

다수의 부스트림을 이용한 분산 비디오 스트리밍 시스템을 위한 공정하고 효율적인 부스트림 할당 기법

박재성*

요약

비디오 소스를 다수의 부스트림으로 인코딩하는 향상된 코딩 기법을 이용하는 분산 비디오 스트리밍 시스템의 경우 시스템의 용량 증대를 위해서는 피어들이 자발적으로 많은 양의 부스트림을 재전송할 수 있는 장려책이 필요하다. 또한 참여 피어들은 자원 제공자인 동시에 서비스 소비자인 특성을 가지므로 시스템의 전체 용량은 참여 피어들의 부스트림 제공량에 따라 공정하게 할당되어야 하며 시스템의 효율성 측면에서는 참여 피어들의 전체 서비스 인지 품질이 최대화 되도록 할당되어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 문제 해결을 위해 최적화기법을 이용한 부스트림 할당 기법을 제안한다. 제안 기법은 자원 제공자이자 소비자인 피어의 특성을 고려하여 참여 피어의 자발적 자원 제공을 장려함으로써 기존 최적화 기법과 달리 분산 비디오 스트리밍 시스템 자원의 효율적 이용과 공정한 배분을 보장한다는 것을 모의실험을 통해 정량적으로 검증하였다.

키워드 : 분산 비디오 스트리밍 시스템, 장려책, 최적 자원할당

An Efficient and Fair Substream Allocation Method for a Distributed Video Streaming System using Multiple Substreams

Park Jaesung*

ABSTRACT

In a distributed streaming system using an advanced coding scheme that encodes a video into multiple substreams, the capacity of the system depends on the amount of contribution of participating peers. Thus, an incentive mechanism for peers to contribute voluntarily is needed to increase system capacity. In addition, since peers are not only a provider but also a consumer in the system (i.e. prosumer), the overall capacity of the system must be allocated fairly among the peers while it must be allocated in a way that can maximize the net quality of experience of peers to increase system efficiency. In this paper, we propose a substream allocation method to solve the problems taking an optimization approach. Unlike the other optimization approaches, the proposed method is verified quantitatively in a simulation study that it can use the capacity of video streaming system efficiently while allocating fair amount of substreams among peers because it considers explicitly the prosumer characteristics of peers.

Keywords : Distributed Video Streaming System, Incentive Mechanism, Optimal Resource Allocation

1. 서론

P2P(Peer-To-Peer) 오버레이를 이용한 분산 비디오 스트리밍 시스템은 인터넷을 통해 IPTV 서비스를 효과적으로 제공할 수 있는 방안으로 많은 관심을 받고 있다. 이에 따라 효율적인 분산 비디오 스트리밍 시스템 구축을 위한 연

구와 상용 시스템에 대한 트래픽 측정 연구들이 활발하게 이루어져 왔다[1][2]. 특히, 비디오를 다수의 계층으로 인코딩 하는 MDC (Multiple Description Coding)와 SVC (Scalable Video Coding) 같은 향상된 비디오 코딩 기법들이 등장함에 따라 비디오를 다수의 부스트림 (substream)으로 전송하여 시스템의 효율성을 향상하기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다 [3][4]. 이와 같은 분산 비디오 시스템에서 참여 피어들은 자원의 제공자인 동시에 소비자인 특성을 가지므로 시스템의 확장성과 참여자의 기여 정도에 따른 공정성을 고려한 효율적인 자원 관리 기법은 중요한 시스템 설계 요구사항 중 하나이다.

* 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2011-0007076)의 지원과 경기도의 경기도지원협력 연구센터(GRRC) 사업 [(GRRC 수원2011-B4) 실시간 상황 대응을 위한 경립 위치추적 시스템 연구]의 일환으로 수행하였음.

† 정 회 원 : 수원대학교 IT대학 정보보호학과 조교수
논문접수 : 2011년 11월 14일
심사완료 : 2012년 1월 31일

SVC 환경에서 효율적이고 공정한 자원 할당 기법이 [3]에서 제안되었다. 이들은 네트워크 코딩과 플로우 보존 특성을 이용한 최적화 기법을 제안하였다. 그러나 SVC 기법은 MDC와 달리 부스트림 사이의 정보가 연관되어 있어서 우선 순위가 낮은 모든 부스트림을 수신해야 비디오 품질이 증가되기 때문에 시스템 관리가 어렵다. MDC 비디오 소스 환경에서 협력 게임을 이용한 망 구성 및 자원 공유 기법이 [4]에서 제안되었으나 분산 비디오 시스템 관점에서 협력을 통한 이득 및 게임 참여 비용에 대한 물리적 의미가 모호하다. [5]에서는 피어들의 송수신 용량을 이용한 효율적인 오버레이 구성 방법을 제안하였다. 그러나 이들은 자식 피어의 수신량을 결정할 때 이들이 시스템에 기여하는 정도를 고려하지 않기 때문에 불공정한 자원 할당이 초래될 수 있으며 시스템 용량 증대를 위한 장려책을 고려하지 않고 있다.

이에 따라 본 논문에서는 MDC 비디오 소스 환경에서 분산 비디오 시스템의 용량을 각 피어에게 공정하고 효율적으로 할당하기 위한 방안을 제시한다. 본 논문에서는 자원 할당 문제를 정의하기 위해 비디오 전송을 위한 오버레이 네트워크가 구성된 후 부모 피어들이 제공하는 전체 부스트림을 자식 피어들에게 할당하는 환경을 고려한다. 제안 기법은 자식 피어가 시스템에 기여하는 정도와 할당 결과의 타당성을 고려하여 전체 자식 피어의 QoE (Quality of Experience)가 최대가 되도록 부스트림을 할당한다. 모의실험을 통해 제안 기법은 피어의 요구량에 따라 자원을 할당하는 NBS나 (Nash Bargaining Solution) 시스템 용량을 증대하기 위한 장려책을 고려하지 않은 부스트림 할당 기법에 비해 동일 조건에서 보다 많은 수의 자식 피어를 수용할 수 있다는 것을 정량적으로 검증하였다.

2. 자원 할당 기법

비디오를 전달하는 부모 피어의 집합을 V_p , 이들로부터 데이터를 수신하는 자식 피어의 집합을 V_c , 부모 피어 $j \in V_p$ 의 최대 부스트림 전송율을 P_j^m , j 가 자식 피어 i 로 전송하는 부스트림율을 s_{ij} 로 표기하면 자식 피어 i 의 전체 비디오 수신율과 부모 피어 j 의 전체 부스트림 송신율은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$r_i = \sum_{j \in V_p} s_{ij}, \quad x_j = \sum_{i \in V_c} s_{ij} \quad (1)$$

자식 피어의 QoE는 r_i 에 따라 증가하지만 r_i 가 커질수록 만족도 증가율은 작아진다. 따라서 자식 피어의 QoE는 $u_i(r_i) = \log(1 + r_i)$ 와 같이 로그 함수로 정의될 수 있다 [3][6].

시스템 효율성 측면에서 부스트림 할당 문제는 시스템의 전체 용량 $U = \sum P_j^m$ 을 자식 피어들의 QoE가 최대가 되

도록 공정하게 할당하는 것이다. 이와 같은 자원 분배 문제는 다음과 같은 공리적 NBS로 해결할 수 있다.

$$\arg\left(\max\left(\prod_{i \in V_c} u_i\right)\right) \quad (2)$$

이와 같은 최적화 문제의 해는 u_i 가 오목함수이므로 각 자식 피어에게 $U/|V_c|$ 만큼의 자원을 할당하는 것이 된다. 그러나 참여 피어는 송수신율이 이질적이므로 $U/|V_c|$ 를 수신할 수 없는 피어도 있으며 이로 인한 잉여 자원은 수신율이 높은 피어에게 할당되는 것이 바람직하며 $U/|V_c|$ 가 최소 부스트림율 (r_s)보다 작은 경우 수신된 데이터는 소용이 없어진다.

전체 자원을 참여자의 요구량에 따라 공정하게 분배하는 기존의 자원 분배 기법과 달리 분산 비디오 스트리밍 시스템의 경우 r_i 를 결정할 때 각 자식 피어가 시스템에 제공하는 부스트림율을 고려하여 자신의 하위 노드에게 보다 많은 부스트림을 전달하는 자식 피어에게 보다 많은 r_i 를 할당해야 한다. 이와 같은 새로운 공정성에 대한 고려는 각 피어가 시스템에 기여하는 최대 부스트림율을 증대시키는 장려책으로 작용하며 이로 인해 분산 비디오 전송 시스템의 전체 용량이 증대되는 효과를 가져온다.

자식 피어 i 가 시스템에 제공하는 부스트림의 양을 o_i , 비디오 소스를 구성하는 최대 부스트림의 수를 S_m 으로 표기하면 자식 피어에게 U 를 공정하고 효율적으로 할당하는 부스트림 할당 문제는 다음과 같은 최적화 문제로 정의된다.

$$(P): \max\left(\prod_{i \in V_p} \log\left(1 + \sum_{j \in V_p} s_{ij}\right)\right)$$

조건:

$$r_s \leq r_i \leq S_m r_s, \quad (3-1)$$

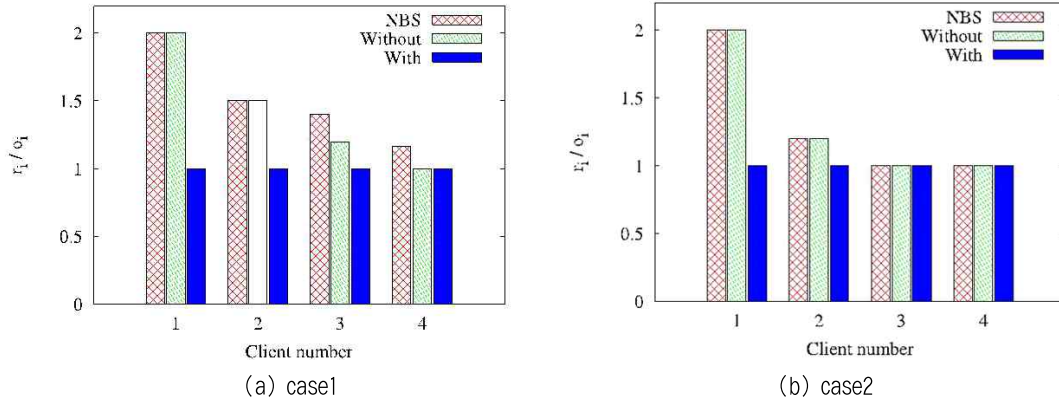
$$0 \leq x_j \leq P_j^m, \quad (3-2)$$

$$0 < \frac{r_i}{o_i} \leq 1 \quad (3-3)$$

즉, 피어의 자원할당 문제는 조건 (3-1)~(3-3)에 따라 (P)를 만족하는 $\{s_{ij}, i \in V_c, j \in V_p\}$ 를 구하는 것이 된다. 문제 (P)의 조건 (3-1)은 최대, 최소 부스트림율과 수신율 사이의 관계를, 조건 (3-2)는 부모 피어의 최대 부스트림 전송 한계를 나타낸다. 조건 (3-3)은 자식 피어의 공헌도에 따른 공정한 할당 및 피어가 자발적으로 시스템에 자원을 제공할 수 있는 장려책을 나타낸다.

3. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을



(그림 1) 시스템 용량 증대를 위한 장려책에 따른 부스트림 할당의 공정성

NBS 기법을 적용한 경우 및 장려책을 고려하지 않은 QoE 최적화 기법 ((P) 에서 조건 (3-3)을 지정하지 않은 경우)과 정량적으로 비교함으로써 제안기법의 타당성을 검증한다. 모의 실험을 위해 5개의 부모 피어가 4개의 자식 피어에게 비디오 부스트림을 제공하는 환경을 설정하였다. 각 부스트림의 r_s 는 300kbps로 동일하게 설정하였으며 비디오 소스는 6개의 부스트림으로 구성하였다. 또한 부모 피어의 송신율과 자식 피어의 수신율은 모두 r_s 로 정규화하여 표현하였고 각 부모 피어가 제공하는 부스트림의 개수는 (3,4,6,8,5)로 설정하였다. 이와 같은 환경에서 자식 피어의 이질성을 고려하기위해 자식 피어가 하위 피어에게 제공하는 부스트림의 수를 <표 1>과 같이 3가지로 다양화하여 공정성과 부모 피어가 추가로 수용 가능한 자식 피어의 측면에서 각 기법의 성능을 비교 평가 하였다.

<표 1> 자식 피어가 제공하는 부스트림의 수

	o_1	o_2	o_3	o_4
case1	3	4	5	6
case2	3	5	7	9
case3	6	8	10	12

(그림 1)은 case1과 case2에 대한 r_i/o_i 를 보여준다. 그림에서 *With*는 제안 기법을 *Without*은 (P)에서 조건 (3-3)을 적용하지 않고 데이터 수신량의 유효성만을 고려한 경우를 나타낸다. NBS와 장려책을 고려하지 않는 경우 case1, case2의 자식 피어 1번 2번과 같이 자식 피어의 o_i 가 낮은 경우에도 $r_i/o_i > 1$ 이 된다. 즉, 이들 기법의 경우 각 피어가 비디오 스트리밍 시스템에 기여하는 양보다 시스템을 통한 이득이 더 많기 때문에 이성적인 피어의 경우 비디오 스트리밍 시스템에 공헌하는 양을 자발적으로 증가시키고자 하는 동인을 얻지 못하게 되어 시스템 전체 용량의 증가를 기대하기 어렵다. 반면에 제안기법의 경우 r_i 는 o_i 에

비례하여 제공받기 때문에 피어들은 보다 좋은 품질의 비디오 수신을 위해 보다 많은 양의 부스트림을 송신할 동인을 얻게 되어 결과적으로 P2P 시스템의 용량이 증대된다. Case3의 경우 각 자식 피어의 o_i 가 S_m 이상이고 서버 피어의 전체 용량이 26 부스트림이기 때문에 *With*와 *Without*에서 자식 피어들은 6개의 부스트림을 수신하게 되며, NBS의 경우 o_i 가 상대적으로 더 큰 자식 피어 3과 4는 7개의 부스트림을 수신하게 되어 일부 부스트림을 중복 수신한다.

<표 2>는 부모 피어의 총 부스트림 제공량을 각 case별로 각 자식 피어에게 할당 한 후 잔여량 $R_s = \sum_{j \in V_p} x_j - \sum_{i \in V_c} r_i$ 를 나타낸다. NBS의 경우 전체 자원의 균등분배라는 차원에서 가용 자원 모두를 자식 피어들에게 효율적이고 공정하게 배분한다. 그러나 일부 피어에게는 S_m 보다 많은 양이 할당되어 일부 부스트림의 중복 수신을 초래한다. 장려책을 고려하지 않은 경우 각 자식 피어에게 $\lfloor U/|V_c| \rfloor$ 만큼의 자원이 공정하게 분배된다. 반면 제안 기법의 경우 o_i 를 고려하여 자원을 분배하기 때문에 $\sum o_i$, S_m 및 U 의 값에 따라 R_s 가 결정된다. 예를 들어 case1과 같이 o_i 가 S_m 보다 작고 U 가 $|V_c|S_m$ 보다 큰 경우 R_s 는 8이 되어 시스템은 추가로 자식 피어를 수용할 수 있다. 반면 동일 조건에서 장려책이 없는 경우 R_s 는 2가되어 추가로 수용 가능한 자식 피어의 수는 제안기법보다 작고 NBS의 경우 R_s 는 0이 되어 추가로 피어 수용이 불가능하다.

<표 2> 부모 피어 레벨의 잔여 용량

	With	Without	Pure
case1	8	2	0
case2	6	2	0
case3	2	2	0

4. 결 론

본 논문에서는 분산 비디오 스트리밍 시스템에서 피어가 시스템에 제공하는 부스트림 송신량을 고려한 자원 할당 기법을 제안하였다. 제안 기법은 각 피어가 자발적으로 부스트림 제공량을 증가시킬 수 있는 장려책을 도입함으로써 부모 피어의 총 제공 용량을 효율적이고 공정하게 자식 피어에게 할당한다. 모의실험을 통해 동일 조건에서 제안기법은 NBS나 장려책이 없는 자원 할당 기법보다 시스템에서 수용 가능한 피어의 수가 증대시킨다는 것을 검증하였다.

참 고 문 헌

[1] X. Zhang, J. Liu, B. Li, and P. Yum, "Coolstreaming/DONet: A Data-Driven Overlay Network for Efficient Live Media Streaming," IEEE INFOCOM, pp.2102-2111, Mar., 2005.

[2] S. Xie, G. Y. Keung, and B. Li, "A Measurement of a Large-Scale Peer-to-Peer Live Video Streaming System," IEEE Packet Video, pp.153-162, Nov., 2007.

[3] H. Hu, Y. Guo, and Y. Liu, "Peer-to-Peer Streaming of Layered Video: Efficiency, Fairness and Incentive," IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol.21, No.8, pp.1013-1026, Aug., 2011.

[4] M. K. H. Yeung, Y.-K. Kwok, "On Game Theoretic Peer Selection for Resilient Peer-to-Peer Media Streaming," IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, Vol.20, No.10, pp.1512-1524, Oct., 2009.

[5] R. Roverso, A. Naiem, M. Reda, M. El-Beltagy, and S. El-Ansary, "On the Feasibility of Centrally-Coordinated Peer-to-Peer Live Streaming," IEEE CCNC pp.1061-1065, Jan., 2011.

[6] C. Touati, E. Altman, J. Galtier, "Generalized Nash Bargaining Solution for Bandwidth Allocation," Elsevier Computer Networks, Vol.50, No.17, pp.3242-3263, 2006.



박 재 성

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr

1995년 연세대학교 전자공학과(학사)

1997년 연세대학교 전자공학과(공학석사)

2001년 연세대학교 전기, 전자공학과
(공학박사)

2001년~2002년 University of Minnesota
(Research Faculty)

2002년~2005년 LG전자 선임연구원

2005년~현 재 수원대학교 IT대학 정보보호학과 조교수

관심분야: 네트워크 성능 분석 및 프로토콜 개발