

Application of Supervisory Control Theory to Modeling and Control of a Fleet of Mobile Robots

다중이동로봇의 모델링 및 제어를 위한 관리제어이론의 응용에 관한 연구

°신 성 영*, 조 광 현**

*,** 울산대학교 전기전자 및 자동화공학부

*(Tel : +82-52-259-1671; Fax : +82-52-259-1686 ; E-mail: ssy@sys.ulsan.ac.kr)

** (Tel : +82-52-259-2734; Fax : +82-52-259-1686 ; E-mail: ckh@uou.ulsan.ac.kr)

Abstract: In this paper, we present a framework for modeling and control of multiple mobile robots which cowork within a bounded workspace and limited resources. To achieve this goal, we adopt a formalism of discrete event system and supervisory control theory based on Petri nets. We can divide our whole story into two parts: first, we search the shortest path using the distance vector algorithm, and then we construct the control scheme from which a number of mobile robots can work within a bounded workspace without any collision. The use of Petri net modeling allows us to synthesize a controller which achieves a control specification for the desired closed-loop behavior efficiently. Finally, the usefulness of the proposed Petri net formalism is illustrated by a simulation study.

Keywords: Petri net, supervisory control theory, mobile robots, routing algorithm, distance vector.

1. 서론

인간의 노동을 대체하기 위한 수단으로 로봇은 많은 연구가들에 의해 주목받아 오고 있다. 특히, 산업현장에서 위험한 일을 대신하거나 단순 반복작업등을 수행해줌으로서 생산성을 크게 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 의료서비스, 가정관리, 레저 등 인간의 실생활 영역에서도 밀접한 관련을 맺고 있다. 한편, 다품종 소량생산으로 공장시스템이 변화함에 따라 한 대의 대형로봇에 의존하던 생산방식도 여러 대의 로봇을 이용한 협동작업방식으로 전환되고 있다. 이러한 유연성생산시스템(flexible manufacturing system)은 여러 대의 로봇을 사용함으로써 시스템의 적응성은 높일 수 있으나, 고도의 동시성으로 인해 통합관리제어기의 어려움이 있다. 이러한 관점에서 페트리 네트를 기반으로 한 모델링기법은 동시성과 비연속성을 가지는 다중이동로봇시스템을 효과적으로 모델링 할 수 있고, 충돌회피를 위한 관리제어기(supervisory controller)설계에 적합하다. 한편, 페트리 네트는 1962년 독일의 Carl A. Petri에 의해 소개된 이후 현재까지 활발한 연구가 이루어지고 있다. 다중이동로봇의 관리제어기는 다음과 같은 두 가지 제어목적에 달성해야 한다.

첫째, 이동로봇은 주어진 목적지까지 최적경로를 따라 이동해야 한다.

둘째, 제한된 작업공간에는 여러 대의 로봇이 동시에 작업을 하므로 다른 이동로봇과의 충돌은 없어야 한다.

이러한 두 가지 제어목적에 달성하기 위해 최적경로탐색 알고리즘에 대하여 소개하고, 다음으로 페트리 네트를 기반으로 한 충돌회피 제어방법에 대하여 소개한다. 그리고, 이러한 제어방법들이 가지는 공통적 한계점들에 대하여 고찰한다. 마지막으로 본 논문을 통해 이러한 한계점을 해결하기 위한 새로운 시도로 우회경로방법(detour path method)을 제안하고, 이를 이를 이용한 관리제어기에 대하여 기술한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 2절은 다중이동 로봇

시스템의 일반적인 구성에 대하여 기술한다. 3절을 통해 페트리 네트에 관한 일반적인 소개와 관리제어기 설계를 위한 자동점화규칙 페트리 네트(self firing rule based Petri net)를 정의한다. 그리고 4절에서는 최적경로탐색(optimal path searching) 알고리즘과 충돌회피 제어알고리즘에 대한 소개와 우회경로 알고리즘(detour path algorithm)을 소개한다. 마지막으로 5, 6절을 통해 관리제어기 구현 및 결론에 대하여 기술한다.

2. 시스템의 구성

다중이동로봇 시스템(multiple mobile robot system)은 관리제어기(Supervisory Controller)를 포함하여, 자율이동로봇(Autonomous Guided Vehicle) 과 작업장(workspace)등으로 구성된다.

작업장은 경로(routes)와 교차로(crossings)로 구성되고 노드와 링크로 구성된 네트워크형태로 표현할 수 있다. 이때, 노드는 작업공간상의 AGV가 이동할 수 있는 물리적인 공간을 의미하고 링크는 물리적 공간의 연결관계를 나타내는 논리적 연결이다. 각 구역(AGV가 한번의 명령으로 이동할 수 있는 지역)에는 AGV의 도착과 출발을 감지할 수 있는 센서가 부착되어 있고 이러한 정보는 무선통신을 이용해 관리제어기로 송신되어 지고 거리벡터 알고리즘(distance vector algorithm)을 이용한 최적경로탐색에서 지역정보(local information)로 활용된다. AGV는 관리제어기로부터 임무(tasks)를 부여받고 주어진 궤적(trajectories)을 따라 이동하며 단 방향으로만 이동이 가능하다.

다음 장에서 다중이동로봇 시스템의 모델링을 위한 페트리 네트의 일반적인 정의와 관리제어기 설계를 위한 자동점화규칙 페트리 네트(self firing rule based Petri net)에 대하여 정의한다.

3. 페트리 네트