

# 대용량 위성영상 지형 데이터의 스트리밍 서비스를 위한 효율적인 렌더링 모듈

## (Efficient Rendering Engine of Large Scale Terrain Data for Streaming Services)

박 태 주 <sup>†</sup>      이 상 준 <sup>\*\*</sup>  
(Taejoo Park)      (Sangjun Lee)

**요 약** 위성영상 촬영 기법의 발전과 인터넷 인프라의 확충으로 인해 이를 활용하는 다양한 서비스가 이루어지고 있지만, 대부분 저해상도의 위성영상과 수치고도모형 데이터를 기반으로 한다. 본 논문은 고해상도의 위성영상 데이터를 웹 환경에서 효율적인 스트리밍 서비스가 가능하도록 원시데이터를 가공하는 모듈과 이를 전송하고 렌더링하는 모듈을 구현하였다. 실제 북한산 일대의 위성사진 데이터를 대상으로 논문에서 제안된 기법을 활용하였으며, 넓은 외부 지형을 실시간 처리할 때 발생하는 그래픽 문제를 효율적으로 해결하고 있음을 보인다.

**키워드** : 위성영상, 렌더링, 스트리밍

**Abstract** Various services are developed from advancement of satellite imagery methodologies and internet infrastructure expansions. However, most of these services still rely upon low-resolution satellite images combined with DEM models. In this paper, we have implemented the raw data processing modules and other

· 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음  
· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '대용량 위성영상 데이터의 스트리밍 서비스를 위한 효율적인 렌더링 모듈'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 비 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학부  
trapol78@gmail.com

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수  
sangjun@ssu.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 14일  
심사완료 : 2008년 8월 1일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제7호(2008.10)

modules that transfer and render high-spatial resolution satellite images for efficient streaming services in web environments. By utilizing the Bukhan-mountain data as a pilot study, the paper has proposed the efficient approach to solve graphical problems in real time processing the large geographical area.

**Key words** : terrain data, rendering, streaming

### 1. 서 론

최근 군사용으로 사용되어지던 고해상도의 위성영상과 수치고도모형의 일반화로 인해 이를 웹 환경에서 구동하는 지리정보시스템이 활성화되기 시작하였다[1,2].

지리정보시스템은 게임과 달리 방대한 영역의 현실 데이터를 기반으로 하기 때문에 대용량의 데이터를 표현하기 위해서 실시간으로 데이터를 처리하는 기술이 필수적이다. GIS분야에서 환경의 기반이 되는 지형의 표현은 매우 중요한 요소이며 전통적인 응용분야인 가상현실, 비행 시뮬레이션 등에서 사실감을 더욱 극대화하기 위해서 효과적인 지형 렌더링이 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 대용량의 지리정보 데이터를 웹 환경에서 원활히 서비스할 수 있는 방안과 이를 위한 효율적인 위성 영상 렌더링 기술 연구에 초점을 두고 있다. 현재 3차원 위성영상 및 수치고도모형을 서비스하는 상용 소프트웨어가 출시되었지만 저해상도의 위성 영상을 사용하거나 로컬 환경의 Stand-alone 형태의 소프트웨어로서 사용자 PC의 많은 시스템자원을 요구하고 있다. 또한 지형 렌더링의 기본 데이터로 등고선 데이터를 사용하여 수치고도모형에 비해 낮은 정밀도의 렌더링 품질을 보여주었다[3]. 이 때문에 방대한 양의 지리정보 데이터를 적은 PC 자원으로 구동하기 위해 다양한 형태의 자료구조와 간략화 기법들이 고안되었다[4]. 지형 데이터를 간략화하기 위한 대표적인 자료구조로 ROAM [5]으로 불리는 이층삼각형트리구조와 쿼드트리[6] 구조가 있다. 그 중 쿼드트리는 시야 절두체 켄링(Frustum Culling)[7]과 연속적 상세단계(CLOD)[8] 구현이 용이한 구조로 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 쿼드트리 기반의 연속적인 상세단계 기법을 적용한 지형 렌더링 모듈 및 스트리밍 시스템을 구현하여 북한산 일대 지역을 실험 데이터로 실험해보고 이때 발생하는 문제점을 확인한 후 웹 환경에서 구현 가능한 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 위성 영상 서비스와 관련된 연구에 대해 살펴보고, 3절에서 구현된 시스템에 대해 설명한다. 4절에서 제안된 기법의 성능을 평가하며, 5절에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

## 2.1 위성 영상

본 논문에서 텍스처 데이터로 사용되는 위성 영상 데이터는 원격탐사에 의해 제작된다. 원격탐사에 의해 획득된 영상 자료는 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받게 되는데, 이 중에서도 영상 자료의 절대위치에 차이를 나타내는 기하학적 휘어짐이 가장 큰 부분을 차지한다. 이러한 기하학적 휘어짐은 영상 내 각 점의 위치 변동을 의미하며, 이렇게 휘어진 영상을 평면 위에 존재하는 기존의 지형도와 중첩시키기 위해서는 인공위성 영상에 나타나는 각 점의 위치를 지형도와 같은 크기와 투영 값을 갖도록 변환해 주는 기하학적 보정이 필요하다. 이러한 과정을 거쳐야만 우리가 지도를 통해 흔히 보는 형태의 안정된 영상을 얻어낼 수 있게 된다. 일반적으로 영상 자료에 흔히 나타나는 기하학적 오차의 원인으로서는 위성의 자세, 지구의 곡률, 위성의 진행 방향, 좌표투영법의 차이, 관측기기 오차, 지구 자전의 영향 등이 있다[9].

위에서 언급한 오차를 보정하는 기하학적 보정의 방법에는 크게 시스템 보정(Systematic Correction)과 지상 기준점 보정(GCP Correction)의 두 가지가 많이 사용되고 있으며, 지면의 굴곡이 심한 산지 지역의 경우 보다 정확한 작업을 위하여 정사 보정(Orthorectification)을 사용하기도 한다[10]. 지상기준점 보정은 영상에 나타나는 왜곡의 원인을 고려하지 않고 단지 왜곡의 정도만을 분석한 후, 수집된 영상과 기준 지도 간을 연결할 수 있는 보정식을 구하여 영상의 왜곡을 보정해 주는 방법으로 본 논문의 실험데이터로 사용되는 북한산지역의 위성영상 역시 지상기준점 보정을 통해 획득하였다.

## 2.2 수치고도 모형

일반적으로 수치에 의하여 지형의 상태를 나타낸 자료를 통칭하여 수치 표고 모델이라고 한다. 본 논문에서 지형의 높이 값을 표현하는 기본데이터로 수치 표고 모델을 사용하며 이는 지표면에 일정 간격으로 분포된 지점의 높이 값을 수치로 기록한 것으로 주로 지형의 분석에 이용되며, 각종 모델링이나 각종 자료의 생성에 기초 자료로 이용된다[11].

수치 표고 모델의 생성 방법은 근본 자료가 무엇인가에 따라 항공사진의 자동정합에 의한 방식과 수치지도의 고도 자료를 이용하는 방식의 두 가지로 크게 나뉘어진다[12]. 수치지도에 포함되어 있는 등고선 등의 고도 자료를 이용하여 수치 표고 모델을 형성하는 방법은 지금까지 가장 일반적으로 행해지고 있는 방식이며 이 방식은 기본적으로 등고선을 이용하여 부정형 삼각망(TIN : Triangular Irregular Network)을 형성한 뒤, 이 자료에 표고점이나 해안선 등을 추가하여 일정 격자망으로 재구성하는 방식을 취하고 있다. 이 방식은 등고선 조밀도에 의해 큰 영향을 받고 건물 등의 모델링이

불가능하다는 단점을 가지고 있지만 제작의 편리성에 의해 가장 선호 받고 있는 형태라고 볼 수 있다.

## 2.3 단계별 상세 표현

3차원의 지형을 단계별로 표현하기 위한 많은 연구가 많이 진행되었으며, 그중에서 인간의 시각적인 특성을 이용한 LOD(Level Of Detail) 방법이 널리 사용되고 있다. LOD의 기본 개념은 3차원 모델의 모양을 최대한 유지하면서, 멀리 있거나 단순한 물체를 기하학, 위상 정보를 이용하여 데이터양을 줄이고 가까워지면 다시 데이터의 양을 늘려서 자세하게 표현하는 방법이다[13].

LOD 방법은 지형의 표현 방법에 따라 다른 방법이 사용되는데 일반적으로 지형을 표현하는 방법은 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Networks)을 이용하는 방법과 고정 격자(Regular Grid)[14]를 이용하는 방법이 있다. LOD는 크게 정적 LOD와 동적 LOD로 구별되며 특징은 다음과 같다.

- 정적 LOD : 미리 정밀도를 단계별로 구분된 여러 메쉬를 생성하고 카메라와 대상의 거리에 따라 해당하는 메쉬를 실시간으로 렌더링

- 동적 LOD : 카메라와 대상의 거리에 따라 실시간으로 메쉬의 정밀도를 변화시켜 렌더링

정적 LOD는 미리 데이터를 생성하므로 빠른 속도로 렌더링 할 수 있는 장점이 있으며 동적 LOD는 메쉬의 정밀도를 실시간으로 변화시키는데 필요한 연산이 들어가므로 정적 LOD보다 상대적으로 느린 속도를 보인다. 지형과 같은 대용량 데이터의 경우 정적 LOD를 통하여 데이터를 미리 생성한다면 많은 저장 공간이 필요하게 되므로 본 논문에서와 같은 지형 렌더링의 경우 동적 LOD 방법[14]을 사용하게 된다.

## 3. 구현 시스템

수치고도모형 및 고해상도의 위성영상을 웹 환경에서 서비스 하려면 대용량의 데이터를 실시간으로 처리할 수 있어야 한다. 본 절에서는 웹 환경에서 대용량의 고해상도 위성영상 데이터를 서비스하기 위하여 원시 데이터를 일정한 크기로 분할하는 위성영상 및 수치고도모형 분할 모듈과 가공된 데이터를 클라이언트에 전송하는 스트리밍 모듈, 클라이언트에서 동작하는 3차원 지형 렌더링 모듈의 구현방안에 대해 서술한다.

### 3.1 수치고도모형 및 위성영상 분할 모듈

고해상도의 위성영상데이터와 수치고도모형은 데이터의 크기가 수백 메가바이트에 달하는 대용량 데이터로서 사용자 PC에서 사용하기에 상당한 시간과 많은 시스템 자원을 요구하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논

1) 월드상의 다양한 오브젝트의 월드 좌표값 하나의 기준점의 좌표체제로 변환하기 위한 원점 좌표

문에서는 3차원 공간상에서 시야각, 시야거리 등에 의하여 가시영역이 제한되는 특징을 이용하여 원시데이터를 일정한 크기로 분할하는 방법을 제안하며 이를 통해 단일 처리 데이터 양을 감소시켰다.

분할된 최소 타일의 사이즈는 렌더링 모듈의 연산 처리 속도를 높이기 위해 쿼드트리 구조로 구성된다. 쿼드트리 구조는 64, 128, 256, 512 등의 2<sup>n</sup>의 사이즈로 정의되어야하지만 LOD 처리를 위해 중심 좌표를 추가하여 2<sup>n</sup>+1으로 정의하였다[6,8]. 본 논문에서는 단위표면구성과 렌더링 속도 등을 고려하여 타일 사이즈를 129×129로 구성하고 이를 단위타일이라고 정의하였다. 또한 지형 렌더링 모듈에서는 카메라의 위치에 따라 단위타일을 새로 갱신하고 갱신된 타일을 실시간으로 재구성하여 렌더링하게 되는데 이때의 질의 및 검색 시간을 줄이기 위해 각각의 단위타일 파일명은 그림 1과 같이 2차원 배열의 row와 column 인덱스로 정의하였다. 색인화된 단위타일을 통하여 카메라의 좌표를 통해 단위타일을 검색하지 않고 색인 값으로 데이터를 검색하여 웹 서버 상에서 단위타일의 질의 시간을 단축시킬 수 있다.

3차원 공간상에서 카메라가 이동하게 되면 카메라의 위치에 해당하는 타일을 순차적으로 렌더링 함으로써 넓은 지역을 표현할 수 있으나 단위타일의 교체로 인한 화면전환이 주기적으로 나타나게 된다. 원거리의 데이터가 순간적으로 나타나게 되면 공간상의 원근감과 거리감이 현실감 있게 표현되지 않으므로 이를 보완하기 위해 카메라가 위치한 곳의 타일뿐만 아니라 주변의 8개의 타일을 추가로 구성하여 하나의 표면을 구성하도록 하였다.

3차원 지형 렌더링 모듈에서 하나의 표면을 구성하기 위해서 9개의 단위타일이 사용되며 스트리밍 모듈을 통해 9개의 단위타일을 전송받아 하나의 표면을 생성하게 된다. 본 논문에서는 이를 단위표면이라고 정의하였으며 그 예는 그림 2에 나타나 있다.

카메라의 시선이 이동함에 따라 스트리밍 모듈을 통해 9개의 타일을 실시간으로 다운로드 받게 되며 이를 통하여 카메라가 인접 지역으로 위치가 변동되어도 자연스러운 지형 전환이 가능하게 된다. 스트리밍을 통한 단위타일 전송은 그림 3과 같이 추가적으로 필요한 3개의 단위타일만 질의하며 이전 단위표면의 6개의 단위타일은 재전송하지 않고 미리 전송된 데이터를 사용하여

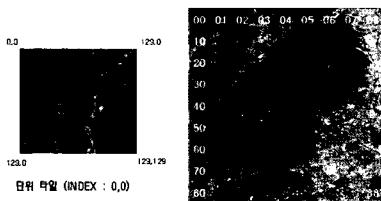


그림 1 단위타일 정의

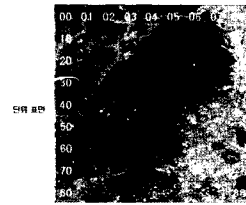


그림 2 단위표면 정의

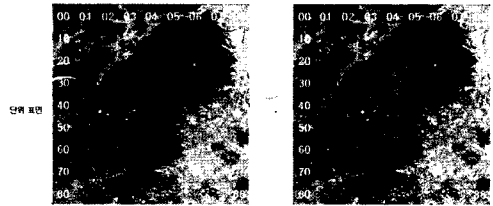


그림 3 카메라 시선 이동에 따른 추가 구성 타일

다운로드 효율을 높이게 된다.

카메라의 고도가 높아지게 되면 상대적으로 가시영역이 넓어지므로 렌더링하기 위한 단위타일의 개수가 많아지게 되며 전체 영상을 바라보는 고도에 카메라가 위치할 경우 전체 타일을 렌더링 해야 하게 되므로 영상을 분할한 의미를 상실하게 된다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 카메라와 대상의 거리를 기준으로 단위타일에 레벨을 부여하는 영상 분할 방법을 제시하였다. 3차원 렌더링 모듈은 카메라와 대상 간의 원근투영이 적용되므로 원거리의 데이터는 근거리의 데이터보다 작게 표현된다.

래스터 표현방식의 모니터 출력장치는 화면을 픽셀단위로 표현하기 때문에 원거리의 작고 정밀한 데이터는 중복되거나 생략되어 표현된다. 이를 이용하여 그림 4와 같이 원거리의 단위타일 9개를 상위레벨의 하나의 단위타일로 정의하였다.

9개의 하위레벨의 타일을 포함한 상위 레벨의 단위타일 해상도의 간격은 하위레벨에 비해 1/3의 낮은 해상도를 지니게 된다. 상위 레벨의 타일이 표현되는 시점은 카메라의 고도가 일정 높이 이상의 원거리일 경우이기 때문에 렌더링 품질이 저하되는 것이 화면상에 표현되지 않는다. 고도에 따라 단위타일 및 단위표면이 선택되며 3차원 지형 렌더링 모듈은 카메라가 낮은 고도에

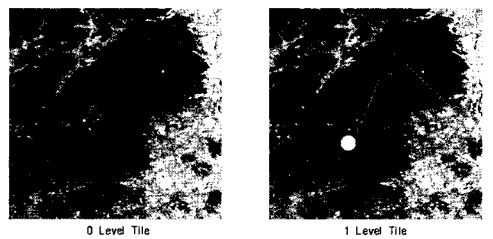


그림 4 레벨별 단위타일 정의

위치할 경우 낮은 레벨의 단위타일을 렌더링하게 되고 카메라가 높은 고도에 위치하여 시야 거리가 확대되었을 경우 상위 레벨의 단위타일을 렌더링하게 된다.

**3.2 클라이언트 3차원 렌더링 모듈**

클라이언트 3차원 렌더링 모듈은 스트리밍 모듈을 통하여 파일서버로부터 카메라의 위치에 해당하는 단위타일을 전송받아 단위표면을 구성하게 된다. 단위타일은 2차원 배열형태의 높이 값을 저장하는 구조로서 배열의 row, column 값을 X, Y로 치환하고 HeightValue를 Z로 치환하여 평면상에 표현한다. 대용량의 3차원 데이터를 가시화하기 위해서는 많은 연산과 메모리가 필요하므로 데이터를 간략화하여 처리할 필요가 있다. 본 논문에서는 3차원 공간상의 특징을 활용하여 보이지 않는 데이터를 렌더링 대상에서 제거하여 데이터를 간결하게 재구성하였다. 1,024×1,024의 지형 데이터를 시야 절두체 컬링 기법을 사용하여 각 버텍스의 렌더링 여부를 판별하기 위해서는 매 프레임 당 1,048,576 번의 판정 연산이 필요하게 된다. 본 논문에서는 판정 연산 횟수를 감소시키기 위해 2차원 배열형태의 높이 맵 데이터를 쿼드트리 형태로 재구성 하였으며 쿼드트리의 특징은 4개의 자식 노드를 가리키는 구조로서 필요 없는 데이터를 큰 단위로 제거할 수 있는 이점을 활용하였다. 그림 5는 절두체 컬링을 통하여 재구성된 버텍스 구조를 보여주고 있다.

그림 6과 같이 20회 쿼드 트리 연산으로 인해 2차원 배열형태 대비 절두체 컬링 판정 횟수가 933,888 회가 감소하게 된다(감소율 : 89 %).

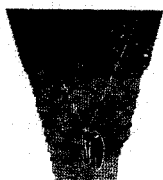


그림 5 절두체 컬링을 통하여 재구성된 버텍스

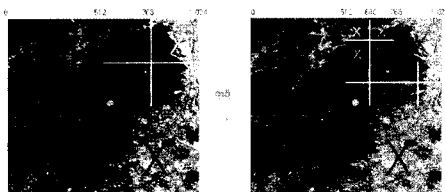


그림 6 레벨 별 쿼드트리 적용으로 인한 연산 감소

**3.3 스트리밍 시스템 구조 및 동작 과정**

본 논문에서 구현한 시스템은 그림 7과 같이 고해상도의 위성영상 및 수치고도 모형을 웹 서비스가 가능한 형태로 가공하는 위성영상 분할 모듈과 이를 웹 환경에

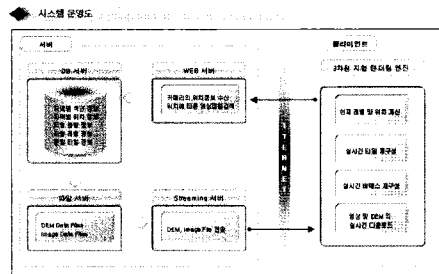


그림 7 위성영상 스트리밍 시스템 구성

서 동적으로 다운로드 받아 실시간으로 렌더링하는 3차원 지형 렌더링 모듈로 구성된다.

위성영상 분할 모듈을 통해 낮은 인터넷 속도와 저사양의 PC 에서도 구동이 가능하도록 원시데이터를 가공하여 전송하고 3차원 지형 렌더링 모듈은 가공된 데이터를 보이는 영역만 렌더링 대상에 포함하여 2차 가공하는 프로세스를 가진다.


위성 영상 분할 모듈은 VC++로 EXE 형태의 응용프로그램으로 구현하였으며 클라이언트 모듈인 3차원 지형 렌더링 모듈은 VC++로 웹에서 동작이 가능하도록 ActiveX로 구현하였다. 또한 3차원 렌더링을 위해 MS사의 3D 그래픽 라이브러리인 DirectX 9.0c를 사용하였다. 웹 서버는 IIS 5.0을 사용하였으며 색인 데이터베이스를 위해 MS-SQL을 DBMS로 사용하였으며 서버와 클라이언트의 데이터 전송 프로토콜은 웹 환경을 사용하기 때문에 HTTP 프로토콜을 사용하였다. 클라이언트 모듈의 카메라가 위치가 변동됨에 따라 현재 위치의 위성영상 및 수치고도모형 데이터의 인덱스를 계산하고 이 인덱스를 웹 서버에 요청하게 되면 웹 서버는 인덱스에 해당하는 분할된 위성영상이미지와 수치고도모형 데이터를 스트리밍을 통하여 클라이언트에게 전송하게 된다.

**4. 성능 평가**

본 연구의 근본 취지를 돌아보면 대용량의 위성영상 및 수치고도모형 데이터를 웹 환경에서 서비스가 가능하도록 원시데이터의 가공 모듈, 실시간 렌더링 모듈을 구현함에 있다. 웹 환경에서 실시간 렌더링이 가능하도록 쿼드트리 구조의 절두체컬링과 단계별 상세요사기법을 사용하여 데이터를 간략화한 렌더링 모듈을 구현 하였으며 단위타일과 단위표면 생성을 위한 영상분할모듈을 구현하였다. 본 논문에서는 표 1과 같이 북한산 일대의 가로 10,517m, 세로 18,115m의 1m급 해상도의 고해상도 위성영상 데이터를 실험데이터로 사용하였다.

북한산 일대의 원시 데이터는 1,054×1,813의 래스터사이즈를 가지고 있다. 쿼드트리 구조와 단위표면을 구성하기 위해 2<sup>n</sup>+1로 재구성된 데이터를 사용하므로 실

표 1 북한산 지역의 실험 데이터

항목	내용	
위성 영상	영역 : 북한산 일대 지역 해상도 : 1M 래스터 사이즈 : 10,571 × 18,115 파일 사이즈 : 564 Mb	
수치고도 모형	영역 : 북한산 일대 지역 해상도 : 10M 래스터 사이즈 : 1,054 × 1,813 파일 사이즈 : 4 Mb	

제 연산 대상의 벡터는 영상 분할 모듈을 통해 1,161×2,322로 재구성되었다. 특정 위치에서 특정 지점을 바라본다고 가정하면 2차원 배열형태의 원시데이터의 경우 절두체 쉐어링을 위해서는 매 프레임 당 2,695,842 (1,161×2,322)번의 절두체 포함 연산을 수행하여야 하며 시스템에 많은 부하를 미치는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 제안한 영상분할 모듈을 사용하여 재구성한 단위타일을 대상으로 쿼드트리구조로 재구성된 벡터의 절두체 포함 연산횟수를 확인하였다. 1레벨의 쿼드트리 노드를 대상으로 검사한 결과 2회 연산으로 1,161×1,161의 노드 데이터가 절두체 연산을 수행할 필요가 없다는 것을 확인하였다. 또한, 2 레벨의 쿼드트리 노드를 대상으로 검사한 결과 추가 9회 연산으로 387×387×8의 노드 데이터가 절두체 연산을 수행할 필요가 없다는 것을 확인하였으며 3레벨의 추가 9회 연산으로 129×129×5의 노드 데이터를 제거할 수 있었다. 이와 더불어 카메라의 고도가 높아지거나 원거리를 바라보는 시점일 경우 가시영역이 넓어지면 쿼드트리를 적용한 노드 검색 효율이 낮아지므로 원거리의 데이터를 간략화하여 표현하는 방법을 사용하여, 일정거리 이상의 경우 보다 상위레벨의 단위표면을 사용함으로써 처리 데이터 양을 감소시켜 속도를 얻는 방법을 사용하였다. 이와 같이 본 연구에서 제안된 기법을 활용하여 단계별 쿼드 트리 활용한 결과 총 2,695,842의 연산 횟수에서 단 20회 연산으로 2,629,278 개의 벡터를 절두체 쉐어링 대상에서 제외할 수 있었으며, 그림 8과 같이 최종 데이터는 66,584 ((129×129×4)+20)의 크기로 감소시킬 수 있었으며 원시 데이터 대비 약 97.5%의 감소율을 확인하였다.

단계	연산 횟수	개별된 연산 횟수
1단계 검사	2회	1,161 X 1,161
2단계 검사	9회	387 X 387 X 8
3단계 검사	9회	129 X 129 X 5
합 계	20 회	2,629,278

- 전체 벡터스 : 2,695,842 ( 1,161 X 2,322 )
- 20회 연산으로 연산횟수 : 2,629,278
- 연산 횟수 : 66,584 ( (129 X 129 X 4) + 20 )
- 쿼드 트리 적용으로 인한 연산 감소율 : 약 97.5 %

그림 8 쿼드트리 적용으로 인한 연산 감소율

### 5. 결론

본 논문에서 대용량의 위성영상 데이터를 웹 기반에서 스트리밍 서비스할 수 있도록 단계별 상세 묘사 기법과 쿼드트리 데이터구조, 절두체 쉐어링 등의 간략화 기법을 사용하여 적은 시스템 자원으로 대용량의 위성 영상 데이터를 효율적으로 처리하는 방안을 제시하였으며, 북한산일대의 실제 데이터를 이용하여 원시 데이터 대비 데이터 감소율과 렌더링 성능 등의 제안기법의 성능을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] 이상학, 이현중, 정희창, 허정희, 신신애, 문재형, 유주현, 문성정, 하수옥, 윤정희, 이호경, "GIS 서비스 확산을 위한 웹 서비스 도입 및 적용방안 연구", 한국전산원, 2004.
- [2] 김경호, 최승걸, 이종훈, 양영규, "인터넷 기반 가상 GIS", 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, Vol.27, No.1, pp.12-14, 2000.
- [3] 김성수, 김경호, 이종훈, 양영규, "등고선 데이터를 이용한 3차원 지형 렌더링", 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, Vol.28, No.1, pp.625-627, 2001.
- [4] Peter Lindstrom, "Visualization of Large Terrains Made Easy," Proceedings of IEEE Visualization, pp.363-370, 2001.
- [5] Mark Duchaineau, Murray Wolinsky, David E. Sigeti, Mark C. Miller, Charles Aldrich, Mark B. Mineev-Weinstein, "ROAMing Terrain: Real-time Optimally Adapting Meshes," UCRL-JC-127870, 1997.
- [6] 최이규, 신병석, "쿼드트리 기반의 지형렌더링에서 효율적인 CLOD 기법", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol.30, No.2, pp.706-708, 2003.
- [7] Renato Pajarola, "Overview of Quadtree-based Terrain Triangulation and Visualization," UCI-ICS Technical Report No.02-01, 2002.
- [8] 이승욱, "넓은 지형처리를 위한 CLOD가 적용된 옥트리", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol.28, No.2, pp.535-537, 2001.
- [9] 윤영보, 조우석, 박종현, 이종훈, "고해상도 모의위성영상 제작에 관한 연구", Korean Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.6, pp.327-336, 2002.
- [10] 송연경, "외부표정요소 직접결정에 의한 수치정사영상 생성", 한국GIS학회지, Vol.13, No.1, pp.55-63, 2005.
- [11] 여희수, 박경환, 박병욱, "원격탐사의 동향과 고해상도 위성영상의 활용", 한국GIS학회 춘추계학술대회, No.4, Vol.1, 1997, pp.1-11.
- [12] 김의명, 김성삼, 유환희, "IKONOS 위성영상의 수치고도 모형 생성", GIS/RS 공동 춘계학술대회, pp.369-374, 2005.
- [13] Bryan Turner, "Real-Time Dynamic Level of Detail Terrain Rendering with ROAM," <http://www.gamasutra.com>, 2000.
- [14] 황보택근, 양영규, 문민수, "메모리 효율 향상을 위한 고정격자기반 실시간 지형 LOD 알고리즘에 관한 연구", Korean Journal of Remote Sensing, Vol.20, No.6, pp.409-418, 2004.