

A Distributed Peer Selection Method for Supporting Scalable Peer-to-Peer Services

Jaesung Park[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose a distributed parent peer selection method to construct an efficient peer-to-peer(P2P) network topology by considering the capacity of a peer and the hop distance from a data source to the peer. To achieve this goal, we propose a method to combine the two performance metrics to calculate the probability that a peer becomes a parent peer. Using the probability, we propose a method to select a parent peer stochastically by making use of the state information of the neighboring peers that each peer maintains. Through simulation studies, we show that the proposed method drives high capacity peers to support more children peers and makes the diameter of the P2P network shorter than the other methods.

Keywords : P2P Service, Distributed Peer Selection, Random Walk

확장성 있는 Peer-to-Peer 서비스 제공을 위한 분산적 피어 선택 기법

박재성[†]

요약

본 논문에서는 효율적인 peer-to-peer(P2P) 네트워크의 토폴로지 구축을 위해 참여 피어의 용량과 데이터 소스까지의 홉 수를 고려한 분산적 부모 피어 선택 기법을 제안한다. 이를 위해 우선 각 피어가 부모 피어로 선정될 확률을 결정하기 위해 피어의 용량과 거리를 결합하는 방안을 제시하고 각 피어가 분산적으로 관리하는 이웃피어의 상태 정보를 이용하여 확률적으로 부모 피어를 선택하는 방안을 제시한다. 모의실험을 통해 제안 기법은 용량이 큰 피어가 보다 많은 자식 피어들을 지원하게 함으로써 타 기법들에 비해 동일 환경에서 P2P 네트워크의 지름과 네트워크 구성의 효율성 측면에서 우수함을 정량적으로 검증하였다.

키워드 : P2P 서비스, 분산적 피어 선택, 랜덤워크

1. 서론

P2P 시스템에 참여하는 피어는 부트스트랩 서버를 통해 현재 참여 중인 피어 중 임의로 선택된 M개의 피어에 대한 식별자를 획득한 후 이들 중 원하는 데이터를 소유한 피어를 부모 피어로 선택한다. 따라서 피어 선택 방법에 따라 업로드 용량이 작은 부모 피어로 인해 다운로드 용량이 큰 자식 피어의 데이터 수신율이 제한받을 수 있으므로 피어들

은 소스 노드로부터 피어의 용량에 따라 내림차순으로 정렬 되도록 구성되어야 한다. 또한 멀티 홉 통신 방식에서 홉 수에 따라 중단간 지연 및 지터는 증가하므로 비디오 스트리밍과 같은 P2P 서비스의 효율적인 제공을 위해서는 P2P 네트워크는 데이터 소스를 중심으로 홉 수가 짧은 형태로 구성되어야 한다[1].

초기 P2P 시스템은 부트스트랩 서버를 통해 획득한 M개의 이웃 노드 중 랜덤하게 부모 피어를 선택하거나 피어의 용량이 가장 큰 피어를 부모 피어로 선택한다. 그러나 이와 같은 방법은 피어 수가 증가할수록 일부 피어의 부하를 과도하게 증가시킴으로써 시스템의 처리율을 악화시킨다[2]. 또한 이들 방법은 소스와 피어 사이의 홉 수를 증가시킬 수 있으므로 피어의 데이터 수신 시간이 증가될 수 있다 [3]. 이에 따라 피어들이 유지하는 이웃 피어의 정보를 이용하기 위한 랜덤워크 방식의 부모 피어 선택 기법들이 제안되었

* 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2011-0007076 (2013020496))의 지원과 경기도의 경기도지원협력 연구센터(GRRC) 사업[(GRRC 수원2013-B4) 실시간 상황 대응을 위한 정밀 위치추적 시스템연구]의 일환으로 연구되었음.

[†] 정 회 원 : 수원대학교 정보보호학과 부교수

논문접수: 2013년 8월 16일

수정일: 1차 2013년 10월 23일

심사완료: 2013년 10월 29일

* Corresponding Author : Jaesung Park(jaesungpark@suwon.ac.kr)

다. 그러나 이들은 이웃 피어의 용양이나[4][5] 소스로부터의 홉 수[6] 등 단일 성능 메트릭만을 고려하므로 P2P 시스템의 효율성을 감소시킨다.

따라서 본 논문에서는 피어의 용양과 소스로부터의 거리를 모두 고려한 부모 피어 선택 방법을 제안한다. 다수의 성능 메트릭을 이용하는 경우 이들의 결합 방법은 성능에 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 개미-군집 이론에[7] 착안하여 다수의 성능 메트릭들의 결합 방법을 제시하고 이를 통해 다수의 피어들이 제공하는 참여 피어 정보를 이용하는 분산적 부모 피어 선택 방법을 제안한다. 모의실험을 통한 기존 기법과의 정량적 비교를 통해 제안 기법은 용량이 큰 피어가 다수의 용량이 작은 피어들 지원함으로써 피어의 용량 차이로 인해 자식 피어의 수신율이 제한받는 문제를 완화시키며 P2P 네트워크의 반지름을 작게 유지시킨다는 것을 검증하였다.

2. 제안 기법

제안기법을 기술하기 위해 P2P 네트워크에 참여중인 피어의 수를 N , 참여 피어 i 의 최대 용량을 x_i , 피어 i 가 지원 중인 자식 피어의 수를 n_i , 데이터 소스와 피어 i 와의 홉 수를 h_i 로 표기한다. 또한 P2P 시스템에 참여 중인 피어는 M 개의 이웃 피어에 대한 정보를 유지한다고 가정한다. 새롭게 P2P 네트워크에 참여하는 피어는 용양이 최대이고 소스로부터의 홉수가 최소인 피어를 자신의 부모 피어로 선택해야 한다. 그러나 새로운 참여 피어는 모든 기존 참여 피어들의 정보를 알 수 없다. 따라서 제안 기법은 각 피어가 유지하는 로컬 정보인 이웃피어 정보를 종합하여 이를 기반으로 부모 피어를 선택한다.

M 개 피어의 식별 정보를 획득한 새로운 참여 피어 j 는 이들 중 하나의 피어를 선택하기 위해 이들의 상태 정보 $\{x_i/n_i, h_i\}$ 를 요청하고 이들 정보를 이용하여 각 피어별로 참여요청 메시지를 전송할 확률 p_{ji} 를 결정한다. x_i/n_i 와 h_i 는 다양한 방식으로 결합될 수 있으며 결합 방식은 구성된 토폴로지의 효율성에 영향을 줄 수 있다. 본 논문에서는 생체모방 최적화 기술인 개미-군집 이론을 응용하여 x_i/n_i 와 h_i 를 결합한 후 p_{ji} 를 계산한다. 즉, 각 피어들을 가상의 개미로 생각하고 각 피어가 분산적으로 유지하고 있는 이웃피어들의 상태 정보 $\{x_i/n_i, h_i\}$ 를 attractiveness (x_i/n_i)와 trail level($1/h_i$)로 사상한다. 이들의 가중치를 1로 동일하게 설정하면 개미-군집 이론에 따라 p_{ji} 는 다음과 같이 결정된다.

$$p_{ji} = \frac{x_i / (n_i h_i)}{\sum_{k=1}^M x_k / (n_k h_k)} \quad (1)$$

집합 $S_j = \{p_{ji} : i = 1, \dots, M\}$ 가 p_{ji} 의 크기에 따라 오름차순으로 정렬되었으며 $p_{j0} = 0$ 라고 가정하면 j 는 균일분포에 의해 임의의 발생되는 확률값 $p = U(0,1)$ 와 S_j 에 따라 참여요청 메시지를 전송할 다음 피어 i 를 결정한다. j 로부터 참여요청 메시지를 수신한 i 는 자신의 이웃 피어의 상태 정보를 이용하여 동일한 방법으로 참여요청 메시지를 수신할 다음 피어를 결정한다. 이와 같은 방식으로 j 의 참여요청 메시지는 P2P 네트워크에 전파되며 j 는 참여요청 메시지 전달 횟수 τ 를 참여요청 메시지에 지정하여 전송한다. 이후 참여요청 메시지를 수신한 피어들은 τ 를 1씩 감소시킨 후 $\tau > 0$ 인 경우 메시지를 전달하고 $\tau = 0$ 인 피어가 j 의 부모 피어로 선택된다. P2P 시스템에 참여 중인 피어가 P2P 네트워크를 이탈하면 이탈한 피어의 자식 피어들은 동일한 방법에 의해 새로운 부모 피어를 선택한다.

Table 1. Capacity Distribution of Peers

Capacity	1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴
c(x)	0.2	0.45	0.3	0.049	0.001

3. 성능 평가

본 절에서는 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 피어와 소스와의 홉 수 (N_h) 및 지원하는 자식 피어의 수 (N_{cp}) 측면에서 랜덤 피어 선택법 (RW), Capacity Only (CO) 기법 및, Hop Only (HO) 기법들과 정량적으로 비교함으로써 제안 기법의 타당성을 검증한다. 각 피어는 확률밀도함수 $c(x)$ 에 따라 용양을 할당받고 P2P 시스템에 참여하며 [5]에 따라 $c(x)$ 는 Table 1과 같이 설정하였다.

피어는 평균 λ 인 포아송 분포에 따라 P2P 시스템에 참여하며 피어의 시스템 참여 시간은 평균 $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다. 모의실험 초기에는 $\lambda = 1, \mu = 0$ 으로 설정하여 $N = 5,000$ 개의 피어로 P2P 네트워크를 구성하였다. 이후 $\lambda = 5, \mu = 5$ 로 설정하여 P2P 시스템에 참여하는 피어의 수를 평균 N 으로 유지함과 동시에 피어의 시스템 참여와 이탈을 허용하면서 각 기법의 성능을 평가하였다. 모의실험을 위해 모든 기법에서 $M = 10, \tau = 10$ 로 설정하였으며 초기 N 개의 피어가 P2P 시스템에 참여한 이후 100만번째 피어가 P2P 시스템에 참여할 때 까지 모의실험을 진행하였고 100만번째 피어 참여 후 P2P 시스템에 남아 있는 피어의 N_h 와 N_{cp} 의 누적분포함수(cumulative distribution function: cdf)를 비교하여 Fig. 1과 Fig. 2에 도시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 RW 기법은 피어의 상태 정보를 이용하지 않으므로 피어의 용양과 무관하게 N_h 와 N_{cp} 가 일정하게 나타났다. RW의 경우 피어의 용양과 무관하게 N_h 가 타 기법에 비해 크게 나타났으며 N_{cp} 의 경우 용양이 큰 피어가 지원하는 자식 피어의 수와 용양이 작은 피어가

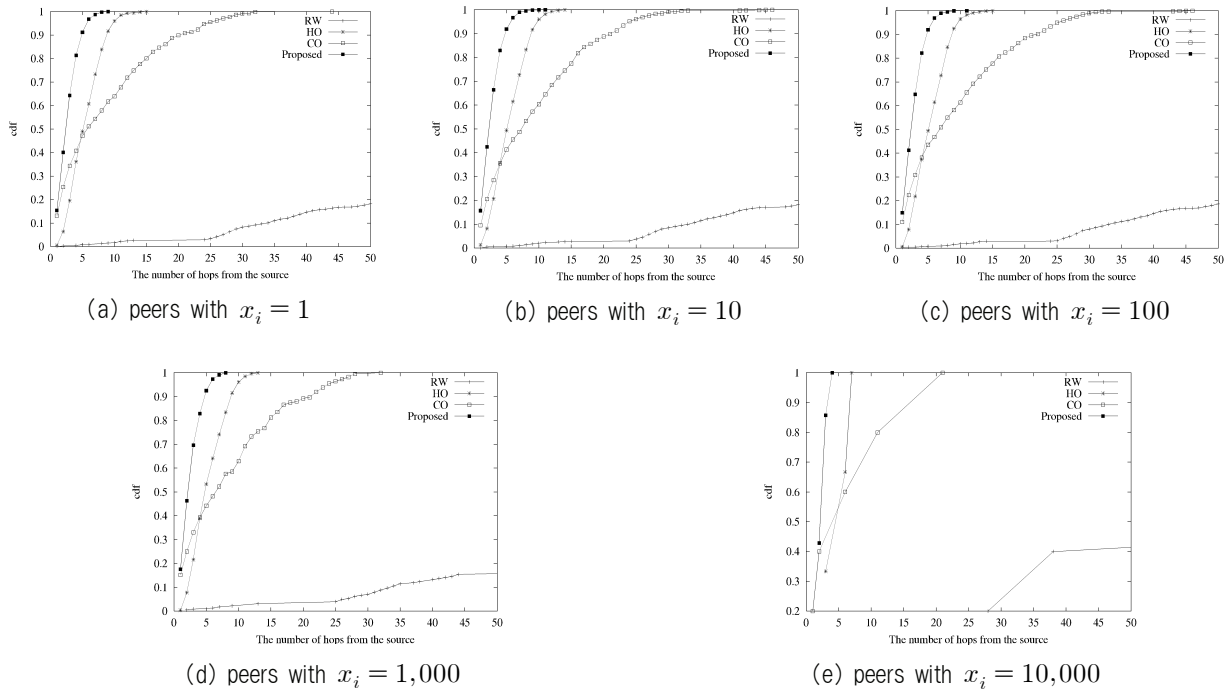


Fig. 1. The cumulative distribution function of the number of hops from a source to a peer according to peer's capacity

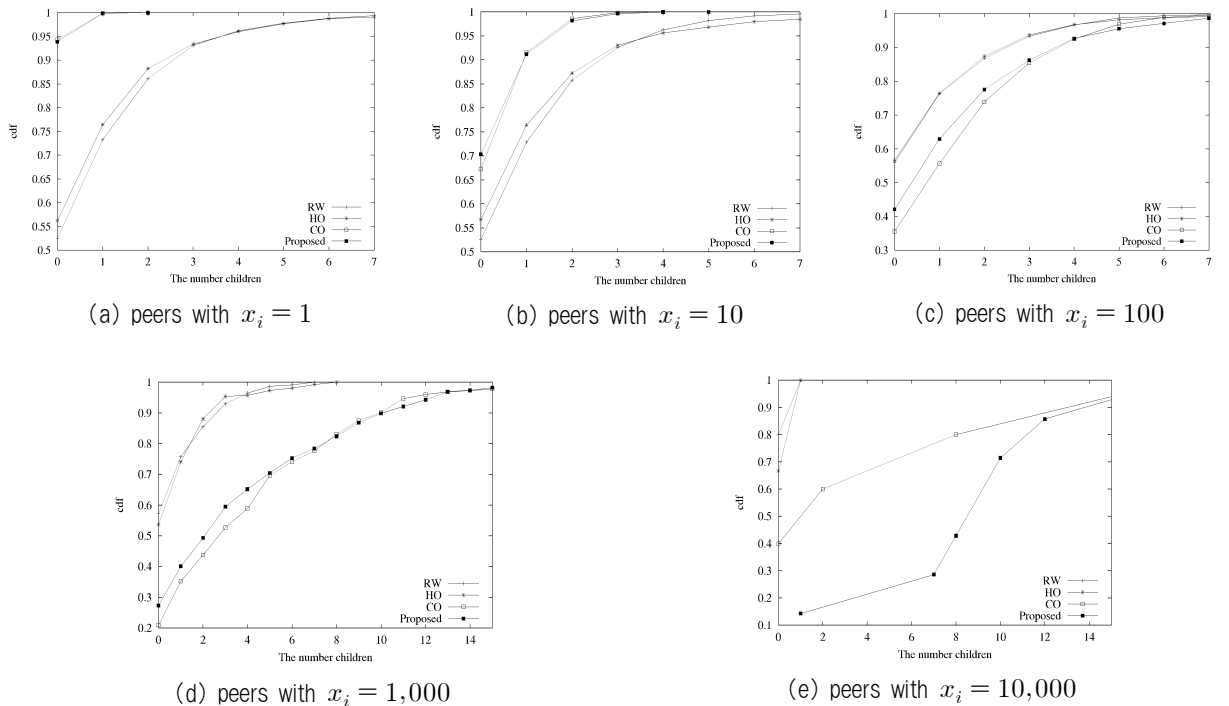


Fig. 2. The cumulative distribution function of the number children peers per peer according to peer's capacity

지원하는 자신 피어의 수가 유사하여 망 자원이 효율적으로 이용되지 않는다는 것을 볼 수 있다.

N_h 측면에서 비교해보면 CO 기법은 피어의 용량만을 고려하여 부모 피어를 선택하므로 HO 기법과 제안 기법에

비해 피어의 용량과 무관하게 N_h 값이 크다. 예를 들어 제안 기법과 HO의 경우 90% 이상의 피어들의 N_h 는 각각 5와 9인 반면 CO의 N_h 는 22로 큰 차이를 보인다. HO의 경우 N_h 측면에서 제안기법과 성능이 유사하지만 제안기법의

N_h 가 조금 더 낮은 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 제안 기법이 피어의 용양도 고려하기 때문에 발생한다. 즉 제안 기법은 HO에 비해 소스를 기준으로 피어의 용양에 따라 P2P 네트워크의 토폴로지를 구성하기 때문에 동일 용양의 피어의 경우에 상대적으로 N_h 가 줄어든다. 이와 같은 현상은 Fig. 2-(c)와 같이 x_i 가 100인 중간 용양의 피어들이 지원하는 자식 피어의 수에서도 볼 수 있다. CO의 경우 99% 이상의 피어들의 N_{cp} 는 6인 반면 제안 기법의 경우 99% 이상의 피어들의 N_{cp} 는 8로서 제안 기법을 적용한 경우 중간 용양의 피어들이 지원하는 자식 피어의 수가 더 많다.

N_{cp} 측면에서 비교해 보면 HO의 경우 피어의 용양과 무관하게 일정한 수의 자식 피어를 지원하는 반면 CO와 제안 기법은 피어의 용양별로 지원하는 자식 피어의 수가 다르다. 예를 들어 CO와 제안 기법의 경우 x_i 가 10인 피어들의 95% 이상이 모두 1.5개의 자식 피어를 지원하는 반면 HO 기법의 경우 3개의 자식 피어를 지원하고 있다. 동일 환경에서 x_i 가 1000인 피어들의 95%가 CO의 경우 12개, 제안 기법의 경우 13개의 자식 피어를 지원하는 반면 HO의 경우 x_i 가 10인 경우와 동일하게 3개의 자식 피어를 지원하고 있다.

이와 같은 결과를 보면 제안 기법은 RW, CO, HO에 비해 용양이 큰 피어들이 보다 많은 자식 피어를 지원하므로 각 피어의 평균 데이터 수신율을 향상시킬 수 있으며 타 기법에 비해 피어의 N_h 를 작게 유지하므로 소스로부터 피어로 전달되는 데이터의 전송 시간을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4 결론 및 추후연구

본 논문에서는 확장성 있는 P2P 서비스 지원을 위한 효율적인 피어선택 기법을 제안하였다. 제안 기법은 피어가 관리하는 이웃 노드 정보를 이용하므로 토폴로지 관리 부하를 분산시키며 자가 구성적이기 때문에 확장성이 우수하다. 또한 제안기법은 참여 피어의 이질성과 피어와 데이터 소스 사이의 흡수를 고려하기 때문에 타 기법에 비해 P2P 네트워크의 지름을 작게 만들며 고용량 피어가 다수의 저용량 피어를 지원하므로 P2P 네트워크 자원을 효율적으로 이용한다. 본 연구의 추후연구로 제안한 토폴로지 구성 기법이 피어가 원하는 데이터를 수신하는데 필요한 지연 시간과 같은 사용자 QoS에 미치는 영향을 분석하는 것이 필요하다. 또한 피어별 공정성과 사용자 QoS를 향상을 동시에 고려한 P2P 시스템 자원 할당 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D. K. Vassilakis, and V. Vassalos, "Modeling Real P2P Networks: The Effect of Altruism," in *Proceedings of the IEEE P2P Computing*, Galway, 2007, pp.19-26.
- [2] N. Liu, Z. Wen, K. L. Yeung, and Zhibin Lei, "Request-Peer Selection for Load-Balancing in P2P Live Streaming Systems," in *Proceedings of the IEEE WCNC*, Istanbul, 2012, pp.3227-3232.
- [3] N. Magharei, and R. Rejaie, "PRIME: Peer-to-Peer Receiver-Driven Mesh-Basae Streaming," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.17, No.4, pp.1052-1065, Aug., 2009.
- [4] M. Guo, and M. Ammar, "Scalable Live Video Streaming to Cooperative Clients using Time Shifing and Video Patching," in *Proceedings of the IEEE Infocom*, Hong Kong, 2004, pp. 1501-1511.
- [5] K.-W. Kwang, and D. H. K. Tsang, "Building Heterogeneous Peer-to-Peer Networks: Protocol and Analysis," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.16, No.2, pp.281-292, Apr., 2008.
- [6] A. Brocco, F. Frapolli, and B. Hirsbrunner, "Bounded Diameter Overlay Construction: A Self Organized Approach," in *Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, Nashville, 2009, pp.114-121.
- [7] M. Dorigo, and L. M. Gambardella, "Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.1, No.1, pp.53-66, April, 1997.



박재성

e-mail : jaesungpark@suwon.ac.kr

1995년 연세대학교 전자공학과(학사)

1997년 연세대학교 전자공학과(석사)

2001년 연세대학교 전기,전자공학과(Ph.D)

2001년~2002년 University of Minnesota at Twin City (PostDoc.)

2002년~2005년 LG전자 선임연구원

2005년~현 재 수원대학교 정보보호학과 부교수

관심분야: 네트워크 성능 분석 및 프로토콜 개발