

논문 2011-48CI-1-3

실시간성을 고려한 가상군 최소비용 길 찾기 알고리즘

(Minimum-Cost Path Finding Algorithm in Real-Time For Computer Generated Force)

한 창 희*, 민 영 혜**, 박 상 혁**, 김 재 훈***

(Chang-Hee Han, Young-Hye Min, Sang-Hyuk Park, and Jai-Hoon Kim)

요 약

컴퓨터 게임 등에서 가상객체를 이용해 다양한 환경을 체험하는 것과 유사하게 국방 분야에서도 War-game simulator를 활용한다. 실제 군인과 컴퓨터가 생성한 가상군(Computer Generated Force: CGF)이 전장상황을 3차원의 가상환경 속에서 교육 훈련을 실시하고 있다. 하지만 시뮬레이션 모델 구현 기술 중 하나인 길 찾기 알고리즘의 현 수준은 단순히 최단시간 경로만을 고려하기 때문에 군의 특수한 전장상황에서 최적의 경로를 선정하기에는 제한되는 면이 있다. 본 논문의 초점은 주어진 정보를 바탕으로 목적지까지 무조건 짧은 경로나 최단시간 경로만을 찾는 것이 아니라, 여러 가지 다양한 임무조건(METT+TC)에 부합하는 경로를 찾음과 동시에, 마감시간이라는 제약요소를 잘 활용하여 가능한 비용이 최소가 되는 경로를 선택하는 것이다. 최단시간만을 선택하는 알고리즘과 METT+TC 요소들 중 하나인 마감시간(Deadline, d_t) 내의 최소비용을 선택하는 알고리즘을 대상으로, 가능한 모든 경로에 대한 이동시 소요되는 시간(t)과 가용부대의 전투력(Troops ability, a) 요소의 변화에 따른 이동시 소요되는 총비용($c(t)$)의 비교를 통해 그 효용성을 검증하였다. 실험결과에 의하면 마감시간을 고려할 경우, 제안 알고리즘이 최대 62.5% 가량의 비용 절감 효과가 있음을 확인하였다.

Abstract

At the computer games, we can experience a variety of environments using a virtual object. It is similar to that be trained in War-game simulator of the defense. Actual soldiers and a computer-generated virtual group(Computer Generated Force: CGF) in 3-D virtual battlefield environment are training. However, path finding algorithm, one of the techniques of simulation models, to the current level only considers the shortest time path. So, this current level at the special situation of the army in the battlefield for selecting the optimal path is limited. The focus of this paper is to select the least-cost path using the deadline with several different mission conditions(METT+TC). For the only shortest time path algorithm and the least-cost path algorithm using dealine, (d_t , one of METT+TC elements), Its usefulness is verifying the change of the move spent time(t) for all possible paths and the fighting power of the combat troops(Troops ability, a) through a comparison of the total cost of moves($c(t)$). According to the results, when considering the deadline, the proposed algorithm saves about 62.5% of the maximum cost.

Keywords: 실시간, 가상군, 경로탐색 알고리즘, METT+TC, 마감시간

* 정회원, 육군사관학교 전자정보학과
(Department of Electronic and Information, Korea Military Academy)

** 학생회원, *** 정회원-교신저자, 아주대학교
(Ajou University)

※ 이 논문은 리얼타임비주얼주의 지원을 받아 수행된 연구(과제명: 자율지능형 가상군(CGF)을 위한 지식 기반 행위추론 기술개발)입니다. 또한 국방과학연구소 및 방위사업청의 지원에 감사의 뜻을 표합니다.

접수일자: 2010년12월3일, 수정완료일: 2011년1월7일

I. 서 론

정보통신 기술의 현저한 발전은 가상 현실(Virtual Reality)만의 영역을 뛰어넘어 가상세계와 현실세계간의 상호연동 및 투영 기술인 VnR(Virtual and Real worlds)^[1]로 진화하고 있다. 최근 개봉된 3D영화 “아바타”의 대 흥행은 이러한 기술의 진보와 관심의 반영이

라 할 수 있다. 이러한 최신의 기술의 활용은 우리 생활을 보다 활기차고 효율적이며 실용적으로 바꾸어 나가고 있다. 컴퓨터 게임에서 가상객체를 이용해 다양한 환경을 체험하는 것과 유사하게 국방 분야에서 War-game simulator를 활용하여 실제 군인과 컴퓨터가 생성한 가상군(Computer Generated Force: CGF)^[1]이 전장상황을 모사, 조성한 3차원의 가상환경에서 교육훈련을 실시함으로써 실전감과 전투능력 배양은 물론 인적·물적 비용 절감 등 가상화 기술 활용의 장점은 무궁무진하다. 이러한 가상화 기술의 핵심은 현실세계의 셀 수 없이 많은, 다양한 영향 요소들을 식별하여 가상세계의 객체의 상황처리 및 행동 등에 반영하는 것이다. 컴퓨터가 생성한 가상군은 지시에 의한 행동과 이를 위한 원활한 정보교환이 가능해야 하며, 특히 가상군인은 실제군인과 유사한 정도의 상황인식과 처리, 행동이 가능해야 한다. 또한, 가상군 기술에 사용되는 가상환경은 실제 전장상황을 최대한 반영하여 묘사되어야 한다. 하지만 시뮬레이션 모델 구현 기술 중 하나인 길 찾기 알고리즘의 현 수준은 단순히 최단시간 경로만을 고려하기 때문에 군의 특수한 전장상황에서 최적의 경로를 선정하기에는 제한되는 면이 있다. 가상군을 구성하는 각 객체들은 다양한 전장 환경(장애물, 적과의 조우, 포탄 낙하 등)에서 지휘 결심의 바탕이 되는 정보인 METT+TC요소(Mission, Enemy, Terrain and Weather, Troops and Time available, Civil affairs)를 고려해야 한다. 이 때, 실시간으로 변화하는 전장상황과 시간적 제약요소를 전반적으로 반영한 실시간성을 만족시키면서 최적의 경로를 선정할 때, 보다 실제와 유사한 시뮬레이션 훈련 결과를 얻을 수 있을 것이다.

자율지능 방법론 중 길 찾기 알고리즘(Path finding)은 출발지에서 목적지까지 최초의 지리적 환경 정보를 바탕으로 탐색한 경로를 이동하다가, 갑작스런 지리/지형 및 기상, 기타 변화요인으로 최초의 이동경로가 차단되었을 때, 스스로 경로를 재 탐색하여 목적지까지 빠른 시간 안에 최소의 비용으로 도달하게 하는 기술이다. 여기서 본 논문의 초점은 주어진 정보를 바탕으로 목적지까지 무조건 짧은 경로나 최단시간 경로만을 찾는 것이 아니라, 여러 가지 다양한 임무조건에 부합하는 경로를 찾음과 동시에, 마감시간이라는 제약요소를 반영하여 가능한 한 최소 비용이 소요되는 경로를 선택하는 것이다. 길 찾기 알고리즘 가운데 가장 많이 활용되는 A* 알고리즘처럼 다양한 영향요소에 따른 경로구

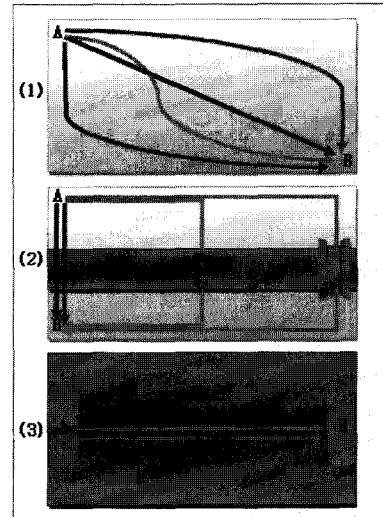


그림 1. 제안 알고리즘의 예
Fig. 1. Examples of Proposed Algorithm.

간 간 비용을 산출하고 가중치를 알고리즘에 적용/수용함으로써 이를 구현할 수 있다.

예를 들어, 그림 1의 (1)에서 최단거리는 검정색 경로지만 덩불이나 바위 같은 장애물과 그 속에 은폐·엄폐하고 있을 수 있는 적의 위협을 회피하여 장애나 위협으로 인한 비용을 최소화하는 빨간색, 주황색, 파란색 등의 다양한 경로가 적절하며 이것은 비용과 시간이 비례한 경우이다. 반면에, (2)의 경우 최단 경로는 검정색 경로지만 강이나 하천 도하 시 발생 가능한 장애(장비 및 물자의 손상·손실) 비용 증가로 빨간색, 주황색, 파란색 순으로 비용이 줄어드는, 비용과 시간이 반비례하는 경우이다. (3)의 경우는 항공기나 배와 같은 이동수단을 활용하여 많은 비용이 소요되지만 단시간에 이동 가능한 경로로 비용 대비 시간의 가치가 현저히 작으므로 비용 산출 시 시간이 무시될 수 있는 경우이다. 이외에도 많은 경우의 수가 있겠지만 본 논문에서는 위의 경우를 대상으로 최적 경로 산출간 마감시간을 적용하여 비교/분석하였다.

II장에서 이러한 경로를 찾는 알고리즘들의 종류 및 특성과 군의 특수성을 반영을 위한 주요 정보이자 영향요소인 METT+TC요소에 대해 간략히 알아보고, III장에서 군사교육용 War-game Simulation model에 기존 알고리즘 적용 시 한계점과 이를 보완하는 알고리즘을 제안하고, 성능 평가 및 분석을 위해 간단한 시뮬레이션과 수학적 분석을 실시하여 제안하는 알고리즘의 타당성과 우수성을 확인한다. IV장의 결론에서는 제안 알고리즘에 대한 요약 및 향후 연구방향을 살펴본다.

II. 본 론

1. 관련 연구

가. 경로 탐색 알고리즘

Breadth-first, Depth-First, Dijkstra's, Best-First, A*, D*, Focused D*, LPA*, D* Lite, Field D* 알고리즘 등 다양한 알고리즘이 상황과 성능 특성을 달리하며 개발, 연구 발전되고 있다. Breadth-first와 Depth-First 알고리즘은 출발지에서 목적지까지 갈 수 있는 모든 경로를 tree로 표현하고 Breadth First는 tree의 너비를 먼저 탐색하고 Depth First는 tree의 깊이를 먼저 탐색하는 방법으로 이론적, 시스템 논리적이지만 속도나 성능 면에서 효율적인 알고리즘은 아니다^[2~3]. 이에 반하여 Best First 알고리즘은 특정 규칙에 따라 목적지 도달 가능성이 높은 노드를 선택해서 탐색하는 방법으로 Dijkstra, A* 알고리즘이 이에 해당한다.

그림 2는 경로 탐색 알고리즘 중 활용빈도가 높은 알고리즘 및 최근 연구 발표된 알고리즘을 연도순으로 도식한 것이다.

Dijkstra's 알고리즘은 E. Dijkstra라는 네덜란드의 과학자가 고안한 알고리즘으로, 어떤 간선도 음수 값을 갖지 않는 방향 그래프에서 주어진 출발점과 도착점 사이의 최단 경로 문제를 푸는 알고리즘이며, 경로 비용은 경로 사이의 모든 간선들의 가중치의 합으로 한다^[4]. 한 정점에서 다른 모든 정점으로의 최단경로를 구하고 경험적 정보를 이용하지 않아 탐색 속도가 비교적 느리

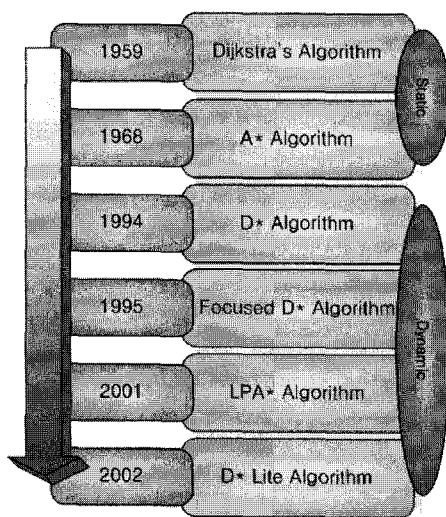


그림 2. 연도별 경로 탐색 알고리즘
Fig. 2. Path Finding Algorithms.

며, 주로 OSPF, IS-IS 등 인터넷 라우팅 프로토콜에서 사용된다.

A* 알고리즘은 출발지에서 목적지까지의 비용을 계산하여 비용이 최소가 되는 지점을 찾는다. 즉 출발지에서 중간 노드까지의 이동비용 $g(n)$ 이 최소이면서 중간 노드에서 목적지까지 추정된 비용 $h(n)$ 도 최소가 되는 경로를 찾는다^[5]. 이것은 직관적으로 추정된 예상비용(Heuristic cost 혹은 Estimated cost)을 이용하여 탐색범위를 효율적으로 제한함으로써 최적의 해를 구하는 방식이다. 이 방법은 지형정보의 특성에 맞게 다양한 예상비용 가중치를 적용시킬 수 있고 이 예상비용을 어떻게 산정하는가에 따라 길 찾기의 효율성 및 방식이 달라질 수 있어 길 찾기 알고리즘에 다양하게 응용되고 있다. A* 알고리즘의 단점은 탐색할 지형정보의 크기가 방대해질수록 관리를 요하는 리스트 목록이 늘어나 시스템 메모리 고갈 및 CPU 처리시간 과다 요인이 될 수 있다는 것이다.

다음으로 Dynamic A*로도 알려져 있는 D* 알고리즘은 최초 또는 실시간 식별된 장애물을 회피함과 동시에 비용과 관계된 백 포인터를 따라 인접 지점으로 이동을 반복하여 목표지점까지 경로를 찾아주게 되며, 지형정보의 변화에 능동적으로 대응하여 최적의 경로를 탐색하는 알고리즘이다. 객체의 이동 시작점과 목표점이 선정되면 D* 알고리즘의 내부 함수를 통해 셀 별 백 포인터를 형성한 후 초기경로를 생성하여 객체가 백 포인터를 따라 이동한다. 실시간 감지된 장애물은 해당 셀 주변의 백 포인터만을 변경하여 최종 목적지에 도달하게 된다. A* 알고리즘과의 특징적 차이는 최초 지형정보와 경로탐색 과정에서 주어지는 추후 지형정보가 동일한지를 평가하는 기능이며, A* 알고리즘이 정적으로 초기의 완전한 지형정보를 바탕으로 전방향 탐색(forward search)으로 최적의 경로를 산출하는 반면, D* 알고리즘은 불완전한 사전정보를 통해 후방향 탐색(backward search)으로 목적지가 변하거나 지형정보가 변화할 때 비교적 신속하게 적용이 가능하다는 점이다^[6~7].

Focused D* 알고리즘은 D* 알고리즘의 모든 노드 탐색의 단점을 보완하고자 A* 알고리즘의 예상비용(Heuristic) 가중치를 적용하여 보다 적은 탐색범위를 통해 효율성을 높여 D* 알고리즘의 시공간 복잡도의 제한을 극복하였다^[8].

D* Lite 알고리즘은 D* 알고리즘과 이름의 유사성은

있지만 이와 별개로 LPA* 알고리즘과 Dynamic SWSF-FP를 이용하여 2002년 Koenig, S. 에 의해 개발되었으며 Focused D* 알고리즘과 유사한 성능을 보이지만 알고리즘의 이해와 구현이 용이해져 이전의 알고리즘보다 많은 분야에 활용되고 있다⁹⁻¹¹⁾.

NCW은 1997년 미국에서 처음으로 개념이 정립되었으며, 각각의 무기체계가 독립적으로 운용되는 기존의 플랫폼 중심전 체계에 비해 네트워크를 통해 모든 전투력을 통합하여 전투력 상승의 시너지 효과를 얻고자 하는 미래 지향적인 전쟁수행 방식이자 정보화 시대에 부응한 군사이론이다. 이 개념은 1998년 美 해군의 세브로스키 제독(Vice Admiral Arthur Cebrowski)과 가스트카(John Garstka)가 공동 작성한 논문을 통해 본격적으로 소개되었고, 미국의 경우 군사력 변환의 핵심으로 추진되고 있으며, 점차 범세계적으로 확산되고 있다^{11, 3)}.

나. METT+TC

군사작전에서 부대운용개념은 전장정보분석과 부대 지휘절차에 따라 발전하며 정보분석의 내용은 기본적으로 METT+TC요소, 즉 임무(M), 적 상황(E), 가용시간(T), 가용부대(T), 그리고 지형 및 기상(T)과 민간요소(C)를 포함한다⁸⁾. 표 1은 METT+TC요소의 각 사항과 그 내용을 나열하였다. 이러한 전장정보분석의 기본 내용으로 활용되는 METT+TC 요소는 각종 군사적 부대 지휘절차 상 정보판단절차로 이용되고, 군사적 운용개념 적합성 여부 평가 시 적용될 수 있는 규격(specification)에 직접적인 영향을 미친다. 따라서, 가상군(CGF) 같은 상황에서는 전장 상황이 동적으로 변하기 때문에 단순히 최단 시간 길 찾기 알고리즘만을 적용해서는 안 되며, 군사적 훈련용 시뮬레이션을 위해

표 1. METT+TC 요소 및 내용
Table 1. METT+TC elements.

구분	내용
Mission	임무(단독, 합동)
Enemy	적 상황(위치, 기동, 능력 등)
Terrain & Weather	지형 및 기상(지형변화 등)
Troops & Support	가용부대(위치, 능력 등)
Time	가용시간(이동 및 도착시간)
Civil affairs	민간요소(보호/제한구역 등)

일반적인 시뮬레이션과 달리 이러한 요소가 반드시 반영되어야 한다.

2. 제안하는 알고리즘

그림 2에 나타난 Dijkstra's, Best-First, A*, D*, Focused D*, LPA*, D* Lite, Field D* 알고리즘 등 대부분의 알고리즘은 단순히 최단거리나 최소비용 경로만을 산출하여 출발지에서 목적지까지의 경로를 도출한다. 하지만 산출된 최단거리는 이동을 위해 소요되는 시간과 비용의 측면에서 볼 때, 항상 최적의 경로라 할 수 없다. 왜냐하면, 현재의 METT+TC요소 즉, 가상군 객체의 임무의 특성(정찰, 진지점령, 특작부대 소탕 등)과 적 상황, 지형 및 기상과 가용부대의 기동 및 전투능력, 임무완수 마감시간(Deadline), 민간요소 등 기타 영향요소들이 가중치함수에 반영되어 있지 않기 때문이며, 가상군 객체에 이를 반영한 길 찾기 알고리즘 수행이 상용화된 일반 차량용 내비게이션의 실시간 정체구간 반영과 유사하게, 보다 실제적이고 정확한 시뮬레이션 환경을 제공할 것이다. 또한, 관련연구를 통해 확인된 알고리즘 중 어떠한 알고리즘도 METT+TC요소를 가중치 요소로 반영하거나 마감시간 고려의 필요성이 언급된 알고리즘은 식별되지 않았다.

표 2와 같은 시뮬레이션 환경에서 Dijkstra와 A* 알고리즘을 이용하여 이동 시 소요되는 시간 측면과 장애물이나 위험에 따른 비용 측면에서 예상비용(Heuristic Cost)을 달리 적용하여 경로를 산출할 경우의 경로를 시뮬레이션한 결과, 그림 4에서부터 그림 7의 결과를 나타냈다. 각 그림 안에 셀의 농도 차이는 이 셀을 경유하는 경로에 추가되는 가중치(시간 측면 가중치_T와 비용 측면 가중치_C)를 의미하며 적용 값은 그림 3과 같다. 동일한 지형 상에서 시간 측면에서는 계곡이나 강, 하천을 이동하는 것이 산악지형을 이동하는 것보다 소요시간이 짧은 것을 판단하여 가중치에 차이를 두지만, 비용 측면에서는 장비나 물자의 손상이나 손실 비용을 고려하여 소요비용이 큰 것으로 판단한다. 이러한 소요시간이나 소요비용을 가중치로 산출하여 예상비용

표 2. 시뮬레이션 환경
Table 2. Simulation Environments.

시스템사양	AMD Athlon II X4 610 2.6GHz
운영체제	Windows 7 Ultimate
시뮬레이션 도구	PathDemo by B. Stout[12]

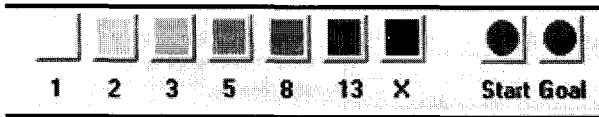


그림 3. 시뮬레이션 맵 상의 농도에 따른 가중치 범례
 Fig. 3. Weighted value according to the concentration of simulated map.

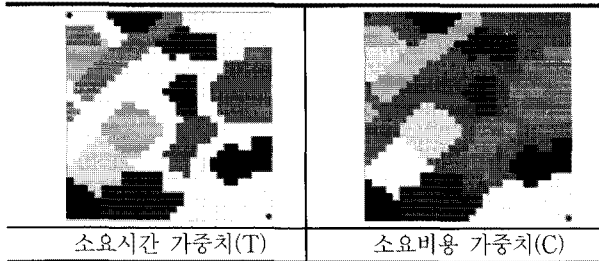


그림 4. 소요시간과 소요비용에 따른 가중치가 반영된 지형
 Fig. 4. The topography reflects weighted values according to time and costs.

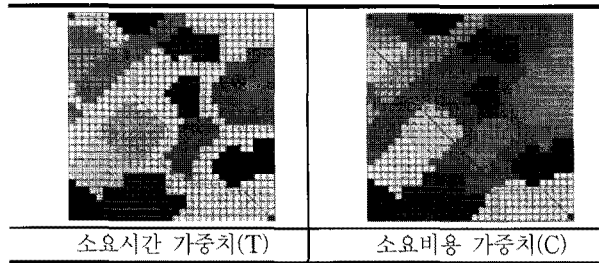


그림 5. T와 C에 따른 이동경로 (Dijkstra's 알고리즘 이용)
 Fig. 5. The motion path according to T and C. (Dijkstra's algorithm used)

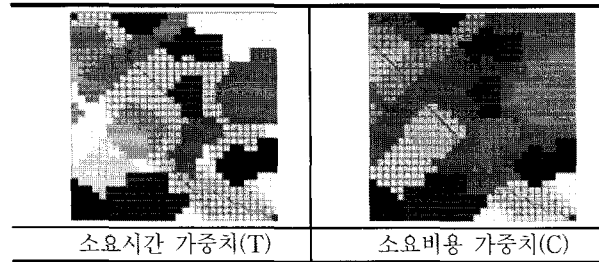


그림 6. T와 C에 따른 이동경로 (A* 알고리즘 이용, H(n)=1)
 Fig. 6. The motion path according to T and C. (A* algorithm used, H(n)=1)

을 판단 후 최적 경로를 도출하게 되는 것이다. 이를 통해, 기존 알고리즘의 가중치 요소로 특정 거리 이동시 소요되는 시간만을 고려했을 때와 이동시 소요되는 비용(혹은 기타 METT+TC 요소)을 고려했을 때 산출되는 경로가 차이가 나타남을 알 수 있다. 이처럼 경로 이동시 영향을 줄 수 있는 요소들을 최대한 가중치 요소로 반영하면서 마감시간(Deadline) 내 목적지에 도달 가

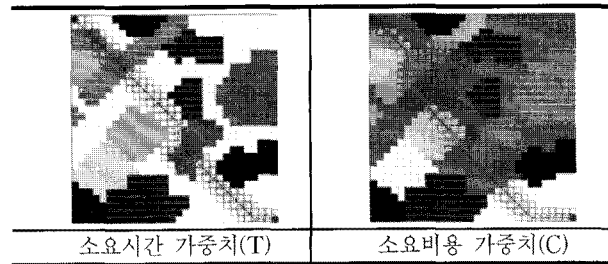


그림 7. T와 C에 따른 이동경로 (A* 알고리즘 이용, H(n)=5)
 Fig. 7. The motion path according to T and C. (A* algorithm used, H(n)=5)

능한 경로를 찾고자 한다.

마감시간을 기준으로 설정한 이유는 METT+TC요소 중 가장 중요한 요소로 다른 요소들의 제약에도 불구하고 반드시 달성되어야 하는 요소가 임무완수 시간, 즉 마감시간이기 때문이다. 여기서, 마감시간의 의미는 목적지에 마감시간 안에 도착하여야 한다는 것으로 출발지에서 목적지까지의 다양한 경로 중에서 이동시 소요되는 비용을 최소화하면서 마감시간 안에 목적지에 도달할 수 있는 경로를 선택할 수 있다는 것이다. 이것이 일반적인 길 찾기 알고리즘과의 차이점이다. 일반적인 길 찾기 알고리즘은 최단시간에 목표지점에 도달함을 목적으로 하기 때문이다. 따라서, 최단시간이 아닌 마감시간 안에 소요비용을 최소화하는 경로가 최적의 경로가 되는 것이다.

3. 성능평가 및 분석

문제 해결의 열쇠는 알고리즘에서 사용될 METT+TC 요소들에 대한 정보를 지수화하여 이들의 영향을 평가하는 것이다. 이를 위해, 우선 객관적으로 지수화가 가능한 요소들(Time, Troops 등)을 바탕으로 시간에 따른 다양한 비용함수를 가정하고 실험을 통해 증명한다.

평가 및 분석 대상들은 기존의 Dijkstra's, A* 등 일반적인 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘으로써, 즉 최단시간만을 선택하는 알고리즘과 METT+TC 요소들 중 하나인 마감시간(Deadline, d_t) 내의 최소비용을 선택하는 알고리즘을 그 대상으로 한다. 이들에 대해, 가능한 모든 경로에 대한 이동시 소요되는 시간(t)과 이동시 소요되는 가용부대의 전투력(Troops ability, a) 요소의 변화에 따른 이동시 소요되는 총비용(c(t))의 비교를 통해 증명한다.

전제조건으로 가능한 모든 경로에 대한 이동시 소요되는 시간(t) 중 METT+TC 요소들 중 하나인 마감시간(d_t)을 초과하지 않는 경로에 대한 총 소요비용을 대상으로 최소비용경로를 선택한다. 가용부대(Troops)의 좁은 의미의 전투력(a)은 최초 출발지에서의 전투력 수준과 목적지에서의 전투력 수준의 차로 정의할 수 있으며, 최초 전투력 발생 시점에서 소요되는 비용을 전투력(a)로 표시하였다.

더불어 다음의 세 가지 간단한 함수 관계 비교를 통해 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능을 비교 및 판단한다.

우선, 이동소요시간(t)과 전투력(a)을 대상으로 총소요비용(c(t))을 산출할 때, 전투력(a)는 최초 출발지에서 항상 발생하므로 가), 나)의 경우와 같이 설정할 수 있으며, 이동소요시간(t)은 이동 경로의 지형, 기상, 기타 요소 등에 의해 소요비용과 비례하는 경우, 혹은 반비례하는 경우 모두 나타날 수 있기 때문에 가), 나)의 경우와 같이 설정하였다. 그 예로서, 이동소요시간(t)과 소요비용(c(t))이 비례하는 경우는 우천시 산악지형을 이동할 때, 이동속도 저하 및 우천으로 인한 전투장비 손상가능성(장비 유지보수 비용 추가가능)을 포함하여 전투력과 시간과 관련한 소요비용의 증가가 예상(즉, 가) 함수)된다.

또한, 이동소요시간(t)과 소요비용(c(t))이 반비례하는 경우는 차량이나 기타 이동수단을 이용가능하고 이러한 수단의 이동이 가능한 경로가 있을 때인데, 최초의 이동수단 비용은 소요되지만 이를 이용한 전투력과 시간과 관련한 소요비용의 절감(즉, 나) 함수)은 그 이상이 되기 때문이다.

마지막으로 다)의 경우는 이동시 소요되는 비용(c(t))이 이동소요시간(t)에 무관한 특수하고 예외적인 경우를 대비한 것으로 전투력(a)과 기타 METT+TC요소를 간략하게 표현한 것이다.

모든 경로 소요시간 중 $d_t \geq t$
 가) $c(t) = at$
 나) $c(t) = a/t$
 다) $c(t) = a$

기존 Dijkstra's, A* 등의 알고리즘을 통한 총소요비용(c(t))은 전제조건을 만족할 때, 이동소요시간(t)가 최

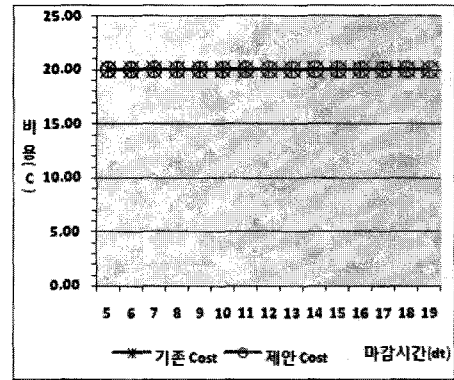


그림 8. 마감시간(d_t) 변화에 따른 가)함수 총소요비용 $c(t)=at$

Fig. 8. Total cost $c(t)=at$ of 가) function according to changes of Deadline(d_t).

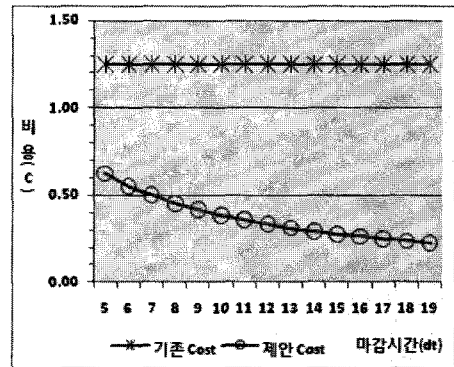


그림 9. 마감시간(d_t) 변화에 따른 나)함수 총소요비용 $c(t)=a/t$

Fig. 9. Total cost $c(t)=a/t$ of 나) function according to changes of Deadline(d_t).

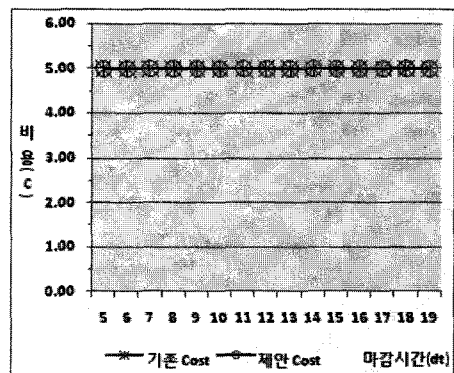


그림 10. 마감시간(d_t) 변화에 따른 다)함수 총소요비용 $c(t)=a$

Fig. 10. Total cost $c(t)=a$ of 다) function according to changes of Deadline(d_t).

소인 값을 주어진 함수에 적용하여 총소요비용(c(t))을 산출하게 되고, 제안하는 알고리즘을 통한 총소요비용(c(t))은 전제조건을 만족함과 동시에 총소요비용(c(t))

을 가장 최소로 하는 이동소요시간(t)일 때의 총소요비용(c(t))값을 산출하게 된다. 따라서 비교하는 두 알고리즘 중 위의 세 가지 함수 관계를 만족하면서, 가장 효과적으로 최소한의 총소요비용(c(t))을 산출하는 알고리즘의 성능이 가상군과 같은 특수한 환경에서 더 우수한 알고리즘으로 판단할 수 있다.

그림 8부터 그림 10까지는 주어진 세 가지 함수에 대해 가용부대의 전투력(a=5)가 일정하게 주어질 때, 마감시간(d_t)의 변화에 따른 총소요비용(c(t))을 산출한 그래프이다. 그림 8과 그림 10에서는 제약 요소인 마감시간(d_t)의 영향 없이 두 알고리즘 모두 동일한 비용을 나타냈다. 그러나 그림 9에서는 기존 알고리즘의 경우 항상 최소의 이동소요시간(t)만을 선택하기 때문에 총소요비용(c(t))에 영향성은 없는 데 반해, 제약 요소인 마감시간(d_t)이 늘어나면서 다양한 이동소요시간(t)에 따른 경로 도출이 가능해지면서 최소의 총소요비용(c(t)) 경로가 되는 이동소요시간(t)을 얻게 된다. 그림 9의 마감시간(d_t)이 7시간일 때를 예로 들면, 기존 알고리즘의 경우, 최단시간에 목적지에 도달할 수 있는 경로가 최초 가용전투력5를 초과하지 않는 범위 내에서 다양한 경로 중 최단시간 경로인 산악경로를 이용하여 4시간의 이동소요시간을 필요로 하는 경로라면, 총소요비용(c(t))은 1.25가 된다. 이때, 마감시간(d_t)이 증가하여도 기존 알고리즘은 최단시간 경로만을 고집하게 되어 마감시간(d_t)과 무관한 그래프 형태를 보인다. 하지만 제안 알고리즘을 이용할 경우 마감시간(d_t)이 증가할수록 최소 이동소요시간 대비 여유시간이 늘어나게 되면서 이러한 여유시간을 이용하여 가용전투력(a) 등을 보존 혹은 절감하면서 목적지에 도달할 수 있는, 실제 이동소요시간은 6시간인 우회경로를 선택하게 되어 그림 9의 마감시간(d_t) 7시간일 때, 총소요비용(c(t))은 0.5가 된다. 결론적으로, 마감시간을 고려할 경우 제안 알고리즘이 최대 62.5% 가량(마감시간 20h일 때, 기존 1.25, 제안 0.2)의 비용 절감 효과를 나타냈다.

그림 11에서 그림 13은 주어진 세 가지 함수에 대해 마감시간(d_t)이 일정하게 주어질 때, 가용부대의 전투력(a)의 변화에 따른 총소요비용(c(t))을 산출한 그래프이다. 편의를 위해 일정량의 마감시간(d_t) 변화를 함께 도시하였다.

세 그림 모두 전투력(a)의 변화에 따라 기존의 알고리즘은 초기 전투력 설정에 따른 비용과 이동소요시간

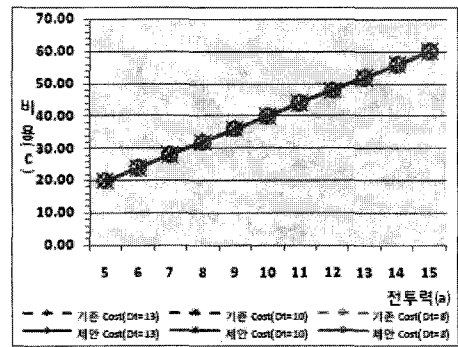


그림 11. 전투력(a) 변화에 따른 가)함수 총소요비용(c(t)=at)

Fig. 11. Total cost(c(t)=at) of 가) function according to changes of Troops ability(a).

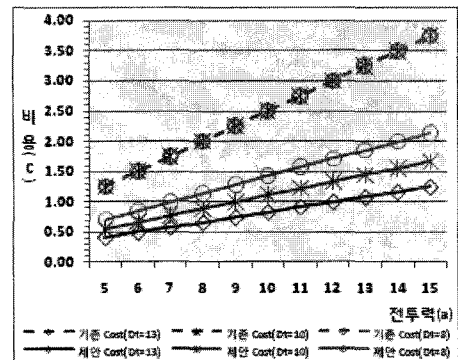


그림 12. 전투력(a) 변화에 따른 나)함수 총소요비용(c(t)=a/t)

Fig. 12. Total cost(c(t)=a/t) of 나) function according to changes of Troops ability(a).

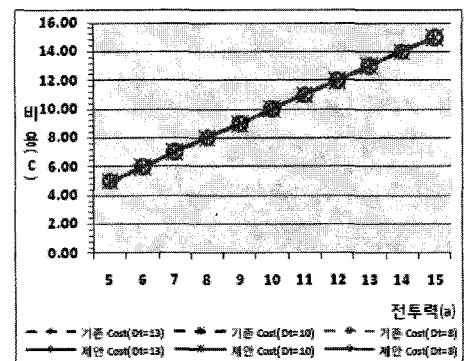


그림 13. 전투력(a) 변화에 따른 다)함수 총소요비용(c(t)=a)

Fig. 13. Total cost(c(t)=a) of 다) function according to changes of Troops ability(a).

중 항상 최단시간인 경로만을 고려하므로 총소요비용(c(t))에 비례하여 증가하는 그림을 도시하였으나, 제안 알고리즘은 전투력(a)의 영향에 따른 총소요비용(c(t)) 중 최소의 총소요비용(c(t))이 되는 이동소요시간(t)의 경로를 선택하므로 그림 11과 그림 13의 전투력(a) 변

화에 비례한 그림과 그림 12와 같이 전투력(a) 변화에 비례하지만 기존 알고리즘보다 훨씬 작은 총소요비용(c(t))을 나타내는 그림을 얻게 된다. 특히, 마감시간(d_i)이 커질수록 그 차이가 더 크게 나타났다.

따라서, 그림 11에서 그림 13 모두에서 기존의 알고리즘보다 동일 혹은 적은 총소요비용(c(t))이 나타나 가상군과 같은 특수한 환경에서 제안 알고리즘의 타당성과 우수함을 확인하였다.

III. 결 론

3차원의 가상환경에서 가상군(CGF, Computer Generated Forces) 객체들은 자율 지능적으로 실시간으로 급변하는 전장상황에 따라서 스스로 목적지를 찾아가야 한다. 군의 특수성을 반영한 길 찾기 알고리즘(Path finding)을 사용하여 최단시간 경로가 아닌 마감시간(d_i) 내에 최소의 비용(c(t))으로 최적의 경로를 탐색하는 알고리즘을 필요로 한다. 문제 해결의 열쇠는 알고리즘에서 사용될 영향요소, 즉 METT+TC 요소들에 대한 정보를 지수화하여 이들의 영향을 평가하는 것이라 하겠다. METT+TC 요소 중에서 대표적인 파라미터들(Time, Troops 등)에 대한 상관관계를 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 총소요비용(c(t))을 비교하여 가상군과 같은 특수한 환경에서 제안 알고리즘의 타당성과 우수성을 증명하였다.

향후 가상군(Computer Generated Forces) 환경의 영향요소들(인접 지형과 적 병력 배치, 위장과 같이 미처 발견하지 못한 경우의 위협도 등)을 추가적으로 식별하여 임무와 상황에 따른 최적의 길 찾기 알고리즘 적용 방안 연구와 시뮬레이션을 지속할 것이다. 끝으로 본 논문을 위시로 많은 연구를 통해 VnR과 같은 최신의 가상 현실 기술이 군사 훈련 분야에도 효과적으로 접목되어, 국가 예산의 인적 물적 비용 절감에 일조할 수 있도록 지속적인 관심과 발전을 위해 노력하여야겠다.

참 고 문 헌

- [1] TTA. "ICT Standardization Roadmap 2010", Virtual and Real Worlds(VnR) pp. 60~72. 2010.
- [2] Nilsson, N. "Principles of Artificial Intelligence", Morgan Kaufman Publishers Inc., Los Altos. pp.

- 53~130. 1980.
- [3] Dijkstra, E. W. "A note on two problems in connection with graphs". Numerische Mathematik pp. 269~271. 1959.
- [4] Hart, P. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths", IEEE Transactions on SSC, Vol. 4. pp. 100~107. 1968.
- [5] Stentz, A. "Optimal and efficient path planning for partially known environments". In Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, pp. 3310~3317. 1994.
- [6] Baek J.S. and Lee C.J. "A Study on the Autonomous Navigation Algorithm of the Unmanned Ground Combat Vehicle in Partially Unknown Environment", *Defense Science & Technology* Vol. 1~2, pp. 58~67. 2008.
- [7] Stentz, A. "The Focused D* Algorithm for Real-Time Planning", Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 1652~1659. 1995.
- [8] Koenig, S. and Likhachev, M. "Lifelong Planning A*", Technical Report GIT-COGSCI-2002/2, Georgia Institute of Technology. pp. 93~146. 2001.
- [9] Koenig, S. and Likhachev, M. "D* Lite", Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, pp. 476~483. 2002.
- [10] Mackay, D., "Path Planning with D* Lite", Technical Memorandum, Defense R&D Canada Suffield TM 2005-242. pp. 9~18. 2005.
- [11] B. Stout, "Smart Moves: Intelligent Path finding". *Game Developer Magazine*, July, pp. 28~35. 1997.

저 자 소 개



한 창 희(정회원)
 1990년 육군사관학교 물리학과
 학사
 1994년 Syracuse University
 전산학과 석사
 2004년 USC 전산학과 박사
 1998년~2005년 육군사관학교
 전산학과 조교수
 2005년~현재 육군사관학교 전자정보학과
 전산학 부교수
 <주관심분야 : AI, Virtual Human Modeling>



박 상 희(학생회원)
 2000년 한국해양대 조선해양
 공학과 학사
 2009년~현재 아주대학교 NCW
 학과 석박통합과정
 <주관심분야 : NCW, 분산시스템,
 실시간시스템>



민 영 혜(학생회원)
 2005년 조선대학교 컴퓨터공학과
 학사
 2009년~현재 아주대학교
 석사과정
 <주관심분야 : 분산시스템, 실시
 간시스템, 데이터관리(중복제거),
 NCW>



김 재 훈(정회원)
 1984년 서울대학교 제어계측공학
 학사
 1993년 Indiana University 컴퓨
 터과학 석사
 1997년 Texas A&M University
 컴퓨터과학 박사
 1997년~1998년 삼성전자(주)
 컴퓨터시스템 개발팀 수석연구원
 1998년~현재 아주대 정보통신전문대학원 정교수
 <주관심분야 : 이동컴퓨팅, 분산시스템, 실시간시
 스템, NCW>