

자율무인잠수정 지능제어시스템의 상대적 격자좌표 모형을 이용한 경로설정

민중수* · 김창민** · 김용기***

Path planning in AUV Intelligent control system using relative grid unit coordinate model

Jong-Su Min* · Chang-Min Kim** · Yong-Gi Kim***

요 약

자율무인잠수정은 자율운항을 위해서 자동화된 제어시스템이 필요하다. 제어시스템은 기능적 측면에서 임무계획단계(mission planning level), 임무제어단계(mission control level), 선체제어단계(vehicle control level)로 구분한다. 자율무인잠수정의 효과적인 임무 수행을 위해서는 임무제어단계의 운행 경로 설정과 제어가 중요하다. 자율무인잠수정은 잠수정의 주변환경을 추상화한 후 탐색기법을 이용하여 경로를 설정한다. 이때 검색기법의 효율적 적용을 위해서는 효과적으로 추상화된 탐색모형이 필요하다. 대표적인 탐색모형으로는 3차원 격자절대좌표 모형(3-dimensional grid unit coordinate model)[1]을 들 수 있다. 그러나 이 모형은 불필요한 동작의 반복, 이동 격자에 따른 비일관성과 같은 취약점이 존재한다. 본 연구에서는 이 모형의 취약점을 개선하기 위해서 자율무인잠수정의 위치 기반 상대적 격자좌표 모형(relative grid unit coordinate model based on AUV state)을 제안한다.

keyword: 자율무인잠수정, 자율항해시스템, 지능제어시스템, 상대적 격자 모형, 휴리스틱탐색기법

1. 소개

해저의 광물자원이나 생물자원들을 보다 효율적으로 이용하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구를 위해 자율무인잠수정(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)을 이용한다. 자율무인잠수정이란 주어진 임무(Mission)를 분석하고 수행에 필요한 제어(control)나 의사결정(decision-making)을 스스로 판단하여 주어진 임무를 완수하는 무인잠수정을 말한다. 자율무인잠수정은 사람이 접근하기 어려운 심해에서 해저 자원, 해저 지형 및 지질을 탐사하며 최근에는 해저 정찰이나 위험물 제거와 같은 군사적 목적으로도 이용되고 있다.

자율무인잠수정은 유인잠수정과 달리 인간의 참여할 수 없는 환경에서 임무의 계획 및 수행

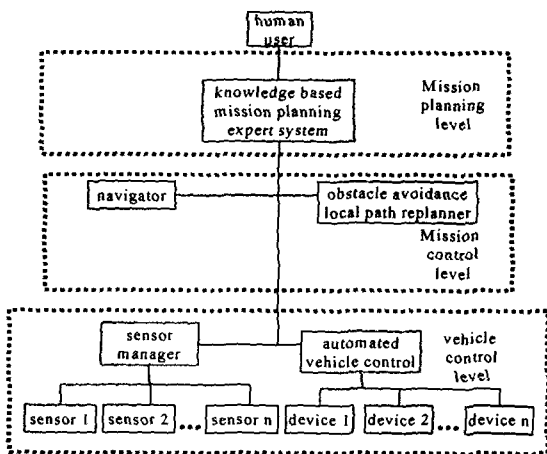
(mission planning and modification), 임무 제어(mission control)와 같이 인간의 지능이 요구되는 작업을 대신하는 지능 제어시스템이 필요하다.

자율무인잠수정의 효율적인 임무수행을 위해서는 제어시스템의 여러 제어 중에서 자율무인잠수정의 운행 경로 설정 제어가 중요하다. 대표적인 자율무인잠수정의 운행 경로 설정 방법은 전체경로-구간경로(route-path)를 이용하는 방법이다. 자율무인잠수정은 잠수정의 주변환경을 추상화한 후 탐색기법을 이용하여 경로를 설정한다[1]. 이때 검색기법의 효과적인 적용을 위해서는 효과적으로 추상화된 탐색 구조가 필요하다. 대표적인 탐색구조는 3차원 격자절대좌표 모형(3-dimensional grid unit coordinate model)[1]이다. 그러나 이 모형은 세밀한 움직임의 기여와 이동위치 결정의 비일관성과 같은 취약점을 가지고 있다. 본 연구에서는 3차원 격자절대좌표 모형의 취약점을 개선하기 위해서 세분화된 이동 방향과 이동위치 결정의 일관성을 보강한 자율무인잠수정의 현재위치에 기반한 상대적 격자좌표 모형을 제안한다.

* ** *** 경상대학교 컴퓨터과학과, 전산개발연구소

제2장에서는 자율운항을 위한 제어시스템을 살펴보고 제3장에서는 3차원 격자절대좌표 모형에 관하여 다룬다. 제4장에서는 본 연구에서 제안하는 상대적 격자좌표 모형에 관하여 살펴본다. 제5장에서는 예를 통해 두 모형을 비교 평가하며 마지막으로 제6장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해서 살펴본다.

2. 자율운항 제어시스템



<그림 1> 자율무인잠수정의 지능시스템 구조

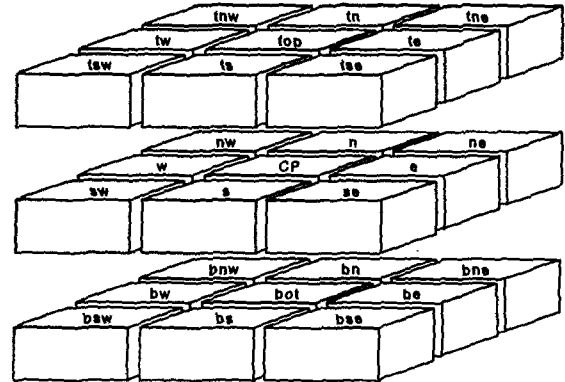
자율무인잠수정이 자율운항을 위해서는 그림 1과 같은 제어시스템이 필요하다[1]. 이 제어시스템은 기능적 측면에서 임무계획단계(mission planning level), 임무제어단계(mission control level), 선체제어단계(vehicle control level)로 구분한다. 각 단계들은 계층적 관계를 가지며 단계들 사이에는 관련된 데이터전송이 이루어진다. 임무계획단계에서는 인간으로부터 입력받은 임무를 지식내용을 바탕으로 임무계획 및 돌발적인 상황에 대처하기 위해 임무수정을 담당한다. 임무제어단계에서는 임무계획단계에서 계획된 임무를 수행한다. 이 단계에서는 각종 센서로부터 전달된 주변정보와 임무계획을 바탕으로 임무수행을 위한 다음 이동위치 결정이나 장애물을 만났을 때 대처하는 명령을 하부 단계로 전달한다. 선체제어단계에서는 임무제어단계에서 보내온 명령을 물리적인 장치를 통하여 수행하는 단계이며 각종 센서로부터 자율무인잠수정의 주변환경에 대한 정보를 수집하여 상위 단계로 전달해 준다.

3. 3차원 격자절대좌표

자율무인잠수정의 임무수행을 위해서는 임무제어단계에서 이루어지는 경로설정이 필요하다. 자율무인잠수정의 경로설정 방법은 최적경로탐색기법(Best-first search), A*, 휴리스틱 탐색기법(heuristic search)[1]과 같은 탐색기법이 적용된다.

이러한 탐색기법들의 효율적 적용을 위해서는 주변환경을 효과적으로 추상화된 탐색구조가 필요하다. [1]은 자율무인잠수정의 크기에 근사한 격자로 이루어진 3차원 격자절대좌표 모형을 탐색구조로 이용한다.

3차원 격자절대좌표 모형은 임무지역 전체를 격자로 구획하고 각각의 격자에 3차원 좌표를 할당한다. 자율무인 잠수정은 구획된 격자 위에 임무수행에 필요한 위치정보를 표시하고 격자사이를 이동한다.



<그림 2> 후보격자 모형

[1]은 그림 2와 같이 현재 잠수정이 위치하는 현재격자(Current Position Unit)를 기준으로 26개의 격자를 후보격자로 정하고 잠수정의 진행방향을 고려하여 연착격자집합(successor set)을 구성한다. 그리고, 휴리스틱 탐색기법을 적용하여 자율무인잠수정의 다음 이동위치를 위한 연착격자를 결정한다[1]. 휴리스틱 탐색기법은 경험적 지식을 이용하여 그래프를 탐색하는 기법으로써 평가함수(evaluation function)를 이용하여 문제를 해결한다. [1]에서 사용하는 경험적 지식은 장애물의 유무에 따라 일반적 경험(general heuristics)과 장애물 회피 경험(obstacle clearance heuristics)으로 구분한다. [1]의 평가함수는 연착격자집합 원소 중 가장 작은 비용을 가지는 격자를 선택하는 것으로서 구체적인 비용산출방법은 수식(1)(2)(3)으로 표현된다.

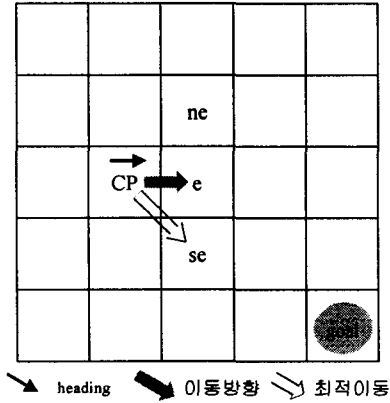
$$EF(CS_{n+1}) = LC(S_n, CS_{n+1}) + EC(CS_{n+1}) \quad (1)$$

$$LC(S_n, CS_{n+1}) = TC(P_n, CP_{n+1}) + RC(S_n, CS_{n+1}) \quad (2)$$

$$TC(A, B) = Horiz_Dist(A, B) + 1.2 * Depth_change(A, B) \quad (3)$$

수식(1)은 평가함수로서 현재격자에서 연착격자까지의 경비(LC, Local Cost Function)와 연착격자에서 목표점까지의 경비와 후보노드에서 목표점까지의 최소경비(EC, Estimate Cost Function)의 합으로 산출한다. 수식(2)는 현재격자에서 연착격자까지의 경비(LC)를 구하는 식으로서 이동경비(TC, Translation Cost)와 방향회전경비(RC, Rotation Cost)의 합으로 구한다. 마지막으로 수식(3)은 이동경비(TC)를 구하는 것으로서 이동경비는 수평이동 거리와 이것의 1.2배 경비가 더 소모되는 수직이동거리의 합으로 구한다.

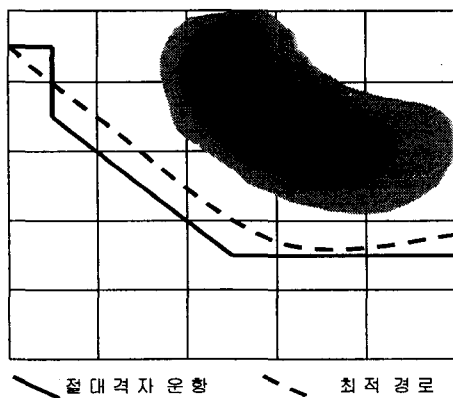
[1]은 평가함수를 사용하여 연작격자집합 중 최소 에너지 비용 격자를 선택한다. 그러나 3차원 격자절대좌표 모형에서 최소 에너지를 가진 격자가 최적격자가 되는 것은 아니다.



<그림 3> 이동 격자 선택

그림 3에서는 현재 자율무인잠수정의 위치 (CP)에서 목적지의 위치를 고려할 때 se 격자를 선택하는 것이 유리하다. 그러나 se 격자가 e 격자보다 긴 이동거리와 방향전환을 필요하기 때문에 e를 다음 이동격자로 선택한다. 따라서 현재 위치에서 대각방향에 있는 모든 격자들은 이동거리와 방향전환 비용을 고려하기 때문에 다음 이동격자 선택에서 소외된다.

3차원 격자절대좌표 모형에서 자율무인잠수정은 미리 구획된 격자 위를 이동한다. 자율무인잠수정의 격자이동은 전체적인 운행 경로 모양이 부드럽지 않으며 구획된 격자를 벗어났을 경우 다음 이동위치 결정이 어려워지고 격자에 표시된 각종 지리 정보를 이용 할 수 없다. 그림 4는 자율무인잠수정이 격자 위로 이동하는 모습을 보여준다. 직선으로 표시된 부분은 3차원 격자절대좌표 모형을 이용한 이동 경로이고 점선은 최적화 된 경로를 보여준다.



<그림 4> 3차원 격자절대좌표 운항 경로 모양

앞에서 언급한 3차원 격자절대좌표 모형의 단점을 보완하기 위해서는 자율무인잠수정의 방향 각

을 줄이고 이동거리를 일반화 해야한다. 잠수정의 방향전환비용은 회전 각도가 커짐에 따라 증가한다[1]. 표 1은 잠수정의 회전 각도에 따른 에너지 비용의 변화치 이다. 잠수정의 회전각도를 줄이기 위해서는 이동 방향을 세분화해야 한다. 이동 방향의 세분화는 이동 모양을 보다 유연하게 하고 대각격자의 방향전환 에너지 비용을 감소시킨다. 그리고 이동 거리의 일반화는 대각격자 이동에 필요한 에너지 비용을 감소시킨다.

단위 : Energy Unit

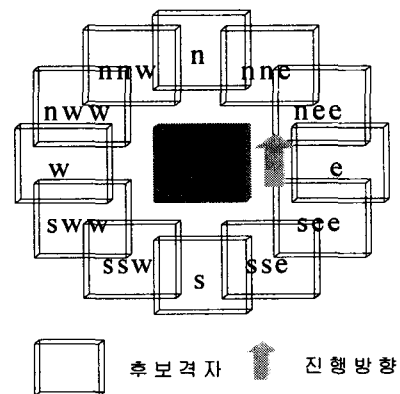
회전각도	0	30	45	60	90	120	135	150	180
회전비용	0	4.5	7	16	35	57	70	93	140

<표 1> 잠수정의 회전각도에 따른 회전비용

4. 상대적 격자좌표 모형

[1]의 격자모형은 모형 자체에 내재된 비일관성으로 인하여 시스템을 복잡하게 하고 모형의 확장을 어렵게 한다. 본 장에서는 [1]의 모형을 가지는 단점을 개선한 이동거리의 일관성을 가진 상대적 격자좌표 모형을 제안한다.

상대적 격자좌표 모형은 자율무인잠수정의 현재 위치를 기준으로 동일한 이동 거리를 가진 격자들을 구성하여 시스템 확장을 용이하게 한다. 3차원 상대적격자좌표 모형은 3차원 격자절대좌표 모형 같이 전 임무지역을 3차원 격자로 구획하는 것이 아니라 자율무인잠수정의 현재 위치를 기준으로 일정지역만을 격자로 구획한다. 그림 5는 상대적 격자좌표 모형을 현재 자율무인잠수정이 위치하고 있는 격자의 수평층을 나타낸다. 구획된 각각의 격자들은 자율무인잠수정의 현재격자(CP)를 중심으로 3차원 좌표값이 할당된다. 현재 격자와 후보격자 사이의 이동거리는 동일하고 이러한 격자구성 과정은 잠수정이 이동할 때마다 반복된다.



<그림 5> 세분화된 상대적 격자 모형

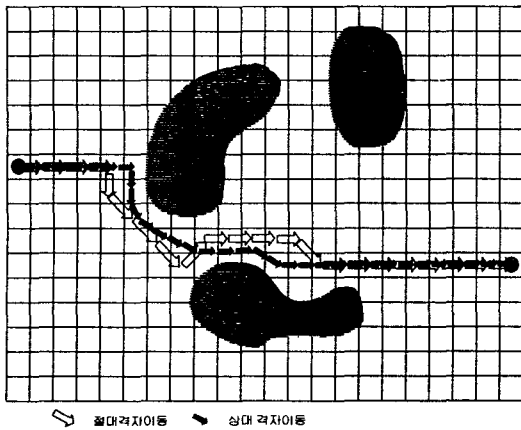
자율무인잠수정의 이동 후 상태는 자율무인잠수정의 이동 방향을 따른다. 예를 들어 자율무인잠수정의 현재 상태가 0°일 때 전방 30°도 격자

로 이동하였다면 이동한 격자에서의 잠수정의 상태는 30° 가 된다. 자율무인잠수정은 이동격자를 중심으로 새로운 상대적 격자좌표 모형을 구성한다.

5. 평가

본 장에서는 [1]에서 사용한 3차원 격자절대좌표 모형과 본 논문에서 제안한 상대적 격자좌표 모형을 [1]에서 제안한 휴리스틱 탐색기법에 적용하여 좌표상의 특정지점에서 목적지까지 이동하는 경로를 비교함으로써 두 모형의 효율성을 평가한다.

우선 두 모형의 비교 평가를 위해서는 공통적인 기준이 필요하다. 본 평가에서 이동격자를 선택하기 위한 평가 기준인 에너지의 기본단위를 $1''$ 이동에 1 energy unit으로 한다. 격자 크기는 잠수정의 크기에 기초하여 X축 $70''$, Y축 $70''$, Z축 $10''$ 로 정한다. 그리고 잠수정 이동에 따른 에너지량은 수식 (2)를 이용한다. 상대 격자좌표 모형에서의 격자 사이의 거리는 $70''$ 로 동일하다. 그림 6은 각각 3차원 격자절대좌표 모형과 상대적 격자좌표 모형을 적용한 모의 운항 결과이다.



<그림 6> 격자모형 적용 예

그림 6에서 알 수 있듯이 전체적인 운항모형은 상대적 격자좌표 모형을 이용했을 경우 3차원 격자절대좌표 모형을 이용한 경우 보다 움직임이 부드럽고 이동경로 선택이 합리적이다.

6. 결론 및 향후과제

자율무인잠수정의 임무 수행을 위해서는 효율적인 운항 경로 설정 및 제어가 중요하다. 본 논문에서의 자율무인잠수정의 운항 경로 설정 방법은 [1]에서 제안한 휴리스틱 탐색기법에 잠수정의 현재 위치를 기준으로 구성한 상대적 격자좌표 모형을 적용한다. 상대적 격자좌표 모형은 3차원 격자절대좌표 모형을 사용한 경우보다 이동에 필요한 방향전환 비용이 적고, 잠수정의 위치를 고려한 격자들 사이를 운항하기 때문에 보다 유연한 움직임을 보인다. 그리고 모든 후보격자의 이동 거리가 동일하게 일반화됨으로써 추후 시스템 확장이 용이

하고 대각격자의 소외현상을 줄일 수 있다. 본 연구에 이어 향후에 이루어져야 할 과제는 다음과 같다. 첫째, 자율무인잠수정의 경로설정방법의 개선이 필요하다. 본 논문에서 사용한 휴리스틱 탐색방법은 3차원 격자절대좌표 모형에 맞게 만들어진 것이기 때문에 상대적 격자좌표 모형에 부합되지 않는 부분도 있다. 둘째, 자율무인잠수정 이동거리를 자유롭게 조정할 수 있어야 하고 방향전환 각을 필요에 따라서 결정할 수 있는 방법이 필요하다. 왜냐하면 해저 환경은 매우 복잡하고 돌발적인 상황이 많아서 보다 정교한 운행이 요구되기 때문이다.

참고문헌

- [1] Ong, S. M., A Mission Planning Expert System with Three-Dimensional Path Optimization for the NPS Model 2 Autonomous Underwater Vehicle, Master Thesis, Naval Postgraduate School, 1990.
- [2] Nilsson, N.J., Principles of Artificial Intelligence, Tioga Publishing Co., 1980.
- [3] Rowe, N. C., Artificial Intelligence Through Prolog, Prentice-Hall, Inc., 1988.
- [4] Nordman, D., A Computer Simulation Study of Mission Planning and Control for the NPS Autonomous Underwater Vehicle, Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, June 1989.
- [5] Iyenger, S. S., Jorgensen, C. C., Rao, S. V. N., and Weisbin, C. R., "Learned Navigation Paths for a Robot in Unexplored Terrain," IEEE Computer Society The Second Conference on Artificial Intelligence Applications, pp 70-74, 1984
- [6] Chappell, S. G., "A Blackboard System for Context Sensitive Mission Planning in an Autonomous Vehicle", unpublished technical report, University of New Hampshire, Marine Systems Engineering Laboratory.
- [7] Mayer, R., Underbrink, A., Lockledge, J., and Reddy, U., "Situation Based Control Architectures for an AUV," unpublished technical report, Texas A&M University, College Station, Texas.
- [8] Pugh, G. E., and Krupp J., "The Control of Autonomous Underwater Vehicles through a Hierarchical Structure of Value Priorities", Proceedings of the Fifth International Symposium on Unmanned, Untethered Submersible Technology, University of New Hampshire, June 22-24, 1987