

고성능 워크스테이션의 구조

金宗鉉

韓國電子通信研究所 컴퓨터H/W研究室

I. 서론

컴퓨터 산업 전반에 있어서 시스템의 크기가 줄어들어가고 있는 경향이 계속되고, 과거에 대형시스템에 의하여 처리되던 응용들이 더욱 강력하고 기술적으로 향상된 소형시스템들에 의해 처리되고 있다. 또한 컴퓨터 부품의 가격이 저하되고 소프트웨어 기술이 향상됨에 따라 개인용 컴퓨터의 기능에 대한 요구가 갈수록 증가되고 있기 때문에 성능이나 시스템의 크기에 따른 컴퓨터의 분류가 불분명해지고 있다. 표 1에서는 본고에서 논하고자 하는 워크스테이션을 중심으로 최근 새로이 출현한 여러 계층의 컴퓨터 분

류와 각각에 대한 대표적인 생산 회사들을 보여준다. 표 1에서 3 차원 슈퍼워크스테이션은 그래픽 슈퍼컴퓨터라고도 불리며, 계산 성능면에서 미니슈퍼 컴퓨터급에 이르고 고속 고감도의 그래픽 성능을 갖는 시스템으로서 현재는 Stellar, Ardent 및 Silicon Graphics사 등에서 개발되고 있다. 그 이외 여러 레벨의 워크스테이션들이 DEC, Hewlett-Packard등 대표적인 기존 컴퓨터 회사들과 Apollo, Sun사등 워크스테이션 전문 생산회사들에 의해 계속 개발되어 나오고 있다. 워크스테이션들은 응용분야에 따라 과학기술용(technical)과 상업용(business)으로 분류되며, 컴퓨터

표 1. 컴퓨터 시스템의 분류 및 대표적 생산회사들

	Cray, ETA	Convex Alliant	DEC, HP	IBM	Stellar, Ardent	Silicon Graphics	Apollo, Sun	Apple
Supercomputer	X							
Mainframe				X				
Mini-supercomputer		X						
Minicomputer			X	X				
3-D Superworkstation (Graphics Super-computer)					X	X		
3-D Workstation			X			X	X	
Personal 3-D Workstation						X	X	
Color 2-D Workstation			X				X	
Low-Cost 2-D Workstation							X	X
Personal Computers				X				X

시장의 전문조사 기관인 IDC에 따르면 1987년까지의 전체 판매량 중에서 94% 정도는 과학기술용, 나머지 6% 정도만이 상업용으로 사용되고 있었다. 여기서 상업용은 컴퓨터 네트워크에서 화일 또는 데이터 서버 기능을 하는 워크스테이션을 말한다. 과학기술 분야에서의 워크스테이션의 사용자 수는 계속 상승하고 있으며, 지금까지 개발된 과학기술용 워크스테이션들의 일반적 특성들을 보면 16/32 비트 CPU, 단수 사용자 지원, 탁상용, 공학용 운영체제, 그래픽 기능, 최소 2 메가바이트의 주기억장치, 16메가바이트까지 확장가능한 가상메모리, 초당 백만이상의 명령어 수행속도 등이며, 주요 응용분야로는 각종 설계 및 분석, 소프트웨어공학, 지질학, 생리학 및 화학공학, 영상처리, 시뮬레이션, 산업공정분석, 예측제어 및 국방관련 프로젝트 등이다.

워크스테이션을 성능과 가격면에서 분류하여 보면 저성능(low-end) 워크스테이션과 고성능(high-end) 워크스테이션으로 나눌 수 있다. 저성능 워크스테이션은 가격이 1 만불 이하이며 2 차원 그래픽 기능을 갖는 정도의 시스템이다. 이 분류에 속하는 시스템 들로는 Apollo사, Sun사 및 Next사 등의 일부 제품 들로서 고성능 개인용컴퓨터에 그래픽 기능이 추가 된 정도의 시스템으로 볼 수 있으며, 그 회사들은 안정된 생산기술, 다양한 응용 소프트웨어, 세분화된 생산품 및 판매전략 면에서 이미 안정되어 있어서 계속 시장의 규모를 확장해 나가고 있다. 저성능 워크스테이션들은 가격이 차츰 5000불 정도로 떨어지면서 개인용 컴퓨터 시장까지 잠식해 가고 있는 추세이다.

고성능 워크스테이션은 고속의 정수 및 부동소수점 계산 성능에 3 차원 그래픽 기능이 추가된 시스템으로 정의될 수 있으며, 표 1에서 3-D 슈퍼워크스테이션과 3-D 워크스테이션이 이 범주에 속한다. 그림 1에서 보여진 바와 같이 고성능 워크스테이션들은 부동소수점계산 속도면에서는 슈퍼컴퓨터나 미니슈퍼컴퓨터들에 비하여 떨어지지만 그래픽 성능면에서는 현저히 앞서고 있으며, 워크스테이션들 간의 분류는 그래픽 속도에 따라 쉽게 구분될 수 있다. 저성능 워크스테이션과 마찬가지로 고성능 워크스테이션도 생산 회사들간의 경쟁이 치열하여 더욱 우수한 성능을 가진 시스템들이 계속적으로 나타나고 있다.

실제 예로서 1987년 까지만 해도 Microsystem사가 개발한 Sun-4/260 시스템은 10MIPS의 성능을 가짐으로써 워크스테이션들 중 계산속도면에서 가장 앞선

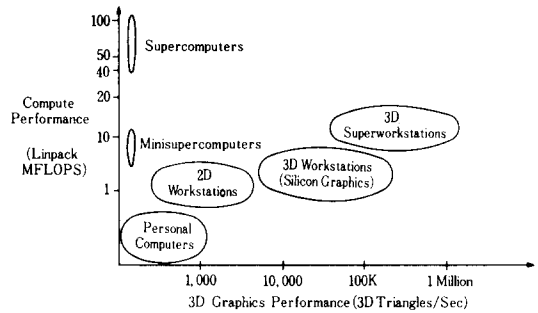


그림 1. 컴퓨터 시스템들의 계산 성능과 그래픽 성능의 비교

시스템이었으며, Silicon Graphics사의 Iris 4D 시스템은 3 차원 그래픽 성능면에서 가장 우수한 시스템이었다. 그러나 1988년에 들어오면서 Ardent사와 Stellar사에서 3 차원 그래픽과 수치계산 워크스테이션을 종합하는 슈퍼워크스테이션들을 개발하여 판매함으로써 기존의 고성능 워크스테이션들을 압도하고 있다. 1989년에는 그 두 회사 제품과 비슷한 시스템들이 Apollo, Silicon Graphics 및 Sun사로부터 개발되어 나올 것으로 예상되고 있다. 이러한 추세가 계속됨에 따라 그동안 미니컴퓨터 시장을 잠식하며 지속적으로 성장해 온 슈퍼미니컴퓨터들(Sequent사의 Symmetry 시스템, Encore의 Multimax 시스템 등)이 판매 경쟁에서 크게 위협을 받고 있다. 사실상 워크스테이션은 고성능 개인용컴퓨터에서부터 미니컴퓨터 및 슈퍼미니컴퓨터에 이르기까지 소형과 중형급의 모든 시스템과 경쟁할 수 있는 성능과 가격구조를 형성함으로써 컴퓨터 시스템의 분류체계를 혼란시키고 있다.

본 고에서는 2장에서 최근 기술동향을 간략히 정리하고, 3장에서는 몇몇 고성능 워크스테이션들의 개발동향과 구조적 특징을 생산회사별로 분류하여 살펴봄으로써 고성능화를 위하여 사용된 프로세서들의 경향과 고속 그래픽 처리를 위하여 개발된 하드웨어들을 검토하고자 한다.

II. 고성능 워크스테이션의 기술동향

급변하고 있는 워크스테이션 제품의 개발 경쟁에

서 중요한 역할을 하고 있는 기술은 프로세서, 그래픽을 지원하는 특정 하드웨어, multi-window 환경 및 네트워킹을 위한 소프트웨어 기술이다. 최근까지 전체 워크스테이션들 중에서 60% 가량이 모토로라의 68000 계열의 프로세서를 사용하였고, 기타 CISC (complex instruction set computer) type의 프로세서들이 사용되었으나, 점차 RISC (reduced instruction set computer)-type의 프로세서들의 사용이 증가하고 있으며 향후 5년 이내에 RISC 프로세서의 사용이 절반정도를 차지할 것으로 예상되고 있다. RISC 프로세서 사용의 실제 예로서 Sun사의 SPARC 프로세서를 이용한 Sun-4와 SPARCstation, Apollo사의 DN10000, MIPS 프로세서를 이용한 Silicon Graphics사의 Iris 시스템 등을 볼 수 있다.

초기의 워크스테이션은 단일 프로세서를 가지고 있고 2차원 그래픽 처리도 영상 메모리와 변환기 부분 이외에는 그래픽 소프트웨어로 처리되었으나, 점차 고속의 계산능력과 3차원 그래픽 처리기능이 추가되면서 시스템의 구조가 다중처리 시스템으로 변하고 있으며, 각 프로세서 보드에는 캐쉬와 벡터 유니트를 포함하는 등 고속 대형화되어 가는 추세를 보이고 있다. 또한 그래픽 처리를 고속화시키기 위하여 다수의 그래픽 전용 프로세서와 여러개의 buffer frame 메모리 등이 사용되며, 많은 부분이 하드웨어로 대처되어서 프로세서의 그래픽 처리에 대한 부담을 줄여주고 있다.

고성능 워크스테이션들이 필수적으로 갖는 기능인 3차원 그래픽은 물체에 대한 3차원 형상을 화면위에 나타내는 것이다. 3차원 그래픽을 위하여 필요한 기술로서는 물체의 모형을 나타내기 위한 선을 굵고 숨겨진 부분에 대한 것을 디스플레이 하지 않도록 해주는 wire framing, 3차원 물체 표면의 명암을 표현해 주는 solids modeling, 그리고 물체의 움직임을 나타내기 위한 animation 등이다. 하드웨어 구현 기술로는 z-buffer의 사용과 double buffering 등이 있다. Z-buffer는 3차원 물체의 z-axis에 대한 정보를 갖는 video memory이다. Z-buffer는 3차원 그래픽 기능을 갖는 거의 모든 워크스테이션에서 사용되고 있지만, 메모리와 주변제어기들 때문에 시스템의 가격을 상승시키며 간단한 2차원 그래픽에 대하여는 속도를 저하시킨다. Double buffering은 screen의 동일 영역에 대한 multiple presentation을 저장하기 위하여 더 많은 bit plane을 사용하는 방법이다. 이 기술은 다수의 frame buffer를 사용하여 기존의

방식보다 screen을 더 빨리 변화시킬 수 있게 해준다. Frame buffer와 z-buffer는 표준 RAM chip을 사용할 수도 있지만 고성능 워크스테이션에서는 대부분 고속의 video RAM (VRAM)을 사용하고 있다.

Ⅲ. 고성능 워크스테이션들의 구조적 특징

1. Apollo사의 워크스테이션

Apollo Computer사는 1980년에 설립된 최초의 워크스테이션 회사로서 Aegis 운영체제와 token-ring network을 이용한 네트워킹 기술을 바탕으로 0.2 MIPS의 Domain DN100 워크스테이션을 개발하여, 그 당시로서는 새로운 개념이었던 워크스테이션 시장을 형성해 나가기 시작하였다. 그 후 성능이 향상된 모델인 DN3000, 3500 시리즈를 발표한 바가 있었고 최근에는 7MIPS의 성능을 가진 DN4500과 RISC 프로세서를 이용한 DN10000을 개발하였다. DN4500은 CPU로서 33MHz의 68030을 이용하고 64Kbyte의 캐쉬와 interleaved memory를 가지고 있으며, 그래픽처리 속도를 향상시키기 위하여 부동소수점 가속기로서 Weitek 3160 칩을 사용하고 있다.

Apollo사의 제품 중에서 가장 최신 기종이면서 가장 고성능인 것은 DN10000 수퍼워크스테이션이다. DN10000은 PRISM (parallel reduced instruction set multiprocessor) 아키텍처에 기반을 둔 대칭형 다중처리시스템 (symmetrical multiprocessor system)으로서, 시스템의 구조는 그림 2에서 보여진 바와 같이 공유 메모리를 갖고 단일버스에 의해 연결되는 밀접합 (tightly-coupled) 시스템 구조를 갖는다. 시스템의 중심이 되는 버스는 전송속도가 150Mbytes/sec이고 데이터 버스의 폭이 64비트인 X-bus이다. CPU는 그래픽 처리에 긴요한 명령어들을 가진 아폴로 고유의 RISC 프로세서이며 사용자의 필요에 따라 최대 4개까지 확장이 가능하다. 각 CPU 보드에는 부동소수점계산 보조프로세서가 있고, 명령어 캐쉬와 데이터 캐쉬가 포함되어 있어서 단일버스의 단점을 보완해 주고 있다. PRISM CPU 칩의 주요 특징으로는 매 사이클마다 2개의 32비트 명령어를 읽어와서 정수프로세서와 부동소수점계산 보조프로세서가 동시에 1개의 명령어씩 수행함으로써 처리속도를 증가시키는 것이다. 캐쉬의 데이터 동일성 유지 프로토콜은 write-through를 보강시킨 write-later 방식으로, character data에 대하여는 매 write-miss 때마다 메모리로 update 하지 않고 공유버스의 데이터 폭

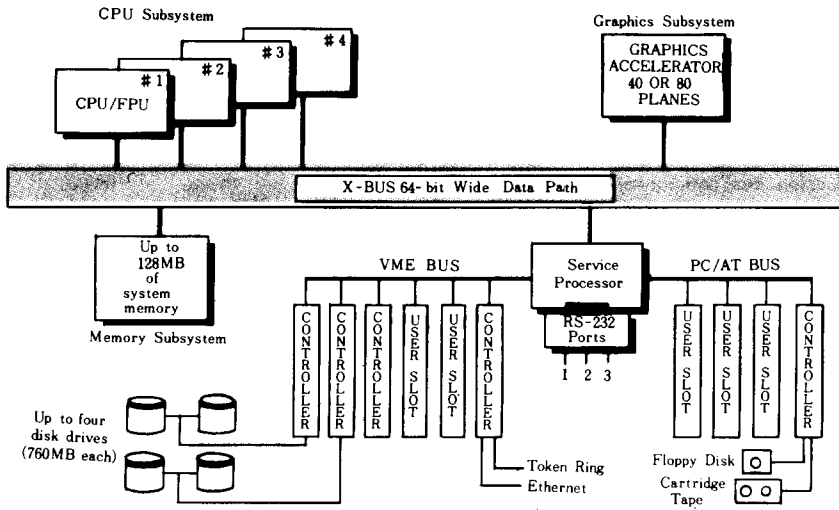


그림 2. DN10000의 시스템 구조

인 64비트가 채워질때까지 기다리게 함으로써 버스의 사용량을 감소시켰다. 최대용량 128메가바이트인 주기억장치는 16-way 인터리빙을 사용함으로써 여러 개의 메모리 모듈에 대한 동시 액세스가 가능하도록 하였고 이것은 고속 입출력처리에도 도움이 된다. 입출력 주변장치들의 제어기들은 시스템 버스인 X-bus에 직접 연결되지 않고 버스변환기 기능을 하는 service processor에 접속된 VME 버스와 PC/AT 버스에 연결된다. 입출력 주변장치들로는 VME 버스에 하드디스크와 네트워크 인터페이스, PC/AT 버스에 플로피 디스크, 테이프등이 연결되며 사용자 터미날은 service processor에 부착된 RS-232 포트를 통하여 접속된다.

이 시스템의 구조에서 특기할 사항은 고속 그래픽 처리를 위한 그래픽 서브시스템(그림 3)이다. 그래픽 서브시스템은 40 혹은 80 plane의 frame buffer memory와 scan control 및 어드레스 발생회로 등으로 구성된다. 40 plane 시스템인 경우 각 pixel은 5개의 8비트 데이터로 표현되며, 그중 3개의 데이터는 3원 색에 대한 정보를 가진다. 나머지 2개의 데이터는 z-buffering, texture mapping 및 image preparation에 사용된다. 80 plane의 경우에는 처음 6개의 데이터는 칼라에 대한 정보를 갖고, 다른 4개의 8비트 데이터들은 z-buffering, texture mapping 및 pixel에 대한

기타 정보를 저장하는데 사용된다. 서브시스템 내에서 Alpha 프로세서는 image memory plane의 pixel 정보들을 적절히 혼합하여 스크린으로 내보내 주는 기능을 한다. 그 정보들은 color lookup table로부터 각각의 색깔에 맞는 데이터를 추출하는데 사용되고 그 출력은 digital-to-analog 변환기를 통하여 스크린에 디스플레이 된다.

2. Sun Microsystem사의 워크스테이션

Apollo사에 이어 두번째로 1982년에 설립된 Sun Microsystem사는 현존하는 시스템이나 표준위에서 open system을 구성하는 방법으로 시작하여 Apollo사와 워크스테이션 판매 경쟁을 해오고 있다. Sun사의 시스템 개발 목표는 현재의 최신 기술을 최대한 이용하고 사용자가 특정환경에 제한되지 않고 더 좋은 가격 대 성능비의 시스템을 제공받을 수 있게 하는 것이다. 1985년 이후 1987년 7월경까지 Sun사가 개발한 시스템들을 보면 1.5 MIPS의 Sun-3/50, 2 MIPS의 3/160, 3 MIPS의 3/60과 4 MIPS의 3/260 등이며, 이 시스템들은 68020등의 프로세서를 이용하였다. 그 후 68030 프로세서를 이용한 Sun-3/400이나 80386을 이용한 386i/150, 386i/250가 개발되었으며, 1988년 후반기에는 RISC 프로세서를 이용한 시스템인 Sun-4/110, 4/150등이 출현하였다.

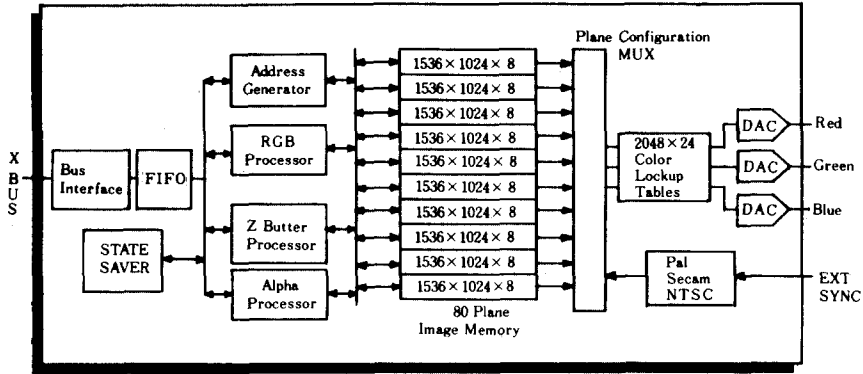


그림 3. DN10000의 그래픽 서브시스템의 구조

Sun-3 그룹의 워크스테이션들 중에서 가장 최신 모델인 Sun-3/400의 구조(그림 4)를 살펴보면, CPU로서 68030 프로세서를 사용하고 68882 보조 프로세서와 새로운 부동소수점계산 가속기인 FPA+를 추가시켜 계산 속도를 증가시켰다. 주기억장치는 최대 128 Kbyte의 용량을 가지며 ECC(error correcting code)가 포함되어 있다. CPU와 주기억장치 사이에는 64 Kbyte의 캐쉬를 가지고 있어서 프로세서의 명령이 수행속도를 대폭 증가시키고 있다. 3/400 시스템은 Sun사가 개발한 특유의 I/O cache 기술을 도입하여 입출력 성능과 시스템 throughput을 향상시켰다. 그림 4에서 보여진 바와 같이 I/O cache는 입출력 장치들과 주기억장치 사이에 전달되는 데이터를 buffering하고, CPU의 cache를 거치지 않고 주기억장치로 입출력 데이터 전달이 가능하게 함으로써 입출력 operation이 CPU와 CPU cache 사이의 데이터 전달속도에 영향을 주지않게 하고 있다. 또한 I/O cache는 VME 버스의 bandwidth를 대폭 향상시켜줌으로써 VME 버스에 다수의 고성능 주변장치의 부착이 가능하게 해주고 있다.

Sun사에서 개발한 RISC 프로세서인 scalable processor architecture(SPARC)를 사용한 워크스테이션들을 보면 Sun-4 시리즈 시스템들이 나온 이후, 고속 시스템과 저가형 시스템으로 나누어 두가지 유형의 전략적 워크스테이션들이 SPARCstation시리즈로 개발되어 나오기 시작하였다. 그 중에서 300시리즈는 SPARC 프로세서를 사용하여 16MIPS의 Drystone 정수처리

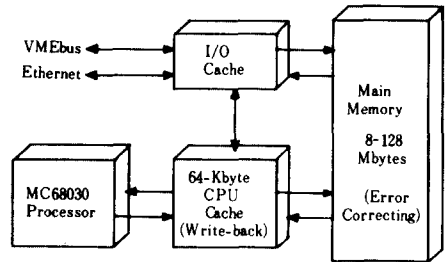


그림 4. Sun-3/400의 구조

속도에 이르며, 부동소수점 계산 보조프로세서로서 TI884를 사용하여 2.6 double-precision linpack Mflops의 속도를 갖는다. Sun-3 시리즈와 SPARCstation의 주요 특성들과 주변장치 및 그래픽 성능들은 표 2와 같다.

3. Silicon Graphics사의 워크스테이션

1984년에 설립된 Silicon Graphics(SGI)사는 고유방식의 워크스테이션 제품으로 시장을 점유해 가고 있다. SGI는 실시간 처리 가능한 3차원 그래픽 기능을 가지며 가격이 5만불 이상이 되는 고성능 워크스테이션들을 주로 생산하고 있다. 1988년 후반기에 SGI가 발표한 3차원 워크스테이션인 Personal Iris는 개인용워크스테이션으로는 최초로 칼라 3차원 그래픽 기능을 가

표 2. Sun 워크스테이션들의 성능 및 특성

	Sun-3/80	Sun-3/400	SPARCstation 1	SPARCstation 300
정수처리 속도	3 MIPS	7 MIPS	12.5 MIPS	16 MIPS
부동 소숫점 계산속도	160 DP Kflops	600 DP Kflops	1.4 DP Mflops	2.6 DP Mflops
주기억 장치	4~16 Mbytes	8~128 Mbytes	8~16 Mbytes	8~56 Mbytes
디스크 용량	up to 1.1 Gbytes	up to 14.3 Gbytes	up to 1.1 Gbytes	up to 6.8 G bytes
그래픽 성능 [2D vectors/sec] [3D vectors/sec]	325K 100K	425K 150K	400K 175K	450K 200K

템이었다. 동일 계열의 모델중 하나로서 SGI의 가장 최신 모델인 Iris 4D/70 슈퍼워크스테이션은 고속의 그래픽 하드웨어와 RISC 프로세서의 고속계산 능력이 합해진 시스템이다. 이 시스템은 그림 5에 보여진 바와 같이 RISC 프로세서(MIPS)를 사용한 CPU 보드, 메인 메모리 및 그래픽 서브시스템이 하나의 VME 버스를 통하여 연결된 시스템이다. CPU 보드에는 프로세서의 속도를 향상시키기 위하여 64 Kbyte의 명령어 캐쉬와 32 Kbyte의 데이터 캐쉬를 두고 있다. 캐쉬는 직접 매핑방식이며, write-through 프로토콜을 사용한다. 12.5MHz의 MIPS 프로세서는 VAX 11/780

보다 linpack 벤치마크에 대하여 10배의 속도를 가지며, 부동소숫점계산 가속기로서 1.1 Mflops의 MIPS R2010/12.5를 추가하여 그래픽에서 요구되는 각종 계산을 고속화시키고 있다.

이 워크스테이션의 그래픽 서브시스템은 크게 나누어 geometry 모듈, rendering 모듈 및 display 모듈로 구성된다. Geometry 모듈은 CPU로부터 디스플레이 하고자 하는 물체에 대한 데이터를 전달받아서 screen space vertices로 변환하여 rendering 프로세서로 보낸다. 이 모듈내의 주요 요소들로는 geometry pre-processor, graphics manager 및 geometry

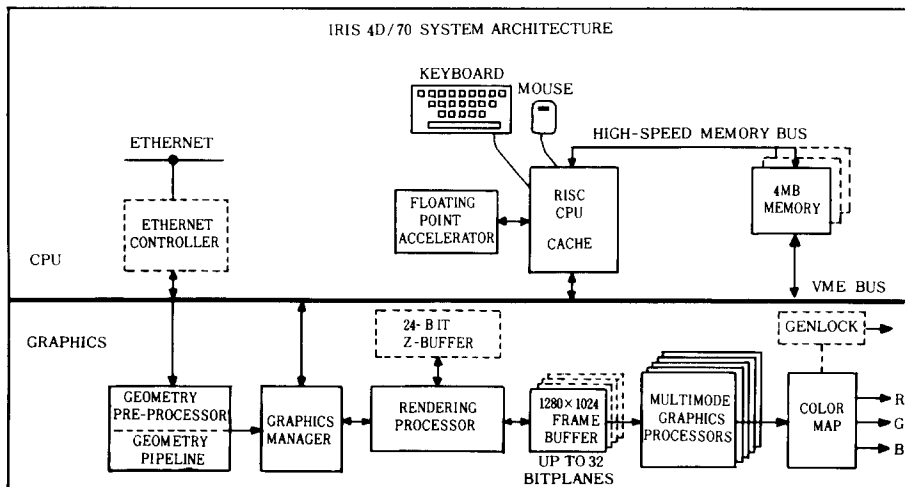


그림 5. IRIS 4D/70 시스템의 구조

pipeline 등이다. Geometry pipeline은 데이터 입력 스트림인 그래픽 명령어들과 관련 데이터들에 대하여 매트릭스 변환, clipping 및 scaling 기능을 수행한다. 이 과정에서 3차원 object space 데이터가 2차원 screen space 데이터로 변환된다. Graphic manager는 68020 프로세서와 주변회로로 구성되며, 그래픽 서브시스템내의 모든 자원의 동작을 관리하고 호스트 프로세서와의 통신과 인터럽트 처리등을 담당한다. Rendering 모듈에서는 shading polygons 및 depth cuing line등의 처리에 필요한 많은 계산들이 수행된다. 이 모듈에서는 고속 계산처리를 위한 각종 유닛들을 포함한 rendering 프로세서와, 각 pixel의 색깔을 결정하기 위한 선형 인터폴레이션을 수행하고 각 pixel에 대한 버퍼 주소를 계산하는 iterating interpolator로 구성된다. Frame buffer는 기능적으로 분리된 3가지 타입의 메모리, 즉, image plane, window plane 및 depth plane 메모리 등으로 구성된다. 그 중에서 depth plane은 각 pixel에 대한 z-axis의 데이터를 저장하는 하드웨어로서 hidden surface removal을 지원하는 z-buffer 방식을 구현하고 있다.

SGI는 병렬처리 기술을 이용하여 최대 4개까지의 CPU 서브시스템을 가질 수 있는 POWER Iris를 개발하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 이 시스템에서 2개의 시스템 버스가 있는데 그 중 하나는 프로세서

간의 동기를 위한 각종 기능을 지원하는 sync 버스와 다른 하나는 캐쉬 데이터 동일성 유지 프로토콜을 위한 블록 데이터 전달 버스인 MPlink 버스이다. CPU 서브시스템 내에는 RISC 프로세서와 부동소수점 보조프로세서가 있으며, 명령어 캐쉬와 데이터 캐쉬가 있고 프로세서 버스가 프로세서와 캐쉬들 사이의 어드레스 및 데이터 전송을 지원한다. 시스템에서 데이터 캐쉬는 2계층의 구조를 갖는다. 1차 레벨 데이터 캐쉬는 64비트이며, write buffer를 통하여 비동기적으로 MPlink 버스로 연결된다. 2차 레벨 데이터 캐쉬는 1차 레벨 캐쉬에 대하여 super set이 되며 256 Kbyte이다. 2차 레벨 캐쉬는 MPlink 버스의 매트랜잭션에 대하여 데이터 동일성 유지 프로토콜 동작을 수행한다. 이 시스템의 그래픽 서브시스템은 Iris 4D/70의 경우(그림 5)와 동일하다. 각종 주변장치는 VME 버스와 SCSI 버스를 통하여 연결되며, 네트워크는 Ethernet 인터페이스에 의하여 접속된다.

4. Ardent사의 슈퍼워크스테이션

Ardent사가 개발한 그래픽 슈퍼워크스테이션인 Titan 시스템은 계산속도면에서 미니수퍼컴퓨터와 비슷하며, 현존하는 워크스테이션들 중에 가장 높은 정밀도의 그래픽 성능을 가지고 있다. 이 시스템은 그림 7에서 보는 바와 같이 256 Mbytes/sec 속도의

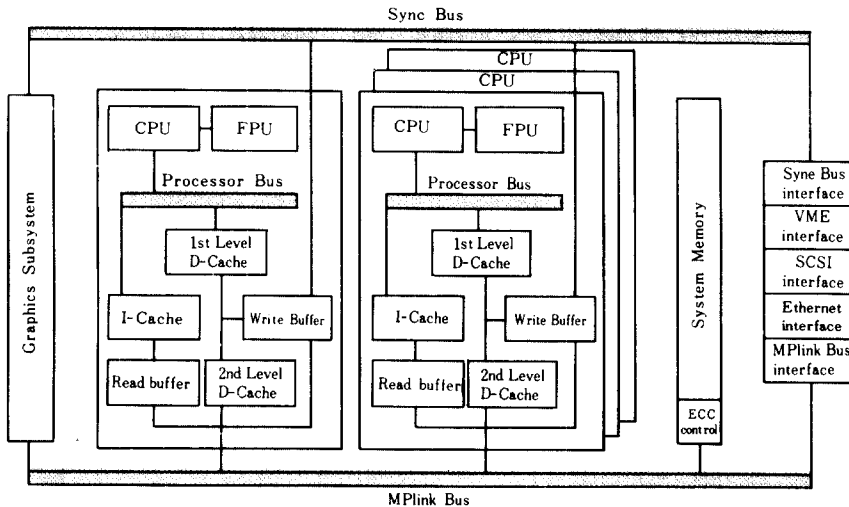


그림 6. POWER 시스템의 구조

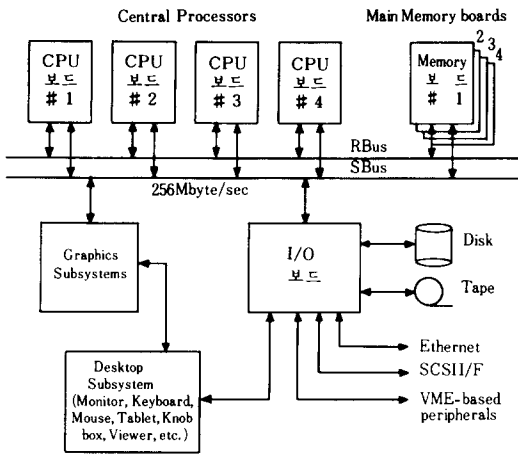


그림 7. Titan 슈퍼워크스테이션의 구조

Titan-bus에 4개의 CPU 보드, 4개의 메모리 보드, 그래픽 서브시스템 및 입출력 서브시스템이 연결된 밀 결합(tightly-coupled) 다중프로세서 시스템을 갖고 있다. 각 CPU 보드에는 정수처리기로서 RISC 프로세서인 MIPS R-2000 외에 매트릭스 계산을 고속처리 하기 위한 벡터 프로세서가 포함되어 있다. 두 프로세서는 32 Kbyte의 캐쉬를 공유하여 프로세서의 처리속도를 향상시키고 있으며, 캐쉬와 벡터 레지스터들 간의 데이터 동일성 유지를 위하여 write-through 방식과 버스 감시기(bus-watcher)를 사용하고 있다. 캐쉬는 명령어 캐쉬와 데이터 캐쉬가 각각 16 Kbyte씩으로 나누어져 있으며, write-through 프로토콜로 인한 프로세서 속도의 저하를 방지하기 위하여 write buffer를 사용함으로써 write-miss시에 프로세서의 명령어 수행 사이클이 버스 동작에 무관하도록 하였다. 또한 CPU 보드내에 TLB(translation look-aside buffer)를 구현하여 메모리와 벡터 레지스터들 간에 가상 어드레싱 방식을 지원하고 있다.

Titan은 다중처리 시스템이기 때문에 프로세서들 사이의 task decomposition과 migration을 위한 부분이 운영체제에 포함되어 있다. 이 시스템에서 프로세서간 동기를 위한 primitive로는 세마포어와 도어벨을 사용하고 있다. 세마포어는 test-and-clear 명령어와 test-and-increment 명령어를 이용하여 binary 세마포어와 counting 세마포어를 각각 구현하였다. 도어벨 메카니즘은 한 프로세서가 다른 프로세

서에 인터럽트를 걸 수 있도록 하여 프로세서간 통신을 하게 하는 방식이다.

벡터 유닛은 정수벡터뿐 아니라 부동소숫점 벡터와 스칼라 계산을 모두 고속으로 수행할 수 있다. 이 유닛은 Cray X-MP와 같이 대량의 벡터 레지스터 파일을 가지고 파이프라인 동작에 의해 높은 동시성으로 계산을 처리한다. 이 유닛은 특히 매트릭스 계산이 많은 그래픽 코드를 고속으로 처리하는데 유용하다. 시스템 버스인 Titan-bus는 32-bit 어드레스와 64bit 데이터 버스폭을 가지고 16MHz의 비동기 프로토콜에 의해 동작한다. 버스는 두개의 데이터 버스, 중재 버스 및 제어 버스로 구성되어 있다. 주기억장치 보드들은 8-way interleaved 되어 있어서 메모리 액세스의 동시성을 높이고 있다.

입출력 서브시스템은 파이프라인 동작을 위하여 고속의 데이터 전송기능을 가져야 하는 것과 워크스테이션의 특성인 단일 사용자 시스템에 적합하도록 저가격의 주변장치를 연결할 수 있어야 하는 요구조건에 따라 설계되었다. 데이터 전송의 고속화를 위하여 각 DMA 채널에 scatter/gather 기능을 부여하여서 Titan의 unix fast-file 시스템이 주변장치로 부터 사용자 메모리 영역으로 직접 데이터를 전송할 수 있게 하였다. 디스크 인터페이스로는 ESDI(enhanced small-disk interface)와 SCSI(small computer system interface)를 사용하여 고속의 저가격 디스크를 연결할 수 있도록 하였다.

Titan 시스템에서는 그래픽 서브시스템이 고감도 동적 영상을 제공할 수 있도록 하기 위하여 3차원 영상처리, high spatial resolution, 고속의 frame 처리 속도 및 large color palette를 지원할 수 있는 하드웨어 및 소프트웨어를 제공하고 있다. 디스플레이상의 spatial resolution은 프레임당 1280×1024 pixel/sec이며 pixel rate가 108MHz가 되도록 하였다. 그림 8은 Titan의 그래픽 처리를 위한 파이프라인의 구조를 보여준다. Titan 시스템에서 영상정보는 1차적으로 정수처리 프로세서와 벡터 유닛에 의해 transformation, clipping 및 lighting 처리가 된 후 시스템버스 인터페이스를 통하여 픽셀 프로세서인 rasterizer 모듈로 들어간다. 모듈내에는 니그롭의 DVRAM frame buffer들이 있으며 각 그룹내에는 별도의 픽셀 프로세서가 있다. 따라서 4개의 scan line들에 대한 픽셀의 처리가 동시에 수행될 수 있다. 또한 영상의 depth를 나타내는 정보를 갖는 z-buffer에 대한 프로세서도 두고 있다.

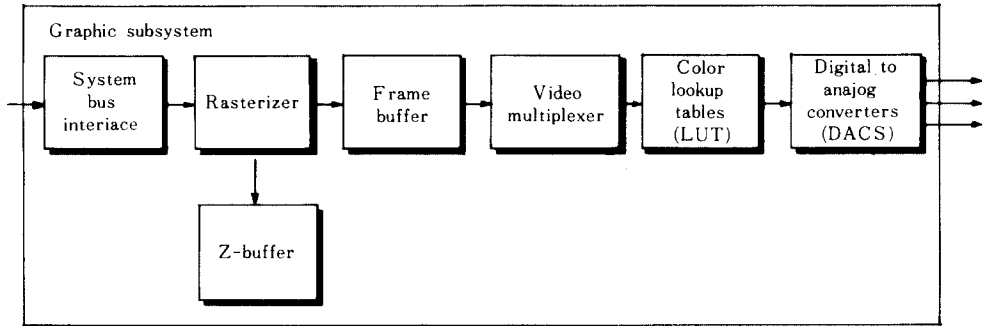


그림 8. Titan 그래픽 서브시스템의 파이프라인 구조

3차원 영상을 위해서 필요한 hidden-surface problem(앞 물체에 의하여 가리워진 부분이 영상에 나타나지 않게 하는 것)은 low-level 하드웨어에 의하여 처리된다. 그 방법으로는 각 픽셀에 대한 16-bit의 depth 정보를 저장하고, 새로운 픽셀에 대한 depth 값과 현재 저장된 값을 비교하여 만약 새로운 값이 저장된 값보다 viewer에 더 가까운 경우에는 새로운 픽셀이 화면에 쓰여지고, 아닌 경우에는 새로운 값이 무시된다. 그래픽 서브시스템의 설계에 있어서 가장 중요한 부분은 이 depth buffer(z-buffer)의 동작이 픽셀 프로세서의 속도에 영향을 주지 않게 하는 것이다. 3차원 그래픽에서는 2차원의 경우와 달리 3-D depth-buffered operation에 있어서 read-modify-write의 반복동작이 필요하다. Titan 시스템에서는 depth buffer를 DVRAM으로 구현하고 serial shift register 포트를 사용하여 depth value를 한번에 하나씩 연속적으로 읽게 함으로써 depth buffering에 따른 픽셀의 drawing rate가 5%미만만 감소될 수 있도록 하였다.


IV. 결 론

슈퍼컴퓨터와 미니슈퍼컴퓨터는 수많은 과학 및 공학분야에서 시뮬레이션, 합성 및 응용문제에 필요한 고속의 computing power를 제공해 주고 있다. 그러나 계산결과에 대한 가시화(visualization) 기능이 없으므로 인하여 그래픽 전용시스템을 별도로 연결하여 사용해야 하는 어려움이 있다. 워크스테이션은 수년 전만 해도 그러한 대형시스템에 대한 그래픽 서버로

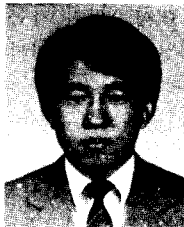
서 사용되거나 개인용 컴퓨터에 그래픽 기능과 약간의 응용 소프트웨어가 추가된 정도의 시스템이었다. 그러나 개인이 단독으로 사용하는 컴퓨터의 성능에 대한 요구가 갈수록 증가함에 따라 고속의 계산과 고정밀 그래픽 성능을 갖는 워크스테이션들이 계속 개발되어 나오고 있음을 볼 수 있다.

본 고에서 몇몇 대표적인 고성능 워크스테이션들의 구조를 살펴 본 결과에 따르면, 최근 새로이 개발되어 나오는 RISC 프로세서를 사용한 프로세싱 속도의 고속화 뿐 아니라 다중처리 시스템 구조를 도입함으로써 시스템이 대형화되어 가는 경향이 나타나고 있다. 고속의 계산속도와 그래픽 기능까지 겸하고 있는 고성능 워크스테이션들은 이러한 개발 동향으로 보아 향후 미니컴퓨터, 슈퍼미니컴퓨터 혹은 미니슈퍼컴퓨터 시장까지 급속히 잠식해 갈 수 있는 구동력을 가지고 있다고 볼 수 있다. 이러한 워크스테이션의 열기는 기존 컴퓨터 회사들에게도 크게 영향을 미치고 있다. 예로서 앞에서 언급된 워크스테이션 전문회사들 이외에도 DEC, Hewlett-Packard, IBM 및 Tektronics사 등과 같은 대형회사들이 슈퍼워크스테이션의 개발에 참여하고 있음을 볼 수 있다. 개인이 탁상용 시스템을 사용하여 실시간 시뮬레이션을 할 수 있고 그래픽을 이용하여 결과를 볼 수 있게 됨에 따라 가격이 높은 대형 베퉀 시스템들은 차츰 사라지게 될 것이라는 전망도 나오고 있다. 사실상 워크스테이션이 네트워크를 통하여 파일 서버등과 연결되어 대규모 데이터 베이스까지 지원받을 수 있게 될 경우 그 예측은 매우 신빙성이 높다고 할 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] N. Baran, "Personal Workstations - Two Worlds Converge," BYTE, pp. 229-233, Feb. 1989.
- [2] B. Nicholls, "Personal Workstations - The Current Crop," BYTE, pp. 235-244, Feb. 1989.
- [3] J. Clark, "3-D Computing: The Visual Computing Revolution," Dataquest Inc., 1988.
- [4] Series 10000 VS Graphics Superworkstation, Apollo Computer, Feb. 1989.
- [5] Sun's SPARCstation Family: An Overview, Sun Microsystems, 1989.
- [6] Iris 4D/70 Superworkstation Technical Report, Silicon Graphics Computer Systems, 1989.
- [7] POWER series Technical Report, Silicon Graphics Computer Systems, 1989.
- [8] T. Diede, et al, "The Titan Graphics Supercomputer Architecture," *IEEE Computer*, pp. 13-30, Sept. 1988. 

筆 者 紹 介



金 宗 鉉

1952年 1月 15日生

1976年 2月 연세대학교 전기공학과(학사)

1981年 2月 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1983年 8月~1988年 1月 미국 Arizona State University 전기 및 전산학과(공학박사)

1976年 3月~1982年 4月 국방과학연구소

1982年 5月~1983年 7月 금오공과대학 교수

1988年 2月~현재 한국전자통신연구소 컴퓨터H/W 연구실
주관심분야 : 컴퓨터 구조, 병렬 알고리즘, 시뮬레이션