

실내에서 작업하는 로봇의 휴리스틱 작업경로계획

현웅근*

A heuristic path planning method for robot working in an indoor environment

Woong-Keun Hyun*

요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 작업하는 로봇의 무 충돌 경로계획을 위하여 휴리스틱 작업 경로계획 방법을 제안한다. 이 방법은 모양공간을 격자로 분할하여 작은 크기의 격자를 여러개 합한 큰 격자로 장애물 모양공간을 재구성 하여 시작점의 노드와 목표점의 노드간의 연결을 노드와 노드사이의 거리와 장애물의 확률적 분포 같은 지역적인 정보를 이용하여 통로를 만들고 그 공간에서 작은 격자의 모양공간에서 그래프 연결을 찾는 방법으로 경로 및 작업을 계획하는 방법이다. 이 방법은 전체 모양공간에 대한 그래프를 기억시킬 필요가 없어 모양공간 내에서 노드나 격자의 증가에 따른 기억용량의 증가가 크지 않으며 전체 그래프에 대한 탐색을 하지 않으므로 계산량이 많지 않다. 제안한 알고리즘의 평가를 위하여 이동 로봇이 격자화된 실내지형에 대하여 최단거리의 경로계획을 성공적으로 수행하였음을 확인하였다.

ABSTRACT

A heuristic search algorithm is proposed to plan a collision free path for robots in an indoor environment. The proposed algorithm is to find a collision free path in the gridded configuration space by proposed heuristic graph search algorithm. The proposed algorithm largely consists of two parts : tunnel searching and path searching in the tunnel. The tunnel searching algorithm finds a thicker path from start grid to goal grid in grid configuration space. The tunnel is constructed with large grid defined as a connected several minimum size grids in grid-based configuration space. The path searching algorithm then searches a path in the tunnel with minimum grids. The computational time of the proposed algorithm is less than the other graph search algorithm and we analysis the time complexity. To show the validity of the proposed algorithm, some numerical examples are illustrated for robot.

키워드

Heuristic-Method, Path-Planning, Grid, Graph Search
휴리스틱방법, 작업경로계획, 그리드, 그래프 탐색

1. 서 론

고령화가 진행됨에 따라 인간을 대신하는 로봇의 역할은 점점 커지고 있다. 한 예로, 대형 건물 및 지하철 플랫폼 등에서 작업하는 로봇의 역할이 기대

되고 있다. 하지만 이러한 일은 아직까지도 대다수 인력에 의해 처리되고 있다. 현대의 주거공간이나 사무공간, 지하철 플랫폼 등 대형공간은 디지털화된 건설도면을 바탕으로 구축된 공간이므로 복도, 사무실, 방이나 거실, 플랫폼에 대한 수치가 제공된다. 본 연구

* 교신저자(corresponding author) : 호남대학교 전자공학과(wkhyun@honam.ac.kr)
접수일자 : 2014. 06. 19

심사(수정)일자 : 2014. 07. 21

게재 확정일자 : 2014. 08. 11

에서는 이동 로봇이 이미 지형 지도에 대한 정보를 알고 있다는 가정에서 출발한다. 디지털 도면이 없거나 실제 지형이 변경 되었을 경우 환경 지도 작성은 로봇이 자신의 위치를 아는 로컬리제이션(localization) 기술[1],[4]과 실내 공간을 주행하는 네비게이션(navigation) 기술을 바탕으로 한 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) [2-3][5] 기법에 의해 작성된다. 본 논문에서는 로봇의 오프라인 충돌회피 경로계획을 위한 휴리스틱 탐색 알고리즘을 제한한다. 본 논문에서 기술한 경로계획은 로봇이 작업공간에서의 장애물 위치 및 환경정보를 알고 있다는 가정하에서 적용되는 방법으로 Off-Line 경로계획 방법이다. 개발한 플래너(Planner)는 다음과 같은 기능을 갖고 있다. (1) 작업 공간에 대한 모양공간 생성 및 모양공간(configuration space)에서의 장애물지도 구성, (2) 장애물 회피 알고리즘 및 경로생성 등이다.

II. 본 론

2.1. 작업환경에 대한 모양공간의 형성 및 경로 계획을 위한 정의

경로계획 작업은 2차원 평면상에서 이루어지므로 작업환경은 2차원 유클리디언 공간으로 표시한다. O_j 를 모양공간 C 내에서의 j 번째 배치된 정지물체, 즉 고정된 장애물이라 하면 모양공간(configuration space)에서의 장애물 영역은

$$CO_j = \{q \in C \mid A(q) \cap O_j \neq \emptyset\} \quad (1)$$

으로 주어진다. 여기서 q 는 이동 로봇의 위치 x, y 및 자세 θ 를 나타내는 집합이며 $A(q)$ 는 x, y , 그리고 θ 로 결정되는 이동로봇의 직교좌표 공간 내에서의 영역이다. 직교좌표 공간 W 내에 고정 장애물의 개수가 p 라 할때 장애물 영역의 총 공간은 $\bigcup_{i=1}^p CO_i$ 이므로 모양공간내의 장애물이 없는 자유공간 C_{free} 는 식(2)와 같이 표현된다.

$$C_{free} = C - \bigcup_{i=1}^p CO_i \quad (2)$$

C_{free} 에 포함되는 모든 q 에 대하여 $A(q)$ 로 구성되는 영역을 W_{free} 이라 기술하고, 이를 경로계획 가능 영역이라 한다. 그러면 W_{free} 는 직교좌표 공간 W 영역 내에서 이동 로봇이 물리적으로 진입 가능한 영역으로 표시된다. 로봇의 모양공간을 $C \subset \mathbb{R}^N$ 로 표기하자. 여기서 2차원 공간의 경우 N 은 2이다. 그리고 (x,y,θ) 로 표현되는 모양공간 C 의 각축을 $\Delta x, \Delta y, \Delta \theta$ 로 분해하자. 여기서 $\Delta x, \Delta y, \Delta \theta$ 는 각각 충분히 작은 양의 상수이다. 그리고 C_{free} 와 $\bigcup_{i=1}^p CO_i$ 를 격자화한 모양공간 각각 C_c 와 CO_c 라 하자.

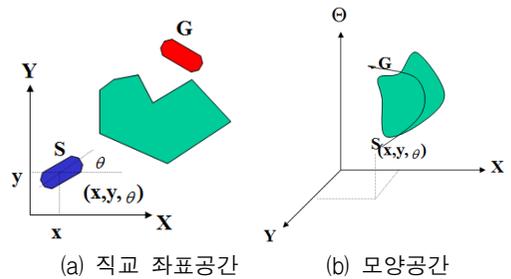


그림 1. 2차원 평면상에서의 직교 좌표공간과 모양공간

Fig. 1 Cartesian space and configuration space in 2D

그리고 공간 C_c 와 CO_c 에서 분해된 격자의 각 위치를 각각 a 와 a_0 로 표기하자. 그리고 β 를 몇개의 이웃한 a 의 모음으로 하고 "큰격자"(Big Cell)라 명명하자. 그러면 β 내에는 2차원 공간의 경우 9개의 a 가 존재하는 것이 된다. 그리고 β 에 의해 나누어진 공간 C 를 C_β 라 하자. 여기서 β 는 C_β 공간의 각 축을 따라 $b \Delta q$ 로 분해되어 만들어진 한 격자가 된다(여기서 b 는 C 를 β 로 나눈 크기). 이제 출발자세와 목표자세를 각각 a_{start} 과 a_{goal} 로 나타내자. 그리고 β_{start} 와 β_{goal} 을 각각 a_{star} 과 a_{goal} 을 포함하는 β 들로 정의하자.

본 연구에서는 경로를 계획하기 앞서 β_{start} 와 β_{goal} 을 포함한 β 들의 일련의 연결에 의해 터널을 만든다. 그리고 확장된 모양공간 C 상에서가 아니라 그 터널을 이루는 β 내에서 a 들의 일련의 연결에 의해 경로를 찾아나간다. 이 경우 터널내에서 경로를 계획하거나 터널을 만들기 위해서는 이웃한 격자들 사이의 연결을 위한 접촉 형태를 어떻게 결정하는가가 중요하게 된

다. N차원 공간상에서 어떤 격자와 그 격자에 접해있는 격자와의 접촉형태는 다음과 같이 두 가지로 나누어질 수 있다

1) 격자 B에 대하여 그 격자 B와 인접한 격자를 4개 갖고 있는 형태, 그것을 $\Sigma(B)$ 라 명명한다.

2) 어떤 격자 A에 대하여 그 격자 A를 둘러싼 (3^N-1) 개의 격자를 갖고 있는 형태, 이를 $\Gamma(A)$ 라 명명한다.

그림 2(a)와 (b)는 각각 2차원 공간에서 이러한 격자 A, B에 대한 $\Sigma(B)$ 와 $\Gamma(A)$ 를 나타내 주고 있다.

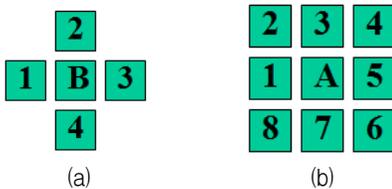


그림 2. (a) 2차원 공간상에서 격자B에 대한 격자집합 $\Sigma(B)$, (b) 격자A에 대하여 격자의 집합 $\Gamma(A)$
 Fig. 2 (a) 4 neighboring cells set $\Sigma(B)$, (b) 8 neighboring cells set $\Gamma(A)$ surrounding cell A in 2 dimensional space

터널을 만들에 있어서 인접한 β 들 사이의 접촉 형태는 터널 내에서 α 로 연결된 경로를 발견할 가능성이 고려되어 결정되어야 한다. 즉, β 들 사이에 접촉면이 많은 접촉 형태를 선택하여야 접촉된 다른 β 들 사이에서 α 의 연결인 경로를 발견할 가능성이 많을 것이며, 이러한 관점에서 β 들의 접촉 형태를 결정하여야 한다. 어떤 β 와 그 β 에 대한 $\Sigma(\beta)$ 내의 β 와의 접촉면은 두 인접한 β 사이에 접한 면적과 같은 반면, 어떤 β 와 그 β 에 대한 $\Gamma(\beta)$ 와의 사이의 접촉은 점형 접촉(point contact)이 생길 수가 있다. 따라서 접촉면이 많아야 한다는 견지에서 보았을 때 터널을 만들기 위한 β 들의 접촉 형태는 $\Sigma(\beta)$ 가 $\Gamma(\beta)$ 보다 더 타당하다.

2.2. 휴리스틱 경로계획알고리즘

탐색시간과 계산량을 줄이기 위해 새로운 계층적 국소 경로 계획 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 β 공간에서 β_{start} 와 β_{goal} 을 포함한 연속적인 β 를 연결하는 터널 만들기 과정(tunneling process)을 통

해 $\Gamma(\beta)$ 형태로 연결된 β 의 집합인 터널을 만들며, 제안된 재추적 과정을 거쳐 뒤영김 현상이 없는 터널을 생성하고, 만들어진 터널의 β 내의 $C\beta$ 공간상에서 α 의 연속적인 연결에 의해 경로가 만들어진다. 만일 터널 내에서 경로의 발견이 실패한다면 β 의 크기를 줄인 후 터널 만들기 과정과 재추적 과정을 다시 실행한다. 만일 그래도 실패하면 그리고 β 의 크기가 정해진 한계의 크기와 일치하면 실패한 β 의 연결을 가상 장애물로 기록한다. 그리고 다시 터널 만들기를 할 때 이러한 장애물을 고려하여 경로를 계획한다.

제안된 휴리스틱 경로 계획 알고리즘은 다음과 같이 TFP(Tunnel finding process), LCRP(Lumped cell Removing process), 그리고 PFP(Path finding process) 등의 프로세서로 구성된다. 그림 3은 각각의 프로세서가 연결되어 동작되는 전반적인 동작관련 플로우차트를 보여준다.

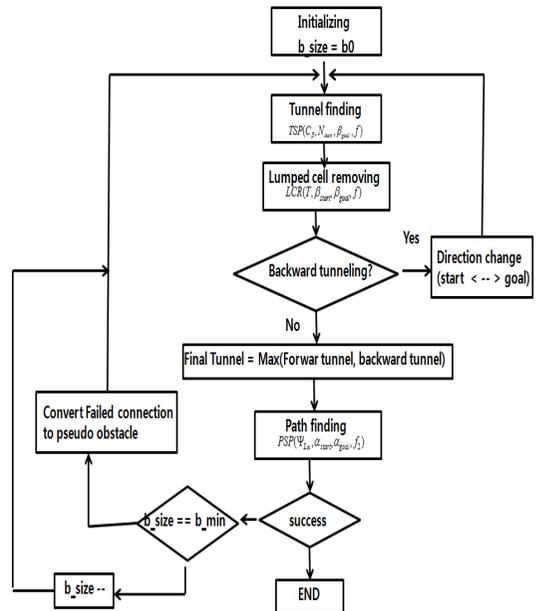


그림 3. 경로계획 전체 흐름도
 Fig. 3 Flowchart of overall process

(1) 통로 발견 프로세스(TFP:Tunnel finding process)

TFP는 $C\beta$ 공간상에서 β_{start} 에서부터 β_{goal} 까지 연속적인 β 의 연결을 구하되 현재 β 의 $\Sigma(\beta)$ 중에서 (13) 식 $f1(\beta)$ 를 최소화하는 β 를 선택하여 연속적으로 연결하여 β 의 연결집합 T를 만들어 나간다.

β 의 모양공간 $C\beta$, β 이 초기 위치값 β_{start} , 최종 위치값 β_{goal} , 평가함수 $f_1(\beta)$ 에 대하여

$$\delta(X) = \begin{cases} 1, & \text{if } x = 0, \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (7)$$

Process TFP ($C\beta, \beta_{start}, \beta_{goal}, f_T(\beta), T$)

```

begin
  install  $\beta_{start}$  into T;
  Insert(  $\beta_{start}$ , T ); mark  $\beta_{start}$  visited;
  while EMPTY(T) do
    begin
    L1: if  $\beta = \beta_{goal}$  then exit while loop;
        INSERT( min(  $f_T(\Sigma(\beta))$ , T );
        mark  $\beta$  visited;
        goto L1;
    end;
  end;

```

여기서 평가함수 $f_1(\beta)$ 는

$$f_T(\beta) = K_1 f_1(\beta) + K_2 f_2(\beta) + K_3 f_3(\beta) \quad (3)$$

여기서 K_1, K_3 는 양의 상수이고, K_2 는 음의 상수이다. (3)식에서 $f_1(\beta), f_2(\beta)$ 그리고 $f_3(\beta)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$f_1(\beta) = \frac{\| \beta_{goal} - \beta \|_2}{\| \beta_0 - \beta_N \|_2} \quad (4)$$

$$f_2(\beta) = \frac{\| \beta_{start} - \beta \|_2}{\| \beta_0 - \beta_N \|_2} \quad (5)$$

그리고

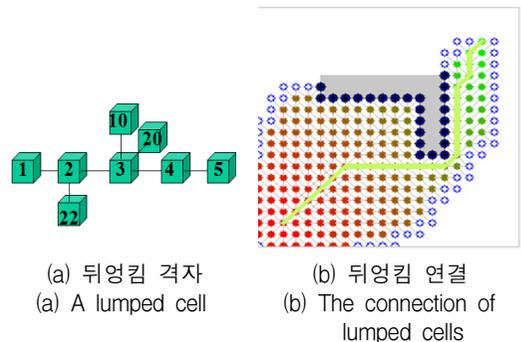
$$f_3(\beta) = \delta(N_{co}(\beta) - \beta^N) * \frac{N_{co}(\beta)}{\beta^N} + MAXIMUM_VALUE \quad (6)$$

여기서 $N_{co}(\beta)$ 는 한 β 내의 α_0 의 갯수이다. 그리고 $\delta(X)$ 는 다음식으로 주어진다.

식(4)와 식(5)에서 β_0 와 β_N 은 각각 3차원 모양공간의 시작점 $q=(0,0)$ 와 끝점 $q = (N_{1max}, N_{2max})$ 에서의 β 를 의미한다. 여기서 $N_{imax}, i=1,2,3$ 은 $C\beta$ 공간에서 i 번째 축상의 β 들의 갯수이며 MAXIMUM_VALUE는 양의 큰 상수이다. (6)식의 최소화는 현재 β 의 인접한 β 중에서 β 내부에 장애물 격자 α_0 가 가장 작은것을 선택하는 것을 의미한다. 만일 어떤 β 내의 α 가 모두 장애물 격자이라면, (6)식은 그 β 에 특정한 양의 상수값 MAXIMUM_VALUE를 부가하여 그 β 가 연결되지 못하도록 한다. 식(5)의 $f_2(\beta)$ 는 $C\beta$ 공간상에서의 $\| \beta_0 - \beta_N \|_2$ 으로 주어진 최대거리에 대한 현재 β 와 β_{start} 사이의 거리의 비이다.

(2) Lumped cell 제거 프로세스(LCRP : Lumped cell Removing process)

많은 국소적 방법[4-5]과 마찬가지로 제안된 알고리즘은 경로찾기의 실패 또는 필요 이상의 긴 경로를 만드는 요인이 되는 뒤엉킴 현상을 만나게 된다. 뒤엉킴 격자는 그림 4에서 격자4는 그 머리(head)와 꼬리(tail)에 각각 하나씩 두 격자만이 연결되어 있다. 하지만 격자 2와 격자 3은 그들 주변에 3개 이상의 격자와 연결되어 있다. 이것을 우리는 뒤엉킴(Lumping) 현상이라 부르기로 하자. 그러한 뒤엉킴 현상은 다음과 같이 검사될 수 있다.



(a) 뒤엉킴 격자 (b) 뒤엉킴 연결
 (a) A lumped cell (b) The connection of lumped cells

그림 4. 뒤엉킴 현상 격자의 연결
 Fig. 4 The connection of cells which occur the lumping

식(1)을 최소화하는 일련의 연결된 β 들로 구성된 집합 $T = \{\beta_1, \beta_2, \dots\} \subset C\beta$ 를 터널이라 하자. 그리고 주어진 β 에 대하여 집합 $\{T \cap \Sigma(\beta)\}$ 에 속하는 모든 β 를 β^* 라 표기하자. 이때 만일 어떤 $\beta \in B$ 에 대하여 β^* 의 갯수가 3이상이면 그때 집합 B 는 뒤엉킴 현상을 갖고 있다. 그 이유는 만일 어떤 β 에 대하여 연속적으로 연결된 β^* 의 갯수가 2이면 그 β^* 는 주변에 head와 tail에만 나란히 연결된 β^* 의 연결상태를 갖고 있는 것이며, 만일 일련의 연결된 β^* 의 갯수가 3 이상이면 그 β 들은 나란히 연결된 상태가 아니고 뒤엉킨 상태를 갖고 있게 된다는 것이다. 뒤엉킴 현상은 $\beta \subset T$ 들의 뒤엉킴 격자를 감지한후 이러한 격자들을 β_{goal} 에서 β_{start} 까지 역추적하면서 연결된 β 의 터널 T 를 만들면 제거된다.

β 의 연결집합 T , 시작점 큰격자 β_{start} , 끝점 큰격자 β_{goal} , 중간 목표 큰격자 $\beta_{subgoal}$, 뒤엉킴 격자의 집합 S , 역추적(Back tracked) 터널 B 에 대하여

```

Process LCRP( T,  $\beta_{start}$ ,  $\beta_{goal}$ ,  $f_L$  )
while ISLUMPED_CELL( T ) do
begin
    S  $\leftarrow$  LUMPED_CELL_DETECT( T );
end;

begin
 $\beta_{subgoal} \leftarrow$  SUBGOAL( S );
while !EMPTY( S ) do
begin
    if  $\beta$  is  $\beta_{start}$  then exit while loop;
    else if  $\beta = \beta_{subgoal}$ 
        if !ISSUBGOAL_EMPTY(S)
             $\beta_{subgoal} \leftarrow$  SUBGOAL(S);
        else
             $\beta_{subgoal} \leftarrow \beta_{start}$ ;
    else
        INSERT( min(  $f_L(\Sigma(\beta))$ , B );
        mark  $\beta'$  visited;

```

end;

end;

여기서 ISLUMPED_CELL(T)는 T 내의 뒤엉킴 β 가 있는지 확인하는 함수, LUMPED_CELL_DETECT(T)는 T 내의 뒤엉킴 β 를 찾는 함수, SUBGOAL(S) 중간 목표점 $\beta_{subgoal}$ 이 저장된 큐이다. 평가함수 f_L 은

$$f_L(\beta) = K_1 f_{L1}(\beta) + K_2 f_{L2}(\beta) \quad (8)$$

이며

$$f_{L1}(\beta) = \frac{\| \beta(i+1)_{subgoal} - \beta \|_2}{\| \beta_0 - \beta_N \|_2} \quad (9)$$

$$f_{L2}(\beta) = \frac{\| \beta(i)_{subgoal} - \beta \|_2}{\| \beta_0 - \beta_N \|_2} \quad (10)$$

이다.

(3) 최종 터널(뒤엉킴 β 가 없는 연결된 β 로 이루어진 터널) B에서의 α 의 연속적인 연결로 최종 경로 탐색 (PFP : path finding process)

```

proceess PFP( B,  $\alpha_{start}$ ,  $\alpha_{goal}$ ,  $f_P$  )
begin
    INSERT(  $\alpha_{start}$ , B ); mark  $\alpha_{start}$  visited;
 $\alpha_{subgoal} = \alpha_{mid} \in \beta_{start}$ 
while !EMPTY( B ) do
begin
    if  $\alpha = \alpha_{goal}$  exit while loop
    else if  $\alpha \notin \beta$ 
         $\alpha_{subgoal} = \alpha_{mid} \in \beta''$ 
        , where  $\beta''$  is the next  $\beta$ 
    else if  $\alpha \in \beta$  of  $\beta_{goal}$ 
         $\alpha_{subgoal} = \alpha_{goal}$ 

```

```

INSERT( min( fP(Γ(a) ), P );
mark a' visited;
end;
end;

```

여기서 평가함수 f_P 는 다음과 같다.

$$f(a) = \frac{(K_4 \| \alpha_{mid-goal} - \alpha \|_2 + K_5 \| \alpha_{mid-start} - \alpha \|_2)}{\| \alpha_o - \alpha_N \|_2} + \delta(N_{co}(\alpha) - 1) * MAXIMUM_VALUE \quad (11)$$

여기서 K_4 와 K_5 은 각각 양과 음의 상수이다. 그리고 α_o 와 α_N 은 $q=(0,0)$ 와 $q=(N_{1cmax} \Delta q, N_{2cmax} \Delta q)$ 일때의 α 들이다. 여기서 N_{icmax} , $i=1,2,3$ 은 C_α 공간내에서 i 번째 축을 따른 α 의 갯수이며 $\alpha_{mid-goal}$ 과 $\alpha_{mid-start}$ 는 B내의 β 들의 중심점을 나타내는 α 들인바, $\alpha_{mid-goal}$ 이 속해 있는 β 는 $\alpha_{mid-start}$ 가 속해 있는 β 의 다음에 연결된 β 이다.

2.3 시간 복잡도(Time complexity)의 분석

본 연구에서의 방법은 Voronoi 선도나 Chinese postman's problem[6]과 같은 알고리즘을 이용하는 것이 아니라 (1) 작업 영역 내에서 큰 격자 β 의 연결로 터널 T 생성(TFP), (2) 뒤엀킴 격자 제거를 위한 터널 T내에서의 B 생성(LCRP), (3) 연결 집합 B 내에서의 경로 발견(PFP) 등 3 스텝으로 구성되어 있다. 알고리즘의 TFP의 계산 시간은 $C\beta$ 모양공간 내에서 큰격자 β 를 시작점에서 목표점까지 탐색하여 연결되는 구조를 만들고 탐색하므로 트리그래프를 만들어 탐색하는 계산구조인 $O(N_\beta \log N_\beta)$ 보다 작다. 여기서 N_β 는 큰격자 β 내의 기본 격자의 개수이다. 그리고 뒤엀킴 제거 탐색은 탐색된 큰격자로 이루어진 통로 T내에서 뒤엀킴이 시작되는 격자를 중간 목표점으로 하여 역탐색(backtracking)하므로 최악의 경우 $O(N_\beta \log N_\beta)$ 가 된다. 또한 경로탐색 시간은 뒤엀킴 큰 격자가 없는 터널 내에서 경로가 탐색되므로 탐색되는 격자의 개수는 통로내의 큰 격자의 개수를 N_α 라고 할 경우 $O(N_\beta \log N_\beta)$ 에 N_α 가 곱해지는 경

우가 되므로 충돌 회피를 위한 계산시간은 $O(N \log N)$ 이 된다.

III. 결과 및 고찰

로봇의 크기는 반경 25cm, 원형 형태로 모델링하였고, 충돌회피 경로 탐색을 위한 모양공간 C_α 는 작업영역 W를 10cm 단위로 나누어 격자화 시켰다. 모양공간내의 기본 격자의 갯수는 $250 \times 250 = 62,500$ 개로 이루어져 있다. 그림 5(a)은 방2개 거실과 부엌이 있는 실내 주거공간에 대하여 PSD센서를 부착한 이동형 로봇이 지형지도를 작성한 예를 모의실험한 것이며 실내 지형에 대한 그리드 작업영역 W를 나타낸 것이다. 그림 5(b)는 이를 모양공간으로 바꾼 C_α 공간이다. 그림 5(a)에서 파란 점(A)은 로봇이 출발위치이고 녹색 점(B)은 로봇이 도달해야 할 목표위치이다. 초음파 또는 PSD 등의 거리 센서로 로봇주변을 인식하여 인공 전위계 기법등의 방법[7]으로 로봇의 경로를 계획할 경우 벽 C의 모서리 부분이나 벽 E의 아래 부분에서 로봇이 더 이상 움직이지 못하고 정지되거나 일정지역을 반복하여 배회하는 데드락현상(Dead lock)[4]이 발생할 수 있다. 이 경우에 대하여 제한한 알고리즘은 지형 전체에 대한 정보를 이용하여 경로를 계획하는 그래프 탐색방법의 일종인 휴리스틱 탐색방법을 제안하였으며 그림 5(c), (d), (e), (f)에서 결과를 보인다. 그림 5(c)는 TFP와 LCRP를 실행하여 터널 B를 만든 결과이다. B내에서 격자 β 를 연결하여 최종 경로를 만든다. 그림 5(d)는 그림 5(c)에서 탐색한 터널 B에 대한 좌표공간(cartesian space)에서의 터널 B를 나타낸다. 그림 5(e)는 그림 5(d)에서의 터널에서 PFP를 실행하여 경로를 생성한 결과이다. 중간 목표점은 터널 내의 격자 α 중에서 최단 거리 변환점 격자를 발견하여 중간 목표점으로 생성한다. 최종 경로는 터널 내에서 로봇이 꺾여지는 중간 목표점 격자 α 를 찾으며 로봇은 중간 목표점들을 경유하여 최종 목표점까지 진행하면 장애물을 회피하는 경로가 완성되며 그림 5(f)에서 결과를 보인다.

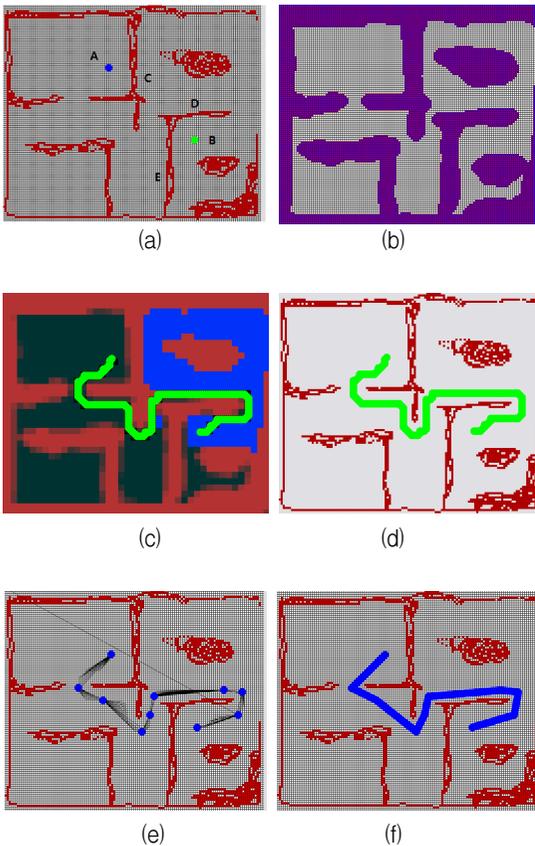


그림 5. 작업환경 및 경로계획 실험 결과의 과정
Fig 5. Workspace map and results of the proposed method

IV. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 작업하는 로봇의 무충돌 박업 경로 생성을 위해 휴리스틱 경로계획 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 모양격자 공간상에서의 격자와 격자사이의 거리와 장애물격자의 확률적 가중치 등으로 이루어진 평가함수를 이용하여 출발격자와 도착격자사이의 터널을 만들고, 터널안에서 경로를 휴리스틱 그래픽이론 방법으로 찾아가는 알고리즘이다. 최종경로는 뒤엀킵 격자가 없는 터널에서 중간목표점을 탐색하여 연결하게 되는 바, 중간 목표점은 터널내의 격자중에서 최단거리 변환점 격자를 발견하여 중간 목표점으로 생성한다. 본 연구방법은 장애물 격

자의 갯수등 국소적인 정보를 이용하며, 전체 그래프를 기억시킬 필요가 없어 모양공간 내에서 격자의 증가에 따른 기억용량의 증가가 크지 않으며, 전체 그래프에 대한 탐색을 하지 않으므로 계산량이 많지 않고 빠르게 실행됨을 분석하였고, 데드락(Dead lock)현상이 없는 최단의 작업 경로를 생성함을 실험을 통하여 보였다.

감사의 글

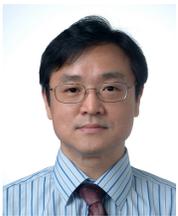
본 논문은 2014년도 산업통산자원부의 지역특화산업 육성사업의 지원으로 수행 되었음.

References

- [1] S.-W. Noh, N.-Y. Ko, and Y.-C. Bae, "Particle filter Correction of GPS localization of a mobile robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 381-390.
- [2] T.-G. Kim and N.-Y. Ko, "Particle Filter SLAM for Indoor Navigation of a Mobile Robot Using Ultrasonic Beacons," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 391-400.
- [3] K.-J. Kim and N.-Y. Ko, "Numerical Performance Analysis of Obstacle Avoidance method for a Mobile Robot," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 401-408.
- [4] C. Luo, S. X. Yang, and D. A. Stacey, "Real-time path planning with deadlock avoidance of multiple cleaning robots," *Robotics and Automation*, vol. 3, no. 1, 2007, pp 4080-4085.
- [5] M. W. M. G. Dissanayake, P. Newman, S. Clark, H. F. Durrant-Whyte, and M. Csorba, "A Solution to the Simultaneous Localization and Map Building(SLAM) Problem," *IEEE Trans. Robotics and Automation*, vol. 17, no. 3, 2001, pp. 229-241.

- [6] J. F. Canny and B. R. Donald, "Simplified Voronoi Diagrams," *Discrete and Computational Geometry*, Springer-Verlag, vol. 3, 2000, pp. 219-236.
- [7] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," *Int. J. of Robotics Research*, vol. 5, no. 1, 1986, pp. 90-98.

저자 소개



현웅근(Woong-Keun Hyun)

1985년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1987년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1993년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년~현재 호남대학교 전자공학과 교수

1998년 일본 오사카 전기통신대 객원교수

1996년 한국기계연구소 자동화 그룹 객원연구원

※ 관심분야 : 지능로봇 시스템