

기간 산업 경계를 위한 다중로봇 협력 시스템

Cooperative Multi-agent System for Security

*# 박정섭¹, 지상훈², 이상무², 임묘택¹

*# J. S. Park¹(pjsgod@korea.ac.kr), S. H. Ji², S. M. Lee², M. T. Lim¹
¹고려대학교 전기전자전파공학과, ²한국생산기술연구원 지능형로봇연구부

Key words : Multi-Social Security robots, Multi-agent, Cooperation

1. 서론

공항, 항만, 석유 비축기지 등과 같은 국가의 기간 시설 및 중요 건물을 비롯하여 국경선 등에서는 인간의 안전과 보안을 책임지는 경계임무가 매우 중요하다. 경계임무는 주로 인간에 의해 수행되지만 24시간 경계에 따른 인력 및 시간 낭비뿐 아니라 인간이 위협에 노출될 수 있다는 문제점이 있다. 이에 따라 사람의 임무를 대신할 경계 로봇에 대한 요구가 대두되었고, 일정 지역을 반복적으로 감시하면서 경계를 하는 고정식 경계로봇에 대한 연구가 진행되었으며 실제 시스템으로 도입이 시도되고 있다.[5] 하지만 협소한 감시 지역과 이동성의 부재, 사각지대 발생 등의 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 보완하고 경계 시스템을 강화하기 위해서는 경계 및 수색 영역의 확장과 경계 사각지대를 없애는 것이 필요하다.

경계 및 감시임무를 수행함에 있어서, 다수의 로봇을 활용한 협력 시스템은 단일 로봇에 비해 시공간적인 효율성 뿐 아니라 오작동에 대한 안전성면에서 우월하다. 또한 기존의 감시, 보안 시스템의 문제점인 사각지대 발생, 미흡한 인식 기술의 한계를 극복하여 사회 안전을 실현할 수 있다. 따라서 다수 로봇을 활용한 경계 임무 수행에 대한 관심과 요구가 증가하였고 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 연구된 논문에서는 주로 집중형(Centralized) 군집 지능 구조를 가진 로봇과 관련된 연구가 많이 진행되었고, 이 시스템에서는 중앙 제어 시스템이 소속된 개별 로봇의 행동을 계획하고 제어한다.[3] 이 시스템 구조는 해의 완비성(Completeness)을 보장하고 최적의 해를 제공하는 장점이 있지만, 개체 수가 증가함에 따라 계산량이 빠르게 증가하고 중앙 제어기의 고장이나 통신 두절 시 전체 시스템이 마비될 수 있다. 따라서 통신 두절과 같은 제한된 영역에서의 작업을 위해서는 분산형(Decentralized) 군집 지능 구조를 통해 각 개체가 주어진 상황 정보를 바탕으로 스스로 판단하여 행동을 결정하는 것이 필요하다.

이에 본 논문에서는 통신이 제한된 상황에서도 기간산업 경계 임무를 수행할 수 있는 분산형 군집 지능 구조 기반 다중 로봇 협력 시스템을 제안한다. 이를 위하여 2장에서는 다중로봇 경계 시스템의 분석, 3장에서는 다중 로봇 협력을 위한 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 타당성을 증명하기 위한 실험결과를 제시하고 5장에서 결론을 제시한다.

2. 다중 로봇 경계 시스템

다중 로봇 경계 시스템은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 다수의 로봇으로 이루어진다. N대의 로봇은 주어진 영역을 자유롭게 돌아다니며 경계임무를 수행한다. 로봇에게 주어진 임무는 등록된 주요지점과 특이사항이 발생한 지역에 대한 경계이다. 임무를 수행하면서 k대의 로봇의 협동 작업에 의해서만 행해질 수 있는 임무가 M개라 가정한다. 로봇은 통신 기능이 없어 자신에게 주어진 정보에 기반하여 스스로 행동을 결정한다. 또한 로봇은 SLAM 기술을 적용하여 자가 위치를 정확히 알고 있다고 가정하였다. 로봇의 이동속도는 가감속을 고려하지 않고 물리적인 범위 안에서 최대의 속도로 이동한다고 가정하였다.

본 논문에서는 다수의 로봇이 지뢰를 제거하는 임무를 부여받아 수행하는 작업을 고려하였다. 지뢰를 제거하기 위해서는 k대의 로봇의 협동 작업이 필요하며, 로봇은 WANDER, HOLD, SWEEP, CIRCUIT, REMOVE의 다섯 가지 행동모델을 갖는다.

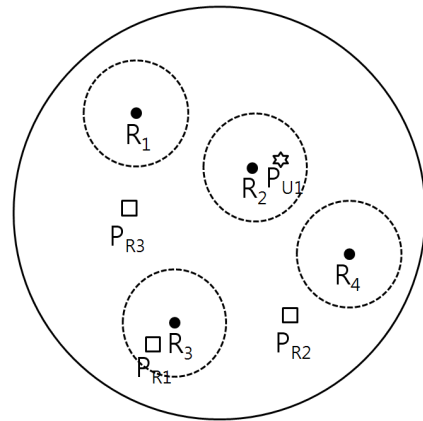


Fig. 1. Security system based on multi-agent

3. 다중 로봇 협력 알고리즘

본 논문에서 제안된 알고리즘은 경계 임무를 수행하는 다중 로봇의 협동 작업을 위한 행동 제어 알고리즘이다. 로봇의 행동은 WANDER, HOLD, SWEEP, CIRCUIT, REMOVE의 다섯 가지로 구성되며 각 모드에서의 동작은 Fig. 3과 같다. WANDER 모드에서, 로봇은 센서 정보를 바탕으로 맵을 생성하고 장애물을 회피하면서 자율주행을 한다. 지뢰를 만나게 되면 로봇은 HOLD 모드로 전환하고 동일한 지뢰를 잡고 있는 로봇의 수를 체크한다. 그 숫자가 k대인 경우 k대의 로봇은 REMOVE 모드로 동작하여 지뢰를 동시에 제거하게 된다. HOLD 모드에서는 일정한 대기시간 T_w 이내에 작업이 완료되지 못하면 로봇은 SWEEP 모드로 동작하게 된다. SWEEP 모드에서는 지뢰의 위치 정보를 북마크에 저장하고 저장된 지뢰 주변의 다른 지뢰를 탐색한다. 최초에 등록된 북마크의 레벨은 0이고 이 지뢰를 기준으로 SWEEP 동작을 통해 지뢰를 검출하고 검출된 지뢰를 HOLD하고 있는 로봇이 k대인 경우 제거를, 그렇지 않은 경우 북마크의 레벨 1에 순서대로 저장한다. 북마크에 지뢰의 위치정보를 등록하는 것은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 레벨순서순회(Level-Order Traversal) 방식을 따른다. 레벨순서순회는 같은 레벨의 노드를 근노드에서부터 최하위 레벨까지 좌에서 우로 검사하는 방법이다.

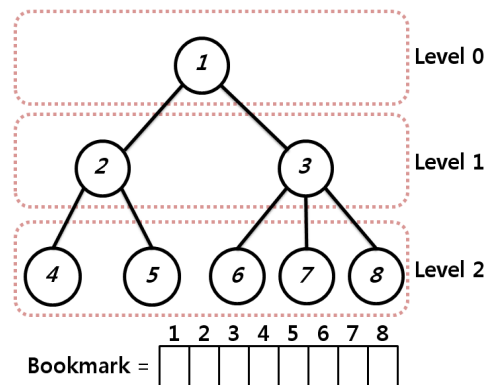


Fig. 2. Level-Order Traversal

더 이상 등록될 지뢰의 정보가 없는 경우 로봇은 CIRCUIT 모드로 동작한다. CIRCUIT 모드로 동작하게 되면 로봇은 북마크에 저장된 지뢰의 위치정보를 활용하여 차례대로 방문한다. 지뢰에 다가선 후 지뢰를 제거하기 위해 대기하고 있는 로봇 수를 체크한다. 로봇의 수가 k보다 작은 경우 $T_w/2$ 의 시간만큼 HOLD 후 다음 지뢰로 이동하게 되고 k대인 경우 k대의 로봇은 REMOVE 모드로 동작하여 지뢰를 제거한다. CIRCUIT 모드가 완료되면 북마크에 저장된 지뢰의 위치 정보를 리셋(reset)하고 WANDER 모드로 다시 동작하게 된다.

확인할 수 있다.

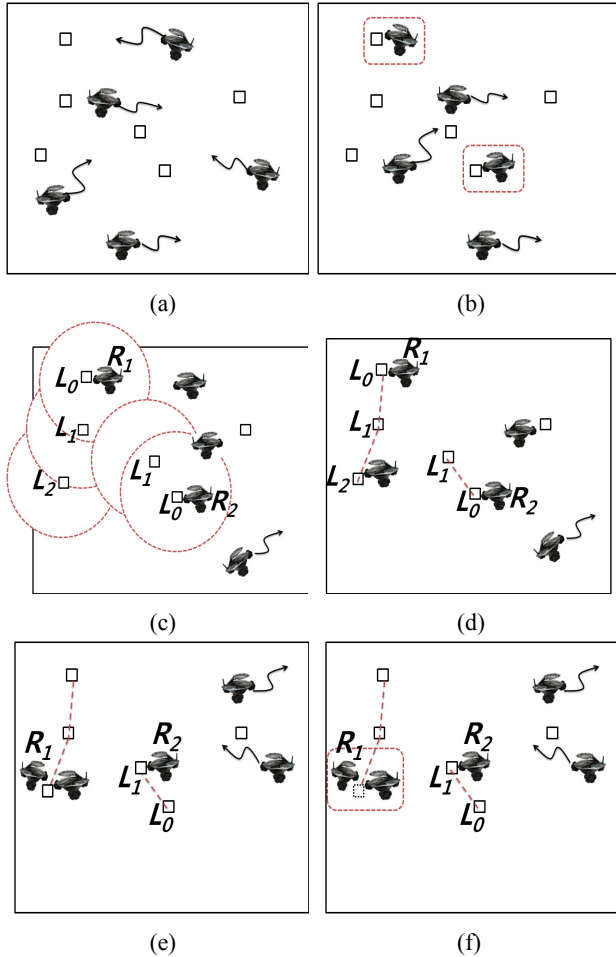


Fig. 3. Each State of algorithm for cooperative multi-agent (a)WANDER mode (b)HOLD mode (c)SWEEP mode (d)CIRCUIT mode (e)REMOVE mode(before) (f)REMOVE mode(after)

4. 실험 및 결과

논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위해 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 개발하였다. 시뮬레이션은 Fig. 4에서 보는 것과 같이 지뢰의 위치가 표시된 2D 환경의 지도에서 동작하게 된다. 초기에 다수의 로봇은 지도 정보를 갖고 있지 않으며 Fig. 4의 (a)에서 보는 것과 같이 자율주행을 하고 센싱을 통해 지역 맵을 업데이트한다. 센싱 범위 안에 지뢰가 발견되면 로봇은 지뢰가 있는 방향으로 전환하여 전진하다가 지뢰가 일정 거리이 내에 들어오게 되면 HOLD 모드로 전환하게 되고, 이는 Fig. 4의 (b)에서 확인할 수 있다. 대기 후 초기에 설정된 홀딩시간 T_w 이내에 협동 작업을 위한 로봇이 나타나지 않아 로봇은 Fig. 4의 (c)와 같이 SWEEP 모드로 동작하여 지뢰 주변을 수색하고, 지뢰의 위치 정보를 북마크에 저장한다. 본 시뮬레이션에서 하나의 지뢰를 제거하는 데 필요한 로봇의 수는 2대이며 제거하는데 걸리는 시간은 0초로 가정하였다. Fig. 4의 (d)는 두 대의 로봇이 REMOVE 모드로 전환하여 하나의 지뢰를 제거하는 것을

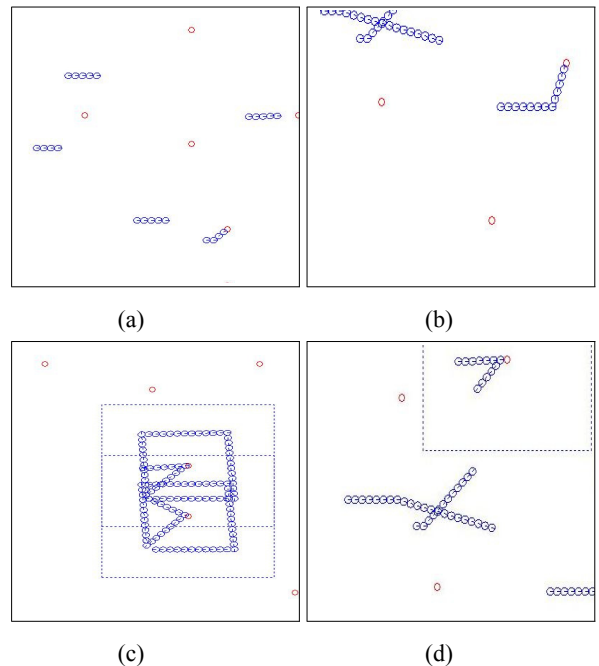


Fig. 4. Simulation results (a)WANDER mode (b)HOLD mode (c)SWEEP mode (d)REMOVE mode

5. 결론

본 논문에서는 사회안전 분야에 적용할 수 있는 다중 로봇 협력 시스템과 행동 제어 알고리즘을 제안하였다. 분산형 군집 지능 구조 시스템을 적용하여 개별 로봇은 자신의 행동을 결정하고 협업을 통해 임무를 수행한다. 로봇은 SLAM등의 기술을 통해 자가 위치를 정확히 알고 있고 맵을 업데이트한다. 제안된 알고리즘으로 통신이 두절된 상태에서도 주어진 임무를 완료할 수 있다. 제안된 알고리즘은 지뢰가 발견되지 않은 영역이나 이미 작업이 완료된 지역을 재방문하지 않아도 되므로 생산성(Productivity)을 높일 수 있고, 작업이 완료되지 않은 지역을 기억하였다가 재방문함으로써 해의 완비성(Completeness)을 보장한다. 또한, 기존의 경계 및 감시임무를 수행함에 있어서의 문제점인 시각지대 발생 등의 한계를 다중 로봇 시스템을 통해 극복함으로써 경계, 국방 등의 사회안전 분야에 적용될 수 있다.

후기

본 연구는 지식경제부 성장동력 중기거점 신기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. M. A. Hsieh, A. Halasz, E. D. Cubuk, S. Schoenholz, and A. Martinoli. "Specialization as an optimal strategy under varying external conditions," 2007 International Conference on Robotics and Automation (ICRA07), Rome, Italy, 2007.
2. L. Parker, "Distributed algorithms for multi-robot observation of multiple moving targets," Auton Robots, vol. 12 no. 3, 2002
3. M.M.Quottrup, T.Bak, and R.Izadi-Zamanabadi, "Multi-Robot Planning s A Timed Automata Approach," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2004.
4. M.B.Dias and A.Stentz, "portunistic Optimization for Market-Based Multirobot Control" Proc. of IEEE/RSJ Int.Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2002.
5. 이상무, 백문홍, 이호길, "사회안전을 위한 경비로봇 기술 동향," 전자공학회지, 제33권 제7호, 57-66, 2006