

## 수정형 DT알고리즘을 이용한 원격 이동 로봇의 장애물 회피

이 기성\* · 조 현철\*\*

홍익대학교 전자전기공학부\* · 경북전문대학 전자과\*\*

## Obstacle Avoidance for a Remote Mobile Robot Using Modified DT Algorithm

Keeseong Lee\* · Hyun-Chul Cho\*\*

Hong-ik University\* · Kyungbuk College\*\*

**Abstract** - A New path planning using modified DT(distance transform) algorithm for a remote mobile robot is proposed. The weakness of DT algorithm is that the generated path is not the best path of all possible paths. Modified DT algorithm proposed can compensate for the weakness of DT algorithm, but the operating time of the proposed is longer than that of DT algorithm.

## 1. 서 론

산업사회는 다양화·복합화되면서 이동로봇은 복잡한 작업환경뿐만 아니라 방사능 오염지역 및 하수구 등 인간이 접근하기 어려운 환경에서 동작을 수행해야 한다. 또한 두 대의 이동로봇이 서로 충돌을 회피하며 최적의 경로계획을 수립하기 위해서는 무선으로 상호 정보를 교환해야 하는 등 원격제어가 필요하다. 이러한 원격 이동로봇시스템은 최적의 경로계획 알고리즘, 센서기술 및 통신기술이 요구된다.

이동로봇의 경로계획에는 거리변환(DT:Distance Transform), 확률격자지도(Certainty Grid Map), 인공지능을 이용하는 방법 등이 있다[1~3]. 여기서 DT를 이용한 방법은 목표지점부터 거리를 전파시켜 임의의 지점에서 목표지점까지 주행해야 할 경로를 알아내는 방법이다. 그러나 거리변환으로 생성된 경로는 모든 가능한 경로 중 가장 짧은 경로가 아니라 수직선, 수평선 및 대각선으로만 이루어진 경로 중에서 가장 짧은 경로라는 단점이 있다. DT 알고리즘은 1990년대에는 3차원으로 확장되어 시간에 따라 변하는 장애물을 고려한 이동로봇의 경로계획에 사용되었지만[4], 경로가 수직 수평 대각선 방향만으로 제한되는 단점은 아직도 극복되지 못하고 있다.

본 연구에서는 생성된 경로가 DT 알고리즘의 단점인 수직, 수평이나 대각선 방향의 거리가 아닌 실제 거리가 되는 수정형 DT 알고리즘을 제안한다. 그리고 이를 원격 이동로봇에 적용하여 그 유용성을 실험한다.

## 2. 원격 이동로봇 시스템

CCD카메라로부터 획득된 이동로봇의 작업환경정보를 이용하여 로봇의 위치 및 장애물의 배치상태를 파악한다. 그리고 수정형 DT 알고리즘을 이용하여 최적의 경로를 발생시키고, 원격제어기는 그 정보를 이동로봇에게 무선통신으로 전송한다. 이러한 시스템 구축을 위해 본 연구에서는 로봇클라이언트와 로봇서버를 포함하는 네트워크프로그램을 TCP/IP를 이용하여 구축한다. 그리고 원격 이동로봇은 인텔사의 80C196KC20 CPU, 스테핑 모터제어기, BiM-418-F UHF 무선통신장치[5]로 구성한다.

로봇클라이언트는 이동로봇의 제어를 위한 클라이언트 프로그램으로서 이동로봇이 움직이면 변하는 로봇의 위치를 화면에 나타낸다. 또한 장애물 표시는 장애물이 바뀔 때마다 변한다.

로봇서버는 CCD 카메라로 입력받은 영상을 해석하여 로봇의 위치, 방향 및 장애물의 상태를 분석한다. 그리고 분석된 정보를 네트워크를 통해 조종자에게 전달하고, 조종자의 지시에 따라 이동로봇을 원격제어 한다. 즉 로봇서버는 로봇과 장애물의 위치를 찾아내고 이 정보를 로봇클라이언트에게 전송한다. 로봇클라이언트는 이 정보와 수정형 DT알고리즘을 이용하여 이동로봇이 장애물을 회피하며 목표지점까지 주행할 수 있는 최적의 경로를 생성한다. 이 정보를 원격제어기는 무선통신을 통해 이동로봇에 전송하며 이동로봇은 그 경로를 따라 주행한다.

로봇서버 프로그램에서는 로봇클라이언트 프로그램과 마찬가지로 포트를 직접 이용하지 않고 포트 사이의 연결을 추상화시킨 개념인 소켓을 이용한다. 연결되는 과정에서 클라이언트와 서버는 포트를 지정 받고 그것을 소켓과 묶으며, 그 소켓에 데이터를 읽고 씴으로써 통신한다.

## 3. 영상처리

## 3.1 로봇의 위치와 방향 결정

로봇의 위치와 방향을 찾기 위해 CCD카메라로부터 획득된 영상을 Thresholding한다. Thresholding 알고리즘은 Global Thresholding과 Local Thresholding으로 나누는데, 대체로 후자는 전자보다 처리속도가 느린 반면 성능은 좋다.

표 1은 Thresholding 알고리즘의 성능을 비교한 것으로서 본 연구에서는 조나센 알고리즘을 이용한다.

## 3.2 장애물의 파악

장애물을 찾기 위해 CCD카메라로부터 획득된 영상에서 Edge를 검출한다. Edge 검출은 Thresholding의 경우와는 달리 Edge 검출기의 성능을 평가하는 Kitchen Rosenfield 알고리즘이 있는데, 평가기준은 Edge Pixel의 연속성과 얇은 정도이다. 표 2는 Edge 검출 알고리즘을 비교한 것인데, 본 연구에서는 소벨 모서리 검출 알고리즘을 이용한다.

장애물을 파악하기 위해 Edge를 검출하면 로봇의 Edge도 함께 검출되므로 장애물이 로봇을 둘러싸고 있는 모습으로 파악될 수 있다. 이를 방지하기 위해 본 연구에서는 먼저 로봇의 위치를 찾고 그 다음 Edge를 찾는 후 로봇 근처의 Edge는 지워버린다.

표 1. Thresholding 알고리즘 비교

알고리즘	시간(sec)
Mean	0.05
p-Tile	0.06
Two Peaks	0.05
Edge Pixel	0.11
Iterative Selection	0.17
Gray Level Histogram	0.06
Pun	0.06
Kapur	0.11
Johannsen	0.06
Fuzzy Entropy	0.33
Fuzzy Yager	0.17
Minimum Error	0.05
Local Iterative Selection	17.89
Relaxation 1	23.35
Relaxation 2	23.18
Relaxation 3	53.93
Moving Average	0.11

표 2. Edge 검출 알고리즘 비교

알고리즘	시간(sec)	평가
Gradient Method 1	0.16	0.62
Gradient Method 2	0.16	0.67
Sobel	0.22	0.72
Kirsh	1.15	0.71
Marr-Hildreth	13.02	0.74
Canny	2.86	0.73
Shen-Castan(ISEF)	1.53	0.58

#### 4. 원격 이동로봇의 경로계획

##### 4.1 DT알고리즘

DT 알고리즘은 격자로 나누어진 Cell에서 목표 위치 부터의 거리를 전파시켜서 Cell 내의 어느 위치에서라도 목표지점까지의 거리를 쉽게 알 수 있는 방법이다. 이동 로봇은 로봇 근처에 있는 여덟 개의 Cell 중 목표지점에서 가장 가까운 Cell로 이동하는 동작을 반복하면 결국 목표지점에 도달하게 된다. 그러므로 DT는 대단히 빠르고 경로가 존재하면 반드시 찾아내는 알고리즘이지만, 생성된 경로가 대각선이나 수직, 수평 방향뿐이고 돌발 장애물에 대처하지 못한다는 단점을 가진다.

##### 4.2 수정형 DT 알고리즘

DT 알고리즘은 각각의 Cell에서 목표지점에 이르는 거리를 생성하지만, 이 거리는 실제 거리가 아니라 대각선이나 수직·수평 방향만을 사용했을 때의 거리이다. 따라서 본 연구에서는 DT 알고리즘의 이러한 단점을 보완하여 생성된 거리가 실제 거리가 되도록 한 수정형 DT 알고리즘을 제안한다. 이는 먼저 DT에 의해 생성된 경로 부근에 대해서만 다음과 같은 알고리즘을 적용한다.

첫째는 Cell들 중에 장애물에 충돌하지 않고 직선으로 목표지점에 도달 할 수 있는 Cell들을 찾아 목표지점과 그 Cell 사이의 거리를 Cell에 채운다. 채워진 Cell들을 1번 Cell이라 한다. 둘째는 첫째 과정에서 채워지지 않은 Cell 중에서 장애물에 충돌하지 않고 직선으로 1번 Cell에 도달할 수 있는 Cell을 1번 Cell의 값과 그 Cell까지의 거리의 합의 최소 값으로 채운다. 1번 Cell을 0번 Cell이라 하고 채워진 Cell을 1번 Cell이라 한다. 셋째는 Cell이 모두 채워질 때까지 둘째 과정을 반복한다. 이동로봇은 장애물과 충돌하지 않고 갈 수 있는 Cell 중에서 가장 숫자가 적은 Cell을 찾아서 계속 이동한다.

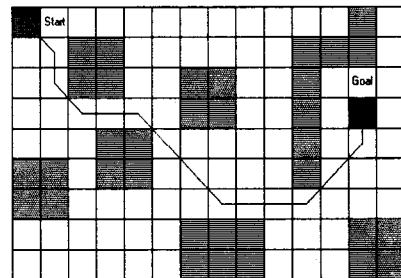
#### 5. 실험결과

표 3은 14×9인 작업공간에서 DT와 수정형 DT알고리즘에 의한 경로계획의 성능을 비교한 것이다. 표에서 보듯이 수정형 DT알고리즘의 Tern 수는 DT알고리즘에 비해 줄어들어 생성경로가 실제 거리임을 알 수 있다. 그러나 경로생성 시간은 DT에 비해 오히려 증가하였다.

그림 1~2는 표 3의 작업공간에서 DT 및 수정형 DT 알고리즘에 의해 계획된 경로를 나타낸다. 그림에서 보듯이 수정형 DT에 의해 생성된 경로는 수직, 수평, 대각선 방향의 거리가 아닌 실제 거리임을 알 수 있다.

표 3. DT와 수정형 DT 알고리즘 비교

알고리즘		항목	시간(sec)	Turn
DT 알고리즘	Fig. 1 (a)		900μ	7
	Fig. 1 (b)		700μ	5
수정형 DT 알고리즘	Fig. 2 (b)		0.28	3
	Fig. 2 (b)		0.15	2



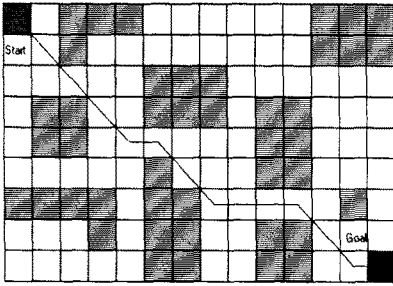
(a)

## 5. 결론

본 연구에서 제안한 수정형 DT 알고리즘의 생성 경로는 수직, 수평이나 대각선 방향의 거리가 되는 DT 알고리즘의 단점을 보완한 실제 거리임을 확인하였다. 그러나 제안한 알고리즘은 DT 알고리즘에 비해 경로 생성시간은 증가하였다. 또한 원격제어 시스템 구축에서 CCD 카메라는 작업 천장에 고정되어 있다. 따라서 차후에는 DT 알고리즘에 비해 경로 생성시간을 감소시키는 알고리즘과 이동로봇은 자신의 CCD카메라와 3차원 영상처리에 의해 자신의 위치와 주위의 환경을 파악하는 시스템 연구를 계속적으로 진행해야 한다.

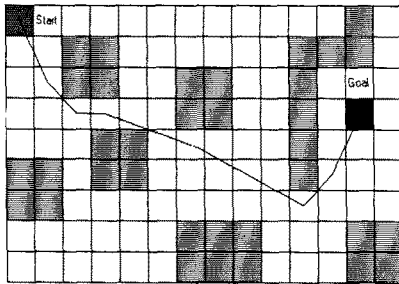
### [참 고 문 헌]

- [1] R.A Jarvis, "Distance Transform Based Path Planning for Robot Navigation," *Recent Trends in Mobile Robots*, pp. 3-31, 1993.
- [2] Borenstein, J. and Koren, Y., "Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* Vol. 19, No. 5, Sept/Oct. pp. 1179-1187, 1989.
- [3] Jilong Lee and Zeungnam Bien, "Collision-free trajectory control for multiple robots based on neural optimization network," *Robotica*, Vol. 8, pp. 185-194, 1990.
- [4] R.A Jarvis, "Collision-Free Path-Planning in Time-Varying Obstacle Fields Without Perfect Prediction." *Submitted to the 6th International Conference on Advanced Robotics*, Tokyo, Japan, Nov. 1-2, 1993.
- [5] *BiM-418-F Data Sheet*, R.F. Solutions, pp. 1-8, 1996.

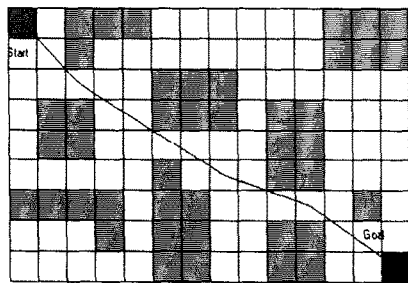


(b)

그림 1. DT 알고리즘에 의한 경로계획



(a)



(b)

그림 2. 수정형 DT알고리즘에 의한 경로계획