Line Histogram Intensity를 이용한 이동로봇의 장애물 회피 알고리즘

류한성* · 최중경** · 구본민*** · 박무열**** · 방만식*****

The Obstacle Avoidance Algorithm of Mobile Robot using Line Histogram Intensity

Han-Seong Ryu* · Jung-keying Choi** · Bon-min Koo*** · Moo-yurl Park**** · Man-sik Pang*****

요 약

본 논문에서는 자율 이동로봇이 장애물을 회피하며 목표하는 지점까지의 경로를 구성하여 찾아가는 알고리즘을 제안하고자 한다. 시스템의 구성은 로봇에 탑재된 CCD카메라로부터 획득한 영상신호를 RF 무선 모듈을 이용하여 PC로 보내고 PC에서 영상 처리 과정을 거친 후, 장애물로 인식되는 지역을 회피하도록 제어 신호를 이동로봇으로 전송하는 것이다. 이동로봇에 탑재된 CCD카메라에서 획득한 영상 정보는 매 샘플링 시간마다 캡쳐하여 PC로 전송하고 호스트는 화면에서 장애물의 유무를 판별한 후 좌 혹은 우로 회전하여 장애물을 피해 나가도록 하며 로봇이 이동한 거리를 PC로 전송하는 시스템을 구현하여 초기에 지정한 목표지점까지 로봇이 갈 수 있도록 간략한 경로를 계획하여 추적해 나가도록 한다. 먼저 로봇으로부터 전송되어진 영상은 호스트PC에서 다음과 같은 영상처리과정을 거치도록 한다. 먼저 Original영상을 입력받아서 3×3 mask Sobel 연산자를 사용한다. 그리하면 윤곽선이 추출된다. 여기서 추출된 윤곽정보는 처리가 용이하도록 NOR Converter를 거치도록 한다. 마지막으로 이 영상의 경계값을 찾는다. 처음에 획득한 영상은 깨끗한 환경에서 얻어진 것이 아니라 주변에 여러 가지 기구나 명암대비가 뚜렷하지 못한 조건들로 되어 있다. 어떤 장애물이라도 가까이서 획득한 영상으로 보게 되면 색상이 단일한 색상으로 나타난다. 즉, 멀리 있는 영상정보나 장애물이 없는 영상 정보 쪽에 히스토그램이 넓게 분포되기 마련이다. 이런 이유로 마지막에 Convert를 처리한 영상의 경계치를 229로 둔다. 그러면 거의 흰색에 가까우면서도 약간의 그레이 레벨만 가진다 하더라도 흑백 대비를 뚜렷하게 만들어 준다. 즉, 불순 성분을 받아들이기 위하여 경계값을 높이는 것이다. 다음으로 처리된 영상의 좌표를 (0, 0)에서 (0, 197)까지의 히스토그램 분포를 스캔한다. 그러면 장애물이 있는 부분의 히스토그램의 분포는 거의 변동이 없이 나타난다. 이러한 특성을 이용하여 장애물이 있는 곳을 찾아내고 이것을 회피하기 위한 알고리즘을 세웠다.

ABSTRACT

In this paper, we present two types of vision algorithm that mobile robot has CCD camera. for obstacle avoidance. This is simple algorithm that compare with grey level from input images. Also, The mobile robot depend on image processing and move command from PC host. we has been studied self controlled mobile robot system with CCD camera. This system consists of digital signal processor, step motor, RF module and CCD camera. we used wireless RF module for movable command transmitting between robot and host PC. This robot go straight until recognize obstacle from input image that preprocessed by edge detection, converting, thresholding. And it could avoid the obstacle when recognize obstacle by line histogram intensity. Host PC measurement wave from various line histogram each 20 pixel. This histogram is (x, y) value of pixel. For example, first line histogram intensity wave from (0, 0) to (0, 197) and last wave from (280, 0) to (280, 197). So we find uniform wave region and nonuniform wave region. The period of uniform wave is obstacle region. we guess that algorithm is very useful about moving robot for obstacle avoidance.

*진주산업대학교 전자공학과
**창원대학교 전자공학과
***창원대학교 대학원 전자공학과 박사
****창원대학교 대학원 전자공학과 박사
*****진주국제대학교 컴퓨터전자공학과

접수일자 : 2002. 12. 4

I. 서 론

현대 산업 사회에서는 하드웨어 기술과 컴퓨터를 이용한 신호처리 및 비전 기술의 발전에 따라 물체의 자동인식 및 윤곽추출 그리고 이를 이용한 이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 그러한 자동화 기술이 이제는 가정에까지 전파될 듯하다. 예를 들어 가정부 로봇이라든지 청소부 로봇이라든지 사람이 들어갈 수 없는 제한된 공간이나 작업공간 즉, 매우 고열이 발생하는 산업현장이나 하수도 배관속이나 방사능 물질이 있거나 위험한 공간 등이다. 이러한 현장에서는 로봇의 도움이 필요하다. 그러나 현재까지는 자율 이동로봇이 아닌 리모컨이나 유선으로 조정하는 로봇이 보편화되어 있다. 그 이유는 로봇이 자율적으로 이동이 힘들뿐 아니라 장애물을 인식하는 능력을 갖추지 않았기 때문이다. 우리는 본 논문에서 이동로봇이 장애물을 회피하며 목표하는 지점까지의 경로를 구성하여 찾아가기 위한 알고리즘을 제안하고자 한다. 알고리즘의 주요한 방법은 로봇에 탑재된 CCD카메라로부터 입력받은 영상 프레임을 몇가지 전처리 과정을 거친 후에 수직방향(y축 성분)으로 히스토그램을 측정한다. 그러면 이진화되어 있는 영상의 히스토그램은 흑백의 변화가 있는 부분에서만 파형을 나타내게 된다. 우리는 여기에서 장애물은 벽처럼 하나의 단면으로 보이기 때문에 히스토그램의 변화가 없다는 것을 이용하였다. 수직성분으로 20픽셀 간격으로 Line 히스토그램의 세기를 측정하였다. 이러한 방법으로 장애물로 인식되는 부분은 3번의 간격(60픽셀의 이동 스캔)동안 파형의 변화가 없게 된다. 이것을 장애물로 인식하는 것이다. 인간의 눈과 같이 가까이 가서 장애물로 인식하는 특성을 이용한 것이다.

II. 본 론

1. 영상처리 시스템 구성

본 논문에서 사용한 이동로봇은 고정된 한 대의 CCD카메라만을 사용하여 전방의 장애물을 인식하도록 하였으며 구동모터로는 프로세서를 통한 펄스구동이 용이한 스테핑 모터를 두 개 사용하였다. 모든 영상정보와 지령신호 그리고 이동 데이터는 무선으로 송수신이 가능하도록 하였으며 로봇에서 전송되어진 영상정보는 PC로 전달되어지며 이것을 PC에서 이미지 처리하여 로봇의 이동경로를 계산하고 이동명령을 로봇에 전송한다. 전송되어진 신호는 스텝 모터를 구동하는 프로세서로 전달되어진다. 로봇의 구동 모터는 기어드 모터를 장착한 것이 특징이다. 그 이유는 기어에서 발생하는 Back-rush 현상이 이동차량이 원하는 방향으로 진행하는데 있어 지장을 줄뿐만 아니라 Back-rush 현상에 의하여 좌표 정보가 올바르게 전달되지 않기 때문이다. 기어드 스텝 모터를 사용하기 위하여 가·감속 제어를 통한 모터구동을 하였다. 이것은 탈조를 방지 위하여 주파수 변화제어를 한 것이다. 다음의 그림 1에 로봇의 구성을 보였다.

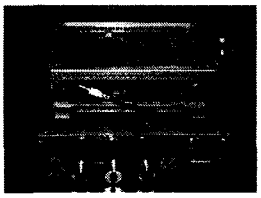


그림 1. 로봇의 구성

2. 자율이동 로봇의 이동경로.

아래의 그림 2에 로봇의 장애물 회피 및 목표지점까지의 이동모습을 보였다.

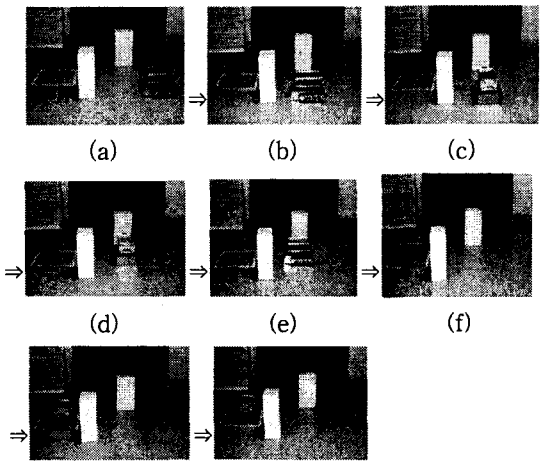


그림 2. 로봇의 목표지점까지의 이동경로

3. 입력영상 전처리 과정

먼저 원영상을 입력받아서 3×3 mask Sobel 연산자를 사용한다. 그리하면 윤곽선이 추출된다. 여기서 추출된 윤곽정보는 처리가 용이하도록 NOR Converter를 거치도록 한다. 마지막으로 이 영상의 경계값을 찾는다. 처음에 획득한 영상은 깨끗한 환경에서 얻어진 것이 아니라 주변에 여러 가지 기구나 명암대비가 뚜렷하지 못한 조건들로 되어 있다. 어떤 장애물이라도 가까이서 획득한 영상으로 보게 되면 색상이 단일한 색상으로 나타난다. 즉, 멀리 있는 영상정보나 장애물이 없는 영상 정보 쪽에 히스토그램이 넓게 분포되기 마련이다. 이런 이유로 마지막에 Convert를 처리한 영상의 경계치를 229로 둔다. 그러면 거의 흰색에 가까우면서도 약간의 그레이 레벨만 가진다 하더라도 흑백 대비를 뚜렷하게 만들어준다. 그림 3에서 로봇이 획득한 영상을 보였다.

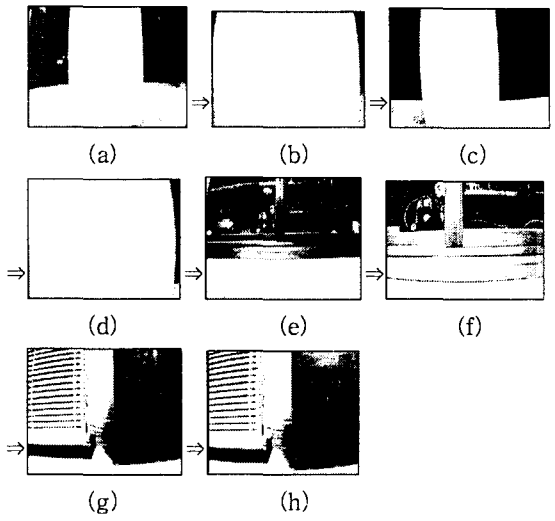
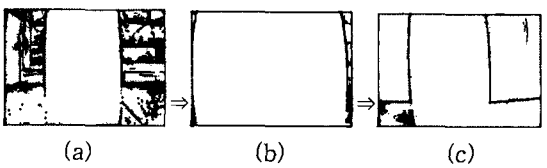


그림 3. 자율이동로봇에서 얻어진 원 영상

그림 3에서 얻어진 원 영상에서 경계검출과 Convert, 경계치 설정들을 전처리한 후의 영상을 그림 4에 보였다.



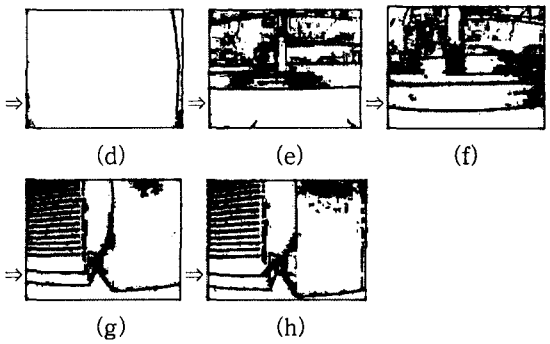


그림 4. 전처리 과정을 거친 후의 변환된 영상

4. 실험 및 결과

실험은 위의 그림 4에서 전처리 된 영상을 각각 20픽셀씩의 간격을 두고 Line histogram intensity를 측정하였다. 그림 4-(a)의 히스토그램을 측정한 영상을 그림 5에 나타내었다.

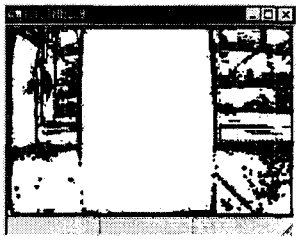
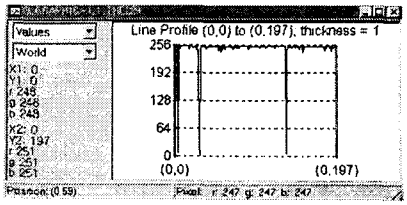
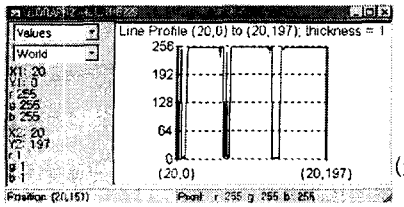


그림 5. (a)영상의 Scan

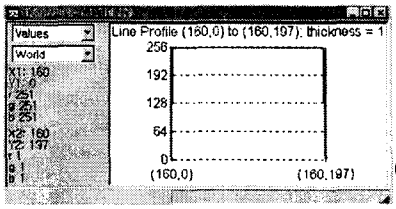
그림 5에서 영상의 좌표를 (0, 0)에서 (0, 197)까지의 히스토그램 분포를 스캔한다. 같은 방법으로 다음 좌표는 (20, 0)에서 (20, 197)로 이동하여 동일하게 스캔하게 된다. 이런 방법으로 픽셀간격을 20으로 하여 (280, 0)에서 (280, 197)까지 스캔하게 되면 장애물이 있는 곳의 히스토그램의 분포곡선은 아무것도 나타나지 않게 된다. 각 좌표의 스캔된 히스토그램 분포곡선을 아래에 나타내었다.



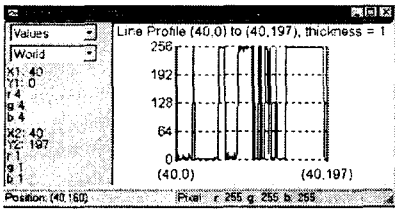
(x좌표 0)



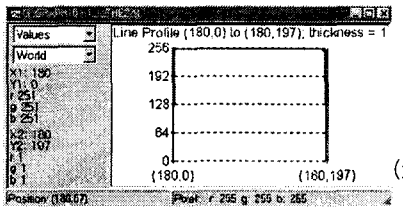
(x좌표 20)



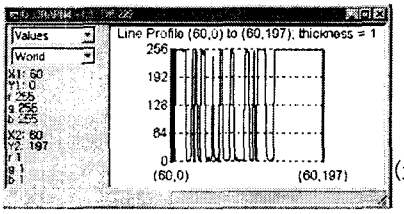
(x좌표 160)



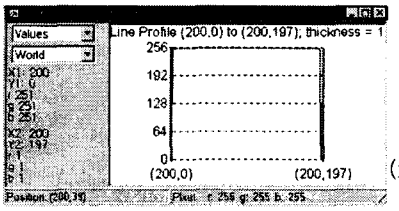
(x좌표 40)



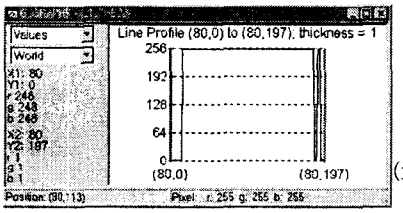
(x좌표 180)



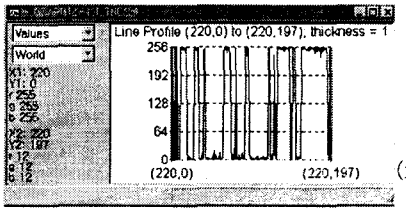
(x좌표 60)



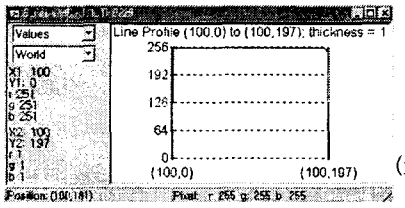
(x좌표 200)



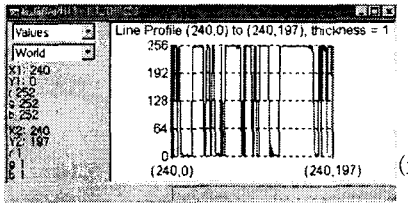
(x좌표 80)



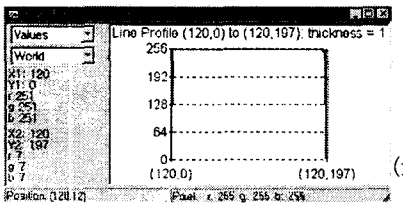
(x좌표 220)



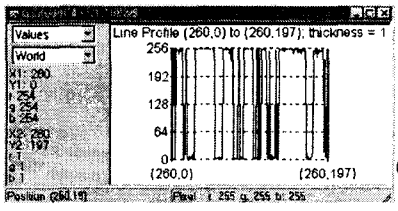
(x좌표 100)



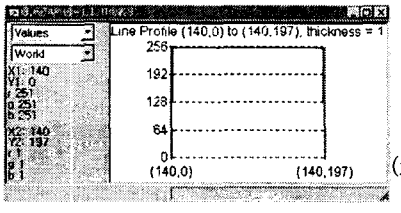
(x좌표 240)



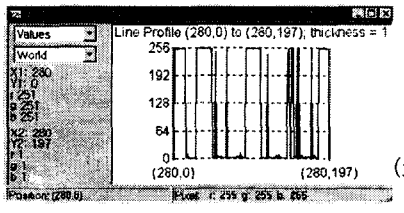
(x좌표 120)



(x좌표 260)



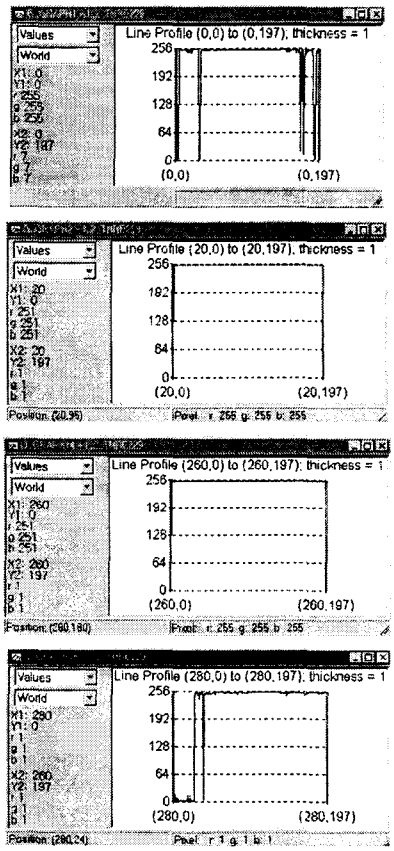
(x좌표 140)



(x좌표 280)

그림 4-(a)의 스캔 결과를 보면 x좌표로 0에서 280까지 20픽셀의 간격으로 이동하였다. 그리고 y축으로 0에서 197까지의 고정적인 스캔을 하였다. 그 결과 x좌표가 80까지는 intensity 파형의 변화가 보인다. 그러나 100에서 200까지는 intensity 파형의 변화가 없고 220부터 280까지 intensity의 변화를 보인다. 여기에서 우리는 x좌표 100에서 200까지가 장애물로 인식할 수 있다. 따라서 픽셀의 스캔 간격이 60이상 intensity 파형의 변화가 없으면 장애물로 인식하도록 하였다. 여기에서 로봇이 조금 더 앞으로 전진하게 되면 장애물의 크기가 더 크게 나타난다. 그림 4-(b)의 영상이 그것이다. 물론 4-(a)그림의 라인히스토그램의 변화만으로도 장애물의 위치를 판별할 수 있다. 그러나 장애물의 크기가 작거나 모양이 일정하지 못한 경우는 조금 더 접근을 해야만 장애물의 여부를 판별하기가 쉬울 것이다. 그래서 우리는 이동로봇이 장애물의 픽셀이 차지하는 수가 전체 화면의 70%를 차지하더라도 로봇이 회전과 이동을 하는 데에 지장이 없음을 감안하여 장애물에 더 가까이 근접하도록 프로그램 하였다. 그리하여 획득된 영상이 4-(b)의 영상이다. 여기서는 장애물이 차지하는 비율이 거의 90%에 이른다. 당연히 나타나는 라인 히스토그램은 처음(x 좌표가 0일 때)과 마지막(x 좌표가 280일 때) 히스토그램의 측정 부분에서만 히스토그램의 변화가 나타나고 나머지 부분의 영상에서는 히스토그램의 변호가 나타나지 않을 것을 예측할 수 있다. 이에 대한 히스토그램의 변화를 다음의 그림 6에 보였다.

위의 영상에서 예측할 수 있듯이 히스토그램의 변화분은 좌표가 (0, 0)에서 (0, 197)까지의 히스토그램 분포와 (280, 0)에서 (280, 197)까지의 히스토그램 분포 측정을 제외하고는 변화가 없다. 이에 대하여 x좌표가 0일 때, 20일 때, 260일 때, 280일 때의 결과만 보이도록 하겠다.



히스토그램의 변화를 보아도 알겠지만 이미 (a)영상에서 장애물 후보지역으로 정하였던 부분이 확대가 되더라도 역시 장애물임을 나타낸다. 여기에서 로봇은 x좌표가 20에서 260까지 장애물이므로 즉시 회전하여 장애물 회피하여야 한다. 여기에서 로봇은 최종 도착지까지의 거리를 벡터값으로 계산하여 목적지에 가까운 방향으로 회전을 하게된다. 마치 사람이 앞이 보이지 않는 골목길을 걸어간다고 할 때 자신이 가고자하는 최종방향으로 회전하게 된다는 기본 심리처럼 하는 것이다. 이렇게 회전을 하고 나면 로봇은 또 진행을 하기 위하여 앞에 보이는 영상을 획득한다. 여기에서도 역시 장애물의 유무를 판단하다.

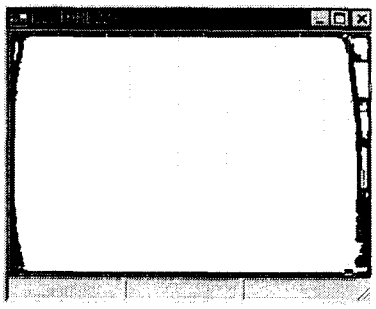


그림 6. (b)영상의 Scan

다음에 1차 장애물을 인식하고 회전한 후에 로봇이 받아들이는 영상(c)에서의 Scan을 그림 7에 보였다. 마찬가지로 x좌표가 80인 지점에서 180까지가 장애물로 인식되었다.

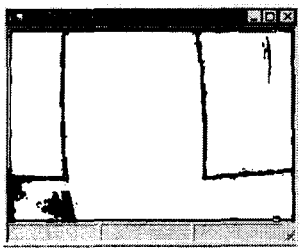
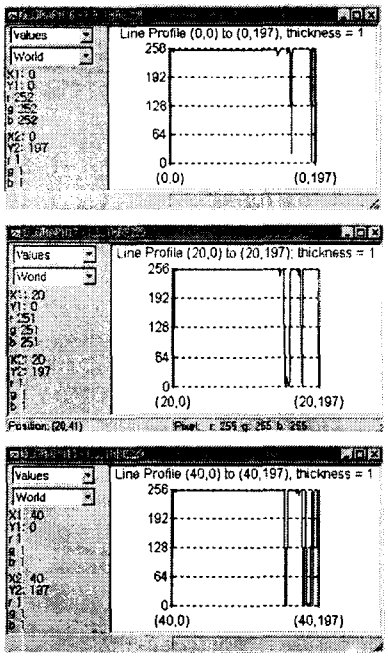
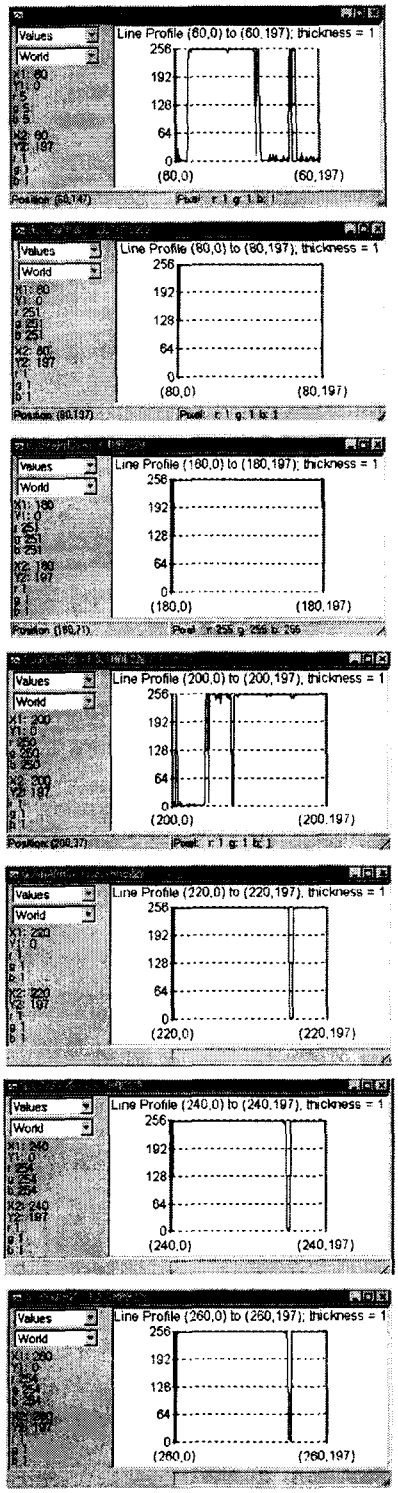
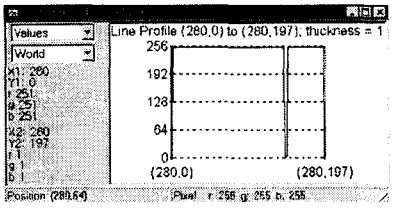


그림 7. (c)영상의 Scan

히스토그램을 측정하는 좌표가 (80, 0)에서 (180, 0)까지는 같은 파형을 보일 것이므로 다음에 x좌표가 0에서 80까지 그리고 180에서 280까지의 파형의 변화를 보이도록 한다. 그러나 180에서 280까지의 파형도 크게 달라진 것은 없을 것을 예측할 수 있을 것이다.







위의 결과에 의하여 장애물이 존재하는 후보지역이 탐색되었다. 여기에서 최종 목적지에 근접하도록 로봇을 회전시키도록 할 수 있으나 나중에 복잡한 장애물에 의한 오류 탐지를 방지하기 위하여 로봇을 좀 더 전진시켜서 확실하게 장애물로 인식한 다음 회전하도록 할 것이다. 다음의 그림 8에서 로봇이 조금 더 전진한 후에 취득한 영상의 라인히스토그램을 측정한 결과를 보였다. 그림 8은 그림4-(d)의 영상을 가지고 처리한 결과가 된다.

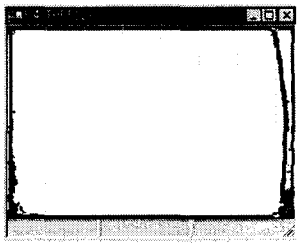
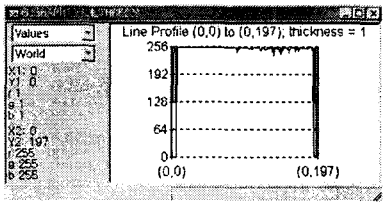
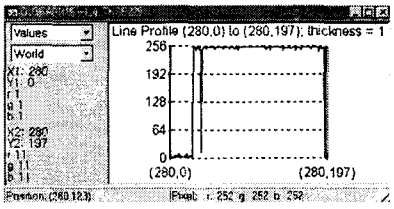


그림 8. (d)영상의 Scan

히스토그램을 측정하는 좌표가 (20, 0)에서 (260, 0)까지는 같은 파형을 보일 것이므로 파형의 변화가 없다. 다만 초기의 스캔된 좌표 (0, 0)에서 (0, 197)까지의 스캔 결과와 마지막에 측정된 (280, 0)에서 (280, 197)의 결과만이 파형의 변화가 있다. 그러므로 변화된 두 개의 파형만을 아래에 보이기로 한다.





다음의 그림 9에서는 그림 4-(e)의 영상에 대한 히스토그램 측정결과를 보이기로 한다. 그림 (e)의 영상은 장애물로 인식되어지는 특별한 물체가 없어 보인다. 왜냐하면 이것은 벽 쪽에 붙어있는 장식장을 배경으로 한 영상이기 때문이다. 그러나 사실은 조금 더 가까이 접근했다고 가정했을 때 어느 한 부분의 큰 픽셀에서 장애물로 인식할 수 있는 영역이 존재하게 된다. 그러나 로봇의 이동경로가 그림 9에서 보여지는 장식장까지 접근하기 이전에 최종 목적지에 도달하기 위하여 회전을 하게 된다. 이것은 처음 이동하도록 명령을 하달한 최종 목적지까지 로봇은 이동을 하면서 스스로 지나온 궤적의 거리를 계산하게 된다. 그래야만 최종 목적지까지 찾아갈 수 있기 때문이다. 만약 처음에 하달받은 목적지가 장식장 뒤에 있는 곳이라면 로봇은 장식장을 회피하기 위하여 멀리 둘러 가도록 궤적을 수정하게 될 것이다. 아래에 그림9의 영상을 보였다.

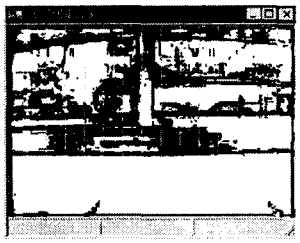
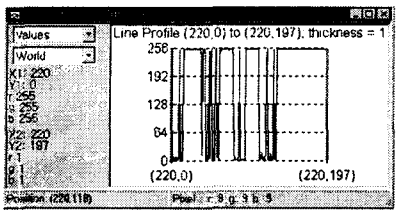


그림 9. (e)영상의 Scan

여기에서는 대부분의 히스토그램 측정결과가 일관되도록 변화된 파형을 보일 것이므로 하나의 측정결과만 보이도록 한다.



다음에는 그림 10에서 4-(f)의 영상을 보이도록 한다. 여기에서는 위의 그림 9와 별다른 차이를 보이지 않을 것이다. 왜냐하면 로봇에 장착되어 있는 카메라는 하향으로 설정되어 있다 이것은 영상을 가까이 접근해도 회전이 가능하기 때문이다. 그러나 4-(f)의 영상 역시도 매우 먼 거리에 있는 장애물을 캡쳐했기 때문에 아직까지는 히스토그램만으로는 장애물이라고 인식하지 않는다. 따라서 최종 목적지로 가기 위한 회전 명령이 아니라면 로봇은 더 전진하게 될 것이고, 그랬을 경우에 어느 한 부분을 장애물로 인식하여 회피하게 될 것이다. 그림 10에서는 그림9와 거의 동일하므로 히스토그램 측정 영상만을 보이기로 한다.

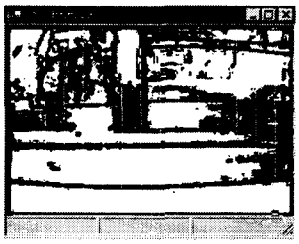


그림 9. (f)영상의 Scan

이후에 나타나는 그림 4-(g)(h)는 로봇이 최종 목적지에 도착하고 난 후에 캡쳐한 영상이므로 히스토그램 측정의 의미가 없다. 따라서 장애물을 인식할 필요가 없다. 그러나 로봇은 일관된 알고리즘을 수행하기 때문에 연속적인 처리 결과를 보인다. 본 논문에서는 의미가 없기 때문에 보이지 않기로 한다.

5. 장애물 인식에 관한 이론

본 논문에서는 라인 히스토그램의 변화분에 대하여 장애물로 인식하는 처리 이론에 퍼지 논리를 도입하였다. 퍼지 논리의 Min/Max 연산자를 도입하게 되면 퍼지 맴버쉽 함수에 의하여 몇 픽셀 간격 이상이 파형의 변화분이 없다면 장애물로 인식하라는 명령을 주기 쉽다. 이것은 Min/Max 연산자를 이용한 차분값을 맴버쉽 함수로 주기 때문이다. 이러한 이론은 참고문헌[2][3]에서 도입했던 이론으로서 이미 적용시킨바 있다. 물론 예전에 도입했던 것만큼 많은 변화가 있는 히스토그램의 분포에서의 일정 영역을 찾는 것은 아니지만 장애물로 인식하기에 애매한 부분까지도 찾아서 회피할 수 있도록 하기 위하여 본 알고리즘을 도입하였다. 뿐만 아니라 처리 시간을 고려하여 측정 픽셀의 간격을 넓게 설정하여도 앞, 뒤의 히스토그램 변화분을 고려하여 평균값을 찾기에도 용이하다.

III. 결 론

전처리와 후처리로 나누어진 영상처리 알고리즘을 적용하여 제한되지 않는 필드, 즉 배경과 장애물의 식별이 까다로운 필드에서 적용하게 될 복합 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서는 Line Histogram을 y축으로 0에서 197까지의 고정된 스캔을 통하여 intensity를 측정하였으며 x축으로 20픽셀씩 이동하면서 일정한 스캔을 함으로써 각각의 위치에서의 히스토그램을 가지고 장애물로 인식시키는 방법을 소개하였다. 이 기법은 여러 가지 복잡한 영상처리 알고리즘보다는 간단하게 적용이 가능하여 하드웨어적인 처리가 가능함을 보인다. 비록 지면의 제약이 있어서 여러 영상들에 대한 실험결과를 모두 보이지는 못했지만 여러 가지 실험 결과에 비추어서 이동로봇의 장애물 회피를 위한 알고리즘으로써 매우 효과적으로 생각된다. 그러나 한가지 단점은 로봇의 이동속도를 빠르게 할 수 없다는 점이다. 이것은 로봇이 가까이 접근해야만 인식할 수 있는 (e)(f) 같은 장애물의 영상도 있기 때문이다. 이러한 점을 차후에 개선해야 할 과제로 생각된다.

참고문헌

[1] 류한성, 최중경, 구본민, 박무열, 권정혁, "자율이동로봇의 장애물회피 및 경로계획에 대한 간략화 알고리즘과 복합 알고리즘에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 제6권 1호, 2002.

[2] 정태영, 류한성, 탁영봉, "음, 양각의 타이어문자 인식을 위한 영상전처리", 자동화 및 컴퓨터응용 기술연구소 논문집 3호, 1996.

[3] 정태영 "타이어 자동분류를 위한 음,양각 문자인식", 경상대학교 대학원 석사학위 논문, 1997.

[4] 심명석, 박성환, "열악한 조명환경의 명암도 영상에서 에지정보를 이용한 문턱치 결정 알고리듬", 대한전자공학회 하계 종합학술대회 논문집 제18권 제1호, pp.980-983, 1995.

[5] A. perez and C. gonzalez, "an iterative Thresholding Algorithm for Image segmentation" IEEE Trans on pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PaMI-9, NO.6, 1987.

[6] M. Haralick and G. Shpiro, "Image Segmentation Techniques", Computer vision, Graphics and image processing 29, pp.100~132, 1985.

[7] C. Gonzalez and R. Woods, "Digital Image Processing", Addition Wesley, pp.161-247, 413-482, 1992.

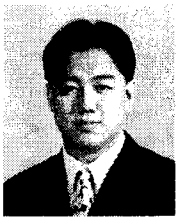
[8] Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Application", International Edition, pp.87-105.

[9] 류한성, 최중경, 구본민, 박무열, "Line Histogram Intensity를 이용한 이동로봇의 장애물 회피 알고리즘에 관한 연구", 대한 전자공학회 2002 하계 학술대회 논문집.

저자소개

류한성(Han-seong Ryu)
경상대학교 전자재료공학과 공학사
경상대학교 대학원 공학석사
창원대학교 대학원 전자공학과 박사수료
거창전문대학 컴퓨터응용전자과 겸임 전임강사
(주)동양ENG 연구소장, (주)화이트스콜 기술고문
현재 국립 진주산업대학교 전자공학과 겸임 조교수
※관심분야: 영상처리, 영상 하드웨어시스템, 위성통신

최중경(Jung-keying Choi)
고려대학교 전기공학과 공학사
고려대학교대학원 전기공학과 석사
고려대학교 대학원 공학박사
현재 창원대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 서보기기, 자동동조제어, μp응용, 영상제어



구본민(Bon-min Koo)
창원대학교 전자공학과 공학사
창원대학교 전자공학과 공학석사
창원대학교대학원 전자공학과 박사과정
진주국제대학교 컴퓨터전자공학과 겸임전임강사
※관심분야: DSP보드설계, 이동로봇제어

박무열(Moo-yurl Park)
창원대학교 전자공학과 공학사
창원대학교 전자공학과 공학석사
창원대학교 대학원 전자공학과 박사과정
※관심분야: 영상시스템제어, 영상로봇제어

방만식(Man-sik Pang)
경상대학교 전자공학과 공학사
경상대학교 전자공학과 공학석사
경상대학교 전자공학과 박사수료
현재 진주국제대학교 컴퓨터전자공학과 조교수
※관심분야: 음성신호처리