

論文2003-40SP-6-13

다각형 근사 오차를 최소화하기 위한 2단계 정점 선택 기법

(A Two-Step Vertex Selection Method for Minimizing Polygonal Approximation Error)

尹炳珠*, 李熏哲**, 高綸浩***, 李時雄****, 金聖大*****

(Byoung-Ju Yun, Hun-Cheol Lee, Yun-Ho Ko, Si-Woong Lee, and Seong-Dae Kim)

요약

본 논문에서는 다각형 기반 윤곽선 부호화를 위한 새로운 정점 선택 기법을 제안한다. 객체의 모양을 효율적으로 표현하기 위해서 정점 선택 과정에서 기존의 최대 거리 척도뿐만 아니라 곡률 정보를 이용한다. 제안된 기법은 두 단계 과정으로 구성되어 있다. 첫 번째 단계에서는 곡률이 큰 윤곽선 화소들을 CSS (curvature scale space)를 이용하여 키 정점(key vertices)으로 선택한다. 이 점들은 객체의 윤곽선을 여러 개의 부분 윤곽선(contour segment)들로 나누며, 각 부분 윤곽선은 양 끝점이 인접한 두 개의 키 정점인 하나의 열린 윤곽선으로 독립적으로 처리된다. 두 번째 단계에서는 각각의 부분 윤곽선에서 주어진 허용 오차(D_{max})를 만족하면서 최소 개수의 정점을 선택하기 위해 순차적 정점 선택 기법을 이용하여 정점을 선택한다. 그리고 선택된 정점들은 오차 영역 면에서 최적의 위치를 찾기 위해 동적 프로그래밍(DP: dynamic programming) 기법을 사용하여 조정된다. 제안된 기법과 기존의 기법들의 근사 성능을 비교하기 위해 실험 결과를 제시한다.

Abstract

The current paper proposes a new vertex selection scheme for polygon-based contour coding. To efficiently characterize the shape of an object, we incorporate the curvature information in addition to the conventional maximum distance criterion in vertex selection process. The proposed method consists of "two-step procedure." At first, contour pixels of high curvature value are selected as key vertices based on the curvature scale space (CSS), thereby dividing an overall contour into several contour-segments. Each segment is considered as an open contour whose end points are two consecutive key vertices and is processed independently. In the second step, vertices for each contour segment are selected using progressive vertex selection (PVS) method in order to obtain minimum number of vertices under the given maximum distance criterion (D_{max}). Furthermore, the obtained vertices are adjusted using the dynamic programming (DP) technique to optimal positions in the error area sense. Experimental results are presented to compare the approximation performances of the proposed and conventional methods.

Keyword : Object-oriented coding, MPEG-4, shape information coding, polygonal approximation, curvature scale space

* 正會員, 慶北大學校 情報通信學科

(Department of Information and Communication, Kyungpook National University)

** 正會員, LG電子 Digital TV 研究所 SAT Group

(SAT Group, Digital TV Laboratory, LG Electronics)

*** 正會員, Hynix半導體 System IC SBU SP BU

(System IC SBU, SP BU, Hynix Semiconductor Inc.)

**** 正會員, 한밭大學校 情報通信컴퓨터學部

(Divi. of Information Communication and Computer Engineering, Hanbat National University)

***** 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科

(Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST)

接受日字:2003年8月20日, 수정완료일:2003年11月22日

I. 서론

객체의 모양 정보(shape information)는 영역 기반 영상 부호화 기법(region-based image coding)^[1]과 객체 기반 영상 부호화(object-based image coding)^[2]에 의해 영상 부호화에 도입되었다. 영역은 균질의 질감에 의해 정의되고, 질감과 모양 정보에 의해 표현된다. 객체는 균일한 움직임에 의해 정의되고, 움직임, 모양, 색상 정보에 의해 표현된다. 모양 정보를 사용하는 목적은 보다 우수한 주관적 화질을 얻고, 부호화 효율을 높이고, 객체 기반 비디오 표현을 위해서이다.

MPEG-4는 임의의 모양을 가지는 비디오 객체(VO's : video objects)의 전송을 가능하게 한 최초의 국제 표준이다^[3]. MPEG-4는 하나의 비디오 객체의 움직임(motion), 질감(texture), 모양(shape) 정보를 하나의 비트 열(bit-stream)로 전송한다. MPEG-4표준화 작업을 통해 객체의 모양 정보의 중요성이 인식되었다. 또한, 모양 정보는 영상의 색상, 질감 및 객체의 움직임 정보들과 함께 MPEG-7 에서 객체를 기술하는 표현자(Descriptor)로 사용되고 있다. 이와 같은 여러 가지 응용에서 사용되는 모양 정보를 효율적으로 부호화하는 것이 중요한 문제가 되고 있고, 많은 연구가 이루어지고 있다^[4].

모양 정보 부호화 기법은 크게 비트맵 기반(bitmap-based) 기법과 윤곽선 기반(contour-based) 기법으로 나뉘어진다. 비트맵 기반 기법은 각 화소가 객체에 속하는지 그렇지 않는지를 부호화하고, 윤곽선 기반 기법은 객체의 경계를 부호화한다. 제안된 기법은 윤곽선 기반 부호화 기법에 속한다. 다각형 근사화 기법은 화질 제어에 탁월한 성능을 보이며^[8,9], 윤곽선 근사화 기법에 가장 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 객체의 윤곽선을 다각형으로 근사화하고, 주어진 비트량에서 최소 오차의 다각형을 찾는 문제를 다루고자 한다.

본 논문에서는 주어진 최대 허용 오차를 만족하면서 적은 수의 정점을 가지는 다각형으로 근사 오차를 최소화하는 새로운 정점 선택 기법을 제안한다. 제안된 기법은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 곡률의 절댓값이 최대가 되는 윤곽선 상의 점들을 CSS(curvature scale space)^[11]를 사용하여 선택하고, 이를 키 정점(key vertex)이라고 한다. 윤곽선 상의 높은 곡률을 가지는 점들은 현저 점(dominant point) 또는 모

서리 점(corner point)이라고 한다. 이러한 점들은 객체의 모양의 풍부한 정보를 가지고 있고, 모양을 특징짓는 중요한 역할을 하고, 컴퓨터 비전, 물체 인식 등의 분야에서 많은 연구가 이루어졌지만, 부호화 분야에서는 전혀 고려되지 않았다. 부호화 측면에서도 이러한 점들은 근사 오차를 줄이기 위한 중요한 점들이라는 사실을 본 논문에서 살펴본다. 키 정점들은 원 윤곽선을 여러 개의 부분 윤곽선(contour segment)들로 나눈다. 제안된 기법에서는 각 부분 윤곽선을 인접한 두 키 정점들을 끝 점으로 가지는 열린 윤곽선(open contour)으로 생각한다. 두 번째 단계에서는 각 부분 윤곽선을 순차적 정점 선택 기법을 이용하여 근사화 한다. 순차적 정점 선택 기법을 사용한 이유는 이 기법이 주어진 최대 오차를 만족시키면서 최소의 정점을 선택하기 때문이다. 그리고 윤곽선과 다각형 사이의 오차를 최소화 하는 최적의 정점의 위치를 동적 프로그래밍(DP: dynamic programming)을 이용하여 조정한다. DP 기법은 다단계 과정(multistage process)에서 전역적 최적의(global optimum) 해를 찾는 방법이므로 제안된 기법에서는 근사 오차를 최소화 하는 최적의 정점의 위치를 찾기 위해 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 연구 배경을 설명하고, III장에서는 제안된 2단계 정점 선택 기법에 대해 설명한다. 넓은 범위의 비트량-왜곡 특성 곡선에서 제안된 정점 선택 기법의 향상된 부호화 효율을 IV장에서 실험 결과로 보이고, V장에서는 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

1. 기존의 정점 선택 기법

정점 기반 모양 정보 부호화 기법의 일반적인 구조는 <그림 1>과 같다^[5]. 입력으로 들어오는 객체의 마스크(이진 알파 평면: binary alpha plane)는 원하지 않는 잡음과 경계(edge)의 지저분한 면을 없애기 위해 공간적인 해상도를 줄이는 전처리 과정을 거치게 된다. 그 다음, 객체의 윤곽선(contour)이 결정되고, 정점 선택(vertex selection) 단계에서는 윤곽선의 다각 근사화를 결정짓는 정점들이 왜곡 척도나 정점 개수의 한계에 따라 선택되고, 마지막으로, 정점 부호화(vertex encoding) 단계에서는 각 근사 다각형의 정점들이 부호화된다. <그림 1>의 점선으로 표시된 요소들은 근사화

한 후 원 윤곽선과 근사 직선 사이의 오차를 적은 양의 데이터로 부호화 해주는 방법이다.

기존에 널리 사용되고 있는 다각형 근사를 위한 정점 선택 기법은 순차적 정점 선택 기법(PVS: progressive vertex selection)^[8,9] 과 순환 선택 기법(IRM: iterated refinement method)^[10] 등이 있다. 순차적 정점 선택 기법은 다각형의 정점을 순차적인 탐색으로 결정한다. 순차적 정점 선택 기법은 초기 정점으로부터 윤곽선을 탐색하면서 이전 정점과 현재 윤곽선 화소를 잇는 직선과 이 부분의 윤곽선 사이의 최대 거리(d_p)와 주어진 최대 허용 오차(D_{max}^*)의 크기를 비교한다. 만약 d_p 가 D_{max}^* 보다 크면 바로 이전 화소를 다각형의 정점으로 선택하고, 이 정점으로부터 다시 이 과정을 되풀이한다. 순차적 정점 선택 기법은 주어진 최대 허용 오차를 만족하면서 가장 적은 수의 정점을 선택하여, 부호화 비트량을 줄일 수 있지만, 원 윤곽선과 다각형사이의 오차 면적이 비교적 크다는 단점이 있다. 반면 순환적 정점 선택 기법은 다각형의 정점을 순환적인 방법을 통해 결정한다. 다각형 근사화 기법은 윤곽선 상에 거리가 가장 먼 두 점을 초기 정점으로부터 수행된다. 다각형과 거리가 가장 먼 윤곽선 상의 점이 다각형의 정점으로 삽입되고, 새로운 다각형이 만들어진다. 다각형과 윤곽선 사이의 최대 오차가 D_{max}^* 보다 작아질 때까지 반복된다. 정점 선택 조건에 의해 곡률이 큰 점들이 다각형의 정점으로 선택될 확률이 높고, 오차 영역이 작아질 수 있지만, 많은 수의 정점이 선택된다는 단점을 가지고 있다.

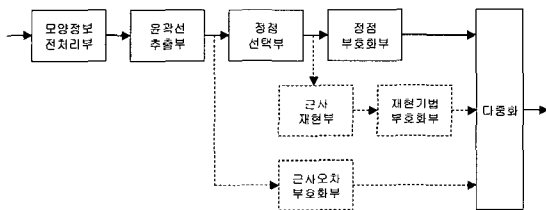


그림 1. 정점 기반 모양 정보 부호화 기법의 블록도
Fig. 1. Block diagram of vertex-based shape information encoder.

2. 기존 정점 선택 기법의 문제점

앞에서 언급한 바와 같이 순차적 정점 선택 기법은 주어진 최대 허용 오차를 만족하면서 최소 개수의 정점을 선택하므로 부호화 효율이 크다. 하지만 D_{max}^* 가 커질수록 순차적 정점 선택 기법은 모양 정보의 특징

을 표현하는 곡률이 큰 점을 선택하는 능력이 떨어진 다. 그래서 순차적 정점 선택 기법은 근본적인 두 가지의 문제점을 가지고 있다. 첫 번째, 원 윤곽선과 근사 다각형 사이의 오차 면적이 크고, 두 번째, 근사 다각형의 모양의 변형이 생긴다는 것이다.

<그림 2(a)>는 순차적 정점 선택 기법에 의해 결정된 다각형의 한 예를 보여준다. 굵은 선은 객체의 윤곽선이고, 가는 선은 근사 다각형이다. 그림에서 볼 수 있듯이 대부분의 다각형의 정점이 윤곽선의 부드러운 부분에 존재하게 되고, 다각형의 각 변은 높은 곡률의 윤곽선을 근사하기 때문에 앞에서 언급한 두 가지의 문제점들을 볼 수 있다.

본 논문에서는 적은 수의 정점을 유지하면서 순차적 정점 선택 기법의 이러한 문제점들을 해결하기 위한 새로운 정점 선택 기법을 제안한다. 첫 번째, 곡률이 큰 정점을 키 정점으로 선택한다. 이 키 정점들은 원 윤곽선을 여러 부분 윤곽선으로 나눈다. 각 부분 윤곽선의 두 끝점은 인접한 키 정점들이다. 두 번째, 각 부분 윤곽선은 순차적 정점 선택 기법으로 근사화한다. <그림 2(b)>는 기존의 순차적 정점 선택 기법과 비슷한 개수의 정점으로 오차 영역이 작은 새로운 정점 선택 기법의 예를 보여준다

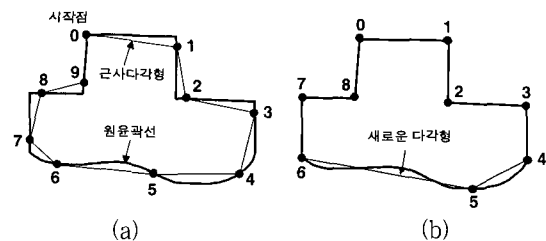


그림 2. 정점 선택의 예 (a) 순차적 정점 선택 (b) CSS를 이용한 초기 정점 + 순차적 정점 선택
Fig. 2. Example of vertex selection (a) PVS (progressive vertex selection) (b) initial vertex selection using CSS + PVS.

III. 제안된 2단계 정점 선택 기법

1. 시스템 개요

제안된 기법에서는 정점 선택 모듈을 재구성한다 (<그림 3>). CSS기법을 이용한 키 정점 선택 단계와 순차적 정점 선택 기법과 동적 프로그래밍을 이용한 나머지 정점 선택의 2단계로 구성되어 있다. 첫 번째

단계에서는 CSS기법을 이용하여 높은 곡률의 윤곽선 상의 화소를 초기 정점으로 선택한다. 객체 윤곽선 상의 높은 곡률을 갖는 점들은 객체 표현뿐만 아니라 모양 정보 부호화에서 매우 중요한 점이다.

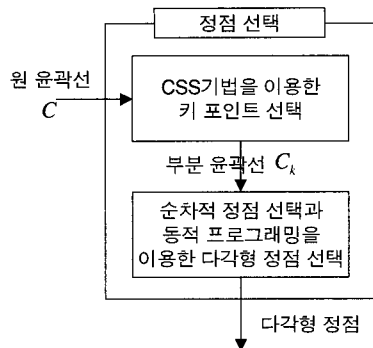


그림 3. 제안된 정점 선택 기법의 블록도
Fig. 3. Block diagram of the proposed vertex selection method.

2. 곡률에 기반한 키 정점 선택

CSS를 설명하기 위해서 몇 가지 용어를 정의한다. 윤곽선(C)은 윤곽선의 길이를 나타내는 계수 t에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C(t) = (x(t), y(t)). \tag{1}$$

여기에서, $0 \leq t < N$, N: 윤곽선 화소수이다.

이 윤곽선을 가우시안 필터($g(t, \sigma)$)를 사용하여 평탄화(smoothing) 과정을 거친 윤곽선을 다음과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} C(t, \sigma) &= (X(t, \sigma), Y(t, \sigma)) \\ X(t, \sigma) &= x(t) \otimes g(t, \sigma) \\ Y(t, \sigma) &= y(t) \otimes g(t, \sigma) \end{aligned} \tag{2}$$

여기에서 \otimes 는 콘볼루션을 나타내고 $g(t, \sigma)$ 는 σ 의 너비의 가우시안 필터이다.

$$g(t, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right)$$

이 평탄화 된 윤곽선($C(t, \sigma)$)으로부터 곡률($\kappa(t, \sigma)$)을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\kappa(t, \sigma) = \frac{\dot{X}(t, \sigma)\ddot{Y}(t, \sigma) - \ddot{X}(t, \sigma)\dot{Y}(t, \sigma)}{(\dot{X}^2(t, \sigma) + \dot{Y}^2(t, \sigma))^{3/2}} \tag{3}$$

여기에서,

$$\begin{aligned} \dot{X}(t, \sigma) &= \frac{dX(t, \sigma)}{dt}, \ddot{X}(t, \sigma) = \frac{d^2X(t, \sigma)}{dt^2} \\ \dot{Y}(t, \sigma) &= \frac{dY(t, \sigma)}{dt}, \ddot{Y}(t, \sigma) = \frac{d^2Y(t, \sigma)}{dt^2} \end{aligned}$$

객체의 윤곽선은 디지털 영상에서의 이산적으로 표현되기 때문에, 윤곽선의 계수 또한 이산적이다. 그러므로 제안된 기법에서는 미분자를 근사화 하기 위해 다음과 같이 널리 사용되고 있는 유한 차분 식을 사용한다.

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= X(t+1) - X(t), \ddot{X} = X(t+1) + X(t-1) - 2X(t) \\ \dot{Y}(t) &= Y(t+1) - Y(t), \ddot{Y}(t) = Y(t+1) + Y(t-1) - 2Y(t) \end{aligned} \tag{4}$$

또한, 가우시안 필터는 윈도우의 계수들로 표현된다.

σ 값이 큰 값으로 윤곽선을 평탄화 한 후, 곡률이 지역적인 최대값(local maximum)을 가지는 점을 모서리 점으로 선택한다. 평탄화가 많이 이루어진 윤곽선 상에서 큰 값의 곡률을 가지는 점의 위치를 찾기 때문에 윤곽선상에 존재하는 잡음의 영향을 없앨 수 있다. 하지만, 이 점들은 평탄화 된 윤곽선 상에서 최대값의 곡률을 가지지만 원 윤곽선 상에서는 그 위치에서 곡률이 최대가 되지 않기 때문에, σ 값을 낮추면서 정확한 위치를 조정하게 된다. 이 때 모서리 점의 개수는 변화하지 않고 위치만 변하게 된다. 이러한 모서리 점들의 위치가 갑자기 변하지 않으므로 이전 σ 값으로 결정된

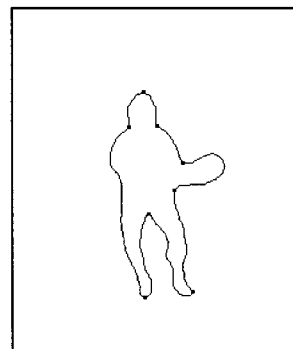


그림 4. CSS를 이용한 키 정점 선택(Stefan 영상)
Fig. 4. Key vertices selected by CSS(Stefan image).

모서리 점 부근의 몇 점에 대해서만 곡률 값을 계산하고, 위치가 변하면 새로운 위치로 모서리 점을 옮긴다. 이런 방법을 이용하여 찾은 윤곽선의 모서리 점들은 비교적 정확한 위치에 존재하게 된다(<그림 4>).

3. 순차적 정점 선택 기법과 동적 프로그래밍을 이용한 최종 정점 결정

일반적으로, 비트량은 정점의 개수에 비례하므로, 각 부분 윤곽선을 근사화 하기 위한 비트량은 부분 윤곽선의 근사다각형의 정점의 개수로 결정된다고 생각한다. 각 부분 윤곽선의 근사다각형의 정점의 개수가 결정되면 근사오차를 최소로 하기 위한 정점들의 위치를 동적 프로그래밍을 이용하여 결정한다.

제안된 기법의 두 번째 단계를 설명하기 위한 용어 및 이 단계에서 해결하고자 하는 문제를 정의한다.

A. 용어 및 문제 정의

객체의 윤곽선(C)은 좌표들의 순서 집합으로 표현된다.

$$C = \{c_0, c_1, \dots, c_{N_c-1}\} \tag{5}$$

여기에서, c_j 는 윤곽선의 j 번째 화소의 좌표이고, N_c 는 윤곽선 화소의 수이다.

CSS는 S개의 키 정점들을 선택한다.

$$V' = \{v'_0, v'_1, \dots, v'_{s-1}\} \tag{6}$$

여기에서 v' 는 키 정점들의 집합이고, v'_k 는 k 번째 키 정점이다. s 는 키 정점들의 수이다.

키 정점들은 원 윤곽선을 S개의 부분 윤곽선으로 나눈다.

$$C = C_0 \cup C_1 \dots \cup C_{s-1} \tag{7}$$

여기에서 s 는 부분 윤곽선의 수이고, C_k 는 v'_k 와 v'_{k+1} 사이의 N_k 개의 화소로 이루어진 부분 윤곽선이다.

$$\begin{aligned} C_0 &= \{c_{0,0} = v'_0, c_{0,1}, \dots, c_{0,N_0-1} = v'_1\} \\ C_1 &= \{c_{1,0} = v'_1, c_{1,1}, \dots, c_{1,N_1-1} = v'_2\} \\ &\vdots \\ C_k &= \{c_{k,0} = v'_k, c_{k,1}, \dots, c_{k,N_k-1} = v'_{k+1}\} \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$C_{s-1} = \{c_{s-1,0} = v'_{s-1}, c_{s-1,1}, \dots, c_{s-1,N_{s-1}-1} = v'_0\} \tag{8}$$

여기에서 $c_{i,j}$ 는 i 번째 부분 윤곽선의 j 번째 화소이

$$c_{k,0} = c_{k-1,N_{k-1}}, 0 \leq k < S, c_{0,0} = c_0 \text{이다.}$$

이전 부분 윤곽선의 끝점은 다음 부분 윤곽선의 시작점과 같은 점이다.

$$C_{k-1} \cap C_k = v'_k = c_{k,0} \tag{9}$$

여기에서 $0 < k \leq S$ 이고, $C_S = C_0$ 이다.

각 부분 윤곽선의 근사다각형은 순차적 정점 선택 기법에 의해 결정된다. 앞에서 언급한 바와 같이, 순차적 정점 선택은 최소의 정점을 선택하기 때문에 이 기법을 사용하였다.

각 부분 윤곽선의 근사 다각형의 정점의 집합은 다음과 같다.

$$V_{C_k} = \{v_{k,0} = v'_k, v_{k,1}, \dots, v_{k,N_{v_k}-2}, v_{k,N_{v_k}-1} = v'_{k+1}\} \tag{10}$$

여기에서, N_{v_k} 는 k 번째 부분 윤곽선을 근사화 하는 다각형의 정점의 개수이고, $0 \leq k < S$ 이다. 그리고, $v_{k,j}$ 는 k 번째 부분 윤곽선 근사 다각형의 j 번째 정점이고, $0 \leq j < N_{v_k}$ 이다.

순차적 정점 선택 기법으로 다각형의 정점을 선택하면, 주어진 최대 허용 오차를 만족하면서 최소 개수의 정점을 선택할 수 있지만, 오차 영역면에서는 최적이라 할 수 없다 (예: <그림 5(a)>). 그래서 이번 단계에서 해결하고자 하는 문제는 부분 윤곽선의 근사 다각형의 정점의 개수가 주어졌을 때, 근사 오차를 최소화하는 최적의 정점 집합을 결정하는 것이다.(예: <그림 5(b)>).

$V_{C_k} \neq V_{C_k}^{opt}$ 인 모든 V_{C_k} 에서 $E(V_{C_k}^{opt}) < E(V_{C_k})$ 를 만족시키는

$$V_{C_k}^{opt} = \{v_{k,0}^{opt} = v'_k, v_{k,1}^{opt}, \dots, v_{k,N_{v_k}-2}^{opt}, v_{k,N_{v_k}-1}^{opt} = v'_{k+1}\} \tag{11}$$

여기에서, $E(\cdot)$ 는 다각형의 근사 정도를 결정하는 다각형 오차 척도이다.

B. 오차 척도

윤곽선 부호화기의 성능을 평가하기 위한 두 가지 오차 척도가 일반적으로 사용된다. 첫번째는 최소의

유클리디안 거리, D_{max} , 인데, 이는 윤곽선과 근사 다각형 사이의 최대 거리를 나타낸다. 하지만, 객체 모양이 변화되는 손실 부호화 기법에서는 효율적인 오차 척도가 아니다. 또 다른 오차 척도로는 오차 면적을 객체의 모양의 크기로 정규화 한 D_p 이 있다. 본 논문에서는 두 번째 오차 척도를 사용한다. 표현을 간단히 하기 위해 오차 척도의 아래 첨자를 생략하고 D 로 표기한다. k 번째 부분 윤곽선의 근사 다각형의 정점의 개수가 결정되면, 오차는 다음과 같이 정의 된다.

$$D_k = \sum_{i=1}^{N_{v_i}-1} D(v_{k,i-1}, v_{k,i}) \quad (12)$$

여기에서 D_k 는 k 번째 부분 윤곽선과 근사 다각형 사이의 오차 면적이고, $D(v_{k,i-1}, v_{k,i})$ 는 $v_{k,i-1}$ 과 $v_{k,i}$ 를 잇는 선분 $\overline{v_{k,i-1}v_{k,i}}$ 과 이 선분 $\overline{v_{k,i-1}v_{k,i}}$ 에 의해 근사화 되는 윤곽선 사이의 오차 화소의 수이다

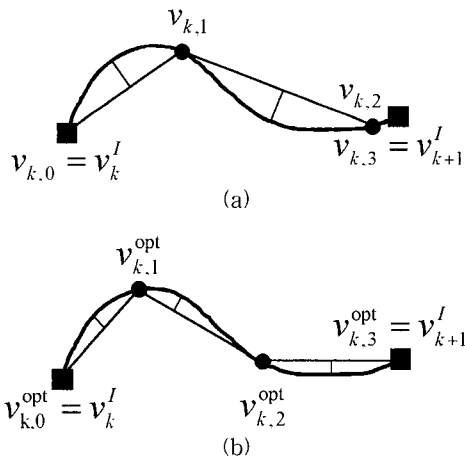


그림 5. 정점 좌표 선택 (a) 순차적 정점 선택 (b) 오차의 최소화를 위한 동적 프로그래밍을 이용한 정점 조정

Fig. 5. Vertex position selection (a) Progressive vertex selection (b) Vertex adjustment for minimizing segment error by using DP.

C. 동적 프로그래밍 기법을 이용한 정점 위치 조정

1) 각 정점의 탐색 영역 결정: 순차적 정점 선택 기법은 현재 정점을 이전 정점으로부터 순차적인 탐색에 의해 결정하므로, 현재 정점은 모든 정점 선택 조건을 만족하는 윤곽선상의 화소들 중 이전 정점으로부터 윤곽선 상에서 가장 멀리 떨어져 있다. 여기서 정점 선택

조건을 만족하는 화소는 이전 정점과 현재 화소를 연결하는 선분과 이 선분이 근사화 하는 윤곽선 사이의 최대 오차(d_p)가 허용된 최대 오차(D_{max}°)보다 작거나 같은 화소이다. 윤곽선 화소의 인자가 증가하는 방향을 순방향이라고 정의하고, 정점 선택을 위한 탐색은 순방향으로 이루어진다. 만약 현재 선택된 정점이 윤곽선 화소의 인자가 증가하는 순방향의 윤곽선 화소로 이동하면, 최대 오차(d_p)가 D_{max} 보다 커지게 되고 이는 오차 면적이 증가하게 되므로, 현재 정점의 탐색 영역을 이전 정점의 바로 다음 화소로부터 현재 정점의 바로 이전 화소까지로 제한하였다.

k 번째 부분 윤곽선의 근사다각형은 N_{v_i} 개의 정점들로 구성되었는데, 이는 양 끝점과 이 두 끝점 사이의 $(N_{v_i} - 2)$ 개의 다각형 정점이다. 양 끝점의 위치는 고정시키고, 나머지 정점의 위치를 조정한다. k 번째 부분 윤곽선의 근사 다각형의 i 번째 정점의 탐색 영역($S_{v_{k,i}}$)은 다음과 같이 정의된다 (예: <그림 6>).

$$S_{v_{k,i}} = \left\{ c_{k,j} \mid c_{k, \sum_{m=0}^{i-1} L_m} = v_{k,i-1} < c_{k,j} \leq c_{k, \sum_{m=0}^i L_m} = v_{k,i} \right\}, \quad 1 \leq i < N_{v_i-1} \quad (13)$$

여기에서, $L_0=0$ 이고, 각 정점($v_{k,i}$)의 탐색 영역에는 L_i 개의 윤곽선 화소가 있다

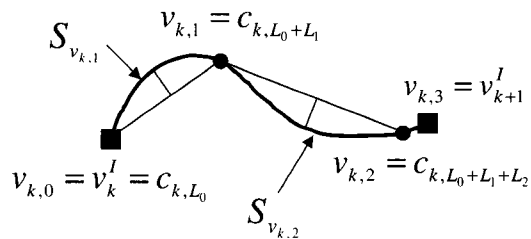


그림 6. 각 정점의 탐색 영역
Fig. 6. Search range of each vertex.

2) 동적 프로그래밍을 이용한 정점 위치 조정: 동적 프로그래밍 기법은 다단계 과정에서 전역적인 최적을 찾는 방법이다. 이 기법은 “주어진 두 점 사이의 최적 경로는 이 최적의 경로상에 있는 어떠한 두 점 사이의 최적의 경로이다”라는 Bellman의 최적의 원리를 기반으로 있다^[12].

동적 프로그래밍을 정점 위치 조정에 적용하기 위해서 N 개의 정점을 N 단계의 순방향 연결 그래프 (forward-connected graph of N -stages)로 변환한다고 가정한다. 각 단계에서는 L_i 개의 상태가 있는데 이는 각 정점이 위치할 수 있는 점의 개수이다. 다음으로 각 단계에서 다음을 계산한다. 간결한 표현을 위해 각 부분 유폴선을 표시하는 첨자는 생략한다.

$$D^n = \sum_{i=1}^n D(v_{i-1}, v_i) \quad i=1, \dots, N-1 \quad (14)$$

여기에서, D^n 은 전체 왜곡을 나타내고, $D(\cdot)$ 는 부분 왜곡을 나타낸다.

각 단계(정점)에는 앞에서 정의한 탐색 영역내의 화소의 개수만큼의 상태가 있다. 부분 유폴선의 근사 다각형의 양 끝점은 고정되어 있다고 가정한다. i 번째 단계의 모든 가능한 상태에서의 왜곡 (D^i)은 다음과 같이 계산된다.

$$D^i(l_i) = \min_{l_{i-1}} \{D^{i-1}(l_{i-1}) + D_i(l_{i-1}, l_i)\} \quad l_i, l_{i-1} = 1, \dots, L \quad (15)$$

여기에서, l_{i-1} 과 l_i 는 각각 정점 v_{i-1} 과 v_i 의 탐색 영역 내의 점의 위치를 나타낸다.

최소 오차를 갖는 경로는 $i=N-2$ 인 단계에서 찾게 된다. 최소의 오차를 갖는 최적의 다각형은 각 단계의 탐색영역내의 정점들을 역 탐색해서 찾게 된다. 동적 프로그래밍을 위해서 두 가지 인자를 저장할 수 있는 표가 필요하다. 하나는 $D^i(l_i)$ 의 L 개의 왜곡 값을 저장하고, 다른 하나는 l_i 까지의 최적의 경로를 저장하는 표이다.

<그림 7>은 제안된 다각형의 정점을 선택하는 과정을 도식화한 그림이다. 두 개의 키 정점의 위치는 고정되어 있고, $N-2$ 개의 다각형의 정점에 대해 정점 선택 알고리즘을 적용한다. 제안된 다각형 정점 선택 기법의 전체 과정은 다음과 같다.

- (1) 부분 유폴선의 근사 다각형의 정점의 집합(V_C)을 순차적 정점 선택 기법을 이용하여 선택한다.
- (2) 처음과 마지막 정점을 초기 정점 위치로 고정한다. 열린 유폴선의 근사 다각형의 양 끝점을 유폴선의 끝점과 일치시키는 것이다.

$$v_{k,0}^{opt} = v'_k, v_{k,N-k-1}^{opt} = v'_{k+1}$$

- (3) $D^i(l_i), l_i = 1, \dots, L_i$ 을 계산한다. 여기에서 $D^i(l_i) = D_i(v_{k,0}^{opt}, l_i)$ 이다. 그리고 오차 표에 저장한다.
- (4) 단계를 하나 증가시킨다. ($i++$)
- (5) 각 l_i 에 대해서 $D^i(l_i)$ 를 (식 15)에 따라 계산한다. 그리고 오차 표와 경로 표를 갱신한다.
- (6) 만약 $i \neq N-2$ 이면 단계 (4)로 간다. 그렇지 않으면 $D^{N-2}(l_{N-2}), l_{N-2} = 1, \dots, L$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$D^{N-2}(l_{N-2}) = \min_{l_{N-3}} \{D^{N-3}(l_{N-3}) + D_{N-2}(l_{N-3}, l_{N-2}) + D_{N-1}(l_{N-2}, v'_{k+1})\} \quad l_{N-3} = 1, \dots, L$$
- (7) 최소 값의 $D^{N-2}(l_{N-2}), l_{N-2} = 1, \dots, L$ 를 선택한다. 이 경로가 최적의 해를 나타낸다.

위의 과정은 $N \geq 4$ 이상 일 때, 즉 각 부분 유폴선 상에서 2개 이상의 다각형의 정점이 있을 때 적용하고, 정점이 1개(즉, $N=3$)일 때는 (6)번 과정을 이용하여 정점을 선택한다. 여기에서 $D^0(l_0) = 0$ 이다

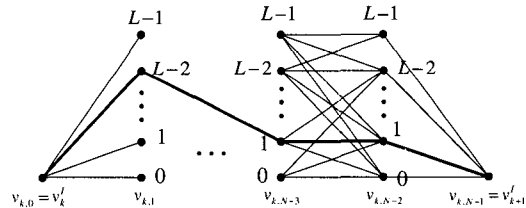


그림 7. 동적 프로그래밍을 이용한 정점 조정
Fig. 7. Vertex adjustment using dynamic programming.

IV. 실험 결과

제안된 정점 선택 기법의 성능을 평가하기 위한 모의 실험을 하였다. 특별히 MPEG-4 표준화 과정에 사용된 순환적 정점 선택 기법, 부호화 효율이 가장 우수한 순차적 정점 선택 기법, 본 논문에서 제안된 곡률 기반 정점 기법 등의 세 가지 정점 선택 기법의 성능을 비교한다. 본 논문에서 사용된 오차 척도는 MPEG-4에서 사용하는 척도로 다음과 같다.

$$D = \frac{\text{number of pixels in error}}{\text{number of interior pixels}} \quad (16)$$

여기에서, 분자는 물체 마스크와 다각형 마스크의 비

정합 화소의 수이고, 분모는 물체 마스크의 크기이다.

비트량은 각 정점의 상대 좌표를 엔트로피 코딩을 이용하여 계산하였고, 실험 영상으로는 여러 종류의 MPEG-4 실험 영상을 사용하였고, 그 중 'Akiyo' 영상 (QCIF, 176 × 144), 'Children kids' 영상 (SIF, 352 × 249), 'News' 영상 (CIF, 352 × 288), 'Stefan' 영상

(CIF, 352 × 288)시퀀스를 사용한 비교 실험 결과를 제시한다.

<그림 8>에서 <그림 11>까지는 제안된 정점 선택 기법과 기존의 정점 선택 기법들의 비트량-왜곡 특성 그래프이다. 'Akiyo' 영상에서는 제안된 기법이 순차적 정점 선택 기법에 비해 최고 66.6%, 평균 60.1% 이상

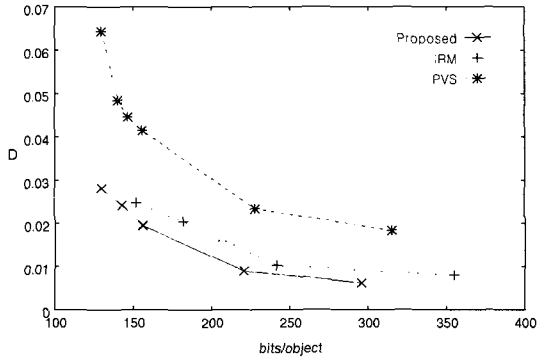


그림 8. 'Akiyo'영상의 비트량-왜곡 특성 그래프
Fig. 8. Rate-distortion curve of 'Akiyo' image.

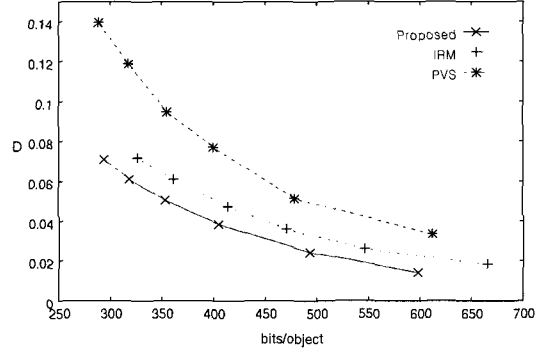


그림 11. 'Stefan'영상의 비트량-왜곡 특성 그래프
Fig. 11. Rate-distortion curve of 'Stefan' images.

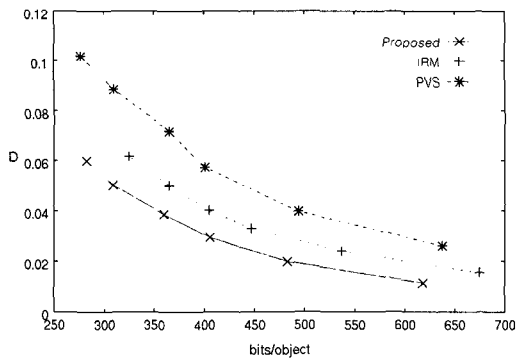


그림 9. 'Children kids'영상의 비트량-왜곡 특성 그래프
Fig. 9. Rate-distortion curve of 'Children kids' image.

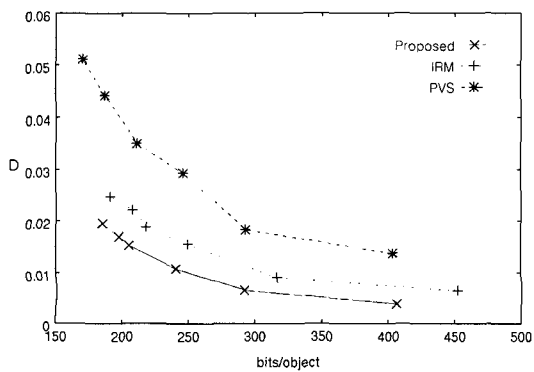


그림 10. 'News'영상의 비트량-왜곡 특성 그래프
Fig. 10. Rate-distortion curve of 'News' image.

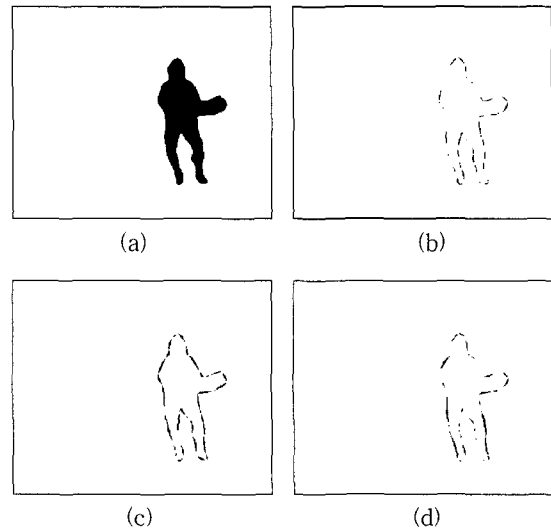


그림 12. 'Stefan' 영상의 오차 영역 비교 (a) 원 영상의 마스크 (b) 제안된 기법 (정점 수: 26, 오차 화소 수: 397) (c) 순차적 정점 선택 기법 (정점 수: 26, 오차 화소 수: 827) (d) 순환적 정점 선택 기법 (정점 수: 27, 오차 화소 수: 538)

Fig. 12. Comparison of the error image of 'Stefan' image (a) Original mask (b) Proposed method (# of vertices: 26, # of error pixels: 397) (c) Progressive vertex selection (# of vertices: 26, # of error pixels: 827) (d) Iterated refinement method (# of vertices: 27, # of error pixels: 538).

의 오차를 감축하였고, 순환적 정점 선택 기법에 비해 최고 35.7%, 평균 28.3% 이상의 오차를 감축하였다. 'Children Kids' 영상에서는 순차적 정점 선택 기법에 비해 최고 58.0%, 평균 50.1% 이상의 오차를 감축하였고, 순환적 정점 선택 기법에 비해 최고 38.0%, 평균 30.1% 이상의 오차를 감축하였다. 'News' 영상에서는 순차적 정점 선택 기법에 비해 최고 71.0%, 평균 65.0% 이상의 오차를 감축하였고, 순환적 정점 선택 기법에 비해 최고 46.0%, 평균 39.4% 이상의 오차를 감축하였다. 'Stefan' 영상에서는 순차적 정점 선택 기법에 비해 최고 59.9%, 평균 51.2% 이상의 오차를 감축하였고, 순환적 정점 선택 기법에 비해 최고 38.1%, 평균 24.5% 이상의 오차를 감축하였다.

<그림 12>는 'Stefan' 영상의 객체의 마스크와 복원 마스크 사이의 오차 영역을 나타내고 있다. (a)는 원 객체의 마스크이고, (b)(c)(d)는 각각 제안된 기법, 순차적 정점 선택 기법, 순환적 정점 선택 기법에 의해 복원된 마스크와 원 객체의 마스크 사이의 오차 영역에 해당하는 최소의 분포를 보여준다. 제안된 기법이 비슷한 개수의 정점으로 원 마스크와 복원 마스크 사이의 오차 면적을 줄임을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 적은 비트량을 유지하면서 근사 오차를 최소화하기 위해 CSS 기법과 동적 프로그래밍을 이용하는 2단계 정점 선택 기법을 제안하였다. 첫 번째 단계의 정점 선택에서는 물체 모양의 특징 점이라 할 수 있는 곡률이 큰 점들을 CSS기법을 이용하여 키 정점들을 선택하였고, 두 번째 단계에서는 인접한 키 정점 사이의 부분 윤곽선을 근사화 하는데 필요한 정점을 순차적 정점 선택 기법으로 선택하고, 그 정점의 위치를 부분 윤곽선과 다각형 사이의 오차 면적을 최소가 되게 동적 프로그래밍을 이용하여 조정한다.

제안된 정점 선택 기법은 기존의 순차적 정점 선택 기법에 비해 최고 71.0%, 평균 56.6%의 근사 오차를 감축하였고, 순환적 정점 선택 기법에 비해 최고 46.0%, 평균 30.6%의 근사 오차를 감축하였다.

제안된 기법은 기존의 정점 선택 기법보다 비트량-왜곡 측면에서 우수한 성능을 보이고, 객체에 특징을 잘 나타내는 곡률이 큰 점을 정점으로 선택하므로 객체 모양 조작이나 객체 모양 인식과 같은 영역에서도

사용될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] M. Kunt, A. Ikonomopoulos, and M. Kocher, "Second-generation image-coding techniques," Proc. Of The IEEE, vol. 73, no. 4, pp. 549-574, April 1985.
- [2] H. G. Musmann, M. Hötter, and J. Ostermann, "Object-Oriented Analysis-Synthesis Coding of Moving Images," Signal Processing: Image Communication, vol. 1, pp. 117-138, 1989.
- [3] R. Koenen, Ed., "Overview of the MPEG-4 standard," International Standards Organization, Stockholm meeting, ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 N1730, July 1997.
- [4] N. Brady, F. Bossen, and N. Murphy, "Context-based Arithmetic Encoding of 2D Shape Sequences," Proc. ICIP 97, vol. 1, pp. 29-32, 1997.
- [5] Kevin J. O'Connell, "Object-Adaptive Vertex-based Shape Coding Method," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 7, no. 1, pp. 251-255, Feb. 1997.
- [6] J. Ostermann, E. S. Jang, R. S. Shin, and T. Chen, "Coding of Arbitrarily Shaped Video objects in MPEG-4," Proc. ICIP 97, vol. 1, pp. 496-499, 1997.
- [7] A. K. Katsaggelos, L. P. Kondi, F. W. Meier, J. Ostermann, and G. M. Schuster, "MPEG-4 and Rate-Distortion-Based Shape-Coding Techniques," Proc. Of the IEEE, vol. 86, no. 6, pp. 1126-1154, June 1998.
- [8] 윤병주, 강현수, 조순제, 김성대, "삼각형의 무게 중심을 이용한 새로운 다각 근사화 정점 부호화 기법," 한국통신학회 논문지, 제 24권, 제 6B호, pp. 1174-1182, 1999
- [9] 윤병주, 고윤호, 김성대, "비트량-왜곡을 고려한 효율적인 다각형 근사화 기법," 전자공학회논문지, 제 40권 SP편 제 1호, pp. 115-123, 2003
- [10] P. Gerken, "Object-based analysis-synthesis coding of image sequences at very low bit

rate," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 4, pp. 228-235 June 1994.

[11] Farzin Mokhtarian and Riku Suomela, "Robust Image Corner Detection Through Curvature Scale Space," IEEE trans. Pattern Analysis and

Machine Intelligence, vol. 20, no. 12, pp. 1376-1381, Dec. 1998.

[12] R. E. Bellman and S. Dreyfus, Applied dynamic programming, Princeton, N. J.: Princeton University Press 1962.

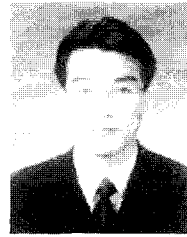
저 자 소 개



尹炳珠(正會員)

1993년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1996년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 졸업(공학박사). 1996년~2003

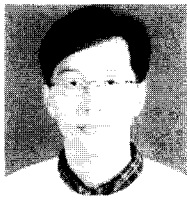
년 5월 : 하이닉스 반도체 시스템 IC 사업부 선임 연구원. 2003년 6월~현재 : 경북대학교 차세대정보통신연구소 조교수. <주관심분야 : 멀티미디어 신호처리, MPEG-4, 객체기반 영상 부호화, H264 등.>



李時雄(正會員)

1991년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1997년~2000년 : 삼성전자 반도체

연구소 선임연구원. 2000년~현재 : 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 조교수. <주관심분야 : 멀티미디어, 영상압축, 영상처리 등.>



李勳哲(正會員)

1995년 : 한국과학기술대학교 전기 및 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 졸업(공학박사).

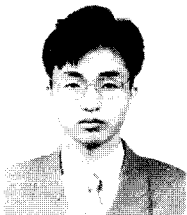
2002년 8월~현재 : LG전자 디지털TV연구소 선임연구원. <주관심분야 : 영상처리, DTV화질, DTV ASIC설계 등.>



金聖大(正會員)

1977년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1979년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1983년 : 프랑스 INPT ENS EEEHT 졸업(공학박사). 1984년~

현재 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 교수. <주관심분야 : 영상처리, 영상통신, 컴퓨터 비전, VLSI 구현>



高 綸 浩(正會員)

1995년 : 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 2002년 : 한국과학기술원 전자전산학과(전기 및 전자공학 전공) 졸업(공학박사). 2002년~현

재 : 하이닉스 반도체 시스템IC 사업부 선임 연구원. <주관심분야 : 영상신호처리, MPEG-4, 영상시스템, 워터마킹 등.>