

브이월드 3D 지도 서비스 성능 향상을 위한 3D 타일 적용 방안 연구

3D Tile Application Method for Improvement of Performance of V-world 3D Map Service

김태훈* · 장한솔** · 유성환*** · 고준희****

Kim, Tae Hoon · Jang, Han Sol · Yoo, Sung Hwan · Go, Jun Hee

요 旨

2012년 시범 서비스를 시작한 한국형 공간정보 오픈플랫폼 브이월드는 전국의 2차원, 3차원 지도 및 행정정보를 손쉽게 활용할 수 있도록 다양한 서비스를 제공하고 있다. 그 중 3차원 지도 서비스는 건물 단위로 모델링 되어 있어 모델 요청과 이를 화면에 그리는 드로우 콜(draw call)이 개별 건물 모델에 대해 필요하다. 이로 인해 발생하는 다수의 모델 요청과 드로우 콜이 central processing unit(CPU)와 graphic processing unit(GPU) 간의 전송 및 전환 과정에서 발생하는 대기 시간 증가를 야기해 3차원 지도 서비스의 성능이 감소한다. 본 논문에서는 다수의 모델 요청 및 드로우 콜로 인해 발생하는 3차원 지도 서비스의 성능 저하를 줄이기 위한 성능 개선안을 제안한다. 이를 위해, 단일 건물 모델이 아닌 여러 건물 모델을 타일로 병합한 3차원 타일 모델을 적용하여 모델 파일에 대한 요청 수와 드로우 콜을 줄이고자 하였다. 추가적으로 쿼드트리(quadtrees) 알고리즘을 적용하여 화면에 그릴 영역에 필요한 모델의 탐색 시간 감소를 통해 모델 파일을 불러오는 요청 시간을 줄이고자 하였다. 이는 브이월드의 3차원 지도 서비스의 성능을 향상에 기여할 것으로 예상된다.

핵심용어 : 브이월드, 공간정보 오픈플랫폼, 3차원 타일, 쿼드트리

Abstract

The V-world, korean type spatial information open platform, provides various services to easily utilize 2D, 3D map and administrative information of the country. Among them, V-world 3D map service, modeled in individual building unit, require requests for each building model file and the draw calls for drawing models on the screen by the request. This causes a large number of model requests and draw calls to occur that increase the latency occurring during the transmission and conversion process between the central processing unit(CPU) and the graphic processing unit(GPU), which lead to the performance degradation of the 3D map service. In this paper, we propose a performance improvement plan to reduce the performance degradation of 3D map service caused by multiple model requests and draw calls. Therefore, we tried to reduce the number of requests and draw calls for the model file by applying a 3D tile model that combined multiple building models to single tile. In addition, we applied the quadtree algorithm to reduce the time required to load the model file by shortening the retrieval time of the model. This is expected to contribute to improving the performance of 3D map service of V-world.

Keywords : V-world, Spatial Information Open Platform, 3D Tile, Quadtree

1. 서 론

근래에 스마트 정보기기 보급이 확대됨에 따라 언제

어디서나 누구든지 공간정보를 활용할 수 있는 여건이 조성되고 있어, 그 활용 가능성이 점차 증가하고 있다. 그 중 3차원 공간정보는 도시계획, 재난관리, 시물레이

Received: 2017.02.24, revised: 2017.03.06, accepted: 2017.03.16

* 정희원 · ICTWAY 정보기술연구소 선임연구원(Member, Assistant Researcher, IT Research Laboratory, ICTWAY. xogns403@ictway.co.kr)

** 정희원 · ICTWAY 정보기술연구소 선임연구원(Member, Assistant Researcher, IT Research Laboratory, ICTWAY. hsjang@ictway.co.kr)

*** ICTWAY 정보기술연구소 책임연구원(Senior Researcher, IT Research Laboratory, ICTWAY. shyoo@ictway.co.kr)

**** 교신저자 · 정희원 · ICTWAY, 정보기술연구소 연구소장(Corresponding Author, Member, Director of Research Laboratory, IT Research Laboratory, ICTWAY. jhgo@ictway.co.kr)

선, 내비게이션, 게임 등에서 활용 가능하여 그 수요가 증가하고 있다(Gröger et al., 2012; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016).

이러한 공간정보의 중요성이 대두됨에 따라 국내에서도 한국형 공간정보 오픈플랫폼 브이월드를 2012년부터 서비스하였다. 공간정보 오픈플랫폼 브이월드는 국내의 모든 2차원 지도 서비스, 항공사진 기반의 고해상도 3차원 지도 서비스, 전국 단위 공간정보(지적도, 공시지가, 용도지역지구도, 토지이용현황, 통합지도 등) 서비스, 포털 서비스 등을 제공하고 있다. 또한 누구나 국가 공간정보를 활용한 다양한 어플리케이션 개발이 가능하도록 오픈 application program interface(API) 서비스를 제공한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012).

그 중 브이월드의 3차원 지도 서비스는 그 활용 가능성이 증가하고 있는 추세이다(Spatial Information Industry Promotion Institute, 2016). 현재 브이월드의 3차원 지도 서비스는 수많은 이종의 건물이 모두 각각의 단일 모델로 구성되어 있다. 이로 인해 화면을 구성할 때 각각의 개별 건물 모델 파일에 대한 요청과 특정 모델을 그리기 위해 central processing unit(CPU)가 graphic processing unit(GPU)에게 보내는 요청인 드로우 콜(draw call)이 필요하므로 모델 파일에 대한 요청과 드로우 콜이 다수 발생한다. 각각의 드로우 콜은 CPU와 GPU간 전송 및 전환 과정이 필요하므로, 다수의 드로우 콜로 인해 CPU-GPU간 전송 및 전환 과정 또한 빈번해져 드로우 콜을 위한 대기시간이 증가한다. 이는 곧 GPU의 유휴를 발생시키고, GPU의 유휴는 렌더링의 성능 저하를 발생시킨다(Evans et al., 2014). 이때 렌더링이란 컴퓨터 그래픽에서 화면에 그린 물체의 실체감을 강조하기 위해 여러 가지 3차원 질감을 추가함으로써 사실감 있는 이미지를 생성하는 과정으로 렌더링의 성능 저하는 3차원 지도 서비스의 성능 저하로 나타난다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 건물들을 하나의 모델로 병합한 3차원 타일 모델과 빠른 영역 탐색이 가능한 쿼드트리(quadtrees) 알고리즘을 적용한 브이월드 3차원 지도 서비스의 개선안을 제안한다. 이는 여러 건물을 하나의 타일에 병합함으로써 전체 모델의 수를 급격히 감소시켜 전체 모델에 대한 요청 수와 드로우 콜을 줄일 수 있다. 또한 쿼드트리 알고리즘을 적용할 경우 원하는 데이터에 대한 빠른 탐색이 가능해진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장의 관련 연구에서는 3차원 타일 기법과 쿼드트리 알고리즘을 브이월드

에 적용 시 어떠한 이점을 얻을 수 있는지 살펴볼 것이다. 3장에서는 현재 브이월드에서 제공하는 서비스 방법과 본 연구에서 제안한 방법을 실험을 통해 비교 분석할 것이며, 끝으로 4장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 3차원 타일링

타일링이란 하나의 타일 격자에 다수의 데이터를 결합한 데이터 모델로 원하는 지역과 연관된 데이터를 효율적으로 추출하기 위하여 사용된다(Oliveira et al., 2013). 타일링은 하나의 미리 정의된 타일을 기반으로 여러 데이터들을 묶어 한 번에 처리할 수 있도록 도와준다. 대표적인 공개 규격으로는 Mapbox의 Vector Tile와 Cesium의 3D Tiles가 있다.

Mapbox의 Vector Tile는 사전 정의된 타일 단위로 이미지 대신 벡터 데이터(vector data)를 제공하여 클라이언트의 요청이 있는 경우에 실시간으로 데이터를 생성하여 제공한다(Mapbox, 2016).

이는 기하학적인 정보와 높이, 분류값 등 속성정보를 포함하고 있어 클라이언트에서 이들 정보를 이용하여 3차원으로 렌더링을 수행하고, 속성정보를 함께 제공하므로 다양한 지도 스타일 적용이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 압축 알고리즘을 적용하여 기존 이미지 타일에 비해 전송되는 데이터양이 감소하여 빠른 로드와 효율적인 캐싱(caching)이 가능하다.

하지만 Vector Tile은 그래픽 모델이 아닌 2차원 벡터형태이므로 이를 3차원으로 렌더링하기 위해서는 GPU에서 처리하기 위한 변환 과정이 추가로 필요하다는 단점이 존재한다.

Cesium의 3D Tiles는 거대한 3차원 지역 공간 데이터 집합을 스트리밍하기 위한 공개 규격이다(Patrick, 2015a; Patrick, 2015b). 3D Tiles는 데이터의 유형에 따라서 batched 3D model(B3DM), instanced 3D model(I3DM), composite tiles 등의 다양한 타일 형식들이 존재한다. 먼저 B3DM은 렌더링 및 상호작용을 위해 이기종 3차원 모델을 일괄 처리할 수 있도록 다중 모델을 단일 모델로 병합시킨 것으로 도시 모델에 적합하다(Schilling et al., 2016). 다음으로 I3DM은 반복된 많은 수의 유사 모델을 효율적으로 스트리밍하고 렌더링하기 위하여 3차원 모델을 인스턴스화 시킨 모델이다. 마지막으로 composite tiles의 경우 서로 다른 타일 형식을 동일한 타일에 결합한 모델로 이기종의 데이터 집합을 스트리밍할 때 유연성을 허용한다.

3D Tiles는 3차원 모델을 그래픽 모델로 화면에 표현함으로써 유지보수 시 타일 전체에 대한 수정이 불가피하며 수동 또는 반자동으로 구축해야 한다는 단점이 존재하지만 타 분야(CAD, BIM 등)와의 호환성이 우수하고 고정밀 대상 표현에 적합하다. 또한 3차원 그래픽 렌더링을 위해 고안된 모델이기 때문에 3차원 그래픽 API 환경(OpenGL/ES 등)에서 구현이 용이하며 내부 바이너리 버퍼(binary buffer)를 그대로 전송하여 사용할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 현재 브이월드의 3차원 지도 데이터 구성이 2차원 벡터형태가 아닌 3차원 그래픽 모델로 이루어져 있으며 이기종 건물들이 거의 모든 비중을 차지하고 있으므로, 3차원 데이터를 표현하는데 적합하며 이기종 3차원 모델을 일괄 처리하는데 효과적인 3D Tiles의 B3DM을 이용하였다. 이를 통해 전체 모델에 대한 요청 수 및 드로우 콜의 감소를 위해 개별적으로 모델링 되어 있는 건물들을 타일을 기반으로 병합하였다.

2.2 쿼드트리

쿼드트리란 트리 데이터 구조로 공간을 재귀적 호출로 정확히 4개의 자식 노드로 분할하는 방법이다(Finkel et al., 1974). 즉 하나의 넓은 지역을 4개의 자식 노드로 나눈 뒤, 다시 그 자식 노드들을 부모로서 4개의 자식노드로 나눈다. 이런 식으로 일정 크기 이하로 줄어들 때까지 재귀적인 호출을 통해 분할을 n 번 반복하여 4^n 개의 공간들로 작게 분할한다. 쿼드트리를 활용할 수 있는 분야는 다양한데, 영상 및 이미지 세분화 방법(Spann et al., 1985; Muhsin et al., 2014), 데이터 탐색 방법(Meenakshi et al., 2016) 등에서 사용 가능하다.

이러한 쿼드트리의 특성을 이용하면 절두체(시야에 보이는 영역을 표현한 입체)가 포함된 영역을 큰 구역

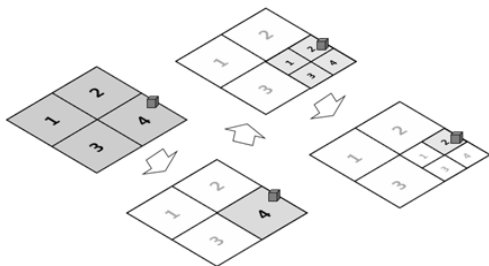


Figure 1. Sequence of quadtree algorithm to search region of object

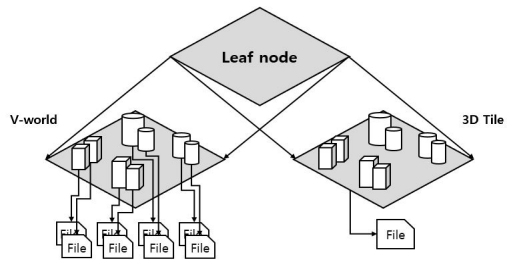


Figure 2. Relation between quadtree and model files

부터 차례대로 찾아가면서 절두체가 포함되어 있지 않은 영역의 데이터를 제외시켜 탐색영역을 축소하여 빠르게 탐색할 수 있다. 즉 큰 덩어리 단위로 필요 없는 지역을 탐색에서 제외시켜 실제로 처리해야 할 데이터 양을 빠르게 줄일 수 있으며 이는 Fig. 1에 도식화 되어있다.

이는 쿼드트리의 재귀적 분할을 통해 만들어진 자식 노드가 3차원 타일과 대응시킬 수 있다. 즉 3차원 타일을 적용하지 않을 경우 탐색한 지역에 포함된 개별 건물 모델을 다시 한번 탐색해야 하지만 타일을 적용할 경우 원하는 지역을 탐색한 후 지역에 대응되는 3차원 타일을 같이 불러올 수 있어 3차원 타일과 같이 사용하기에 적합한 데이터 구조라 판단된다. 이는 Fig. 2에 도식화 되어있다.

따라서 본 연구에서는 브이월드의 3차원 지도 서비스를 통해 3차원 모델을 화면에 렌더링 할 때 현재 화면 구성에 필요한 3차원 타일을 빠르게 탐색 할 수 있는 쿼드트리를 활용하였다.

3. 실험 및 결과

본 연구에서는 브이월드의 3차원 지도 서비스의 성능 개선을 위하여 3D Tiles의 B3DM과 쿼드트리 알고리즘을 적용하였다. 현재 브이월드의 3차원 지도 서비스와 본 연구에서 제안하는 서비스 개선안을 동일한 환경에서 비교하기 어렵기 때문에 현재 브이월드에서 제공하는 서비스와 동일한 방식의 서비스와 본 연구에서 제안하는 서비스 방식을 동일한 조건으로 테스트 베드에 구축한 후 두 가지 실험을 통해 렌더링 성능을 비교하였다.

렌더링 성능에 영향을 미치는 요소는 크게 데이터 로딩 및 그래픽 처리를 위한 준비 속도와 그래픽 처리 속도이다. 데이터 로딩 및 그래픽 처리를 위한 준비 속도가 빨라 질 경우 그래픽 처리를 위한 유휴 시간이 감소

Table 1. Specification of test-bed

	Server PC	Client PC
CPU	Intel i7-3770K 3.50GHz, 3.90GHz	Intel i7-4712MQ 2.30GHz, 2.30GHz
Memory	16 GB	8 GB
Graphic card	NVIDIA GeForce GTX 660	NVIDIA GeForce 820M

Table 2. Network environment of test-bed

	latency	Download	Upload
Network environment	2ms	30MB/s	15MB/s

하므로 렌더링 성능이 향상된다. 또한 그래픽 처리 속도가 빨라질 경우 동일한 시간에 더 많은 모델을 처리할 수 있으므로 렌더링 성능이 향상된다. 하지만 동일한 하드웨어와 데이터를 사용할 경우 데이터의 그래픽 처리 속도는 동일하므로 나머지 요소가 렌더링 성능을 좌우할 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 첫 번째 실험을 통해 요청에 따른 로딩 시간에 대하여 비교 실험을 하였고 두 번째 실험을 통해 동일 시간동안의 그래픽 처리량을 비교하였다.

실험을 위한 테스트 베드는 윈도우 7 기반의 PC 2대를 서버와 클라이언트로 사용하였고 사용된 서버용 PC와 클라이언트용 PC의 주요 사양은 Table 1에 정리되어 있다.

또한 네트워크 환경은 Table 2에 나타나 있으며 네트워크 성능만을 사용하여 비교하기 위하여 캐시(cache)를 사용하지 않고 실험하였다.

3.1 타일 적용 비교 실험

첫 번째 실험은 개별 건물 수준의 모델과 B3DM을 활용한 모델의 렌더링 성능 비교를 위해 모델 요청 수 및 요청에 따른 전체 로딩 시간을 비교하였다. 그 이유는 요청된 모델의 크기에 따라 한번의 드로우 콜로 처리 가능한 모델 크기의 최대치로 데이터를 분할하여 드로우 콜을 보내기 때문에 타일의 크기와 정밀도(level of detail) 등에 따라 드로우 콜 수가 상이하여 기준이 불분명하다. 따라서 드로우 콜 수 대신 모델 요청 수를 측정하였으며, 추가적으로 분할된 요청에 따라 달라지는 실제 렌더링 대기 시간을 알기 위해 전체 로딩 시간을 측정하였다. 데이터 로딩은 렌더링을 위한 선결조건이기 때문에 로딩 시간이 짧을수록 데이터를 서버로부터 빠르게 받아들일 수 있어 데이터의 다운로드 지연으로 인한 렌더링 대기시간이 감소해 렌더링 속도가 증가한다.

실험에 쓰인 데이터는 브이월드가 대부분 건물 모델



Figure 3. 3D model of the 892 buildings of seoul visualized in a web browser

Table 3. Difference according to model type

	Building level model	Batched 3D model
Number of model	892	36
Total data size	33.16 Mb	33.97 Mb
Average data size per model	38.06 Kb	966.16 Kb

로 구성 되어있기 때문에, 다양한 고정밀 건물 모델이 밀집된 지역 중 하나인 서울시 송파구에 위치한 일정 지역의 건물 모델 892개를 활용하였다. 이를 화면에 렌더링한 경우 Fig. 3와 같이 화면에 나타난다.

Table 3은 첫 번째 실험에 사용한 모델 유형에 따른 차이(모델 수, 전체 데이터 크기 그리고 모델 당 평균 데이터 크기)를 비교한 표이다.

이를 통해 B3DM을 적용할 경우 모델 수가 급격히 감소하지만 모델 유형에 따른 전체 데이터양은 크게 다르지 않다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 개별 건물 수준 모델과 B3DM의 차이는 B3DM의 모델에 추가되는 헤더와 메타 데이터 이외의 새로운 모델이나 데이터가 추가되는 것이 아니기 때문이다. 하지만 각각의 모델 유형에 따라 개별 모델의 크기는 크게 차이가 나는데, 개별 건물 수준 모델일 경우 892개의 건물에 대한 각각의 모델이기 때문에 그 크기의 평균이 38.06kb로 작지만 B3DM일 경우 각각의 모델이 약 25개의 건물을 포함하고 있기 때문에 그 크기의 평균이 966.16kb로 상대적으로 크다.

Fig. 4는 두 서비스에 사용된 데이터 평균 요청 수와 요청에 따른 전체 모델의 로딩 시간을 비교한 그래프로 100번의 반복 실험을 통해 측정했다. 개별 건물 수준 모델의 경우 개별 모델을 모두 요청해야 하므로 해당 지역에 포함된 모든 건물 모델에 대한 요청이 필요하지만 본 연구에서 제안한 방법인 B3DM을 적용할 경우에는 타일로 병합된 모델들과 모델들의 메타 데이터 1개가 포함되어 37번의 요청이 필요하다. 즉 제안하는

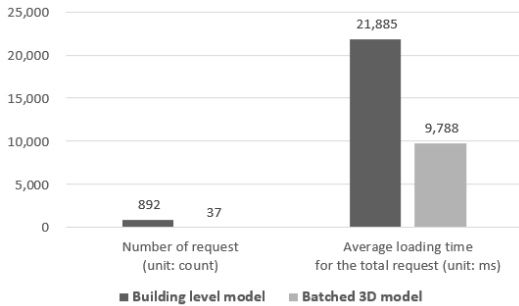


Figure 4. Graph of the performance elements(number of request and average loading time of the total request) according to difference between building level model and batched 3D model

서비스의 요청 수는 기존 서비스 방법의 요청 수의 4.15% 수준으로 감소하는 것을 볼 수 있다.

또한 요청에 따라 전체 모델을 로딩 하는 시간은 44.72% 수준으로 감소하는 것을 볼 수 있는데, 그 이유는 B3DM의 경우 여러 건물 모델을 하나의 타일로 병합시켜 개별 모델의 데이터의 크기가 크기 때문에 각각의 모델을 다운로드 받는 속도는 상대적으로 느리지만 전체 요청 수가 적기 때문에 요청에 대한 응답 대기 시간이 감소해 요청에 따른 전체 모델의 로딩 시간이 감소한다.

이를 통해 개별 건물 수준의 모델이 아닌 B3DM을 적용할 경우 전체 모델의 로딩 시간이 감소하므로, 사용자가 원하는 지역에 대한 정보를 더 빨리 받아들 수 있어 만약 충분한 그래픽 성능이 지원된다면 3차원 지도 서비스를 이용할 때 렌더링 속도 증가를 통한 빠른 서비스 이용이 가능해진다.

3.2 쿼드트리 적용 비교 실험

두 번째 실험은 B3DM의 쿼드트리 적용 여부에 따른 렌더링 시간을 frame per second(fps)를 통해 측정하였다. 이 때 fps란 연속된 정지 사진들의 모음인 동영상에 대하여 초당 그릴 수 있는 사진 수를 나타낸다. 만약 렌더링 시간이 짧아 화면에 3차원 모델을 더 빠르게 그릴 경우 fps가 증가하며, fps가 높을 경우 일정한 시간에 더 많은 모델을 그릴 수 있으므로 화면이 더 부드럽게 움직이는 것처럼 보인다.

실험에 쿼드트리 적용 여부에 따라 사용된 데이터는 구조적 차이만 발생하며 데이터의 구조적 차이는 Fig. 5에 나타나 있다.

만약 B3DM만 적용할 경우 정밀도에 따른 데이터의

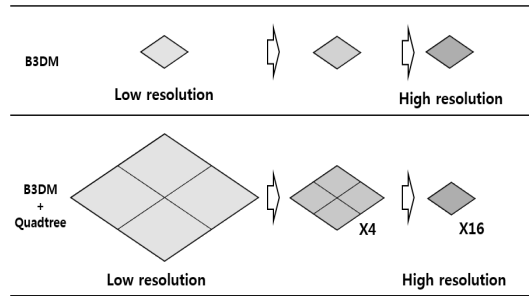


Figure 5. Difference of data structure

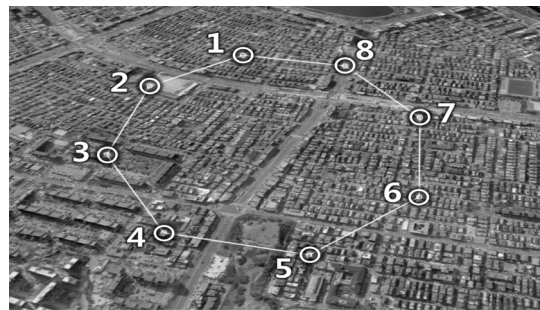


Figure 6. Cyclic path for fps measurement

계층이 일 대 일로 나타나 부모 노드와 자식 노드간의 영역의 크기는 동일한 상태로 정밀도가 증가하지만, 쿼드트리를 추가적으로 적용할 경우 데이터의 계층이 자식 노드로 내려갈수록 자식노드의 영역은 1/4로 감소하고 자식 노드의 수는 4배수로 늘어나며 자식 노드의 정밀도가 증가한다.

실험 방법은 B3DM만 적용한 서비스 방식과 쿼드트리를 추가로 적용한 서비스 방식 각각에 대하여 서울시 송파구의 일정 지역을 동일한 속도로 순환할 때의 fps를 반복 측정하였다. Fig. 6의 팔각형의 구간을 일정한 속도로 1-2-3-4-5-6-7-8-1 순서로 3분 동안 2바퀴 순환하며 fps를 측정하였다.

Fig. 7은 두 번째 실험의 결과로 표본 100개의 평균 fps를 계산하였다. 이를 통해 쿼드트리 알고리즘을 적용하지 않을 경우의 평균 fps는 26.74로 쿼드트리 알고리즘을 적용한 경우의 평균 fps인 35.81보다 낮다는 것을 확인할 수 있었으며, 쿼드트리 알고리즘 적용으로 인해 fps가 약 33.92% 증가한다는 것을 확인 가능하였다.

쿼드트리를 적용할 경우 fps가 증가하는 이유는 쿼드트리 알고리즘을 통해 현재 절두체에 포함된 영역을 큰 범위부터 탐색하여 현재 화면에 구성할 데이터를 빨리 탐색할 수 있기 때문에 탐색한 영역에 대한 렌더링 시간이 감소하기 때문에 fps가 증가한다. 즉 쿼드트리 알

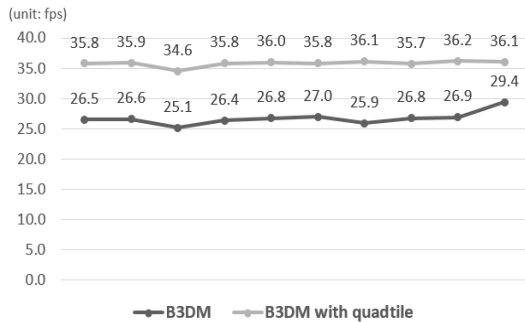


Figure 7. Average fps depending on whether or not the quadtree

고리즘을 적용할 경우 화면에 3차원 모델을 더 부드럽게 그려낼 수 있으므로 3차원 지도 서비스 성능 제고에 기여할 것이라고 예상된다.

4. 결론

본 연구는 한국형 공간정보 오픈플랫폼 브이월드 대표 서비스인 3차원 지도 서비스 성능을 개선하기 위하여 요청 수와 요청에 따른 로딩 시간을 감소시켜주는 3D Tiles의 B3DM과 렌더링 대상의 탐색 속도를 향상시켜 렌더링 시간을 감소시켜주는 쿼드트리 알고리즘을 적용한 서비스 개선안을 제안하였다.

본 연구에서 제안하는 브이월드 3차원 지도 서비스 개선안의 우수성을 검증하기 위해서, 먼저 기존에 제공하고 있는 브이월드의 3차원 지도 서비스의 방식인 개별 모델에 대한 요청 방식과 여러 모델을 하나의 타일에 묶어 전송하는 타일 기법 중 하나인 B3DM을 비교하기 위한 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험의 결과로 요청 수는 892번에서 37번으로 약 4.15% 수준으로 감소하였고, 요청에 따라 전체 모델을 로딩 하는 시간은 21.89초에서 9.79초로 기존 방법에 비해 44.72% 수준으로 감소하였다. 다음으로 쿼드트리 알고리즘 적용으로 인한 서비스 성능 향상을 파악하고자 B3DM을 적용한 타일 형식의 지도에 쿼드트리 알고리즘의 적용 여부에 따른 렌더링 속도를 비교하였다. 두 번째 실험을 통해 쿼드트리 알고리즘을 적용한 경우 평균 fps는 35.81로 B3DM만을 적용할 경우의 fps인 26.74보다 133.92% 더 높다는 것을 확인 가능하였다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 서비스 방식을 브이월드 3차원 지도 서비스에 적용할 경우 명확한 서비스 성능 향상에 기여할 것이라고 생각한다.

향후 연구로는 B3DM을 적용할 경우의 타일 수에

다른 요청 시간과 렌더링 시간을 확인해야 하며, 실제 서비스를 적용할 경우 발생 가능한 데이터 크기에 따른 클라이언트와 서버의 부하 감소를 위한 압축기법 적용 등에 관한 추가연구가 필요하다. 또한 쿼드트리 알고리즘을 적용할 경우 렌더링 할 대상의 탐색 속도 향상을 위해, 렌더링 대상 선별 기준의 최적화를 위한 연구가 필요하며, 쿼드트리 알고리즘이 아닌 추가적인 다른 알고리즘에 대한 비교 연구도 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토공간정보연구사업의 연구비지원(16NSIP-B067577)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Evans, A., Romeo, M., Bahrehmand, A., Agenjo, J. and Blat, J., 2014, 3D graphics on the web: a survey, *Computers & Graphics*, Vol. 41, pp 43-61.
2. Finkel, R. A. and Bentley, J. L., 1974, Quad trees a data structure for retrieval on composite keys, *Acta Informatica*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-9.
3. Gröger, G. and Plümer, L., 2012, CityGML- Interoperable semantic 3D city models, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 71, pp. 12-33.
4. Mapbox, 2016, Vector tiles, Mapbox, <https://www.mapbox.com/vector-tiles/>
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012, V-world, Ministry of Land, Infrastructure and Transport., http://eng.vworld.kr/eng/em_main.do
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016, 2016 annual report on national spatial information policy, Research report, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Republic of Korea, pp. 1-211.
7. Meenakshi, A., Suganthi, P., Aghila, R. and Nirmala, S., 2016, Information retrieval using dynamic decision quadtree in soil database, *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9, No. 10, pp. 1-7.
8. Muhsin, Z. F., Rehman, A., Altameem, A., Saba, T. and Uddin, M., 2014, Improved quadtree image segmentation approach to region information, *The Imaging Science Journal*, Vol. 62, No. 1, pp. 56-62.
9. Oliveira, N. and Rocha, J. G., 2013, Tiling 3d terrain models, *Proc. of International Conference on Computational Science and Its Applications*,

- Springer-Verlag, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp. 550-561.
10. Patrick, C., 2015a, 3D tiles, Cesium, <http://cesiumjs.org/2015/08/10/Introducing-3D-Tiles/>
 11. Patrick, C., 2015b, 3D tiles, Github, <https://github.com/AnalyticalGraphicsInc/3d-tiles>
 12. Schilling, A., Bolling, J. and Nagel, C., 2016, Using glTF for streaming CityGML 3D city models, Proc. of the 21st International Conference on Web3D Technology, ACM, California, USA, pp. 109-116.
 13. Spann, M. and Wilson, R., 1985, A quad-tree approach to image segmentation which combines statistical and spatial information, Pattern Recognition, Vol. 18, No. 3-4, pp. 257-269.
 14. Spatial Information Industry Promotion Institute, 2016, V-wolrd september 2016 brief report, Research report, Spatial Information Industry Promotion Institute, Republic of Korea, pp. 1-8.