

마이크로프로세서 구성에 따른 OpenGL 가속처리의 성능변화에 관한 연구

김희중* · 정재현** · 최순호†

(원고접수일 : 2005년 12월 20일, 심사완료일 : 2006년 3월 9일)

A Study on the OpenGL Accelerating Performance Variations by the Configuration of Microprocessor

Heui-Jung Kim* · Jae-Hyun Jeong** · Soon-Ho Choi†

Abstract : In this study, the performance tests for single and dual micro processor configurations are performed to investigate how the accelerated OpenGL components and applications are dependent on processor configurations. At present, many major providers of the engineering graphics workstations have recommended that multiprocessors are better than single processor. However, we confirmed that the single processor configuration is more faster and more effective than competitive configurations and suggested the economic method to improve the performance of the engineering graphics workstations.

Key words : Engineering graphics workstation(엔지니어링 그래픽스 워크스테이션), OpenGL(오픈-그래픽스 라이브러리), 3D-API(3차원 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스), Weighted geometric mean(가중기하평균), Multi-processing(멀티프로세싱), Multithreads(멀티쓰레드), Singlethread (싱글쓰레드)

1. 서 론

3D API (3-Dimensional Application Programming Interface)는 3차원 컴퓨터 그래픽스 하드웨어를 제어하기 위한 소프트웨어 인터페이스(Software Interface)이다. 개발자는 이 인터페이스를 사용하여 3차원 공간에서 복잡한 형상을 만들고, 이 형상들을 제어하는 다양한 프로시

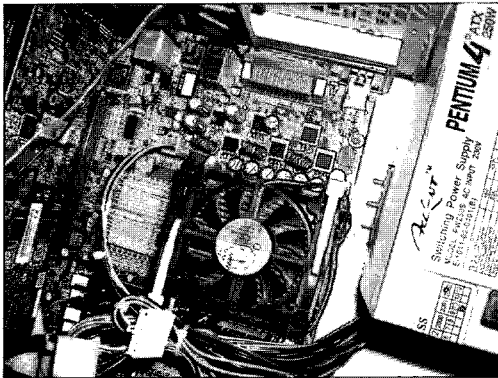
저(Procedure)와 함수(Function)들을 이용하여 컴퓨터 그래픽스 어플리케이션을 제작하게 된다.

3D API는 3D 그래픽스 워크스테이션(Graphics Workstation)의 등장과 함께 GKS (Graphical Kernel System)가 최초로 발표된 이래 PHIGS (Pro-grammer's Hierarchical Interactive Graphics System)와 PEX (PHIGS Extension to X)가 표준으로 채택되었다. 이후 1990년에

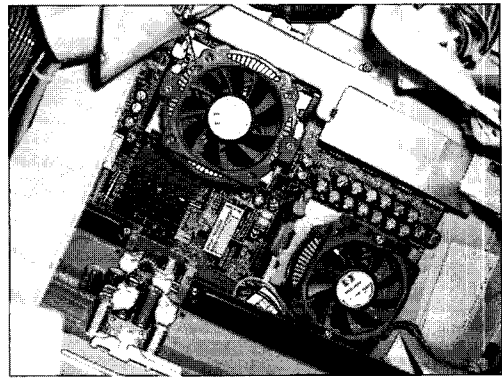
† 책임저자(한국해양대학교 해사대학 M258), E-mail:choi_s_h@naver.com, Tel:051)410-4261

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과, 동원씨스텍

** 한국해양대학교, 기계정보공학부



(a) Single microprocessor



(b) Dual microprocessor

Fig. 1 Photos of the single microprocessor and the dual microprocessors on their motherboards.

SGI(Silicon Graphics Inc.)가 OpenGL을 발표한 후 현재까지 이 OpenGL이 3차원 컴퓨터 엔지니어링 그래픽스 분야의 표준으로 자리 잡고 있다^[1].

OpenGL은 특히 CAD/CAM/CAE 등의 대형 엔지니어링 그래픽스 어플리케이션 개발의 핵심적인 역할을 하고 있는 관계로 어플리케이션의 운용효율 증진을 위한 주요 관심대상으로 취급되고 있다.

현재 그래픽스 워크스테이션 하드웨어의 주요한 선택 기준의 하나가 OpenGL 어플리케이션의 빠르고 동시에 안정적인 운용에 대한 평가이므로, 따라서 OpenGL을 기반으로 하는 엔지니어링 그래픽스 하드웨어 및 소프트웨어 개발업체들의 경쟁도 매우 치열한 상황이다.

하지만 하이퍼스레딩(Hyperthreading) 기능을 가지고 있는 싱글 펜티엄의 성능분석과는 달리^{[2],[3]} 그래픽스 워크스테이션 및 OpenGL 기반의 어플리케이션을 운용하는 대부분의 사용자들은 OpenGL 가속처리 성능에 대한 정보를 제대로 인식하지 못하고 있는 실정이며, 더욱이 가속처리 기능의 향상에 대한 오해가 많아 다중 마이크로프로세서를 장착한 시스템이 더 빠른 그래픽 처리를 수행할 수 있다는 단순한 생각으로 불필요하게 고가의 장비를 도입하는 경우도 많다^{[4],[5]}. 때문에 효율적이고 실제적인 OpenGL 어플리케이션의 가속처리를 위해서는 워크스테이션의 마이크로프로세서, 그래픽 서브시스템(Graphics Subsystem) 및 입출력 인터페이스(I/O Interface)와 같은 OpenGL 어플리

케이션의 성능에 영향을 미치는 주요 구성요소와 OpenGL에 의한 가속성능의 관계를 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 다양한 종류의 벤치마킹(Benchmarking) 실험결과에 근거하여 OpenGL 어플리케이션의 성능이 그래픽스 서브시스템의 성능보다는 마이크로프로세서의 성능에 더 크게 좌우됨을 확인하였으며, 마이크로프로세서의 구성이 OpenGL 어플리케이션의 성능에 어떤 영향을 미치는 지를 분석하였다^[6].

2. 마이크로프로세서의 구성

일반적으로 주요 그래픽스 워크스테이션의 마이크로프로세서 구성은 단일 프로세서(Single Processor, 이하 SP)와 다중 프로세서(Multi Processor, 이하 MP)로 구분할 수 있다. MP의 경우, 듀얼(Dual) 혹은 쿼드(Quad) 등의 구성이 사용되기도 하지만, 워크스테이션 레벨에서는 대부분 듀얼 프로세서(이하 DP)로 구성되는 관계로 본 연구에서는 SP와 DP를 비교대상으로 하였다.

마이크로프로세서는 개발 및 공급 업체에 따라 여러 종류가 있지만, 현재 널리 사용되는 Fig. 1의 IA-32 기반 프로세서를 대상으로 하였다. 일반적으로 SP와 MP의 구성은 동일한 마이크로프로세서로 구축하지만, 현재 IA-32기반 마이크로프로세서는 SP인 경우에 펜티엄 4(이하 펜티엄)가 적용되고 MP/DP인 경우에는 펜티엄 제온(이하 제온)이 적용되고 있다.

본 연구에서의 테스트 그래픽스 워크스테이션 플랫폼의 구성은 SP의 경우 Fig.1 (a)와 같은 한 개의 2.4GHz 펜티엄/1GB RAM을, DP의 경우 Fig.1 (b)와 같이 두 개의 2.4GHz 제온/1GB RAM을 사용하였고, 그래픽스 서버-시스템은 IBM RC1000/GT000 칩셋을 장착한 FireGL 시스템을 공통적으로 사용하였다.

OpenGL 3D API의 가속성을 평가하기 위해서는 전술한 하드웨어적인 환경하에서 SPEC이 제공하고 있는 SPECviewperf 8.1(이하 SPECviewperf)의 PLM(Product Lifetime Management) 뷰세트(View-set)를 사용하여 초당 프레임수를 측정하였으며^[7], OpenGL 3D API 기반의 어플리케이션의 성능은 PTC사의 Pro/Engineer 2001과 SPECapc for Pro/Engineer 2001 (이하 SPECapc)을 이용하여 SPECapc에서 규정하고 있는 기준시스템과의 상대적인 성능을 측정하였다^[8]. 모든 SPECviewperf와 SPECapc 테스트 과정은 SPEC에서 규정하고 있는 측정규칙을 정확히 준수하면서 수행하였다^{[9],[10]}.

2.1 OpenGL 컴포넌트의 성능비교

OpenGL 컴포넌트 테스트(OpenGL Component Test)는 그래픽스 워크스테이션의 다른 구성요소의 영향을 고려하지 않고, 그래픽스 서버시스템의 OpenGL 3D 렌더링 성능 (3D Rendering Performance)만을 평가하는 것으로 식(1)의 가중 산술평균치(Weighted Arithmetic Mean, WAM), 식(2)의 가중조화평균치(Weighted Harmonic Mean, WHM) 혹은 식(3)의 가중기하평균치(Weighted Geometric Mean, WGM)로 주어지는 각 뷰세트의 개별 테스트의 가중평균치(Weighted Mean)로 나타낼 수 있다.

$$WAM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times \left(\frac{f}{t}\right)_i}{n} \tag{1}$$

$$WHM = \frac{\prod_{i=1}^n \left(\frac{f}{t}\right)_i}{\sum_{i=1}^n w_i \times \left(\frac{f}{t}\right)_i} \tag{2}$$

$$WGM = \left(\frac{f}{t}\right)_1^{w_1} \times \dots \times \left(\frac{f}{t}\right)_n^{w_n} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{f}{t}\right)_i^{w_i} \tag{3}$$

상기의 식에서 f/t 는 초당 프레임수를 의미하며, i 는 테스트런(Test Run)의 종류를, 그리고 w_i 는 가속처리의 성능평가지 각 테스트런(Test Run)의 중요도를 나타내는 가중치를 의미하는 것으로서 $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ 의 관계를 만족시켜야만 한다. 하지만 1995년 SPECopc project group에서는 OpenGL 그래픽 가속처리의 성능비교를 위해서는 식(3)의 가중기하평균치만을 사용할 것을 결정하였으며, 본 연구에서도 식(3)을 사용하여 성능을 비교하였다.

Table 1, 2, 3, 4는 현재 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 대표적인 CAD 어플리케이션인 Catia, Pro/Engineer, SolidWorks 및 Unigraphics에서 제공하고 있는 뷰세트를 SPECviewperf 8.1상에서 구동하여 얻은 초당 프레임수로써 식(3)으로부터 계산한 가중기하평균치의 결과를 Fig. 2에 비교하여 나타내었다. Fig. 2로부터 알 수 있듯이 수행한 모든 뷰세트의 결과에서 싱글펜티엄이 듀얼제온의 구성에 비해 큰 차이로 OpenGL 성능이 앞서고 있음을 알 수 있었으며, 또한 제온 프로세서의 SP 및 DP구성에서도 DP구성에 의한 성능이 예상과는 달리 유의미할 정도로 SP구성을 앞서지 못하고 거의 대등한 성능밖에 보이지 못함을 확인하였다.

특히 Table 1의 Catia 뷰세트의 경우, 동일 모델에 대해서 표준 3D 모델 (#5, #7)의 경우에는 SP구성이 DP구성에 비해 약 200% 정도 빠른 처리속도를 보였으며, 은선제거(Hidden Line Removal, HLR)처리된 셰이드모델(#4, #6)의 경우에는 무려 300%나 빠른 처리결과를 보인 사실로부터 보다 높은 부하가 요구되는 과정일수록 DP구성이 SP구성보다 오히려 불리함을 알 수 있다.

Table 2의 Pro/Engineer 뷰세트의 테스트결과에서도 SP구성이 DP구성에 비해 뛰어난 가속처리 능력을 보였으며, Catia 뷰세트에서와 마찬가지로 마이크로프로세서의 부하가 적은 와이어프레임(Wireframe Model)모델(#4, #5)보다는 부하가 큰 셰이드모델(#1, #2)에서 SP구성의 성능이 더 뛰어난함을 보였다.

Table 1 Weighted geometric means of Catia viewset by SPECviewperf 8.1.

Test	Pentium 4	Single Xeon	Dual Xeon
#1	11.9	4.03	3.93
#2	8.06	3.39	3.29
#3	5.83	2.22	2.16
#4	7.85	2.51	2.45
#5	3.74	1.59	1.56
#6	18.4	5.79	5.64
#7	5.96	2.43	2.37
#8	5.35	2.31	2.24
#9	4.51	1.72	1.67
#10	3.57	1.36	1.32
#11	10.1	4.04	3.94

Table 2 Weighted geometric means of Pro/Engineer viewset by SPECviewperf 8.1.

Test	Pentium 4	Single Xeon	Dual Xeons
#1	4.52	1.40	1.45
#2	5.41	1.64	1.61
#3	4.22	1.61	1.58
#4	11.6	4.85	4.76
#5	10.3	4.60	4.51
#6	30.3	10.8	10.5
#7	11.2	4.61	4.52

Table 3 Weighted geometric means of SolidWorks viewset by SPECviewperf 8.1.

Test	Pentium 4	Single Xeon	Dual Xeons
#1	13.4	4.82	4.72
#2	2.05	1.04	1.02
#3	2.37	1.01	0.99
#4	2.84	1.26	1.24
#5	7.33	3.19	3.14
#6	5.6	4.45	4.40
#7	28.3	10.7	10.5
#8	3.07	3.06	3.05

Table 3의 SolidWorks 뷰셋의 경우는 Catia 나 Pro/Engineer의 경우와 달리 마이크로프로세서의 부하에 상관없이 SP의 성능이 DP에 비해 일정하게 200% 정도 향상된 결과를 보여주고 있다. 이는 SolidWorks가 다른 CAD 어플리케이션에 비해 OpenGL 가속성능을 위해 시스템 자원을 적

Table 4 Weighted geometric means of Unigraphics viewset by SPECviewperf 8.1.

Test	Pentium 4	Single Xeon	Dual Xeons
#1	3.50	3.29	3.21
#2	3.66	3.44	3.33
#3	2.97	2.78	2.67
#4	3.05	2.85	2.74
#5	5.72	5.71	5.66
#6	7.02	6.96	6.91
#7	5.18	5.18	5.14
#8	5.94	5.91	5.80

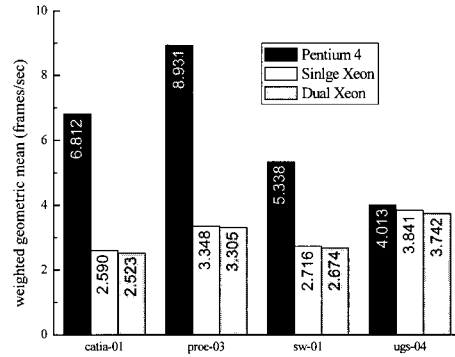


Fig. 2 SPECviewperf 8.1 benchmarking results on single pentium, single and dual Xeon processors.

게 요구하는 소규모의 어플리케이션이라는 점에 기인한다고 판단된다. 하지만 이들 PLM 어플리케이션에서의 뷰셋와는 달리 Table 4의 Unigraphics 뷰셋 결과는 마이크로프로세서 구성에 따라 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었는데, 이것은 Unigraphics 뷰셋이 SP와 DP의 구성에 큰 영향없이 일정한 마이크로프로세서 자원을 요구하기 때문이다. 그럼에도 불구하고, SP의 성능이 DP의 성능에 비해 근소하나마 앞서고 있음을 확인할 수 있다.

하지만 이러한 뷰셋의 테스트 결과에서 확인된 차이가 실제의 OpenGL에 기반한 어플리케이션의 성능에서도 동일한 경향을 보일 것이라고는 확신할 수는 없으며, 현재까지 실제의 상용 OpenGL 어플리케이션에 대한 가속처리능력에 관한 정량적인 연구 결과는 발표된 적이 없다. 따라서 본 연구에서는

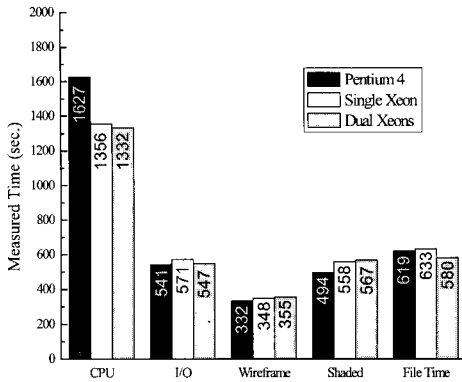


Fig. 3 Processing time results from SPECapc for Pro/Engineer 2001 on single Pentium, single and dual Xeon processors.

OpenGL에 기반한 어플리케이션의 성능에 대한 확인도 동시에 수행하였으며, 이에 대한 결과는 다음의 2.2절에 기술하였다.

2.2 OpenGL 어플리케이션 테스트

OpenGL 어플리케이션 테스트는 실제 그래픽스 워크스테이션 환경하에서 OpenGL에 기반한 어플리케이션의 구동성능을 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 PLM 어플리케이션의 주요제품의 하나인 Pro/Engineer 2001을 이용하여 SPEC에서 제공하는 SPECapc를 구동하여 전체적인 소요시간과 성능에 대해 비교하였다. 단 그래픽스 서브시스템의 드라이버는 OpenGL 어플리케이션에 상관없이 표준설정을 이용하였다.

Fig. 3은 SP와 DP 환경하에서 SPECapc를 구동한 전체 처리시간을 보이는 것이며, Fig. 4는 전술한 바와 같이 SPECapc에서 규정하고 있는 기준시스템과의 상대적인 성능비교를 보이는 것이다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이 OpenGL 어플리케이션 테스트는 2.1절의 OpenGL 컴포넌트 시험결과와는 달리 SP 구성보다는 DP 구성이 상당히 앞섰으며, 따라서 마이크로프로세서의 구성이 결정적인 요인임을 알 수 있었다. 전체 결과에 있어서도 식(3)의 가중기하평균으로 계산된 각 시스템 구성의 성능은 기준시스템과 비교하여 1.72 : 1.70 : 1.74의 값으로

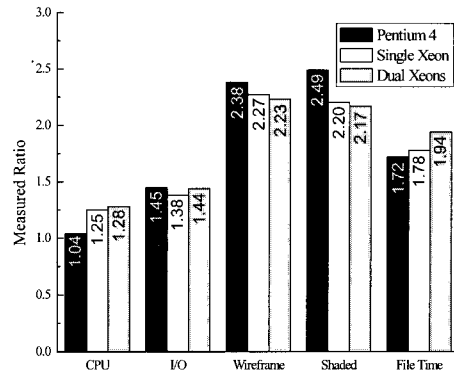


Fig. 4 Performance ratio results from SPECapc for Pro/Engineer 2001 on single Pentium, single and dual Xeon processors.

DP 구성이 최상의 성능을 보여주었다. 하지만 OpenGL 그래픽스의 성능만을 비교하는 와이어프레임과 셰이딩모델링에서는 역시 펜티엄 SP가 가장 빠른 결과를 보여 주었다. 이로부터 실제 OpenGL 어플리케이션 구동에 있어 파일 입출력, CPU의 계산능력 등과 같은 영역에서는 DP가 앞서지만 그래픽스 성능은 SP 구성이 앞서기 때문에 DP 구성은 전체적인 성능으로 겨우 3.5% 정도의 향상 효과에 불과하며, 시스템의 가격을 비교하는 경우 가격대 성능비가 매우 낮음을 알 수 있다. 하지만 구조 및 응력해석과 같은 수치연산의 비중이 높고 대규모의 I/O 처리가 요구되는 엔지니어링 부문에 적용하는 경우라면 이 부분들이 성능을 지배적으로 결정할 것이므로 DP 구성의 시스템이 전체적으로는 보다 우수한 성능을 보일 것으로 예측된다.

3. 멀티쓰레드 지원 성능분석

Fig. 5에서 보는 바와 같이 그래픽스 서브시스템은 그래픽스 워크스테이션의 OpenGL 3D API 가속 성능의 중요한 요소이지만 이의 구동은 마이크로프로세서가 결정하므로 마이크로프로세서에 의한 영향이 절대적이다^[11]. 따라서 마이크로프로세서 구성이 OpenGL 3D API의 가속성능의 개선과 어플리케이션 구동의 환경구축을 위한 주요한 판단 기준이며, 이러한 사실에서 많은 그래픽스 서브시스

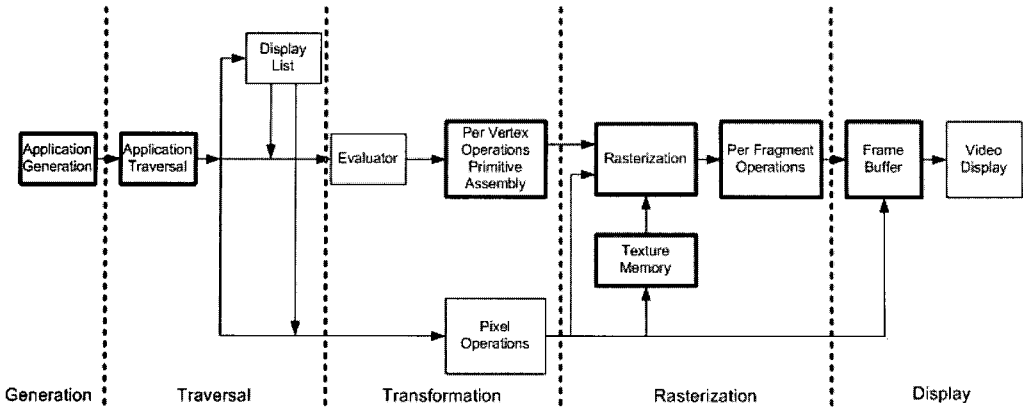


Fig. 5 Schematic diagram of OpenGL graphics pipeline.

템 공급업체의 성능평가 자료에서 SP를 선택하고 있음에서도 알 수 있다. 하지만 2장에 기술된 SPEC-viewperf와 SPECcap 측정결과로부터 주요업체에서 제공하고 있는 그래픽스 워크스테이션 스펙에서 밝히고 있는 MP 및 멀티스레드(Multi-Thread, 이하 MT) 성능과 효율성에 대해서 상당히 의문이 들 수밖에 없으며, 이를 평가하기 위해 어플리케이션과 운영체제에서 OpenGL 3D API에 대한 MT 지원능력을 측정하였다.

현재 MT 지원에 대한 가장 효과적인 방법은 OpenGL 어플리케이션 자체에서 MT 기능을 지원하게 하는 것이며, 이를 위해 본 연구에서는 OpenGL 어플리케이션의 MT 지원효과의 확인을 위해 SPECviewperf 프로그램에서 MT가 지원하는 스레드수를 2개로 늘려 동일한 성능평가를 수행하였다.

SPECViewperf를 수행한 Fig. 6의 결과는 화면상에서 구현되는 초당프레임수가 MT 환경보다 싱글스레드(Single-Thread, 이하 ST) 환경에서 약간 우세하거나 거의 동등한 결과를 보이는 것으로부터 MT 환경이 OpenGL API 가속에 긍정적인 영향을 미치지 못한다는 사실을 알 수 있다. 이는 현재 주요 그래픽스 서브시스템들은 공개된 스펙에서 주장하고 있는 MP 환경에서의 MT 기능에 대한 완벽한 지원은 신뢰할 수 없으며, 따라서 복수의 그래픽 서브시스템을 이용하는 방법이나 그래픽스 서브시스템 자체에 MP를 장착하는 방법 등의 새로운 시도가 필요하다고 판단된다.

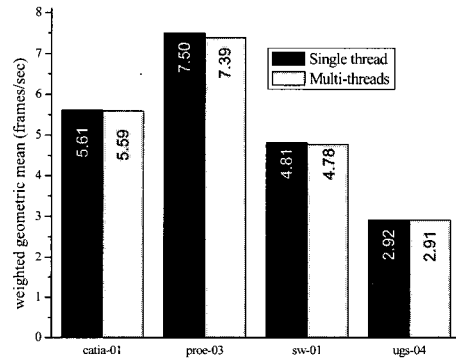


Fig. 6 Comparing performance on single thread configuration and dual threads configuration by SPECviewperf 8.1 for Windows workstation operating system.

4. 결 론

본 연구에서 수행한 그래픽스 워크스테이션 마이크로프로세서 구성에 따른 OpenGL 어플리케이션의 3D 가속성능 분석을 통하여 얻은 결과를 정리하면,

1. 현재의 주요 OpenGL 기반 PLM 어플리케이션에 대한 OpenGL 그래픽스 서브시스템의 성능은 MP 구성에 비해 SP 구성이 효율적인 어플리케이션 운용능력을 보였다. 이 결과는 현재 사용되고 있는 OpenGL 어플리케이션과 그래픽스 서브시스템을 구동하기 위한 드라이버 그리고 OS에서의 MP 지원능력이 실제로 크게 부족하며, 결과적으로

그래픽스 워크스테이션의 경우 SP 구성이 가격대비 성능이 탁월함을 확인하였다.

2. MT 기능을 지원하는 프로그램의 경우에도 전체적인 OpenGL 가속성능에 있어서도 DP 구성이 SP 구성에 미치지 못하는 결과를 보였으며, 현재 OpenGL 그래픽스 워크스테이션 환경에서는 MT 기능을 지원하는 프로그램의 경우에도 SP 환경에서 구동하는 것이 효율적이며, 가격대비 높은 성능을 제공한다.

3. Pro/Engineer 2001을 이용한 실제 OpenGL 어플리케이션의 경우에도 SP 및 DP 구성에서 전체적인 성능차이를 확인할 수 없었다. 따라서 현재의 OpenGL 어플리케이션은 고비용을 요구하는 마이크로프로세서의 MP 구성보다는 큰 데이터 파일의 처리를 빠르게 처리할 수 있는 대용량 메모리의 확보, SCSI 타입과 같은 고속의 디스크 입출력장치의 채용, 그리고 OpenGL 가속기능이 개선된 그래픽 서브시스템의 사용 등과 같은 I/O 성능의 보완을 통해 어플리케이션 운용성능을 향상시키는 것이 최적의 방법임을 확인할 수 있었다.

하지만 본 연구에서는 한가지의 그래픽스 서브시스템을 사용하여 수치연산부분과 같은 마이크로프로세서의 자원을 상당량 소비하는 엔지니어링부분을 고려하지 않은 결과이며, 따라서 이들 영향을 고려하여 수행중인 후속연구를 통해서 OpenGL 가속성능에 대한 SP 구성과 DP 구성에 따른 영향에 관한 명확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

[1] Intel, OpenGL Architecture Review Board Meeting, Sunnyvale, California, Dec., 1994
 [2] N. Tuck and D. M. Tullsen, "Initial Observations of the Simultaneous Multithreading Pentium 4 Processor", Proc. of 12th International Conference on PACT-2003, New Orleans, USA, 2003.
 [3] Bert Topelt, Daniel Schuhmann, Uwe Scheffel, Two Xeon CPUs are better than One Intel P4 Extreme Ed., tomshard-

ware.com, 2004
 [4] Dell, White Paper, Benchmarking Business and Consumer System Performance: Benefits of the intel Pentium 4 and Xeon Processors, 2001.
 [5] Stanislav Garmatyuk and Evgeniy Severenovskiy, Athlon based dual processor system, www.digilife.com, 2002.
 [6] Thomas Pabst, 3D Benchmarking Understanding Frame Rate Scores, Tom's hardware guide, 2000.
 [7] Standard Performance Evaluation Corporation, SPECviewperf 8.1, 2005.
 [8] Standard Performance Evaluation Corporation, SPECcapc for Pro/Engineer 2001, 2002.
 [9] Standard Performance Evaluation Corporation, The OpenGL Performance Characterization Project Rules 1.19, 2005.
 [10] Standard Performance Evaluation Corporation, The Application Performance Characterization Project Committee Rules 1.25, 2005.
 [11] OpenGL ARB, The OpenGL Graphics System: A Specification Version 2.0, 2004.

저 자 소 개



김희중 (金熙中)

1992년 한국해양대학교 선박기계공학과 졸업(공학사), 1994년 한국해양대학교(원) 기계공학과 졸업(공학석사), 1998년 한국해양대학교(원) 기계공학과 박사과정 수료, 2000년~2003년 한국휴렛팩커드 교육사업부, 2005년~현재 동현씨스텍.



정재현 (鄭在鉉)

1977년 한국해양대학교 기관학과 졸업(공학사), 1980년 한국해양대학교(원) 졸업 기관학과 졸업(공학석사), 1987년 일본북해도대학 정밀기계공학과 졸업(공학박사), 1982년~현재 한국해양대학교 기계정보공학부 교수



최순호 (崔淳豪)

1987년 한국해양대학교 선박기계공학과 졸업(공학사), 1989년 동대학원 선박기계공학과 수료(공학석사), 1989년 동의공업대학 시간강사, 1990년~1992년 (주)현대엔지니어링 설계직 사원, 1992년~1996년 한국원자력연구소 선임연구원, 1997년 한국해양대학교 시간강사, 2002년 日本傳熱學會 우수논문상 수상, 2003년 동경대학교 대학원 수료(공학박사), 2004년 ~ 2005년 한국기계연구원 비상근연구원, 2004년~현재 한국해양대학교, 동의과학대학 시간강사, 2005년 한국마린엔지니어링학회 장려논문상 수상, 2006년판 세계인명사전 Marquis Who's Who in Asia 등재, 2006년판 Marquis Who's who in Science and Engineering 등재.