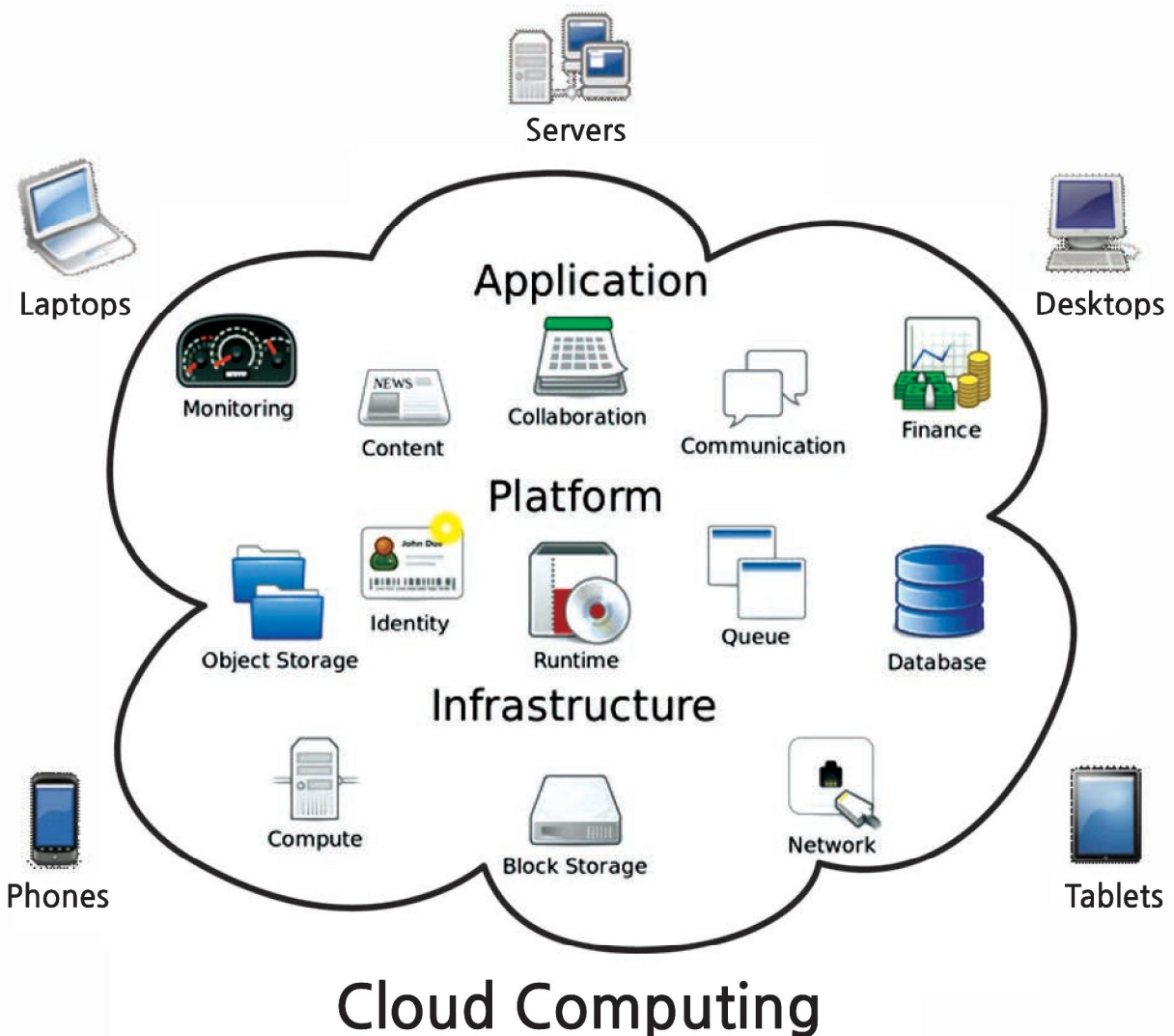


슈퍼컴퓨팅 기술의 활용 2

과학응용프로그램을 위한 클라우드컴퓨팅

최영리 교수 (UNIST 전기전자컴퓨터공학부)

클라우드 컴퓨팅은 클라우드 컴퓨팅 제공자가 소유하고 있는 대규모 컴퓨팅 자원을 사용자가 필요한 자원 양 만큼 필요한 시간 동안만 사용할 수 있게 하는 컴퓨팅 모델을 의미한다. 클라우드 컴퓨팅에서 사용자는 손쉽게 on-demand 방식으로 컴퓨팅 자원을 요청하며 그림 1과 같이 데스크톱, 서버, 노트북 등으로부터 네트워크를 통해 요청한 컴퓨팅 자원을 사용할 수 있다. 따라서 사용자는 서버나 스토리지와 같은 하드웨어를 구매, 관리, 유지 보수할 필요가 없어지며, 클라우드 컴퓨팅 자원을 사용하는 비용은 사용한 자원의 양과 시간에 따라 결정된다.



Cloud Computing

클라우드 컴퓨팅 제공자는 사용자의 컴퓨팅 자원에 대한 다양한 요구를 만족하게 할 수 있어야 하는데 가상화(Virtualization) 기술은 이를 가능하게 하는 중요한 기술이다. 가상화 기술은 하나의 물리적 서버에 여러 가상 머신(Virtual machine)을 동시에 실행하는 기술이다. 이를 위해 하이퍼바이저(hypervisor)라는 가상화 소프트웨어가 필요한데 하이퍼바이저는 각 가상 머신에게 자신만의 하드웨어가 있는 것 같은 환상을 주며 동적으로 물리적 서버의 CPU, 메모리, 디스크, 네트워크 자원을 가상 머신들에게 할당하는 역할을 한다. 현재 VMware ESX, Microsoft Hyper-V 등의 상용 하이퍼바이저와 Xen, KVM과 같은 open source 하이퍼바이저가 개발되어 널리 사용되고 있다. 가상화 기술을 사용하면 그림 2처럼 한 물리적 서버에 여러 가상 머신을 통합하여 실행하는 것이 가능해져 자원 사용률을 증가시킬 수 있다. 각 가상 머신은 Windows, Linux, Solaris 등과 같이 서로 다른 운영 체제(Operating System)와 응용 프로그램을 실행시킬 수 있고, CPU의 수, 메모리 및 디스크의 양을 다르게 설정할 수도 있다. 또한, 가상 머신 이주(VM migration) 기술로 실행 중인 가상 머신을 정지하는 것 없이 다른 물리적 서버로 이주하는 것이 가능해진다. 가상 머신은 특정 물리적 서버에 고정되어 실행될 필요가 없어서 물리적 서버의 자원을 유연하게 사용할 수 있게 한다.

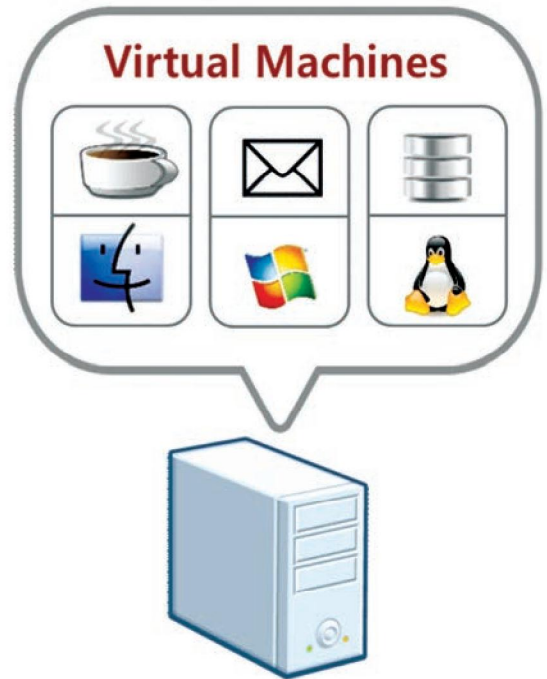


그림 2. 가상 머신

가상화 기술을 기반으로 하는 클라우드 컴퓨팅은 기업에서 필요로 하는 웹 서버, 메일 서버와 같은 응용 프로그램에 현재 많이 사용되고 있다. 또한, 위와 같은 장점들로 가상화 기반의 클라우드 컴퓨팅에 관한 관심은 더 높아지고 다른 여러 분야의 응용 프로그램 실행을 위한 컴퓨팅 플랫폼으로 확대되고 있다. 기존에 과학 응용 프로그램은 슈퍼 컴퓨팅(Supercomputing) 자원, 그리드(Grid) 자원, 또는 물리적 서버들의 클러스터 자원을 활용하여 실행되었다. 하지만 최근 과학 응용 프로그램에 대한 새로운 요구들이 생기고 있어, 전통적인 물리, 화학 등에 대한 계산 과학뿐만 아니라, 금융, 바이오, 신약 개발 등의 다른 분야에도 많이 쓰이기 시작하였다. 그뿐만 아니라 중간 규모의 계산 자원을 필요로 하는 과학 응용 프로그램들도 많아지고 있다. 따라서, 고성능 컴퓨팅(High Performance Computing)을 포함하는 과학 응용 프로그램을 위해 클라우드 컴퓨팅을 사용하려는 시도와 노력이 점점 더 많아지고 있고, 과학 응용 프로그램에 대한 새로운 요구를 위한 컴퓨팅 플랫폼으로 클라우드 컴퓨팅이 고려되고 있다.

과학 응용 프로그램을 위한 클라우드 컴퓨팅에서는 사용자, 즉 과학자에게 가상 머신들의 클러스터를 제공한다. 각 과학자에게 단순한 컴퓨팅 자원만을 제공하는 것이 아니라 운영 체제, 과학 응용 프로그램 및 필요한 라이브러리가 미리 설치된 가상 머신들을 제공하는 것이 가능하다. 예를 들어 Linux 운영 체제, 분자 동역학(Molecular Dynamics) 시뮬레이터, MPI 라이브러리가 미리 설치되어 있는 가상 머신 클러스터를 사용자에게 제공할 수 있다. 이러한 이유로 과학자는 자신에게 특화된 컴퓨팅 환경을 사용할 수 있고, 평소에 사용하던 익숙한 환경을 그대로 사용

할 수 있게 된다. 클라우드 컴퓨팅에서는 많은 양의 자원을 동시에 요청하여 사용하는 것이 가능하다. 과학 응용 프로그램을 병렬화하는 것이 가능하다면 과학자는 같은 비용으로 실행 시간을 현저히 줄이는 것이 가능해진다. 즉, 클라우드 컴퓨팅에서는 하나의 가상 머신을 100시간 사용하기 위한 비용과 100대의 가상 머신을 1시간 사용하는 비용이 서로 같다. 이론적으로 완벽하게 과학 응용 프로그램을 병렬화할 수 있다면 같은 비용으로 클라우드 컴퓨팅 자원을 활용하여 100시간 걸리는 과학 시뮬레이션을 1시간 안에 끝낼 수 있게 된다.

현재까지 클라우드 컴퓨팅 기술은 웹 서버와 같은 비즈니스 응용 프로그램을 효율적으로 지원하는데 초점이 맞추어져 있었다. 이런 비즈니스 응용 프로그램은 I/O 작업이 많이 요구되는데 반해, 과학 응용 프로그램은 대부분 많은 계산 작업이 요구되며 병렬화되어 실행된다. 과학 응용 프로그램의 특성은 기존의 비즈니스 응용 프로그램과는 매우 다르고 컴퓨팅 자원 사용 패턴 및 성능에 대한 요구 사항도 다르다. 따라서 과학 응용 프로그램을 클라우드 컴퓨팅에서 효율적으로 지원하기 위해서는 클라우드 컴퓨팅 기술을 최적화하는 것이 반드시 필요하다. 과학 응용 프로그램은 성능 저하에 매우 민감한데, 클라우드 컴퓨팅에서는 가상화 소프트웨어에 의한 오버헤드에 의해 성능

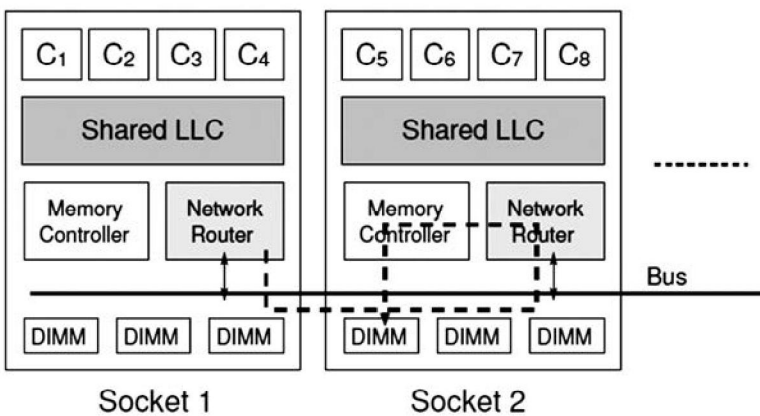


그림 3. 멀티 코어 시스템 [2]

이 저하될 수 있다. 또한, 여러 가상 머신이 하나의 물리적 서버에서 실행되어 가상 머신 간에 자원을 공유하게 되는데, 함께 실행되는 가상 머신의 자원 사용 패턴에 의해 성능이 저하되고 변화하는 문제가 있다. 현재 많이 사용되고 있는 멀티 코어 시스템은 자원 공유의 문제를 더욱 더 복잡하게 한다. 그림 3과 같이 멀티 코어 서버에서는 캐시(cache), 메모리 controller 등의 자원이 공유되는데 이런 자원은 나누어 각 가상 머신에게 할당하기가 쉽지 않다. 또한, Non-Uniform Memory Access(NUMA)에 의해 원격 소켓의 메모리에 대한 접근 시간은 로컬 소켓의 메모리 접근과 비교해 더 늘어나게 된다.

클라우드 컴퓨팅 시스템은 대규모의 서버들로 구성되어 있고 이 자원을 이용하여 다수의 가상 머신을 실행시킨다. 따라서 클라우드 컴퓨팅 시스템에서 가상 머신의 성능은 가상 머신들을 스케줄링하는 방법에 따라 영향을 많이 받게 된다. 가상 머신은 동적으로 다른 서버에 이주하는 것이 가능하므로, 가상 머신의 스케줄링은 한 서버 안에서만 고려되는 것이 아니라 클라우드 시스템 전체로 확대되는 것이 가능하다.

가상 머신의 성능은 캐시 공유 및 NUMA affinity에 대한 정책에 따라 영향을 많이 받는 것을 그림 4에서 볼 수 있다. 캐시 공유 정책에 대해 Best case(B)는 전체 시스템에서 총 Last level cache(LLC) miss가 최소가 되도록 가상 머신들을 물리적 서버들에 배치한 것이고, Worst case(W)는 전체 시스템의 모든 socket에 대해 최대 LLC cache miss와 최소 LLC cache miss의 차가 최대가 되게 가상 머신들을 배치한 것이다. NUMA affinity 정책에 대해 Best allocation(B)은 모든 가상 머신의 메모리 페이지를 로컬 소켓에 할당한 것이고, Worst allocation(W)은 모든 가상 머신의 메모

리 페이지를 원격 소켓에 할당한 것이며, Interleaved allocation()은 메모리 페이지를 로컬 및 원격 소켓에 번갈아가면서 모두 할당한 것이다.

각 가상 머신의 자원 사용 패턴을 실시간으로 모니터링하고 가상 머신 이주 기술을 활용하여 동적으로 가상 머신을 스케줄링함으로써 자원 공유에 의한 성능 저하를 개선할 수 있다는 것을 그림 5의 결과에서 확인할 수 있다. Cache-aware 스케줄러는 클라우드 시스템 전체의 LLC miss가 최소화되도록 가상 머신을 동적으로 배치한 것이고, NUMA-aware 스케줄러는 NUMA affinity를 고려하도록 Cache-aware 스케줄러를 확장한 것이다.

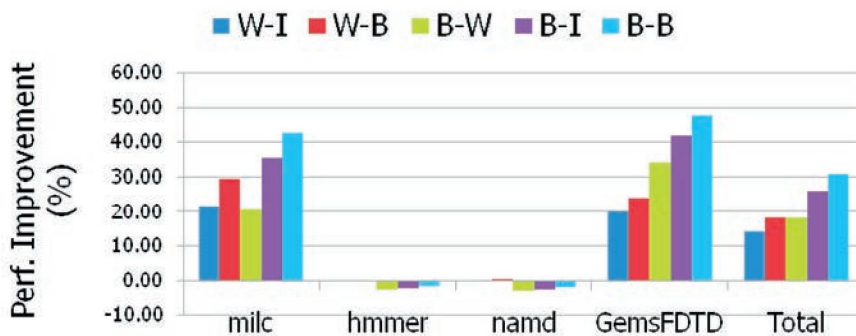


그림 4. Performance improvement over W-W[2]

이와 같은 성능 최적화 기술의 발전으로 더 다양한 종류의 과학 응용 프로그램을 위한 새로운 컴퓨팅 플랫폼으로 클라우드 컴퓨팅이 더 많이 활용되기를 기대한다.

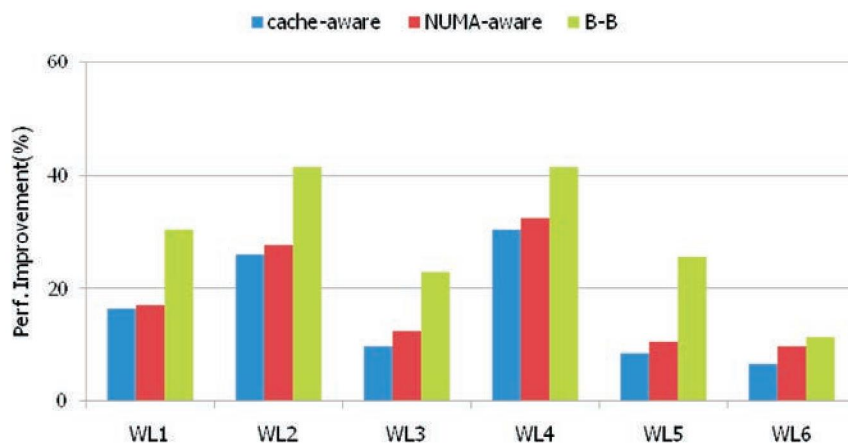


그림 5. Performance improvement over W-W[2]

References

- [1] Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [2] J. Ahn, C. Kim, J. Han, Y. Choi, and J. Huh, "Dynamic Virtual Machine Scheduling in Clouds for Architectural Shared Resources," In Proceedings of the 4th USENIX Workshop on Hot Topics in Cloud Computing (HotCloud), Boston, MA, USA, June 2012.