

멀티로봇 환경에서 트래픽량을 고려한 효율적인 이동로봇 경로계획 기법

An Efficient Mobile Robot Path Planning for Considering Traffic Flow in Multi-Robot Environment.

김영덕, 김진욱, 강원석, 안진웅

{ydkim, jwkim, wskang, robot}@dgist.ac.kr

Young-Duk Kim, Jin-Wook Kim, Won-Seok Kang and Jinung An

Abstract - 대부분의 이동 로봇은 효율적인 경로계획을 위하여 최단거리 및 최소비용을 갖는 경로를 선택한다. 그러나 다수의 로봇이 존재하는 환경에서는 이웃하는 로봇 상호간에 동적 장애물로 인식되어 주행성능을 떨어뜨리게 된다. 또한 트래픽량이 거의 없는 환경에서는 무선 통신의 전송거리 제한으로 이동 로봇간 네트워킹이 원활하게 수행될 수 없는 문제도 있다. 따라서 적당한 거리의 이웃 로봇들과 협업을 위한 네트워킹을 하면서 동적인 경로계획 및 주행을 하는 것이 필수적이다. 본 논문에서는 기존의 A* 알고리즘을 수정하여 로봇의 동적인 트래픽을 고려한 경로계획 알고리즘을 제안한다. 제안된 기법을 이용하여 경로설정과정에서의 로봇 상호간 병목현상을 완화시키며, 일관된 협업 통신도 유지할 수 있다. 모의 실험을 통하여 제안된 알고리즘이 동적인 트래픽을 고려하여 경로를 선택함을 보인다.

Key Words : Mobile robot, Path planning, Multiple robots, Robot traffic, Robot networking

1 장. 서 론

최근 IT융합기술의 발달로 이동 로봇을 이용한 어플리케이션들이 많이 제안되었다. 가정에서의 간단한 청소로봇, 방범로봇에서부터 산업용, 군사용, 의료용까지 다양한 분야에서 로봇기술이 응용되고 있다. 이러한 로봇들의 가장 기본적인 기능은 특정 출발지에서 목적지로 이동하는 경로계획 서비스 [1]를 제공하는 것이며, 대부분의 로봇은 이동성을 유지하기 위하여 전용의 전원공급이 제공되지 않는 배터리를 이용하여 주행하게 된다. 따라서 특정 목적지로 주행하기 위하여 경로를 설정하고 여러 가지 동작을 제어하기 위해서 최소의 비용을 기준으로 명령을 내리게 된다. 비용을 결정하기 위하여 주행시간, 정확도, 오류 확률, 에너지 소모율 등 여러 가지가 있으나, 일반적으로 주어진 이산적인 지도 공간안에서 최적의 경로를 계산하기 위하여 Dijkstra 알고리즘 혹은 A*[2] 기반의 최단거리 알고리즘이 가장 널리 사용되어진다. 이외에 일반적인 이동 로봇을 위한 경로 계획 알고리즘의 요구사항은 경로설정에 대한 오류가 없이 강건해야 하며, 신속한 탐색을 위해서 빠른 계산과정을 요구한다. 경로설정이 강건하다는 것은 정적 장애물뿐만 아니라 동적 장애물이 있는 환경에서도 충돌이나 계산 오류가 없음을 의미한다. 또한 외부의 인위적인 도움이 없이도 주어진 지도에서 동적으로 경로를 구

성할 수 있어야 한다.

한편 다수의 로봇이 존재하는 Multi-Robot 환경에서는 이웃하는 로봇이 상호 협업을 통하여 경로를 설정할 수 있으며, 무선 ad hoc 네트워크와 같은 자가망 구성을 통하여 스스로로부터 멀티 홉으로 떨어진 목적지 로봇까지 데이터를 전송할 수도 있다. 그러나 협업을 제공하는 멀티 로봇 환경은 다음과 같은 2가지 문제점이 존재한다. 첫째, 이웃하는 협업 로봇이 네트워킹 서비스에는 큰 도움을 제공할 수 있으나 개별적인 주행목적에서는 상호간에 충돌을 회피해야 할 동적인 장애물이 될 수 있다. 따라서 이웃 노드간 충돌을 회피하기 위한 적당한 거리 유지 및 트래픽 병목 현상을 함께 고려해야 할 필요가 있다. 둘째, 원격지의 목적로봇과의 통신을 위해서는 적당한 통신 라우팅 알고리즘이 필요하며, 이러한 네트워킹 서비스가 함께 존재하는 멀티로봇 환경에서 경로 계획 알고리즘을 실행할 경우, 로봇의 물리적인 최단 경로 설정뿐만 아니라 효율적인 통신 경로설정도 고려되어야 한다. 즉, 무선채널을 통하여 통신을 할 경우, 데이터를 릴레이 하는 라우터 역할의 이웃 로봇이 통신 반경내에 위치할 수 있어야 한다.

따라서 본 논문은 다수의 로봇이 존재하는 환경에서 원활한 통신 경로를 유지하면서 로봇의 물리적인 최단경로를 함께 보장할 수 있는 효율적인 경로계획 알고리즘을 제안한다. 주어진 지도에서 보편적으로 간단하게 활용되는 A* 알고리즘을 수정하여 주변의 트래픽정보를 기반으로 병목현상이 발생하는 경로를 회피하면서 적당한 통신 경로를 유지할 수 있도록 한다.

2 장. 관련 연구

저자 소개

김 영 덕 : 대구경북과학기술연구원, 연구원
김 진 욱 : 대구경북과학기술연구원, 연구원
강 원 석 : 대구경북과학기술연구원, 연구원
안 진 웅 : 대구경북과학기술연구원, 팀장 (교신저자)

2.1 A* 알고리즘

유한 지도상에서 가장 범용적인 최단거리 계산 알고리즘은 A* 알고리즘이며, 아래 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F(n) = G(n) + H(n) \quad (1)$$

위 식에서 G(n)은 시작 노드에서 노드 n까지의 합산된 비용이며, G(n)은 노드 n에서 목적지 노드까지의 휴리스틱 추정값을 나타낸다. 경로 계획은 시작은 먼저 2개의 리스트를 만드는 것인데, open 리스트와 closed 리스트가 그것이다. open 리스트는 노드가 앞으로 방문할 것으로 예상하는 노드들의 집합을 포함하고 있으며, closed 리스트는 노드가 이미 방문한 집합을 포함하고 있다. 이들 리스트 중에서 연속된 확장과정을 통하여 목적지 노드까지의 방문 노드들의 집합을 결정함으로써 경로를 선택하게 된다. 확장과정은 이미 방문된 open 리스트에서 최소값을 갖는 F(n)을 구하여 closed 리스트에 삽입함으로써 이루어지며, 확장 후 새로운 이웃 노드들을 open리스트에 추가한 뒤, 목적 노드에 도달할 때까지 확장과정을 반복 실행한다. 한편, 효율적인 경로설정을 위해서는 H(n)의 값을 결정하는 것이 중요하며, 성능에도 큰 영향을 미친다. 즉, 너무 작은 비용으로 휴리스틱값을 구하면 최단경로를 위한 정확도는 높일 수 있으나 많은 확장과정을 야기시키므로 계산과정의 오버헤드가 늘어난다. 반대로 휴리스틱 비용을 너무 크게 구하여도 빠른 검색은 제공하지만 부정확한 경로를 선택할 가능성이 있다.

2.2 로봇간 ad hoc 네트워크 알고리즘

이동 로봇간의 통신을 지원하기 위한 메커니즘으로 전통적인 통신방법으로써 MANET(Mobile Ad hoc Network)환경의 라우팅 기법들이 있다. 크게 주기적인 토폴로지 갱신관리를 지원하는 Proactive 방식과 이동성 유지의 오버헤드를 줄인 Reactive방식으로 나뉘며, 이동성이 많은 환경에서는 Reactive기법이 보편적으로 이용된다. 대표적인 프로토콜로는 DSR (Dynamic Source Routing) [3]과 AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector Routing) [4]가 있다. 한편, 차량용 통신과 같은 빠른 속도의 이동환경을 지원하기 위해서 VANET(Vehicular Ad hoc Network) 기술이 제안되었으며, 대표적으로 GSR (Geographic Source Routing) [5], GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [6] 등이 대표적인 예들이다. 이들 프로토콜들은 무선환경의 특성상 각각의 노드들이 소스 및 목적 노드가 될 수 있으며, 멀티홉 환경에서 라우터역할까지 수행하게 된다. 따라서 멀티홉 통신을 유지하기 위해서 적당한 전송범위내에 relay역할의 이웃노드들을 항상 유지해야하며, 해당 통신 경로를 항상 유지할 필요가 있다. 그러나 기존의 상기 프로토콜들은 이동로봇의 경로계획과의 연동은 고려하지 않으므로 통신경로와 로봇의 이동경로를 모두 유지하는데 어려움이 있다.

3 장. 제안된 기법

3.1 문제점 분석 및 기본 가정

앞 장의 관련 연구에서 살펴보았듯이, 이동성을 지원하는

멀티로봇 환경에서 통신을 유지하면서 경로계획을 수행할 경우 여러 가지 어려움이 직면하게 된다. 기존의 경로계획기법은 최단거리 및 비용을 고려한 물리적인 경로설정을 우선시 하였으며, 통신 알고리즘에서는 데이터 패킷의 원활한 전달을 위하여 이웃노드와의 연결 상태를 중요시하고 있다. 다음 그림1은 이러한 문제점을 도시하고 있다. 그림에서 start지점에서 goal지점까지 크게 A, B, C 3가지의 경로를 보이고 있는데, 각각의 경로상의 이웃 노드들의 트래픽량이 모두 다르다. 즉, A 경로는 트래픽량이 가장 적고, B는 가장 많으며, C는 중간정도이다. 이때, 트래픽량에 대한 최소비용만을 고려한 로봇의 물리적인 경로계획을 적용한다면, 이웃노드와의 충돌 회피와 병목현상을 피하기 위하여 A경로가 선택될 확률이 높다. 한편, 목적지까지의 데이터 통신만을 고려할 경우는 B 경로를 선택할 때, 링크의 단절이 없이 가장 안정적으로 전달이 가능하다. 결국 두 경우가 로봇의 주행과 통신상에 trade-off 관계를 보이며, 이를 위하여 적절한 최적화가 필요하다.

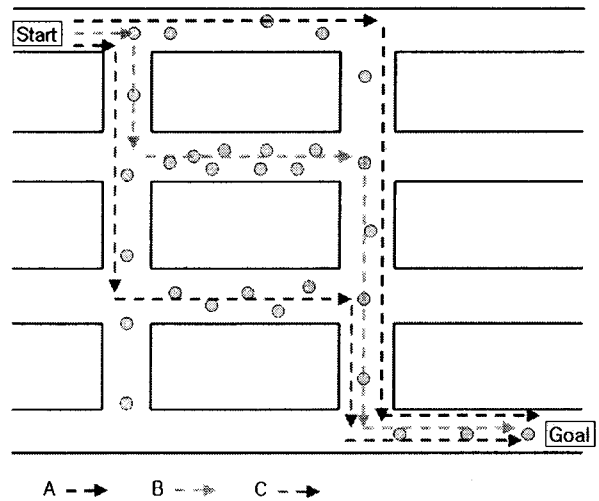


그림 1 경로계획 예시

제안된 기법을 적용하기 위해서 기본적인 가정은 다음과 같다. 모든 이동로봇들이 주어진 지도상에서 자신의 위치정보를 파악하고 있음을 가정한다. 이는 기존의 위치정보 위성 서비스 혹은 지리기반 서비스등의 지원으로 구현될 수 있음을 의미한다. 또한 각 이동 로봇들은 주기적인 비컨 프레임을 전송하고 이웃 노드들과 메시지를 교환함으로써 이웃 노드의 상태와 통신 반경내의 이웃 노드의 리스트를 관리할 수 있다. 이로써 주어진 환경내의 모든 노드들은 위치정보뿐만 아니라 각 영역의 트래픽 정보를 함께 유지할 수 있다.

3.2 트래픽정보기반 경로계획 알고리즘

제안하는 트래픽기반 경로계획 알고리즘은 트래픽정보를 표현하기위해 기존의 A*의 표현식 (1)을 수정하여 (2)와 (3)으로 표현하였다.

$$F(n) = G(n) + \alpha H(n) + \beta T(n) - \theta \quad (2)$$

$$T(n) = \frac{Num_{avg}}{Num_{const}} \quad (3)$$

이때, α 와 β 는 기존의 휴리스틱 비용과 트래픽비용의 가산 비용을 고려한 것으로 α 와 β 합은 1로 한다. ($\alpha+\beta=1$). Num_avg는 각 노드의 전송반경내의 이웃하는 노드들의 평균 개수를 나타내며 트래픽의 밀집도를 표현하는 기본 단위가 된다. Num_const는 통신 반경내 네트워크를 위한 이상적인 노드의 개수를 나타낸다. 이 값을 적절히 선택하여야 통신의 단절을 방지하며 원활한 통신경로를 유지할 수 있다. 상기 Num_avg와 Num_const를 이용하여 각 영역내 트래픽량을 의미하는 $T(n)$ 을 구할 수 있다. 그 후, 미리 정의된 임계값인 Θ 를 이용하여 $T(n)$ 과의 차를 구하는데, 이는 트래픽이 너무 많거나 혹은 너무 적은 환경에 대하여 페널티를 주기 위한 것이다. 즉, 트래픽이 한 곳에 집중하여 병목현상이 발생할 경우, 이동 로봇의 충돌확률이 커지고 이동 속도도 떨어지게 된다. 반대로 트래픽량이 거의 없는 경우, 이동성은 향상될 수 있으나 통신을 릴레이할 이웃노드의 부족으로 통신 단절현상을 야기시키게 된다. 그러므로 극단적인 두 경우를 경로선택에서 배제하여 경로계획을 수행하게 된다.

4 장. 실험

제안된 기법의 동작확인용 위하여 가상의 시나리오를 만들어 모의실험을 수행하였다. 기본적인 프로그램은 A* 소스코드를 수정하여 작성하였으며, 토폴로지는 그림 1의 예시를 가정하여 그림 2와 같은 맨하탄 도로망 구조를 선택하였다. 즉, 트래픽이 그림 1과 같이 많을 경우, 적을 경우, 적당한 경우를 나누었으며, 소스 노드는 이를 바탕으로 경로 Metric을 계산하여 최종경로인 파란색 경로를 찾음을 알 수 있다. 이때 실험의 간편성을 위하여 α 및 β 값은 각각 0.5로 설정하였으며, 각 경로내의 트래픽은 고르게 분포되어 있음을 가정하였다.

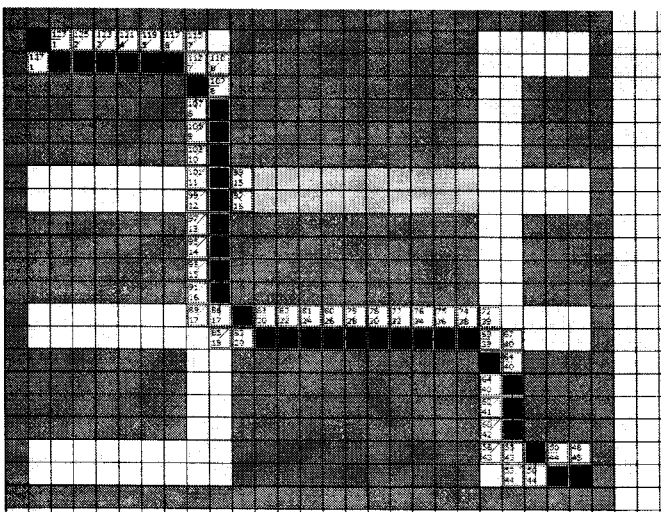


그림 2 경로계획 실험

5 장. 결론

본 연구에서는 멀티로봇환경에서 이동 로봇들간 트래픽정

보를 이용하여 새로운 경로계획 기법을 제안하였다. 기존의 최단경로기반의 A*알고리즘을 수정하여 협업통신을 수행하면서 트래픽의 병목현상을 최소화 하도록 설계하였으며, 트래픽 측정을 위한 변수도 정의하였다. 또한 임계값 상수도 추가하여 토폴로지 및 주변환경 시나리오에 따라 적절히 적용될 수 있는 확장성을 고려하였다. 실험을 통하여 로봇이 경로 경로계획을 계산할 때, 트래픽 정보를 참조하여 수행함을 보였으며, 계산을 위한 오버헤드도 크지 않음을 보였다.

향후 이어지는 연구로써는 협업 통신을 위한 향상된 라우팅 프로토콜을 제안하고 다양한 시나리오에서 성능 비교 실험을 수행할 예정이다.

Acknowledgement

교육과학기술부 및 대구경북과학기술원의 기관고유사업의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. Latombe, "Robot Motion Planning", Kluwer academic publisher, 1996
- [2] N. Nilsson, "Principles of Artificial Intelligence", Tioga Publishing Company, 1980
- [2] Hayes, J.P., "Pseudo-Boolean Logic Circuits", IEEE Trans. Computers, vol. C-35, no. 7, pp. 602-612, July 1988.
- [3] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," Internet Draft, IETF Mobile Ad hoc Networks (MANET) Working Group
- [4] C. E. Perkins and E. Royer, "Ad-hoc on-demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF Request For Comments, 3561, 2003
- [5] C. Lochert, H. Hartenstein, J.Tian, H. Fussler, D. Hermann, and M. Mauve, "A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June 2003
- [6] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," ACM/IEEE Mobicom 2000, Aug. 2000