

시뮬레이션을 이용한 대규모 스마트 TV 서비스 제공을 위한 사용자 그룹핑 알고리즘 성능 분석

전 철¹ · 이관섭¹ · 주우석¹ · 정태경² · 한승철^{1†}

Simulation Analysis of User Grouping Algorithms for Massive Smart TV Services

Cheol Jeon · Kwanseob Lee · Wouseok Jou · Taikyeong Ted. Jeong · Seung Chul Han

ABSTRACT

Smart TV System will lead to drastic change of communication and media industries as one of the emerging next generation network services. However, when the number of concurrent users increases rapidly, the issue of service quality degradation occurs because providing services to many users simultaneously stresses both the server and the network. The server limitation can be circumvented by deploying server clusters. but the network limitation is far less easy to cope with, due to the difficulty in determining the cause and location of congestion and in provisioning extra resources. In order to alleviate these problems, a number of schemes have been developed. Prior works mostly focus on reducing user-centric performance metrics of individual connection, such as the round-trip time(RTT), downloading time or packet loss rate, but tend to ignore the network loads caused by the concurrent connections or global network load balance. In this work, we make an in-depth investigation on the issue of user grouping for massive Smart TV services through simulations on actual Internet test-bed, PlanetLab.

Key words : Smart TV, PlanetLab, User grouping algorithm, Network load metrics

요약

스마트 TV 시스템은 차세대 핵심 네트워크 서비스 중의 하나로서 통신과 미디어 산업에 급격한 변화를 가져올 것이다. 하지만, 스마트 TV 시스템은 동시접속자가 증가하면 서비스 품질이 급격하게 저하되는 문제가 발생하고 있다. 콘텐츠를 수 많은 사용자에게 동시에 전송하는 것은 서버와 네트워크에 큰 부담으로 작용하기 때문이다. 서버의 수용능력의 한계는 서버 클러스터를 구성함으로써 어느 정도 해결할 수 있지만 네트워크의 수용능력의 한계는 부하와 혼잡의 발생 위치를 파악하고 추가적인 자원을 설치하여 해결하는데 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 현재까지 많은 기법들이 제안되었지만 기존의 연구들의 성능분석은 대부분 왕복시간(round-trip time), 다운로드 시간, 패킷 손실 비율과 같은 사용자 중심의 성능척도에만 초점이 맞춰져 있고 스마트 TV 서비스 품질에 중요한 영향을 미치는 동시접속과 전체 네트워크의 부하와 혼잡을 무시하는 경향이 있다. 본 논문에서는 실제 인터넷 테스트베드인 PlanetLab을 이용하여 스마트 TV 서비스 품질에 중요한 영향을 미치는 사용자 그룹핑 알고리즘을 네트워크의 혼잡도와 부하중심으로 성능분석을 한다.

주요어 : 스마트 TV, PlanetLab, 사용자 그룹핑 알고리즘, 네트워크 부하

*This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(Grant No.2010-0016970).

*This work was supported by the 2010 research fund of Myongji University in Korea.

접수일(2010년 12월 14일), 심사일(1차 : 2011년 3월 10일), 게재 확정일(2011년 3월 21일)

¹⁾ 명지대학교 컴퓨터공학과

²⁾ 명지대학교 전자공학과

주 저 자 : 주우석

교신저자 : 한승철

E-mail: bongbong@mju.ac.kr

1. 서 론

전통적으로 TV는 화질(흑백 → 컬러, SD → HD 등) 개선을 통해 발전해왔다. 그러나, 2000년대부터 시작된 스마트 열풍은 TV발전 방향의 변화를 요구하고 있다. 이러한 변화의 바람에 편승하여 최근 방송과 통신이 융합되고 고화질을 바탕으로 이용자 상황에 적합하거나 개별화된 니즈를 충족시키기 위한 보다 지능화된 서비스를 제공하는 스마트TV가 주목받고 있다. 스마트 TV는 TV개념 자체를 바꾸는 것인 만큼 초기 주도권을 잡은 업체가 시장을 리더해 나갈 것으로 보인다. 따라서, 이미 많은 스마트 TV 서비스들이 개발을 완료한 상태이며 조만간에 기존 케이블 TV 회사, 미디어 기업과의 치열한 경쟁이 예상된다.

스마트 TV는 단순히 새로운 TV 수상의 개념이 아니며 TV와 인터넷 기능을 동시에 제공하는 다기능, 지능형 멀티미디어 TV를 말하는 것으로 TV와 인터넷, PC의 컴퓨팅 기능을 모두 지원하고 있다. 스마트 TV의 가장 큰 특징은 완전한 양방향성과 개방성이다. 기존 CATV, IPTV는 서비스 업체가 제작한 소수의 어플리케이션만을 사용할 수 있고 서비스 업체가 제공하는 콘텐츠만을 검색하고 볼 수 있다. 그에 반하여, 스마트 TV는 다양한 어플리케이션을 원하는 대로 설치하고 실행 할 수 있으며 사용자가 직접 콘텐츠를 제작, 공유 할 수 있을 뿐만 아니라 온/오프라인 상의 모든 콘텐츠를 볼 수 있다. 시장예측 분석 보고서에 따르면 전 세계 스마트 TV 판매 대 수는 2014년에 전체 TV의 42%인 1억 1천 900만대가 판매되어 질 것으로 예상된다^[10].

하지만, 스마트 TV는 해결해야할 중요한 문제가 있다. 스마트 TV는 가입자 수가 늘어남에 따라서 네트워크 부하의 증가와 서비스 품질의 저하 문제가 발생하고 있다. 서버와 일부 네트워크 자원에 집중적으로 큰 부담을 주기 때문이다. 서버의 수용 능력의 한계는 서버 클러스터(cluster)를 구성함으로써 처리 능력을 높일 수 있지만 네트워크 수용 능력의 한계는 부하와 혼잡의 위치를 파악하고 추가적인 자원을 설치하여 해결하는데 어려움이 있다. 동시에 많은 흐름(stream)이 네트워크상의 동일 링크를 지나간다면, 해당 네트워크 링크에 많은 부하를 줄 것이다. 또한 부하의 균형이 이루어지지 않고 어느 한 쪽으로만 편중된다면 네트워크 자원의 비능률적인 사용을 야기할 뿐만 아니라 전체적인 서비스품질을 떨어뜨릴 것이다. 서버의 처리 능력이 충분하더라도 네트워크 수용 능력의 한계 때문

에 사용자가 느끼는 서비스 품질은 만족스럽지 못할 수 있다. 현재 이러한 문제를 해결하기 위한 몇 가지 기법들이 개발되어져 있지만 이전의 연구들은 대부분 round-trip time(RTT), 다운로드 시간, 패킷 손실 비율과 같은 사용자 중심의 성능 척도에 초점이 맞춰져 있어서 동시접속과 전체 네트워크 부하와 혼잡을 무시하는 경향이 있다. 스마트 TV는 콘텐츠를 수많은 사용자에게 동시에 전송해야 하기 때문에 네트워크 혼잡과 부하의 균형을 중요하게 고려해야한다. 이러한 관점에서 네트워크 자원의 부하를 효과적으로 측정 할 수 있는 네트워크 중심의 측정법이 반드시 필요하다. 본 연구는 네트워크 중심의 측정치 Worst Link Stress(WLS)^[12]와 Dgree of Interference (DOI)^[11]에 초점이 맞춰져 있다. WLS는 링크를 지나간 횟수가 가장 큰 것을 말하고 네트워크의 혼잡 수준과 밀접한 관련이 있다. WLS의 값이 작을수록 네트워크 혼잡을 발생시키지 않고 해당 그룹의 작업을 처리 할 수 있다. DOI는 전체 네트워크 링크에서 보여지는 간섭의 총 수를 측정한다. DOI는 전체 네트워크 자원의 사용량을 측정하는데 매우 유용하다. WLS와 DOI가 작을수록 전체적인 네트워크 부하가 균등하다고 할 수 있다. 네트워크 자원의 균등한 사용은 스마트 TV 서비스 제공자가 더 많은 가입자와 서비스 채널을 수용할 수 있게 한다. 본 논문에서는 스마트 TV 시스템의 네트워크 혼잡과 네트워크 부하를 줄이기 위한 사용자 그룹핑(user grouping) 알고리즘을 고찰해 보고자 한다. 예를 들면, 스마트 TV 서버와 서비스를 요청하는 많은 사용자가 존재한다고 가정할 때 서버는 계산능력, 대역폭과 같은 부족한 자원 때문에 동시에 모든 사용자에게 서비스를 제공할 수 없을 것이다. 이러한 문제점들을 해소하기 위해서 서버가 사용자를 서로소인 부분집합(disjoint subsets)으로 분할하고 한 번에 한 부분집합에 서비스를 제공하게 한다.

본 논문의 목적은 각 그룹의 WLS와 DOI를 줄이고 그룹들 사이의 균형을 유지하기 위하여 어떤 방법으로 사용자들을 그룹핑 하는 것이 좋은 방법인지를 시뮬레이션을 통해 확인하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구들의 소개와 3장에서는 인터넷 시뮬레이션 도구인 PlanetLab^[13]과 네트워크 성능평가척도를 소개하고 4장에서는 사용자 그룹핑 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 분석한다. 5장에서는 결론과 함께 향후연구방향을 살펴본다.

2. 관련연구

콘텐츠 배급(Content Distribution)에 대한 논문은 상당히 많이 존재한다. 그 중에서도 가장 관련성 있는 연구를 위주로 살펴볼 것이다.

인프라-기반 콘텐츠 배급 네트워크(infrastructure-based content distribution networks) (CDN) (e.g., Akamai^[1])와 웹 캐쉬기법은 가장 가까운 서버를 각각의 클라이언트에게 할당한다. 트리-기반 엔드-시스템 멀티캐스트(tree-based end-system multicast) (e.g., Bayeux^[17])는 모든 사용자들은 루트 노드에 의해 서비스를 제공받는다. 그러나, 문제는 몇 개의 노드가 특정 노드의 자식으로써 할당되어 질 때 멀티캐스트 트리를 생성하는 과정에서 발생한다. 이 과정은 노드가 트리에 명시적으로 결합하므로써 수행되어 지며 할당은 유니캐스트 라우팅에 의해 결정되어진다.

메쉬-기반 시스템(mesh-based system)은 파일 스트라이핑(striping)과 협력적인(collaborative) 다운로드를 제공한다(e.g., BitTorrent^[2], PROMISE^[4], Splitstream^[3], FastReplica^[5], Bullet^[6]). Splitstream^[3], FastReplica^[5]의 노드 선택은 기본적으로 무작위로 행하여진다. 그 외의 시스템들은 대부분 노드 순위 함수(node ranking function)을 사용한다. 일반적으로 노드는 높은 순위를 가지는 노드를 선호한다. 노드 순위 함수는 노드의 부하(CoBlitz^[7]), round-trip time(RTT) (ChunkCast^[8]), 개별 노드로 보내거나 받을 수 있는 대역폭(Bullet^[6], Slurpie^[9], BitTorrent^[2]) 그리고 서버와 클라이언트 사이의 콘텐츠 중복의 정도(degree)를 이용한다. 예를들어, 초기에 노드는 무작위로 몇 개의 노드를 선택하고 점진적으로 다른 노드들을 조사하여 동적으로 순위가 더 높은 노드로 기존 노드를 대체한다.

많은 연구가 이러한 문제들을 다루고 있는 반면에 전체 네트워크 혼잡과 부하 균형에 관련된 문제는 아직 체계적으로 연구가 진행되고 있지 않다. 서비스 제공자들의 주된 관심사는 전체 작업처리량을 최대화하기 위하여 네트워크 혼잡과 부하 균형을 최적화하는 것이다. 네트워크 혼잡을 해소하고 네트워크 자원의 사용량을 줄이는데 도움이 되는 기법은 상당한 가치가 있을 것이다.

3. 시뮬레이션 도구 및 성능평가 척도

이 장에서는 네트워크 시뮬레이션 도구인 PlanetLab^[13]과 네트워크 성능평가 척도를 소개한다.

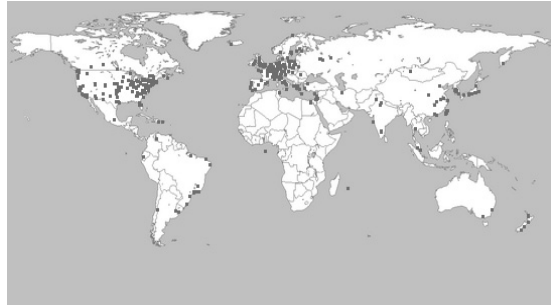


그림 1. PlanetLab 사이트 분포도(www.planet-lab.org)

3.1 PlanetLab

PlanetLab은 컴퓨터 네트워킹과 분산 시스템 연구를 돕기 위한 테스트베드(testbed)이다. PlanetLab은 2002년에 Larry L. Peterson 교수에 의해서 고안되었고, 2003년에 시작한 이래로 많은 연구자들이 새로운 분산 스토리지, 네트워크 매핑, p2p 시스템, 분산 해쉬 테이블 등을 개발하기 위하여 사용하고 있다.

그림 1은 PlanetLab 사이트 분포를 보여준다. PlanetLab은 현재 515개의 사이트, 1133개의 노드를 보유하는 대규모 테스트베드로 성장했으며, 한국 내에서도 수 개의 노드를 보유하고 있다.

PlanetLab은 사용자들이 ‘슬라이스’라는 가상머신을 통해서 노드에 접근할 수 있게 한다. 이 접근권한은 일반적으로 PlanetLab에 노드를 호스팅하고 있는 기관의 승인을 받는 경우에만 얻을 수 있다. 그러나, 권한 신청이 없어도 Codeen^[14]이나 Coral CDN^[15], Open DHT^[16]등과 같은 공개 서비스들은 사용할 수 있다.

3.2 네트워크 성능평가척도

네트워크 부하를 측정 할 수 있는 두 가지의 유용한 성능평가척도를 소개한다.

정의1. 트리 T는 노드의 집합 $N = \{n_1, \dots, n_l\}$ 과 간선의 집합 $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ 의 원소들로 구성된다. 간선 e를 지나는 경로들의 수를 link stress라 말하고 LS(e)로 표기한다. worst link stress(WLS)는 다음과 같이 정의된다.

$$WLS(n_1, \dots, n_l) = \max LS(e) \quad (e \in E)$$

예를 들면, 그림 2에서 $n_1 = 13, n_2 = 15, n_3 = 19$ 이면 $WLS(n_1, n_2, n_3) = 3$ 이다. 왜냐하면 link(0,10)에 대한 경로의 수가 3이기 때문이다.

WLS는 링크를 지나간 횟수가 가장 큰 값을 말하며 병목현상이 발생하는 링크를 찾는 데 유용할 뿐만 아니라 네트워크 부하가 균등하게 분포되었는지 가능해 볼 수 있는 척도로 사용될 수 있다. WLS 값이 작을수록 네트워크 혼잡을 발생시키지 않고 해당 그룹의 작업을 처리 할 수 있기 때문에 Smart TV와 같이 동시전송량이 많은 서비스는 WLS값을 최소화시키는 사용자 그룹핑 알고리즘을 사용하여 서비스 품질을 높여야한다.

정의2. 트리 T는 노드의 집합 $N = \{n_1, \dots, n_l\}$ 과 간선의 집합 $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ 의 원소들로 구성된다. 노드의 degree of interference(DOI)는 다음과 같이 정의된다.

$$DOI(n_1, \dots, n_l) = \sum_{i=1}^l (\text{number of path via } e_i - 1) = n(\text{average path length}) - l$$

예를 들어, 그림 2에서 $n_1 = 13, n_2 = 15, n_3 = 19$ 이면 $DOI(n_1, \dots, n_l) = 4$ 이다. 왜냐하면 link(10,11), (11,12)에 대한 경로의 수는 2 이고 link(0,10)에 대한 경로의 수는 3이기 때문이다.

DOI는 전체 네트워크 링크에서 보여지는 간섭의 총 수를 말한다. DOI는 전체 네트워크 자원의 사용량을 측정하는데 매우 유용하며 WLS, DOI 값이 작을수록 전체 네트워크의 부하가 균등하다고 말할 수 있다.

4. 시뮬레이션

앞서 3.2절에서는 그림 2에 있는 임의의 노드를 선택하여 WLS와 DOI값을 구해 보았다. 몇 번 더 그 과정을 반복해 보면 동일한 구조의 네트워크안에서도 사용자 그

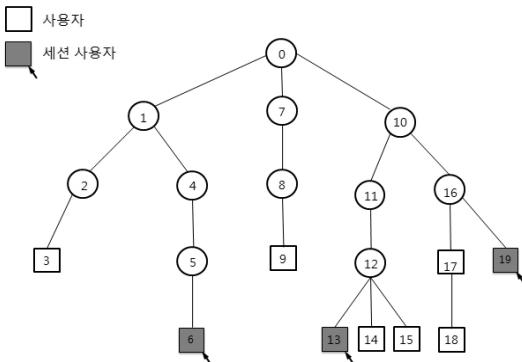


그림 2. WLS, DOI 설명을 위한 예

룹핑 방법에 따라서 WLS와 DOI값이 달라진다는 사실을 알 수 있다. 따라서, 스마트 TV 서비스를 위하여 네트워크 부하를 최소화하고 서비스품질을 높이기 위해서는 WLS와 DOI값이 최소가 될 수 있는 방법으로 노드를 선택해야 할 것이다. 현재까지 가장 많이 사용되는 사용자 그룹핑 방법으로는 다음과 같은 2가지 알고리즘이 있다.

- Random : 사용자 그룹을 만들기 위해서 서버는 랜덤하게 사용자를 선택한다.
- Closest : 사용자 그룹을 만들기 위해서 서버는 가장 많은 링크를 공유하는 사용자들을 선택한다.

4장에서는 3장에서 소개했던 PlanetLab과 네트워크성능평가척도를 사용하여 Random과 Closest 알고리즘의 성능을 비교한다.

시뮬레이션을 위해 미국(버클리대), 유럽(유로콤), 아시아(도쿄대)에서 임의의 3대의 서버(planetlab1.millennium.berkeley.edu, planetlab1.iii.u-tokyo.ac.jp, planetlab1.eurecom.fr)를 선택하고, 각각의 서버는 전 세계에 분포되어 있는 614개의 사이트 중에서 64개를 랜덤하게 선택하고 한 그룹당 8 사용자씩 총 8 그룹으로 그룹핑을 한다.

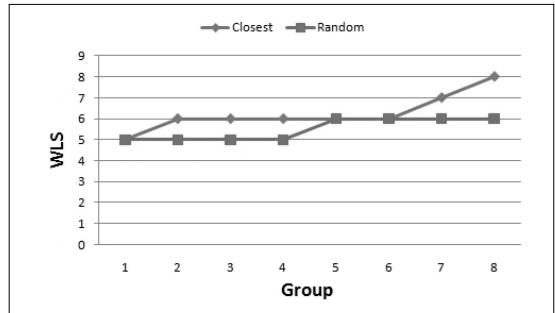


그림 3. planetlab1.millennium.berkeley.edu(미국, 버클리대)

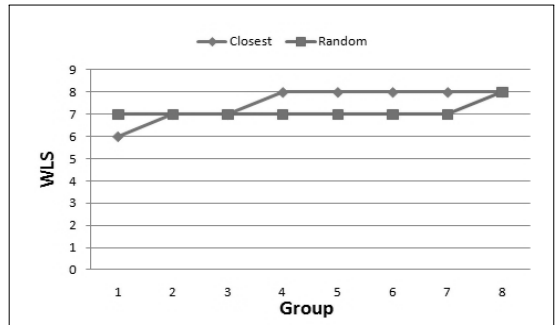


그림 4. planetlab1.eurecom.fr(유러콤, 프랑스)

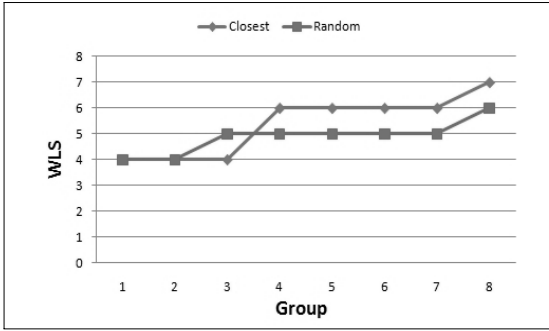


그림 5. planetlab1.iii.u-tokyo.ac.jp(도쿄대, 일본)

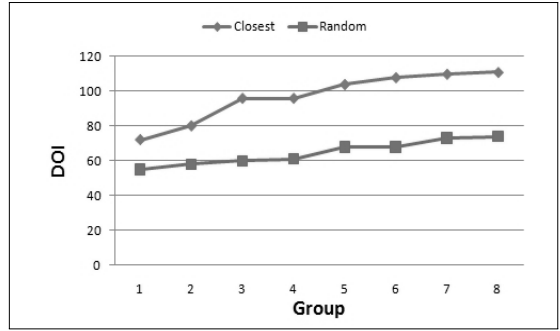


그림 8. planetlab1.eurecom.fr(유러콤, 프랑스)

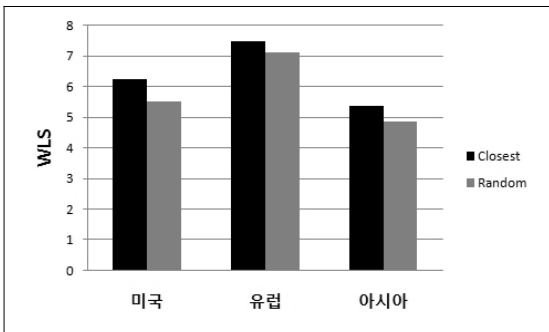


그림 6. Average WLS

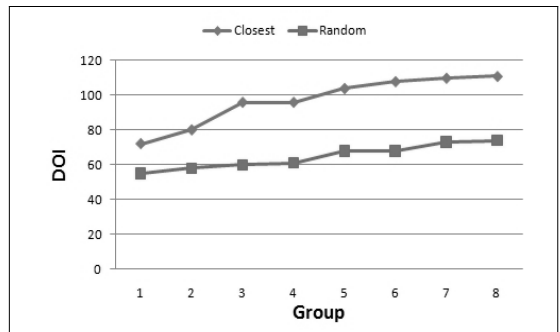


그림 9. planetlab1.iii.u-tokyo.ac.jp(도쿄대, 일본)

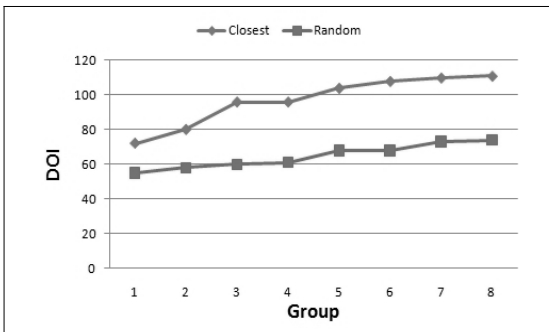


그림 7. planetlab1.millennium.berkeley.edu(미국, 버클리대)

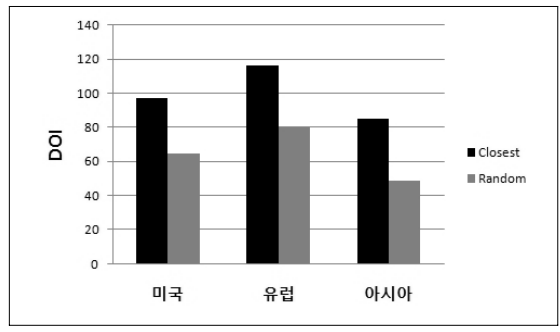


그림 10. Average DOI

4.1 WLS(Worst Link Stress) 분석

위의 그림 3~5는 각 그룹별 WLS 분포도를 보여준다. Random 알고리즘의 그래프는 대부분 Closest 알고리즘의 그래프 하단에 위치하고 있으며 WLS값의 변화가 적어 Closest 알고리즘 보다 안정적이다. 반면에 Closest 알고리즘은 WLS값의 변화가 커서 전체적인 네트워크의 불균형과 혼잡을 일으킬 수 있다. 그림 6은 각 알고리즘에 대한 지역별 평균 WLS 수치를 보여준다. 전체적으로 Closest 알고리즘을 사용할 때 WLS 수치가 높은 것을 확인

할 수 있다.

4.2 DOI(Degree of Interference) 분석

위의 그림 7~9는 각 그룹별 DOI 분포도를 보여준다. 이 그림을 통하여 Closest 알고리즘이 Random 알고리즘에 비하여 전체적으로 각 링크에 더 많은 부하준다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 10의 지역별 평균 DOI 수치도 Closest 알고리즘을 사용할 때 더 커진다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 네트워크 성능평가 척도인 WLS, DOI를 중심으로 Random과 Closest 알고리즘의 성능을 분석하였다. Random 알고리즘은 구현하기가 간단하며 전체 네트워크의 부하가 균등하게 유지가 되지만 항상 최적의 그룹을 결정할 수는 없으며 네트워크 부하와 혼잡을 제어하기 어렵다는 단점이 있다. Closest 알고리즘은 다운로드 시간을 최소화시킬 수 있지만 네트워크 부하를 어느 한쪽으로 몰리게 하므로 전체 네트워크의 부하 불균형을 초래할 수 있다.

네트워크 부하의 관점에서 두 알고리즘 모두 스마트 TV 서비스 환경에서 사용하기에는 부족함이 있다는 것을 확인하였다. 추후 연구에서는 스마트 TV 서비스 환경에 알맞게 전체 네트워크 상의 부하를 어느 한쪽으로 치우침 없이 전체적으로 고르게 분포시켜 병목구간을 제거하고 서비스 품질을 높이는데 기여할 수 있는 알고리즘을 고안하여 연구를 진행할 계획이다.

참고 문헌

1. Akamai Website, <http://www.akamai.com>
2. BitTorrent Website, <http://www.bittorrent.com>
3. M. Castro, P. Druschel, A-M. Kermarrec, A. Nandi, A. Rowstron and A. Singh, "SplitStream: High-bandwidth multicast in a cooperative environment", Symposium on Operating System Principles(SOSP'03).
4. M. Hefeeda, A. Habib, B. Botev, D. Xu, and B. Bhargava, "PROMISE: Peer-to-Peer Media Streaming Using CollectCast," In Proc. of ACM Multimedia 2003, pages 45-54, Berkeley, CA, November 2003. Slides.
5. L. Cherkasova, J. Lee. "FastReplica: Efficient Large File Distribution within Content Delivery Networks". Proceedings of the 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems(USITS'2003).
6. Dejan Kostić, Adolfo Rodriguez, Jeannie Albrecht, and Amin Vahdat. "Bullet: High Bandwidth Data Dissemination Using an Overlay Mesh". In Proceedings of the Nineteenth ACM Symposium on Operating System Principles(SOSP), October 2003.
7. K. Park and V. S. Pai, "Scale and Performance in the CoBlitz Large-file Distribution Service," in Proceedings of the 3rd Symposium on Networked Systems Design and Implementation(NSDI '06) (Berkeley, CA: USENIX, 2006).
8. Byung-Gon Chun, Peter Wu, Hakim Weather spoon, and John Kubiawicz. "ChunkCast: An Anycast Service for Large Content Distribution". Proceedings of the International Workshop on Peer-to-Peer Systems(IPTPS), 2006.
9. R. Sherwood, R. Braud, and B. Bhattacharjee. "Slurpie: A cooperative bulk data transfer protocol". In Proceedings of the IEEE INFOCOM 2004.
10. DisplaySearch, http://www.displaysearch.kr/press_releases/PR_20100726.php
11. S. C. Han and Y. Xia, "Constructing an optimal server set in structured peer-to-peer network," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 1, pp. 170-178, 2007.
12. S. C. Han and Y. Xia, "Optimal Node Selection Algorithm for Parallel Download in Overlay Content Distribution Networks," Computer Networks, vol. 53, 1480-1496, 2009.
13. PlanetLab, <http://www.planet-lab.org>
14. Codeen, <http://codeen.cs.princeton.edu>
15. Coral CDN, <http://www.coralcdn.org>
16. Open DHT, <http://www.opendht.org>
17. Zhuang, S. Q., Zhao, B. Y., Joseph, A. D., Kats, R. H., Kubiawicz, J. D. Bayeux: An architecture for scalable and faulttolerant wide-area data dissemination. In Proceedings of the 11th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video(June 2001), ACM.



전 철 (skygift@mju.ac.kr)

2010 명지대학교 컴퓨터공학과 학사과정

관심분야 : Smart TV, Network Security, Operating System, Android



이 관 섭 (kwanseob@mju.ac.kr)

2010 명지대학교 컴퓨터공학과 학사

관심분야 : Mobile Computing, Network Security, Operating System



주 우 석 (red@mju.ac.kr)

1983 서울대학교 전자공학과 학사

1987 미)University of Florida 컴퓨터공학과 석사

1991 미)University of Florida 컴퓨터공학과 박사

현재 명지대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : Graphics, Network Applications



정 태 경 (ttjeong@mju.ac.kr)

1998 미)University of Texas 석사

2000 미)University of Texas 박사

현재 명지대학교 전자공학과 조교수

관심분야 : 통신회로설계, 고성능 시스템 설계



한 승 철 (bongbong@mju.ac.kr)

2003 미)University of Purdue 컴퓨터공학과 석사

2007 미)University of Florida 컴퓨터공학과 박사

현재 명지대학교 컴퓨터공학과 조교수

관심분야 : P2P IPTV, VOD, Network Security, Android