

스테레오 물체추적 시스템에서 블록 기반의 SSD 알고리즘과 적응적 추적 창을 이용한 표적물체 영역화

정회원 고정환*, 박창주*, 김은수*

Segmentation of Target Object using Block-based SSD Algorithm and Adaptive Tracking Window in Stereo Target Tracking System

Jung-Hwan Ko*, Chang-Ju Park*, Eun-Soo Kim* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 스테레오 카메라의 구성 파라메타와 블록기반의 SSD(sum of sward difference) 알고리즘을 이용하여 이동표적의 위치좌표를 추출하고 영역화할 수 있는 새로운 스테레오 물체추출 알고리즘을 제안하였다. 즉, SSD 알고리즘을 이용하여 초기화된 기준영상과 현재 입력되는 스테레오 영상간의 비교를 통해 좌, 우측 표적 물체의 위치좌표를 추출한 다음, 이들 추출된 위치좌표를 이용하여 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하고, 제어된 팬/틸트의 움직임 각도와 스테레오 카메라의 기하학적인 구성요소를 이용하여 표적물체의 마스크 크기를 결정함으로써 다음 프레임의 기준영상으로 사용될 표적 영역화가 이루어진다. 새롭게 영역화된 기준영상은 이후 같은 방법으로 갱신되며, 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 주시각 제어 및 FOV 제어를 통해 실시간 스테레오 물체추적이 이루어지게 된다. 30 프레임의 스테레오 입력영상을 사용한 실험 결과, 주시각이 제어된 스테레오 표적영상 영역화의 수평, 수직 시차가 평균 1.3 픽셀, 0.3 픽셀 이하로 유지되고, 비교적 빠른 추적성능을 보여줌으로써 이를 통한 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, a new stereo object extraction algorithm using a block-based SSD(sum of sward difference) algorithm and the configuration parameters of a stereo camera is proposed. That is, by applying the SSD algorithm between the initial reference image and the next stereo input image, location coordinates of a target object in the right and left images are acquired and then with these values, the pan/tilt system is controlled. And using the moving angle of this pan/tilt system and the configuration parameters of the stereo camera system, the mask window size of a target object is adaptively determined. The newly segmented target image is used as a reference image in the next stage and it is automatically updated in the course of target tracking basing on the same procedure. Meanwhile, a target object is under tracking through continuously controlling the convergence and FOV by using the sequentall extracted location coordinates of a moving target.

From some experimental results using 30 frames of the sequential stereo input images, it is analyzed that the disparity between the segmented object images in the right and left images is kept to be very low to 1.3 pixels and 0.3 pixels on average in the horizontal and vertical directions, respectively. These good experiments finally suggest a possibility of implementation of a new practical stereo object tracking system by using the proposed algorithm.

* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 영상 미디어 연구실

(misagi@explore.kwangwoon.ac.kr, cjpark@explore.kwangwoon.ac.kr, eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호: 020449-1015, 접수일자: 2002년 10월 15일

※ 본 연구는 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원아래 수행되었습니다.

I. 서론

최근, 보다 자연스럽게 현실감 있는 비전시스템의 요구가 증가함에 따라 3차원 물체 추적 및 인식 기술에 대한 많은 연구들이 수행되고 있다.^[1-3] 이러한 스테레오 물체 추적 시스템에서는 인간의 시각 시스템(HVS : human visual system)과 같은 양안 시차(binocular disparity)^[4-6]에 의해 입력된 스테레오 영상으로부터 효과적으로 3차원 입체 정보를 추출해냄으로써 표적물체의 위치를 찾아내는 것이 기본적인 과제라 할 수 있다. 그러나, 이러한 양안 시차에 의한 스테레오 물체 추적 시스템에서 양안의 초점이 맞지 않는 경우 관찰자는 입체감을 느끼기가 어려울 뿐만 아니라 초점이 일치하지 않기 때문에 눈의 피로를 느끼게 된다. 따라서, 일반적인 2차원 물체추적 시스템과 달리 스테레오 입체 물체추적 시스템에서는 추적하고자 하는 표적물체의 정확한 위치 검출과 검출된 위치좌표에 따라 영역화된 표적영상을 인간 시각 시스템의 눈동자 움직임과 유사하게 추적하기 위하여 카메라와 물체의 거리에 따라 스테레오 카메라의 주시각(convergence angle)을 제어하는 동시에 움직이는 물체를 연속적으로 추적할 수 있는 팬/틸트(pan/tilt) 기능을 가지고 있어야 한다. 즉, 스테레오 물체추적 시스템에서는 추적 물체의 움직임에 의해 발생하는 상대적 이동거리 값에 따라 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어해 줌으로써 추적 물체를 항상 좌, 우 카메라 시야(FOV: field of view)의 중앙에 위치하도록 하고 또한, 주시각을 제어해 줌으로써 추적물체가 겹쳐 보이지 않게 해주기 때문에 결과적으로 스테레오 카메라로부터 검출되는 표적물체의 정확한 위치 검출과 그에 따른 주시각 제어 및 팬/틸트 제어는 스테레오 물체추적 시스템의 가장 중요한 요소라 할 수 있다.

기존의 영상처리에서 표적물체 검출은 대부분 2차원 순차 입력영상을 이용하여 이전 영상과 현재 영상사이의 관계 등으로부터 배경과 잡음을 제거하여 추적 물체를 식별하는 방법을 사용해 왔다. 즉, 일반 영상처리에서 추적 물체를 추출하기 위한 방법으로는 전, 후 프레임의 비교에 의한 차영상 방법(image difference), 사전에 정의된 특정 모델의 특징을 이용하는 모델기반(model-based) 방법, 광류(optical flow) 방법 및 블록매칭(block matching) 방법 등이 연구되고 있다. 여기서 차영상에 의한 방

법은 연속되는 영상의 차를 통해 추적 물체를 추출하는 방법으로 카메라 이동에 따른 배경 영상의 변화의 처리 문제가 있다. 모델 기반에 의한 방법은 입력되는 영상이 데이터 베이스화 된 물체모델과 달리 상대적인 명암차이나 약간의 변형에도 매칭의 어려움이 있다.^[6] 또한, 광류에 의한 방법은 국부적인 시공간 경사와 속도 사이 관계에 의한 것으로 주변의 환경에 민감하고 물체의 이동 속도가 매우 느려야 하는 단점 등이 있다.^[7] 그리고 블럭에 기반한 방법은 전, 후 프레임의 입력영상 크기를 블럭으로 나눈 뒤 각 블럭간의 비교를 통해 움직임을 추정하는 방법으로 가장 부합되는 블럭을 찾기 위한 계산량의 증가와 전,후 프레임의 배경변화에 따른 이동 물체 추출의 어려움 등의 단점이 있다.^[5]

따라서, 본 논문에서는 실질적인 스테레오 물체추적 시스템을 구현하기 위한 새로운 접근 방식으로 스테레오 카메라의 구성 파라메타^[6]와 고속처리 및 적응적 영역 추정이 가능한 블럭기반의 SSD(sum of sward difference)^[5] 알고리즘을 이용한 이동표적의 위치좌표 추출 및 영역화 기법을 제시하고자 한다. 즉, SSD 알고리즘을 이용하여 초기화된 기준 영상과 현재 입력되는 스테레오 영상간의 비교를 통해 좌, 우측 표적 물체의 위치좌표를 추출한 다음, 이들 추출된 위치좌표를 이용하여 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하고, 제어된 팬/틸트의 움직임 각도와 스테레오 카메라의 기하학적인 구성요소를 이용하여 표적물체의 마스크 크기를 결정함으로써 다음 프레임의 기준영상으로 사용될 표적 영역화가 이루어지게 된다. 새롭게 영역화된 기준영상은 이후 같은 방법으로 갱신되며, 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 주시각 제어 및 FOV 제어를 통해 실시간 스테레오 물체추적이 이루어지게 된다.

그리고, 30 프레임의 스테레오 영상을 사용한 추적 실험을 통해 주시각이 제어된 스테레오 표적 영상의 영역화 및 추적 성능을 기존 알고리즘과 비교 분석함으로써 본 논문에서 새로이 제안한 표적 영역화알고리즘을 이용한 실질적인 스테레오 물체 추적 시스템의 구현 가능성을 제시하고자 한다.

II. 제안된 스테레오 표적물체 검출 알고리즘

입력 영상으로부터 표적물체를 추출하기 위해 사용되는 기존의 2차원 영상 정합 및 상관 기법들의 성능은 배경 잡음의 복잡성이나 물체와 배경의

분리 정도등에 크게 의존하게 된다. 그러나, 스테레오 비전 시스템에서는 입체 영상의 특징을 효과적으로 이용함으로써 표적물체의 분리 성능을 크게 개선시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 스테레오 입력 영상에서 3차원 입체정보를 추출하고 스테레오 카메라 시스템의 구성 파라미터를 상호 보완적으로 이용함으로써 복잡한 배경 잡음 하에서 표적물체를 효과적으로 검출하고 추적할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시하였다. 그림 1은 본 논문에서 새로이 제안한 표적물체 검출 및 추적 알고리즘으로 크게 3단계로 이루어진다.

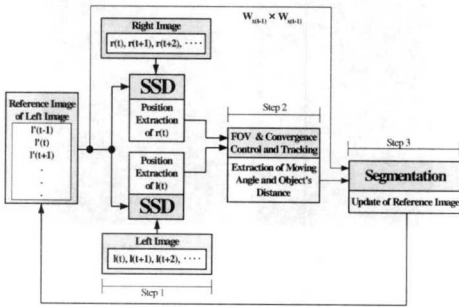


그림 1. 제안한 스테레오 물체 추적 알고리즘

즉, 1단계에서는 초기화된 기준 영상과 현재 입력되는 좌, 우 영상간에 영역 기반의 SSD(sum of sward difference) 알고리즘을 이용하여 좌, 우 영상에 있는 표적의 위치 좌표를 추출하게 된다. 그리고, 2단계에서는 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 표적물체에 대한 FOV(field of view) 및 주시각을 동시에 제어하게 된다. 마지막 3단계에서는 현재 입력된 좌, 우 영상의 위치좌표에 따라 구동된 스테레오 카메라의 구성 파라미터와 팬/틸트 이동 각을 이용하여 추적물체까지의 거리 정보를 산출한 다음, 1단계에서 검출한 위치좌표와 함께 사용하여 표적물체의 윈도우 마스크 크기를 적응적으로 영역화하게 된다. 특히, 이러한 가변 윈도우 마스크의 추적물체 영역은 다음 프레임에서 물체추적을 위한 기준 영상으로 갱신되어 사용되게 된다. 또한, 스테레오 입력영상에서 좌, 우측 영상에서 존재하는 추적물체는 매우 유사하기 때문에 좌측 영상에서 추출한 것을 기준 영상으로 사용할 수 있다.

2.1 좌, 우 표적물체의 위치좌표 검출 (1단계)
일반적으로 스테레오 영상에서 움직이는 표적물체의 이동 벡터를 구해 표적을 추출하는 기법으로

는 모델 기반(model-based), 윤곽선 기반(edge-based), 패턴매칭 기반(pattern matching-based) 및 특징기반(feature-based) 기법등이 사용되고 있으나, 후 프레임의 입력 영상에서 발생할 수 있는 배경의 변화나 표적 물체의 회전 및 크기의 변형등으로 적응적인 이동 벡터의 추출이 어렵게 된다.

따라서, 본 논문에서는 스테레오 영상에서 좌, 우측의 두 영상은 거의 유사하므로 한쪽 영상에서 추적물체를 추출하여 이용할 수 있기 때문에 좌, 우 영상간의 정합방법이 아닌, 그림 2와 같이 좌측 영상의 이전 프레임에서 초기화된 기준 영상과 현재 입력되는 좌, 우 영상간에 SSD(sum of sward difference) 알고리즘을 각각 적용하여 좌, 우 영상에 투영된 표적물체의 위치좌표를 검출하게 된다. 여기서, 기준 영상은 초기에만 추적 물체를 마스크로 초기화시켜 주고 이후에는 스스로 계속 갱신하게 된다.

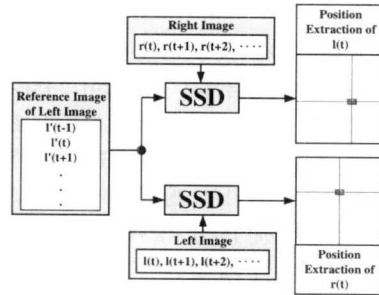


그림 2 좌, 우 영상에서의 표적 물체 위치 검출

SSD 알고리즘은 현재의 화소위치를 중심으로 블럭을 설정하고 일정한 범위내에서 블럭을 평행이동시키면서 스테레오 영상간의 화소값의 차이를 최소의 오차 제곱합으로 표현하여 깊이정보를 추정하는 비용함수(cost function)이다.

본 논문에서는 식 (1)과 같이 기준 영상의 가변적인 블럭 크기 및 형태에 따라 적응적으로 표적의 위치 정보를 추정하기 위하여 SSD 알고리즘을 사용하였다.

$$SSD(a,b) = \sum_{j=0}^{(N_x-1)-(N_x-1)} \sum_{i=0}^{(N_y-1)-(N_y-1)} \{I_{ref}(i,j) - I(a+i, b+j)\}^2 \quad (1)$$

$$(a = -4N_x \sim 4N_x, \quad b = -2N_x \sim 2N_x)$$

여기서, $I_{ref}(i,j)$ 는 영상의 초기 위치인 (i, j) 를 중심으로 현재 입력되는 좌, 우 영상인 $I(a+i)$ 와 $r(b+j)$ 의 위치좌표를 탐색하기 위한 기준영상이며, a 와 b

는 좌, 우 영상의 탐색 영역을 각각 나타낸다. 특히, a와 b의 적용 범위는 이동 물체의 영역이 입력 영상의 중앙으로부터 크게 벗어나지 않는다는 가정과 표적 물체의 수직 이동(y축)은 수평 이동(x축)에 비해 크지 않다는 가정하에, 기준 영상의 크기가 N_x, N_y 인 경우, 그림 3과 같이 각 블록간의 SSD 탐색 영역(search region)을 x축은 $4N_x$ 로, y축은 $2N_y$ 로 제한하여 적용하였다.

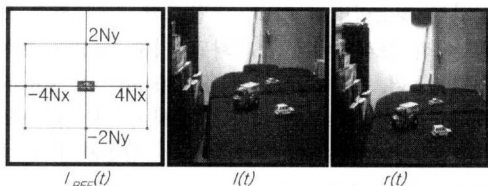


그림 3. 기준영상과 스테레오 좌, 우 입력영상

SSD 비용함수를 통해 초기화된 기준영상인 $I_{REF}(i, j)$ 와 스테레오 좌, 우 입력영상인 $I_l(i, j)$ 와 $I_r(i, j)$ 간에 탐색 영역내에서 식 (1)을 적용하면 가장 일치되는 화소 영역에서 최소값이 나타나게 되며, 그 최소값의 화소 위치를 표적물체의 위치좌표로 검출하게 된다. 검출된 좌, 우 표적 물체의 위치좌표는 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어값으로 변환되며, 이 변환된 제어값을 통해 표적물체에 대한 FOV 제어 및 주시각 제어가 이루어지게 된다.

2.2 스테레오 카메라의 이동 각 및 표적물체의 거리 산출 (2단계)

좌, 우 영상에서 검출한 위치 좌표는 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어값으로 변환되며, 이 값으로 그림 4와 같이 팬과 틸트를 카메라 시야(FOV)의 중심으로 이동시키며 주시각 제어와 물체 추적을 동시에 수행하게 된다.

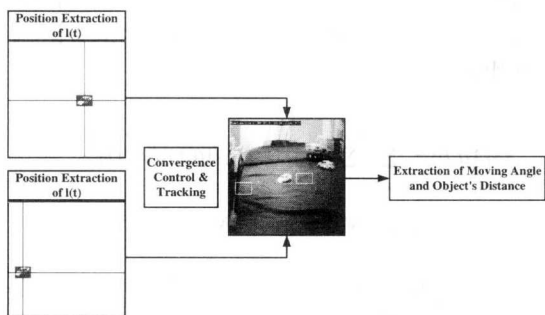


그림 4. 좌, 우 표적물체의 위치좌표를 이용한 주시각 제어 및 물체 거리 산출

적응적인 표적 마스크의 크기를 결정하기 위해 위치값에서 변환된 팬/틸트 제어값으로 팬/틸트의 이동 각도와 카메라 구성 파라미터를 이용하여 카메라와 물체와의 거리를 산출하게 된다. 스테레오 비전 시스템에서 좌, 우 스테레오 영상의 획득은 초점거리가 같고 나란히 위치한 두 대의 카메라를 통해 이루어지는데 일반적으로 스테레오 카메라 구성 방법에는 그림 5와 같이 교차식(towed-in)과 평행식(parallel) 등 두 가지 방식이 있다.

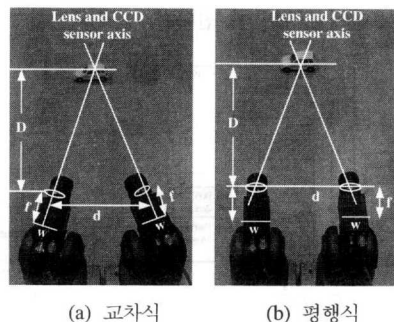


그림 5. 스테레오 카메라의 구성법

두 가지 방식 중 비교적 간단한 평행식 스테레오 카메라 구성방식은 서로 평행한 렌즈 및 카메라의 광축을 갖는 두 개의 카메라로 구성되는데 이러한 방식으로부터 얻어지는 스테레오 영상은 좌, 우 영상 사이의 공통 지역이 광축 사이의 거리에 따라서 작아지고 수직 시차가 없다는 등의 장점을 가지고 있다.

그러나, 인간의 시각계와 같은 교차식 스테레오 카메라 구성방식은 두 카메라 축과 렌즈축이 교차하도록 서로를 향해 안쪽으로 회전한 카메라 구조를 가지고 있어 소위 주시점이라 불리는 곳에서 초점화되게 된다. 결국, 교차식 스테레오 카메라 구성 방법은 카메라들 사이의 공통 지역을 최대화할 수 있고 좌, 우 두 눈을 이용하여 물체의 입체감을 인식하는 인간 시각 시스템의 원리를 그대로 구현한 것이기 때문에 가장 많이 사용되고 있다. 따라서, 본 논문에서도 카메라의 광축이 추적물체의 주시점에 일치하도록 하는 교차식 스테레오 카메라 구성 형태를 사용하였다. 교차식 카메라 구조는 물체의 거리 변화에 따라 카메라의 광축을 이동시켜 주시각을 제어하고, 그림 6에서 처럼 삼각법에 의해 추적물체까지의 거리 정보도 구할 수 있다.

그림 6의 교차식 스테레오 카메라 구조에서 사용되는 파라미터들은 표 1과 같이 정의할 수 있다.

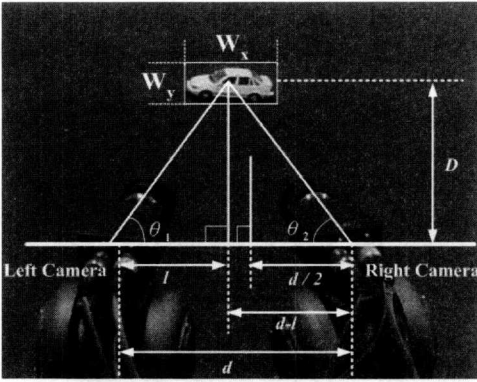


그림 6. 교차식 스테레오 카메라 구조

그림 6에서 좌, 우측 카메라의 각도 θ_1 과 θ_2 는 팬/틸트 제어 시스템의 인코더(encoder)에 의해 구할수 있으며 식 (2), (3)과 같이 주어진다.

$$\tan \theta_1 = \frac{D}{d-l} \tag{2}$$

$$\tan \theta_2 = \frac{D}{d+l} \tag{3}$$

식 (2)와 (3)를 이용하여 표적물체까지의 거리인 D에 대해서 풀면 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$D = \left(\frac{\tan(\theta_1) \times \tan(\theta_2)}{\tan(\theta_1) + \tan(\theta_2)} \right) \times d \tag{4}$$

표 1. 교차식 스테레오 카메라 구조의 파라메타

파라메타	파라메타의 정의
d	좌, 우 두 카메라 사이의 거리
D	카메라에서 표적 물체까지의 거리
θ_r	우측 카메라의 광축 각도
θ_l	좌측 카메라의 광축 각도
l	카메라 위치와 표적물체가 직각을 이루는 점에서 좌측 카메라까지 거리
W_x	표적물체에 대한 x축 영역화 마스크 크기
W_y	표적물체에 대한 y축 영역화 마스크 크기

여기서, θ_1 과 θ_2 는 스테레오 카메라가 부착된 팬/틸트 시스템의 인코더에 의해 구할 수 있으며, d 는 좌, 우 카메라 사이의 거리이므로 스테레오 비전 시스템의 구성 파라메타에 의해 주어지는 값이다. 따라서, 추적 물체까지의 거리 D는 스테레오 비전

시스템의 특징 파라메타를 이용한 식 (4)로부터 쉽게 구할 수 있다.

2.3 좌, 우 표적물체의 영역화 (3단계)

3 단계에서는 1단계에서 구한 표적물체의 좌표값과 2단계에서 구한 표적물체의 거리 정보를 가지고 표적물체의 영역을 추출하게 된다. 영역화된 표적 마스크 영역은 매 추적 단계마다 갱신되어 저장되고 다음 추적 단계의 스테레오 입력영상과 SSD 알고리즘 실행을 위한 기준영상으로 사용하게 된다.

스테레오 비전 시스템의 구성 파라메타를 통해 구한 식 (4)의 표적 물체까지 거리 정보를 이용하여 표적 물체의 마스크 영역이 가변되는 과정은 다음과 같다.

우선, 표적 마스크의 크기는 초기단계에서 표적 물체를 결정하여 초기값으로 설정된다. 그리고, 다음 입력 영상부터는 자동으로 계산에 의해 마스크의 크기가 가변되며 설정되게 된다. 그림 7은 표적 물체의 이동에 따라 표적물체의 크기 및 형태가 변하면서 표적영역 마스크의 크기가 가변되는 과정을 나타낸 것이다.

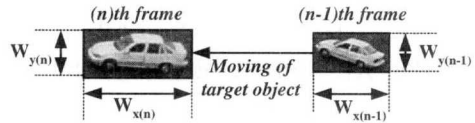


그림 7. 이동 물체의 크기 및 형태 변화에 따른 표적 마스크의 영역화

그림 7에서 이전 프레임(초기값)의 윈도우 마스크 크기가 $W_{x(ini)} \times W_{y(ini)}$ 으로 주어지고, 현재 입력 영상의 마스크 크기를 $W_{x(n)} \times W_{y(n)}$ 으로 정의하면, 거리 변화에 따른 표적 물체의 크기 변화는 반비례 관계가 있기 때문에 이전영상(n-1 프레임)과 현재 입력영상(n 프레임)의 마스크 크기도 반비례하게 된다. 따라서 추적 물체의 거리에 따른 x, y축에서의 마스크 크기는 식 (5), (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{(ini)} : \frac{1}{W_{x(ini)}} = D_{(n)} : \frac{1}{W_{x(n)}} \tag{5}$$

$$D_{(ini)} : \frac{1}{W_{y(ini)}} = D_{(n)} : \frac{1}{W_{y(n)}} \tag{6}$$

위 식에서 $D_{(ini)}$ 과 $D_{(n)}$ 는 이전 및 현재 프레임에서 표적물체로부터 카메라까지의 거리를 나타내며

또한, $W_{x(ini)}$ 과 $W_{y(ini)}$ 는 이전 프레임에서 영역화된 표적물체의 마스크 크기를 $W_{x(n)}$ 과 $W_{y(n)}$ 는 현재 프레임에서 영역화된 표적물체의 마스크 크기를 각각 나타낸다.

식 (5)와 (6)을 현재 입력영상에서의 윈도우 마스크는 $W_{x(n)}$ 와 $W_{y(n)}$ 로 다시 정리하면 다음과 같이 주어진다.

$$W_{x(n)} = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}} \cdot W_{x(ini)} = M_{(n)} \cdot W_{x(ini)} \quad (7)$$

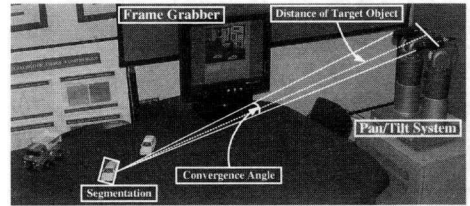
$$W_{y(n)} = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}} \cdot W_{y(ini)} = M_{(n)} \cdot W_{y(ini)} \quad (8)$$

여기서 $M_{(n)} = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}}$ 은 이전 영상(n-1 프레임)과 현재 영상(n 프레임) 간에 추적 물체까지의 거리비율로써 스테레오 비전 시스템의 구성 파라미터에 의해 자동으로 구할 수 있는 값이다. 그리고, 이전 영상의 윈도우 마스크 크기인 $W_{x(ini)}$ 과 $W_{y(ini)}$ 은 이미 저장되어 있는 값이므로 현재 입력영상의 윈도우 마스크 크기 $W_{x(n)}$ 과 $W_{y(n)}$ 은 식 (7)과 (8)에 의해 쉽게 구할 수 있다. 그리고, 현재 입력영상에서 추적물체의 가변 윈도우 마스크($W_{x(n)} \times W_{y(n)}$) 에 의한 추적물체의 추출영역은 다음 단계의 기준 영상으로 갱신되어 사용되게 된다.

III. 실험 및 결과 고찰

본 실험에서는 디지털 영상처리를 위하여 Pentium IV-1.5GHz와 256MB 메모리 용량의 컴퓨터를 사용하고 좌, 우 스테레오 영상 입력용 카메라로는 동경 전자(주)의 CS-8239B 카메라 2대를 교차식 형태로 구성하여 사용하였으며, 좌, 우 두 카메라 사이의 거리는 14cm로 고정하였다. 팬/틸트 제어 장치는 (주)한울 로보틱스의 HWR-PT1 2대를 사용하여, 표적 물체(그림 8에서 화면 중앙에 위치한 자동차)와 1.5m로 떨어져 설치하였다. 그림 8은 Matrox사의 Meteor 2/MC4 프레임 그레버와 이미징 라이브러리인 MIL(Matrox Imaging Library)을 사용하여 구현된 적응적 표적 마스크 검출 시뮬레이터로써 전, 후 배경에 표적 자동차와 유사한 2개의 서로 다른 자동

차를 위치시키며 초기 검출된 위치좌표에서 화면의 중앙(FOV)으로 이동시킨 후의 화면을 보여준 것이다.



(a) 실험 시스템 구성도



(b) 표적 영역화 시뮬레이터 화면

그림 8. 적응적 표적 마스크 검출을 위한 실험 구성도와 구현된 시뮬레이터 화면

제안된 표적물체 추적 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 실험에 사용된 스테레오 영상에 대한 시나리오는 표적물체와 전경 및 배경에 위치한 다른 자동차 물체 2대를 표적 물체와 함께 동시에 움직이도록 구성하였으며, 가변적인 표적 마스크의 성능을 분석하기 위해서 표적물체의 회전 및 수직이동까지 포함되도록 구성하였다. 그림 9는 이상의 시나

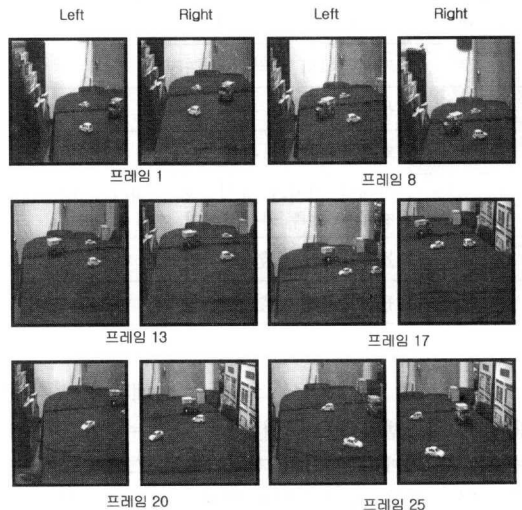


그림 9. 실험에 사용된 프레임의 스테레오 입력영상

리오에 기반하여 스테레오 카메라로부터 획득된 스테레오 영상 전체 30 프레임 중 6 프레임(1, 8, 13, 17, 20, 25 번째 프레임) 을 나타낸 것이다.

3.1 좌, 우 표적물체의 위치좌표 검출 실험

표 2는 실험에 사용된 6 프레임의 스테레오 입력 영상에 대해 좌, 우측 입력영상인 $[l(t), r(t)]$ 와 이전 프레임에서 얻은 기준영상인 $[lref(t-1)]$ 간에 SSD를 적용하여 중심좌표(0, 0)을 기준으로 x, y축 방향으로 이동된 표적물체의 위치좌표 값과 검출 시간을 각각 나타낸 것이다.

표2에서, 추출된 위치좌표는 표적물체의 실제 이동값인 $(\Delta x, \Delta y)$ 를 의미하며 동시에 좌, 우측 카메라의 팬틸트 제어값이 된다. 또한, 영상의 밝기 및 명암 차이에 따라 약간의 차이는 있으나 비교적 위치정보의 빠른 검출을 보여주고 있는데 이는 개인용 컴퓨터 사양이 아닌 영상처리용 전용 프로세서의 사용으로 실시간적 처리의 가능성을 보여주고 있다.

표 2. 좌, 우측 표적물체의 위치좌표와 검출시간

프레임	좌측영상 (X,Y)	우측영상 (X,Y)	검출시간 [sec]
1	(34, 7)	(-2, -26)	2.794
8	(41, 23)	(41, 24)	2.709
13	(43,-43)	(61, -55)	2.766
17	(40, 22)	(-43,-33)	2.756
20	(39, 3)	(-96, 29)	2.756
25	(56, 47)	(-51, 65)	2.747

표 3은 전체 30 프레임에 대해 본 논문에서 이용한 SSD 알고리즘과 기존의 특징점 정합(feature point matching) 관련 알고리즘들인 MAD(mean absolute difference)^[10], MSE(mean squared error)^[11], SAD(sum of absolute difference)^[5], NSSD (nomalized sum of squared difference)^[5], NC (normalized correlation)^[12], NCC(normalized cross correlation)^[5], ZNCC(zero mean normalized cross correlation)^[5] 등과 평균 검출 시간을 비교분석한 결과를 나타낸 것이다.

표 3에서 보면 본 논문에서 사용된 SSD 비용함수가 비교적 간단, 명료한 비용함수의 특성으로 기존 알고리즘들에 비해 가장 빠른 계산시간을 보이고 있음을 알 수 있다.

표 3. 표적 위치좌표 검출시간 비교결과

비용함수 \ 계산시간	30프레임 [sec]
MAD	3.535
MSE	3.009
SAD	3.027
SSD	2.554
NSSD	5.278
NC	9.000
NCC	4.359
ZNCC	6.506

3.2 스테레오 카메라의 이동각도 및 표적물체 거리 산출 실험

본 논문에서는 카메라의 광축이 추적물체의 주시점에 일치하도록 하는 교차식 카메라 설정법을 사용하였으므로 추적물체까지의 거리는 식 (4)에 의해 구할 수 있다. 또한, 각도 θ_1 과 θ_2 는 스테레오 추적 시스템의 인코더에 의해 얻을 수 있는 값이며, d 는 좌, 우 카메라 사이의 거리이므로 스테레오 비전 시스템의 구성 파라미터에 의해 주어지는 값이다. 따라서 식 (4)를 이용하여 추적 물체까지의 거리 D는 스테레오 비전 시스템의 파라미터를 사용하여 표 4와 같이 구할 수 있다.

표 4. 산출된 스테레오 카메라의 기하학적 요소

프레임	구성요소	스테레오 비전 시스템의 파라미터		
	d [cm]	θ_1	θ_2	
1	15	31	28	
8	15	33	42	
13	15	39	34	
17	15	32	28	
20	15	62	14	
25	15	32	25	

프레임	구성요소	표적물체에서 카메라까지의 거리 [D, cm]			
	계산치	측정치	오차	계수	
1	130.5	131.8	1.3	1.008	
8	129.4	130.6	1.2	1.009	
13	128.2	129.5	1.3	1.2	
17	106.8	107.2	0.4	1.08	
20	98.4	97.3	1.1	1.15	
25	85	83.4	1.6	1.03	

표 4에서 보면, 표적물체에서 카메라까지의 거리

에 대한 계산치와 측정치 간에 평균 1.15 cm의 낮은 오차를 유지함을 알 수 있으며, 이들 값들은 표적물체의 영역화 크기를 결정하는 비례계수로 사용되게 된다.

3.3 좌, 우 표적물체의 영역화 실험

그림 10은 표 2의 표적물체 위치좌표와 표 4의 카메라에서 표적물체까지의 거리정보를 이용하여 표적물체 영역을 검출한 결과를 나타낸 것이다.

그림 10에서 보면, 각 프레임에 따라 표적물체의 회전 및 크기 변화에도 적응적으로 표적의 위치를 검출하고 영역화할 수 있음을 볼 수 있으며, 검출된 위치좌표에 따라 정확히 입력영상의 중앙으로 이동시키는 FOV 제어를 통해 주시각 제어 및 표적 추적이 동시에 이루어지고 있음을 알 수 있다.

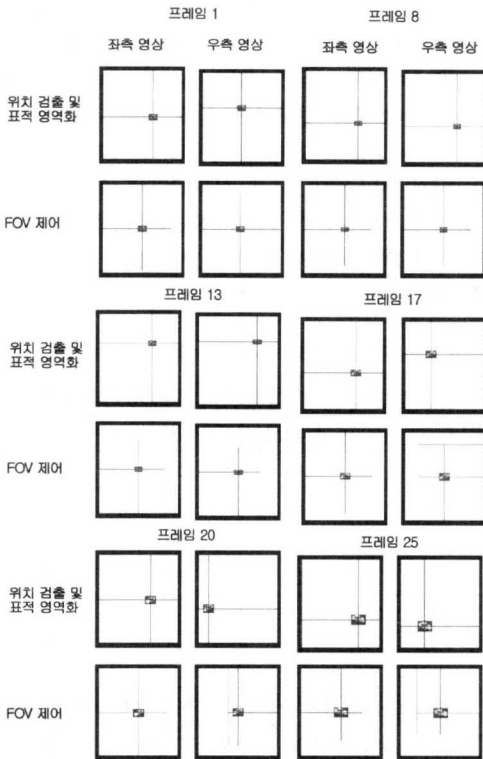


그림 10. 표적물체의 영역화 및 FOV제어 결과

표 4는 스테레오 비전 시스템의 구성 파라미터와 식 (7)과 (8)을 통해 갱신된 영역 마스크의 크기를 나타낸 것이다.

표 5에서 보면, 수평 쪽에서의 영역화 오차는 평균 1.3 픽셀의 낮은 값을 보이고, 수직 쪽에서도 0.3 픽셀의 미세한 오차를 보이고 있어 제안한 알고

리즘의 정확한 표적 영역화 성능을 볼 수 있다.

표 5. 검출된 표적 마스크의 크기(픽셀)

프레임	구성요소		영역화오차	
	좌측영상 (a)	우측영상 (b)	X축	Y축
1	23×17	24×18	1	1
8	26×15	23×15	3	0
13	26×17	28×17	2	0
17	31×18	30×18	1	0
20	36×24	35×24	1	0
25	46×29	45×30	0	0

※ (a), (b) = $W_x(n) \times W_y(n)$

3.4 표적 영역화를 통한 주시각 제어 실험

그림 11은 전체 30 프레임 중 6 프레임의 좌, 우측 입력영상에 대하여 제안한 알고리즘을 이용하여 영역화된 표적 마스크를 중심으로 주시각 제어를 수행한 후의 스테레오 합성영상을 나타낸 것이다

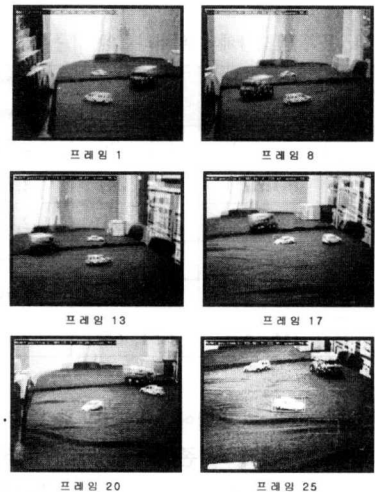


그림 11. 주시각이 제어된 이동물체의 스테레오 영상 합성 결과

그림 11에서 영역화된 좌, 우 표적물체의 주시각 제어전의 마스크 위치와 주시각이 제어된 후의 마스크 위치를 볼 수 있으며, 영역화된 표적 마스크를 중심으로 전, 후 배경에 존재하는 이동물체는 2개로 보여 주시점이 일치하지 않고 있지만 추적하고자 하는 표적물체는 정확히 그 영역을 유지하며 주시각 제어가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 더욱이 프레임 25와 같이 급격한 조명변화와 표적물체의 수직적 이동에도 불구하고 1 픽셀의 적은 수평오차

를 유지하며 표적 영역화가 이루어 지는 것을 보아 표적의 회전 및 크기의 변형에도 적응적으로 표적 마스크의 크기를 가변시키면서 정확히 물체를 추적하고 있음을 알 수 있다.

이상의 실험결과, 본 논문에서 제안된 표적 영역화 알고리즘을 통해 스테레오 입력 영상에서 표적 물체의 위치정보를 정확히 추출할 수 있고 또한, 제안된 적응적 표적 영역화 기법을 통해 스테레오 카메라의 주시각 제어 및 표적물체의 실시간적 추적이 가능함이 분석됨으로써 이를 이용한 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

V. 결론

본 논문에서는 스테레오 카메라의 구성 파라메타와 블록기반의 SSD 알고리즘을 이용하여 이동표적의 위치좌표를 추출하고 영역화할 수 있는 새로운 스테레오 물체 추출 알고리즘을 제안하였다. 즉, SSD 알고리즘을 이용하여 초기화된 기준영상과 현재 입력되는 스테레오 영상간의 비교를 통해 좌, 우측 표적 물체의 위치좌표를 추출한 다음, 이들 추출된 위치좌표를 이용하여 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하고, 제어된 팬/틸트의 움직임 각도와 스테레오 카메라의 기하학적인 구성요소를 이용하여 표적물체의 마스크 크기를 결정하여 영역화함으로써 다음 프레임의 기준영상으로 사용하였다. 새롭게 영역화된 기준영상은 이후 같은 방법으로 갱신되며, 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 주시각 제어 및 FOV 제어를 통해 실시간 스테레오 물체추적이 이루어지게 된다. 30 프레임의 스테레오 입력 영상을 사용한 실험 결과, 주시각이 제어된 스테레오 표적영상 영역화의 수평, 수직 시차 오차가 평균 1.3 픽셀, 0.3 픽셀 이하로 유지되고, 비교적 빠른 추적성능을 보여줌으로써 이를 통한 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

참고 문헌

[1] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative gaze holding in binocular vision", IEEE Control Systems Magazine, vol. 11, pp. 24-33, 1991.
 [2] D. Coombs and C. Brown, "Real-time binocular smooth pursuit", International Journal of Computer Vision, vol. 11, no. 2, pp. 147-164,

1993.
 [3] P. Victor, G. Podnar and M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", Proc. of SPIE, Vol. 2177, pp. 56-65, 1994.
 [4] D. Comaniciu, V. Ramesh, "Robust detection and tracking of human faces with an active camera", Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance, vol.1, pp.11-18, 2000
 [5] J. Banks, M. Bennamoun, P. Corke, "Fast and robust stereo matching algorithms for mining automation", Digital Signal Processing, Vol. 9, No. 3, pp. 137-148, 1999
 [6] J. S. Lee, C. W. Seo, E. S. Kim, "Implementation of opto-digital stereo object tracking system", Optics Communications, vol. 200, pp.73-85, 2001
 [7] Y. Mae, S. Yamamoto, Y. Shirai, J. Miura, "Optical flow based real-time object tracking by active vision system", Proc. of 2nd Japan-France Congress on Mechatronics, vol.2, pp.545-548, 1994
 [8] 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, May 2001.
 [9] 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
 [10] H. S. Oh, Y. J. Baek, and H. K. Lee, "An adaptive bit-reduced mean absolute difference criterion for block-matching algorithm and its VLSI implementation", Optical Engineering, vol. 44, no. 3, pp. 659-666, 1998
 [11] M. Kam, "Computing the cost of occlusion gabriel fielding", Computer Vision and Image Understanding, vol. 79, no. 2, pp. 324-329, 2000
 [12] X. Zhou, H. Suzuki and T. Nishizeki, "An NC parallel algorithm for edge-coloring series parallel multigraphs", Journal of Algorithms, vol. 23, pp. 359-374, 1997

고 정 환(Jung-hwan Ko)

정회원



2001년 2월 : 광운대학교
제어계측공학과 학사
2001년 8월 : 광운대학교
전자공학과 석사
2001년 9월 ~ 현재 : 광운대학교
전자공학과 박사과정
<주관심 분야> 로봇비전, 스테레오 비전

박 창 주(Chang-ju Park)

정회원



2002년 2월 : 호남대학교
전파공학과 학사
2002년 3월 : 광운대학교
전자공학과 석사과정
<주관심 분야>
3D 영상처리, 물체추적

김 은 수(Eun-Soo Kim)

정회원

광운대학교 국가지정 3차원 영상 미디어 연구실
(<http://3dmedia.kwangwoon.ac.kr>)
한국통신학회지 Vol.27, No. 4 참조