
자율 이동로봇의 장애물 회피 및 경로계획에 대한 간략화 알고리즘과 복합 알고리즘에 관한 연구

류한성* · 최중경* · 구본민* · 박무열* · 권정혁*

A study on Simple and Complex Algorithm of Self Controlled Mobile Robot
for the Obstacle Avoidance and Path Plan

Han-Sung Ryu* · Jung-Keying Choi* · Bon-Min Koo* · Moo-Yurl Park* · Jeong-Hyeck Kwon*

요 약

본 논문에서는 자율 이동로봇이 장애물을 회피하며 목표하는 지점까지의 경로를 구성하여 찾아가는 두가지 알고리즘을 제안하고자 한다. 첫째는 PC를 이용하여 영상처리를 수행하고 로봇의 이동경로를 계산해 주는 간략화 된 알고리즘이다. 둘째는 PC등의 보조수단이 없는 자율 이동로봇의 이동을 위한 복합 알고리즘이다.

첫 번째 알고리즘은 CCD카메라로부터 획득한 영상신호를 RF 무선 모듈을 이용하여 PC로 보내고 PC에서 영상 전처리 과정을 거친 후, 장애물로 인식되면 회피할 제어 신호를 이동로봇으로 전송하는 것이다. 이동로봇에 탑재된 CCD카메라에서 획득한 영상 정보는 매 샘플링 시간마다 캡처하여 PC로 전송하면 호스트는 화면에서 장애물이 차지하는 비율을 따져서 장애물의 유무를 판별한 후 좌 혹은 우로 회전하여 장애물을 회피하고 이동한 거리를 PC로 전송하는 시스템을 구현하여 초기에 지정한 목표지점까지 로봇이 갈 수 있도록 간략한 경로를 계획하여 추적해 나가는 알고리즘을 구현해 보고자 한다.

두 번째는 이동하고자 하는 입력 영상의 환경의 조명 조건이 불연속적이거나 장애물의 크기나 색상이 다른 여러 가지 그레이 레벨을 갖는 분할된 장애물이 있을 때 로봇이 자율적으로 이동하도록 하여 장애물이 나타나면 회피하여 최종 목적지를 찾아가도록 하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 여기에서는 영상 전처리 과정과 장애물을 인식할 수 있도록 Labeling과 Segmentation을 통한 pixel의 밀도 계산이 도입된다.

ABSTRACT

In this paper, we present two types of vision algorithm that mobile robot has CCD camera. for obstacle avoidance and path plan. One 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 TMS320F240 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 95 percent filled screen from input image. And the robot recognizes obstacle about 95 percent filled something, so it could avoid the obstacle and conclude new path plan. Another is complex algorithm that image preprocessing by edge detection, converting, thresholding and image processing by labeling, segmentation, pixel density calculation.

* 국립중앙대학교 전자공학과

접수일자: 2002. 2. 9

비트맵 포맷으로 캡처하여 RAW 파일 포맷으로 변환한다. 흰색의 장애물을 효율적으로 처리하기 위하여 그레이 스케일로 변환한 후, 경계값을 기준으로 이진화를 거쳐 흰색의 장애물과 검은색의 그 외 배경으로 분리하게 된다.

3.2 장애물 인식

이진화를 거친 영상은 흰색의 장애물과 검은색의 배경으로 나뉘어 지며 이렇게 얻어진 영상정보를 바탕으로 장애물을 회피하기 위해서는 이동 차량과 장애물 사이의 거리를 추정할 수 있어야 한다. 초기에는 전체 화면의 95%이상이 흰색을 차지하면 전방에 장애물이 있는 것으로 인식하였으나 장애물과 이동 로봇이 일직선상에 있지 않으면 장애물이 화면 전체를 채울 수 없으므로 충돌하는 일이 생겼다. 따라서 화면의 좌우 20%를 차지하는 Pixel에서 검은색 Pixel의 비율이 0.5%이하가 되면 전방에 장애물이 있는 것으로 인식하도록 프로그램 하였다. 그림 2에서 초기에 장애물을 감지하지 못한 화면을 보였다.

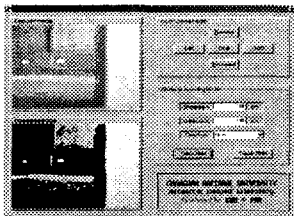


그림 2. 장애물이 우측으로 치우친 경우

3.3 장애물 회피

초기에 로봇의 위치에 대한 상대 좌표값인 X축과 Y축의 좌표를 입력한 후 이동 로봇을 장애물 회피 모드로 구동시키게 된다. 이동 로봇은 PC쪽으로 CCD 카메라를 통해 획득한 영상과 자신이 이동한 거리를 전송하게 되고 Host PC에서는 그 영상정보를 이용하여 전방의 장애물 유무와 현재 이동로봇과 목표지점까지의 거리 오차를 계속해서 모니터링 한다. 이동 거리는 입력 펄스의 개수로 결정이 되며 속도는 입력 펄스의 주파수로 결정된다.

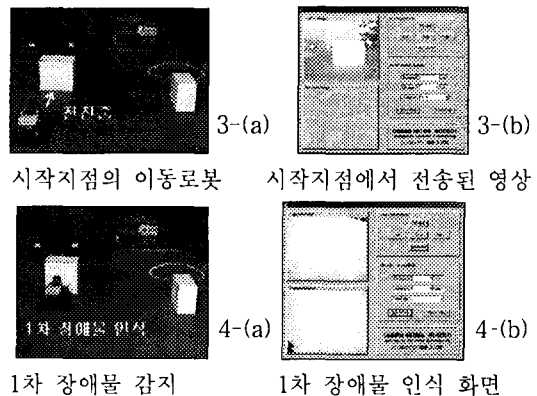
3.4 경로 추정

초기에 입력받은 목표지점의 Y쪽 오차 값을 줄여나

가는 방향을 진행한다. 이동 로봇이 이동한 거리를 계속해서 PC쪽으로 전송하기 때문에 PC쪽에서는 이동 로봇과 목표지점까지의 거리 오차값을 계속해서 모니터링 하면서 이동 로봇의 진행 방향을 결정하게 된다. Y쪽 오차값을 줄이는 방향으로 진행하다가 첫 번째 장애물을 만나게 되면 목표지점 X쪽 좌표값의 부호를 판별하여 양이면 우회전, 음이면 좌회전을 해서 X쪽 오차값을 줄여 나가는 방향으로 진행하게 된다. 이후 2차 장애물을 만나게 되면 목표지점 Y쪽 좌표의 부호를 판별하여 이전 X축 이동 방향과 조합하여 부호에 따른 좌회전과 우회전을 결정한다. X축 양의 방향으로 이동한 경우는 Y축 좌표값이 양이면 좌회전, 음이면 우회전을 하게 되고 X축 좌표값이 음이라면 그 반대 방향으로 회전하게 된다. 이러한 알고리즘으로 초기에 입력받은 상대 좌표값까지 경로를 설정하여 이동하게 된다.

3.5 실험결과

초기 이동 로봇으로부터 목표지점까지의 거리를 측정하여 PC에 Cm단위로 X축과 Y축 거리를 입력하면 목표지점에 근접할 수 있는 방향으로 진행하게 된다. 목표지점에 반경 20cm정도의 타원을 그린 후 이동 차량이 목표지점을 추정하여 타원 안에 들어가는 횟수를 측정해본 결과 90% 이상 타원 안에 들어감을 알 수 있었다. 그림 3-(a)부터 그림 8-(a)까지 실제 이동 로봇이 주행하는 화면을 원격지에서 캡처한 화면이고 그림 3-(b)에서 그림 8-(b)까지는 PC쪽 프로그램의 실행화면이다.

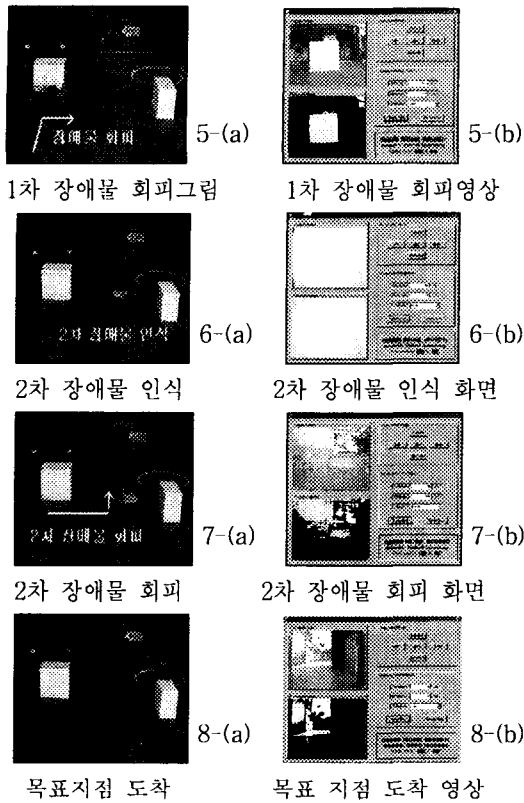


시작지점의 이동로봇

시작지점에서 전송된 영상

1차 장애물 감지

1차 장애물 인식 화면



체와 구동 모터 역시 수정 보완하였다. 로봇의 구동 모터는 스텝모터에 기어를 장착하여 구동하던 방식이 아니라 기어드 모터를 장착하여 내부기어에 의하여 구동할 수 있도록 한 것이 특징이다. 그 이유는 기어에서 발생하는 Back-rush 현상이 이동차량이 원하는 방향으로 진행하는데 있어 지장을 줄 뿐만 아니라 Back-rush 현상에 의하여 좌표 정보가 올바르게 전달되지 않기 때문이었다. 그러나 기어드 스텝 모터를 이용하는데 있어서의 문제점은 초기에 많은 주파수가 입력되면 기어가 정상적으로 동작하기 전에 탈조를 한다. 이러한 현상을 막기 위하여 가,감속 제어를 통한 모터구동을 하였다. 다음의 그림9에 로봇2의 구성을 보였다.

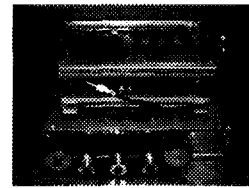


그림9 로봇2의 구성

2. 자율이동 로봇의 이동경로.

로봇2의 이동경로 계획은 앞 절에서 보여진 로봇1의 경로계획과 같다. 다음의 그림10에 로봇2의 장애물 회피 및 목표지점까지의 이동모습을 보였다. 이것은 먼 거리에서 다른 카메라로 캡처한 영상들이다.

III. Labeling과 Segmentation 기법을 이용한 장애물 인식 알고리즘

1. 영상처리 시스템 구성

앞 절에서 다루었던 영상처리 알고리즘은 가장 간편하게 처리할 수 있는 방법을 제안하였다. 가장 쉽게 적용할 수 있는 알고리즘이긴 하지만 여기에는 앞서 언급했다시피 몇 가지 제한이 따른다. 첫째 균일한 조명하에서 가장 명확하게 동작할 수 있으며 장애물의 색상이 배경색과 대비가 뚜렷하게 되어야 한다는 것이다. 따라서 셋팅되어 있는 환경에서 실험을 해야하는 불편을 감수하여야 했다. 그래서 우리는 또 다른 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 연구팀은 많은 시간과 노력을 기울여서 이동로봇을 새롭게 제작하였다. PC에서 영상처리를 한 다음 제어 명령을 로봇에게 전달하는 방식에서 영상처리를 자체적으로 수행할 수 있도록 영상 처리 보드를 탑재한 로봇을 제작하였으며, 차

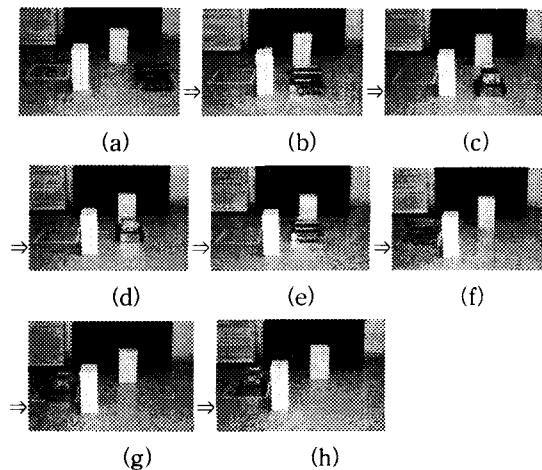


그림10 로봇의 목표지점까지의 이동경로

3. 입력영상 전처리 과정

먼저 원영상을 입력받아서 3×3 mask Sobel 연산자를 사용하여 윤곽선을 추출한다. 추출된 윤곽정보는 처리가 용이하도록 NOR Converter를 거친다. 그리고 영상의 경계값을 찾는다. Convert를 처리한 영상의 경계치를 229로 둔다. 그러면 거의 흰색에 가까우면서도 약간의 그레이 레벨만 가진다 하더라도 흑백 대비를 뚜렷하게 만들어 준다. 앞 절 II에서 보였던 처리방법에서는 되도록 불순 성분을 줄이기 위하여 경계값을 낮추었는데 이제는 역으로 불순 성분을 받아들이기 위하여 경계값을 높이는 것이다. 먼저 그림11에 로봇 이동 경로에 따라서 얻어진 원 영상을 보였다.

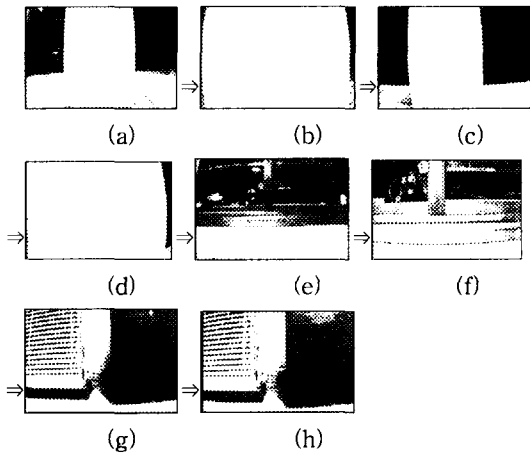


그림 11. 자율이동로봇에서 얻어진 원 영상

3.1 Sobel 연산자에 의한 경계검출

그림11에서 얻어진 원 영상에 Sobel 연산자를 적용시키면 아래의 그림 12의 mask처럼 할당된 weight를 갖는다. 자기중심 화소에 가중치를 부여하므로 평균화 기능을 가지며, 좌우대비 픽셀의 가중치는 중심의 2분의 1로 정하였고 중심 Row의 상하 가중치에 배의 차이를 두어 잡음에 비교적 강하며, 농담의 변화가 급격하도록 하였다. Sobel연산자에 의한 경계검출을 그림 13에 보였다.

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

그림 12 Sobel 연산자의 화소값

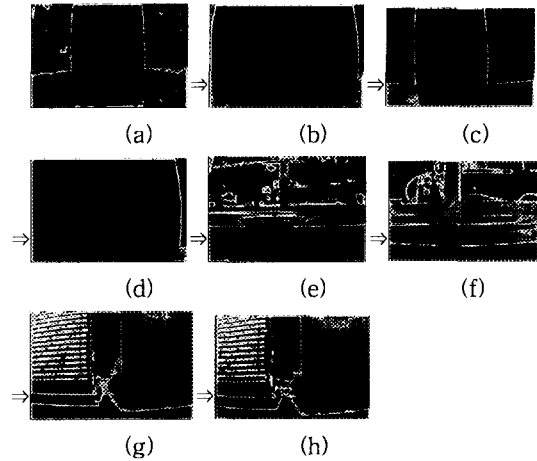


그림 13. Sobel 연산자에 의한 경계검출

3.2 NOR Converter에 의한 명암 반전

이치화시킨 영상을 NOR 논리 즉, “둘 다 거짓일 때만 참이고, 그것을 제외한 나머지는 모두 거짓이다”라는 산술논리를 적용하였다. 즉, 자기 자신의 화소의 값과 인접화소와의 대비에서 둘 다 0이면 흰색으로 나타나고, 그 나머지는 모두 검정색이 되는 것이다. 이러한 논리에 대한 진리표를 표2에 나타내었으며 변환된 영상을 그림14에 나타내었다.

A	B	OUTPUT
F	F	T
F	T	F
T	F	F
T	T	F

표 2. NOR 함수의 진리표

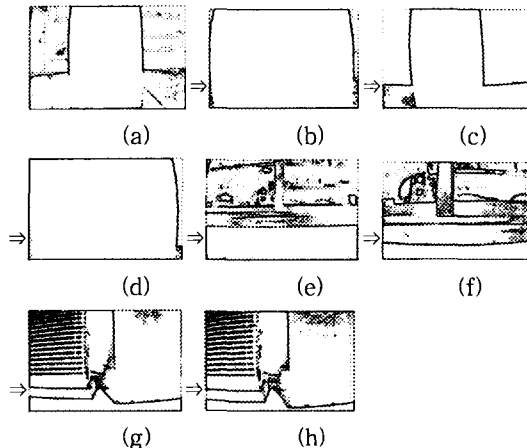


그림 14 NOR Convert 된 영상

3.3 경계치 설정

앞서 언급한 것처럼 불순 성분을 받아들이기 위하여 경계값을 229로 높인다. 이런 이유는 그림14에서 보여진 영상정보들은 명암대비가 뚜렷하지 않다. 그러므로 명암대비를 시켜야 하는데 본 절에서 나중에 언급될 알고리즘을 보면 노이즈가 없는 깨끗한 필드는 장애물로 인식시키려고 하고 노이즈가 존재하는 필드는 장애물이 없거나 장애물과의 거리가 멀다고 인식되게끔 하기 때문에 장애물 이외의 필드는 노이즈가 존재하게 하도록 경계치를 설정하는 것이 좋다. 그림 15에 경계치 설정에 대한 그림을 보였으며, 이러한 경계치에 의하여 변환된 영상들을 그림 16에 보였다.

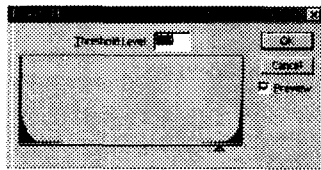


그림 15 경계치 설정

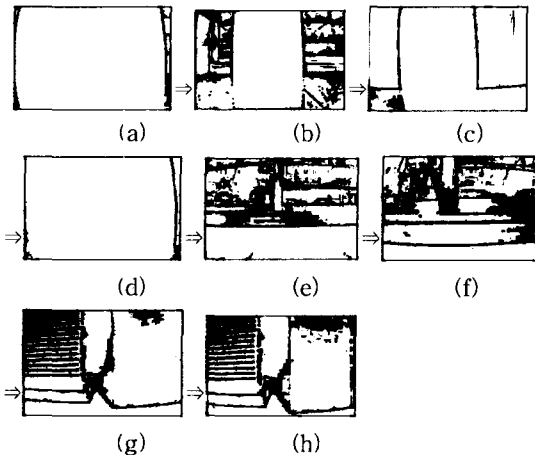


그림16 경계치 229로 설정된 영상

4. Labeling과 segmentation을 이용한 장애물 회피 영상처리 알고리즘

그림 16의 영상은 각각의 영상에서 보면 알 수 있듯이 여러개의 조각들로 나누어져 있음을 알 수 있다. 그런 여러개의 조각들은 각각의 페루프를 형성하고 있으며 페루프마다 제각기 영역에 대한 면적을 가진다. 페루프를 따라 영역을 분할하여 보면 한 영상에서 가장 큰 페루프 면적은 다른 루프의 면적과는 비교가 되지

않을 만큼 크다. 그림17에 보여진 영상은 각 영상별로 영역이 분할되어 루프에 번호가 부여된 것이고, 그림 18은 그 루프들의 픽셀의 개수에 대비한 면적을 계산한 것이다.

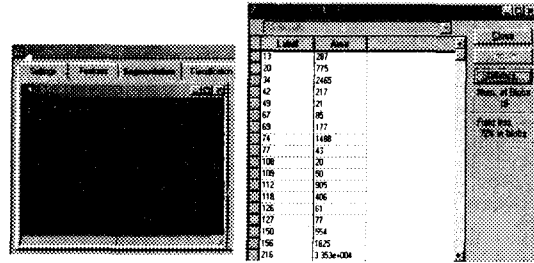


그림17-(a)

그림18-(a)

그림18-(a)에서 보면 216번 루프면적이 가장 넓은 것을 알 수 있다. 다른 면적에 비하여 장애물과 바닥면의 면적이 더하여져서 3,3530이라는 매우 큰 값을 가지고 있음을 보여 주고 있다. 그 외의 다른 루프들은 10의 3승(e+003)단위 이내의 값을 가지고 있음을 보여 주고 있다. 따라서 그림 17-(a)에서는 216번 루프가 장애물임을 알 수 있다. 다음은 (b)의 영상에 대한 결과이다.

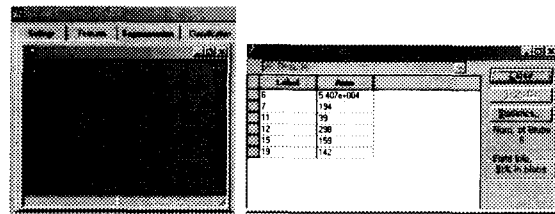


그림17-(b)

그림18-(b)

그림 17-(b)에서 보여주는 영상은 6번 루프의 존재 픽셀 수 즉, 면적이 가장 크다. 루프의 면적값이 5,4070 이므로 10의 4승 값을 가진다. 이것이 장애물이다. 따라서 장애물을 회피하도록 회전 명령신호를 준다. 회전 한 영상이 (c)이다.

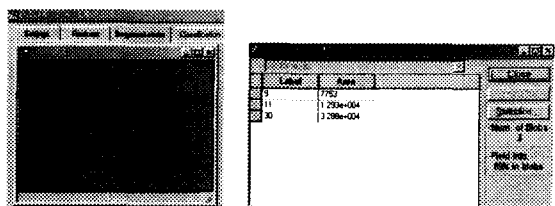


그림17-(c)

그림18-(c)

이동체가 회전한 후에 받아들인 (c)의 영상은 여전히 장애물로 인식되어질 루프가 두 개 발견되었다. 여기서는 11번과 30번 둘 다 10의 4승 범위의 면적값을 가진다. 또한 9번 11번 30번 루프가 모두다 비교하면 11번은 9번의 1.672배의 크기를 가지며 5,177의 차이값을 가진다. 그리고 30번 루프는 11번 보다 2.54배의 크기를 가지며, 19,950의 차이를 가진다. 30번 루프가 다른 루프에 비하여 큰 것은 사실이지만 10의 몇 승 정도의 큰 크기 차이를 가지지는 않는다. 이러한 경우는 이동체를 전진시켜서 영상에 들어오는 장애물을 더 크게 클로즈업하여 다시 판단하기로 한다. 이러한 이유는 나중에 여러개의 비슷한 크기의 루프가 생성되었을 때 장애물 판별을 쉽게 하기 위함이다. 클로즈업된 영상을 얻게 되는 것이 (d)의 영상이다.

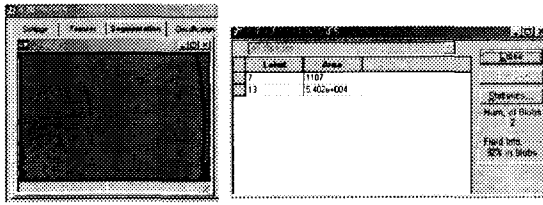


그림 17-(d)

그림 18-(d)

앞서 보았던 (c)의 영상에서는 크기 차이가 뚜렷하지 않아서 장애물 판별에 어려움이 있었으나 좀 더 직진한 후에 받아들인 (d)의 영상에서는 확연하게 크기 판별이 나타난다. 13번 루프가 장애물임을 알 수 있다. 따라서 회전하게 된다. 회전후에 받아들이는 (e)의 영상을 나타내었다.

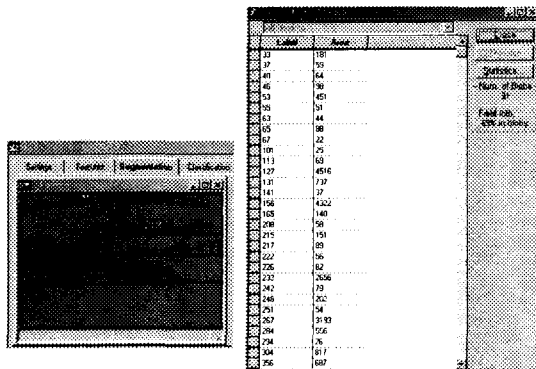


그림 17-(e)영상

그림 18-(e)

그림 17-(e)에서 알 수 있었겠지만 루프가 31개가 나타났다. 이것은 앞에 나타난 물체가 일단은 가깝지 않은 곳에 장애물 또는 굴곡이나 회전이 심한 물체이거나 아니면 여러 물체들이 적재 형태의 복합적인 형상을 지니고 있음을 알 수 있다. 어느 하나도 기준이 될 만한 크기를 가진 루프가 없다. 이러한 경우는 영상 정보가 장애물로 인식할만한 크기의 면적값이 나올 때까지 전진시킨다.

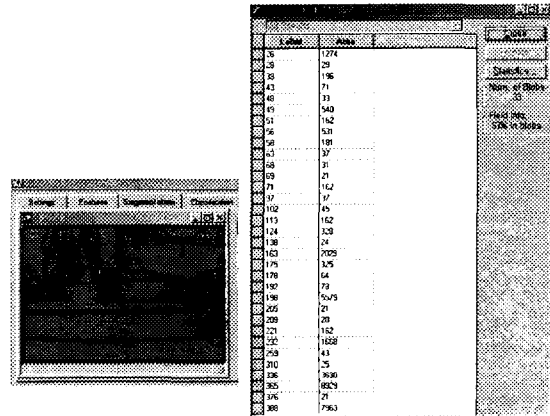


그림 17-(f)

그림 18-(f)

여기에서도 마찬가지로 뚜렷하게 큰 면적값을 가지는 루프를 발견할 수 없었다. 따라서 더 전진을 시키면 알 수 있을 것이다. 그러나 본 실험에서 정해진 좌표값은 현재 (f)영상을 받아들인 위치 바로 옆이 최종 목표지이기 때문에 오른쪽으로 회전하여 최종 목표지에 도착하게 된다.

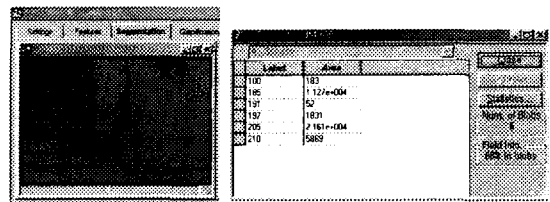


그림 17-(g)영상

그림 18-(g)

IV. 결 론

본 논문은 이동 로봇에 장착된 한 개의 CCD 카메라를 통해 입력되는 영상 정보를 이용하여 초기에 지

정한 목표지점까지 중간의 장애물을 회피하면서 도달하기 위한 알고리즘을 제안하였으며 실제 실험을 통해 결과를 확인해 보았다. 여기에는 두 가지 알고리즘을 제안하였다.

첫째는 입력영상을 픽셀 단위로 처리하여 히스토그램과 경계치(threshold)설정만을 이용하는 간략한 영상처리 알고리즘을 적용하여 이동로봇 전방의 장애물을 인식할 수 있도록 하였다, 명령전달은 이동 로봇과 PC간의 무선 양방향 통신을 구현하여 모든 제어 명령과 데이터 전송을 무선으로 구현하였다.

둘째는 전처리와 후처리로 나누어진 영상처리 알고리즘을 적용하여 제한되지 않는 필드 즉, 배경과 장애물의 식별이 까다로운 필드에서 적용하게 될 복합 알고리즘을 소개하였다. 이 알고리즘에서는 Labeling 기법을 이용하여 각각의 루프를 형성하고 그 루프가 가지는 픽셀의 수를 면적값으로 대치하여 서로의 값을 비교하는 방법을 도입하였다.

본 논문에서 강조하고자 하는 내용은 하드웨어 시스템구현을 통하여 간략한 영상처리 알고리즘을 충분히 실현할 수 있음을 보여주고 있으며, 복잡한 장애물과 필드에서도 적용할 수 있는 복합 알고리즘도 구현할 수 있음을 보이는 것이다. 또한 본 논문에서 밝힌바와 같이 장애물을 회피하면서 목표지점까지의 거리를 계산하여 최종 지점까지 이동할 수 있음을 보였다.

참고문헌

- [1] TMS320F/C240 DSP Controllers CPU and Instruction Set Reference Guide, TI, 1999.
- [2] TMS320F/C240 DSP Controllers Peripheral Library and Specific Devices Reference Guide, Texas Instrument, 1999.
- [3] 황광일, "Visual C++ Professional Programming Bible", 영진출판사, 1999
- [4] M.Haralick and G.Sapiro, "Image Segmentation Techniques", Computer vision, Graphics and image processing 29, pp.100-132, 1985
- [5] C.Gonzalez and R.Woods, "Digital Image Processing", Addition Wesley, pp.161~482, 1992

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

저자소개

류한성(Han-Seong Ryu)



경상대학교 전자재료공학과 공학사
경상대학교 대학원 전자재료공학과 전자소자 및 컴퓨터비전 전공 공학석사
창원대학교 대학원 전자공학과 영상제어 전공 공학박사 수료

거창전문대학 컴퓨터응용전자과 겸임 전임강사 역임
(주)동양ENG 연구소장, (주)화이트스콜 기술고문
※관심분야: 영상처리, 영상 하드웨어시스템, 위성통신

최중경(Jung-Keying Choi)



고려대학교 전기공학과 공학사
고려대학교 대학원 전기공학과 공학석사
고려대학교 대학원 디지털제어전공 공학박사

현, 창원대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 서보기기제어, 자동동조제어, 마이크로프로세서응용, 영상제어

구본민(Bon-Min Koo)



창원대학교 전자공학과 공학사
창원대학교 대학원 전자공학과 공학석사
창원대학교 대학원 전자공학과 디지털제어전공 공학박사 과정

진주전문대학 컴퓨터전자과 겸임 전임강사
※관심분야: DSP보드설계, 이동로봇제어

박무열(Moo-Yurl Park)



창원대학교 전자공학과 공학사
창원대학교 대학원 전자공학과 공학석사
창원대학교 대학원 전자공학과 디지털제어전공 공학박사 과정

※관심분야: 영상시스템제어, 영상로봇제어

권정혁(Jeong-Heck Kwon)



영남대학교 전자공학과 공학사

창원대학교 대학원 전자공학과 공학석사

창원대학교 대학원 전자공학과

제어전공 공학박사 수료

規(주)삼성테크윈 파워시스템연구소 기

술개발팀 대리

※관심분야: 모터드라이버 & control