

네트워크 기반 자율이동로봇의 장애물 회피 알고리즘 개발

손수경, 김주민, 김홍열, 김대위*, 양광웅**
 *명지대학교 정보공학과. **생산기술연구원 메카트로닉스

Obstacle Avoidance Algorithm Development for Network-Based Autonomous Mobile Robots

Sookyung Sohn, Joomin Kim, Hongryeol Kim, Daewon Kim*, Kwangwoong Yang**
 *Department of Information Engineering, Myongji University. **Mechatronics Team, KITECH

Abstract - In this paper, an obstacle avoidance algorithm is proposed for a network-based robot considering network delay by distribution. The proposed algorithm is based on the VFH(Vector Field Histogram) algorithm, and for the network-based robot system, in which it is assumed robot localization information is transmitted through network communication. In this paper, target vector for the VFH algorithm is estimated through the robot localization information and the measurement of its delay by distribution. The delay measurement is performed by time-stamp method. To synchronize all local clocks of the nodes distributed on the network, a global clock synchronization method is adopted. With the delay measurement, the robot localization estimation is performed by calculating the kinematics of the robot. The validation of the proposed algorithm is performed through the performance comparison of the obstacle avoidance between the proposed algorithm and the existing VFH algorithm on the network-based autonomous mobile robot.

1. 서 론

네트워크 기반의 시스템은 다양한 이기종 시스템의 결합을 보장할 뿐만 아니라 이에 따르는 비용을 최소화할 수 있기 때문에 최근 수많은 연구가 진행되었다. 최근 로봇 연구 분야에서는 네트워크 기반 시스템을 로봇에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2].

자율이동로봇에서의 가장 중요한 요소중 하나인 장애물 회피 알고리즘에 대해 많은 연구가 수행되었다. 장애물 회피 알고리즘은 하나의 시스템에서 수행되기 위해 설계되었다. 이러한 하나의 시스템 기반의 장애물 회피 알고리즘들은 센서 정보를 수집하는 동안 발생하는 지연 시간에 대한 연구는 수행되지 않았다.

다중 로봇(Multi Robot) 분야, 특히 물리적으로 분산화된 다중 로봇의 센서 융합(Sensory Fusion)에서는 지연 시간을 고려한 연구가 수행되었다[3][4].

본 논문에서는 네트워크 기반의 자율이동로봇에 적용할 수 있는 장애물 회피 알고리즘을 제안한다. 제안된 장애물 회피 알고리즘은 VFH(Vector Field Histogram)[5] 알고리즘을 기반으로 하였고, 로봇의 위치 정보는 네트워크를 통하여 전달된다고 가정한다.

본 논문에서 VFH 알고리즘의 목표 벡터(Target Vector)는 로봇의 위치 정보와 네트워크에 의해 발생되어지는 지연 시간의 측정을 통하여 계산되어진다. 지연 시간을 측정하기 위해 타임 스탬프(Time Stamp) 방식을 사용하고, 분산된 네트워크 노드 사이의 시간 동기화를 위해 글로벌 클럭(Global Clock) 동기화 방식을 사용한다. 측정된 지연 시간으로 운동학(Kinematics) 방법을

사용하여 로봇의 위치를 계산한다.

제안된 장애물 회피 알고리즘과 기존의 VFH 알고리즘의 성능 비교를 통하여 제안된 장애물 회피 알고리즘의 성능을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 대상인 네트워크 기반의 자율이동로봇 시스템에 대해 설명하고, 분산화된 네트워크 환경에서 전송 지연을 고려한 VFH 알고리즘의 보상을 제안한다. 3장에서는 성능 입증에 위한 실험 환경을 설명하고, 제안된 알고리즘의 실험 결과를 통해 성능을 입증한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺고 향후 과제를 밝힌다.

2. 본 론

2.1 네트워크 기반 자율이동로봇

그림 1은 본 논문의 대상이 되는 네트워크 기반 자율이동로봇이다. 이 로봇은 브레인 모듈(Brain Module), 센서 모듈(Sensor Module)과 모바일 모듈(Mobile Module)로 구성되어 있고, 모든 모듈은 이더넷(Ethernet) 기반 네트워크로 연결되어 있다.

센서 모듈은 180도 범위에서 133점의 분해능을 가지는 레이저 파인더(Laser Finder)와 360도로 16개의 초음파 센서(Ultrasonic Sensor)로 구성되어 있다. 모바일 모듈은 3개의 바퀴로 구성된 단방향(Omni-directional) 구동 방식이고, 오더메트리(Odometry) 정보는 모바일 모듈의 엔코더(Encoder)로부터 생성된다. 브레인 모듈은 복잡한 계산을 수행한다.

로봇을 구성하는 모든 모듈은 리눅스 운영체제(Linux Operating System)가 적재되어 있고, 이기종의 모듈들 사이에 플랫폼 투명성(Platform Transparency)을 위해 가상머신(Virtual Machine)이 적재되어 있다.

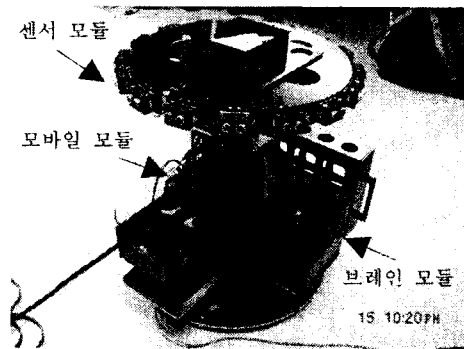


그림 1. 분산 네트워크 기반 자율이동로봇

2.2 네트워크 환경에서의 지연을 고려한 장애물 회피 알고리즘

본 논문에서는 네트워크 기반 자율이동로봇의 장애물

회피 알고리즘으로 VFH 알고리즘을 사용했다. VFH 알고리즘은 불확실한 환경에서 이동하는 로봇에 적합하다고 알려져 있다[5]. VFH 알고리즘은 주위의 장애물에 대한 센서 정보와 로봇의 현재 위치로부터 목표 지점까지의 목표 벡터가 필요하고, 목표 벡터를 계산하기 위해 로봇의 위치 계산이 필요하다. 본 논문에서 로봇 위치 계산은 오더메트리 정보를 이용한다.

주위의 장애물에 대한 센서 정보는 센서 모듈로부터 생성되고, 오더메트리 정보는 모바일 모듈로부터 생성된다. 본 논문에서의 VFH 알고리즘은 센서 모듈에서 수행되며, 목표 벡터를 계산하기 위한 오더메트리 정보는 모바일 모듈로부터 네트워크를 통해 전달되어 진다. 이때 전달된 오더메트리 정보는 네트워크로 인해 지연된 시간만큼의 과거에 읽은 값이다.

본 논문에서는 과거의 오더메트리 정보로부터 로봇의 현재 위치를 계산하기 위해 VFH 알고리즘의 보상을 제안한다. 위치 계산은 운동학을 기반으로 하여 수행되어진다.

그림 2는 네트워크 전송 지연 시간에 대한 로봇 이동 좌표의 오차를 나타낸다. X_t, Y_t 는 센서 모듈에서 모바일 모듈로 오더메트리 정보를 요청한 t시간의 좌표이고, X'_t, Y'_t 은 오더메트리 정보가 센서 모듈에 도착한 시간 t'의 좌표이다.

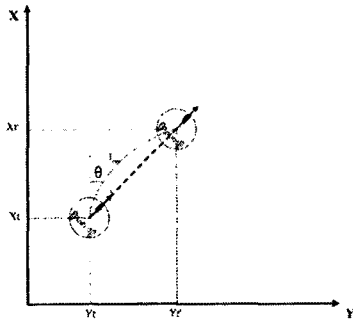


그림 2. 네트워크 지연 시간에 따른 로봇의 이동 좌표 오차

네트워크 지연 시간은 식 (1)과 같고, 네트워크 지연 시간에 따른 거리 오차는 식 (2)와 같다.

$$D = t' - t \quad (1)$$

$$l_{err} = v \times D \quad (2)$$

D 는 네트워크 지연 시간을 나타내며, l_{err} 는 네트워크 지연 시간에 따른 로봇의 이동 거리 오차를 나타낸다.

식 (2)를 고려하여 오더메트리 정보가 t' 시간에 센서 모듈로 도착했을 시점의 로봇 위치는 식 (3)과 같다.

$$X'_t = X_t + \cos\theta \times l_{err} \quad (3)$$

$$Y'_t = Y_t + \sin\theta \times l_{err}$$

3. 실험

3.1 실험 환경

실험을 위한 시스템 구성은 그림 3과 같다. 그림 3에서 보여지는 바와 같이 VFH 알고리즘은 센서 모듈에 적재되어 있고, 오더메트리 정보는 모바일 모듈로부터 전송되어진다.

모듈의 모든 태스크(Task)들은 가상머신에서 수행된

다. 리눅스 운영체제 상에서 수행되는 가상머신은 라운드 로빈 방법(Round Robin Method)으로 스케줄링(Scheduling) 되었고, 라운드 로빈의 스케줄링 타임 슬라이스(Time Slice)는 200ms이다.

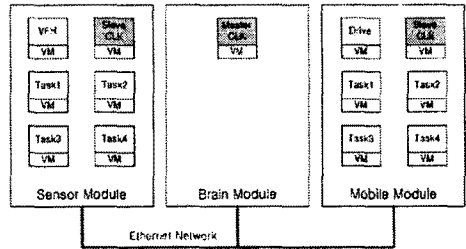


그림 3. 실험을 위한 시스템 구성도

각 모듈의 시간을 동기화 하기 위해 브레인 모듈에 있는 마스터 클럭(Master CLK) 태스크는 주기적으로 브레인 모듈의 현재 시간을 각 센서 모듈과 모바일 모듈에 있는 슬레이브 클럭(Slave CLK) 태스크로 전송한다.

네트워크 부하를 주기 위해 모바일 모듈의 태스크들(Task1, Task2, Task3, Task4)은 주기적으로 더미 네트워크 메시지(Dummy Network Message)를 센서 모듈로 전송한다.

네트워크 메시지의 시간 특성을 표 1에 정의하였다.

표 1. 전송 데이터

메세지	전송 주기	전송 데이터 크기
오더메트리 정보	10ms	22byte
글로벌 클럭	500ms	14byte
더미 메시지1	100ms	16byte
더미 메시지2	120ms	16byte
더미 메시지3	140ms	16byte
더미 메시지4	160ms	16byte

3.2 실험 결과

네트워크 환경을 적용함으로써 인해 발생된 지연 시간을 고려한 제안된 장애물 회피 알고리즘의 성능을 입증하기 위해, 제안된 장애물 회피 알고리즘에 대한 로봇의 이동 경로와 기존의 VFH 알고리즘에 대한 로봇의 이동 경로를 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

그림 4와 5에서 보여지는 바와 같이 제안된 알고리즘이 전형적인 VFH 알고리즘과 비교했을 때 더 부드럽게 움직임을 알 수가 있다. 특히, 로봇의 속도가 더 느릴 때 부드러움의 차이가 크게 보였다. 부드러움의 정도는 더 짧은 시간 소비를 의미하며, 출발 지점으로부터 목표 지점까지의 움직임에 대한 더 적은 에너지 소비를 의미한다.

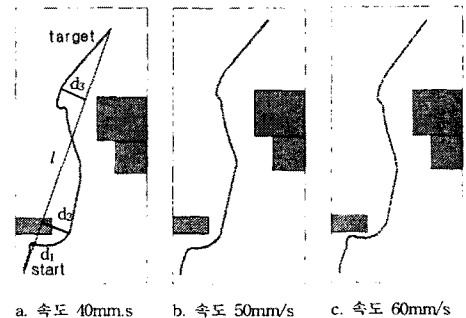


그림 4. 전형적인 VFH 알고리즘의 로봇 이동 경로

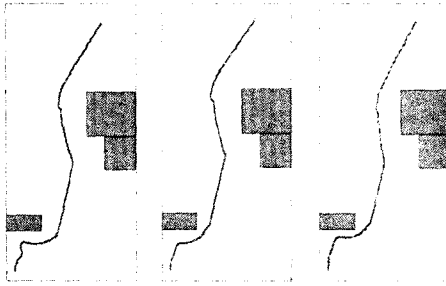


그림 4. 제안된 알고리즘의 로봇 이동 경로

본 논문에서는 제안된 장애물 회피 알고리즘의 효율을 정량적으로 평가하기 위해 평가 항목을 제안한다. 그림 4(a)에서 보여지는 바와 같이 출발 지점에서 목표 지점까지의 직선 경로는 시간과 에너지 관점에서의 가장 좋은 효율을 나타낸다. 본 논문에서는 직선에 가장 가까운 정도를 식 4와 같이 정의하였다. 여기서, l 은 출발 지점에서부터 목표 지점까지의 직선 거리이며, d_1 , d_2 , d_3 는 각 구간에서 직선으로부터 수직 최대 거리를 의미한다.

$$p = (d_1 + d_2 + d_3) / l \quad (4)$$

속도에 대한 평가 항목 p 의 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에서 보여지는 바와 같이 제안된 장애물 회피 알고리즘이 기존의 VFH 알고리즘보다 p 값이 항상 작게 나타났다.

따라서, 본 논문에서 제안된 장애물 회피 알고리즘은 기존의 VFH 알고리즘보다 시간과 에너지의 소비 관점에서 성능이 향상됨이 입증되었다.

표 2. 평가값 p

속도(mm/s)	40	50	60
보상 적용			
기존의 VFH	0.263	0.223	0.243
제안된 알고리즘	0.211	0.176	0.125

3. 결 론

본 논문에서는 네트워크 기반의 자율이동로봇에 적용할 수 있는 장애물 회피 알고리즘을 제안하였다. 제안된 장애물 회피 알고리즘은 VFH 알고리즘을 기반으로 하였고, 네트워크 기반 자율이동로봇 시스템에서의 로봇 위치 정보는 네트워크를 통해 들어온다고 가정하였다.

본 논문에서는 VFH 알고리즘을 위한 목표 벡터를 로봇의 위치 정보와 측정된 네트워크 지연 시간을 이용해 계산하였다. 전송 지연 시간의 측정은 타임 스탬프 방식을 사용하였고, 네트워크로 연결된 모듈들의 시간을 동기화 하기 위해 글로벌 클럭 동기화 기법을 사용하였다. 로봇의 위치는 측정된 지연 시간과 운동학을 사용하여 계산하였다.

제안된 장애물 회피 알고리즘과 기존의 VFH 알고리즘을 비교하여 본 논문에서 제안하는 네트워크 기반 자율이동로봇을 위한 장애물 회피 알고리즘의 성능을 입증하였다.

향후 연구과제로 네트워크 기반 자율이동로봇에서의 네트워크 전송 지연 시간을 고려한 센서 융합과 이펙터 융합(Effector Fusion)을 연구할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Mock and E. Nett, "Integrating Hard and Soft Real Time Communication in Autonomous Robot Systems", IECE/IEEE Joint Special Issue on Autonomous Decentralized Systems of the IECE Transactions on Communications, Vol. E83 B, No. 5, pp. 1067-1074, May 2000.
- [2] Hongryeol Kim, Daewon Kim, HongSeok Kim, and Hogil Lee, "Toward the Personal Robot Software Framework", ICCAS Conf., pp. 2307-2312, 2002.
- [3] Stergios I. Rouneliotis, "Distributed Multirobot Localization", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 18, No. 5, Oct 2002.
- [4] Andrew Howard, Maja J Mataric and Gaurav Sukhatme, "Relaxation on a Mesh: a Formalism for Generalized Localization", In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), Wailea, Hawaii, Oct 2001.
- [5] J. Borenstein, Y. Koren, "The Vector Field Histogram Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robot", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp 278-288, June 1991.