

동적 윤곽 모델을 이용한 이동 물체 추적

한 규 범[†], 백 운 수^{*}

(2002년 4월 15일 접수, 2003년 2월 28일 심사완료)

Moving Object Tracking Using Active Contour Model

Kyu Bum Han and Yoon Su Baek

Key Words : Visual Tracking System(시각 추적 시스템), Region Segmentation(영역 분할), Active Contour Model(동적 윤곽 모델), Snake Energy(스네이크 에너지), Correspondence Problem(대응 문제), Multiple Object Tracking(다중 물체 추적)

Abstract

In this paper, the visual tracking system for arbitrary shaped moving object is proposed. The established tracking system can be divided into model based method that needs previous model for target object and image based method that uses image feature. In the model based method, the reliable tracking is possible, but simplification of the shape is necessary and the application is restricted to definite target model. On the other hand, in the image based method, the process speed can be increased, but the shape information is lost and the tracking system is sensitive to image noise. The proposed tracking system is composed of the extraction process that recognizes the existence of moving object and tracking process that extracts dynamic characteristics and shape information of the target objects. Specially, active contour model is used to effectively track the object that is undergoing shape change. In initialization process of the contour model, the semi-automatic operation can be avoided and the convergence speed of the contour can be increased by the proposed effective initialization method. Also, for the efficient solution of the correspondence problem in multiple objects tracking, the variation function that uses the variation of position structure in image frame and snake energy level is proposed. In order to verify the validity and effectiveness of the proposed tracking system, real time tracking experiment for multiple moving objects is implemented.

1. 서 론

머신 비전 시스템(machine vision system)은 CCD 카메라 또는 스캐너와 같은 감지 장치에 의해 얻은 영상으로부터 주어진 문제 영역에 대한 지식과 영상 해석에 관한 일반적인 지식을 사용하여 유용한 정보를 추출하는 시스템으로서, 근래에 들어 정적 영상 뿐 아니라 동적 영상, 즉 영상 시퀀스(image sequence)를 이용하여 보다 다양하고 포괄적인 정보를 추출하는 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 동적 영상을 이용하여 이동 물체를

검출하고 이의 동적 특성을 파악하는 시각 추적 시스템은 군수 분야에서의 추적 시스템, 최근 주목 받고 있는 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligence Transport System), 화상 회의 시스템 등의 핵심 기술로서 그 중요성이 매우 크다고 하겠다. 일반적으로 머신 비전 시스템을 영상 추적의 관점에서 고려하면 이동 물체의 존재 여부를 판단하고, 이동 물체가 존재하는 경우 이를 추출하며, 추출된 물체를 연속적으로 추적하는 세 개의 과정으로 이루어지며, 기본적인 물체의 인식 과정과 방법에 따라 모델 기반 방법(model based method), 영상 기반 방법(image based method), 동적 윤곽 기반 방법(active contour based method)으로 분류할 수 있다. 모델에 기반한 방법은 주로 3차원 공간상의 물체의 인식에 관한 문제로 연구되어 왔으며, 이를 추

[†] 책임저자, 회원, POSCO 기술연구소
E-mail : kbhan@posco.co.kr
TEL : (054)220-6298 FAX : (054)220-6914

^{*} 회원, 연세대학교 기계공학부

적 문제에 적용하면 물체의 특성 값 들이 짧은 시간동안 급격한 변화를 수반하지 않는다는 가정 하에 물체의 특징을 파악하고 이를 모델로 구성하여 사용하는 방법으로서, 영상 획득 시간이 매우 짧다는 가정 하에 구현되는 방법이다.^(1,2) 이 방법의 장점은 추적체의 3차원 모델의 변형을 예측함으로써 병진 운동 뿐 아니라 회전 운동까지도 추적할 수 있다는 점과, 어파인 운동에 경우 안정적 추적이 가능하다는 점이다.⁽³⁾ 그러나 일반적으로 실제 영상은 노이즈나 조명의 불균일성 등 여러가지 요인에 의해 대응 문제의 해결에 많은 어려운 점이 존재한다. 영상에 기반한 방법은 영상으로부터 얻을 수 있는 특징 요소를 이용하여 운동의 연속성을 가정하고 이들간의 대응을 구함으로써 물체의 동특성을 파악하고 추적하는 방법이다. 기본적으로 물체의 형상에 대해서는 관심을 두지 않으며, 형상의 인식이 필요한 경우 특징으로부터 형상을 복원하는 작업이 필요하다. 이러한 특징 요소는 영상으로부터 얻을 수 있는 운동, 요소 또는 기하학적 요소로 구분할 수 있으며 이로부터 이동 물체를 영상으로부터 분리하고 운동 특성을 파악한다. 영상 기반 방법은 모델 기반의 방법과는 달리 추적체의 크기나 형상에 대한 사전 정보 없이 추적할 수 있다는 장점을 가지고 있고 추적체의 특징적인 요소만을 영상으로부터 분리하므로 영상 처리 속도를 증가시킬 수 있으므로 매니플레이터의 제어 시스템과 결부되어 특징 요소를 피드백 요소로 이용한 시각 서보 시스템에 주로 응용되고 있다.⁽⁴⁾ 영상의 특징 요소 중 운동 요소만을 이용한 방법 중 대표적인 방법은 광류(optical flow)를 이용하는 방법이며 많은 연구 그룹들에 의해 연구되어왔다.^(5,6) 기하학적 요소로부터 추적체를 추출하는 방법은 영상 시퀀스로부터 기하학적 특징을 추출하고 이의 변위 벡터로부터 추적체의 운동 특징을 얻어내는 방법으로서, 가장 널리 사용되는 형태는 코너점 또는 에지 포인트의 추출이다.⁽⁷⁾ 이 경우 운동 요소와 마찬가지로 일반적으로 추적체의 형상 정보는 제공하지 못하며 비교적 단순한 형상의 추적체의 경우에 응용되고 있다. 기하학적 요소로부터 어느 정도 추적체의 형상 정보를 제공할 수 있는 방법은 영역(region)의 추출을 통한 방법이며, 단순히 특징점을 이용한 방법에 비하여 더욱 안정적인 결과를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.⁽⁸⁾ 영역 기반의 방법에서는 영상 내의 추적체를 포함하는 영역 추출 작업이 필요하며, Murray⁽⁹⁾는 spatio-temporal 필터링을 이용하여 운동 에너지를 구함으로써 영상 내의 추적체 영역을 추출하고 이를 능동 비전 시스템에 적용하였다.

동적 윤곽에 기반한 방법은 Kass⁽¹⁰⁾의 기본 모델로부터 기인된 추적 이론으로 기존의 점이나 선 등의 영상 특징치를 추적하는 방법에 비해 물체의 형상이나 경계가 변화하는 더욱 복잡한 운동 요소를 추적할 수 있다는 장점을 가진다.⁽¹¹⁾ 동적인 특성에 의해 물체 윤곽의 제어점에 기초한 영상의 부분적인 처리만으로도 빠르고 효율적으로 영상 특징을 추적하는 것이 가능하고 정확한 영상 에지의 추출에 효율적이나, 추적 특징치가 에지 등에 한정되는 단점을 가지고 있으며 적절한 초기 위치 설정과 물체 추출 작업이 필요하다.⁽¹²⁾

본 연구에서는 임의의 형상을 가진 이동 물체에 대한 추적 시스템을 제시한다. 제시된 추적 시스템의 특징은 다음과 같다. 첫째로, 물체의 사전 모델 구축을 배제하고 임의의 형상을 가진 이동 물체에 대한 추적 알고리즘을 제시한다. 즉, 형태 변화가 수반되는 경우에도 유연한 대처능력을 가지기 위하여, 영상 영역 분할을 통해 물체의 존재를 인식하고 물체 영역을 추출한다. 둘째로 영상 내 불필요한 요소에 대해 강인성을 갖는 알고리즘을 구축한다. 이동 물체 추적 시스템의 구축 시 필수적인 사항은 안정적인 추적을 요구하는 점이며, 영상 시스템의 보이지 않는 노이즈 또는 배경 효과에 대해 강건하게 대처할 수 있는 능력을 가지고 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 이동 물체 추적 과정에서 스네이크 초기 제어점을 추출된 이동 물체 영역의 경계로 설정함으로써 초기화의 인위적 조작을 피함과 동시에 스네이크의 에너지 계산 과정에서 발산하는 경우를 배제한다. 마지막으로, 대응 문제(correspondence problem)를 효과적으로 해결할 수 있는 방안을 제시한다. 추적 시스템은 영상 시퀀스동안 일관적인 추적을 위해 대응 문제의 해결을 전제로 하며, 특히 복수개의 이동 물체 추적의 경우 대응 문제의 해결은 더욱 중요한 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 대응 문제의 해결을 위한 도구로서 영상 시퀀스에서의 물체의 위치 구조와 스네이크 에너지 준위 변화량을 이용하는 방법을 제시한다.

2. 이동 물체의 추출

2.1 이동 물체 영역 추출

영역을 기반으로 영상 내의 이동 물체를 추출하는 과정은 우선 영상 시퀀스로부터 전처리 과정(preprocess)을 통해 영상 내에서 이동 물체의 존재를 감지하고, 이로부터 이동 물체가 포함된 영역을 분할하는 과정을 의미한다. 이는 기본적으로

영상 분할의 과정으로서 영상 내에서 운동하는 화소들의 집단들을 구하는 과정이다.⁽¹³⁾ 일반적으로 영상 분할을 위한 방법으로는 영역 중심 방법(region based approach)과 에지 중심 방법(edge based approach)이 있다. 영역 중심 방법은 공간적으로 인접된 영역을 형성하기 위해 계조도 함수의 분석을 수행하고, 에지 중심 방법은 두 영역 사이의 경계점 추출을 기반으로 한다. 대부분의 경우 정확한 분할은 영상에 표현된 물체에 대한 사전 정보를 적용해야 가능하며 그 영역에 대한 특수한 지식 없이는 완벽한 분할이 수행될 수 없기 때문에 분할은 본질적으로 완벽을 기할 수 없는 문제(ill formed problem)로 표현된다. 본 연구에서는 영상 시퀀스 내에 포함된 이동물체의 존재 여부를 판단하고 전처리와 영상 signature의 분석으로부터 물체를 분할하며 마지막으로 signature parsing 루틴을 통해 최종 목표 물체를 결정한다. 영상 내 물체의 존재 여부를 판단하기 위한 기본적인 전처리 방법은 계조도의 히스토그램과 임계값을 이용하는 방법이다. 이 방법은 문체 영역에 관한 특정한 사전 정보가 주어지지 않은 상황에서 물체의 표면에 있는 점들은 공간적으로 인접해 있으며 유사한 반사율특성을 가지고 있다는 가정 하에 물체를 배경으로부터 분리한다. 그러나 불균일한 영상 노이즈와 영상 내 물체와 유사한 계조도를 갖는 배경의 효과 등으로 인해 통제된 환경 이외의 경우에는 일반적으로는 만족할 만한 결과를 주지 못한다. 영상 시퀀스에서 이동 물체를 정지 배경으로부터 분리할 수 있는 방법론으로 제시되고 있는 접근 방법은 크게 광류를 계산하는 방법과 영상 차분을 계산하는 방법이다. 기본적으로 두가지 방법 모두 계조도의 연속성 제약을 가정하고 있다. 광류 정보는 운동에 대한 포괄적인 정보를 준다는 장점이 있지만 영상 속도 벡터가 지역적 정보에만 의존하여서는 하나의 값으로 결정될 수 없다는 문제점(aperture problem) 때문에 부가적인 제약 조건이 필요하다는 점과, 많은 계산량을 필요로 한다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 영상 간의 차분을 이용하는 방법으로서 다음 식 (1)과 같이 정의되는 spatio-temporal 필터링을 사용하였다.⁽⁹⁾

$$\frac{df(x, y, t)}{dt} \approx \frac{f(x, y, t) - f(x, y, t - \delta t)}{\delta t} \quad (1)$$

식 (1)의 spatio-temporal 필터는 영상 간의 차영상을 얻음으로써 쉽게 구현된다. 영상 시퀀스로부터 두개의 연속된 영상을 각각 i 와 j 라고 하면 두

영상간의 차영상 DP_{ij} 는 다음 식 (2)과 같다.

$$DP_{ij}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } F(x, y, i) - F(x, y, j) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

위 식에서 x, y 는 영상 F 내의 화소의 위치이고 T 는 양수인 운동 임계값이다. 위 식의 결과로부터 얻은 차영상은 영상 내 이동 물체의 존재를 추출할 수 있는 하나의 수단이 된다.

2.2 이동 물체의 추출과 결정

전처리 과정을 사용하여 얻은 이진 영상에는 영상 노이즈와 배경이 가지는 효과는 줄어들고 추적 물체의 후보군으로 간주할 수 있는 영역만 추출된다. 전처리의 결과 추출된 영역을 모두 추적체로 단정할 수 없는 이유는 전처리 과정에서 영상 노이즈와 배경이 가지는 효과가 남아있을 가능성이 존재하고, 복수의 물체가 존재하는 경우 관심의 대상을 제한해야 할 필요성이 생길 수 있기 때문이다. 따라서 본 절에서는 전처리 과정 후 추출된 몇몇의 후보군 중에서 실제 추적하고자 하는 물체를 찾는 방법을 기술한다. 추적체의 추출 및 결정은 선행된 전처리 과정을 통해 얻은 영상에 대해 영상 signature의 반복적 분석 과정을 거쳐 수행된다. 먼저 영상 내 수평 방향과 수직 방향의 signature를 계산한다. Signature는 다음 식 (3)에 의해 계산된다.⁽¹⁴⁾

$$S_h(i) = \sum_j^M f[i, j] , S_v(j) = \sum_i^N f[i, j] \quad (3)$$

위 식에서 M, N 은 영상의 크기이고, $S_h(i)$ 는 각 행을 가로질러서 합산한 영상의 강도합을 나타내며 $S_v(j)$ 는 각 열을 가로질러서 합산한 영상의 강도합을 나타낸다. 전처리된 이진 영상의 경우 강도합이 0에서 양의 값으로, 혹은 양의 값에서 0으로 전이하는 점을 찾아 전이점(transition point)으로 정의한다. 이러한 전이점들은 각각 수평 방향과 수직방향의 선분을 형성하며 이러한 선분들을 밴드(band)라 한다. 즉, 밴드는 수평 방향의 경우 전이점들을 수평으로 가로지르는 가상의 선분이며 수직 방향의 경우 전이점들을 수직으로 가로지르는 가상의 선분을 말한다. 이러한 밴드들은 영상 내에 사각형의 부영역(sub region)들을 형성하며, 이 부영역들은 각각 추적체를 포함하는 후보군이 된다. 모든 물체는 이 부영역에 포함되므로 추적

체의 추출은 부영역에 한정된다. 이 경우 하나의 부영역에 두개 이상의 추적체가 포함될 수 있으며 이러한 문제는 분할된 영역에 대해 물체를 포함하는 영역인지 판별한 다음 물체를 포함할 경우 단일 물체를 포함할 때까지 부영역 내의 반복적 분해를 통해 해결될 수 있다. 이러한 알고리즘을 사용하면 물체와 물체 그룹 사이의 공간적 상호 관계의 계층적 구조를 포함하는 2차원 SORT(Spatial Object Relation Tree)를 얻을 수 있다.⁽¹⁵⁾ Fig. 1은 이동물체 추출 루틴 과정을 보여준다.

3. 이동 물체의 추적

3.1 동적 윤곽 모델 : 스네이크 알고리즘

본 연구에서는 추적 물체들의 2차원 영상 평면상의 위치와 형상정보를 얻기 위해 스네이크 알고리즘을 적용하였다. 스네이크 제어점들의 수렴 조건으로부터 물체의 위치정보와 형상 정보 및 스네이크 에너지가 계산된다.

3.1.1 스네이크 에너지

스네이크는 영상력의 영향아래 움직이는 평면 변형 컨투어(planar deformable contour)로 정의되며 다음 식 (4)의 변형 에너지의 최소화 과정에 의해 수렴된다.⁽¹⁰⁾

$$E_{snake} = \int_0^1 (E_{int} + E_{image} + E_{con}) ds \quad (4)$$

위 식에서 적분 내 항은 각각 내부에너지, 영상 에너지, 구속에너지이며, 총 변형 에너지는 정류값을 가지기 위한 필요조건인 오일러-라그랑지 방정식의 만족 조건에 의해 수렴값을 가진다.

3.1.2 스네이크 제어점의 초기화

기본적으로 스네이크 알고리즘은 사용자가 영상 평면 상의 스네이크 제어점들을 초기화해주어야 한다. 이로 인해 부적절하게 초기화를 하는 경우 스네이크는 경계를 잃게 되고 추적이 실패할 가능성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 스네이크 제어점들의 초기화를 위한 효과적이고 체계적인 방법으로 추출된 부영역의 경계상으로 스네이크 제어점의 초기점들을 설정하였다. 제시된 방법은 다음과 같은 장점을 가진다.

- ① 스네이크 제어점들의 평형을 결정하는 반복적인 프로세스에서 발산의 가능성이 감소한다. 즉, 영상 노이즈에 의해 스네이크가 국소 최소점으로 수렴하는 경우를 배제시킨다.
- ② 전처리 과정을 통해 스네이크 제어점의 초기 위치가 자동적으로 설정되기 때문에 사용자에 의한 수동 개입이 불필요하다.
- ③ 스네이크 제어점의 초기 위치가 목표 물체에 대해 충분히 근접되어 있으므로 수렴 속도를 증가시킬 수 있다.

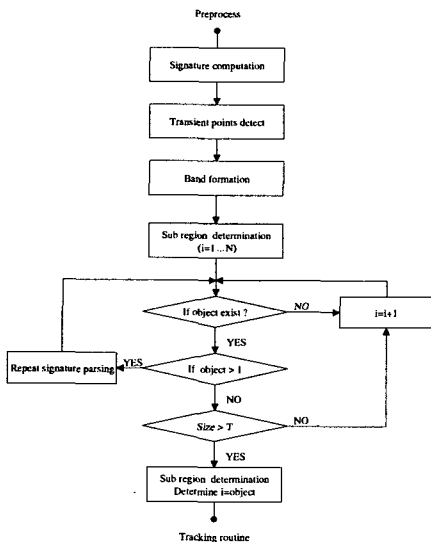


Fig. 1 Object extraction routine

3.2 기지 평면상에 존재하는 물체의 위치 추정
일반적으로 카메라 좌표계에 대한 위치를 계산하기 위해서는 두개의 카메라를 사용하거나, 하나의 카메라로부터 서로 다른 위치에서 두개의 영상을 얻어내는 방법 등을 사용한다.⁽¹⁶⁾ 이는 카메라의 투사기하에 의해 자유도를 하나 상실해버리는 결과이며, 하나의 영상으로 카메라 좌표계에 대한 위치, 특히 깊이 정보를 얻어내는 것은 불가능하다. 그러나 물체가 기지의 평면상에 존재하고 물체의 크기가 카메라로부터 거리에 비해 상대적으로 매우 작다는 가정 하에 영상 좌표계에서의 물체의 중심은 카메라 좌표계 상의 물체의 중심에 대응된다고 가정할 수 있으며 위치의 추정이 가능하다. 영상 내의 물체의 위치를 $[X, Y]^T$ 라 하고 카메라 좌표계에서의 물체의 위치를 $[x, y, z]^T$ 라 할 때 두 좌표계간의 관계는 식 (5)-(7)에 의해 결정된다.⁽¹⁷⁾

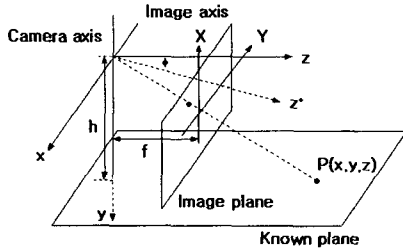


Fig. 2 Coordinates of point P that exists on known plane

$$x = \frac{X h f_y}{f_x(Y + f_y \tan \phi) \cos \phi} \quad (5)$$

$$y = h \quad (6)$$

$$z = \frac{h f_y}{(Y + f_y \tan \phi) \cos \phi} \quad (7)$$

위 식들에서 h는 카메라 좌표계 원점으로부터 기지 평면까지의 거리이고 ϕ 는 카메라 광축이 기지 평면과 이루는 틸트각을 의미하며 f_x , f_y 는 카메라 캘리브레이션 변수이다. 다음 Fig. 2는 각 좌표계 간의 관계를 보여준다.

3.3 대응성 문제(Correspondence problem)

복수개의 이동물체 추적을 위해서는 물체간 또는 특성치 간의 대응성 문제가 선결되어야 한다. 대응성 문제는 복수의 물체들 또는 특징점 들을 포함하는 두개 이상의 영상 시퀀스 또는 스테레오 영상으로부터 동일한 물체 또는 특징점을 판정하는 과정으로 정의할 수 있다.⁽¹³⁾ 기존의 연구에서 대응 문제를 해결하는 방법들로는 유사성 검토, 템플릿 매칭, relaxation labeling 등의 방법이 있으나 앞의 두 방법들은 노이즈에 대하여 취약하다는 단점이 있으며 relaxation labeling 방법은 반복적인 계산을 하기 때문에 계산 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. 위의 방법들은 다음과 같은 공통적인 가정을 필요로 한다.

Assumptions : 시간 t와 t+1의 영상 프레임 간의 관계에서 영상 내의 물체 위치와 속력, 물체의 이동 방향은 크게 변화하지 않는다.

위의 가정은 시간 t와 t+1의 간격이 매우 짧다는 가정 하에 얻을 수 있는 연속 조건(continuity condition)으로서 일반적으로 영상 획득 시간을 고

려하면 실제와 크게 위반되지 않은 가정으로 간주할 수 있다. 본 연구에서는 대응 문제의 효과적인 해결을 위해 영상내 물체간의 위치 구조와 스네이크 에너지를 이용한 방법을 제시한다. 이를 위해 다음과 같은 가정을 추가한다.

Assumption : 시간 t와 t+1의 영상 프레임 간의 관계에서 영상 내의 물체의 에너지 준위(energy level)는 크게 변화하지 않는다.

위 가정은 에너지의 연속 조건으로 앞의 가정과 마찬가지로 영상 프레임 간의 시간 간격을 고려하면 크게 엄격하지 않은 가정이며, 서로 다른 형상과 크기를 가지고 있는 다중 물체의 경우, 더욱 일반화될 수 있는 조건이다. 위의 가정들을 이용하여 N개의 물체를 포함하고 있는 경우 각각의 물체가 다음 영상에서는 각각 어떤 물체에 대응되는가를 풀기 위하여 에너지와 각 물체간 거리 정보를 이용하여 그 변화량의 가중합(weighted sum)이 최소화되는 물체로 선정한다. 각 영상 시퀀스에서 물체간의 에너지 변화량을 다음 식 (8)과 같이 정의한다.

$$\Delta Energy(i, j) = Energy^t(i) - Energy^{t-1}(j) \quad (8)$$

$(i = 1 \dots N, j = 1 \dots N)$

위 식에서 t는 시간을 의미한다. 한편 물체간의 거리 변화량을 다음 식 (9)과 같이 정의한다.

$$\Delta Dis(i, j) = DIST(i^t, j^{t-1}) \quad (9)$$

$(i = 1 \dots N, j = 1 \dots N)$

식 (9)에서 DIST는 각 물체의 영상 내 중심 위치간의 유클리드 거리를 의미하며 다음 식 (10)과 같이 정의되는 함수이다.

$$DIST(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (10)$$

식 (8)과 식 (9)로부터 에너지의 변화량과 거리의 변화량을 이용하여 대응성 판단을 위해 다음 식 (11)과 같이 함수 변화량 함수 V(i,j)를 정의한다.

$$V(i, j) = w_1 \times \Delta Energy(i, j) + w_2 \times \Delta Dis(i, j) \quad (11)$$

$(i = 1 \dots N, j = 1 \dots N)$

위 식에서 w_1 과 w_2 는 각 변화량의 가중치를 의

미하며, 물체의 개수를 N 이라 할 때 총 $N \times N$ 의 V 함수가 생성된다. 위의 방법에 의하여 시간 t 의 물체 i 는 위의 함수 V 를 최소화 하는 시간 $t-1$ 의 물체 j 에 대응된다.

4. 실험

4.1 실험 장치

다중 물체 추적을 위한 실험 장치는 SOXY-XC77 BW 카메라가 설치된 헤드와 두개의 서로 다른 형상과 크기를 갖는 추적체, 추적체의 운동 궤도, PCI 버스용 영상 그래버가 내장된 Pentium 166MHz PC로 구성된다. 카메라로부터의 영상 신호는 영상 그래버로 전송되며 전송 속도는 RS170 규격이다. 다음 Fig. 3은 실험 장치를 보여준다. 그림에서 카메라 헤드는 두개의 카메라가 장착되어 있지만 본 실험에서는 하나의 카메라가 추적 실험에 사용되었다.

4.2 실험 결과

다음 Fig. 4는 CCD 카메라로부터 초당 30 프레임의 비율로 획득된 영상을 30프레임마다 캡처한 영상 시퀀스를 보여준다. 영상 크기는 200×200 (pixel)이고, 256 계조도를 가진다. 각 이동 물체의 최대 크기는 각각 $34(W) \times 88(L) \times 46(H)$ (mm, 물체1)와 $34(W) \times 73(L) \times 33(H)$ (mm, 물체2)이며 궤도의 길이는 1320mm이다. 두 물체의 평균 이동 속도는 95mm/sec로 평면 궤적 운동을 한다.

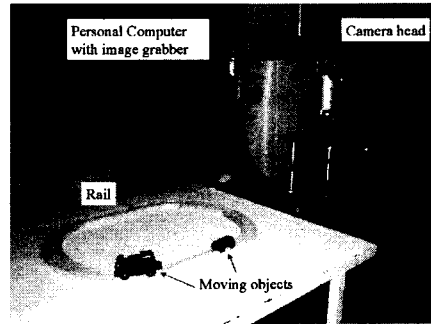


Fig. 3 Experimental setup



Fig. 4 Original images of the moving objects(Every 30 frames)

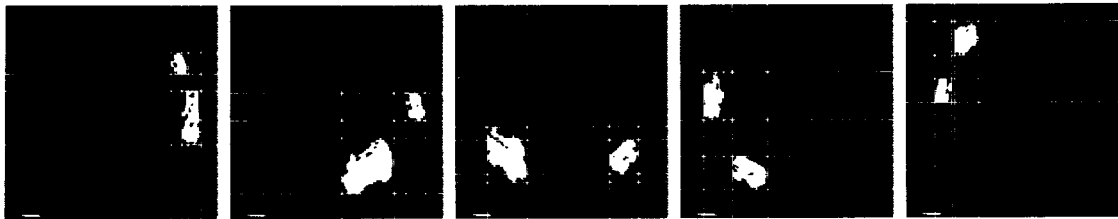


Fig. 5 Segmented images(Every 30 frames)

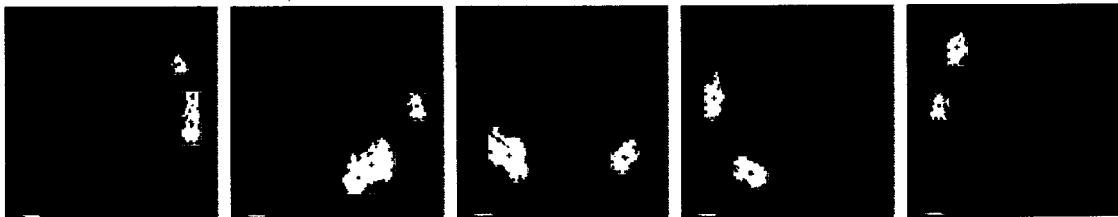


Fig. 6 Tracked objects images(Every 30 frames)

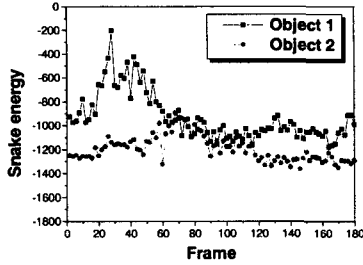


Fig. 7 Transition of the snake energy level

Fig. 5는 원 영상 시퀀스에 대한 이동 물체의 추출 결과를 보여주고 있다. 수평 방향과 수직 방향의 직선들은 signature parsing에 의한 밴드들을 나타내며 사각형의 부영역들을 형성한다. 부영역들 중 사이즈 필터링을 수행한 후 일정 크기 이상의 부영역만을 물체 영역으로 인식하며, 이러한 과정은 물체를 포함하고 있는 부영역이 단지 하나의 물체만을 포함하도록 반복된다. Fig. 6은 제시한 추적 알고리즘에 의한 결과 영상을 보여준다. Fig. 5에서 추출된 물체를 포함하는 부영역의 경계 정보는 스네이크 제어점의 초기화의 도구가 되며, 각 물체에 대한 스네이크 제어점의 개수는 물체를 포함하고 있는 부영역의 경계선 상에 각 직선 당 3개씩 총 12개로 선택하였다. 그림에서 각 물체의 주위에 표시된 회색점들은 수렴된 스네이크 제어점을 표시하고 있으며 이러한 제어점들의 평균값들로부터 계산된 물체의 영상 내 중심 위치는 물체 1에 대해 ■로, 물체 2에 대해 +로 표시되고 있다. 결과 영상들로부터 각 물체의 중심 위치를 나타내는 표시가 일관적으로 유지되고 있음을 관찰할 수 있으며 이로부터 추적 시스템은 대응 문제를 적절히 해결하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 각 물체의 스네이크 에너지 준위의 추이를 보여준다. 각 물체의 스네이크 에너지는 영상 내의 gradient, 조명 조건, 추적체의 형상 및 크기 등에 의해 결정되며, 스네이크 에너지 준위의 변화량은 영상 내 물체의 위치 추이의 변화량과 더불어 앞장에서 제시한 방법에 의해 대응 문제를 해결하게 된다. 각각의 물체에 대해 연속된 두 영상 프레임 당 평균 에너지 변화량은 10-20정도이며 본 실험에서는 이를 감안하여 에너지 변화량에 대한 가중치 w_1 을 1, 위치 구조 변화량에 대한 가중치 w_2 를 10으로 하여 두 변화량에 대한 가중 효과가 동일하도록 변화량 함수 V 를 구성하였다.

각 이동 물체 중심의 영상 내 위치는 수렴된 스네이크 제어점들의 평균 위치값으로부터 계산된다. 이로부터 이동 물체 중심의 영상 내 위치

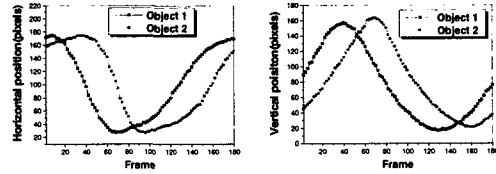


Fig. 8 Position estimation in image frame coordinates

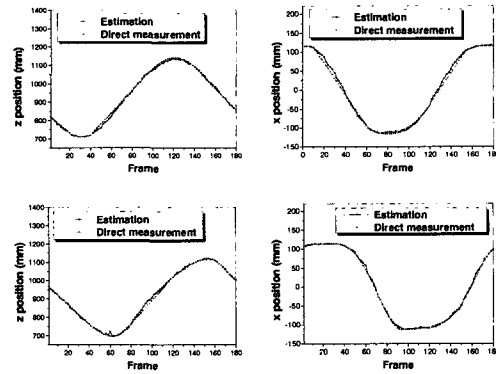


Fig. 9 Position estimation in camera coordinates (above : object1, below : object 2)

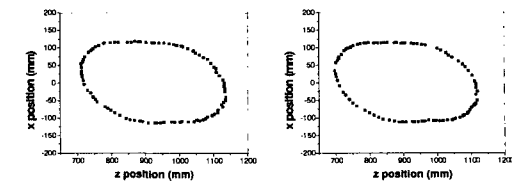


Fig. 10 Trace of object 1(left) and 2(right) in z-x plane

(X,Y)가 계산되며 이의 결과 추이를 Fig. 8에서 보여주고 있다.

Fig. 8의 결과로부터 얻은 각 이동 물체의 영상 프레임 좌표계에서의 위치는 영상 좌표계에서의 위치로 변환되고, 다음으로 카메라 좌표계에서의 위치로 변환된다. Fig. 9는 변환된 카메라 좌표계 상에서의 z위치(depth)와 x 위치의 추정 결과를 보여준다. y축 방향은 캐도면과 수직인 방향이며 3장에서 서술한 바와 같이 고정된 기지의 평면으로 정의되며($y=430\text{mm}$), 카메라 좌표계와 물체의 이동 평면간에는 27° 의 틸트각 ϕ 가 존재한다. 각각의 물체에 대해 추정 위치 결과의 RMS 오차는 2.8mm 정도로 계산되었다.

Fig. 10은 카메라 좌표계에 대하여 각 물체의 z-x 평면(운동 평면)에 대한 이동 궤적을 나타낸다.

5. 결 론

본 연구에서는 임의의 형상을 가진 이동 물체에 대한 추적 시스템을 제시하였으며 실시간 다중 물체 추적 실험을 통해 알고리즘의 타당성과 효율성을 검증하였다. 제시된 추적 시스템은 이동 물체의 추출 과정(extraction process)과 추출된 물체의 추적 과정(tracking process)으로 이루어진다. 실시간 다중 물체 추적 실험에서의 평균 영상처리 속도는 어플리케이션의 지연 요소를 고려하여 초당 15 프레임으로 계산되었으며 이는 서보 시스템이 아닌 경우의 사람, 차량 등의 물체 추적의 경우 실시간 처리 조건을 만족시키고 있다.⁽¹⁸⁾ 또한 추적 성공률은 180 프레임 처리 당 177회로서 98.3%의 추적 성공률을 얻었다. 이로부터 다중 물체에 대해 안정적인 실시간 추적 성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 본 연구로부터 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 추적체의 모델을 구축하지 않고 임의의 형상을 가진 이동 물체 추적 시스템을 제시하였다. 이로부터 물체 영역의 추출로부터 추적체의 존재를 인식하고 추적체 영역을 추출한 후 적용함으로써 추적체 형상을 유추하였다.

(2) 추적의 강건성 확보를 위해 이동 물체 추적 과정에서 스네이크 초기 제어점을 추출된 물체 영역이 포함된 부영역의 경계로 설정함으로써 초기화의 인위적 조작을 피함과 동시에 스네이크의 에너지 계산 과정에서 발산하는 경우를 배제하였다.

(3) 대응 문제의 해결을 위한 도구로서 영상 시퀀스에서의 물체의 위치 구조와 스네이크 에너지 준위를 이용하는 방법을 제시하였고 다중 물체 실험을 통해 이의 효율성을 검증하였다.

(4) 다중 물체 추적 실험을 통해 실시간 추적에 적합한 초당 15 프레임의 처리 속도를 얻었으며 98%의 추적 성공률을 가짐으로써 안정된 추적을 얻었다.

참고문헌

- (1) Weiss, I. and Ray, M., 2001, "Model Based Recognition of 3D Object from Single Image," *IEEE Tran. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, No. 2, pp. 116~128.
- (2) Marchand, E., Bouthemy, P., Chaumette, F. and Moreau, V., 1999, "Robust Real-Time Visual Tracking Using a 2D-3D Model-Based Approach," *Proc. of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, Vol. 1, pp. 262~268.
- (3) Jurie, F., 1997, "Model-Based Object Tracking in Cluttered Scenes with Occlusions," *Proc. of the 1997 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Vol. 2, pp. 886~892.
- (4) Chaumette, F., 1994, "Visual Servoing Using Image Features Defined Upon Geometrical Primitives," *Proc. of the 32nd Conference on Decision and Control*, Vol. 4, pp. 3782~3787.
- (5) Allen, P. K., Yoshimi, B. and Timcenko, A., 1991, "Real Time Visual Servoing," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 851~856.
- (6) Papanikolopoulos, N. P. and Khosla, P. K., 1991, "Feature Based Robotic Visual Tracking of 3-D Translational Motion," *Proc. of the 30th IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 2, pp. 1877~1882.
- (7) Han, K. B. and Baek, Y. S., 1998, "Visual Servo Tracking Strategy Using Time-Varying Kalman Filter Estimation," *Proc. 4th Int. Conference on Motion and Vibration Control*, Zurich, pp. 455~560.
- (8) Jain, J. R. and Jain, A. K., 1981, "Displace Measurement and Its Application in Image Coding," *IEEE Trans. Communications*, Vol. 29, No. 12, pp. 1799~1808.
- (9) Murray, D. and Basu, A., 1994, "Motion Tracking with an Active Camera," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, No. 5, pp. 449~459.
- (10) Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D., 1988, "Snakes : Active Contour Models," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 1, No. 4, pp. 321~331.
- (11) Leymarie, F. and Levine, M. D., 1993, "Tracking Deformable Objects in the Plane Using an Active Contour Model," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 6, pp. 617~634.
- (12) Amini, A. A., Weymouth, T. E. and Jain, R. C., 1990, "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 9, pp. 855~867.
- (13) Jain, R., Kasturi, R. and Schunk, B. G., 1995, *Machine Vision*, McGraw Hill.
- (14) Han, K. B., Yang, J. W. and Baek, Y. S., 2001, "Real Time 3D Motion Estimation Using Vision System," *Proc. of the 32nd International Symposium on Robotics*, pp. 1022~1026.
- (15) Heaton, T., 1989, "Fast Automated Object Detection Using Signature Parsing," *Proceedings of SPIE Intelligent Robot and Computer Vision*, Vol. 1192, pp. 33~42.
- (16) Faugeras, O., 1993, *Three-Dimensional Computer Vision*, The MIT Press.
- (17) Han, K. B., Kim, H. Y. and Baek, Y. S., 2001, "Corridor Navigation of the Mobile Robot Using Image Based Control," *KSME International Journal*, Vol. 15, No. 8, pp. 1097~1107.
- (18) Koller, D., 1994, "Toward Robust Automatic Traffic Scene Analysis in Real-Time," *Proc. of the 12th IAPR International Conference on Computer Vision & Image Processing*, Vol. 1, pp. 126~131.