소프트 리얼타임 지원을 위한 가상 머신 스케줄러 연구

홍철호° 유혁
고려대학교 컴퓨터 전파통신공학과
chhong@os.korea.ac.kr, hxy@os.korea.ac.kr

Virtual Machine Scheduler Support for Soft Real-time Applications

Cheol-Ho Hong° Chuck Yoo
Department of Computer Science and Engineering, Korea University

서버 환경에서 주로 활용되던 가상화 기술이 최근에 데스크탑이나 스마트폰 등의 클라이언트 환경에서도 주목을 받고 있다. 원래 가상화 기술은 서버 플랫폼의 유휴 자원을 활용하고 에너지 사용을 줄이려는 목적을 위해 데이터 센터 등에서 주로 사용되었다. 하지만 클라이언트 디바이스의 하드웨어 성능이 꾸준히 향상되고 있는 최근에 와서는 클라이언트에서도 무리 없이 가상화 기술을 사용할 수 있게 되었다.

가상화 기술을 채택한 클라이언트 디바이스를 사용하면 여러 이점이 있다. 우선 윈도우와 리눅스 등의 이종 게스트 운영체제를 동시에 한 물리 머신에서 운영할 수 있게 되어 다양한 운영체제에 특화된 소프트웨어를 쉽게 이용할 수 있다. 또한 한 운영체제를 보안 도메인으로 지정하고 그 도메인에는 안전 장치를 견고히 함으로써 인터넷 뱅킹 등 보안이 요구되는 작업을 위한 안전한 플랫폼을 구축 할 수 있다.

데스크탑이나 스마트 폰에서 사용할 수 있는 가상화 기술로는 VMWare, VirtualLogix 그리고 Xen 등이 있다. 이중 Xen은 서버 시장에서 높은 점유율을 유지하고 있는 가상 머신 모니터 (또는 하이퍼바이저) 로써 ARM 플랫폼에도 포팅되었으며, 유일한 오픈 소스 가상화 플랫폼이다. Xen은 오픈 소스의 특성상 가상화 연구의 중심이 되고 있다.

하지만 Xen은 서버환경을 위해 개발이 되었으므로 아직 데스크탑 등 클라이언트 환경의 특성에 맞는 지원이 부족한 편이다. 특히 소프트 리얼타임 응용 프로그램에 대한 지원이 부족하여 클라이언트 환경에서 빈번히 실행되는 동영상 프로그램 등을 적절히 수행할 수 없다. Xen Summit Asia 2009에서 발표된 credit 가상 머신 스케줄러의 최신 연구에 따르면 오디오를 수행하는 가상 머신의 가상 CPU (VCPU)는 전체 물리 CPU 대역폭의 5%정도 만을 점유하지만 다른 가상 머신에서 CPU-intensive 작업을 수행할 경우 오디오가 끊어지는 문제가 있다고 지적하고 있다.

따라서 본 논문에서는 Xen 등의 가상화 기술이 클라이언트 환경에서도 유연하게 동작하도록 하기 위해 소프트 리얼타임 지원을 위한 가상 머신 스케줄러를 연구하고 제안하려고 한다. 이를 위해 Xen의 기본 가상 머신 스케줄러인 credit 스케줄러를 이해하고, credit 스케줄러가 소프트 리얼 타임 애플리케이션에 적합한지 실험을 통해 분석하였다. 또한 이를 바탕으로 소프트 리얼타임을 위한 새로운 credit 스케줄러를 제안한다.

본 연구에서는 소프트 리얼타임 작업에 대한 credit 스케줄러의 문제점을 파악하기 위해 간단한 실험을 진행하였다. 이 실험에서는 리눅스 2개와 윈도우 1개의 총 3개의 게스트 운영체제를 띄어 놓은 상태에서 윈도우에서 동영상을 실행시켜 Xen에서 주기적인 태스크의 지원이 제대로 이루어지는지 실험하였다. 2개의 리눅스 중 하나의 리눅스는 Xen의 관리 게스트 운영체제(dom0)로 동작하여 다른 운영체제의 I/O 요청을 대신 받아 수행하게 된다. 2개의 리눅스 중 다른 하나의 운영체제는 idle 상태와 cpu-intensive 작업을 수행하는 상태로 나누어 실험하였다.

실험에 사용된 시스템은 2GB의 물리 메모리가 장착된 인텔 Q6600 쿼드코어를 사용한 데스크탑 머신이다. Xen은 가장 최근 버전인 4.0 버전이 설치되었으며 게스트 운영체제로 1개의 윈도우 XP와 2개의 리눅스 2.6.31 버전을 사용하였다. 윈도우 XP는 인텔 프로세서의 가상화 기능인 intel-vt 기술을 이용하여 HVM (Hardware VM) 형태로 설치하였다. 리눅스는 소스를 수정한 반가상화된 버전을 설치하였다.

우선 윈도우에서 동영상을 수행하였고 다른 리눅스 운영체제 (dom1) 가 idle 상태일 때 윈도우 운영체제의 가상 CPU의 수행 패턴을 분석해보았다. 다른 리눅스 운영체제가 idle 상태일 경우

윈도우에서의 동영상은 정상적으로 실행되었다. 이때 윈도우 가상 머신의 VCPU는 약 2,300,000 TSC (약 2.3ms) 마다 주기적으로 실행되고 있으며 그때마다 실행시간도 60,000 TSC 내외로 그리 길지 않다. 동영상이 실행될 때에는 파일을 읽거나 다음 프레임을 찍어주기 위해 주기적으로 sleep하고 다시 일어나 작업을 처리하게 되므로 주기성을 갖게 되며 이는 위의 실험결과에 잘 나타나 있다.

그러나 다른 리눅스 운영체제에서 작업을 수행하게 되면 위의 주기성 및 실행시간은 지켜지지 않게 된다. 이 실험을 위해 다른 리눅스 운영체제에서 Xen 소스를 컴파일 하는 작업을 수행하였다. 소스 컴파일 작업은 CPU와 I/O를 모두 사용하는 작업이다. 한편 윈도우에서 동영상을 수행하는 데는 15%미만의 CPU만을 사용하고 또한 리눅스에서의 Xen 소스 컴파일 작업도 20% 미만의 CPU 사용량을 요구하므로 시스템의 전체 CPU 대역폭은 모자라지 않은 상황이다.

한 리눅스 운영체제에서 컴파일을 수행할 경우 윈도우에서의 동영상은 제대로 수행되지 않고 끊김 현상을 보였다. 이때 윈도우 가상 머신 VCPU의 실행 주기는 일정한 모습을 보여주지 못하고 있으며 프레임 처리를 몰아서 하게 되므로 평균적으로 실행시간 또한 길어지게 된다. 이 실험결과 xen의 credit 스케줄러는 동영상 등 주기성을 갖는 소프트 리얼타임 작업에는 적합하지 않으며 이를 개선한 스케줄링 정책이 필요함을 알 수 있다.

본 연구에서 제시하고 있는 소프트 리얼타임 가상 머신 스케줄러는 기존 credit 스케줄러의 동작 방식을 보존하면서 오디오 및 비디오를 포함한 소프트 리얼타임 애플리케이션을 지원하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 크게 다음과 같은 4가지 요소를 지원하려고 한다.

1) Low latency 지원
2) Timely scheduling 지원
3) Over 상태의 소프트 리얼타임 VCPU 지원
4) 마이그레이션 지원

Low latency 지원에서는 소프트 리얼타임 VCPU를 위한 LL-boost 속성을 정의한다. 이미 네트워크 I/O의 지연성을 낮추기 위해 boost 우선 순위가 credit 스케줄러에 존재하는데 소프트 리얼타임 VCPU도 같은 boost 속성을 갖게 한다면 소프트 리얼타임 VCPU보다 먼저 네트워크 I/O를 위한 VCPU가 실행될 수도 있다. 그렇게 된다면 소프트 리얼타임 VCPU의 주기성을 보장하기 힘들어지게 된다. 따라서 본 연구에서는 boost 속성보다 더 높은 우선순위인 LL-boost 속성을 정의하며, VCPU가 LL-boost 속성일 경우 어떤 VCPU보다 항상 먼저 dispatch 되도록 한다. 게스트 운영체제로부터의 하이퍼콜이나 사용자 지정에 의해 VCPU의 LL-boost속성을 지정할 수 있다.

Timely scheduling을 위해 본 연구에서는 최소 수행지속 시간 (SBT)과 비 수행지속 시간 (USBT)을 지정한다. 최소 수행지속 시간 (SBT)은 LL-boost 상태로 최소 얼마만큼의 credit 또는 시간을 소모할 수 있는지를 지정한다. 비 수행지속 시간 (USBT)은 이전의 LL-boost 상태에서 얼마만큼의 시간이 지나야 다시 LL-boost 상태가 될 수 있는지를 지정한다. SBT와 USBT 변수를 조합하면 주기적인 스타일의 스케줄링이 가능하게 된다. 예를 들어 3장의 윈도우에서 동영상을 실행하는 예에서 USBT를 2.3ms로 두고 SBT를 60,000 TSC로 두면 윈도우의 VCPU는 2.3ms의 주기로 실행되면서 최소 60,000 TSC 만큼의 CPU 대역폭을 보장받을 수 있을 것이다.

Over 상태의 소프트 리얼타임 VCPU를 지원하기 위해서 본 연구에서는 credit을 모두 소모한 VCPU의 경우 아주 먼 미래의 credit을 빌려와서 사용할 수 있도록 하는 옵션을 추가할 예정이다. 그러나 이는 서버환경에서 공평성을 해칠 수 있으므로 조심해서 사용되어야 한다.

마이그레이션 지원에서는 멀티코어상에서 로드밸런싱을 할 때 LL-boost 속성을 가진 다른 코어의 VCPU의 마이그레이션을 우선함을 목표로 한다.

현재 제안하는 소프트 리얼타임 credit 스케줄러는 구현 및 실험 중에 있다. 실험에 사용되고 있는 시스템은 인텔 Q6600 쿼드코어 데스크탑 환경이다. Xen은 최신 버전인 4.0 버전을 대상으로 하고 있으며 최소 2개의 윈도우 XP와 다수의 리눅스 운영체제를 대상으로 구현 및 실험 중이다.