

방법 설비의 스테레오 카메라 시스템에서 이동객체의 추적과 거리측정

(Tracking and Distance Measurement of the Moving Object in Stereo Camera System as a Security Equipment)

이재수* · 홍권의 · 손영우

(Jse - Soo Lee · Kwon - Eui Hong · Young - Woo Shon)

요 약

보안 방법설비 시스템 구축시 교차식 스테레오 카메라 방식으로 이동객체를 추적하고, 카메라에서 이동 객체까지 거리를 측정하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 이동 객체를 추출하기 위해서 스테레오 입력 영상을 화소 단위로 정합하였으며, 입력 영상의 주변명암 변화에 대한 오류를 보정하기 위하여 적응형 임계값으로 이동성분을 구한 후 잡음제거 알고리즘으로 이동객체 영역만 추출하였다. 그리고 이동 객체의 위치값을 이용하여 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 이동객체를 추적하였으며, 교차식 스테레오 카메라 시스템의 파라미터 특징을 이용하여 이동객체까지의 거리를 측정하는 방법을 제시하였다.

실험 결과 제안한 알고리즘은 스테레오 방법 카메라 시스템에서 이동객체의 거리 측정과 추적이 가능함을 알 수 있었다. 거리측정 오차도 6%이내에 존재하였다. 따라서 제안한 알고리즘을 이용하여 시스템을 구현할 경우 스테레오 방법 시스템, 이동자율 로봇 시스템 및 스테레오 원격제어 시스템 등에 응용할 수 있을 것이다.

Abstract

In crossing stereo camera system as a security equipment system, a new algorithm for the tracking method of the moving object and the measurement method of distance of the object from cameras to moving object is proposed. The stereo input images are matched by a fixel for the moving object extraction, then the moving elements obtained from an adaptive threshold's value for an error correction and the moving object area extracted by noise eliminative algorithm. In addition to, the moving object traced by control pan/tilt of cameras using a coordinate value of the moving object, and the measurement method of distance to moving object by using special features of the crossing stereo camera system is proposed.

From the experimental results, the proposed algorithm was found to be able to measure of the distance and trace for moving object in a stereo security camera system. The error rate of a distance measurement be existed within 6%. Moreover in implementation the proposed algorithm, the stereo security system, the automatic moving robot system and the stereo remote control system will be applied practical application.

Key Words : stereo crossing camera, PRA, stereo tracking, moving elements, vergence angle control

* 주저자 : 김포대학 전자정보계열 부교수
Tel : 031-999-4153, Fax : 031-999-4775
E-mail : jslee@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2003년 4월 28일
1차심사 : 2003년 5월 6일
심사완료 : 2003년 5월 16일

1. 서 론

이동 물체의 실시간 추적기술은 지난 수 십년 동안 여러 응용 분야에서 많은 연구[1-4]가 이루어져 왔으며, 최근에는 산업 및 군사 기술의 발달과 더불어

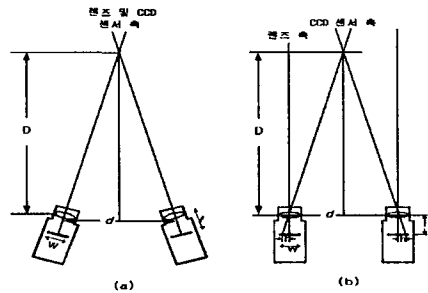
어 무인방법 시스템과 무인 자동화 시스템의 요구가 높아짐에 따라 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존의 물체추적 기술은 대부분 2차원 순차 입력영상을 이용하여 현재 영상의 배경과 잡음으로부터 이동 객체를 식별하는 연구[5]와 식별 후 이동 물체의 위치를 추적하는 기술[1-4]로 분류되어 연구되어 왔다. 또한, 자율 주행이 가능한 로봇이나 이동성분 추적에 대한 연구[2]는 오랫동안 컴퓨터 비전 분야에서 연구되어 왔다. 이러한 연구의 궁극적인 목표는 인간의 시각계를 컴퓨터로 구현[6]하는데 있다고 볼 수 있을 것이다. 인간의 시각 시스템에서 중요한 항목은 3차원 공간에서 이동 객체를 인지하여 추적하는 것과 이동 객체까지의 거리를 측정하는 것이다. 특히, 이동 객체를 인지하고 객체까지의 거리를 측정함으로써 차후의 행동에 대한 의사 결정을 할 수 있으므로 인간의 시각 시스템을 컴퓨터에 적용할 때 중요한 것이 이동 객체까지의 거리 측정임을 알 수 있다. 인간의 양안 시각계는 좌, 우측 눈에 의해 획득한 두 영상을 적절히 정합[7]함으로써 거리 정보를 얻게 된다. 컴퓨터 비전에서 인간 시각계를 이용하여 거리 추출 능력을 자동화하기 위해 적용하는 분야 중 하나가 스테레오 비전 시스템[8]이다. 영상처리에서 이동객체 영역을 추출하기 위한 방법으로는 전, 후 프레임의 비교에 의한 차영상 방법(image difference)[9], 광류에 의한 방법(optical flow)[10] 및 블록매칭에 기반한 방법(block matching)[11] 등이 연구되고 있다. 일반적으로 이동객체 영역을 추출하고자 할때, 움직임이라는 이동성분은 감지 시스템과 보여지는 화면 사이의 상대적 위치 변화가 발생한 것이라 할 수 있다. 따라서 거리 정보를 구하기 위해서는 좌, 우 영상의 이동객체가 카메라의 중심에 위치하도록하고, 삼각 측량법 등을 이용하여 거리 정보를 측정하게 된다.

일반 영상처리에서 임계값(threshold) 처리는 주변환경 변화에 따라 수동으로 조정하는 경향이 있어 실시간 처리에서는 부적합한 면이 있다. 따라서 본 논문에서는 이 임계값을 입력영상의 주변밝기 변화에 따라 적응적으로 대처할 수 있도록 적응형 임계값(adaptive threshold)의 PRA(pixel recursive algorithm) 방법을 사용하였다. 또한 잡음제거 알고리즘을 적용하여 이동객체 영역을 추출하여 이동 객

체를 추적할 수 있었으며, 교차식 스테레오 카메라 시스템의 파라미터 특징과 삼각 측량법에 의해 이동 객체까지의 거리를 측정하였다. 실험 결과 입력영상으로부터 적응적 임계 값을 구하여 이동 객체를 쉽게 추출할 수 있었으며, 이 값을 이용하여 이동객체 추적 및 거리 측정이 가능하였다. 또한, 이동 객체까지의 거리 측정은 실측치와 평균 6% 이내의 오차를 지니고 있어 제안한 알고리즘을 적용하여 이동 객체의 추적 및 거리측정이 가능함을 알 수 있었다.

2. 교차식 스테레오 카메라의 물체 추적 시스템

스테레오 카메라 시스템은 그림 1과 같이 동일한 초점거리(f)를 갖고 나란히 위치한 두 대의 카메라로 구성되며, 이러한 스테레오 카메라 구성법은 일반적으로 교차식(crossing method)과 평행식(parallel method)의 두 가지 방식으로 분류한다.



(a) Crossing method (b) Parallel method

그림 1. 스테레오 카메라의 구성법

(a) 교차식 (b) 평행식

Fig. 1. Geometries of stereo camera

두 가지 방식 중 가장 간단한 방식은 평행식 카메라 시스템으로 평행한 렌즈의 광축과 평행한 카메라의 광축을 가진 두 카메라를 이용하는 방식이다. 이 방식에서 얻어지는 오른쪽과 왼쪽 영상 사이에서의 공통시역은 광축 사이의 거리에 따라서 매우 작아지며 수직 시차가 없기 때문에 영상처리시 커다란 장점을 갖게 된다. 그러나 인간의 시각 시스템은 교차식 카메라 방식에 가까우며 이 방식은 두 카메라 축과 렌즈축이 교차하도록 서로를 향해 안쪽으로 회전

방법 설비의 스테레오 카메라 시스템에서 이동객체의 추적과 거리측정

한 카메라를 가지고 있어 소위 주시점[8]이라 불리는 곳에서 모이게 된다. 그리고 교차식 카메라 설정법은 카메라들 사이의 공통시역을 최대화할 수 있기 때문에 실제로 많이 사용되고 있다. 결국, 인간의 시각 시스템은 교차식 카메라 모델에 가깝다고 할 수 있고, 이 방식을 적용한 스테레오 비전 시스템은 인간의 두 눈을 이용하여 물체의 입체감을 인식하는 원리를 그대로 구현한 것이라고 볼 수 있다.

그림 2는 객체가 이동할 때 교차식 스테레오 카메라의 주시각 및 팬/틸트를 제어하여 이동 객체를 추적하는 스테레오 이동객체 추적 시스템의 개념도를 보여준 것이다. 그림 2에서 처럼 스테레오 이동 객체를 추적하기 위해서는 2 가지의 기능을 동시에 지니고 있어야 한다. 하나는 스테레오 입력 영상에서 이동하는 이동 객체 영역을 추출한 후 이동 객체의 위치 값을 구하여 이 값으로 스테레오 시차를 없애주는 주시각 제어 기능이고, 다른 하나는 이동 객체에 따라 스테레오 카메라의 팬과 틸트를 제어하여 사람의 눈동자 움직임과 같이 이동 객체가 항상 카메라 시아의 중앙에 놓이도록 하는 추적 기능을 지니고 있어야 한다.

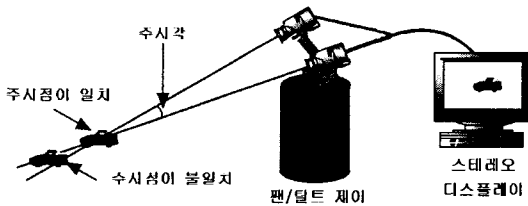


그림 2. 교차식 스테레오 카메라 시스템의 이동객체 추적 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram of a moving Object tracking in the Cross Stereo Camera System

3. 이동객체의 추적과 거리측정을 위해 제안된 알고리즘

입력된 스테레오 영상으로부터 이동 객체를 자동으로 인식한다는 것은 매우 어려운 일이다. 사람도 정지해 있는 어떤 물체를 응시하거나 혹은 이동하는 물체를 응시함으로써 그 물체를 이동 객체로 인지하여 거리 측정의 척도로 사용하게 되는데, 기계에게 자동으로 이동 객체를 추출하여 추적하고 이동객체까지 거리를 측정할 수 있도록 한다는 것은 쉬운 일이 아니다.

PRA의 이동성분 추출 방법은 이전 영상과 현재 영

상의 모든 화소에 대하여 감산 연산을 실행하여 이동성분을 추출하는 방법으로 정밀성이 우수하나 이동객체의 이동성분 벡터를 각각의 화소에 대해 정의해야 한다. 그러나 BMA(block matching algorithm)와 PRA를 비교해 볼 때, 깊이(depth) 정보를 갖는 물체의 경계에서 발생하는 폐색(occlusion) 영역에 의한 오류는 BMA가 더 큰 오류 변화를 가지며, 이러한 폐색 영역의 오류는 스테레오 비전 시스템에서 실물과의 구별을 어렵게 하기 때문에 정확한 이동객체 영역 추출을 위해서는 PRA가 더 유리하다고 볼 수 있다.

그림 3은 교차식 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 이동객체 영역을 추출하고, 이 값으로부터 이동 객체까지의 거리를 측정하기 위해서 본 논문에서 제안한 시스템의 흐름도이다. 입력된 영상으로부터 이동 성분을 추출하기 위한 기법으로 PRA의 차 영상법을 사용하여 이동 성분을 구한다.

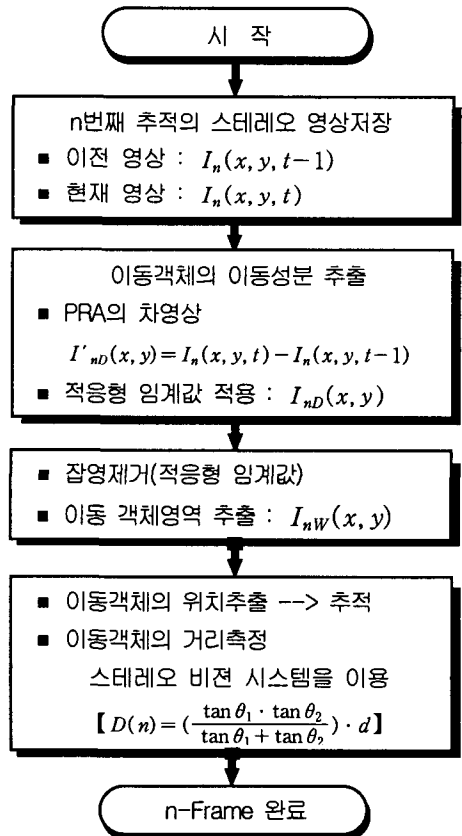


그림 3. 제안된 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. Flow of proposed algorithm

이 과정에서 주변 환경의 변화 즉, 입력 영상에서 밝기의 변화가 발생하게 되면 차 영상을 추출하는데 있어 고정된 임계값을 적용하는 시스템에서는 이동성분 추출에 많은 오류를 범하게 된다. 그러나 제안한 방법은 이 같은 주변 밝기의 변화에 효과적으로 적응할 수 있는 적응형 임계값을 설정할 수 있도록 하였다. 이 방법으로 추출된 이동 객체로부터 위치 값을 구할 수 있고, 이 값으로 이동 객체를 추적할 수 있으며 교차식 스테레오 카메라 시스템의 특징 파라미터를 적용하여 이동 객체까지의 거리를 측정하였다.

3.1 교차식 스테레오 카메라의 분석

그림 4는 교차식 스테레오 카메라의 특성을 분석하여 이동 객체까지의 거리를 측정하기 위해 나타낸 것이다.

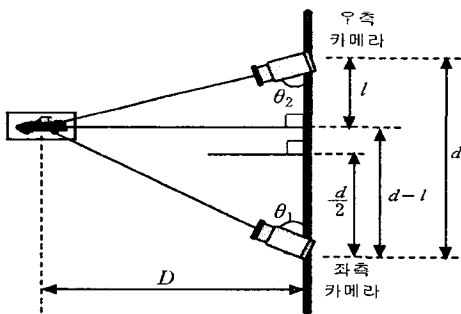


그림 4. 교차식 카메라의 분석
Fig. 4. Analysis of crossing camera

그림 4에서 d 는 좌,우 두 카메라 사이의 거리, D 는 카메라에서 이동 객체까지의 거리, θ_1 과 θ_2 는 좌측과 우측 카메라의 광축 각도, l 은 카메라 위치와 이동객체가 직각을 이루는 점에서 좌측 카메라까지 거리이다. 여기에서 좌, 우측 카메라의 각도 θ_1 과 θ_2 는 교차식 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어 시스템에 θ 값이 자동으로 생성되는 인코더를 내장하고 있으며, 이것은 컴퓨터와 연결되어 있어 θ 값을 쉽게 얻을 수 있다. 이들의 탄젠트(tangent) 값을 구해보면 식(1)과 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\tan \theta_1 = \frac{D}{d-l} \quad (1)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{D}{l} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 이용하여 l 값으로 대입하여 풀어보면, 카메라에서 이동 객체까지의 거리 D 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D = \left(\frac{\tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \right) \cdot d \quad (3)$$

식(3)을 이용하여 이동 객체까지의 거리 D 는 교차식 스테레오 카메라 시스템의 특징에 의해 쉽게 구할 수 있다.

3.2 적응형 임계값으로 이동성분 추출

스테레오 CCD 카메라를 통해 입력된 영상들은 시간적 변화와 주변 환경의 갑작스러운 밝기변화 등을 포함하여 저장될 수 있다. 또한 스테레오 비전을 사용하는 경우 좌, 우측 카메라의 특성이 동일하지 않음으로써 발생하는 밝기의 차가 존재 할 수 있다. 이와 같이 밝기 차이를 갖고 취득한 영상으로부터 차 영상을 구하게 되면 이동객체 이외의 많은 영역이 후보 영역으로 나타나게 됨으로써 영상 처리를 행하는데 많은 문제가 발생하게되며 오류에 의한 잘못된 영역을 추출할 확률도 높아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 밝기 변화가 심하게 나타나는 부분의 영상은 정규화 시킬 필요가 있는데 이는 취득한 전체 영상에 대하여 정규화를 행하게 됨으로써 많은 시간이 소요되게 된다.

본 논문에서는 스테레오 입력 영상에서 이전 영상과 현재 영상의 상호 연산을 통해 이동성분을 추출하는데 측정시간을 단축하고 하드웨어 구현이 쉬우며 정밀도가 높은 PRA 방법을 적용하여 이동객체 영역을 추출하는 방법을 사용하였다. PRA 방법은 식(4)와 같이 이전 영상과 현재 영상의 화소에 대하여 감산 연산을 수행하는 것이고, 그 결과의 절대값이 임계값 이상이면 이동성분으로 인식하여 현재 영상의 화소 값을 취한다. 또한, 임계값 이하이면 고정성분으로 인식하여 화소 값을 0으로 취함으로써 이동성분에 대한 영상을 구할 수 있다. 교차식 스테레오 카메라를 사용하여 n 번째 스테레오 입력 영상

방법 설비의 스테레오 카메라 시스템에서 이동객체의 추적과 거리측정

(이전영상, 현재영상)을 저장하였다고 하자. 좌측의 이전 영상과 현재 영상의 밝기를 $I_{nL}(x, y, t-1)$ 과 $I_{nL}(x, y, t)$ 으로, 그리고 우측의 이전 영상과 현재 영상의 밝기를 $I_{nR}(x, y, t-1)$ 과 $I_{nR}(x, y, t)$ 으로 나타낼 수 있다. 여기에서 우리는 좌측영상을 중심으로 제안한 알고리즘을 설명하고자 하며, 우측 영상은 같은 방법으로 적용하여 구하면된다.

$$I'_{nLD}(x, y) = \begin{cases} I_{nL}(x, y, t), & \text{if } |I_{nL}(x, y, t) - I_{nL}(x, y, t-1)| \geq th \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

식(4)에서 $I_{nL}(x, y, t-1)$ 와 $I_{nL}(x, y, t)$ 는 좌측 카메라의 동일 공간에서의 이전영상과 현재영상의 화소밝기이며, $I'_{nLD}(x, y)$ 는 차 영상을 만들기 위한 화소 값이고, th 는 차 영상을 만들기 위한 임계값이다. 그러나 임계값 th 는 주변환경 변화에 따라 조정되어야 하는 값으로 수동에 의해 주어지는 경향이 있어 실시간 처리에서는 부적합한 면이 있다. 따라서 이를 적응적으로 임계값(adaptive threshold)을 설정할 수 있도록 하여 주변 환경변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 하여야 한다. 본 논문에서는 취득한 영상에 대한 차를 구하여 이동 성분을 추출하는 경우에는 밝기 차이에 의한 임계값 적용을 달리함으로써 효율적인 차 영상을 획득하여 실질적인 이동 성분을 구하는 방법을 다음과 같이 3단계로 제안하였다. 1단계에서는 각 영상의 평균 밝기 값을 구하고, 다음 단계에서는 평균 밝기 값에 대한 차를 구하며, 마지막 단계에서 적응형 임계값을 구하였다.

[Step 1] 스테레오 입력의 이전 영상과 현재 영상에 대하여 각 영상의 평균 밝기를 구한다.

$$E_{nL}(t-1) = \frac{\sum_{y=0}^{(N_x-1)} \sum_{x=0}^{(N_y-1)} I_{nL}(x, y, t-1)}{N_x \times N_y},$$

$$E_{nL}(t) = \frac{\sum_{y=0}^{(N_x-1)} \sum_{x=0}^{(N_y-1)} I_{nL}(x, y, t)}{N_x \times N_y} \quad (5)$$

여기서 $E_{nL}(t-1)$ 과 $E_{nL}(t)$ 는 n-번째 좌측의 이전영상과 현재영상에서 화소밝기의 평균값이고,

$N_x \times N_y$ 는 입력영상의 해상도이다.

[Step 2] Step 1에서 구해진 평균 밝기 값에 대한 차를 구한다.

$$E_{nLD} = E_{nL}(t-1) - E_{nL}(t) \quad (6)$$

여기에서 E_{nLD} 는 동일 공간에서 n-번째 스테레오 좌측 입력의 이전 영상과 현재 영상에 대한 평균 밝기의 차이이다.

[Step 3] 두 영상의 밝기 차에 대한 적응형 임계값을 구한다.

$$th_{adp} = \alpha E_{nLD} + \beta \quad (7)$$

여기서 th_{adp} 은 두 영상에 대한 차 영상을 구하기 위한 적응형 임계값이고, α 는 임계값 결정을 위해 실험에 의해 구해진 비례상수이며, β 는 현재 영상의 밝기에 따른 임계값을 정의하기 위한 상수이다. 이들 상수들은 실험에 의해 측정된 값들을 중회귀 분석(multiple regression analysis)을 적용하여 얻어질 수 있다. 따라서 식(4)를 적응형 임계값을 사용하여 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$I_{nLD}(x, y) = \begin{cases} I_{nL}(x, y, t), & \text{if } |I_{nL}(x, y, t) - I_{nL}(x, y, t-1)| \geq th_{adp} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 $I_{nLD}(x, y)$ 는 적응형 임계값을 사용하여 구한 차 영상의 각 화소 밝기 값이다.

3.3 잡영제거 및 이동 객체영역 추출

추출된 이동 객체의 영상은 잡영(noise)이 존재할 수 있으며, 이 잡영은 이동 객체 영역을 확대시키는 효과를 나타낼 수 있기 때문에 잡영을 제거하여야 한다. 이동성분 추출에서 1차적인 적응형 임계값을 적용하면 잡영이 거의 나타나지 않지만 간혹 잔류 잡영이 있을 수 있는데 이 잡영을 제거하기 위한 임계값 설정은 아래와 같이 2 단계에 의해 제거될 수 있으며, 영상 처리의 전처리 과정으로 사용되었다.

[Step 1] 식 (8)에서 추출된 차 영상으로부터 최고 밝기의 값을 갖는 화소의 위치와 그 크기를 구한다.

$$P_{\max} = \arg \max [I_{nLD}(x, y)] \quad (9)$$

여기서 $I_{nLD}(x, y)$ 는 차 영상의 각 화소 밝기 값이고, P_{\max} 는 차 영상 중 가장 밝은 화소의 밝기 값이다.

[Step 2] 잡영을 제거하기 위한 임계값을 설정한다.

$$th_{noise} = k \cdot P_{\max} \quad (10)$$

여기서 th_{noise} 는 잡영을 제거하여 이동객체만 추출하기 위한 임계값이다. k 값은 실험에 사용된 카메라의 고유특성(영상의 명암 및 밝기)을 고려하여 본 카메라의 최적값을 다수의 영상 실험을 통하여 구한 비례상수(본 실험에서는 0.97을 사용)로 추출된 이동 물체의 후보 영역에서 이동 물체의 영역을 최대화하기 위한 값으로 결정하였으며, 또한 이 실험 값은 거리 측정 오차를 최소화하기 위한 값이기도 하다.

식(11)은 잡영 제거를 위한 임계값 th_{noise} 를 적용하여 최종 이동 객체만 존재하는 영상이다.

$$I'_{nLW}(x, y) = \begin{cases} I_{nLD}(x, y), & \text{if } |I_{nLD}(x, y)| \geq th_{noise} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$I_{nLD}(x, y)$ 는 식(8)에서 적응형 임계값을 사용하여 이동성분을 구한 영상이다. 여기에서 이동성분 추출과 잡영제거 과정을 거쳐 추출된 이동 객체의 후보 영역에 화소주사 방식을 적용하여 윈도우 마스크(window mask)로 이동객체 영역만 추출하도록 하였다. 즉, 위에서 아래(top down)로 그리고 좌에서 우로 주사하여 이동 객체가 존재하는 시작점 좌표 $W_{start}(x, y)$ 를 구하고, 아래에서 위(bottom up)로 그리고 우에서 좌로 주사하여 이동 객체가 존재하는 끝점 좌표 $W_{end}(x, y)$ 를 구하여 윈도우 마스크를 만들어 구하였다. 여기에서 구해진 이동 객체의 시작

점과 끝점 좌표를 이용하여 이전 영상과 현재 영상 중에서 이동 성분이 있는 이동객체 영역을 추출 [$I_{nLW}(x, y)$]한다.

3.4 이동 객체의 추적 및 거리측정

이동객체 영역이 결정되었으므로 이동 객체의 위치 좌표를 구할 수 있다. 이 좌표 값을 교차식 스테레오 카메라의 제어값으로 사용하여 주시점을 일치시키고, 이동객체가 영상의 중앙에 위치하도록 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 이동 객체를 추적할 수 있다.

다음에 θ_1 와 θ_2 값을 구하여 식(3)을 이용하여 이동 객체까지 거리 측정할 수 있다. 여기에서 θ_1 , θ_2 는 교차식 스테레오 카메라 시스템의 인코더에 의해 얻을 수 있는 값이며, d 는 좌, 우 카메라 사이의 거리이므로 교차식 스테레오 카메라 시스템의 구성 요소의 특징에 의해 주어지는 값이다.

4. 실험 및 고찰

실험에 사용한 좌, 우측 카메라는 CCD 영상 입력용 카메라를 사용하였으며, 교차식 스테레오 카메라 시스템의 팬/틸트 제어 장치는 그림 5와 같다.

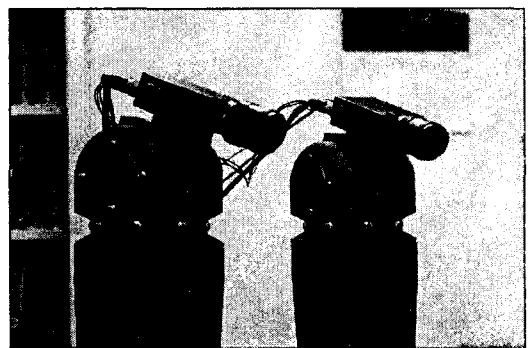


그림 5. 교차식 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어 시스템
Fig. 5. Pan/tilt control system of crossing stereo cameras

좌, 우 두 카메라 사이의 거리는 15[cm]로 하였으며, 256×256 픽셀로 20 프레임을 저장하여 실험에 사용하였다.

방법 설비의 스테레오 카메라 시스템에서 이동객체의 추적과 거리측정

4.1 적응형 임계값으로 이동성분 추출

그림 6은 320x240 해상도의 실험용 입력영상 중에서 4개의 스테레오 입력영상을 나타낸 것이다.

이동객체 영역을 추출하기 위해서 20장의 실험 영상에 대한 환경 변화에 따른 임계값을 측정한 자료를 통계적인 중회귀 분석을 적용하여 식(7)의 실험 식으로 구한 결과 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$th_{adp} = \alpha E_{nLD} + \beta$$

$$= [-0.131] E_{nLD} + [-(0.063) E_{nL}(t) + 90.943] \quad (12)$$

여기서 E_{nLD} 는 식(6)에서처럼 이전 영상과 현재 영상의 평균 밝기 차이이며, $E_{nL}(t)$ 는 식(5)에서처럼 현재 영상의 평균 밝기 값이다.

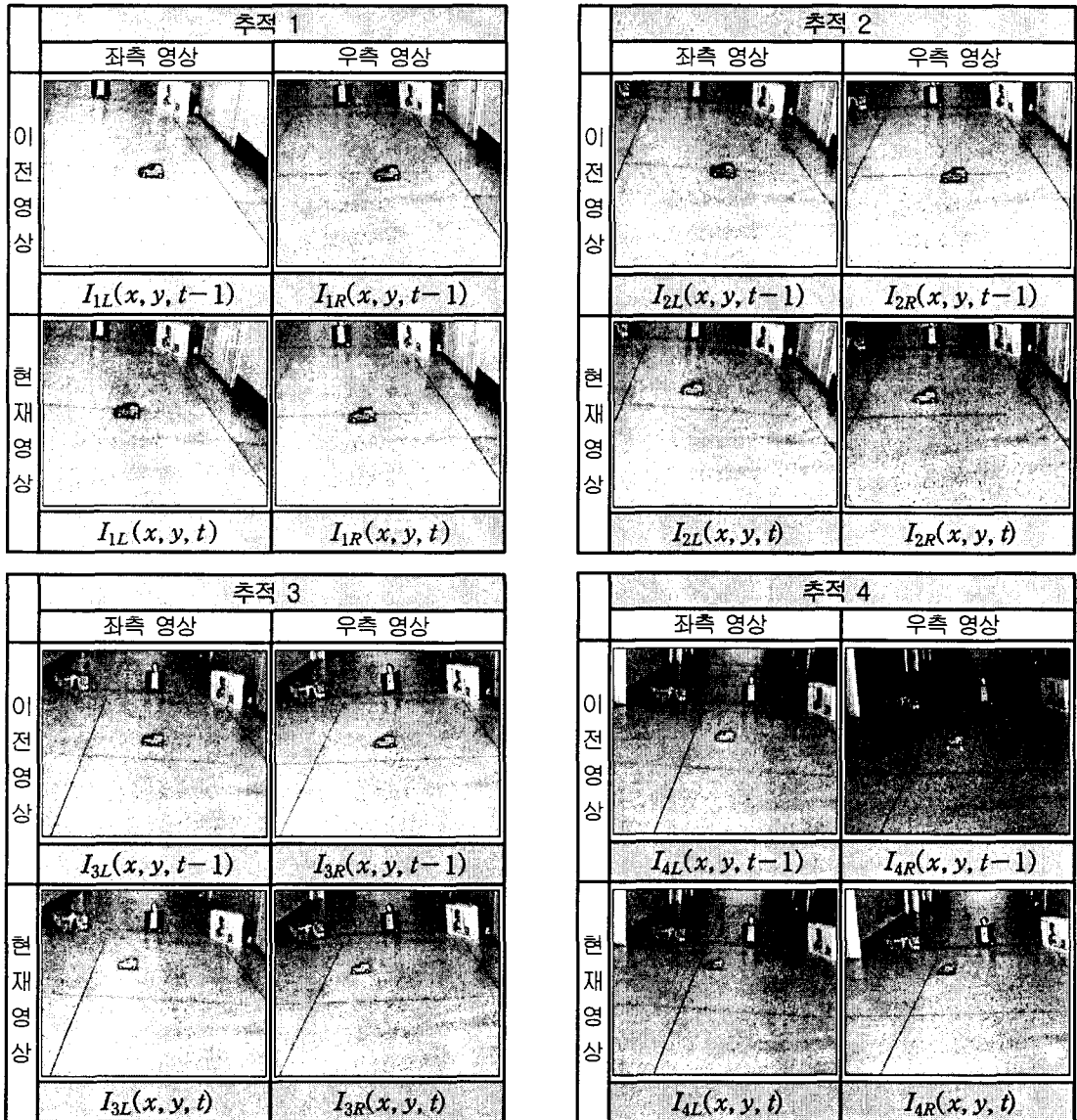


그림 6. 스테레오 입력영상
Fig. 6. Stereo input image

그림 7은 실험에 사용된 4개의 추적과정 중에서 첫 번째와 네번째 과정으로 (a),(b)는 좌측 입력 영상이고 (c)는 입력된 두 영상에 대한 차 영상을 얻기 위해 적응형 임계값을 적용하지 않은 결과 영상으로 그림에서

보는 것과 같이 이동객체 이외에 많은 부분이 후보 영역으로 존재함을 알 수 있다. 따라서 식 (16)에서 구한 값을 식 (8)에 적용하여 추출한 차 영상은 이동 객체를 찾기 위한 후보 영역[$I'_{mLW}(x, y)$]이 된다.

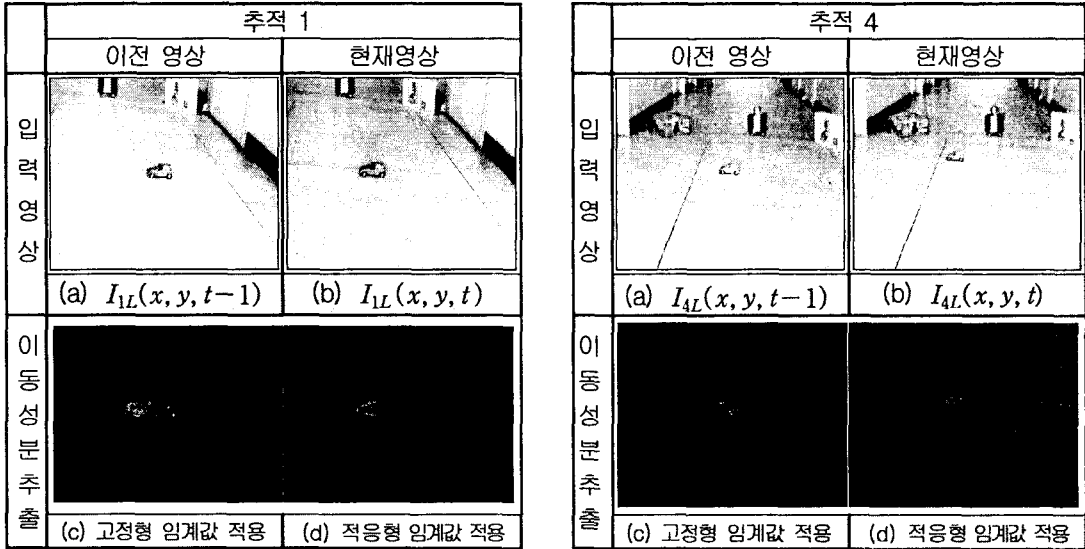


그림 7. 이동성분 추출
Fig. 7. Extraction of the moving element

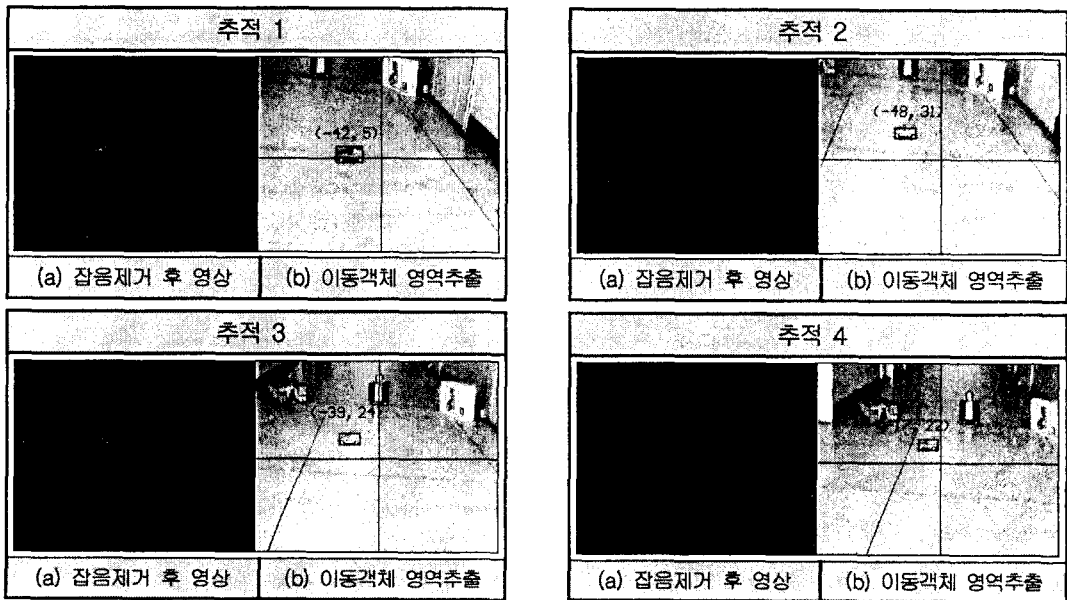


그림 8. 이동객체 영역추출
Fig. 8. Extraction of the tracking object

4.2 잡음제거 및 이동 객체영역 추출

다음에 이동성분을 추출한 이동객체 후보 영역에 잡영이 존재할 가능성이 있기 때문에 식(11)의 잡영 제거 알고리즘을 적용하여 최종적으로 이동 객체 영역을 추출하도록 하였다.

그림 8의 (a)는 본 논문에서 제안한 적응형 임계값과 잡음제거 알고리즘을 사용하여 이동 성분을 추출한 것으로 그림 7의 (c)에 비해 후보 영역이 매우 좁혀져 있음을 알 수 있으며, 최종 잡영이 제거된 이 영상이 이동객체 후보 영역이 된다.

그림 8의 (b)는 이동객체 후보에서 윈도우 마스크로 이동객체를 추출한 영상 $I_{MLW}(x, y)$ 으로 정확하게 이동객체 영역이 추출되었고, 이것으로부터 이동객체의 위치좌표 값을 구할 수 있다.

4.3 이동객체 추적과 거리측정

그림 8의 (b)에서처럼 이동 객체가 추출된 윈도우 마스크의 중앙점을 구하여 이동 객체의 위치 좌표를 좌, 우측 영상에서 구하고, 이 좌표 값을 교차식 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어값으로 사용하여 이동객체가 카메라 영상의 중앙에 위치하도록 하면서 주시점을 일치하도록 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 이동 객체를 추적할 수 있다. 본 시스템에 사용한 팬/틸트 제어 시스템은 1 픽셀 이동시 0.038° 이동할 수 있도록 설계되어 있으며, 5 픽셀에 0.2° 이동하는 것으로 계산하였다.

그림 9의 (b)에서 이동 객체의 위치 값으로 추적하여 좌,우측 영상을 합성한 결과 이동 객체가 영상의 중앙에 위치하며 주시점이 일치하는 것으로 볼 수 있어 추적이 완료되었음을 알 수 있다.

표 1은 식(3)을 이용하여 이동객체 까지의 거리를 구한 값이다. 여기에서 실제 계산에 의한 측정값과 실측 값의 오차가 6% 이내에 있으므로 시스템 메카니즘 오차, 픽셀 대 각도의 대응 오차 및 사람이 실측할때의 오차 등을 감안하면 이동객체의 거리 측정은 유효하다고 볼 수 있다.



그림 9. 이동 객체의 추적 전·후 합성영상
Fig. 9. Compositing image of tracking before and behind for moving object

표 1. 카메라에서부터 이동 객체까지의 거리
Table 1. Distance to tracking object from camera

추적	스테레오 시스템 특징 값		측정값	실측값	오차값
	d[cm]	$\theta_1[^\circ]$ $\theta_2[^\circ]$			
1	15	80.0 95.0	169	170	1(0.5%)
2		94.0 81.6	193	200	7(3.5%)
3		99.0 77.2	217	225	8(3.6%)
4		105.0 72.0	263	250	13(5.2%)

5. 결 론

본 논문에서는 방법설비 시스템중에서 교차식 스테레오 카메라 방식을 이용하여 입력 영상에서 이동객체 영역을 구하여 객체를 추출하여 추적하고, 카메라에서 이동 객체까지 거리를 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 입력 영상에서 이동 객체를 추출하기 위하여 스테레오 입력 영상을 화소 단위로 정합하였으며, 입력 영상의 주변명암 변화에 대하여 보정하기 위하여 적응형 임계값을 사용하여 이동성분을 구하였다. 다음에 잡음제거 알고리즘을 적용하여

이동객체 영역만 추출한 후 이동 객체의 위치값을 이용하여 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 이동객체를 추적하였다. 또한, 교차식 스테레오 카메라 시스템 파라미터 특징을 이용하여 이동 객체까지의 거리를 측정하는 방법을 제시하였다.

제안한 알고리즘의 실험결과 이동객체의 추출 및 추적이 가능하였으며, 이동객체까지의 측정거리 오차 6% 이내에 존재함을 알 수 있었다. 이는 스테레오 카메라 시스템의 메카니즘 오차, 픽셀 대 각도의 대응 오차 및 사람이 실측할때의 오차 등을 감안 할 때 유효하다고 볼 수 있다. 또한 아주 정밀한 측정거리가 요구되는 방법 설비 시스템의 경우에는 특히 스테레오 카메라 시스템의 메카니즘의 오차를 줄이는 연구가 필요하다고 볼 수 있다.

따라서 제안한 알고리즘을 이용하여 시스템을 구성할 경우 스테레오 방법 시스템, 이동자율 로봇 시스템 및 스테레오 원격제어 시스템 등에 응용할 수 있을 것이다.

References

- [1] C. Tam, T.S. Yu, A. Gregory and D. Juday, "Autonomous real time object tracking with an adaptive JTC", Opt. Eng., vol.29, no.4, pp.314-320, 1990.
- [2] Yi-MO Zhang, Yu-Wen Qin, Bao-Zhen Ge, Zhan-Hua Huang, and Xi-Ming Chen, "Adaptive Moving Object Tracking Using Nonlinear JTC", SPIE, vol.2778, pp.457-458, 1996.
- [3] J.S. Lee, K.T. Kim, and E.S. Kim, "Autonomous stereo object tracking using motion estimation and JTC", SPIE, vol.4029, pp.49-58, 2000.
- [4] J.S. Lee, J.H. Ko and E.S. Kim, "Real-Time Stereo Object Tracking system by using Block Matching Algorithm and Optical binary phase extraction joint transform correlator", Optics Communications, vol.191, pp.191-202, 2001.
- [5] F.T. S. Yu, F. Cheng, T. Nagata and D.A. Gregory, "Efforts of Fringe Binarization of Multiobject Joint Transform Correlator", Appl. Opt., vol.28, pp.2988-2990, 1989.
- [6] D. Marr and T. Poggio, "Computational Theory of Human Stereo Vision", Proc. of Roy. Soc. London B, vol.204, pp.302-308, 1979.
- [7] Z. F. Wang and N. Ohnishi, "Intensity-based Stereo Vision: from 3-D to 3-D", SPIE, vol.2, pp.434-443, Nov. 1994.
- [8] T.J. Olson and D.J. Coombs, "Real-time vergence control for binocular robots", Intl. J. of Computer Vision, vol.7, no.1, pp.67-89, 1991.

- [9] R.C. Jane, "Segmentation of frame sequences obtained by a moving observer," IEEE Trans. PAMI, vol.6, no.5, pp.624-629, 1984.
- [10] Y. Mae, S. Yamamoto, Y. Shirai and J. Miura, "Optical flow based realtime object tracking by active vision system", Proc. 2nd Japan-France Congress on Mechatronics, vol.2, pp.545-548, 1994.
- [11] E. Izquierdo M., "Disparity/Segmentation Analysis: Matching with an Adaptive Window and Depth-Driven Segmentation", Proc. IEEE trans, Circuits Syst. Video Technol., vol.9, No.4, pp.589-607, June 1999.

이 논문은 2003년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

◇ 저자소개 ◇

이재수 (李在洙)

1987년 광운대학교 전자공학과 졸업(학사), 1989년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 2001년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사), 1989년~1994년 갑음전자(주) 부설연구소, 1994년~1995년 한전 KDN(주) 전자용융사업부, 1996년 동양공업전문대학 강사, 1996~현재 김포대학 전자정보계열 부교수.

홍권의 (洪權義)

1983년 건국대학교 전자공학과 졸업(학사), 1985년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 1997년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사), 1984년~1991년 대우중공업중앙연구소, 1991년~1997년 종로산업학교, 1997년~현재 김포대학 전자정보계열 조교수.

손영우 (孫英羽)

1981년 광운대학교 전자공학과 졸업(학사), 1983년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 2000년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사), 1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원, 1998년~현재 김포대학 컴퓨터계열 조교수.