

그래프 간 정합을 이용한 포인트 클라우드 시퀀스 압축

이선호, 김지수, 이세호, 김창수
고려대학교

{seonholee, jisukim, seholee}@mcl.korea.ac.kr, changsukim@korea.ac.kr

Point Cloud Sequence Compression by Matching between Graphs

Seonho Lee, Ji-Su Kim, Se-Ho Lee, Chang-Su Kim
Korea University

요 약

본 논문에서는 그래프 간 정합을 이용한 포인트 클라우드 시퀀스 압축 기법을 제안한다. 우선, 그래프를 활용하여 포인트 클라우드 시퀀스의 시변하는 기하학적 구조를 표현하고, 그래프로부터 웨이블릿 변환을 사용하여 추출한 특징 벡터를 매칭하는 방법으로 인접 프레임 간 움직임 예측을 수행한다. 그리고 움직임 예측을 통해 얻은 움직임 벡터 중 정합 점수가 높은 소수의 움직임 벡터를 보간하여 프레임 전체의 움직임 필드를 얻는다. 최종적으로 움직임 정보를 활용하여 얻은 예측 프레임과 타겟 프레임의 차이를 선택적 엔트로피 부호화 방식으로 코딩하여 포인트 클라우드 시퀀스 압축을 수행한다. 실험 결과 제안하는 기법이 3D 포인트 클라우드 시퀀스를 효과적으로 압축함을 확인할 수 있다.

1. 서론

3D 포인트 클라우드 시퀀스는 애니메이션, 게임, 가상 현실, 몰입형 통신 등 다양한 분야에서 점점 널리 쓰이고 있다. 다양한 분야에서의 응용을 위해서는 3D 포인트 클라우드 시퀀스의 효과적인 압축이 필수적이다. 그러나 효과적인 압축에 필요한 움직임 벡터 추측은 여전히 어려운 과제로 남아있다. 이는 포인트 클라우드 시퀀스를 생성하는 과정에서 RGBD 카메라에 의해 순간적으로 포착된 점의 개수가 매 순간 다르기 때문에, 각 포인트 클라우드 프레임에 구성하는 점의 개수가 계속해서 변하기 때문이다.

본 논문에서는 기존의 포인트 클라우드 프레임 간 움직임 필드 추측 기법과 인접한 두 프레임의 팔진트리 기반 압축 방법을 결합한 3D 포인트 클라우드 시퀀스 압축 방법을 제안한다.

2. 제안 기법

2.1 팔진 트리의 그래프 표현

3D 포인트 클라우드로부터 만들어진 팔진트리의 잎사귀 노드는 공간 상의 복셀과 대응된다[1]. 점을 하나 이상 포함하는 점유된 복셀은 불규칙하게 분포하는데 이를 효과적으로 표현하기 위해서 그래프로 표현한다. [2]와 같이 모든 점유된 복셀을 방향이 없는 가중 그래프 $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E}, \mathcal{W})$ 로 나타낸다. \mathcal{V} 와 \mathcal{E} 는 G 의 꼭짓점과 에지를 의미한다. 꼭짓점은 팔진트리의 각 점유된 잎사귀 노드에 대응하고, 에지의 연결성은 k -최근접 이웃으로 정한다. 본 논문에서는 $k = 26$ 을

사용한다. G 의 가중치 행렬 $\mathcal{W}(i, j)$ 는 꼭짓점 i 와 j 를 잇는 에지의 가중치로 구성되고, 이 가중치 값은 두 꼭짓점 간의 유클리드 거리에 반비례한다.

2.2 움직임 예측

A. 특징 벡터 추출

먼저, 그래프 G 상의 i 번째 꼭짓점에 대하여 [3]과 같이 팔분면 지시 함수 $o_{k,i}, \forall k = [1, 2, \dots, 8]$ 를 정의한다. 예를 들어, 1 팔분면에 대한 지시 함수는 다음과 같다.

$$o_{1,i}(j) = \mathbf{1}_{\{x(j) \geq x(i), y(j) \geq y(i), z(j) \geq z(i)\}}(j) \quad (1)$$

\mathcal{V} 에 속하는 꼭짓점 j 의 좌표가 꼭짓점 i 의 좌표보다 큰 경우에만 $o_{1,i}(j)$ 는 0이 아닌 값을 갖는다. 팔분면 지시함수는 각 꼭짓점이 팔진트리에서 꼭짓점 i 에 대해 어떤 방향에 위치하는지를 나타낸다.

다음으로, 위치와 색상 정보에 기초한 그래프 스펙트럴 특징을 계산한다. \mathcal{V} 에 속하는 모든 꼭짓점 i 에서 [4]와 같이 스펙트럴 그래프 웨이블릿 $\psi_{s,i}$ 를 구한다. 꼭짓점 i 에서 지시 방향 k 와 위치 및 색상 특징 정보 $f \in \{x, y, z, r, g, b\}$ 를 독립적으로 고려하여 그래프 웨이블릿 특징 벡터를 다음과 같이 계산한다.

$$\phi_{i,s,o_{k,i},f} = \langle f \cdot o_{k,i}, \psi_{s,i} \rangle \quad (2)$$

$s \in S = \{s_1, \dots, s_{\max}\}$ 는 웨이블릿의 스케일을 의미하고 \cdot 은 벡터의 단순곱을 의미한다. 그래프 웨이블릿을 계산할 때 사용하는 스케일링 함수 h 를 고려한 특징 벡터는 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_{i,h,o_{k,i},f} = \langle f \cdot o_{k,i}, h(L)\delta_i \rangle \quad (3)$$

최종적으로, 특징 벡터 $\phi_i = [\phi_{i,s,o_{k,i},f}, \phi_{i,h,o_{k,i},f}]$ 를 얻는다.

B. 움직임 필드 계산

참조 프레임 I_t 와 목표 프레임 I_{t+1} 내 그래프들의 꼭짓점들을 정합을 수행하여 움직임 정보를 추정한다. 움직임 정보를 추정하기 위해 다음과 같이 특징 벡터 간의 정합 점수를 계산한다.

$$\sigma(m, n) = (\phi_m - \phi_n)^T P (\phi_m - \phi_n), \forall m \in \mathcal{V}_t, n \in \mathcal{V}_{t+1} \quad (4)$$

꼭짓점 n 은 정합 점수가 가장 작을 때의 꼭짓점 m 과 매칭되고, 두 꼭짓점의 좌표의 차이가 이들의 움직임 벡터를 나타낸다.

그리고 타겟 프레임 I_{t+1} 을 K -평균 군집화한 후, 각 군집에서 가장 좋은 정합 점수를 갖는 군집 대표 꼭짓점 쌍을 찾는다. [3]과 같이 군집 대표 꼭짓점 쌍들의 움직임 벡터를 보간하는 방법으로 다른 모든 꼭짓점들의 움직임 벡터를 계산하여 움직임 필드를 얻는다.

2.3 포인트 클라우드 압축

A. 움직임 벡터 정보 압축

움직임 벡터 정보는 그래프 푸리에 도메인에서 효과적으로 압축 가능하다[5]. 따라서 [6]과 같이 움직임 벡터를 \mathcal{G} 의 고유 벡터들과 내적하여 그래프 푸리에 변환을 수행한 후, 적절한 크기로 양자화하여 RLGR 엔트로피 코딩한다.

B. 기하 정보 압축

참조 프레임의 꼭짓점의 좌표 값에 움직임 필드를 더하여 움직임 보정 프레임을 얻는다. 움직임 보정 프레임과 타겟 프레임의 기하 정보는 유사하지만, 여전히 두 프레임의 꼭짓점의 개수가 다르다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해, 타겟 프레임과 움직임 보정 프레임으로부터 [7]의 방법을 사용하여 예측 프레임을 만든다.

본 논문에서는 예측 프레임과 타겟 프레임 사이의 차이를 효과적으로 압축하는 방법을 제안한다. 우선 예측 프레임과 타겟 프레임의 차이를 두 팔진트리의 XOR 연산을 통해 얻는다. 그 후에 프레임 간 차이를 Huffman 부호화와 산술 부호화 중 더 압축률이 좋은 방식을 선택하여 엔트로피 코딩한다. 이러한 방법을 적용하는 경우, 프레임 간 차이의 정도에 따라서 더 효율적인 압축이 가능하다.

C. 색상 정보 압축

움직임 보정 프레임의 꼭짓점 j 와 k -최근접 이웃($k = 3$)인 참조 프레임의 꼭짓점들의 색상 정보의 평균을 해당 꼭짓점의 색상 추정 값으로 사용한다. [2]와 같이 추정된 색상 값과 실제 타겟 프레임의 색상 정보 간 차이를 그래프 푸리에 변환 하여 엔트로피 코딩한다. 이 때도 2.3.B 에서와 같이 Huffman 부호화와 산술 부호화 중 더 효율적인 것을 선택한다. 복호화를 위해서는 프레임마다 사용한 엔트로피 부호화 종류를 함께 압축해야 한다.

3. 실험 결과

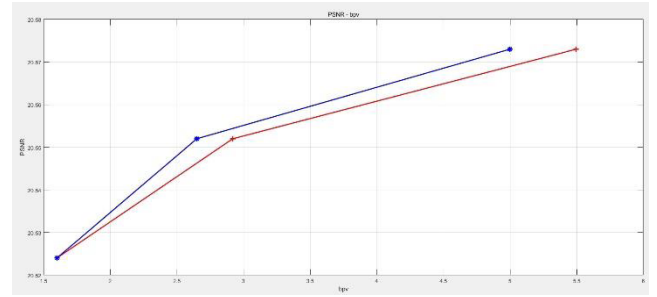


그림 1. 실험 결과.

그림 1 은 실험 결과를 보여준다. 파란 선은 제안 기법과 같이 선택적 엔트로피 부호화를 적용한 결과이다. 산술부호화만으로 압축했을 때보다 같은 PSNR 에서 더 높은 압축효율을 달성하고 있음을 확인할 수 있다..

4. 결론

본 논문은 그래프 간 정합을 이용한 포인트 클라우드 시퀀스 압축 기법을 제안하였다. 먼저 포인트 클라우드로부터 만들어진 그래프를 이용하여 특징 벡터를 추출하고, 이를 이용하여 움직임 필드를 추정한다. 그 후 프레임 간 차이를 선택적 엔트로피 부호화를 통하여 압축함으로써, 최종적으로 압축의 효율을 높였다. 실험 결과 제안 기법이 큰 왜곡 없이 포인트 클라우드 시퀀스 압축을 수행하는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2018 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.GK18P0200, (4D 실감-총괄/1 세부) 4D 복원 및 동적 변형 거동 모델 기반의 초실감 서비스 기술 개발)

참고 문헌

- [1] C. Loop, C. Zhang, and Z. Zhang, "Real-time high-resolution sparse voxelization with application to image-based modeling," in *Proc. 5th High-Perform. Graph. Conf.*, 2013, pp. 73-79.
- [2] C. Zhang, D. Florencio, and C. Loop, "Point cloud attribute compression with graph transform," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Process.*, Oct. 2014, pp. 2066-2070.
- [3] D. Thanou, P. A. Chou, and P. Frossard, "Graph-based compression of dynamic 3D point cloud sequences," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 4, pp. 1765-1778, Apr. 2016
- [4] D. K. Hammond, P. Vandergheynst, and R. Gribonval, "Wavelets on graphs via spectral graph theory," *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, vol. 30, no. 2, pp. 129-150, Mar. 2011.
- [5] C. Zhang, and D. Florencio, "Analyzing the optimality of predictive transform coding using graph-based models," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 20, no. 1, pp. 106-109, Jan. 2013.
- [6] H. S. Malvar, "Adaptive run-length / golomb-rice encoding of quantized generalized gaussian sources with unknown statistics," in *Proc. Data Compression Conf.*, Mar. 2006.
- [7] J. Kermmmerl, N. Blodow, R. B. Rusu, S. Gedikli, M. Beetz, and E. Steinbach, "Real-time compression of point cloud streams," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, May 2012, pp. 778-785.