

모바일 애드혹 네트워크 환경에서 이기적인 노드를 고려한 데이터 복제본 할당 기법*

심규선, 정다운, 류병걸, 이상근
고려대학교 정보통신대학 컴퓨터통신공학부
e-mail:{bluesks, daounjung, smart123, yalphy}@korea.ac.kr

Replica Allocation with Selfish Node over Mobile Ad Hoc Networks

Kyu-Sun Shim, Daoun Jung, Byung-Gul Ryu, SangKeun Lee
Division of Computer and Communication Engineering, Korea University

요 약

모바일 네트워크에서는 모바일 노드의 이동성으로 인하여 네트워크가 빈번하게 분리되며, 이로 인해 데이터 접근성이 낮아지는 문제가 발생한다. 기존 연구에서는 이러한 문제 해결하기 위해 다양한 복제본 할당 기법이 연구되었다. 그러나 지금까지 연구된 복제본 할당기법들은 모바일 애드혹 네트워크 환경의 제한된 자원으로 인한 노드들의 이기적인 행동에 대해 고려하지 않았다. 본 논문은 모바일 애드혹 네트워크 상의 이기적인 노드들을 검출하기 위해 이진결정 기법과 레벨화 기법을 제안하고, 이를 통해, 이기적인 노드들의 영향을 최소화하는 기법을 제안하고자 한다. 실험 결과는 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 모바일 애드혹 네트워크 내에 이기적인 노드들이 있는 환경에서 데이터 접근성이 향상됨을 보여준다.

1. 서론

최근 모바일 장비와 무선 통신기술의 급속한 발달로 인하여 모바일 애드혹 네트워크 관련 기술에 대한 관심이 급속히 증가하고 있다 [1]. 모바일 애드혹 네트워크 (Mobile ad-hoc network)란 별도의 기반 시설없이 모바일 노드들이 무선 링크를 통해 네트워크를 자율적으로 구성 및 유지하여 정보를 전달할 수 있도록 하는 네트워크를 말한다.

모바일 애드혹 네트워크에서는 모바일 노드들이 무선 인터페이스를 통해 호스트와 라우터 역할을 동시에 수행하고, 멀티 홉 라우팅 기능에 의해 무선 인터페이스가 가지는 통신 거리상의 제약은 극복한다. 또한, 모바일 노드의 이동성으로 인해 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화되는 특징이 있다. 이러한 특징으로 인해 모바일 노드 간 연결은 빈번하게 끊길 수 있다. 즉, 하나의 네트워크가 모바일 노드의 이동에 따라 다수의 네트워크로 분할되기 쉽고, 분할된 네트워크 간에는 데이터 전송이 이루어질 수 없다. 그 결과, 모바일 애드혹 네트워크는 고정 네트워크에 비해 데이터 접근성 (Data accessibility)이 현저하게 떨어진다는 문제점이 있다 [2].

모바일 애드혹 네트워크에서는 데이터 접근성을 향상시키는 문제는 중요한 이슈 중 하나이며, 문제를 해결하기 위한 다양한 접근법들이 제안되어 왔다 [2][3][4]. 다양한 접근법들 중 하나가 바로 데이터 복제본 할당 기법이다. 데이

터 복제본 할당 기법은, 동일 네트워크 내의 노드들이 네트워크 분할 전 미리 원본 데이터의 복제본을 생성하여 공유함으로써 데이터의 접근성을 개선하려는 기법이다.

모바일 노드들은 자원이 제한되어 있으므로 자신의 자원을 다른 노드들을 위해 사용하기보다 자신의 이익을 위해서 사용하고자 하는 이기적인 성향을 보일 수 있다 [5]. 다른 호스트들과 데이터를 공유하는 대부분의 P2P (Peer-to-Peer) 시스템의 경우 70%에 가까운 호스트들이 데이터를 받기만 할 뿐, 자신의 데이터를 다른 호스트들에게 제공하지 않는다 [6]. 이런 현상은 모바일 애드혹 네트워크에서도 나타날 수 있으며, 자원 제한적인 모바일 노드들은 자신이 위치한 네트워크 내의 다른 노드들의 자원을 이용하여 자원을 절약하고자 할 수 있다.

이기적인 노드들은 데이터 접근성 개선을 위해 데이터 복제본 할당 과정을 수행한 후 할당되는 데이터 복제본이라도 자신에게 불필요한 경우 저장하지 않을 수 있다. 기존의 데이터 복제본 할당 기법들은 이기적인 노드들에 의한 악영향을 고려하지 않고 있다. 즉, 기존의 데이터 복제본 할당 기법들은 이기적이지 않은 노드로만 구성된 모바일 애드혹 네트워크를 가정하고 있다. 따라서 기존의 기법들은 이기적인 노드들에 의해 발생하는 모바일 애드혹 네트워크의 데이터 접근성이 낮아지는 문제에 대한 해결책을 제시하지 못하고 있다.

본 논문에서는 모바일 애드혹 네트워크에서 시스템 성능을 저해하는 이기적인 노드들을 검출하는 기법인 이진결정 기법과 레벨화 기법을 제안한다. 이기적인 노드를 제거

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0077925)

하게 되면 이기적인 노드로 인해 발생하는 데이터 접근성 저하를 최소화 시킬 수 있기 때문에 데이터 접근성을 향상시킬 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안하는 기법을 설명하며, 3장에서는 실험을 통해 본 논문에서 제안한 기법의 성능 향상을 증명하고, 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 제안 기법

2.1 노드의 이기적인 정도 측정기법

본 논문에서는 모바일 애드혹 네트워크에서 데이터 접근성을 향상시키기 위하여 이기적인 노드들을 검출하는 기법을 제안한다. 이기적인 노드를 검출하기 위해서는 먼저 한 노드가 다른 노드들의 이기적인 정도를 측정하여야 한다. 이기적인 정도를 측정하는 방법은 아래의 식 (1)과 같다.

$$SV_i^k = \frac{Rp_i^k}{Rq_i^k} \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 SV_i^k 는 노드 N_i 가 측정된 노드 N_k 의 이기적인 정도를 나타낸다. Rq_i^k 는 데이터 복제본 할당된 후 노드 N_i 가 노드 N_k 에게 노드 N_k 가 가지고 있을 것이라고 예상되는 데이터를 요청한 쿼리의 개수이다. Rp_i^k 는 노드 N_k 가 가지고 있을 것이라고 예상되는 데이터를 노드 N_i 가 노드 N_k 에게 요청하였을 때 응답하지 못한 횟수이다. 데이터 복제본 할당 과정을 수행한 후 각 노드들은 할당된 데이터 복제본을 가지고 있어야 하지만, 노드의 이기성으로 인하여 할당받은 데이터를 가지고 있지 않은 경우를 식 (1)을 통하여 이기성의 정도를 측정할 수 있다. 식 (1)은 데이터 복제본 할당 과정을 모두 수행한 후, 쿼리 처리 과정에서 각각의 노드가 측정한다.

2.2 이기적인 노드의 검출 기법

본 논문에서는 쿼리 처리 과정에서 노드가 다른 노드들의 이기적인 정도를 측정된 후, 그 결과에 따라 이기적인 노드를 검출하는 기법들을 제안한다. 제안하는 기법은 이진결정 기법과 레벨화 기법이다.

- 1) **이진결정 기법** : 이진결정 기법은 각 노드들이 측정된 이기적인 정도에 따라 다른 노드를 이기적인 노드 또는 이기적이지 않은 노드로 결정하게 된다. 노드 N_i 가 측정된 노드 N_k 의 이기적인 정도인 SV_i^k 가 임계값 (Δ)보다 크면 이기적인 노드로 검출하고, 작으면 이기적이지 않은 노드로 판별을 한다. 각 노드들은 자신이 검출한 이기적인 노드를 독립적으로 유지한다. 데이터 복제본 할당 과정을 수행할 때는 데이터 복제본 할당 그룹 내 노드들이 모두 이기적인 노드로 검출하였을 때만 데이터 복제본 할당 과정에서 제외하고, 이기적이지 않은 노드들만 데이터 복제본을 할당받는다.
- 2) **레벨화 기법** : 레벨화 기법은 측정된 결과 값에 따라

레벨	의미	설명
0	이기적이지 않은 노드 (Non-Selfish node)	저장소를 할당받은 데이터 복제본을 가지기 위해 사용함
1	부분적으로 이기적인 노드 (Partially selfish node)	저장소를 부분적으로 할당받은 데이터 복제본을 가지기 위해 사용함
2	완전히 이기적인 노드 (fully Selfish node)	저장소를 자신이 자주 접근하는 데이터를 가지기 위해 사용함

<표 1> 이기적인 노드 레벨
이기적인 노드를 표 1과 같이 분류한다. 레벨화 기법은 데이터 복제본 할당을 위한 그룹이 형성되었을 때 그룹 내의 노드들이 측정된 이기적인 정도의 평균을 이용하여 노드의 이기적인 노드 레벨을 나눈다. 즉, 그룹 내의 노드 N_k 에 대한 레벨은 아래 식 (2)와 같이 N_k 를 제외한 그룹 G 내의 n개의 노드들이 측정된 N_k 의 이기적인 정도의 평균값을 이용하여 분류한다.

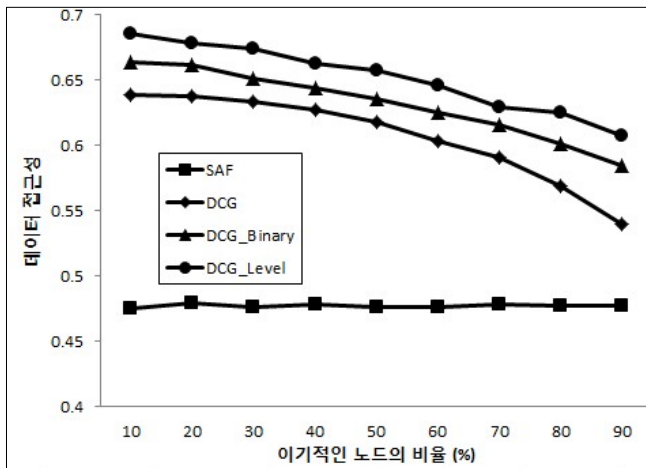
$$GSV_k = \frac{\sum_{N_i \in G} SV_i^k}{n} \quad (\text{단, } i \neq k) \dots\dots (2)$$

식 (2)를 통해 측정된 N_k 에 대한 GSV_k 는 그룹의 레벨 임계값을 기준으로 레벨 0에서 레벨 2로 나누어진다. 레벨 0은 이기적이지 않은 노드로 할당받은 데이터 복제본을 가지고 있을 확률이 가장 높기 때문에 데이터 복제본을 할당할 때 가장 우선 고려하여 할당된다. 레벨 1은 부분적으로 이기적인 노드들로서 자신의 데이터 저장소를 부분적으로 이기적으로 사용한다. 그렇기 때문에 먼저 레벨 0 노드들에게 모두 할당한 후 레벨 1 노드들에게 데이터 복제본을 할당한다. 레벨 2 노드들은 저장소를 자신의 이익을 위해서만 사용하는 노드들이기 때문에 데이터 복제본 할당 과정에서 제외된다.

이진결정 기법을 사용하면 이기적인 노드를 엄격하게 검출할 수 있는 장점이 있지만, 검출이 잘못되어 이기적이지 않은 노드가 이기적인 노드들로 검출되는 경우도 생길 수 있으며, 또한 부분적으로 이기적인 노드들을 복제본 할당에 활용하지 못하는 단점이 생긴다. 레벨화를 이용한 검출 기법은 이기적인 노드를 검출은 이진결정 기법에 비해 엄격하진 않고, 부분적으로 이기적인 노드들의 저장소를 활용하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다.

3. 성능평가

본 논문의 성능을 평가하기 위한 실험 환경은 기존 연구인 [2]와 유사하게 설정하였다. 50 * 50의 크기의 공간에 40개의 모바일 노드를 랜덤하게 배치하였으며, 자유롭게 이동할 수 있도록 하였다. 노드는 40개이며, 데이터 도 40개로 설정하였다. 각 모바일 노드 N_i 는 데이터 D_i 를 원본 데이터로 가진다. 또한 모바일 노드는 최대 10개의 데이터를 가질 수 있으며, 노드의 통신 범위는 반경 7로 설정하였다. 각 데이터의 접근 빈도는 [2]와 동일하게 설정하였으며, 데이



(그림 1) 이기적인 노드의 비율에 따른 데이터 접근성 성능은 고려하지 않았다. 실험에서 이기적인 노드들의 25%는 완전히 이기적으로 행동을 하며, 나머지 이기적인 노드들은 부분적으로 이기적인 노드로서 자신의 저장소를 각각 25%, 50%, 75%를 자신의 이익을 위해 사용한다고 설정하였다.

본 논문에서는 성능 비교를 위하여 SAF, DCG, DCG_Binary, DCG_Level을 비교하였다.

- **SAF**는 기존 연구 [2]에서 제안한 기법으로 모든 노드가 자신의 접근 빈도에 따라 데이터 복제본을 할당하는 기법으로 모든 노드가 완전히 이기적인 노드와 같이 행동한다.
- **DCG**는 노드들이 이중연결 (Bi-connected)된 노드들로 그룹을 형성한 후, 그룹 내에서 데이터 중복이 발생하지 않도록 할당하는 기법이다.
- **DCG_Binary**는 DCG 기법과 본 연구에서 제안한 이진결정 기법을 결합하여 이기적인 노드를 검출한 후 데이터 복제본을 할당하는 기법이다.
- **DCG_Level**은 DCG 기법과 본 연구에서 제안한 레벨화 기법을 결합하여 그룹 내에 포함된 노드를 레벨화 한 후 데이터 복제본을 할당하는 기법이다.

그림 1은 모바일 애드혹 네트워크의 이기적인 노드 비율에 따른 데이터 접근성을 보여준다. SAF는 모든 노드가 다른 노드와 협력하지 않고 자신의 접근 빈도만 고려하기 때문에 이기적인 노드의 비율에 영향을 받지 않는다. 하지만 DCG, DCG_Binary, DCG_Level은 이기적인 노드가 모바일 애드혹 네트워크 내에 비율이 많아질수록 데이터 접근성이 떨어지는데, 이는 이기적인 노드가 할당받은 데이터 복제본을 가지고 있지 않기 때문에 떨어지는 현상이다. 성능은 DCG_Level이 가장 좋은 성능을 보인다. 그 이유는 부분적으로 이기적인 노드들을 이진 결정에 따르지 않고 레벨화를 함으로써 데이터 복제본 할당에 활용을 하였기 때문이다. DCG_Binary는 부분적으로 이기적인 노드들도 이기적인 노드들로 검출하여 데이터 복제본 할당을 하지 않아 활용하지 못하기 때문에 DCG_Level보다 성능이 떨어진다. DCG는 이기적인 노드들을 제외하지 않았고 이기적인 노드들이 자신에게 할당된 데이터 복제본을 가지고 있지 않기 때문에 성능이 떨어진다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 모바일 애드혹 네트워크 환경에서 이기적인 노드에 의해서 생길 수 있는 데이터 접근성 저하를 최소화하기 위해 이기적인 노드를 검출할 수 있는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 이진결정 기법과 레벨화 기법이다. 실험 결과, 이기적인 노드를 검출하지 않는 기법과 비교하여 제안하는 기법의 데이터 접근성이 10~15% 가량 증가하였다.

향후에 확률론에 기반한 이기적인 노드 검출 방법과 레벨링 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] T. Hara and S. K. Madria. "Data replication for improving data accessibility in ad hoc networks", IEEE TMC, 5(11): 1515-1532, 2006
- [2] T. Hara. "Effective replica allocation in ad hoc networks for improving data accessibility" In Proceedings of IEEE INFOCOM, pages 1568-1576, 2001
- [3] G. Karumanchi, S. Muralidharan, and R. Prakash. "Information dissemination in partitionable mobile ad hoc networks" In Proceedings of IEEE SRDS, pages 4-13, 1999
- [4] J. Luo, J.-P. Hubaux, and P. T. Eugster. "PAN: providing reliable storage in mobile ad hoc networks with probabilistic quorum systems" In Proceedings of MobiHoc, pages 1-12, 2003.
- [5] D. Hales, "From Selfish Nodes to Cooperative Networks - Emergent Link-Based Incentives in Peer-to-Peer Networks," In Proceedings of IEEE P2P, pages 151-158, 2004
- [6] E. Adar and B. A. Huberman. "Free riding on Gnutella", First Monday, 5(10):1-22, 2000