논문 2010-47IE-2-7

작업자 모니터링을 위한 자동 감시추적 시스템

(Autonomous Surveillance-tracking System for Workers Monitoring)

고 정 환*, 이 정 석*, 안 영 환*

(Jung-Hwan Ko, Jung-Suk Lee, and Young-Hwan An)

요 약

본 논문에서는 스테레오 비젼 기법에 기반한 작업자 모니터링을 위한 자동 감시추적 시스템을 제안하였다. 즉, 인간 시각 시스템을 모방한 교차식 스테레오 카메라 시스템의 특성을 이용하여 작업자의 인식은 물론 추적, 감시가 가능한 새로운 형태의 지능형 감시추적 시스템을 설계 제안하였다. 즉, 작업자 표적의 다양한 변화에 관계없이 배경과 분리된 표적인식은 물론 움직이는 표적의 3차원적 위치 정보를 검출함으로써 실시간적 물체인식 및 추적이 가능한 새로운 형태의 지능형 스테레오 감시추적 시스템을 제시하였다. 실험결과, 교차식 스테레오 카메라 기반의 이동물체 감시추적 시스템의 실험결과 팬과 틸트를 통한 물체추적 후 표적 중심좌표의 수평, 수직 평균오차는 1.82%, 1.11%의 매우 낮은 에러 값을 각각 유지하였으며, 추정된 물체의 3차원 위치좌표의 경우도 실제 물체 위치값과 비교하여 평균 2.5% 이하의 낮은 오차가 나타남이 분석되었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 팬과 틸트가 탑재된 스테레오 카메라 기반의 감시추적 시스템은 복잡한 배경 및 주위환경 변화에도 이동 물체를 효과적으로 추출하여 적응적으로 감시 및 추적이 가능한 산업용 무인 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, an autonomous surveillance-tracking system for Workers monitoring basing on the stereo vision scheme is proposed. That is, analysing the characteristics of the cross-axis camera system through some experiments, a optimized stereo vision system is constructed and using this system an intelligent worker surveillance-tracking system is implemented, in which a target worker moving through the environments can be detected and tracked, and its resultant stereo location coordinates and moving trajectory in the world space also can be extracted. From some experiments on moving target surveillance-tracking, it is analyzed that the target's center location after being tracked is kept to be very low error ratio of 1.82%, 1.11% on average in the horizontal and vertical directions, respectively. And, the error ratio between the calculation and measurement values of the 3D location coordinates of the target person is found to be very low value of 2.5% for the test scenario on average. Accordingly, in this paper, a possibility of practical implementation of the intelligent stereo surveillance system for real-time tracking of a target worker moving through the environments and robust detection of the target's 3D location coordinates and moving trajectory in the real world is finally suggested.

Keywords: surveillance, 3-dimension, stereo, monitoring, tracking

I. 서 론

영상 기술이 첨단화 되어 고도의 기술 집적이 이루어지면서 카메라 자동 추적 시스템을 기반으로 한 무인 감시 장치에의 응용을 목적으로 한 로봇 비젼의 연구 개발이 널리 진행되고 있다. 즉, 이동물체의 출현이 그다지 많지 않은 환경에서 동체의 존재를 자동으로 감지하고 이를 추적함으로써 인간의 역할을 대신 할 수 있는 컴퓨터 비젼 시스템으로서[1~2], 이른바 지능적인 판단 능력이 겸비된 인공지능의 기능을 수행할 수 있다는 점에서 높이 평가되고 있다[3~5]. 일반적으로 로봇 비젼 시스템의 유연성을 증가시키기 위해 다양한 환경에서 작업을 수행할 수 있도록 하는 컴퓨터 비젼의 채택은 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히 물체를 인식할 수 있는 신뢰도나 명료성, 획득된 영상에 대한 처리속도 그리고 조명의 용이성이

* 정회원, 인하공업전문대학 메카트로닉스과
(Department of Mechatronics, Inha Technical College)
접수일자: 2010년4월1일, 수정완료일: 2010년6월7일

요구되어 이러한 요구조건을 충족하기 위해 많은 방법이 연구되었으나 낮은 해상도의 이진 영상처리(binary image processing), 구조적 조명과 같은 개발 초기의 방법들은 현재의 복잡한 산업계에 적용하기에는 그 한계점에 이르렀다. 또한, 배경 영상이 복잡하거나 시간에 따라 변하는 경우 물체인식을 보다 어렵게 한다[6]. 특히, 동일한 물체일지라도 배경에 따라 물체의 상대적 명암이 바뀔 수 있고, 다른 물체에 의해 가려질 수 있기 때문이다. 따라서, 인식하고자 하는 물체가 배경 잡음뿐만 아니라 전경 잡음에 의해 왜곡되거나 신호 대 잡음비(SNR)가 극히 작을 경우에도 매우 높은 물체인식 성능이 필요하다. 더욱이 위험한 환경에서 작업자의 안전을 위해 요구되는 자동 감시 추적 시스템은 3차원 물체를 인식하는데 있어서 다양한 각도에서 보이는 2차원 영상의 조합으로 물체를 인식해야 한다[7~8]. 또한, 입력되는 물체영상에서 목표지향적인 작업을 수행하여 특정한 물체의 추적과 인식이 동시에 이루어져야 하며 특히, 감시추적 시스템의 시각기능을 이용하여 표적물체의 회전, 크기, 그리고 시선 각도에 무관하게 물체를 인식하며 추적해야 한다. 즉, 작업자 감시추적 시스템의 성능을 극대화하기 위해서는, 작업자의 정확한 인식은 물론, 이동경로를 추적하기위한 3차원적 위치정보 검출을 통해 로봇에 장착된 카메라로부터 받아들인 영상을 자체적으로 분석함은 물론 인식과 추적이 가능한 시스템을 위한 비젼 기술이 필요하고 결과적으로 이를 위한 지능형 카메라 시각 시스템의 구현이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 스테레오 비젼 기법에 기반한 작업자 모니터링을 위한 자동 감시추적 시스템을 구현하였다. 즉, 인간 시각 시스템을 모방한 교차식 스테레오 입체 카메라 시스템의 특성을 이용하여 작업자의 인식은 물론 추적, 감시가 가능한 자동 무인 감시추적 시스템을 설계 제안하였다. 실험결과, 교차식 스테레오 카메라 기반의 이동물체 감시추적 시스템의 실험결과 팬과 틸트를 통한 물체추적 후 표적 중심좌표의 수평, 수직 평균오차는 1.82%, 1.11%의 매우 낮은 에러 값을 각각 유지하였으며, 추정된 물체의 3차원 위치좌표의 경우도 실제 물체 위치값과 비교하여 평균 2.5% 이하의 낮은 오차가 가짐이 분석되었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 작업자의 모니터링을 위한 자동 감시추적 시스템은 복잡한 배경 및 주위환경 변화에도 이동 물체를 효과적으로 추출하여 적응적으로 감시 및 추적이 가능한 산업용 무인 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Ⅱ. 제안된 감시추적 기법

본 논문에서는 실시간 처리 및 상황변화에 강건한 시스템의 구현을 목적으로 팬과 틸트가 탑재된 스테레오 카메라를 이용한 작업자 모니터링을 위한 감시추적기법을 제안하고자 한다. 그림 1은 본 논문에서 새로이 제시한 스테레오 카메라 기반의 감시추적 기법의 전체 흐름도를 나타낸 것으로 크게 2단계로 이루어진다.

즉, 1 단계에서는 실시간으로 입력되는 스테레오 입력영상 중 MAD 함수를 이용하여 좌, 우 영상간의 시차벡터를 검출하고, 연속적인 영상들간의 검출된 시차벡터를 이용하여 좌, 우 영상의 중심좌표 값을 산출한다. 2 단계에서는 산출된 좌표값에 따라 변형된 kanatani의 영상 보정 알고리듬에 의해 스테레오 카메라의 팬과 틸트의 제어각도가 결정되며, 이에 따라 작업자의 중심좌표를 중심으로 주시각 제어가 수행되며, 주시각이 제어된 스테레오 카메라의 팬과 틸트의 움직임 각도와 3차원 구면 좌표계(three dimensional spherical polar coordinate)를 이용하여 작업자의 3차원 좌표계상의 실제 위치값은 물론 이동경로까지도 추정할 수 있게 된다.

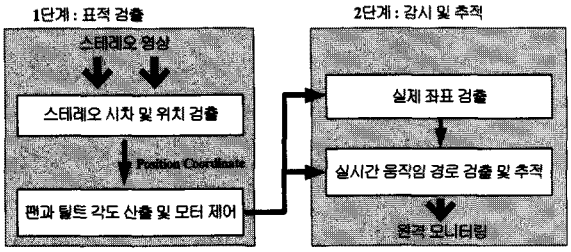

그림 1. 제안된 작업자 감시추적기법의 흐름도
Fig. 1. Operational flowchart of the proposed surveillance -tracking scheme for worker.

1. 표적영역 검출

일반적으로, 스테레오 시스템에서 좌, 우 카메라는 항상 표적 물체를 추적하므로 표적 물체는 카메라의 광축의 교차점 근처에 존재한다[9]. 입체영상의 시차지도에서 광축 교차점의 시차값은 0이므로 표적물체는 영상의 중심에서 0에 가까운 시차값을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 스테레오 영상의 시차지도를 이용하여 표적물체와 배경 또는 전경과의 시차의 크기 차이를 이용하여 시차지도에서 배경 분리를 통해 표적물체의 영역을 검출하였다. 스테레오 영상에서 시차를 추출하는 다양한 방법들이 제시되고 있지만, 본 논문에서는 식 (1)과 최소평

그림 2. 에피폴라 선상의 대응되는 블록
Fig. 2. Corresponding block on the epipolar line.

균절대오차(MAD: minimum mean absolute difference) 함수를 이용하여 기준 영상의 마스크 영역과 입력 영상간의 일치정도를 검사하였다.

$$MAD(i,j) = \frac{1}{NxNy}\sum_{m=1}^{Nx}\sum_{n=1}^{Ny} | I_L(m,n) - I_R(m+i,n+j) | \tag{1}$$

식 (1)에서 N_x, N_y는 블록의 크기를, IL(m, n), IR(m+i, n+j) 은 좌측영상의 좌표와 그것에 대응되는 우측영상의 좌표를 각각 나타낸 것이다.

그림 2는 입력된 에피폴라 선상의 대응되는 블록을 알아보기 위한 복도(corridor) 영상의 일부분을 나타낸 것이다. 여기서 예측하고자 하는 영상을 Nx, Ny 크기의 블록으로 나눈 후, 시차의 수평 성분만 고려하여 에피폴라 선상에 존재하는 일정한 탐색 범위($\pm S_x$)내의 블록에서 일치점을 찾는 과정을 보여주고 있다[10].

탐색 범위내의 후보 블록들의 비용함수를 계산하고, 이 비용함수 값들 중 가장 적은 값을 가지는 블록을 대응 블록으로 결정한다. 이때, 식(6)와 같은 비용함수를 최소로 하는 후보 시차벡터를 나눠진 블록 i에 대해 최적의 시차벡터 $\hat{d_i}$로 선택하게 된다.

$$\hat{d_i} = \arg\{min[MAD(m,n)]\} \tag{2}$$

일반적으로 인간 시각계는 수직시차에는 거의 영향을 받지 않기 때문에 본 논문에서는 수직 시차는 고려하지 않고 수평시차만을 추출을 하였다. 즉, 식 (5)와 같이 우측 영상의 범위 S 블록들 중에서 MAD가 최소값을 갖는 블록을 정합된 블록으로 간주하면 우측 영상과 기준(좌측)영상의 좌표값 차이로 블록을 대표하는 시차값을 얻을 수 있다.

$$L(x_0,y_0) = R(x_0+\delta, y_0) \tag{3}$$

식 (3)에서 얻어지는 변위값 δ 는 블록을 대표하는 시차값으로 시차지도에서 사용하게 된다.

본 논문에서는 이러한 두 영역의 유사도 값을 비교하는 비용함수로서 초기 시차정보를 찾아낼 때 사용했던 MAD 방법과 유사한 방법을 사용하였다. 일반적으로, 실제 물체가 존재하는 2개의 영역간에는 높은 상관치가 나타난다는 사실을 이용하여 실 영역을 검출할 수 있다. 즉, 식 (4)~(7)와 같이 후보 영역들 간에 비용함수를 적용하여 그 값이 최소가 되는 두 영역을 각 프레임에서의 실 영역으로 판단한 다음, 각각 실 영역의 좌표를 구해 이들 좌표값의 차이인 표적 물체의 상대적 이동거리를 얻어내고 또한, 두 영역의 좌표값 차이를 통해 표적 물체의 이동방향을 잡아주게 된다. 결국, 식 (4)~(7)와 같은 4가지 조합의 경우에 대해 그 값이 최소가 되는 경우를 선택하고 그 비용함수를 구성하고 있는 두 후보 영역을 각 프레임에서의 실 영역으로 결정하게 된다[11].

$$Case1 : Cand1 - Cand1' = \frac{1}{m\times n}\sum_{m=1}^{m}\sum_{n=1}^{n} | D_C(x_m,y_n) - D_N(x_m,y_n) | \tag{4}$$

$$Case2 : Cand1 - Cand2' = \frac{1}{m\times n}\sum_{m=1}^{m}\sum_{n=1}^{n} | D_C(x_m,y_n) - D_N(x_{m+i},y_{n+j}) | \tag{5}$$

$$Case3 : Cand2 - Cand1' = \frac{1}{m\times n}\sum_{m=1}^{m}\sum_{n=1}^{n} | D_C(x_{m+i},y_{n+j}) - D_N(x_m,y_n) | \tag{6}$$

$$Case4 : Cand2 - Cand2' = \frac{1}{m\times n}\sum_{m=1}^{m}\sum_{n=1}^{n} | D_C(x_{m+i},y_{n+j}) - D_N(x_{m+i},y_{n+j}) \tag{7}$$

일단, 실제의 물체영역이 각 프레임에서 검출되면 그 위치 좌표 및 두 실 영역간의 이동거리 좌표값과 표적 물체의 이동방향 등이 계산되어지고, 최종적으로 스테레오 입체 카메라 시스템에 탑제된 팬과 틸트로 전달되게 된다. 즉, 표적 물체의 이동거리 좌표값과 이동방향은 스테레오 카메라 시스템의 팬과 틸트에 전달됨으로써 이동물체의 실시간적 추적 및 주시각 제어가 수행되게 된다. 예를 들면, 만일 식 (7)의 경우가 최소값을 가질 경우 후보영역1($Cand1$)과 후보영역2'($Cand2'$)가 각 프레임에서 실 영역을 결정된다. 따라서, 팬과 틸트의 제어값을 얻어내기 위해 후보영역1($Cand1$)과 후보영역2'($Cand2's$)의 시작 좌표 및 마지막 좌표값을 각각 구하게 된다. 그런 후에, 두 프레임 좌표간의 차이값인 이동 거리값을 그것들의 중앙 좌표에서 구함으로써 팬과

틸트의 제어신호로 넘겨주게 된다. 이러한 제어신호를 통해 팬과 틸트가 제어됨으로써 물체를 추적하게 된다. 즉, 이동물체를 다시 입력 영상의 중앙에 위치시키고 스테레오 시차를 제거시키게 된다. 따라서, 스테레오 카메라의 영상은 다시 초기화되고 다음 프레임의 입력신호를 받아들여 다시 반복 수행하게 된다.

2. 표적영상의 좌표 및 경로 검출

시차 정보를 통해 배경과 분리 및 영역화된 표적 영상의 실제 3차원 위치좌표는 스테레오 카메라로부터 입력된 좌, 우 입력영상에 대한 팬과 틸트 이동각도 및 카메라로부터 얼굴 중심좌표까지의 광축 거리를 이용한 구면 좌표계에서 직교 좌표계로의 변환을 통해서 구할 수 있다. 우선, 그림 3과 같이 표적이 임의의 공간 안에 직립해 있다고 가정했을 때, 주시각이 제어된 스테레오 카메라의 팬과 틸트의 각도는 각각 Θ_1과 Θ_2 및 ϕ_1과 ϕ_2로 주어지게 된다.

여기서 팬과 틸트의 제어각도는 Kanatani의 영상보정 알고리듬[12]을 응용하여 2차원 영상평면에서 검출된 이동된 좌표값을 통해 변환하였다.

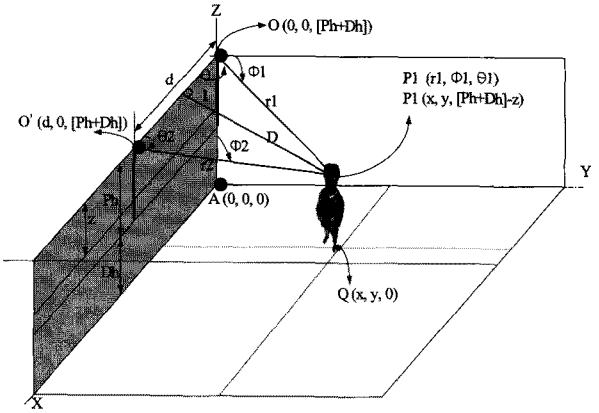

그림 3. 표적 영상의 3차원 구면 좌표계를 이용한 표적 영상의 키 높이 검출

Fig. 3. Space model of the proposed stereo video surveillance system.

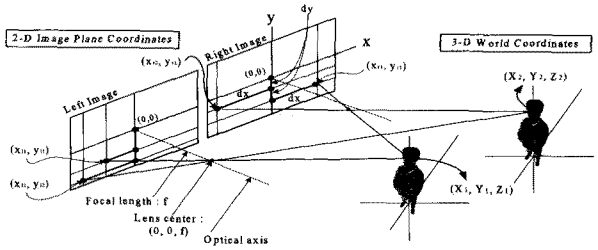

그림 4. 두 영상평면위에 맺힌 3차원 공간상의 점

Fig. 4. 3D point on two image plane with same lens center.

그림 4는 공간상의 같은 점에 대해 대하여 카메라의 회전으로 인한 두 카메라 좌표의 차이로 인하여 두 영상 면에서의 점의 이동을 나타낸 것이다.

그림 4에서, 실제 3차원 공간상으로 수렴되는 임의의 한 점을 $P_r(X, Y, Z)$이라 하고, 그 점이 2차원 영상 평면에 투영되는 현재 영상과 이전 영상에서의 점을 각각 $P_c(x_t, y_t)$와 $P_c(x_{t-1}, y_{t-1})$라고 하면, Kanatani의 영상보정 알고리듬[12]에 의해 식 식 (8)과 (9)로 나타낼 수 있다.

$$\theta = \frac{fx_{t-1}y_t(y_{t-1}-y_t)+f(f^2-y_{t-1}y_t)(x_{t-1}-x_t)}{f(y_t\sin\alpha - f\cos\alpha)+x_{t-1}x_t(y_{t-1}y_t\cos\alpha - y_t\sin\alpha+\cos\alpha)} \quad (8)$$

$$\phi = \frac{fx_t\cos\alpha(x_{t-1}-x_t)(f-y_{t-1})+f(y_{t-1}y_t)x_{t-1}x_t\cos\alpha+f(y_t\sin\alpha+f\cos\alpha)}{(f^2-y_{t-1}y_t)(x_{t-1}x_t\cos\alpha+fy_t\sin\alpha+f^2\cos\alpha)-(1-y_{t-1})(x_{t-1}x_t^2\cos\alpha)} \quad (9)$$

따라서, 스테레오 영상의 이전영상과 현재영상의 2차원 화소값으로 구성된 위치값을 검출하면 식 (8)과 (9)를 통해 팬과 틸트 각도가 산출되고 이는 영상 평면의 원점 (0, 0)을 중심으로 2차원 영상 평면에 사상된 표적 물체의 위치 변이를 팬과 틸트 시스템의 각도값으로 환산하여 추적 및 감시 기능을 수행하게 된다.

또한, 그림 3에서 스테레오 카메라의 수평선상으로부터 표적 영상의 얼굴 중심좌표까지의 수직 거리는 식 (10)과 같이 D로써 표현할 수 있다[13].

$$D = \left(\frac{\tan(\theta_1)\times\tan(\theta_2)}{\tan(\theta_1)+\tan(\theta_2)}\right)\times d \quad (10)$$

그림 3에서 각각 Θ_1과 ϕ_1의 각도를 갖은 팬과 틸트에 탑재된 카메라 시스템의 위치가 점 O이라고 했을 때, 이는 어떤 점의 위치를 하나의 길이와 두개의 각으로 나타낼 수 있는 3차원 구면 좌표계로 표현될 수 있으며, 공간 안에서 얼굴영상의 중심좌표를 점 P라고 하면, 이는 (r_1, Θ_1, ϕ_1)의 좌표계로 표현될 수 있다.

따라서, 표적 영상의 중심좌표인 점 P(r, Θ, ϕ)는 식 (11), (12), (13)과 같이 OX, OY, OZ가 서로 직교하는 3차원 직각좌표인 P(x, y, z)로써 변환될 수 있다. 또한, 표적 영상의 중심좌표인 점 P(x, y, z)에 수선을 내린 점 Q(x, y, o)는 표적 대상물이 현재 서 있는 X, Y 좌표계상의 점이므로 표적이 이동하는 움직임 경로를 추정하는데 이용되게 된다[13].

$$x = r_1 \cdot \cos\Theta_1 \cdot \sin\Phi_1 = \frac{D}{\sin\Theta_1}\cos\Theta_1 \cdot \sin\Phi_1 = D \cdot \cot\Theta_1 \cdot \sin\Phi_1 \quad (11)$$

$$y = r_1 \cdot \sin\Theta_1 \cdot \sin\Phi_1 = \frac{D}{\sin\Theta_1} \cdot \sin\Theta_1 \cdot \sin\Phi_1 = D \cdot \sin\Phi_1 \quad (12)$$

$$z = r_1 \cdot \cos\Phi_1 = \frac{D}{\sin\Theta_1} \cdot \cos\Phi_1 = D \cdot \frac{\cos\Phi_1}{\sin\Theta_1} \quad (13)$$

따라서, 식 (11), (12), (13)에서 검출된 직교 좌표계의 Q(x, y, o)는 실시간으로 표적 물체의 실제 위치를 파악할 수 있으며, 원격 모니터링을 통해 표적 물체의 실제 이동경로를 추정할 수 있는 정보로 이용될 수 있다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 본 논문에서 제안한 작업자 안전감시를 위한 원격 모니터링 시스템을 위해 제작된 실시간 감시추적 시스템을 보여준 것이다.

즉, 감시추적용 카메라의 서보모터 시스템 구성으로 Metri ca, Inc의 Biclops PT-S를 사용하였으며[14], 스테레오 영상 획득 및 처리를 위한 컴퓨터 비젼 시스템으로는 SVS-VISTEK사의 SVS285CFCP[15]의 1280X1024 픽셀의 해상도와 25 frame/sec의 촬영속도를 갖는 CCD 카메라 2대를 평행식으로 사용하여 기하학적으로 에피폴라 선(Epipolar line)상에 위치하도록 구성하였으며, 두 카메라의 광축간의 거리는 인간의 양안시차 거리인 5cm로 설정하였고, Y400 모드의 8비트 흑백영상을 Bayer 필터링 후 24비트 칼라 영상으로 변환 후 초당 25프레임으로 획득하게 된다.

스테레오 영상 저장 및 처리를 위한 프레임 그레이버는 Matrox사의 PCI-X 기반 SOL 6MCL을 사용하였고[16], 서버 시스템으로는 2.4GHz 두개의 CPU를 가지며 2GB의 메모리로 구성된 인텔 제온 서버시스템(Intel Xeon Server)을 사용하였으며, 이는 고속처리와 방대한 데이터양을 처리하기에 적합한 모델이다.

그림 6은 본 논문에서 구현된 실시간 3D 화상 시스템의 사용자 인터페이스로써, 카메라로부터 영상의 획득과 제어를 위해 MIL(Matrox Imging Library) 7.0을 기반으로 Visual C++.Net을 이용하여 다이얼로그 기반에서 구현하였다. MIL(Matrox Imging Library)은 Matrox사가 멀티미디어와 영상처리의 성능향상을 지원하기 위해 멀티미디어의 재생과 제어, 그리고 카메라 영상 획득과 관련된 다양한 기능을 지원하고 있는 멀티미디어 도구이다. 즉, 본 논문에서 구현된 실시간 표적 감시추적을 위한 화상 시스템으로 프레임 그레이버로 입력되는 스테레오 영상 시퀀스에 대해 실시간으로 팬과 틸트의 제어를 통해, 표적 대상체에 대한 적응적인 3차원 좌표 검출 및 이동 궤적을 추정할 수 있다.

본 논문에서 제안한 시스템의 효용성을 검증하기 위한 시나리오는 그림 7과 같이 실험에 참여한 표적영상에 대해, 미리 설치된 감시추적 시스템을 중심으로 우측에서 좌측으로 수평이동을 하다가 다시 우측에서 좌측으로 이동한 후, 당시 서 있는 위치에서 뒤쪽으로 나아가는 형태의 전체 12초간 정속도를 가진 이동 궤적을 촬영한 180프레임의 스테레오 영상에 대해 실제 표적의 이동된 궤적을 검출하는 것이다. 즉, 실험에 참여한 표적영상에 대해, 감시추적 시스템을 중심으로 우측에서 좌측으로 수평이동(16^{th}~255^{th})을 하다가 다시 우측에서 좌측으로 이동한 후(255^{th}~555^{th}), 당시 서 있는 위치에서 뒤쪽으로 나아가

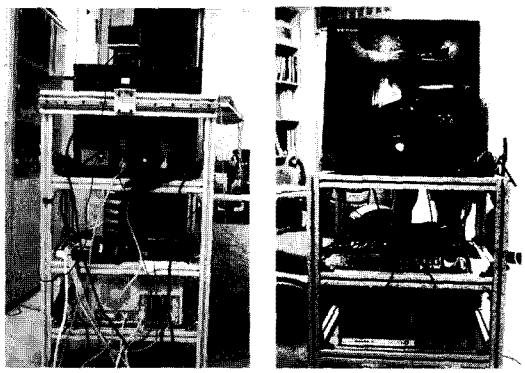

그림 5. 3D 원격 감시추적 시스템
Fig. 5. 3D remote surveillance system.

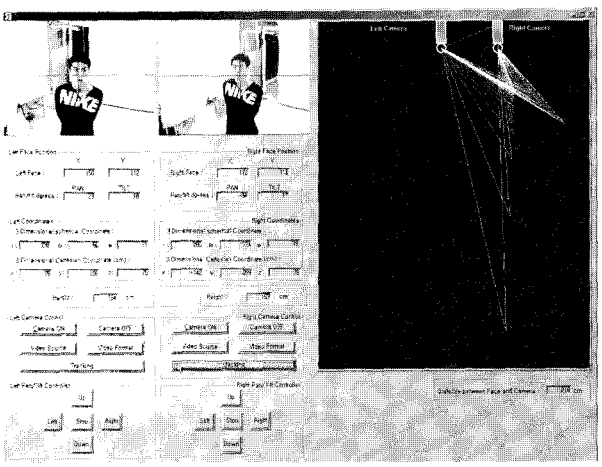

그림 6. 사용자 인터페이스
Fig. 6. User interface.

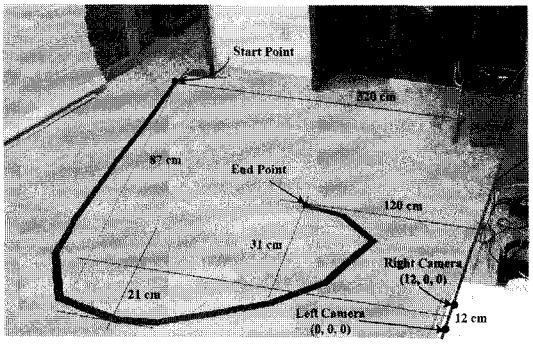

그림 7. 표적의 이동경로를 위한 실험 환경
Fig. 7. Experimental setup of target's moving trajectories.

는 형태(555th~735th)의 이동 궤적 검출 전체 촬영한 40초간의 800프레임의 스테레오 영상 중 임의의 시간동안 획득한 8 프레임에 대해 이동된 궤적을 검출된 좌표값에 따라 나타낸 것이다.

따라서, 검출된 직교 좌표계상의 (x, y) 점만을 추적하게 되면 표적 대상체의 이동 경로 및 궤적을 쉽게 추정할 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 실시간으로 획득되는 스테레오 입력영상 시퀀스에 대해 감시 및 추적 성능을 검증하기 위해 두 사람의 서로 다른 이동경로를 320×240 픽셀의 해상도를 갖는 스테레오 입력영상을 초당 30 프레임의 속도로 처리하여 총 80프레임의 테스트 영상을 가지고 실험을 수행하였다. 그림 8은 전체 80 프레임의 테스트 실험영상 중 2 프레임(2, 24 번째 프레임)에 대한 좌우 스테레오 입력영상 샘플을 나타낸 것이다.

표 1은 실험에 사용된 샘플 스테레오 입력영상에 대해 식 (1)을 이용하여 표적영역을 추출하고, 식 (4)~(7)

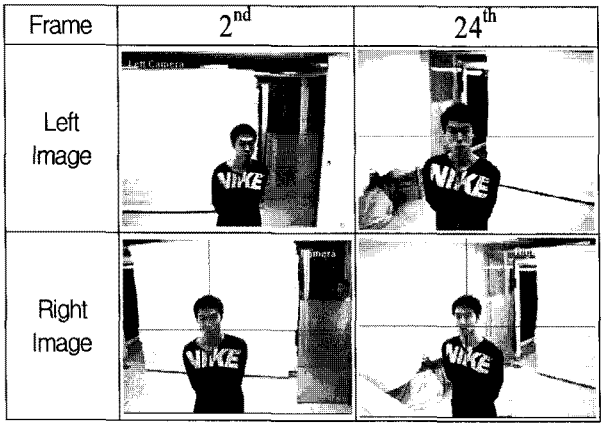

그림 8. 4 프레임의 스테레오 샘플 입력영상
Fig. 8. 4 sample frames of the input stereo image pairs.

표 1. 좌, 우 영상의 중심좌표 [단위: pixel]
Table 1. Center location of the left and right image.

프레임	좌측 영상	우측 영상
2nd	(225, 39)	(280, 39)
24th	(37, 123)	(39, 136)
138th	(112, 142)	(100, 141)
170th	(226, 146)	(239, 137)

을 이용하여 중심좌표(160, 120)을 기준으로 x, y축 방향으로 이동된 표적 영상의 위치좌표 값을 나타낸 것이다.

표 1에서 획득된 4 프레임에 대한 위치좌표들은 조명의 밝기 및 명암도 차이에 따라 약간의 차이는 있으나 초당 30 프레임의 영상 처리 속도에도 적응적으로 위치정보를 검출함으로써 실시간적 처리의 가능성을 보여주고 있다. 또한, 표 1에서 획득된 위치 좌표값은 각각의 프레임에서 입력된 표적영상의 실제 이동값을 의미하며, 이 값은 식 (8)와 (9)를 통해 팬과 틸트 제어각도로 변환되며, 변환된 제어값에 따라 카메라의 주시각이 제어됨으로써 이동 표적이 카메라 시야의 중심으로 이동하게 된다.

본 논문에서는 카메라의 광축이 표적영상의 주시점에 일치시키는 교차식 카메라 설정법을 사용하였고, 이에 따라 표적영상까지의 수직거리(D)는 식 (10)에 의해 구할 수 있으며, 표적영상의 실제 이동값을 통해 제어될 팬과 틸트 각도 Θ와 ϕ는 각 시스템 엔코더를 사용하여 표 2와 같이 구할 수 있다.

표 2에서, 광축거리(r)과 팬과 틸트 제어각도(Θ, ϕ)는 표적 영상의 중심점에 대한 구면좌표계를 형성할 수 있으며, 이는 직교 좌표계로의 변환을 통해 표적물체의 현재의 직립 위치를 추정할 수 있는 정보로 제공된다.

그림 9는 실시간으로 입력되는 4 프레임의 스테레오 입력영상에 대해 중심좌표인 (160, 120)을 기준으로 표

표 2. 표적 중심좌표에 대한 구면좌표 파라메타
Table 2. Spherical coordinates of target's center position.

좌표값 / 프레임	좌측 영상		거리 (D) [cm]	우측 영상	
	거리 (r1) [cm]	팬/틸트 각도 (ϕ, Θ) [°]		거리 (r1) [cm]	팬/틸트 각도 (ϕ, Θ) [°]
2nd	397.6	(70, 75)	403	396	(85, 80)
24th	325	(90,75)	320	324	(64, 73)
138th	257	(68,75)	254	255	(85, 74)
170th	236	(82,80)	241	232	(85, 80)

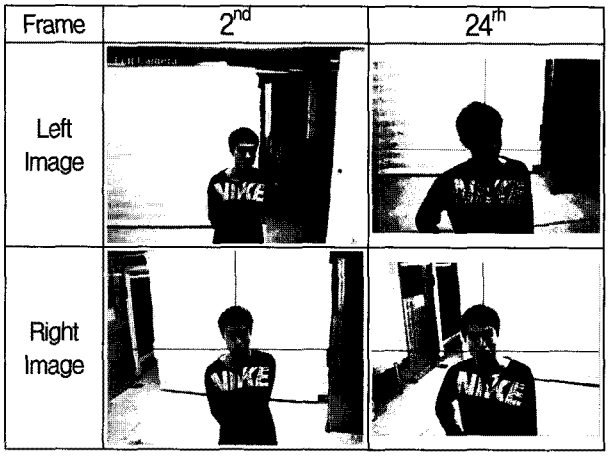

그림 9. 주시각이 제어된 스테레오 영상과 중심좌표
Fig. 9. Four stereo image pairs just after being tracked with pan/tilt systems.

2의 좌, 우 팬과 틸트 각도를 통해 주시각이 제어된 좌, 우 영상을 나타낸 것이다.

그림 9에서 보면 320×240 해상도의 중심좌표인 (160, 120)을 기준으로 표적영상은 정확히 카메라 시야의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있으며, 실내조명과 밝기의 영향으로 ±2 픽셀의 오차를 보이고 있지만, 실험에 사용한 전체 프레임에 대한 표준 편차는 각각 1.82 및 1.11을 유지하며 얼굴 피부색이 서로 다른 사람에게도 적응적으로 주시각이 제어됨을 볼 수 있다. 또한, 입력되는 스테레오 영상 시퀀스에 대해 프레임 당 0.06초의 처리시간을 가지고 평균 2 프레임 이내에 추적이 이루어짐으로 제안된 감시추적 알고리즘의 실시간적 처리가 가능함이 분석되었다.

표 3과 표 4는 제안된 알고리즘을 통해 산출된 값과 실제 측정한 값과의 오차를 분석하기 위해, 표 2에서 검출된 구면 좌표계를 직교 좌표계로 변환한 표적영상의 3차원 정보와 실험환경에서 측정한 실제좌표를 나타낸 것이다. 즉, 스테레오 카메라와 표적 영상까지의 수직 거리(D) 및 구면 좌표계상의 (r, Θ, ϕ)을 구성한 뒤, 식 (11), (12), (13)을 이용하여 직교 좌표계상의 (x, y, z)로 변환한 값이다.

표 3에서 보면 좌, 우측 영상 간에 존재하는 직교 좌표계의 오차는 평균 1.5cm 미만의 작은 오차가 존재함을 알 수 있는 데, 이는 불규칙한 조명, 동일하지 않은 영상밝기 및 저가의 웹 카메라의 사용임을 고려할 때, 우수한 실험결과로 분석되며, 제안된 시스템에서 계산된 좌표값과 실제 실험대상으로 참여한 사람의 정확한 실제 위치와의 차이 역시 평균 1.2cm 미만의 오차와 전

표 3. 표적 영상의 2차원 좌표검출 [단위:pixel]
Table 3. 3D location extraction of target image.

프레임	좌측 영상	우측 영상
2nd	(158,117)	(158,118)
24th	(163,120)	(158,118)
138th	(156,117)	(160,121)
170th	(160,117)	(157,117)

표 4. 표적 영상의 3차원 직교 좌표검출 [단위:cm]
Table 4. Coordinates extraction of target image.

좌표 / 프레임	좌측카메라좌표 (x1, y1, z1)	우측카메라좌표 (x2, y2, z2)	실제좌표 (x, y, z)
2nd	(111, 323, 33)	(113, 324, 33)	(110, 320, 35)
24th	(44, 243, 34)	(45, 242, 32)	(43, 240, 35)
138th	(-14, 115, 33)	(-15, 113, 31)	(-15, 115, 35)
170th	(28, 76, 36)	(27, 79, 36)	(30, 75, 35)

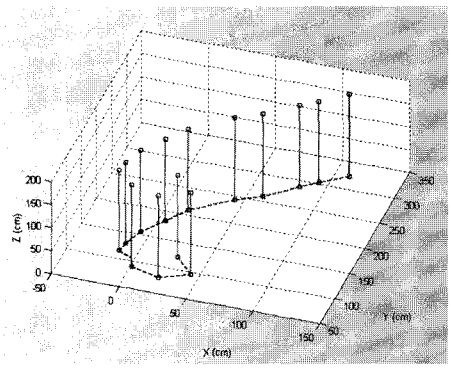

그림 10. 감시추적 중인 두 표적의 이동 궤적도
Fig. 10. Illustration of the estimation results using the Cartesian coordinates.

체적으로 0.5 %의 오차를 보임으로써 보다 적응적인 모니터링 시스템의 실시간적 구현 가능성을 제시하고 있다.

그림 10과 11은 표 3과 4에서도 알 수 있듯이 우측 카메라에서 획득한 좌표값에 비해 실제 좌표와의 오차율이 상대적으로 작은 좌측 카메라에서 획득한 직교 좌표값를 이용하여 표적물체의 현재위치와 이동 궤적을 3차원 공간상에 각각 나타낸 것이다. 즉, 실험에 참여한 두 사람의 표적에 대해, 감시추적 시스템을 향한 수평이동과 수직이동을 중심으로 이동된 궤적을 검출된 좌표계에 따라 나타낸 것이다.

그림 11은 표적의 이동경로에 대한 측정치와 계산치 간의 비교 분석을 나타낸 것이다. 즉, 전체 12초 동안의 감시 촬영동안에 3초간의 간격을 두며 획득한 15 프레임에 대한 (x, y)좌표를 도시한 것이며, 좌측 카메라의 위치는(0, 0)에 위치하고 있고, 우측 카메라의 경우 좌

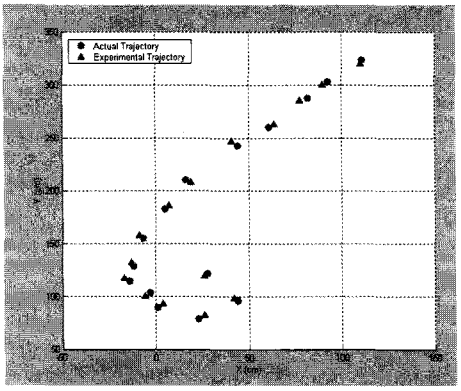

그림 11. 표적의 이동경로에 대한 측정치와 계산치 간의 비교 분석

Fig. 11. Comparison results between the measured and actual target's moving trajectories.

측 카메라로부터 12cm 이격된 거리의 (12, 0)에 위치하고 있으며, 감시 카메라로 설치된 시스템을 중심으로 우측에서 좌측 방향으로 다가오다가 다시 방향을 틀어 좌측에서 우측을 향한 후, 다시 후방으로 이동하는 형태의 이동궤적을 감지함을 알 수 있다.

또한, 그림 11에서, 이전좌표와 현재좌표간의 거리를 이용하여 표적의 보폭길이는 물론이고, 이전 프레임과 현재 프레임간의 처리속도를 이용하여 표적의 이동 속도까지도 추정할 수 있게 된다. 본 실험에서는 평균 3초간격의 샘플링 시간을 두고 검출된 좌표값을 대상으로 측정한 결과 실험에 참여한 표적의 평균 보폭 길이는 24.14cm 이고, 이동속도는 8.87cm/s 임을 알 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 스테레오 비젼 기법에 기반한 작업자 모니터링을 위한 자동 감시추적 시스템을 제안하였다. 즉, 인간 시각 시스템을 모방한 교차식 스테레오 카메라 시스템의 특성을 이용하여 작업자의 인식은 물론 추적, 감시가 가능한 새로운 형태의 지능형 감시추적 시스템을 설계 제안하였다. 실험결과, 교차식 스테레오 카메라 기반의 이동물체 감시추적 시스템의 실험결과 팬과 틸트를 통한 물체추적 후 표적 중심좌표의 수평, 수직 평균오차는 1.82%, 1.11%의 매우 낮은 에러 값을 각각 유지하였으며, 추정된 물체의 3차원 위치좌표의 경우도 실제 물체 위치값과 비교하여 평균 2.5% 이하의 낮은 오차가 가짐이 분석되었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 팬과 틸트가 탑제된 스테레오 카메라 기반의 감시추적 시스템은 복잡한 배경 및 주위환경 변화에도 이동 물체를 효과적으로 추출하여 적응적으로 감시 및 추적이 가능한 산업용 무인 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] P. Danielson, "Video surveillance for the rest of us: proliferation, privacy, and ethics education", *2002 International Symposium on Technology and Society*, vol. 1, no. 1, pp. 162~167, 2002.

[2] James Black and Tim Ellis, "Multi-camera image measurement and correspondence", *Measurement*, vol. 32, pp. 61~71, 2002.

[3] 고정환, "산업용 AGV 시스템의 적응적 경로설정을 위한 지능형 시각 시스템의 구현," *대한전자공학회 논문지(IE)*, vol. 46, no. 1, pp. 23-30, 2009.

[4] 서춘원, 노희정, 원영진, "스테레오 비젼 시스템을 이용한 문자 특징 추출", *대한전자공학회 논문지(TE)*, vol. 40, no. 4, pp. 41-47, 2003.

[5] Qielu Pan, Jianbo Su, Yugeng Xi, "Uncalibrated 3D robotic visual tracking based on artificial neural network", *Acta Automatica Sinica*, vol. 27, no. 6, pp. 194~199, 2001.

[6] J. S. Park and M. J. Chung, "Path planning with uncalibrated stereo rig for image-based visual servoing under large pose discrepancy", *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, vol. 19, no. 2, 2003.

[7] Darrell, G. Gordon, M. Harville, and J. Woodfill, "Integrated person tracking using stereo, color, and pattern detection", *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition '98*, vol. 1, pp. 601~608, 1998.

[8] D. Murray and Anuo Basu "Motion tracking with an active camera", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 5, pp. 449~459, 1994.

[9] Mita D. Desai, "Spotlight mode SAR stereo technique for height computation", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.6, no.10, pp.1400-1411, 1997.

[10] J. S. Lee and J. H. Ko, E. S. Kim, "Real-time stereo object tracking system by using block matching algorithm and optical binary phase extraction joint transform correlator", Optics Communication, vol.191, pp.191-202, 2001.

[11] K. H. Bae and J. S. Koo, E. S. Kim, "A new stereo object tracking system using disparity motion vector", *Optics Communications*, vol.221, no 13, pp.23-35, 2003.

[12] K. Kanatani, "Constraints on length and angle", *Computer Vision Graphics Image Process*, vol. 41, pp. 28-42, 1988.
[13] J. H. Ko and E. S. Kim, "Stereoscopic Video Surveillance System for Detection of Target's 3D Location Coordinates and Moving Trajectories", *Optics Communications*, vol. 191, pp.100-10, 2006.
[14] http://www.metricanet.com
[15] http://www.svs-vistek.com
[16] http://www.matrox.com

저 자 소 개

고 정 환(정회원)
2010년 현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 조교수
대한전자공학회논문지
제46권 IE편 제1호 참조

안 영 환(정회원)
2010년 현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수
대한전자공학회논문지
제43권 IE편 제4호 참조

이 정 석(정회원)
2010년 현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수
대한전자공학회논문지
제43권 IE편 제4호 참조