

# 안정적인 IPTV VoD 서비스 제공을 위한 측정 지표 연구

최혁수, Suman Pandey, 원영준, 홍원기  
포항공과대학교 컴퓨터공학과  
{soodac, suman, yjwon, jwkhong}@postech.ac.kr

## Dimensioning Metrics for IPTV VoD Service from the Service Providers' Perspective

Hyeok-Soo Choi, Suman Pandey, Young J. Won, and James Won-Ki Hong  
Dept. of Computer Science and Engineering, POSTECH

### 요 약

IPTV 서비스 가입자의 수는 VoD 서비스의 등장 이후 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 추세에 따라서 VoD 서비스를 위한 네트워크 기반시설의 계획이나 배치에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 IPTV 이용자의 QoE (Quality of Experience)를 만족시키는 최적의 네트워크 구성을 위해서 IPTV 서비스 제공업자에게 제공되어야 하는 지표에 관한 연구를 한다. 이에 IPTV 서비스 제공업자에게 유용한 QoE 지표를 결정하고, 각 QoE 지표에 대한 모델을 작성하였다. 이러한 QoE 모델은 IPTV 서비스 제공업자에게 서버의 수, 커뮤니티와 서버와의 거리, 대역폭의 용량을 결정할 때 활용될 것이다.

### I. 서론

IPTV 는 인터넷 프로토콜을 이용하여 제공되는 양방향 텔레비전 서비스이며 live TV 와 VoD 서비스로 구분할 수 있다. 미래에는 VoD 서비스 이용자의 증가로 인해서 IPTV 의 트래픽이 전체 인터넷 트래픽의 90%에 도달할 것으로 예상된다[1]. 하지만 지금까지 VoD 서비스를 위한 네트워크 기반시설의 계획이나 배치에 대한 연구가 부족하였다. 그래서 본 논문에서는 고객의 요구사항을 만족시키는 최적의 네트워크 구성을 위해서 IPTV 서비스 제공업자에게 제공되어야 하는 지표에 관한 연구를 한다.

### II. 본론

본론에서는 본 논문에서 정의한 커뮤니티에 대한 설명과 IPTV 서비스 제공업자를 위한 QoE 모델링에 필요한 지표를 선택한다. 그리고 선택된 각 지표에 대해서 모델링을 한다.

커뮤니티는 네트워크 접근 방식, IPTV 서버와의 거리 등에 있어서 유사함을 보이는 IPTV 서비스 이용자 그룹이다. 커뮤니티는 한 개 이상의 IPTV 서버와 연결될 수 있고, QoE 지표를 바탕으로 VoD 데이터 전송에 최적인 서버를 선택한다.

네트워크의 상태를 파악할 수 있는 지표에는 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 QoE 조건을 충족시키기 위해서 IPTV 서비스 제공업자에게 제공될 수 있는 유용한 지표를 다음과 같이 선택하였다.

- 서버 대기 시간
- 낮은 트래픽 환경에서의 단방향 최소 지연시간
- 네트워크 대역폭의 소비량

IPTV 서비스 제공업자는 선택된 지표를 통해서 고객의 서비스 만족상태를 알 수 있고, 서버증설의 시기를 판단 할 수 있다. 다음에서는 선택된 QoE 지표에 대해서 알아보고 모델링 해 본다.

#### 1. 서버 대기 시간

커뮤니티는 서버에게 서비스를 요청하고, 서버는 요청된 서비스를 처리한다. 이때 서버에 많은 요청이 들어올수록 서버의 부하가 커져서 서버의 성능은 하락하게 된다. 이것이 원인이 되어서 서버 대기 시간이 발생하게 된다. 이 서버 대기 시간은 IPTV QoE 의 중요한 지표로써 서비스 제공업자에게 서버증설의 시기를 알려준다.

서버는 큐잉이론[2]에 따라서 모델링 될 수 있다. 본 논문에서는 Erlang C[3] 모델을 이용하여 서버 대기 시간을 모델링 하였다. Erlang C 모델에서 사용되는 변수는 표 1 에 나타내었다.

표 1. 서버 대기 시간 모델링을 위한 입력값

기호	설 명
$\lambda$	평균 요청률(mean request arrival)
$\mu^{-1}$	평균 서비스 시간(mean service time)
c	서버의 업로드 대역폭

서버는 자신의 대역폭에 따라서 동시에 서비스 할 수 있는 채널 수가 정해지며, 커뮤니티는 여러 서버와 연결되어 있을 때, 지연시간이 가장 짧은 서버에게 서비스를 요청하게 된다. 해당 서버와 연결되어 있는 모든 커뮤니티에서 오는 요청의 평균값을 평균 요청률  $\lambda$  라고 하고,  $\lambda$  는 포아송 분포를 따른다고 가정한다. 평균 서비스 시간  $\mu^{-1}$  는 지수 분포를 따른다고 가정한다.

Erlang C 방정식을 이용하여서 occupation rate  $\rho$  를  $\frac{\lambda}{c\mu}$  로 나타낼 수 있다.  $\rho$  값은 항상 1 보다 작아야 하기 때문에  $\rho < 1$  인 서버의 지연확률(delay probability)  $\Pi_w$  을 구하면 다음과 같다.

$$\Pi_w = \frac{(c\rho)^c}{c!} \left( (1-\rho) \sum_{n=1}^{c-1} \frac{(c\rho)^n}{n!} + \frac{(c\rho)^c}{c!} \right)^{-1} \quad (1)$$

Little 의 법칙을 이용하여 구한 서버의 서비스 대기 시간  $E(w)$ 는 다음과 같다.

$$E(w) = \Pi_w \times \frac{1}{1-\rho} \times \frac{1}{c\mu} \quad (2)$$

(2)에서 구한  $E(w)$ 값에 직렬화 지연시간(serialization delay), 전파 지연시간(propagation delay) 및 일정한 값을 가지는 지연시간을 더해서 총 지연시간을 구할 수 있다.

## 2. 낮은 트래픽 환경에서의 단방향 최소 지연시간

서버로부터 비디오를 다운 받을 때는 서버에서 커뮤니티로 향하는 방향의 지연시간만 측정하면 된다. 그리고 낮은 트래픽 환경에서 측정하여서 혼잡(congestion)으로 인한 영향을 줄일 수 있다. 이렇게 측정된 낮은 트래픽 환경에서의 단방향 최소 지연시간은 VoD의 중요한 지표로 활용된다. 이렇게 측정된 값은 네트워크 기반시설을 이해하는데 도움을 준다.

단방향 최소 지연시간을 구하기 위한 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째는 네트워크의 다양한 입력값(표 2)을 이용한 모델링을 통해서 단방향 최소 지연시간을 구하는 방법이며, 두 번째는 Round Trip Time (RTT)를 이용한 측정방법이다.

표 2. 단방향 지연시간 측정을 위한 입력값

기호	설 명
N	중간 노드의 수
$D_h$	중간 노드에서의 평균 처리 지연시간
$D_e$	end host에서의 처리 지연시간
l	링크의 타입
$d_n$	n 타입 링크의 길이
$v_n$	n 타입 링크의 전파 속도
RTT(s,i)	패킷 i의 송신자가 측정된 RTT
RTT(r,i)	패킷 i의 수신자가 측정된 RTT

먼저 모델링을 통해서 지연시간을 구해보기로 하자. 전파 지연시간  $D_p$ 는 전파되는 구간의 길이 d와 전파 속도 v에 의해서 결정된다. 이때 v는 케이블의 타입에 따라서 달라지게 된다. 각 케이블마다 지연시간을 구하고, 각각의 지연시간을 모두 더해서 총 전파 지연시간을 구할 수 있다.

$$D_p = \sum_{n=1}^l \frac{d_n}{v_n} \quad (3)$$

$D_p$ 와는 별개로 중간 노드에서의 처리 지연시간과, end host에서의 처리 지연시간이 발생한다. 그러므로 총 지연시간 D는 다음과 같이 구해진다.

$$D = \sum_{n=1}^l \frac{d_n}{v_n} + N * D_h + D_e \quad (4)$$

다음으로는 RTTmin 측정을 통한 단방향 지연시간[4]을 구해보기로 하자. 서버에서 커뮤니티로 전송되어오는 n번째 패킷의 RTTmin은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$RTT_{min}(n) = RTT_{min}(0) - \sum_{i=1}^n [RTT(s,i) - RTT(r,i)] \quad (5)$$

지연시간을 구하기 위한 입력값이 모두 옳다면 D와 RTTmin(n)는 같은 값을 가지게 된다.

$$RTT_{min}(n) = D \quad (6)$$

D가 서버와 커뮤니티간의 거리에 비례한다면, RTTmin 역시 서버와 커뮤니티간의 거리에 비례하게 된다. 그리고 서버와 커뮤니티간의 거리가 길어질수록 RTTmin 값은 증가하게 된다.

## 3. 네트워크 대역폭의 소비량

네트워크 대역폭의 소비량이 높아질수록 네트워크를 사용하는 사용자 프로그램의 성능이 떨어지게 된다. 반대로 생각해 보면 네트워크 대역폭의 소비량이 매우 낮다는 것은 서비스 제공업자가 불필요한 대역폭에 대한 비용을 지불하고 있다는 것이 된다. IPTV 관점에서 생각해 보면 서버의 성능이 좋고 서버와 커뮤니티가 가까운 곳에 위치하고 있어도, 해당 커뮤니티의 대역폭 소비량이 매우 높다면 비디오 품질에 극심한 저하를

초래한다. 그러므로 네트워크 대역폭의 소비량 역시 QoE의 중요한 지표로써 사용된다.

표 3. 네트워크 대역폭 소비량 계산을 위한 입력값

기호	설 명
$\lambda_a$	Request arrival rate
$\mu_a$	Request leaving rate
$br_l$	VOD가 l타입의 케이블을 통과할 때의 bit rate
$P_l$	l타입의 케이블이 있을 확률
K	케이블 타입의 수
B	가용 가능한 총 대역폭

표 3에 나타나 있는 입력값을 이용하여 대역폭 소비량 모델을 만들어 보자. Request arrival rate  $\lambda_a$ 와 VOD의 bit rate  $br_l$ 이 주어졌을 때, 발생하는 총 트래픽은  $\lambda_a \times br_l$ 로 구할 수 있다. VOD가 전달될 때 구간마다 다른 케이블이 존재하는 현재 상황을 고려하여 케이블 타입에 따른 bit rate  $br_l$ 과 해당 케이블이 나타날 확률  $P_l$ 를 방정식에 적용하여야 한다. 이를 적용하여 사용자가 생성하는 총 트래픽을 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_a \left( \sum_{l=1}^k br_l \times p_l \right) \quad (7)$$

매 단위시간마다  $\mu_a$ 만큼의 트래픽 요청이 충족되어서 사라지게 된다. 그러므로 해당 네트워크에서 생성되는 총 트래픽의 양은 사용자의 요청에 의해서 생성되는 트래픽에서 이 값만큼을 빼주어야 한다. 그 결과 해당 네트워크에서 생성되는 총 트래픽  $T(t)$ 는 다음과 같다.

$$T(t) = \lambda_a \left( \sum_{l=1}^k br_l \times p_l \right) - \mu_a \left( \sum_{l=1}^k br_l \times p_l \right) \quad (8)$$

t시점에서 대역폭 소비량  $B_{consump}(t)$ 은  $T(t)$ 를 해당 네트워크의 사용 가능한 총 대역폭으로 나누어서 구할 수 있다.

$$B_{consump}(t) = \frac{\lambda_a \left( \sum_{l=1}^k br_l \times p_l \right) - \mu_a \left( \sum_{l=1}^k br_l \times p_l \right)}{B} \quad (9)$$

## III. 결론

본 논문에서는 IPTV 서비스 제공업자에게 현재 네트워크의 상태를 판단할 수 있는 유용한 지표를 제안하였다. 제안된 지표를 바탕으로 IPTV 서비스 제공업자는 주어진 환경에서 사용자의 QoE를 만족시키는 최적의 기반시설을 갖출 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. E. Simsarian, and M. Duelk, "IPTV Bandwidth Demands in Metropolitan Area Networks," 15th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, Princeton, NJ, USA, June 10-13, 2007, pp. 31-36.
- [2] D. Agrawal, M. S. Beigi, C. Bisdikian, and K. W. Lee, "Planning and Managing the IPTV Service Deployment," 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, Munich, Germany, May 21-25, 2007, pp. 353-362.
- [3] I. Adan and J. Resing, "Queueing Theory," Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology, 2002.
- [4] J. H. Choi, and C. Yoo, "Analytical derivation of one-way delay," Electronic Letters, Vol. 39, No. 25, December 11, 2003, pp. 1871-1872.