

계층적 Deformable Model 의 설계와 분석

강철구, 김동윤
아주대학교 컴퓨터비전연구실

Design and analysis of Hierarchical Deformable Model

Cheol-Goo Kang, Dong-Yoon Kim
Computer Vision Laboratory, Ajou University

요약

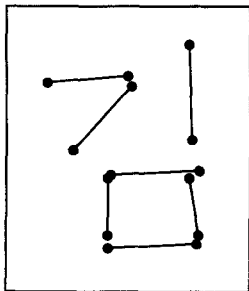
본 논문에서 제안하는 계층적인 형태의 deformable model 을 이용하면 기존의 deformable model 방법이 가지고 있던 여러 문제점을 해결할 수 있다. 특히 가장 큰 문제중의 하나인 초기위치를 찾는 문제나 적용 시간이 오래 걸린다는 단점을 상당부분 해결할 수 있다. 또한 계층적인 형태를 사용하면 최종적으로 찾고자 하는 물체가 증가될수록 더 많은 시간상/공간상의 이익을 볼 수 있게 된다. 본 논문에서는 이처럼 계층적인 형태로 deformable model 을 구성하는 방법과 계층적 deformable model 을 영상에 적용하는 방법, 그리고 그 방법에 대한 공간적/시간적 복잡도 분석을 통해 그 효율성을 알아보았다.

1. 서론

컴퓨터를 이용해 정보를 저장할 때 정보가 저장되는 미디어가 텍스트에서 영상으로, 또 영상에서 동영상으로 변해감에 따라 영상에서 우리에게 필요한 정보를 자동으로 추출해내는 것이 매우 중요한 문제가 되었다. 이렇게 컴퓨터를 이용해 영상에서 어떤 정보를 추출해내기 위한 방법으로 지금까지 많은 방법들이 제시되었다.

그 중의 하나가 바로 deformable model 을 이용하는 방법이다. Deformable model 방법은 변형가능한 model 을 구성하고, 그 model 들을 영상에 적용해서 그 model 과 유사한 형태의 부분을 찾아내는 방법이다.

그러나 기존의 deformable model 은 영상에 적용할 때 여러가지 문제점이 존재했다. 예를 들면 model 을 적용할 초기 위치를 알아야 한다는 점이나 영상에 적용할 때의 느린 속도등이 문제로 지적되었다. 특히 영상에 모델을 적용할 때 그 초기 위치를 자동적으로 판단할 수 없기 때문에 사람이 초기 위치를 지정해주어야 했는데, 이처럼 수동적인 방법이 필요하다는 것은 영상에서 자동화된 방법을 통해 물체를 인식하는 작업을 하는데 있어서 큰 걸림돌이 되어 왔다.



<그림 1>

본 논문에서는 이와 같은 deformable model 의 결점을 해결하기 위해 계층적 구조를 도입해 deformable model 을 재구성하였다. 2절에서는 deformable model 과 이

진 계층적 deformable model 의 구성 방법에 대하여 다루고, 3절에서는 이와 같은 deformable model 과 계층적 deformable model 을 영상에 적용하는 방법에 대해 다룬다. 4절에서는 계층적 deformable model 의 공간적/시간적 복잡도를 분석해 보았다.

2. Deformable Model 의 구성

2.1. DM (Deformable Model)

영상에서 찾고자 하는 형태가 있다면 먼저 그 형태에 대한 deformable model 을 입력 받아야 한다. 찾고자 하는 형태에 대한 model 을 구성하는 방법은 여러가지가 있을 수 있는데 본 논문에서는 <그림 1>과 같은 형태의 model 을 사용한다.

<그림 1>에 나타난 예와 같이 model 은 하나 이상의 선분(또는 점)으로 구성되어 있다. 이렇게 하나의 model 을 이루는 단위를 segment 라고 하자. 이런 각각의 segment 는 선분 또는 점의 형태로 나타날 수 있는데 <그림 1>에서 각각의 선분이 바로 하나의 segment 를 의미한다. 그러면 각 segment 는 선분의 형태이기 때문에 두개의 끝점을 가지게 되고 선분은 스스로의 기울기와 길이를 통해 이 두 점의 상대적인 위치를 나타내게 된다.

2.2. HDM (Hierarchical Deformable Model)

본 논문에서는 2.1.절에서 제시한 deformable model 로부터 계층 구조를 형성해 HDM 을 생성하기 위해서 <그림 2>와 같은 알고리즘을 제안하였는데, 이 알고리즘의 각 단계를 살펴보면 다음과 같다.

단계 A 에서는 입력되는 각 segment 의 표준화된 위치를 나타내는 점들을 얻는다. 만약 segment 가 선분이었다면 선분의 중점, 즉 선분의 양 끝점의 중점을 segment 의 위치로 얻고, 선분의 기울기

도 중점에 포함해준다. Segment가 점이었다면 기울기 정보 없이 그 점의 위치를 그대로 segment의 위치로 얻는다. 이렇게 얻어진 모든 점들의 집합을 P 라고 하자.

단계 B에서는 집합 P 에서 임의의 점 p_1 을 선택하고, 단계 C에서는 P 에 속한 점 중에 p_1 과 거리가 가장 가까운 점 p_2 를 선택한다. 두개의 점 p_1 과 p_2 를 선택한 후에는 집합 P 에서 p_1 과 p_2 를 제거한다. 이렇게 가장 가까운 두 점을 선택하면 model을 구성하고 있는 구성요소를 찾는 것과 비슷한 효과도 얻게 된다.

다음으로 단계 D에서는 B와 C에서 선택된 두 점 p_1 과 p_2 의 위치관계와 기울기 정보를 가지는 새로운 선분 형태의 segment를 생성한다. 여기서 새로 생성된 segment는 바로 하위 계층의 model이 된다.

하나의 model을 입력받아 계층구조를 형성하는데 이와 같은 방법을 사용하는 의미는 다음과 같이 생각해볼 수 있다. 입력된 model이 있을 때 그것을 segment들로 잘게 나눈 다음 아래 계층으로 내려갈수록 그 segment들을 위치적으로 가까운 것들끼리 하나로 합해가면서 점차 최종적으로 원하는 model을 형성하게 된다. 즉, 계층구조의 각 계층에 존재하는 segment 하나하나가 양 끝점에 상위 계층에 속한 두 부분의 위치를 갖고, 그 둘간의 위치관계를 정의하고 있는 것이다. 다시 말하면 <그림 2>의 단계 D에서 만들어지는 하나의 segment가 바로 두개의 중점으로 표현되는 상위 계층의 두 부분에 대한 위치관계를 정의하는 것이라고 할 수 있다. 이와 같은 방법을 <그림 1>에 적용하여 생성된 HDM은 <그림 3>과 같이 나타난다.

3. 영상에의 HDM 적용

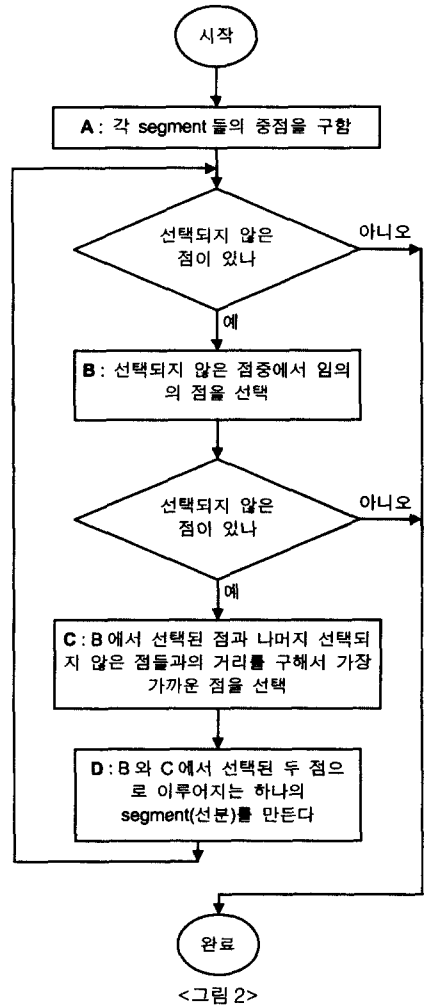
임의의 영상에 제안된 HDM을 적용하기 전에 검색을 원하는 영상은 전처리 과정을 거쳐 직선 검출작업이 끝난 상태라고 가정하고 다음과 같은 방법을 사용한다.

2절에 기술된 방법으로 만들어진 HDM은 크게 두 phase를 거쳐서 영상에 적용될 수 있다. 첫번째 phase에서는 계층구조의 가장 상위단계에 존재하는 segment들을 영상에 적용해 match되는 영상의 부분들을 찾아내는 작업을 하게 된다. 그리고 두번째 phase에서는 계층구조의 2번 계층부터 아래로 진행하면서 각 계층의 segment에 저장되어 있는 위치관계를 이용해 첫번째 phase에서 찾아낸 위치중에서 최종적으로 우리가 찾고자 하는 model에 적합한 것이 있는지 조사하게 된다.

3.1. 첫번째 Phase

먼저 첫번째 phase에는 가장 상위단계를 구성하고 있는 각각의 segment들을 영상에 적용해 각 segment에 잘 match된다고 판단되는 위치들을 찾는다. 여기서 segment를 영상에 적용하는 방법을 보면 기존의 방법과 차이점을 가지는데, 기존의 deformable model은 일반적으로 시작 위치가 주어졌 있을 때 그 위치에서 '최적'으로 match되는 값을 찾는 것이었다. 즉 찾아낸 최적의 값에 따라 적합성을 판단했다. 하지만 본 논문에서 제안하는 방법은 가능한 모든 위치를 검색해야 하기 때문에 최적의 위치가 아닌 적합도가 지정된 임계값(threshold value)을 넘는 모든 위치를 검색한다.

앞에서 검색할 영상은 전처리 과정에서 직선들이 모두 검출



된 상태이고 찾고자하는 model의 segment는 선분으로 이루어져 있다고 가정했었다. 따라서 영상의 특정 위치에서 특정 segment에 대한 적합도를 계산하는 것은 그 segment와 영상의 선분들의 기울기가 얼마나 비슷하고 길이가 얼마나 비슷한지에 따라 쉽게 알 수 있고, 이렇게 계산된 적합도가 특정 임계값을 넘는 부분들은 모두 두번째 phase에서 사용하기 위해 기억된다.

3.2. 두번째 Phase

두번째 phase는 첫번째 phase에서 segment들이 위치한다고 생각되는 부분들이 모두 찾아진 다음 시작된다. 첫번째 phase에서 기억해둔 segment들의 위치에서 검색 작업을 수행하는데 전체 계층구조에서 2번 계층 아래의 segment들은 실제로는 상위계층에 존재하는 segment 두개의 위치 관계를 정의하는 것이었다. 따라서 지금까지 적합하다고 찾아진 segment들의 위치에서 현재 계층에 나타나는 위치 관계에 적합한 것들만 추려내고 나머지 것들은 모두 삭제한다. 그러면 우리가 찾고자하는 최종 model에 적합하지

않은 segment 들을 쉽게 제거할 수 있게 된다.

이와 같은 과정을 계속해서 마지막 계층까지 오면 결국 최종적으로 찾고자 하는 모양을 검색하게 되고, 여기에서 적합한 위치를 찾아낸다면 영상의 그 위치에 최종 model 과 비슷한 형태가 있다는 결론을 얻을 수 있다.

4. HDM 에 대한 공간적/시간적 요구사항 분석

4.1. 공간 요구사항

HDM 의 계층구조를 살펴보면, 각 계층에 나타나는 segment 들은 상위 계층에 있는 두개의 segment 를 새로운 선분을 이용해 하나로 표현한 것이다. 따라서 1 번째 계층의 segment 의 개수는 1-1 번째 계층의 segment 의 개수의 1/2 을 넘을 수 없다. 다시 말하면 하위 계층으로 갈수록 각 계층에 속해있는 segment 들의 개수가 상위 계층에 존재하는 segment 의 개수의 1/2 이하임을 당연하다.

2 절에서 기술한 방법과 같이 어떤 DM 으로부터 계층구조를 형성해 HDM 을 생성하는데 그 HDM 의 공간 복잡도는 다음과 같다. 맨 처음 입력된 전체 segment 의 수를 n 이라고 하고, 계층구조에 포함된 전체 segment 의 개수의 합을 S 라고 할때, S 와 S 의 최대값 S_{MAX} 는 다음과 같다.

$$S = \frac{1}{2}n + \frac{1}{4}n + \frac{1}{8}n + \dots + 1 \leq n$$

$$\therefore S_{MAX} = n$$

따라서 n 개의 segment 를 가지는 model 로부터 구성된 HDM 의 공간복잡도는 $O(n)$ 이다.

4.2. 시간 요구사항

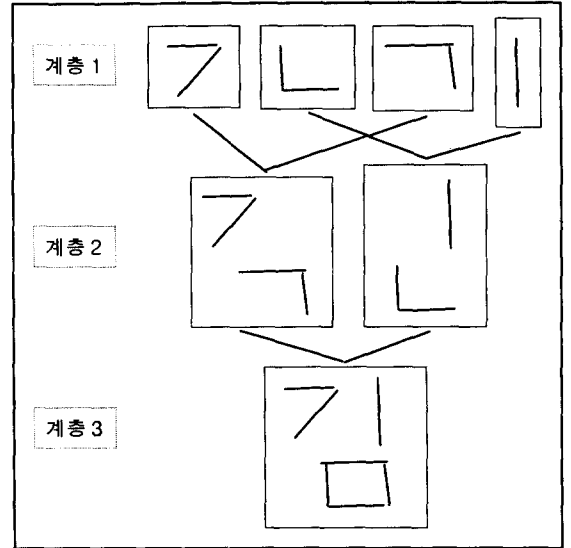
<그림 2>에 나타난 알고리즘을 이용해 n 개의 segment 를 가지는 model 로부터 HDM 을 구성하는데 필요한 시간복잡도는 알고리즘의 각 단계별로 다음과 같이 계산된다.

$$\left. \begin{array}{l} \text{단계 A: } O(n) \\ \text{단계 B: } C_1 \\ \text{단계 C: } O(n) \\ \text{단계 D: } C_2 \end{array} \right\} \frac{1}{2}n$$

단계 B 와 단계 C 에서는 각각 C_1 과 C_2 만큼의 상수 시간만 필요하다. 그리고 B-C-D 의 단계는 $\frac{1}{2}n$ 번만큼 반복되어야 하므로 계층구조의 한 계층을 만드는 데는 총 $O(n^2)$ 만큼의 시간이 필요하다. 그렇다면 계층구조의 전체 계층의 수는 $\log n$ 이기 때문에 계층구조를 구성하는데 필요한 전체적인 시간 복잡도는 $O(n^2 \log n)$ 이다.

5. 결론 및 향후과제

계층구조가 활용된 deformable model 을 도입함으로써 기존의 deformable model 이 안고있던 여러 문제점들을 어느정도 해결할



<그림 3>

수 있었다. 하나의 model 을 작은 segment 로 분해하여 적용함으로써 영상에서 model 의 위치를 찾는 문제를 해결하였고, 최종 model 의 부분이 아니라고 판단되는 부분은 발견하는 즉시 제거함으로써 속도상의 이득을 얻을 수 있었다.

다만 현재는 segment 를 선분과 점으로 제한하여 곡선 부분을 가지는 형태는 model 로 만들어 검색에 이용할 수 없다. 따라서 곡선 부분을 가지는 원, 호등의 형태도 segment 로 추가시켜서 더 많은 형태의 model 을 검색할 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 HDM 을 구성할때의 시간복잡도가 $O(n^2 \log n)$ 으로 작지 않은데 구성하는 방법을 좀더 연구하여 시간복잡도를 낮춰야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Snakes: Active Contour Models, M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, IJCV, 1988
- [2] Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates, A. Yuille, P. Hallinan, D. Cohen, IJCV, 1992
- [3] Active Shape Models - Their Training and Application, T. Cootes, C. Taylor, D. Copper, J. Graham, Computer Vision and Image Understanding, 1995
- [4] Object Matching Using Deformable Templates, A. Jain, Yu Zhong, Sridhar Lakshmanan, IEEE PAMI, 1996
- [5] Using Generative Models for Handwritten Digit Recognition, M. Revow, C. Williams, G. Hinton, IEEE PAMI, 1996
- [6] Development of a Structural Deformable Model for Handwriting Recognition, Chris K.Y. Tsang and Fu-lai Chung, IEEE, 1998
- [7] Computer Vision, D. Ballard, C. Brown, Prentice-Hall, 1982
- [8] Computer and Robot Vision, R. Haralick, L. Shapiro, Addison-Wesley, 1993
- [9] Machine Vision, R. Jain, R. Kasturi, B. Schunk, McGRAW-HILL, 1995
- [10] Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra, G. Ritter, J. Wilson, CRC Press, 1996