

동적계획법을 이용한 다계층 VOD망의 저장량 결정

김여근* · 조명래* · 김재윤*

Storage Allocation in Multi-level VOD Network Using Dynamic Programming

Yeo Keun Kim · Myeong Rai Cho · Jae Yun Kim

〈Abstract〉

Video-on-demand is an interactive service that provides programs (movie, home shopping, etc.) to users connected to a network. This service will require high bandwidth network and video servers with a large amount of storage capacity. From the viewpoint of system analysis, there are optimization problems to be solved.

In this paper, we present a dynamic programming method for allocating the storage for programs being served in a multi-level video-on-demand network. In the optimization of the network resource, we consider the three kinds of costs: installation cost for video servers, program storage cost, and transmission (or communication) cost. The factors related to the costs are investigated. An example is shown to illustrate the proposed method.

1. 서론

B-ISDN(Broadband-Integrated Services Digital Network)의 출현과 영상 압축/복원 기술, 비디오 교환망(Switched Video Network) 기술 등의 발달로 인하여 홈 쇼핑, 영상 회의, 주문형 비디오 서비스와 같은 높은 대역폭을 갖는 대화형 서비스가 가능하게 되었다. 특히, 주문형 비디오(Video On Demand : VOD) 서비스는 차세대 정보 서비스 중에서 가장 유망한 서비스로 인식되고 있으며, 대화성의 정도에 따라 IVOD(Interactive VOD), SVOD(Staggered VOD), NVOD(Near VOD)로 분류되고 있는데[3], 일반적으로 VOD는 IVOD를 의미한다.

VOD 서비스는 비대칭 양방향 서비스로 다른 통신

서비스에 비해 높은 대역폭과 긴 보류시간을 갖는다. 또한, 서비스 수요는 특정 시간대에 집중될 것이며, 특히 인기 있는 몇몇 프로그램의 수요가 전체 수요에서 차지하는 비율이 높을 것이다[2].

국내에서 진행되고 있는 VOD 관련 시스템 개발 현황을 보면, 비디오 서버, 비디오 스위치, 전송 장치 등과 같은 장비의 국산화를 추진하고 있다. 그리고 VOD 서비스는 1994년에 한국통신이 반포 전화국 관내에 거주하는 100가입자를 대상으로 시험 서비스한 아이비전(Ivision : Interactive vision) 시험 사업을 시작으로 일반인에게 최초로 제공되었으며, 1996년에 전국의 6대 도시로 확장되어 1,500가입자에게 시범적으로 서비스되고 있다. 또한, 아이비전 시험 사업 이외에도 한국통신은 현재 여의도에 VOD, 원격 교육, 원격 도

* 전남대학교 산업공학과

서관 등과 같은 멀티미디어 시범 사업을 전개하고 있다[7].

지금까지는 VOD 시스템의 기술적인 가능성을 검증하기 위한 단계로 망 관리 시스템이나 서비스 관리 시스템 등은 상대적으로 소홀히 취급되었다. VOD 시스템은 TV와 같은 단품 기술만으로는 구축할 수 없고, 시스템 통합 기술이 매우 중요한 비중을 갖는 대형 시스템이므로 망 설계 및 운용 기술 확보가 매우 중요하다[7].

VOD 망 구조로, 미국의 경우는 CATV망과의 접속을 추진하고 있으므로 CATV망과 형태가 비슷한 계층(Hierarchical) 구조를 고려하고 있다. 우리나라의 경우, 전국으로 확대된 시범 서비스 시스템은 서울을 중심으로 서울과 지방 5대 도시가 연결되어 있으며, 서울에 있는 서버에서 프로그램을 지방에 있는 서버로 전송할 수는 있으나 가입자가 다른 지역에 있는 서버에 접속하는 것은 불가능하게 구성되어 있다[7]. 또한 서비스의 규모가 확장되면 많은 계층을 갖는 계층 구조를 설계할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 다계층 VOD 서비스망에서 망 설계의 최적화에 관하여 다루고자 한다.

계층 구조에서 망 설계의 최적화는 소요 비용의 최소화를 기준으로 하는 경우가 많으며, 소요되는 관련 비용으로는 비디오 서버의 설치 비용, 프로그램 저장 비용, 그리고 프로그램 전송 비용을 들 수 있다. 이와 관련하여 Giovanni *et al.*[1]는 2계층 VOD 서비스망에서 저장 비용과 전송 비용의 상충(tradeoff)관계를 이용하여 하위 계층의 프로그램 저장량을 결정하는 문제를 다루었다. Ramarao and Ramamoorthy[4]는 3계층에서 계층간 프로그램 전송에 따른 저장 비용과 전송 비용의 합을 최소로 하는 프로그램 저장 정책에 관하여 연구하였으며, Schaffa and Nussbaumer[5]는 비디오 서버를 설치할 수 있는 중심국이 다계층 존재하는 구조에서 저장 비용과 전송 비용의 합을 최소화 하는 기준으로 모든 프로그램을 저장시킬 하나의 계층을 결정하는 문제와 최상위 계층과 하위 계층 중 하나에 적절히 프로그램을 분산저장시키는 문제를 다루었다.

본 연구에서는 다계층 VOD 서비스망에서 망 설계의 최적화를 위해 프로그램 전송 비용, 저장 비용, 그

리고 비디오 서버의 설치 비용의 합이 최소가 되는 비디오 서버의 위치를 선정하는 문제와 비디오 서버에 저장시킬 프로그램의 종류와 그 양을 결정하는 문제를 동적계획법(Dynamic Programming)을 이용하여 해결하고자 한다.

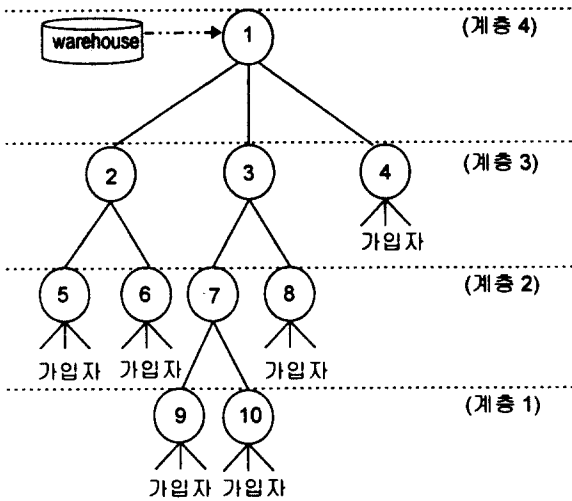
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 연구에서 다루는 문제를 설정하고, 3절에서는 동적계획법을 이용한 문제 해결 방법을 제시한다. 4절에서는 제시한 문제 해결 방법의 구체적인 예를 들고, 동적계획법에 의한 문제 해결의 결과를 분석하며, 5절은 결론으로 한다.

2. 문제 설정

2.1 VOD 망 구조와 서비스 정책

본 연구에서는 VOD 서비스망으로 <그림 1>과 같은 형태의 다계층 구조를 다룬다. 여기에서 계층은 하위 계층부터, 그리고 중심국은 최상위 계층의 중심국부터 차례로 번호를 부여한다. 또한 하위 또는 상위 중심국은 자신을 포함한 전송 경로상의 모든 중심국을 대상으로 하며, 전송 경로는 최상위 계층에 있는 중심국에서 가입자가 연결된 각 중심국까지의 경로를 의미한다. 예를 들어, <그림 1>에서 중심국 7의 하위 중심국은 중심국 9, 10이며, 상위 중심국은 중심국 1, 3이다. 그리고, 중심국 7을 포함한 전송 경로는 중심국 1, 3, 7, 9와 중심국 1, 3, 7, 10로 연결된 두 전송 경로가 존재한다.

모든 중심국들의 하위 중심국 수는 항상 동일하지 않으며, 최상위 계층의 중심국 1에는 서비스 대상이 되는 모든 프로그램을 저장하고 있는 프로그램 저장 창고(program warehouse)가 연결되어 있다고 본다. 이 저장 창고는 일정한 계획기간마다 각 비디오 서버의 저장 장치에 저장하는 프로그램을 제공하는 역할을 한다. 가입자는 각 전송 경로상의 최하위 중심국에만 연결되어 있으며, 나머지 중심국들은 프로그램을 중계하는 스위칭 기능을 지니고, 모든 중심국은 비디오 서버를 설치할 수 있다. 그리고 모든 전송 경로의 용량 제약은 없다고 본다.



〈그림 1〉 4계층 VOD 서비스망의 예

가입자가 서비스를 요청하면 가입자와 연결되어 있는 중심국으로부터 그 중심국이 속해 있는 전송 경로상의 모든 중심국에 대해 계층적으로 프로그램을 검색하여 서비스를 제공해 주는 정책을 갖는다. 즉, 가입자들은 자신과 연결된 중심국이 속해 있는 전송 경로상의 비디오 서버에 의해서만 서비스를 받을 수 있다고 가정한다. 따라서, 서비스 대상이 되는 모든 프로그램은 각 전송 경로상의 비디오 서버에 반드시 저장되어 있어야 하나, 동일한 종류의 프로그램은 각 비디오 서버에 분산 저장하지 않는 정책을 가진다. 또한 모든 중심국에서의 프로그램당 단위저장 비용이 동일하고, 전송 경로상의 중심국들에 서로 다른 종류의 프로그램을 분산저장하는 경우는 상위 중심국보다 하위 중심국에 선호도가 상대적으로 높은 프로그램을 저장시키는 것을 원칙으로 한다. 즉 전송 경로상에서 하위 중심국의 저장 프로그램이 상위 중심국의 그것보다 반드시 선호도가 높은 것을 저장한다. 이는 수요가 집중되는 프로그램을 가입자와 비교적 가까운 계층의 중심국에 저장함으로써 전송 비용을 줄이고자 함에 있다.

2.2 프로그램 시청 확률

프로그램 시청 확률(vision probability)은 시간의 흐름에 따라 변할 것이다. 그러나 본 연구에서는 일정 간격(1주 또는 2주)으로 조사하여 그 기간 동안 각 프로그램에 대한 시청 확률이 주어진다고 본다. 서비스되는 J 종류의 프로그램을 선호도가 높은 순으로 정렬할 때, j 번째 선호도를 갖는 프로그램의 시청 확률 P_j 는 Giovanni *et al.*[1]와 Nishioka *et al.*[2]에 의해 각각 식 (1)과 식 (2)와 같이 제안되었다.

$$P_j = \frac{P_{j-1}}{D_{HP}}, \quad j > 1, \quad P_1 = \frac{1 - (1/D_{HP})^J}{1 - (1/D_{HP})}, \quad \sum_{j=1}^J P_j = 1 \quad (1)$$

$$P_j = \frac{1/j}{\sum_{c=1}^J 1/c}, \quad \sum_{j=1}^J P_j = 1 \quad (2)$$

식 (1)에서 D_{HP} 는 j 번째 선호도를 갖는 프로그램에 대한 $(j-1)$ 번째 선호도를 갖는 프로그램의 시청 확률 비율로써 항상 1보다 크거나 같은 상수이다. 본 연구에서 프로그램 시청 확률은 식 (1)을 사용하였으며, 중심국에 연결된 가입자의 프로그램 시청 확률은 중심국에 상관없이 모두 동일하다고 보았다.

3. 동적계획 모형

본 연구에서는 서비스 정책을 만족시키면서 프로그램 전송 비용, 저장 비용 그리고 비디오 서버의 설치 비용의 합을 최소화하는 기준으로 어떤 중심국에 비디오 서버를 설치할 것인가, 그리고 설치된 비디오 서버에 어떤 프로그램을 얼마나 저장시킬 것인가를 결정하는 문제를 다룬다. 이러한 문제는 열거법을 통한 할당 모형으로도 최적해를 구할 수 있으나, 중심국의 수와 프로그램 종류의 수가 증가하면 해의 공간이 기하급수적으로 증가하고, 계산해야 하는 비용들이 통상 비선형의 형태를 띠고 있으므로 효과적인 문제 해결 기법이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 〈그림 1〉과 같이 다단계(다계층)로 이루어지는 의사 결정 문제에 적합한 수리 계획법으로 알려져 있는 동적계획법을 이용하여 문제를 해결하고자 한다.

동적계획법에서 순환식으로 모형화하기 위해서는 단계와 상태가 정의되어야 한다. 단계는 계층으로 정의하고, 하위 계층부터 k 로 나타낸다. 예를 들어, <그림 1>에서 계층 1, 2, 3, 4가 단계 1, 2, 3, 4, 즉 $k=1, 2, 3, 4$ 가 된다. 상태는 두 개의 상태변수로 정의되는데, 하나는 그 단계(계층)에 있는 중심국(n)이 되고, 다른 하나는 그 중심국과 그 모든 하위 중심국에 저장하는 프로그램 종류의 수(s)로 정의한다. 예로, 단계 2에서 상태는 $n=5, 6, 7, 8, s=0, 1, \dots, J$ 가 된다. 2절에서 언급했듯이, 전송 경로상에서 하위 중심국에는 상위 중심국에 저장된 프로그램보다 반드시 선호도가 높은 프로그램을 저장하기 때문에, 만약 $n=7, s=j$ 이면 중심국 7, 9, 10에 선호도가 j 번째인 프로그램까지 저장하는 상태를 나타낸다. 그리고 ($J-j$)종류의 프로그램은 중심국 7의 상위 중심국인 중심국 1, 3에 저장됨을 나타낸다.

동적계획 모형화를 위해 사용 기호들을 아래와 같이 정의한다.

- K : 계층의 수
- N : 중심국의 수
- j : 프로그램 종류의 선호도 번호 $j=1, \dots, J$
- k : 단계변수 $k=1, \dots, K$
- n : 중심국 번호를 나타내는 상태변수 $n=1, \dots, N$
- s : 프로그램 종류 수를 나타내는 상태변수 $s=0, \dots, J$
- P_j : 선호도가 j 번째인 프로그램의 시청 확률
- M_k : 단계 k 에 속한 중심국 집합
- L_n : 중심국 n 과 연결된 직하위 중심국 집합
- R_n : 중심국 n 의 단위 시간당 최변시 평균 서비스 수요량
- D_n : 중심국 n 과 직상위 중심국간의 거리
- C_i : 단위 비디오 서버 설치 비용
- C_s : 단위 프로그램 저장 비용
- C_t : 단위 프로그램 전송 비용
- h : 한 프로그램에 대한 다중 액세스 수
- $|x|^+$: x 보다 크거나 같은 최소의 정수

본 연구에서 다루는 문제의 순환식은 식 (3)과 같다. 식 (3)에서 $f_k(n,s)$ 은 단계 k 에 있는 중심국 n 과 그

하위 중심국들에 s 종류의 프로그램을 저장할 때 프로그램 전송 비용(TC_n), 저장 비용(SC_n), 그리고 비디오 서버 설치 비용(FC_n)의 합이 최소가 되는 값을 나타낸다. 그리고 순환식은 직하위 중심국이 존재하는 경우와 그렇지 않은 경우, 즉 $L_n \neq \emptyset$ 와 $L_n = \emptyset$ 인 경우로 구분된다.

$$f_k(n,s) = \begin{cases} TC_n(s,s) + SC_n(s,s) + FC_n(s,s), \\ k=1, \dots, K-1, n \in M_k, s=0, \dots, J, L_n = \emptyset \\ \text{MIN}_{x_i=0, \dots, s} [TC_n(s, x_n) + SC_n(s, x_n) + FC_n(s, x_n) + \sum_{q \in L_n} f_{k-1}(q, s - x_n)], \\ k=2, \dots, K, n \in M_k, s=0, \dots, J, L_n \neq \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서의 결정변수 x_n 은 중심국 n 이 상태 s 에 있을 때 중심국 n 에 저장하는 프로그램 종류의 수를 의미한다. 예를 들어, 단계 2에서의 상태가 $n=7, s=8$ 이고 이 때의 결정변수 $x_7=3$ 이면, 중심국 7에 선호도가 6, 7, 8번째인 프로그램을 저장하고, 중심국 7의 하위 중심국인 중심국 9, 10에 각각 선호도가 1, 2, 3, 4, 5번째인 프로그램을 저장하는 것을 의미한다.

문제의 최적해를 구하기 위한 부분 문제는 중심국 별로 두고 있다. 부분 문제의 최적 결정은 단계 1부터 시작하고 동적계획법의 기본적인 성질인 최적의 원리 (Principle of Optimality)에 의해 전체 문제의 최적을 결정하므로, 최적해는 $f_k(1, J)$ 에 의해 구할 수 있다. 그리고 각 중심국에 최적으로 저장되는 프로그램 종류는 중심국 1이 상태 J 에 있을 때, 저장 가능한 결정변수 중 총 비용을 최소로 하는 최적 결정변수 x_1^* 를 구하면 중심국 1과 그 하위 중심국들에 대해 최적으로 저장된 프로그램 종류를 순환식에 의해 구할 수 있다.

단계 k 에서 상태 (n,s) 에 있을 때, 즉 중심국 n 에 선호도가 s 번째인 프로그램까지 저장 가능할 때 중심국 n 에 x_n 만큼의 프로그램을 저장한다면, 한 단계 아래에 있는 중심국 n 의 직하위 중심국들에는 $(s-x_n)$ 개의 프로그램 종류를 저장하게 된다. 따라서, 모든 직하위 중심국 L_n 에 $(s-x_n)$ 개의 프로그램을 저장할 때의 비용이 고려되어야 한다. 식 (3)의 $f_{k-1}(q, s-x_n)$ 은 단계

$k-1$ 에 있는 중심국 n 의 어떤 직하위 중심국 q ($q \in L_n$)에 $(s-x_n)$ 개의 프로그램 종류를 저장할 때 프로그램 전송 비용, 저장 비용 그리고 비디오 서버 설치 비용의 합이 최소가 되는 값을 나타낸다.

$TC_n(s, x_n)$ 은 중심국 n 에 선호도가 s 번째인 프로그램까지 저장 가능할 때, x_n 만큼 저장하고 중심국 n 의 하위 중심국에 나머지 프로그램을 저장하는 경우, 중심국 n 에서 그 직하위 중심국으로의 프로그램 전송 비용으로 식 (4)와 같이 둔다. 여기서 가입자가 직접 연결되어 있는 중심국에서 가입자까지는 흔히 전용 링으로 연결되어 있으므로 가입자와 그가 연결된 중심국간의 전송 비용은 고려하지 않는다.

$$TC_n(s, x_n) = \sum_{q \in L_n} g_1 \left[C_n D_{nq} \sum_{j=(s-x_n+1)}^J (R_q \times P_j) \right],$$

$$L_n \neq \phi \text{ and } (s-x_n+1) \leq J \quad (4)$$

프로그램 전송 비용 함수 g_1 을 구성하는 요소들을 살펴보자. C_i 는 단위 프로그램당 전송 비용이다. D_{nq} 는 중심국 q 를 중심국 n 의 직하위 중심국이라고 할 때, 중심국 n 과 q 간의 거리를 나타낸다. 이는 전송 비용이 중심국간 거리에 종속되어 결정된다면 사용될 수 있는 비용 요소이다. R_q 는 중심국 q 의 단위 시간당 최번시 평균 서비스 수요량이다.

각 중심국의 단위 시간당 최번시 평균 서비스 수요량은 다음과 같이 결정할 수 있다. 가입자가 연결된 중심국의 경우는 가입자수, 최번시 집중률, 평균 서비스 시간의 곱으로 계산되는 트래픽량(traffic volume)을 서비스 단위 시간으로 나눈 값을 최번시 평균 서비스 수요량으로 한다. 그러나 가입자와 직접 연결되지 않은 중심국의 경우는, 즉 하위 중심국을 갖는 중심국은 자신의 직하위 중심국들의 최번시 평균 서비스 수요량의 합을 평균 서비스 수요량으로 한다. 이때 최번시 집중률은 하루 중 최번시에 가입자가 서비스를 요구할 확률로 정의한다. 즉 가입자가 1,000명인데 최번시에 평균 100개의 프로그램이 요청된다면 최번시 집중률은 0.1이 된다.

중심국 n 에서 그 직하위 중심국들로 전송되는 프로그램들은 중심국 n 에 저장되어 있는 프로그램과 상위

중심국들에 저장되어 있는 프로그램, 즉 선호도가 $(s-x_n+1)$ 인 것 부터 J 까지의 프로그램이 된다. P_j 가 선호도가 j 번째인 프로그램의 시청 확률일 때, 중심국 n 에 프로그램 j 가 할당되었다면 프로그램 j 의 평균 수요량은 중심국 n 의 수요량과 프로그램 j 의 시청 확률을 곱하여 계산된다. 따라서, 중심국 n 에 저장된 프로그램의 총 수요량은 선호도가 $(s-x_n+1)$ 인 것 부터 J 까지인 프로그램의 평균 수요량의 합이 된다. g_1 함수는 4절에서 구체적으로 예시한다.

$SC_n(s, x_n)$ 은 중심국 n 에 선호도가 s 번째인 프로그램까지 저장 가능할 때, x_n 만큼 저장하고 중심국 n 의 하위 중심국에 나머지 인기 있는 프로그램을 저장하는 경우의 저장 비용을 나타낸다. 따라서 저장 비용은 식 (5)와 같은 함수로 표현되고, 여기서 모든 프로그램에 대해 단위당 저장 비용은 동일하다고 본다.

$$SC_n(s, x_n) = g_2 \left[C_s \sum_{j=(s-x_n+1)}^s (R_n \times P_j) \right], \quad x_n \neq 0 \quad (5)$$

저장 비용 함수 g_2 는 다음과 같은 요소들로 구성된다. C_s 는 단위 프로그램당 저장 비용이다. 중심국 n 에 저장된 프로그램은 선호도가 $(s-x_n+1)$ 인 것 부터 s 까지의 프로그램이고, 이들 프로그램의 수요량은 중심국 n 의 단위 시간당 최번시 평균 서비스 수요량(R_n)과 각 프로그램의 시청 확률(P_j)의 곱으로 계산된다. 그리고 다중 액세스 기술에 의해 하나의 프로그램을 저장하여 동시에 여러 가입자가 시청할 수 있다. 따라서 다중 액세스 수가 h 일 때, 각 중심국에 저장하는 j 번째 선호도를 갖는 프로그램의 저장량은 식 (6)에 의해 구할 수 있다.

$$\text{중심국 } n \text{에 저장하는 } j \text{번째 선호도를 갖는 프로그램의 저장량} = \left\lceil \frac{P_j \times R_n}{h} \right\rceil^+ \quad (6)$$

여기서, $\lceil x \rceil^+$ 는 x 보다 크거나 같은 최소의 정수를 나타내는데, 이는 저장 단위를 프로그램 단위로 하기 위한 것이다. g_2 함수는 4절에서 구체적으로 예시한다.

중심국 n 에 프로그램을 저장하게 되면 저장 장치를 포함한 비디오 서버가 설치되어야 한다. $FC_n(s, x_n)$ 은

중심국 n 의 상태가 s 일때, 결정변수 x_n 이 0이 아닌 값을 갖는 경우, 즉 저장 장치가 필요한 경우에 비디오 서버의 설치가 요구되는데, 이때 비디오 서버의 설치 비용을 나타낸다. 따라서 비디오 서버의 설치 비용은

$$FC_n(s, x_n) = g_3(C_v, y_n(x_n)) \quad (7)$$

로 표현할 수 있다. g_3 에서 C_v 는 단위 비디오 서버 설치 비용이고, 변수 y_n 는 x_n 값에 따라 결정된다. 비디오 서버의 설치 비용은 중심국의 위치에 상관없이 일정하다고 본다. g_3 함수의 예는 4절에서 제시한다.

4. 예제 및 실험

3절에서 제시한 비용 함수의 예로, 프로그램 전송 비용($TC_n(s, x_n)$), 프로그램 저장 비용($SC_n(s, x_n)$), 그리고 비디오 서버 설치 비용($FC_n(s, x_n)$)은 각각 식 (8), (9), (10)으로 두자. 전송 비용과 저장 비용은 Schaffa and Nussbaumer[5]에서와 같이 전송 정보량, 저장량에 대해 비선형 관계로 두었고, 설치 비용은 선형으로 주어진다고 보았다. 전송 비용은 전송 정보량, 서비스 이용 시간대, 전송 거리 등의 요소에 의해, 그리고 저장 비용은 저장량, 저장 장치의 종류 및 구성 형태 등에 의해 결정될 수 있다[6]. 그러나 본 연구에서는 전송 비용, 저장 비용을 각각 전송량과 저장량에 비선형의 관계에 있다고 본다. 물론 이는 선형의 관계를 포함한다.

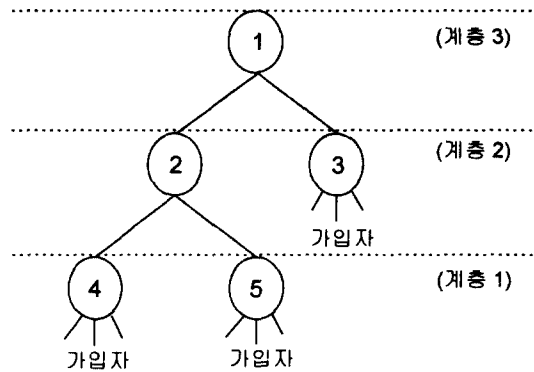
$$TC_n(s, x_n) = \sum_{q \in L_n} \left\{ C_t \times D_q \times \sum_{j=(s-x_n+1)}^s (P_j \times R_q) \right\}^{\nu_t}, \quad \phi_t \geq 0 \quad (8)$$

$$SC_n(s, x_n) = \left\{ c_s \times \sum_{j=(s-x_n+1)}^s \left[\frac{p_j \times R_n}{h} \right] \right\}^{\nu_s}, \quad \phi_s \geq 0 \quad (9)$$

$$FC_n(s, x_n) = C_v \times y_n, \quad y_n = \begin{cases} 1, & x_n \neq 0 \\ 0, & x_n = 0 \end{cases} \quad (10)$$

4.1 예제

3절에서 제시한 동적계획법을 설명하기 위해 <그림 2>와 같은 3계층 VOD 서비스망을 예제로 사용한다.



<그림 2> 3계층 VOD 서비스망의 예

예제에 적용된 파라미터의 값은 <표 1>과 같다. 전송 비용이 저장 비용보다 크다고 보았다[1]. 중심국 n 과 직상위 중심국간의 거리 D_n 은 모두 1로 두었으나, 각 중심국간 거리가 서로 다르게 주어진 경우도 계산 가능하다. 그리고 가입자와 연결된 중심국 3, 4, 5에 대한 최번시 평균 서비스 수요량은 주어졌다고 가정한다.

<표 1> 파라미터의 값

파라미터	값	파라미터	값
J	5	h	10
D_{HP}	1.06	C_t	2
D_n	1	C_s	1
R_s	300	C_v	100
R_t	200	ϕ	0.5
R_n	100	ϕ_s	2

단계 1에서 시작하여 마지막 단계까지 각 중심국에 대한 최적을 결정하고, 마지막 단계에 있는 중심국에 대한 최적 결정이 끝나면 전체 문제의 최적해를 구할 수 있게 된다. 다음은 단계 1부터 단계 3까지 각 중심국에 대한 최적을 결정하는 절차를 보여 주고 있다.

<단계 1>

단계 1에 있는 중심국 4, 5에 대한 함수 값과 결정 변수의 값은 각각 <표 2>, <표 3>과 같이 구해진다.

〈표 2〉 $f_1(4, s)$ 와 x_1^*

s \ x ₁	TC ₁ (s, x ₁) + SC ₁ (s, x ₁) + FC ₁ (s, x ₁)						f ₁ (4, s)	x ₁ [*]
	0	1	2	3	4	5		
0	0+0+0						0	0
1		0+25+100					125	1
2			0+100+100				200	2
3				0+196+100			296	3
4					0+324+100		424	4
5						0+484+100	584	5

〈표 3〉 $f_1(5, s)$ 와 x_1^*

s \ x ₁	TC ₁ (s, x ₁) + SC ₁ (s, x ₁) + FC ₁ (s, x ₁)						f ₁ (5, s)	x ₁ [*]
	0	1	2	3	4	5		
0	0+0+0						0	0
1		0+9+100					109	1
2			0+36+100				136	2
3				0+64+100			164	3
4					0+100+100		200	4
5						0+144+100	244	5

〈단계 2〉

단계 2에서 중심국 2, 3에 대한 함수와 결정변수의 값은 각각 〈표 4〉, 〈표 5〉와 같이 구해진다.

〈표 4〉 $f_2(2, s)$ 와 x_2^*

s \ x ₂	TC ₂ (s, x ₂) + SC ₂ (s, x ₂) + FC ₂ (s, x ₂) + f ₁ (4, s - x ₂) + f ₁ (5, s - x ₂)						f ₂ (2, s)	x ₂ [*]
	0	1	2	3	4	5		
0	34+0+0 +0+0						34	0
1	30+0+0 +125+109	34+49+100 +0+0					183	1
2	26+0+0 +200+136	30+49+100 +125+109	34+196+100 +0+0				330	2
3	21+0+0 +296+164	26+36+100 +200+136	30+169+100 +125+109	34+400+100 +0+0			481	0
4	14+0+0 +424+200	21+36+100 +296+164	26+144+100 +200+136	30+361+100 +125+109	34+676+100 +0+0		606	2
5	0+0+0 +584+244	14+36+100 +424+200	21+144+100 +296+164	26+324+100 +200+136	30+625+100 +125+109	34+1024+100 +0+0	725	2

〈표 5〉 $f_3(3,s)$ 와 x_3^*

s	x_3	$TC_3(s, x_3) + SC_3(s, x_3) + FC_3(s, x_3)$					$f_3(3, s)$	x_3^*	
		0	1	2	3	4			5
0		0+0+0					0	0	
1			0+49+100				149	1	
2				0+196+100			296	2	
3					0+400+100		500	3	
4						0+676+100	776	4	
5							0+1024+100	1124	5

〈표 6〉 $f_3(1,5)$ 와 x_1^*

s	x_1	$TC_1(5, x_1) + SC_1(5, x_1) + FC_1(5, x_1) + f_2(2, 5 - x_1) + f_2(3, 5 - x_1)$					$f_3(1, 5)$	x_1^*	
		0	1	2	3	4			5
5		0+0+0 +725+1124	21+121+100 +606+776	30+529+100 +481+500	37+1225+100 + 330+296	43+2304+100 +183+149	49+3844+100 + 34+0	1624	1

〈단계 3〉

단계 3의 중심국 1에 대한 함수와 결정변수의 값은 〈표 6〉과 같다. 이때 중심국 1과 그 하위 중심국들에는 모든 프로그램이 저장되어야 하므로 상태는 5만을 고려하면 된다.

〈최적해〉

전체 문제에서의 최소 비용은 $f_3(1,5)$ 에 의해 1624가 된다. 〈표 7〉은 최적 결정변수와 저장된 프로그램의 종류를 나타내고 있다. 최적 결정변수는 $x_1^* = 1$ 이므로 단계 2에서 상태변수 $s = 5 - x_1^* = 4$ 가 되어 $f_2(2,4)$ 와

$f_2(3,4)$ 의 최적 결정변수 $x_2^* = 2, x_3^* = 4$ 가 되고, 단계 1에서는 상태변수가 $s = 4 - x_2^* = 2$ 가 되어 $x_4^* = x_5^* = 2$ 가 된다. 따라서 중심국 1에서는 최하위 인기 프로그램($j = 5$)을, 그리고 중심국 2에는 3번째, 4번째 인기 프로그램($j = 3, 4$)을, 그리고 중심국 3에는 중심국 1에 저장되지 않은 모든 프로그램($j = 1, 2, 3, 4$)을 저장하게 된다. 중심국 4, 5에는 중심국 1, 2에 저장되지 않은 프로그램, 즉 최상위 인기 프로그램과 그 다음 인기 프로그램($j = 1, 2$)을 저장하는 것이 최적 정책이 된다. 그리고 각 프로그램의 저장 개수는 〈표 1〉의 R_j 과 h 의 값과 식 (1)로부터 구한 P_j 를 식 (6)에 대입하여 구한 것이다.

〈표 7〉 최적해

단계	중심국	상태(s)	최적결정변수(x_n^*)	저장된 프로그램의 종류(j) 및 개수
3	1	5	1	5번: 11개
2	2	4	2	4번: 6개, 3번: 6개
	3	4	4	4번: 6개, 3번: 6개, 2번: 7개, 1번: 7개
1	4	2	2	2번: 5개, 1번: 5개
	5	2	2	2번: 3개, 1번: 3개

4.2 실험

〈표 8〉 파라미터의 값

〈그림 1〉의 4계층 VOD 서비스망과 〈표 8〉의 파라미터를 사용하여 제안한 동적계획법의 계산 시간과 관련 비용의 변화에 따른 저장량, 저장되는 프로그램 종류 등을 실험하였다. 〈표 8〉에 제시되지 않은 파라미터는 〈표 1〉의 값을 그대로 사용하였으며, 실험에 사용된 컴퓨터는 CPU 120Mhz의 Pentium이다.

먼저, 제안한 동적계획법의 계산 시간의 효율을 분석하여 보았다. 프로그램 종류가 200개일 때, 모든 경우를 열거한 열거법에 의하면 약 97시간이 소요된 반면 동적계획법에서는 12초가 소요되었다. 프로그램 종류가 500개인 경우, 동적계획법은 170초가 소요되었으나, 열거법에 의해서는 경우의 수가 약 80억개나 되어 적정 시간내에 해를 구하는데 한계가 있었다. 〈그

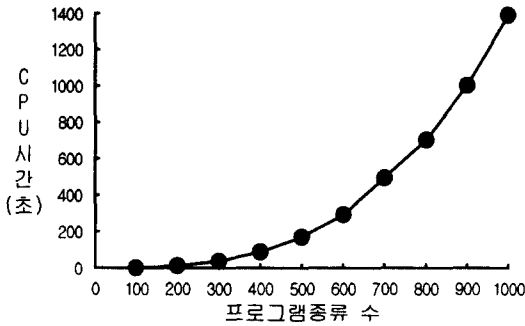
파라미터	값	파라미터	값
J	500	R_5	3,000
C_s	2	R_6	2,000
C_t	3	R_8	3,000
C_v	2,000	R_9	1,000
R_4	4,000	R_{10}	2,000

림 3)은 프로그램 종류의 증가에 따른 CPU시간을 보여주고 있다.

다음은 관련 비용의 변화에 따른 비디오 서버의 설치 위치, 저장량 그리고 저장하는 프로그램의 종류 등을 분석한다. 〈표 9〉는 비선형 비용인자, 〈표 10〉은

〈표 9〉 비선형 비용 인자의 변화에 따른 최적 저장량과 프로그램 종류

비선형 비용인자		단계 1 중심국		단계 2 중심국				단계 3 중심국			단계 4 중심국	최적값
ϕ_s	ϕ_t	9	10	5	6	7	8	2	3	4	1	
1.2	0.83	137 (1-69)	231 (1-69)	327 (1-69)	231 (1-69)	0 (0)	327 (1-69)	0 (0)	0 (0)	425 (1-69)	439 (70-500)	30,109
1.2	0.66	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	499 (1-52)	594 (1-52)	406 (1-52)	493 (53-500)	26,289
1.2	0.50	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1945 (1-500)	23,181
1.5	0.83	86 (1-24)	162 (1-24)	216 (1-20)	147 (1-20)	0 (0)	237 (1-24)	167 (21-67)	156 (25-67)	423 (1-67)	443 (68-500)	116,567
1.5	0.66	80 (1-21)	151 (1-21)	210 (1-19)	143 (1-19)	0 (0)	222 (1-21)	175 (20-65)	183 (22-65)	421 (1-65)	447 (66-500)	113,916
1.5	0.50	78 (1-20)	147 (1-20)	197 (1-17)	134 (1-17)	0 (0)	216 (1-20)	196 (18-65)	194 (21-65)	421 (1-65)	447 (66-500)	113,083
2.0	0.83	53 (1-11)	100 (1-11)	210 (1-19)	143 (1-19)	84 (12-23)	232 (1-23)	187 (20-77)	175 (24-77)	433 (1-77)	423 (78-500)	2,305,140
2.0	0.66	53 (1-11)	100 (1-11)	210 (1-19)	143 (1-19)	84 (12-23)	232 (1-23)	187 (20-77)	175 (24-77)	433 (1-77)	423 (78-500)	2,302,160
2.0	0.50	53 (1-11)	100 (1-11)	210 (1-19)	143 (1-19)	84 (12-23)	232 (1-23)	187 (20-77)	175 (24-77)	433 (1-77)	423 (78-500)	2,301,330



〈그림 3〉 계산 시간

용하였다.

〈표 9〉에서 알 수 있듯이 최적 저장량과 저장되는 프로그램 종류는 비선형 전송 비용 인자 ϕ , 보다는 비선형 저장 비용 인자 φ_s 에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그리고 〈표 10〉에 의하여 전송 비용이 증가할수록 하위 계층에 존재하는 중심국의 저장량은 증가하지만, 저장량의 증가 비율이 전송 비용의 증가 비율에 크게 영향을 받지 않는음을 알 수 있다. 또한 〈표 11〉에서 알 수 있듯이 비디오 서버의 설치 비용에 따라 프로그램 저장 위치가 변하며, 설치 비용이 증가함에 따라 비디오 서버의 수가 감소하게 된다.

〈표 10〉 전송 비용과 저장 비용의 변화에 따른 최적 저장량과 프로그램 종류

단위 비용		단계 1 중심국		단계 2 중심국				단계 3 중심국			단계 4 중심국	최적값
C_s	C_t	9	10	5	6	7	8	2	3	4	1	
2	2	168 (1-100)	262 (1-100)	358 (1-100)	262 (1-100)	0 (0)	358 (1-100)	0 (0)	0 (0)	456 (1-100)	400 (101-500)	18,693
2	20	207 (1-139)	301 (1-139)	397 (1-139)	301 (1-139)	0 (0)	397 (1-139)	0 (0)	0 (0)	495 (1-139)	361 (140-500)	19,094
2	40	219 (1-151)	313 (1-151)	409 (1-151)	313 (1-151)	0 (0)	409 (1-151)	0 (0)	0 (0)	507 (1-151)	349 (152-500)	19,213
2	80	231 (1-163)	325 (1-163)	421 (1-163)	325 (1-163)	0 (0)	421 (1-163)	0 (0)	0 (0)	519 (1-163)	337 (164-500)	19,332
2	140	241 (1-173)	335 (1-173)	431 (1-173)	335 (1-173)	0 (0)	431 (1-173)	0 (0)	0 (0)	529 (1-173)	327 (174-500)	19,428

전송 비용과 저장 비용의 상대적 비율, 그리고 〈표 11〉은 설치 비용의 변화에 따른 최적 저장용량과 저장되는 프로그램 종류를 나타낸다. 저장되는 프로그램 종류는 선호도를 사용하여 나타내었다. 예를 들어, 표 내의 값이 '137(1-69)'라는 것은 저장용량이 137이고, 선호도가 가장 좋은 프로그램부터 선호도가 69번째인 프로그램까지를 저장한다는 의미이다. 〈표 9〉는 〈표 8〉의 파라미터중 비선형 비용인자만을 변화시켰으며, 〈표 10〉과 〈표 11〉은 비선형 비용 인자는 모두 1(즉, 비용이 선형관계라고 가정)로 두고 관련 비용만을 변화시켰으며, 다른 파라미터는 〈표 8〉의 값을 사

5. 결론

본 연구에서는 다계층 VOD 서비스망에서 망 설계의 최적화를 위해 프로그램 전송 비용, 저장 비용, 그리고 비디오 서버의 설치 비용의 합이 최소가 되는 저장 위치(중심국)와 프로그램의 종류를 결정하는 문제를 다루었다. 특히, 다계층 VOD 서비스망에서 프로그램 전송 비용과 저장 비용이 비선형으로 주어진 경우, 동적계획법을 이용한 효과적인 문제 해결 방안을 제시하였으며, 예제를 통해 제시한 동적계획법을 구체적으로 설명하였다.

〈표 11〉 설치 비용의 변화에 따른 최적 저장량과 프로그램 종류

C _i	단계 1 중심국		단계 2 중심국				단계 3 중심국			단계 4 중심국	최적값
	9	10	5	6	7	8	2	3	4	1	
0	164 (1-96)	258 (1-96)	362 (1-104)	266 (1-104)	11 (97-108)	365 (1-107)	7 (105-111)	4 (108-111)	467 (1-111)	389 (112-500)	4,759
1,000	175 (1-107)	269 (1-107)	365 (1-107)	269 (1-107)	0 (0)	365 (1-107)	0 (0)	0 (0)	463 (1-107)	393 (108-500)	11,768
5,000	568 (1-500)	662 (1-500)	758 (1-500)	662 (1-500)	0 (0)	758 (1-500)	0 (0)	0 (0)	856 (1-500)	0 (0)	38,528
10,000	0 (0)	0 (0)	758 (1-500)	662 (1-500)	758 (1-500)	758 (1-500)	0 (0)	0 (0)	856 (1-500)	0 (0)	66,584
15,000	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	758 (1-500)	758 (1-500)	953 (1-500)	0 (0)	856 (1-500)	0 (0)	90,650
20,000	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	953 (1-500)	1,051 (1-500)	856 (1-500)	0 (0)	107,720
25,000	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1945 (1-500)	115,890

본 연구는 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 다계층 통신망에서 망 자원의 최적화를 위한 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

【참고문헌】

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

[2] Nishioka, M., Murase, K., and Uchimura, K., "The Load Distribution Method on Video on Demand Service," Technical Report of IEICE, 4, pp. 15-22, 1993.

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

[4] 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.

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

[6] 강창국, 이영용, 오형식, 이덕주, 노장래, "광대역 ISDN 서비스의 과금체계 및 과금요소 연구," 96 춘계 IE/MS 공동학술대회논문집, 공군사관학교, pp. 328-332, 1996.

[7] 박섭형, 이정수, 윤동식, 정재일, "국내 VOD기술의 발전 현황 및 전망," 한국통신학회지 제 13권 제 7호, pp. 105-113, 1996.

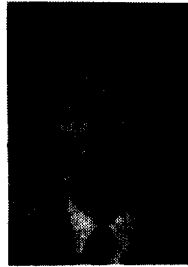


김여근(金汝根)
현재 전남대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 서울대학교에서 학사(1976), 석사(1979) 및 박사(1986)학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 Genetic Algorithm, Tabu Search와 Simulated Annealing의 이론과 응용, Line Balancing, Scheduling, 통신망 설계 및 운영 등이다.



조명래(趙明來)

현재 전남대학교 산업공학과 박사과정
에 재학중이며, 전남대학교 산업공학
과에서 학사(1990), 석사(1993)학위를
취득하였으며, 1991년 (주)기아자동차
에서 근무하였다. 주요 관심분야는 통
신망 공학, Genetic Algorithm, Tabu
Search의 응용, Line Balancing 등이
다.



김재운(金載潤)

현재 전남대학교 산업공학과 석사과정
에 재학중이며, 전남대학교 산업공학
과에서 학사(1995)학위를 취득하였다.
주요 관심분야는 조합최적화문제에
Genetic Algorithm, Tabu Search의 응
용 및 통신 트래픽관리 등이다.

'96. 8. 최초접수. 10. 최종수정