

# 스테레오 동영상에서 스네이크를 이용한 객체윤곽 추적 알고리즘

김 신 형<sup>†</sup> · 장 종 환<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 스테레오 동영상에서 스네이크를 이용한 객체 윤곽 추적 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 변이 공간에서 스네이크 포인트의 3-D 동작 정보로부터 후보 스네이크 포인트의 위치를 계산하고, 두 번째 단계는 새로 정의한 스네이크 에너지 함수를 후보 스네이크 포인트에 적용하여 객체의 윤곽을 추적한다. 제안한 방법은 복잡한 배경을 갖는 영상에서 국부 최소값에 빠지는 문제점과 관심객체의 오목한 윤곽에서 스네이크 포인트가 잘 수렴되지 않는 문제점을 해결 할 수 있었고 실험을 통해 성능을 분석하였다.

키워드 : 스네이크, 윤곽추적, 스테레오 동영상, 변이정보

## Object Contour Tracking Using Snakes in Stereo Image Sequences

Shin-Hyoung Kim<sup>†</sup> · Jong Whan Jang<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we present a snake-based scheme for tracking object contour using disparity information taken from a stereo image sequence with cluttered background. The proposed method is composed of two steps. First, 3-D motion of object is estimated and candidate snake points are selected in disparity space. Second, object contour is extracted by using a modified snake algorithm with disparity information. The proposed algorithm can successfully extract the concave contour of objects and track the object contour in complex image. Performance of the proposed algorithm has been verified by simulation.

Key Words : Snake, Contour Tracking, Stereo Image Sequences, Disparity Information

### 1. 서 론

최근 정보기술의 급속한 발전과 멀티미디어 기술의 보급으로 인해 이미지 및 동영상과 같은 영상정보에 관심이 높아지면서 객체추적방법은 다양한 분야에서 연구되고 있다. 기존의 2차원 동영상에서의 객체 추적 방법은 전, 후 프레임의 차영상을 이용한 방법(image difference method)과 사전에 미리 정의된 모델의 특징을 이용하는 모델기반의 방법(model-based method), 영상에 기반한 방법(image-based method) 그리고 능동윤곽모델 기반의 방법(active contour model) 등이 있다[1-5]. 차영상에 의한 방법은 연속되는 영상의 차를 통해 관심객체를 추출하는 방법으로 카메라 이동으로 인한 배경영상의 변화에 민감하고, 모델기반 방법은 템플릿 정합(template matching) 기반의 알고리즘으로 빛의 변화 및 모양의 변형에 민감한 문제가 있다[1]. 영상에 기반한 방법은 영상으로부터 얻을 수 있는 특징을 이용하여 프

레이간 대응되는 곳을 추적하는 것으로 객체의 크기 및 모양에 관계없이 추적이 가능하지만, 잡음에 민감한 단점이 있다[2]. 스네이크(snake)로 더 잘 알려진 능동윤곽모델을 이용한 방법은 포인트 및 선과 같은 특징에 대한 동작정보를 에너지 항에 적용하여 객체의 모양이나 윤곽의 복잡한 변화를 추적할 수 있는 장점이 있다. 그러나 사용자의 적절한 초기 포인트 설정작업이 필요하고 객체의 오목한 부분에서는 에너지 부족현상으로 객체의 윤곽에 수렴하지 못한다. 그리고 배경이 복잡한 영상에선 주위 에지들로 인해 국부 최소값에 빠지는 문제가 있다[3-5]. 이와 같이 2차원에서의 객체 추적은 대부분 복잡한 배경을 갖는 영상에서 객체를 추적하는데 많은 어려움이 있다.

최근, 2차원 영상에서 제공할 수 없었던 입체감을 얻기 위해 입체영상 시스템이 주목 받기 시작하면서 입체영상서비스, 감시종합시스템 및 로봇비전분야에서 스테레오 영상기반의 물체 추적 및 인식기술에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다[6-8]. 스테레오 영상에서의 기존 객체 추적방법은 변이 정보에 의해 전경과 배경을 효과적으로 분리할 수 있는 장점을 이용하는데 Markovian 통계방법을 이용하여 변

<sup>†</sup> 준 회원 : 배재대학교 정보통신공학과 박사과정

<sup>††</sup> 종신회원 : 배재대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 2005년 1월 28일, 심사완료 : 2005년 10월 20일

이 지도로부터 객체를 분할하여 추적하는 방법[9]과 계층적 블록정합과 적응적 윈도우를 적용하여 얻은 변이 지도를 이용하는 방법[10] 등이 소개되었지만, 이들 방법은 객체의 정확한 윤곽 추적보다는 객체의 영역 및 위치를 추적하고 있고 우리의 방법과는 달리 스네이크는 고려하지 않았다.

본 논문에서는 스테레오 동영상에서 스네이크를 이용한 객체 윤곽 추적 알고리즘을 제안한다. 스네이크는 스네이크 포인트를 연결한 스네이크 윤곽선(snake contour)이 폐곡선을 이루어 객체의 윤곽을 찾는 장점이 있고 스네이크 포인트에 기초한 영상의 부분적인 처리만으로 빠르고 정확한 영상 에지 추출에 효율적이다. 스테레오 영상의 경우, 변이 측정에 있어서 빛의 변화에 민감하지 않고 배경과 객체를 분리하기 쉬운 장점이 있다. 따라서 이러한 장점들을 이용하여 오목한 윤곽을 갖는 객체 및 복잡한 배경을 갖는 영상에서의 객체 윤곽 추적 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법은 두 단계로 이루어진다. 먼저, 스테레오 영상을 변이 공간으로 이동하여 스네이크 포인트의 3-D 동작벡터(motion vector)를 예측하여 후보 스네이크 포인트를 결정한다. 다음으로, 변이 정보를 결합한 개선된 curvature 에너지 항과 외부 에너지 항을 갖는 새로운 스네이크를 적용하여 객체의 윤곽을 추적한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스네이크 알고리즘에 대해 설명하고, 3장에서는 변이 공간에서의 3-D 동작벡터 예측과 제안한 새로운 스네이크 에너지 함수를 정의하고 객체 윤곽을 추적하는 방법을 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 실험을 통해 성능을 분석하고, 5장은 결론을 기술한다.

**2. 스네이크 알고리즘**

스네이크는 처음 Kass[4]에 의해 소개되었고 사용자가 입력한 스네이크 포인트로부터 에너지함수를 반복적으로 최소화하는 방향으로 움직이면서 객체의 윤곽을 찾아내는 방법이다.

스네이크 알고리즘을 이산적으로 표현하면 다음과 같다. 스네이크 포인트를  $v_i = (x_i, y_i)$  라 하면,  $i = 0, \dots, M-1$  로  $M$ 은 전체 스네이크 포인트의 개수이고,  $x_i, y_i$ 는  $i$ 번째 스네이크 포인트의  $x, y$  좌표이다. 스네이크 포인트를 이동하게 하는 에너지 함수는 식 (1)과 같이 내부 에너지(internal energy)  $E_{int}(v_i)$  와 외부 에너지(external energy)  $E_{ext}(v_i)$  의 합으로 나타낸다.

$$E_{snake}(v) = \sum_{i=0}^{M-1} (E_{int}(v_i) + E_{ext}(v_i)) \quad (1)$$

내부 에너지는 식 (2)와 같이 스네이크 포인트의 1차 미분과 2차 미분의 합으로 이루어진다. 내부에너지의 최소화 과정은 스네이크 포인트를 연결하는 곡선을 부드럽게 한다.

$$E_{int}(v_i) = \alpha \|v_i - v_{i-1}\|^2 + \beta \|v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}\|^2 \quad (2)$$

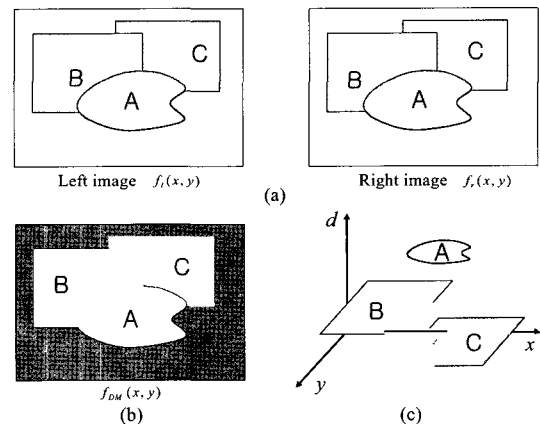
외부 에너지는 식 (3)으로 나타내고 경사도가 큰 곳에서 작은 값을 갖게 하여 스네이크 포인트가 관심객체(OOI: Object Of Interest)의 윤곽에 놓이도록 한다. 일반적으로 영상의 에지 정보를 사용한다.

$$E_{ext}(v_i) = -\gamma |\nabla f(v_i)|^2 \quad (3)$$

매개변수인  $\alpha, \beta$  그리고  $\gamma$  의 가중치를 줌으로써 내부 및 외부 에너지의 중요도를 결정한다. 일반적으로  $\gamma$  가 다른 두 값보다 크게 설정함으로써 스네이크 포인트가 객체의 윤곽에 놓이게 한다. 이런 스네이크를 이용한 기존의 객체 추적 방법은 단순히 MCE(motion compensation error)를 에너지에 추가하여 간단히 적용하였다[3]. 이러한 방법은 배경이 복잡할 경우 국부 최소값에 수렴하거나 객체의 오목한 윤곽에 대해 수렴하지 않는 문제가 있다.

**3. 제안하는 알고리즘**

제안한 알고리즘은 기존의 문제점을 해결하기 위해 스테레오 영상에서 얻을 수 있는 변이 정보를 이용하였다. 일반적으로 스테레오 카메라의 기하학적 구조는 두 대의 카메라가 하나의 물체를 바라보고 있는 구조이며 응용분야에 따라 다양한 기하학적 구조를 나타낸다. 기본적으로 평행하게 배치되어 있는 두 카메라에서 획득한 영상은 스테레오 정합을 통해 깊이를 계산할 수 있는 변이정보를 얻을 수 있다. 변이 공간은 (그림 1)과 같이 3차원 공간으로써  $x, y$  그리고 변이를 나타내는  $d$  축으로 되어 있다 [11-12]. (그림 1) (a)는 스테레오 영상의 좌, 우 영상  $f_l(x, y)$  과  $f_r(x, y)$  을 각각 나타내고 있다. (그림 1) (b)는 스테레오 정합을 통해 얻은 변이 지도 영상인  $f_{DM}(x, y)$  을 나타내고, (그림 1) (c)는 변이



(그림 1) 변이공간에서의 영상 표현 : (a)  $f_l(x, y)$  및  $f_r(x, y)$  는 스테레오 좌·우 영상이다. 각 객체는 변이정보가 다르다. (b) 변이지도영상  $f_{DM}(x, y)$  (c) 각 객체를 변이 공간에서 표현

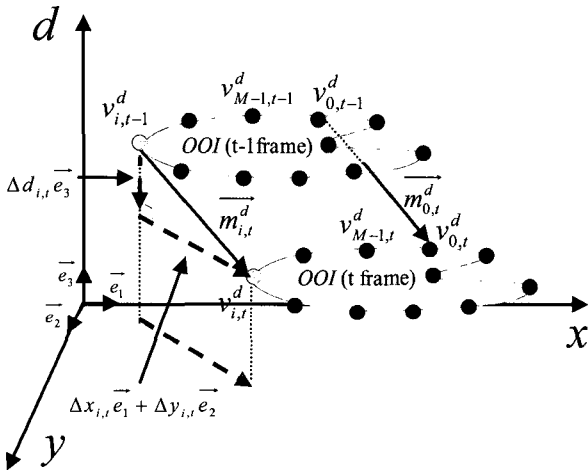
이지도를 이용하여 각 객체를 변이공간에 사상하여 표현한 것이다. (그림 1) (c)와 같이 변이공간에서의 영상은 2차원 영상과 비교하여 객체들을 깊이에 따라 분리할 수 있는 장점이 있다.

3.1 변이 공간에서의 동작벡터 예측

(그림 2)는 변이 공간에서 (그림 1)의 가운데 객체가 OOI라 할 때 OOI가 t-1 프레임에서 t프레임으로 위치가 이동된 예를 보여주고 있다. 변이 공간에서 t프레임의 i번째 스네이크 포인트는  $v_{i,t}^d = (x_{i,t}, y_{i,t}, d_{i,t})$ 로 표현한다.  $v_{i,t}^d$ 의 동작 벡터는  $\vec{m}_{i,t}^d = (\Delta x_{i,t}, \Delta y_{i,t}, \Delta d_{i,t})$ 로 나타내고 식 (4)로 표현한다.

$$\vec{m}_{i,t}^d = \Delta x_{i,t} \vec{e}_1 + \Delta y_{i,t} \vec{e}_2 + \Delta d_{i,t} \vec{e}_3 \quad (4)$$

여기서,  $\{\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3\}$ 는 상호 직교하는 단위 벡터이다.



(그림 2) 변이 공간에서 객체 동작

3.1.1 후보 스네이크 포인트의 x와 y성분의 동작 예측

$\vec{m}_{i,t}^d$ 의 x와 y성분에 대한 동작을 얻는 방법은 (그림 2)에서와 같이  $\vec{m}_{i,t}^d$ 을 xy 평면에 투영하면 2차원 상에서의 x와 y 동작벡터를 얻는 방법과 같다. 따라서, 일반적인 MCE를 사용하여 x와 y성분의 동작을 구할 수 있다. 후보 스네이크 포인트의 x와 y성분의 동작 예측은 t-1 프레임에서 왼쪽 영상  $f_{l,t-1}(x, y)$ 의 현재 스네이크 포인트를 중심으로 일정 윈도우 영역을 다음 t프레임에서  $f_{l,t}(x, y)$ 에 대해 블록정합을 통해 유사도가 높은 영역을 찾아 동작 예측이 이루어진다. 본 논문에서는 식 (5)를 사용하여  $\Delta x_{i,t}, \Delta y_{i,t}$ 를 구하였다.

$$MCE(\Delta x_{i,t}, \Delta y_{i,t}) = \sum_{a=-Ry}^{a=Ry} \sum_{b=-Rx}^{b=Rx} |f_{l,t-1}(x_{i,t-1} - b, y_{i,t-1} - a) - f_{l,t}(x_{i,t-1} - b + \Delta x_{i,t}, y_{i,t-1} - a + \Delta y_{i,t})|^2 \quad (5)$$

여기서  $2Rx$ 와  $2Ry$ 는 정합 윈도우의 넓이와 높이를 나타내고  $f_{l,t}(x, y)$ 은 스테레오 동영상에서 t 프레임에서의 왼쪽 영상의 빛의 강도를 나타낸다.

3.1.2 후보 스네이크 포인트의 d 성분의 동작 예측

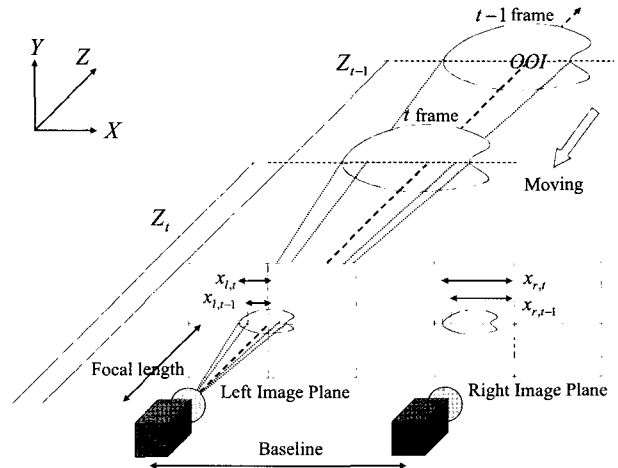
본 논문에서는 (그림 3)과 같이 두 카메라가 수평으로 평행하고 객체의 변이 정보는 상수라고 가정한다. 따라서 수직방향으로의 변이 정보는 없으므로 수평방향의 변이 정보만을 고려하였다. (그림 3)은 월드 좌표계에서 3차원 좌표축을 나타내고 t-1 프레임에서의 OOI가 화살표 방향으로 이동하였을 때 영상평면에 투영된  $x_{l,t-1}$ 과  $x_{r,t-1}$ 을 나타낸다. 3차원 공간에서 OOI의 깊이 변화에 따라 2차원 영상 평면에 원근 투영된 OOI의 크기도 변화하게 된다. 이러한 관계를 통해 프레임간 OOI의 크기 변화율 s를 얻어 t 프레임에서의  $d_t$ 을 예측할 수 있다. s는 (그림 3)의 관계를 삼각측량방법으로 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$s = \frac{x_{l,t-1} - x_{r,t-1}}{x_{l,t} - x_{r,t}} = \frac{d_{t-1}}{d_t} \quad (6)$$

$$d_t = \frac{1}{s} d_{t-1} \quad (7)$$

여기서 s는 이전 프레임과 현재 프레임에서의 변이 정보의 변화율임을 알 수 있다. 따라서, s만 알고 있다면 식 (8)과 같이  $\Delta d_{i,t}$ 을 계산할 수 있다.

$$\Delta d_{i,t} = \frac{1}{s} d_{i,t-1} - d_{i,t-1} \quad (8)$$



(그림3) 원근투영에 의한 스테레오 영상의 기하학 구조

본 논문에서는 s를 구하기 위해 최소제곱방법을 사용하였다. 먼저 프레임간의 객체의 움직임이 크지 않고 회전 및 변형이 적다고 가정하였다. 이전 프레임의 스네이크 포인트의  $x_{i,t-1}$ 와 현재 프레임에서 예측된 스네이크 포인트의  $x_{i,t}$

를 이용하여  $s$ 에 대해 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$s = \frac{M \sum x_{i,t} x_{i,t-1} - \sum x_{i,t} \sum x_{i,t-1}}{M \sum x_{i,t-1}^2 - (\sum x_{i,t-1})^2} \quad (9)$$

위 행렬식을 계산하면  $s$ 를 얻을 수 있고 변이 공간에서의 객체의 동작벡터  $\overrightarrow{m}_{i,t}^d$ 을 구해 후보 스네이크 포인트를 예측한다.

### 3.2 제안하는 스네이크 알고리즘

3.1절에서 스네이크 포인트의 동작벡터를 구하여  $OOI$ 의 윤곽 근처의 후보 위치를 찾았고 이것은 현재 프레임에서의 초기 스네이크 포인트가 된다. 다음단계로 객체의 윤곽에 스네이크 포인트가 수렴하도록 새로운 스네이크 알고리즘을 제안한다.

#### 3.2.1 내부 에너지

변이 공간에서 continuity에너지는  $v_{i,t}^d$ 와  $v_{i-1,t}^d$ 간의 거리가 매 반복에서의 스네이크 포인트간의 평균거리  $\overline{D}_t^d$ 에 최소화하여  $M$ 개의 스네이크 포인트간의 거리를 균등하게 하는 에너지이다. 정규화된 continuity 에너지는 식 (10)으로 나타낸다. curvature 에너지는 현재 스네이크 포인트와 이웃한 포인트가 이루는 벡터의 합의 크기로 나타낼 수 있고 그 크기가 작은 쪽으로 스네이크 포인트를 이동시킨다.

$$E_{con}(v_{i,t}^d) = \frac{\overline{D}_t^d - \|v_{i,t}^d - v_{i-1,t}^d\|}{\overline{D}_t^d} \quad (10)$$

$$\overline{D}_t^d = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \|v_{i+1,t}^d - v_{i,t}^d\| \quad (11)$$

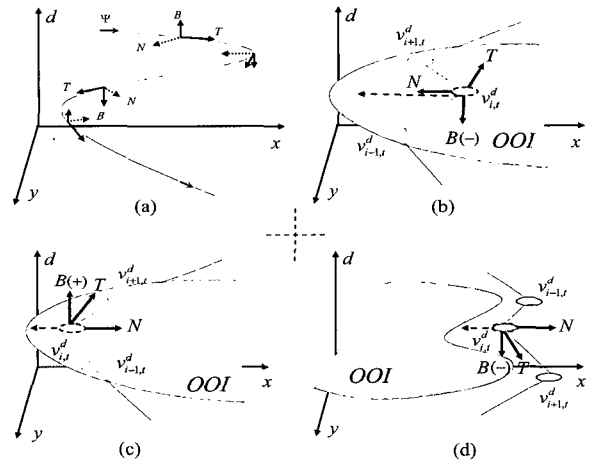
일반적으로 스네이크 포인트의 초기 설정은  $OOI$ 의 외부에 설정하여 내부로 수렴하거나 반대로 내부에 설정하여 외부로 이동하며 수렴하게 되는데 동작 예측을 통해 얻은 후보 스네이크포인트의 위치는  $OOI$ 의 내부 또는 외부가 될 수 있다.  $OOI$ 의 외부에 존재할 경우에는 안쪽으로 이동해야 하고 내부에 존재할 경우 스네이크 포인트는 바깥쪽으로 이동해야  $OOI$ 의 윤곽으로 이동될 수 있다. 따라서, 후보 스네이크 포인트의 위치에 따라 이동방향을 결정해야 한다. (그림 4) (a)는  $\Psi: I \rightarrow \mathbb{R}^3$  이 단위 스피드 곡선이라 할 때 변이 공간상에서의 곡선 위의 접선벡터(tangent vector)  $T$ 와 법선벡터(normal vector)  $N$ , 종법선벡터(binormal vector)  $B$ 를 표현하였다. 각각은 Frenet 방정식을 이용해 식 (12)로 나타낸다. 단,  $T \cdot T = 1, T \cdot T' = 0$  이다.

$$T = \Psi', \quad N = \frac{T'}{\|T'\|}, \quad B = T \times N \quad (12)$$

(그림 4)의 (b)와 (c)는 예측된 후보 스네이크 포인트가  $OOI$  내부에 존재할 때의 두 경우를 보인 것이다.  $B$ 는 위쪽을 향할 때 양의 부호를 갖고 아래쪽을 향할 때 음의 부호를 갖는다.

- i) (그림 4) (b)의 경우  $v_{i,t}^d$ 는 점선화살표와 같이  $OOI$ 의 윤곽 방향으로 움직여야 함으로  $v_{i,t}^d$ 에서의  $N$  방향으로 이동하면  $OOI$ 의 윤곽 쪽으로 이동하게 된다. 따라서  $B$ 가 음의 부호를 갖게 되면 curvature  $\|T'\|$ 가 작은 쪽으로 이동시킨다.
- ii) (그림 4) (c)의 경우  $v_{i,t}^d$ 가 점선화살표와 같이  $OOI$ 의 윤곽을 향해 움직이려면 i)와 반대로  $N$ 의 반대 방향으로 이동해야 한다. 이와 같은 경우는  $B$ 가 양의 부호를 가지므로 스네이크 포인트를  $\|T'\|$ 가 큰 쪽으로 이동시키면 된다.

후보 스네이크 포인트가  $OOI$  외부에 존재할 경우엔 위의 경우와 반대로  $B$ 가 음의 부호를 갖게 되면  $\|T'\|$ 가 큰 쪽으로 이동시키고, 양의 부호를 가지면  $\|T'\|$ 가 작은 쪽으로 이동한다.



(그림 4) 예측된 후보 포인트의 위치에 따른 Snake 포인트의 이동 방향

(그림 4)의 (d)는 후보 스네이크 포인트가 객체 외부에 존재하고 객체의 오목한 윤곽 근처에 놓여있는 경우로써 제안한 방법을 적용하면 스네이크 포인트가 객체의 오목한 윤곽에 수렴할 수 있어 기존의 오목한 부분에서 발생하는 문제점도 해결할 수 있다. 변이 공간에서  $T, N$  그리고  $B$ 는 스네이크 포인트를 이용해 다음과 같이 나타낸다.

$$T(v_{i,t}^d) = v_{i+1,t}^d - v_{i,t}^d \quad (13)$$

$$N(v_{i,t}^d) = v_{i-1,t}^d - 2v_{i,t}^d + v_{i+1,t}^d \quad (14)$$

$$B(v_{i,t}^d) = T(v_{i,t}^d) \times N(v_{i,t}^d) \quad (15)$$

정규화된 curvature 에너지는 식 (16)과 같고, 제안하는 curvature 항의 전체 에너지  $E_C(v_{i,t}^d)$ 는 식 (17)로 표현한다.

$$E_{cur}(v_{i,t}^d) = \left\| T(v_{i,t}^d) / \|T(v_{i,t}^d)\| - T(v_{i-1,t}^d) / \|T(v_{i-1,t}^d)\| \right\| \quad (16)$$

$$E_C(v_{i,t}^d) = \beta(\lambda E_{cur}(v_{i,t}^d) + (\lambda - 1)E_{cur}(v_{i,t}^d)) \quad (17)$$

여기서 후보 스네이크 포인트가 OOI 내부 또는 외부에 존재하는지 확인하는 방법은 스테레오영상에서 얻은 변이 정보를 이용하여 결정할 수 있다.  $\lambda$ 는 후보 스네이크 포인트가 OOI 내부에 존재할 때 0으로, 밖에 존재할 때는 1로 설정된다. 여기서  $\beta$ 의 부호는 식 (15)의  $B(v_{i,t}^d)$ 의 부호와 같게 '+' 부호 또는 '-' 부호로 설정된다.

### 3.2.2 외부 에너지

2-D영상에 적용한 스네이크 알고리즘은 영상의 에지나 선을 외부 에너지로 이용하기 때문에 배경이 복잡한 경우나, 카메라이동으로 인한 배경영상의 변화엔 만족할 만한 결과를 얻을 수 없었다. 제안하는 새로운 외부에너지는 스테레오 영상에서 얻을 수 있는 변이 정보를 이용하여 이와 같은 문제를 해결하였다.

본 논문에서는 변이 공간에서 OOI가 위치하는 깊이에서의 레이어 영상을 외부에너지로 사용한다. 그러기 위해선 먼저 스테레오 정합이 선행되어야 하는데 본 논문에서는 기존의 화소단위의 블록정합방법을 사용하지 않고 분할영역기반의 스테레오 정합(segment based stereo matching)을 이용하여 변이를 측정하였다[13]. 분할영역기반 스테레오 정합은 영상의 윤곽을 보존하고 패트닝(fattening) 현상이 없는 장점이 있다. 일반적으로 객체의 표면이 구이거나 Z 방향으로 기울어져 있을 경우엔 객체 내에서도 다른 변이 값을 갖게 된다. 본 논문에서는 객체 내에서 변이 변화가 없는 것으로 가정하였다. 2차원 영상에서 복잡한 배경을 제외하고 OOI만을 추출하기 위해 분할영역기반의 스테레오 정합방법을 이용하여 변이 지도  $f_{DM}(x, y)$ 를 생성하고  $f_{DM}(x, y)$ 를 이용해 영상을 변이 공간으로 사상시켜 식 (18)과 같이 변이 공간에서  $f_{DS}(x, y, d)$ 로 변환할 수 있다.

$$f_{DS}(x, y, d) = \begin{cases} f_{DM}(x, y) & d = f_{DM}(x, y) \\ 0 & d \neq f_{DM}(x, y) \end{cases} \quad (18)$$

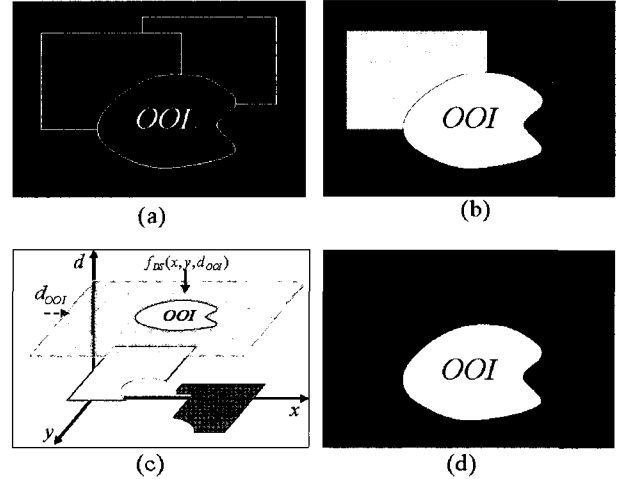
$f_{DM}(x, y)$ 을 변이 공간에 사상하면 2차원에서는 객체들의 에지가 중첩되어 있지만 (그림 5) (b)와 같이 각각의 객체가 다른 변이 정보를 갖기 때문에 (그림 5) (c)와 같이 분리할 수 있다. 따라서 OOI에 놓인 깊이의 레이어 영상의 에지를 외부에너지로 사용하였다.

(그림 5)는 변이 공간에서의 OOI의 레이어 영상을 설명

하고 있다. 제안하는 외부에너지는 식 (19)와 같다.

$$E_{ext}(v_{i,t}^d) = - \frac{|\nabla f_{DS}(x_{i,t}, y_{i,t}, d_{OOI,t})|}{e_{max}} \quad (19)$$

여기서  $f_{DS}(x_{i,t}, y_{i,t}, d_{OOI,t})$ 는 (그림 5)의 (d)와 같이 OOI의 변이 값을 갖는 레이어 영상이고, 정규화를 위해 에지 값들 중 최대값인  $e_{max}$ 로 나누어 주었다.



(그림 5) 변이공간에서의 외부에너지: (a) 분할된 영상 (b) 분할 영역 기반 스테레오 정합을 통해 얻은 변이지도  $f_{DM}(x, y)$  (c) 영상을 변이공간에 사상한 영상  $f_{DS}(x, y, d)$  (d) OOI의 변이 정보를 사용하여 얻은 레이어 영상  $f_{DS}(x, y, d_{OOI})$

### 3.3 전체 스네이크 에너지 함수

제안하는 전체 에너지 함수는 식 (20)과 같이 정의한다.

$$E_{tracking}(v_t^d) = \sum_{i=0}^{M-1} (\alpha E_{con}(v_{i,t}^d) + \beta(\lambda E_{cur}(v_{i,t}^d) + (\lambda - 1)E_{cur}(v_{i,t}^d)) + \gamma E_{ext}(v_{i,t}^d)) \quad (20)$$

## 4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 스테레오 동영상에서의 객체 윤곽 추적 방법은 펜티엄-IV 2.0GHz, 메모리 512Mbyte, 윈도우 XP 환경에서 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현을 하였다. 실험에 사용한 영상은 평행하게 배치된 두 대의 USB 카메라를 이용해 실제 영상을 획득하여 사용하였다. 두 카메라 사이의 베이스라인은 4Cm이고 초당 15프레임에 사이즈가 320\*240인 영상을 이용하였다. 실험은 단일 동영상에서의 기존 방법[3]과 스테레오 동영상에서의 제안하는 방법을 고정된 배경과 움직이는 배경으로 나누어 비교하였다.

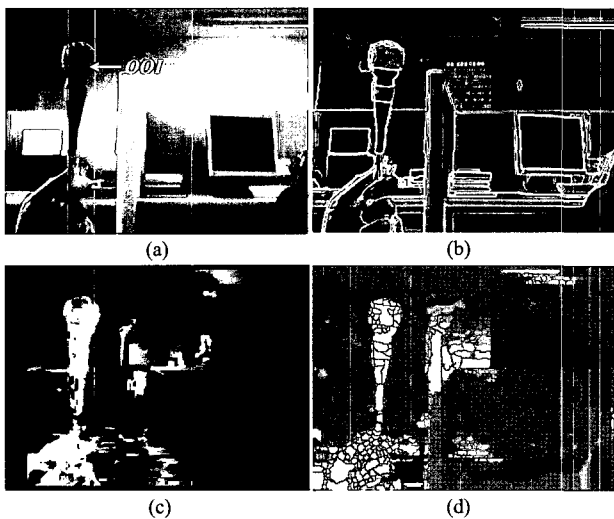
제안한 알고리즘의 성능 분석은 식 (21)과 같이 RMSE (root mean square error)를 이용하여 객체 윤곽에 수렴 정도를 계산하였다.

$$RMSE(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{M-1} \|v_{i,t}^f - o_{i,t}\|^2}{M}} \quad (21)$$

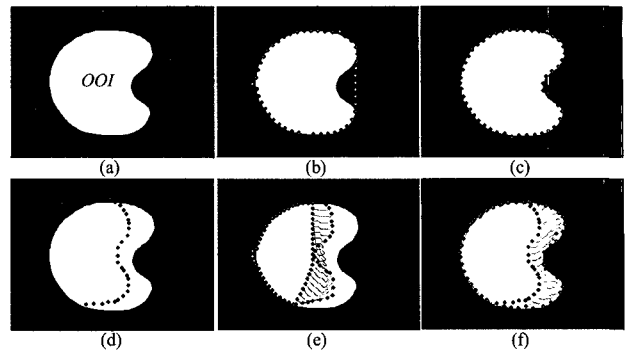
여기서  $v_{i,t}^f$ 는  $t$ 프레임에서 객체 윤곽을 추적하여 찾은 최종 스네이크 포인트 좌표,  $o_{i,t}$ 는 OOI의 실제 윤곽에서의 스네이크 포인트의 좌표이다.

(그림 6)은 실험영상과 제안한 외부에너지의 실험결과를 보여주고 있다. 관심객체 OOI는 사람이 들고 있는 객체가 된다. (그림 6) (a)는 스테레오 좌측 영상이고 (그림 6) (b)는 소벨을 이용해 에지를 구한 영상이다. 배경에 잡음 및 다른 객체들의 에지들이 복잡하게 존재하는 것을 볼 수 있다. (그림 6) (c)는 좌, 우 실험영상을 일반적인 블록정합방법 SSD(sum of square difference)을 이용하여 얻은 변이 지도이다. 정합에러가 많이 발생하고 페트닝 현상으로 인해 객체의 윤곽을 정확히 유지하지 못하는 것을 볼 수 있다. 정합 블록 크기는 5\*5를 사용하였다. (그림 6) (d)는 분할영역 기반 스테레오 정합방법을 통해 얻은 결과 영상으로 블록정합 방법에 비하여 객체의 윤곽이 보존되어 있는 것을 볼 수 있다. 여기서, OOI의 변이 값을 이용해 OOI를 배경과 분리하여 레이어 영상  $f_{bs}(x, y, d_{ooi})$ 를 얻을 수 있다.

(그림 7)은 오목한 부분을 갖는 객체에 대해 제안한 curvature 에너지와 기존의 방법의 실험결과를 보인 것이다. (그림 7)의 (a)와 (d)에서 초기 스네이크 포인트를 각각 다른 장소에 직접 설정해 주었다. 기존의 방법은 curvature가 최소값 0을 가질 때 스네이크 윤곽을 직선으로 만들기 때문에 객체의 오목한 윤곽까지 스네이크 포인트를 접근시킬 수 없는 것을 (그림 7)의 (b)와 (e)의 실험으로 확인할 수 있고, 제안한 방법은 그 위치에 관계없이 객체의 오목한 윤곽 부분까지 잘 찾는 것을 (그림 7)의 (c)와 (f)를 통해 볼 수 있다.



(그림 6) 제안하는 방법에서의 외부에너지 : (a) 스테레오 좌측영상 (b) 2차원 에지 영상 (c) 블록정합방법인 SSD를 이용하여 얻은 변이 지도 (d) 분할영역 기반의 스테레오 정합 결과



(그림 7) 오목한 윤곽을 갖는 객체에서 제안하는 Curvature 에너지와 기존 방법과의 실험결과

기존 방법과 제안한 방법을 실험한 결과는 (그림 8)과 (그림 9)에 보였고 특히, 오목한 윤곽을 갖는 객체의 추적 결과 및 카메라 이동시 객체 추적에 대한 실험 결과를 (그림 10)과 (그림 11)에 각각 보였다. (그림 8)은 왼쪽과 오른쪽은 각각 기존 방법과 제안한 방법의 결과를 보이고 있다. 사용된 스네이크 포인트의 개수는 30개이며 스네이크 포인트를 연결한 윤곽선을 나타내고 있다. 왼쪽의 결과를 보면 스네이크 윤곽선이 배경 및 객체 내부의 에지로 인해 만족할 만한 결과를 보여주지 못한다. 그리고 8과 12 프레임을 보면 스네이크 윤곽선이 객체의 오목한 윤곽부분에 수렴하지 못하는 것을 볼 수 있다. 그러나 오른쪽 제안한 방법의 결과는 변이 정보를 이용해 OOI와 배경을 분리하여 배경의 영향을 받지 않고 OOI의 윤곽을 스네이크 윤곽선이 잘 추적하는 것을 볼 수 있고 객체의 오목한 부분에도 잘 수렴하는 것을 볼 수 있다. (그림 9)는 다른 동영상에서 실험한 결과로 배경이 더 복잡하고 에지 성분을 많이 포함하고 있는 영상에서 OOI를 추적한 결과를 보여주고 있다. 기존의 방법은 실험 I과 같이 배경의 영향으로 객체의 윤곽을 잘 찾지 못해 만족할 만한 결과를 얻을 수 없었고, 제안한 방법은 만족할 만한 결과를 보여주었다.

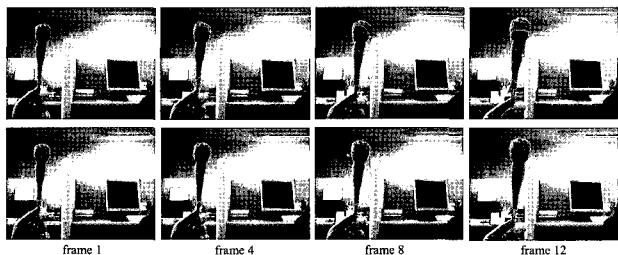
(그림 10)은 오목한 윤곽을 갖는 객체에 대해서 실험한 결과로 왼쪽의 기존방법은 스네이크 윤곽선이 객체의 오목한 윤곽 부분에서 에너지 부족현상으로 인해 윤곽에 수렴하지 못하고 좋지않은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 반면, 제안한 방법은 객체의 오목한 윤곽에 대해서 잘 수렴하는 결과를 보였다. (그림 11)은 카메라 이동으로 배경이 변화하는 환경에서 객체를 추적한 결과를 보여주고 있다. 배경이 변화할 경우 이전 프레임과 현재 프레임과의 영상변화가 커서 많은 에지성분을 포함하기 때문에 왼쪽의 기존의 방법의 경우 스네이크를 적용하여 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 그러나 제안한 방법은 변이 정보를 이용할 경우 배경의 변화와 관계없이 배경과 객체를 분리할 수 있는 장점을 갖고 있고 제안한 스네이크 알고리즘을 이용하여 좋은 결과를 보이는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

(그림 12)는 실험 I에 대한 기존의 방법과 제안한 방법의 성능을 평가한 것으로 시간이 흐를수록 기존방법의 RMSE는 증가하는 것을 볼 수 있고 제안한 방법은 작은 값을 가

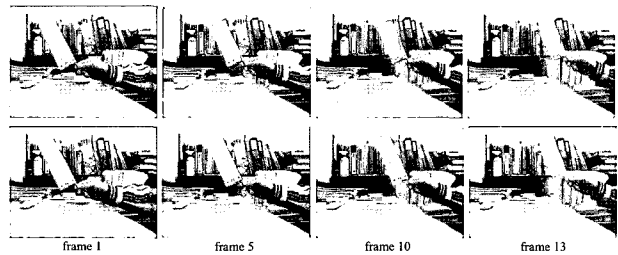
지며 좋은 수렴 성능을 보이고 있다. 기존의 방법은 예측된 후보 포인트가 OOI의 윤곽에서 멀리 떨어져 존재하면 OOI의 윤곽이 아닌 다른 에지에 의해 국소 최소값에 빠지게 되는 문제가 있고 시간이 흐를수록 에러가 누적되어 성능이 저하 되지만, 제안한 방법은 배경의 영향을 최소화 할 수 있기 때문에 더 좋은 성능을 보인 것을 확인할 수 있다. 위에 설명한 각각의 실험에 대해 각 프레임 별로 RMSE 측정값을 구하여 <표 1>에 보였다.

또한, 스테레오 영상기반의 객체 추출 및 추적 방법으로 성능이 좋은 Izquierdo[10]의 방법과 제안한 방법을 비교하였다. 실험결과 RMSE 측정값이 두 방법 모두 평균 0.6픽셀이었다. 그러나 적응적 윈도우 방법을 사용한 Izquierdo 방

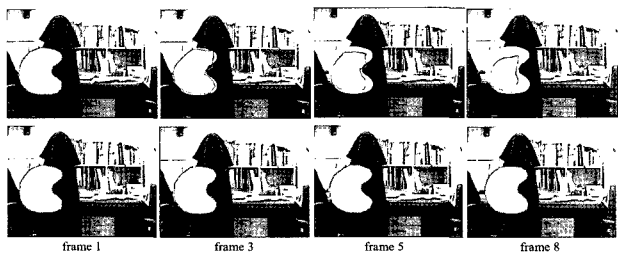
법은 많은 계산시간을 필요로 하기 때문에 상대적으로 본 논문에서 제안한 방법이 더 빠르게 객체 윤곽을 검출하는 결과를 보였다.



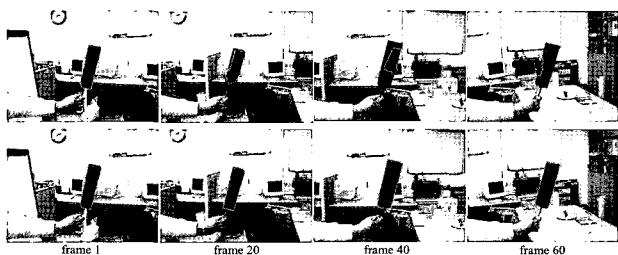
(그림 8) 실험결과 I: 기존의 방법(위), 제안한 방법(아래)



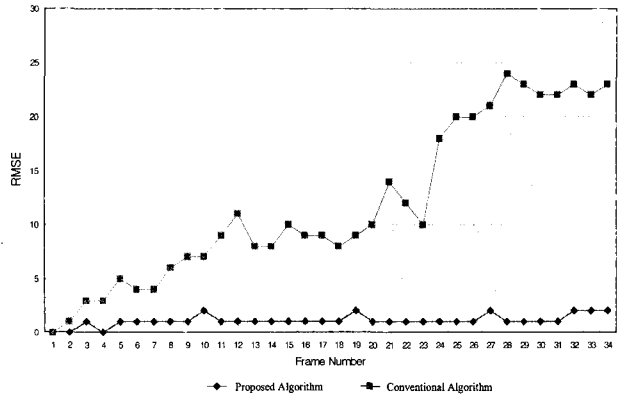
(그림 9) 실험결과 II



(그림 10) 실험결과 III: 오목한 윤곽을 갖는 객체 대한 실험 결과



(그림 11) 실험결과 IV: 카메라 이동시 객체 추적 실험 결과



(그림 12) 기존 방법과 제안한 방법의 RMSE 비교 그래프

<표 1> RMSE 성능비교

실험	스테인크 포인트 수	프레임	기존 방법	제안한 방법
			RMSE (pixels)	RMSE (pixels)
실험 I	30	4	3.26	0.34
		8	6.42	0.97
		12	10.9	1.08
실험 II	20	5	6.2	0.45
		10	11.5	0.77
		13	18.2	1.12
실험 III	30	3	3.3	0.3
		5	8.5	0.55
		8	13.4	0.57
실험 IV	20	20	13.2	0.25
		40	20.6	0.43
		60	37.3	0.58

### 5. 결 론

본 논문은 스테레오 동영상에서 객체 윤곽을 추적하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 일반적인 2차원 영상에서의 스네이크를 이용한 객체 추적 방법은 추적을 하고자 하는 관심객체의 윤곽에 이웃한 다른 에지의 영향으로 국부 최소값에 수렴하고 객체의 오목한 윤곽에서는 에너지 부족현상으로 잘 수렴하지 못하는 문제점들이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 MCE와 크기 변화율을 이용해 변이 공간에서 3-D 동작벡터를 계산하고 후보 스네이크 포인트를 예측하였으며 예측된 후보 스네이크 포인트에 제안하는 스네이크 알고리즘을 적용하여 관심객체의 윤곽을 추적하였다. 제안하는 스네이크 알고리즘은 변이 정보를 이용해 OOI와 배경을 분리하여 외부에너지를 생성하였고, 중첩선벡터를 이용하여 스네이크 윤곽선이 객체의 오목한 윤곽에서도 잘

수렴하도록 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 두 대의 카메라로부터 얻은 실영상을 이용하여 실험을 수행하였다. 그 결과 기존 알고리즘에 비해 제안한 방법이 객체의 윤곽을 잘 추적할 수 있었다. 그러나 제안한 알고리즘은 변이 정보를 얻기 위해 많은 계산 시간을 요구하기 때문에 실시간 응용에는 적용하기 힘들다. 현재, 스테레오 정합방법은 다양하게 연구되고 있고 그 성능 및 수행 속도 또한 많이 향상되고 있으므로 향후 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

**참 고 문 헌**

[1] R. C. Jane, "Segmentation of Frame Sequences Obtained by A Moving Observer," *IEEE Trans. PAMI*, Vol.6, No.5, pp.624-629, 1984.

[2] K. Sauer and B. Schwartz, "Efficient Block Motion Estimation Using Integral Projections," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.6, No.5, pp.513-518, Oct., 1996.

[3] M. Pardas and E. Sayrol, "Motion Estimation Based Tracking of Active Contours," *Pattern Recognition Letters* 22, pp.1447-1456, 2001.

[4] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snake: Active Contour Models," *Int'l J. Computer Vision*, Vol.1, No.4, pp.321-331, 1987.

[5] D. J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours And Curvature Estimation," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.55, pp.14-26, 1992.

[6] T. Darrell, G. Gordon, M. Harville and J. Woodfill, "Integrated Person Tracking Using Stereo, Color, and Pattern Detection," *International Journal of Computer Vision*, Vol.37, No.2, pp.175-185, 2000.

[7] K. H. Bae, J. S. Koo and E. S. Kim, "A New Stereo Object Tracking System using Disparity Motion Vector," *Optics Communications*, Vol.221, pp.23-35, 2003.

[8] M. Harville, "Stereo Person Tracking with Adaptive Plan-View Templates of Height and Occupancy Statistics," *Image and Vision Computing*, Vol.22, pp.127-142, 2004.

[9] E. Francois and B. Chupeau, "Depth-Based Segmentation," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.7, No.1, pp.237-239, February, 1997.

[10] E. Izquierdo, "Disparity/Segmentation Analysis: Matching with an Adaptive Window and Depth-Driven Segmentation," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.9, No.4, pp.589-607, June, 1999.

[11] 유명준, 김신형, 장종환, "변이 공간에서 스네이크 알고리즘을 이용한 객체분할에 관한 연구", *정보처리학회 논문지 B권*, Vol.11-B, No.7, pp.769-778, 2004.

[12] S. H. Kim, J. H. Choi, H. B. Kim and J. W. Jang, "A New Snake Algorithm for Object Segmentation in Stereo Images," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo-ICME 2004*, June, 2004.

[13] Y. Zhang and C. Kambhamettu, "Stereo Matching with Segmentation-Based Cooperation," *ECCV 2002*, pp.556-571, May, 2002.



**김 신 형**

e-mail : zeros@mail.pcu.ac.kr  
 2001년 배재대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2003년 배재대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
 2003년~현재 배재대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야: 영상처리, 멀티미디어, 컴퓨터비전



**장 종 환**

e-mail : jangjw@mail.pcu.ac.kr  
 1979년 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1986년 North Carolina 주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)  
 1990년 North Carolina 주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1990년~현재 배재대학교 정보통신공학과 교수  
 1998년~현재 정보통신부 지정 정보통신창업지원센터 소장  
 2003년~현재 배재대학교 정보통신대학원 원장  
 관심분야: 영상처리, 멀티미디어 검색, 비디오편집, 컴퓨터 비전