

Daubechies 웨이블릿 필터를 이용한 시간가변 볼륨 데이터의 압축

허영주*, 구기범**, 이중연***
한국과학기술정보연구원
e-mail: popea@kisti.re.kr

Compression Of Time-Varying Volume Data Using Daubechies Wavelet Filter

Youngju Hur*, Geebum Koo**, Joongyoun Lee*
Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

볼륨 데이터에 대한 압축 기법의 필요성은 데이터 용량의 증가와 네트워크 사용량의 증가와 함께 더
불어 증가해 왔다. 현재에는 다양한 압축 기법이 개발돼 있으며, 사용자는 데이터 유형이나 응용 분야
에 맞춰 압축 기법을 선택, 적용할 수 있다. 그러나 최근에는 응용 과학자들로부터 생성되는 데이터의
용량이 기하급수적으로 증가했는데, 이렇게 응용과학 분야에서 생성되는 데이터는 대부분 3차원 볼륨
데이터다. 2차원 이미지나 3차원 동영상 데이터의 경우에는 다양한 표준 압축 방식을 사용할 수 있지
만 3차원 볼륨 데이터에 적용할 수 있는 방법은 한정돼 있으며, 특히 시간가변(time-varying) 볼륨 데이
터에 대한 압축 표준은 거의 존재하지 않는다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 시간가변 볼륨 데이터에 대한 압축 방식을 제안한다. 이 방식은 가시화를 목적으로 하
는 시간가변 볼륨 데이터의 인코딩을 목적으로 하며, MPEG의 I-프레임과 P-프레임 개념을 사용해서
압축률을 높인다. 본 방식은 시간가변 부동 소수점 데이터(single precision floating-point data)로 구성된
시간가변 볼륨 데이터를 대상으로 하는데, 한 블록 단위의 무작위 복원을 지원하며 Daubechies 웨이블
릿 필터와 프레임간의 상관 관계를 사용, 대형 시간가변 볼륨 데이터를 이미지 화질을 보존한다.

1. 서론

데이터 압축 기술은 점점 더 그 필요성이 증가하
고 있으며, 여러 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특
히 그래픽스 분야에서 사용되는 다양한 형태의 멀티
미디어 데이터는 그 용량이 매우 방대하므로, 이렇
게 방대한 용량에 걸맞은 다양한 방법이 고안돼 왔
다. 그러나 2차원 이미지나 3차원 동영상의 경우에
는 JPEG이나 MPEG같은 표준이 제정, 활용되고 있
지만 3차원 볼륨 데이터를 압축하는 기법은 다양한
것도, 표준이 존재하는 것도 아닌 상태로 지속돼 왔
다.

일반적으로 볼륨 데이터는 여러 다양한 응용 과학
분야에서 시뮬레이션의 결과로 산출된다. 이런 볼륨
데이터는 컴퓨팅 기술의 발전에 힘입어 점점 더 용
량이 방대해지고 있으며, 이런 볼륨 데이터 중에는
시간축에 대해 여러 개의 볼륨 데이터가 존재하는
시간가변(time-varying) 볼륨 데이터도 있다.

시간가변 볼륨 데이터는 시간에 따른 수치의 변화
를 나타내는 데이터로, 용량이 큰 3차원 볼륨 데이
터가 시간 단계(time step)만큼 여러 개 나타내는
볼륨 데이터를 가리킨다. 볼륨 데이터에는 데이터의
종류 및 응용 목적에 적합한 압축 기술이 필요한 만
큼, 시간가변 볼륨 데이터에도 기존 압축기법과는
다른, 별도의 압축기법이 적용돼야 한다.

본 논문에서는 시간가변 볼륨 데이터에 대한 손실
(lossy) 압축 기법을 제안한다. 이 기법은 가시화를
대상으로 하는 시간가변 볼륨 데이터의 압축을 목표
로 하며, 3차원 동영상 압축에 사용되는 MPEG 기
법의 I-프레임과 P-프레임의 개념을 이용, 볼륨 데
이터 간의 상호 연관성을 이용함으로써 압축률을 높
였다. 또, Daubechies 웨이블릿 필터를 이용해서 데
이터를 변환하기 때문에 Haar 웨이블릿을 사용한
여타의 압축 방식에 비해 동일한 압축률에서 상대적
으로 우수한 복원 화질을 얻을 수 있다. 이 압축방

식은 부동소수점(single precision floating-point) 데이터로 구성된 시간가변 볼륨 데이터를 대상으로 하며, 렌더링 코드와의 연계를 고려, 블록 단위의 무작위 추출(random access) 기능을 지원한다.

2. 관련 연구

압축 기법에서는 인코딩에 앞서 데이터를 다른 영역으로 변환, 데이터의 분포 범위와 유효 데이터의 개수를 줄이면 압축률을 높일 수 있다. 이런 데이터 변환에는 DCT(Discrete Cosine Transform)나 웨이블릿 변환이 많이 사용되는데, 본 논문에서는 Daubechies 웨이블릿[3][4]을 사용해서 데이터를 변환했다. Daubechies 웨이블릿은 2개에서 20개의 계수를 사용한 다양한 데이터 변환 방식을 제공하는데, 그중 4개의 계수를 사용한 D4 방식은 계산이 비교적 간단하면서도 복원 화질의 손상도가 낮다.

시간에 따라 이미지가 변하는 형태의 데이터인 동영상 압축에 가장 많이 사용되는 방식은 MPEG[8][12]이다. MPEG은 각 프레임간의 상호 연관성을 이용해서 데이터 압축률을 높이는 기법을 사용한다. [9]와 [10]에서는 이런 MPEG의 특성을 볼륨 데이터에 적용함으로써 시간가변 볼륨 데이터를 효과적으로 압축하는 방법을 제안했다. 이 방식에서는 MPEG의 I-프레임과 P-프레임 개념을 이용, 볼륨 데이터를 압축한다.

시간가변 볼륨 데이터를 압축하는 방식은 몇가지 방식이 존재한다. 그 중에는 웨이블릿 필터를 적용한 뒤, LZH나 산술(arithmetic) 코딩과 같은 인코딩 방식을 적용하는 방식[6]도 있고, 각각의 시간단계별 볼륨 데이터의 상호 연관성을 octree 형태의 자료구조로 저장[7]하는 방식도 있으며, 벡터 quantization

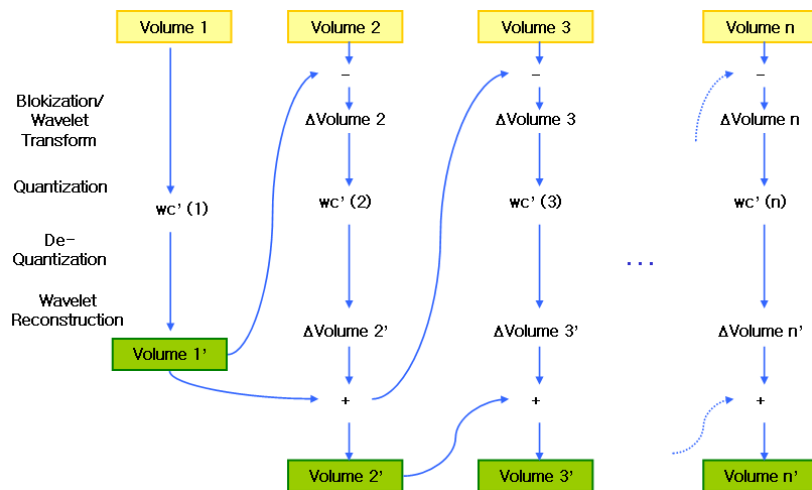
을 사용[5]하는 압축방식도 있다.

고정 볼륨 데이터에 대한 인코딩 기법은 [1]에서 제안한 적이 있다. 이 방식은 [2]의 제로비트 인코딩 방식을 응용, Daubechies D4 필터를 적용하며 부동소수점 데이터로 구성된 볼륨 데이터를 대상으로 한다. 본 논문에서는 이 방식을 시간가변 볼륨 데이터로 확장한 인코딩 방식을 제안한다. 이 방식은 [9]와 [10]에서 제안한 것과 마찬가지로 MPEG의 프레임간 연관성을 이용, 시간가변 볼륨 데이터를 인코딩한다. 이 기법은 압축률에 비해 화질 손상이 적으며 블록 단위의 무작위 추출을 지원한다.

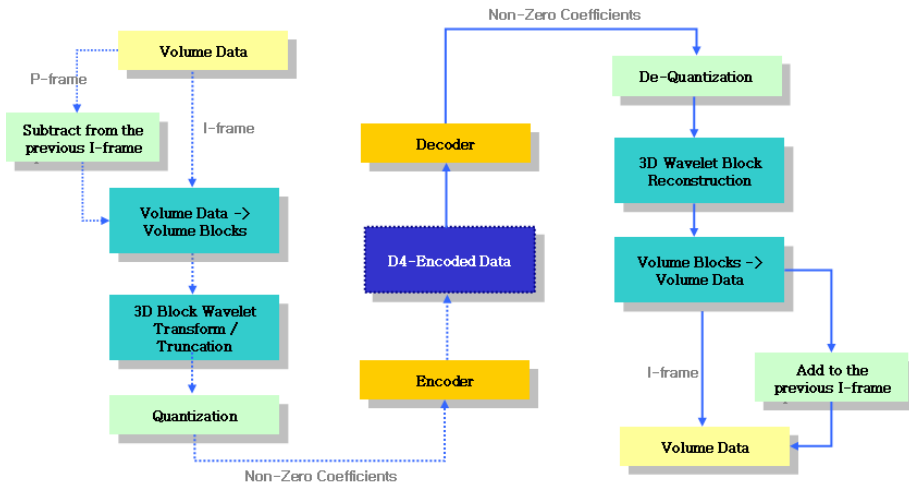
3. 데이터 압축

시간가변 볼륨 데이터를 인코딩할 때 각 볼륨 데이터간의 상관 관계는 (그림 1)에서 볼 수 있다. 각각의 볼륨 데이터는 I-볼륨과 P-볼륨으로 구분할 수 있는데, I-볼륨은 다른 볼륨을 참조하지 않고 자체적으로 복원이 가능한 반면, P-볼륨은 다른 볼륨을 참조해야만 복원이 가능하다. (그림 1)에서는 Volume 1이 I-볼륨에 해당되고, 다른 볼륨은 모두 P-볼륨에 해당된다.

모든 볼륨은 블록화 과정과 웨이블릿 변환, quantization과 인코딩 과정을 거친다. 이 때, 인코딩 직전의 볼륨 데이터에 de-quantization과 웨이블릿 복원을 적용하고 이렇게 복원된 볼륨 데이터를 다른 볼륨 데이터와의 상관관계를 구하기 위한 참조 볼륨으로 사용한다. I-볼륨의 경우에는 참조 데이터로만 사용되지만, P-볼륨은 이렇게 생성된 참조 볼륨을 가지고 이전 볼륨과의 차를 구해서 상관관계를 나타내는 볼륨을 생성한다. 이 상관관계를 나타내는 볼륨이 P-볼륨으로 인코딩될 대상 데이터가 된다. 이



(그림 1) 시간가변 볼륨 데이터의 볼륨간 상관관계



(그림 2) 블록 데이터의 인코딩 및 디코딩 과정

블록을 다음 P-블록 생성을 위한 참조 데이터로 이용하려면 한차례 복원과정을 거친 뒤, 이전 블록에 더해서 사용해야 한다.

(그림 2)에서는 각 블록 데이터를 인코딩하고 디코딩하는 과정을 볼 수 있다. 블록 데이터는 블록의 종류, 즉 I-블록 혹은 P-블록 여부에 따라 전처리 과정이 달라진다. 앞에서 설명했듯이 I-블록은 전처리 과정이 필요 없지만, P-블록의 경우에는 이전 블록과의 상관관계를 먼저 구해서 변환과 인코딩 과정을 거친다.

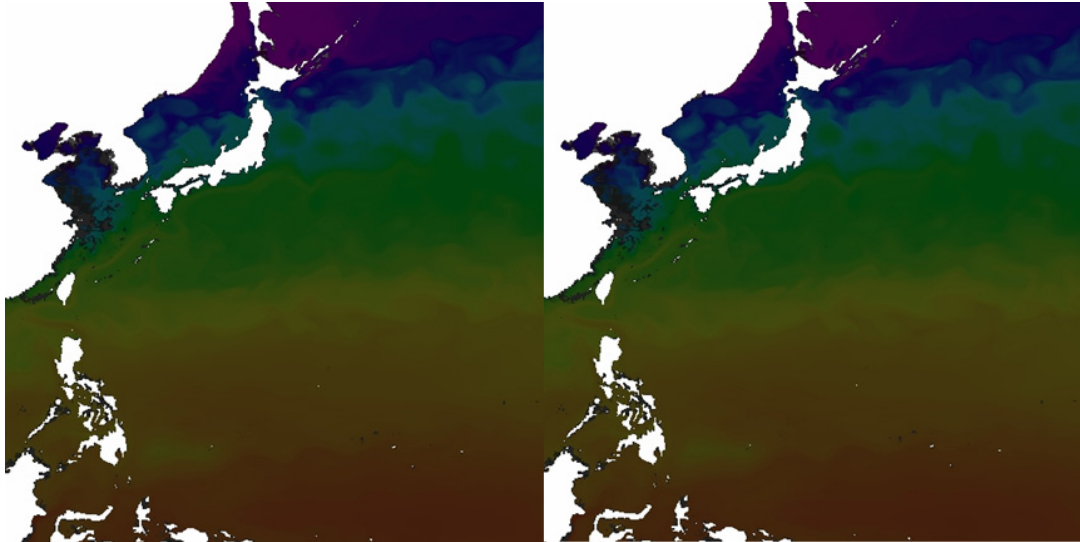
전처리가 끝난 블록 데이터는 블록 단위로 다시 저장된다. 블록의 크기는 8 x 8 x 8, 16 x 16 x 16 등으로 다양하게 설정할 수 있는데, 본 실험에는 8 x 8 x 8 크기의 블록을 사용했다. 이렇게 블록 단위로 저장된 블록 데이터는 3차원 웨이블릿 변환 과정을 거치고, 중요도가 낮은 계수를 절삭(truncation)하

는 과정을 거침으로써 압축률을 높이게 된다. 웨이블릿 변환이 끝난 계수는 quantization 과정을 거친다. 이 quantization 과정을 통해 4-바이트 크기의 부동 소수점 데이터는 2-바이트 크기의 quantization 인덱스로 변환된다. 여기에서는 모든 구간을 동일한 크기로 나눠서 인덱스를 부여하는 uniform quantization 기법을 사용했다. 이렇게 변환 과정을 모두 끝낸 계수는 인코딩 과정을 거치게 되며, 이렇게 최종 압축 데이터가 생성된다.

인코딩 과정에서는 유닛 플래그 테이블(Unit Flag Table)을 사용해서 유효 블록의 위치를 표시하고, UDBT(Unit Data Bit Table)을 사용해서 블록 내 유효 데이터의 위치를 표기하게 된다. 실제 quantization 인덱스는 2바이트 크기의 데이터 스트림에 따로 저장된다. 인코딩 과정과 인코딩 데이터 구조에 대한 상세한 사항은 [1]을 참조하라.

<표 1> Ocean Temperature 데이터의 인코딩 결과

Volume Number	Ocean Temperature (3,600 x 2,400 x 40 = 1.3G)			
100%	RMSE	SNR	PSNR	Data Size(MB)
00 (I-블록)	0.532	60.91	66.70	610M
01	0.072	59.83	65.54	702M
02	0.072	59.83	65.55	402M
03	0.072	59.80	65.53	402M
04 (I-블록)	0.064	60.77	66.52	610M
05	0.072	59.72	65.48	702M
10%	RMSE	SNR	PSNR	DATA Size(MB)
00 (I-블록)	0.063	60.92	66.70	215M
01	0.013	74.48	80.56	155M
02	0.041	64.70	72.05	31M
03	0.015	73.60	79.60	168M
04 (I-블록)	0.064	60.81	66.52	258M
05	0.013	74.53	80.62	200M



(그림 3) 2번째 프레임의 렌더링한 결과, (좌) 본래 이미지 (우) 10% 계수 사용

4. 결과

실험에는 대양의 온도(ocean temperature) 변화를 나타내는 시간가변 볼륨 데이터를 사용했다. 이 데이터는 부동소수점으로 구성돼 있으며, 전체 12개의 시간 단계로 구성돼 있다. 각 시간단계를 나타내는 볼륨 데이터의 크기는 1.3G다. (전체 데이터 크기 = $1.3 \times 12 = 15.6G$)

압축 결과는 <표 1>에서 볼 수 있다. <표 1>의 상반부는 계수를 절삭하지 않았을 때의 결과를 나타내고, 하반부는 10% 계수만 사용할 때의 결과를 나타낸다. 표에서는 편의상 6번째 볼륨까지만 표기했다.

각각의 시간 단계는 평균 약 50% 이상의 압축률을 보인다. 또 I-볼륨보다는 P-볼륨의 압축률이 상대적으로 약간 높은 것을 볼 수 있으며, SNR과 PSNR 상으로 보이는 화질 저하는 거의 없다고 볼 수 있다.

실험에 사용한 데이터는 볼륨 전체가 차있는 데이터였는데, 만약 빈공간이 많은 데이터를 사용했다면 압축률은 훨씬 더 높아졌을 것이다. 또, uniform quantization 대신 nonuniform quantization을 사용하면 보다 나은 압축률과 화질을 동시에 얻는 것이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] 허 영주, 박 상훈, "Daubechies 웨이블릿 필터를 이용한 볼륨 데이터 인코딩", 정보처리학회논문지 제 13-A권 제 7호, 2006년 12월.
- [2] C.Bajaj, I.Ihm, S.Park, "3D RGB compression for interactive applications", ACM Transactions on Graphics, Vol.20, pp.10-38, 2001.
- [3] I.Daubechies, D4 Wavelet Transform,

http://www.bearcave.com/misl/misl_tech/wavelet/daubechies/.

- [4] I.Daubechies, Ten Lectures on Wavelets, SIAM 1992.
- [5] N.FOut, K.Ma, J.Ahrens, "Time-varying multivariate volume data reduction", ACM Symposium on Applied computing, pp.1224-1230, 2006.
- [6] S.Guthe, W.Straber, "Real-time decompression and visualization of animated volume data", Conference on Visualization, pp.349-256, October 2001.
- [7] K.Ma, D.Smith, M.Shin, H.Shen, "Efficient encoding and rendering of time-varying volume data", ICASE Technical Report 98-22, NASA/CR-1998-208424, ICASE Hampton, Virginia, 1998.
- [8] D.Le Gall, "MPEG: A video compression standard for multimedia applications", Communications of the ACM, Vol.34, Issue 4, pp.46-58, 1991.
- [9] B.Sohn, C.Bajaj, V.Siddavanahalli, "Feature based volume video compression for interactive playback", Proceedings of 2002 Symposium on Volume Visualization and Graphics, pp.89-96, 2002.
- [10] B.Sohn, C.Bajaj, V.Siddavanahalli, "Volume video compression for interactive playback", Computer Vision and Image Understanding, Special Issue on Model-based and Image-based 3D Scene Representation for Interactive Visualization 96(3), pp.435-452, 2004.
- [11] E.Stollnitz, T.DeRose, D.Salesin, "Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications", Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- [12] P.Symes, Digital Video Compression, McGraw-Hill, 2004.
- [13] C.Wang, J.Gao, H.Shen, "A multiresolution volume rendering framework for large scale time-varying data visualization", Proceedings of International Workshop in Volume Graphics, pp.11019, 2006.