

# 입자 군집 최적화와 개선된 Dijkstra 알고리즘을 이용한 경로 계획 기법

## Path Planning Method Using the Particle Swarm Optimization and the Improved Dijkstra Algorithm

강환일 · 이병희 · 장우석

Hwan-Il Kang · Byung-Hee Lee · Woo-Seok Jang

明知大 工大 情報工學科 教授, 工博 · 明知大 工大 情報工學科 碩士課程

· 明知大 工大 情報工學科 碩士課程

### 요 약

본 논문에서 개선된 Dijkstra 알고리즘과 입자 군집 최적화를 이용한 최적 경로 계획 알고리즘을 제안한다. 최적의 경로를 구하기 위해 우선 이동 로봇 공간에서 MAKLINK를 작성하고 MAKLINK와 관련한 그래프를 얻는다. 여기서 MAKLINK는 장애물의 꼭지점을 연결하면서 블록집합이 만들어지도록 하는 모서리의 집합을 의미한다. 얻은 그래프에서 출발점과 도착점을 포함하여 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 최소 비용 최적 경로를 얻고 이 최적의 경로에서 개선된 Dijkstra 경로를 얻는다. 마지막으로 개선된 Dijkstra 경로에서 입자 군집 최적화를 적용하여 최적의 경로를 얻는다. 제안된 방법이 논문[1]에 나온 결과보다 더 좋은 성능을 갖는다는 것을 실험을 통해 입증한다.

### Abstract

In this paper, we develop the optimal path planning algorithm using the improved Dijkstra algorithm and the particle swarm optimization. To get the optimal path, at first we construct the MAKLINK on the world environment and then make a graph associated with the MAKLINK. The MAKLINK is a set of edges which consist of the convex set. Some of the edges come from the edges of the obstacles. From the graph, we obtain the Dijkstra path between the starting point and the destination point. From the optimal path, we search the improved Dijkstra path using the graph. Finally, applying the particle swarm optimization to the improved Dijkstra path, we obtain the optimal path for the mobile robot. It turns out that the proposed method has better performance than the result in [1] through the experiment.

Key Words : Path Planning, Dijkstra Algorithm, MAKLINK, Particle Swarm Optimization, Improved Dijkstra Algorithm

## 1. 서 론

충돌 회피 경로의 생성은 이동 로봇의 경로생성의 중요한 부분이다. 충돌회피 경로 생성 시 본 논문에서 제시한 가정은 로봇이 사전에 로봇의 주위 환경에 관한 지식을 모두 갖고 있다는 사실이다. 이 가정 하에 여러 방법, 예를 들면 가시그래프(visibility graph)[9], 인공 포텐셜 장 이론(artificial potential field)[3] 및 그리드(grid) 방법[4]이 존재한다.

가시그래프의 효율성은 낮은 편이며 인공 포텐셜 장 이론은 비교적 간단한 구조를 갖고 있고 실시간 충돌회피 경로생성에 이용 가능하지만 전역적 최적화에 실패하여 국부 최적화된 경로를 얻는 경우가 발생한다. 진화 알고리즘을

이용하는 방법이 있는데 우선 개미 집단 알고리즘(ant colony algorithm)[1] 혹은 입자 군집화 알고리즘[2,6]을 이용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 입자 군집화 알고리즘을 이용하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 개선된 Dijkstra 알고리즘과 입자 군집 최적화를 이용한 최적 경로 계획 알고리즘을 제안한다. 2절에서는 최적의 경로를 구하기 위해 우선 이동 로봇 공간에서 MAKLINK를 작성하고 MAKLINK와 관련한 그래프를 얻는다. 여기서 MAKLINK는 장애물의 꼭지점을 연결하면서 블록집합이 만들어지도록 하는 모서리의 집합을 의미한다. 3절에서는 얻은 그래프에서 출발점과 도착점을 포함하여 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 최소비용 최적 경로를 얻고 4절에서는 이 최적의 경로에서 개선된 Dijkstra 경로를 얻는다. 5절에서는 마지막으로 개선된 Dijkstra 경로에서 입자 군집 최적화를 적용하여 최적의 경로를 얻는다. 제안된 방법이 논문[1]에 나온 결과보다 더 좋은 성능을 갖는다는 것을 실험을 통해 입증한다. 그리고 실험과 결론을 기술한다.

접수일자 : 2007년 11월 20일

완료일자 : 2007년 12월 28일

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (KOSEF-R-01-2003-000-10014-0)의 지원으로 수행되었습니다.

## 2. MAKLINK 그래프 생성법

MAKLINK 그래프를 얻기 위해 다음 알고리즘을 이용한다.

단계1: 모든 장애물을 포함하는 볼록 집합(convex set)을 구성하라. 볼록집합의 모서리는 장애물의 모서리가 될 수 있다. 생성된 볼록집합의 꼭지점에서 MAKLINK 선을 구성한다. 선들은 전체 외곽 경계선에 수직이며 각 방향에서 더 짧은 선을 택한다.

단계2: 모든 다른 자유 MAKLINK 선을 논문[1,5]의 정의에 따라 생성한다. 생성되는 각 자유 볼록면적은 최소 2개 이상의 모서리로 구성된다.

그림 1에 생성된 자유 연결 선(free link line)들을 나타냈다. 이동 로봇이 활동하는 공간은 350m × 350m 로 하고 장애물 6개의 꼭지점의 위치를 각각 (40,288), (66,288), (40,151), (66,151), (115,275), (95,214), (123,163), (170,245), (90,106), (90,45), (183,45), (183,106), (238,311), (212,248), (274,268), (258,205), (234,190), (234,111), (296,111), (296,137), (170,170), (190,150) 및 (210,170)으로 설정한다. [1]

그림 2는 그림1에서 구한 자유 링크의 중점을 연결하고 마지막으로 출발점과 종점을 연결하여 얻는다. 단 그래프의 선들은 자유 선(link)과 만나지 않도록 주의한다.

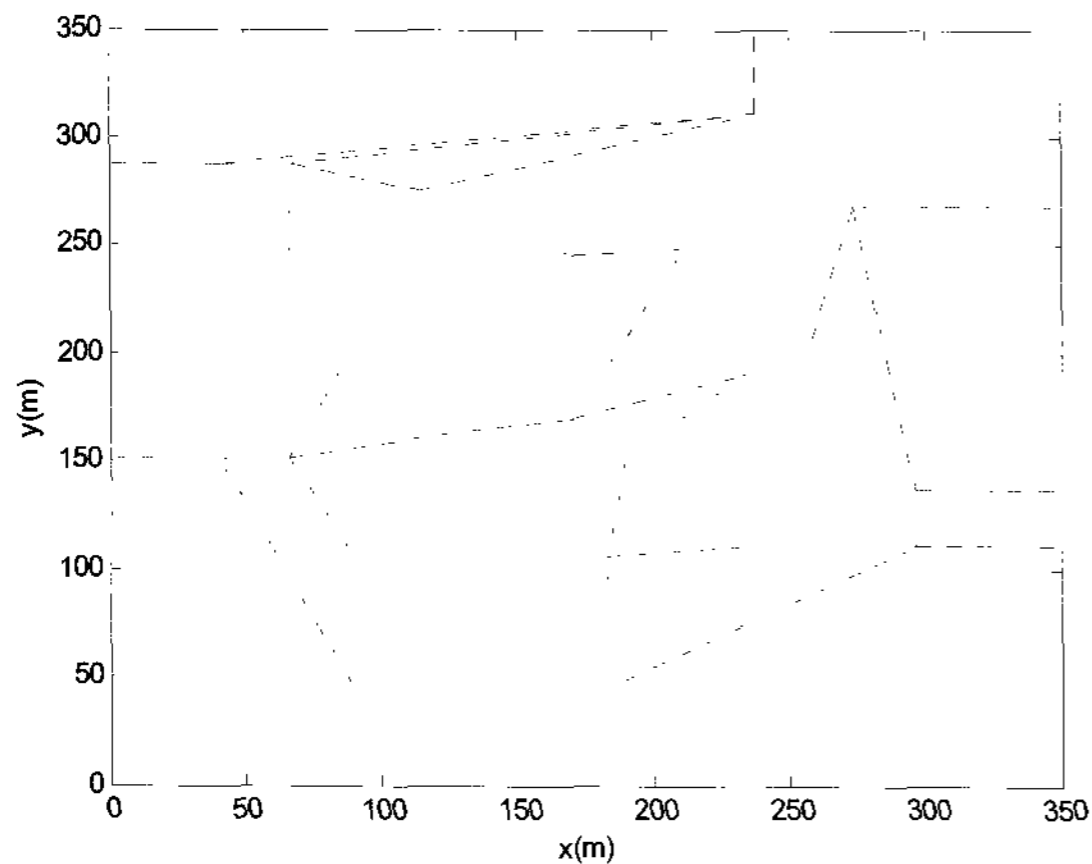


그림 1. 모든 장애물을 포함한 모든 자유 선(links)  
Fig. 1. All free links including all the obstacles

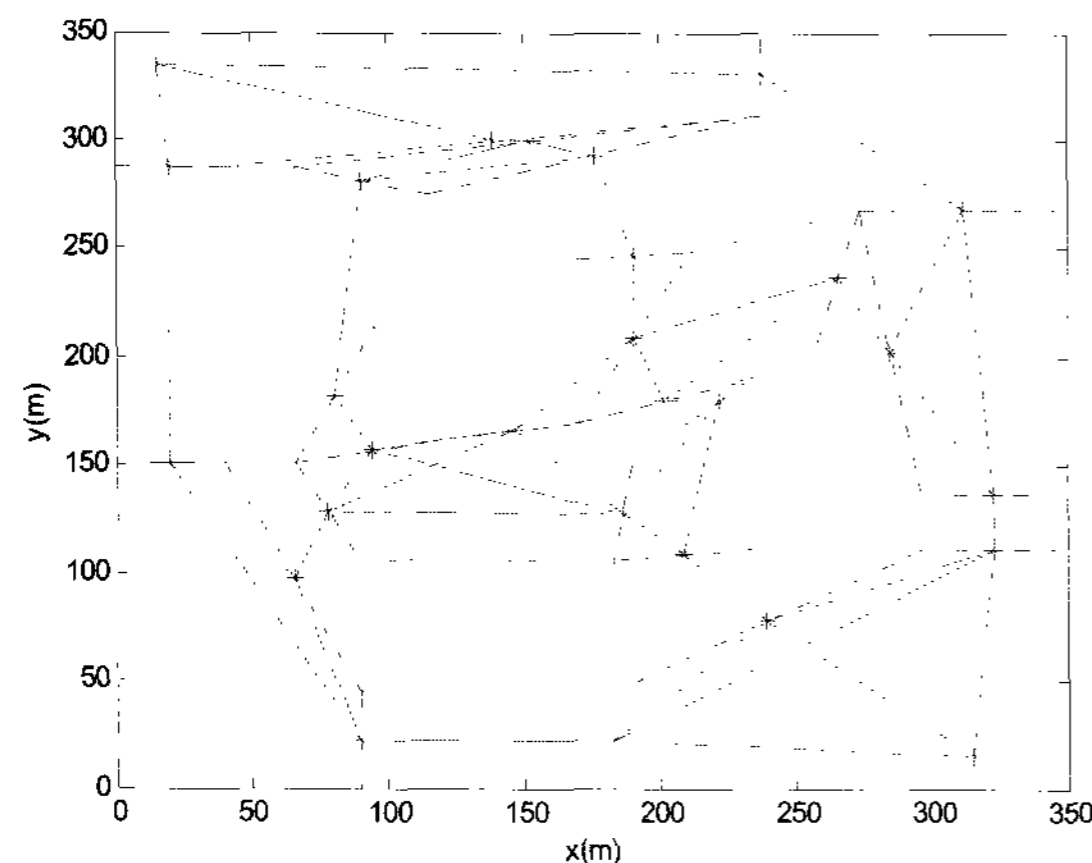


그림 2. 모든 자유 선에서 생성한 MAKLINK 그래프  
Fig. 2. The graph generated from the all the free links

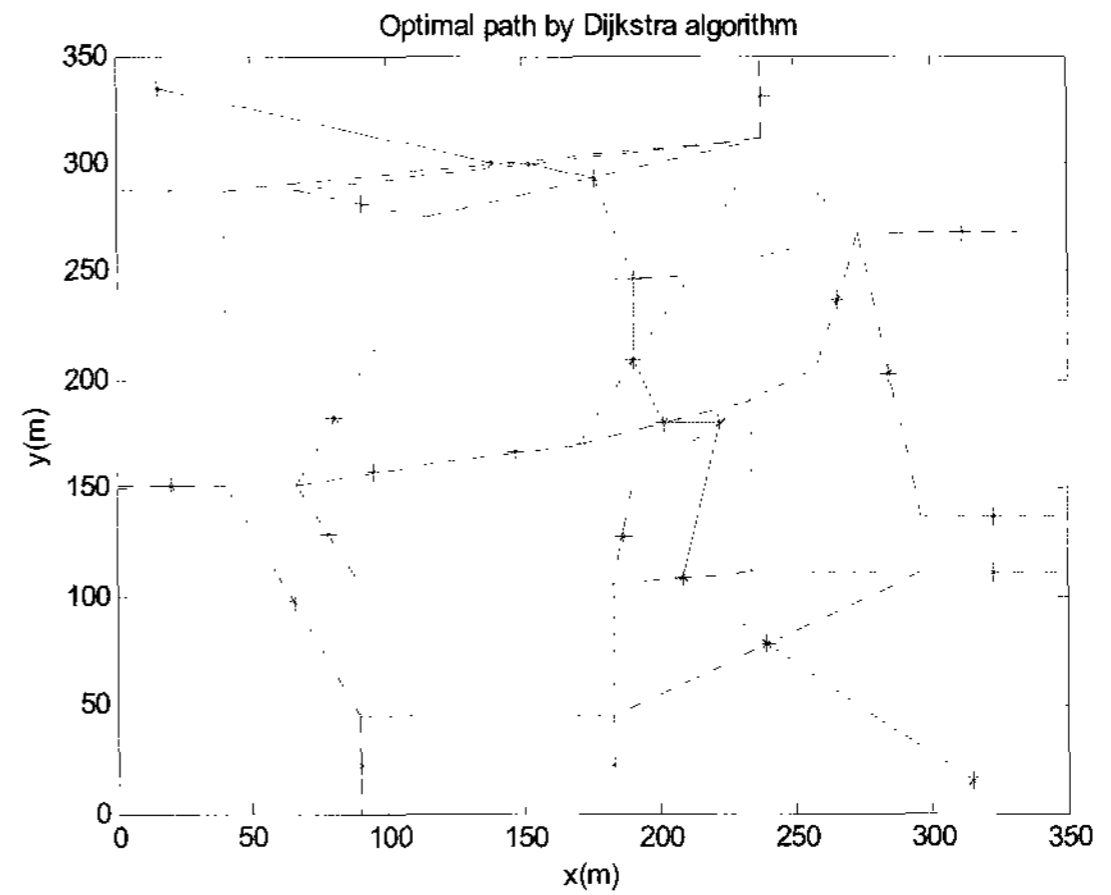


그림 3. Dijkstra 알고리즘에서 얻은 가장 최소의 경로  
Fig. 3. The shortest path using the Dijkstra algorithm

## 3. Dijkstra 알고리즘

그래프에서 가장 최소비용의 경로는 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 구할 수 있다. Dijkstra 알고리즘을 기술하기 전에 몇 가지 정의가 필요하다[7].

$D(v)$ : 출발점( $u$ )에서 노드(node)  $v$  까지의 최소비용

$p(v)$ : 출발점에서 노드  $v$ 까지 가는 최소비용 경로에서 노드  $v$ 의 바로전의 노드

$N'$ : 만약 출발점에서 노드  $v$ 까지 가는 경로가 최소비용이라는 것을 알면 노드  $v$ 는  $N'$ 에 속한다. 즉 노드의 부분집합이다. 노드의 전체집합은  $N$ 이다.

Dijkstra 알고리즘은 다음과 같다.

초기화:

$$N' = \{u\}$$

모든 노드  $v$  에 관하여

만약 노드  $v$  가 노드  $u$ 의 이웃노드이면

$$\text{Then } D(v) = c(u,v)$$

아니면  $D(v) = \infty$

반복시작

$D(w)$ 가 최소가 되는  $N'$ 에 없는 노드  $w$ 를 찾아서

$N'$ 에 노드  $w$ 를 추가한다.

노드  $w$ 의 모든 이웃 노드  $v$ 에 관하여  $D(v)$ 를 갱신한다.

여기서

$$D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v)) \text{ 이다.}$$

$N' = N$  이 될 때까지 반복한다.

Dijkstra 알고리즘을 그림 2에 적용하여 그림 3을 얻는다.

## 4. 개선된 Dijkstra 알고리즘과 제안된 알고리즘

MAKLINK그래프에서 구한 Dijkstra 알고리즘을 이용한

최소비용 충돌회피 경로를 개선할 여지가 있다. 즉 삼각형 부등식을 이용하여 Dijkstra 경로에서 경로의 길이를 더 줄일 수 있다. 모든 노드에 관하여 다른 노드를 연결할 수 있는가를 검사하여 경로의 길이를 더 줄일 수 있다. 이 방법을 개선된 Dijkstra 알고리즘이라 명명한다[8].

최적의 충돌회피 경로를 구하는 제안된 방법은 다음과 같다.

단계 1: 모든 장애물을 포함하는 환경에서 MAKLINK 그래프를 얻는다.

단계 2: MAKLINK 그래프에서 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 부 최적화된 경로를 얻는다.

단계 3: 개선된 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 더욱더 최적화된 부 최적화 경로를 얻는다.

단계 4: 단계 3에서 구한 경로에서 각 경로를 모서리를 따라 변화시키면서 최적화시키는 데 가중치 적응 방법 입자 군집 최적화[6]를 적용하여 최적화된 충돌회피 경로를 얻는다. 가중치 적응 방법 입자 군집 최적화 알고리즘은 5절에서 설명한다.

### 5. 입자 군집 최적화

입자 군집 최적화(particle swarm optimization: PSO)는 Eberhart와 Kennedy에 의해 1995년에 개발된 진화 계산 기법이다. 이 방법은 새 모임이나 어군의 모임에서 힌트를 얻었다. Shi와 Eberhart[6]에 의해 가중치 적응 방법을 이용하여 기존방법을 개량하였다. 유전자알고리즘과 비교하여 입자 군집 최적화는 쉽게 구현되고 조절할 수 있는 변수의 수가 적다는 점이다. 입자 군집 최적화기법은 여러 분야에서 성공적으로 적용되고 있다. 즉 함수 최적화, 인공신경망 훈련, 퍼지시스템 제어 등에 이용할 수 있다. 이 논문에서는 개선된 Dijkstra 알고리즘을 이용한 후 입자 군집 최적화기법을 이용하여 최소경로 충돌회피 경로를 얻는다. 입자 군집 최적화에 관한 식은 다음 두 가지로 표현된다.

$$V_i^{k+1} = (w V_i^k + c_1 r_{i1}^k (P_i^k - X_i^k) + c_2 r_{i2}^k (P_g^k - X_i^k))$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1}$$

여기서  $w$ 는 관성질량이고  $c_1, c_2$ 는 각각 양의 상수이며 각각 인식계수 및 사회계수라고 한다.  $r_{i1}, r_{i2}$ 는 각각 난수이며 범위는  $[0,1]$ 에서 균등분포를 갖는다.  $V_i^{k+1}$ 는 입자  $i$  번째의  $k+1$  번째 반복시의 입자의 속도이며  $X_i^{k+1}$ 는 입자  $i$  번째의  $k+1$  번째 반복시의 입자 위치를 나타낸다.  $P_i^k$ 와  $P_g^k$ 는  $k$  번째 반복시 각각 지역최적화와 전역최적화를 나타내는 입자위치를 뜻한다.

### 6. 실험

그림 4에서 3개의 최적의 경로를 보여준다. 첫 번째 경로는 Dijkstra 알고리즘을 이용하였고 두 번째 알고리즘은 개선된 Dijkstra 알고리즘을 이용하였다. 마지막으로 세 번째는 개선된 Dijkstra 알고리즘과 가중치 적응방법 입자군집 최적화 기법을 이용하였다. 표 1에 나타난 바와 같이 개

선된 Dijkstra 알고리즘과 가중치 적응방법 입자군집 최적화 기법을 이용한 방법이 다른 두 방법보다 더 짧은 길이를 얻을 수 있다.

세 번째 방법은 기존의 논문[1]에 나타난 최적의 길이 439.372m보다 더 짧은 길이 439.0011m 를 구할 수 있었다.

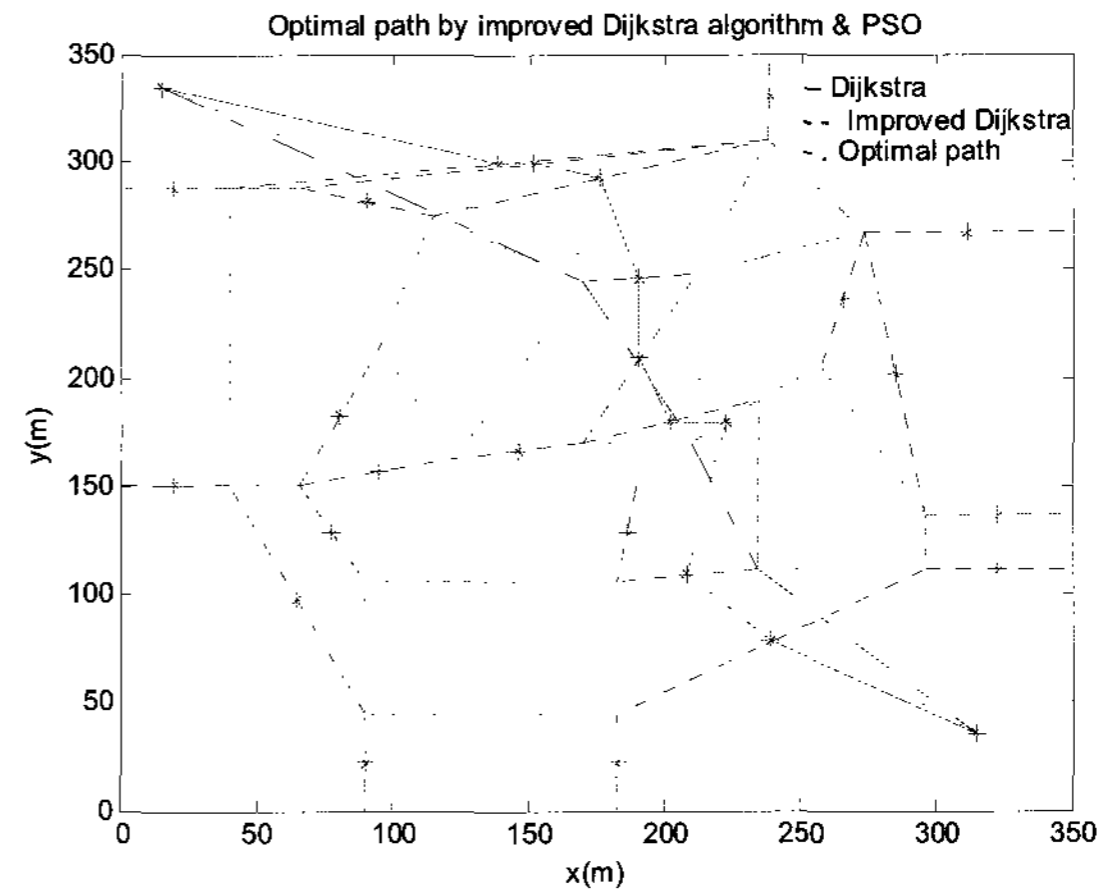


그림 4. Dijkstra 알고리즘, 개선된 Dijkstra 알고리즘, 및 개선된 Dijkstra 알고리즘과 PSO를 이용한 최적의 경로  
Fig. 4. Optimal paths by Dijkstra algorithm, improved Dijkstra algorithm, and the improved Dijkstra algorithm and the PSO

표 1: 실험에 관한 결과  
Table 1. Test results for the experiment

	Dijkstra algorithm 알고리즘만 사용	개선된 improved Dijkstra 알고리즘만 사용	개선된 improved Dijkstra 알고리즘과 PSO
Length[m]	507.6910	472.5326	439.0011

### 7. 결 론

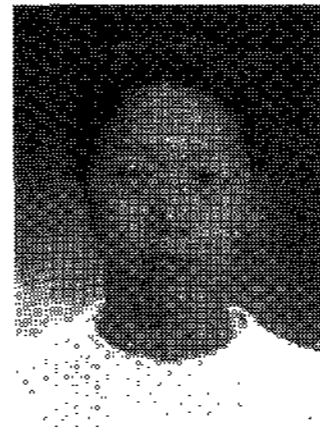
본 논문에서 개선된 Dijkstra 알고리즘과 가중치 적응 방법 입자군집 최적화 기법을 이용하여 충돌회피 최소의 비용을 갖는 최소길이 이동경로를 구하였다. 우선 MAKLINK 그래프를 얻고 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 부최적의 경로를 얻는다. 이 경로에 개선된 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 더 개선된 부 최적의 경로를 얻는다. 마지막으로 입자 군집 최적화 기법을 이용하여 최적의 경로를 얻었다. 이 결과는 기존의 논문의 결과보다 더 우수한 결과를 얻었다 [1].

### 참 고 문 헌

[1] Tan Guan\_Zheng, HE Huan and SLOMAN Aaron, "Ant Colony System Algorithm for Real-Time Globally Optimal Path Planning of Mobile Robots, Acta Automatica Sinica, vol. 33,

- no. 3, pp. 279–285, March 2007.
- [2] Yuan-Qing Qin, De-Bao Sun, Ning Li and Yi-Gang Cen, "Path planning for Mobile Robot Using the Particle Swarm Optimization with Mutator Operator," Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Shaghai, pp. 2473-2478, August 2004.
- [3] Yoram Keron, Johann Borenstein, "Potential field methods and their inherent limitations for mobile robot navigation," Conf. Robot Automation, California, pp. 1398-1404, April, 1991.
- [4] Ma Zhao-qing, Yuan Zen-ren, "Real time navigation and obstacle avoidance based on grids method for fast mobile robot," Robot, No. 6, pp. 344-348, Nov., 1996.
- [5] Habib M K, ASama H., "Efficient method to generate collision free paths for autonomous mobile robot based on new free space structuring approach," IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS'91, Osaka, Japan, pp. 563–567, 1991.
- [6] Shi Y. and Eberhart, R. C., "Empirical study of particle swarm optimization," Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ, pp. 1945–1950, 1999.
- [7] James F. Kurose and Keith W. Ross, *Computer networking*, 3rd Edition, Pearson, Addison Wesley, Boston, 2005.
- [8] TAN Guan-zheng, HE Huan, Aaron Sloman, "Global optimal path planning for mobile robot based on improved Dijkstra algorithm and ant system algorithm", J.Cent. South Univ. Technol. Vol. 13, No.1, 2006.
- [9] Nilsson, N. J. "A mobile automation, an application of artificial intelligence technique", *Proc. of first International Joint Conference, Artificial Intelligence*, pp. 509–520, 1969.

Fax : 031-321-6478  
E-mail : hwan@mju.ac.kr



이병희(Byung Hee Lee)  
2007년 : 명지대 정보공학과 졸업.  
2007년~현재 : 동 대학원 정보공학과 석사과정

관심분야 : 퍼지 이론, 패턴인식, 워터 마킹, 정보보호, 진화알고리즘

Phone : 031-330-6757  
Fax : 031-321-6478  
E-mail : lbh0329@naver.com



장우석(Woo Seok Jang)  
2005년 : 미국 일리노이 공과대학 IT 연수 과정 수료  
2006년 : 명지대 정보공학과 졸업.  
2006년~현재 : 동 대학원 정보공학과 석사과정

관심분야 : 퍼지 시스템, 패턴인식, Evolutionary Computation, 이족로봇 걸음걸이 알고리즘 구현

Phone : 031-330-6757  
Fax : 031-321-6478  
E-mail : drunkenws@nate.com

## 저 자 소 개



강환일(Hwan Il Kang)  
1980년 : 서울대학교 전자공학과 졸업  
1982년 : KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1992년 : 미국 위스콘신매디슨 대학 전기 공학과 졸업(공학박사)  
1996년~현재 : 명지대학교 정보공학과 교수  
2003년 : 미국 퍼듀대학교 방문교수

2004년 : 캐나다 토론토 대학 단기 방문교수

관심분야 : 퍼지 이론 및 응용, 유전알고리즘, 시계열 예측

Phone : 031-330-6757