

일반논문-10-15-4-09

마르코프 연쇄 모델링과 동적 계획 기법을 이용한 지상파 DTV 채널에서의 Push-VOD의 콘텐츠 스케줄링 방법

김 윤 형^{a)‡}, 이 동 준^{a)}, 강 대 갑^{a)}

Contents Scheduling Method for Push-VOD over Terrestrial DTV using Markov-Chain Modeling and Dynamic Programming Approach

Yunhyoung Kim^{a)‡}, Dong Jun Lee^{a)}, and Dae Kap Kang^{a)}

요 약

DTV 방송이 개시된 이후로 방송망의 비디오, 오디오 및 채널 정보들을 제외한 나머지 대역폭에 부가 정보를 전송하여 데이터 방송 등과 같은 서비스를 제공하고자 하는 노력이 있었다. 최근에는 이러한 대역폭에 장시간 동안 VOD 콘텐츠를 전송하여 수신기에 저장시키는 방법으로 콘텐츠를 제공하는 Push-VOD 서비스가 주목을 받고 있으며, ATSC에서도 NRT(Non-Real-Time)[1]라는 이름으로 해당 전송 방법을 규격화하는 작업을 진행하고 있다. 그러나 이러한 방식으로 콘텐츠를 전송할 때 DTV 수신환경이나 수신기의 문제 등으로 인해 한 번의 전송만으로는 콘텐츠가 예러없이 전송되지 않을 확률이 높다. 따라서 이를 극복하기 위해서는 방송망의 단방향적 특성상 콘텐츠를 여러 번 반복 전송하여 전송 신뢰도를 높여야 한다. 본 논문에서는 단방향 전송환경인 방송망으로 제한된 시간 내에 여러 콘텐츠를 수신기로 전송하고자 할 때, 마르코프 연쇄 모델링과 동적 계획 기법을 이용하여 전송된 콘텐츠들의 에러를 최소화하는 콘텐츠들의 최적 반복 전송 횟수를 구하는 방법을 제안한다.

Abstract

After starting digital terrestrial broadcasting, there have been a number of trials to provide new services like data broadcasting on a spare bandwidth of a DTV channel. Recently, the Push-VOD service, which provides A/V contents on that bandwidth, gets more attention and is being standardized as NRT(Non-Real-Time) by ATSC. However, it is highly probable that the contents transmitted in this way contain many errors due to the DTV receiving environment. Thus, in order to improve the reliability of transmission, the contents should be transmitted repeatedly several times, considering the unidirectional property of DTV terrestrial network. In this paper, we propose a method to calculate the optimal number of repetitions to transmit each contents in a way that minimizes the number of errors occurred, when trying to transmit several contents to the receiver in a restricted time, using Markov-chain modeling and dynamic programming approach.

Keyword : DTV, Push-VOD, NRT, Error Recovery, Error Probability

a) KBS 뉴미디어-테크놀로지 본부 기술연구소 방송기술연구부
Broadcast Technical Research, Technical Research Institute, Division
of New Media & Technology, KBS
‡ 교신저자 : 김윤형(lasttrial@kbs.co.kr)
·접수일(2010년4월14일), 수정일(2010년6월18일), 게재확정일(2010년6월18일)

1. 서 론

Push-VOD란 DTV 방송 대역폭 중 방송에 필수적인 대역폭을 제외한 나머지의 일부를 활용하여 VOD 콘텐츠를

전송하는 것을 의미하며, 시청자가 원하는 콘텐츠를 선택하여 전송받는 Pull 방식과 반대로 콘텐츠 제공자가 시청자의 수신기로 특정 콘텐츠를 Push 하는 방식을 일컫는다. 이 경우 콘텐츠 제공자가 송출하는 모든 콘텐츠를 시청자가 원하는 것은 아닐 수 있으므로, 일반적인 Push-VOD의 서비스 시나리오에는 어떤 콘텐츠를 언제 송출할지에 대한 정보, 즉 Push-VOD의 스케줄링 정보(예. 이번 일주일 간의 Push-VOD 송출 스케줄)를 미리 사용자에게 전달하여 사용자가 원하는 콘텐츠만을 저장할 수 있도록 지정할 수 있는 기능이 포함된다. Push-VOD 서비스를 제공받기 위해서는 수신기에 전송되는 콘텐츠를 저장할만한 저장 공간이 있어야 하며, 콘텐츠가 전송되는 동안 수신기가 동작하여 해당 콘텐츠를 수신할 수 있어야 한다. Push-VOD는 인터넷 등과 같은 외부 네트워크가 없는 상황에서도 누구나 지상파 대역폭을 통해 부가적인 콘텐츠를 소비할 수 있기 때문에 공익성을 추구할 수 있는 보편적인 서비스라는 점에서 의미가 있다.

Push-VOD 서비스에서 활용하는 대역폭은 1 Mbps 이하로 데이터방송과 마찬가지로 상당히 작은 편이지만, 콘텐츠의 크기는 데이터방송의 프로그램과 비교할 수 없을 정도로 크기 때문에 데이터 캐로우셀과 같은 방식으로 특정 콘텐츠를 끊임없이 반복 전송하기에는 무리가 있다. 또한, DTV 수신환경의 문제나 수신기의 연산 능력 부족 등으로 이유로 Push-VOD 콘텐츠는 수신 받는 도중 에러가 발생할 확률이 높아서 단 한번의 전송으로 콘텐츠 전송이 성공될 가능성이 높지 않다. 그와 더불어 방송망의 단방향 전송 특성상 Go-back-N과 같은 방식으로 에러를 복구할 수 없으므로 콘텐츠 전체를 반복 전송하여 전송 신뢰도를 높일 수 밖에 없다. Push-VOD 서비스는 스케줄에 따라 콘텐츠를 전송해야 하는 기간이 한정되어 있으므로 해당 스케줄 기간 내에 콘텐츠 별 전송 횟수를 달리 하여 전송 성공 확률을 최대한 높여야 한다. 즉, 여러 콘텐츠를 특정 기간 동안 송출할 경우, 각각의 콘텐츠에 대한 최적의 재전송 횟수를 결정하여 전송 신뢰도를 최대한 높이는 것이 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법을 제안한다. 2절에서는 Push-VOD 전송 환경에 대해 설명하고,

3절에서는 마르코프 연쇄(Markov chain)를 이용하여 전송 횟수에 따른 전송 성공 확률을 계산하는 방법을 설명한다. 4절에서는 3절의 방법을 통해 얻어진 각 콘텐츠의 전송 횟수 별 전송 성공 확률을 이용하여 동적 계획법(dynamic programming)으로 제한 시간 내에 전송 신뢰도를 최대화할 수 있는 콘텐츠 별 전송 횟수를 결정하는 방법을 설명한다. 5절에는 실제로 여러 콘텐츠를 대상으로 1주일 간 Push-VOD 서비스를 통해 송출할 경우에 대해 최적의 전송 횟수를 계산한 결과를 포함하였다.

II. Push-VOD 전송 환경

본 논문은 단방향 환경에서의 전송 신뢰도를 높이는 방법에 대한 것이므로 Push-VOD를 전송하는 규격 등에 대한 자세한 설명은 생략한다. 다만, Push-VOD의 서비스 및 전송 환경에 대한 간략한 설명을 통해 본 논문이 근거를 두고 있는 설정 환경에 대해 알아본다.

Push-VOD의 기본 서비스 시나리오는 DTV 채널로 방송용 A/V와 VOD 콘텐츠를 동시에 먹싱하여 제공하는 것이며, 예상 다운로드 속도는 1Mbps 이하로 가정한다. 그러므로 낮은 온에어 비트레이트를 감안하여 비디오 압축용 코덱은 DTV 방송 표준인 MPEG-2 방식과 달리 H.264를 가정한다. 이 경우 한 시간 분량의 HD 방송 콘텐츠를 H.264로 압축했을 경우 하루에 2편 정도의 콘텐츠를 전송할 수 있다. 크기가 큰 VOD 콘텐츠를 하나의 파일로 전송하게 되면 재전송 시의 에러 복구에 대한 대처가 어렵기 때문에 하나의 VOD 파일을 여러 개의 모듈로 나눠서 전송하는 방법이 보다 안정적이다. 따라서 하나의 모듈을 10MB 단위로 가정하여 하나의 콘텐츠를 전송 전에 여러 모듈로 나눈 후 전송하는 방법을 택하였다²⁾.

전송 시 에러가 가장 많이 발생하는 경우는 수신기의 연산 능력 부족으로 인해 모듈 수신 기능이 순간적으로 작동하지 않는 경우이다. 모듈 수신 기능은 항상 동작하여 DTV 망을 통해 전달되는 콘텐츠들을 저장해야 하기 때문에 백그라운드 애플리케이션으로 동작한다. 그러나 대부분의 수신기들의 연산 능력이 일반적인 PC에 비해 훨씬 떨어지므로

로 여러 가지 애플리케이션들(예. TV 포털 서비스)이 수신기에서 동작할 경우 리소스 부족 등의 이유로 전송 모듈의 일부 패킷들을 놓칠 수 있다. 또한 DTV 수신환경의 문제로 인해 방송국에서 송출되는 정보들이 일부 손실될 수 있다. ATSC의 NRT에서는 FEC(Forward Error Correction)를 이용하여 패킷 별 에러를 복구할 수 있도록 규정하고 있지만 에러 복구 능력이 제한적이므로 언제나라도 에러가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 수신기의 문제와 DTV 수신 환경의 문제로 인한 에러를 정확히 모델링 하기는 어렵기 때문에 이러한 경우들을 고려하여 한 모듈을 전송 받을 때 발생할 수 있는 에러를 확률 p 로 정의하였고, 단방향 송수신 환경만을 가정하므로 양방향 망에서 가능한 모듈 별 에러 복구는 고려하지 않았다. 이는 인터넷이 연결되지 않은 수신기에서도 신뢰성 있는 Push-VOD 서비스를 제공받을 수 있도록 하기 위해서이다.

III. 마르코프 연쇄 모델링

수신기에서는 콘텐츠의 각 모듈들을 개별적으로 저장하기 때문에 여러 번 반복하여 보내더라도 한번만 성공적으로 전송이 되면 그 모듈은 성공적으로 전송된 것으로 볼 수 있다. 이러한 송수신 환경을 바탕으로 콘텐츠의 반복 전송 횟수에 따른 콘텐츠 전송 성공확률을 마르코프 연쇄^[3]로 모델링 할 수 있다.

2절에서 정의한 대로 콘텐츠의 한 모듈에서 에러가 발생

할 확률을 p 라고 할 때, n 개의 모듈로 구성된 하나의 콘텐츠를 1회 전송 시 모든 모듈이 성공적으로 전송될 확률은 $(1-p)^n$ 이다. 하지만 2회 전송 시 모든 모듈이 성공적으로 전송될 확률은 이전 전송 결과에 의존적이다. 예를 들어 1회 전송 시에 k 개의 모듈만 성공적으로 전송되고 2회 전송 시에 비로소 모든 모듈이 성공적으로 전송될 확률은 $C_{n-k}^n \cdot p^{n-k} \cdot (1-p)^k \cdot C_0^{n-k} \cdot p^0 \cdot (1-p)^{n-k}$ 이다. n 이 5이고 k 가 3일 때의 예가 그림 1에 나타나 있다. 첫 번째 전송 시 임의의 3개가 성공적으로 전송되는 경우의 수는 C_3^5 이고, 각 경우 별 확률은 $p^3 \cdot (1-p)^2$ 이다. 그 후 두 번째 전송 시에는 제대로 전송 받지 못한 2개의 모듈에 대해서만 경우의 수 및 확률을 계산하면 된다. 경우의 수는 C_2^2 이고 확률은 $p^0 \cdot (1-p)^2$ 이다. 이처럼 직전 상태에 성공적으로 전송 받은 모듈의 개수를 알아야 반복 전송 시의 정확한 확률을 구할 수 있으므로 직전 상태에 대한 고려가 반드시 필요하다.

각 상태 S_i 를 i 개의 모듈들을 정상적으로 받지 못한 상태로 정의하면 상태 S_n 은 모든 모듈을 제대로 전송 받지 못한 상태를 의미한다. 이러한 정의를 바탕으로 직전 상태 S_i 를 고려한 현재 상태 S_j 로의 전이 확률 $P_{i,j}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{(i,j)} = C_j^i \cdot p^j \cdot (1-p)^{i-j} \tag{1}$$

i 는 직전 상태의 에러모듈수, j 는 현재 상태에서 발생한 에러모듈의 수

따라서 $P_{n,0}$ 는 1회 전송 시에 모든 모듈이 성공적으로 전송될 확률과 같다. $P_{i,j}$ 를 행렬로 나타내면 마르코프 연쇄의

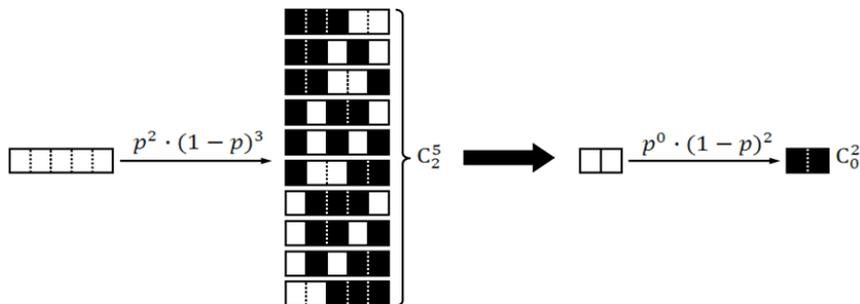


그림 1. 총 5개의 모듈을 전송할 때의 예
Fig. 1. An example showing the probability of success when sending five modules

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C_0^0 \cdot p^0(1-p)^0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ C_0^0 \cdot p^0(1-p)^1 & C_1^1 \cdot p^1(1-p)^0 & \dots & 0 & 0 \\ & \vdots & \ddots & \vdots & \\ C_0^{n-1} \cdot p^0(1-p)^{n-1} & C_1^{n-1} \cdot p^1(1-p)^{n-2} & \dots & C_{n-1}^{n-1} \cdot p^{n-1}(1-p)^0 & 0 \\ C_0^n \cdot p^0(1-p)^n & C_1^n \cdot p^1(1-p)^{n-1} & \dots & C_{n-1}^n \cdot p^{n-1}(1-p)^1 & C_n^n \cdot p^n(1-p)^0 \end{pmatrix}$$

전이 행렬이고, 그 형태는 다음과 같다.

행렬의 형태에서 알 수 있듯이, 전이 행렬은 하삼각행렬이며, 각 행의 합은 모두 1이다. \mathbf{T} 의 첫 번째 행은 $\mathbf{T}_{0,0}$ 을 제외한 모든 값이 0이므로, 상태 0, 즉 직전 상태의 에러 모듈의 수가 0인 경우는 흡수 상태(absorbing state)이며, 나머지 모든 상태들은 일시 상태(transient state)이다. 따라서 \mathbf{T} 는 흡수 행렬이며, 흡수 행렬의 핵심 행렬(fundamental matrix)을 계산하면 모든 일시 상태에서부터 흡수 상태로 진입할 때까지의 기대 횟수를 계산해낼 수 있으므로^[3] 최초로 모든 모듈을 성공적으로 전송 받을 때까지의 평균적인 횟수를 알아낼 수 있다. 다만 본 논문은 반복 전송에 따른 콘텐츠의 전송 성공 확률을 구하는 것이므로 기대 횟수는 중요하지 않고, 정확한 전송 성공확률을 알아내는 것에 집중했다.

알아낼 수 있다.

IV. 동적 계획법을 이용한 콘텐츠 전송 스케줄링

3절에서 설명한 마르코프 연쇄를 통해 각 콘텐츠를 반복 전송하는 경우에 대한 전송 성공 확률을 계산할 수 있었다. 본 절에서는 반복 전송 횟수 n 에 따른 전송 성공 확률을 이용하여 여러 콘텐츠들을 제한된 시간 안에 가능한 오류 없이 전송시킬 수 있는 각 콘텐츠의 반복 전송 횟수를 구하는 방법에 대해 설명한다.

방송망을 통해 송출할 콘텐츠들을 스케줄링 하는 기간은 정하기 나뉘이지만, 보통 주 단위, 혹은 월 단위로 계획하여 콘텐츠를 송출하도록 설정할 수 있다. 따라서 스케줄링의 목적은 특정 기간 V 동안 전송할 콘텐츠들의 반복 전송 횟수를 결정하여 그 콘텐츠들이 수신기에 성공적으로 전송될 확률을 가장 높이지도록 하는 것이다. 방송망으로 콘텐츠를 송출하는데 활용할 대역폭은 약 1 Mbps 정도이므로 총 m 개의 콘텐츠들의 용량을 송출 대역폭으로 나눠서 각 콘텐츠들을 한 번 전송하는데 걸리는 시간을 벡터 $\mathbf{t}=(t_1, t_2, \dots, t_m)$ 으로 나타낼 수 있고, 각 콘텐츠들의 모듈 수는 (s_1, s_2, \dots, s_m) 으로 나타낼 수 있다. 모듈의 총 숫자에 전송 성공 확률 p 만 결정되면 4절의 마르코프 연쇄를 통해 반복 전송 횟수에 따른 각 콘텐츠의 전송 성공 확률을 구할 수 있다. 이것을 행렬 \mathbf{D} 로 나타내면 행은 반복 전송 횟수 i 에 따른 각 콘텐츠의 전송 성공 확률이 되고, 열은 콘텐츠 j 의 반복 전송에 따른 전송 성공 확률이 된다.

위에서 정의한 V , 행렬 \mathbf{D} , 벡터 \mathbf{t} 를 가지고 동적 계획법(dynamic programming approach)을 이용하면 반복 전송 횟수 벡터 $\mathbf{r}=(r_1, r_2, \dots, r_m)$ 을 구할 수 있다. 목적 함수는 다

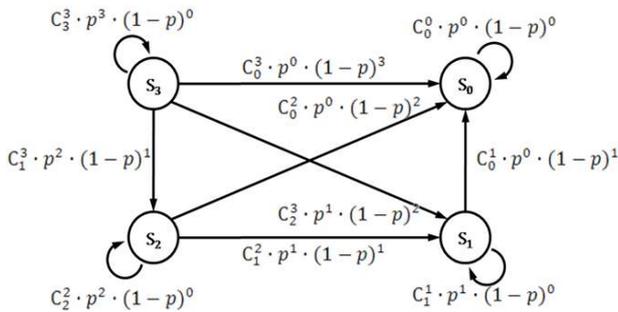


그림 2. $n=3$ 인 경우의 \mathbf{T} 를 나타내는 상태 전이도
Fig. 2. Transition diagram of \mathbf{T} in the case that $n=3$

n 번의 반복 전송에 따른 전이 확률의 변화는 전이 행렬 \mathbf{T} 의 지수 승으로 나타낼 수 있다^[3]. 반복 전송을 하여도 각 $p_{i,j}$ 에는 변함이 없으므로 전이 행렬을 반복 전송 횟수만큼 계속 곱해나감으로써 반복 전송 후의 전이 행렬의 변화를 계산할 수 있다. 즉, $\mathbf{T}^{(n)}=\mathbf{T} \cdot \mathbf{T} \cdots \mathbf{T}=\mathbf{T}^n$ 이고, n 번의 반복 전송 후에 모든 모듈이 성공적으로 전송될 확률을 계산하는 것은 행렬 곱을 통해 \mathbf{T}^n 을 계산한 후 $\mathbf{T}_{n,0}^{(n)}$ 를 확인하여

음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{maximize } F &= \sum_{i=1}^m \mathbf{D}(\mathbf{r}_i, i) \\ \text{where } \mathbf{t} \cdot \mathbf{r} &\leq V \end{aligned} \quad (2)$$

즉, 콘텐츠들의 반복 전송 시 소요되는 시간의 총 합을 V 이내로 하면서 각 콘텐츠 별 반복 전송횟수에 따른 전송 성공확률의 합을 최대화시키는 것이 목적이다. 본 논문에서는 의사 다항시간 동적 계획법(pseudo polynomial-time dynamic programming)^[4]을 이용하여 F 를 최대화시켰다. 결과로 얻어내고자 하는 \mathbf{r} 을 F 를 이용하여 재귀적인 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$F(u) = \max_{j=1..m} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^m \mathbf{D}(\mathbf{r}_u^j(k), k), \text{ if } t_j \leq u \\ 0, \text{ if } t_j > u \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$\mathbf{r}_u^j = \mathbf{r}_{u-t_j} + \mathbf{I}_{j,*}, \mathbf{r}_0 = \langle 0, 0, \dots, 0 \rangle \quad (4)$$

$F(u)$ 는 제한된 시간이 u 일 때 최대의 전송 성공확률을 의미하고, \mathbf{r}_u 는 제한된 시간이 u 일 때 $F(u)$ 를 최대화하는 반복 전송 횟수 벡터를 나타낸다. 따라서 $F(V)$ 는 제한된 총 시간인 V 내에 성취할 수 있는 최대의 전송 성공확률이며, \mathbf{r}_V 는 제한 시간 V 내에 콘텐츠들의 전송 성공 확률의 합을 최대화하는 각 콘텐츠 별 반복 전송횟수이다. 재귀적인 표현을 위하여 \mathbf{r}_u^j 라는 표현을 사용하였는데, 이것은 수식에 정의된 대로 j 번째 콘텐츠를 추가로 전송하는 데 필요한 시간을 u 에서 뺀 시간인 $u-t_j$ 를 제한된 시간으로 했을 경우 전송 성공 확률을 최대화 하는 각 콘텐츠 별 반복 전송 횟수인 \mathbf{r}_{u-t_j} 에 j 번째 콘텐츠를 한 번 더 보내는 반복 전송 횟수를 나타낸 것이다. j 번째 콘텐츠를 한 번 더 보내는 것을 나타내기 위해 $\mathbf{I}_{j,0}$ 을 이용해 j 번째 요소만 1이고 나머지가 0인 벡터를 나타내었다. $F(u)$ 를 계산하기 위해서는 모든 j 에 대해서 \mathbf{r}_{u-t_j} 를 알고 있어야 하므로, 중간 계산 결과물인 벡터의 집합 $\{\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_V\}$ 는 계속 저장한다.

이 방법은 제한 시간인 1부터 V 까지의 모든 시간 u 에 대해 1부터 m 까지의 모든 콘텐츠들을 하나 추가한 경우의 최대값 $F(u)$ 를 $O(m)$ 의 시간에 계산하므로 시간 복잡도는 $O(m^2 \cdot V)$ 이며, 공간 복잡도는 $\theta(m \cdot n)$ 의 크기를 갖는 행렬 \mathbf{D} 와 $\theta(m \cdot V)$ 의 크기를 갖는 벡터의 집합 $\{\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_V\}$ 에 좌우되므로 $\theta(m \cdot (n+V))$ 이다. 일반적인 경우 $V \gg n$ 이므로 $O(m \cdot V)$ 로 나타낼 수 있다.

V. 실험 결과

본 논문에서는 앞 절에서 설명한 방법을 Java 환경에서 구현하였다. 마르코프 연쇄 행렬의 각 요소들은 그 크기가 매우 작기 때문에 행렬곱 과정 중 정확도가 떨어질 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 Java.Math 패키지의 BigDecimal 클래스를 활용하여 가능한 계산 과정의 정확성을 높였다. 실험은 14개의 이미 방송된 콘텐츠를 대상으로 하였다. 각 콘텐츠의 파일 크기 및 콘텐츠 길이는 다음과 같다.

표 1. 실험에 사용된 콘텐츠들의 정보
Table 1. Contents used for experiments

콘텐츠명	길이(HH:MM)	용량(MB)	규격	전송 시간
열린 음악회	1:23	4487	HD, 8Mbps	35896
공부의 신	1:11	4098	HD, 8Mbps	32784
추노	1:12	4064	HD, 8Mbps	32512
걸어서 세계속으로	0:57	3863	HD, 8Mbps	30904
거상 김만덕	0:58	3523	HD, 8Mbps	28184
뮤직뱅크	1:22	1822	SD, 2Mbps	14576
동물의 세계	0:25	1537	HD, 8Mbps	12296
개그콘서트	1:18	1514	SD, 2Mbps	12112
미녀들의 수다	1:07	1383	SD, 2Mbps	11064
수상한 삼형제	1:10	1207	SD, 2Mbps	9656
다함께 차차차	0:36	643	SD, 2Mbps	5144
느티나무	0:09	560	HD, 8Mbps	4480
클래식 오디세이	0:28	525	SD, 2Mbps	4200
TV동화 행복한 세상	0:05	96	SD, 2Mbps	768
총계	12:21	24262	-	234576

$$\mathbf{r}_u = \begin{cases} \mathbf{r}_0 & \text{if for all } j, t_j > u \\ \mathbf{r}_u^j, \text{ which maximizes } F(u) & \text{if there exists } j, t_j \leq u \end{cases} \quad (5)$$

모든 콘텐츠는 H.264로 인코딩된 것들이고, 1주일 (604800초)을 기준으로 송출할 콘텐츠들을 스케줄링 하였다. 모듈 전송 시 에러가 발생할 확률 p 는 0.08로 가정하였으며, 송출 대역폭은 1 Mbps로 가정하였다. 재전송 횟수와 그에 대한 전송 성공률을 계산해 낸 결과는 다음과 같다.

표 2. 목적 함수의 결과에 가중치를 부여하지 않은 경우의 결과
Table 2. Results without giving a weighting on the objective function

콘텐츠명	재전송횟수	모듈 수	전송 성공률	총 전송 시간
열린 음악회	2	449	65.17%	71792
공부의 신	3	410	99.59%	98352
추노	2	407	67.60%	95024
걸어서 세계속으로	2	387	68.98%	61808
거상 김만덕	3	353	99.66%	84552
뮤직뱅크	3	183	99.83%	43728
동물의 세계	3	154	99.87%	36888
개그콘서트	3	152	99.86%	36336
미녀들의 수다	3	139	99.90%	33192
수상한 삼형제	3	121	99.88%	28968
다함께 차차차	3	65	99.96%	15432
네티나무	3	57	99.97%	13440
클레식 오디세이	3	53	99.96%	12600
TV동화 행복한 세상	3	10	99.99%	2304
평균 전송 성공 확률 : 92.87%, 총 전송시간 : 604416초, 계산 시간 40.5초				

결과는 원하는 대로 총 전송시간을 최대한 활용하면서 전송 성공 확률의 합을 최대화 시키는 방향으로 구해졌다. 그러나 이 방법은 전체 전송 성공 확률의 합을 최대화 하는 것을 목표로 하므로 각 전송 성공 확률의 표준 편차가 크다. 이는 특정 콘텐츠들의 전송 성공 확률이 60% 대로 낮은 것을 통해 확인할 수 있다. 이 경우 다른 콘텐츠들의 전송 신뢰도는 높지만 유독 큰 콘텐츠에 대해 낮은 전송 신뢰도를 보이기 때문에 이 콘텐츠들은 전송하는데 시간이 오래 걸림에도 불구하고 전송이 실패할 확률도 높다. 따라서 이러한 경우를 방지하기 위해 가중치를 부여하여 전체적인 전송 성공확률을 높이면서 전송 성공 확률의 표준 편차를 작게 만드는 휴리스틱한 방법을 시도해보았다. 3절을 통해 구해진 반복 전송 횟수 별 전송 성공 확률을 사용하는 대신, 다음과 같은 가중치를 부여하여 목적함수 F 를 구하는데 사용하였다.

$$D'(i,j) = \left[\frac{1}{2} \cdot 1 - \cos(\pi \cdot D(i,j)) \right]^2$$

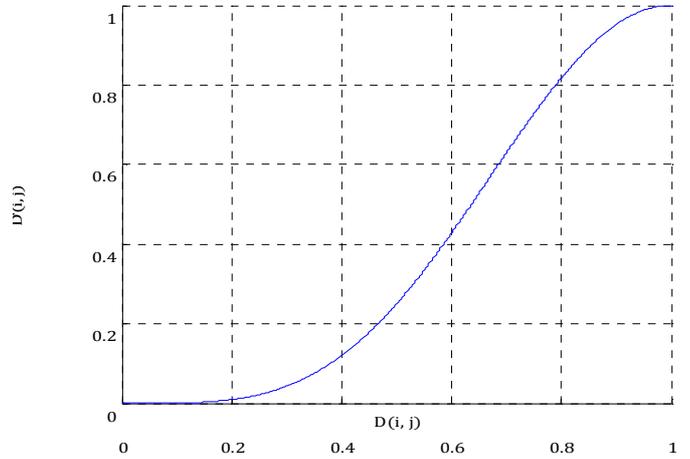


그림 3. $D(i,j)$ 에 가중치 함수를 적용한 $D'(i,j)$
Fig. 3. $D'(i,j)$ obtained by giving a weighting on $D(i,j)$

이 경우 D 가 약 0.78 이하인 경우는 더 낮은 값을 갖게 되고, 그 이상인 경우 더 높은 값을 갖게 된다. 즉, 낮은 전송 성공률에 대해서는 더 낮은 값을 부여하고, 높은 전송 성공률에 대해서는 더 높은 값을 부여하여 목적함수 F 의 값에 변화를 주었다.

가중치 함수를 적용하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

표 3. 목적 함수의 결과에 가중치를 부여한 경우의 결과
Table 3. Results with giving a weighting on the objective function

콘텐츠명	재전송횟수	모듈 수	전송 성공률	총 전송 시간
열린 음악회	3	449	99.59 %	107688
공부의 신	3	410	99.59 %	98352
추노	3	407	99.63 %	97356
걸어서 세계속으로	3	387	99.64 %	92712
거상 김만덕	2	353	70.55 %	56368
뮤직뱅크	2	183	83.82 %	29152
동물의 세계	2	154	86.58 %	24592
개그콘서트	2	152	86.24 %	24224
미녀들의 수다	2	139	89.13 %	22128
수상한 삼형제	2	121	88.73 %	19312
다함께 차차차	2	65	94.97 %	10288
네티나무	2	57	96.19 %	8960
클레식 오디세이	2	53	95.60 %	8400
TV동화 행복한 세상	6	10	99.99%	4608
평균 전송 성공 확률 : 92.87%, 총 전송시간 : 604416초, 계산 시간 40.5초				

가중치를 제외한 전송 성공확률이 평균 전송 성공확률은 조금 높지만, 가중치를 부여한 경우에는 대부분의 콘텐츠에 대해 일정 이상의 성공 확률을 보여준다. 표준 편차 또한 0.13에서 0.08로 줄어들어서 가중치를 부여한 경우가 더 높은 전송 신뢰도를 나타낸다. 두 경우 모두 604800초의 제한 시간을 최대한 활용하는 결과를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문은 단방향 전송 환경에서 여러 콘텐츠를 제한 시간 내에 전송하고자 할 때 전송 신뢰도를 최대화하는 콘텐츠 별 반복 전송 횟수를 결정하는 마르코프 연쇄 모델링과 동적 계획법을 이용한 방법을 제안하였다. 반복 전송 횟수 별 전송 성공 확률을 계산하기 위하여 콘텐츠의 모듈 하나가 정상적으로 전달될 확률 p 를 기반으로 마르코프 연쇄 모델링을 도입하였고, 계산된 반복 전송 횟수 별 전송 성공 확률에 동적 계획법을 활용하여 제한 시간 내에 전송 성공

확률을 최대화 하는 반복 전송 횟수를 계산하였다.

본 논문의 방법은 각 모듈 별 전송 성공 확률 p 에 의존적이므로, p 를 결정하는 외부 요소인 DTV 수신환경 및 수신기의 처리 문제 등을 정확히 아는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 결과에 민감하게 영향을 끼칠 수 있는 실제 전파환경에 대한 고려와 시청자들의 생활 시간대와 연관된 수신기의 사용 빈도 등을 측정하여 반영함으로써 성공 확률 p 를 보다 정확하게 모델링 하는 방향으로 연구를 확장하여 제시된 방법의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Working Draft : Non-Real-Time Content Delivery, ATSC
- [2] 이동준, 강대갑, 김윤형, 지상파 DTV 채널을 이용한 Push형 VOD 기술, 방송공학회 학술대회, 2007
- [3] John G. Kemeny and J. Laurie Snell, Finite Markov Chains, Springer-Verlag
- [4] Sanjoy Dasgupta, Christos Papadimitriou, and Umesh Vazirani, Algorithms, McGraw-Hill

저 자 소 개

김 윤 형



- 2004년 : 성균관대학교 정보통신공학부 학사
- 2007년 : 한국과학기술원 전산학과 석사
- 2007년 ~ 현재 : KBS 기술연구소
- 주관심분야 : 디지털 TV 방송시스템

이 동 준



- 1993년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1995년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 영상통신 전공 석사
- 1995년 ~ 현재 : KBS 기술연구소
- 주관심분야 : DTV 전송, DTV 부가서비스, TV포털, 하이브리드 방송

저 자 소 개



강 대 갑

- 1986년 : 부산대학교 전자공학과 학사
- 1989년 : 한국과학기술원 전기/전자공학과 석사
- 1989년 ~ 현재 : KBS 기술연구소
- 주관심분야 : 방통융합형서비스, 개방형 IPTV, DTV 영상압축 등