QoS를 지원하기 위한 리눅스 클러스터 VOD 서버의 성능 분석

서동만° 방철석 이좌형 김병길 정인범
강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
{ dmseo°, csbang, jhlee, bgkim }@snslab.kangwon.ac.kr, ibjung@kangwon.ac.kr

Performance Analysis Supports for QoS on Linux Clustered VOD Server

Dongmahn Seo° Cheolseok Bang Joahyoung Lee Byounggil Kim Inbum Jung
Dept. Computer Information & Telecommunication Engineering

요 약

비디오 서버는 제한된 자원을 이용하여 보다 많은 사용자에게 안정적인 QoS(Quality of Service)를 제공하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 안정적인 QoS를 지원하기 위한 서버 진입 제어에 관한 연구를 클러스터 형태의 VOD 서버에서 수행하였다. 리눅스 환경에서 구축된 VOD 서버의 성능을 분산 저장 노드의 수와 일반 재생 및 고속 재생의 비율을 변화시키며 측정하였다. 측정한 결과를 토대로 클러스터 VOD 서버의 성능 제한의 원인을 분석하고, 그에 따른 대책을 제안한다. 분석된 자료는 클러스터 VOD 서버에서 진입 제어의 기준을 결정하는 변수들로 사용되어 진다.

1. 서 론

비디오 서버는 제한된 자원을 이용하여 보다 많은 사용자에게 안정적인 QoS를 제공하는 것이 가장 중요하다. 최근 몇 년간 QoS를 유지하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다[1,2,3,4]. 안정적인 QoS는 새로운 사용자의 요청을 받아들일 것인지 결정하는 진입 제어(Admission Control)를 통하여 제공할 수 있다. 진입 제어의 기준이 너무 낮을 경우 비디오 서버의 자원을 충분히 사용하지 않기 때문에 보다 많은 사용자에게 서비스를 제공할 수 없으며, 너무 높을 경우 안정적인 QoS를 보장하기 어렵다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 진입 제어의 기준을 결정하는데 있어 중요한 변수들을 클러스터 VOD 서버의 성능 분석을 통하여 연구한다. 본 연구에서는 구축한 클러스터 VOD 서버의 성능을 계측 프로그램을 통하여 최대 서비스 가능 사용자 수를 분석하여 안정적인 QoS를 지원할 수 있는 효과적인 진입 제어 기준을 제시하였다. 이 기준들은 클러스터 VOD 서버의 안정적인 QoS를 보장하면서 자원을 최대한 활용하여 보다 많은 사용자에게 서비스를 제공할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 연구에 대하여 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 계측을 통한 클러스터링 비디오 서버의 성능을 측정한 방법과 결과를 설명한다. 4장에서는 3장의 결과를 분석하여 진입 제어의 기준들을 정하고 그 결과를 설명한다. 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 연구 계획을 설명한다.

2. 관련 연구

최근 클러스터링 비디오 서버에서의 안정적인 QoS를 지원하기 위한 많은 연구가 있었다. 비디오 데이터의 특성을 고려하여 실시간 스케줄링 기법인 EDF를 이용하는 연구가 있다[3]. 비디오 데이터인 MPEG의 특성을 고려하여 각 프레임간에 우선 순위를 부여하고 서비스 상황에 따라 높은 우선 순위의 프레임을 우선 전송하는 방법에 관한 연구가 있었다[4]. 이러한 연구들은 비디오 데이터의 실시간 적인 특징과 MPEG의 특성을 고려한 것으로서 오프라인 상에서 모든 영화에 대한 정보를 알아내야 하고, 서비스 도중에도 많은 오버헤드가 있다는 단점이 있다. 또한, 비디오 서버의 메모리를 효율적으로 관리하여 QoS를 제공하여 주는 연구가 있었다[1, 2].

이러한 연구들은 오프라인에서의 계산이 필요하며, 서비스 도중에 계산되어야 하는 오버헤드로 인하여 서버의 성능이 오히려 떨어질 수 있는 단점이 있다. 따라서 QoS를 지원하기 위한 내부의 오버헤드를 최소화하면서 안정적인 QoS를 제공하기 위한 연구가 필요하다.

3. 성능 측정

3.1 성능 측정 환경

3.1.1 클러스터 VOD 서버(VODCA)

VODCA는 Video-On-Demand on Clustering Architecture의 약자로 본 연구에서 구축한 리눅스 클러스터 VOD 서버의 애칭이다. VODCA는 부하 분산 서버인 Head-end Sever(이하 HS)와 비디오 데이터를 저장, 관리, 전송하는 Media Management Server(이하 MMS)로 구성되어 있는데 MPEG1과 MPEG2를 지원한다. 각 서버의 구성은 표1의 내용과 같다.

CPU	Intel Pentium4 1.6GHz
메모리	256MB DDR
디스크	Segate Barracuda ATA IV 40GB 7200RPM × 2
운영체제	RedHat 7.3 (Kernel 2.4.18)
네트워크	100Mbps fast-ethernet (Hub : 3Com 3C16465C Super Stack 3)

표 2 비디오 서버의 구성

3.1.2 성능 측정기

성능 측정기는 계측 프로그램(Yardstick Program)과 가상 부하 서버, 가상 부하 클라이언트로 이루어져 있다.

계측 프로그램은 VOD 서버로부터 비디오 데이터를 받아 플레이어를 통해 영화를 재생하는 프로그램으로, VOD 서버의 정상 동작 상태를 감시한다. 프로그램의 구성은 MMS로부터 비디오 데이터를 수신하여 버퍼에 기록하는 수신부와 버퍼에서 현재 상영하고 있는 순서에 가장 인접한 순서의 비디오 데이터를 읽어 파이프에 쓰는 재조합부, mplayer를 이용하여 파이프로부터 데이터를 받아 화면에 영화를 보여주는 상영부로 구성되어 있다.

가상 부하(Load) 서버는 HS 노드에서 가상 부하 클라이언트에게 영화를 전송하도록 MMS에 요청하는 역할을 수행한다.

가상 부하 클라이언트는 MMS로부터 비디오 데이터 1.5Mbits를 수신한 시간을 측정하고, 1초에서 그 시간을 제외한 만큼 *usleep()* 함수를 이용하여 대기하도록 함으로서 영화의 대역폭 요구량에 맞게 비디오 데이터를 소모하여 실제 클라이언트와 동일한 부하를 서버에 준다. 가상 부하 클라이언트는 리눅스 PC를 이용해 구현되었다. PC 하나가 30개의 클라이언트만큼의 부하를 서버에 준다. 스위치 허브 입출력 포트 하나에 30개의 클라이언트가 연결되며, 총 14대의 PC를 연결했다..

3.1.3 비디오 데이터

사용된 비디오 데이터는 MPEG 1의 영화 두 개를 이용하였다. 사용된 영화는 표 2와 같다.

구 분	영화 1	영화 2	비고
영화 제목	John Q	Ice Age	
프레임 수	352 × 288	352 × 288	
초당 프레임 수	25	25	
대역폭 요구량	179.7B/s	179.7B/s	
프레임 시간	0.04 sec	0.04 sec	
영화 상영시간	110 분	85 분	
GOP 크기 (최대-평균-최소)	252.9-124.1-7.4	281.7-120.8-20.8	KB
I-frame 크기 (최대-평균-최소)	43.6-25.8-6.9	50.2-22.8-6.6	KB
Header 크기	4910 Bytes	2558 Bytes	

표 3 사용 영화 정보

사용자들의 영화 요청은 λ=0.25의 포아송 분포를 따른다고 가정하고 요청을 발생시켰다[2, 5]. 영화의 분산 저장 단위는 GOP의 크기와 같고, Fast Forward, Fast Rewind와 같은 고속 재생은 GOP내I-frame만을 클라이언트에게 전송한다. I-frame의 크기와 초당 프레임 수를 고려하여 계산한 결과 약 5Mbps의 대역폭을 필요로 함을 알 수 있었다. 성능 측정은 각 영화의 대역폭 요구량을 만족시키는 최대의 클라이언트 수를 측정한다. 모든 측정값은 5회 측정한 값의 평균이다. 각 MMS 노드는 비디오 데이터를 두 개의 디스크에 다시 분산하여 저장하였다.

3.2 성능 측정 결과

3.2.1 일반 재생만 서비스되는 경우

그림1은 영화를 분산 저장하는 노드의 수에 따른 성능의 변화를 나타낸다. MMS 노드의 수가 4일 때까지는 성능이 향상되지만, 그 이상으로 노드의 수가 많아져도 성능 향상의 정도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 성능 측정 당시 각 노드의 CPU 사용량을 측정해 본 결과 최대 10%를 넘지 않았다. 따라서 네트워크의 대역폭, 각 노드의 디스크 대역폭, 메모리 사용량을 그 원인으로 생각해 볼 수 있다. 이론상 100Mbps의 네트워크 대역폭에서 MPEG 1, 2의 전송 대역폭 요구량 1.5Mbps로 나누어 보면 약 66개의 클라이언트를 지원할 수 있다. 따라서 6개 노드에서 약 396개의 클라이언트를 지원 할 수 있어야 하지만 영화 2의 경우 230개의 클라이언트를 지원하는 것으로 측정되었다.

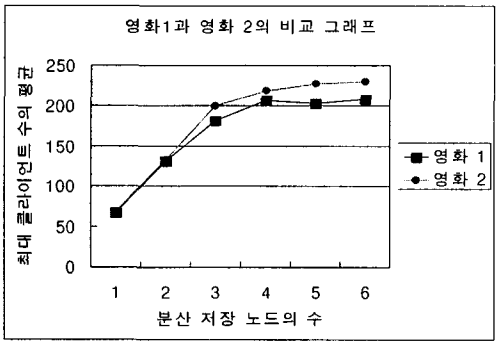

그림 1 분산 저장 노드의 수에 따른 성능 측정 결과

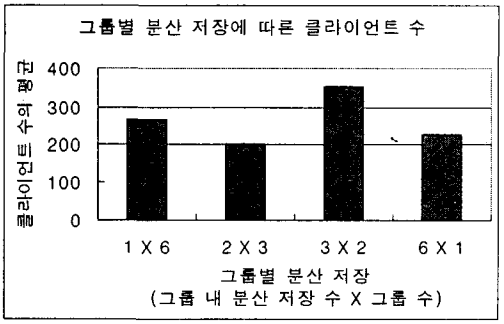

그림 2 그룹별 분산 저장에 따른 성능 측정 결과

그림 2는 그룹별 분산 저장에 따른 클라이언트의 수를 보여 주고 있다. 3개 노드에 하나의 영화를 분산 저장하고 총 두 개의 그룹으로 MMS를 구성하였을 때 354.1개로 가장 높은 성능을 나타내었다. 따라서 그림 1에서 분산 저장 노드의 수가 4개 이상일 경우의 성능 향상의 정도가 떨어지는 원인을 네트워크로 보기 어렵다. 각 노드의 디스크 전송 속도는 최대 100MB/s이고, 지속 전송 속도는 22~41MB/s이다[6]. 이는 네트워크의 대역폭을 능가하는 속도이므로 디스크의 대역폭은 성능 확장성 감소 원인이 아니라고 할 수 있다. 따라서 그 원인은 각 노드의 메모리라고 생각해 볼 수 있다. MMS 노드에서는 스트림 하나 당 최소 두 개의 버퍼를 가진다. 버퍼의 크기는 분산 저장 단위인 GOP의 크기와 같다. 따라서 영화 2의 GOP 크기를 버퍼의 크기라고 생각하면 스트림 하나 당 평균 240KB, 최대 563.4KB의 메모리를 필요로 하게 된다. 실제로 성능 측정 당시 메모리 사용량을 측정해 본 결과 스트림 하나

당 1300~1500KB정도의 메모리를 사용하고 있었다. 따라서 MMS의 노드의 메모리가 256MB임을 감안한다면 187~201개 이상의 스트림을 지원하는 경우 메모리가 부족하게 되어 메모리 스왑(swap)이 일어나고, 이는 결국 페이지 폴트(page fault)를 발생하여 시스템의 확장성 있는 성능을 저해하는 요인이 되고 있다. 그림 1에서 200개의 클라이언트를 넘어서면서부터 성능 향상의 정도가 확연하게 떨어지는 이유는 각 노드의 메모리 때문임을 확인 할 수 있었다.

3.2.2 일반 재생 및 고속 재생이 동시에 서비스되는 경우

	노드 6개 × 1개 그룹		노드 3개 × 2개 그룹	
	고속	일반	고속	일반
10%	239	231.8	378.2	354.1
20%	275.4		389	
30%	279.2		319	

표 4 고속 재생 비율에 따른 성능 측정 결과

고속 재생 비율에 따른 성능 측정 결과는 표 3과 같다. 좌측의 %로 나타낸 수치는 전체 클라이언트 수중에서 고속 재생을 요청한 클라이언트의 비율을 나타낸다. 고속으로 표현된 것은 일반 재생과 고속 재생을 모두 포함한 수치이다. 일반 재생만으로 성능 측정을 했을 때 보다 고속 재생이 일정 비율로 포함되는 경우 보다 좋은 성능을 나타내고 있다. 이런 결과는 전송하는 단위에 따라 버퍼의 크기가 결정되기 때문이다. 일반 재생의 경우 전송 단위가 GOP이고 고속 재생의 경우 단위가 I-frame이어서 상대적으로 고속 재생 일 때가 메모리를 적게 소모하기 때문이다. 표2에서 영화 2의 평균 GOP크기는 120KB이지만 평균 I-frame의 크기는 22.8KB로 약 1/6작다. 일반 재생일 경우 스트림 하나 당 평균 240KB의 버퍼가 필요하지만 고속 재생일 경우 스트림 하나 당 평균 45KB의 버퍼가 필요하다. 그러므로 스트림 하나 당 사용하는 메모리의 크기가 줄어들어 보다 많은 스트림 개수를 제공하게 되는 것으로 관측되었다.

4. 결과 분석

본 연구에서는 분산 저장 노드의 수와 일반 재생 및 고속 재생의 비율에 따른 각각의 성능을 측정하였다. 분산 저장 노드의 수에 따라 점차 성능이 향상되는 것을 관찰할 수 있었으나, 노드가 4개 이상이 되어 클라이언트의 수가 200개가 넘을 경우 성능 확장성이 현저하게 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 또한 일반 재생만으로 서비스하는 것 보다 고속 재생이 일정 비율 포함되면 보다 많은 클라이언트를 서비스 할 수 있음을 측정하였다. 고속 재생의 경우 I-frame 만을 클라이언트에 전송하기 때문에 최대 5Mbps의 대역폭을 필요로 하지만, 그 대역폭을 충족시키지 못하여도 서비스가 가능하기 때문에 네트워크에 의해 지연되어도 충분히 서비스가 가능하였다. 따라서 상대적으로 메모리를 적게 사용하는 고속 재생의 비율이 높아짐에 따라 전체 스트림의 개수도 증가된 것으로 해석되었다.

3장의 성능 측정 결과 실제로 구현된 클러스터 VOD 서버에서 성능 제한의 요인이 메모리에 있음을 알 수 있었다. 따라서 클러스터 비디오 서버의 진입 제어의 기준을 각 노드의 메모리 크기에 따라 결정해야 한다. 본 논문의 VODCA의 경우 각 노드에서 서비스하는 영화의 GOP의 크기에 의한 버퍼의 크기와 해당 노드의 메모리 크기를 이용하여 진입 제어의 기준을 결정하였다. 시험에 사용된 영화 데이터 하나의 경우 일반 재생 클라이언트 수가 200을 넘지 않도록 진입을 제어하면 보다 안정적인 QoS를 제공 할 수 있다. 고속 재생이 포함되는 경우에는 고속 재생이 일정 20% 이하로 유지하면서 각 노드당 일반 재생 클라이언트 수를 메모리 크기와 GOP 크기를 주요 매개 변수로 하여 진입 제어의 기준을 정하여 QoS를 만족시킬 수 있는 서비스를 제공 할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 안정적으로 QoS를 지원하기 위해 계측을 통하여 클러스터링 비디오 서버의 성능을 측정하고 분석하여 보았다. 스트라이핑 노드의 수, MMS의 활용 변화, 고속 재생의 비율에 따른 각각의 성능을 측정해 보았다. 측정한 결과를 토대로 성능 제한의 원인을 분석해 보았으며, 안정적인 QoS를 제공하기 위한 진입 제어의 자료로 활용될 수 있음을 확인해 보았다. 향후에는 분산 저장의 크기에 따른 버퍼의 크기가 클러스터 VOD 서버에 미치는 영향에 대한 연구를 하고자 한다.

6. 참고 문헌

[1] 김순철, 조유근, "가변 비트율을 이용하는 주문형 비디오 서버에서의 효율적인 버퍼 관리 기법", 정보과학회논문지 (A) 제25권 제2호, pp. 177-186, 1998

[2] 원유집, "주문형 비디오 서버의 버퍼 최소화를 위한 가변적 서비스 모드 변환", 정보과학회논문지:시스템 및 이론 제28권 제5호, pp. 213-227, 2001

[3] Wanghong Yuan, Klara Nahrstedy, Kihun Jim, "R-EDF: A Reservation-Based EDF Scheduling Algorithm for Multiple Multimedia Task Classes", IEEE RTAS, 2001

[4] Joseph Kee-Yin Ng, Calvin Kin-Cheung Hui, Wai Wong, "A Multi-server Design for a Distributed MPEG Video System with Streaming Support and QoS Control", IEEE RTCSA, 2000

[5] 이상호, 문양세, 황규영, 조완섭, "주문형 비디오 시스템에서의 동적 버퍼 할당 기법", 정보과학회논문지 : 시스템 및 이론 제28권 제9호, pp. 442-460, 2001

[6] Segate Barracuda ATA IV 데이터 시트 (http://www.seagate-asia.com/seagatefiles/korea/pdf/Barracuda_ATA4-KR(Datasheet).pdf)

[7] D. James Gemmell, Harrick M. Vin, Dilip D. Kandlur, P. Venkat Rangan, "Multimedia Storage Servers : A Tutorial and Survey" , IEEE Computer, pp . 40-49, May 1995.

[8] 배인한, 천성광, "분산 주문형 비디오 시스템을 위한 영화 할당 알고리즘의 설계 및 평가", 정보과학회논문지(A) 제25권 제6호, pp. 536-548, 1998

[9] 안유정, 원유헌, "주문형 비디오 저장 서버에서 디스크 성능을 고려한 저장 시스템의 구조와 비디오 데이터의 특성에 따른 배치 정책", 정보과학회논문지(A) 제26권 제11호, pp. 1296-1304, 1999