

다중 영상을 이용한 신뢰성 있는 소실점 추출

차영미^o 이동훈 김복동 정순기

경북대학교 컴퓨터공학과

{ymcha^o, dhlee, comthief}@vr.knu.ac.kr, skjung@knu.ac.kr

Robust Vanishing Points Detection from Multiple Images

Young Mi Cha^o, Dong Hoon Lee, Bok Dong Kim, Soon Ki Jung

Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요약

소실점은 실공간의 평행한 직선들이 영상에서 만나는 점으로서 카메라 파라미터 추정, 영상을 사용한 3차원 구조복원 등에서 널리 사용되는 영상 상에 존재하는 3차원 기하에 대한 암묵적인 특징 정보이다. 본 논문에서는 영상으로부터 안정적으로 소실점을 검출하기 위한 새로운 방법을 제시한다. 먼저 단위구 상에서 쉘 기반의 소실 공간을 EM 알고리즘의 초기 소실점으로 사용한 신뢰성 있는 소실점 추출 방법을 제안한다. 또한 단일 영상에서 제거되지 않는 이상치에 대해 다중 영상에서 대응 직선이 가지는 사영불변치인 planar collineation과 harmonic range를 이용하여 보다 정확한 소실점을 구하기 위한 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 다양한 영상을 통해 실험한 결과 안정적이고 신뢰할만한 소실점 검출이 가능하였다.

1. 서론

소실점(vanishing point)은 실공간의 평행한 직선들이 영상에서 만나는 점으로서 카메라 파라미터 추정, 영상을 사용한 3차원 구조복원 등에서 널리 사용되는 영상 상에 존재하는 3차원 기하에 대한 암묵적인 특징 정보이다. 소실점을 구하는 이전 연구는 공간적으로 영상면 기반[1], 단위구(gaussian sphere) 기반[2]으로 나눌 수 있고, 방법적으로는 최적화 이론 등을 사용한 통계적 방법[3]과 공간 분할을 통한 쉘(cell) 기반의 방법[4]으로 나눌 수 있다.

영상면 기반의 소실점 추출 방법은 일반적으로 영상 상의 직선을 사용하여 다수의 직선이 이루는 공통된 교점을 연산하여 소실점을 추출한다. 방법적으로 매우 단순하고 직관적으로 소실점을 찾을 수 있으나, 연산의 복잡도가 크다는 문제와 특히 영상 상에서 무한대 상에 있는 소실점을 구할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 보통 소실점의 최적화를 위해 반복적인 가중치 최소자승법(iterative weighted least square)이나 기대값 최대화(expectation Maximization; 이하 EM) 방법을 사용한다. 가중치 최소자승법의 경우 이상치(outlier) 검출을 위해 휴리스틱한 경계값(threshold)이 사용되므로 사용되는 영상에 따라 불안정한 결과를 도출하며 영상 상에 하나 이상의 소실점이 존재하는 경우 적용하기 힘들다. EM 알고리즘의 경우 소실점의 개수 및 위치에 대한 초기값에 민감한 결과를 생성한다는 단점을 지닌다.

이에 반해 단위구 기반의 소실점 추출 방법은 영상을 단위구로 매핑하므로 무한대 상에 존재하는 소실점 또한 단위구 상에 존재하도록 공간을 표현한다. 보통 단위구 기반의 방법은 그림 1과 같이 단위구를 여러 개의 쉘로 구성된 다중면체로 표현하고 영상 상의 직선에 해당하는 대원(great circle)들이 만나는 교점의 수를 쉘에 누적함으로써 누적 수가 많은 쉘을 소실점이 존재하는 공간으로 설정한다.

이 때 근접한 쉘이라 할지라도 서로 다른 소실 공간으로 정의하기 때문에 쉘의 분할 정도에 따라 추출되는 소실점이 서로 상이하며, 지나친 분할은 많은 유사 소실점을 생성한다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 앞에서 언급한 방법간의 장점을 적절히 융합하여 단위구 상에서 쉘 기반의 소실 공간을 EM 알고리즘의 초기 소실점으로 사용함으로써 신뢰성 있는 소실점 추출 방법을 제안한다. 또한 단일 영상에서 제거되지 않는 이상치에 대해 다중 영상에서 대응 직선이 가지는 사영불변치 - planar collineation과 harmonic range -를 이용하여 보다 정확한 소실점을 구하기 위한 방법을 제안한다.

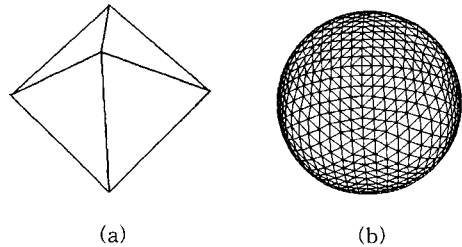


그림 1. 반구상에 여러 쉘로 구성된 다중면체.
(a) 4변형의 피라미드 (b) 5변 분할된 반구

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 쉘 기반의 소실 공간 추출을 이용한 영역 분할과 EM을 사용한 소실점 추정 방법에 대하여 제안한다. 3장에서는 이를 다중 영상으로 확장하여 보다 신뢰성 있는 소실점 갱신에 대한 방법을 제시하고, 4장에서 제안한 방법에 대한 실험 결과를 보인다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후과제를 제시한다.

2. 단일 영상에서의 소실점 검출

소실점을 구하기에 앞서 본 논문에서는 canny가 제안한 윤곽선 추출 방법을 이용하여 윤곽선을 추출하고 허프 변환(Hough transform)을 이용하여 직선을 추출한다.

추출된 영상 상의 평행한 두 직선은 무한대의 소실점을 이루고, 무한대의 소실점은 영상 상에서 구할 수 없다는 단점을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 단위구를 사용한다. 단위구

상에서 소실점을 구하기 위한 방법으로 통계적 방법을 사용하는데 이 방법들에는 최소자승법이나 기대값 최대화 방법이 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 최소자승법은 이상치 검출을 위해 추리스틱한 경계값이 사용되므로 사용되는 영상에 대한 불안정한 결과를 도출하며 영상 상에 하나 이상의 소실점이 존재하는 경우 적용하기가 힘들다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 EM 알고리즘 방법을 사용한다. 그러나 EM 알고리즘은 소실점의 개수 및 위치에 대한 초기값에 민감한 결과를 생성한다는 단점이 있다. 이 단점을 보완하기 위해서 본 논문에서는 셀 기반의 분할 방법을 통해 직선을 그룹화 하고 각 그룹에 최소자승법을 이용하여 초기 소실점을 구한다.

2.1 단위구 상에서의 대원과 소실점과의 관계

영상 상의 임의의 직선은 단위구상에서 대원에 대응된다[5]. 임의의 대원의 법선벡터를 l_i 로 표현했을 때 l_i 가 이루는 소실점 v_k 는 식(1)의 관계를 이룬다.

$$l_i^T v_k = 0 \tag{1}$$

2.2 기대값 최대화(Expectation Maximization)

본 논문에서의 목적은 주어진 선분들의 집합이 주어졌을 때 소실점으로 구한 값의 가능도(likelihood)를 최대화하는 소실점의 좌표를 구하는 것이다. 초기 소실점 v_k 가 주어졌을 때, 직선 l_i 가 k^{th} 소실점에 속할 멤버십(memberhip) 확률은 아래의 식(2)와 같다.

$$p(v_k | l_i) = \frac{p(l_i | v_k)p(v_k)}{\sum_{k=1}^m p(l_i | v_k)p(v_k)} \tag{2}$$

사후 확률(posterior probability) 항인 $p(v_k | l_i)$ 은 멤버십 확률이라 불리며 w_{ik} 로 표현한다. 여기서 m 은 소실점의 개수를 나타낸다. 모든 소실점의 사전 확률(prior probability)은 같은 값으로 주었다. EM 알고리즘의 E-단계에서는 멤버십 확률을 구하고, M-단계에서는 미지의 v_k 에 관한 로그 가능도 값이 최대가 되게 하는 v_k 를 구한다. 이 v_k 는 아래의 식(3)의 목적 함수의 최대값을 산출해낸다.

$$J(v_k) = \sum_i w_{ik} \log p(l_i | v_k) \tag{3}$$

오차가 없는 경우에는 $l_i^T v_k = 0$ 이다. $l_i^T v_k$ 로 표현되는 오차는 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 을 따른다고 가정할 때, 가능도는 식(4)으로 표현된다.

$$p(l_i | v_k) \propto \exp\left(-\frac{(l_i^T v_k)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{4}$$

선형 토그-가능도 모델인 식(3)은 가중치 최소자승법 문제로 바꾸어 풀 수 있다. 식(3)에 식(4)를 적용하면 식(5)로 표현된다. 이때 이 함수를 최소화시키는 v_k 가 소실점이 된다.

$$J(v_k) = \min \sum_i w_{ik} (l_i^T v_k)^2 \tag{5}$$

EM 알고리즘은 반복적으로 수행되면서 구해진 소실점들의 차이가 경계값보다 작게 차이가 날 때까지 반복하여 수행한다.

2.3 EM 초기화

EM 알고리즘은 각 단계에서 구해진 값에 대한 가능도를 증가시키지만 초기값에 아주 민감하고 local minimum에 수렴하기 쉽다. 따라서 EM 알고리즘에서 초기값을 결정하는 것은 아주 중요한 문제이다.

본 논문에서는 초기값을 결정하기 위해서 셀 기반의 소실점 추출방법[4]을 사용한다. 이 방법의 문제점은 소실점이 경계(boundary) 근처에 있을 때 서로 근접한 셀이라 할지라도 서로 다른 소실공간으로 정의하기 때문에 근접한 셀의 직선들을 고려하지 못하게 되어 정확하지 않은 소실점이 추출된다는 것이다. 이러한 문제점 해결을 위해 본 논문에서는 rough한 분할을 통해 직선을 그룹화 하고 최소자승법을 이용하여 초기 소실점을 찾는다.

3. 다중 영상을 사용한 효과적인 EM 확률 갱신

많은 직선들이 만나는 점은 소실점으로 간주되기 때문에 그림 2에서 볼 수 있듯이 계단과 난간 등에서 뻗힌 직선 이상치들이 소실점을 구하는데 반응이 됨으로써 정확한 소실점을 구할 수 없는 문제가 생기게 된다.

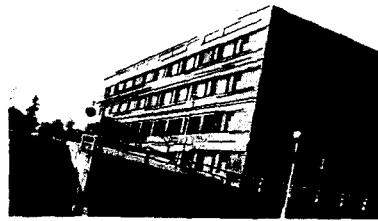


그림 2. 특정 소실점에 속하는 직선들.

이러한 문제는 크게 두 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫 번째는 서로 다른 평면상에 존재하는 직선들이 많이 만나는 점을 소실점으로 보는 경우이고, 두 번째는 직선들이 한 평면상에 있지만 실제 소실점이 아닌 경우이다. 본 논문에서는 단일 영상에서 해결할 수 없는 이러한 문제들을 다중 영상에서 대응 직선이 가지는 사영불변치-planar collineation과 harmonic range-를 이용하여 사전 확률과 사후 확률을 갱신시킴으로써 보다 정확한 소실점을 구한다.

3.1 planar collineation

하나의 소실점을 이루는 직선들이 한 평면상에 존재하는지 확인하기 위해 본 논문에서는 2D homography를 이용한다. 한 영상에서 다른 영상으로 사상되는 homography H 는 점들을 이용하여 구할 수 있다. 하지만 점에 대한 대응점을 찾는 것은 정확하지 않을 뿐만 아니라 어려운 문제이기 때문에 본 논문에서는 점이 아닌 직선을 사용한다. 이때 직선 l_i 를 아래의 식(6)을 만족하는 (a_i, b_i, c_i) 로 나타낸다.

$$ax_i + by_i + c_i = 0 \tag{6}$$

소실점 v_k 에 대해, $p(v_k | l_i)$ 가 높은 직선 l_i 와 이에 대응하는 직선 l'_i 간의 관계는 아래의 식(7)과 같다.

$$l'_i \times H l_i = 0 \tag{7}$$

위의 식을 만족하는 H 에 직선 l_i 를 적용시켰을 때 구해진 직선을 l'_i 이라 할 때, l'_i 와 l_i 의 차이가 많이 나지 않으면 $p(v_k | l_i)$ 을 높인다. 사후 확률을 높임으로서 이 H 를 만족하는 직선에

대해서는 가중치를 많이 주게 되는 것이다.

3.2 harmonic range

동일 평면상에 있지만 실제 소실점이 아닌 경우를 가려내기 위해 사영 기하에서 cross ratio는 변하지 않는다는 성질을 이용한다. 한 직선 상에 A, B, C, D의 점이 존재할 경우 이 점들의 교차율(cross ratio)은 식(11)과 같다.

$$[ABCD] = \frac{AC}{BC} / \frac{AD}{BD} \quad (11)$$

A와 B의 중점을 C라 하고 이 세 점을 지나는 무한대의 점을 D라 할 때 [DCAB]는 -1이 된다. cross ratio가 -1을 만족하면 이를 harmonic range라 한다. C점을 A와 B점의 중점이 아닌 단지 한 직선 상에 있는 점이고 D점이 A, B, C를 지나는 무한대의 점이라면, D가 무한대이므로 DA와 무한대이고, DB가 무한대이므로 교차율은 고정된 값이 된다. 본 논문에서는 실제 소실점의 경우 교차율이 고정값이라는 성질을 이용하여 실제 소실점인지 아닌지를 검사한다.

소실점 v_k 와 $p(v_k, l_k)$ 가 높은 직선 l_k 상의 세 점의 교차율과, l_k 와 대응 직선 l'_k 상에 있고 첫 번째 영상의 세 점과 대응되는 세 점의 교차율을 각각 계산한다. 네 대응점 간의 교차율이 동일하다면 이 때 소실점은 실제 소실점으로 간주할 수 있다. 따라서 각 영상으로부터 구한 교차점 비율이 다르다면 실제 소실점이 아닐 가능성이 높다. 이 때 사전확률 $p(v_k)$ 를 낮춘다.

강신한 $p(v_k, l_k)$ 확률과 $p(v_k)$ 확률을 사용하여 반복적 EM 알고리즘으로 소실점을 찾는다.

4. 실험 결과

실험은 펜티엄 4 2.0 GHz 메모리 512MB를 가진 PC에서 수행되었으며 크기가 720×480인 두장의 영상을 사용하였다.

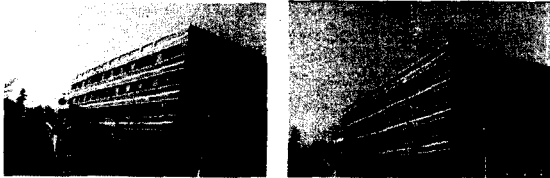


그림 3. 실험에 사용된 두 영상.

본 논문에서 제안한 단위구 상에서 쉘 기반의 방법을 사용하여 직선들을 그룹화한 결과는 그림 4에서 볼 수 있듯이 직선들이 하나의 그룹으로 잘 묶여진 것을 볼 수가 있다. 그림 4(a)는 영상에서 찾아진 직선들의 대원들이 만나는 교정의 수를 쉘에 누적하여 누적 수가 많은 쉘일수록 짙은 색으로 나타내었고, 그림 4(b)는 가장 많이 누적될 쉘을 지나는 직선들을 영상 상에 표시한 것이다.

본 논문에서 제안한 그룹화 과정을 통해 그룹 되어진 직선들을 각 그룹별로 다중영상을 통한 확률 갱신을 통해 얻어진 최종 소실점 추출 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 각 소실점에 속하는 직선들 중에 이상치들은 다 제거가 되었음을 볼 수 있다. 본 실험에서는 직선들을 3개의 그룹으로 묶었다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 EM 알고리즘과 사영기하의 불변치를 사용하여 안정적인 소실점을 구하는 새로운 방법을 제안하였다. 기존

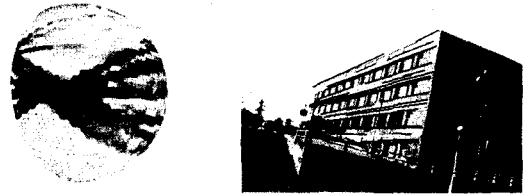


그림 4. 첫 번째 영상의 직선들을 그룹화한 결과. (a) 5번 분할된 단위구 상에 대원들이 누적된 쉘들. (b) 그룹된 직선들.

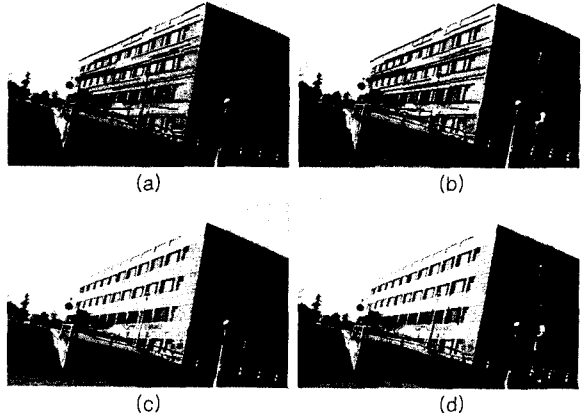


그림 5. 다중영상을 이용하여 각 그룹소실점을 구한 결과. (a) 직선 추출된 결과 (b), (c), (d)는 각각의 그룹상에서 이상치들이 제거되고 난 다음의 최종적인 소실점 추출에 사용된 직선들.

의 단위구 상에서 쉘 기반, 또는 영상 기반 상의 통계적 방법의 단점을 극복하기 위해 두 방법이 가지는 장점을 융화하였다. 단위구 상에서의 쉘 기반의 방법을 EM 알고리즘의 초기화 과정을 결정하는데 사용함으로써 보다 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 다중영상으로부터 collineation과 harmonic range를 사용함으로써 보다 정확하게 이상치를 검출할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R05-2003-000-10741-0) 지원으로 수행되었음.

[참고문헌]

[1] David Liebowitz and Andrew Zisserman, "Metric Rectification for Perspective Images of Planes", In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.482-488, 1998, 2
 [2] S.T. Barnard, "Interpreting Perspective Images", AI Journal, Vol.21, No.4, pp.1210-1225, November 1983
 [3] Jang Kosecka and Wei Zhang, "Efficient Computation of Vanishing Points", In Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation, May 2002
 [4] Sung Chun Lee, Soon Ki Jung and Ram. Nevatia, "Automatic Integration of Facade Textures into 3D Building Models with a Projective Geometry Based Line Clustering", EUROGRAPHICS Number 3, Vol.21, 2002.