해양 탐색을 위한 다수 자율 이동체의 임무 계획 (가제)

Mission planning for maritime searching using multiple autonomous vehicles (temp)

윤석민1· 도학기1·김진환†

Sukmin Yoon1, Haggi Do1, Jinwhan Kim†

Abstract In recent years, the impact and the complexity of disasters such as earthquake, hurricane, and accidents is increasing, so the collaborative operation with a group of multi-vehicle systems is essential for an effective response in a disaster environment. Mission planning is crucial to the effective collaboration of multiple and heterogeneous vehicle systems. This study proposes the mission planner and essential planning technologies to response the disaster efficiently. In general, missions (search and rescue, oil spill tracking etc.) are defined broadly and complexly, making it difficult for autonomous vehicles to perform directly. To deal with this problem, this study tries to decompose the mission to clear and simple several tasks which can be done by autonomous vehicles. In addition, this study emphasizes path planning algorithms for initial searching and task allocation. The performance and feasibility of proposed the planner and the algorithms are evaluated with numerical simulation based on a realistic simulation environment.

Keywords:  Disaster robotics, Multi-vehicle collaboration, Mission planning, Initial searching path, Multi-vehicle task allocation

※ This project was funded by Korea Robotics Society (KROS), and is currently supported by the publication grant

1. Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon, 34141, Korea ({ludolpy0728, kevindo}@kaist.ac.kr)

† Corresponding author: Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon, 34141, Korea (jinwhan@kaist.ac.kr)

1. 서 론

재난 사고는 많은 인명 피해와 재산 피해를 초래하기 때문에 오랜 시간 사고 예방 및 대응의 중요성이 강조되고 연구되어 왔다. 하지만 최근 발생한 아이티 대지진, 후쿠시마 원전사고와 같은 재난 사고에서는 잔해물, 유해 물질 등 많은 요소들에 의해 구조 인력이 접근조차 어려운 경우가 있었다. 이처럼 최근에 발생하는 재난 사고들은 그 피해 규모도 크고, 사고의 형태가 복잡해 짐에 따라 효율적인 재난 대응에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라, 구조 인력을 대신하여 위험하고 복잡한 환경에서도 임무를 효율적으로 수행할 수 있는 다수 자율 이동체의 활용이 많은 관심을 받고 있다[1, 2].

기존에 많은 연구들이 자율 이동체를 정보 감시 및 정찰(intelligence surveillance and reconnaissance) [3, 4], 조난자 수색 구조(search and rescue) [5], 산불(forest fire)및 유출유(oil spill) 대응[6,7] 에 이용하기 위한 알고리즘 개발을 시도해 왔다. 이들 연구들에서는 임무 수행을 위한 핵심 요소들이라고 할 수 있는 임무 계획기(mission planner) 구조 설계, 수색을 위한 경로 계획, 작업 할당 등을 부분적으로 다루거나 또는 전체적으로 다루고 있어 본 연구에 많은 참고가 될 수 있었다. 하지만 대부분의 연구들이 사고 및 주어진 운동체(센서 및 운동 특성)를 특정 하여 확장성이 떨어지는 경우가 있어 새로운 임무 및 운동체들을 위해서는 완전히 새로운 임무 계획을 설계해야 하는 어려움이 있을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 부분을 보완에 상대적으로 확장이 용이한 임무 계획기를 설계하고 그에 맞는 요소 알고리즘들을 제시하고자 하였다.

조난자 수색 구조, 유출유 경계선 검출, 위험 물질 탐지와 같이 임무(mission)에 다수의 자율 이동체를 이용할 때, 각각의 개별 시스템은 플랫폼 레벨에서는 운용 기법 및 자율성(degree of autonomy)이 상이하기 때문에 이들을 효과적으로 운용하기 위해서는 임무를 각각의 자율 이동체들이 수행할 수 있는 수준의 작업(task) 단위로 적절히 분해(decompose)하여 정의하여야 한다. 또한, 각기 특성이 다른 개별 시스템들에 공통으로 적용할 수 있는 상위 레벨의 알고리즘을 설계하고 이를 체계적으로 수행하기 위한 방법과 수색 알고리즘 및 작업 할당 알고리즘을 필요로 한다. 따라서, 본 논문에서는 1) 센서들의 특성을 고려한 작업의 정의 및 임무 계획기 설계, 2) 다수 운동체의 초기 수색 경로 계획, 그리고 3) 다수 작업, 다수 운동체가 있는 상황에서의 작업 할당 알고리즘에 대해서 중점적으로 다루고, 수치 시뮬레이션을 통해 임무 계획기 및 요소 알고리즘들의 성능을 보이고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 임무 계획기(Mission planner)

다수 운동체의 임무 계획기는 1990년대에서부터 본격적으로 그 중요성이 인식되어 많은 프로토타입의 임무 계획기가 개발되어왔다[3, 8-10]. 로봇들이 수행해야 할 행동(behavior)을 미리 설정하고, 센서 데이터 및 성능 모니터링을 통해 제어를 하는 L-ALLIANCE[8], 시장 기반의 자원 분배(market-based resource allocation) 알고리즘을 활용한 GRAMMPS, MURDOCH 방법[9,10] 들이 대표적이라고 할 수 있다. 이들 연구들에서는 앞서 언급한 것과 같이 임무를 행동 또는 작업으로 분해하는 단계를 가지고 있으며, 이들을 일반화하여 표현하고 있고, 이러한 분류 단계는 최근에도 중요한 요소로 인식되고 있다[11,12]. 따라서, 본 논문에서도 임무를 작업으로 세분화 하는 단계를 정의하고자 시도하였으며, 확장성을 위해 무인기, 지상 로봇 등과 같은 운동체의 종류와 함께 자율 이동체들에 일반적으로 사용되는 센서들의 특성을 사용하여 작업을 분류할 수 있도록 시도하였다.

2.2 수색 알고리즘(Initial searching path)

다수 운동체의 임무 계획기는 1990년대에서부터

2.3 작업 할당(Task allocation)

다수 운동체의 작업 할당 알고리즘은 많은 수의 작업을 다수 운동체로 수행하는데 있어 필수적인 요소로서 결정론적 모델을 기반으로 최적해를 찾기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다[13,14]. 하지만, 많은 연구들이 주어진 모든 운동체(fleet)들이 적어도 하나의 작업은 수행한다는 가정(no dummy agent assumption)을 가지며, 위치 오차로 표현되는 운동체와 작업의 불확실성을 고려하지 못하는 경우가 있다. 작업 할당을 함에 있어 주어진 모든 운동체를 운용하는 것이 항상 최적일 수는 없으며, 운동체와 작업의 위치 불확실성은 비용 행렬(cost matrix)의 불확실성을 야기하게 되고 이를 효과적으로 고려하지 못한 작업 할당의 결과는 그 신뢰도에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 낮은 신뢰도를 가지는 작업 할당 결과는 작업 수행 시간이 예상보다 크게 증가하거나 작업을 완료하지 못하는 등의 문제를 유발할 수 있다. 이를 해결하기 위해 운용 대수 최적화를 고려한 연구 (Fleet size optimization or Fleet size and mix) [15] 와 불확실성을 고려하는 연구[16,17] 들이 있지만 문제의 복잡도 증가에 따른 계산 시간의 급격한 증가 문제가 여전히 존재하며 이 두가지를 동시에 효과적으로 고려하는 연구가 요구된다고 할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 가상의 작업(virtual task)를 활용하여 운용 대수 최적화를 효과적으로 수행하면서, 운동체와 작업의 위치 오차를 효과적으로 고려하는 제약 조건 최적화 기반의 작업 할당 알고리즘을 제시하고자 한다.

3. 문제 정의

본 장에서는 제시하고자 하는 임무 계획기 전반에 대해서 설명하고, 강조하고자 하는 수색 경로 생성 알고리즘과 작업 할당 알고리즘에 대해서 설명한다.

2.1 임무 계획기(Mission planner)

본 논문에서 제시하고자 하는 임무 계획기의 구조는 그림 1과 같이 시나리오(Scenario) 단계, 계획(Planning) 단계, 그리고 마지막 실행(Execution) 단계로 구성되어 있으며 기본 구조에 대한 설명은 기술된 바 있다[18].

|  |
| --- |
|  |
| [Fig. 1] Mission planning architecture: dark grey box indicates modules for initial searching path generation and robust task allocation (RTA) respectively, and orange colored parts indicate the decomposition of a task set and an agent set. |

2.2 초기 경로 생성(Initial searching path)

다수 운동체의 임무 계획기는 1990년대에서부터 본격적으로 그 중요성이 인식되어 많은 프로토타입의 임무 계획기가 개발되어왔다[3, 8-10]. 로봇들이 수행해야 할 행동(behavior)을 미리 설정하고, 센서 데이터 및 성능 모니터링을

2.3 작업 할당(Task allocation)

3. 결과

3.1 초기 경로 생성(Initial searching path)

3.2 작업 할당(Task allocation)

3.3 임무 계획(Mission planning architecture)

4. 결론

논문 작성시 참조된 내용은 반드시 Reference 명시하여야 합니다. 그렇지 않을 경우 표절로 간주될 수 있습니다. Reference 작성은 영문 작성이 기본입니다. 다음과 같은 예로 작성되며, IEEE Article Template 표기 방법을 따릅니다[1].

References

[1] Robin R. Murphy, “Introduction,” *Disaster robotics*, MIT press, 2014, ch. 1, pp. 1-19.

[2] Satoshi Tadokoro, “Earthquake Disaster and Expectation for Robotics,” *Rescue Robotics: DDT Project on Robots and Systems for Urban Search and Rescue*, Springer Science & Business Media, 2009, ch. 1, pp. 1-16.

[3] Meuth, Ryan J., Saad, Emad W., Wunsch, Donald C. and Vian, John, “Adaptive task allocation for search area coverage,” *IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*, IEEE, 2009, pp. 67-74.

[4] Maza, Ivan, Cavallero, Fernando, Capitan, Jesus, Martinez-de-Dios, Jose Ramiro and Ollero, Anibal, “Experimental results in multi-UAV coordication for disaster management and civil security applications,” *Journal of Intelligent & robotic systems*, vol. 61, no. 1, pp. 563-585, 2011.

[5] Zoltan Beck, W.T. Luke Teach, Alex Rogers and Nocholas R. Jennings, “Collaborative online planning for automated victim search in disaster response,” *Robotics and Autonomous systems*, vol. 100, pp. 251-266, 2018.

[6] Huy X. Pham, Hung M. La, David Feil-Seifer, and Matthew Deans, “A Distributed Control Framework for a Team of Unmanned Aerial Vehicles for Dynamic Wildfire Tracking,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS*), IEEE, 2017, pp. 6648-6653.

[7] Kyle L. Woerner, Michael R. Benjamin, and Henrik Schmidt, “Collaborative Autonomous Multi-vessel Detection, Bounding and Containment for Maritime Environment Disaster,” *OCEANS*, IEEE, 2017, pp. 1-7.

[8] Lynne E. Parker, “L-ALLIANCE: A mechanism for adaptive action selection in heterogeneous multi-robot teams,” *ORNL/TM-13000*, 1995.

[9] Barry L. Brumitt, and Anthony Stentz, “GRAMMPS: A Generalized Mission Planner for Multiple Mobile Robots Unstructured Environments,” *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, IEEE, 1998, pp. 1564-1571.

[10] Brian P. Gerkey, and Maja J. Mataric, “Sold!: Auction methods for multirobot coordination,” *IEEE transaction on robotics and automation*, vol. 18, no. 4, pp. 758-768, 2002.

[11] M. Cirillo, F. Pecora, H. Andreasson, T. Uras, and, S. Koenig, “Integrated motion planning and coordination for industrial vehicles,” *24th International conference on automated planning and scheduling*, 2014, pp. 463-471.

[12] Barbara Arbanas, Antun Ivanovic, Marko Car, Matko Orsag, Tamara Petrovic and Stjepan Bogdan, “Decentralized planning and control for UAV-UGV cooperative teams,” *Autonomous Robots*, pp. 1-7, 2018.

[13] T. Bektas, “The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures,” *Omega*, vol. 34, no. 3, pp. 209-219, 2006.

[14] T. Vidal, T.G. Crainic, M. Gendreau, and C. Prins, “Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: a survey and synthesis,” *European Journal of Operational Research*, vol. 231, no. 1, pp. 1-21, 2013.

[15] Kaarthik Sundar, and Sivakumar Rathinam, “Algorithms for heterogeneous, multiple depot, multiple unmanned vehicle path planning problems,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 513-526, 2017.

[16] Luca Bertazzi, Francesca Maggioni, “Solution approaches for the stochastic capacitated traveling salesmen location problem with recourse,” *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 166, no. 1, pp. 321-342, 2015.

[17] Lantoa Liu, Dylan A. Shell, “Assessing optimal assignment under uncertainty: An interval-based algorithm,” *The International Journal of Robotics Research*, vol. 30, no. 7, pp. 936-953, 2011.

[18] Sukmin Yoon, and Jinwhan Kim, “Mission planning of multiple heterogeneous unmanned systems for autonomous search in marine environment,” KSOE, vol. 34, no. 3, pp. 209-219, 2016.

저자 약력

|  |  |
| --- | --- |
|  | 윤 석 민  1999 포항공과대학교 기계공학과 (학사)  2001 포항공과대학교 기계공학과 (석사)  2006 포항공과대학교 기계공학과 (박사)  2015~현재 한국과학기술연구원 책임연구원 |

관심분야: 바이오-의료 로봇, 재활로봇, 바이오닉스, 햅틱스

|  |  |
| --- | --- |
|  | 도 학 기  2011~현재 한국로봇학회 사무원 |

관심분야: 로보틱스

|  |  |
| --- | --- |
|  | 김 진 환  1996 포항공과대학교 기계공학과(공학사)  1998 포항공과대학교 기계공학과(공학석사)  2005 Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor.(공학박사)  2008~현재 성균관대학교 부교수 |

관심분야: Robotic Manipulation, Polymer-based sensor and actuators, Visual recognition