길쌈부호를 이용한 3차원 메쉬 모델의 적응적 차등오류방지 방법

김성열*, 윤승욱*, 이호경**, 호요성 *
*광주과학기술원 정보통신공학과, **홍익대학교 전기전자공학부

An Adaptive Unequal Error Protection Scheme for Three - dimensional Mesh Models Using A Convolutional Code

Sung - Yeol Kim*, Seung - Uk Yoon*, Ho - Kyoung Lee**, Yo - Sung Ho*
*Kwangju Institute of Science and Technology(K - JIST)
**Dept. Electronics and Electric Engineering, Hong Ik University
{sykim75, suyoon, hoyo}@kjist.ac.kr, hklee@hongik.ac.kr

Abstract: 본 논문은 3차원 메쉬 모델을 채널오류에 강인하게 전송하는 새로운 차등오류방지 방법을 제안한다. 기본적으로 입력 3차원 모델을 여러 해상도를 갖는 다중계층으로 표현하고, 계층별 정보의 중요도를 달리한다. 또한, 각 계층에 대해 Hausdorff 거리를 계산하고 채널부호율과의 관계를 유도해 내어 적응적으로 길쌈 부호기의 부호율을 바꾼다. 본 논문은 크게 3차원 메쉬 모델의 소스 부호화 과정과 채널 부호화 과정으로 구분된다. 제안한 방법은 소스 부호화 과정에 얻어진 정보를 채널 부호화 과정에서 이용하는 소스 채널 결합 부호화의 한 형태이며, 3차원 모델을 전송하는 여러 멀티미디어 응용에 이용할 수 있다.

Keywords: 차등오류방지, 길쌈 부호, 3차원 메쉬 모델

Ⅰ. 서론

최근 인터넷 발달에 힘입어 3차원 모델의 전송과 저장에 대한 중요성이 나날이 높아지고 있으며, 이를 위한 많은 방법들이 연구되고 있다. 특히, 전송오류에 강인한 3차원 모델의 전송방법 연구는 필수적이다.

3차원 메쉬는 3차원 정보를 표현하는 방법으로, 기하학 정보와 연결성 정보를 갖는 폴리곤으로 3차원 정보를 표현한다. 3차원 메쉬 부호화는 크게 소스 부호화 과정과 채널 부호화 과정으로 나누어진다. 점진적 메쉬 생성[1]은 3차원 메쉬의 소스 부호화 과정으로, 3차원 모델을 다중해상도로 표현하기에 유리한다. 길쌈 부호(Convolutional Code)[2]는 채널 부호화 과정으로, 부호화기의 부호율을 달리하여 소스 부호화 과정을 통해 얻어진 비트열을 전송 오류에 강인하게 바꾼다.

차등오류방지(Unequal Error Protection, UEP)[4]는 전송오류에 강인한 전송방법으로, 정보의 중요성에 따라 오류강인성을 달리한다. 기존의 3차원 모델에 대한 UEP 방법인 Al-Regib의 방법[3]은 Reed-Solomon 부호를 사용하여 UEP 시스템을 구현하였다. 하지만, 시스템 구성의 복잡도가 높다는 단점이 있다. 본 논문은 3차원 모델의 정보 중요도를 해상도에 따라 분석하고 적응적으로 길쌈 부호의 채널부호율을 바꾸어 효율적으로 3차원 모델에 대한 UEP 시스템을 구현한다.

Ⅱ. 소스 부호화

1. 3 차원 메쉬의 다중계층 구성

3차원 메쉬의 소스 부호화 과정은 3차원 모델 자체의 정보 중복성을 이용하여 모델 정보를 부호화하는 것이다. 점진적 메쉬(Progressive Mesh)의 생성은 3차원 메쉬를 소스 부호화하는 과정으로, 입력 모델을 연속적인 해상도로 표현한다.

점진적 메쉬는 에지축소(Edge Collapse) 연산과 꼭지점분할(Vertex Split) 연산과정으로 나눌 수 있다. 그림 1(a)는 에지축소 연산을 보여준다. 인접한 두 개의 꼭지점 V_t와 V_s은 에지축소 연산을 통하여 하나의 꼭지점으로 결합된다. 이 과정에서 인접한 두 면인 (V_l, V_s, V_t)와 (V_t, V_s, V_r)는 없어진다. 따라서, 초기 입력 메쉬는 에지축소 연산을 반복적으로 적용하여 단순화된다.

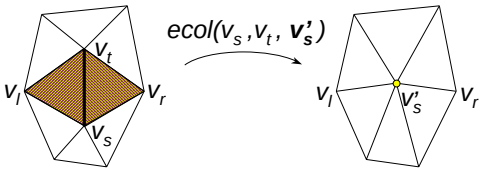
$$(\hat{M} = M^n) \xrightarrow{ecol_{n-1}} ..... \xrightarrow{ecol_1} M^1 \xrightarrow{ecol_0} M^0$$

그림 1(b)는 꼭지점분할 과정으로, 에지분할 과정의 역과정이다. 하나의 꼭지점 V_s이 분할되어 V_s'와 또 다른 꼭지점 V_t'가 추가된다. 결과적으로, 새로운 삼각형 (V_l, V_s', V_t')와 (V_t', V_s', V_r)가 만들어지고, 모델은 좀 더 상세히 표현된다.

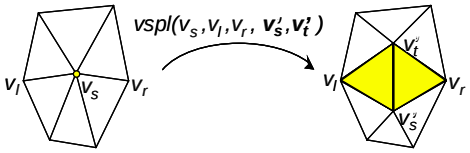
$$M \xrightarrow{vsplit_0} M \xrightarrow{vsplit_1} ..... \xrightarrow{vsplit_{n-1}} (M^n = \hat{M})$$

임의의 3차원 모델은 단순화된 기본모델과 에지축소를 수행한 횟수 만큼의 꼭지점분할 연산 vspl(V_s, V_l, V_r, V_s', V_t')으로 표현될 수 있다. 다시 말해서, 3차원 모

델은 하나의 기본계층과 꼭지점분할 연산 횟수만큼의 확장계층을 갖는다. 예를 들면, n번의 에지축소 연산을 적용한 3차원 모델은 한 개의 기본 해상도와 n개의 확장 해상도를 가져 총 n+1개의 해상도로 표현된다.



(a)



(b)

그림 1. (a)에지축소와 (b)꼭지점분할 과정

2. 다중계층 부호화

다중계층을 갖는 3차원 메쉬의 소스 부호화는 크게 두 부분으로 나누어진다. 하나는 기본계층에 대한 부호화이고, 나머지 하나는 확장계층에 대한 부호화이다. 기본계층의 대한 부호화는 예측 부호화 방법인 평행사변형법을 사용한다. 그림 2는 평행사변형법을 보여준다. 평행사변형법은 일반적으로 꼭지점 탐색(Vertex Traversal)[5]을 통해 부호화 순서를 먼저 정하고 그 순서에 따라 예측 부호화를 수행을 한다. 예측 부호화는 그림 2에서 보는 것과 같이, 부호화 하려는 꼭지점의 이웃한 폴리곤을 연장하여 평행사변형을 만든다. 그리고, 부호화 하려는 꼭지점과 평행사변형과의 거리를 예측하여 부호화한다.

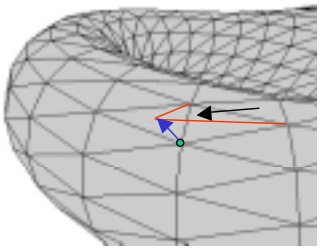


그림 2. 기본계층 부호화

확장계층에 대한 부호화는 점진적 메쉬의 꼭지점 분할 연산의 정보 vspl(V_s, V_l, V_r, V_s', V_t')를 부호화하는 것이다. 확장계층에 대한 부호화도 예측 부호화 방법을 사용한다. 본 논문에서는 V_s와 V_s'이 동일한 꼭지점인 반에지분할(Half Edge Collapse) 연산을 사용하므로, V_s와 V_t의 거리만을 예측하여 부호화한다.

3. Hausdorff 거리

3차원 모델의 계층별 정보 중요도를 분석하기 위해, 각 해상도에 따라 Hausdorff 거리(Hausdorff Distance)를 이용한다. 일반적으로 1차원 신호나 2차원 영상에서는 왜곡 정도를 계산하기 위해 MSE(Mean Square Error)나 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)과 같은 왜곡 측정법을 사용한다. Hausdorff 거리는 3차원 정보에 대한 왜곡 측정법으로, 원래 모델과 왜곡된 모델 사이의 왜곡 정도를 계산한다. 본 논문에서는 기본계층만을 가지고 있는 3차원 모델과 원래 모델과의 Hausdroff 거리를 계산한다. 또한, n개의 확장계층을 포함한 모델에 대해서도 원래 모델과 비교하여 Hausdroff 거리를 계산한다.

두개의 점 집합 $A=(a_1,a_2,...,a_n)$ 와 $B=(b_1,b_2,...,b_n)$ 에서의 Hausdorff 거리는 다음과 같이 정의 된다.

$$H(A,B)=\min(h(A,B),h(B,A)) \quad (1)$$

여기서,

$$h(A,B)=\min_{a\in A}\{\min_{b\in B}\|a-b\|\} \quad (2)$$

이다. 함수 h(A,B)는 대칭적이지 않으므로 A에서 B로의 직접 Hausdorff 거리(Directed Hausdorff Distance)라고 불린다. Hausdorff 거리 H(A,B)는 두 개의 직접 Hausdorff 거리 h(A,B)와 h(B,A) 중 더 큰 값을 선택하여 두 집합 간의 차이 정도를 측정한다. 직관적으로, Hausdorff 거리가 d이면, 집합 A의 모든 점들은 집합 B의 어떤 점들과도 거리 d내에 있으며 그 역도 성립해야 한다.

이렇게 계층별로 계산한 Hausdorff 거리는 채널부호와 과정에서 채널부호율을 결정하는데 이용된다. 또한, Hausdorff 거리는 정해놓은 수만큼의 채널 계층을 나눌 때 필요한 경계값을 결정하는데도 이용된다.

Ⅲ. 채널 부호화

1. 차등오류방지(UEP)

UEP는 오류에 강인한 전송을 위해서 정보의 중요도에 따라 오류강인성을 다르게 하는 방법이다. 다시 말하면, 중요한 정보인 경우 오류강인성을 높이고 그보다 덜 중요한 정보에 대해서는 오류강인성을 낮춘다. UEP의 사용하여 정보를 전송할 때 발생하는 오류로 인한 중요한 정보의 손실을 막을 수 있다.

그림 3은 정보 분할을 이용한 2차원 영상의 패킷 포맷을 보여준다. 외형정보, 움직임 정보, INTRA DC정보는 텍스처 정보에 비해 중요한 정보이다. 따라서, 외형정보, 움직임 정보, INTRA DC정보에 오류강인성을 높인다. 이와 같이, 기존의 2차원 영상에서 사용하는 UEP는 대부분 정보 분할을 이용하여 전송 패킷의 헤더 정보를 보호하기 위해 사용되었다.

그림 3. 2 차원 영상에서의 정보분할

본 논문에서는 2차원 영상에 국한되어 있는 기존의 UEP 방법을 3차원 모델로 확장한다. 우선, 3차원 모델로 확장하기 위해서 2차원 영상과 같이 정보 분할을 이용하여 3차원 정보를 중요도에 따라 나눈다. 본 논문에서는 소스 부호화 과정에서 얻어진 3차원 모델의 다

중계층을 이용하여 정보분할을 한다. 다시 말하면, 3차원 모델의 기본계층과 확장계층의 표현방법을 3차원 영상의 정보 분할방법으로 생각한다. 정보의 중요도 크기는 Hausdorff 거리에 따라 결정된다. 그림 4는 3차원 영상에서는 정보 분할방법을 보여준다.

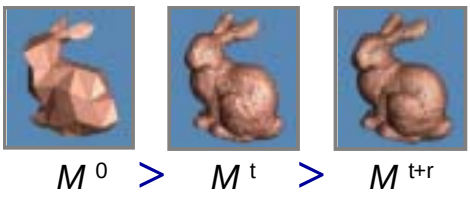


그림 4. 3 차원 모델에서의 정보분할

그림 4에서 보는 것과 같이, 토끼 모델이 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 진행하면서 점점 세밀하게 표현되는 것을 알 수 있다. M^0는 기본계층을 나타내는 것이고, M^t와 M^{t+r}는 각각 t번과 t+r번 꼭지점분할 연산이 수행된 후의 상태이다. 즉, t번과 t+r개의 확장계층을 포함한 모델이다.

여기서, 기본계층 M^0가 토끼 모델의 전체적인 외형 정보를 포함하고 있음을 알 수 있다. 또한, 기본계층만을 포함한 모델과 원래 모델과의 Hausdorff 거리는 확장계층을 포함한 모델과 원래 모델과의 Hausdorff 거리보다 더 큼을 알 수 있다. 즉, 각 계층에 따른 정보 중요도는 Hasudorff 거리에 비례한다. 결론적으로, 기본계층의 정보 중요도는 높고 확장계층에 대해서 정보 중요도는 기본계층에 비해 낮다.

2. 길쌈 부호화

기본적으로 채널 부호화 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 하나는 블록 부호이고 다른 하나는 길쌈 부호이다. 블록 부호(Block Code)는 상대적으로 큰 정보를 블록으로 나누어서 부호화하는 것이다. 하지만, 블록 부호는 부호율을 적응적으로 변환할 수 없다. 이에 반해, 길쌈 부호는 한번에 비교적 적은 데이터를 처리하지만 부호율을 쉽게 바꿀 수 있는 장점이 있다. 따라서, 3차원 모델에 UEP를 적용하기에 적합한 채널 부호화 방식은 길쌈 부호이다. 그림 5는 부호율이 1/2인 간단한 길쌈 부호기를 보여준다.

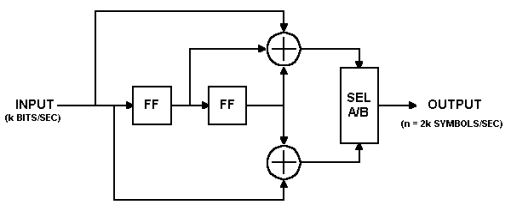


그림 5. 길쌈 부호기

그림 5에서 보는 것과 같이, 길쌈 부호는 이동 레지스터와 덧셈기로 이루어져 있다. 부호율이 1/2인 길쌈 부호기에서는 1비트를 전송하기 위해 2비트를 할당하여 채널 부호화하는 것이다. 즉, 부호율이 k/n이 경우, k비트을 전송하기 위해 n비트를 전송하는 것이다. 이때, n는 k보다 큰 값을 가지며, n-k는 오류를 검출하기 위해 추가적으로 필요한 비트수이다. 예를 들어, 소스 부호화 과정을 거쳐 비트열 101이 입력으로 들어오면, 111000으로 부호화된다. 이렇게 부호화된 11100은 Viterbi 복호화 방법을 통해서 101으로 복호한다.

3. 부호율 변화

채널 부호화 과정에서 부호율을 상황에 따라 달리하기 위해 먼저 채널 계층을 나누어야 한다. 즉, 서로 다른 부호율로 부호화 될 경계를 찾아야 한다. 본 논문에서는 채널 계층을 나누기 위해 소스 부호화 과정에서 얻어진 Hausdorff 거리를 사용한다. 만약, m개의 채널 계층으로 나누고자 할 때, Hausdorff 거리의 최대값과 최소값을 구하고 최대값과 최소값의 구간을 m개로 나누어 경계치를 구한다.

채널 부호화 과정에서는 길쌈 부호를 이용하여 채널부호율을 변화시킨다. 소스 부호화 과정을 거쳐 얻어진 3차원 모델의 비트열은 길쌈 부호기의 입력으로 사용된다. 채널부호율 변화를 위해서 3차원 정보의 왜곡 측정법인 Hausdorff 거리를 이용한다. 하나의 기본계층과 두 개의 확장계층을 갖는 3차원 모델의 경우, 기본계층만으로 표현된 모델과 원래 모델간의 Hausdorff 거리가 기본계층과 확장계층까지 추가한 모델과 원래 모델의 Hausdorff 거리보다 더 클 것이다. 즉, 기본계층에 확장계층을 추가하면 할수록 Hausdorff 거리는 작아진다. 물론, 두개의 확장계층을 추가하면 원래 모델과 같아지기 때문에 Hausdroff 거리는 0이다

Hausdorff 거리가 크면 채널부호율을 작게 하고 Hausdorff 거리가 작으며 채널부호율을 크게 설정한다. 부호율이 k/n인 경우, 고정되어 있는 k에 대해서 Hausdorff 거리가 큰 기본계층에 대해 n을 큰 값으로 결정하고, Hausdorff 거리가 작은 확장계층에 대해서는 n을 작은 값으로 결정한다. 즉, 기본계층에 오류강인성을 높이고, 확장계층에는 오류강인성을 기본계층보다 낮춘다.

Ⅳ. 적응적 UEP 시스템

그림 6은 본 논문에서 제안한 적응적 UEP 시스템의 전체적인 구성을 보여준다. 우선 입력으로 3차원 메쉬 모델을 사용한다. 본 논문에서는 입력 모델의 토폴로지가 manifold인 모델을 사용한다. 입력으로 들어온 3차원 모델은 모델 분석기에 의해 기하학 정보와 연결성 정보로 분리된다. 점진적 메쉬 생성을 위해서 3차원 단순화 방법을 이용하여 기본계층과 확장계층을 갖는 다중계층으로 모델을 나타낸다.

이렇게 표현된 3차원 메쉬는 각 계층별로 예측 부호화 되고, 양자화기와 가변길이 부호기를 거쳐 채널 부호화 과정의 입력으로 사용되는 비트열을 만든다.

다중계층으로 3차원 메쉬 모델을 표현하는 과정에서, 계층별로 정보의 중요도를 분석하기 위해 Hausdorff 거리를 계산한다. 계산된 Hausdorff 거리는 채널 부호화 과정에서 채널부호율를 결정하는데 이용된다.

부호율이 결정이 되면 길쌈 부호기를 사용하여 채널 비트열을 만들어 전송하는데, 전송된 채널 비트열을 Viterbi 복호기에 의해 복호된다. 복호기가 가동될 때, 채널부호율의 변화에 대한 정보를 수신단에게 알려주기 위해서 역 채널로 채널부호율의 정보를 전송한다.

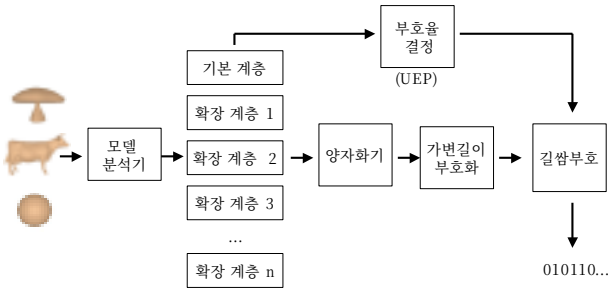


그림 6. 전체 시스템 구성도

Ⅴ. 실험 결과

본 논문에서는 실험 모델로 공 모델을 사용하였다. 공 모델은 320개의 폴리곤과 162개의 꼭지점 정보로 이루어져 있다.

공 모델은 하나의 기본계층과 두 개의 확장계층으로 나누어진다. 본 실험에서는 기본계층에는 UEP를 적용하지 않고 두 개의 확장계층에만 UEP를 적용한다. 또한, 채널 부호화 과정에서 사용되는 부호율을 1/2와 1/3으로 정하였다. 즉, 첫번째 확장계층에 대해서는 부호율 1/3을 적용하였고, 두번째 확장계층에 대해서는 1/2를 적용하였다. 왜냐하면 첫번째 확장계층인 경우의 정보 중요도가 두번째 확장계층보다 더 크기 때문이다.

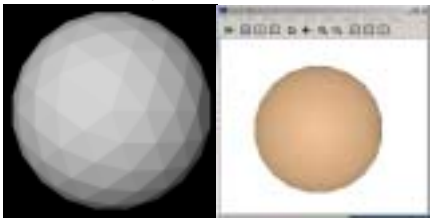


그림 7. 실험 모델

그림 8은 Hausdorff 거리를 계산한 것을 그래프로 보여준다.

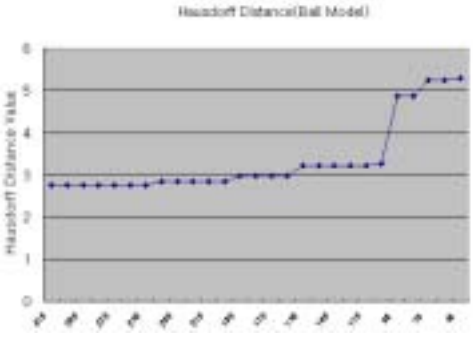
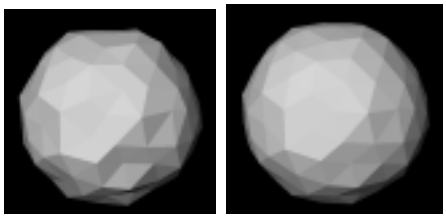


그림 8. Hausdorff 거리

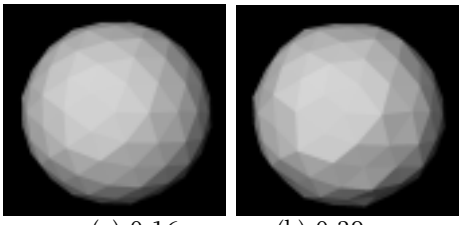
Hausdorff 거리의 최대값이 5.29이고, 최소값이 2.75이므로 두개의 채널계층을 구분하기 위한 경계치는 최대값과 최소값의 평균값인 4.26이다. 그림 9는 UEP를 적용하지 않은 상태에서 Gaussian 잡음을 첨가했을 때의 첫번째 확장계층(a)과 두번째 확장계층(b)을 보여주고 Hausdorff 거리를 보여준다. 그림 10은 UEP를 적용하고 Gaussian 잡음을 첨가했을 때의 첫번째 확장계층과 두번째 확장계층의 결과를 보여준다.



(a) 0.79 (b) 0.47

그림 9. UEP를 적용하지 않았을 때

본 실험에서와 같이, UEP를 적용하지 않았을 때보다 UEP를 적용했을 때, Hausdorff 거리가 작다는 것을 알 수 있다. 결론적으로, 길쌈 부호의 부호율을 달리한 UEP를 적용하면 3차원 모델을 오류에 강하게 보낼 수 있다.



(a) 0.16 (b) 0.39

그림 10. UEP를 적용했을 때

Ⅵ. 결 론

본 논문에서 길쌈부호를 이용한 3차원 모델의 적응적 UEP 방법에 대해 알아보았다. 3차원 모델을 다중계층을 갖는 형태로 변환하고, 각 계층에 따라 정보의 중요도를 다르게 할당하여 전송 오류에 대해 내구성을 갖도록 하였다. 또한, Hausdorff 거리와 부호율의 관계를 유도해 내어 적응적으로 부호율을 바꿀 수 있도록 하였다. 본 논문은 3차원 모델을 전송하는 응용에 이용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST)과 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 대학IT연구센터(ITRC), 그리고 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

[1] H. Hoppe, “Progressive Meshes,” *SIGGRAPH*, pp. 99-108, Aug. 1996.

[2] Y. Nakano, D. Umehara, M. Kawai, and Y. Morihiro "Viterbi Decoding for Convolutional Code over Class A Noise Channel," *Proc. ISPLC*, pp. 97-102, March 2003.

[3] G. Al-Regib, Y. Altunbasak, and J. Rossignac "An Unequal Error Protection Method for Progressively Compressed 3D Models," *Proc. ICASSP*, vol. 2, pp. 2041-2044, May 2002.

[4] T. Chu, Z. Liu, Z. Xiong, and X. Wu, "Joint UEP and layered source coding with application to transmission of JPEG-2000coded images," *GlobeCom*, pp. 2036-2039, Nov. 2001.

[5] S.Y. Kim, J.H. Ahn, and Y.S. Ho, "View-dependent Trans mission of Three-dimensional Mesh Models Using Hiera rchical Partitioning," *VCIP*, pp. 1928-1938, July 2003.