

논문97-2-2-06

예측 잉여신호 벡터 양자화를 이용한 3차원 메시 모델 부호화

최진수*, 이명호*, 안치득*

3-dimensional Mesh Model Coding Using Predictive Residual Vector Quantization

Jin-Soo Choi*, Myoung-Ho Lee*, and Chietek Ahn*

요 약

일반적으로 3차원 메시 모델은 많은 정점(vertex)과 다각형으로 이루어져 있을 뿐만 아니라 정점 위치 각각은 3차원 좌표에서 세 개의 32비트 부동소수점으로 표현되기 때문에, 모델을 표현하기 위해 필요한 데이터량은 매우 많다. 따라서 3차원 모델을 효과적으로 저장 및 전송하기 위한 압축 기법은 필수적으로 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 예측 잉여신호 벡터 양자화를 이용한 3차원 모델 압축 기법을 제안한다. 기본적인 개념은 3D 모델을 이루는 서로 인접한 정점 위치들간에 존재하는 높은 상관도와 정점 위치 자체가 지니는 벡터 특성에 근거한다. 실험 결과에 따르면 제안한 방법이 기존의 압축 방법에 비해 높은 압축율을 얻을 수 있으며 정점 위치 정보를 점진적으로 전송할 수 있는 장점을 지닌다.

Abstract

As a 3D mesh model consists of a lot of vertices and polygons and each vertex position is represented by three 32 bit floating-point numbers in a 3D coordinate, the amount of data needed for representing the model is very excessive. Thus, in order to store and/or transmit the 3D model efficiently, a 3D model compression is necessarily required. In this paper, a 3D model compression method using PRVQ (predictive residual vector quantization) is proposed. Its underlying idea is based on the characteristics such as high correlation between the neighboring vertex positions and the vectorial property inherent to a vertex position. Experimental results show that the proposed method obtains higher compression ratio than that of the existing methods and has the advantage of being capable of transmitting the vertex position data progressively.

I. 서 론

최근 오디오/비디오 부호화 기술과 컴퓨터 그래픽 기술이 점차 융합됨에 따라, 카메라로 입력된 자연 영상과 컴퓨터에 의해 생성된 합성 영상이 혼합된 복합 영상에 대한

영상 서비스의 요구가 증대되고 있다. 또한 인터넷 상에서의 멀티미디어 서비스가 보편화됨에 따라, 3차원 컴퓨터 그래픽 모델을 네트워크를 통해 송수신하는 공동 설계 작업, 원격 게임, 원격 교육 등과 같은 대화형 그래픽 응용 서비스가 점점 증가하고 있는 추세이다. 그러나 전화선, LAN, 인터넷과 같은 통신 환경에서 최종 사용자로 하여금 대화형 복합 영상 서비스에 대한 만족할 만한 내용을 제공하기 위해서는 오디오 비디오 및 합성 영상 객체들로 이루어진 대화형 2차원/3차원 환경을 효과적으로 부호화하는 기술 개발이 선행되어야 한다. 현재 이러한 기술은 MPEG-4라고 명명되어, 국제 표준화 기구인 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11의 주관하에 표준화가 이루어지고 있다

* 한국전자통신연구원

Video Communications Section, Electronics and Telecommunications Research Institute

※ 본 연구는 정보통신부 출연 "MPEG-4 기반 멀티미디어 코덱 기술" 로 수행되었음.

[1]. 앞서 국제 표준으로 제정된 MPEG-1/-2에 비해 MPEG-4의 주된 특징으로는 합성 객체의 부호화를 들 수 있으며, 이는 MPEG-4 SNHC (Synthetic and Natural Hybrid Coding) 서브그룹에서 표준화 작업이 이루어지고 있다[2]. MPEG-4 SNHC란 시공간적인 조작을 지원하도록 합성 객체 (애니메이션된 2차원/3차원 컴퓨터 그래픽/합성 오디오)의 부호화 및 자연 오디오/비디오 부호화의 통합에 관한 기술을 말한다.

현재 MPEG-4 SNHC 그룹에서는 네트워크화된 공동 가상 환경(networked collaborative virtual environments) 구현을 최종 목표로, 그 요소 기술인 합성된 얼굴과 신체의 표현 및 애니메이션, TTS (text-to-speech synthesis)와 얼굴 애니메이션 인터페이스, 시점에 따른(view dependent) 텍스처 부호화, 텍스트와 그래픽의 미디어 통합, 합성 오디오의 표현, 2/3차원 메시 부호화에 대해 표준화하고 있다.

이상의 MPEG-4 SNHC 연구 분야 중 3차원 메시 부호화는 기존의 자연 영상이나 비디오 압축 방법의 연구와 비교했을 때 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이는 컴퓨터 그래픽의 주된 관심이 가능한 한 실감나는 또는 자연영상과 동일한 품질의 렌더링된 3차원 영상을 생성하는 것에 초점이 맞추어져 있었기 때문이다. 그러나 최근 들어 3차원 그래픽 모델의 저장, 전송 및 렌더링 시에 발생하는 다음과 같은 문제로 인하여 3차원 그래픽 데이터의 압축에 관한 연구에 관심이 고조되고 있다[3].

- ① 산업용 CAD 모델의 복잡도로 인해 필요로 하는 메모리와 보조기억장치의 비용을 크게 상승시킨다.
- ② 공동 설계, 게임, rapid prototyping을 위해 네트워크 상에 3차원 모델을 분배하는 것은 이용 가능한 대역폭에 의해 크게 제한받는다.
- ③ 고수준 하드웨어 어댑터에 의한 그래픽 성능은 전체 모델을 저장하기 위한 내장 메모리의 부족 및 데이터 전달 병목 현상에 의해 제약받는다.

컴퓨터 그래픽에서 가장 널리 사용되는 모델 표현은 물체에 대한 삼각형 메시 표현 방법이다. 이는 대부분의 렌더링 하드웨어가 최종적인 렌더링 작업을 위해서 삼각형 메시 표현을 사용하며, 또한 어떤 모델 표현에 대해서도 삼각형 메시 표현으로 쉽게 변환시킬 수 있는 방법이 많기 때문이다.

일반적으로 삼각형 메시는 기하 정보(geometry), 연결 정보(connectivity), 광도측정 정보(photometry)로 이루어진다. 기하 정보는 물체의 형태를 결정짓는 정보로서, 공간상의 정점 위치인 (x, y, z) 좌표 값을 나타내며, 연결 정보는 세 개의 정점을 서로 연결하여 하나의 삼각형 면을 구성하게 되는데, 이는 세 정점의 인덱스를 나열함으로써 표현된다. 그리고 광도 측정 정보는 물체의 3차원 형태에 영향을 주는 정보가 아니라 셰이딩(shading)을 위해

필요한 부가 정보로서, 컬러, 법선(normal) 벡터, 텍스처(texture) 좌표를 말한다. 실제 삼각형 메시 모델이 지니는 많은 양의 데이터는 다음과 같은 이유에서 발생한다. V개의 정점과 T개의 삼각형으로 이루어진 삼각형 메시 모델은 세 개의 32비트 부동소수점 수(floating point number)로 표현된 정점 위치 배열(vertex position array)과 정점 위치 배열내의 각각의 정점 위치를 가리키는 세 개의 인덱스로 표현되는 삼각형 배열(triangle array)로 표현된다. 이때 필요로 하는 비트수는 정점 위치에 대해 $3[\text{좌표값}/\text{정점위치}] \times 32[\text{비트}/\text{좌표값}] \times V[\text{개}]$ 의 비트가 되며, 삼각형을 이루는 정점 위치 인덱스를 나타내기 위해 $3[\text{인덱스}/\text{삼각형}] \times \text{LOG}_2(V)[\text{비트}/\text{인덱스}] \times T[\text{개}]$ 의 비트가 필요하다. 이러한 삼각형 메시 모델의 데이터 표현 방식이 지니는 문제점은 정점의 위치를 표현하기 위해서 부동소수점수를 사용할 뿐만 아니라 인접하는 삼각형간에 공유되는 정점 위치 인덱스가 두 번 이상 참조되기 때문에 데이터가 많아지는 것이다. 삼각형 메시지를 압축하는 기존의 방법들은 기하 정보인 경우에는 이웃하는 정점 위치를 이용하여 현재의 정점 위치를 예측한 후, 예측 오차를 스칼라 양자화하며, 연결 정보인 경우에는 삼각형 메시의 정점과 정점간의 연결 형태를 각각 노드와 에지로 이루어진 일종의 그래프로 보고, 그래프의 노드를 되도록 적게 방문하면서 삼각형 연결 형태를 표현하고자 한다[3,4]. 하지만 기하 정보 압축 방법의 경우에는 단순한 예측 부호화 방식을 취하기 때문에 높은 압축율을 얻을 수 없다.

3차원 그래픽 모델을 기억장치로 저장하거나 네트워크를 통해 효과적으로 전송하기 위해 본 논문에서는 예측 잉여신호 벡터 양자화(predictive residual vector quantization:PRVQ)를 이용하여 3차원 모델 데이터 중 정점 위치(vertex position)를 나타내는 기하 정보를 압축하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 인접한 정점 위치들간에는 공간상의 가까움, 즉 상관도가 높다는 특성과 정점 위치 자체가 하나의 3차원 벡터라는 사실을 이용하여 예측 부호화(predictive coding)와 벡터 양자화에 근거한 예측 벡터 양자화와 다단계(multistage) 벡터 양자화를 혼합한 방법으로서, 단순한 예측 부호화 방법에 비해 높은 압축율을 얻고자 한다. 특히 다단계 벡터 양자화 또는 잉여신호 벡터 양자화는 3차원 모델의 정점 위치 데이터를 점진적으로 전송할 수 있는 장점을 지닌다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 기존의 3차원 메시 모델 압축 방법과 문제점에 대해 소개하고, 3장과 4장에서는 제안한 압축 방법과 실험 결과를 설명한 후, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 3차원 메시 모델 압축의 개요

그림 1은 삼각형 메시 모델의 부호화/복호화기의 구성도를 나타내며, 부호화기에서는 VRML (Virtual Reality

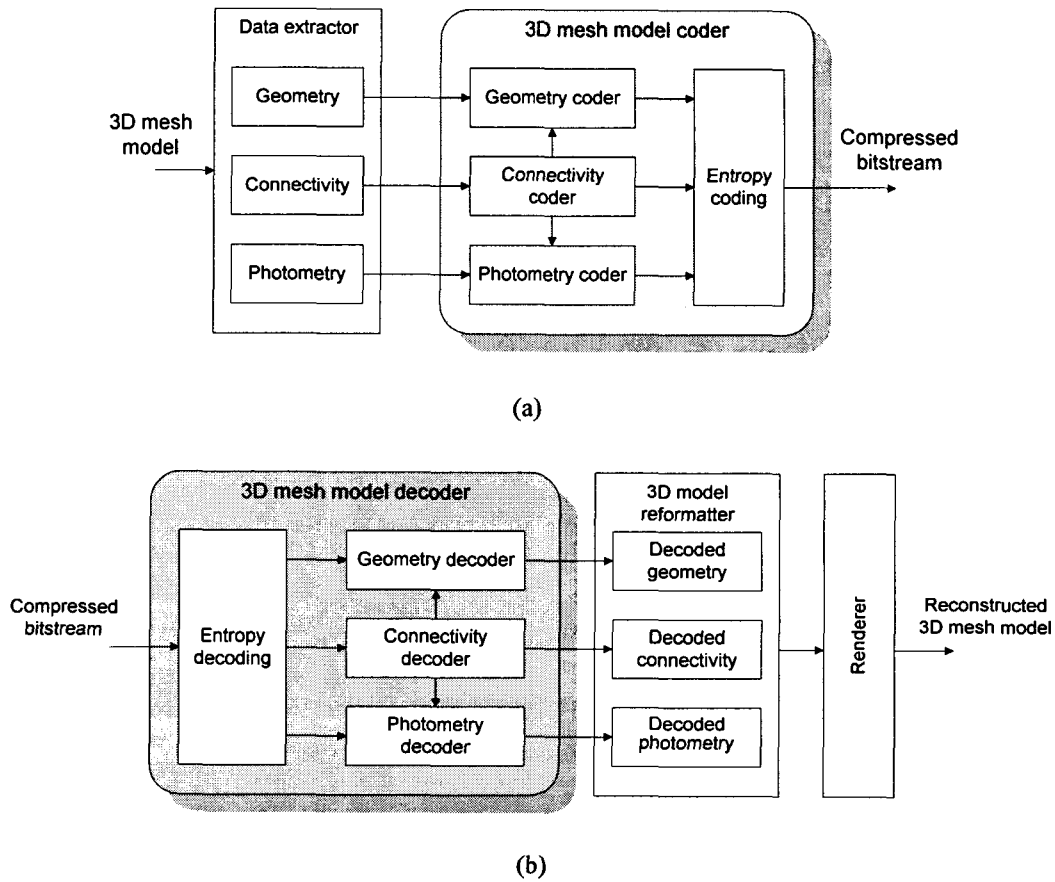


그림 1. 3차원 메시 모델 부호화/복호화기의 블록도 (a) 부호화기 (b) 복호화기
 Fig. 1. Block diagram of 3D mesh model coder/decoder (a) coder (b) decoder

Modelling language)이나 MPEG-4 BIFS (Binary Format for Scenes)로 표현된 3차원 메시 모델을 입력하여 기하 정보, 연결 정보, 광도측정 정보를 추출한 후, 이들을 해당하는 부호화기로 보내어 부호화한다. 복호화기에서는 부호화된 비트열을 입력으로 하여 각각 정보를 복호화한 후, VRML이나 MPEG-4 BIFS 표현으로 재구성하여 렌더러로 전송하여 복원된 3차원 모델에 대해 2차원 합성영상을 생성한다.

삼각형 메시를 부호화하는 과정은 크게 정점의 연결 형태를 부호화하는 단계와 정점에 수반된 데이터인 기하 정보와 광도측정 정보를 부호화하는 단계로 이루어진다. 정점의 연결 형태를 부호화하는 기존의 방법들은 공통적으로 삼각형 메시의 정점과 정점간의 연결 형태를 각각 노드와 에지로 이루어진 일종의 그래프로 보고, 그래프의 노드를 되도록 적게 방문하면서 삼각형 메시지를 표현하고자 한다. 그리고 이 부분에서의 데이터 손실은 3차원 물체의 외형을 변화시키기 때문에 일반적으로 연결 정보 부호화는 무손실 부호화 방식을 취한다. Deering^[3]은 16개의 정

점을 저장할 수 있는 스택 버퍼를 사용하여 이전에 방문한 정점을 스택에 저장하였다가 삼각형 메시의 모든 정점을 방문하는 동안 재방문하는 정점을 만나게 되면 스택 버퍼에 있는 해당하는 정점의 버퍼 주소를 저장함으로써 부호화하였다. Taubin^[4]은 삼각형 메시를 두 개의 상호 연관된 정점 신장 나무(vertex spanning tree)와 삼각형 신장 나무(triangle spanning tree) 형태로 표현하여, 삼각형 메시 내에 서로 인접한 삼각형간에 공유하는 정점 위치를 한번만 표현하도록 하여 데이터를 줄였다. 한편 본 논문에서는 연결 정보를 부호화하기 위해 MPEG-4 SNHC VM (Verification Model) 5.0^[2]에 정의되어 있는 연결 정보 부호화 방법을 이용한다.

Deering^[3] 및 Taubin^[4]에 의한 기하 정보를 부호화하는 기존의 방법들은 연결 정보 부호화 단계에서 부호화된 연결 정보를 순서대로 횡단하면서, 부호화하려는 현재의 정점 위치를 이전에 복원한 인접 정점 위치들을 이용하여 예측한 후, 현재의 정점 위치와 예측한 정점 위치와의 차이를 구하여 그 예측 오차를 양자화하여 부호화하는 예측

부호화 기법을 적용하였다. 이때 양자화시에는 수평(x), 수직(y), 깊이(z) 좌표축 방향을 따르는 예측 오차의 각 성분 값을 독립적으로 스칼라(scalar) 양자화하였다. 그러나 이러한 방법은 부호화기 및 복호화기 구조가 단순한 장점이 있는 반면에 예측 오차의 각 성분들간에 존재하는 중복성을 충분히 이용하지 못하기 때문에 압축율이 크게 높지 않다. 따라서 본 논문에서는 기하 정보에 대해 보다 높은 압축율을 얻기 위한 압축 방법을 제안하였으며, 특히 점진적 전송을 지원할 수 있도록 하여 대역폭이 좁거나 가변적인 네트워크 환경에서 빠른 시간 내에 3차원 모델의 개략적인 복원이 가능하도록 하는 등, 이를 이용한 다양한 응용 서비스를 지원하고자 한다.

Ⅲ. 제안한 3차원 메시 모델의 기하 정보 압축 방법

본 장에서는 제안한 예측 잉여신호 벡터 양자화를 이용한 3차원 메시 모델의 기하 정보 압축 방법을 설명한다. 제안한 방법은 기본적으로 다음과 같은 3차원 메시 모델을 구성하는 기하 정보 및 연결 정보가 지니는 특성과 예측 잉여신호 벡터 양자화^[12]가 지니는 특징을 이용한다.

- ① 3차원 공간상의 xyz 좌표에 의해 표현되는 두 정점 위치의 공간상의 거리가 가까우면, 두 정점간에는 일종의 상관도(correlation)가 매우 높다고 할 수 있다. 이 경우에 예측 부호화 방법이 효과적이며, 현재의 정점 위치를 예측하기 위해 앞서 복원된 정점 위치를 이용한다.
- ② 정점 위치는 세 개의 부동소수점수로 표현된다. 즉 정점 위치 자체가 3차원 벡터라고 볼 수 있다. 따라서 정점 위치의 각 성분 값을 독립적으로 처리하는 것보다는 바로 벡터로 처리하는 것이 유리하다.
- ③ 벡터 양자화의 주된 단점은 부호화기의 복잡도가 크다는 것이다. 예를 들면 비트율이 r [비트/벡터]이고 벡터의 차원이 k 인 경우에 연산량이 $k2^{kr}$ 이며 같은 차수의 메모리를 필요로 하므로, 비트율과 벡터의 차원이 커짐에 따라 필요한 연산량과 메모리는 기하급수적으로 늘어난다. 그러나 본 논문에서와 같이 벡터의 차원 (=3)이 낮은 경우에는 복잡도가 크게 줄어드는 동시에 스칼라 양자화에 비해 좋은 성능을 얻을 수 있다. 그리고 벡터양자화 복호화기는 조건표(lookup table)로 이루어지므로 부호화기에 비해 매우 간단한 구조를 지니므로 복호화기의 복잡도에 영향을 많이 받는 응용 분야에 유리하다.
- ④ 예측 잉여신호 벡터 양자화는 예측 벡터 양자화와 잉여신호 벡터 양자화가 혼합된 형태로서, 먼저 예측 벡터 양자화 후 발생한 오차 신호를 잉여신호 벡터 양자화에 의해 여러 단계에 걸쳐 반복적으로 양자화함으로써

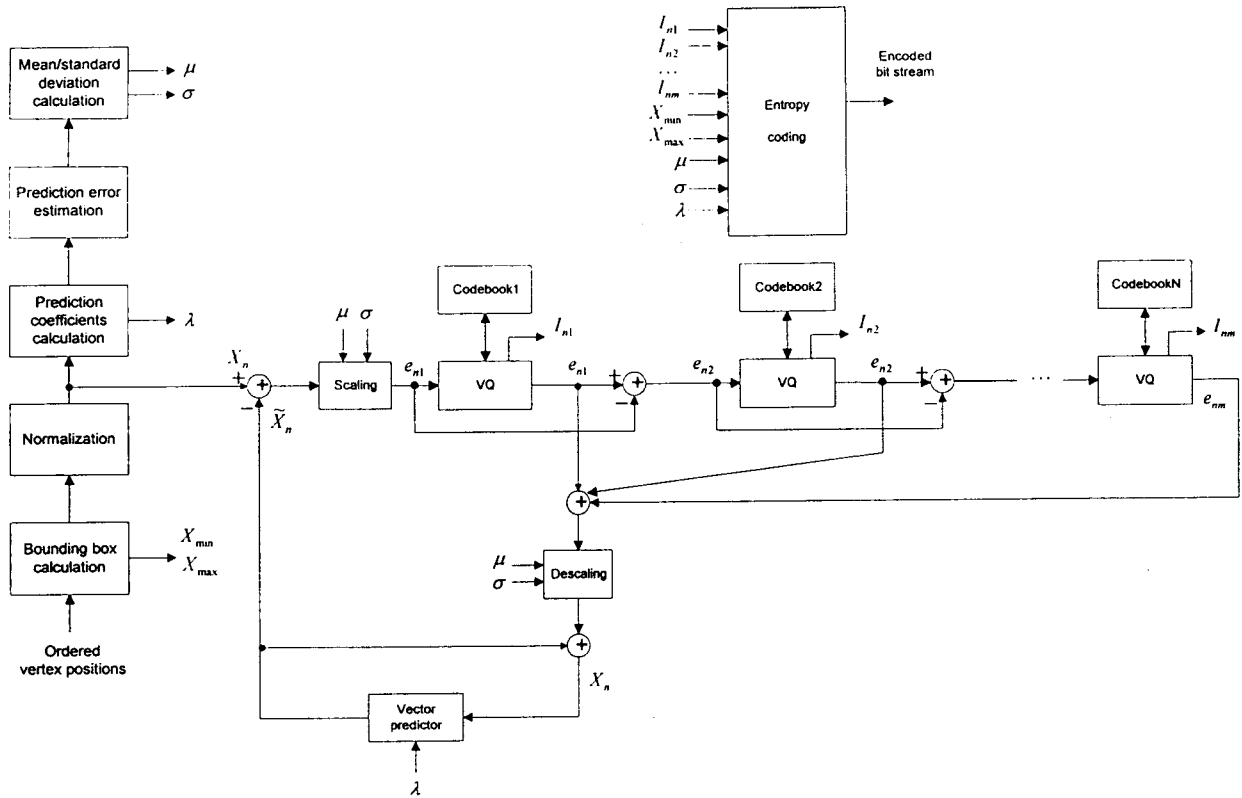
점진적으로 모델을 복원할 수 있어 인터넷과 같은 대역폭이 작고 변동이 심한 네트워크 환경에서 유리하다. 그리고 복원시에는 첫번째 단계에서 3차원 모델의 전체적인 형태를 신속히 파악할 수 있고, 이후 진행되는 단계에서 점진적으로 나온 품질의 3차원 모델을 복원할 수 있어 네트워크를 통해 3차원 그래픽 모델 데이터 베이스를 검색하는 분야에 사용될 수 있다

이상의 특성에 기반하여, 제안한 3차원 모델의 기하 정보 압축 방법은 부호화하려는 현재의 정점 위치를 이전에 복원한 인접 정점 위치들을 이용하여 예측한 후, 현재 정점 위치와 예측한 정점 위치와의 차이를 구하여 그 예측 오차를 하나의 3차원 벡터로 취급하여 벡터 양자화한다. 그리고 원래의 벡터 양자화 전의 예측 오차와 벡터 양자화 후의 예측 오차와의 차이, 즉 양자화 오차를 나타내는 잉여 신호를 다시 벡터 양자화하고, 이 과정을 다단계로 확장하여 적용하는 압축 방법이다.

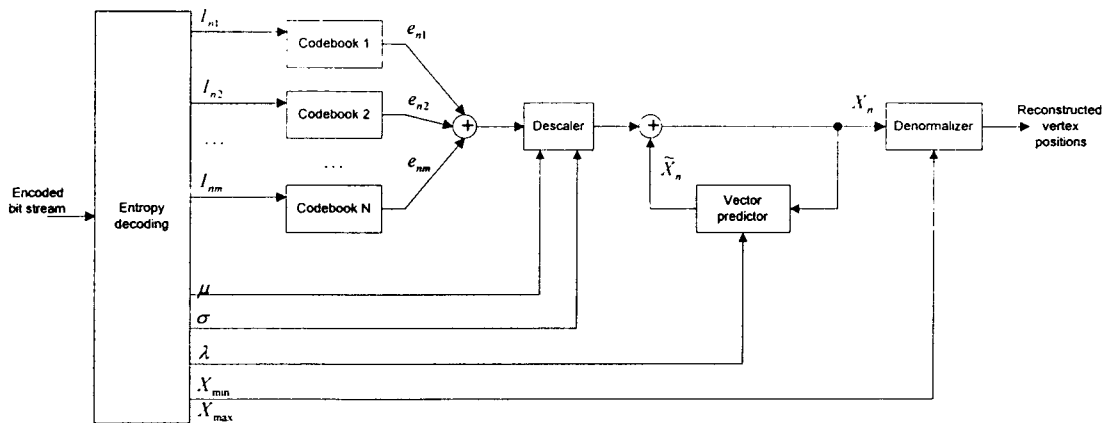
그림2는 예측 잉여신호 벡터 양자화를 이용한 3차원 모델의 기하 정보 부호화/복호화기를 나타내며, 그 기능에 따라 크게 전처리 과정과 예측 잉여신호 벡터 양자화 과정으로 나뉘어 진다.

전처리 과정은 경계 박스(bounding box) 계산, 정규화, 예측 계수 추정, 예측 오차 추정, 평균/표준편차 계산 과정으로 이루어지며, 그 기능은 정점 위치 정보를 예측 잉여신호 벡터 양자화기의 입력으로 적합하도록 변환시키며, 또한 예측 잉여신호 벡터 양자화 과정에서 필요로 하는 부가 정보를 사전에 구한다. 전처리 과정의 수행은 먼저 모든 정점 위치를 입력하여 x축, y축, z축 방향을 따라 각각 최소/최대값, 즉, 경계 박스를 계산한 후 각각의 정점 위치 값에서 최소값을 뺀 후 최대값과 최소값의 차이로 나누어 정점 위치의 최소값과 최대값이 각각 0과 1로 사상(mapping)되도록 정규화한다. 이러한 정규화는 정점 위치 정보가 세 개의 실수값으로 표현되므로 이론상으로 +∞에서 -∞까지의 값을 가질 수 있어 그 동적영역(dynamic range)이 매우 크기 때문에, 달리 말하면, 3차원 모델의 절대 크기가 아주 다양하게 나타나기 때문에 벡터 양자화시 효율을 높이기 위해 동적영역을 일정한 범위 (0~1) 내에 들도록 조정하기 위한 것이다. 그리고 정규화된 정점 위치에 대해 예측 오차 값이 최소가 되도록 하는 예측 계수(λ)를 추정하며, 이 예측 계수는 예측 잉여신호 벡터 양자화기내의 벡터 예측기에서 사용된다. 또한 추정한 예측 계수를 이용하여 정점 위치에 대해 예측 오차를 계산한 후, 예측 오차의 평균과 표준편차를 계산한다. 이 값들은 벡터 양자화기에 입력되기 직전에 양자화 코드북의 통계적 특성과 같도록 조정하기 위해 사용된다. 여기서 양자화 코드북의 통계적 특성은 평균이 0이며 표준편차가 1인 라플라시안 분포에 모델화된 것이다.

예측 잉여신호 벡터 양자화 과정은 전처리과정에서 얻은 부가 정보를 이용하여 정점 위치 정보를 부호화하는



(a)



(b)

그림 2. 예측 잉여신호 벡터 양자화의 구성도 (a) 부호화기 (b) 복호화기
 Fig. 2. Block diagram of predictive residual vector quantization (a) coder (b) decoder

기능을 하며, 부호화 과정은 다음과 같다. 먼저, k개의 정점 위치를 연결 정보 부호화기에 의해 부호화된 순서에 따라 입력하게 되고, 현재 입력된 정점 위치 (X_n)를 이전

에 복원한 인접 정점 위치들 ($\{X_k; k < n\}$)을 이용하여 식 (1)과 같이 예측한 후, 현재 정점 위치와 예측한 정점 위치 (\hat{x}_n)와의 차이를 식(2)와 구한다. 그리고 구해진 예측

표 1. 실험에 사용한 모델의 특징
Table 1. Features of 3D models used for experiment

모델명	정점수[개]	삼각형수[개]	파일크기[bits]	Gzip으로 압축한 파일크기[bits]
Fandisk	6,475	12,946	3,986,752	1,122,080
Triceratops	2,832	5,660	1,527,496	506,040

오차를 하나의 3차원 벡터로 취급하여 식(3)과 같이 벡터 양자화한다. 여기서 식(3)은 송신측 및 수신측에서 동일한 코드북(codebook)을 가지고 있다는 가정하에 주어진 왜곡 기준에 대하여 최소의 왜곡을 가지는 벡터를 코드북으로부터 찾는 과정을 말하며, 압축은 최소의 왜곡을 지니는 벡터의 인덱스($I_{n_1}, I_{n_2}, \dots, I_{n_m}$)를 전송함으로써 이루어진다.

$$\tilde{X}_n = \sum_{j=1}^m \lambda_j \tilde{X}_{n-j} \quad (1)$$

$$e_{n_1} = X_n - \tilde{X}_n \quad (2)$$

$$\hat{e}_{n_1} = Q(e_{n_1}) \quad (3)$$

그 다음 단계는 원래의 정점 위치와 벡터 양자화한 정점 위치와의 차이, 즉, 양자화 오차를 나타내는 잉여 신호를 식(4)와 같이 구한 후 다시 벡터 양자화한다.

$$e_{n_2} = e_{n_1} - \hat{e}_{n_1} \quad (4)$$

그리고 이상의 과정을 m개의 단계로 확장하여 잉여 신호를 반복적으로 벡터 양자화한다. m개의 잉여 신호 벡터 양자화를 하였을 때 복원된 정점 위치는 식(5)와 같이 구할 수 있다.

$$\hat{X}_n = \tilde{X}_n + \hat{e}_{n_1} + \hat{e}_{n_2} + \hat{e}_{n_3} + \dots + \hat{e}_{n_m} \quad (5)$$

벡터 양자화 시에 고려해야 할 중요한 요소는 코드북을 어떻게 설계할 것이냐는 것이다. 일반적으로 코드북은 많은 수의 훈련 데이터 집합을 사용하여 LBG (Linde-Buzo-Gray) 알고리즘과 같은 방법으로 생성하게 된다. 이 방법은 데이터의 통계적 특성에 관한 정보를 요하지 않는 장점을 지니지만, 부호화하려는 데이터의 특성이 훈련 집합의 특성과 크게 다르면 벡터 양자화의 성능이 크게 떨어지게 된다. 한편, 데이터의 통계적 특성이 알려져 있으

면, 그 특성에 따라 최적화된 양자화 코드북을 설계할 수 있다. 이를 위해서는 부호화하려는 신호의 통계적 특성을 정확히 예측하는 것이 무엇보다 중요하다. 일반적으로 오차 신호의 히스토그램은 라플라시안 확률밀도함수 특성을 지니며, 평균이 영인 비상관수열(zero mean uncorrelated sequence)로 모델링된다. 이러한 사실은 정점 위치의 예측 오차 벡터를 양자화하는 본 논문의 경우에 적용될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 훈련 데이터 집합으로 라플라시안 확률밀도함수 특성을 지니는 무작위 수열을 생성하여 코드북을 설계하였다.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안한 3차원 모델의 기하 정보 압축 방법의 성능을 비교 평가하기 위해 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실험 조건은 다음과 같다.

- ① 실험에 사용한 모델은 VRML 2.0 포맷을 지니며 다음 표와 같은 특징을 가진다. 그리고 그림3에 각 모델을 나타내었다.
- ② 예측 잉여신호 벡터 양자화기의 단계수는 3을 사용하였으며, 코드북은 평균이 0이고 표준편차가 1인 라플라시안 확률밀도함수를 지니는 50,000개의 훈련 데이터에 대해 LBG 알고리즘을 사용하여 생성되었다.
- ③ 객관적인 성능 평가 기준으로 원래의 정점 위치와 양자화된 정점 위치간의 오차 즉 양자화 오차를 평균 유클리드 거리(average Euclidean distance)를 사용하여 부호화시 발생하는 왜곡의 정도를 측정하였다.
- ④ 제안한 방법과의 성능을 비교하기 위해 기존의 방법들이 공통적으로 채택하고 있는 스칼라 예측 부호화(scalar predictive coding; SPC) 방법을 사용하였다.
- ⑤ 연결 정보 부호화 방법은 MPEG-4 SNHC VM 5.0에 정의된 방법을 사용하였다.

실험은 크게 두 개의 실제 모델에 대해 적용한 실험과

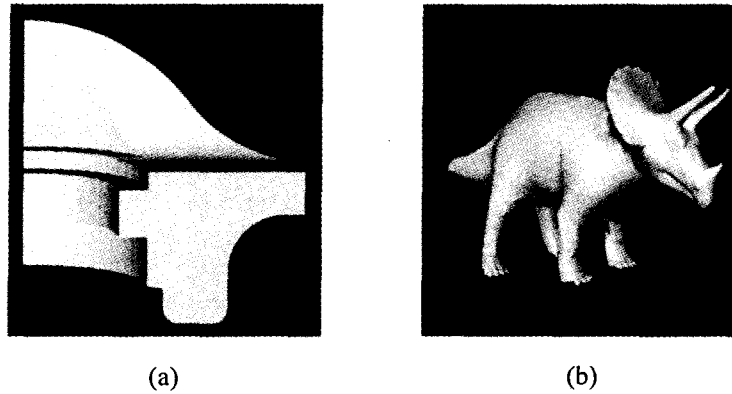


그림 3. 실험에 사용한 3차원 모델 (a) "Fandisk" (b) "Triceratops"
 Fig. 3. Original 3D models used for experiment (a) "Fandisk" (b) "Triceratops"

점진적 전송의 예를 보여주는 실험으로 이루어진다. 먼저 그림4와 그림5는 각각 "Fandisk" 모델과 "Triceratops" 모델에 대해 제안한 예측 잉여신호 벡터 양자화 방법과 스칼라 예측 부호화 방법을 적용한 결과를 비트율에 따른 왜곡값으로 도시한 것이다. 그림에서 PRVQ는 예측 잉여신호 벡터 양자화를 나타내고, SPC는 스칼라 예측 부호화를 나타낸다. 예측한 바와 같이 실험 결과는 제안한 방법이 모든 비트율에서 스칼라 예측 부호화 방법의 성능에 비해 우수함을 보여준다. 특히 21[bits/vertex position :bpv]이하의 비트율에서 현저히 우수한 결과를 볼 수 있다. 한편 10[bpv] 근처의 비트율에서 왜곡값이 약간 상승하는 것은 예측 잉여신호 벡터 양자화기의 벡터 양자화기의 단계수가 1개에서 2개 또는 3개로 증가할 때 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 동일한 비트율이지만 실제 사용되는 전체 코드북의 크기가 다르기 때문이다.

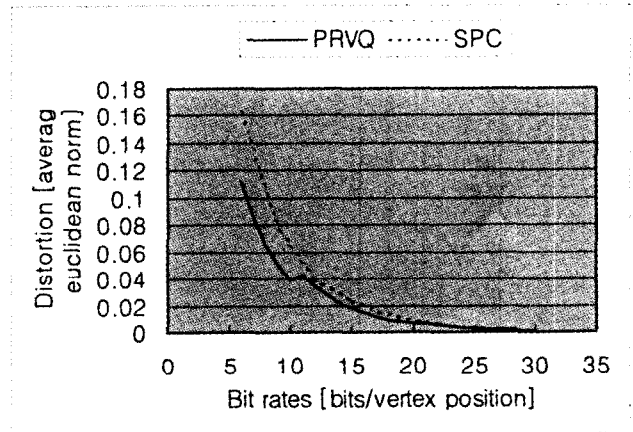


그림 5. "Triceratops" 모델에 대한 예측 잉여신호 벡터 양자화와 스칼라 예측부호화의 성능비교
 Fig. 5. Performance comparison by the PRVQ and SPC technique for "Triceratops" model

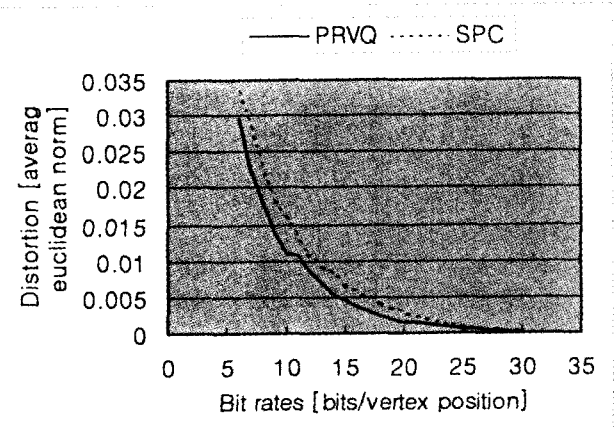


그림 4. "Fandisk" 모델에 대한 예측 잉여신호 벡터 양자화와 스칼라 예측부호화의 성능비교
 Fig. 4. Performance comparison by the PRVQ and SPC technique for "Fandisk" model

그림 6은 "Fandisk" 모델에 대해 각각 비트율 9[bpv], 15[bpv], 21[bpv]에서 예측 잉여신호 벡터 양자화와 스칼라 예측 부호화 방법에 의해 복원된 모델의 렌더링된 결과 영상을 나타낸다. 동일한 비트율에서 제안한 예측 잉여신호 벡터 양자화 방법에 의한 결과 영상의 품질이 우수함을 확인할 수 있다.

표2는 PRVQ에 의한 점진적 전송의 예를 보여주는 것으로서, 벡터 양자화 단계가 진행됨에 따라 PRVQ에 의해 복원된 3차원 모델의 왜곡값을 나타낸 것이며, 그림6(a), (c), (e)의 결과와 동일하다. 1단계 PRVQ에 의한 결과는 왜곡이 심하지만 전체적인 모델의 형태를 신속히 파악할 수 있으며, 2단계 및 3단계가 진행되면서 복원되는 모델의 왜곡을 줄이게 된다. 반면, SPC의 경우에는 모든 데이터를 수신할 때까지 모델을 복원할 수 없다. 한편 PRVQ에 의한 3차원 모델의 복원 과정이 정해진 벡터 양자화 단계 수만큼 반복되어야 하는 단점이 있을 수 있지만 모델이

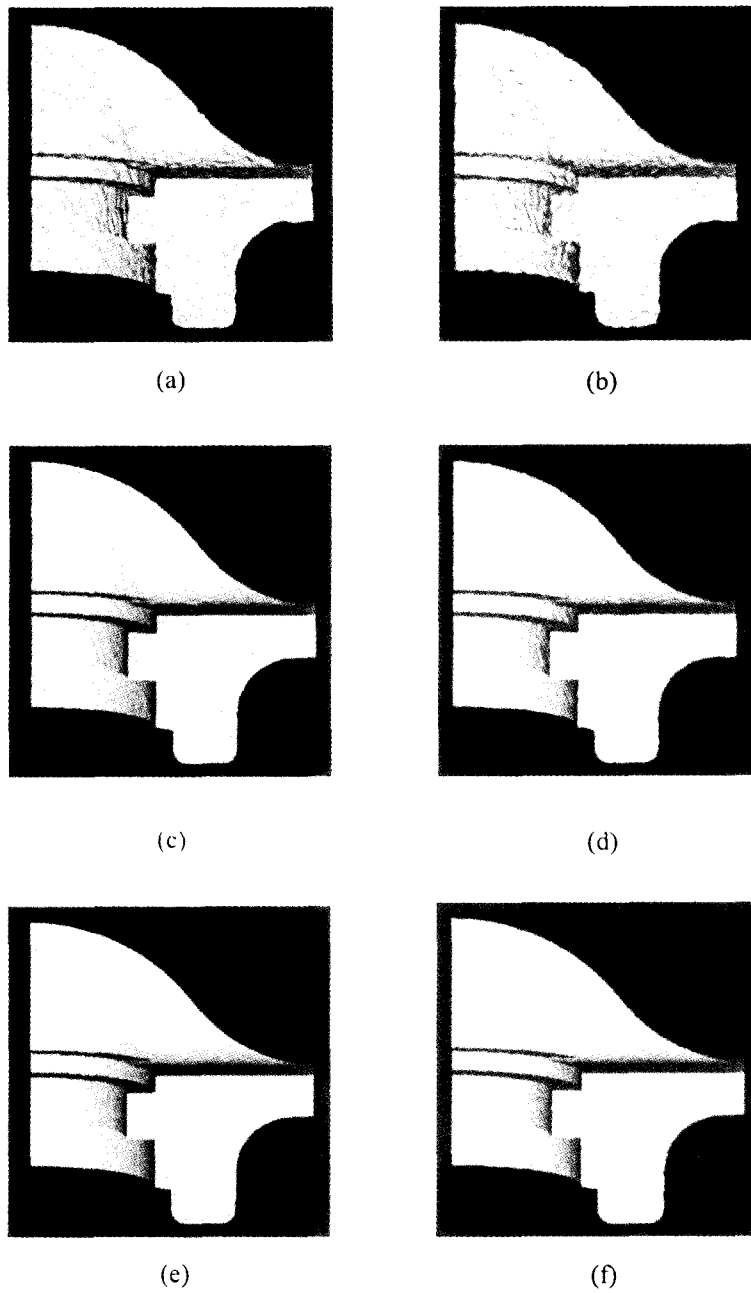


그림 6. 예측 잉여신호 벡터 양자화(PRVQ)와 스칼라 예측 부호화 방법(SPC)에 의해 복원된 3차원 모델 (a) 512 크기 (9[bpv])를 지니는 1단계 코드북을 가지는 PRVQ의 결과 (b) 9[bpv]로 양자화된 SPC의 결과 (c) 512, 64 크기 (15[bpv])를 지니는 2단계 코드북을 가지는 PRVQ의 결과 (d) 15[bpv]로 양자화된 SPC의 결과 (e) 512, 64, 64 크기 (21[bpv])를 지니는 3단계 코드북을 지니는 PRVQ의 결과 (f) 21[bpv]로 양자화된 SPC의 결과
 Fig. 6. 3D models reconstructed by (a) 1-stage PRVQ with a codebook of 512 size (9[bpv]) (b) SPC quantized with 9[bpv] (c) 2-stage PRVQ with two codebooks of 512 and 64 size (15[bpv]) (d) SPC quantized with 15[bpv] (e) 3-stage PRVQ with three codebooks of 512, 64, and 64 size (21[bpv]) (f) SPC quantized with 21[bpv]

네트워크를 통해 전송된다는 점을 감안하면 전체 복원 시 간에 미치는 영향은 SPC에 비해 거의 없다.

표 2. PRVQ 및 SPC의 각 단계별 평균 유클리드 거리로 측정된 양자화 오차
 Table 2. Quantization error by average Euclidean distance at each stage of PRVQ and SPC

모델명	방법	1단계 복원후	2단계 복원후	3단계 복원후
Fandisk	PRVQ	0.0139436	0.00456716	0.00163854
	SPC	X	X	0.00233165

V. 결 론

참 고 문 헌

본 논문에서는 3차원 메시 모델 데이터 중 정점 위치를 나타내는 기하 정보를 효과적으로 압축하기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 인접한 정점 위치들간에 존재하는 높은 상관도와 정점 위치 자체가 벡터인 점을 고려하여, 이들 특성을 효과적으로 이용할 수 있는 예측 잉여신호 벡터 양자화 방법에 근거하여 정점 위치를 압축하였다. 특히 예측 잉여신호 벡터 양자화 방법은 예측 부호화와 잉여신호 벡터 양자화의 혼합된 방법으로서, 후자의 방법에 의해 정점 위치의 점진적 전송을 구현할 수 있었다. 이러한 특성은 대역폭이 좁거나 가변적인 네트워크 환경에서 유리한 기능을 제공해 준다. 컴퓨터 모의 실험 결과 모든 비트율에서 본 논문에서 제안한 방법에 의한 복원된 3차원 모델의 객관적 및 주관적 품질이 기존 방법에 비해 우수함을 보여주었다.

향후 계속 연구되어야 할 분야는 연결 정보 부호화 방법에 대한 점진적 전송 지원, 시간적으로 변형 가능한 (deformable) 모델에 대한 부호화 방법에 대한 연구 등을 들 수 있으며, 이들 분야는 MPEG-4 SNHC의 3차원 메시 부호화에서 표준화 작업이 이루어지고 있거나 이루어지리라 예상된다.

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1730, "Overview of the MPEG-4 standard," Jul. 1997.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1821, "MPEG-4 SNHC Verification Model ver. 5.0," Jul. 1997.
- [3] M. Deering, "Geometric compression," *Proceedings of ACM Computer Graphics, SIGGRAPH 95*, pp.13-20, Aug. 1995.
- [4] G. Taubin and J. Rossignac, "Geometric compression through topological surgery," *Research Report, IBM Research, RC-20340(#89924)*, Jan. 1996.
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M1236, "Geometry compression," Oct. 1996.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M1784, "Efficient representation of triangulations," Feb. 1997.
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M1744, "Geometry compression using predictive vector quantization," Feb. 1997.
- [8] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M2092, "Geometry compression using predictive residual vector quantization," Apr. 1997.
- [9] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M2475, "Results of core experiment Z3: Geometry compression using PRVQ," Jul. 1997.
- [10] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M2476, "Proposal for modification of bit stream syntax for 3D mesh coding," Jul. 1997.
- [11] A. Gersho and R.M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compression*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 487-517, 1992.
- [12] V. Cuperman and A. Gersho, "Vector predictive coding of speech at 16 kbits/s," *IEEE Trans. on Com.*, vol. COM-33, no. 7, pp. 685-696, Jul. 1985.

저 자 소 개



최진수

1968년 10월 15일생

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

현 재 한국전자통신연구원 선임연구원

주관심분야 : 영상처리, 영상 및 멀티미디어 통신 등



이 명 호

1958년 6월 25일생
1983년 숭실대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
1996년 오사카대학(일본) 통신공학과 졸업(박사)
현 재 한국전자통신연구원 선임연구원
주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 영상통신 및 멀티미디어통신 등



안 처 득

1956년 8월 15일생
1980년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)
1982년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
1991년 7월 미국 University of Florida 대학원 전기공학과 졸업(박사)
현 재 한국전자통신연구원 책임연구원
주관심분야 : 신호처리, 영상통신 등