

논문 2005-42SP-5-10

어안 렌즈를 이용한 전방향 감시 및 움직임 검출

(Omni-directional Surveillance and Motion Detection using a Fish-Eye Lens)

조 석 빈*, 이 운 근**, 백 광 렬***

(Seog-Bin Cho, Un-Kun Yi, and Kwang-Ryul Baek)

요 약

일반적인 카메라의 시야는 사람에 비하여 매우 좁기 때문에 큰 물체를 한 화면으로 얻기 힘들며, 그 움직임도 넓게 감시하기에 어려움 점이 많다. 이에 본 논문에서는 어안 렌즈(Fish-Eye Lens)를 사용하여 넓은 시야의 영상을 획득하고 전방향 감시를 위한 투시(perspective) 영상과 파노라마(panorama) 영상을 복원하는 방법을 제시한다. 영상 변환 과정에서 어안 렌즈의 특성으로 인한 해상도 차이를 보완하기 위하여 여러 가지 영상 보간법을 적용하고 결과를 비교하였다. 그리고 ME(Moving Edge) 방법으로 움직임을 검출하여 다중 물체를 추적할 수 있도록 하였다.

Abstract

In this paper, we developed an omni-directional surveillance and motion detection method. The fish-eye lens provides a wide field of view image. Using this image, the equi-distance model for the fish-eye lens is applied to get the perspective and panorama images. Generally, we must consider the trade-off between resolution and field of view of an image from a camera. To enhance the resolution of the result images, some kind of interpolation methods are applied. Also the moving edge method is used to detect moving objects for the object tracking.

Keywords : Fish-eye lens, surveillance, panorama, motion detection.

I. 서 론

넓은 공간을 이동하는 사람이나 물체를 감시하기 위한 방법 시스템 등에서는 공간 전체의 영상을 얻기 위하여 시야가 넓은 카메라가 필수적으로 요구된다. 그러나 일반적인 카메라 렌즈는 시야가 좁기 때문에 필요에 따라 여러 대의 카메라를 설치하거나 카메라를 움직여서 획득된 각각의 영상을 합성해야만 한다. 이러한 전방향 영상을 얻기 위한 많은 방법들이 개발되었다^[1]. Bault 등과 Peri와 Nayar는 파라볼라 거울(Paraboloidal

Mirror)을 사용하여 전방향을 비추고, 거울의 초점에 카메라를 위치시켜 반사된 영상을 얻는 방법으로 전방향 감시 시스템을 구현하였다^{[2][3]}. 그리고 Nayar는 같은 방법으로 이를 화상 회의에 적용하였다^[4].

그러나 이같이 거울을 사용하는 방법은 거울의 초점 부분에 카메라가 위치하므로, 얻어진 영상에서 카메라에 의해 가려지는 부분이 생기는 단점이 있다. 이는 일반적으로 카메라를 천장에 장치하는 방법 시스템에서 카메라 설치 위치의 바로 아래 지점의 영상을 얻지 못하므로 특히 문제가 된다. 다른 방법으로 어안 렌즈를 사용하여 전방향 영상을 얻을 수 있다^{[5][6]}.

본 논문에서는 어안 렌즈를 사용하여 한 대의 카메라로 전방향을 감시할 수 있는 방법을 제안한다. 어안 렌즈를 사용하면 사각이 없는 전방향 영상을 얻을 수 있으며, 설치 시에 외부로 노출되는 부분이 작아서 방법 시스템에 적합하다.

어안 렌즈를 사용하여 획득한 영상은 원형의 전방향

* 학생회원, *** 정회원, 부산대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering Pusan National University)

** 정회원, 부산경상대학 소방안전관리과
(Department of Fire Protection and Safety Engineering, Busan Kyungsang College)

※ 본 연구는 교육부에서 주관하는 "차세대물류IT기술 연구사업단"에 의해 지원 받은 연구임.

접수일자: 2004년12월6일, 수정완료일: 2005년3월18일

영상이다. 이 영상으로부터 사람이 보기 편리한 투시 (perspective) 영상으로 변환하였다. 이 변환은 Zimmerman의 모델을 사용하였다^[7]. 그러나 어안 렌즈 영상은 렌즈의 중간과 외곽의 해상도가 다르기 때문에 변환 시, 이에 따른 화질의 저하가 발생한다. 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 보간법을 적용하여 영상의 품질을 향상하였다. 그리고 같은 모델을 사용하여 파노라마(panorama) 영상을 구하는 방법을 제시하였다.

또한 감시 시스템에는 움직임 검출이 필수적이다. 동 영상에서 움직임을 검출하는 방법으로는 블록 기반 방법, 광류에 기반한 방법, 모델 기반 방법, 차영상에 기반한 방법 등이 있다. Bault 등은 움직임 검출을 위하여 기본적으로 입력 영상과 이전의 배경 영상을 이용하여 배경 영상을 갱신하면서 움직임을 검출한다^[2]. 이 방법은 가중치 값을 구하고 다중 배경을 정하는 검출 과정이 상당히 복잡하며, 배경 영상 갱신 모델이 안정성을 완벽히 보장받지 못하는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 비교적 간단한 차영상을 이용하여 물체의 움직임을 검출하였다. 그러나 차영상은 영상을 얻는 프레임 비율에 비하여 천천히 움직이는 물체는 검출하기 어렵고 잡음이 심하다. 이를 위하여 영상에서 윤곽선을 추출하여 차영상과 함께 이용하는 ME(Moving Edge) 기법을 사용하였다^[9]. 그리고 잡음에 강한 결과를 얻기 위하여 물폴로지(morphology) 필터를 이용하여 잡음을 제거하였다^{[9][10]}. 검출된 움직임은 레이블링(labeling)을 하여 각 물체를 추적할 수 있도록 했다.

II. 어안 렌즈 영상의 변환

1. 투시 영상

어안 렌즈를 통하여 얻어진 영상에서 투시 영상을 복원하는 과정은 Zimmermann^[7]에 의해 유도되었다. 그림 1^[7]에서 나타낸 바와 같이 어안 렌즈를 모델링하기 위해 일반적으로 사용되는 등거리(equi-distance) 모델에서 azimuth 각(δ)과 zenith 각(β), 반지름(R)으로 DOV (Direction-Of-View) 벡터, $DOV(x, y, z)$ 가 결정되면, DOV 가 통과하는 반구 위의 한 점이 투시 영상의 원점이 된다. 그리고 각 Φ 로 투시 영상의 회전 정도를 정할 수 있고, m 은 영상의 확대 계수가 된다. δ, β, R, Φ 및 m 이 결정되면, 그림 2와 같이 어안 렌즈 영상 좌표 (x, y) 에서 투시 영상 좌표 (u, v) 의 변환 식이 식(1)과 같이 정해진다.

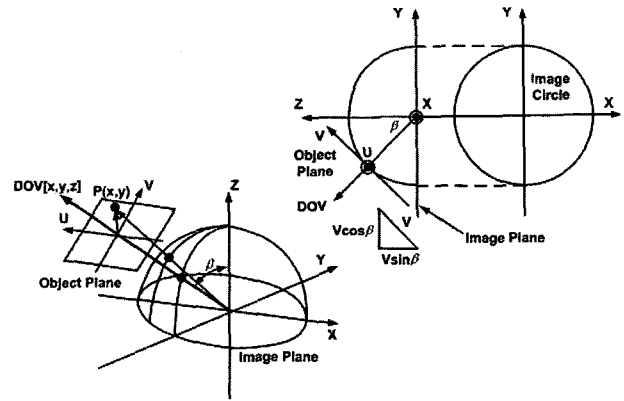


그림 1. 영상 변환 기준 좌표계
Fig. 1. Coordinate reference frame representation.

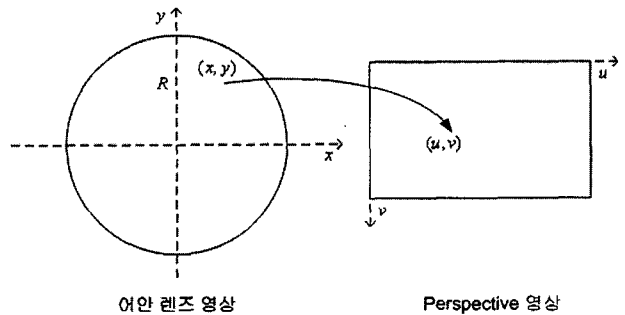


그림 2. 투시 영상 좌표 변환
Fig. 2. The coordinate transformation for the perspective image.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{R[uA - vB + mR \sin \beta \sin \delta]}{\sqrt{u^2 + v^2 + m^2 R^2}} \\
 y &= \frac{R[uC - vD - mR \sin \beta \cos \delta]}{\sqrt{u^2 + v^2 + m^2 R^2}} \\
 A &= (\cos \Phi \cos \delta - \sin \Phi \sin \delta \cos \beta) \\
 B &= (\sin \Phi \cos \delta + \cos \Phi \sin \delta \cos \beta) \\
 C &= (\cos \Phi \sin \delta + \sin \Phi \cos \delta \cos \beta) \\
 D &= (\sin \Phi \sin \delta - \cos \Phi \cos \delta \cos \beta)
 \end{aligned} \tag{1}$$

2. 파노라마 영상

파노라마 영상에서도 투시 영상에서와 같이 등거리 모델을 사용한다. 그림 3과 같이 어안 렌즈 영상에서 r 과 δ 를 파노라마 영상의 v, u 에 각각 대응시키면, 등거리 모델로부터 다음의 관계가 성립된다.

$$r = k\beta, \quad u = m_1 \delta, \quad v = m_2 \beta \tag{2}$$

그림 3의 어안 렌즈 영상에서 극 좌표 (r, δ) 를 직교 좌표 (x, y) 의 형식으로 변환하면, 최종적인 (x, y) 와 (u, v) 의 관계는 식(3)과 같다.

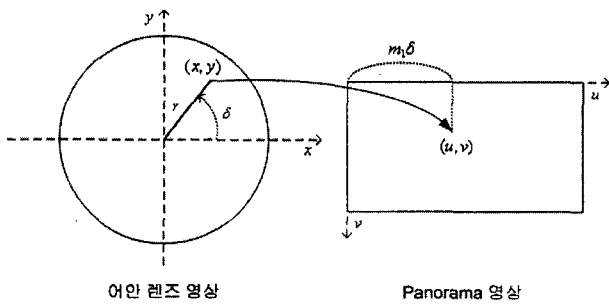


그림 3. 파노라마 영상 좌표 변환
Fig. 3. The coordinate transformation for the panorama image.

$$\begin{aligned}
 x &= r \cos \delta = k \frac{v}{m_2} \cos \frac{u}{m_1} \\
 y &= r \sin \delta = k \frac{v}{m_2} \sin \frac{u}{m_1}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

III. 영상의 보간

투시 영상과 파노라마 영상 획득을 위한 변환 식(1)과 (3)에서 (u, v) 를 증가시키며 그에 대응하는 (x, y) 좌표를 구한다. 이때 해상도가 낮은 지점은 대부분의 (u, v) 가 하나의 (x, y) 좌표에 대응된다. 변환 후의 결과 영상에서 어안 렌즈 영상의 중앙으로부터 얻어진 부분이 외곽에 비해 샘플 간격이 넓어 해상도가 낮다. 특히 파노라마 영상 획득 시 v 가 작은 지점일수록 화질이 떨어지게 된다. 이렇게 중복된 화소의 참조로 인하여 다음 샘플이 참조되는 부분에서 고조파(harmonics) 성분이 발생된다. 그 결과 투시 영상과 파노라마 영상에서 원형의 빗살무늬가 두드러지게 나타난다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 여러 가지 영상 보간법을 적용하였다.

영상의 확대 등으로 영상의 해상도를 높이는 경우 영상의 품질을 유지하기 위한 여러 보간법이 있다^[8]. 이상적인 보간법은 샘플링 이론(sampling theorem)에 의하여 이상적인 저역 통과 필터를 설계하여 2차원 이산 샘플 $s(k, l)$ 로부터 연속 신호 $s(x, y)$ 를 다음과 같은 방법으로 복원할 수 있다^{[8][11]}.

$$s(x, y) = \sum_k \sum_l s(k, l) \cdot h_{2D}(x-k, y-l), \tag{4}$$

$s, x, y \in R, k, l \in N$

여기서 x, y 는 서로 대칭이고 분리 가능하므로, 아래 식(5)가 성립한다.

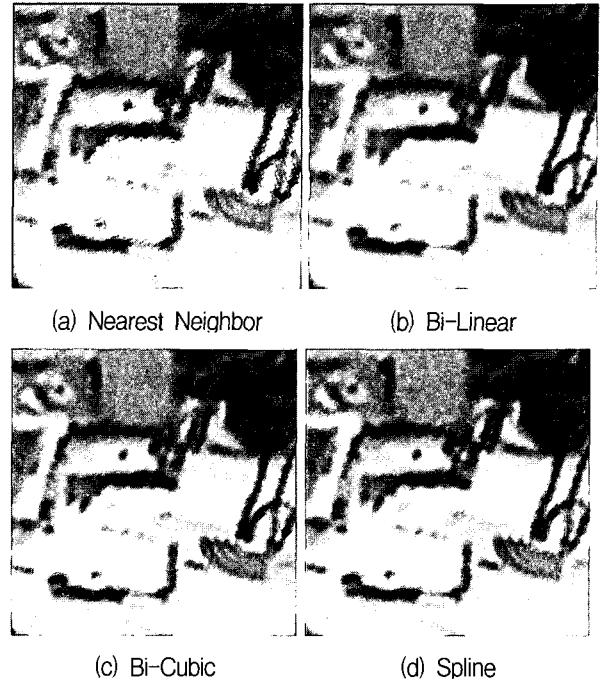


그림 4. 보간법 적용 결과 영상
Fig. 4. Transformed images after each interpolation methods.

$$h_{2D}(x, y) = h(x) \cdot h(y) \tag{5}$$

그리고, BL과 BC, SP 보간법에 대한 전달 함수는 식(6)-(8)과 같다.

$$h^{Bilinear}(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & 0 \leq |x| < 0.5 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \tag{6}$$

$$h^{Cubic}(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1, & 0 \leq |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a, & 1 \leq |x| < 2 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \tag{7}$$

$$h^{Spline}(x) = \begin{cases} |x|^3 - \frac{9}{5}|x|^2 - \frac{1}{5}|x| + 1, & 0 \leq |x| < 1 \\ -\frac{1.0}{3.0}|x-1|^3 + \frac{4}{5}|x-1|^2 - \frac{7}{15}|x-1|, & 1 \leq |x| < 2 \end{cases} \tag{8}$$

그림 4의 (a)는 보간을 수행하지 않은 결과, 즉 NN 방법으로 구현된 결과이며, (b), (c) 및 (d)는 각각 BL, BC, 및 SP 보간법을 적용한 영상이다. 그림 4의 (a)에서 나타나는 빗살무늬가 BL 결과 영상에서는 나타나지 않는다. 그리고 BC와 SP 적용 영상은 BL의 결과 보다 영상이 향상되었음을 알 수 있다.

IV. 움직임 검출과 추적

다음의 그림 5는 움직임 검출 과정을 나타낸 것이다.

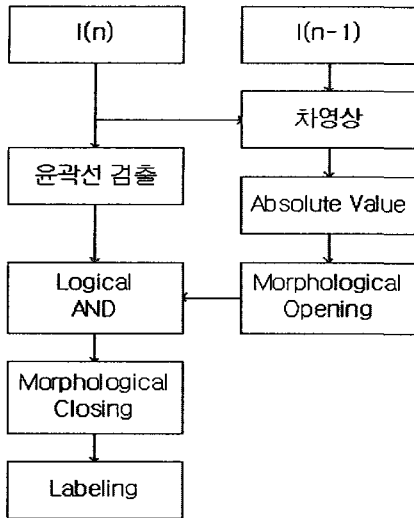


그림 5. 움직임 검출 순서도
Fig. 5. The flow chart of the motion detection.

1. Moving Edge

차영상은 연속된 두 영상 프레임에서 대응하는 픽셀 값의 차이로, 아래 수식(9)를 통하여 얻을 수 있다.

$$DP_n(x, y) = \begin{cases} 1, & |I_n(x, y) - I_{n-1}(x, y)| > \tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $I_n(x, y)$ 는 n 번째 프레임의 (x, y) 좌표의 픽셀 값이고 DP_n 는 차영상, τ 는 문턱 값이다.

그러나 DP_n 은 잡음에 약하고 상대적으로 천천히 움직이는 물체는 검출하지 못하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 다음 절에 기술한 morphology 열림 (opening) 연산을 한 결과인 $\overline{DP_n}$ 을 사용하여, 다음 수식으로 ME_n 을 구한다.

$$ME_n(x, y) = E_n(x, y) \cdot \overline{DP_n}(x, y) \quad (10)$$

이는 이산 데이터에서 현재 프레임의 경계 영상과 차영상의 'AND' 연산을 수행하는 것이다.

식(10)에서 E_n 는 현재 영상 I_n 에서 구해진 에지 영상으로, 소벨(Sobel) 에지 검출법을 사용하였다^[10].

2. morphology 필터

morphology 연산은 기본적으로 줄임(erosion)과 확장(dilation)으로 이루어진다. 줄임 연산은 물체에 대해 배

경을 확장시키고 물체의 크기를 축소하는 역할을 한다^[10].

$$A \ominus B = \{p \mid B_p \subseteq A\} \quad (11)$$

확장 연산은 물체의 최 외곽 픽셀을 확장하는 역할을 한다. 그러므로 물체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다.

$$A \oplus B = \bigcup_{b_i \in B} A_{b_i} \quad (12)$$

앞 절에서 언급하였듯이, 차영상에서 잡음을 제거하기 위하여 morphology 열림 연산을 차영상에 적용한다. 열림 연산은 줄임 연산 다음에 확장 연산을 적용하는 것이다. 줄임 연산을 하면 물체의 크기가 줄어들면서 미세한 잡음을 제거하는 효과가 나타나게 되고, 다시

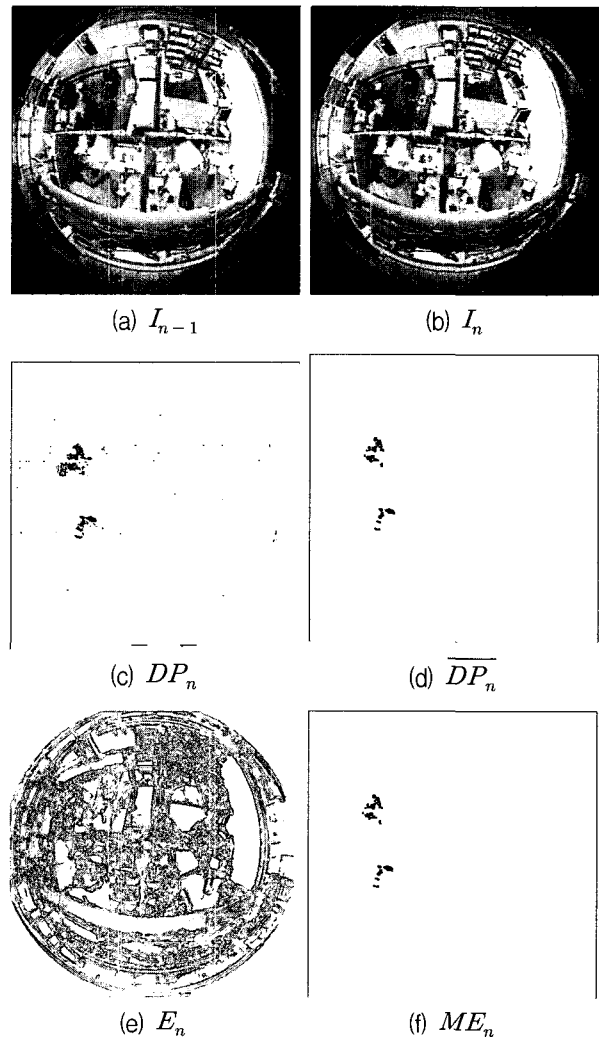


그림 6. 움직임 검출 각 과정의 영상
Fig. 6. Images of the motion detection sequence.

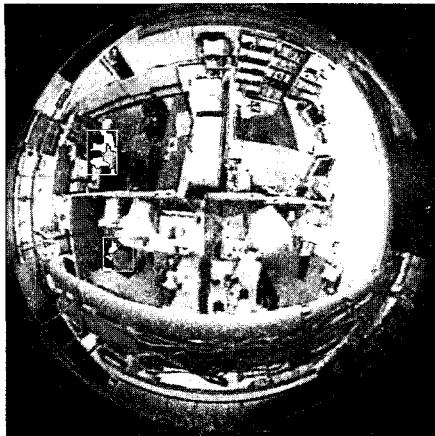


그림 7. 결과 영상 R_n

Fig. 7. Result image, R_n after the motion detection and labeling.

확장 연산을 통하면 원래 물체의 크기로 복귀하게 된다. 그림 6의 (c)와 (d)에서 알 수 있듯이 산재되어 있던 잡음이 모두 제거되었다.

식(10)에서 얻어진 ME_n 에 물폴로지 닫힘(closing) 연산을 가한 뒤, I_n 에 덧거려서 영상 R_n 을 구한다. 그림 7은 결과 영상 R_n 과 레이블링하여 검출된 물체를 함께 표시한 것이다.

V. 실험

본 논문에서는 투시/파노라마 영상 생성과 움직임 검출 실험을 위하여 PC 상에 구현 하였다. 영상을 취득하기 위하여 Matrox 사의 Meteor-II 프레임 그래버(frame grabber)를 사용하였다^{[12][13]}. 구현한 프로그램은 그림 9(a)에 보여 지는 바와 같이 어안 렌즈 영상과 함께, 6개 지점의 투시 영상을 함께 나타내는 화면이 있고, 그림 9(b)와 같은 6개 지점의 투시 영상과 파노라마 영상을 나타내는 화면으로 구성되어 있다. 사용자는 임의로 어안 렌즈의 원형 영상에서 투시 영상의 위치를 지정할 수 있다.

프로그램 동작은 그림 8과 같다. 사용자가 설정한 영상 변환 파라미터와 보간법에 따라 식 (1)~(3)을 사용하여 투시/파노라마 영상 생성을 위한 좌표 변환 LUT(Look-Up Table)을 만든다. 실시간 동작에서는 프레임 그래버로부터 한 프레임의 영상을 획득하여 미리 생성된 LUT을 참고하여 영상을 변환하고 보간을 수행한다. 그리고 움직임 검출 내용과 함께 결과 영상을 출력한다.

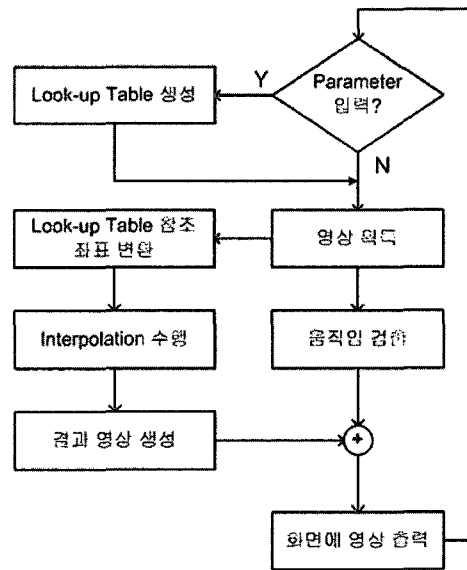
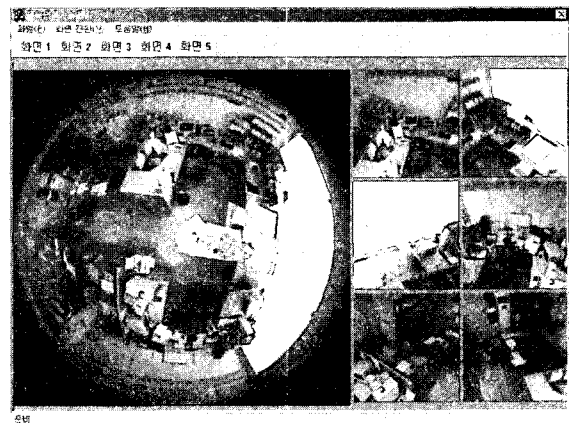
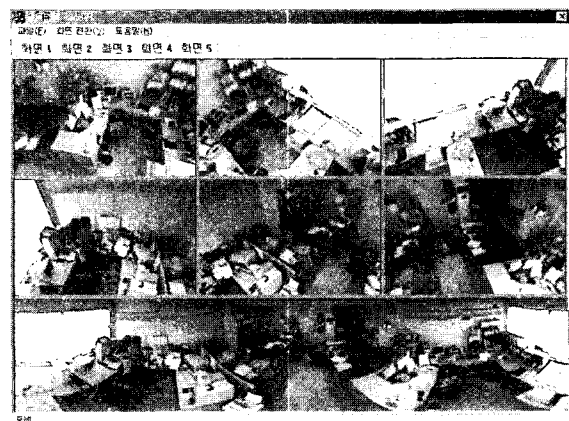


그림 8. 구현한 프로그램의 순서도

Fig. 8. The flow chart of the implemented program.



(a) Fish-eye - Perspective



(b) Perspective - Panorama

그림 9. 구현한 프로그램

Fig. 9. Implemented program.

그림 9에 두 가지 화면으로 수행되는 결과를 나타내었으며, 실제로 어안 렌즈를 실내의 천장에 장착하고

공간 내부를 감시하고 있는 상태이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 어안 렌즈를 이용하여 얻어진 영상으로부터 양질의 투시 영상과 파노라마 영상을 실시간으로 획득할 수 있는 방법과 효율적인 움직임 검출 방법을 제안하고 구현하였다. 어안 렌즈는 넓은 시야각을 갖는 영상을 제공하지만, 그 영상의 해상도가 매우 낮다. 이를 보완하기 위하여 영상 보간법을 적용하였다. 그리고 움직임 검출을 하여 다중 물체 추적에 이용할 수 있도록 하였다.

제안한 방법이 화상 회의 시스템과 전방향 감시가 필요한 방법 시스템에 적용된다면 한 대의 카메라만으로 넓은 영역의 영상을 얻을 수 있으므로 비용 절감 등의 효과가 있을 것이다. 이 경우 낮은 해상도가 문제가 된다면, pan/tilt/zoom 동작이 가능한 이동식 카메라를 설치하여 움직임이 검출된 대상을 자동 추적하도록 하면 더 좋은 시스템이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Yagi, "Omnidirectional Sensing and Its Applications," *IEICE Trans. INF. & SYST.*, Vol. E82-D, no. 3, pp. 568-579, March 1999.
- [2] T. E. Boulton, R. Micheals, X. Gao, P. Lewis, C. Power, W. Yin, and A. S. Erkan, "Frame-rate omnidirectional surveillance and tracking of camouflaged and occluded targets," *Second IEEE Workshop on*, pp. 48-55, June 1999.
- [3] V. N. Peri and S. K. Nayar, "Generation of Perspective and Panoramic Video from Omnidirectional Video," *Proc. of DARPA Image Understanding Workshop*, New Orleans, May 1997.
- [4] S. K. Nayar, "Catadioptric Omnidirectional Camera," *Proc. of IEEE Computer Society Conference on*, pp. 17-19, June 1997.
- [5] K. Miyamoto, "Fish Eye Lens," *Journal of Optical Society of America*, Vol. 54, pp. 1060-1061, August 1964.
- [6] A. Basu, et. al., "Alternative models for fish-eye lenses," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 16, pp. 433-441, 1995.
- [7] S. Zimmermann and D. Kuban, "A Video Pan/Tilt/Magnify/Rotate System with No Moving Parts," *Digital Avionics Systems Conference Proc. IEEE/AIAA 11th*, pp. 523-531, October 1992.
- [8] Thomas M. Lehmann, Claudia Gonner, and Klaus Spitzer, "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, Vol. 18, no. 11, pp. 1049-1075, November 1999.
- [9] D. Murray and A. Basu, "Motion Tracking with an Active Camera," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, no. 5, pp. 449-459, May 1994.
- [10] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, and Brian G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [11] J. S. Lim, *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Prentice Hall PTR, 1990.
- [12] Matrox Electronic Systems Ltd., *MIL-Lite 6.1 User Guide and Command Reference*, 2000.
- [13] Matrox Electronic Systems Ltd., *MIL/MIL-Lite 6.1 Board-Specific Notes*, 2000.

저 자 소 개



조 석 빈(학생회원)
2000년 부산대학교 공과대학
전자공학과 학사 졸업
2002년 부산대학교 대학원
전자공학과 석사 졸업
2002년 3월~현재 부산대학교
대학원 전자공학과
박사 과정

<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 디지털시스템, 신호처리>



이 운 근(정회원)
1991년 울산대학교 공과대학
전기공학과 학사 졸업.
1993년 울산대학교 대학원
전기공학과 석사 졸업.
2002년 부산대학교 대학원
전자공학과 박사 졸업.

현재 부산경상대학 소방안전관리과 전임교수
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 지능제어, 이동로봇>

백 광 렬(정회원)

제35권 S편 제8호 참조

현재 부산대학교 전자공학과 부교수

<주관심분야 : 신호처리, 디지털시스템, 아날로그 회로설계, 전력전자>