

3차원 메쉬 영상의 효율적인 오류 은닉 알고리즘

* 박성범, ** 김창수, * 이상욱

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 신호처리연구실

** Department of Information Engineering, Chinese University of Hong Kong
e-mail: sbpark@ieee.org, cskim@ieee.org, sanguk@ipl.snu.ac.kr

Efficient Error Concealment Algorithm for 3-D Meshes

* Sung-Bum Park, ** Chang-Su Kim, * Sang-Uk Lee

* Signal Proc. Lab., School of Electrical and Computer Science, Seoul National University

** Department of Information Engineering, Chinese University of Hong Kong

요약

3차원 메쉬 영상의 압축 알고리즘들은 예측 부호화 및 엔트로피(entropy) 부호화를 기본 기법으로 이용하므로, 압축된 비트열(bitstream)의 네트워크 전송에서 전송 오류에 매우 민감한 단점을 지닌다. 따라서 본 논문에서는 전송 오류에 강인하고 점진적 부호기를 기본으로 하는 3차원 메쉬 영상의 오류 은닉 알고리즘을 제안한다. 전송 오류에 강인한 알고리즘을 개발하기 위해, 3차원 원본 메쉬 영상을 여러 파티션(partition)으로 분할하고, 각각의 파티션을 독립적으로 점진 부호화한다. 복호기에서는 오류가 발생하지 않은 주변 표면 정보를 이용하는 오류 은닉 알고리즘을 오류에 의해 손상 받은 파티션 표면에 적용하여 손상된 파티션의 시각적 손상 정도를 감쇄시킨다. 전산 모의 실험을 통해, 제안하는 알고리즘의 오류에 대한 강인성 및 오류 발생시 손상된 파티션 표면이 제안하는 오류 은닉 알고리즘을 통해 화질이 개선됨을 확인하였다.

1. 서론

삼각형 메쉬(triangular mesh)기반 3차원 영상은 데이터 크기가 매우 커서 저장 및 전송에 많은 문제점을 지니므로, 메쉬 영상에 대한 압축은 매우 중요하다. [1]에서, 삼각형의 연결정보를 이용한 효율적인 단일 해상도 메쉬 압축 알고리즘이 제안되었으며, 최근에 점진적 부호화에 대한 알고리즘들이 제안되었다 [2,3]. 그런데, 이들 부호화 알고리즘으로 압축된 비트열은 전송 오류에 의해 매우 취약한 단점을 지닌다. 이는 기존 압축 알고리즘들이 예측 부호화 및 예측 오차의 엔트로피 부호화와 같은 기법을 사용하여, 전송 오류가 압축된 비트열에 지속적으로 영향을 주기 때문이다.

3차원 메쉬 영상의 압축에 대한 연구는 대부분 압축 효율에 집중되었지만, 최근에 전송 오류에 대한 고려를 포함한 알고리즘이 Yan 등에 의해 제안되었다 [4].

Yan의 기법은 메쉬 분할(partitioning) 기법을 이용하여 전송 오류 전파(error propagation) 문제를 해결하였다. 그러나, Yan의 알고리즘에는 복호기에서 전송 오류에 의해 손상된 영상에 대한 고려가 없는 단점을 지닌다.

따라서, 본 논문에서는 점진적 부호기를 기반으로 하여 효율적인 오류에 강인한 3차원 메쉬 부호기를 제안한다. 부호기에서는 generalized Lloyd algorithm (GLA)을 3차원 메쉬 영상에 적용하여, 원본 메쉬 영상을 분할하였다. 각각의 파티션은 [3]의 알고리즘을 통해 점진적으로 압축되고 전송된다. 또한, 제안하는 알고리즘에서 경계 에지(edge) 간략화 규칙을 규정하여, 복호기에서 추가의 정보 없이 상이한 영상 단계(level of detail, LOD)를 가진 파티션들의 경계를 통합하도록 하였다. 또한, 복호기에서는 3차원 메쉬 표면 정보 및

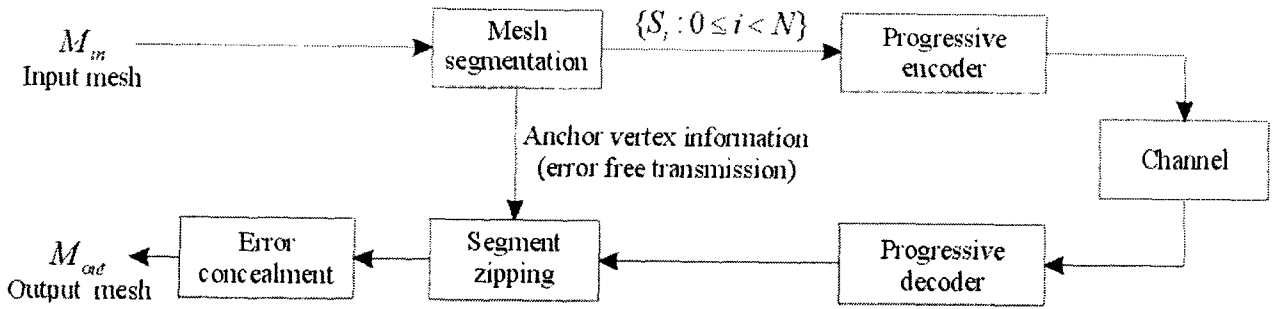


그림 1. 제안하는 알고리즘의 블록도.

경계 정보 등을 이용하여, 효율적인 오류 은닉 기법을 제안하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안하는 오류에 강인한 부호화 기법 및 오류 은닉 기법을 소개한다. 3장에서는 제안하는 알고리즘의 전산 모의 실험 결과를 제시한다. 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 제안 알고리즘

그림 1은 제안하는 알고리즘의 블록도를 보여준다. 입력 메쉬 영상은 분할되어 N 개의 독립된 파티션으로 분할된다. 각각의 파티션은 독립적으로 점진적 부호기에 의해 부호화되며, 오류 전파 문제를 완화시킨다. 압축된 비트열은 오류가 발생할 수 있는 채널(channel)을 통해 전송되며, 복호기에서 파티션 통합에 필요한 고정 꼭짓점 정보(anchor vertex information)를 오류 없이 전송된다고 가정한다. 복호기에서 각각의 파티션들이 복호되며 통합된다. 이때, 오류가 발생한 파티션 표면은 주변 파티션의 표면 및 경계 정보를 이용하여 오류를 은닉하고 손상된 화질을 개선시킨다.

2.1 메쉬 분할

[4]에서는 메쉬 분할을 위해 다중 시드(multi-seed) 기반 기법이 적용되었다. 이 경우, 시드들이 메쉬 표면에 균등하게 분포하지 않으면, 상이한 크기를 갖는 파티션들이 생성되게 된다. 이러한 비균등성은 특정 파티션을 오류에 더욱 민감하게 만드는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 비균등성 문제를 개선하기 위해, GLA 기법을 3차원 메쉬 영상에 적용하였다. GLA 기법은 각각의 지점과 시드간의 거리를 최소화하여 시드를 더욱 균등하게 분포시키고, 기존의 비균등화 문제를 개선한다. GLA 기법이 3차원 메쉬로 확장되었기 때문에, 각각의 지점들은 삼각형으로, Voronoi 영역은 분할된 파티션으로 대응된다. 또한, 거리 값은 삼각형 중점간의 Euclidian 거리로 결정된다. 그림 2에서 'Venus' 영상의 분할 예를 볼 수 있으며, 제안하는 기법에 의해 좀더 균등화된 분할 파티션들이 생성되었음을 확인할 수 있다.

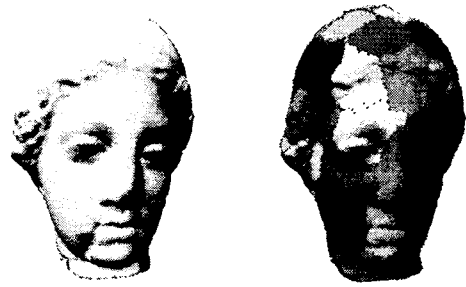


그림 2. 'Venus' 영상의 분할 예.

2.2 메쉬 간략화 및 접합 경계부(joint boundary)의 통합

메쉬 분할 이후 각각의 파티션은 독립적으로 점진적 부호기 [3]를 이용하여 압축된 뒤, 복호기에서 다양한 단계의 메쉬 영상으로 복원된다. 이때, 인접 파티션들은 서로 상이한 단계의 영상으로 복원될 수 있으며, 이로 인해 접합 경계부의 각각 부분이 서로 다른 형태를 띠게 된다. 이 경우 통합에 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위해 경계 에지 간략화 규칙을 이용하여 접합 경계부의 에지들을 동일한 방법으로 간략화 한다. 경계 에지 간략화 규칙은 복호기에서 부가의 정보 없이 부호기에서 수행한 순서의 체계를 역으로 얻어내며, 복호기에서 상이한 단계를 지닌 접합 경계부 에지들의 통합도 가능케 한다.

그림 3에서 경계 에지 간략화 규칙의 예를 볼 수 있다. 우선, 각각의 메쉬 간략화 단계 i 에서 제거될 에지의 수 e_i 를 계산하며, 간략화율이 r 이면,

$$e_i = \lfloor L_i - L_i \cdot r \rfloor. \quad (1)$$

이때, L_i 는 단계 i 의 경계 에지의 수이며, 인접 두 고정 꼭짓점 사이의 경계 에지의 수이다.

다음으로 제거 에지의 개수 e_i 에 맞춰 제거할 에지를 선정한다. 제거 에지를 선정하기 위해 그림 3에서 보는 바와 같이 에지들을 나열하고, 제거되는 에지들이 두 고정 꼭짓점 사이에서 균일한 거리를 두도록 제거 에지를 정한다. 즉, 제거 에지의 인덱스 집합 A_i 는

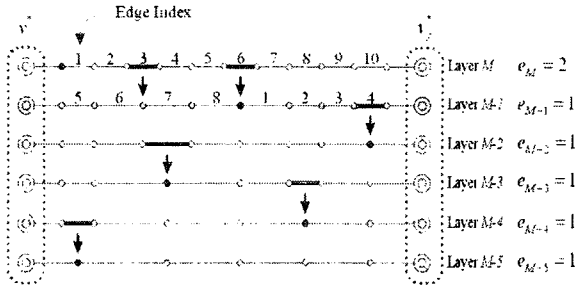


그림 3. 경계 에지 제거 규칙: 순서화의 시작 꼭지점은 속이 찬 검은 점으로 표현되어 있으며, 제거 에지는 굵은 선으로 표시함.

$$A_i = \{j : j = \lfloor L_i / (e_i + 1) \rfloor \cdot k, k = 1, \dots, e_i\}. \quad (2)$$

그리고 다음 단계의 순서를 시작하는 꼭지점은 현재 단계의 마지막 제거 에지가 생성시킨 꼭지점으로 규정한다. 이 같은 시작 꼭지점의 변화는 경계부 에지들의 제거가 특정 부분에 집중되는 것을 막아 간략화된 경계부의 화질 열화를 경감시킨다.

복호기에서는 경계부 꼭지점 분할이 부호기에서 정의한 경계 에지 제거 규칙의 역과정을 따라서 수행된다. 경계 에지 제거 규칙의 역과정을 유추하기 위해 해당 고정 꼭지점 정보와 인접 고정 꼭지점 사이의 초기 에지의 개수가 필요하며, 이들 정보가 고정 꼭지점 정보로 정의되어 부호기에서 오류가 없는 채널을 통해 전송된다.

부호기에서 동일한 방법으로 접합 경계부를 간략화했기 때문에, 동일 단계를 갖춘 인접 파티션의 통합은 해당 고정 꼭지점을 시작으로 진행되고, 상대 고정 꼭지점에서 통합이 끝난다. 그러나, 전송 오류 등으로 인해 상이한 단계를 복원한 인접 파티션의 통합은 경계 에지 제거 규칙을 통하여 진행된다. 즉, 복호기에서 고정 꼭지점 정보를 이용하여 해당 경계부 에지들의 제거 체계를 그림 3과 같은 모습으로 유추하고, 이를 이용하여 단계가 낮은 경계부의 에지에 대해 분할 꼭지점(split vertex)을 찾아 분할 해주면 인접 파티션의 접합 경계부에서 동일한 에지 스트립(strip)을 얻을 수 있다.

그림 4에서 복호 후 상이한 접합 경계부를 갖는 인접 파티션의 통합과정을 관찰할 수 있다. 왼쪽 파티션은 i 단계 까지 복원되었으며, 오른쪽 파티션은 전송 오류에 의해 $(i-1)$ 단계까지 복원되어 있다. 경계 에지 제거 규칙을 적용하면 복호기에서 분할되어야 할 꼭지점을 찾아주고 접합 경계부의 양 에지 스트립은 동일한 연결 구조를 갖게 된다. 따라서 통합은 그림 4의 오른쪽과 같이 완성된다. 이러한 통합은 여러 단계에 있어 차이가 발생할 경우에도 적용될 수 있다.

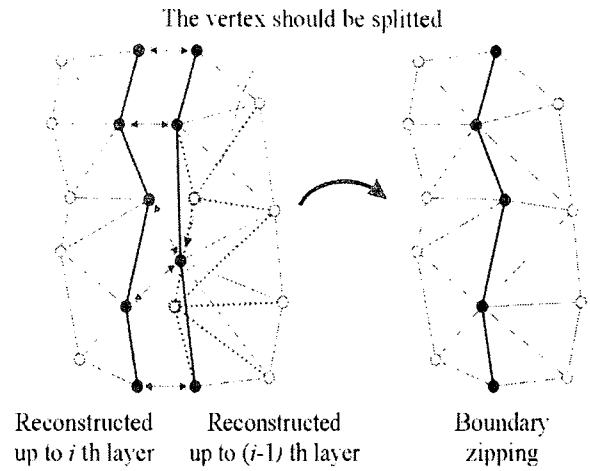


그림 4. 접합 경계부 에지 스트립의 통합.

2.3 파티션 표면 정보를 상실한 경우의 오류 은닉

각각의 파티션의 압축비트열의 점진적 전송 시, 2가지 종류의 오류를 가정한다. 한 가지는 상위 단계 정보의 손실이다. 이 경우 앞 절에서 논의한 바와 같이 경계 에지 제거 규칙을 이용하여 접합 경계부를 불일치(discontinuity)없이 통합함으로써 화질 열화를 개선한다. 다른 경우는 오류의 정도가 심해 파티션의 기저 단계 전체가 손실되는 경우다. 이때는, 해당 파티션에 대한 정보는 전무하며, 특별한 오류 은닉 기법이 요구된다.

본 논문에서는 손상된 파티션의 주변 파티션 표면 정보 및 경계부 정보를 이용한 오류 은닉 기법을 제안하여 손상된 화질을 복구하였다. 즉, 최소 제곱 오차 문제(least square problem)를 풀어 손상된 표면에 새로운 꼭지점을 예측한다. 그림 5.에서 꼭지점이 예측되는 모습을 볼 수 있다. 우선 주변 파티션의 경계부에서 고정 꼭지점 정보를 찾는다. 이들 고정 꼭지점으로부터 가상 에지를 얻어낸다. 그리고 각각의 가상 에지에서 표면 정보가 있는 파티션 방향으로 가상 정삼각형을 구하고(T_0), 그 정삼각형에서 다시 가상 정삼각형들(T_1, T_2)을 구한다. 인접하는 표면의 곡률은 비슷하다는 가정을 통해 초기 가상 에지에서 정보가 없는 표면으로 가상 평면을 유도하며, 가상 평면이 인접 정삼각형과 형성하는 각도 $\theta_0 = 1/2(\theta_1 + \theta_2)$ 가 되도록 한다. 이때, θ_m 은 T_0 가 T_m 과 형성하는 인접 각이다.

이와 같이 손상된 표면의 내부로 향하는 가상 평면들을 유도하여 평면 집합 $\{P_i : 0 \leq i < E\}$ 을 얻는다. 이때, E 는 평면의 개수이다. 내부의 예측 꼭지점은 E 개의 평면과의 거리를 최소화하는 (x, y, z) 좌표로 결정되며, 다음과 같이 결정된다.

$$(x, y, z) = \operatorname{argmin} \left\{ \sum_{i=0}^{E-1} d((x, y, z), P_i) \right\}. \quad (3)$$

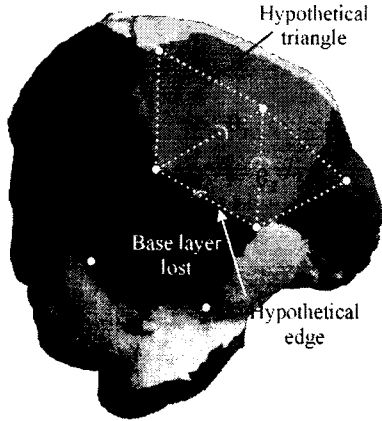


그림 5. 오류 은닉에서의 내부 꼭지점 예측.

이때, $d((x, y, z), P_i)$ 는 점 (x, y, z) 와 평면 P_i 의 Euclidian 거리이다.

내부의 꼭지점의 위치가 예측된 후, 새로운 기저 삼각형들이 내부 꼭지점과 주변 파티션의 인접 고정 꼭지점들을 연결하여 구성된다. 이들 삼각형들은 개선된 나비 subdivision 기법 [5]을 이용하여 매끄러운 표면을 얻게 된다. Subdivision 평면은 매끄럽지만, 인접 파티션들과의 불연속 문제가 발생하여, subdivision 평면을 기반으로 다시 비균일 삼각화(irregular triangulation)를 subdivision 평면과 경계 에지들을 이용하여 수행한 뒤 최종적인 은닉후 개선된 화질 결과를 얻는다.

3. 전산 모의 실험 결과

'Venus (18k 꼭지점)' 영상에 대한 전산 모의 실험을 수행하였다. 'Venus' 영상은 그림 2에서 보는 바와 같이 74개의 독립적인 파티션으로 분할된 뒤, 내부 정보는 [3]의 기법을 이용하여 압축하였고, 경계 정보는 제안하는 알고리즘을 이용하여 부호화 하였다. 표 1.에서 볼 수 있듯이, 논문의 제안하는 기법을 이용할 경우, 대략 13%의 부가 비트량이 필요함을 확인할 수 있다. 이는 각각의 파티션이 독립적으로 부호화 되어, 경계부 정보가 추가적으로 부호화 되고, 복호기에서 효율적인 파티션 통합을 위한 고정 꼭지점 정보를 압축하는데 추가적으로 비트량이 소모되었기 때문이다.

	내부 정보 압축 비트량	경계 정보 압축 비트량	고정 꼭지점 압축 비트량	꼭지점 당 비트량(bpv)
제안기법	410474	47032	2394	24.8
(3)	405562	N/A	N/A	24.1

표 1. 기존 점진적 부호화 알고리즘(3)과 제안하는 알고리즘의 성능 비교.



그림 6. 'Venus' 영상의 오류 은닉의 예: 왼쪽의 영상은 임의 파티션 표면이 완전히 상실된 모습을 보여주며, 제안하는 알고리즘에 의해 화질이 개선된 영상이 오른쪽에 제시된다.

전산 모의 실험에서 임의로 파티션의 기저 단계를 손상시킨 경우 그림 6에서 보는 바와 같이 손상된 영역의 화질이 상당한 정도로 개선됨을 확인할 수 있다. 손상된 표면정보를 복원했으며, 주변 파티션과의 연속성도 보장됨을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서, 3차원 메쉬 영상에 대한 효율적인 오류 은닉 기법을 제안하였다. 부호기에서 GLA 기법으로 메쉬 분할을 균등하게 수행하여 오류 전파 문제를 완화하였으며, 복호기에서, 효율적인 오류 은닉 기법을 제안하여 경계부 불일치 문제 및 기저 단계를 손상된 파티션의 정보도 복원하였다. 전산 모의 실험을 통해 제안하는 기법이 다소의 비트량을 증가시키에도, 훌륭한 오류 은닉 성능을 보임을 확인하였다.

5. 참고문헌

C. Touma and C. Gotsman, "Triangle mesh compression," in *Proc. Graphics Interfaces*, pp. 26-34, June 1998.

R. Pajarola and J. Rossignac, "Compressed progressive meshes," *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, vol. 6, no. 1, pp. 79-93, Jan.-Mar. 2000.

S.-B. Park, C.-S. Kim, and S.-U. Lee, "Progressive mesh compression using cosine index predictor and 2-stage geometry predictor," in *Proc. ICIP*, pp. 233-236, Sep. 2002.

Z. Yan, S. Kumar, and C.-C. J. Kuo, "Error-resilient coding of 3-D graphic models via adaptive mesh segmentation," *IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol.*, vol. 11, no. 7, pp. 860-873, July 2001.

D. Zorin, P. Schroeder, and W. Sweldens, "Interpolating subdivision for meshes with arbitrary topology," in *Proc. SIGGRAPH '96*, pp. 189-192, Aug. 1996.