

파일 공유 시스템에서 서비스 차별화를 위한 피어 행동 기반의 인센티브 메커니즘

신정화[†], 김태훈^{**}, 탁성우^{***}

요 약

P2P(Peer-to-Peer) 네트워크는 피어간의 협력에 상당히 의존한다. 그러나 일부 피어는 자신의 파일을 전혀 공유하지 않고 필요한 파일의 다운로드만 수행하거나, 질이 낮은 파일이나 다른 피어로부터 요청 횟수가 적은 파일을 공유한다. 피어의 이와 같은 이기적인 행동을 '무임승차(free riding)'라 하고, 피어의 무임승차는 다른 피어의 활발한 참여나 시스템의 성능을 감소시킬 수 있다. 이에 본 논문에서는 신뢰 피어를 이용하여 인센티브 기법의 올바른 사용을 제공하고, 피어의 행동을 참조하여 기여도를 계산하고 인센티브를 할당하는 인센티브 기법 IcMFS(Incentive Mechanism for File Sharing System)를 제안한다. 제안 기법은 대역폭과 TTL(Time-To-Live)을 인센티브로 할당하여 피어의 서비스 이용을 차별화한다. 실험을 통해 피어의 기여도에 따른 서비스 차별화와 신뢰 피어를 이용하여 인센티브 기법의 올바른 사용과 신뢰 피어를 이용함으로써 얻을 수 있는 이점을 살펴보았다. 또 제안 기법의 안정성을 확인하기 위해 인센티브 기법의 부당한 사용으로 피어가 얻는 불이익을 살펴보았다.

Incentive Mechanism Based on the Behavior of Peer for Service Differentiation in File Sharing System

Jung Hwa Shin[†], Tae Hoon Kim^{**}, Sung Woo Tak^{***}

ABSTRACT

P2P (Peer-to-Peer) network depends on cooperation of peers considerably. However, some peers do not share files at all and only download files. Peers also share low quality files or unpopular files. These selfish behavior of peers is referred to 'free riding'. The free riding of peer may decrease participation of other peers or the system performance. In this paper, we propose an incentive mechanism, called IcMFS (Incentive Mechanism for File Sharing System), which provides the correct use of incentive mechanism using trust peer, computes contribution values referring behavior of peers and rewards peers. The proposed mechanism assigns bandwidth and TTL(Time-To-Live) to a peer and differentiates the use of service. A case study on simulations shows the service differentiation according to the contribution value of peer, the correct use of incentive mechanism using trust peer and the advantage by use of trust peer. To prove the stability of proposed mechanism, we also show the disadvantage that a peer receives from the incorrect use of incentive mechanism.

Key words: P2P(Peer-to-Peer), Free riding(무임승차), Incentive(인센티브)

* 교신저자(Corresponding Author): 탁성우, 주소: 부산시 금정구 장전동 산30번지(609-735), 전화: (051)510-2387, FAX: (051)515-2208, E-mail: swtak@pusan.ac.kr
접수일: 2008년 12월 19일, 완료일: 2009년 4월 2일
[†] 준회원, 부산대학교 U-Port정보기술산학공동사업단 전임연구원

(E-mail: shinjh@pknu.ac.kr)

^{**} 준회원, 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
(E-mail: ninkth@hotmail.com)

^{***} 종신회원, 부산대학교 정보컴퓨터공학부 부교수

* 본 연구는 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

파일 공유 시스템은 피어의 자발적인 파일 공유와 협력에 상당히 의존한다. 피어의 적극적인 참여는 시스템 내에 공유 파일의 수를 증가시킬 뿐만 아니라 다른 피어의 참여를 유도할 수 있다. 그러나 많은 피어들은 자신의 파일에 대한 공유 없이 필요한 파일의 다운로드만 수행하거나, 질이 낮은 파일이나 다른 피어가 흥미 없어 하는 파일을 공유한다. 또 다른 피어로부터 받은 질의에 대한 응답이나 전달 없이 자신의 질의만 보내거나 짧은 시간 동안 접속하여 필요한 파일을 다운로드한 후 서비스 이용을 종료하기도 한다. 파일 공유에서 빈번하게 발생하는 피어의 이와 같은 이기적인 행동을 '무임승차(free riding)'라 하고, 무임승차를 하는 피어를 '무임승차자(free rider)'라 한다[1].

파일 공유 시스템 내에 무임승차자가 많을 경우 다음과 같은 문제가 발생한다[2,3]. 첫째, 일부 피어만 파일을 공유하고 다른 피어로부터 받은 질의에 응답하기 때문에 여러 피어로부터의 다운로드 요청이 이러한 피어에 집중하여 확장성 문제가 발생한다. 둘째, 무임승차자가 보내는 질의 때문에 과도한 네트워크 트래픽이 생성되어 피어의 질의에 대한 응답 시간이 길어지고, 검색 영역 내에 무임승차자가 많을 경우 응답의 질이 감소한다. 이와 같이 무임승차자는 서비스의 질뿐만 아니라 다른 피어의 참여를 감소시키는 결과를 초래한다. 또 무임승차자의 수가 증가하면 P2P 시스템이 가진 장점을 활용하지 못하고 서버/클라이언트 시스템과 동일한 구조가 되거나, 자신의 이익을 추구하는 사용자들이 한정된 자원을 공유할 때 발생하는 '공유지의 비극[4]' 현상이 파일 공유 시스템에서도 동일하게 발생한다.

그러므로 파일 공유 시스템은 피어의 공유 파일 수, 피어가 제공하는 서비스, 그리고 피어의 동작에 따라 서비스 이용을 차별화함으로써 무임승차자의 영향을 감소시키고 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 인센티브 기법을 필요로 한다. 파일 공유 시스템에서 사용하는 인센티브 기법으로 피어의 행동에 따라 비용을 지불하거나 보상을 받는 지불 기법[5,6]과 포인트를 증가시키거나 감소시키는 포인트 기반 기법[7], 그리고 피어의 평판 정보를 참조하는 기법[8,9] 등이 있다. 이와 같은 기존 기법은 시스템 구조

에 대한 고려 없이 피어에 인센티브를 할당하기 위한 '유틸리티 함수(utility function)'만 주로 다루고 있다. 기존의 기법을 분산 환경에 적용할 경우 피어의 행동을 제어하고 모니터링 할 수 있는 관리 기관이 없으므로 피어는 인센티브 기법을 부당하게 사용할 수 있다. 예를 들면, 피어는 자신이나 다른 피어의 행동에 대하여 틀린 정보를 제공하거나 인센티브 기법의 사용을 거부할 수 있다. 따라서 인센티브 기법은 시스템 구조를 고려하여 분산 환경에서도 올바르게 동작할 수 있도록 설계되어야 한다.

이에 본 논문에서는 신뢰 피어를 이용하여 인센티브 기법의 올바른 사용을 확인하고, 피어의 행동을 참조하여 기여도를 계산하고 인센티브를 할당하는 인센티브 기법 IcmFS(Incentive Mechanism for File Sharing System)를 제안한다. 제안 기법은 피어의 기여도에 따라 대역폭과 TTL(Time-To-Live)을 할당하여 서비스 이용을 차별화하고 파일 공유에 참여하는 여러 피어들에서 신뢰 피어를 선정한다. 신뢰 피어는 인센티브 기법의 올바른 사용에 대한 확인뿐만 아니라 피어의 행동에 관한 정보를 관리한다. 실험을 통해 피어의 기여도에 따라 무임승차자와 일반 피어의 서비스 이용이 어떻게 차별화되는지 확인하고, 신뢰 피어의 사용으로 피어가 인센티브 기법을 부당하게 사용할 때 얻는 불이익을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 피어의 무임승차를 감소시키기 위해 기존에 제안된 인센티브 기법에 관한 연구를 분석하였으며, 3장에서는 피어의 행동을 참조하여 기여도를 계산하고 인센티브를 할당함으로써 서비스 이용을 차별화하는 제안 인센티브 기법 IcmFS를 설명하였다. 4장에서는 실험을 통해 IcmFS의 효율성과 안정성을 분석하였으며, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. 관련 연구

일반적으로 파일 공유 시스템은 피어들이 공유하는 파일을 이용하여 서비스를 제공하기 때문에 참여 피어의 수가 많고 피어별 공유 파일의 수가 많을수록 더 향상된 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 일부 피어는 자신의 파일을 공유하기 위한 목적으로 파일 공유 시스템에 참여하기보다 필요한 파일의 다운로드를 목적으로 참여하는 경우가 많다. 이와 같이 파

일 공유 시스템에 참여하는 피어의 대부분은 자신의 목적을 위하여 무임승차를 빈번하게 한다. 피어의 무임승차 문제를 다루기 위해 제안된 기존의 인센티브 기법에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Mazel[7]는 피어가 파일을 업로드 할 때 포인트를 부과하고, 다운로드 할 때 포인트를 차감하는 포인트 기반의 인센티브 기법이다. Maze는 포인트가 높은 피어에게 다운로드의 우선권을 부여하여 피어의 활발한 참여를 유도하며, 피어가 다운로드하는 파일의 크기에 따라 포인트를 차감한다. 반면 Maze는 중앙 서버를 이용하여 피어의 행동에 따라 포인트를 부과하고 차감하기 때문에 서버가 동작하지 않을 경우 상대 피어의 포인트 계산이 어렵다.

Vishnumurthy[5] 등이 제안한 지불 기반의 인센티브 기법은 'Karma'라 불리는 스칼라 값을 사용하여 각 피어의 공유 파일과 다운로드 파일에 대한 정보를 기록한다. Karma 값은 피어가 파일을 공유할 때 증가하고 다운로드할 때 감소하며, 이 값의 비교를 통해 파일의 다운로드를 제한한다. Ramaswamy와 Liu[3]는 전체 커뮤니티에서 무임승차자의 제어를 위해 '유틸리티 함수(utility function)'를 이용한 인센티브 기법을 제안하였다. 유틸리티 함수를 이용한 기법은 피어의 공유 파일 수, 공유 파일의 전체 크기, 공유 파일의 인기도 등을 참조하여 인센티브 할당에 필요한 유틸리티 값을 계산한다. 피어는 자신의 유틸리티 값에 따라 파일을 다운로드 하거나 향상된 서비스를 이용할 수 있다. 한편 유틸리티 함수를 이용한 기법에서 피어의 유틸리티 값은 커뮤니티에 참여하는 피어들이 제공한 정보를 참조하여 계산하기 때문에 피어들이 틀린 정보를 제공할 경우 유틸리티 값의 계산에 오류가 발생할 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 기존의 연구는 피어들이 제공하는 틀린 정보로 인해 인센티브 할당에 필요한 유틸리티 값의 계산 오류나 서버가 동작하지 않을 경우 개별 피어의 행동에 따른 포인트 계산이 어려운 단점을 가지고 있다. 분석된 기존 연구를 기반으로 본 논문에서 접근하고자 하는 방향은 다음과 같다. 피어의 행동에 따라 인센티브를 할당하여 서비스 이용을 차별화하고 신뢰 피어의 사용으로 인센티브 기법의 올바른 사용을 제공하는 인센티브 기법을 제안하고 인센티브 할당에 필요한 수식을 제시한다.

3. 파일 공유 시스템에서 서비스 차별화를 위한 피어 행동 기반의 인센티브 기법

본 장에서는 제안 인센티브 기법인 IcMFS의 특징과 세부적인 동작, 기여도 계산과 인센티브 할당 방법을 설명한다.

3.1 IcMFS의 특징

IcMFS는 신뢰 피어를 이용하여 인센티브 기법의 올바른 사용을 확인하고, 피어의 행동을 참조하여 기여도를 계산하고 인센티브를 할당한다. 파일 공유에 참여하는 여러 피어들에서 하나 또는 여러 개의 신뢰 피어를 선정할 수 있고, 신뢰 피어는 인센티브 기법의 올바른 사용에 대한 확인과 피어의 행동에 관한 정보를 관리한다. 피어들은 신뢰 피어를 통해 파일을 요청한 피어의 기여도 계산에 필요한 정보를 얻고 계산된 기여도에 따라 대역폭과 TTL을 할당하여 파일 요청 피어의 서비스 이용을 차별화한다. 그림 1은 IcMFS의 적용을 위한 P2P 네트워크 구조를 나타낸다.

신뢰 피어(Trust Peer)는 피어(Normal Peer)의 행동을 참조하여 기여도 계산에 필요한 값을 관리하고, 피어의 행동에 관한 여러 가지 정보를 업데이트 한다. 피어는 파일 공유 시스템의 이용을 위해 초기에 하나의 신뢰 피어에 가입되어 있어야 하고, 가입한 신뢰 피어가 올바르게 동작하지 않거나 네트워크에 참여하지 않는 경우에 대비하여 여러 개의 신뢰 피어에 가입한다. 피어의 기여도 계산에 필요한 피어의 행동에 관한 정보는 피어가 가입한 신뢰 피어들에 분산되어 저장된다. 피어가 신뢰 피어에 가입하기 위해 서비스에 참여하고 있는 전체 피어에서 신뢰 피어

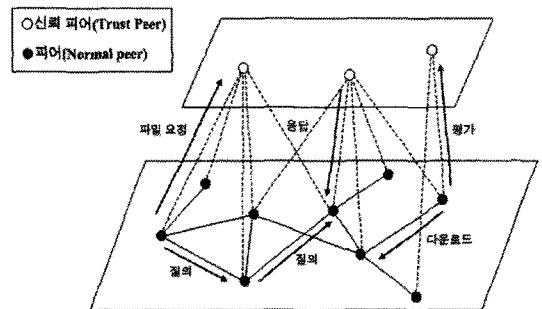


그림 1. IcMFS의 적용을 위한 P2P 네트워크 구조

표 1. 신뢰 피어 탐색 알고리즘

```

알고리즘 1 :
  for each peer Pi → seek TP(Trust Peer)

  while
  if |TPactive| ≥ k
    return;
  send message TPList(TP) to all tp∈TPactive
  wait for response
  for each Pj∈TPList do
    send message Inquire(Pj) to all tp∈TPactive
    wait for response
    
$$CV\_N_{avg}(P_j) = \frac{\sum_{tp \in TP_{active}} CV\_N_{avg}(P_j)}{|TP_{active}|}$$

  end-loop
  choose peer Pk∈TPList with highest CV_Navg(Pj)
  send message Join(Pi) to Pk
  TP(Pi)=TP(Pi)∪Pk
  end-loop
    
```

를 탐색하는 과정은 표 1과 같다. 피어 $P_i(i=1, \dots, n)$ 는 현재 자신이 가입한 신뢰 피어(tp)에게 다른 신뢰 피어에 관한 정보(TPList(TP))를 요청하고, 신뢰 피어(tp)는 피어 P_i 에게 해당 정보(P_j)를 전송한다. 피어 P_i 는 신뢰 피어(tp)로부터 받은 정보를 참조하여 피어 $P_j(i=1, \dots, n)$ 의 평균 신뢰도(CV_N_{avg})를 계산한다. 피어 P_i 는 가장 높은 신뢰도를 가지는 피어(P_k)를 선택하여 가입하고, 해당 피어(P_k)는 피어 P_i 의 신뢰 피어 집합에 포함된다.

3.2 기여도 계산과 인센티브 할당

피어에 인센티브를 할당하기 위해서는 피어의 참여 정도를 알 수 있는 값이 필요하다. 피어의 참여 정도를 나타내는 값을 ‘기여도(contribution score)’ 또는 ‘참여도(participation score)’라고 표현하며, 피어의 행동이나 공유 파일 수, 공유 파일의 크기 등을 참조하여 계산한다. 제안 기법은 ‘기여도’라는 용어를 사용하며, 피어에 대해 다음 요소들을 참조하여 기여도를 계산한다.

- **공유 파일 크기:** 피어가 많은 수의 파일을 공유하고 있다면 여러 피어로부터 공유 파일에 대한 다운로드 요청을 받을 가능성이 높다. 이는 피어가 파일 공유 시스템에 활발하게 참여하고 있다는 것을 나타내기도 한다. 그러므로 피어가 파일 공유에 참여하는

동안 업로드하고 다운로드 한 파일의 전체 크기를 참조하여 기여도를 계산한다.

- **전송 메시지 수:** 피어는 파일의 탐색을 위해 질의 메시지를 전송하고, 다른 피어로부터 받은 질의에 대한 응답 메시지를 전송한다. 또 이웃 피어로부터 받은 질의와 응답 메시지를 다른 이웃 피어에게 전달하는 전달자가 되기도 한다. 따라서 피어가 파일 공유에 참여하는 동안 전송한 전체 질의와 응답 메시지의 수를 피어의 기여도를 계산하기 위해 참조한다.

- **평판:** 평판은 피어나 공유 파일의 신뢰도를 나타내기 위한 목적으로 공유 파일을 다운로드 한 피어들이 제공한 평가 값의 합이다. Icmfms는 피어가 다운로드 한 파일의 평가와 파일 제공 피어와 파일 요청 피어 사이에 수행된 트랜잭션의 확인을 목적으로 평판을 사용한다. 또 Icmfms는 평판 정보를 참조함으로써 피어의 인센티브 기법 사용 여부를 알 수 있다. 그러므로 피어가 파일 공유에 참여하는 동안 받은 평판 정보를 기여도 계산에 참조한다.

피어의 기여도 계산에 필요한 각각의 값은 피어가 가입한 신뢰 피어에서 관리하며, 피어의 행동에 따라 신뢰 피어가 업데이트 한다. 다음은 피어의 기여도 계산과 관련된 용어들을 나타낸다.

- P_i : 피어의 아이디 ($i=1, \dots, n$)
- $rep(P_i, P_j)$: 피어 P_j 에 의해 평가된 피어 P_i 의 평판 ($i, j=1, \dots, n$)
- $UP_Count(P_i, T)$: 참여 시간 T동안 피어 P_i 가 업로드한 파일 수 ($i=1, \dots, n$)
- $UP_Size(P_i, T)$: 참여시간 T 동안 피어 P_i 가 업로드 한 전체 파일 크기 ($i=1, \dots, n$)
- $DN_Size(P_i, T)$: 참여시간 T 동안 피어 P_i 가 다운로드 한 전체 파일 크기 ($i=1, \dots, n$)
- $s_Q(P_i, T)$: 참여시간 T 동안 피어 P_i 가 전송한 Query 메시지 수 ($i=1, \dots, n$)
- $s_QH(P_i, T)$: 참여시간 T 동안 피어 P_i 가 전송한 QueryHit 메시지 수 ($i=1, \dots, n$)
- $avg_Q(TP_i, T)$: 참여시간 T 동안 신뢰 피어 TP_i 에 가입된 모든 피어가 전송한 평균 Query 메시지 수 ($i=1, \dots, n$)
- $avg_QH(TP_i, T)$: 참여시간 T 동안 신뢰 피어 TP_i 에 가입된 모든 피어가 전송한 평균 QueryHit 메시지 수 ($i=1, \dots, n$)

파일 제공 피어는 파일 요청 피어의 기여도 계산과 인센티브 할당을 위해 파일 요청 피어로부터 받은 신뢰 피어 목록을 참조하여 기여도 계산에 필요한 정보를 요청한다. 파일 제공 피어는 신뢰 피어들로부터 받은 정보를 식 (1), 식 (2), 그리고 식 (3)에 적용하여 파일 요청 피어의 기여도를 계산한다. 파일 제공 피어는 계산 결과를 식 (4)와 식 (5)에 적용하여 기여도에 따라 대역폭과 TTL을 할당한다.

식 (1)은 피어의 평판을 참조하여 기여도를 계산한 식이다. 서비스 참여 시간 동안 피어가 업로드 한 파일 수(UP_Count(P_i,T))와 파일을 다운로드 한 피어로부터 받은 평가(rep(P_i,P_j))의 합을 이용하여 계산한다. 식 (1)의 계산 결과를 참조하여 일반 피어와 파일을 공유하지 않거나 다른 피어로부터 다운로드 요청 횟수가 적은 파일을 공유하는 피어의 서비스 이용을 차별화한다.

$$CV_N(P_i, T) = \frac{\sum_{n=1}^{UP_Count(P_i, T)} rep(P_i, P_j)}{UP_Count(P_i, T)} \quad (1)$$

식 (2)는 피어가 업로드 한 파일의 크기(UP_Size(P_i,T))와 다운로드 한 파일의 크기(DN_Size(P_i,T))를 참조하여 기여도를 계산한 식이다. 식 (2)의 계산 결과는 피어의 파일 업로드 비율을 나타내며 이 값을 참조하여 일반 피어와 파일의 업로드 보다 다운로드를 많이 한 피어의 서비스 이용을 차별화한다.

$$CV_C(P_i, T) = \frac{UP_Size(P_i, T)}{UP_Size(P_i, T) + DN_Size(P_i, T)} \quad (2)$$

식 (3)은 피어가 전송한 메시지 수를 이용하여 기여도를 계산한 식이다. 피어가 전송한 질의 메시지(s_Q(P_i,T))와 응답 메시지 수(s_QH(P_i,T)) 그리고 피어가 가입한 신뢰 피어에 가입되어 있는 모든 피어들이 전송한 평균 질의 메시지(avg_Q(TP_i,T))와 평균 응답 메시지 수(avg_QH(TP_i,T))를 이용하여 계산한다. 식 (3)의 계산 결과는 피어의 메시지 전송 비율을 나타내며 이 값을 참조하여 일반 피어와 질의와 응답 메시지를 전송하지 않는 피어의 서비스 이용을 차별화한다.

$$CV_D(P_i, T) = \frac{s_QH(P_i, T) / s_Q(P_i, T)}{avg_QH(TP_i, T) / avg_Q(TP_i, T)} \quad (3)$$

식 (4)는 식 (1)에 의해 계산된 기여도(CV_N(P_i,T))와 식 (2)에 의해 계산된 기여도(CV_C(P_i,T))

에 따라 대역폭을 인센티브로 할당하는 식이다. 피어는 자신의 기여도만큼 대역폭을 받기 때문에 일반 피어는 빠른 속도로 파일을 다운로드할 수 있다. 반면 무임승차자는 파일을 다운로드 하지 못하거나 낮은 대역폭에 의해 다운로드 시간이 지연될 수 있다.

$$BW(P_i) = BW(TP_i) \times \frac{CV_C(P_i, T)}{\sum_{i=1}^n CV_C(P_i, T)} \times CV_N(P_i, T) \quad (4)$$

식 (5)는 식 (1)에 의해 계산된 기여도와 식 (3)에 의해 계산된 기여도(CV_D(P_i,T))에 따라 질의 메시지의 전송 범위를 지정하는 TTL을 인센티브로 할당하는 식이다. 식 (5)의 계산 결과가 시스템에서 정한 임계값 이상인 경우 TTL을 4로 지정하고, 그렇지 않은 경우 2로 지정한다. 피어는 질의 메시지의 전송으로 필요한 파일을 탐색하고, 다른 피어로부터 받은 질의 메시지에 대한 응답을 참조하여 파일을 다운로드한다. 따라서 일반 피어는 TTL의 증가로 빠른 시간 내에 필요한 파일을 탐색할 수 있다. 반면 무임승차자는 TTL의 감소로 계속적으로 질의 메시지를 전송함으로써 파일의 탐색 시간이 지연될 수 있다.

$$TTL(P_i) = MAX_{TTL} \times \left(\frac{CV_D(P_i, T)}{avg_QH(TP_i, T)} \right) \quad (5)$$

if $TTL(P_i) \geq Threshold_{TTL}$, $TTL(P_i) = 4$ else
 $TTL(P_i) = 2, MAX_{TTL} = 7$

3.3 IcmFS의 동작

분산 환경에서 피어는 중앙 서버의 관리 없이 자율적으로 인센티브 기법을 이용하므로 인센티브 기법을 부당하게 사용할 수 있다. 따라서 IcmFS는 피어의 기여도 계산과 인센티브 할당 과정에서 신뢰 피어를 이용하여 피어가 인센티브 기법을 올바르게 사용하는지도 함께 고려하였다. 그림 2는 IcmFS에서 피어가 신뢰 피어를 이용하여 자신의 행동에 관한 정보를 저장하고 파일 제공 피어로부터 인센티브를 받는 과정을 나타낸다.

[STEP 1]에서 피어 P_A는 파일 요청과 관련된 메시지와 자신의 신뢰 피어 목록(TP₁(P_A),...,TP_k(P_A))을 피어 P_B로 전송한다. 피어 P_B는 피어 P_A에게 메시지 수신 여부와 자신의 신뢰 피어((TP₁(P_B),...,TP_k(P_B)) 목록을 전송한다(STEP 2). 피어 P_A와 피어

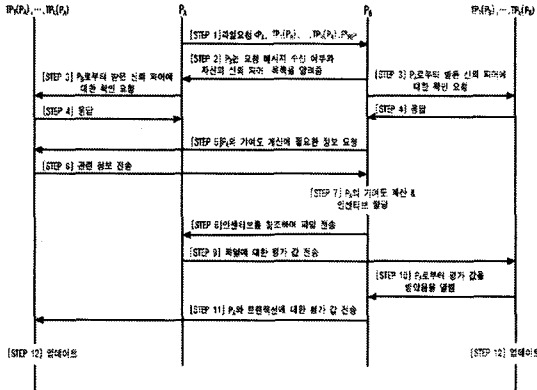


그림 2. IcMFS의 동작

P_B는 상대 피어의 신뢰 피어들이 올바르게 동작 중인 신뢰 피어들이지 확인하기 위해 자신의 신뢰 피어에게 확인 요청을 한다(STEP 3, 4). 피어 P_B는 피어 P_A의 기여도를 계산하기 위해 피어 P_A의 신뢰 피어에게 관련 정보를 요청한다(STEP 5, 6). 피어 P_B는 피어 P_A의 신뢰 피어들로부터 받은 정보를 참조하여 기여도를 계산하고, 인센티브를 할당하여 피어 P_A가 요청한 파일을 전송한다(STEP 7, 8).

피어 P_A는 파일을 다운로드 한 후 파일에 대한 평가를 피어 P_B의 신뢰 피어로 전송하고, 피어 P_B의 신뢰 피어는 피어 P_A로부터 평가 값을 받았음을 피어 P_B에게 알린다(STEP 9, 10). 피어 P_B는 피어 P_A와의 트랜잭션에 대한 평가를 피어 P_A의 신뢰 피어로 전송하고 트랜잭션을 종료한다(STEP 11). IcMFS는 (STEP 11)에서 트랜잭션에 대한 평가 값의 전송에 따라 인센티브 기법의 올바른 사용을 확인한다. 각 피어의 신뢰 피어들은 기여도 계산에 필요한 피어의 행동에 관한 정보를 업데이트 한다(STEP 12).

4. 실험 및 분석

본 논문에서는 IcMFS의 안정성과 효율성을 살펴보기 위하여 세 가지 실험을 수행하였다. 실험을 위한 오버레이 네트워크로 그누텔라[10] 환경을 사용하였으며, 피어의 참여 정도에 따라 일반 피어와 무임승차자로 구분하였다. 일반 피어는 파일 공유에 활발한 참여를 할 뿐만 아니라 다른 피어가 신뢰 피어의 역할을 요청할 때 응답하여 신뢰 피어로 동작하기도 한다. 무임승차자는 피어의 행동에 따라 다음과 같이 구분하였다: 파일을 전혀 공유하지 않거나 다른

피어로부터 다운로드 요청 횟수가 적은 파일만을 공유하는 'non-contributor', 자신이 공유하는 파일 수보다 더 많은 수의 파일을 다운로드 하는 'consumer', 다른 피어로부터 받은 질의나 응답 메시지를 전송하지 않고 무시하는 'dropper'.

[실험 I]에서는 인센티브 기법에서 신뢰 피어의 필요성을 살펴보기 위해 TFT(Tit-For-Tat) 기반[11]의 기법과 제안 기법을 비교하고 다수의 신뢰 피어가 존재함으로써 얻을 수 있는 이점을 살펴보기 위한 실험을 수행했다. 표 2는 [실험 I-1]과 [실험 I-2]를 위해 사용된 매개변수를 나타낸다.

[12]에서는 TFT 기반으로 인센티브를 할당하며, 이러한 기법에서는 상대 피어가 파일을 공유하는 만큼 자신의 파일을 공유한다. [실험 I-1]에서는 이러한 기법과의 비교를 위해 피어가 자신의 과거 트랜잭션 경험을 참조하여 상대 피어의 기여도를 계산하고, 인센티브를 할당하는 TFT 기반의 Self-incentive와 제안 기법에서 무임승차자의 파일 다운로드 비율을 살펴본다.

그림 3은 [실험 I-1]의 결과로 전체 트랜잭션에서 무임승차자의 파일 다운로드 비율을 보여준다.

Self-incentive에서 피어는 자신의 과거 트랜잭션 경험으로 얻어진 파일 요청 피어의 행동에 관한 정보를 식 (1), 식 (2), 그리고 식 (3)에 적용하여 기여도를 계산한다. 트랜잭션에 참여하고 있는 전체 피어의 수

표 2. [실험 I]의 매개변수

설 명	실험 I-1	실험 I-2
네트워크에 참여하는 전체 피어 수 (n)	100~5,000	5,000
피어가 유지하는 신뢰 피어 수	≥5	1, 5
초기 신뢰 피어 수	n/25	200
신뢰 피어별 가입 가능한 최대 피어 수	n/20	500
피어별 공유 파일 수	10	10
전체 공유 파일 수	n*2	10,000
일반 피어	70%	70%
무임승차자	non-contributor	10%
	consumer	10%
	dropper	10%
전체 트랜잭션 횟수	n*200	1,000,000
반복 실험 횟수	10	10

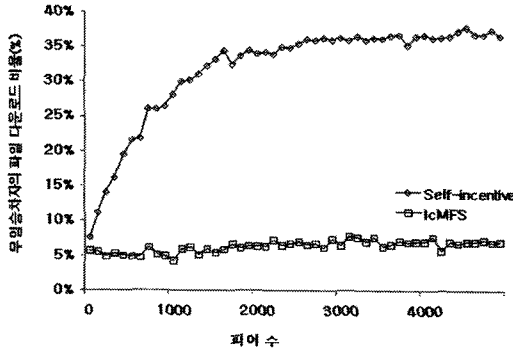


그림 3. 무임승차자의 파일 다운로드 비율 (실험 I-1)

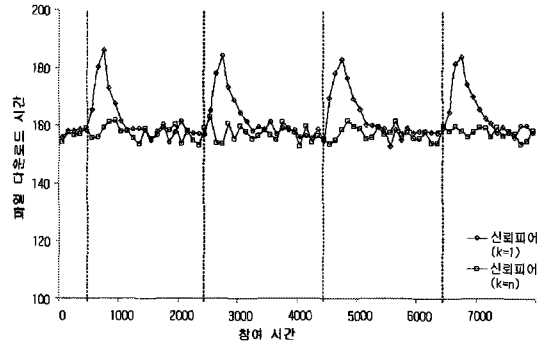


그림 4. 파일 다운로드 시간 (실험 I-2)

가 적으면 과거에 트랜잭션 경험이 있는 피어를 다시 만날 확률이 높다. 따라서 피어는 자신이 가진 정보만으로 파일 요청 피어의 기여도를 계산할 수 있고 무임승차 여부 또한 쉽게 알 수 있다. 파일 요청 피어가 무임승차자인 경우 식 (4)에 의해 낮은 대역폭과 식 (5)에 의해 낮은 TTL을 받기 때문에 파일의 다운로드 비율이 점차적으로 감소한다.

반면 전체 참여 피어 수가 증가하면 과거에 트랜잭션 경험이 있는 파일 요청 피어를 다시 만날 확률이 낮아진다. 그러므로 피어는 파일 요청 피어의 기여도 계산에 필요한 피어의 행동에 관한 정보가 거의 없다. 파일 요청 피어가 파일 공유에 활발한 참여를 한 일반 피어라 하더라도 피어의 행동에 관한 정보가 부족하므로 식 (1), 식 (2), 그리고 식 (3)에 의해 낮은 기여도를 가지고 인센티브를 받지 못한다. 따라서 무임승차자의 파일 다운로드 비율은 상대적으로 점점 증가하고 일반 피어는 활발한 참여에 대한 어떠한 이득도 얻을 수 없다. IcMFS에서 일반 피어는 다수의 신뢰 피어에 가입하고, 기여도 계산에 필요한 정보는 피어가 가입한 신뢰 피어에 분산되어 저장된다. 따라서 피어 간에 직접적인 트랜잭션 경험이 없더라도 해당 피어가 가입된 신뢰 피어를 통해 서로의 기여도를 계산할 수 있다. 그러므로 전체 참여 피어 수에 관계없이 무임승차자는 비슷한 다운로드 비율을 가진다.

[실험 I-2]에서는 IcMFS가 다수의 신뢰 피어를 이용함으로써 얻을 수 있는 이점을 살펴보았다. 그림 4는 [실험 I-2]의 결과를 보여준다.

X축은 피어의 트랜잭션 참여 시간을 나타내고, Y축은 피어가 가입한 신뢰 피어가 시스템에서 로그아웃한 피어들의 파일 다운로드 시간을 나타낸다. 참여

시간의 구분선은 신뢰 피어의 로그아웃 시점을 나타낸다. 피어가 하나의 신뢰 피어에 가입한 경우(k=1) 해당 신뢰 피어가 로그아웃하면 피어의 기여도 계산에 필요한 정보가 없어진다. 그러므로 피어는 활발한 참여를 하더라도 기여도가 없는 피어로 인식되어 식 (4)과 식 (5)에 의해 인센티브를 받지 못하기 때문에 파일의 다운로드 시간이 지연된다. 반면 피어가 다수의 신뢰 피어에 가입한 경우(k=n) 하나의 신뢰 피어가 로그아웃하더라도 나머지 신뢰 피어들에 의해 피어의 기여도 계산에 필요한 정보는 계속 유지된다. 따라서 피어는 기여도 계산에 필요한 정보의 일부가 없어지더라도 인센티브를 받을 수 있기 때문에 파일의 다운로드 시간이 거의 일정하게 유지된다.

[실험 II]에서는 IcMFS의 효율성을 분석하기 위하여 무임승차자의 파일 다운로드 비율(그림 5)과 일반 피어와 무임승차자의 파일 다운로드 시간(그림 6), 평균 탐색 시도 횟수에 따른 누적 확률(그림 7), 그리고 일반 피어의 업로드/다운로드 파일 크기(그림 8)를 살펴보았다. 그림 5에서 그림 8까지의 실험 결과에서 'Non-incentive'는 인센티브 기법을 사용하지 않는 일반적인 파일 공유 시스템을 나타낸다. 표 3은 [실험 II-1]부터 [실험 II-4]까지를 위해 사용된 매개변수를 나타낸다.

[실험 II-1]에서는 IcMFS와 Non-incentive에서 전체 피어 중 무임승차자의 파일 다운로드 비율을 살펴보았다. 그림 5는 [실험 II-1]의 결과를 보여준다.

X축은 전체 피어의 트랜잭션 참여 시간을 나타내고, Y축은 무임승차자의 파일 다운로드 비율을 나타낸다. 무임승차자는 자신에게 할당된 모든 자원(예를 들면, 대역폭)을 다운로드를 위해 사용하기 때문

표 3. [실험 II]의 매개변수

설 명		기본 값
네트워크에 참여하는 전체 피어 수 (n)		5,000
피어가 유지하는 신뢰 피어 수		≥5
초기 신뢰 피어 수		200
신뢰 피어별 가입 가능한 최대 피어 수		250
피어별 공유 파일 수		10
전체 공유 파일 수		10,000
일반 피어		70%
무임승차자	non-contributor	10%
	consumer	10%
	dropper	10%
전체 트랜잭션 횟수		1,000,000
반복 실험 횟수		10

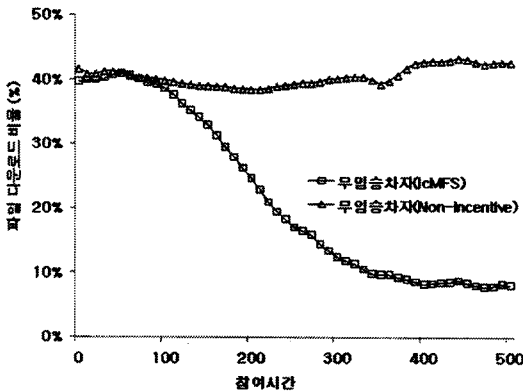


그림 5. 무임승차자의 파일 다운로드 비율 (실험 II-1)

에 Non-incentive의 경우 실험에서 지정한 무임승차자의 비율(30%)보다 더 높은 비율(약 40%)로 파일을 다운로드할 수 있다. 반면 IcMFS의 경우 무임승차자는 식 (4)에 의해 낮은 대역폭과 식 (5)에 의해 낮은 TTL을 받는다. 따라서 무임승차자는 탐색 시간의 지연과 느린 다운로드 속도 때문에 파일의 다운로드 비율이 점차적으로 감소한다.

[실험 II-2]에서는 IcMFS와 Non-incentive에서 일반 피어와 무임승차자의 파일 다운로드 시간을 살펴보았다. 그림 6은 [실험 II-2]의 결과를 보여준다.

[실험 II-1]의 결과와 마찬가지로 Non-incentive에서 무임승차자는 자신에게 할당된 모든 자원을 다운로드를 위해 사용하기 때문에 활발한 참여를 하는 일반 피어에 비해 빠른 시간 내에 파일을 다운로드할 수 있다. 그러나 일반 피어는 자신에게 할당된 자

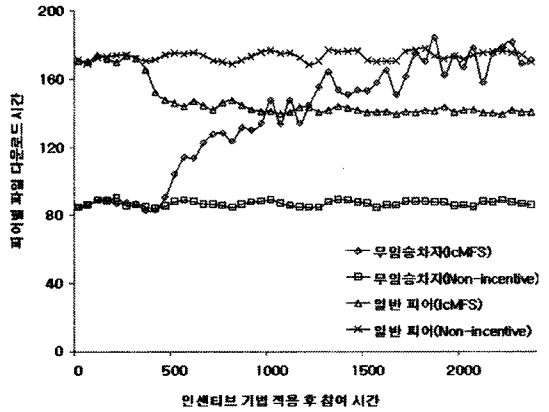


그림 6. 피어별 파일 다운로드 시간 (실험 II-2)

원을 업로드와 다운로드 모두를 위해 사용하기 때문에 무임승차자보다 파일의 다운로드 시간이 지연된다. IcMFS에서 무임승차자는 식 (4)와 식 (5)에 의해 낮은 대역폭과 낮은 TTL을 받기 때문에 파일의 다운로드 시간이 지연된다. 그러나 일반 피어는 파일 업로드를 활발하게 수행함으로써 식 (2)에 의해 높은 기여도를 가지고, 식 (4)에 의해 높은 대역폭을 받는다. 따라서 일반 피어는 빠른 시간 내에 파일을 다운로드 할 수 있다.

[실험 II-3]에서는 IcMFS와 Non-incentive에서 일반 피어와 무임승차자의 파일 탐색 시도 횟수에 따른 누적 확률을 살펴보았다. 그림 7은 [실험 II-3]의 결과를 보여준다. X축은 피어별 평균 탐색 시도 횟수를 나타내고, Y축은 누적 확률을 나타낸다.

Non-incentive에서 무임승차자와 일반 피어는 기본 값으로 할당된 TTL을 이용하여 파일을 탐색하기

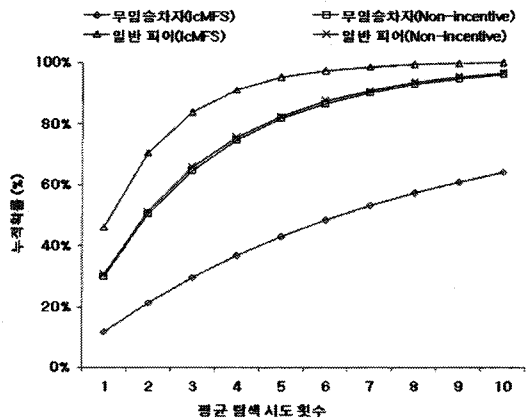


그림 7. 평균 탐색 시도 횟수에 따른 누적 확률 (실험 II-3)

때문에 동일한 누적 확률을 가진다. 반면 IcMFS에서 무임승차자는 식 (5)에 의해 낮은 TTL을 가지기 때문에 탐색 시도 횟수가 증가하더라도 원하는 파일을 찾을 확률이 낮아진다. 일반 피어는 식 (5)에 의해 높은 TTL 값을 가지므로 약 5번의 탐색 시도로 원하는 파일을 거의 모두 찾을 수 있다.

[실험 II-4]에서는 IcMFS와 Non-incentive에서 일반 피어가 업로드하고 다운로드 한 평균 파일 수를 살펴보았다. 그림 8은 [실험 II-4]의 결과를 보여준다. Non-incentive의 경우 초기에는 업로드와 다운로드하는 파일의 수가 증가하지만, 일정 시간이 지난 후에는 P2P 네트워크가 안정화되므로 업로드와 다운로드 파일 수가 고정된다.

무임승차자는 파일의 다운로드에만 참여하기 때문에 대부분 파일의 업로드는 일반 피어가 수행한다. 일반 피어는 활발한 참여를 하더라도 자신에게 할당된 대역폭을 주로 파일의 업로드를 위해 사용하기 때문에 상대적으로 다운로드할 수 있는 파일의 수가 적어지고 P2P 네트워크에서 손해를 보게 된다. IcMFS의 경우 초기에는 Non-incentive와 동일하게 일반 피어가 업로드 하는 파일 수가 더 많다. 그러나 시간이 지남에 따라 인센티브 기법에 의해 일반 피어가 무임승차자보다 우선권을 가지게 되므로 무임승차자의 다운로드 파일 수는 감소하고 일반 피어의 다운로드 파일 수는 증가한다. 또 인센티브 기법에 의해 무임승차자의 파일 다운로드 요청이 무시되므로 일반 피어의 업로드 파일 수가 감소한다. 따라서 일반 피어의 업로드 파일 수와 다운로드 파일 수가 비슷하게 되어 일반 피어의 손해가 감소한다.

IcMFS는 분산 환경을 기반으로 신뢰 피어가 피어

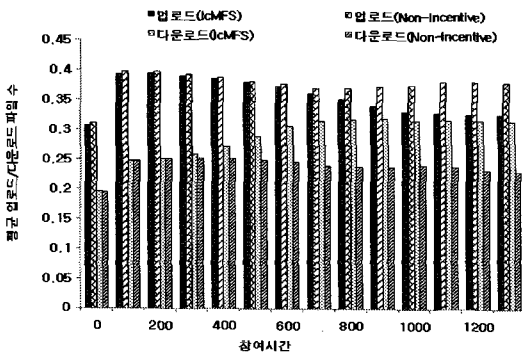


그림 8. 일반 피어의 평균 업로드/다운로드 파일 수 (실험 II-4)

표 4. [실험 III]의 매개 변수

설 명		실험 III-1	실험 III-2
네트워크에 참여하는 전체 피어 수 (n)		5,000	5,000
피어가 유지하는 신뢰 피어 수		≥5	≥5
초기 신뢰 피어 수		200	200
신뢰 피어별 가입 가능한 최대 피어 수		250	250
피어별 공유 파일 수		10	10
전체 공유 파일 수		10,000	10,000
피어 비율	일반 피어(I)	50%	50%
	일반 피어(II)	25%	0%
	일반 피어(III)	0%	25%
	무임승차자	25%	25%
전체 트랜잭션 횟수		1,000,000	1,000,000
반복 실험 횟수		10	10

의 기여도 계산에 필요한 정보를 관리하고, 파일 제공 피어가 상대 피어의 기여도를 계산하고 인센티브를 할당한다. 이 경우 피어의 행동을 모니터링하고 관리하는 권한을 가진 기관이 없기 때문에 피어가 IcMFS를 사용하지 않거나 IcMFS를 부당하게 사용하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 [실험 III]에서는 IcMFS의 안정성을 검증하기 위하여 피어의 행동에 따라 피어의 종류를 구분하고 각 피어가 얻을 수 있는 불이익을 살펴보았다. 표 4는 [실험 III-1]과 [실험 III-2]를 위해 사용된 매개 변수를 나타낸다.

피어의 종류는 피어가 파일 공유에 참여하는가와 IcMFS를 사용하는가에 따라 일반 피어(I, II, III)와 무임승차자로 구분하였다. 일반 피어(I)는 파일 공유에 활발하게 참여할 뿐만 아니라 IcMFS를 사용하는 피어이다. 일반피어(II)는 파일 공유는 활발하게 하지만 IcMFS를 전혀 사용하지 않는 피어이고, 일반피어(III)는 파일 공유는 활발하게 하지만 IcMFS를 부당하게 사용하는 피어이다. 무임승차자는 IcMFS는 사용하지 않지만 파일 공유에는 참여하지 않는 피어이다. [실험 III-1]에서는 일반 피어(I), 무임승차자, 그리고 일반 피어(II)의 파일 다운로드 시간을 살펴보았다.

그림 9는 [실험 III-1]의 결과를 보여준다. 일반 피어(II)는 IcMFS의 사용 없이 파일 공유만 수행하기 때문에 기여도가 전혀 없는 피어로 인식된다. 따라서 식 (4)에 의해 낮은 대역폭을 받으므로 파일의 다운

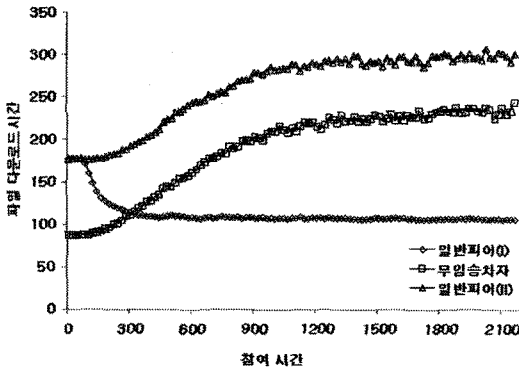


그림 9. 피어별 파일 다운로드 시간 (실험 III-1)

로드 시간이 지연된다. 무임승차자는 파일 공유에 대한 기여도가 없기 때문에 일반 피어(I)에 비해 파일의 다운로드 시간이 지연된다. 그러나 무임승차자는 자신에게 할당된 대역폭의 대부분을 다운로드를 위해 사용하기 때문에 일반 피어(II)보다는 빠른 속도로 파일을 다운로드 할 수 있다.

[실험 III-2]에서는 일반 피어(I), 무임승차자, 그리고 일반 피어(III)의 파일 다운로드 시간을 살펴보았다. 그림 10은 [실험 III-2]의 결과를 보여준다.

IcMFS에서 피어는 파일의 다운로드를 요청할 때 자신이 가입한 신뢰 피어의 정보를 파일 제공 피어에게 알려준다. 파일 제공 피어는 신뢰 피어를 통해 기여도 계산에 필요한 정보를 얻고 기여도를 계산한다. 그러나 일반 피어(III)는 자신의 기여도가 낮아질 수 있는 정보를 숨기기 위하여 파일 제공 피어에게 자신이 가입한 전체 신뢰 피어 중 $k/2$ 개의 신뢰 피어 정보만 알려준다. 나머지 신뢰 피어에 관한 정보($1-k/2$)는 파일을 업로드 할 때 파일 요청 피어에게 알려준다.

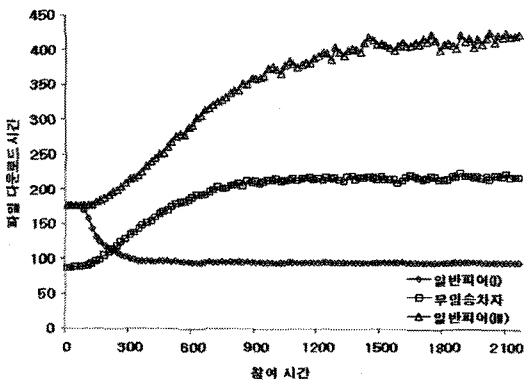


그림 10. 피어별 파일 다운로드 시간 (실험 III-2)

다. 따라서 일반 피어(III)의 기여도 계산에 필요한 정보의 부족으로 식 (4)와 식 (5)에 의해 낮은 대역폭과 낮은 TTL을 받기 때문에 일반 피어(III)의 파일 다운로드 시간이 지연된다.

5. 결 론

본 논문에서는 신뢰 피어를 사용하여 인센티브 기법의 올바른 사용을 확인하고 피어의 기여도에 따라 차별화된 서비스를 제공함으로써 파일 공유 서비스의 질을 향상시키고, 무임승차자의 영향을 감소시키는 인센티브 기법을 제안하였다. 제안 기법은 피어의 기여도를 계산하고 그에 따라 대역폭과 TTL을 인센티브로 할당하는 유틸리티 함수를 제공하였다. 실험을 통해 제안 기법은 시스템에 참여하는 전체 피어수에 관계없이 신뢰 피어의 사용으로 Self-incentive 기법보다 무임승차자의 파일 다운로드 비율이 낮은 것을 확인하였다. 또 제안 기법과 인센티브 기법을 사용하지 않는 일반적인 파일 공유 시스템을 비교·평가하기 위하여 무임승차자의 파일 다운로드 비율, 피어별 파일 다운로드 시간, 일반 피어의 평균 업로드/다운로드 파일 수, 그리고 파일 탐색 시간을 측정하였다.

제안 기법은 인센티브 기법을 사용하지 않은 경우보다 일반 피어에 이점을 제공하고 무임승차자의 영향은 감소시키는 것으로 나타났다. 그리고 제안 기법에서 피어가 인센티브 기법을 사용하지 않거나 부당하게 사용하는 경우 파일 다운로드 시간이 지연이 되는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 인센티브 기법은 P2P 네트워크의 분산적 환경을 유지하면서 서비스 차별화를 제공하므로 파일 공유 서비스의 질을 향상시킨다.

참 고 문 헌

[1] J. Yu, M. Li, and J. Wu, "Modeling Analysis and Improvement for Free-Riding on BitTorrent-like File Sharing Systems," *2007 International Conference on Parallel Processing Workshops*, pp. 53-59, 2007.

[2] M. Karakaya, I. Korpeoglu, and O. Ulusoy, "Counteracting free riding in Peer-to-Peer

networks," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol.52, No.3, pp. 675-694, 2008.

[3] L. Ramaswamy and L. Liu, "Free Riding: A New Challenge to Peer-to-Peer File Sharing Systems," *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Science*, pp. 220-229, 2003.

[4] G. Hardin, "The Tragedy of the Commons," *Science* 162, pp. 1243-1248, 1968.

[5] V. Vishumurthy, S. Chandrakumar, and E. G. Sirer, "KARMA: A Secure Economic Framework for Peer-to-Peer Resource Sharing," *Proceeding of the Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems*, 2003.

[6] P. Golle, K. Leyton-Brown, and I. Mironov, "Incentive for Sharing in peer-to-peer networks," *Proceedings of the 2nd International Workshop on Electronic Commerce*, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 2232, pp. 75-87, 2001.

[7] M. Yang, Z. Zhang, X. Li, and Y. Dai, "An Empirical Study of Free-Riding Behavior in the Maze P2P File-Sharing System," *Proceeding of the 4th International Workshop on Peer-To-Peer Systems*, Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science 3640, pp. 182-192, 2005.

[8] S. Marti and H. Garcia-Molina, "Limited reputation sharing in P2P systems," *Proceedings of the 5th ACM conference on Electronic Commerce*, pp. 91-101, 2004.

[9] M. Gupta, P. Judge, and M. Ammar, "A reputation system for peer-to-peer networks," *Proceedings of the 13th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video*, pp. 144-152, 2003.

[10] Gnutella, <http://www.gnutella.com>

[11] BitTorrent, <http://www.bittorrent.com>

[12] L. Minglu, Y. Jiadi, and W. Jie, "Free-Riding on BitTorrent-Like Peer-to-Peer File Sharing Systems: Modeling Analysis and Improvement," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.19, No.7, pp. 954-966, 2008.



신 정 화

1997년 2월 한국방송통신대학교
컴퓨터학과 졸업
2000년 8월 부경대학교 전산정보
학과 석사
2006년 8월 부경대학교 전자계산
학과 박사

2007년 9월 ~ 현재 부산대학교 U-Port정보기술산학공
동사업단 전임연구원
관심분야 : 암호이론, P2P Security, Reputation
Management System, Incentive
Mechanism



김 태 훈

2006년 2월 부산대학교 정보컴퓨
터공학부 졸업
2008년 2월 부산대학교 컴퓨터공
학과 석사
2008년 3월 ~ 현재 부산대학교 컴
퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 위치인식, P2P, 토폴로지 제어



탁 성 우

1995년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 졸업
1997년 2월 부산대학교 컴퓨터
공학과 석사
2003년 2월 미국미주리주립대
학교 ComputerScience
박사

2004년 ~ 현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 부교수
2004년 ~ 현재 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소
겸임 연구원
관심분야 : 유무선 네트워크, Soc 설계, 실시간 시스템,
위치인식, 최적화 기법, 그래프 이론, 큐잉이
론