논문 2008-03-11

경비용 로봇을 위한 전방향 카메라 장치 설계

(Omnidirectional Camera System Design for a Security Robot)

김 길 수, 도 용 태*
(Kilsu Kim, Yongtae Do)

Abstract : This paper describes a low-cost omnidirectional camera system designed for the intruder detection capability of a security robot. Moving targets on sequential images are detected first by an adaptive background subtraction technique, and the targets are identified as intruders if they fail to enter a password within a preset time. A warning message is then sent to the owner's mobile phone. The owner can check scene pictures posted by the system on the web. The system developed worked well in experiments including a situation when the indoor lighting was suddenly changed.

Keywords : Omnidirectional camera, Security robot, Adaptive background subtraction, Intruder detection

Ⅰ. 서 론

최근 가정과 사무실, 도서관, 공공기관, 공장과 같은 다양한 장소에서 보안기능의 자동화가 중요한 문제로 부각되고 있다. 사람에 의한 전통적 방식이 가지는 실수, 부주의, 고비용과 같이 문제를 극복하는데 자동화된 시스템은 효율적이다 [1].

자동화된 보안 시스템을 위한 방법에는 광섬유를 이용한 방법 [2], 적외선 센서를 이용한 방법 [3], CCTV에 의한 방법 [4]과 같이 침입자 감지만을 위한 수동적 시스템에 대한 연구와 자율주행이 가능한 지능형 로봇 등에 의한 능동적 시스템 [5]에 대한 연구가 있다. 우리는 지능형 로봇 시스템에 보안기술을 결합함으로써 침입자에 의한 잠재적인 위험을 능동적으로 확인할 뿐 아니라, 사용자에게 효과적으로 고지할 수 있는 시스템을 연구하였다.

시각에 기반한 자동 보안 기능을 위해서는 공간 전체의 영상을 필요로 한다. 전통적 카메라로는 이러한 요구조건을 만족시키기에 어려움이 있으며, 이를 해결하기 위한 방법으로 그림 1에 보인 바와 같이 카메라를 회전하며 연속적으로 영상을 얻는 방법 [6]과 어안 렌즈를 이용하여 확대된 영상 영역을 얻는 방법 [7]이 있다. 또한 볼록 거울을 이용하여 전방향을 비추고, 카메라가 거울을 보도록 하여 영상을 획득하는 방법 [8]이 있다. 카메라를 회전하는 방법은 고화질의 영상을 얻을 수 있고 구현하기 쉬우나, 긴 처리 시간과 회전에 필요한 전력소모가 단점이다.

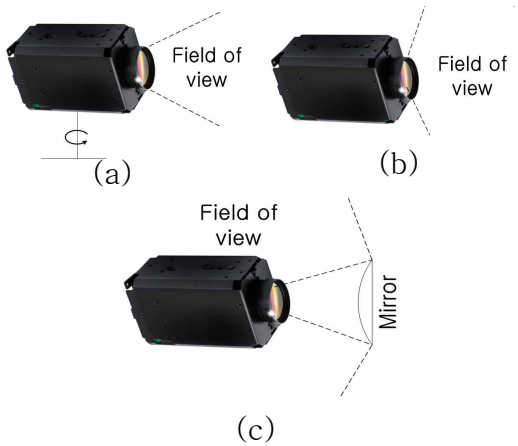


그림 1. 로봇용 광시야 실현 방법: (a) 카메라 회전, (b) 어안 렌즈, (c) 볼록 거울의 반사
Fig. 1. Implementing wide views for robots: (a) Camera rotation, (b) Fish-eye lens, (c) Convex mirror reflection

* 교신저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2008. 4. 30., 채택확정 : 2008. 06. 13.
김길수, 도용태 : 대구대학교 대학원 전자공학과

어안 렌즈는 넓은 공간을 보기에 좋으나, 카메라의 후방은 관찰할 수 없다. 이에 반해 볼록한 거울을 이용한 전방향 카메라 (omnidirectional camera)는 저해상도의 영상이 획득되는 단점이 존재하나, 360° 전후방을 한 번에 볼 수 있고, 이를 장착한 로봇의 동작에 제한을 주지 않아 사용이 용이하다. 본 논문에서는 볼록거울을 사용하는 전방향 카메라의 설계와 이를 이용한 침입자 감지 로봇 시스템에 대해 서술한다.일단 영상이 취득되면 영상처리를 통하여 침입자를 감지하기 위한 방법이 필요하다. 영상내에서 동적 객체의 감지를 위한 기존의 방법으로 차영상 (difference Image) [9]을 이용하는 방법, 광류 (optical flow) [10]를 이용한 방법, 혹은 배경차감법 (background subtraction) [11]이 있다. 차영상을 이용한 방법은 2~3개의 연속 영상들 사이의 차이를 이용하여 움직임이 있는 부분을 추출하는 방법으로 그 수행절차가 간단하다. 그러나 결과영상이 불완전하여 움직인 물체의 형태적 특징을 찾아내는 데는 어려움이 있다. 광류를 이용하는 방법은 카메라의 움직임이 있는 경우에도 개별적으로 움직이는 물체를 찾아내는데 효과적이다. 하지만 계산량이 많아 실시간 처리가 어렵다는 문제가 있다. 배경차감법은 저장된 배경과 현저히 다른 영역을 찾는 방식으로 움직임이 있는 물체의 특징을 정확하게 얻을 수 있지만, 배경의 변화에 민감하게 반응하는 문제가 있다.

우리는 전방향 카메라로부터의 연속 영상에서 실시간으로 배경 영상을 갱신할 수 있는 적응적 배경차감법 (adaptive background subtraction) [12]을 이용하였다. 여기에 실내의 급격한 조명 변화에 강건한 방법을 추가하였고, 그림 2에서 보인 바와 같이 침입자 인지시 휴대폰 문자로 주인에게 통보하여 현장의 영상을 인터넷 웹을 통하여 원격에서 확인할 수 있도록 하였다.

II. 전방향 카메라 시스템 제작

본 논문에서는 전방향 카메라를 이동 로봇 시스템에 장착하기 용이하도록 제작하였다. 시중에서 쉽게 구입 가능한 부품을 사용하여 제작 단가를 최소화하였으며, 경비용 로봇의 이용 목적에 부합하는 성능을 얻을 수 있도록 설계하였다. 시스템은 카메라 장치와 이동형 로봇 플랫폼, 그리고 통신장치로 구성된다.

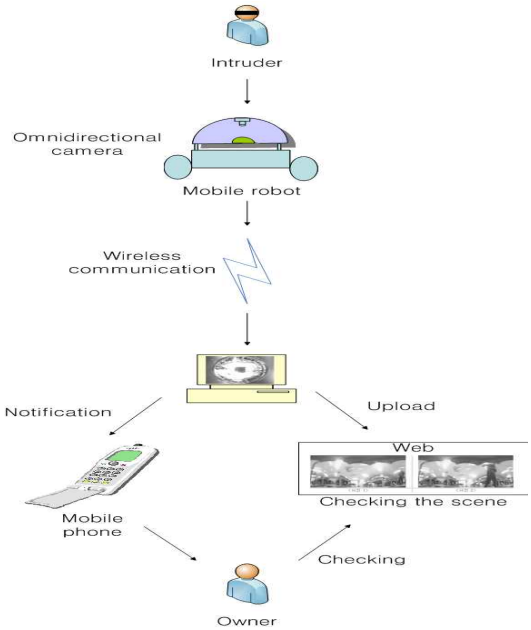
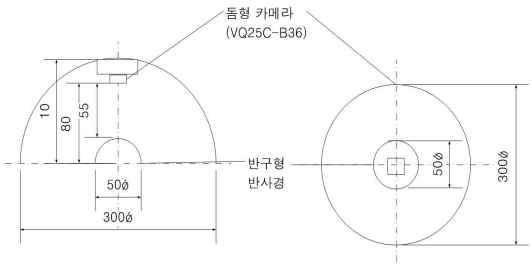
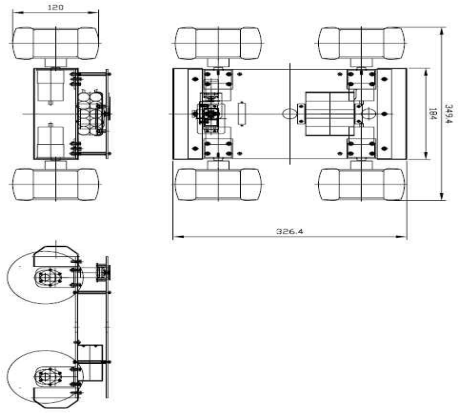


그림 2. 시스템의 동작 구조
Fig. 2. System operation structure



(a)



(b)

그림 3. 실험용 로봇 시각 시스템:
(a) 전방향 카메라, (b) 로봇 플랫폼
Fig. 3. Experimental robot vision system: (a) Omnidirectional camera, (b) Robot platform

1. 전방향 카메라

전반향 카메라는 그림 3(a)와 같이 반구형의 거울과 카메라, 그리고 하우징으로 구성되어 있다. 하우징은 강한 외부 조명으로부터의 영향을 최대한 줄이고, 충격과 먼지로부터 거울과 카메라를 보호하기 위해 사용되었다. 카메라는 30만화소의 VQ25C-B36을 사용하였고, 표 1은 카메라의 사양을 나타낸다. 카메라의 컬러 영상은 무선 전송에 의하여 원격의 PC에서 처리하도록 하였다. 거울은 건축내장재로 사용하는 스테인레스 구를 재도금하여 사용하였다.

표 1. 카메라 사양

Table 1. Camera specifications

항 목	사 양
Size	25mm x 25mm
Image	1/4" color CCD
H. Resolution	380TV lines
Sensitivity	0.5 lux at F1.4
Video Output	1Vp-p 75 Ohm
Shutter Speed	1/50~1/100,000sec
Power Source	DC12V

2. 이동형 로봇

사용된 로봇 플랫폼은 엔티렉스사 제품인 NT-Commander-I으로, 4개의 DC모터를 사용하며, 무선 조종기로 전후 좌우로 움직일 수 있다. 전방향 카메라는 이 로봇의 시스템 상부에 장착하였다.

3. 영상의 송신신부

이동로봇에 장착된 카메라로부터 획득된 영상을 PC로 전송하기 위해, 2.4Gz대역의 무선영상전송장치를 사용하였다. 수신된 영상신호는 PC의 프레임그레버로 입력된다. 개발된 시스템에서 사용된 프레임그레버는 Matrox사의 Meteor-II이다.

III. 전경추출을 위한 비디오 영상처리

카메라를 통해 입력된 영상은 적응적 배경차감법을 이용해서 전경 (foreground)을 분리함으로써 이진화된다. 이때 전경은 배경과 뚜렷한 차이를 보이는 화소, 즉 동적인 객체에 해당하는 영역 내의 화소로 구성된다. 전경의 특성이 지정된 임계치 이상이고, 정해진 시간내 약속된 비밀번호가 입력되지 않으면 침입자로 판정한다. 이 경우 휴대폰의 문자 서비스로 사용자에게 통보한다. 사용자는 현장의 영상을 인터넷을 통해 확인할 수 있다. 그림 4는 시스템의 수행 절차를 보여준다.

동적영역을 추출하기 위해 사용된 배경차감법은 움직임을 검출하기 위한 기준이 되는 배경영상을 화소단위의 가우시안 확률 모델로 가정한다. 배경차감법이 다양한 환경에서 동작할 수 있도록 하기 위해 통계적 모델을 지속적으로 갱신한다. Fujiyoshi는 실시간으로 배경영상을 갱신할 수 있는 모델 [12]을 다음의 식(1), (2)와 같이 제안하였다.

$$\overline{p_{n+1}} = \alpha p_{n+1} + (1-\alpha)\overline{p_n} \quad (1)$$

$$\overline{\sigma_{n+1}} = \alpha |p_{n+1} - \overline{p_{n+1}}| + (1-\alpha)\overline{\sigma_n} \quad (2)$$

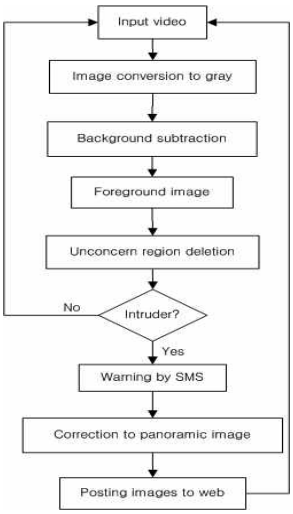


그림 4. 전체시스템의 수행 절차.

Fig. 4. Entire system operation procedures

여기서 p_{n+1}은 $n+1$번째 영상 프레임에서의 임의 화소값이며, $\overline{p_n}$은 그 평균값이다. α는 모델의 적응성을 결정하는 계수이다. 표준편차 σ은 각 화소의 배경과 전경을 구분하기 위한 임계치로 사용된다. 만약 식 (3.a)와 같이 p_{n+1}이 $\overline{p_{n+1}}$보다 $k\overline{\sigma_n}$이상 큰 값을 가지면 전경화소의 후보로 간주하게 된다. 후보영역내 잡음은 시간필터를 식 (3.b)과 같이 적용하여 제거한다 [12].

$$FGC \text{ if } |p_{n+1} - \overline{p_{n+1}}| > k\overline{\sigma_n} \quad (3.a)$$

$$FG \text{ if } stays\ as\ FGC \text{ for } longer\ than\ \tau\ frames \quad (3.b)$$

여기서 FGC (Foreground candidate)는 후보동적화소이며, FG (Foreground)는 시간필터를 통과한 최종적인 전경영역을 나타낸다. 즉, 하나의 FGC가 τ 영상 프레임 이상 지속되었을 경우, 이를 최

종적인 동적영역 FG로 인식한다.

Fujiyoshi의 기법을 실제 적용하였을 때 α의 결정이 중요하다. 우리는 최적의 α값을 실험적으로 표 2와 같이 찾았다. 표에서 볼 수 있듯이 α의 값을 0.01~0.9까지 변화시키며 전경의 검출성능을 점검하였고, α값이 0.04~0.06 범위에서 성공적으로 침입자가 감지되는 것을 볼 수 있었다. 이로부터 α값을 0.05로 정하였다. 이 때 침입자 감지의 성공(True)과 실패(False)는 250개 이상의 전경화소가 추출된 영상이 14프레임 이상 연속되느냐로 구분하였다. 그림 5는 이상과 같은 방법으로 전경영상을 얻은 예이다.

표 2. α값의 결정
Table 2. Determining α value

α값	감 지	α값	감 지
0.9	False	0.09	False
0.8	False	0.08	False
0.7	False	0.07	False
0.6	False	0.06	True
0.5	False	0.05	True
0.4	False	0.04	True
0.3	False	0.03	False
0.2	False	0.02	False
0.1	False	0.01	False

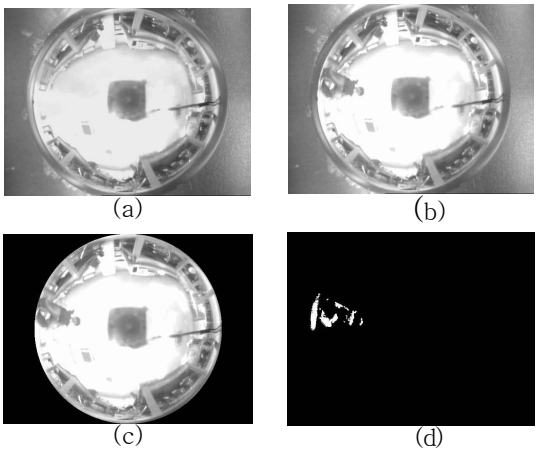


그림 5. 영상내 침입자의 감지: (a) 배경 영상, (b) 현재 영상, (c) 비관심 영역 삭제, (d) 전경 추출 및 이진화
Fig. 5. Intruder detection in an image: (a) Background image, (b) Current image, (c) Excluding uninteresting regions, (d) Binarization by extracting foreground pixels

Fujiyoshi의 기법은 실외의 카메라에 적용되었고, 이때 밝기 변화는 대체로 점진적이다. 그러나 본 논문의 경비용 로봇이 사용될 실내의 환경에서는 조명의 점등 및 소등에 따른 급격한 밝기의 변화가 있을 수 있고, 이 경우 전체적으로 전경영역이 오검출되는 문제가 발생한다. 이에 대한 개선책으로 우리는 식 (3.b)와 같은 화소 단위의 시간필터대신 영상 프레임 단위의 시간필터를 사용하였다. 이는 그림 6에 보인 바와 같이 급격한 조명변화에 의해 검출되는 전경과 실제 침입자에 의해 검출되는 전경의 특성 사이에 현격한 차이가 있음을 이용한 것이다. 그림 6은 파노라마 영상에서 침입자수와 조명변화에 따른 전경 화소수 변화를 관측한 결과이다. 그림 6(a)에서 보듯 침입자의 경우에는 비교적 오랜 동안 점진적으로 5만 화소 이상은 변화하지 않았으나, 그림 6(b)에서와 같은 조명의 변화는 8프레임의 짧은 시간동안 30만 화소까지 변화한다.

그림 7은 이상과 같은 특성을 기반으로 침입자를 판정하는 절차를 구체적으로 나타낸 것이다. 검출된 전경화소수가 250개 이상인 영상 프레임이 14개 이상 연속되면 침입자로 판정하였다. 여기서 사용된 임계치 $p=250$과 $f=14$는 실험에서 발견된 특성을 이용하여 결정된 값들이다.

$$x_i = x_c + h_i \cos x\theta = x_c + \frac{r_m}{y_m} y \cos\left(\frac{2\pi}{x_m} x\right) \quad (4.a)$$

$$y_i = y_c + h_i \sin x\theta = y_c + \frac{r_m}{y_m} y \sin\left(\frac{2\pi}{x_m} x\right) \quad (4.b)$$

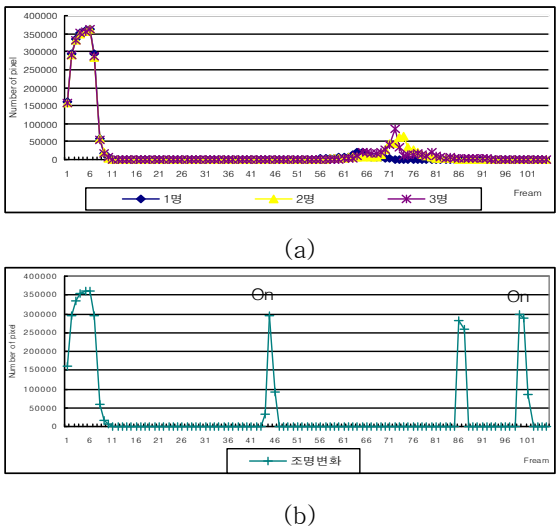


그림 6. 전경 화소수의 변화: (a) 인원에 따른 변화, (b) 조명 점멸에 따른 변화
Fig. 6. Change of foreground image pixel number: (a) Change due to people number, (b) Change due to turning light on and off

전방향 카메라의 영상은 실제 과도하게 왜곡되어 있으므로 사용자가 보기에 불편함이 있다. 그래서 원 영상에서 좌표 이동을 통한 파노라마 (panorama) 영상을 얻어 사용자가 현장의 상황을 원격에서 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 그림 8의 좌측과 같은 원 영상 좌표에서 중심값을 (x_c , y_c), 그리고 거울의 중심으로부터의 반지름을 r_m 이라 할 때, 반사경에 비치는 한 점 (x_m , y_m)을 높이 h 값과 각도 에 의해 파노라마 영상에서의 x y 로 표시한다 [13]. 그림 9는 이와 같이 변환한 예를 보여 준다.

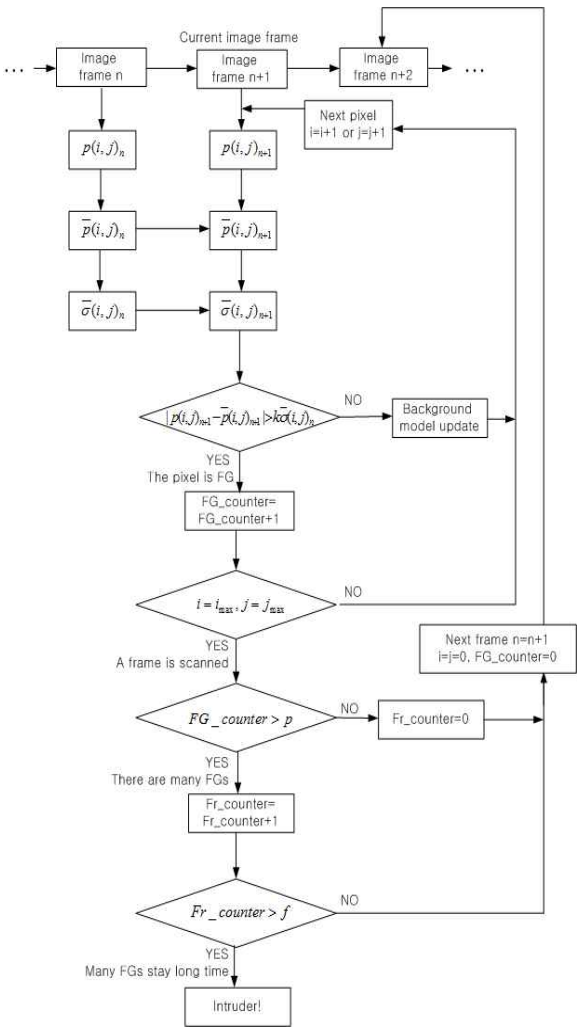


그림 7. 침입자 판정 절차
Fig. 7. Procedure to check intruders

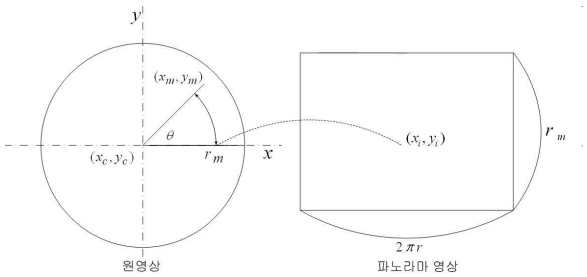


그림 8. 파노라마 영상으로의 좌표 변환
Fig. 8. Image coordinate conversion to a panoramic image

그림 9. 파노라마 영상 변환의 예
Fig. 9. Example of panorama image conversion

IV. 개발된 시스템의 시험 결과

개발된 경비용 로봇 시각 시스템은 그림 10과 같다. 어두운 실내에서 조명을 켰을 때, 제작된 시스템은 그림 11과 같은 결과를 보였다. 환경변화 후 8번째 영상 프레임 정도에서 거의 전경이 배경으로 흡수되므로, 침입자로 판정되지 않게 된다.

제작된 시스템을 거리와 사람 수를 변화시키면서 시험하였다. 그 결과 그림 12 및 13과 같이 1명인 경우 2.5m까지 감지 가능하였고, 2~3명인 경우 3m까지 검출이 가능하였다.

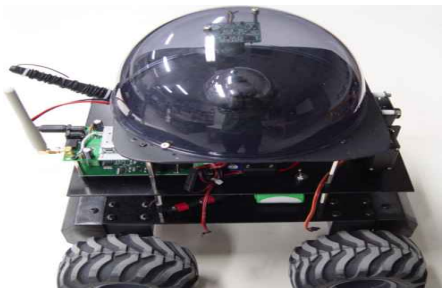
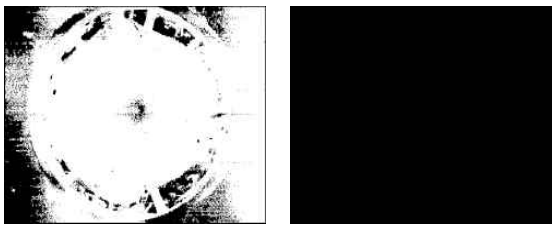


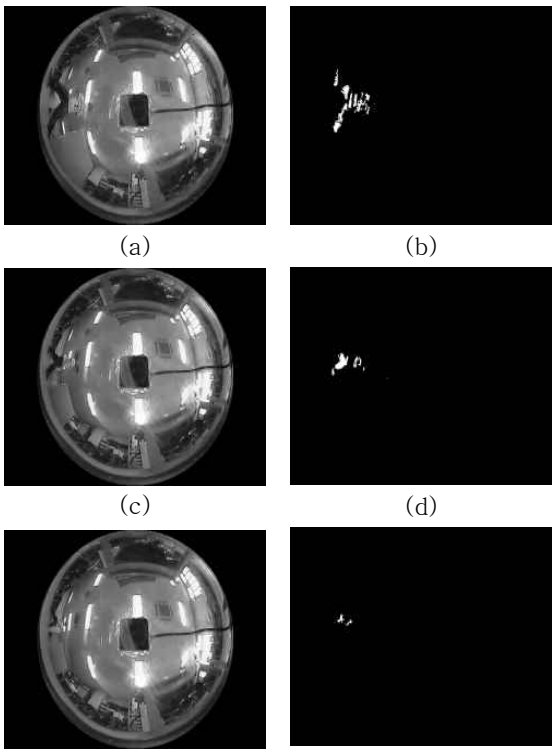
그림 10. 시스템의 외관
Fig. 10. System exterior



(a) (b)

그림 11. 급격한 조명 변화(점등)후 전경 추출: (a) 5번째 프레임, (b) 8번째 프레임

Fig. 11. Foreground extraction after sudden light change (turn on): (a) 5th frame, (b) 8th frame after turning the light on



(a) (b)

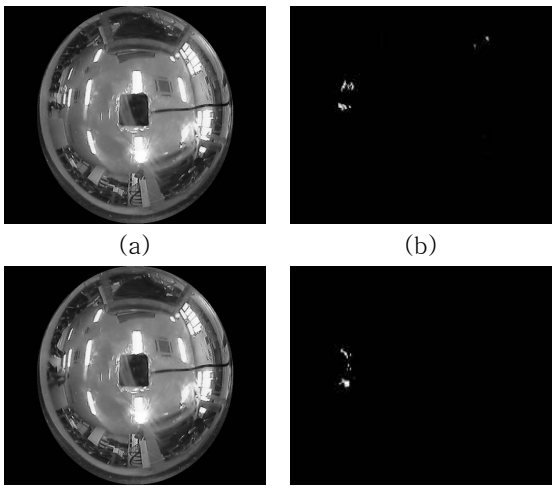
(c) (d)

(e) (f)

그림 12. 한 명의 침입자에 대한 거리별 영상: (a)와 (b) 1m, (c)와 (d) 2m, (e)와 (f) 3m 거리

Fig. 12. Images taken at different distances to an intruder: (a) and (b) 1m, (c) and (d) 2m, (e) and (f) 3m distance case

일단 침입자가 감지되면 타이머가 작동하고, 30초내에 미리 정해놓은 비밀번호가 입력되지 않으면 불법 침입자로 판정한다. 실제 시스템을 실행할 때 PC에서 볼 수 있는 화면은 그림 14와 같다. 침입자가 검출되면 그림 15와 같이 휴대폰 문자와 현장 사진의 웹게시로 주인에게 통지한다.



(a) (b)

(c) (d)

그림 13. 사람 숫자별 영상 (거리=3m): (a)와 (b) 2명, (c)와 (d) 3명의 경우

Fig. 13. Images for different number of people at distance=3m: (a) and (b) 2 people, (c) and (d) 3 people case

그림 14. PC에서의 프로그램 실행

Fig. 14. Program running on a PC

V. 결론

본 논문에서는 실내에서 전방향 카메라를 사용하여 침입자를 효과적으로 감지하고, 이를 사용자에게 고지할 수 있는 시스템을 개발하였다. CCD 컬러 카메라와 반구형 거울을 사용하여 저가로 제작된 전방향 카메라가 장착된 이동 로봇과 영상의 송신을 위한 무선통신장치, 그리고 원격의 PC와 영상처리 프로그램으로 시스템을 구성하였다.

기존의 적응적 배경차감법을 실내의 급격한 밝기 변화에도 강건하게 동작할 수 있도록 수정하였다. 이는 조명의 점등 및 소등이 침입자와는 달리

영상에서 급격하고 전역적인 변화를 보임을 이용한 것이다. 실험에서 시스템은 1명의 침입자가 2.5m거리에 있을 때 감지하는 성능을 보였다.

(a) (b)

그림 15. 사용자 경보: (a) SMS을 통한 고지, (b) 웹에 현장 영상 업로드
Fig. 15. Warning to the owner: (a) Mobile phone message, (b) Scene pictures loaded upon internet web

참고문헌

[1] A. Birk, H. Keen, "An industrial application of behavior oriented robotics", Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation, vol. 1, pp. 749-754, 2001.

[2] [illegible], "[illegible]", [illegible], 1권, 3호, 230-235쪽, 2003.

[3] M. Diani, N. Acito, G. Corsini, "Dim target detection in IR maritime surveillance systems", Proc. Geoscience and Remote Sensing Symp., vol. 1, pp. 2630-2632, 2003.

[4] 이[illegible], 이[illegible], "[illegible]", [illegible], 19권, 1호, 211-253쪽, 2006.

[5] R.C. Luo, T.Y. Hsu, T.Y. Lin, K.L. Su, "The development of intelligent home security robot", Proc. IEEE Conf. Mechatronics, pp. 422-427, 2005.

[6] S.E. Chen, "QuickTime VR : An image based approach to virtual environment navigation", Proc. 22nd Annual Conf. Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 29-38, 1995.

[7] Y. Xiong, K. Turkowski, "Creating image based VR using a self calibrating fisheye lens", Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 237-243, 1997.

[8] S.K. Nayar, "Catadioptric omnidirectional camera", Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 482-488, 1997.

[9] S. Huwer, H. Niemann, "Adaptive change detection for real time surveillance applications", Proc. IEEE Workshop on Visual Surveillance, pp. 37-46, 2000.

[10] A.M. Earnshaw, S.D. Blostein, "The performance of camera translation direction estimators from optical flow: analysis, comparison, and theoretical limits", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, pp. 927-932, 1996.

[11] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. Davis, "W4: who? when? where? what? A real time system for detecting and tracking people", Proc. IEEE Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 222-227, 1998.

[12] H. Fujiyoshi, A.J. Lipton, "Real time human motion analysis by image skeletonization", Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, pp. 15-21, 1998.

[13] [illegible], "[illegible]", [illegible], 2권, 5호, 79-81쪽, 2005.

저 자 소 개

김 길 수

2006년 2월 대구대학교 제어계측공학과 공학사.
2006년 ~현재, 대구대학교 전자공학과 석사과정.

관심분야 : 로봇공학, 기계시각.
Email : tataro0@nate.com

도 용 태

경북대 전자공학과 (공학사).
서강대 전자공학과 (공학석사).
Univ of Hull 전자공학과 (PhD).
CMU RI (객원부교수).
Univ of Wisconsin (명예연구원).
Imperial College (객원교수).
현재, 대구대 전자공학부 (교수).
관심분야 : 로봇공학, 기계시각 및 센서, 지능 시스템.
Email : ytdo@daegu.ac.kr