

평면 형상에 대한 새로운 계층적 표현 방법

허봉식^o, 김민환

동의공업대학 영상정보과, 부산대학교 컴퓨터공학과

A New Hierarchical Representation Method for Planar Shape

PongSik Ho, MinHwan Kim

Donggeui Institute of Technology, Dept. of Visual Technologies

Pusan National University, Dept. of Computer Engineering

요 약

본 논문에서는 평면 형상에 대한 새로운 계층적 표현 방법을 소개하였다. 제안한 방법에서는 근사화 과정의 근사화 오차(approximation error)를 근사화 순서와 정도를 결정하는 중요한 척도로 활용하였으며, 제안한 오차 조절 알고리즘을 통해 보다 자연스러운 근사화 표현이 가능하도록 하였다. 그리고 최소 경계 사각형(MBR: Minimum Bounding Rectangle)을 단순 확장한 최소 경계 팔각형(MBO: Minimum Bounding Octangle)을 지역화에 응용하였으며, 이는 다른 지역화 방법들과 비교하였을 때 상대적으로 더 효율적인 방법임을 확인할 수 있었다.

1. 서론

평면 곡선이나 도형에 대해 폴리곤(polygon)으로 근사화(approximation)하여 표현하는 것은 컴퓨터비전, 패턴 인식, 지도 제작 등의 분야에서 널리 이용되고 있다. 그러나, 형상에 대한 하나의 고정된 표현만으로는 실시간 디스플레이, 애니메이션, 패턴 인식에서의 계층적 비교(coarse-to-fine matching) 등과 같은 응용분야에서 요구되는 다양한 정밀도의 근사화 표현이 불가능하다. 그러므로, 응용 상황에 따라 형상에 대한 폴리곤 표현의 정밀도를 변화시킬 수 있는 계층적 표현(hierarchical representation)이 필요하다. 이에 대한 대표적인 연구로는 Ballard의 strip tree [1], Günther의 arc tree [2,5], Veltkamp의 HAL tree [3] 등이 있다.

계층적 표현은 특성상 트리 구조로 구현되는 것

이 자연스러우며, 한 노드의 자식 노드들은 부모 노드의 표현을 한 단계 더 상세하게 표현한다. 또한, 계층적 표현 체계에 대한 평가는 근사화(approximation)와 지역화(localization)라는 두 가지 측면에서 이루어진다. 근사화란 형상의 특징들은 유지하면서 상세한 표현들을 제거해 나가는 것이고, 지역화란 대상 객체의 위치와 경계 영역을 정의하는 것이다. 형상들 간의 교차 테스트(object intersection test), 점 포함 테스트(point inclusion test) 등과 같은 기하학적 연산의 효율성은 계층적 표현의 지역화와 밀접한 관련이 있다.

본 논문에서는 기존의 계층적 표현 방법들을 분석하고, 새로운 계층적 표현 방법을 제안한다. 계층적 근사화 과정에서 얻어지는 근사화 오차(approximation error)를 근사화 정도의 척도(measure)로 활용하였고 오차 조절 알고리즘을 제안하여 보다 자

연스러운 표현(natural representation)이 가능하도록 하였다. 지역화를 위해서는 MBR(Minimum Bounding Rectangle)을 단순 확장한 MBO(Minimum Bounding Octangle)를 이용하였다. 논문의 2장에서는 관련 연구에 대한 분석을 하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 계층적 표현 방법을 소개하고, 4장에서는 실험 결과를, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 관련연구

관련 연구로 대표적 계층적 표현인 Ballard의 strip tree[1], Günther의 arc tree[2, 5], Veltkamp의 HAL tree[3] 등을 근사화와 지역화 두 측면으로 나누어 분석하였다.

2.1 근사화(Approximation)

Strip tree의 근사화는 주어진 곡선의 양 끝점을 연결하는 직선에서 가장 멀리 떨어진 점(최대의 오차를 가지는 점)을 분할 점으로 하여 두 개의 곡선으로 분할해 나가는 방식으로 이루어지며, 비교적 형상의 특징을 잘 보존하는 근사화 결과를 보이지만, 계층적 표현이 지원되지 않는다.

Arc tree에서는 주어진 곡선 길이(arc length)의 1/2이 되는 위치의 점이 분할 점으로 선택된다. 그러므로, 분할 점들은 해당 곡선의 형상적 특징을 전혀 고려하지 않고 선택되므로 형상의 특징들이 잘 표현되지 못할 가능성이 높다.

Veltkamp의 HAL tree에서는 다소 복잡하게 정의되는 경계 영역을 이용하여 곡선을 분할한다. 주어진 곡선에 대한 경계 영역은 두 개의 원 또는 한 개의 원과 반 평면(half plane)의 교집합으로 정의된다. 그리고 이 영역의 경계에 닿는 (disc-touching) 점이 곡선의 분할 점으로 선택된다. 이 분할 역시 arc tree에서와 마찬가지로, 곡선의 형상적 특징을 전혀 고려하지 않고 이루어진다. 또한, 근사화 정도의 척도로 사용되는 값도 경계 영역을 기준으로 설정되기 때문에 실질적인 오차를 반영하지 못하는 경우도 발생한다.

2.2 지역화(Localization)

지역화의 목적은 대상 객체를 둘러싸는 경계 영역의 정보를 제공하는데 있으며, 본 논문에서는 두 가지 측면에서 살펴보고자 한다. 첫 번째는 대상 객체를 둘러싸는 경계 영역이 얼마나 작은가 하는 것이고, 두 번째는 상위 계층의 경계 영역이 하위 계층의 경계 영역들을 포함할 수 있는가의 여부이다. 왜냐하면 이 두 가지는 기하학적 연산의 효율성을 결정하는 중요한 요소들이기 때문이다.

Strip tree는 대상 곡선의 양 끝점을 연결하는 직선과 평행하면서 곡선을 포함하는 두 선분과, 양 끝점에 수직인 두 선분으로 구성되는 직사각형 영역(strip)을 경계 영역으로 정의한다. 이 strip은 MBR보다 더 효율적이긴 하지만 상대적으로 영역 계산이 복잡해지고, 더구나 곡선을 완벽하게 포함하지 못하는 경우도 발생한다[2]. 또한 strip은 위의 두 번째 조건을 만족시키지 못하는 경우도 발생한다.

Arc tree는 곡선의 양 끝점을 초점(focal point)으로 하고 곡선 길이(arc length)를 주축(major axis)으로 하는 타원을 경계 영역으로 정의한다. 타원은 위의 두 번째 조건을 만족하지만, 곡선을 효율적으로 포함하지는 못한다. 즉, 곡선이 복잡한 경우에는 곡선의 전체적인 크기에 비해 과대한 크기의 타원이 경계 영역으로 설정되는 문제점을 가지고 있다.

HAL tree는 2.1절에서 언급한 바와 같이 비교적 복잡하게 정의되는 경계 영역이 곡선의 작은 부분에 의해서도 과대하게 설정될 수 있고, 상위 계층의 영역이 하위 계층의 경계 영역을 포함하지 못하는 경우도 발생한다. 즉, 위의 첫 번째와 두 번째 조건을 만족시키지 못하는 경우가 발생한다는 것이다.

3. 제안된 계층적 표현 방법

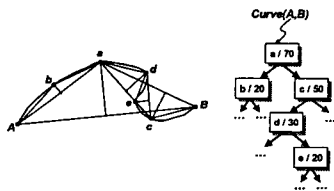
Douglas-Peucker 알고리즘은[4] 지도제작 분야에서 곡선 근사화 방법으로 널리 사용되고 있는 알고리즘이지만, 이 알고리즘은 계층적 개념을 지원하지 않을 뿐만 아니라 지역화 개념도 포함하고 있지 않다. 그러나, 우리는 이 알고리즘이 근사화 과정에서 형상의 특징을 비교적 잘 보존하는 (shape-adaptive) 특성을 가지고 있고, 근사화 과정에서 계산되는 근사

화 오차(approximation error)가 형상의 근사화 척도(measure)로 사용될 수 있음에 주목하였다. 그리고, 지역화를 위해 MBO를 활용하면서 보다 효율적인 계층적 표현이 되도록 확장하여 제안하였다.

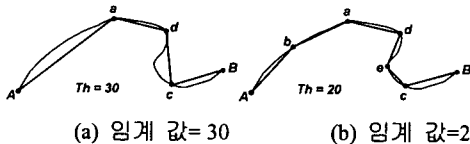
3.1 근사화(Approximation)

계층적 근사화를 위해서 평면 형상은 우선 두 개의 열린 곡선(open curve)들로 분할 된다. 이 분할은 도형의 2차 모멘트를 최소화 하는 직선[6]에 의해 이루어지는데, 이 분할 직선의 결정은 이동, 회전, 스케일링에 영향을 받지 않는 특성을 가지고 있다.

분할된 각각의 곡선은 기본적으로 Douglas-Peucker 알고리즘에 따라 분할되지만, 분할 점과 함께 근사화 오차도 함께 분할 점의 속성 값(attribute value)으로 저장되는 것이 다르다(그림 1). 이 속성 값은 계층적 표현을 위해 설정된 임계 값에 대한 근사화 표현을 얻고자 하는 경우에, 각 점의 포함 여부를 결정하는데 사용된다(그림 2).



[그림 1] 계층적 근사화 과정

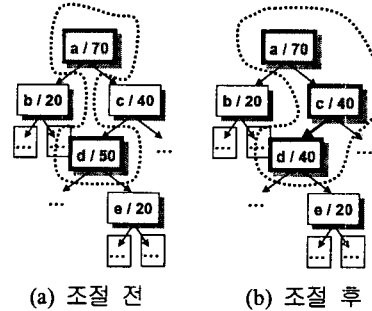


[그림 2] 속성 임계 값에 따른 계층적 표현들

3.2 자연스러운 표현(Natural Representation)

계층적 근사화 과정에서 분할 점과 함께 저장되는 속성 값은 트리의 아래로 갈수록 작아지는 것이 일반적이긴 하지만, 복잡한 오목 형상에서는 트리의 하위 노드 속성 값이 오히려 부모 노드의 값보다 더 큰 경우도 발생한다. 그림 3-(a)는 부모 노드 c 의 속성 값보다 자식 노드 d 의 속성 값이 더 큰 경우를 보여주는데, 이 때 임계 값 50으로 근사화 표현을 생성하면 노드 c 를 생략하고 d 가 먼저 포함되게 되어

자연스럽지 못한 표현을 얻게 된다. 이런 경우에는 부모 노드의 속성 값을 강제로 물려주어, 부모 노드가 나타나는 경우에만 자식 노드도 같이 나타나도록 처리하여 보다 자연스러운 표현이 되도록 할 수 있다(그림 3-(b)).

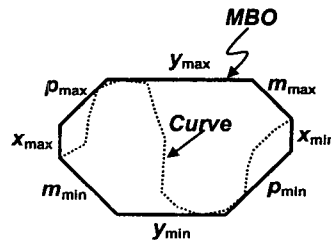


[그림 3] 자연스러운 표현을 위한 속성 값 조절

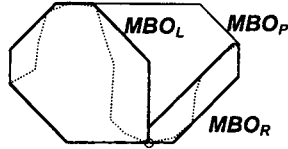
3.3 MBO를 이용한 지역화(localization)

최소 경계 팔각형(MBO)은 대상 객체에 비교적 밀착된 경계 영역을 표현할 수 있어 대상 객체의 효율적인 지역화에 이용될 수 있다. MBO는 아래 그림 4와 같이 x_{min} , x_{max} , y_{min} , y_{max} , p_{min} , p_{max} , m_{min} , m_{max} 등 8개의 값으로 표현된다. x_{min} , x_{max} , y_{min} , y_{max} 등은 대상 객체 좌표 값 중에서 x , y 의 최대와 최소이며, p_{min} , p_{max} , m_{min} , m_{max} 등은 $(y-x)$ 와 $(x+y)$ 의 최대 및 최소 값이다. 이 값들은 아주 간단한 연산으로 얻을 수 있다.

그리고 그림 5에서 알 수 있듯이 자식 노드의 MBO들(MBO_L 와 MBO_R)은 항상 부모 노드의 MBO(MBO_P)에 완전히 포함된다. MBO의 또 다른 장점으로 대상 객체의 종류에 무관하게(열린 곡선 또는 폐곡선) 효율적인 경계 영역을 얻을 수 있다는 것이다..



[그림 4] MBO의 정의

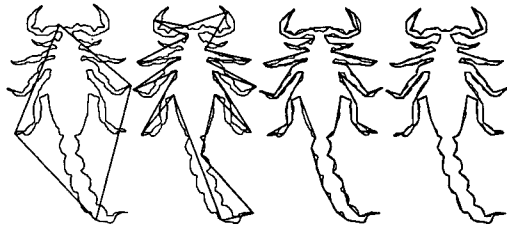


[그림 5] 트리 레벨간의 MBO 포함관계

4. 실험 결과

4.1 근사화 실험 결과

다음은 본 논문에서 제안하는 방법으로 테스트 형상에 대해 얻은 계층적 표현들이다.

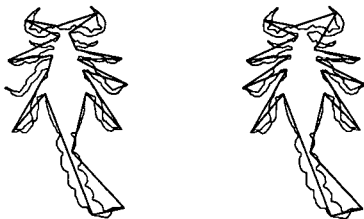


(a) Top Level (b) Th.=53 (c) Th.=8 (d) Th.=4

[그림 6] 속성 임계 값들에 대한 계층적 표현들

4.2 자연스러운 표현

그림 7의 (a)는 오차 조절을 하지 않은 상태에서 얻어진 부자연스러운 표현이다. 그러나 오차 조절을 한 뒤에는 같은 개수(20 개)의 점에 대해서도 (b)와 같은 보다 자연스러운 표현을 얻을 수 있게 됨을 알 수 있다..



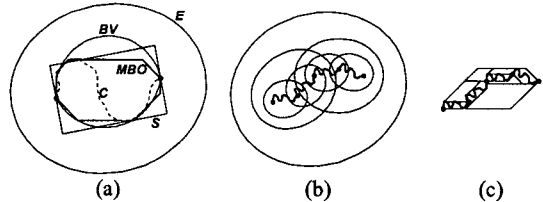
(a) 부자연스러운 표현 (b) 자연스러운 표현

[그림 7] 자연스러운 표현 (20 points)

4.3 지역화

그림 8-(a)는 실험 곡선에 대한 arc tree, strip tree, HAL tree의 경계 영역들과 본 논문의 MBO를 비교한 것이다. 실험 대상 곡선이 모든 경우를 다 표현하는

것은 아니지만, 상대적으로 MBO가 더 효율적임을 충분히 확인할 수 있다. 그림 8-(b),(c)는 타원과 MBO를 이용한 세 단계의 계층적 지역화 결과를 보이고 있다. MBO가 더 효율적임을 알 수 있다.



[그림 8] 지역화 성능 비교

5. 결론

본 논문에서는 평면 형상에 대한 새로운 계층적 표현 방법을 제안하였다. 형상의 특징을 보다 자연스럽게 근사화 할 수 있는 알고리즘과, MBO를 이용하여 지역화를 보다 효율적으로 할 수 있는 계층적 표현 체계를 구현하였다.

[참고문헌]

- [1] D. H. Ballard, "Strip trees: A Hierarchical Representation for Curves," Communications of ACM, Vol. 24, No. 5, pp. 310-321, 1981
- [2] O. Günther and E. Wong, "The Arc Tree: An Approximation Scheme to Represent Arbitrary Curved Shapes," Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 51, pp. 313-337, 1990
- [3] R. C. Veltkamp, "Hierarchical approximation and localization," The Visual Computer, Vol. 14, pp. 471-487, Springer-Verlag, 1998
- [4] D. H. Douglas and T. K. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature," Canadian Cartographer, No. 10, pp. 112-122, 1973
- [5] O. Günther and S. Dominguez, "Hierarchical Schemes for Curve Representation," IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 13, Issue 3, pp. 55-63, 1993
- [6] R. Jain, R. Kasturi and B.G. Schunck, MACHINE VISION, McGraw-Hill, 1995