리던던트 웨이블릿을 이용한 지형메쉬의 간략화

김정훈*, 최윤철*, 고견**
jung@rainbow.yonsei.ac.kr
*연세대학교 컴퓨터과학과
**청주대학교 컴퓨터정보공학과

Terrain Mesh Decimation using Redundant Wavelets

Jung-Hun Kim*, Yoon-Chul Choy*, Kyun Koh**
*Dept. of Computer Science, Yonsei Univ.
**Dept. of Computer and Information Engineering, Chongju Univ.

요 약

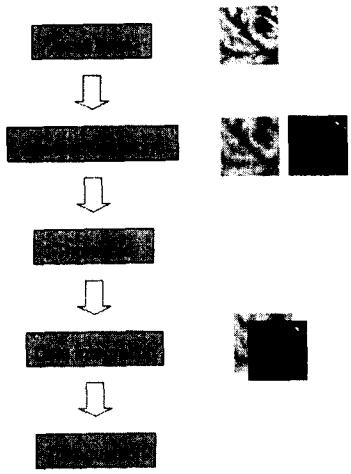
본 논문에서는 리던던트 웨이블릿변환을 이용한 지형메쉬(terrain mesh)의 간략화 방법을 제안한다. 기존의 MRA(Multi-Resolution Analysis) 기법을 이용한 지형메쉬의 간략화 기법은 처리과정에서 다운샘플링이 일어나게 되어 지형데이터 중요한 특성점을 추출할때 부분적으로 손실된 데이터를 이용한다는 단점을 갖는다. 이 논문은 전처리단계(preprocessing process)에서 지형메쉬의 간략화를 목표로 하여, 지형의 중요점 추출과정에서 리던던트 웨이블릿 변환기법을 이용하며 지형의 중요점 추출의 정확도를 높이고, 지형데이터가 갖는 중복성(redundancy)을 제거하여 방대한 지형데이터를 간략화 하는 방법을 제안한다.

1. 서 론

표면(surface)의 단순화(simplification)에 대한 연구는 지도학, 지리정보시스템, 시뮬레이터, 컴퓨터그래픽 등의 분야에서 연구되고 있으며, 특히 시뮬레이터분야에서는 군사분야, 가상현실, 지형 등에 있어서 다중해상도모델링(Multiresolution modeling/Level of Detail)과 관련되어 연구되고 있다. 컴퓨터그래픽 분야에서는 실시간렌더링(realtime rendering)과 애니메이션에 관한 연구가 이와 관련된다[1]. 3차원 지리정보시스템(GIS)이나 비행시뮬레이션에서는 지형의 사실적인 표현을 위하여 방대한 메쉬 생성을 필요로 한다. 실제적인 비행시뮬레이션에서는 지형자료가 방대한 경우 실시간 렌더링이 현실적으로 불가능하다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해 원본 메쉬의 기하학적인 특성을 유지하며 메쉬를 간략화 시키는 방법이 연구되어 왔으며 시점(viewpoint)의 위치에 따라서 물체의 세부적인 해상도를 다르게 하는 방법(LOD:Level of Detail)이 연구되었다[2]. 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 지형고도데이터에서 특성점을 추출하며 세부적으로 표현되어야 할 산지나 골짜기 부분은많은 양의 메쉬로 표현하고, 평지나 완만한 곡선을이루는 중복성을 갖는 지역은 적은양의 메쉬로서 표현하는 "Localized LOD" 개념[3]을 적용하여, 전처리 단계에서 지형의 기하학적 특성을 유지하며 메쉬를 간략화시키는 방법을 제시한다.

2. 관련연구

표면단순화기법들을 분류하는 기준으로는 입력데이터의 형태, 출력데이터의 형태, 삼각형화 기법, 채택한 알고리즘, 자료구조의 형태 등이 있다[4]. 본 논문에서는 고도자료(height data)를 입력받아 중요점을 추출한 후 삼각형화 시키는 방법으로 메쉬를 간략화 시키는 기법을 제안하며 그 구조는 (그림1) 과 같다. (그림1)에서 입력된 고도데이터는 이산웨이블릿 변환과정을 거쳐서 지형정보가 분석되어진다. 지형정보 분석과정에서 평지지형부분과 골짜기나 산지지형부분의 데이터는 따로 분리되며 저장되며 임계값(threshold)에서 전체적인 고도점의 개수와 평지지형과 산지지형에 해당하는 고도점들의 비율을 조절한다. Integration 과정에서 두 종류의 데이터는 통합되어 삼각형화 과정을 거쳐서 메쉬



(그림1) 시스템 구조

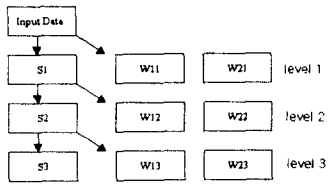
를 생성한다. 기존의 웨이블릿을 이용한 메쉬의 간략화방법들[3,5]에서는 MRA기법을 사용하였다. 이 기법은 고역통과필터를 통과한 데이터를 생성할 때 다운샘플링된 자료로부터 자료를 추출하기 때문에 자료추출이 정확하지 못하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 중요자료 추출을 위해 리던던트 웨이블릿을 이용하여 정확한 자료를 추출하는 방법을 제안한다.

2.1 웨이블릿의 개념

웨이블릿은 추정이론, 신호처리, 물리학 등에서 처음으로 소개되었으며[6], 최근에는 이미지 처리, 수치해석, 그래픽 등에 적용되었다. 웨이블릿은 기존의 푸리에변환(Fourier transform)이 시간정보와 주파수 정보를 동시에 파악할 수 없다는 한계와 그에 따라서 야기되는 전체 신호의 에너지가 특정한 변환계수에 집중되지 못한다는 문제점들을 극복하며, 다중해상도(Multi-resolution) 과 compact support 의 특성으로 압축, 잡음제거, 에지검색 등에 탁월한 효과를 보여준다[7].

2.2 리던던트 웨이블릿 (Redundant Wavelets)

리던던트 웨이블릿 시스템의 가장 큰 특징은 서브샘플링 과정이 없기 때문에 원본자료의 크기가 변하지 않는다는 것이다. 그것은 경사도가 다른 지형을 추출하기 위한 후보자료의 수가 줄어들지 않기 때문에 더욱더 정확한 추출을 할 수 있게 된다는 것을 의미한다. (그림2)에서 입력데이터에 대하여 S1은 웨이블릿 저역통과필터(lowpass filter)를 통과한 평균값을 의미하며 W11, W21은 입력 데이터에 대한 가로, 세로축의 $\pi/2$에서 π까지의 주파수에 해당하는 성분만을 통과시키는 고역통과필터(highpass filter)성분이다. S2는 S1에 대하여 저역통과필터링 과정을 거친 평균값이며, 마찬가지로 W12와 W22는 S1에서 고역통과필터링을 하여 $\pi/4$에서 $\pi/2$까지의 성분만을 통과시킨 성분이다. 각기 다른 주파수의 지형성분이 검출되는 과정을 리던던트 웨이블릿변환에서는 자료의 손실이 없이 수행한다.



(그림2) 리던던트 웨이블릿 구조

3. 웨이블릿을 이용한 중요점 추출

지형의 특성을 분석할 때 고도가 일정한 평지지역은 여러 개의 고도점을 필요로 하지 않으며 이러한 지역이 지형데이터에서 중복성을 갖는 부분이다. 메쉬의 간략화는 이러한 중복성을 제거하여 적은양의 메쉬로서 표현할 수 있도록 중요점 만을 추출하는 과정이다. 반면에 산이나 골짜기와 같이 주변의 고도와 급격한 차이를 보이는 지점은 적은양의 메쉬로는 표현할 수 없다. 이러한 지점은 평지지역보다 많은 메쉬로서 표현이 되어야 본래 지형자료의 기하학적인 모양을 유지할 수 있다. 지형 데이터에서 세부적으로 표현되어야 하는 부분은 웨이블릿 필터로 추출하며, 데이터가 중복된 평지지역은 다운샘플링을 하는 방법으로 중복성을 제거한다. 다운샘플링을 하는 기법은 일정한 간격으로 데이터를 추출하는 방법을 사용하며, 세부적으로 표현될 부분은 고도차가 큰 부분부터 추출하는 방법을 선택한다. 이 두 가지 형태의 데이터의 비율은 임계값을 두어 조절이 가능하며, 다운샘플링 전에 웨이블릿 저역통과필터링을 하여 지형의 기하학적인 모양을 유지한다.

4. 삼각형화(Triangulation)

지형을 표현하기 위한 방법 중에서 가장 많이 사용하는 방법은 TIN(Triangulated Irregular Network)이다. 불규칙 삼각망은 대부분의 그래픽 모델링에서 사용되며, 가장 보편적으로 사용하는 방법은 Delaunay triangulation이다[5]. 본 논문에서는 평지지형의 고도데이터는 웨이블릿 저역통과필터링 과정을 거쳐서 규칙적인 서브샘플링을 하여 추출하고, 세부적으로 표현되어야 할 부분의 고도데이터의 위치는 고역통과필터링 과정을 거쳐서 추출하여 두 정보를 통합한다. 결과적으로 출력되는 데이터는 불규칙한 고도점의 형태를 가지며 이들의 삼각형화는 Delaunay triangulation 기법을 사용한다. 삼각형화는 평지지형을 나타내는 부분을 규칙적인 모양을 갖는 삼각형으로 초기화하고, 추출된 중요점들을 하나하나 추가하여 삼각형화 하는 Greed insertion 알고리즘[8]을 적용한다. 본 논문에서 제안하는 삼각망의 형태는 기존의 기법이 갖는 전체적으로 규칙적인 격자망형태에서 벗어나 지형의 중복성이 있는 부분은 규칙적인 격자망 형태로 추출하고 세부적인 표현이 되어야할 부분은 불규칙하게 추출하여 삼각형화 시켜주는 기법을 이용한다.

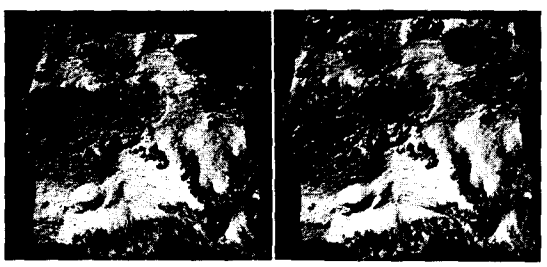
6. 실험 및 구현결과

실험에서는 MRA 방법과 리던던트 웨이블릿을 이용하여 지형의 중요정보 추출결과를 비교하였다. 실험을 위하여 30개의 USGS(United States Geological Survey) 표준의 DEM(Digital Elevation Model)자료를 가지고 Pentium Celeron 400A 프로세서와 Window98 환경에서 비교실험을 하였다. 실험자료는 본래 1021*1021 사이즈의 DEM 데이터를 256*256 사이즈로 나누고, 산지지형과 평지지형으로 구분하여 실시하였다. 실험 결과에서 굴곡이 심한 산지지형에서는 (표1)에서와 같이 단계1, 단계2 에서는 비교할 수 있을 만큼의 중요점이 추출되었으나 단계가 높아갈수록 MRA 기법의 중요점 추출성능은 현저하게 저하되었다. 평지지형에서의 중요점의 추출도는 단계가 높아질수록 리던던트 웨이블릿 기법이 더욱 많은 중요점을 추출할 수 있었다. 결과적으로 MRA기법을 사용한 경우 주파수가 다른 중요점들을 추출하기 위해서 변환단계(transform level)를 높일수록 다운샘플링으로 인하여, 중요점 추출 능력은 떨어지는 결과가 발생하였다. 리던던트 웨이블릿기법의 적용으로 지형데이터의 중요점 추출의 정확도를 높일 수 있었으며, 이러한 결과는 지형데이터에서 지역적인 상세도의 정확성을 높이는데 이용될 수 있다는 것을 증명한다.

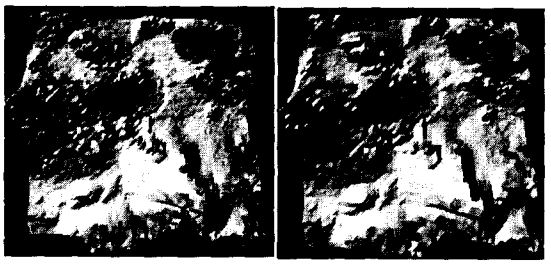
	산지지형		평지지형	
	MRA	FRAME	MRA	FRAME
Levle1	0.001	0.003	0.0001	0.0021
Level2	0.0011	0.015	0.0008	0.0132
Level3	0.005	0.2	0.000297	0.03593
Level4	0.0006	0.634	0.000419	0.044601
Level5	0.00019	0.323	0.000129	0.27819

(표1) 산지 와 평지지형데이터의 중요점 추출(%)비교

(그림3)은 규칙적인 서브샘플링과 리던던트 웨이블릿으로 추출한 중요점을 이용하여 삼각형화한 지형데이터 이다. 1024 *1024(1048576) 개로 이루어진 Ozark, Missouri 지역 DEM 데이터를 일정한 개수만큼 추출하여 삼각형화한 결과이다. 삼각형화시 추출점의 개수가 적어질수록 중복된 고도점들의 규칙적인 격자의 간격이 커짐을 알 수 있으며, 세부정보 데이터화 중복데이터의 비율은 조절이 가능하다.



(a) 추출 고도자료 65025개 (b)추출 고도자료 16384개



(c) 추출 고도자료4624개 (d) 추출 고도자료 2601개

(그림3) 리던던트웨이블릿을 이용한 지형메쉬의 간략화결과

7. 결 론

본 논문에서는 메쉬의 간략화를 위한 중요점 추출과정에서 리던던트 웨이블릿변환 기법을 이용하여 더욱 많은 중요점을 추출하였으며, 이것을 이용하여 지형의 중요부분의 정보는 더욱 세밀하게 표현하고, 중복성을 갖는 부분은 데이터를 줄여서 본래의 기하학적인 모양을 최대한으로 유지하며 메쉬를 간략화 하는 기법을 제시하였다. 본 논문에서 제안하는 지형메쉬의 간략화 기법은 실시간 랜더링이 필요한 시뮬레이션이나 가상현실등의 분야에서 전처리 단계의 다중 LOD데이터 구축에 유용할 것이다.

참고문헌

[1] Paul Hackbert & Michael Garland, "Algorithms for Surface Simplification" (SIGGRAPH '97 Course Note)

[2] Hoppe.H. "Progressive Meshes", Computer Graphics (SIGGRAPH '96 Proceedings)

[3] Glenn Andrew Martin, "Multiresolution Analysis of curves and surfaces for use in terrain representation", University of Centeral Florida, 1995

[4] Paul Hackbert & Michael Garland, "Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms" (SIGGRAPH '97 Course Note)

[5] M. H. Gross, R. Gatti, O. Staadt, "Fast Multiresolution Surface Meshing", In Proc. IEEE Visualization '95 July 1995.

[6] Eric J. Stollnitz, Tony D. DeRose, David H. Salesin, "Wavelets for Computer Graphics: A Primer" Univ' of Washington, Tech' Report 94-09-11

[7] C. Sideney Burrus, Ramesh A. Gopinath, Haitao Guo "Introcuction to Wavelets and Wavelets transforms" (Preneice Hall , '98)

[8] Michael Garland & Paul S. Hackbert, "Fast Triangular Appproximation of Terrains and Height Fields", http:/ /www.cs.cmu.edu/ ~garland /scape