

분산 VOD 시스템의 트래픽 분석과 계층적 프로그램 저장에 관한 연구

이 태 훈[†] · 김 옹 득^{††}

요 약

Video On Demand (VOD) 서비스는 광대역 종합 정보 통신망을 기반으로 하는 대화형 멀티미디어 서비스 중 가장 유용한 서비스로 인식되고 있다. 다수의 가입자가 각각 보고싶은 프로그램을 시청할 수 있는 요구 즉시형 VOD 시스템에서 중앙 비디오 서버만 둘 경우, 비디오 서버가 각 가입자와 점 대 점 연결을 이루면서 다량의 영상정보를 실시간으로 제공해야하기 때문에 가입자가 소수일 때는 서비스 가능하다. 그러나 가입자 수가 많아지면 프로그램 전송망과 비디오 서버에 집중되는 트래픽을 분산시키는 것은 매우 중요하다.

본 논문은 비디오 서버들의 분산 구성과 이들을 연결하는 전송망에 대해 분석하며, 제시한 전송망을 모델로 망 내 트래픽을 분석하고 지역 비디오 서버에 프로그램을 저장하는 방식을 제안한다.

이를 위해 수요량, 지역 비디오 서버의 수, 시청 선호 확률 등 트래픽 파라미터의 변화에 따른 지역 비디오 서버의 프로그램 저장량, 지역 비디오 서버간의 전송 트래픽량, 중앙 비디오 서버와 지역 비디오 서버간의 링크 트래픽량을 분석한다. 그리고, 프로그램 저장 비용, 지역 비디오 서버간 전송 비용, 중앙 비디오 서버와 지역 비디오 서버간 링크 비용으로 계산되는 총 비용을 최소화 하는 지역 비디오 서버의 적정 프로그램 저장량 결정한다.

A Study on Traffic Analysis and Hierarchical Program Allocation for Distributed VOD Systems

Tae-Hoon Lee[†] · Yong-Deak Kim^{††}

ABSTRACT

It is generally recognized that Video On Demand (VOD) service will become a promising interactive service in the emerging broadband integrated services digital networks. A centralized VOD system, all programs are stored in a single VOD server which is linked to each user via exchanges, is applicable when a small number of users enjoys the VOD service. However, in case of large service penetration, it is very important to solve the problems of bandwidth and load concentrating in the central video server(CVS) and program transmission network.

In this paper, the architecture of the video distribution service network is studied, then a traffic characteristics and models for VOD system are established, and proposed program allocation method to video servers.

For this purpose, we present an analysis of program storage amount in each LVS(Local Video Server), 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, vision probability, etc. A method for finding out

† 중신회원:광주대학교 전자계산학과

†† 정 회 원:아주대학교 전자공학과

논문접수:1997년 1월 21일, 심사완료:1997년 7월 4일

storage capacity in LVSS is also presented on the basis of the tradeoffs among program storage cost, link traffic cost, and transmission cost.

1. 서 론

통신망의 초고속화와 광대역화, 그리고 영상정보 통신을 위한 처리기술의 비약적인 발전에 따라 보고 싶은 시간에, 보고 싶은 곳에서, 보고 싶은 프로그램을 실시간으로 시청할 수 있는 요구형 비디오(VOD) 서비스 제공이 가능하게 되었다. 가까운 장래에 ATM 방식의 초고속 정보통신망이 구축될 때, 기존의 통신 서비스에 비해 가장 큰 서비스의 차별화를 가져올 수 있는 것 중의 하나가 멀티미디어를 기반으로 한 VOD 서비스이기 때문에 이를 구현하기 위한 연구와 분석이 필요하다. 여기에는 많은 양의 영상정보를 처리, 저장하고 다수의 가입자가 요구한 영상정보를 실시간으로 제공하기 위한 비디오 서버, 전송망, 시스템 및 서비스 제어 등에 관한 연구가 기본적으로 포함된다.

VOD 서비스는 비디오 프로그램을 제공하는 방식에 따라 요구 즉시형 VOD(VOD-i: VOD instance), 대기형 VOD(VOD-d: VOD delayed), 그리고 NVOD(Near VOD) 등 크게 3가지로 구분한다. VOD-i는 프로그램을 요구한 후 대기시간이 거의 없이 실시간으로 서비스를 제공하는 방식이고 VOD-d는 프로그램을 요구한 후로부터 수분에서 수 십분 정도까지 기다림을 허용하는 방식이며, NVOD는 시청요구가 많은 프로그램을 수분에서 수 십분의 일정한 시간간격을 두고 시작 시간을 달리해서 방영하는 방식이다. VOD 서비스 제공에 있어서 VOD-d나 NVOD는 하나의 프로그램 전송에 복수의 가입자가 접속되어 서비스를 받는 분배형 서비스로 볼 수 있으며 이미 구비된 한정된 자원을 효과적으로 이용하여 VOD 서비스를 제공하고자 하는 방식이다. 이에 비해 VOD-i는 마치 집 안에 있는 VCR을 이용하여 비디오 테이프에 있는 프로그램을 보듯이, 시청 도중에 일시 멈춤, 되감기, 뛰어넘기 등의 제어를 할 수 방식이다.

VOD 서비스를 위한 시스템을 구성하는 주요 요소로는 비디오 서버, 프로그램 전송망, 가입자 망 및 가입자 장치 등이 있는 데, 수용하는 가입자 수와 비디오 프로그램 전송방식 및 서비스 품질 요구사항 등에 따라 여러 가지 형태의 시스템 구성이 가능하다. VOD

서버에서 가입자 장치 사이에는 주로 영상 및 음성 정보가 전송되는 데, 영상정보는 여러 가지 압축 알고리즘을 사용한다고 해도 문자나 그래픽 정보에 비해 데이터 량이 방대하며, 특히 영화와 같은 동영상을 실시간으로 전송하기 위해서는 MPEG 등의 고효율 영상 압축기능을 적용하여도 채널 당 약 3-5Mbps의 넓은 대역 폭이 필요하다. TV나 CATV와 같이 방송국이나 헤드엔드에서 일반적으로 수십 채널의 프로그램을 방송 형태로 보내는 것과 비교하면 VOD-i는 비디오 서버와 가입자 장치가 점 대 점 연결이 이루어져야 하기 때문에 수 백~수 천 채널이 필요하다. 따라서 서버로 집중되는 영상정보의 트래픽을 한정된 망 자원 내에서 어떻게 효율적으로 분산, 관리하여 서비스 품질을 높이는 것이 중요한 문제로 다루어지고 있다.

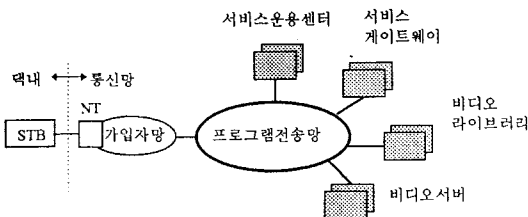
VOD 프로그램 전송을 위한 트래픽을 분산시키는 방법은 서비스 정책측면과 시스템 설계 및 운용 측면으로 구분할 수 있다. 서비스 정책측면에서는 VOD-i 서비스 제공을 제한하고 대신에 실시간성과 대화성이 다소 떨어지지만 NVOD(Near VOD), SVOD(Staggered VOD) 등 VOD 대체 서비스를 병행하여 제공함으로써 부하를 분산하는 방안을 고려할 수 있다. 즉, 수요가 집중되는 인기 상위의 프로그램을 5~10분 간격으로 연속으로 방송하고 그 밖의 프로그램에 대해서는 VOD-i 서비스를 제공함으로써 프로그램 요구 량과 전송 량을 줄인다. 시스템 설계 및 운용측면에서는 비디오 서버와 가입자 장치 사이의 전송 망 내에 비디오 버퍼나 대용량 저장장치를 두고 이곳에 일부 프로그램을 분산 저장하여 두었다가 가입자가 요구한 프로그램을 제공함으로써 전송망과 비디오 서버에 집중되는 트래픽을 분산시킨다.

본 논문에서는 VOD 시스템을 설계하고 구성하는데 있어 비용 측면에서 최적의 시스템을 구축하기 위한 분석과 프로그램 분산방법에 대해 논한다. 이를 위해 2장에서는 저장 프로그램을 분산하여 중앙 비디오 서버에 집중되는 부하를 줄이고 프로그램 전송망의 트래픽을 분산시킬 수 있는 효율적인 VOD-i 시스템의 구성에 대해 분석하고 정량적 평가를 위한 시스

템 모델을 제시한다. 3장에서는 제시된 전송망을 바탕으로 비디오 서버의 개수, 최번시 집중율, 서비스 블록킹 확률 등의 시스템 구성 및 운용 파라미터를 기본으로 해서, 비디오 서버의 저장용량과 링크간 트래픽 양을 계산하는 식을 유도한다. 4장에서는 저장된 프로그램 종류 수의 변화에 따른 지역 비디오 서버의 총 저장량, 인기도에 따른 트래픽 영향, 다중 액세스 수에 따른 지역 비디오 서버 저장용량의 변화 등을 모의 실험을 통해 분석한다. 마지막으로 5장에서는 지역 비디오 서버의 저장비용, 링크간 전송비용 등의 관계를 바탕으로 총 비용 함수를 도입함으로써 지역 비디오 서버에 저장하는 프로그램의 종류와 양을 최적으로 결정할 수 있음을 보인다.

2. 정량적 평가를 위한 VOD 시스템 모델

(그림 1)은 VOD 시스템 구성을 나타내고 있다. VOD 시스템은 프로그램을 저장하고 고객의 요구에 따라 프로그램을 제공해 주는 비디오 서버, 비디오 서버에게 프로그램을 전달해 주는 대용량의 비디오 라이브러리, 고객과 비디오 서버간의 연결과 제어를 위한 서비스 게이트웨이, 서비스 공급 측면에서 시스템을 운용하기 위한 서비스 운용센터, 교환기능을 기본으로 해서 프로그램을 비디오 서버에서 가입자에게 전송하기 위한 프로그램 전송망, 프로그램 전송망과 가입자 장치 사이를 연결시켜 주는 가입자 망, 리모콘이나 키 패드 등을 통해 가입자로부터 프로그램 선택정보를 받고 상향 전송로를 통해 비디오 서버로 전송하며 수신된 영상데이터를 복호화하여 아날로그 신호를 TV에 제공하는 기능과 전화나 컴퓨터 통신 등의 기존 통신서비스를 위한 인터페이스를 제공하는 가입자 장치(STB: Set Top Box) 등으로 구성된다.

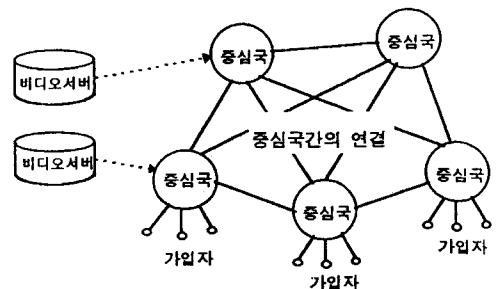


(그림 1) VOD 시스템 구조
(Fig. 1) VOD System Architecture

사용자가 개별적으로 영상 제어를 할 수 있는 VOD-i 서비스는 서비스 유지시간이 길고 전송하거나 저장해야 하는 정보량이 방대하기 때문에 비디오 서버나 전송로 등에 많은 부하를 주며 이를 처리하기 위해 방대한 자원이 요구된다. 뿐만 아니라 서비스 특성 상 고객의 기호나 유행에 따라 특정 영상 프로그램이나 영상 서버에 요구가 집중되기 쉬워서 서비스 품질의 저하를 가져올 수 있다.

따라서 프로그램을 한 곳의 서버에 집중시켜 보관하지 않고 여러 서버에 프로그램을 분산시킴으로써 비디오 서버에 집중되는 트래픽을 줄일 필요가 있다. VOD 시스템은 비디오 서버에서 가입자 장치 사이에 있는 프로그램 전송망의 물리적인 구성과 VOD-i 서비스를 위한 분산된 비디오 서버의 논리적인 구성 형태에 따라 크게 비계층 구조와 계층구조로 구축할 수 있다.

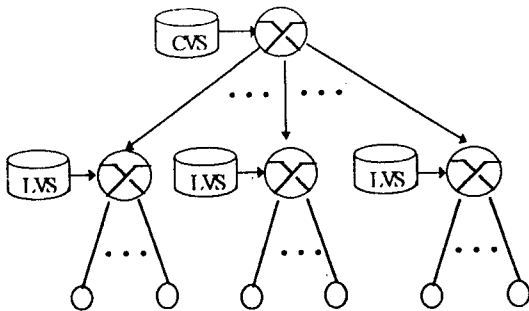
비계층 구조는 (그림 2)와 같이 비디오 서버가 논리적인 계층을 형성하지 않고 모두 동일한 계층에 존재하며, 그물망으로 서로 연결된 중심국에 설치되는 형태이다. 가입자는 어느 비디오 서버에도 연결되어 원하는 프로그램을 전송 받을 수 있다. 따라서 이 구조는 가입자의 선호도가 높은 프로그램을 저장하고 있는 특정 비디오 서버에 트래픽이 집중될 수가 있기 때문에 부하 분산을 위해 각 중심국에는 인기 있는 프로그램을 적절하게 분산시켜 저장할 필요가 있다.



(그림 2) 비계층적 VOD 프로그램 전송망
(Fig. 2) Nonhierarchical network topology for video distribution

계층구조는 (그림 3)과 같이 비디오 서버가 계층적으로 존재하는 구조이다. 상위 계층에 있는 중앙 비디오 서버(CVS: Central Video Server)는 VOD 서비스

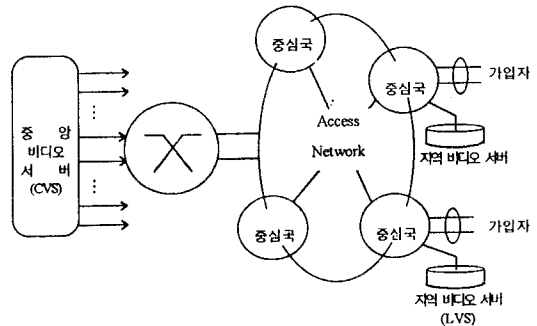
스의 대상이 되는 모든 프로그램을 저장하고 있다. 하위 계층에 있는 비디오 버퍼나 지역 비디오 서버(LVS: Local Video Server)는 성형으로 CVS와 연결되어 필요한 프로그램을 전송받고, 가입자와 직접 연결되어 요구한 프로그램을 제공해 주는 구조이다. 가입자가 프로그램을 요구하면, 먼저 하위계층의 비디오 버퍼나 LVS에 저장된 프로그램이 제공되나 요구한 프로그램이 없을 경우에는 상위계층의 CVS로부터 제공받으며, 같은 계층에 있는 비디오 서버사이에는 프로그램 전송이 불가능하다. 따라서 계층구조에서는 인기 있는 프로그램을 하위계층의 비디오 버퍼나 LVS에 두어 고객의 요구를 가능한 한 하위계층에서 처리함으로써 프로그램 전송망 내의 트래픽과 CVS의 부하를 줄인다.



(그림 3) 계층적 VOD 프로그램 전송망 구조
(Fig. 3) Hierarchical network topology for video distribution

본 연구에서 제안하는 프로그램 전송망 구조는 (그림 4)와 같이 계층구조와 비계층구조를 결합한 것이다. CVS에는 비디오 도서관과 같이 서비스의 대상이 되는 모든 프로그램이 저속의 대용량 저장장치에 저장되어 있고, LVS에는 반도체 메모리나 고속의 하드디스크에 CVS로부터 전송받은 프로그램이 일시적으로 저장된다. CVS와 LVS 사이는 성형으로 구성하며, 같은 계층의 LVS 사이는 프로그램 교환을 위해 링형 또는 그물형으로 연결된다. 따라서 제안한 방식은 LVS 간에 상호 프로그램 교환이 허용되는 구조이며 동일계층에 있는 비디오 서버간의 연결을 통해 LVS에 저장되어 있는 프로그램의 사용효율을 높이는 구조이다. 또한 CVS에 집중되는 트래픽과 부하를 줄이

기 위해서는 가능한 한 가입자가 요구한 프로그램이 LVS에서 제공되도록 해야하기 때문에 LVS에는 항상 가장 인기있는 프로그램 순으로 저장되어 있다. 서비스 운용센터는 각 LVS에 저장된 프로그램 목록과 수량, 그리고 각 프로그램 별 시청율 정보 등을 가지고 있으며, 가입자의 프로그램 선호도가 변함에 따라 LVS에 저장된 프로그램을 수시로 교체하도록 한다.



(그림 4) 제시한 2계층 구조의 VOD 프로그램 전송망
(Fig. 4) The proposed hierarchical two level VOD network

서비스 시나리오는 다음과 같은 과정으로 이루어진다고 가정한다. 서비스 운용센터에서 제공하는 프로그램 목록을 참고로 해서 가입자가 프로그램을 신청할 경우, 프로그램이 LVS에 저장되어 있고 가입자가 속한 LVS에 신청 프로그램의 서비스 블록킹이 발생하지 않으면 자신의 LVS에서 서비스를 받는다. 그러나 그렇지 않은 경우에는 서비스 운용센터에 있는 프로그램 목록 및 시청정보를 통해 동일 계층 내의 다른 LVS로부터 프로그램을 전송받아 제공한다. 물론 같은 계층의 모든 LVS로부터 신청한 프로그램을 받을 수 없는 상황이거나 LVS에 저장되어 있지 않은 프로그램일 경우에는 CVS로부터 프로그램을 제공 받는다.

이상과 같은 시나리오에 의해 서비스가 운용될 때, CVS와 LVS 간 링크 트래픽은 다음과 같은 두 가지 경우에 따라 발생한다. 첫째, LVS에 저장되어 있는 프로그램이지만 모든 LVS가 블록킹되어 CVS로부터 프로그램을 전송 받아야 하는 경우이다. 둘째, LVS 계층에 저장되어 있지 않은 인기가 낮은 프로그램을 가입자가 신청한 경우이다. 그리고 LVS 간 전송 트래

픽은 가입자가 LVS 계층에 저장되어 있는 프로그램을 신청하는 경우, 신청을 접수한 LVS가 블록킹으로 인하여 해당 프로그램을 서비스 못하지만 다른 LVS에서 서비스해 줄 수 있는 경우에 발생한다.

분산된 각각의 비디오 서버에 모든 프로그램이 충분히 저장되어 있다면 CVS와 LVS, LVS와 LVS 간의 전송비용은 필요 없을 것이나 서비스 품질을 만족하는 양의 프로그램을 저장하기 위해서 각 비디오 서버에 필요한 저장비용은 많아지게 된다. 반대로 LVS에 프로그램 저장기능이 없다면 모든 프로그램을 CVS로부터 전송받아 전달해야 하기 때문에 전송비용이 높아지게 된다. 따라서 가입자가 자주 요구하는 일부 프로그램들을 LVS에 저장함으로써 저장비용과 전송비용을 고려한 최적의 VOD-i 시스템을 구성할 수 있다.

계층구조와 비계층 구조의 VOD 시스템을 구성하는 데에 프로그램을 분산하여 저장하는 방법에 관한 연구로는 Ramaro R. & Ramamoorthy V.^[11]는 비디오 서버를 가지는 중심국을 3계층으로 나누는 구조에서, 같은 계층에 있는 중심국들은 링크 비용이 없이 서로 정보를 교환할 수 있으며, 각 중심국의 비디오 서버는 저장 용량의 제약이 있다는 가정하에 각 계층에 할당하는 프로그램의 저장 비용과 계층간의 링크 비용의 합을 최소화하는 기준으로 모든 프로그램을 각각의 계층에 어떻게 나누어 할당할 것인가를 결정함으로써 부하 분산을 해결하고자 했다. 그러나, 각 계층에 있는 각각의 중심국에 대해 프로그램을 어떻게 할당할 것인가는 고려하지 않고 있다.

Schaffa F. & Nussbaumer J.P.^[12]는 프로그램을 저장, 제공해 주는 비디오 서버를 위치시킬 수 있는 중심국의 계층이 여러 개 존재하는 d-ary tree 구조에서, 같은 계층에 있는 중심국들은 링크 비용이 없이 서로 정보를 교환할 수 있다는 가정 하에 두 가지 형태의 문제를 다루었다. 첫째는 하나의 계층에 모든 프로그램을 저장한다는 정책 하에 프로그램을 저장하는 계층을 결정하는 문제를 다루었으며, 둘째는 여러 계층에 프로그램을 분산하여 저장하는 경우, 최상위 계층에 일부 인기 없는 프로그램을 저장하고 하위 계층 중 하나에 나머지 프로그램을 저장하는 정책의 문제를 다루었다.

Giovanni L.D. *et al.*^[6]는 비디오 프로그램을 저장하는 서비스 센터를 중심 비디오 서버와 지역 비디오

서버의 2 계층으로 구성하는 계층적 구조에서, 프로그램 저장비용과 트래픽으로 인한 링크비용으로 이루어지는 총비용의 최소화를 기준으로 지역 비디오 서버에 저장하는 프로그램의 수를 결정하는 것을 다루었으나, 지역 비디오 서버 간에는 어떠한 연결도 없다고 가정하고 있다.

본 연구에서는 (그림 4)에서 제시한 계층구조와 비계층 구조를 결합한 모델과 서비스 블록킹율, 최번시 집중율 등의 서비스에 관련된 파라미터를 기반으로 LVS에 저장하는 프로그램 량, LVS와 LVS사이의 전송용량, CVS와 LVS 사이의 링크용량 등을 분석하고 비용측면에서 최적적인 전송망을 구성하는 프로그램 분산방법에 대해 분석한다.

3. 트래픽 분석

본 장에서는 선호도가 높은 k번째 프로그램까지 LVS에 저장하는 경우 LVS의 프로그램 저장량, LVS 간 전송 트래픽량, CVS와 LVS간 링크 트래픽량을 분석한다. 이 때, LVS에서 가입자까지의 트래픽은 LVS와 가입자가 성형으로 점 대 점 연결이 되어 있다고 가정하고 트래픽 분석의 대상에 포함시키지 않는다.

VOD-i 서비스에 따른 트래픽 파라미터에는 가입자 수, 최번시(busy hour) 집중률, 각 프로그램의 시청 선호도(program vision preference), 수요 발생 형태, 서비스 제공 형태, 다중 액세스 수, 그리고 LVS와 CVS의 서비스 블럭킹 확률 등이 있다. 최번시 집중률은 하루 중 최번시에 가입자가 서비스를 요구할 확률로 정의한다. 즉, 가입자가 10,000명인데 최번시에 평균 1,000개의 프로그램이 요청된다면 최번시 집중률은 0.1이 된다. 각 프로그램의 선호도는 시간의 흐름에 따라 변할 것이다. 그러나, 일정 간격(1주 또는 2주)으로 조사하여 그 기간동안 각 프로그램에 대한 선호도가 주어진다고 보자. 서비스되는 모든 프로그램을 선호도가 높은 순으로 정렬하였다고 할 때, i번째 선호도의 프로그램 시청 확률 p_i 는 Giovanni *et al.*^[6]과 Nishioka *et al.*^[9]에 의해 식(1)과 식(2)와 같이 제안된 것을 사용한다.

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

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

여기서 I = 프로그램 종류 수를 의미한다.

각 가입자의 서비스 도착 시간 간격 분포는 지수 분포, 서비스 시간은 평균이 100분인 임의의 분포를 따른다고 본다. 그리고, 일반적으로 가입자의 대기 형태는 서비스를 요청하여 즉시 서비스를 받을 수 없으면 취소하는 어랑 B모형으로 가정한다^{16, 10)}. 다중 액세스 수는 한 시점에서 저장된 하나의 프로그램으로 사용자에게 동시에 서비스 가능한 최대 수를 말한다.

트래픽 분석을 위해 사용되는 기호들을 아래와 같이 정의한다.

- i: 선호도에 의한 프로그램 구분자 $i = 1, \dots, I$
- n: LVS의 번호 $n = 1, \dots, N$
- LBp: 각 LVS의 블럭킹 확률
- CBp: CVS의 블럭킹 확률
- $D_n(i)$: LVS n에서 LBp를 만족하는 프로그램 i의 최소 개수
- DL_n : CVS와 LVS n간 링크 트래픽량
- U_n : LVS n에서 서비스하는 고객 수
- R: 최번시 집중률
- S: 한 프로그램에 대한 다중 액세스 수
- T: 한 프로그램의 평균 서비스 시간
- p_i : 선호도가 i번째인 프로그램의 시청 확률
- $[x]^+$: x보다 크거나 같은 최소의 정수

먼저, LVS의 프로그램 저장량을 계산하여 보자. LVS n에 저장되어 있는 p_i 의 선호도를 갖는 프로그램의 트래픽 밀도(traffic intensity) $\lambda_n(i)$ 는 LVS n의 가입자수 U_n , 최번시 집중률 R, 평균 서비스 시간 T와 프로그램 시청 확률 p_i 의 곱으로 계산되는 트래픽량(traffic volume)을 서비스 단위 시간으로 나눈 값으로 식 (3)과 같이 된다.

$$\lambda_n(i) = \frac{U_n \cdot R \cdot T \cdot p_i}{\text{unit time}} \quad (3)$$

어랑 B모형에서 서비스 가능한 채널 수가 s개이고, 트래픽 밀도가 a일 때, 서비스가 블럭킹될 확률은 식

(4)와 같다¹⁷⁾.

$$P_B = \frac{a^s/s!}{\sum_{j=0}^s a^j/j!} \quad (4)$$

블럭킹 확률은 시스템 운용을 위한 정책에 의해 주어진다. 트래픽 밀도 a와 블럭킹 확률이 주어지면 이를 만족하는 최소의 채널 수 즉, 가입자가 주어진 블럭킹 확률이하로 서비스를 받기 위해 구비해야 하는 채널 수를 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다. 다시 말해 LVS n에서 프로그램 i의 트래픽 밀도가 $\lambda_n(i)$ 일 때 블럭킹 확률 LBp를 만족하는 프로그램 i의 최소 개수 (대기 이론에서는 채널 수) $D_n(i)$ 는 식 (4)에서 $P_B \leq LBp$ 를 만족하는 가장 적은 s가 된다.

보조기억장치의 대용량화와 액세스 속도의 고속화에 의해 비디오 서버에 저장된 하나의 프로그램에 대해 동시에 여러 가입자에게 제공할 수 있는 다중 액세스 기술을 사용하면 메모리를 효율적으로 사용할 수 있다. 다중 액세스 기법을 적용한다면 프로그램 i를 저장하기 위한 용량은 $[D_n(i)/S]^+$ 가 된다. 여기서, 저장 단위는 프로그램 단위로 하여 정수 값으로 두고 있다. 따라서, N개의 각 LVS에 선호도 1부터 k까지의 프로그램을 저장하는 경우, 총 프로그램 저장량은 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\text{Storage} = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k \left[\frac{D_n(i)}{S} \right]^+ \quad (5)$$

다음으로 LVS간 전송 트래픽량을 계산하여 보자. 우선, 프로그램 $i (i \leq k)$ 의 전송 트래픽량을 계산한다. 어랑 B모형에서 실제로 서비스를 받은 평균 트래픽량은 트래픽 밀도가 a이고, 모든 채널이 방영중일 확률이 P_B 일 때 $a(1-P_B)$ 이다. 따라서, LVS n에서 프로그램 i를 실제로 서비스할 때의 평균 트래픽은 $\lambda_n(i)(1-LBp)$ 이 되고, 서비스 도착 시간 간격 분포를 지수 분포로 가정하였으므로 모든 LVS에 대한 프로그램 i의 평균 트래픽은 각 LVS의 평균 트래픽의 합이 되어 식 (6)과 같다.

$$s'(i) = \sum_{n=1}^N \lambda_n(i) (1-LBp) \quad (6)$$

한편, 가입자가 프로그램 i의 서비스를 요청할 때

LVS 계층의 총 트래픽 밀도는 $\sum_{n=1}^N \lambda_n(i)$ 이고, 각 LVS의 블럭킹 확률 LBp를 만족하는 프로그램 i의 최소 개수의 합은 $\sum_{n=1}^N D_n(i)$ 이다. 각 LVS의 블럭킹 확률이 LBp이고, 이에 의해 구해진 채널수와 트래픽 밀도가 각각 $\sum_{n=1}^N D_n(i)$, $\sum_{n=1}^N \lambda_n(i)$ 일 때, LVS 계층의 블럭킹 확률은 어랑 B 모형을 이용하여 계산할 수 있다. 따라서, LVS 계층을 단위로 하는 프로그램 i의 평균 트래픽은

$$s(i) = \sum_{n=1}^N \lambda_n(i) (1 - B_p) \quad (7)$$

가 된다. 그리고, LVS 계층을 단위로 할 때의 평균 트래픽과 각 LVS가 자신의 가입자에게 제공할 때의 평균 트래픽과의 차이는 LVS 계층에서 프로그램을 다른 LVS에 전송하기 때문에 발생하는 트래픽이라고 할 수 있다. 따라서, 각 LVS에 선호도 k번째 프로그램까지 저장할 때 LVS간 전송 트래픽량은 식 (8)과 같이 계산된다.

$$TTraffic = \sum_{i=1}^k \{s(i) - s'(i)\} \quad (8)$$

마지막으로 CVS와 LVS간 링크 트래픽량은 다음과 같이 계산된다. CVS와 LVS 계층간의 트래픽은 모든 LVS가 블럭킹되어 CVS에서 서비스를 제공함으로써 발생하는 트래픽과 CVS에만 저장되어 있는 비인기 프로그램을 서비스함으로써 발생하는 트래픽의 합으로 구성된다. 즉, CVS와 LVS n간 트래픽 밀도는 모든 LVS가 블럭킹되어 CVS에서 프로그램을 전송하여 발생하는 트래픽 밀도

$$\beta_n(i) = \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N \lambda_n(i) B_p \quad (9)$$

와 LVS에 저장되어 있지 않은 프로그램을 CVS에서 전송하여 발생하는 트래픽 밀도

$$\gamma_n(i) = \frac{U_n \cdot R \cdot T \cdot \sum_{k+1}^I p_i}{unit\ time} \quad (10)$$

의 합으로 구성된다. 트래픽 밀도 $\beta_n(i) + \gamma_n(i)$ 와 CVS의 블럭킹 확률 CBp가 주어지면 이를 만족하는 CVS와 LVS n간 링크 트래픽량 DLn은 어랑 B공식을 이용하여 $Dn(i)$ 와 동일한 방법으로 계산된다. 따라서, N개의 LVS가 있는 시스템에서 k번째 프로그램까지 LVS에 저장할 때 CVS와 LVS간 링크 트래픽량은 식 (11)과 같이 된다.

$$LTraffic = \sum_{n=1}^N DL_n \quad (11)$$

4. 모의 실험 및 분석

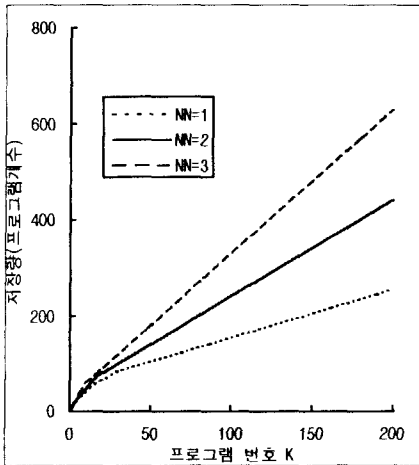
본 장에서는 제 3장의 트래픽 분석을 바탕으로 다음 3가지를 분석한다. 첫째, 저장된 프로그램 종류 수 변화에 따른 LVS의 총 저장량을 분석한다. 둘째, 링크 용량 제약이 없다고 가정할 때, LVS에 프로그램을 저장함에 따라 변화하는 CVS와 LVS간 링크 트래픽량과 LVS간 전송 트래픽량을 분석하여 LVS에 인기 있는 프로그램을 저장하는 정책이 망 내의 트래픽 감소에 어느 정도 영향을 주는지 분석한다. 셋째, 다중 액세스 수에 따른 LVS의 저장 용량 변화와 이웃하는 두 프로그램 선호도 비율의 차이에 따른 링크 트래픽량의 변화를 통해 파라메터가 트래픽에 미치는 영향을 분석해 본다.

<표1> 분석에 사용된 파라메터와 값
<Table 1> Parameter values used for analysis

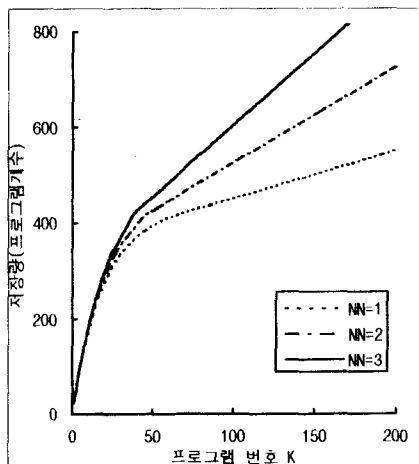
파라메터	값
망의 총 가입자 수	10,000명, 50,000명
최빈시 집중률(R)	0.1
각 LVS의 블럭킹 확률(LBp)	0.25
CVS의 블럭킹 확률(CBp)	0.001
한 프로그램의 평균 서비스 시간(T)	100분
다중 액세스 수(S)	10
프로그램 종류 수(I)	200

분석에 사용된 파라메터와 그 값은 표 1과 같다. 각 LVS에서 선호도 i번째인 프로그램이 차지하는 시첨 비율은 식 (1)을 사용하였고, DHP는 1.06으로 하였

다. 식 (1)은 이웃하는 프로그램간 선호도 차이에 따른 트래픽의 변화 분석이 가능하므로 사용하였다. 그리고 VOD 서비스의 단위 시간은 100분으로 하고, 트래픽량은 100분 동안의 회선 점유를 단위 트래픽으로 하여 나타낸다. 모의 실험에서 각 LVS의 가입자수는 동일하게 두었다. 즉, 망의 총 가입자 수가 10,000명이고 LVS의 수가 4개이면, 각 LVS의 가입자 수는 2,500명으로 두고 트래픽을 분석한다. 그러나, 제 3장에서 제시한 대로 각 LVS의 가입자 수가 다른 경우도 다룰 수 있다.



(a) 최번시 평균 신청자 수 1,000명



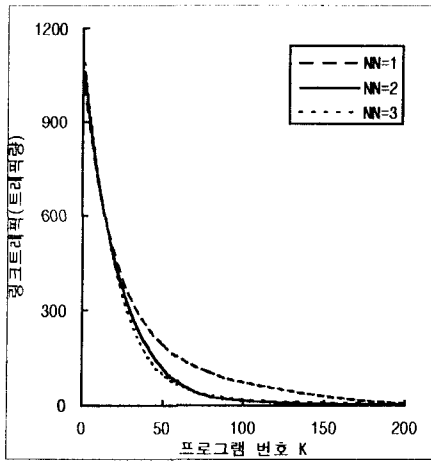
(b) 최번시 평균 신청자 수 5,000명

(그림 5) LVS의 프로그램 저장량

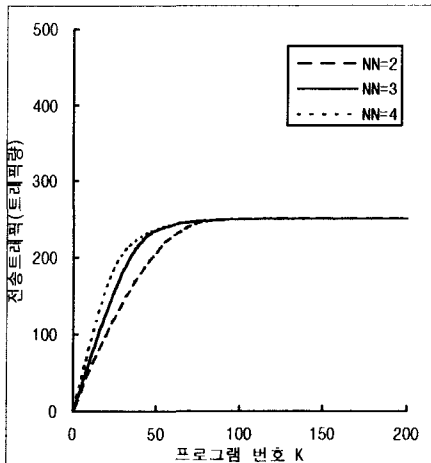
(Fig. 5) Program storage amounts in LVS

(그림 5)는 저장된 프로그램 종류 수 변화에 따라 LVS의 수가 1, 2, 3인 경우에 대해 (표 1)과 같은 파라미터를 가정하였을 때 식 (5)에 의해 LVS의 총 저장량을 계산한 결과이다. LVS에 저장된 프로그램은 선호도 순서이다. (그림 5)에서 (a)는 최번시 평균 서비스 신청자 수가 1,000명인 경우를, (b)는 5,000명인 경우를 나타내고 있다. X축은 프로그램을 선호도가 높은 순으로 나열했을 때의 프로그램 번호를 의미하고, Y축은 총 N개의 LVS에 저장된 프로그램의 저장량을 나타내며, 프로그램 한 편을 저장량의 기본 단위로 한다. 예로, $x=40$ $y=120$ 이면 선호도가 40번째까지 높은 프로그램은 각 LVS에 저장할 때, LVS 계층에 있는 모든 LVS에 요구되는 프로그램 저장량은 120개 프로그램 분량의 저장량이라는 것이다. (그림 5)의 (a), (b)로 부터 LVS의 저장량은 LVS 수에 따라 증가하지만, LVS에 인기 있는 프로그램을 저장하는 경우는 LVS 수에 따른 저장량에 큰 차이를 보이지 않으며 각각 비선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이것은 각 LVS에서 저장하고 있는 선호도가 높은 프로그램이 다중 액세스에 의해 처리되기 때문이다. 반대로 비인기 프로그램을 저장하는 경우는 다중 액세스 효과를 얻기 힘들기 때문에 LVS 수나 저장 프로그램의 수에 따라 소요 저장량이 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 동일한 k에 대하여 LVS의 수에 따라 총 저장량이 달라지는 이유는 두개 이상의 LVS인 경우 각 LVS에 프로그램을 분산, 저장하기 때문에 시스템 전체적으로 필요한 저장량은 많아진다. 따라서 프로그램 저장량의 측면에서 보면 선호도가 높은 프로그램의 경우에는 LVS 개수에 무관하게 LVS에 저장하는 것이 유리함을 알 수 있다.

(그림 6)은 LVS에 저장하는 프로그램 종류 수의 변화에 따른 링크 트래픽량과 전송 트래픽량의 변화를 나타내고 있다. 총 가입자수는 10,000명이며 다른 파라미터는 표 1과 같을 때, LVS의 수 변화에 따른 트래픽량을 분석하였다. (그림 6)의 (a)를 보면 인기 있는 프로그램을 LVS에 저장함으로써 CVS와 LVS간 링크 트래픽량이 지수적으로 감소함을 알 수 있다. 그리고, LVS의 수가 3개일 때가 1개, 2개 일 때 보다 링크 트래픽량이 적게 나타난다. 이는 (그림 5)에서 알 수 있듯이 LVS 수가 증가할수록 LVS의 총 저장량이 많아지게 되어 LVS 계층의 블리킹 확률 BP가 적



(a) 링크 트래픽량의 변화



(b) 전송 트래픽량의 변화

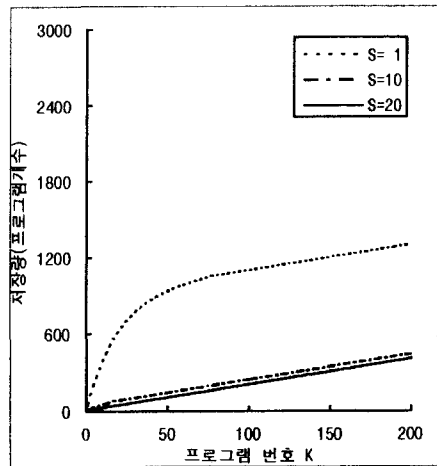
(그림 6) 링크, 전송 트래픽의 변화

(Fig. 6) Variations of link and transmission traffics

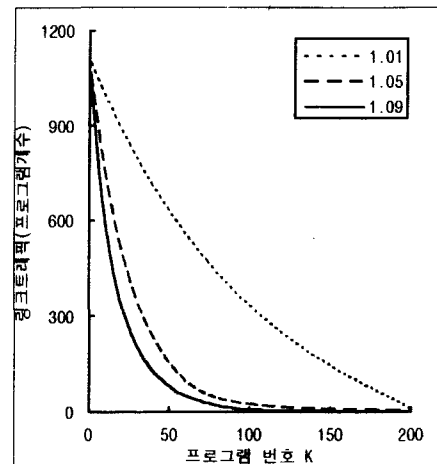
어지므로, 그만큼 LVS에 저장되어 있는 프로그램을 CVS에서 전송하는데 필요한 트래픽량이 적어지는데 기인한 것이다. 따라서, 링크 트래픽량의 측면에서는 LVS를 많이 두는 것이 트래픽 감소에 효과적임을 알 수 있다. (그림 6)의 (b)에서 LVS간 전송 트래픽량의 경우, LVS의 수가 하나일 때는 발생하지 않으며, LVS의 수가 증가할수록 트래픽량이 증가함을 알 수 있다. 그러나, 프로그램 번호 k가 증가하면 LVS의 총 저장량이 증가하고 상대적으로 식 (7)의 B_p 가 0에 가까워져 전송 트래픽은 더 이상 증가하지 않고 최대

$$\sum_{n=1}^N \lambda_n(i) \times LB_p \text{에 수렴한다.}$$

(그림 7)은 망의 총 가입자수 10,000명, LVS의 수가 2개인 시스템에서 다중 액세스 수가 1, 10, 20일 때 LVS의 저장량과 프로그램의 선호도 비율 값이 각각 1.01, 1.05, 1.09일 때 CVS와 LVS간 링크 트래픽량을 나타내고 있다. (그림 7)의 (a)의 Y축은 프로그램 개수, (b)의 Y축은 트래픽량을 나타낸다. 기대한 바와 같이 다중 액세스 수는 LVS의 저장량 결정에 크게 영



(a) 다중 액세스 수 효과



(b) DHP값에 따른 링크 트래픽량

(그림 7) 파라미터 분석

(Fig. 7) Parameter analysis

향을 준다는 것을 알 수 있으며, 저장해야 할 프로그램의 수가 많을수록 그 효과는 크다고 할 수 있다. 또한, 각 프로그램의 선호도 차가 큰 경우에는 링크 트래픽의 감소량이 크게 된다. 한편, 다중 액세스 수와 프로그램의 선호도 차이와의 관계를 보면 각 프로그램의 선호도 차가 적은 경우에 프로그램의 총 저장량이 많게 되므로, 다중 액세스 기술에 의한 프로그램 저장량의 감소 효과가 뛰어나게 된다.

5. LVIS의 저장 용량 결정

본 장에서는 분석된 트래픽에 비용의 개념을 도입하여 LVIS의 저장 비용, CVS와 LVIS간 링크 비용, LVIS간 전송 비용과의 관계를 바탕으로 LVIS에 저장하는 프로그램의 종류와 그 양을 총 비용의 최소를 기준으로 결정한다. 한편, CVS에서의 프로그램 저장 비용은 여러 그룹의 LVIS와 연결되어 공유되므로 총 비용에 포함시키지 않는다.

LVIS의 저장 용량 제약이 없고, LVIS의 저장 비용이 다른 비용에 비해 매우 저렴하다면 모든 프로그램을 LVIS에 저장하여 가입자에게 서비스함으로써 CVS와 LVIS간 링크를 거의 사용하지 않을 수 있다. 반대의 경우로 CVS와 LVIS간 링크 비용이 LVIS의 저장 비용에 비해 매우 저렴하다면 모든 프로그램을 CVS에 저장해 두고 서비스함으로써 LVIS의 프로그램 저장 비용을 줄일 수 있다. 따라서, 각 비용이 어떻게 주어지느냐에 따라 LVIS에 저장하게 될 프로그램의 종류와 그 양이 달라지게 된다.

C_s 를 LVIS의 단위 저장 비용이라 정의하고 모든 LVIS에서 한 프로그램에 대한 단위 저장 비용은 같다고 본다. C_T 를 LVIS간 단위 프로그램 전송 비용이라 정의하고 전송 비용은 LVIS간의 거리와 무관하게 전송되는 트래픽량에 의해 결정된다고 본다. C_L 을 CVS와 LVIS간 단위 링크 비용으로 둔다. 구하고자 하는 각 비용이 트래픽량에 선형으로 비례한다고 보면, LVIS에 인기도 k 번째 프로그램까지 저장할 경우 저장 비용, 전송 비용, 링크 비용은 각각 식 (12), (13), (14)와 같이 된다. 이는 식 (5), (8), (11)에서 구한 프로그램 저장량, 전송 트래픽량, 링크 트래픽량에 단위 비용을 각각 곱한 것이다. 총 비용은 이들의 합으로 식 (15)과 같이 된다.

$$Cost1 = C_s \times \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^k \left[\frac{D_n(i)}{S} \right]^+ \tag{12}$$

$$Cost2 = C_T \times \sum_{i=1}^k \{s(i) - s'(i)\} \tag{13}$$

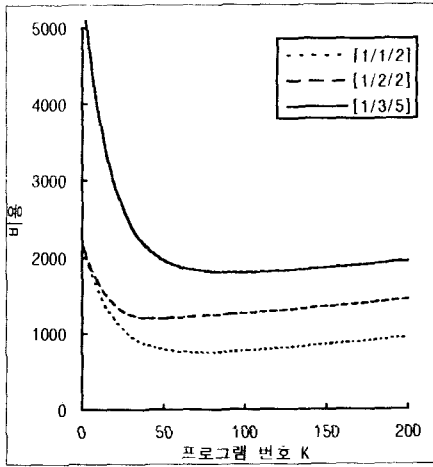
$$Cost3 = C_L \times \sum_{n=1}^N DL_n \tag{14}$$

$$Total Cost = Cost1 + Cost2 + Cost3 \tag{15}$$

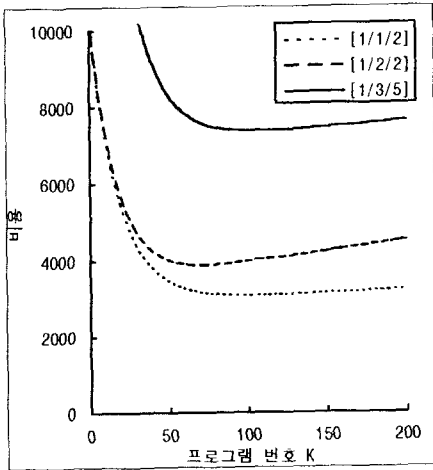
LVIS에서 저장하는 프로그램 종류 번호 k 를 증가시키면서 각 비용간의 상충 관계를 이용하여 비용의 합을 최소로 하는 k^* 를 결정한다. 그러면, LVIS의 최적 저장량은 인기도가 가장 높은 프로그램부터 인기도가 k^* 인 프로그램까지 각 프로그램에 대한 저장량의 합이 된다. 각 비용 함수가 비선형으로 주어진 경우에도 같은 방법으로 k^* 를 구할 수 있다.

(그림 8)은 저장하는 프로그램 종류 수 증가에 따른 총 비용의 변화를 나타낸다. 저장 비용보다 링크 비용이 비쌀 것으로 예상되고 각 비용의 절대적인 값은 가변적이기 때문에 저장 비용, 전송 비용, 링크 비용의 상대적인 비율을 각각 1:1:2, 1:2:2, 1:3:5로 두었고, LVIS가 2개인 시스템이며, 기타 다른 파라미터는 표 1의 값과 동일하게 두고 분석하였다. 분석 결과, 최번시 평균 신청자 수가 1,000명, 5,000명인 시스템에서는 LVIS에 각각 50번째, 75번째 우선 순위를 갖는 프로그램까지 저장할 때 총 비용이 최소가 된다. 선호도가 높은 인기 프로그램을 LVIS에 저장하면 다중 액세스 효과에 의해 적은 양의 프로그램으로 많은 수요를 처리할 수 있으므로 링크 비용의 감소 정도가 저장 비용의 증가 정도보다 커져 총 비용을 감소시킬 수 있다. 그러나, 선호도가 낮은 비인기 프로그램을 LVIS에 저장하면 저장 비용의 증가량에 비해 CVS와 LVIS간의 링크 비용의 감소량이 더 적어 오히려 총 비용은 상승하게 된다. 동일한 수요에서는 저장 비용과 링크 비용간의 상대적인 차이가 클수록 총 비용을 최소로 하는 k^* 가 커지게 된다.

분석 결과에서 알 수 있듯이, VOD 서비스에 대한 수요량과 서비스를 제공하기 위한 저장, 전송, 링크 비용이 LVIS의 적정 프로그램 저장량 결정에 많은 영향을 준다. 또한, LVIS에 인기 있는 프로그램을 저장하는 것이 CVS와 LVIS간 링크 트래픽을 감소시키는 데 효과적이며, 이 밖에 다중 액세스 수와 이웃하는



(a) 최번시 평균 신청자 수 1,000명



(b) 최번시 평균 신청자 수 5,000명

(그림 8) 총비용의 변화
(Fig. 8) Variations of total cost

두 프로그램간의 선호도 차이 역시 적정 저장량의 결정에 중요한 파라미터로 작용함을 알 수 있다.

따라서 VOD 시스템을 구성비용측면에서 최적화하기 위해서는 먼저, 서비스 블로킹 확률과 LVS 수에 따른 LVS에 저장하는 프로그램 수를 구한다. 다음으로 LVS에 저장하는 프로그램의 수에 따른 링크와 전송 트래픽 용량을 구한 후, 프로그램 저장비용, 전송 비용, 링크비용의 상대적인 비율에 따라 (그림 8)과 같은 LVS에 저장하는 최소 프로그램 수와 LVS간 전

송용량 및 CVS-LVS 간 링크용량을 구하면 된다.

6. 결 론

본 연구에서는 계층적으로 프로그램을 분산에 의해 VOD 서비스를 효율적으로 제공할 수 시스템 구성과 제시된 전송망을 기반으로 망에서 발생하는 트래픽의 집중 현상 방지를 위해 인기 있는 프로그램을 LVS에 저장하는 경우 이에 따른 망의 트래픽 분석과 소요되는 비용 관계를 이용한 LVS의 프로그램 저장 정책을 제안하였다.

제안한 정책의 효과 분석을 위해 LVS에 저장하는 프로그램 종류 수 증가에 따른 LVS의 저장량, LVS간 전송 트래픽량, CVS와 LVS간 링크 트래픽량을 분석하였다. 그리고 저장 비용, 전송 비용, 링크 비용으로 계산되는 총 비용을 최소화 하는 LVS의 적정 저장량을 결정하는 방법을 제시하였다. 분석 결과, 하나의 LVS보다 다수의 LVS를 두는 경우에 CVS와 LVS간 링크 트래픽이 적게 발생되었다. 또한 다중 액세스 기술과 프로그램 선호도는 프로그램 저장량에 크게 영향을 주었다.

VOD 서비스의 트래픽 부하 분산 방법 및 분석에 관한 본 연구는 다양한 수요 분포와 프로그램 선호도, 서비스 망의 구조 등에 따른 여러 VOD 시스템 환경에 적용 가능할 것으로 보며 대역 폭이 큰 다양한 멀티 미디어 서비스를 위한 망의 구축과 트래픽 분석에 적용 가능할 것으로 기대된다. 그러나 NVOD 서비스와 같은 유사 서비스를 함께 고려하는 시스템의 설계 및 운영 등과 같은 실용적인 VOD 서비스를 위해서는 보다 많은 파라미터를 분석하여 연구할 필요가 있다고 본다.

참 고 문 헌

[1] Chang Y.H., "An Open-Systems Approach to Video on Demand", IEEE Communication Magazine, pp.170-175, May, 1994.
[2] Chatschik C. Bisdikian, Baiju V. Patal, "Issues on Movie Allocation in Distributed Video-on-Demand System", IEEE International Conference on Comm., pp.250-255, 1995.

[3] Deloddere D., Verbiest W., and Verhille H., "Interactive Video On Demand", IEEE Communications Magazine, pp.82-88, May, 1994.

[4] Gelman A.D. and Smoot L.S., "An Architecture for Interactive Applications", Proceedings of IEEE ICC 93, Geneva, Switzerland, pp.848-852, 1993.

[5] Gelman A.D., Halfin S., "Analysis of Resource Sharing in Information Providing Services", IEEE GLOBECOM 90, pp. 312-316, 1990.

[6] Giovanni L.D., Langellotti A. M., Patitucci L. M., Petrini L., "Dimensioning of Hierarchical Storage for Video on Demand Services", IEEE ICC 94, pp.1739-1743, 1994.

[7] Ishihara T., Tanaka J., "Modeling and Evaluation of Broadband Access Networks for Multimedia Services", IEEE GLOBECOM 94, pp. 117-125, 1994.

[8] Kleinrock L., "Queueing Systems, Volume 1: Theory", 1974.

[9] Nishioka M., Murase K., Uchimura K., "The Load Distribution Method on Video on Demand Service", technical report of IEICE, 4, pp.15-22, 1993.

[10] Petit G.H., Deloddere D., Verbiest W., Bandwidth Resource Optimization in Video-On-Demand Network Architectures", IEEE GLOBECOM 94, pp.91-97, 1994.

[11] Ramarao R. and Ramamoorthy V., "Architectural Design of On-Demand Video Delivery Systems: The Spatio-Temporal Storage Allocation Problem", IEEE ICC 91, pp.506-510, 1991.

[12] Schaffa F. and Nussbaumer J.P., "On Bandwidth and Storage Tradeoffs in Multimedia Distribution Networks", IEEE INFOCOM 95, pp. 1020-1026, 1995.

[13] Sincooskie W.D., "System Architecture for a Large Scale Video on Demand Service", Computer Networks and ISDN Systems, pp.155-162, 1991.

[14] Tanaka Y, Berlage O., "Storage Allocation Policies in Distribution Networks for a Video-on-Demand Service", IEICE, 181-186, 1994.

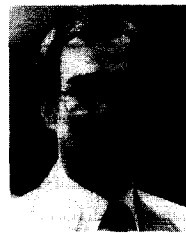
[15] 이태훈 외1, "VOD 서비스를 위한 CATV 전송망 구성에 관한 검토", 한국정보처리학회'95춘계학술발표논문집, pp351-354, 1995. 5.

[16] 김여근 외6, "광 CATV 트래픽 용량분석에 관한 연구", 한국전자통신연구소 위탁과제 최종연구보고서, 1993. 11.



이 태 훈

1982년 한국항공대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1984년 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 아주대학교 대학원 전자공학과(박사과정 수료)
 1984년~1993년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
 1990년~1991년 일본 NTT Human Interface 연구소 객원연구원
 1993년~현재 광주대학교 전자계산학과 조교수
 관심분야: 영상처리, 멀티미디어, B-ISDN



김 용 득

1971년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1973년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1973년~1974년 불란서 ESE 연구원
 1979년~1980년 미국 Stanford대학교 연구교수
 1978년~현재 아주대학교 전자공학과 교수
 관심분야: 하드웨어와 관련된 뉴-미디어 분야로서 FA, OA, HA 네트워크 응용과 디지털 오디오/비디오 활용 및 접속방안 등