

폴라 맵핑 예측기를 통한 이동로봇의 장애물 회피

김 영중, 김 범수, 임 묘택
고려대학교 전기공학과

Obstacle Avoidance for Mobile Robots Using Predictive Polar Mapping

Young-Joong Kim, Beom-Soo Kim, Myo-Taeg Lim
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - This paper presents the predicted polar mapping that is to improve the efficiency of an unexpected moving obstacle detecting system. When the movement of the robot per a step becomes a bit large then static objects or background are detected as moving objects. Thus, the velocity of the robot becomes so slow. Therefore, to enlarge the movement of the robot, we propose the predicted polar mapping that predicts the polar mapped image after robot moves to be admissible. In order to verify experimentally our proposed procedure, we make several comparative tests in the corridor.

1. 서 론

자율이동 로봇의 주행을 위한 영상 시스템은 환경에 대한 많은 정보를 제공하기 때문에 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 움직이는 장애물 회피는 영상 기반 로봇의 주행에 대한 중요한 문제 중에 하나로서 많은 연구 결과가 발표되고 있다[1-3]. 이동하는 로봇의 영상으로부터 정지된 배경과 움직이는 객체를 분리하는 것은 정지된 배경과 물체들이 움직이는 객체로 관측되어지기 때문에 많은 어려운 문제들을 포함 하고 있다[4-5]. 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법으로는 크게 영상의 모든 광학 흐름(Optical Flow)들을 계산하여 정보를 얻는 방법[6-7]과 폴라 맵핑(Polar Mapping)과 움직이는 장애물의 정량적인 해석에 의한 방법[4-5]이 있다.

폴라 맵핑에 의한 방법은 두 개의 연속적인 영상으로부터 각각의 폴라 맵핑된 영상을 구한 후 차영상을 구한다. 이 차 영상에는 움직이는 물체들만 관측되게 된다. 이 방법은 많은 계산량을 필요로 하지 않기 때문에 로봇의 실시간 주행을 가능하게 한다. 하지만 연속적인 영상을 얻을 때 로봇의 이동 량은 아주 작아야 한다는 제약 조건이 있다. 처음 영상을 얻은 후 다음 영상을 얻기까지 움직이는 량이 커지면 정지된 배경과 물체들이 움직이는 물체로 관측되기 때문에 로봇의 한 단계 당 이동 량은 매우 작아진다. 따라서 로봇의 전체적인 이동 속도도 느려지게 된다. 이러한 단점과 폴라 맵핑을 이용한 이동 장애물 회피 알고리즘의 효율성을 향상시키기 위하여 본 논문은 자율이동 로봇의 주행에서 나타나는 기대되지 않는 움직이는 장애물을 검출하기 위하여 폴라 맵핑 예측 알고리즘을 제안한다. 연속적인 영상의 처음 영상을 폴라 맵핑한 후 로봇의 이동 량에 따라 예측된 폴라 맵핑 영상을 구한다. 이 영상과 나중 영상의 차 영상으로부터 움직이는 장애물이 있는 영역을 검출할 수 있다.

본 논문에서 두 연속적인 영상 사이의 이동 거리를 증가시키기 위하여 처음 얻은 영상의 폴라 맵핑을 로봇의 이동 량에 따라 정지된 다음 영상을 예측하는 알고리즘과 이를 이용한 움직이는 장애물 검출 알고리즘을 제안한다.

다. 또한 제안하는 알고리즘을 Pioneer 2-AT 자율이동 로봇에 적용하였고 제안하는 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 기존의 폴라 맵핑 알고리즘과 비교 실험하였다.

2. 본 론

2.1 예측된 폴라 맵핑

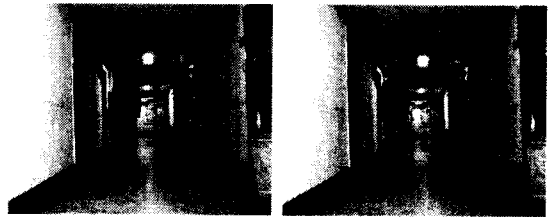
움직이는 장애물 영역을 분할하기 위하여 폴라 맵핑을 이용하여 로봇으로부터 얻은 영상을 직각좌표계에서 FOE(Focus of Expansion)을 원점으로 하는 극좌표계로 변환한다. 직각좌표계의 영상을 다음의 방정식을 이용하여 극좌표계로 변환한다.

$$\rho = \sqrt{(x - x_{FOE})^2 + (y - y_{FOE})^2} \quad (1)$$

$$\eta = \tan^{-1}\left(\frac{x - x_{FOE}}{y - y_{FOE}}\right) \quad (2)$$

위에서 ρ 는 직각좌표계의 한점 (x, y) 에서 FOE와의 거리이고 η 는 그 사이각이다.

그림 1은 복도를 주행하는 로봇이 얻은 연속적인 영상이다.



(a) (b)

그림 1. 로봇이 3cm 이동한 경우: (a) 로봇이 처음 얻은 영상. (b) 로봇이 3cm 이동 후 얻은 영상.

그림 1의 영상들의 폴라 맵핑의 차영상으로 움직이는 장애물 검출방법[4-5]은 로봇이 두 연속적인 영상 사이에 이동하는 거리가 수cm 미만으로 제한된다. 이 이동 거리가 커지면 정지된 배경과 물체들이 움직이는 장애물로 관측되기 때문에 이 방법을 사용할 수 없게 된다. 결과적으로 로봇의 이동 속도가 떨어지게 된다. 두 연속적인 영상 사이의 이동 거리를 증가시키기 위하여 처음 얻은 영상의 폴라 맵핑을 로봇의 이동 량에 따라 정지된 다음 영상을 예측하는 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

알고리즘 1: 예측된 폴라 맵핑

- 가) 로봇의 카메라로부터 영상을 얻는다.
- 나) 가)의 영상을 폴라 맵핑한다.
- 다) 로봇의 이동에 따른 광학 흐름을 계산한다.

라) 확대비율을 식 (3)을 이용하여 구한다.
 마) 라)의 확대비율로 나)의 영상을 수평 방향으로 확대한다.
 바) 마)영상의 확대된 오른쪽 끝 부분을 잘라낸다.

알고리즘 1에서 사용된 확대 비율(Zooming Rate)은 다음과 같다.

$$a = \frac{W_p}{H} \quad (3)$$

식 (3)에서 a 는 확대 비율이고 W_p 는 [6]에서 표현된 광학흐름의 거리이며 H 는 영상의 수평 크기이다.
 그림 2의 (a)는 알고리즘 1에 의하여 생성된 예측된 폴라 맵핑 영상이고 (b)는 로봇이 3cm 이동한 후의 영상(그림 1의 (b))의 폴라 맵핑 영상이다.

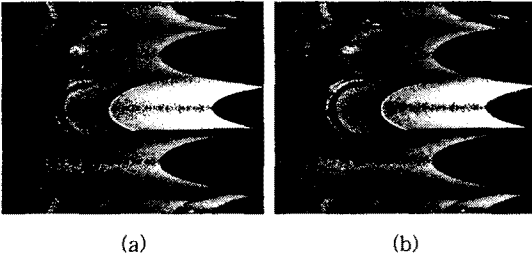


그림 2. 로봇이 3cm 이동한 경우: (a) 예측된 폴라 맵핑. (b) 그림 1의 (b)의 폴라 맵핑.

2.2 수직 이동 검출

그림 1의 두 개의 연속적인 영상의 움직이는 객체는 그림 2의 폴라 맵핑된 영상에서는 수직으로 이동하게 된다. 이는 수평으로 이동되는 객체를 검출하는 것 보다 중복되는 픽셀이 적기 때문에 효율적이다. 또한 두 영상의 차영상으로부터 움직이는 객체를 검출하기 위하여 그 효율성 때문에 많이 사용되고 있는 Sobel 연산자[8-9]를 이용한다. 그림 3은 각각 그림 2의 테두리 검출(Edge Detection) 영상이다.

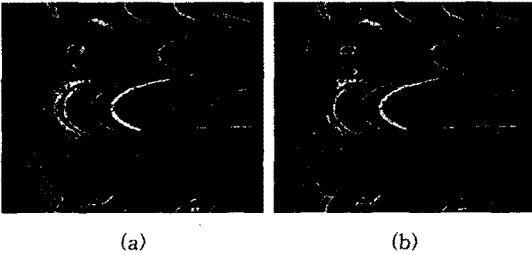


그림 3. 로봇이 3cm 이동한 경우: (a) 그림 2의 (a)의 테두리 검출. (b) 그림 2의 (b)의 테두리 검출

식 (4)를 이용하여 그림 2의 두 영상에 대한 차영상을 구한다.

$$I_{det} = I_{sobel}^{(p)} \cdot I_{sobel}^{(b)} - I_{sobel}^{(a)} \cdot I_{sobel}^{(n)} \quad (4)$$

식 (4)에서 I_{det} 는 차영상 결과이고 $I_{sobel}^{(p)}$ 는 예측된 폴라 맵핑의 테두리 검출 영상이며 $I_{sobel}^{(n)}$ 은 로봇이 이동한 후 얻은 영상의 일반적인 폴라 맵핑의 테두리 검출 영상이다. 식 (4)를 이용하여 얻어진 차영상은 플라 좌표계에서 표현되고 있으므로 다시 역 폴라 맵핑에 의하여 본래의 직각좌표계로 변환하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 예측된 폴라 맵핑 알고리즘과 일반적인 폴라 맵핑 알고리즘과 비교하기 위하여 각각의 직각좌표계로 복원된 움직이는 장애물 검출 결과를 그림 4에서 보여준다.

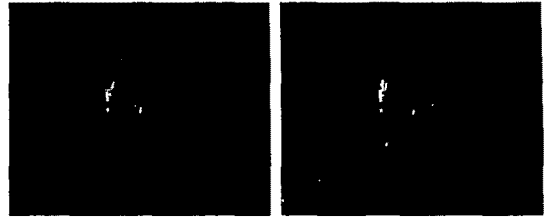


그림 4. 로봇이 3cm 이동한 경우: (a) 예측된 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 검출 결과. (b) 일반적인 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 검출 결과.

폴라 맵핑 알고리즘의 보다 효율적인 사용을 위하여 본 논문에서는 움직이는 장애물이 있는 영역을 검출하는 분할(Segmentation) 기법을 사용하였다. 이는 그림 4와 같이 검출된 픽셀들 중에서 4방향으로 최외각 픽셀들은 노이즈라고 가정하여 분할영역에서 제거하고 나머지 픽셀들을 각각 사각형 영역으로 분할한다. 각각의 분할된 결과는 그림 5와 같다.

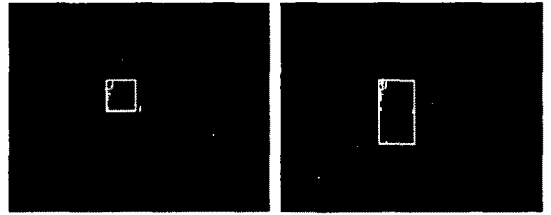


그림 5. 로봇이 3cm 이동한 경우: (a) 예측된 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 영역 분할. (b) 일반적인 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 영역 분할.

또한 본 논문에서 제안하는 예측된 폴라 맵핑 알고리즘의 효율성을 입증하기 위하여 이동로봇의 단계당 이동 거리를 9cm로 증가하여 움직이는 장애물을 검출한 결과는 그림 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 일반적인 폴라 맵핑을 이용한 알고리즘은 사용할 수 없을 정도의 결과를 보여주는 반면 제안하는 방법의 결과는 움직이는 분할된 장애물의 영역을 보다 효율적으로 제공하여 로봇의 이동 속도 향상에 기여한다.

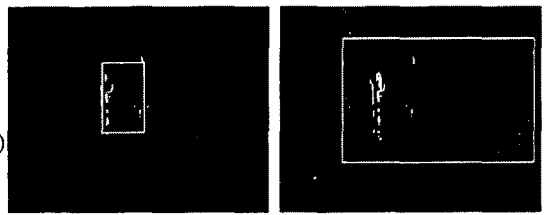


그림 6. 로봇이 9cm 이동한 경우: (a) 예측된 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 영역 분할. (b) 일반적인 폴라 맵핑 알고리즘을 이용한 움직이는 장애물 영역 분할.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 예측된 플라 맵핑 알고리즘의 효율성을 실험에 의한 타당성을 입증하기 위하여 ActiveMedia사의 Pioneer 2-AT 자율이동로봇에 적용하였다. 본 로봇에는 영상처리와 제어를 위하여 Intel Pentium III(850MHz) CPU와 Windows 98 환경의 컴퓨터가 장착되어 있으며 Panasonic CCD 카메라와 DataTranslation사의 DT3132 프레임 그래버가 장착되어 있다. 영상처리에 사용되는 영상은 480×360픽셀의 해상도를 갖는다.

비교 실험을 위하여 로봇은 한 단계 당 다음의 절차를 수행하였다.

알고리즘 2: 예측된 플라 맵핑을 이용한 움직이는 장애물 검출

- 가) 알고리즘 1을 이용하여 예측된 플라 맵핑을 구한다.
- 나) 로봇을 앞으로 이동 시킨다.
- 다) 로봇으로부터 다음 영상을 얻는다.
- 라) 다)의 영상의 플라 맵핑을 구한다.
- 마) 각각의 영상의 테두리 영상을 구한다.
- 바) 각각의 영상으로부터 차영상을 구하고 직각좌표계로 복원한다.
- 사) 바)의 영상에서 검출된 움직이는 장애물 영역을 분할한다.

로봇의 한 단계당 이동 거리를 3cm에서 15cm까지 증가시키면서 검출된 움직이는 장애물 영역의 오차를 측정된 결과는 그림 7과 같다. 제안하는 예측된 플라 맵핑 방법의 오차를 (—)로 일반적인 플라 맵핑 방법의 오차를 (---)로 표현하였다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 일반적인 플라 맵핑은 로봇의 한 단계당 이동 거리가 3cm 정도로 제약되는데 비하여 제안하는 방법은 10cm 까지 제약조건을 축소할 수 있었다. 따라서 로봇의 이동 속도를 3배정도 증가시킬 수 있었다.

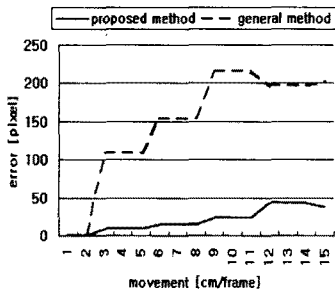


그림 7. 비교 실험 결과

3. 결 론

본 논문은 로봇의 단계당 이동량을 증가시키기 위하여 예측된 플라 맵핑 알고리즘과 이를 이용한 움직이는 장애물 검출 알고리즘을 제안하였고 Pioneer 2-AT 자율 이동 로봇에 적용하였다. 또한 제안하는 알고리즘의 타당성을 입증하기 위하여 기존의 플라 맵핑 알고리즘과 비교 실험하였다. 실험 결과를 토대로 플라 맵핑 알고리즘의 제약조건을 어느 정도 극복할 수 있었으며 로봇의 이동 속도를 3배 정도 향상시킬 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Bhaunu, B., "Qualitative motion detection and tracking of targets from a mobile platform", DARPA

Image Understanding Workshop, Cambridge, MA, pp. 289-313, 1988

[2] Thompson, W., "Detecting moving objects", Int. J. Computer Vision, 8, pp. 39-57, 1988

[3] Frazier, J., "Detecting moving objects from a moving platform", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2, pp. 1627-1633, 1992

[4] Nair, D., "Detecting unexpected moving obstacles that appear in the path of a navigating robot", IEEE International Conference on Image Processing, 2, pp. 311-315, 1994

[5] Nair, D., "Moving obstacle detection from a navigating robot", IEEE Transactions on Robotics and Automation, 8, pp. 39-57, 1998

[6] Enkelmann, R., "An experimental investigation of estimation approaches for optical flow field", Motion Understanding: Robot and Human Vision, 6, pp. 189-226, 1996

[7] Bishay, M., "Object detection in indoor scenes using log-polar mapping", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, pp. 775-780, 1994

[8] Forsyth, A., "Digital Image Processing", Prince Hall, Pearson Education, 2003.

[9] Gonzalez, C., "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992