

이동 로봇의 실시간 충돌회피

권영도, 이진수
포항공과대학 전자전기공학과

Real Time Obstacle Avoidance for Autonomous Mobile Robot

Young-Do Kwon, Jin-Soo Lee
Dept. of Electronic & Engineering, Pohang Institute of Science and Technology

Abstract

This paper present a sensor based obstacle avoidance method which is based on a VFH(Vector Field Histogram) method. The basic idea of obstacle avoidance is to find a minimum obstacle direction and distance. From the minimum sonar index and the target direction, high level system determine steering angle of mobile robot. The sonar sensor system consists of 12 ultra sonic sensor, and each sensor have its direction and safety value. This method has advantage on calculation speed and small memory. This method is implemented on indoor autonomous vehicle 'ALiVe-2'.

I. 서론

물류 자동화에 널리 쓰이고 있는 AGV가 주어진 경로만을 따라 주행하는 단점을 극복하기 위해 이동로봇에 대한 많은 연구들이 행해지고 있다. 그 내용들을 살펴보면 하위 레벨 시스템에 대한 것으로서, 이동로봇 자체의 효과적인 제어를 위한 제어시스템의 계층적 구조 설정문제, 각 계층간의 효율적인 역할 배분 문제, 그리고 주변 환경 인식을 위한 여러가지 센서들의 통합문제 등이 있다. 그리고 상위 레벨 시스템에 대한 내용으로 주변 환경 인식문제, 목적지까지의 경로를 계획하는 문제, 주어진 경로를 진행하는도중 나타나는 장애물들을 효과적으로 피해가는 문제, 그리고 이동로봇의 작업 영역 내의 지도를 만드는 문제등이 있다.

이중 본 연구에서는 충돌회피를 중심으로 다루고자한다. 기본적으로 충돌회피를 하기 위해서는 주어진 환경을 인식해야 하는데 이를 위한 센서로서 주로 이용되는 것이 초음파 센서이다. 충돌회피에 있어서 지금까지 연구된 결과를 살펴 보면 다음과 같다. 가장 기본적인 방법으로는 모서리 감지 방법이 있는데 이방법은 실시간 충돌회피가 불가능 하고 장애물 앞에서 일단 정지해야 된다는 단점이있다. Khaib[5]의 Potential field method는 로봇에 가상적인 힘을 가하여 로

봇의 충돌회피 경로를 구한다. 즉 목적지는 로봇을 잡아 당기는 힘을 작용하고 장애물은 밀어내는 힘을 작용하여 이들 힘이 이루는 각의 중간 지점을 달리는 방법이다. Elfes[4]는 확실성 격자를 도입하여 초음파 센서의 부정확한 센서 데이터 입력으로 부터 장애물에 대한 확률적인 표현을 제시하였다. 그리고 본연구에서 응용한 VFH 방식은 Borenstein [1,2,3]에 의해 제시되었는데, 이 방식은 로봇의 작업공간을 여러개의 조그마한 격자로 나누어서 초음파 센서로 부터 얻은 거리 정보를 가지고 각 격자의 장애물 확률분포를 표시한다. 이들 확률 분포로 부터 이동로봇 주위의 각 방향의 안전도를 얻어낸다. 그리고 로봇이 안전 하게 진행할수 있는 안전지역을 찾아내서 주행하도록 하였다. 이방법은 불확실한 초음파 센서의 데이터를 이용하여 장애물의 확률적 분포를 나타내주는 장점이 있으나 각 격자의 장애물 확률 분포를 나타내기 위해서는 많은 양의 메모리가 필요하고 특히 각 방향의 안전도를 얻어내기 위해서는 많은 계산이 필요하다. 본 연구에서는 계산량을 줄이고 많은 양의 메모리를 필요로 하지 않는 알고리즘을 제시 해보고자 한다. 아울러서 본 알고리즘을 적용할 ALiVe-2의 시스템 구성에 대해서도 간단하게 언급하고자 한다. 기본적인 충돌 회피 방법은 VFH와 유사한 방식으로 이동로봇 주위에 12 개의 초음파 센서를 부착하여 이들로 부터 얻은 거리 정보로 부터 안전 지역과 위험 지역을 결정하여 충돌회피 방향을 결정한다.

II. 본론

II-1 기본 개념

VFH방식이 12개의 초음파 센서를 사용한 것과 같이 ALiVe-2에서도 12개의 초음파센서를 30도 간격으로 배치하여 사용하였다. 그리고 이들 센서들은 다음 그림과 같은 고유한 방향 코드와 각을 가진다.

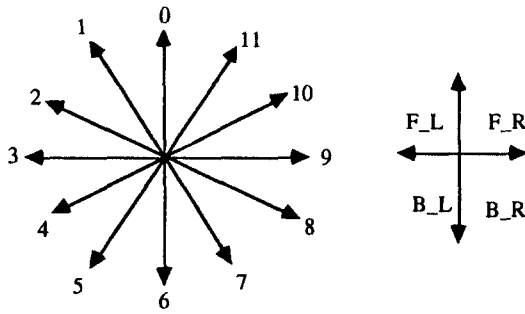


그림. 1

이중 0 번은 차량의 진행 방향이다. 그리고 각각의 방향 코드의 값은 장애물까지의 거리를 나타내는 정보이고, 방향 코드 번호로부터 장애물의 대략적인 경사도를 알아낼수 있다. 장애물의 경사도를 아는것은 차량의 효과적인 조향을 위해서 필요하다. 그림.2 a) 에서 볼수 있듯이 차량의 진행방향과 장애물이 이루는 각이 클경우 는 그만큼 많이 로봇을 회전시켜주어야한다. 반면 b)의 경우는 약간만 회전 시켜주면 충돌 없이 장애물을 피해 나갈 수 있다. 여기서 볼수 있듯이 장애물의 대략적인 경사를 아는 것이 로봇의 급격한 회전을 줄이고 보다 효과적인 제어를 할 수 있도록 해준다.

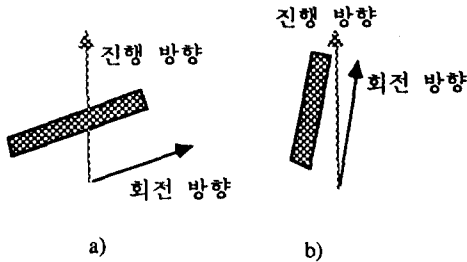


그림 2

본 연구에서 제시하고 있는 충돌회피 알고리즘의 기본 개념은 12개의 초음파 값중 가장 작은 값을 찾아내서 그 값이 기준값보다 작을 경우 주변 장애물의 분포, 장애물의 경사도 목적지의 방향을 비교하여 적당한 조향각을 찾아내는것이라 할수 있다. 충돌회피의 가장 필수적인 요소는 이동로봇 주위에 배치되어있는 12개의 초음파 센서의 값을 받아들인뒤 최소 거리 방향을 찾아내는 것이다. 최소거리 방향을 찾아낸다음 주변의 환경을 판단하여 조향각을 결정한다. 다음의 Flow-Chart 를 살펴보자

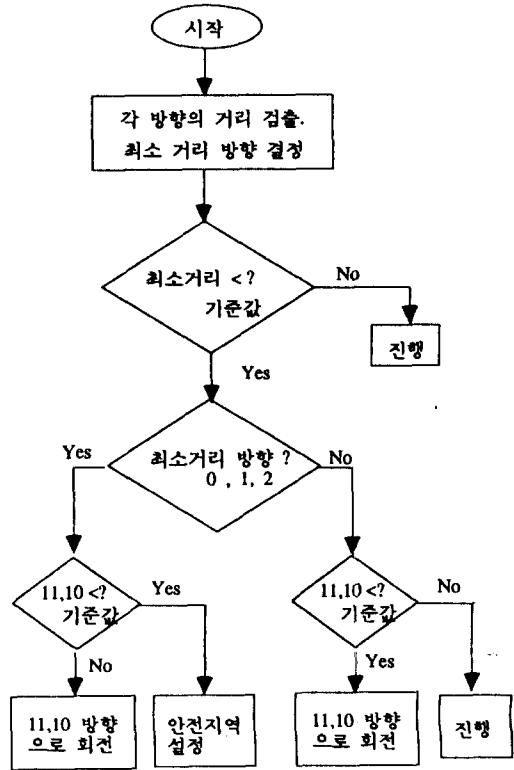


그림. 3

차량 진행도중 차량의 뒤쪽에 장애물이 출현 했을경우에는 차량의 진행에 방해없이 진행을 할수있다. 그러나 차량 앞쪽이나 왼쪽, 오른쪽 방향에 장애물이 나타날 경우 차량의 진행방향과 장애물이 평형을 이루지 않는한 장애물과의 충돌이 일어나게 된다(그림. 4). 따라서 앞에서 정의한 방향코드 0,1,2,10,11 중하나 이상이 기준값보다 작은 경우 충돌방지를 위해 로봇을 안전한 지역으로 회전시켜 주어야 한다. 이때 회전 각도는 존재하는 장애물의 위치와 로봇의 목적지와 깊은 관계가 있다. 기본적인 충돌 회피 알고리즘의 예를 다음에 보인다.

II.2 충돌 회피 알고리즘

II-2.1 경사진 장애물

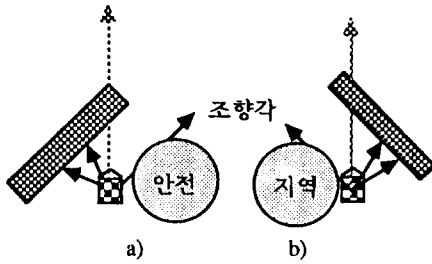


그림 . 4

그림 4. a)의 경우 장애물은 F_L 지역에 존재하고 차량은 F_R 지역으로 회전해야만 한다. 즉 초음파 센서 1, 2 번이 최소거리 방향이되고 조향각은 1, 2 번중 어느것이 최소거리 인가에 따라 달라진다. 조향각은 다음식에 의해 나타낼수 있다.

$$\text{조향각} = (\text{min_uss_index} - 3) * 30 \quad (1)$$

그림 4. b)의 경우도 그림 4. a)의 경우와 유사 하다. 이경우는 초음파 센서 10, 11 이 최소거리방향이 되고 조향각은 다음식에 따라 결정된다.

$$\text{조향각} = (\text{min_uss_index} - 9) * 30 \quad (2)$$

II-2.2 직각 장애물

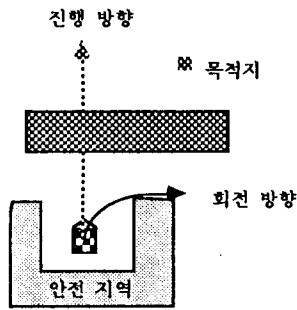


그림 . 5

그림 5의 경우 차량 진행방향 앞쪽에 장애물이 놓여 있다. 이 경우에는 그림에서 보인것처럼 벽을 따라 주행 하여야만 충돌을 막을 수 있다. 이때 목적지의 방향이 차량의 조향에 영향을 미친다. 즉 F_L 지역에 목적지가 있는 경우 왼쪽으로 차량을 돌리고 F_R 지역에 있을 경우는 오른쪽으로 회전한다.

II-2.3 복합 장애물

지금까지는 단순한 경우의 장애물에 대해서 언급해 보았다. 다음의 경우를 생각해 보자

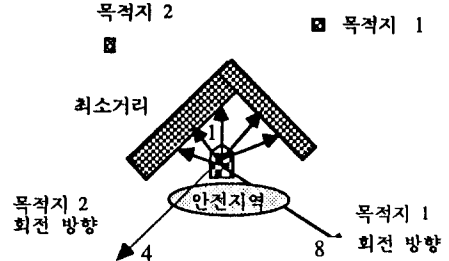


그림 . 6

이경우에는 차량의 앞쪽 방향 모두에 장애물이 존재한다. 따라서 차량이 앞으로 전진하지 못하고 다른 지역으로 돌아 나야 한다. 즉 초음파 센서 0,1,2,10,11 이 모두 기준값보다 작은 경우, 우선 안전지역을 찾는다. 그리고 차량의 목적지와 최소거리 방향이 어디인지 비교하여, 목적지와 가장 가까운 지역을 찾아서 그방향으로 조향 하도록 한다. 그림의 경우 안전지역은 초음파 센서 번호4번에서 8번 까지이다. 그리고 최소거리 초음파 센서는 1 번(F_L 지역)이 된다. 이 경우에는 우선 F_L 쪽(최소거리 방향이 포함된 지역) 으로 회전하지못하고 F_R 쪽(최소 거리 방향의 포함 되지 않은 지역) 으로 회전하여 돌아 나가야 한다. 회전하여 돌아 나가면서 목적지의 방향과 비교하여 가장 가깝고 안전한 방향으로 조향하도록 한다. 목적지 1의 경우는 목적지가 차량의 F_R 방향에 있으므로 안전지역으로 회전하다 처음나타나는 안전지역 번호 부근으로 조향한다. 목적지 2의 경우 F_L 방향에 있으므로 마지막 안전지역 번호로 조향하도록 한다. 즉 최소거리 방향과 목적지가 같은 지역에 있을 경우 마지막 안전지역 방향으로 회전하고 최소거리 방향과 목적지가 다른 지역에 있을 경우에는 최초 안전지역 방향으로 회전한다. 이것을 식으로 나타낼경우 다음과 같이 나타 낼수 있다.

$$\text{조향각} = (S_D_I * 30 + ((S_D_I - 1) * 30)) / 2 \quad (3)$$

여기서 S_D_I (Safety_Direction_Index) 는 그림 . 6 의 경우에 목적지 1 은 8 번이 되고 목적지 2는 4 번이 된다.

II-3 ALiVE-2 시스템 구성도

ALiVE-2 시스템은 VME Bus 시스템을 기본으로 하고 있다.

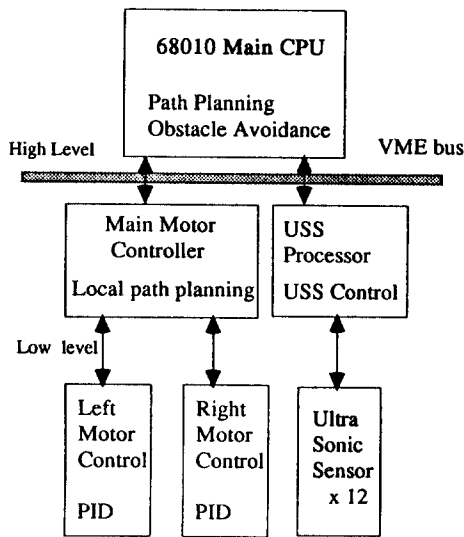


그림 . 7

68010을 메인 CPU로 사용하는 105 Board를 상위 시스템으로 하고, 모터 제어를 위한 보드와 초음파 센서 처리를 위한 보드를 하위 시스템으로 한다. 각각의 보드는 80C196 KC 마이크로 콘트롤러를 사용하였다. 105 보드는 센서 제어기에서 올라오는 초음파센서의 정보와 모터 제어기로부터 올라오는 이동로봇의 현재위치로부터 경로계획과 충돌회피를 담당한다. 상위 시스템의 부담을 덜어주기 위하여 각각의 모터 제어기 위에 모터 메인 보드를 추가시켰다. 모터 메인 보드는 상위 시스템에서 내려준 명령을 여러 단계로 나누어서 부드럽게 제어하는 역할을 한다. [6,7] 즉 하위 제어기에서 다시 한번 경로 계획을 하게 되는 것이다. 이렇게 함으로써 상위 시스템에서는 일정시간 간격으로 하위 시스템에 명령만 내려주고 하위 시스템에서 올라온 정보를 받아들이기만 하면 된다. 즉, 이동로봇의 기본적인 움직임은 하위 시스템에 맡기고 상위 시스템에서는 보다 복잡하고 시간이 많이 걸리는 일에 시간을 많이 할애 할수 있게 된다. 초음파 보드는 12 개의 초음파 센서를 제어 하고 각 센서에서 읽어들이는 값들을 상위 시스템으로 전달해주는 역할을 한다. 초음파 센서의 배치는 다음 그림과 같다.

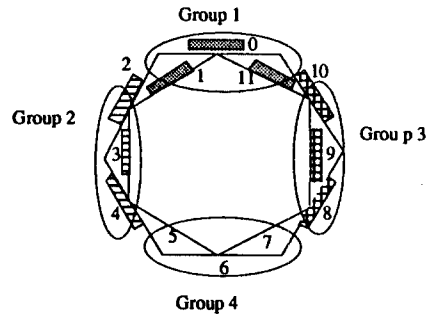


그림 . 8

그림에서 볼수 있듯이 12 개의 초음파 센서는 4개의 그룹으로 나뉘어져 있다. 초음파 제어기에서는 각 그룹의 센서 하나씩 번갈아 가면서 켜지도록 제어를 해준다. 즉 그룹 1에서 11번, 그룹 2에서 2번, 그룹 3에서 8번, 그룹 4에서 5번 같은 형식으로 제어를 해준다. 이렇게 하는 이유는 각 초음파 센서간의 간섭을 최대한으로 줄이면서 초음파 센서의 값을 최대한 많이 받아들이기 위해서이다. 각 센서들의 동작 주기는 30ms 간격이다. 즉 30 ms마다 12개의 센서값들을 받아 들인다. 받아들인 센서 값들을 상위 시스템에 보내주고 상위시스템에서는 초음파센서의 불확실성을 고려하여 100ms, 즉 3번의 검출시마다 한번씩 받아들이도록 한다. 이 기간 동안 상위 시스템은 각 검출마다 초음파의 거리를 비교하여 오검출 여부를 판단하여 충돌회피에 적용한다. 초음파 센서 하나당 동작시간은 10ms이다. 이시간 동안 검출할 수 있는 는 최대거리는 약 1.7 m 정도이다.

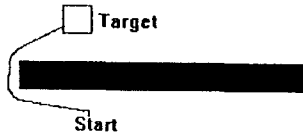
상위 시스템에서 하위시스템으로 전달되는 모터 제어 명령은 1 초 간격으로 내려주고 하위에서 모터를 제어하는 간격은 1ms이다. 모터 제어는 기본적인 PID 제어를 적용하였다. 상위 시스템에서 하위 시스템과의 통신은 VME버스를 통하여 쌍방향 메모리를 이용하여 수행한다.

II - 5 모의 실험 결과

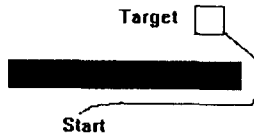
그림 9,10번은 기본적인 경사장애물과 직각 장애물에 대한 충돌회피를 보여주고 있고 그림 11번은 복합 장애물에 대한 충돌 회피를 보여주고 있다. 그림 12,13,14 는 이동로봇이 아무런 지도 정보도 가지지 않은채 작업공간을 주행하면서 정해진 목적지까지 진행한 결과를 보여주고 있다. 그림 13의 경우는 중간에 이동로봇이 빠져나갈수 있는 공간이 있는 경우이고 그림 14의 경우는 빠져나갈 공간이 없는 경우이다. 두 경우 모두 좋은 결과가 나왔다. 하나 문제점이라고 할수 있는 경우는 그림 14의 경우처럼 빠져나갈수 없을 경

우 조항각이 커지는 경우가 생긴다. 이러한 문제점을 제외하고는 좋은 결과가 나온다.

모의 실험시 이동로봇이 감지하는 충돌 거리를 이동로봇의 길이 의 1.5배 (75cm)로 잡았다. 초음파 센서가 감지할수 있는 최대거리는 이동로봇의 3 배 정도(1.5m)로 잡았다.

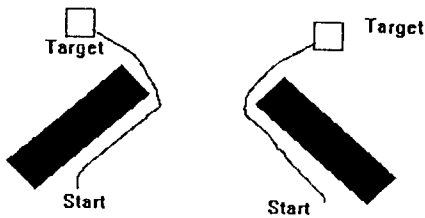


a)



b)

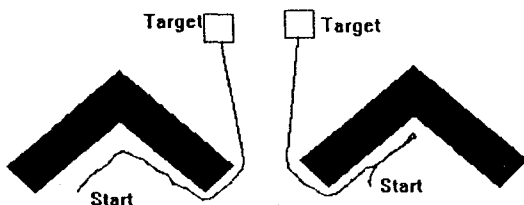
그림. 9



a)

b)

그림. 10



a)

b)

그림. 11

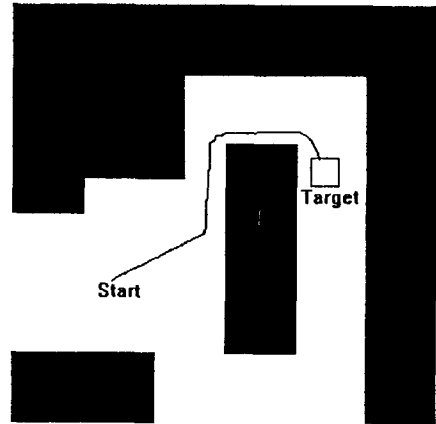


그림. 12

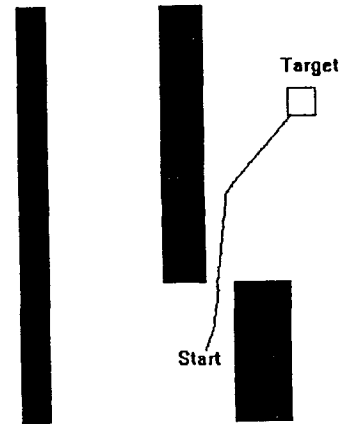


그림. 13

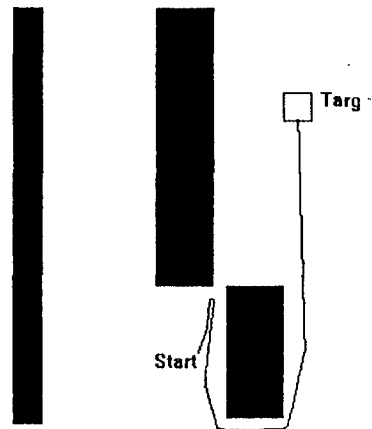


그림. 14

III. 결론

본 논문에서는 실내용 이동로봇 ALIVE II 에 적용할 충돌회피 알고리즘을 다루어 보았다. 일반적인 장애물의 경우 별 무리 없이 피해갔다. 모의 실험결과에서 나타났듯이 특정한 구조를 가지는 장애물 지역에서는 조항각이 너무 커지는 단점이 있기는 하나 일반적인 지역에서는 큰 어려움 없이 잘 피해나갔다. 계산량이 적기 때문에 실시간 충돌회피에 적합하고 많은 양의 메모리가 필요없기 때문에 시스템 구성에도 상당한 잇점이 있다고 본다. 아울러서 ALIVE-2 는 VME 시스템을 근간으로 사용하여 차후 다른 시스템의 확장용 용이하게 할수 있도록 하였다.

특정한 구조의 장애물에서 나타나는 큰 조항각의 문제와 초음파 센서 이외의 다른 센서 시스템을 적용한 환경인식 문제, 최적경로 생성 문제, 주변환경인식후 지도만드는 작업들이 앞으로 완전한 시스템으로 되기 위하여 개발되어야만 할 과제이다.

참고 문헌

- [1] J. Borenstein and Y. Koren , "Obstacle avoidance with ultrasonic sensors," *IEEE J. Robotics Automat.*, vol.RA-4,no.2, pp213-218,1988
- [2] J. Borenstein and Y. Koren , "Real time obstacle avoidance for fast mobile robots," *IEEE . Trans. Systems Man Cyben.*, vol 19, no.5 pp 1179-1187, Sept./Oct. 1989
- [3] J. Borenstein and Y.Koren, "The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," *IEEE Trans Robotics Automat.*, vol. 7 , no.3, pp. 278-288, Jun. 1991.
- [4] A. Elfes. "Sonar based real-world mapping and navigation," *IEEE J. Robotics Automat.*, vol.RA-3,no.3, pp. 249-265 , 1987
- [5] O. Khatib, " Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics Automat.*, pp 457-462, Mar.1985
- [6] 강민구 ,이진수,김상우,"이동로봇의 효율적인 자세제어에 관한 연구" 한국 자동제어 학술회의 논문집. pp. 387-392 1992
- [7] 강민구 , 이진수," 이동로봇의 자세제어와 실시간 충돌회피 방법에 관한 연구", 포항공과대학 석사학위 논문,1993