# 3차원 병렬 렌더링 프로세서의 일관성 유지를 위한 일관성 버퍼의 설계

정종철, 박우찬*, 이문기, 한탁돈*
연세대학교 전기전자공학과, *컴퓨터과학과
전화 : 02-2123-4731 / 핸드폰 : 011-9952-7864

# Design of Consistency Buffer to Solve Consistency Problem for 3D Parallel Rasterizer on a Single Chip

JongChul Jeong, WooChan Park, MoonKey Lee, TackDon Han
Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University
E-mail : jongblue@spark.yonsei.ac.kr

## Abstract

3D parallel rasterizer on a single chip for high performance generates consistency problem. To solve this problem, 3D parallel rasterizer with consistency buffer is proposed. This can simultaneously process a plurality of primitives. Experimental results show 1.1-2.0x speedups using a simple model. This method can achieve high performance and cost effectiveness.

## I. 서론

3차원 그래픽 가속기는 현실감 있는 3차원 영상의 처리 및 응용 범위의 확대로 인하여 성능 향상을 필요로 한다. 3차원 그래픽 가속기는 3차원 데이터의 좌표를 계산하는 기하학 처리부와 2차원 좌표계의 이미지에 색깔값을 결정하는 렌더링 처리부로 크게 나누어진다. 지금까지의 개발된 렌더링 프로세서들은 하나의 데이터를 순차적으로 처리하는 구조였지만, 성능 향상을 위하여 동시에 하나 이상의 3차원 데이터들을 처리하는 병렬 렌더링 프로세서가 제안되었다. 그런데, 이 병렬 렌더링 프로세서는 일관성 문제를 발생시킨다.

본 논문에서 새롭게 제안한 일관성 버퍼는 렌더링 처리기들과 메모리 사이에 위치하여 데이터들 사이에 중복 여부를 검사함으로써 효과적으로 일관성 문제를 해결하였다.

제 II장에서는 일관성 문제가 왜 발생하는지 설명하고 제 III장과 제 IV장에서는 이 일관성 문제를 해결하는 방안과 일관성 버퍼를 설명한다. 제 V장에서 실험 결과를 보이고 제 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 일관성 문제

3차원 그래픽 가속기는 기하학 처리부와 렌더링 처리부로 나누어진다. 기하학 처리는 3차원 데이터들의 좌표계를 변환하고 2차원 좌표계에 투영 처리하는 과정이다. 렌더링 처리는 2차원 좌표계에 투영 처리된 데이터들의 색깔값을 결정하는 과정이다. 이 두 과정을 거친 데이터들은 메모리에 저장되고 다시 디스플레이로 보내어져 화면에 나타난다.

성능 향상을 위하여 렌더링 처리부는 여러 개의 렌더링 처리기를 가지고 있으며, 각 렌더링 처리기는 파이프라인화 되어 있다. 기하학 처리부에서 나온 데이터는 대부분 기본 단위로 삼각형을 취하고 있다. 이 삼각형을 표현하는 세 점의 좌표와 색깔값, 깊이값 등이 렌더링 처리부의 입력 데이터이다. 렌

더링 처리부의 셋업 과정에서 이 세 점의 데이터를 이용하여 다시 삼각형을 형성한다.

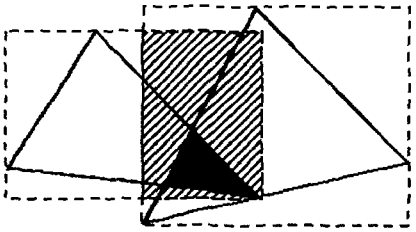


그림 1. 삼각형 데이터

그림 1과 같이, 두 개의 삼각형 데이터들이 렌더링 처리부에 들어오면 셋업 과정을 거친 후 각각 다른 렌더링 처리기로 보내어진다. 렌더링 처리기에서는 삼각형 내의 각 픽셀들의 좌표, 색깔값, 깊이값을 결정하고 이전에 메모리에 저장되어 있는 같은 좌표를 가지는 픽셀과 깊이 값을 비교한다. 깊이값을 비교한 후, 깊이값이 작은 픽셀의 데이터를 다시 메모리에 저장한다. 그런데, 그림 1의 검은 부분과 같이 두 삼각형이 중복되는 부분에서는 같은 좌표의 픽셀들을 공유하게 된다. 같은 좌표를 가지는 픽셀들이 동시에 렌더링 처리될 때 같은 메모리에 저장된 값을 읽기 때문에 종속성이 발생한다. 이를 일관성 문제라고 하는데, 렌더링 처리부의 심한 성능 저하를 가져온다.

## III. 일관성 문제를 해결하는 방법

그림 2는 일관성 문제를 고려하여 제안되었던 병렬 렌더링 처리부이다[1].

Fetch 과정은 셋업 과정을 통과한 삼각형 데이터들을 취하여 Issue 과정으로 보낸다. Issue 과정은 삼각형 데이터들을 N 개의 렌더링 처리기에 분배하는데, 일관성 문제를 해결하기 위하여 삼각형 데이터들간의 종속성을 검사한다. 새로 들어온 삼각형 데이터가 현재 렌더링 처리되는 삼각형 데이터들과 종속성이 발생할 경우 새로 들어온 삼각형 데이터를 렌더링 처리기에 보내지 못하고 Reservation station 으로 보낸다. Reservation station 에 있는 삼각형 데이터들은 종속성이 모두 해결된 경우 렌더링 처리기로 보내어진다. 렌더링 처리기는 삼각형 데이터 내의 각 픽셀들을 처리하고 결과값을 메모리에 저장한다.

Issue 과정에서는 종속성을 간편하게 검사하기 위하여 Bounding box 를 사용한다. Bounding box 는 그림 1에서 보는 바와 같이 삼각형 데이터를 포함하는 사각형이다. 현재 렌더링 처리되는 삼각형 데이터들의 Bounding box 를 별도로 저장하여 새로 들어온 삼각형 데이터의 Bounding box 와 비교한다. 그림 1의 빗금친 부분과 같이 Bounding box 간의 중첩 영역이 있으면 종속성이 발생한 것이다.

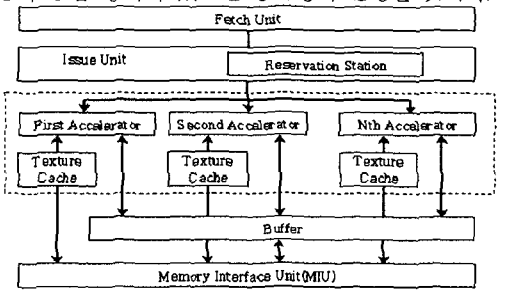



그림 2. 병렬 렌더링 처리부

그런데, 그림 1에서 보면 실제 종속성이 발생하는 검은 부분은 전체 삼각형에 비하여 작은 부분이다. 경우에 따라서 이 부분은 매우 작아질 수 있다. 이 작은 종속성이 발생하는 부분으로 인하여 전체 삼각형을 렌더링 처리기에 보내지 못한다. 또, 종속성을 간편하게 검사하기 위하여 Bounding box 를 사용하는데, 이 경우 정확한 종속성을 검사할 수 없다. 그림 1에서 보면 실제 종속성이 있는 부분은 검은 부분인데, Bounding box 를 사용하면 빗금친 부분도 종속성이 있다고 검사된다. 마찬가지로 경우에 따라서 Bounding box 만이 종속성을 가지는 경우 삼각형들은 실제 종속성이 없지만 종속성이 있는 것으로 검사된다. 위의 두 경우는 렌더링 처리부의 큰 성능 저하를 가지고 온다.

그리고, Reservation station 과 Bounding box 를 저장하기 위하여 별도의 장치가 필요하다. 이는 면적 및 비용을 다소 증가시킨다.

## IV. 일관성 버퍼

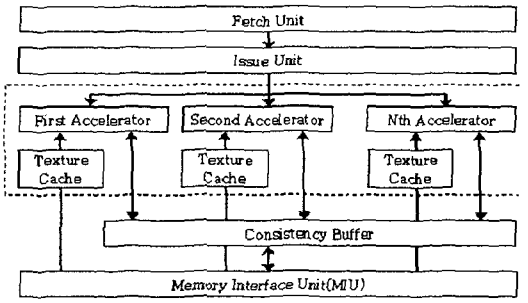



그림 3. 일관성 버퍼를 이용한 병렬 렌더링 처리부

앞에서 제안한 방법의 단점을 보완하기 위하여 그림 2와 같이 새로운 구조의 병렬 렌더링 처리부를 제안한다. 렌더링 처리기와 메모리 사이에 일관성 버퍼를 두어 일관성 문제를 효과적으로 처리하고자 한다[3,4].

Fetch 과정은 셋업 과정을 통과한 삼각형 데이터를 Issue 과정으로 보낸다. Issue 과정은 삼각형 데이터간의 종속성 여부와 상관없이 삼각형 데이터들을 비어 있는 렌더링 처리기로 보낸다. 렌더링 처리기는 삼각형 데이터 내의 각 픽셀들을 처리하고 결과값을 메모리에 저장한다. 렌더링 처리기가 각 픽셀을 처리할 때 이전에 메모리에 저장된 값을 불러오는데 이를 기록하여 같은 좌표를 가지는 다른 픽셀이 동일한 메모리에 저장된 값을 불러오지 못하게 한다. 같은 좌표를 가지는 다른 픽셀은 렌더링 파이프라인 상에서 멈추어 있다가 이전의 픽셀이 완전히 처리된 후 처리된다.

일관성 버퍼는 렌더링 처리기와 메모리 사이에서 픽셀 데이터들의 출입을 관리하면서 일관성 문제를 해결한다. 메모리에서 읽혀진 픽셀 데이터는 일관성 버퍼에 일시적으로 저장되어 그 픽셀 데이터와 관련된 작업이 끝나면 다시 메모리에 저장된다. 메모리에 저장되는 픽셀 데이터도 일관성 버퍼에 일시적으로 저장되며 순차적으로 메모리에 저장된다. 일관성 버퍼는 저장된 픽셀 데이터마다 1 bit 의 tag 를 가지고 있다. 일관성 버퍼에 저장된 픽셀이 렌더링 처리기에서 사용되고 있으면 tag bit 를 1로 표시하고 작업이 끝나면 tag bit 를 0으로 한다. 렌더링 처리기는 이전에 메모리에 저장된 픽셀 데이터를 불러올 때, 먼저 일관성 버퍼를 참조한다. 불러올 픽셀 데이터가 이미 일관성 버퍼에 있고 tag bit 이 1이면 종속성으로 인하여 그 렌더링 처리기는 작업을 멈춘다. 불러올 픽셀 데이터가 일관성 버퍼에 있지만 tag bit 이 0이면 렌더링 처리기는 그 픽셀 데이터를 불러와서 작업을 수행한다. 불러올 픽셀 데이터가 일관성 버퍼에 없으면 렌더링 처리기는 메모리에서 픽셀 데이터를 불러온다.

일관성 버퍼를 이용한 병렬 렌더링 처리부는 종속성 검사를 위해 Bounding box를 사용하지 않는다. 그래서, Bounding box 만이 종속성을 가지는 경우가 발생하지 않고 정확한 종속성을 검사할 수 있다. 또, 종속성 여부를 삼각형 단위가 아닌 픽셀 단위로 검사하므로 작은 종속성을 가지는 부분으로 인해 삼각형 전체를 처리하지 못하는 현상이 일어나지 않는다. 그리고, Reservation station 과 Bounding box 를 저장하기 위한 별도의 공간이 필요하지 않으므로 면적 및 비용이 감소한다.

그러나, 다른 병렬 렌더링 프로세서에서 사용하는 버퍼보다 일관성 버퍼가 조금 더 크고 N 개의 렌더링 처리기와 메모리를 연결해야 하므로 입출력 부분이 다소 복잡해진다.

## V. 실험 결과

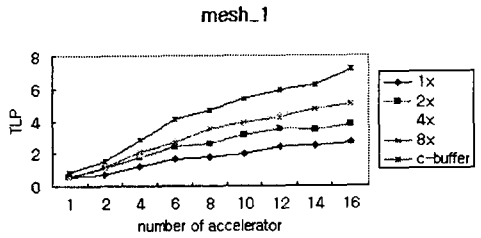
병렬 렌더링 처리부는 각 단계별로 나뉘어진 긴 파이프라인으로 구성되어 있다. 삼각형 데이터들은 셋업 과정을 거친 후, Fetch 과정, Issue 과정, 렌더링 처리기, (일관성 버퍼,) 메모리로 순차적으로 이동한다. 각 렌더링 처리기는 하나의 픽셀을 처리하는데 14 cycle 이 걸리므로 삼각형 데이터를 받은 후 14 cycle 후부터 1 cycle 마다 하나의 픽셀을 내보낸다[2].

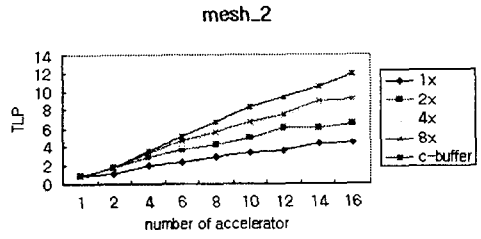
그림 4는 실험 결과를 나타낸 것이다. mesh_1, mesh_2 는 triangle mesh 형태이고, strip_1, strip_2 는 triangle strip 형태이다. poly 는 많은 작은 삼각형들로 구성되어 있다. 각각 기존의 병렬 렌더링 처리부와 일관성 버퍼를 이용한 렌더링 처리부에 대해 실험을 하였다. 기존의 병렬 렌더링 처리부는 Reservation station 의 수를 렌더링 처리기의 수의 1x, 2x, 4x, 8x 로 증가시키면서 실험을 하였다. 가로축은 렌더링 처리부에 있는 처리기의 수이고, 세로축은 TLP 이다. TLP (triangle level parallelism) 는 어떤 주어진 시각에 동작하고 있는 렌더링 처리기의 수를 표현한 것으로 병렬 렌더링 처리부의 효율성을 측정하는 단위이다. 예를 들어, 렌더링 처리기가 8개일 때 TLP 가 3이면 렌더링 처리기 중 3개만이 동작하고 나머지 5개는 종속성 등의 이유로 동작하지 않는다는 의미이다.

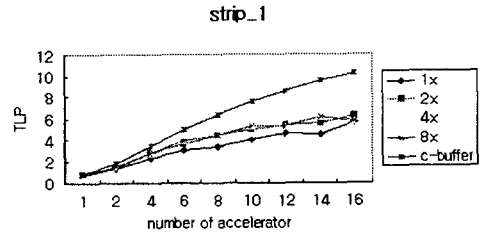
실험 결과를 보면 기존의 병렬 렌더링 처리부보다 일관성 버퍼를 사용한 병렬 렌더링 처리부가 전체적으로 높은 TLP 를 가짐을 알 수 있다. 또, 렌더링 처리기의 수가 증가할수록 상대적인 TLP 의 증가량도 커짐을 확인할 수 있다. 기존 병렬 렌더링 처리부는 처리기가 증가할수록 TLP 의 증가비율이 감소하는 것을 볼 수 있지만, 일관성 버퍼를 사용한 병렬 렌더링 처리부는 처리기가 증가함에 따라 거의 선형적으로 TLP 도 증가하고 있음을 볼 수 있다. 이는 곧 병렬 렌더링 처리부의 성능 향상으로 이어진다.

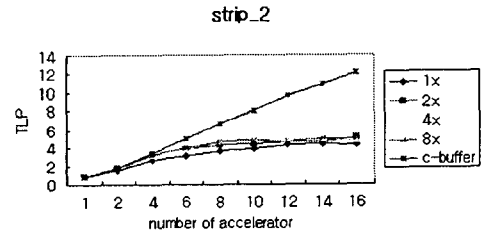
그리고, Reservation station 의 수를 렌더링 처리기의 수의 8배만큼 가진 것보다 일관성 버퍼를 사용한 병렬 렌더링 처리부가 더 좋은 결과를 보이고 있다. 이는 일관성 버퍼를 사용할 때 병렬 렌더링 처리부의 면적 및 비용도 크게 감소함을 알 수 있다.

일관성 버퍼를 사용한 병렬 렌더링 처리부는 1.1x-2x 정도의 성능 향상을 보여준다.



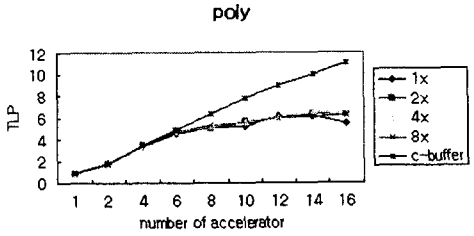




**그림 4. 실험 결과**

## VI. 결론

3차원 그래픽 가속기는 현실감 있는 3차원 영상의 처리 및 응용 범위의 확대로 인하여 성능 향상을 필요로 한다. 성능 향상을 위한 방안으로 일관성 버퍼를 사용하는 병렬 렌더링 프로세서를 제안하였다. 이는 일관성 문제를 효과적으로 해결하는 방법으로 기존의 방법에 비해 1.1x-2x 의 성능 향상을 보이며, 면적 및 비용도 감소한다.

## Acknowledgment

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 (과제명 : 고성능 실감 영상을 위한 3차원 그래픽 가속기 설계) 의 지원으로 이루어졌음.

## Reference

[1] A. Wolfe and D. B. Noonburg, "A superscalar 3D graphics engine," *Proceedings of MICRO 32*, pp. 50-61, 1999.

[2] Anders Kugler, "The Setup for Triangle Rasterization," *11th Eurographics workshop on computer graphics hardware*, pp.1-10, August 1996.

[3] Hennessy, John L. and David A. Patterson, *Computer Architecture : A Quantitative Approach*, Morgan Kaufmann, 1990.

[4] J. D. Foley, A. Dam, S. K. Feiner, and J. F. Hughes, *Computer Graphics, Principles and Practice*, Second Edition, Addison-Wesley, Massachusetts, 1996.