반 방법론을 활용하는 것이 합리적이다. 마지막으로, Constructive(구성) 모의에서 적 대항군을 자동화 모의할 경우에는 적 교리에서 많이 벗어나지 않는 CGF를 모의하는 것이 바람직하다.

에이전트 기반 방법론은 규칙-기반 방법론에 비해 CGF 행동의 변동성이 크다. 그리고 앞 장에서 논의한 바와 같이 에이전트가 최소한의 규칙을 부여받고, 에이전트의 규칙 설정이 자유로운 편이기 때문에 전투 간 발생하는 고차원의 의사결정을 모의하는 데 바람직하다. 엄밀하게 말하면, 여전히 고차원의 의사결정을 효과적으로 할 수 있는 방법론은 존재하지 않으므로 타 방법에 비해 상대적으로 우수하다는 표현이 정확할 것이다. 따라서, 구성모의의 C2 기능 또는 상급부대의 의사결정을 묘사하는 데 활용될 수 있다. 또한, 에이전트 기반 방법론은 여러 가지 우발상황을 세부적으로 점검해야 하는 분석모델의 구현에 활용할 수 있다. 이미 국방 M&S의 분석모델 중 많은 수가 에이전트 방법을 활용하고 있기도 하다.

학습기반 방법론은 기술성숙 수준이 상대적으로 부족하기 때문에 앞서 설명한 요소들에 대해 이 기술을 직접적으로 적용하는 것은 어렵다. 하지만, Virtual(가상) 모의에서의 자동화 모의를 위한 활용은 가능하다. 가상모의는 공격헬기 시뮬레이터, UAV 시뮬레이터와 같이 특정 장비 또는 특정 목적에 의해 제작되는 것이 보통이므로, 그만큼 상태, 행동벡터가 합리적인 수준에서 형성될 수 있기 때문이다. 또한, 같은 이유로, 전투원, 전차와 같은 객체단위 CGF의 자동화 모의에 활용하는 것은 가능하다. 하지만 이 경우에도 어떤 전투원이 이미 교전에 돌입하였다고 가정하고, 그 전투원이 사격과 기동을 하며 적을 제압하는 각개전투 수준으로 자동모의의 범위를 한정할 필요가 있다.

다음으로, 각 방법론을 적용하여 CGF가 자동화모의가 가능해질 경우 얻을 수 있는 기대효과에 대해 논의한다. 먼저, 훈련대상자(trainee)인 개인 또는 부대의 입장에서는 훈련에 참여하는 CGF가 자율성이 높을수록 몰입도를

향상시킬 수 있으므로, 학습기반, 에이전트 기반, 규칙-기반 순으로 높은 효과를 가질 수 있다. 특히, 규칙-기반 방법의 경우 CGF의 자율성 결핍이 훈련대상자에게 인지되는 경우 자동모의되는 CGF를 무시하는 현상인 의인화의 문제(Anthropomorphism)가 나타날 수 있고 이는 훈련성과를 저하시키는 요인으로 작용한다(Heinze *et al.*, 1998). 반면, 훈련 목적 상 의도적으로 같은 패턴의 훈련을 반복 숙달해야 하는 경우에는 오히려 규칙-기반 방법이 가장 유용할 수도 있다.

훈련을 계획하고 통제하는 훈련계획부대(war-game planner)의 행정소요 절감 측면에서는 학습기반으로 구현되는 CGF를 가장 환영할 수 있다. 규칙-기반 그리고 에이전트 기반 자동모의 시에는 CGF들이 자율행동을 하기 위해 시나리오를 미리 구축해 놓아야 하기 때문이다. 예를 들어, 어떤 대대를 대상으로 훈련을 계획하고 있는데 이중 한 개 중대가 자동화 모의 대상이라고 가정한다. 비록, 훈련 간 이 중대는 자율적으로 행동할 수 있지만, 이를 위해 필요한 최소한의 규칙과 시나리오가 필요하다는 것이다. 반면, 학습기반으로 작동하는 중대의 경우에는 CGF가 온전히 자율적으로 행동하므로, 해당 소요를 획기적으로 줄일 수 있다. 다음으로, 훈련대상자의 훈련 성과를 정확히 인지하고 차후 훈련소요를 계획해야 하는 상급부대(Instructor)의 입장에서는, 자율성이 큰 CGF와의 훈련이 오히려 성취도 평가의 어려움으로 작용할 수 있다. 이들은, 훈련부대의 임무 달성 여부를 성공 또는 실패로 단순화 하여 평가하는 것 보다 어떤 점이 어느 국면에서 부족했는지와 같은 정성적 요소 역시 평가해야 한다. 하지만, 자유도가 높은 훈련의 경우 CGF의 자율성을 설명하기 어려운 만큼, 왜 훈련부대의 행동이 그러하였는지를 설명하기 위한 배경 상황을 특정하기 어려워질 수 있다. 마지막으로, 이러한 요소들을 고려하여 종합적으로 판단하였을 때 장차 국방 M&S 발전을 위해 연구개발이 우선시 되는 방법론은 학습기반 방법론 그리고 에이전트 기반 방법론이다. 규칙-기반 방법론은 소요 분야가 명확히 존재하지만, 향후에 연구가 필요한 기술 분야의 확장성이 크지 않다고 판단되어 후순위로 기술하였다.

3.2 자동화 모의 연구 방향

다음으로, 국방 M&S에서 자동화 모의를 적용하기 위해 어떻게(How) 방향설정을 하고, 연구를 진행하는 것이 바람직한지에 대한 정책적 제언에 대해 논의한다. 논의에 고려된 요소는 현재 군이 보유하고 있는 국방 M&S의 재 활용성, 우리 군의 자동화 모의 기술 수준, 그리고 자동화

2) 국가적인 차원의 위기를 관리하기 위하여 수행하는 국가적으로 정치 및 군사 분야에서 최고 수준의 역량이 투입되어 국가 정책 혹은 전략을 수립하기 위하여 실시하는 상황 묘사게임이다 (Pauly, 2015).

모의 기술 선진국의 연구 방향성 등이다.

3.2.1 자동화 모의 기능의 모듈화

모듈화라 함은 자동화 모의 기능이 포함된 M&S를 무에서 유로 창조하는 것이 아니라, 작은 범위의 자동화 모의 기술부터 차근차근 Bottom-up 방식으로 개발하여 기존에 있는 모델과 연동시키는 것을 의미한다. 이는 자동화 모의 연구개발을 진행하고 있는 다른 선진국들의 개발 방향과도 일치한다. NATO의 연구기관들은 기존에 사용되고 있는 M&S 환경 하에 자동화 모의를 가능하게 하는 기능을 미들웨어로 통합하는 방식으로 연구를 진행하고 있다(Toubman *et al.*, 2016). 예를 들어, NLR (Netherlands Aerospace Centre)에서 공중전 시뮬레이션에서 사용할 수 있는 인공지능 모듈인 Smart Bandits (Roessingh *et al.*, 2012)를 개발하였는데, 이 모듈은 기존 상용 M&S(COTS, Commercial-Off-The-Shelf)인 STAGE, VBS, VR-Forces를 포함하여 다른 플랫폼에도 통합이 가능하도록 개발되었다. 노르웨이의 FFI 연구소는 NATO에서 2005년부터 개발한 위게임 표준(Standard) 언어인 C-BML(Coalition Battle Management Language)에서 생성된 명령을 에이전트-기반 모델인 MAS(Multi-agent System)에게 전달하고, MAS가 최종적으로 CGF를 작동시키는 방법으로 위게임 모델을 개발하고 있다 (Bruvold *et al.*, 2015). 미국의 OneSAF는 시뮬레이션 표준인 DIS (Distributed Interactive Simulation), HLA(High Level Architecture), MSDL(Military Scenario Definition Language)을 모두 지원한다. 이와 같이, 기술 선진국들은 자동화 모의 기술은 모듈화 하여 개발하되, 기존 모델의 재사용성 그리고 모델간 상호연동을 위하여 시뮬레이션 아키텍처는 철저히 표준을 준수하고 있다. 우리나라의 기 개발된 많은 위게임 모델도 HLA와 같은 표준을 따르고 있기 때문에 Sim *et al.*(2009)의 연구와 같은 아키텍처 모델링 연구가 자동화 모의 연구와 함께 병행되어야 한다. 이렇게 자동화 모의 기능을 모듈화 개발할 시 우리가 얻을 수 있는 효용을 다음과 같다.

첫째, 다양한 방법론을 필요에 따라 구현할 수 있다. 2장에서 논의한 바와 같이, 자동화 모의 구현을 위해 사용할 수 있는 방법론은 각기 장점과 단점을 가지고 있다. 대상이 되는 CGF의 특성에 맞는 가장 적합한 방법을 찾아낸 후 이를 모듈화 개발하면 사업관리 관점에서 효율성을 추구할 수 있게 된다. 둘째, 모듈화 개발은 개발자와 수요군의 밀접한 참여를 보장한다. 지상군의 지휘관은 다양한 무기체계와 여러 전장기능을 총괄하지만, 각 무기체

계를 세부적으로 이해하기에는 어려움이 있다. 세부적으로 구분된 모듈로 자동모의를 개발 시 해당 무기체계를 가장 잘 이해하고 있는 전문가를 참여시킴으로서 개발자와 수요군의 소통을 보장할 수 있게 된다. 마지막으로, 모듈화 개발이 필요한 가장 중요한 이유는 현재 군이 가진 자동화 모의 기술 수준이 높지 않다는 것이다. 따라서 하위단계에서부터의 단계적인 기술 개발이 요망되며, 이는 모듈화 개발을 통해서만 가능하다.

3.2.2 CGF의 통제

자동화 모의 기술을 모듈화 하여 개발할 시 나타날 수 있는 문제는 각기 다른 논리에 의해 움직이는 분산된 CGF들의 행동이 전체 작전의 통일성을 해할 수 있다는 것이다. 따라서 중앙집권화된 CGF의 통제체계는 필수적이다. CGF를 통제하는 데 있어 중요한 결정사항 중 하나는 모델 안에서 소유권을 누가 가지는지의 문제이다. 자동화 모의 개체의 소유권을 설명하기 위해 Figure 5를 참조한다.

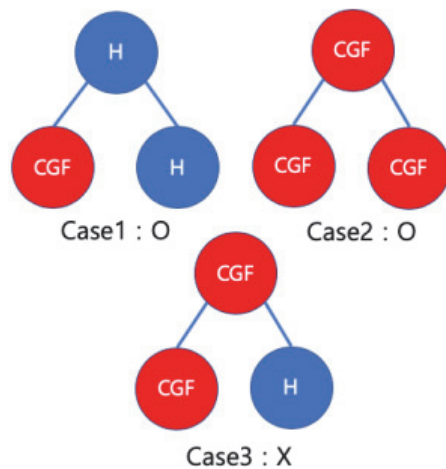


Fig. 5. All possible cases of CGF participation into wargame

그림은 자동화 모의되는 CGF와 사람이 조작하는 개체가 모델 안에서 공존하는 유형을 나타내고 있다. 그림에서 적색 CGF는 자동화 모의 CGF를 의미하고, 청색 H는 사람이 조작하는 개체를 의미한다. 그림에서 표현된 네트워크는 실제 훈련참여 부대의 지휘체계도를 의미한다. 첫 번째 케이스는, 훈련부대의 일부가 자동 모의되어야 하는 상황이다. 예를 들어, 대대가 훈련 시, 대대(-)는 훈련부대가 직접 참여하고, 1개 중대가 자동 모의되는 상황이다. 두 번째 케이스는 1개 부대가 온전히 자동화되어 모의되는 상황이다. 예를 들어, 대대가 훈련 시 인접 대대

Table 1. Comparison on three methodologies (○ : Strongly Suggested, □ : Modest, × : Slightly Recommended)

	Rule-Based	Agent-Based	Learning-Based
Possible Application Area	○ Doctrine-validation Experiment ○ Scenario Develop (e.g., POLMIL) □ Enemy CGF in “C” model	○ High-order decision making in “C”(Constructive) model ○ Analysis Model	○ CGF in “V”(Virtual) model ○ Individual Combatant modeling (for specific action) □ Analysis Model
Beneficiary	× Trainee (if immersive experience is required) ○ Trainee (if repetition on specific phase is required) □ War-game Planner (in terms of task reduction) ○ Instructor	□ Trainee (for all cases) □ War-game Planner (in terms of task reduction) ○ Instructor	○ Trainee (if immersive experience is required) □ Trainee (if repetition on specific phase is required) ○ War-game Planner (in terms of task reduction) □ Instructor
Priority on Future Research	□	○	○

가 자동 모의되는 경우이다. 세 번째는, 첫 번째 그림과 같이 부대의 일부가 자동 모의되어야 하는 상황이지만, 부대의 하위 제대가 사람에 의해 조작되는 경우이다. 예를 들어, 중대가 직접 참여하는 훈련에 대대(-)가 자동 모의되는 경우이다. 설명한 모든 경우를 고려했을 때 가장 바람직한 소유권 통제 방식은 “자동화 모의 CGF가 자기 자신과 모든 예하 부대의 소유권을 가지는 것”이다. 즉, 소대장을 자동 모의할 경우 소대장이 분대까지를 모두 소유하는 것이다. 이 경우 세 번째 케이스에서는 소유권 충돌이 발생할 수 있다. 하지만, 세 번째 경우는 군의 훈련 목적에 애초부터 부합하지 않는 경우이다. 대대의 훈련에 군이 인공지능 연대장을 모의할 필요가 없기 때문이다. 자동화 모의 CGF의 중앙집권화 된 통제가 필요가 또 다른 이유는 모델의 계산 효율성 때문이다. 학습기반 방법으로 모의되는 CGF가 학습한 내용을 자신만이 배우고 쓰는게 아니라 환경이 비슷한 다른 CGF와 공유를 할 수 있어야 한다는 것이다. 마지막으로, 소규모이 자동화 모의되는 CGF의 행동에 의도적인 제약을 가하고, 목표를 수정해 주는 등의 간섭이 필요할 수도 있으며 이러한 점을 고려하여 전체 CGF를 관찰할 수 있는 중앙 통제 체계가 필요하다.

4. 결론

본 연구는 국방 M&S에서 작동하는 개체의 자동화 모의를 이해하기 위한 전반적인 내용을 포괄적으로 다루고 있다. 1장에서는 개체의 자동화 모의 필요성(Why)에 대

해 논하였고, 2장에서 자동화 모의를 구현할 수 있는 방법론에 대해 설명하였다. 각 방법론에 대해 비전문가도 이해할 수 있도록 예시와 함께 설명하였다. 3장에서는 자동화 모의를 어느 분야에(What), 그리고 어떻게(How) 적용할 수 있는지에 대한 연구진의 주장을 기술하였다. 남은 논의점은 언제(Where) 자동화 모의 기술을 적용할 수 있는냐 이다. 본 논문에서 나타나는 연구진의 일관된 주장은 현재 우리 군의 기술수준은 미비하지만, 시급히 연구를 계속해 나가야 한다는 것이다. 관련 기술을 전혀 공개하지 않는 미국의 OneSAF(Parsons *et al.*, 2005) 모델의 경우에서 알 수 있듯, 선진국의 기술이전을 기대하기 어려운 상황도 이 주장을 뒷받침한다. 비록, 시뮬레이션의 목적과 묘사하고자 하는 환경의 복잡도에서 큰 차이가 있을 수 있지만 게임 산업에서의 인공지능 CGF 연구를 벤치마킹하는 것도 하나의 해결책이 될 수 있을 것이다. 이에 대한 내용은 Millington and Funge(2009)와 Rabin(2004)의 책을 참조하면 된다.

본 연구는 향후 국방 M&S의 자동화 모의 기술을 개발하는 공학자, 그리고 개념을 설정하고 사업을 추진하는 군에게 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로, 연구에서 논의한 방법들에 대한 공학적인 구현 및 실증을 향후 연구로 남겨둔다.

References

Bruvoll, S., Hannay, J. E., Svendsen, G. K., Asprusten, M. L., Fauske, K. M., Kvernelv, V. B., and Hyndøy,

- J. I. Simulation-supported wargaming for analysis of plans. In Proc. *NATO Modelling and Simulation Group Symp. on M&S Support to Operational Tasks Including War Gaming, Logistics, Cyber Defence* (STO-MP-MSG-133), 2015.
- DTaQ(Defense Agency for Technology and Quality), Defense Technology Review (M&S, SW), No. 8, p.11. 2019.
- Han, C., "Method for Implementing an Intelligent CGF Based on Finite State Machine", Journal of KOEN, Vol. 10, No. 3, pp. 301-307, 2016.
- Han, C., Cho, J.H., Lee, S.K., "A Study for Autonomous Intelligence of Computer-Generated Forces", The Korea Society for Simulation, Vol. 20, No. 1, pp. 66-77, 2011.
- Jung, S.H., "A Goal Oriented Action Planning and Replanning method of Computer Generated Forces in Wargame", INTERNATIONAL JOURNAL of FUZZY LOGIC and INTELLIGENT SYSTEMS, Vol. 23, No. 2, pp. 120-125, 2013.
- Kim, Y.G., Dynamic Adjustments of Lanchester Attrition Coefficients with Qualitative Parameters using Expert System, Dissertation, Chungnam National University. 1998.
- Kim, J.Y., Han, S.W., and Pyun, J., "Agent-based Modeling and Analysis of Tactical Reconnaissance Behavior with Manned and Unmanned Vehicles", The Korea Society for Simulation, Vol. 27, No. 4, pp. 47-60, 2018.
- Lee, D., and Hong, Y.G., "Agent-Based Modeling & Simulation for Command and Control", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 16, No. 3, pp. 39-48, 2007.
- Lee, G.H., "A Case Study on Modeling Computer Generated Forces based on Factored POMDPs", Journal of Computing Science and Engineering Conference, Vol. 39, No. 1(B), pp. 333-335, 2012.
- Moon, H.S., "A study on an expert system for close combat battlefield situation assessment in war-game models using machine learning", Korea Journal of Military Art and Science, Vol. 74, No. 3, pp. 315-335. 2018.
- Ministry of National Defense, MND Order No. 1896, 2016.
- Moon, H.S. and Kim, S.H., "Studies on the Operating Requirements of Multi-Resolution Modeling in Training War-Game Model and on the Solutions for Major Issues of Multi-Resolution Interoperation between Combat21 Model and TMPS", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 21, No. 6, pp. 865-876. 2018.
- Sin, S., Lee, J.Y., Kim, J.M., and Pyun, J., "A study of framework for combat effectiveness analysis using Multi Agent Based SIMulation", The Korean Operations Research and Management Science Society Conference, pp. 3824-3841, 2017.
- Sin, S.H., Park, K.M., Lee, U.B., Ji, S.D., and Han, S.J., "Agent-based SAF Modeling Tool for DEVS M&S", The Korea Society for Simulation, Vol. 22, No. 4, pp. 49-55, 2013.
- Abdellaoui, N., Taylor, A., and Parkinson, G., "Comparative analysis of computer generated forces' artificial intelligence", Defense Research and Development Canada Ottawa, 2009.
- Azar, M. G., Munos, R., Ghavanzadeh, M., Kappen, H., "Reinforcement Learning with a Near Optimal Rate of Convergence", inria-00636615v2, 2011.
- Brockman, G., Cheung, V., Pettersson, L., Schneider, J., Schulman, J., Tang, J., and Zaremba, W., OpenAI Gym, arXiv:1606.01540 [cs.LG], 2016.
- Cardullo, F., Application of neuro-fuzzy systems to behavioral representation in computer generated forces, 1999.
- Georgeff, M., Pell, B., Pollack, M., Tambe, M., & Wooldridge, M., "The belief-desire-intention model of agency". In *International workshop on agent theories, architectures, and languages*. pp. 1-10. Berlin, Heidelberg, 1998.
- Heinze, C., Smith, B., and Cross, M., "Thinking quickly : Agents for modeling air warfare", Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 47-58, 1998.
- Kallstrom, J. and Heintz, F., "Reinforcement Learning for Computer Generated Forces using Open-Source Software", *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference*, pp. 1-11, 2019.

- Lovlid, R.A., Bruvoll, S., Brathen, K., and Gonzalez, A., "Modeling the behavior of a hierarchy of command agents with context-based reasoning", *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, Vol. 15, No. 4, pp. 369-381, 2018.
- Lovlid, R. A., Alstad, A, Mevassvik, O.M., de Reus, N., Henderson, H., van der Vecht, B., and Luik, T., "Two approaches to developing a multi-agent system for battle command simulation", *Winter Simulation Conference*, pp. 1491-1502, 2013.
- Lovlid, R. A., Luotsinen, L.J., Kamrani, F., and Toghiani-Rizi, B., "Data-driven behavior modeling for computer generated forces - a literature survey", 2017.
- Millington, I., and Funge, J. *Artificial intelligence for games*. CRC Press, 2009
- Pauly, R., "The Pioneering role of CIS in American War Gaming", MITCIS: precis, Fall, p.3. 2015.
- Parsons, D., Surdu, J., & Jordan, B., "Onesaf: a next generation simulation modeling the contemporary operating environment", *In Proceedings of Euro-simulation interoperability workshop*, 2005.
- Rabin, S. (Ed.). *AI Game programming wisdom 4* (Vol. 4). Nelson Education, 2004.
- Roessingh, J. J., Merk, R. J., Huibers, P., Meiland, R., & Rijken, R., "Smart Bandits in air-to-air combat training: Combining different behavioural models in a common architecture", *21st Annual Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation*, 2012.
- Shim, J., Cho, W., Jin, J., Kim, S., "The research of the modularity of Federation Object Model to improve interoperability of RTI-based Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 18, No. 3, pp. 139-146, 2009.
- Stensrud, B. S., Barrett, G. C., & Gonzalez, A. J., "Context-Based Reasoning: A Revised Specification". *In FLAIRS Conference*, pp. 603-610, 2004.
- Tan, A. H., Subagdja, B., Wang, D., and Meng, L., "Self-organizing neural networks for universal learning and multimodal memory encoding", *Neural Networks*, Vol. 120, pp. 58-73, 2019.
- Teng, T. H., Tan, A. H., and Teow, L. N., "Adaptive computer-generated forces for simulator-based training", *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No. 18, pp. 7341-7353, 2013.
- Teng, T. H., Tan, A. H., Tan, Y. S., and Yeo, A., "Self-organizing neural networks for learning air combat maneuvers", *The 2012 International joint conference on neural networks*, pp. 1-8, 2012.
- Toubman, A., Roessingh, J. J., van Oijen, J., Lovlid, R. A., Hou, M., Meyer, C., and Turcanik, M., "Modeling behavior of computer generated forces with machine learning techniques, the NATO task group approach", *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 001906-001911, 2016.
- Toubman, A., Roessingh, J. J., Spronck, P., Plaat, A., and Van Den Herik, J., "Rewarding air combat behavior in training simulations", *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1397-1402, 2015.
- Wilensky, U., Rand, W., *An introduction to agent-based modeling : Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*, : Yoon, B.K., Lee, W.J., Korea National Defense University, 2017.
- Yun, W., Han, B., and Lee, T., "Command and control modeling for computer assisted exercise", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 25, No. 4, pp. 117-126, 2016.
- Yun, W., Moon, I., and Lee, T., "Agent-Based Simulation of Time to Decide: Military Commands and Time Delays" *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol. 18, No. 4, p. 10., 2015. DOI: 10.18564/jasss.2871.



조 남 석 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2754-3120> / ncho64@gmail.com)

2002 육군사관학교 전산학과 이학사
2007 미국 Air Force Institute of Technology 운영분석 석사
2016 미국 University of Wisconsin - Madison 산업공학 박사
2016~ 한국국방경영분석학회 이사
2016~ 현재 국방대학교 국방과학학과 교수

관심분야 : Optimization, Simulation, 국방 M&S



문 호 석 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4697-0750> / hsmoon0329@kndu.ac.kr)

1994 육군사관학교 화학과 이학사
2003 고려대학교 전자공학 석사
2007 고려대학교 산업공학 박사
2010 고려대학교 통계학 박사
2015~ 현재 국방대학교 국방과학학과 교수

관심분야 : 빅데이터, 국방 M&S, 영상인공지능



변 재 정 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0557-5044> / jjpyun0405@naver.com)

1982 충북대학교 사회과학대학 통계학과 이학학사
1984 숭실대학교 대학원 전산학과 공학석사
1996 미국 Illinois Institute of Technology 대학원 전산학과 공학박사
1998 한국국방연구원 : 국방정보체계연구소 C4I 연구부장
1998~ 현재 국방과학연구소 수석연구원

관심분야: 실시간운영체제(Real-Time Operating System), 국방M&S(Simulation Based Acquisition, 전투모의/효과분석, LVC 체계), 가상현실(Virtual Reality), 증강현실(Augmented Reality), Virtual Product Development, CPS(Cyber-Physical System) 등