

투영적 모듈화 능동 형태 모델에 기반한 영상 추적 기법

김 원^{1†}

Visual Tracking Technique Based on Projective Modular Active Shape Model

Won Kim

ABSTRACT

Visual tracking technique is one of the essential things which are very important in the major fields of modern society. While contour tracking is especially necessary technique in the aspect of its fast performance with target's external contour information, it sometimes fails to track target motion because it is affected by the surrounding edges around target and weak edges on the target boundary. To overcome these weak points, in this research it is suggested that PDMs can be obtained by generating the virtual 6-DOF motions of the mobile robot with a CCD camera and the image tracking system which is robust to the local minima around the target can be configured by constructing Active Shape Model in modular base. To show the effectiveness of the proposed method, the experiment is performed on the image stream obtained by a real mobile robot and the better performance is confirmed by comparing the experimental results with the ones of other major tracking techniques.

Key words : Visual tracking, Active shape model, Modular configuration, Snake, Active contour model

요 약

영상 추적 기법은 현대 사회의 주요한 분야에서 필요로 하는 중요한 기술로 여겨지는 핵심 기술 중의 하나이다. 특히 물체의 외곽선 추적은 물체의 외형 정보를 파악하면서 빠른 추적을 할 수 있다는 측면에서 필요한 기술인데, 목표물 주변의 에지에 영향을 받기 쉬우며 연약 에지가 발생하였을 때 추적에 실패하는 경우가 발생한다. 이를 극복하기 위하여 이 연구에서는 카메라가 장착된 이동 로봇의 6자유도 운동을 가상적으로 발생시켜 PDM을 얻어내고, 이를 기반으로 모듈적으로 능동 형태 모델을 구성하여 추적 시스템을 설계하여 보다 극복적 최소점에 대하여 강인한 특성을 갖는 영상 추적기를 제안한다. 제안된 방법의 유효성을 보이기 위하여 실제 이동 로봇에서 관측되는 영상에 대하여 영상 추적 실험을 수행하였으며, 이를 다른 주요한 기법들과 비교하여 그 우수성을 확인하였다.

주요어 : 영상 추적, 능동 형태 모델, 모듈화 구성, 항법, 스네이크, 능동 등고선 모델

1. 서 론

오늘날 영상 추적 기술은 산업 현장에서 자동화 시스템의 핵심적인 역할을 담당할 뿐만 아니라 지능형 서비스 로봇과 무인 항법 시스템 등의 기본 센서로서 앞으로 이 분야의 시장이 활성화될 때 그 필요성이 더욱 증대되기에 매우 중요한 기술이라 할 수 있다. 영상 추적의 결과는 물

체의 3차원 복원, 영상 기반 항법(Navigation) 등에 활용될 수 있어 안정적인 영상 추적 기법 연구는 차세대 비전 시스템의 핵심 요소로 떠오른다(Blake 등, 1992; Trucco 등, 1998).

1.1. 기존 연구 검토

물체의 외곽선(Boundary)를 추적하는 기법은 에지(Edge) 정보를 기반으로 물체의 외형 정보를 영상 프레임에서 빠른 속도로 실시간으로 추출할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 갖는다. 이를 위하여 스네이크(Snake)라고도 불리는 능동 등고선 모델(Active Contour Model, ACM)이 Kass 등에 의하여 제안되었는데, 이 기법은 영상을 에너지

2009년 3월 6일 접수, 2009년 6월 6일 채택

¹⁾ 우송대학교 컴퓨터정보학과 교수

주 저 자 : 김 원

교신저자 : 김 원

E-mail: kimwon@wsu.ac.kr

공간으로 변환하여 에너지 최소화 과정을 통하여 목표 물체의 외곽선을 추출하는 방법이다(Kass 등, 1988). Amini 등(1990)은 이 최소화 과정을 기존의 변분법이 아닌 동적 프로그래밍 방식(Dynamic programming)으로 접근하였으며, Leymaire 등(1993)은 아메바와 같은 신축성 물체를 추적하는 데에 적용하며 그 수렴성(Convergence)을 증명하였다. Xu 등(1998)은 경사벡터흐름(Gradient Vector Flow, GVF)를 외부 에너지로 적용하여 좁은 에지 영역에 스네이크 노드(Node)가 물리는 현상을 해결하며 3차원 물체 모델링에 적용하였다. 한편, Caselles 등(1997)은 수준 집합(Level set) 이론을 기반으로 하는 측지 능동 등고선(Geodesic Active Contour)을 제안하였고, Paragios 등(2000)은 측지 능동 등고선 기법을 이동 물체의 검지 및 추적에 적용하였으며, Goldenberg 등(2001)은 가법 연산자 분할(Additive operator splitting) 방식을 적용하여 빠르게 수렴하는 모델을 제안하였다. 대부분의 측지 능동 등고선은 동작하는 중에 재 초기화(Re-initialization) 과정이 필요한데, Li 등(2005)은 경사 흐름 방식을 이용하여 재 초기화 없이 동작하는 방법을 제안하였다.

2.2 문제점 분석

이러한 등고선 모델 들을 실제 영상 추적에 적용할 경우 여러가지 문제점이 발생하여 추적의 질을 떨어뜨릴 수 있는데, 그 중 하나가 그림 1에 나타난 복잡한 배경이 존재하는 경우이다. 점으로 나타난 것이 불연속 공간에서 표현할 수 있는 스네이크의 노드이다. 현재 프레임(Frame)에서 정확하게 추적 목표물(Target)의 외곽선을 찾았다고 하더라도 배경에 강한 에지들이 복잡하게 존재한다면 이 배경 에지들이 비교적 강한 에너지 값을 갖게 되어, 다음 프레임에서는 이전 프레임의 추적 결과에서 시작하여 목표물의 외곽선을 탐색하므로 추적에 어려움이 발생할 가능성이 높다. 그림 2는 이 문제를 나타낸 것으로서 물체의 상부에 급격한 조명의 변화로 국부적으로 연약에지가 발생한 것을 예로 든 것이다. 이 부분에서는 에지가 약하므로 이미지 에너지(Image energy)가 곡률 에너지(Curvature

energy)보다 상대적으로 적어지게 되어 스네이크는 물체 안쪽으로 들어가는 현상을 보이게 된다.

또 다른 문제로는 연속적인 영상들이 들어올 때 조명의 변화 또는 물체의 반사 정도가 갑작스럽게 변하여 발생할 수 있는 국부적 연약 에지를 들 수 있다(그림 2).

이외에도 등고선 모델을 추적에 적용하는 데 있어서 여러 가지 문제점들이 존재하는데, 이 연구에서는 강체(Rigid object)에 대한 외곽선 추적을 목표로 하므로 목표물의 외형 정보를 시스템에 내재하는 추적 모델이 적합하다고 볼 수 있다. Cootes 등(1995, 1996, 1998)은 능동 형태 모델(Active Shape Model, ASM)이라는 형태 기반 추적 모델을 제안하였는데, 이것은 점 분산 모델(Point Distribution Model, PDM)이라 불리는 일종의 형태 변화 정보를 갖는 데이터베이스에 대하여 주요 요소 분석(Principal Component Analysis, PCA) 기법을 적용함으로써 고유벡터와 고유값을 추출하여 형태를 재구성하는 모델이다. Ginneken 등(2002)은 kNN 분류기(Classifier)를 이용하여 최적의 특징점을 갖는 ASM을 설계하였으며, Sukno 등(2007)은 비선형 모델을 기반으로 하는 선형 ASM을 일반화하는 데에 성공하였다. 그러나 ASM을 물체 추적에 적용하는 데 있어서 전제되는 점은 기 확보된 PDM에 대하여 모델을 구성한다는 것인데, 추적에 있어서 목표 물체의 PDM을 사전에 예측하여 모델을 구성할 필요성이 있다. 이에 따라 Kim 등(2005)은 물체의 외곽선이 변화할 부분을 사전에 예측하여 PDM을 구성한 후 PCA를 통해 얻어지는 고유벡터 및 고유값 정보들 중에서 필요한 것들만 선택적으로 선정하고 모듈화하여 구성하는 모듈화 능동 형태 모델(MSAM)을 제안하였고, 이 결과를 물체 추적에 적용하였다. 그러나 이 PDM을 구성하는 데 있어서 휴리스틱(Heuristic)한 방식을 사용하였기 때문에 보다 일반화되고 체계적인 PDM 구성 기법이 필요하다. 이에 따라 이 연구에서는 물체가 카메라 시스템의 수학적 모델로서 영상에 표현된다는 점에 착안하여 물체의 변화 정보를 갖는 PDM을 투영적(Projective) 기법으로 발생시

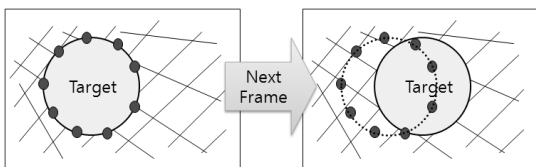


그림 1. 복잡한 배경 에지 문제
Fig. 1. Cluttered edge background problem

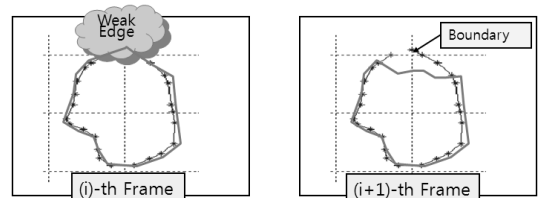


그림 2. 국부적 연약 에지 문제
Fig. 2. Local weak edge problem

켜 모듈화 구성을 하는 투영적 모듈화 능동 형태 모델(PMSAM)을 제안한다.

2장에서는 이러한 투영적 PDM 발생 기법에 대해서 설명하고, 3장에서는 투영적 PDM을 기반으로 능동 형태 모델을 모듈화 구성을 하며, 4장에서는 PMASM을 기반으로 하는 영상 추적 시스템을 구축한다. 5장에서는 이 영상 추적 시스템을 실제 이동 로봇이 취득한 영상에 대하여 실험적으로 적용하고 기존의 연구 결과와 비교하며, 6장에서는 결론 및 고찰을 통해 연구를 맺는다.

2. 투영적 PDM 구성 기법

2.1 가상 모션 발생 기법

능동 형태 모델은 형태 정보를 기반으로 하는 반복적 맞춤(Iterative fitting) 알고리즘으로서, 이 모델의 PDM을 구성하는 i 번째 형태, \mathbf{x}_i 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{x}_i = [x_{i1}, y_{i1}, x_{i2}, y_{i2}, \dots, x_{ij}, y_{ij}, \dots, x_{im}, y_{im}]^T \quad (1)$$

여기서 x_{ij}, y_{ij} 는 i 번째 형태(Shape)에서 총 m 개의 표지(Landmark) 중 j 번째 표지의 x, y 축 좌표를 의미한다. 문제는 물체의 형태 변화를 내포하는 이 PDM을 어떻게 구축하는가에 대한 방법인데, 여기서 다루려고 하는 것은 강체에 대한 추적이므로 영상에 투영되는 형태의 변화는 카메라 시스템의 수학적 모델과 관련이 있게 된다.

그림 3에는 카메라 좌표계와 기준좌표계(World coordinate)를 나타내고 있다. 이미지상의 한 점을 $\mathbf{x} = [u, v, w]^T$ 로 표현할 때, 이에 대응되는 3차원 공간상의 좌표는 $\mathbf{X} = [x, y, z, 1]^T$ 로 나타내어진다. 이 두점사이의 관계는 알려진 바와 같이 다음과 같이 표현된다(Jain, 1989).

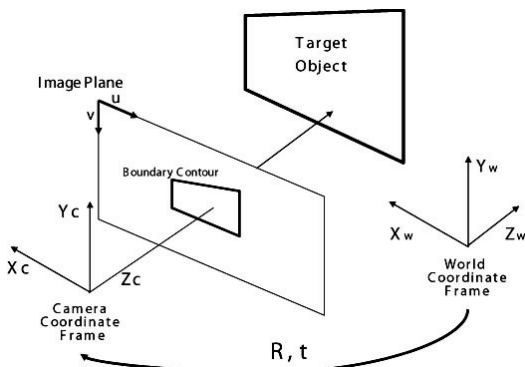


그림 3. 카메라 좌표계
Fig. 3. Camera coordinate system

$$\mathbf{x} = P_c \cdot \mathbf{X} \quad (2)$$

여기서 P_c 는 카메라의 투영행렬(Projection matrix)이며, 이것은 다시 내부행렬(Internal matrix), M_{int} 와 외부행렬(External matrix), M_{ext} 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$P_c = M_{int} \cdot M_{ext} = M_{int} \cdot [R \quad \mathbf{t}] \quad (3)$$

물체추적을 수행하는 동안 일반적으로 카메라의 초점(Focus) 변수는 상수로 볼 수 있으며, 영상에 투영되는 물체의 외곽선의 변화는 3차원 공간상에 실제 존재하는 물체와의 병진위치 정보(\mathbf{t})와 회전정보(R)에 따르게 된다.

따라서, 그림 4에 나타낸 바와 같이 R 과 \mathbf{t} 를 변화함으로써 가상 모션을 발생시켜 투영되는 물체의 외곽선의 변화를 발생시킬 수 있으며, 이 변화 정보들을 PDM으로 구성하여 모듈화 ASM을 설계할 수 있는 토대를 마련할 수 있게 된다. 식 (2)에서 \mathbf{t} 항에 $\Delta \mathbf{t}$ 의 변화분을 인가하여 가상 병진 운동(Translational motion)을 발생시켜 x, y, z 방향의 병진운동 PDM을 구축하고, 또한 R 항에 ΔR 의 변화분을 인가하여 가상 회전 운동(Rotational motion)을 발생시켜 투영적으로 x, y, z 방향의 회전운동 PDM을 구축하는 개념이다.

2.2 병진 운동에 대한 투영적 PDM

그림 5에는 병진 운동에 대한 PDM을 발생시키는 개념을 나타내었다. 카메라 좌표계를 가상적으로 병진운동을 시킴으로써 이미지 평면상의 물체의 외곽선이 영상에

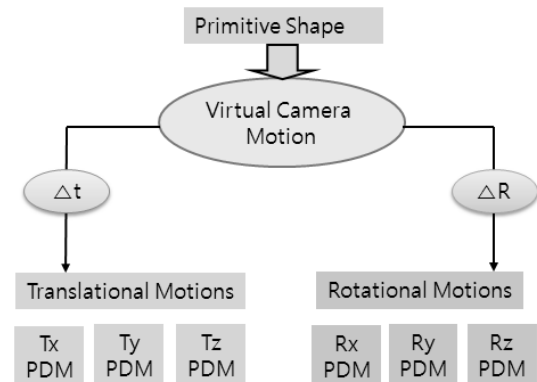


그림 4. 가상 모션의 발생 개념
Fig. 4. Concept of virtual motion generation

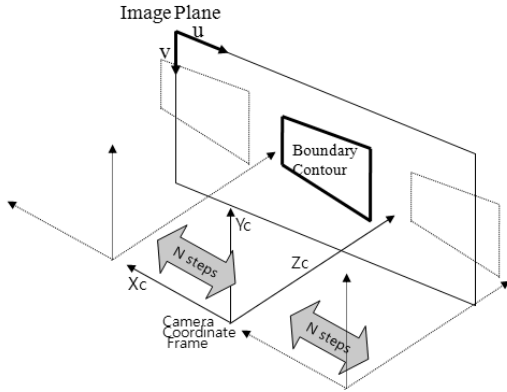


그림 5. x축 병진 방향 투영적 PDM 발생 개념
Fig. 5. Concept of generating translational projective PDM in x-axis direction

서 병진 운동하는 효과를 얻어내어 이를 병진운동 PDM으로 구축하는 개념이다.

한 외곽선 컨투어(Boundary contour)를 m개의 대표점(Landmark)으로 표현할 경우, 이 점들에 대한 3차원 좌표계에 대한 표현식 X_w 는 다음과 같다.

$$X_w = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_i & \dots & X_m \\ Y_1 & Y_2 & \dots & Y_i & \dots & Y_m \\ Z_1 & Z_2 & \dots & Z_i & \dots & Z_m \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 X_i , Y_i , Z_i 는 i 번째 대표점에 대한 x , y , z 축 상의 3차원 좌표점을 의미한다. 이 3차원 공간상의 점들과 외곽선 컨투어와의 관계는 식 (3)을 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$x = M_{int} \cdot M_{ext} \cdot X_w \quad (5)$$

여기서 외부행렬 M_{ext} 는 다음과 같이 R 과 t 항으로 구성된다.

$$M_{ext} = \begin{bmatrix} R & t \\ r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 때, x 축에 대한 병진 운동의 투영적 PDM을 x^{Tx} 라고 하고 이를 먼저 유도해보자. x^{Tx} 은 x 축 병진운동에 대한 외곽선 형태 변화 정보를 보유하고 있는 PDM으로서, 현재의 x 축 상의 기준좌표로부터 +, - 방향으로 각각

N 개의 단계로 카메라 좌표계를 병진운동 시킬 경우 총 $2N+1$ 개의 형태 변화를 얻을 수 있게 된다. 여기서 x 축 방향 변화량 Δx 에 대한 i 번째 형태 변화를 \tilde{x}_i^{Tx} 라고 하면, 이를 얻기 위하여 식 (6)의 M_{ext} 에서 t_x 를 t_x^i 로 바꾸어 \tilde{M}_{ext}^i 로 다음과 같이 표현한다.

$$\tilde{M}_{ext}^i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x^i \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 t_x^i 는 변화량 Δx 을 반영하기 위하여 다음과 같이 정의된다.

$$t_x^i = t_x + (i - N - 1) \cdot \Delta x \quad (8)$$

결과적으로 \tilde{x}_i^{Tx} 는 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_i^{Tx} &= M_{int} \cdot \tilde{M}_{ext}^i \cdot X_w \\ &= \begin{bmatrix} u_{i1} & u_{i2} & \dots & u_{im} \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & v_{im} \\ w_{i1} & w_{i2} & \dots & w_{im} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

그러나, \tilde{x}_i^{Tx} 는 그 크기가 $(3 \times m)$ 으로서 나중에 능동 형태 모델에서 다루려면 그 형태가 적절하지 않으므로 $(2m \times 1)$ 으로 아래의 수식과 같이 x_i^{Tx} 으로 변환한다.

$$x_i^{Tx} = [u_{i1}/w_{i1}, v_{i1}/w_{i1}, u_{i2}/w_{i2}, v_{i2}/w_{i2}, \dots, u_{im}/w_{im}, v_{im}/w_{im}] \quad (10)$$

이와 같은 방법으로 $i = 1, \dots, (2N+1)$ 에 대하여 x 축 방향의 형태 변화를 구하여 PDM을 구축하면, x^{Tx} 은 $2m \times (2N+1)$ 의 크기로서 다음과 같이 얻어진다.

$$x^{Tx} = [x_1^{Tx} \ x_2^{Tx} \ \dots \ x_{2N+1}^{Tx}] \quad (11)$$

다음으로는 y 축에 대한 병진 운동의 투영적 PDM을 y^{Ty} 라고 하고 이를 동일한 방식으로 유도해보자. 이를 위하여 M_{ext} 에서 t_y 를 t_y^i 로 바꾸어 \tilde{M}_{ext}^i 로 다음과 같이 표현한다.

$$\tilde{M}_{ext}^i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y^i \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서 t_y^i 는 변화량 Δy 을 반영하기 위하여 다음과 같

이 정의된다.

$$t_y^i = t_y + (i - N - 1) \cdot \Delta y \quad (13)$$

따라서, $\tilde{\mathbf{x}}_i^{Ty}$ 는 다음의 수식에 의하여 얻어진다.

$$\tilde{\mathbf{x}}_i^{Ty} = \mathbf{M}_{int} \cdot \tilde{\mathbf{M}}_{ext}^i \cdot \mathbf{X}_w \quad (14)$$

유사한 방법으로 $(2m \times 1)$ 크기를 갖는 \mathbf{x}_i^{Ty} 로 변환하고, 이를 $i = 1, \dots, (2N+1)$ 에 대하여 y 축 방향의 형태 변화를 구하여 PDM을 구축하면, \mathbf{x}^{Ty} 은 $2m \times (2N+1)$ 의 크기로서 다음과 같이 얻어진다.

$$\mathbf{x}^{Ty} = [\mathbf{x}_1^{Ty} \mathbf{x}_2^{Ty} \dots \mathbf{x}_{2N+1}^{Ty}] \quad (15)$$

마지막으로 z 축에 대한 병진 운동의 투영적 PDM을 \mathbf{x}^{Tz} 라고 할 때, 이를 얻기 위하여 t_z^i 와 Δz 를 정의하고 유사한 방법을 적용하면 다음과 같은 형태의 \mathbf{x}^{Tz} 가 나타난다.

$$\mathbf{x}^{Tz} = [\mathbf{x}_1^{Tz} \mathbf{x}_2^{Tz} \dots \mathbf{x}_{2N+1}^{Tz}] \quad (16)$$

2.3 회전 운동에 대한 투영적 PDM

이 절에서는 회전 운동에 대한 투영적 PDM을 구축하는 방법에 대해 다룬다. 그림 6에는 일례로서 카메라 좌표계를 z 방향으로 회전하여 형태변화를 가상적으로 일으키는 개념을 나타내었는데, 이와 같은 방식으로 회전방향에 대한 투영적 PDM을 구축하게 된다.

병진 운동의 PDM을 구축하기 위하여 식 (5)의 \mathbf{M}_{ext}

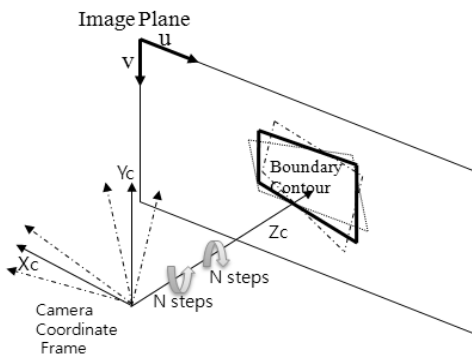


그림 6. z축 회전 방향 투영적 PDM 발생 개념

Fig. 6. The concept of generating rotational projective PDM in z-axis direction

내부의 변수 t_x, t_y, t_z 를 조작하였던 것과는 달리, 회전 각도 변수를 독립적으로 조절하기 위해서는 먼저 \mathbf{M}_{ext} 내부의 회전 행렬 \mathbf{R} 을 x, y, z 방향의 연속적인 표현으로 분할하여 다음과 같이 나타내어야 한다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{R}_y(\theta_y) \cdot \mathbf{R}_z(\theta_z) \quad (17)$$

여기서 $\mathbf{R}_x, \mathbf{R}_y, \mathbf{R}_z$ 는 각각 다음의 수식 (18)~(20)과 같다.

$$\mathbf{R}_x(\theta_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 \cos \theta_x & -\sin \theta_x & \\ 0 \sin \theta_x & \cos \theta_x & \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\mathbf{R}_y(\theta_y) = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\mathbf{R}_z(\theta_z) = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

먼저 x 방향을 기준으로 가상적 회전 운동을 하였을 때 얻어질 수 있는 형태 변화 정보를 데이터베이스로 구축한 PDM을 \mathbf{x}^{Rx} 라 정의하고 이것을 유도해보자. 이를 위해서 카메라 좌표계를 x 축을 중심으로 하여 +, - 방향으로 각각 N 개의 단계로 회전 운동 시킴으로써 총 $2N+1$ 개의 형태 변화를 얻을 수 있게 된다. 여기서 x 축 중심 회전 방향의 변화량 $\Delta \theta_x$ 에 대한 i 번째 형태 변화를 $\tilde{\mathbf{x}}_i^{Rx}$ 라고 하면, 이를 얻기 위하여 식 (18)의 $\mathbf{R}_x(\theta_x)$ 에서 θ_x 를 θ_x^i 로 바꾸어 $\mathbf{R}_x^i(\theta_x^i)$ 로 다음과 같이 표현한다.

$$\mathbf{R}_x^i(\theta_x^i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 \cos \theta_x^i & -\sin \theta_x^i & \\ 0 \sin \theta_x^i & \cos \theta_x^i & \end{bmatrix} \quad (21)$$

이 때, θ_x^i 는 다음과 같이 정의된다.

$$\theta_x^i = \theta_x + (i - N - 1) \cdot \Delta \theta_x \quad (22)$$

따라서, i 번째 형태 변화를 위한 회전 변수를 \mathbf{R}^i 라 할 때, 이것은 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{R}^i = \mathbf{R}_x^i(\theta_x^i) \cdot \mathbf{R}_y(\theta_y) \cdot \mathbf{R}_z(\theta_z) \quad (23)$$

이에 따라 i 번째 형태 변화를 위한 외부 행렬도 다음과

같이 표현된다.

$$\mathbf{M}_{ext} = [\mathbf{R}^i \quad \mathbf{t}] \quad (24)$$

유도된 수식 (21)~(24)를 이용하여, x 축을 기준 회전 운동에 대한 i 번째 형태 변환인 $\widetilde{\mathbf{x}}_i^{Rx}$ 를 얻기 위한 맵핑 (Mapping) 방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\widetilde{\mathbf{x}}_i^{Rx} = \mathbf{M}_{int} \cdot \widetilde{\mathbf{M}}_{ext}^i \cdot \mathbf{X}_w \quad (25)$$

$\widetilde{\mathbf{x}}_i^{Rx}$ 는 그 크기가 $(3 \times m)$ 으로서 능동 형태 모델에서 다루기 위하여 식 (10)과 같은 방법으로 $(2m \times 1)$ 형태로 변환하여 \mathbf{x}_i^{Rx} 을 얻을 수 있다. 이와 같은 방법으로 $i = 1, \dots, (2N+1)$ 에 대하여 x 축을 기준으로 하는 회전 방향의 형태 변화를 구하여 PDM을 구축하면, \mathbf{x}^{Rx} 은 $2m \times (2N+1)$ 의 크기로서 다음과 같이 얻어진다.

$$\mathbf{x}^{Rx} = [\mathbf{x}_1^{Rx} \quad \mathbf{x}_2^{Rx} \quad \dots \quad \mathbf{x}_{2N+1}^{Rx}] \quad (26)$$

다음으로는 y 방향을 기준으로 가상적 회전 운동을 하였을 때 얻어질 수 있는 형태 변화 정보를 데이터베이스로 구축한 PDM을 \mathbf{x}^{Ry} 라 정의하고 이것을 유도해보자. 이를 위하여, y 방향에 대한 독립적인 가상적 회전을 발생시킬 수 있도록 다음의 회전 행렬을 정의할 수 있다.

$$\mathbf{R}^i = \mathbf{R}_x(\theta_x) \cdot \mathbf{R}_y(\theta_y^i) \cdot \mathbf{R}_z(\theta_z) \quad (27)$$

여기서 $\mathbf{R}_y^i(\theta_y^i)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있으며

$$\mathbf{R}_y^i(\theta_y^i) = \begin{bmatrix} \cos\theta_y^i & 0 & \sin\theta_y^i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_y^i & 0 & \cos\theta_y^i \end{bmatrix} \quad (28)$$

θ_y^i 는 다음의 수식으로 정의된다.

$$\theta_y^i = \theta_y + (i - N - 1) \cdot \Delta\theta_y \quad (29)$$

이와 같은 방법으로 $i = 1, \dots, (2N+1)$ 에 대하여 y 축을 기준으로 하는 회전 방향의 형태 변화를 구하여 PDM을 구축하면, \mathbf{x}^{Ry} 은 $2m \times (2N+1)$ 의 크기로서 다음과 같이 얻어진다.

$$\mathbf{x}^{Ry} = [\mathbf{x}_1^{Ry} \quad \mathbf{x}_2^{Ry} \quad \dots \quad \mathbf{x}_{2N+1}^{Ry}] \quad (30)$$

같은 방식으로 θ_z^i , $\mathbf{R}_z^i(\theta_z^i)$ 를 정의함으로써 $i = 1, \dots,$

$(2N+1)$ 에 대하여 z 축을 기준으로 하는 회전 방향의 형태 변화를 PDM으로 구축하여 \mathbf{x}^{Rz} 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}^{Rz} = [\mathbf{x}_1^{Rz} \quad \mathbf{x}_2^{Rz} \quad \dots \quad \mathbf{x}_{2N+1}^{Rz}] \quad (31)$$

3. 투영적 모듈화 능동 형태 모델

모델 형태의 변화 정보를 담고 있는 데이터베이스라 할 수 있는 PDM을 기대하는 움직임에 따라 각각 발생하고 구축하였다면, 그 다음 단계는 능동 형태 모델(Active Shape Model, ASM)을 설계하는 것이다. 기존의 ASM은 주어진 PDM에 대해서만 PCA 기법을 적용하여 설계하였으나, 서로 다른 PDM에 대하여 PCA 기법을 적용하여 그 결과를 모듈적으로 구성하는 기법인 MASM(Modular Active Shape Model)이 제안되었으며(Kim 등, 2005), 여기서는 더 나아가 카메라 영상에 투영되는 강체 물체의 변화를 반영할 수 있도록 투영적 관계(Projective Relation)를 고려하여 PDM을 구성하고 MASM을 구성하는 투영적 모듈화 능동 형태 모델(Projective Modular Active Shape Model)을 설계한다.

그림 7에는 PMASM의 구성 개념을 나타내었다. PDM을 투영적 관계를 이용하여 6개의 운동 방향별로 각각 독립적으로 발생하여 구축하고, 이를 PCA 기법을 적용하여 주된(Dominant) 고유벡터와 고유값들을 추출한다. 운동 방향별로 따라 독립적으로 PDM을 구축하였기에 각 PDM별로 주된 고유벡터와 그에 대응하는 고유값은 하나씩만 추출하면 된다. 이 고유벡터와 고유값은 각각의 운동 방향에 따른 형태 변화 정보를 내포하고 있다. 이 고유벡터와 고유값들을 취하여 모듈적으로 구성하면 형태변

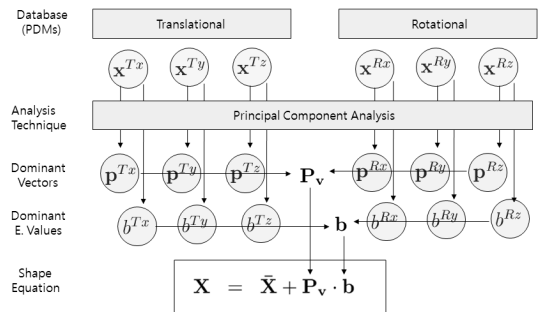


그림 7. 투영적 모듈화 능동 형태 모델 구성 개념
Fig. 7. Configuration concept of Projective Modular Active Shape Model

화를 6개의 운동방향별로 독립적으로 제어할 수 있는 형태방정식(Shape equation)을 얻을 수 있게 된다.

형태 방정식을 수학적으로 나타내기 위하여 먼저 한 형태를 식 (1)과 같이 정의하고, 이 형태의 원형 형태(Primitive shape)를 \bar{X} 라고 지칭한다. 그리고, 식 (11), (15), (16)과 같이 구성된 병진 운동 PDM인 \mathbf{x}^{Tx} , \mathbf{x}^{Ty} , \mathbf{x}^{Tz} 에 대한 PCA 분석을 통해 얻어진 x , y , z 축 방향의 고유벡터를 각각 \mathbf{p}^{Tx} , \mathbf{p}^{Ty} , \mathbf{p}^{Tz} 라고 정의하고, 이에 대응하는 고유값을 각각 b^{Tx} , b^{Ty} , b^{Tz} 라고 정의한다. 한편 식 (26), (30), (31)과 같이 구성된 회전 운동에 대한 PDM인 \mathbf{x}^{Rx} , \mathbf{x}^{Ry} , \mathbf{x}^{Rz} 에 대한 PCA 분석을 통해 얻어진 x , y , z 축 방향의 고유벡터를 각각 \mathbf{p}^{Rx} , \mathbf{p}^{Ry} , \mathbf{p}^{Rz} 라고 정의하고, 이에 대응하는 고유값을 각각 b^{Rx} , b^{Ry} , b^{Rz} 라고 정의할 때, 투영적 모듈화 능동 형태 모델(PMASM)의 형태 방정식은 다음과 같다.

$$\mathbf{X} = \bar{\mathbf{X}} + \begin{bmatrix} \mathbf{p}^{Tx} & \mathbf{p}^{Ty} & \mathbf{p}^{Tz} & \mathbf{p}^{Rx} & \mathbf{p}^{Ry} & \mathbf{p}^{Rz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b^{Tx} \\ b^{Ty} \\ b^{Tz} \\ b^{Rx} \\ b^{Ry} \\ b^{Rz} \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$= \bar{\mathbf{X}} + \mathbf{P}_v \cdot \mathbf{b}$$

이때, \mathbf{P}_v 는 고유벡터를 정렬한 행렬로서 다음과 같다.

$$\mathbf{P}_v = [\mathbf{p}^{Tx} \ \mathbf{p}^{Ty} \ \mathbf{p}^{Tz} \ \mathbf{p}^{Rx} \ \mathbf{p}^{Ry} \ \mathbf{p}^{Rz}] \quad (33)$$

이때, \mathbf{b} 는 고유값을 정렬한 벡터로서 다음과 같다.

$$\mathbf{b} = [b^{Tx} \ b^{Ty} \ b^{Tz} \ b^{Rx} \ b^{Ry} \ b^{Rz}]^T \quad (34)$$

이렇게 구성된 PMASM은 원형 형태를 기준으로 이미 지 평면상에서 회전 운동과 병진 운동에 대한 형태 변화를 각 축에 대해 독립적으로 만들어낼 수 있다는 장점이 있어 강체에 대한 영상 추적에 유리한 측면이 있다. 또한 모듈화 구성이 가능하기 때문에 예상되는 물체의 운동성에 따라 필요한 요소들로만 형태 방정식을 구성할 수 있기에 영상 추적 시스템의 자원(Resource)을 최적화할 수 있기도 하다.

예를들면 2차원 물체가 원형 회전판에서 회전하고 있고 카메라의 영상 원점이 이 회전축에 일치한다고 가정할 때, 이 회전판 위의 물체를 추적하는 추적시스템의 형태 방정식은 다음과 같이 구성할 수 있다.



그림 8. 추적 대상
Fig. 8. Target Object

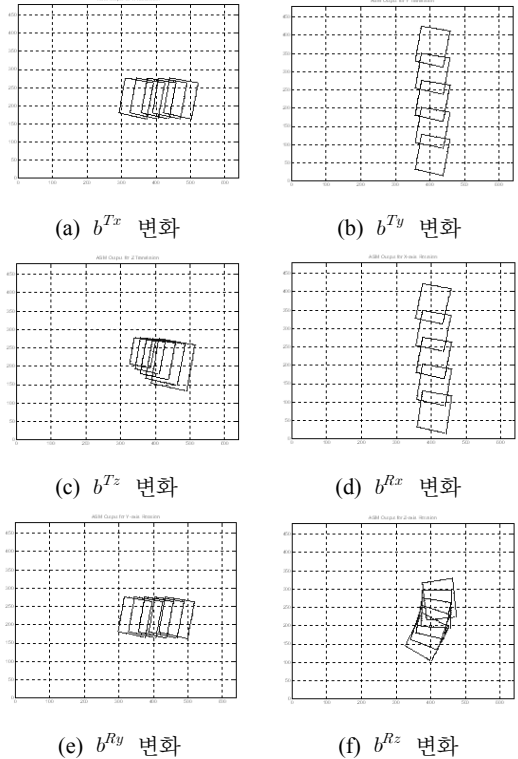


그림 9. 고유값 변화에 따른 형태 제어
Fig. 9. Shape control dependent on eigenvalue variation

$$\mathbf{X} = \bar{\mathbf{X}} + b^{Rz} \cdot \mathbf{p}^{Rz} \quad (35)$$

PMASM의 운동 방향에 따른 독립적 형태 변화 제어 성을 보이기 위하여 그림 8에 추적 대상의 예를 나타내었다. 그림 중앙의 직사각형 물체의 외곽선을 추적 대상의 원형 모델로 잡고 75개의 대표점으로서 표현하여 PDM을 구성한 후, PCA를 적용하여 식 (32)와 같은 형태 방정식을 구성한다. 이 때 식 (34)의 고유값 b^{Tx} , b^{Ty} , b^{Tz} , b^{Rx} , b^{Ry} , b^{Rz} 들을 각각 독립적으로 변화시킬 때 원형 모델이 각 운동 방향에 대하여 제어가 가능한데, 그림 9에는 이

와 같은 고유값 변화에 따른 독립적인 형태 변화를 나타내었다.

4. 영상 추적 시스템 구축

여태까지 PMASM을 기반으로 하는 형태방정식을 얻었기 때문에, 이 단계에서는 PMASM을 이용한 영상 시스템을 구축한다. 영상시스템을 구축하기에 앞서 다음의 가정을 먼저 수립하고 시스템 설계 단계로 나아간다.

- 물체의 외곽선에 대한 식 (4)로 표현되는 3차원 좌표 점 X_m 는 미지의 변수이다.
- 카메라의 외부 변수 M_{ext} 는 미지의 행렬이다.
- 카메라의 내부 변수 M_{int} 는 적절한 캘리브레이션 (Calibration)으로 그 정보를 알고 있다.

위와 같은 가정은 타당한데, 특히 세 번째 가정은 물체 추적을 위하여 카메라를 구입할 때 제조사가 M_{int} 정보를 제공하고 있고, 알려진 캘리브레이션 절차로 비교적 쉽게 내부 변수 정보를 얻을 수 있기 때문에 적절한 가정이다. 그림 10에는 PMASM을 기반으로 설계된 영상 추적 시스템의 구성을 나타내었다. 이 영상 시스템의 상세한 추적 절차는 다음의 절로 나누어서 세부적으로 설명한다.

4.1 이전 추적 결과의 처리

카메라의 외부 행렬과 3차원 공간 좌표점들은 형태 방정식에서 필요한 정보들인데, 이를 복원하기 위해서는 기본행렬(Fundamental matrix) F 가 먼저 계산되어야 한다. F 를 계산하려면 최소한 두 개의 대응되는 물체의 외곽선 정보가 필요한데, 여기서 현재의 i 번째 프레임에 기준으

로 이전의 두 개 프레임에 대한 외곽선 추적 결과를 각각 X_{node}^{i-1} , X_{node}^{i-2} 로 정의한다.

4.2 기본행렬 F 의 계산

현재의 i 번째 프레임에 기준으로 이전의 두 개 프레임에 대한 외곽선 추적 결과인 각각 X_{node}^{i-1} , X_{node}^{i-2} 을 이용하여 기본행렬 F 를 계산한다. 기본행렬 F 계산은 이전 연구 결과에서 많이 다루었으며(Hartley 등, 2000; Zhang 등, 1997), Torr 등(2002)은 비선형 방식들을 제안하였다.

4.3 카메라 행렬의 계산

기본행렬 F 가 계산되었기 때문에, 현재의 i 번째 프레임을 기준으로 이전의 두 프레임에 대한 카메라 행렬인 P^{i-1} , P^{i-2} 를 다음과 같이 계산할 수 있다(Hartley 등, 2000; Torr 등, 2002).

$$\begin{aligned} P^{i-2} &= [I|0] \\ P^{i-1} &= [e^T]_x F + e^T v^T | \lambda e^T \end{aligned} \tag{36}$$

여기서 v 는 임의의 (3×1) 벡터이고, e^T 는 $(i-1)$ 번째 프레임에서의 에피폴(Epipole)이며, λ 는 0이 아닌 스칼라 값이다.

4.4 3차원 공간점 복원

이전 두 프레임의 외곽선 추적 결과인 X_{node}^{i-1} , X_{node}^{i-2} 의 정보가 있고 그에 대응하는 카메라 행렬 P^{i-1} , P^{i-2} 을 계산하였기 때문에, 이미지 상의 물체의 외곽선에 대한 3차원 공간상의 복원이 동차 공간(Homogeneous space) 상에서 가능하다. 여기서는 계산량을 최소화하기 위해서

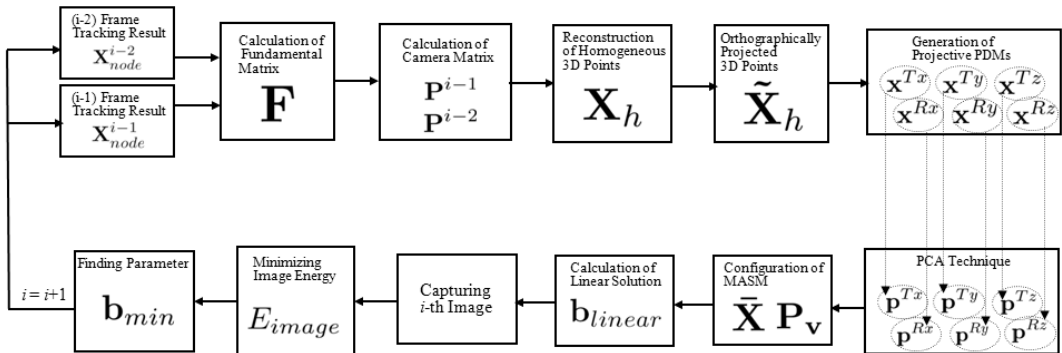


그림 10. PMASM 기반의 영상 추적 시스템
Fig. 10. Image tracking system based on PMASM

선형 삼각법(Linear triangulation method)를 적용하여 계산하고 X_h 라고 지칭한다(Hartley 등, 2000; Torr 등, 2002).

4.5 X_h 의 직각 투영(Orthographic projection)

3차원 공간점 X_h 는 동차 공간 상에서 복원되었기 때문에 한 평면에 존재하지 않을 수도 있다. PDM을 구성하기 위하여 이 점을 영상에 재 투영할 경우 왜곡이 생길 가능성이 존재한다.

이 문제를 해결하기 위하여 복원된 X_h 의 z방향 평균 거리인 $Z_{average}$ 를 계산하고, 영상면과 평행하며 영상면으로부터 $Z_{average}$ 거리만큼 떨어진 평면에 X_h 를 직각 투영시켜 \tilde{X}_h 를 얻는다. 그림 11에는 복원된 X_h 를 $Z_{average}$ 거리에 존재하는 영상면에 평행한 평면에 투영하여 \tilde{X}_h 를 얻는 개념을 나타내었다.

4.6 투영적 PDM의 구축

P^{-1} 을 계산하였고 내부 변수 M_{int} 는 이미 알고 있다고 가정하였기 때문에 식 (3)의 관계에 의하여 $(i-1)$ 프레임에 대한 M_{ext} 를 계산할 수 있다. 이렇게 되면, M_{int} , M_{ext} , \tilde{X}_h 를 얻었기 때문에 투영 방정식인 식 (5)에 의하여 병진 운동에 대한 투영적 PDM인 x^{Tx} , x^{Ty} , x^{Tz} 와 회전 운동에 대한 투영적 PDM인 x^{Rx} , x^{Ry} , x^{Rz} 를 얻을 수 있다.

4.7 PMASM의 구성

투영적 PDM인 x^{Tx} , x^{Ty} , x^{Tz} , x^{Rx} , x^{Ry} , x^{Rz} 에 대하여 PCA 분석기법을 적용하여, 각각 대응하는 고유벡터와 고유값을 모듈적으로 PMASM을 구성한다.

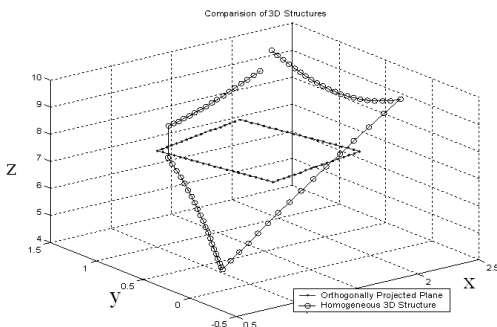


그림 11. X_h 의 직각 투영
Fig. 11. Orthogonal projection of X_h

4.8 선형해의 계산

영상 추적에서는 일반적으로 이전해를 현재 프레임의 포기치로 설정하여 추적을 수행한다. 현재 추적 단계를 i 번째 프레임으로 지정하고, $(i-1)$ 번째 프레임에서의 물체의 외곽선 추적 결과인 X_{node}^{i-1} 가 얻어질 때, 현재 프레임에서 고유값 벡터를 b_{linear} 로서 다음과 같이 선형적으로 계산할 수 있다.

$$b_{linear} = (P_v^T \cdot P_v)^{-1} P_v^T \cdot (X_{node}^{i-1} - \bar{X}) = [b^{Tx} \ b^{Ty} \ b^{Tz} \ b^{Rx} \ b^{Ry} \ b^{Rz}]^T \quad (37)$$

4.9 영상 에너지 최적화 과정

영상 에너지를 정의하고, 이 에너지 공간상에서 추적 물체 외곽선의 형태를 형태 방정식을 통하여 변형시켜 가면서 실제 외곽선에 맞추어 가는 에너지 최적화 과정을 수행한다. 이를 위해서는 복원되는 형태가 추적 물체의 외곽선에 최적으로 맞을 때 최소값을 가지도록 에너지 공간을 정의해야 하는데, Kass 등(1998)의 선행연구 결과에서 정의한 방식의 에너지를 정의하여 최적화 과정을 수행한다. 형태 방정식에서는 고유값 벡터 b 를 조정하여 결과적으로 물체 외곽선의 형태를 조절하게 되는데, 최적화 과정의 초기치로서 앞 단계에서 계산한 b_{linear} 를 사용하고, 이 값에서부터 시작하여 반복적인 방법(Iterative method)에 의하여 에너지 최적화 과정을 수행하여 영상 에너지가 최소화되는 b_{min} 을 찾아 최적의 맞춤(Fitting) 형태를 찾는다.

4.10 초기 프레임 문제

영상 추적 시스템의 기본 가정은 항상 이전 프레임의 처리 결과인 X_{node}^{i-1} , X_{node}^{i-2} 가 존재한다는 것이다. 그러나, 시스템의 초기에는 이전 결과가 없으므로 초기 프레임에 대한 선행적인 조치가 필요하다. 그러나 이 초기치 문제는 모든 영상 추적기에 대해 공통적으로 존재하는 공개 문제(Open problem)로서, 이 논문에서도 첫 번째 영상 ($i=1$)에서는 적절한 휴리스틱(Heuristic)한 방법으로 물체의 외곽선 정보인 X_{node}^1 가 추출되었다고 가정하고 접근하기로 한다. 첫 번째 영상은 시스템이 처음 입력으로 받아들인 영상으로서, 여기서 휴리스틱이라 함은 시스템의 초기치를 얻을 수 있도록 시스템 운영자가 큐(Que)를 주거나 칼라(Color) 처리 등의 특정 처리기능을 첫 번째 영상에 대해 보장하는 인위적인 절차를 말한다.

그러나 두 번째 프레임($i=2$)에 대해서는 초기치로 이

용할 수 있는 이전 결과는 \mathbf{X}_{node}^i 하나만 있어서 영상 추적 시스템을 구동하기에 정보가 부족하다. 이를 위하여 다음의 과정을 통해 \mathbf{X}_w 를 복원하여 초기치 문제를 해결한다. 먼저 m 개의 대표점으로 구성되는 \mathbf{X}_{node}^i 가 다음과 같이 표현된다고 하자.

$$\mathbf{X}_{node}^i = [\mathbf{x}_1 \ \mathbf{x}_2 \ \dots \ \mathbf{x}_i \ \dots \ \mathbf{x}_m] \quad (38)$$

여기서 \mathbf{x}_i 는 영상에 투영되는 한 대표점으로서 $\mathbf{x}_i = [x_i, y_i, 1]^T$ 이다. 한편 첫 번째 프레임($i=1$)에서 \mathbf{X}_{node}^i 의 카메라 좌표계에서의 표현을 \mathbf{X}_{camera}^i 라 할 때 이것은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{camera}^i &= (\mathbf{M}_{int})^{-1} \cdot \mathbf{X}_{node}^i \\ &= \begin{bmatrix} X_c^1 & X_c^2 & \dots & X_c^i & \dots & X_c^m \\ Y_c^1 & Y_c^2 & \dots & Y_c^i & \dots & Y_c^m \\ Z_c^1 & Z_c^2 & \dots & Z_c^i & \dots & Z_c^m \end{bmatrix} \\ &= [\mathbf{x}_c^1 \ \mathbf{x}_c^2 \ \dots \ \mathbf{x}_c^i \ \dots \ \mathbf{x}_c^m] \end{aligned} \quad (39)$$

여기서 \mathbf{X}_{camera}^i 는 $(3 \times m)$ 크기의 행렬로서 3차원 공간을 다루는 동차 공간에서 활용이 되려면 한차원이 더 추가되어야 하고, 이것은 같은 거리에 있는 평면이므로 임의의 스칼라인 Z_{dist} 만큼 떨어져 있다는 가정을 할 수 있기 때문에 \mathbf{X}_{camera}^i 는 다음과 같이 변형되어 표현이 가능하다.

$$\widetilde{\mathbf{X}}_{camera}^i = Z_{dist} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_c^1 & \mathbf{x}_c^2 & \dots & \mathbf{x}_c^i & \dots & \mathbf{x}_c^m \\ 1/Z_{dist} & 1/Z_{dist} & \dots & 1/Z_{dist} & \dots & 1/Z_{dist} \end{bmatrix} \quad (40)$$

한편 초기 상태이므로 카메라의 외부 행렬은 $\mathbf{M}_{ext} = [\mathbf{I} \ 0]$ 로 가정할 수 있기 때문에 카메라 좌표계(Camera coordinate)에서 기준 좌표계(World coordinate)로의 좌표 변환인 $\mathbf{T}_{camera}^{world}$ 를 계산할 수 있다.

이 변환을 이용하여 카메라 좌표계를 기준좌표계로 표현함으로써 두 번째 프레임($i=2$)에서의 \mathbf{X}_w 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mathbf{X}_w = \mathbf{T}_{camera}^{world} \cdot \widetilde{\mathbf{X}}_{camera}^i \quad (41)$$

이렇게 얻은 \mathbf{X}_w 를 이용하여 PMASM을 구성하고, 최적화 과정을 통하여 두 번째 프레임($i=2$)의 추적결과인 \mathbf{X}_{node}^2 를 얻을 수 있게 된다.

5. 실험 및 고찰

이 논문에서 제안하는 PMASM 기법의 유효성을 입증하기 위하여 그림 12에 설명된 바와 같은 실험을 수행하였다. 폭이 2.8 미터이며 길이가 36 미터인 복도에서 Logitech사의 Pro5000 CCD 카메라 하나가 장착된 이동 로봇을 $2.1 \times 2.3[\text{m}^2]$ 크기의 문을 바라보게 하는 가운데 이동시키면서 이 물체를 목표물로 영상 기반에서 추적하는 것을 실험의 목표로 한다.

이때 총 1,800개의 영상 프레임이 이동 로봇에서 얻어지며, 이 영상의 일부분을 그림 13에 나타내었다. 그림의

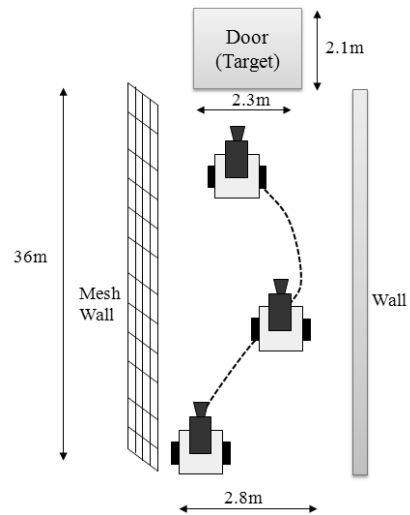


그림 12. 실험 시스템
Fig. 12. System for the experiment



그림 13. 이동 로봇에서 관측되는 영상
Fig. 13. Images observed by a mobile robot

중앙에 나타난 직사각형의 문이 이 실험에서의 추적 목표물이다. 이때 4장에 기술한 바와 같이 카메라의 내부 변수 M_{int} 는 적절한 캘리브레이션 절차에 의하여 미리 알고 있으며, 초기 외곽선 정보는 주어진다 가정하였다. 이동 로봇에서 관측되는 그림 13의 영상에 대하여 본 논문에서 제안하는 PMASM을 적용하였으며, 다른 기법과의 성능 비교를 위하여 능동 등고선 모델(Kass 등, 1988), 측지 능동 등고선 기법(Li 등, 2005), ESM(Efficient Second-order Minimization) 기법(Benhimane 등, 2004), SSD 기반 평면 추적 기법(Buenaposada 등, 2002a; Buenaposada 등, 2002b) 등을 적용하여 비교 분석하였다.

여기서 ESM 기법은 프랑스의 INRIA에서 연구된 것으로서 평면간의 호모그래피(Homography)를 효율적으로 빠르게 계산하기 위하여 2차 함수기반의 최적화 기법을 사용한 것이고, SSD(Squared Sum Difference) 기반 평면 추적 기법은 SSD 추적 기법을 원활한 평면 추적을 위하여 원근법적 모델을 도입한 기법이다.

이 두가지 방법 모두 호모그래피 기반의 추적 방식이므로 본 실험과 같은 상황에 적합한 비교 방식이라 할 수 있겠다. 이러한 기법들을 본 실험 영상에 적용하여 실험한 영상 추적의 결과를 주요한 기법에 대하여 그림 14~16에 나타내었으며, 주요 평가 지표에 따른 결과 분석을 표 1에 정리하였다.

실험 결과에서 유효 프레임 수는 추적 알고리즘의 추적 결과가 사용할 만한 프레임의 개수를 의미하고, 동작률은 총 프레임 수에 대비한 유효 프레임 수를 퍼센트로 나타낸 것이다. 평균에러는 각 프레임마다 주어지는 목표의 외곽 테두리를 벗어난 추적 결과의 픽셀수를 측정하는 것이고, 에러 비율은 추적 목표 면적에 대비한 에러 면적을 퍼센트로 나타낸 것이다. 능동 등고선 모델과 측지 능

동 등고선 기법의 경우에는 외곽선을 기반으로 하는 주변에지에 민감한 특성을 가지므로 이동 로봇의 진동과 갑작스러운 빠른 운동 등으로 기인하는 비교적 큰 영상 변화에 따라가지 못하여 유효 프레임 수가 비교적 적은 실험 결과를 보인다. 호모그래피를 기반으로 하는 ESM 기법

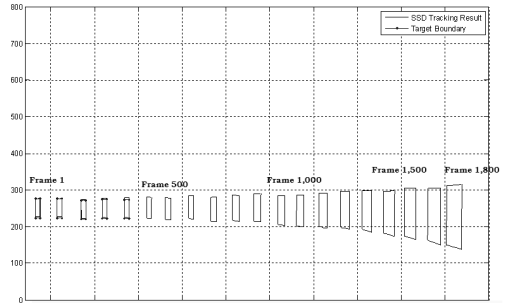


그림 15. SSD 기반 평면 추적 기법의 추적 결과
Fig. 15. Tracking result of the SSD-based plane tracking method

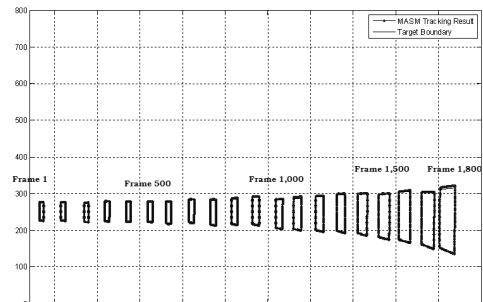


그림 16. 제안된 PMASM의 추적 결과
Fig. 16. Tracking result of the proposed PMASM method

표 1. 실험 결과의 비교

Table 1. Comparison of the experimental results

비교항목	유효 프레임 수 [Frames]	동작률 [%]	평균 에러 [Pixels]	에러 비율 [%]
능동 등고선 모델	98	5.4	384.1	15.2
측지 능동 등고선 기법	43	2.4	323.6	14.1
ESM 기법	1,152	64.0	304.4	9.6
SSD 기반 평면 추적 기법	354	19.7	286.9	6.4
PMASM	1,800	100.0	106.8	2.3

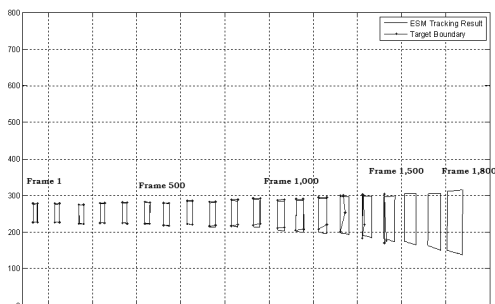


그림 14. ESM 기법의 추적 결과
Fig. 14. Tracking result of ESM method

과 SSD 기반 평면 추적 기법은 추적 목표 물체의 평면 정보를 기반으로 하므로 외곽선에 의존하는 앞의 두가지 방법보다는 강한 특성을 가지지만 총 프레임 수에 비하면 유효 프레임 수가 만족스럽지는 않다. 본 연구에서 제안하는 PMASM 기법은 외곽선 정보를 중심으로 추적을 하는 기법이지만 이동 로봇의 6자유도를 고려하여 로봇의 예상 움직임에 대한 외곽선 변화를 투영적으로 구성하여 이를 기반으로 추적을 하는 기법이므로 유효 프레임 수, 추적 에러 등에서 다른 방법에 비교하여 우수한 실험 결과를 보이고 있다.

6. 결 론

영상추적 기법의 응용이 산업 사회의 많은 부분에 적용이 되고 그 범위가 넓어져 가는 가운데, 운용 속도 및 유용성에 있어서 외곽선 기반 추적 기법의 의미는 중요하다. 능동 등고선 모델을 시작으로 능동 형태 모델 등으로 외곽선 추적 기법이 발전하는 가운데, 이 연구에서는 주변 에지 간섭, 연약 에지 발생 등의 문제를 해결하기 위하여 가상 모션을 발생시켜 카메라가 장착된 이동 물체의 병진 운동과 회전 운동을 반영하는 투영적 기법의 PDM을 얻어내고 이를 기반으로 투영적 모듈화 능동 형태 모델인 PMASM을 제안하였다. 이 기법의 유효성을 보이기 위하여 실제 이동 로봇의 운동을 통해 얻은 영상 스트림(Stream)에 적용하여 실험을 하였으며, 그 동안 연구되어 온 주요한 외곽선 추적 기법과 호모그래피 기반의 추적 기법들과 비교 분석을 하였는데, 그 실험 결과는 유효 프레임 수, 동작 에러 등의 측면에서 우수함으로 보인다. 그러나, 가상 모션을 발생 시키고 6자유도를 갖는 PDM을 구성하는 데에 있어서 다른 기법보다 복잡도가 증가하여 동작 시간이 증가하는 면이 있고, 영상 초기화 문제는 여전히 존재하므로 이러한 부분에 있어서 연구가 더 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Blake, A. and Yuille, A. (1992), *Active vision*, MIT-Press.
- Trucco, E. and Verri, A. (1998) *Introductory techniques for 3-D computer vision*, Prentice Hall.
- Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D. (1988), "Snake : Active contour models," *Int. J. Computer Vision*, pp. 321-331.
- Amini, A. A., Weymouth, T. E. and Jain, R.C. (1990), "Using dynamic programming for solving variational problems in vision," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, pp. 855-867.
- Leymarie and Levine, M. D. (1993), "Tracking deformable objects in the plane using an active contour model," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, No. 6, pp. 617-634.
- Xu, C. and Prince, J. L. (1998), "Snakes, shapes, and gradient vector flow," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 7, No. 3, pp. 359-369.
- Caselles, V., Kimmel, R. and Sapiro, G. (1997), "Geodesic Active Contours," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 22, pp. 61-79.
- Paragios, N. and Deriche, R. (2000), "Geodesic Active Contours and Level Sets for the Detection and Tracking of Moving Objects," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 3.
- Goldenberg, R., Kimmel, R., Rivlin E. and Rudzsky, M. (2001), "Fast Geodesic Active Contours," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 10, No. 10.
- Li, C., Xu, C., Gui, C. and Fox, M. D. (2005), "Level Set Evolution Without Re-initialization : A New Variational Formulation," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR'05)*.
- Cootes, T. F., Taylor, C. J., Cooper, D. H. and Graham, J. (1995), "Active Shape Models - Their Training and Application," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 61, No. 1, pp. 38-59.
- Hill, A., Cootes, T. F. and Taylor, C. J. (1996), "Active Shape Models and the Shape Approximation Problems," *Image and vision Computing*, Vol. 14, pp. 601-607.
- Cootes, T. F., Edwards, G. J. and Taylor, C. J. (1998), "Active Appearance Models," *Proc. European Conference Computer Vision*, Vol. 61, pp. 484-498.
- Ginneken, B. A., Frangi, F. J., Staal, J., Romeny, B. M. H. and Viergever, M. A. (2002), "Active Shape Model Segmentation With Optimal Features," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 21, No. 8.
- Sukno, F. M., Ordas, S., Butakoff, C. and Cruz, S. (2007), "Active Shape Models With Invariant Optimal Features : Application to Facial Analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 29, No. 7.
- Kim, W. and Lee, J. (2005), "Object Tracking based on the Modular Active Shape Model," *International Journal of Mechatronics*, Vol. 15, pp. 371-402.
- Jain, A. K. (1989), *Fundamentals of digital image processing*, NJ:Prentice-Hall.

18. Hartley, R. and Zisserman, A. (2000), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press.
19. Zhang, Z. (1997), "Determining the Epipolar Geometry and Its Uncertainty : A Review," *International Journal of Computer Vision*, 27(2):161-195.
20. Torr, P. H. S. (2002), *A Structure and Motion Toolkit in Matlab "Interactive Adventures in S and M"*, Technical Report MSR-TR-2002-56, Microsoft Research.
21. Benhimane, S. and Malis, E. (2004), "Real-time image-based tracking of planes using Efficient Second-order Minimization," *Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems, IROS'04*, Vol. 1, pp. 943-948, Sendai, Japan.
22. Buenaposada, J. and Baumela, L. (2002), "Real-time tracking and estimation of plane pose," *IEEE ICPR 2002*, Vol. 2, pp. 697-700, Quebec, Canada.
23. Buenaposada, J. and Baumela, L. (2002), "Speeding up SSD Planar Tracking by Pixel Selection," *IEEE ICIP 2002*, Vol. 1, pp. 565-568, Rochester, USA.



김 원 (kimwon@wsu.ac.kr)

1990 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
 1999 한국과학기술원 전자전산학과 석사
 2007 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 1990~1997 국방과학연구소 연구원
 현재 우송대학교 컴퓨터정보학과 교수

관심분야 : 이동로봇, 머신비전, RFID, 자동제어