

2 계층 VOD 서비스망에서의 트래픽 분석과 저장용량 결정

Traffic analysis and Storage allocation in a hierarchical two level network for VOD service

김여근* · 김재윤* · 박승현** · 강성수**

* 전남대학교 공과대학 산업공학과, ** 한국 전자 통신 연구소 다중전송 연구실

Abstract

It is generally recognized that Video On Demand (VOD) service will become a promising interactive service in B-ISDN. We consider a hierarchical two level network architecture for VOD service. The first level consists of connected Local Video Servers(LVSs) in which a limited number of high vision programs are stored. The second level has one Central Video Server(CVS) containing all the programs served in the network.

The purpose of this paper is to analyze the network traffic and to propose the storage policy for LVSs. For this purpose, we present an analysis of program storage amount in each LVS, transmission traffic volume between LVSs, and link traffic volume between CVS and LVSs, according to changing the related factors such as demand, the number of LVS, etc. A method for finding out storage capacity in LVSs is also presented on the basis of the tradeoffs among program storage cost, link traffic cost, and transmission cost.

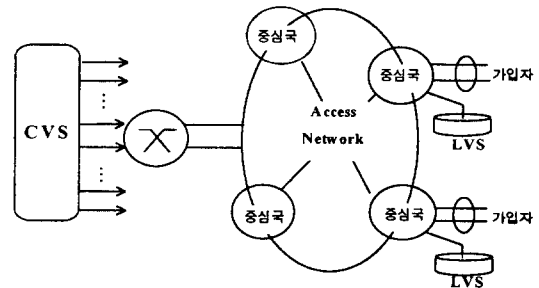
1. 서론

최근 영상 정보의 압축·복원 기술, 전송 기술, 그리고 저장 기술 등의 발달로 높은 대역폭을 갖는 대화형 서비스가 가능하게 되었다. 이러한 흐름 속에서 차세대 초고속 정보 통신망의 기본 플랫폼으로 등장한 주문형 비디오(Video On Demand : VOD) 서비스는 가입자들의 요구에 따라 실시간으로 프로그램을 방영하며, 개인용 VCR 과 같은 기능을 제공하는 비대칭 양방향 서비스이다.

VOD 서비스의 전송 논리망은 계층 구조 또는, 비계층 구조로 제안되고 있다. 계층 구조는 흔히 중앙 비디오 서버(Central Video Server: CVS)와 지역 비디오 서버(Local Video Server: LVS)를 각 계층에 두어 시스템을 구성한다. 반면에 CVS 가 존재하지 않는 비계층 구조는 LVS 만으로 시스템이 구성되며, 지역 단위의 서비스에 적합한 형태이다[3, 6].

계층 구조에서 CVS 는 모든 프로그램을, LVS 는 일부 프로그램만을 저장하며, LVS 에 저장되어 있지 않은 프로그램은 CVS 에서 서비스한다. 계층 구조를 갖는 VOD 서비스망에서 트래픽 분산을 위한 기존 연구[1,4,5]는 동일 계층간 프로그램 전송

을 허락하지 않고 있다. 본 연구에서는 [그림 1]과 같이 하위 계층에 여러 개의 연결된 LVS 가 있고, 이들이 상위 계층에 있는 CVS 에서 서비스를 제공 받는 2 계층 구조의 서비스망을 다룬다.



[그림 1] 제안된 2 계층 구조의 VOD 망

2 계층 구조의 VOD 서비스망에서 CVS 는 모든 프로그램을 저장하며, LVS 는 선호도가 높은 프로그램을 저장한다. 이는 인기 프로그램이 수요의 대부분을 차지할 것으로 예상됨에 따라 많은 수요를 갖는 프로그램을 LVS 에 저장하여 CVS 와 LVS 간 트래픽을 감소시키기 위한 것이다.

[그림 1]과 같은 VOD 서비스망에서 서비스 시나리오는 아래와 같다고 본다. 첫째, 가입자가 신청한 프로그램이 LVS 에 저장되어 있는 경우, 신청자와 연결된 LVS 에서 신청 프로그램의 서비스 불러킹이 발생하지 않으면 자신의 LVS 에서 서비스를 받고, 그렇지 않은 경우는 동일 계층 내의 다른 LVS 로 부터 프로그램을 전송받는다. 물론 이때 다른 모든 LVS 로 부터 신청한 프로그램을 제공받을 수 없으면 CVS 로 신청하게 된다. 둘째, 가입자의 신청 프로그램이 LVS 에 저장되어 있지 않은 경우, CVS 에서 서비스 불러킹이 발생하지 않으면 서비스를 제공받는다.

본 연구에서는 제안한 서비스망에서 인기 있는 프로그램을 LVS 에 저장하는 경우의 망 내 트래픽을 분석하고, LVS 의 프로그램 저장 정책을 제안한다. 이를 위해 제안한 서비스망에서 LVS 의 프로그램 저장량, LVS 간 전송트래픽량, CVS 와 LVS 간

링크 트래픽량을 분석한다. 또한, 저장비용, 전송비용, 링크비용으로 계산되는 총 비용을 최소로 하는 LVS의 적정 프로그램 저장용량을 결정한다.

2. VOD 트래픽 분석

트래픽 분석을 위해 모든 LVS에 저장하는 프로그램의 종류는 같다고 본다. 각 LVS의 프로그램 선호도와 서비스 블럭킹 확률은 동일하고 용량 제약은 없다고 가정한다. 또한, 각 가입자의 서비스 도착 시간 간격 분포는 지수 분포, 서비스 시간은 평균이 100분인 임의의 분포를 따른다고 보고, 가입자의 대기 행태는 어랑 B모형으로 가정한다[2].

본 장에서는 시스템 내의 모든 프로그램이 선호도를 기준으로 정렬되어 있을 때 선호도가 높은 k 번째 프로그램까지 LVS에 저장하는 경우 LVS의 저장량, LVS간 전송트래픽량, CVS와 LVS간 링크트래픽량을 분석한다. 이 때 LVS와 가입자간 트래픽은 전용 링크를 통해 서비스가 이루어 진다고 가정하고 트래픽 분석에 포함시키지 않는다. 분석에 사용되는 기호들을 아래와 같이 정의한다.

i	: 프로그램의 선호도 첨자	$i = 1, \dots, I$
n	: LVS의 번호	$n = 1, \dots, N$
LBp	: 각 LVS의 서비스 블럭킹 확률	
CBp	: CVS의 서비스 블럭킹 확률	
$D_n(i)$: LVS n 에서 선호도가 i 번째인 프로그램 공급량	
DL_n	: CVS와 LVS간 필요 링크 수	
U_n	: LVS n 에서 서비스 하는 VOD고객 수	
R	: 최번시 집중율	
S	: 단위 프로그램에 대한 다중 액세스 수	
T_m	: 한 프로그램의 평균 서비스 시간	
p_i	: 선호도가 i 번째인 프로그램의 시청 비율	
$[x]^+$: x 보다 큰 최소의 정수	

i 번째 프로그램 선호도 p_i 는 [1]와 [3]에 의해 각각 식(1)과 식(2)와 같이 제안되었다.

$$p_i = \frac{p_{i-1}}{D_{HP}}, \quad i > 1 \quad p_1 = \frac{1 - (1/D_{HP})}{1 - (1/D_{HP})^I} \quad (1)$$

$$p_i = \frac{1/i}{\sum_{j=1}^I 1/j} \quad (2)$$

제안한 서비스망에서 LVS에 선호도가 k 번째인 프로그램까지 저장할 때 LVS의 총 트래픽량은 식(3)과 같이 된다.

$$STraffic = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k D_n(i) \quad (3)$$

여기서 $D_n(i)$ 는 LVS n 에서 선호도가 i 번째인 프로그램의 공급량으로 식(4)와 같이 각 프로그램의 단위 시간 내 트래픽량인 트래픽 밀도(Traffic intensity) a 와 LVS의 서비스 블럭킹 확률 LBp 의 함수로 표현된다.

$$D_n(i) = F(LBp, a) \quad (4)$$

어랑 B 모형에서 모든 채널이 서비스하게 될 확률 P_B 는 시스템 안에 s 명의 고객이 있을 확률과 같으므로

$$P_B = B(s, a) = \frac{a^s / s!}{\sum_{j=0}^{\infty} a^j / j!} \quad (5)$$

이다. 서비스 블럭킹 확률 LBp 를 만족하는 LVS n 에서의 프로그램 i 에 대한 공급량 $D_n(i)$ 는 $P_B \leq LBp$ 를 만족하는 가장 적은 s 가 된다. 식(4)와 (5)에서의 a 는 트래픽 밀도로서, 이는 각 LVS의 가입자수 U_n 최번시 집중율 R , 그 프로그램이 차지하는 시청 비율 p_i 와 평균 서비스 시간 T_m 의 곱으로 계산되는 트래픽량(Traffic volume)을 단위 시간으로 나눈 값이 된다. 그리고 서비스 블럭킹 확률 LBp 는 서비스 제공자에 의해 결정된다고 본다.

LVS의 프로그램 저장량은 식(3)의 총 트래픽량을 다중 액세스 수로 나눈 값이 된다. 따라서, 제안한 계층 구조에서 LVS의 총 프로그램 저장량은 식(6)과 같이 계산된다.

$$Storage = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k \left[\frac{D_n(i)}{S} \right]^+ = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k \left[\frac{F(LBp, (U_n \cdot R \cdot p_i \cdot T_m) / \text{unit time})}{S} \right]^+ \quad (6)$$

LVS n 을 제외한 모든 LVS에서 프로그램 i ($i \leq k$)를 LVS n 으로 전송 하는 트래픽량은 LVS n 에서의 블럭킹 확률에서 모든 LVS가 블럭킹될 확률을 뺀 값에 식(4)에서 구한 $D_n(i)$ 를 곱한 값이 된다. 따라서, N 개의 LVS가 있는 시스템에서 k 번째 프로그램까지 LVS에 저장한다면 LVS간 전송트래픽량은 식(7)과 같이 된다.

$$TTraffic = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k \{ D_n(i) \times LBp - D_n(i) \times (LBp)^N \} \quad (7)$$

CVS와 LVS 간 필요 링크수 DL_n 은 CVS에서 LVS n 에 서비스를 제공함에 따라 발생하는 트래픽 밀도와 CVS의 서비스 블럭킹 확률 CBp 의 함수로 표현되며, $D_n(i)$ 를 구할 때와 동일한 방법으로 계산된다.

$$DL_n = F(CBp, a1, a2) \quad (8)$$

이 때 트래픽 밀도는 모든 LVS의 블럭킹으로 CVS에서 서비스를 제공하여 발생하는 트래픽 밀도

$$a1 = \sum_{i=1}^k \{ (LBp)^N \cdot D_n(i) \} \quad (9)$$

와 LVS에 저장되어 있지 않은 프로그램을 서비스하여 발생하는 트래픽 밀도

$$a2 = (U_n \cdot R \cdot \sum_{i=1}^I p_i \cdot T_m) / \text{unit time} \quad (10)$$

으로 구성된다.

따라서, 제안한 서비스망에서 k 번째 프로그램까지 LVS에 저장할 때 CVS와 LVS간 링크트래픽량은 식(11)과 같이 된다.

$$LTraffic = \sum_{n=1}^N DL_n = \sum_{n=1}^N F(CBp, \sum_{i=1}^k \{ (LBp)^N \cdot D_n(i) \}, (U_n \cdot R \cdot \sum_{i=1}^I p_i \cdot T_m) / \text{unit time}) \quad (11)$$

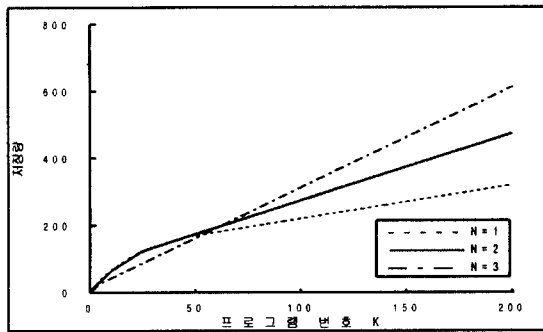
3. 트래픽 분석 실험

트래픽 분석을 바탕으로 LVS 에 저장된 프로그램 종류의 수에 따른 LVS 의 총 저장량, CVS 와 LVS 간 링크트래픽량과 LVS 간 전송트래픽량을 분석한다.

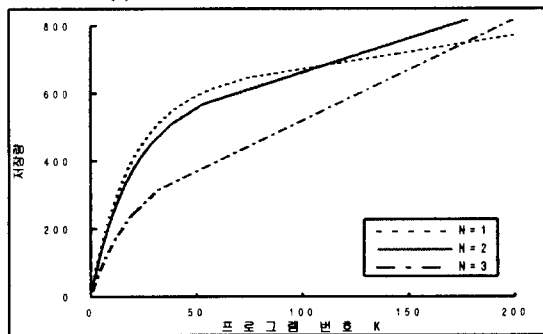
[표 1] 분석에 사용된 파라미터와 값

파라미터	값
CVS 가입자수	10,000/50,000 명
최번시 집중율(R)	0.1
LVS level 의 블럭킹 확률(LBp)	0.005
CVS 의 서비스 블럭킹 확률(CBp)	0.00001
한 프로그램의 평균 서비스시간(T_m)	100 분
다중 액세스 수(S)	10
프로그램 종류 수(I)	200

분석에 사용된 파라미터와 값은 [표 1]과 같다. i 번째 프로그램 선호도는 식 (1)을 이용했으며, D_{HP} 는 1.06 으로 하였다. 각 LVS 의 가입자수는 동일하며, 서비스 단위 시간은 100 분, LVS 의 블럭킹 확률은 LVS 수에 따라 변한다고 본다. 즉, LVS level 의 블럭킹 확률이 0.005 이라는 의미는 LVS 의 수가 하나일 때는 그 확률이 0.005 이지만 LVS 가 2 개일 때는 LVS 하나의 블럭킹 확률은 약 0.07 로 상승함을 의미한다.



(a) 최번시 평균 신청자 수 1,000 명

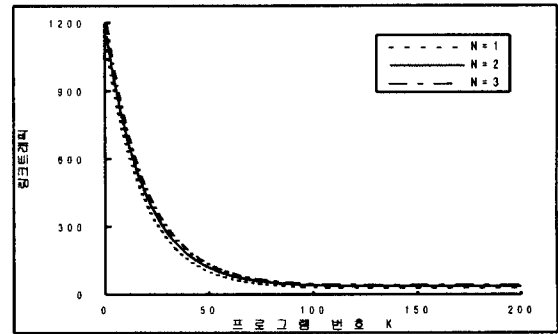


(b) 최번시 평균 신청자 수 5,000 명

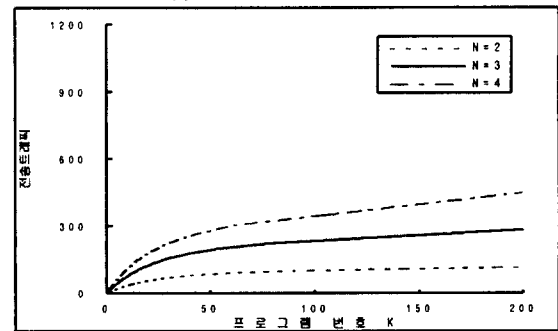
[그림 2] LVS 의 프로그램 저장량

[그림 2]는 저장된 프로그램 종류의 수 변화에 따른 LVS 의 총 저장량을 나타낸다. X 축은 저장된 프로그램 종류를, Y 축은 총 N 개의 LVS 에 저장된

프로그램량을 나타내고, 프로그램 한 편을 기본 단위로 한다. (a), (b)로 부터 LVS 의 저장용량의 측면에서 수요가 많을수록, 그리고 각 LVS 의 저장용량이 적은 경우에 다수의 LVS 를 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 즉, 수요가 적거나 저장용량이 큰 LVS 가 주어진 경우는 다수의 LVS 를 설치하는 것이 유리하지 못함을 보이고 있다.



(a) 링크트래픽량의 변화



(b) 전송트래픽량의 변화

[그림 3] 트래픽의 변화

[그림 3]은 LVS 에 저장하는 프로그램 종류 수의 증가에 따른 링크트래픽량과 전송트래픽량의 변화를 나타내고 있다. CVS 의 가입자수는 10,000 명, 다른 파라미터는 [표 1]과 같다. 트래픽은 서비스를 제공하는 프로그램 수를 기본 단위로 한다. 인기 프로그램을 LVS 에 저장하는 것이 링크트래픽량을 줄이는데 효과적임을 알 수 있다.

이 밖에, 다중 액세스 수는 LVS 의 저장용량 결정에 크게 영향을 주게 되며, 프로그램의 선호도 차가 큰 경우는 링크트래픽의 감소량이 크고 다중 액세스의 효과가 크게 된다.

4. LVS 의 저장용량 결정

본 장에서는 LVS 의 저장비용, LVS 간의 전송비용, CVS 와 LVS 간의 링크비용으로 구성되는 총 비용을 최소화 하는 LVS 의 저장용량을 결정하고자 한다. 이 때, CVS 에서의 저장비용은 여러 그룹의 LVS 와 공유되므로 총 비용에 포함시키지 않는다. 저장비용이 상대적으로 매우 저렴하다면 많은 프로그램을 LVS 에 저장함으로써 CVS 와 LVS 간 링크

를 거의 사용하지 않을 수 있다. 반대의 경우로 링크비용이 다른 비용에 비해 저렴하다면 모든 프로그램을 CVS에 저장하여 서비스함으로써 저장비용을 줄일 수 있다.

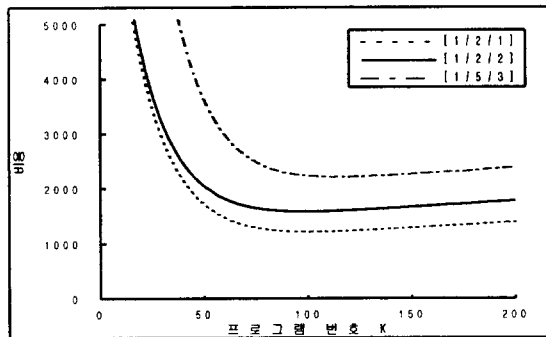
C_s 는 LVS의 단위 저장비용이며, 모든 LVS의 단위 저장비용은 같다고 본다. C_l 는 LVS간 단위 전송비용이고, 전송비용은 전송 트래픽량에 의해 결정된다고 가정한다. C_L 은 CVS와 LVS간 단위 링크비용이고, CVS와 모든 LVS간의 단위 링크비용은 같다고 가정한다. 그리고, 각 비용은 트래픽량에 선형으로 비례한다고 본다. 식 (12), (13), (14)는 각각 저장비용, 전송비용, 링크비용이고, 이는 앞에서 구한 프로그램 저장량, 전송트래픽량, 링크트래픽량에 각각 단위 비용을 곱한 것이 되고, 총 비용은 이들의 합이 된다.

$$Cost1 = C_s \times \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \left[\frac{D_{ij}(i)}{S} \right] \quad (12)$$

$$Cost2 = C_l \times \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \{ D_{ij}(i) \times LBP - D(i) \times (LBP)^x \} \quad (13)$$

$$Cost3 = C_L \times \sum_{i=1}^k DL_i \quad (14)$$

LVS에 저장하는 프로그램 종류의 번호 k 가 증가함에 따라 저장비용과 전송비용은 증가하며, 링크비용은 감소되므로 이러한 비용간의 상충(trade-off) 관계를 이용하여 총 비용을 최소화 하는 k^* 를 결정한다. LVS의 저장 용량은 선호도가 1위 부터 k^* 인 프로그램까지의 수요량 합이 된다.



[그림 4] 총 비용의 변화

[그림 4]는 LVS에 저장하는 프로그램 종류 증가에 따른 총비용을 나타낸다. 저장비용보다 링크비용이 비쌀 것으로 예상되고 각 비용은 가변적이므로 비용을 상대적 비율로 두었고, 그림에서의 비용은 저장비용, 링크비용, 전송비용의 순이다. LVS는 2개, 최번시 평균 신청자 수는 1,000명인 시스템이며, 기타 다른 파라미터는 [표 1]과 같다. 그리고, 각 LVS의 저장량과 평균 수요량은 같다고 가정한다.

분석 결과, 총비용을 최소화 하는 프로그램 번호 k^* 는 약 75임을 알 수 있다. 인기 프로그램을 LVS에 저장하면 링크비용의 감소 정도가 저장비

용의 증가 정도보다 커져 총 비용을 감소시킬 수 있으나, 비인기 프로그램을 저장하면 오히려 총 비용은 상승하게 된다. 또한, 저장비용과 링크비용의 상대적인 차이가 클수록 k^* 가 커짐을 알 수 있다.

따라서, 수요량과 비용이 LVS의 저장용량 결정에 많은 영향을 미침을 알 수 있으며, 이 밖에 다중 액세스 수와 수요 함수도 중요한 파라미터로 작용할 것으로 본다.

5. 결론

본 연구에서는 VOD 서비스를 위한 2계층 구조를 제안했으며, 제안한 구조에서 인기 프로그램을 LVS에 저장하는 경우의 망내 트래픽 분석과 LVS의 프로그램 저장정책을 제안하였다.

제안한 정책의 효과 분석을 위해 LVS에 저장하는 프로그램 종류의 수 증가에 따른 LVS의 저장량, LVS간 전송트래픽량, CVS와 LVS간 링크트래픽량을 분석하였다. 분석 결과, 모든 LVS의 저장용량 측면에서 수요가 많고 한 LVS의 저장용량이 적을 때 다수의 LVS가 효과적임을 알 수 있었다. 또한 다중 액세스 기술과 프로그램 선호도는 프로그램 저장량에 크게 영향을 주었으며, 총 비용을 최소로 하는 LVS의 적정 프로그램 저장량을 결정하는 방법을 제안하였다.

본 연구는 수요에 따른 트래픽 분석과 망내에 집중되는 트래픽 부하의 분산을 위한 LVS의 저장 정책 수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

- [1] Giovanni L.D, Langellotti A.M., Patitucci L.M., Petrini L., 1994, Dimensioning of Hierarchical Storage for Video on Demand Services, IEEE ICC '94, 1739-1743.
- [2] Kleinrock L., Queueing Systems, Volume 1 : Theory, 1974.
- [3] Nishioka M., Murase K., Uchimura K., 1993, The Load Distribution Method on Video on Demand Service, technical report of IEICE, 4, 15-22.
- [4] Ramarao R. and Ramamoorthy V., 1991, Architectural Design of On-Demand Video Delivery Systems : The Spatio-Temporal Storage Allocation Problem, IEEE ICC '91, 506-510.
- [5] Schaffa F. and Nussbaumer J.P., 1995, On Bandwidth and Storage Tradeoffs in Multimedia Distribution Networks, IEEE INFOCOM '95, 1020-1026.
- [6] Tanaka Y, Berlage O., 1994, Storage Allocation Policies in Distribution Networks for a Video-on-Demand Service, IEICE, 181-186.