

논문 2012-50-6-4

# 모바일 P2P 스트리밍 서비스를 위한 포인트 기반 자원 배분 기법과 그 특성

( A Point-based Resource Distribution Scheme and Its Characteristics  
for Mobile P2P Streaming Service )

김 양 중\*, 정 일 영\*\*, 한 치 문\*\*\*

( Yangjung Kim<sup>Ⓒ</sup>, Ilyoung Chong and Chimoon Han )

## 요 약

오늘날 P2P는 초기의 단순한 파일 공유에 사용되었던 제한성을 벗어나, 현재는 새로운 서비스를 제공하기 위해 네트워크 인프라를 추가적으로 구축하는 비용과 서버의 부담을 분산시키고 다른 연계 기술들과의 효율성을 극대화하는데 필수적인 기술이 되었다. 특히나 P2P를 이용한 미디어 스트리밍 서비스는 이용자에게 매우 매력적인 서비스로, 고사양의 모바일 단말과 모바일 네트워크 기술의 발달에 힘입어 점차 모바일 환경에서 유선망의 서비스 품질을 요구하고 있다. 하지만 P2P가 갖고 있는 고질적인 'Peer Selfishness'와 QoE사이의 접점을 찾기 위해서는 여전히 '공정성'을 고려해야 될 것이며 P2P 시스템은 반드시 이를 고려한 인센티브 메커니즘을 통해 자원 이용률을 최대화하고 이용자의 지속적인 기여를 통해 시스템의 전체적인 성능을 향상시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 공정성을 고려한 피어 선택 메커니즘으로써 포인트 기반의 자원 할당 메커니즘을 제안하며 추가적으로 모바일 단말의 가용 에너지를 고려한 피어 선택 메커니즘을 설명한다. 이를 통해, 모바일 P2P 스트리밍 시스템에 제안하는 기법들이 적용됨으로써, 인센티브를 가진 경쟁 노드들이 자원할당을 위해 경쟁 시에 소스노드의 자원을 기여도와 에너지에 따른 자원분배를 이룸으로 시스템의 성능이 향상됨을 보인다.

## Abstract

In the early stage of P2P, the technology was limited to narrow usage of file sharing, but currently, P2P technology has become essential to maximize the efficiency between associated technologies without additional deployment of high costly infrastructure and also the burden of the server. Especially, P2P media streaming service is a highly attractive service to mobile users, which requires a higher quality in the mobile environment in accordance with the development of technology of wired network as well as better mobile terminals. However, P2P technology should consider the trade-off between 'peer selfishness' and QoE for providing fairness. The P2P system also try to maximize the resource utilization through an incentive mechanism for service differentiation and encourage peers to contribute continuously for improving the overall system performance. In this paper, we propose an point-based incentive mechanism based on peer's contribution level and energy availability for service differentiation. We also introduce that the proposed mechanism efficiently enhances the system performance as the peer with incentive using contribution and energy obtains more effective resource distribution.

**Keywords :** P2P(Peer-to-Peer), Media Streaming, Incentive, Battery, Resource Allocation

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 한국외국어대학교 정보통신공학과,  
(Hankuk University of Foreign Studies)

\*\*\* 평생회원, 한국외국어대학교 전자공학과  
(Hankuk University of Foreign Studies)

※ "This work was supported by the EU ITEA-2 project 10028 "Web-of-Objects"(WoO) funded by MKE and supervised by KIAT".

Ⓒ Corresponding Author(E-mail: zeroplus@hufs.ac.kr)

접수일자 2013년3월19일, 수정완료일 2013년5월22일

## I. 서 론

모바일 단말 및 망 기술의 현저한 발달로 인하여, 이용자들은 고속의 이동 환경에서도 원하는 서비스 품질을 얻을 수 있게 되었다. 특히, 모바일 P2P 서비스는 기존의 P2P 기술이 갖고 있는 장점을 이용하여 이용자의 욕구를 충족시키고 있다. 전통적인 스트리밍 기술인 브로드캐스트와 멀티캐스트와 달리, P2P 스트리밍 서비스는 추가적인 고가의 서비스 인프라를 구축하지 않고서도 서버의 부담을 줄이고 효율은 극대화하는 효율적인 서비스 기술로 이용되고 있는 상황이다. 하지만 P2P에서 이용자는 자신의 자원은 쉽게 공유하지 않은 채, 원하는 데이터를 받으려고만 하는 이기적인 성향으로 인해 피어들 사이의 정체가 발생되어 급기야 이런 병목들로 인한 전체 시스템 성능 저하를 야기하고 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 '인센티브'를 부여함으로써 피어들의 자원 및 콘텐츠를 공유하도록 유도하는 것이다. 기존의 연구에서는 평판(reputation), 점수(score), 기여도(contribution)등에 따라 먼저 콘텐츠를 받게 한다거나, 많은 자원공유를 한 부모노드, 즉 소스노드를 선택할 수 있는 기회를 부여하거나 또는 소스노드에 할당될 자원을 입찰한 만큼 보장해 주는 서비스 차등(service differentiation)을 제공하는 방안들이 제시되었다. 하지만 이러한 기법들을 제공시에 제공된 서비스 품질의 만족과 얼마나 모든 피어들에게 자원분배에 있어 공정성을 기했는지에 더 많은 논의를 이끌 수밖에 없는 상황이다. 만일 시스템에 대한 기여가 없었던 피어 즉, 경쟁노드가 미디어 스트리밍 서비스를 제공받기 위해서 처음 참여할 시, 기여도가 부족한 그 경쟁노드는 인센티브를 받지 못하고 계속적으로 열악한 서비스 품질을 벗어나지 못하는 경우가 발생될 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 모바일 P2P 스트리밍 서비스를 위한 인센티브 메커니즘을 제공함으로써 소스노드의 자원을 최대 이용하도록 최적화 자원할당 기법을 제안하며 아울러서 모바일 단말의 제한적인 배터리와 같은 자원을 함께 고려함으로써 시스템 내의 제어 메시지의 범람을 줄이고 안정적인 데이터 송수신을 통해 미디어 품질을 더욱 향상시키는 기법을 제안한다. 제안하는 인센티브 메커니즘은 또한, 시스템에 기여에 따라 모든 피어들에게 자원 분배에 있어 공정성을 제공하고자 포인트를 이용한 입찰을 통한 경매방식을 도입하였고 이 제안된 메커

니즘들이 모바일 P2P 미디어 스트리밍 서비스에 효과적이고 서비스 품질 만족을 높이기 위해 시스템의 자원 이용률이 최적화됨을 보인다.

## II. 관련 연구

점차적으로 모바일 이용자는 미디어 스트리밍 서비스에 더욱 관심을 기울이고 있다. 이런 요구를 최대한으로 수용하고자 모바일 단말 및 네트워크 기술 또한 이에 걸맞게 현저한 발전을 거듭해 왔다. 더욱이 미디어 스트리밍 서비스를 선호하면서 서비스 제공자들과 이용자들은 추가적인 인프라 제공 및 비용에 따른 부담을 갖고 있는 것이 현실이다. 이러한 시점에서 P2P 기술은 모두를 만족시킬 수 있는 대안으로 고려되었다. 하지만 P2P 이용자들의 빈번한 churning(즉, joining과 leaving)으로 인한 품질 감소로 인해, 전체 성능을 향상시키고 이용자의 서비스 만족을 높이기 위해서 반드시 해결되어야 할 만큼 심각성이 대두되었다. 시스템 내의 피어들이 서로 협력을 도모함으로써 시스템에 대한 기여를 높임으로 전체 성능을 향상시킬 수 있도록 유도할 방안이 요구되는 것이다. 이를 해결하고자 인센티브 기반의 피어 선택 메커니즘이 평판, 점수, 기여도를 통한 이용자들로부터 정성적인 기여를 이끌어 냄으로써 피어 그룹 내의 병목구간을 해소시키고 또한 서비스 품질을 이룰 수 있는 방안들이 제안되었다.

Ma et al. [1] 는 파일 공유를 위한 인센티브 메커니즘을 제시하였다. 상향(uplink) 대역폭을 시스템에 기여함에 따라 인센티브를 제공받는다. 이를 위한 효용함수와 자원 최적화를 위한 메커니즘을 '인센티브'의 유무에 따라 얼마나 많은 자원을 정채시 분배받는지 실험결과를 통해 제시하였다. 소스노드의 공유된 자원을 최대 효율로 분배하기 위해서 PWF(progressive water filling) 알고리즘을 적용하였으며 기여가 많은 경쟁노드는 입찰된 대역폭을 할당받을 수 있었으며 이에 반하여, 기여가 낮은 경쟁노드는 원하는 자원을 배분받지 못해 서비스 품질을 유지하지 못함을 보였다. 이 메커니즘은 유선망에서의 단순한 파일 공유를 위한 것으로 모바일 환경에 따른 배터리와 같은 에너지를 고려하지 않고 있어 추가적인 연구가 요구된다.

Javis et al. [2] 는 또한 서비스 차등을 위해서 지불(payment)기반의 인센티브 메커니즘을 제공하였다. 과

일 공유가 아닌 스트리밍 브로드캐스트에 적합한 방안으로, 데이터 스트리밍을 일정한 구간으로 나누고 이때 좋은 부모노드를 선택하기 위해서 경매를 통한 경쟁을 한다. 화폐 개념을 도입해, 데이터를 전달하게 되면 이에 따른 인센티브를 부여받고 지속적인 입찰이 이뤄진다. 제안된 메커니즘은 스트리밍을 위해 경매로 인해서 품질을 유지할 수 있는 방안으로 세션에 참가하지 않아도 자원을 공유함으로써 이에 따른 포인트를 추가적으로 획득한다. 하지만 과잉 경매로 인해서 이를 처리하는 추가적인 오버헤드가 발생될 수 있으며 마찬가지로 모바일 환경에서의 에너지 성능을 고려하지 않고 있다.

Habib et al.<sup>[3]</sup>은 P2P 미디어 스트리밍 시스템에 있어서 인센티브를 줄 수 있는 다양한 요인들을 부여하는 메커니즘을 통해 차등 서비스를 제공하는 기법을 제안하였다. 간단한 실험을 통해, 피어들이 좋은 부모노드를 선택함으로써 서비스 품질의 만족도가 무작위 피어 선택을 통한 피어들보다 높음을 확인하였다. 피어들은 협력을 통해 어느 정도의 점수를 가져야 하고, 이를 순위(rank)로 환산한다. 순위가 높은 피어는 피어선택에 있어서 우선적인 기회가 부여됨으로 원하는 품질을 유지하도록 한다.

이러한 인센티브 메커니즘은 전체 P2P 시스템 성능을 향상시키고 이용자의 기여를 계속적으로 이끌어 내면서 이에 따른, 서비스를 차등적으로 이용될 수 있도록 하기위한 다양한 메커니즘을 제공한다. 하지만 모바일 P2P 스트리밍 서비스는 단말의 배터리와 같은 에너지가 한정적임으로 이 또한 피어 선택 시에 고려해 시스템의 자원계위와 병행하여 안정적인 스트리밍을 제공할 필요가 있다. 마찬가지로 빈번한 churning은 불필요한 제어 메시지의 범람으로 인해 심지어 미디어 성능에 까지 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 모바일 P2P 스트리밍 시스템은 에너지 관점 또한 고려해야 될 요소로 시스템 이용률을 높이고 성능 또한 높이기 위해서 고려해야 될 것이다. 본 논문에서는 에너지를 추가적으로 고려한 차등서비스를 제공하는 인센티브 메커니즘을 설명한다. 시스템 특성마다 에너지 비중에 대한 관심도가 다르기 때문에, 이런 요구사항에 따른 몇 가지 자원분배 메커니즘을 제공함으로써 시스템 환경에 따라 효율성을 극대화시킬 수 있는 기법을 채택함으로써 서비스 품질과 공정성사이의 접점을 찾고자 한다.

### III. 시스템 구조 및 모델

피어들의 기여와 에너지를 고려한 인센티브 메커니즘은 P2P 미디어 스트리밍 시스템의 미디어 성능을 더욱 향상시키고, 이에 따른 서비스 차등을 이루어 지속적인 시스템을 위한 기여를 이끌어 낼 수 있도록 하는데 목적이 있다. 이에 더하여, 그 시스템은 공정성을 필히 고려해야 되며 기여가 없는 초기의 피어들조차도 일정 수준의 만족을 느끼도록 보상할 필요가 있다.

#### 1. 시스템 구조

본 논문에서는, 모바일 P2P 스트리밍 서비스를 위한 기본 구조로써 메쉬 기반의 P2P 토폴로지를 고려한다. 따라서 원하는 소스노드에 요구된 자원을 할당받기 위한 입찰(bid) 절차를 거침으로 시스템에 기여도에 따른 인센티브를 받을 수 있도록 한다. 이를 위해 추가적으로 고려된 사항으로 기여도는 '포인트(Point)'로 환원을 받는다는 것이다. 이 포인트는 다시 실제 입찰에 있어서 전략적으로 일정만큼 만을 경매함으로써 기여가 부족한 초기의 조인된 피어들, 모두가 입찰에 참여할 수 있게 함으로 공정성을 제공한다. 포인트 방식의 인센티브 메커니즘은 간접적인 상호작용을 통해 피어들이 서로 협력하도록 이끌어 줌으로 특히나 P2P 미디어 스트리밍 시스템에 가장 적합한 방식이다.<sup>[3][4]</sup>

그림 1에서 보듯이, 소스노드( $N_s$ )가 공유한 자원( $W_s$ )은 경쟁노드들( $N_i$ )로부터 입찰( $r_i$ )을 통해 분배된다. 입찰메시지는 할당받기 원하는 대역폭 값( $b_i$ ), 포인

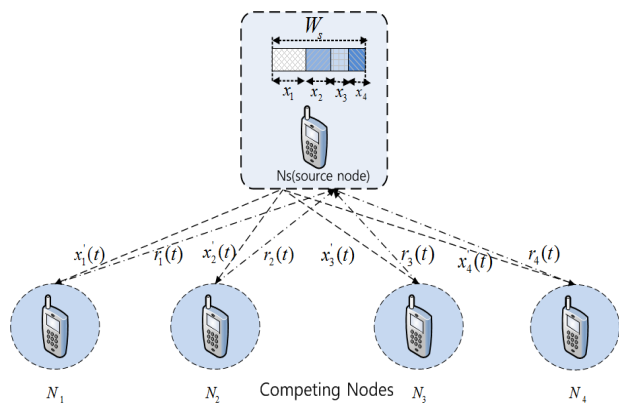


그림 1. 제안하는 인센티브 메커니즘을 위한 시스템 구조  
Fig. 1. System architecture for the proposed incentive mechanism.

트 값( $pt_i$ ) 그리고 가용 에너지 량( $e_i$ )를 포함한 즉,  $r_i = (b_i, pt_i, e_i)$ 를 매 입찰시 소스노드에게 전달한다. 소스노드는 피어선택 과정에서 포인트와 에너지를 고려한 인센티브를 바탕으로 입찰된 대역폭( $W_i = \sum_{i=1}^N x_i$ )을 최대한 분배한다. 실제 소스노드에 할당된 대역폭  $x_i$ 는 네트워크 정체시, 실제적으로  $x'_i (x_i > x'_i)$ 만큼을 최종 대역폭으로 분배받게 될 것이다. 이런 소스노드의 자원은 바로 인센티브에 따라 할당된 대역폭 만큼만을 제공할 수 있게 됨으로 모든 피어들은 지속적인 협력과 기여를 통해 서비스 품질을 유지할 수 있도록 해야만 할 것이다.

가. 포인트 기반 입찰 방식

본 논문에서 제안하는 인센티브 메커니즘은 포인트 기반의 입찰방식을 따른다. 앞서 언급했듯이, 포인트 기반의 인센티브 방식은 특히나 P2P 미디어 스트리밍 서비스를 위해서 피어들의 간접적인 상호작용을 통해 협력하고 기여도를 높이도록 유도하게 함으로 보다 좋은 미디어 품질을 갖도록 하는 탄력성을 제공한다<sup>[3][4]</sup>. 스트리밍 서비스 초기에 기여도가 열악한 피어들은 원하는 품질을 제공받기까지 일정 시간이 소요될 것이며, 만일 시스템에 기여를 하지 않는다면 지속적인 포인트 기아(point starvation)에서 벗어나기가 쉽지 않을 것이다. 따라서 제안하는 인센티브 메커니즘은 기여도 레벨과 가용 에너지 성능을 갖고 보다 공정한 자원할당을 이루도록 하여 소스노드의 공유된 대역폭을 최대 이용률을 이루도록 하는 것을 관건으로 한다.

먼저, 제안하는 시스템은 그림 2와 같이, 일정한 구간 즉, 라운드로 구성되며 이는 또한 미디어 데이터를 주고받는 데이터슬롯과 짧은 입찰슬롯으로 구성된다.  $r_1$ 에서  $r_4$ 까지는 각 경쟁노드들의 입찰대역폭을 충분

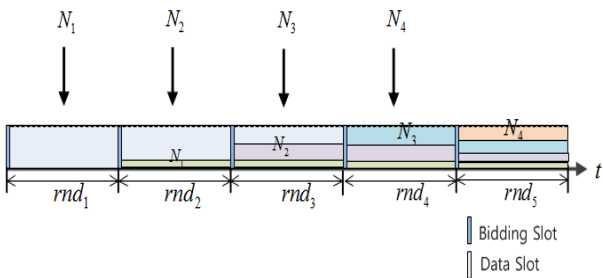


그림 2. 각 라운드 별 경쟁노드 입찰  
Fig. 2. Competing nodes' bid per each round.

히 할당해줄 수 있는 상황임으로 이 라운드까지 세 개의 노드( $N_1, N_2, N_3$ )는 요구한 대역폭을 얻을 수 있다. 하지만 정체 라운드인  $r_5$ 에서는 각 경쟁노드는 소스노드의 기여와 가용 에너지 량을 이용한 인센티브 메커니즘을 통해 할당된 자원만큼의 데이터 속도만 보장받게 된다.

입찰 메시지,  $r_i = (b_i, pt_i, e_i)$ 는 요구하는 대역폭, 포인트 값과 가용 에너지 량에 관련된 정보를 포함해 소스노드에 전달된다. 포인트는 분산서버로부터 시스템에 제공된 기여에 따라 환원 받으며 포인트는 한정적인 값으로 시스템 내의 과잉 경매를 방지하고자 아래와 같은 제한을 갖는다. 만일 입찰 대역폭 값이 기여보다 크고 임계 값( $p^m$ )보다 크다면  $Pt_i$ 는  $p^m$ 에 의한 제한된 값을 환원받게 되며 그렇지 않다면, 기여만큼의 포인트를 환원받는다.

$$Pt_i = \begin{cases} c_i^s b_i^s / p^m & \text{if } b_i > c_i, b_i > m \\ c_i^s & \text{if } b_i \leq c_i, b_i \leq m \end{cases}$$

2. 제안하는 인센티브 기반 자원할당 메커니즘

모바일 P2P 스트리밍 시스템을 위해 제안된 인센티브 메커니즘은 포인트를 이용한 자율 경매방식으로 소스노드에 입찰하며 소스노드의 이용 가능한 공유 자원을 최대 이용률을 이루도록 하여 자원낭비를 최소화 함으로 시스템 전체의 이용률과 품질을 높이는 데 목적이 있다. 따라서 효율성을 극대화 하는 자원 할당을 위한 입찰 기법이 요구되며 모바일 P2P임을 고려할 때, 메커니즘은 단순하고 빠른 메커니즘을 필요로 한다. 기존의 인센티브 메커니즘은 모바일 단말의 에너지 량을 고려하지 않아 빈번한 피어 선택을 거침으로 인해 추가적인 제어 메시지의 범람과 안정적인 스트리밍 서비스를 제공하는데 문제점을 갖고 있다. 시스템에서 얼마나 가용 에너지를 자원 할당의 중요도로 보는 시각에 따라서 시스템의 전체효율은 달라질 것이며, 서비스 초기에 기여가 부족한 경쟁노드 또한 포인트를 이용한 경매를 통해 입찰 할 수 있도록 함으로 공정성 또한 고려된다. 전체적인 입찰을 위한 기능별 절차는 그림 3과 같으며, 본 논문에서는 다음과 같은 세 가지의 자원입찰 메커니즘을 제안하며 특성을 비교한다.

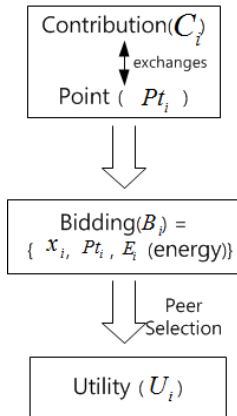


그림 3. 인센티브 메커니즘을 위한 입찰 절차도  
Fig. 3. Overall bidding procedures for the proposed incentive mechanism.

가. RBM-EPIU (Resource Bidding Mechanism with Energy Proportioned Incentive Utility)

RBM-EPIU는 가용 에너지량을 고려한 인센티브와 기존 경쟁노드의 기여도 레벨에 따른 인센티브를 별도의 비율로 나눠서 보상해 주도록 한다. 결국 이 메커니즘은 시스템 내에 일정 에너지를 가진 경쟁노드들에게 에너지로부터의 인센티브를 추가로 보상해줌으로, 초기에 조인된 기여가 부족하지만 일정 수준의 에너지를 보유한 경쟁노드가 미디어 품질을 보장받게 한다. 소스노드의 가용대역폭  $W_s$ 는 에너지의 양에 따른 선형적 대역폭 분배를 위해  $\alpha W_s (\alpha \in [0, 1])$ 를 분배하고, 나머지  $(1 - \alpha) W_s (\alpha \in [0, 1])$ 는 포인트 입찰을 위한 분배량으로 구성된다.  $\alpha$  값은 그 시스템에서 결정하며 이 값을 통해 시스템이 얼마나 에너지에 중점을 갖는지를 나타내게 됨으로, 시스템 환경에 맞는 의미 있는 값을 가져야 한다. 따라서 최종적인 경쟁노드의 대역폭은 에너지 인센티브, 즉 식(1)의 기여도에 따른 인센티브와 식(2)의 에너지에 따른 각각 인센티브의 합으로 할당된다.

$$x_{ei} = \left( \frac{E_i}{\sum_{j=1}^N E_j} \right) (\alpha W_s) \quad \text{st. } \alpha \in [0, 1] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^N P t_i \log \left( \frac{x_{pi}}{b_{pi}} + 1 \right) \\ & \text{st. } \sum_{i=1}^N x_{pi} \leq (1 - \alpha) W_s \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)는 utility function을 이용하여 경쟁노드의 효용이 최대가 되도록 자원을 분배한다. 두 식을 통해 최종적으로 경쟁노드에 할당되는 대역폭  $x_i$ 는 식(3)과 같다. 에너지 양에 따른 자원과 포인트 방식의 입찰을 통한 기여도를 기반 한 자원을 미리 일정 비율로 구분해 자원 분배를 함으로 시스템에서 고려해야 될 두 특성에서 어느 것을 더 중요하게 보느냐에 따라 차등화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i &= x_{ei} + x_{pi} \\ \text{st. } \sum_{i=1}^N x_i &\leq W_s, x_i \in [0, b_i] \quad \forall i \end{aligned} \quad (3)$$

나. RBM-PIU (Resource Bidding Mechanism with Point based Incentive Utility)

RBM-PIU는 각 경쟁노드의 가용에너지와 기여도 레벨은 포인트( $Pt'_i = c_i + e_i$ )로 환원 받고, 소스노드에 입찰 시에 이와 함께 값을 요청 대역폭을 포함한 입찰메시지를 전달한다. 이때 포인트는 앞서 설명한대로, 전략적으로 자율경매를 통해 입찰할 수 있으므로 이 또한 초기에 기여도가 적은 경쟁노드까지 고려된 공정성을 제공하기 위한 방안이다. 소스노드가 경쟁노드들의 social utility가 최대가 되도록 perceived utility function을 이용하면 식(4)와 식(5)로 표현된다.

$$\begin{aligned} U_i(x_i) &= P t'_i \log \left( \frac{x_i}{b_i} + 1 \right) \\ \text{where } x_i &\in [0, b_i] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} U_i(x_i) &= \max \sum_{i=1}^N P t'_i \log \left( \frac{x_i}{b_i} + 1 \right) \\ \text{st. } \sum_{i=1}^N x_i &\leq W_s, x_i \in [0, b_i] \quad \forall i \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서 에너지에 따른 포인트는 다음에 두 가지로 가정할 수 있다.

- 에너지 포인트는 각 경쟁노드에 일정하다고 가정한 경우
- 에너지 포인트가 각 경쟁노드의 상태에 따라 다르다고 가정한 경우

#### 다. RBM-CIU (Resource Bidding Mechanism with Combined Incentive Utility)

RBM-CIU는 에너지 상수  $K_i$ 을 이용한 utility function에서 기여도 레벨  $C_i$ 와의 비율로 인센티브를 부여하는 메커니즘으로 포인트로 변환되는 절차는 고려하지 않는다. [5]에서 이미 제안된 메커니즘으로 제안된 두 개의 메커니즘과의 비교를 통해 미디어 시스템에서 추가적으로 고려할 사항을 언급하고자 한다. 이 메커니즘은  $\rho$ 값에 따라, 시스템에서 얼마나 많은 에너지 인센티브를 얼마나 고려할지를 의미하는 가중치를 이용한다.

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^N (K_i(1-\rho) + C_i\rho) \log\left(\frac{x_i+1}{b_i}\right) \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^N x_i \leq W_s, x_i \in [0, b_i], \rho \in [0, 1] \end{aligned} \quad (6)$$

제안된 세 가지 인센티브 메커니즘을 통한 소스노드를 위한 자원 분배는 WF 알고리즘<sup>[1]</sup>을 이용한다. 그림 4에서 보듯이, 경쟁노드의 넓이  $a_i = pt_i \times e_i$ 와 높이  $b_i/a_i$ 를 갖는 bucket으로 가정할 수 있다. WF 알고리즘은 높이가 가장 낮은 경쟁노드부터 물을 채우듯, 가장 최적의 자원 레벨을 찾고 이에 따른 공정한 분배 즉,  $x_i$ 를 할당한다. 이 알고리즘을 사용함으로써 공유된 소스노드의 최대이용률을 이룰 수 있게 한다. 그 bucket의 최대 높이는 기존 높이의 두 배( $2b_i/a_i$ )로 잡을 수 있

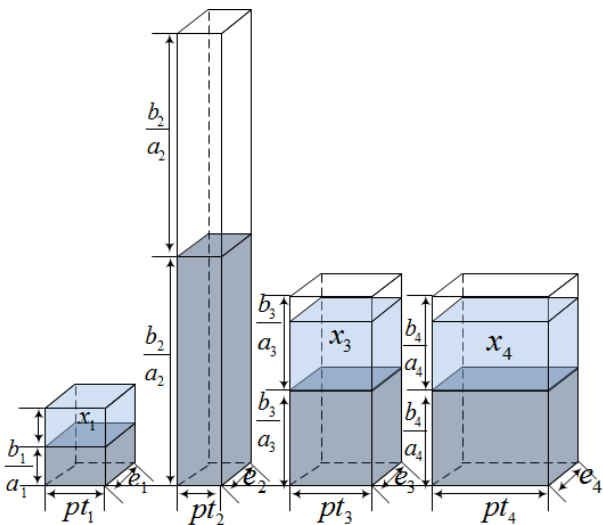


그림 4. WF 알고리즘을 이용한 자원 분배도

Fig. 4. Resource distribution mechanism using the WF algorithm.

다. 원하는 자원을 할당받기 위해서는 그 bucket의 넓이를 좌우하는 기여도와 에너지로부터 받은 포인트 값이 될 것이며, 식(4)에서 확인할 수 있듯이, 한계효용 (marginal utility)은  $U'_i(x_i) = pt_i/(x_i + b_i)$ 임에 따라, 이 값이 가장 큰 한계효용을 갖는다고 할 때, 자원의 양을 최대로 증가시킨다. 자원 할당은 소스노드의 자원이 최적화되어 모든 자원이 할당될 때 종료된다.

그림 4에 따른 RBM-EPIU와 RBM-PIU를 위한 자원할당 메커니즘의 pseudo code는 다음과 같다.

```

1:  $\vec{b}, \vec{a}$ ; //sort in ascending  $b_i/c_i$  order
2: if ( $\sum_{i=1}^N b_i \leq W_s$ ) return  $x_i=b_i$ ; //no congestion
3:  $i = 0, bw = W_s$ ; //initial value
4: while( $bw > 0$ )
5:    $\Delta_i = b_{i+1}/a_{i+1} - b_i/a_i$ ;
6:   if( $bw \leq 0$ ); stop; //filling end
7:   else if ( $\Delta_i = 0$ ) //same height
8:      $k=0$ ;
9:      $k=k+1$ ;
10:    if( $\Delta_{i+k}=0$ ) //count peers with same height
11:      go to 9
12:    else //calculate  $x_i$ 
13:       $temp(i) = (\Delta_{i+k}) * (a_i + a_{i+1} \dots a_{i+k})$ 
14:       $x_i = temp(i) * \left(\frac{a_i}{a_i + a_{i+1}}\right)$ 
15:       $x_{i+1} = temp(i) * \left(\frac{a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}}\right)$ ;
16:      ...
17:       $x_{i+k} = temp(i) * a_{i+k} / \sum_{i=i}^{i+k} a_i$ ;
18:       $bw = bw - temp(i)$ ; //bw remained
19:      go to 4;
20:    else if( $\Delta_i \geq b_i/a_i$ )
21:       $x_i = \min\{b_i, bw\}$ ,  $bw = bw - x_i$ ;  $i=i+1$ ;
22:      go to 4
23:    else
24:       $temp(i) = b_i/a_i - \Delta_i$ ;

```

```

24:   $x'_i = \min\{\text{temp}(i), bw\};$ 
25:   $bw = bw - x'_i;$ 
26:  if( $bw > 0$ ) //available bw
27:     $x_t = (b_i/a_i - \Delta_i) * (a_i + a_{i+1});$ 
28:     $x'_t = \min\{x_t, bw\};$ 
29:     $x_i = x'_i + x'_t \left( \frac{a_i}{a_i + a_{i+1}} \right);$  //additional bw
30:     $x'_{i+1} = x'_t \left( \frac{a_{i+1}}{a_i + a_{i+1}} \right);$ 
31:     $bw = bw - x'_t;$ 
32:    if( $bw > 0$ )
33:       $bw = bw + x'_{i+1};$ 
34:       $i = i + 1;$ 
35:      go to 4;
36:    else
37:       $x_{i+1} = x'_{i+1};$  stop; //filling stop
38:    else
39:       $x_i = x'_i;$  stop; //filling stop
40:  end while

```

경쟁노드는 우선적으로,  $b_i/c_i$  값으로 오름차순 정렬한다. Line 2에서처럼, 각 경쟁노드가 요구하는 대역폭의 합이 소스노드의 공유된 자원보다 작을 시에 모든 경쟁노드는 요구된 자원 그대로를 할당받을 수 있다. Line 4-40은 각 경쟁노드에 기여도 레벨과 가용 에너지를 이용한 실제적인 WF 알고리즘에 해당된다. 하지만 제한한 알고리즘은 간단히 순차적 진행으로 자원을 쉽게 분배해줄 수 있기 때문에 복잡한 계산에서 추가적 지연을 해결해 줄만큼 효율적이라 할 수 있다. Line 5에서  $\Delta_i$ 의 위치 레벨과 소스노드의 잔여 대역폭( $bw$ )으로 자원은 분배되며, 만일  $bw$ 가 0보다 적으면 자원할당은 종료된다. Line 10-18은  $b_i/a_i$  값이 같은 경쟁노드를 처리하는 구간이며, Line 19처럼  $\Delta_i \geq b_i/a_i$  이면, 그 경쟁노드의 입찰 대역폭과 소스노드의 잔여 대역폭과의 최소값을 실제 할당된 대역폭 값으로 부여한다. 이 경우는 바로 기여도 레벨 및 가용 에너지가 입찰 대역폭보다 많은 경우에 해당되는 것으로, 작은 입찰가를 제시한 경쟁노드일수록 대역폭 할당을 보장받기 쉽다. Line

22-39는  $\Delta_i$ 가  $b_i/a_i$  작은 경우에 해당되는 경우로,  $b_i/a_i$ 에서  $\Delta_i$ 값을 뺀 나머지 값을 임시로 할당된 대역폭으로 부여하고 만일 소스노드의 잔여 대역폭이 있다면, 그 다음의 경쟁노드에 할당될 수 있는 총 대역폭을 기여도 레벨과 에너지 가용량, 즉  $a_i$ 와  $a_{i+1}$ 의 비율로 추가 분배함으로 결국 line 29에서처럼 합산된 대역폭이  $x_i$ 로 할당된다. 만일 소스노드의 자원이 모두 할당되었다면 채워진 값은 최종적으로 경쟁노드에게 할당된 자원( $\vec{x}_i$ )을 분배한다. 결과적으로, 제안된 알고리즘을 이용해 소스노드의 공유된 자원을 최대이용률로 공정히 분배되도록 할 수 있다.

#### IV. 실험 분석 및 평가

본 논문에서 제안된 세 가지 인센티브 메커니즘을 통한 자원할당을 통해 소스노드가 얼마나 공유 자원이용률을 최대화 하였는지, 그리고 각 메커니즘이 초기 조인된 기여가 부족한 경쟁노드에게 얼마나 가용 에너지 대비 공정성을 보였는지에 관한 실험을 하였으며 이를 분석하고자 한다. 아울러 공정성(fairness)은  $\bar{T}^{[6]}$ 을 응용하여 경쟁노드들의 입찰대역폭 대비 얼마나 많은 자원을 할당받았는지에 대한 평균 비율을 확인하고자 다음과 같은 식으로 확인한다.

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^N (x_i / b_i) / N$$

그림 5는  $\vec{c}=[2.5, 2.5, 4, 1]$ ,  $\vec{b}=[1, 2.5, 4, 2.5]$  그리고  $\vec{e}=[1, 2.3, 4, 1.5]$  일 경우, RBM-IU (Resource Bidding Mechanism with Incentive Utility)<sup>[1]</sup>와 제안된 RBM-CIU(Resource Bidding Mechanism with Combined Incentive Utility)<sup>[5]</sup>와의 간략한 비교 결과이다. 최종적으로 할당된 대역폭은 RBM-IU에서  $x_i=[1, 2.3, 3.7, 0]$ 이지만 RBM-CIU에서는  $x_i=[1, 2.0, 3.7, 0.25]$ 이다. RBM-IU에서는 가용 에너지 량에 따른 추가적인 인센티브가 없음으로 초기 일정 기여가 부족한 경쟁노드는 시스템에 기여의 부족으로 인해서 기아(starvation)을 벗어나지 못하는 상황이되지만 공정성에 준하여 가용 에너지를 고려한 추가된 인센티브 메커니즘인 RBM-CIU를 이용하면 경쟁노드  $N_4$ 와 같이 이에 따른 대역폭을 받을 수 있음을 보여준다.

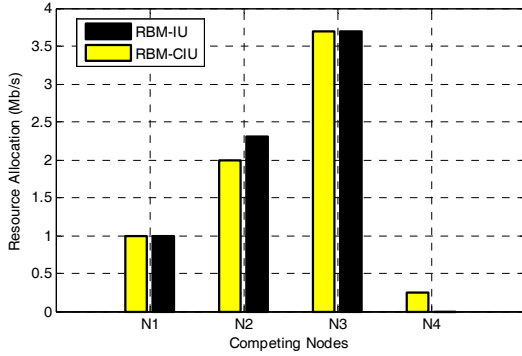


그림 5. RBM-IU와 RBM-CIU의 가용 에너지에 따른 공정성 비교

Fig. 5. Fairness comparison according to the energy availability of RBM-IU and RBM-CIU.

표 1. 실험값

Table 1. Experimental parameters.

	시나리오 1				시나리오 2				시나리오 3			
$N_i$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$
$c_i$	2.5	1	2.5	4	2.5	1	2.5	4	2.5	1	2.5	4
$b_i$	1	2.5	2.5	4	1	2.5	2.5	4	1	2.5	2.5	4
$e_i$	1	1	1	1	1	2	3	4	4	3	2	1

본격적으로 제안된 세 가지 인센티브 메커니즘을 특성을 분석하고자 한다. 먼저 실험을 위한 시나리오를 위한 실험값은 표 1과 같다. 시나리오 1은 가용 에너지량이 일정하게 남았다고 가정하였고, 이에 반해, 시나리오2에서는 각 경쟁노드별로 고루 분포시켰다. 또한 모든 시나리오는 에너지에 대한 인센티브를 10%만 고려하는 것으로 즉,  $\alpha=0.1$ 과  $\rho=0.1$ 이고, 경쟁을 통해 할당받게 될 소스노드의 공유된 자원  $W_s=7Mbps$ 이며 네 개의 경쟁노드  $N_i=[N_1, N_2, N_3, N_4]$ 로 가정해 실험된다.

실험값에 따른 세 가지의 시나리오는 가용 에너지에 따라, 각 메커니즘이 이를 고려한 인센티브를 얼마나 할당하는지를 확인하도록 구성되었다. 먼저 그림6의 시나리오1에 따른 결과에서 RBM-CIU는 가용 에너지와 기여도 레벨을 고려하여 이미 저자들이 제안한 WF 알고리즘을 통해  $x_i=[1, 0, 2.3, 3.6]$ 의 자원배분을 한다. RBM-PIU는 RBM-CIU와 마찬가지로 유사한 값인  $x_i=[1, 0, 2.3, 3.7]$ 로 자원할당이 되었다. 이는 가용 에너지 값을 고정하였기에, 넓이  $a_i$ 가 RBM-CIU의  $c_i$ 와 비슷하기 때문이다. RBM-EPIU는 가용 에너지에 대한 인센

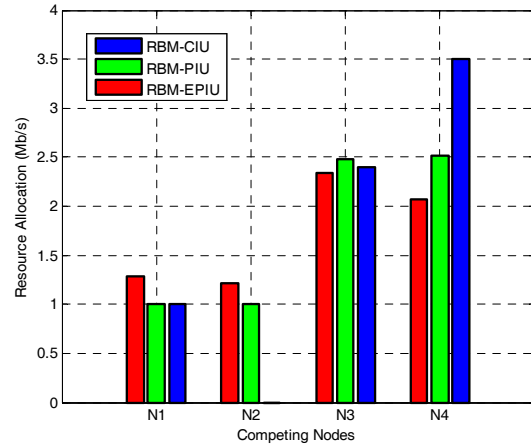
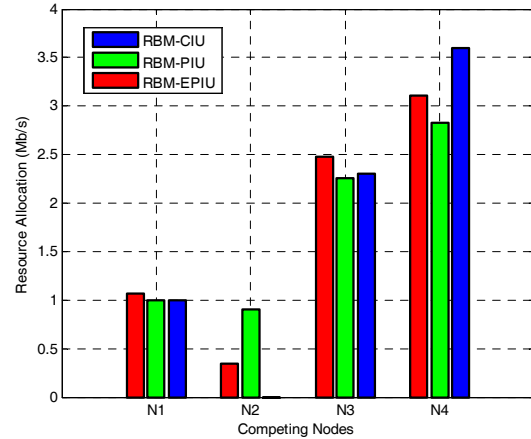
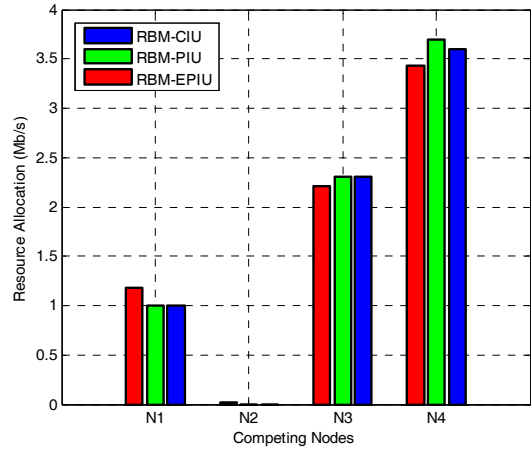


그림 6. 각 시나리오에 따른 자원할당 값( $x_i$ )

Fig. 6. Resource allocations of each scenario.

티브를 별도로 기여에 따라 추가 할당을 해줌으로  $N_2$ 는 이에 따른 최소한의 인센티브(0.175 Mbps)를 할당받는다. 시나리오2에서는 기여도 레벨과 비슷하게 보유



한 가용에너지 값을 갖는 경쟁노드들에 대한 자원할당 값을 확인하는 실험으로서 RBM-CIU는  $x_i=[1, 0, 2.3, 3.6]$  값을, RBM-PIU는  $x_i=[1, 0.9, 2.26, 2.83]$  그리고 RBM-EPIU는  $x_i=[1.07, 0.34, 2.48, 3.11]$ 로 자원할당된 것을 확인할 수 있다. RBM-CIU는 가용 에너지에 대한 인센티브가 영향이 없음을 볼 수 있다. 하지만 RBM-PIU와 RBM-EPIU는  $N_2$ 와 같이, 비록 기여도 레벨이 작더라도 가용에너지가 있다면 어느 정도의 자원을 할당받을 수 있었다. 이에 RBM-EPIU에서  $N_3$ 는 입찰한 2.5 Mbps에 근접한 대역폭을 할당 받았다. 마지막으로 시나리오3는 기여도 레벨은 높지만 이에 반비례적으로 가용에너지가 작을 때, 각 메커니즘에 따른 자원할당이 되는지를 확인하는 실험으로, RBM-CIU는  $x_i=[1, 0, 2.4, 3.5]$ 로 자원할당이 되었으며 RBM-PIU는  $x_i=[1, 1, 2.48, 2.52]$  그리고 RBM-EPIU는  $x_i=[1.28, 1.21, 2.34, 2.07]$ 로 분배된 것을 확인할 수 있다.

가용 에너지에 대한 인센티브가 민감하게 작용되는 RBM-EPIU는  $N_2$ 에 가장 많은 자원을 할당하였으나  $N_4$ 는 기여도 레벨을 높더라도 작은 가용에너지 값으로 인해 가장 작은 대역폭이 할당되었다. RBM-PIU 또한  $N_2$ 에 가용에너지에 따른 1Mbps를 할당하였다. 기여도 레벨에 비해 입찰을 많이 할 경우, 자원할당을 해주지 않는 RBM-CIU와는 대조를 이룬다. 이에 반하여, RBM-CIU는 다른 시나리오에 비해, 약간의 차이를 이룰 뿐 메커니즘은 여전히 기여도 레벨이 인센티브 기반 자원할당에 있어서 중요한 요소임을 알 수 있다.

그림 6의 결과에서 보듯이, RBM-CIU는 세 가지 시나리오에서 비슷한 자원할당이 된 것으로 볼 수 있다. 왜냐하면, 제공된 효용함수는 가용에너지 값이 시스템에 미치는 과급효과가 작고 또한 WF 알고리즘은 최적의 자원레벨 값을 얻은 뒤에 각 경쟁노드의 기여도 레벨에 따라 자원을 분배함으로써 시스템에 기여도보다 입찰대역폭이 높은  $N_2$ 는 어떠한 인센티브도 받을 수 없다. RBM-EPIU는 가용 에너지에 대한 자원할당 비율을 분리함으로써 에너지에 대한 보상에 민감함으로써 단일 시스템의 주요 요인을 에너지로 고려할 경우에 유용하다. RBM-PIU는 앞서 언급했듯이, 미디어 스트리밍 서비스에서 중요한 협력에 있어 가장 효율이 높은 포인트 방식을 이용해 모든 피어들에게 입찰 기회를 부여하고 RBM-EPIU 보다는 낮은 가용 에너지 값에 따른 인

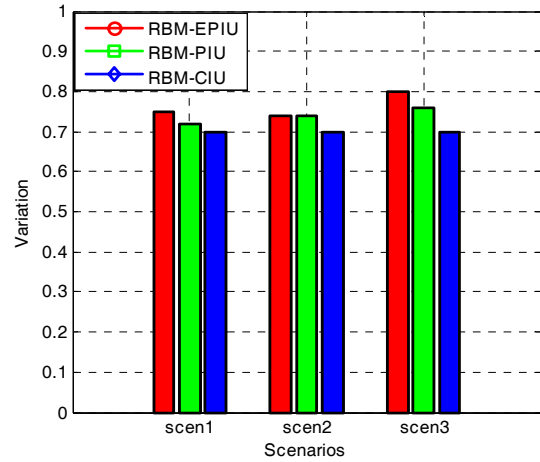


그림 7. 경쟁노드들의  $b_i/x_i$ 에 따른 공정성( $\bar{I}$ ) 비교  
Fig. 7. Comparison of  $\bar{I}$  for competing nodes of  $b_i/x_i$ .

센티브를 제공함으로써 초기 기여도가 부족한 채로 참여한 피어가 어느 수준의 미디어 품질을 제공받도록 함은 물론, 소스노드의 공유 자원을 최대이용률을 이룸으로써 시스템의 효율을 높였다.

각 경쟁노드의 입찰대역폭( $b_i$ )에 대비 실제 자원할당 대역폭( $x_i$ )의 평균 비율( $b_i/x_i$ ), 즉  $\bar{I}$  값은 그림 7과 같이 비교하였다. 제안된 WF 알고리즘을 통한 인센티브 메커니즘인 RBM-EPIU와 RBM-PIU의  $\bar{I}$  값은 RBM-CIU과 차이를 보이며 이것은 각 경쟁노드들의 입찰대역폭에 대한 소스노드에서 할당된 대역폭의 비율이 높음으로 인센티브를 통해 모든 경쟁노드에게 공정히 자원할당 되었음을 의미한다.

결과적으로, 실험을 통해서, 세 가지 메커니즘들은 인센티브를 제공함으로써 추가적인 고려사항인 에너지와 기여도 레벨에 따른 각각의 인센티브 제공 방식을 제공함으로써, P2P 시스템에 최적화 된 자원 분배 메커니즘을 이용함으로써 전체 모바일 P2P 스트리밍 시스템의 효율성을 더욱 높이고 서비스 차등이 이뤄지도록 함으로써 경쟁노드로부터 서비스 품질을 유지하기 위한 기여를 계속적으로 유도하게 된다.

## V. 결 론

모바일 P2P 환경에서 전체 시스템 효율을 높이고 경쟁 노드들로부터 기여도를 이끌어내기 위한 인센티브

메커니즘을 이용한 차등 서비스를 제공함으로써 서비스 품질을 유지할 수 있다. 본 논문에서는 모바일 P2P 스트리밍 시스템을 위한 인센티브 메커니즘으로써 기여도 레벨과 가용 에너지량을 고려한 세 가지 메커니즘을 제안 및 실험을 통해 성능을 비교분석하였다. 또한 공유된 자원의 이용률을 최대로 높이기 위해서 간단하지만 효율적인 WF 알고리즘을 pseudo code와 함께 제안하였다. 제안된 세 가지 자원입찰 메커니즘은 P2P 시스템 성능을 추가적인 고려사항인 '에너지'가 얼마나 영향을 미칠 수 있는가를 확인한 것으로, 모바일 P2P에서 스트리밍 서비스를 제공시 제안된 메커니즘을 이용함으로써 시스템의 안정성과 효율성을 기반한 이용자의 서비스 만족을 부여할 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Richard T.B.Ma, Sam C.M.Lee, John C.S.Lui and David K.Y.Yau, "Incentive and Service Differentiation in P2P Networks: A Game Theoretic Approach" in IEEE/ACM Transaction on Networking, vol. 14, No 5, pp. 978 - 991, 2006.
- [2] Guang Ten, Stephen A. Jarvis, "A Payment-Based Incentive and Service Differentiation Scheme for Peer-to-Peer Streaming Broadcast" in IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 19, No 7, pp.940-953, 2008.
- [3] Ahsan habib, John Chuang, "Service Differentiated Peer Selection: An Incentive Mechanism for Peer-to-Peer Media Streaming," IEEE Transactions on Multimedia, vol.8, no.3, pp.610-621, 2006.
- [4] M. Nowak and K. Sigmund, "Evolution of indirect reciprocity by image scoring," Nature, vol. 393, pp. 573 - 577, 1998.
- [5] Yangjung Kim, Ilyoung Chong and Chimoon Han, "A Power-Aware Peer Selection Scheme for P2P Media Streaming in Mobile Environments," Journal of KIISE, vol 39, no 6, pp 479-489, 2012.
- [6] D.DeFigueiredo, B. Venkatachalam, and S.F. Wu, "Bounds on the performance of P2P networks using tit-for-tat strategies," in Proc. IEEE P2P, Sept. 2007.

## 저 자 소 개



김 양 중(학생회원)  
2001년 한국외국어대학교  
정보통신공학과 공학사.  
2003년 한국외국어대학교 컴퓨터  
및 정보통신공학  
석사졸업.  
2005년~현재 한국외국어대학교  
정보통신공학과 박사과정.

<주관심분야 : Mobile P2P, NGN, QoS, Home Network.>



정 일 영(평생회원)  
1992년 University of  
Massachusetts, 전산학  
전공, Ph.D.  
1996년 한국외국어대학교 정보통신공학과 교수.  
2006년 개방형컴퓨터통신연구회  
회장

2003년~2006년 독일 Springer 논문지 편집위원  
장

<주관심분야 : Computer Networking, Traffic 이론, Home Network, IoT/WoTWeb of Objects 등>



한 치 문(평생회원)  
University of Tokyo,  
전기공학전공, Ph.D.  
1983년 4월~1997년 2월 ETRI 선임 및 책임연구원(교환기술 연구단 계통연구부장 역임)

1997년~현재 한국외국어대학교 전자공학과 교수.  
<주관심분야 : Green IT, 초고속통신, 네트워크 보안 등>