

# SAF를 위한 자동계획기법 구현 사례

김정윤\* · 최대희 · 이상진 · 정성훈

## Case of Implementation of Automatic Planning for SAF

Jungyoon Kim\* · Daehoe Choi · Sangjin Lee · Sunghoon Jeong

### ABSTRACT

Our Automatic Replanning enables simulation entities to execute goal oriented behavior planning by dynamic behavior linking. Existing methods especially in Semi-Automated Forces (SAF) are mainly executing strict plans which are given at initial stage, thus they are not effective to cope with contingencies especially in a human in the loop simulation where humans interrupt. Moreover, those usually suffer from explosion of behavior combination in attempt to describe all possible countermeasures, and such combinations may be prone to being inconsistent to the situations. Our method generates behavior sequence in which behavior are linked from the goal in the manner of back-propagation. Each behavior has tags of pre/post-conditions. The tags are linked dynamically according to a certain contingency. The method is being applied to a national defense research project to show feasibility.

**Key words** : Semi-Automated Forces (SAF), back-propagation, intelligent entity, dynamic behavior link

### 요약

본 연구는 모의체제로 하여금 동적행위연결을 통한 목적지향 행위계획을 수행토록 하는 기법의 구현사례로서 재계획기법을 소개한다. 기존의 행위처리기법, 특히 Semi-Automated Forces (SAF)에서는 모의 초기에 주어진 정해진 계획을 단순히 수행하는 수준에서 크게 벗어나지 않는다. 따라서 인간의 판단 같은 예측불허 상황이 발생하는 (Human in the loop) 모의에서 기존 기법은 상황대처에 미흡하다. 또한 그러한 기법은 돌발상황 대응을 위한 광범위한 경우의 수를 고려하다보면 행위조합 폭증 문제를 겪을 수 있으며, 그러한 조합이 상황에 부합하지 않을 수 있다. 재계획기법은 역전파(back-propagation)를 활용, 목표달성을 위해 필요한 행위들을 검색, 연계하는 자동계획기법 구현사례이다. 이 기법은 행위에 태그(pre/post-conditions)를 부여, 동적으로 행위들을 연결한다. 본 논문은 기법의 실효성 입증을 위해 국방분야의 연구과제에 적용된 성과를 소개한다.

**주요어** : 가상군, 역전파, 지능개체, 동적행위연결

## 1. 서론

위게임은 전장을 모델링하여 다양한 전술, 전략을 실험/분석하는 도구이며, 실제 훈련에 비해 위게임은 적은 비용이 소요된다는 장점이 있다<sup>1, 2, 3</sup>. 특히 모델링에 있어서 실제 전장의 참여자들을 적절하고 정확하게 모의개체에 반영하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 다양한 관련

기술들이 제시되었으며, 최근에는 자율적이고 지능적인 개체가 선호되고 있는 가운데 지능개체 기반 위게임이 기존의 인간이 개체를 제어하는 형식의 위게임들을 교체하고 있다<sup>4</sup>. 그런데 지능개체가 실제 전장상황을 보다 정확히 반영하기 위해서는 개체에 적절한 수준의 자율성과 지능을 부여하여 임무수행을 위한 상황파악 및 적절한 과업 결정을 하도록 해야 한다<sup>3, 5, 6</sup>. 즉 개체들이 상황을 파악하고 돌발상황에 대처하기 위한 일련의 행위들을 선택할 수 있어야 한다<sup>1, 4</sup>. 그러나 기존의 위게임 개체는 일반적으로 이미 작성된 계획을 단순 실행하는 finite state machine을 활용하고 있다<sup>5</sup>.

본 논문은, 이러한 finite state machine의 제한을 극복하기 위해, 개체가 돌발상황에 대응할 수 있도록 일련의

\*본 연구는 국방과학연구소의 “공통SAF 시뮬레이션 구성 기술” 과제의 일환으로 수행되었다.

**Received:** 21 October 2014, **Revised:** 19 November 2014,  
**Accepted:** 25 November 2014

**\*Corresponding Author:** Jungyoon Kim  
E-mail: jkim@realtimevisual.com  
REALTIMEVISUAL Co.

행위를 재 정렬하는 자동계획기법을 구현한 사례인 재계 획기법을 소개한다. 이 기법은 가상군(CGF, computer generated forces)의 행위를 계층구조화하여, 계층구 조 상 다수의 행위는 하나의 복합행위를 구성한다. 각 행 위는 논리연산식의 시작조건과 종료조건을 포함하는데 이 기법은<sup>7, 8)</sup>에 소개된 바 있다.

실제 전투에서 전투원은 어떤 행위(공격)를 개시하는 판단을 할 때 조건 중의 하나로서 적군 또는 적 전차의 정 확한 숫자보다는 단지 적군이 많은지 적은지의 느낌을 더 고려할 것이다. 본 연구는 그러한 인간의 모호한 결정과 정을 반영하기 위해 fuzzy facts로 조건(종료/시작)을 명 시해 비교한다. 예를 들면, 조건이 “if enemy soldiers are fewer than three”가 아니라 “if enemy soldiers are few”로 기술된다. 그렇게 함으로써 조건명세가 간단해지고 개 체들이 보다 인간과 가깝게 하는 효과를 볼 수 있다.

일반적으로 상세한 수준의 행위명세(높은 충실도)는 보다 효과적인 모의를 가능하게 하지만, 과도한 노력이 소요되고 부수적인 부담이 증가할 수 있다. 따라서 모델 의 충실도 수준에 대한 적절한 판단이 위게임 모의에 매 우 중요하다. 본 논문은 그러한 부담을 경감시키는 반면 충실도를 제고할 수 있는 퍼지룰(Fuzzy rules) 기반 행위 선택 메커니즘을 소개한다. 이 메커니즘은 개체가 어떤 예상치 못한 상황에 대처하기 위해 일련의 행위들을 순서 를 조정할 수 있도록 한다. 예를 들어, 포격을 받으면 옆 드리라든지 하는 것은 초기에 계획된 과업계획에는 존재 하지 않더라도 개체가 자신이 지휘하는 부대 또는 자신의 전력을 보존하기 위해 개체들이 자연적으로 취해야 하는 반응이다. 또는 자신의 부대가 전멸 지경에 이르면 철수 를 한다든지 하는 예외적인 상황에 대한 대응도 이에 해 당한다. 이외에도 동일한 과업에서 다른 상황에 처해질 경우, 즉 개체가 처해진 환경이나 개체의 유형이 달라서 수행되어야 할 행위가 달라야 할 때 퍼지룰을 통해 다른 적절한 행위를 선택할 수도 있다.

본 연구는 가상군 관련 연구과제에 적용된 바 있으며<sup>8)</sup>, 이 과제에서 청군과 홍군이 교전하는 시나리오를 통해 본 연구의 실효성을 확인하였다.

가상군이 보다 더 실감나게 동작하도록 하기 위해서는 다음과 같은 기능이 필요하다. 다양한 환경변화에 따라서 능동적으로 과업을 변경하는 것, 적절한 해결책을 찾아 자동적으로 계획하는 것, 그리고 과업을 수행하기 위해 다른 가상군과 협조하는 것 등이다. 현재 본 연구는 상당 한 부분의 기능에 대해 진행되었으며 유효성이 확인되고 있다. 본 논문에서는 제한된 지면으로 그러한 기능들을

향후 연구사항으로 하고 본 논문은 계획기법을 중심적으 로 설명한다.

본 논문의 구성으로, 2장에서 재계획기법과 관련한 전 반적 설명이 주어지고, 3장에서 위게임에서 모의한 결과 를 로그 기록과 같이 설명하며, 4장에서 요약과 함께 추 가적으로 수행되어야 할 연구내용에 대해 설명한다.

## 2. 재계획기법

위게임 상의 가상군이 실세상의 전투원과 유사하게 동 작하기 위해서는 전투원의 다양한 기능을 가상군에 반영 하여 구현해야하는데, 그 중에 자동계획과 결심행위가 핵 심적이다. 자동계획은 주어진 임무를 완수하기 위해 필요 한 행위들을 정렬하는 것이며, 결심이란 돌발상황에 적절 히 대응하는 것으로 볼 수 있다. 우리의 목표는 가상군으 로 하여금 주어진 임무를 수행하기 위해 적절하게 상황을 판단하고, 다수의 적절한 행위를 선택하여 배열토록 하는 것이다. 본 절은 이미 소개한 재계획기법<sup>7, 8)</sup>의 주요 내용 에 대한 요약과 과제에 적용된 구현 예제를 보여주고 그 의의를 논의한다.

### 2.1 아키텍처

Fig. 1은 재계획기법을 위한 가상군 개체의 아키텍처 이다. 개체는 외부환경에 대한 정보를 획득하고(sensors), 지휘관, 동료, 또는 부하 개체들과 지시 및 보고를 주고받 으며(communication), 결심한 행위를 행동으로 옮긴다 (actions). 아키텍처에는 다음의 세 가지 기능을 확보하기

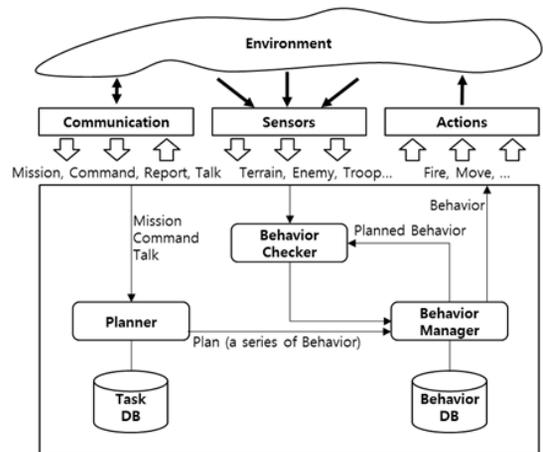


Fig. 1. Architecture of planning technique

위해 도출되었다.

- 기능 1. 상황에 따라 행위의 순서를 정렬.
- 기능 2. 지속적으로 상황의 능동적 감시 및 대응.
- 기능 3. 계획된 행위를 타 개체와의 협조하에 수행.

Planner는 기능 1을 위한 것으로, 그림에서 Planner는 상황에 따라 행위를 정렬하는데, 개체에 주어진 임무를 수행하기 위해 필요한 행위들의 순서들을 생성하며, 해당 행위는 Task DB에 준비되어 있다. Task DB는 기존의 자동계획기법 분야에서 주목받고 있는 Hierarchical Task Network, HTN<sup>6, 9</sup> 기반으로 설계되었다. Behavior Checker는 기능 2를 위한 것으로, 센서를 통해 획득한 정보를 바탕으로 지형을 파악하고 적군을 탐지하며, 아군의 현황을 참고한다. 또한 Behavior Manager로부터 받은 현 계획도 확인한다. Behavior Manager는 기능 3을 위한 것으로, Planner에 의해 계획된 행위들을 수령하고, Behavior Checker로 계획을 평가하게 한 후 평가결과를 바탕으로 계획을 수행하거나 보류한다.

## 2.2 행위의 구조

Fig. 2는 행위의 요소, 구조, 가능한 조합을 보여준다. 행위는 개체의 Operation character (identifier), Behavior, Constraints의 세 부분으로 구성된다. Operation Character는 행위를 실행시키는 것이고, Behavior 그 자체는 행위의 내용에 대한 정보를 담고 있으며, Constraints는 행위와 관련된 제약사항들을 포함하며, Behavior를 완료시키기 위해 필요한 하위행위(sub-behavior)와 자원제약사항, 시간제한에 대한 정보를 담고 있다. 행위(behavior)는 시작조건(precondition 또는 start condition)과 종료조건(post condition 또는 termination condition)의 태그가 붙는데, 이 태그에 의해 행위의 트리구조 및 구조 내에서의 각 행위별 순서가 정해진다. 행위는 자체적으로 하위 행위를 가질 수 있는데, 그림에서 행위의 조합의 사례를 보여주고 있다. 다수의 행위가 구조를 구성하며 각 행위는 연산식(AND, OR)과 화살표로 연결되어 순서가 정해진다. 하위행위 역시 동일한 방식으로 시작조건과 종료조건을 가지고 있고 그 아래의 하위행위를 가질 수 있다.

행위는 복합행위(Composite Behavior)와 단순행위(Primitive Behavior)로 구분될 수 있는데, 복합행위는 하위행위로 구성된 행위이고, 단순행위는 하위행위가 더 이

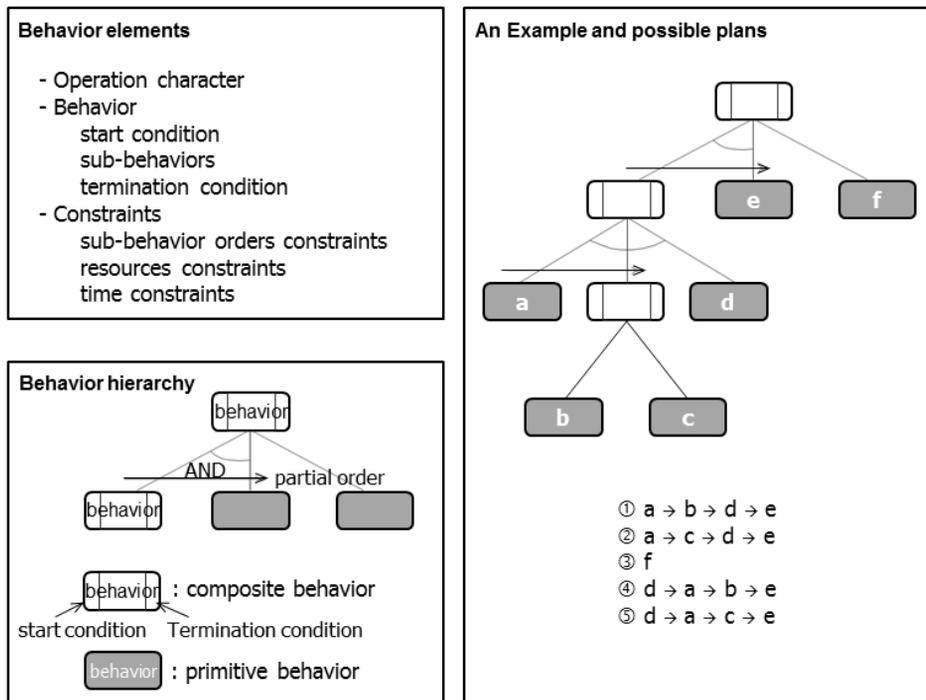


Fig. 2. Behavior composition

상 없는, 또는 더 이상 분리될 수 없는 행위를 말한다. 일부 단순행위는 시작조건과 종료조건을 가지지만 일반적으로 그런 조건을 가지지 않으며, Fig. 2에서 회색의 행위들이 이에 해당한다. Fig. 2의 우측은 예제 계획(행위의 계층적 구조)에서 가능한 다섯 가지의 행위 실행 순서의 경우를 보여준다.

일반적인 계획모듈은 어떤 상황에 대해 규칙에 따라 미리 정의된 대응을 선정하고 연결하여 계획을 생성한다. 체스나 바둑의 경우에는 그런 상황과 규칙이 비교적 단순하므로 이를 바탕으로 생성된 계획을 실행함에 큰 무리가 없다. 그러나 가상군이 활동하는 모의 전장상황에서는 전투 상황이 동적으로 변화하며, 따라서 그러한 모듈로 생성한 계획을 단순히 수행하는 것만으로 상황대처가 적절하지 않을 수 있다. 본 연구에서의 계획모듈(특히 Fig. 1의 Planner와 Behavior Checker)은 미리 정의된 대응(행위)을 선택하는 것이 아니라 상황에 따라 다양한 대응을 비교하고 선택한다. Planner에 의해 생성된 계획은 Fig. 1의 Behavior Manager로 전달된다. 계획의 실행에 앞서 Behavior Manager는 Behavior Checker에 계획에 포함되어 있는 행위를 보낸다. 그런 다음 Behavior Checker는 센서들로부터 획득된 정보들과 행위의 시작조건을 비교하여 적절한 행위를 수행하기 위해 요구되는 조건들이 만족되었는지를 확인한다.

### 2.3 조건 비교 (Fuzzy matching)

Behavior Checker에는 행위의 시작조건을 확인하기 위해 퍼지매칭기법<sup>[7, 8, 10]</sup>이 적용되었는데 Fig. 3은 그 예를 보여준다. 예를 들어, 그림에서 시작조건이 “if the number of enemy is many and they are near”라고 정의되어 있다고 하자. 적의 숫자가 “few, normal, many”와 같이 명시되고 적과의 거리가 “near, normal, distant”로 명시된 상태에서 적의 숫자가 23, 거리가 30m라면, 다음과 같이 상황이 평가된다. 적 23에서 0.65, 거리 30m에서 0.23으로 퍼지함수 계산으로 평가되었다고 가정할 때, “enemies are many AND they are near”는 minimum (0.65, 0.23)으로 정의하여 0.23의 결과를 낳게 한다. (OR의 경우 0.65) Fig. 3의 (a), (b)가 이를 각각 설명한다.

Fig. 3의 차트 내용은 설명을 위해 적 숫자 및 거리 두 가지로 간략하게 묘사되었는데, 실제 적용되는 항목(fuzzy facts)은 속도, 탄약보유량 등 모의 실행자의 의도에 따라 가변적으로 추가할 수 있다. 이 항목은 실제적인 도메인 지식을 반영하는 것으로 세부적 설명은 본 연구의 범위를 넘어선다. 그러한 지식은 도메인전문가와와의 긴밀한 협조를 통해 지식획득이 가능할 것이다.

### 2.4 재계획 기법 예제

재계획 기법은 돌발상황에서의 개체가 기존의 주어진 계획을 보류하고 대체계획을 선택, 실행시키는 기능이다.

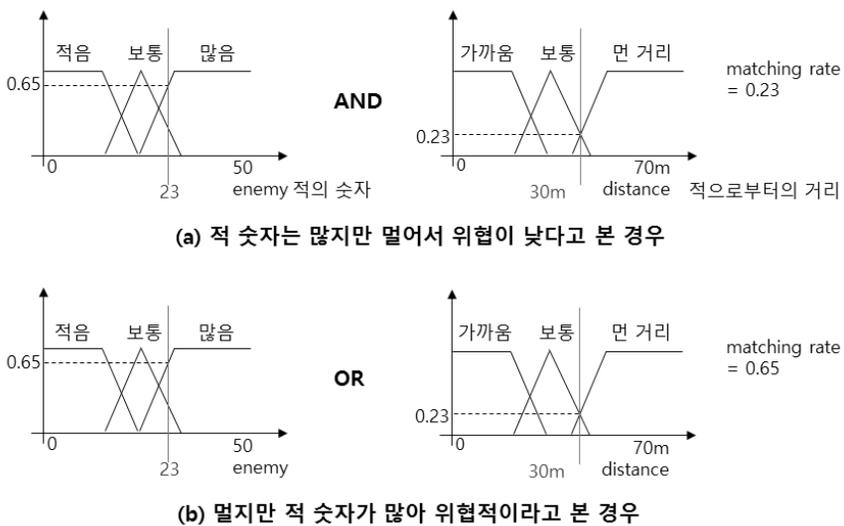


Fig. 3. Matching rates of start and termination conditions (a) AND condition (b) OR condition

계획기법의 절차는 Fig. 4의 예제로 설명되어 있다. 그림의 예제는 재귀적(recursively)인데, 적절한 행위를 찾을 때까지 반복되며, 마침내 그러한 행위를 찾으면 그 과정에서 보류되었던 행위들을 거슬러 올라가 기존의 계획되었던 행위까지 실행되게 된다(back propagation). 그림에서 Behavior Checker는 행위의 시작조건이 만족되지 않았을 경우 잠재적 대체행위들을 검색하게 되며, 검색결과에서 하나를 선택하여 실행하게 된다. Fig. 3(a)의 예를 들면, 시작조건이 평가값(matching rate)이 기준값보다 작아야 한다고 할 때 기준값(threshold)이 0.5이고 평가값이 0.23일 경우, 시작조건이 만족되어(threshold > matching rate) Behavior Checker는 현재의 행위를 계속 진행시키는 것으로 판단한다. 만약 평가값이 (b)와 같이 0.65이면 시작조건을 만족하지 못하기 때문에 Behavior Checker는 현재의 행위를 보류한 후 행위풀(behavior pool)에서 다른 행위를 검색한다. 검색대상 행위는 기존의 행위 대체할 목적으로, 보류된 행위의 시작조건과 가장 비슷한 종료조건을 가진 것으로 선택될 것이다. 해당되는 시작조건과 종료조건은 DNF (disjunctive normal form) 논리식으로 명시되어 이를 비교하게 된다. 이 과정은 실제 전장의 참여자의 의사결정 과정과 매우 유사한 것이다.

시작 및 종료조건에 대한 비교(fuzzy matching)는 DNF로 명시된 언어항들(linguistic terms)에 대해 이루어 지는데, 따라서 사람에게 보다 간단하고 쉽게 이해될 수 있다. 그런데, 이러한 조건들이 모의상황을 적절하게 반영토록하기 위해서는 조건들의 기준값 간격이 적절해야 하고 그 값이 인간의 결정과정을 적절히 유사하게 반영하도록 세심하게 고려되어 설정되어 있어야 한다. 그렇지 않을 경우 가상군 개체의 결정행태가 실제 인간이 내리는 결정행태와 너무 차이가 나 모의의 유효성을 잃을 수 있다. 그 간격 및 기준값의 선택의 일반적인 방법을 찾는 것은 쉬운 일이 아니다. 대개 초기의 선택은 해당분야 전문가의 경험에 의존하여 수행된 후 실험을 통해 반복적인 보완을 거쳐서 이루어지게 될 것이다.

일단 Behavior Manager가 최종적으로 어떤 적절한 행위를 선택하면, 개체에 요구되는 행동을 개시하게 하는 적절한 물리모델로 선택된 행위를 전달하게 된다. 예를 들어 집중사격(concentrate fire) 행위에서 탐지된 외부환경이 “enemies are almost annihilated”로 식별되고 평가치값이 0.87로 계산되었다고 가정하면(생존한 적의 숫자가 당시 두명 정도 남은 경우), 그리고 기준값이 0.8이라고 했을 때 Behavior Checker의 결정에 따라, Behavior

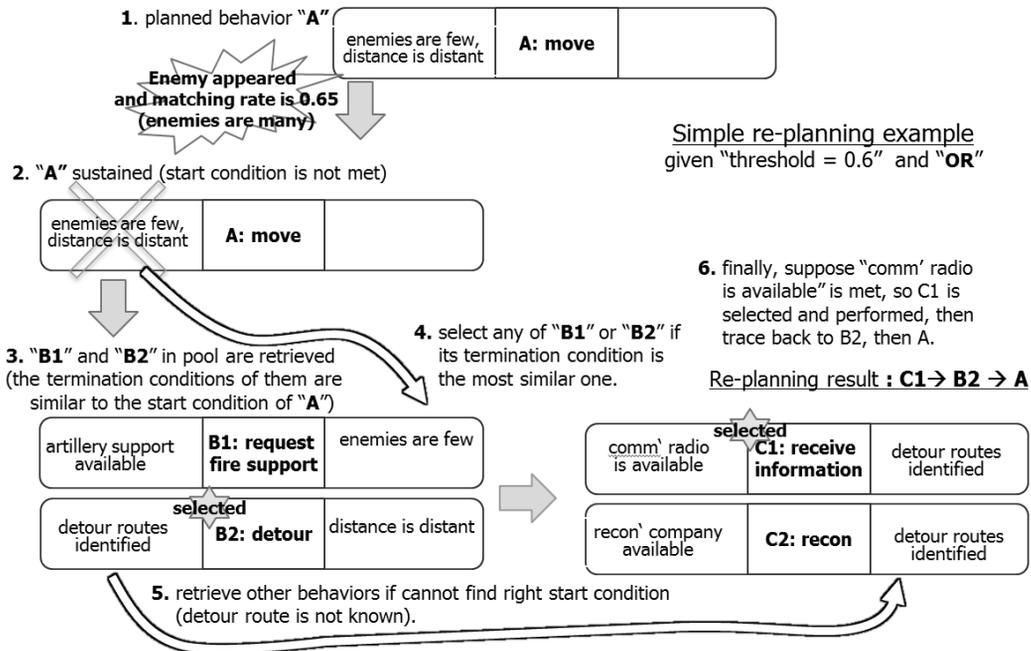


Fig. 4. Example of Replanning

Manager는 집중사격이라는 행위를 종료시키게 되며, 그런 다음 “tactical move to acquire another target”과 같은 계획상의 다음 행위를 개시하게 된다.

### 2.5 재계획 기법의 의의

여기서 주목할 사항으로서, 행위의 시작조건이 충족되어 행위가 개시되었는데 수행되는 도중에 시작조건이 충족되지 않을 때 개체가 취해야 할 기능이다. 모델링 측면에서 볼 때, 그 상황에서 개체가 종료조건을 충족할 때까지 행위를 지속해야 할지를 고려해야겠지만, 실제 세상을 반영해야 하는 모의를 위해서는 다른 새로운 행위로 대체하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 측면에서 본 연구는 현 행위를 지속할 것인가, 새로운 행위를 대체하여 개시할 것인가에 대한 판단을 위해 퍼지rules에 기반한 방법을 채택하였다. 예를 들어 전술이동행위(tactical move to acquire target)의 “there is no enemy and friendly troops are enough to acquire target”이라는 시작조건이 만족된 상황을 가정하자. 어느 정도 시간이 흐른 후 만약 아군이 전술이동 중에 적의 포격을 받게 되고 병력이 심하게 감소되면, 전술이동을 지속할 필요성이 없어질 것이다. 본 연구에서는 퍼지rules를 통해 Behavior Manager가 그러한 급박한 상황변화에 대해 대체행위를 선택할 수 있게 한다.

간단한 규칙에 의한 대응은 상황이 단순하거나 대응하는 유닛이 작을 경우에는 적절할 수 있다. 그러나 상황이 복잡하거나 대응하는 유닛(부대와 같은 그룹)이 많은 멤버(전투원, 병사)들을 가진 경우 단순한 룰로 처리하기가 곤란할 수 있다. 그런 경우에 모의는 실제 세상을 반영하는 정도가 제한적이거나 무의미할 가능성이 높다. 예를 들어, 3중대 소속의 다수의 소대가 전술적 이동을 수행하던 중 3소대가 적군의 포격을 받을 때, 각 소대는 간단한 규칙을 통해서 이 포격에 대응한다고 가정하자. 이 경우 각 소대는 타 소대의 결정사항에 적절하지 않은 행위를 선택하거나 전체 소대가 동일한 행위를 하게 하거나 하는 식일 것이며, 이는 실제 세상에서 일어나는 일과 그다지 부합하지 않는다. 이러한 경우 실제세상을 보다 더 정확하게 반영하기 위해서, 소대 개체 간의 협업 및 하위부대와 상위부대 개체 간의 체계적인 대응이 이루어질 필요성이 있다. 그러한 기능을 얻기 위해, 주어진 목표를 달성할 때까지 탄력적으로 계획이 수정되는 목표지향계획기법(Goal Oriented Action Planning : GOAP)이 필수적이며, 하위부대 개체(소대장)에 의한 상위부대 개체(중대장)로의 보고활동과 하위부대에 대한 임무할당이 이루어져야 한다 [11, 12, 13]. 그러나 보고활동 및 임무할당은 본 논문의 범위를 벗어나므로 여기서는 생략하였다.

를 벗어나므로 여기서는 생략하였다.

일반적인 게임 SW의 계획모듈은 특정 상황에서 주어진 조건에 따라 정해진 행위를 생성한다. 체스나 바둑과 같은 게임에서는 그렇게 정해진 행위를 수행하는 것이 큰 문제가 아닐 수 있다. 그러나 가상군 기반의 위게임에서는 매우 다양한 상황의 전투환경이 동적으로 변화하며, 따라서 일반적인 게임 수준에서 생성된 행위는 위게임에서 부적절할 가능성이 높다.

재계획 기법은 돌발상황에 대응하기 위해 기존의 계획된 행위를 보류하고 대체 행위를 실행시키는 능력이다. 기존의 계획된 행위의 시작조건이 주변상황에 따라 만족되지 못할 때 Planner는 대체가능한 행위를 Behavior DB에서 검색하는데, 이때 교체대상 행위들의 종료조건을 비교하여 계획된 행위의 시작조건과 가장 유사한 행위를 선택한다. 행위가 또 다른 하위행위를 포함하고 있으므로 보류와 교체 활동이 recursive하게 나타난다. 본 기법은 본질적으로 모호한 특성을 가진 fuzzy 기법을 활용함으로써 실제 전장에서의 인간의 기계적이지 않은 결정행위를 보다 유사하게 반영할 수 있다.

### 3. 실 모의체계 적용

본 재계획기법은 “공통SAF 시뮬레이션 구성 기술”이던 국방분야 과제에 적용되어 구현 중이다. 이 과정은 우리 군의 전술과 환경을 고려한 독자적인 SAF(Semi Automated Forces) 기술을 확보하기 위한 것으로서, 군이 요구하는 SAF 기반 분석모델 및 훈련모델 개발에 공통적으로 활용될 수 있는 핵심기술 연구개발의 일환으로 수행되고

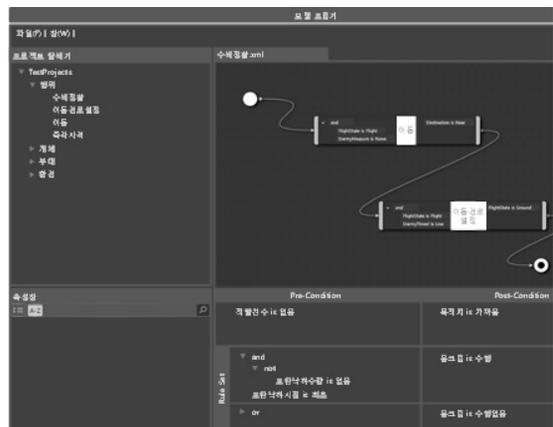


Fig. 5. Model Composer

있다. 이 과제가 포함하는 주요 과업으로 공통 SAF 운영 개념 확립, 능동적 자율 개체(병사 및 무기체계, 부대) 기술 개발, 모의 관리 및 재구성 기술 개발, 모의 자산 저장 및 관리 기술 개발, 및 이를 바탕으로 분석 및 훈련 모델 개발 등이 있다. Fig. 5는 이 과제에서 개발된 Model Composer로서 행위조립을 위한 사용자 인터페이스이다. 이 화면을 통해 행위를 수행하기 위해 필요한 절차를 흐름도 형태로 명세하며, 행위의 시작조건과 종료조건을 정의할 수 있다. Fig. 6은 시범적으로 작성된 모의모델의 3D 실행화면이다. 각 개체의 행동을 관찰함으로써 본 기법의 유효성을 확인할 수 있다.

실 모의체계 적용은 GOAP를 위게임 소프트웨어에 구현한 것으로 볼 수 있다. GOAP 부분을 제외한 다른 부분의 SW는 기존모듈을 재활용하였으며, 공통SAF는 전투원뿐만 아니라 다양한 차량을 모의할 수 있으나 본 논문에서는 단순화를 위해 주로 전투원 및 몇 대의 전차만 활용한 사례이다.

Fig. 6은 시험에서 시나리오를 편집 중인 시나리오 편집기의 화면이다. 그림에서 엑스표가 표시된 청색 사각형은 전투원들이며 청군으로서 화면의 좌하 면에 위치하고

있다. 반대쪽의 적색엑스표시가 된 마름모는 홍군으로서 화면의 우상 면에 위치한다. 모의에 참가하는 개체에는 탱크를 포함하며, 대치하고 있는 일반 전투원 후방에 탱크가 위치하고 있다. 시나리오는 홍군은 방어, 청군은 전술이동을 실시하다가 중대 규모의 병력이 충돌하는 것으로 전개된다. 그림에서의 상황은 홍군이 확보하고 있는 언덕을 청군이 점령하는 시나리오로서 그림 하부의 임무 편집창에 단계(Phase)별로 1) 공격개시선 통과, 2) 전술이동, 3) 돌격 및 소탕이 임무로서 부여되었다. 각 소대는 부여된 계획을 수행하게 된다.

행위 중에 하위행위를 포함하지 않는 것이 있는데, “전술이동”의 경우 간단하므로 “이동”이라는 단순행위를 바로 실행하는 이외의 하위행위는 있을 필요가 없다. “이동”행위의 경우 개체가 이동 중 지뢰밭과 같은 계획에 없고 사전에 인지되지 않았던 장애물에 맞닥뜨리거나 원래 건너도록 되어있던 다리가 붕괴되어 더 이상 건널 수가 없게 되면 우회를 해야 하면 “경로탐색(path finding)”이 하위행위로 수행될 수 있다. 경로탐색은 이동의 자체 기능으로 수행되므로 계획에 포함되어 있을 필요는 없다.

앞서 2장에서 설명한 바와 같이, 행위는 상황에 따라

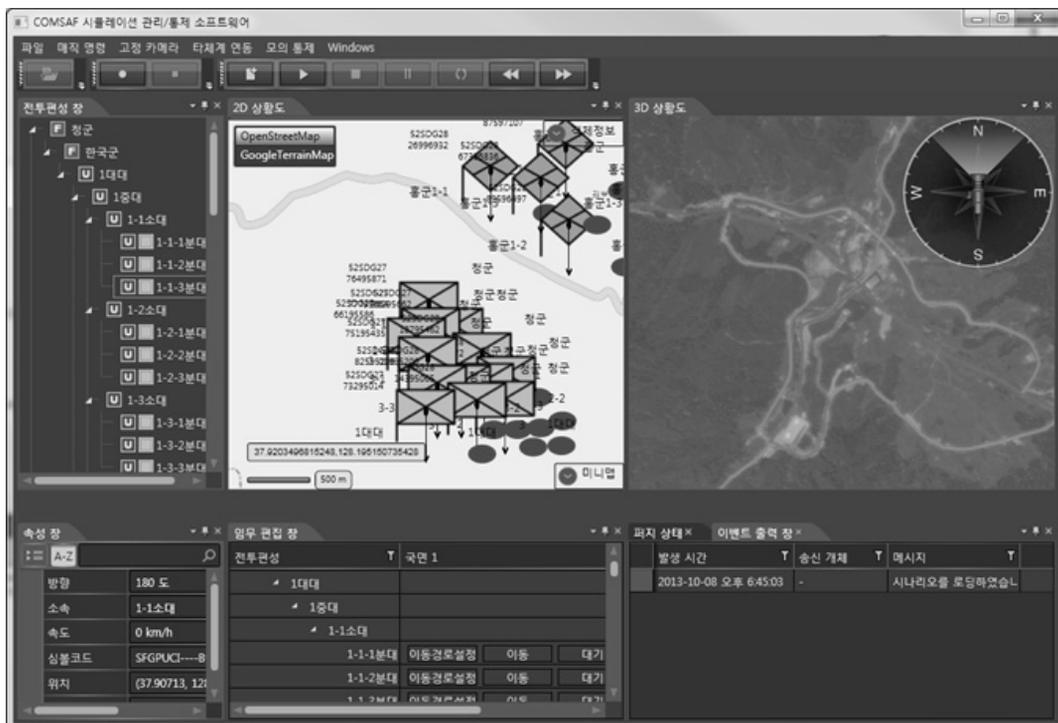


Fig. 6. Example screen of Scenario Editor (screen capture)

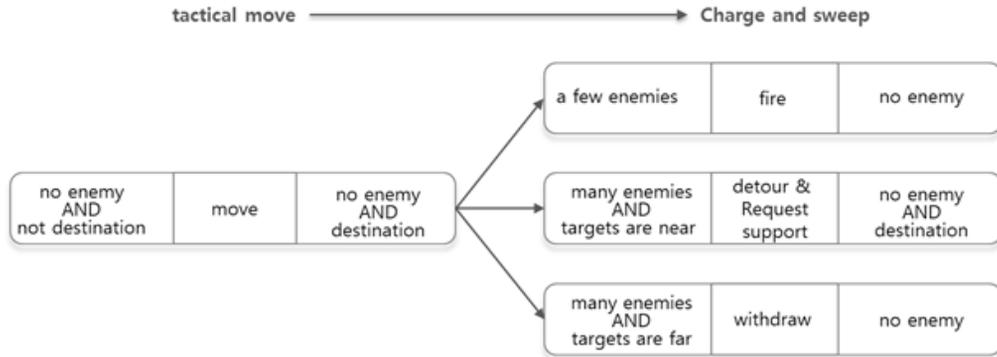


Fig. 7. Cases for an behavior and its alternatives

Table 1. Simulation execution log

Cases	Blue force	Red force
a few enemies	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] move [00:00:24] [Situation] Enemy detected (# of enemies is small) [00:00:24] [Behavior termination] move [00:00:24] [Behavior commencement] fire [00:00:41] [Situation] no enemy [00:00:41] [Behavior termination] fire [00:00:41] [Behavior commencement] move [00:01:12] [Behavior termination] move [00:01:45] Simulation end	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] alert [00:00:40] [Situation] casualties occurred (dead) [00:01:45] Simulation end
many enemies AND targets are near	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] move [00:00:38] [Situation] Enemy detected (# of enemies is many && distance to targets is near) [00:00:38] [Behavior termination] move [00:00:38] [Behavior commencement] detour [00:00:38] [Report] request support [00:01:52] [Situation] no enemy [00:01:52] [Behavior termination] detour [00:01:52] [Behavior commencement] move [00:02:14] [Behavior termination] move [00:02:31] Simulation end	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] alert [00:02:31] Simulation end
many enemies AND targets are far	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] move [00:00:34] [Situation] Enemy detected (# of enemies is many && distance to targets is far) [00:00:34] [Behavior termination] move [00:00:34] [Behavior commencement] withdraw [00:01:55] [Behavior termination] withdraw [00:02:11] Simulation end	[00:00:01] Simulation start [00:00:02] [Behavior commencement] alert [00:02:11] Simulation end

다양한 대체행위로 대체될 수 있다. Fig. 7은 시범 시나리오에 포함된 모델의 3가지 대체행위를 보여준다. 만약 Behavior Checker가 “이동” 행위(move)를 계속 진행하기에 적절하지 않다고 판단하게 되면(“no enemy and not destination”의 시작조건에서 “enemy”가 등장하여 더 이상 시작조건을 만족하지 못하는 상황) Behavior Manager

는 “이동”을 보류하고 검색된 세 가지 행위 중 하나를 선택하여 개시하도록 한다. 실험은 기준값(thresholds)을 조정하여 세 가지 대체행위가 모두 한 번씩 수행되도록 하여 세 번을 실시하였다. 그 결과는 Table 1에 정리하였다.

Table 1은 Fig. 7의 세 가지 케이스별 로그 기록을 보여준다. 로그 내용을 보면 첫 번째 컬럼에서 기준값 조정

을 통해 조성된 개체의 상황판단을 보여 주고 있으며(적병력이 미약함, 적병력이 많고 근접함, 적병력이 많지만 멀리 떨어짐), 두 번째 컬럼은 청군의 행위수행 절차를 보여주며, 세 번째 컬럼은 홍군의 행위수행 절차이다. 특히 청군의 행위절차에는 행위가 보류되는 현상([Behavior termination])이 자동적으로 일어나고 대체행위가 개시되는 모습(Behavior commencement)을 볼 수 있다. Fig. 8은 수행되는 모의의 3D 입체 영상을 캡처한 것이다. 모의 통제관은 3D 가시화를 통해 개체의 행위와 전장상황을 보다 실질적으로 파악할 수 있다. 그림의 상황은 청군 소대가 적군을 탐지하고 대응을 준비하는 장면으로 언덕위의 붉은 글자가 홍군 개체가 잠복하고 있는 것을 알려준다. 모의 통제관은 다양한 각도와 높이의 관점에서 전장상황을 관찰할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구가 제시한 재계획기법은 HTN 기반 자동계획기법으로서 동적행위연결을 통해 개체로 하여금 예상치 못한 돌발상황에 대응할 수 있도록 한다. 재계획기법은 기존의 HTN이 결과가 어느 정도 결정된 유형의 상황에서는 적절하지만 변화무쌍한 전장상황에서는 모든 대응행위를 정의하기에는 적절하지 못한 점을 보완한다. 이러한 특성은 워게임의 가상군 개체의 자율적 행위를 증진하게 된다. 이 기법은 기존의 자동계획이 적용된 체계에 많이 활용되는, 주어진 행위에 대한 결과를 바탕으로 행위를 정의하는 HTN기법과 일정부분 유사해보이지만 행위에 태그를 부여하여 개체가 행위를 탄력적으로 선택하는 특성은 보다 더 실제적이도록 한다. 즉 HTN은 행위가 수행되면 이어지는 행위가 어느 정도 제한된 경우에 적합한 반면, 재계획기법은 실제 전장상황이 그렇듯이 이어지는 행위가 다양한 경우에 적합하다고 볼 수 있다.

본 연구는 재계획기법을 국방과제의 일환으로 워게임 시나리오로 구성하여 시험하였으며, 그 결과 제시된 기법이 모의개체로 하여금 계획에 없는 돌발상황에 대처하는 능력이 부여되었음을 보여주었다. 개체가 보다 더 실제적인 행위를 가능하게 하려면 개체 간 협업과 같은 행위가 가능해야 하며, 수행 중인 과제에서 이러한 개선노력이 이루어지고 있다. 향후 모의개체의 보다 사실적인 반영을 위해 도메인 지식을 정제하여야 하며, 또한 재계획 이외에도 추론, 의사결정, 협업, 학습 등의 인공지능 기법들이 적용되어야 한다. 수행중인 과제에서 보다 더 자율적인 개체구현을 위해 이 항목들에 대한 연구를 수행하고 있다.

#### References

1. A. Ozaki, et. al., "Design and Implementation of Parallel and Distributed Wargame Simulation System," in Proc. of IEICE/IEEE Joint Special Issue on Autonomous Decentralized Systems and Systems Assurance, vol. E84-D, pp. 1376-1384, 2001.
2. P. Pearce, et. al., "The Wargame Infrastructure and Simulation Environment (Wise)," in Proc. of 7th International Conference of Knowledge-Based Intelligence Information and Engineering Systems, 2003. Oxford, UK.
3. D. Fu, R. Jensen, et. al., "Specifying the Behavior of Computer-Generated Forces without programming," in Proc. of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 969-975, 2003.
4. H. K. Park, et. al., "Development of The Distributed Real-Time Wargame Simulation Using TMO Model," Proc. of the 98 Korea Society for Simulation conference, pp. 13-22, 1998.
5. S. B. Banks, "An Approach to Enhance Human Behavior Modeling for Computer-Generated Actors," in Proc. of the 4th International SIMTECT Conference, pp. 199-204, 1999. Melbourne, Australia.
6. D. S. Nau, "Current Trends in Automated Planning," AI Magazine, vol. 28, no. 4, pp. 43-58, 2007.
7. J. Kim, D. Choi, "Implementation of Goal Oriented Behavior Planning, Re-planning for SAF," Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference, 2013.
8. Daehoe Choi, Sanmin Lee, Sung Hoon Jung, "A Goal Oriented Action Planning and Replanning method of Computer Generated Forces in War Game," Proc. of KIIS Conference 2012, Vol. 22. No. 2.
9. K. Erol, "Hierarchical Task Network Planning: Formalization, Analysis, and Implementation," Phd thesis, Dept. of C.S., Univ. of Maryland, College Park, MD, 1996.
10. B. Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems. A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. Prentice-Hall, 1992.
11. J. Orkin, "Applying Goal-Oriented Action Planning to Games," in AI Game Programming Wisdom 2, pp. 217-228, 2003. Charles River Media.
12. E. Long, "Enhanced npc behavior using goal oriented action planning," 2007.
13. Han-ha Yoo, Kyung-eun Cho, and Ky-hyun Um, "A Cooperation Strategy of Multi-agents in Real-Time Dynamic.



**김 정 윤** (jkim@realtimevisual.com)

1997 Texas Tech Univ. 전산학 석사  
2006 한국과학기술원 전산학 박사

관심분야 : 군수정보체계, 소프트웨어 개발 프로세스, 시뮬레이션



**최 대 회** (jkim@realtimevisual.com)

2004 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사  
2005~ 리얼타임비주얼 개발팀장

관심분야 : 시뮬레이션, 인공지능, 소프트웨어 개발



**이 상 진** (sangjinlee@add.re.kr)

2008 한국과학기술원 산업공학 박사  
2011 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 모델링, 시뮬레이션, 조립형 모의 아키텍처, 및 가상군



**정 성 훈** (shjung@hansng.ac.kr)

1991 한국과학기술원 공학석사  
2006 한국과학기술원 공학박사

관심분야 : 지능시스템, 시스템생물학, 뇌공학