

모바일 에드혹 네트워크에서 적극적 협업 캐싱 시스템

김백현* 우요섭**¹, 김익수**²

Aggressive Cooperative Caching Scheme in Mobile Ad Hoc Networks

Backhyun Kim*, Yoseop Woo**¹, and Iksoo Kim**²

이 논문은 인천대학교 2018년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

요 약

에드혹 네트워크는 통신 인프라의 지원 없이 노드들만으로 구성된 자율 네트워크로 통신 인프라가 지원되지 않는 상황에서 훌륭한 통신기법이다. 모바일 에드혹 네트워크에서 멀티미디어 서비스는 노드의 가용 시간을 감소시키기 때문에 효율적인 전송 기법을 필요로 한다. 협업적 캐싱은 콘텐츠 파일을 네트워크의 복수 노드에 분산 저장하여 효과적인 파일 캐시를 형성하도록 하는 방식이다. 본 논문에서는 전송중인 콘텐츠 파일을 경로 노드와 이들에 인접한 이웃 노드들에서 캐싱하는 적극적 협업 캐싱 기법을 제안한다. 전송 경로는 노드의 이동으로 인하여 동적으로 변화하기 때문에 캐싱을 수행하는 노드들 또한 동적으로 변화한다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 적극적 협업 캐싱 기법은 전송 채널 수는 36% 정도로 감소되며 67% 정도의 캐시 적중률을 보여 노드 에너지 및 전송 채널의 효율적 사용을 가능하게 하는 대안적 기법이 될 수 있을 것이다.

Abstract

An ad-hoc network is an autonomous network composed of only nodes without the support of communication infrastructure. This network can be a good communication alternative in many situations where the communication infrastructure is not supported. Increasing demand for multimedia content requires high-speed and high-capacity communication technologies. Multimedia services in mobile ad-hoc networks with limited energy and communication performance require efficient transmission techniques because they reduce the available time of the nodes. Cooperative caching is a scheme to distribute content files across multiple nodes in a network to form an effective file cache. In this paper, we propose an aggressive cooperative caching scheme for caching content files in the path node and neighbor nodes adjacent to them. Since the transmission path changes dynamically due to the movement of nodes, the nodes performing caching also change dynamically. From the simulation results, the proposed caching scheme reduces the number of transport channels to 36% and shows a cache hit ratio of 67%. Therefore, the aggressive cooperative scheme can be an alternative technique that enables efficient use of node energy and transmission channel in mobile ad-hoc network environment.

Keywords

ad-hoc network, connected vehicle communication network, multicast, smart access point, pedestrian safety, cooperative caching

* 인천대학교 기초교육원 교수
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0483-3777>
** 인천대학교 정보통신공학과 교수(**교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0003-3793-6948>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-0982-4351>

· Received: Oct. 04, 2019, Revised: Oct. 21, 2019, Accepted: Oct. 24, 2019
· Corresponding Author: Iksoo Kim
Dept. of Information and Telecommunication Eng. Incheon National University, Incheon, Korea,
Tel.: +82-32-835-8281, Email: iskim@inu.ac.kr

I. 서 론

Giga bps 이상의 전송 속도를 지원하는 5세대 이동통신 기술은 대용량 콘텐츠의 서비스를 더욱 가속화시킬 것이다[1]. IaaS, PaaS, SaaS를 제공하는 클라우드 컴퓨팅은 IT 자원의 설치, 유지, 보수 등을 위한 비용, 인력, 시간 등을 감소시킬 수 있다[2][3]. 사람과 사람 사이의 연결을 넘어 사람과 사물, 사물과 사물 사이의 능동적인 연결을 통한 가치 창출을 지향하는 사물 인터넷(IoT, Internet of Things)에서 노드들 사이의 능동적이고 지속적인 연결을 통해 수많은 데이터가 생성되며, 효율적인 처리를 통하여 다양한 서비스를 창출할 수 있다[4]. 이러한 연결 지향적 서비스들은 필연적으로 신뢰성 있는 IT 자원을 요구한다. 그러나 이러한 자원들은 설치하는데 많은 시간과 비용이 필요하며 장애가 발생할 경우 서비스 자체가 단절되는 심각한 문제점을 가지고 있다.

자동차 산업 분야는 환경 문제로 인하여 하이브리드 자동차나 전기 자동차로 빠르게 변화하고 있다. 화석 연료를 사용하는 자동차와는 다르게 전기를 동력원으로 사용하는 자동차는 소음이 상대적으로 적다. 스마트 폰의 보급으로 인하여 사용자들이 이동 중 주변 환경을 인지하기 보다는 스마트 기기에 집중하는 경향이 있다. 따라서 전기 자동차의 적은 소음은 보행자들이 이들의 존재를 인지하는 것을 어렵게 만든다. 좁은 골목길은 도로에 주차된 자동차, 적치물, 건물, 담장 등으로 인하여 운전자나 보행자가 서로의 존재를 인지하기 어렵게 만든다. 서로의 존재를 인지하지 못하는 이러한 상황에서 자동차나 보행자의 통신 기기를 에드혹 네트워크 방식으로 연결하고 정보를 교환하면 사고의 위험성을 감소시킬 수 있을 것이다.

고품질의 멀티미디어 콘텐츠는 전송에 많은 시간과 대역폭을 필요로 하며 등시적(Isochronous) 특징을 가진다. 그러므로 멀티미디어 콘텐츠에 대한 노드와 네트워크에서의 처리 방식은 주요한 과제이다. 멀티미디어 콘텐츠의 시간에 대한 의존성과 연속성은 효율적인 처리방식을 위한 요구 조건이라 할 수 있다. 이를 위한 전송 매체는 고속 전송 지원, 유연

한 확장성, 멀티미디어 콘텐츠의 등시성 보장 등을 지원할 수 있어야 한다.

에드혹 네트워크(Ad-hoc networks)는 통신 인프라의 설치 없이 장치들 사이에서 독자적인 통신망의 구축이 가능한 자율 네트워크이다[5][6]. 통신 인프라와 비교하여 에드혹 네트워크는 가용 에너지 및 전송 대역폭 등은 상대적은 낮다. 동일한 콘텐츠에 대한 요청 빈도가 높은 경우 해당 콘텐츠를 제공하는 노드는 중복적인 전송으로 인하여 에너지 사용량이 증가하여 가용시간이 크게 감소된다. 또한 동일 콘텐츠의 중복적인 전송은 전송 대역폭을 크게 잠식하여 네트워크 가용성을 감소시킨다. 그러므로 멀티캐스트 전송 기법이나 캐싱 기법 등을 사용하여 이를 해결하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문은 모바일 에드혹 네트워크에서 멀티미디어 콘텐츠의 효율적 전송을 위한 적극적 협업 캐싱 기법을 제안한다. 캐싱은 전송 경로를 구성하는 노드들과 지정된 특정 노드의 이웃 노드들에서만 수행된다. 캐싱 기법은 네트워크 토폴로지의 동적 변화에 기인한 서비스의 지연이나 단절 현상을 감소시킬 수 있다. 캐싱을 수행하는 노드는 콘텐츠 전체가 아니라 정의된 시간 크기의 세그먼트 단위로 해당 멀티미디어를 저장한다. 이것은 서비스 요청을 노드들 사이에 분산시키기 때문에 노드 가용 시간과 전송 대역폭의 사용 효율을 증가시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련연구에 대하여 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적극적 협업 캐싱 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 제안된 기법을 요청률과 노드 최대 이동 속도에 대한 캐시 적중률 측면에서의 성능 평가에 대해 논한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

에드혹 네트워크는 통신 인프라의 설치 없이 장치들 사이에서 독자적인 통신망의 구축이 가능한 자율 네트워크이다. 에드혹 네트워크는 노드들만으로 독립적으로 구성될 수도 있으며 AP나 게이트웨이 등을 통하여 인터넷과 같은 통신 인프라와 연결될 수도 있다. 노드들은 무선 전송 방식을 사용하여

전송범위 내에 위치하는 다른 노드와 링크를 설정하며 멀티홉(Multi-hop) 방식을 사용하여 전송 범위 밖에 위치하는 노드들과 연결된다. 이러한 특징으로 인하여 에드혹 네트워크는 사물 인터넷(IoT), 만물 인터넷(IoE, Internet of Everything)에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 모바일 에드혹 네트워크(MANETs, Mobile Ad-hoc NETWORKs)는 노드의 이동성을 보장하는 에드혹 네트워크이다[5][6]. MANETs은 노드의 이동성으로 인하여 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 특징을 가진다. MANETs에서 노드는 전송에 관련된 모든 역할을 수행하여야 하기 때문에 제한된 에너지를 효율적으로 사용하도록 하는 기법을 필요로 한다. 차량 통신 네트워크(CVCN, Connected Vehicle Communication Network)과 차량 에드혹 네트워크(VANETs, Vehicular Ad-hoc NETWORKs)는 자동차들 사이에서 구축된 네트워크이다[2][7]. CVCN은 에드혹 네트워크와 동일하게 자동차들만으로 구성될 수도 있으며 통신 인프라와 연결(V2I, Vehicle to Infrastructure)될 수도 있으며 만물과 연결(V2X, Vehicle to Everything)될 수도 있다.

모바일 에드혹 네트워크는 노드의 이동성을 보장하기 때문에 네트워크 토폴로지는 시간에 따라 동적으로 변화한다[8]. 멀티미디어 콘텐츠는 장시간 동안 전송이 발생하기 때문에 노드 사이의 경로를 지속적으로 탐색하고 설정하고 관리하여야 한다[9]-[11]. 라우팅 과정을 매시간 수행하여 최적의 경로를 유지하는 방식과 요청이 발생하는 경우에만 라우팅 과정을 수행하는 방식이 있다. 전자는 경로 설정 과정 없이 요청에 대한 처리 과정이 진행되기 때문에 서비스 지연이 발생하지 않지만 매시간 라우팅 수행으로 인한 노드와 전송대역폭의 부하기 증가하게 된다. 후자는 요청이 발생했을 때 처리 과정이 수행되기 때문에 실제 서비스가 제공되기까지는 시간 지연이 발생하지만 불필요한 라우팅 과정을 수행하지 않기 때문에 노드와 전송대역폭의 부하는 전자와 비교하여 상대적으로 감소한다.

캐싱은 차후에 사용될 것으로 예측되는 콘텐츠를 미리 저장하여 요청된 서비스가 빠르게 제공될 수 있도록 하는 기법이다[12]-[14]. 이를 위하여 어떠한 콘텐츠를 어느 장소에 저장하여야 하는가는 캐싱 성능을 결정하는 중요한 요소가 된다. 캐싱된

콘텐츠가 요청 노드와 가까운 노드에 위치할수록 서비스 지연이 감소된다. 시간 t 에서 요청 노드와 캐싱 노드 사이의 거리를 $H(t)$ 라고 하자. 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 MANETs에서는 시간 t 에서 요청 노드와 캐싱 노드 사이의 거리가 $H(t) = n$ 이라면 시간 $t + \Delta t$ 에서는 $H(t + \Delta t) > n$ 일 수 있다. 그러므로 특정 노드를 지정하여 캐싱을 수행하도록 하는 방식은 효율성을 기대하기 어렵다. 통신 인프라와 비교하여 상대적으로 저성능을 가지는 MANETs의 특성상 대용량의 멀티미디어 콘텐츠를 노드들 사이에 분산 저장하여 제공하는 것이 효율적이다. 캐싱 노드들이 네트워크에 균등하게 분포되어 일정한 수준의 캐싱 성능을 제공하도록 한다. 이 방식은 노드의 이동으로 인하여 분포 특성이 가변적이기 때문에 지속적으로 새로운 캐싱 노드들을 선택하여 특성이 유지되도록 한다. 그러나 캐싱 노드를 선택하기 위한 처리 과정을 위한 노드의 부하 및 전송 대역폭 사용량이 증가한다.

노드는 서버와는 다르게 저장 용량이 상대적으로 적다. 그러므로 저장 공간의 용량을 초과하여 캐싱을 수행하기 위해서는 이전에 저장된 콘텐츠를 삭제하여 공간을 확보하여야 한다. 캐시 교체 알고리즘은 사용 빈도수를 기준으로 하는 LFU(Least Frequently Used) 기법과 사용된 시간을 기준으로 하는 LRU(Least Recently Used) 기법이 널리 사용된다[15]. LFU 방식은 요청수가 적은 순으로 콘텐츠를 삭제하기 때문에 신규 콘텐츠의 인기도를 반영하는데 문제가 발생할 수 있으며 빈도수를 계산과 저장을 위한 오버헤드가 발생한다. LRU 기법은 요청간이 가장 오래된 순으로 삭제하기 때문에 최신 요청 패턴에 효율적인 대처가 가능하며 LFU와 비교하여 상대적으로 구현이 용이하다.

III. 적극적 협업 캐싱 기법

본 논문은 모바일 에드혹 네트워크에서 노드 가용 시간 및 전송 대역폭 사용 효율을 증가시키기 위한 캐싱 기법을 제안한다. 캐싱 노드는 라우팅 단계에서 선택되기 때문에 추가적인 과정을 필요로 하지 않는다. 노드의 이동으로 인한 네트워크 토폴로지의 변경으로 인하여 캐싱을 수행하는 노드들은

동적으로 선택된다. 이로 인하여 콘텐츠는 특정 노드에 저장되는 것이 아니라 다수의 노드에 분산 저장되고 제공되기 때문에 노드의 부하를 감소시킬 수 있다. 요청된 콘텐츠는 해당 콘텐츠를 저장하고 있는 노드로부터 요청 노드까지 멀티홉 방식으로 전송된다. 이 과정에서 전송 경로를 구성하는 노드들은 부모 노드로부터 수신된 콘텐츠를 자식 노드로 포워딩한다. 그러므로 경로 노드들은 별도의 처리과정 없이 콘텐츠를 수신하게 된다. 이러한 수신 콘텐츠를 캐싱하여 차후에 발생하는 서비스 요청에 제공하도록 한다. 경로 노드가 캐싱을 수행하는 것을 경로 캐싱(Path caching)이라 한다.

그림 1은 시간 t_0 에서의 네트워크 토폴로지의 예이다. 19개의 노드가 위치하며 실선은 라우팅이 수행된 후 노드 F로 설정된 전송 경로를 나타내며 점선은 전송범위 내에 위치하는 이웃노드와의 링크를 보여준다. 순간 t_0 에서 노드 K가 노드 F에 저장된 멀티미디어 콘텐츠의 첫 번째 세그먼트를 MC(i)를 요청한다고 가정하자. 콘텐츠 MC(i)에 대한 요청이 최초로 발생된 것이라면 네트워크에 위치하는 어떤 노드도 이를 캐싱하고 있지 않는다. 따라서 노드 K의 요청은 경로 노드 {C, A}를 거쳐 노드 F로 전달된다. 콘텐츠 MC(i)는 요청이 전달된 역경로를 따라 노드 K로 전달된다. 노드 {A, C}는 라우터 역할을 수행하며 부모 노드로부터 수신된 MC(i)를 노드 K로 향하는 자식 노드에게 전달한다. 이 과정에서 노드 {A, C}는 MC(i)를 차후에 발생할 서비스에 사용하기 위하여 경로 캐싱한다. 따라서 MC(i)는 전송 과정에서 노드 {A, C, K}에 저장된다.

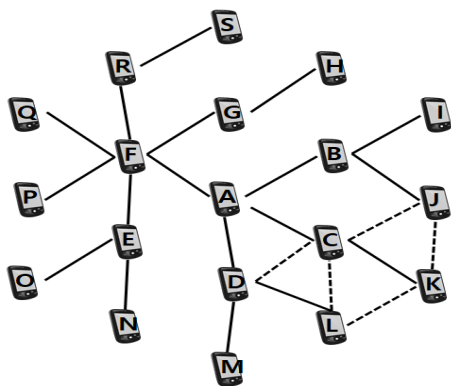


그림 1. 시간 t_0 에서 네트워크 위상의 예
Fig. 1. An example of network topology at time t_0

적극적 캐싱은 노드가 자신의 서비스 요청 여부와는 상관없이 수신되는 모든 콘텐츠를 저장하는 기법이다. MANETs은 무선 전송 방식의 브로드캐스트 특성으로 인하여 노드는 자신과 직접적으로 연결 가능한 즉, 무선 전송 범위 내에 위치하는 노드들의 전송 콘텐츠를 수신할 수 있다. 노드 F가 노드 K를 위해 자식 노드인 노드 A로 전송하는 MC(i)는 노드 F의 이웃 노드 {E, G, P, Q, R}이 수신하여 캐싱한다. 노드 A에 의해 노드 C로 전송되는 MC(i)는 노드 A의 이웃 노드 {B, D}가 캐싱한다. 노드 C에 의해 노드 K로 전송되는 MC(i)는 노드 C의 이웃 노드 {D, J, L}가 캐싱한다. 노드 D는 노드 A가 전송할 때 MC(i)를 이미 캐싱하였기 때문에 노드 C가 전송하는 MC(i)는 캐싱되지 않는다. 그러므로 적극적 캐싱 기법을 사용하는 경우 MC(i)는 노드 {A, B, C, D, E, G, J, K, L, P, Q, R}에 저장된다. 적극적 캐싱은 수신되는 모든 콘텐츠를 저장하기 때문에 서비스 요청 빈도가 증가할수록 캐시에 저장된 콘텐츠의 갱신 빈도가 증가한다. 적극적 캐싱이 수행되는 경로수를 제한하면 캐시 갱신 빈도를 감소시킬 수 있다. 만약 적극적 캐싱이 전송 경로 기준으로 0홉으로 제한되면 노드 F의 이웃노드들만이 적극적 캐싱을 수행하므로 MC(i)는 노드 {A, C, E, G, K, P, Q, R}에 캐싱된다. 1홉인 경우 MC(i)는 노드 {A, B, C, D, E, G, K, P, Q, R}에 캐싱된다. 2홉인 경우는 홉 제한을 두지 않는 적극적 캐싱과 동일하다.

대용량의 멀티미디어 콘텐츠는 장시간동안의 전송이 필요하다는 특성을 가진다. MANETs 네트워크 토폴로지의 동적인 변화는 전송 경로를 구성하는 노드들 또한 동적으로 변화시킨다. 라우팅이 Δt 시간마다 수행된다고 가정하자. 네트워크 토폴로지는 Δt 시간마다 동적으로 변경될 수 있다. 전송 경로는 최소 Δt 시간 동안 유지될 수 있기 때문에 해당 시간 크기의 멀티미디어 콘텐츠를 캐싱할 수 있다. 그러므로 본 연구는 멀티미디어 콘텐츠가 Δt 크기를 가지는 세그먼트들로 구성된다고 가정한다.

경로 노드가 될 확률을 $P(p)$ 요청 노드가 될 확률을 $P(r)$ 이라고 하자. 서버와 요청 노드사이의 노드 수가 $N(h)$ 라면 전송되는 콘텐츠 MC(i)가 노드에 경로 캐싱될 확률 $P_p(\text{MC}(i))$ 은 식 (1)과 같다.

$$P_p(MC(i)) = \sum_{i=1}^{N(h)} P(p) + P(r) \quad (1)$$

경로 노드와 인접하는 노드 수를 $N(a)$, 인접 노드가 될 확률을 $P(a)$ 라고 하자. 적극적 캐싱 기법이 사용되는 단계를 경로 노드 수 $N(h)$ 로 사용할 경우 인접 노드에 콘텐츠 $MC(i)$ 가 캐싱될 확률 $P_A(MC(i))$ 은 식 (2)와 같다.

$$P_A(MC(i)) = \bigcup_{i=1}^{N(h)+1} \left(\sum_{i=1}^{N(a)} P(a) \right) \quad (2)$$

그림 2는 시간 $t_0 + \Delta t$ 에서의 네트워크 토폴로지를 보여준다. 노드 K는 시간 t_0 에서 요청한 콘텐츠 $MC(i)$ 의 두 번째 세그먼트를 수신하기 시작한다. 이 세그먼트는 노드 {A, C, K}에서 경로 캐싱된다. 적극적 캐싱에서 $N(h)$ 가 0 이면 노드 {G, Q, R, S}, 1 이면 노드 {E, G, P, Q, R, S}, 2이면 노드 {D, E, G, P, Q, R, S}에 추가적으로 캐싱된다. 시간 t_0 에서 $MC(i)$ 의 첫 번째 세그먼트는 $N(h)$ 가 0, 1, 2인 경우 각각 노드 {A, C, E, G, K, P, Q, R}, 노드 {A, B, C, D, E, G, K, P, Q, R}, 노드 {A, B, C, D, E, G, J, K, L, P, Q, R}에 적극적 캐싱되었다. 실제 요청 노드 K를 제외한 나머지 캐싱 노드들이 시간 $t_0 + \Delta t$ 에서 $MC(i)$ 를 요청하는 경우 해당 콘텐츠 세그먼트가 자신의 캐시에 이미 저장되어 로컬 캐싱 적중이 발생하기 때문에 노드 F로 요청할 필요가 없다. 네트워크로 연결된 노드 수를 N 이라 할 때, 로컬 캐시 적중 확률 $P_L(MC(i))$ 는 식 (3)과 같다.

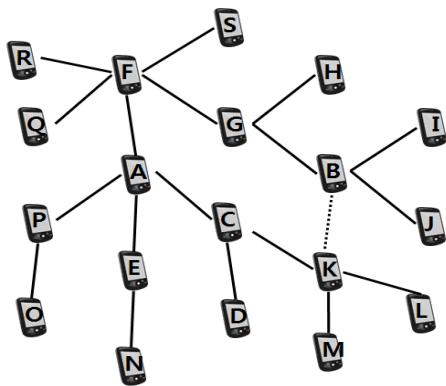


그림 2. 시간 $t_0 + \Delta t$ 에서 네트워크 위상의 예
Fig. 2. An example of network topology at time $t_0 + \Delta t$

$$P_L(MC(i)) = \frac{1}{N} (P_p(MC(i)) + P_A(MC(i))) = \frac{1}{N} \left(\bigcup_{i=1}^{N(h)+1} \left(\sum_{i=1}^{N(a)} P(a) \right) + \sum_{i=1}^{N(h)} P(p) + P(r) \right) \quad (3)$$

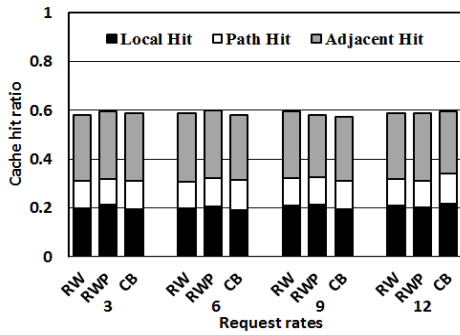
요청 노드로부터 콘텐츠를 저장하고 있는 노드까지의 경로 수를 $N(p)$, 각 경로 노드와 인접한 노드 수를 $N(a)$ 라 할 때 캐시 적중 확률 $P_C(MC(i))$ 은 식 (4)와 같다.

$$P_C(MC(i)) = \sum_{i=1}^{N(p)} P_L(MC(i)) + \bigcup \sum_{i=1}^{N(p)N(a)} P_L(MC(i)) \quad (4)$$

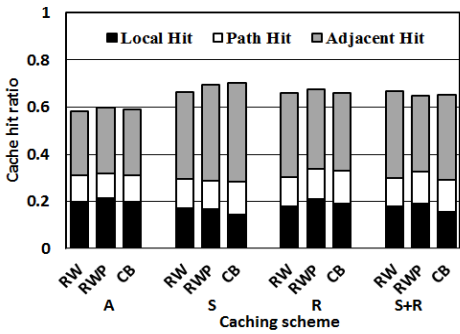
IV. 실험결과

제안된 협업적 캐싱 기법의 성능은 이동성 모델에 대한 캐시 적중률의 관점에서 평가 하였다. 경로 설정을 위한 라우팅 프로토콜은 DSDV를 사용하였으며 라우팅 수행간격은 1초이다[9][11]. 네트워크의 크기는 $800m \times 800m$ 이며 노드 수 N 은 100 이다. 30 초의 재생시간을 가지는 100개의 멀티미디어 콘텐츠 $MC(i)$ 가 제공되며 초당 재생율 SCBR은 1 Mbps 이며 세그먼트의 크기는 1 Mbits이다. 캐시 크기는 10개의 콘텐츠를 저장할 수 있는 300SCBR이다. 캐시 관리 알고리즘은 LRU(Least Recently Used)을 사용한다[15]. 각 노드의 전송 범위는 가우시안 분포를 사용하며 평균값은 150m이다. 0.85의 Skew factor 값을 가지는 Zipf's like distribution을 사용하여 멀티미디어 콘텐츠에 대한 요청률을 다르게 설정하였다 [14]. 분당 콘텐츠 요청률 λ 는 6이다. 노드 이동성은 RW(Random Walk), RWP(Random WayPoint), CB(Cell-Based mobility) 모델을 사용하여 정의 되었다[16]-[18]. 최대 이동 속도는 8 km/h 이며 정지시간은 5초이다. 시뮬레이션이 수행된 시간은 20000초이다.

초기상태에서 노드들은 네트워크의 임의의 좌표에 위치한다. 경로를 구성하는 노드들은 수신되는 콘텐츠를 무조건적으로 캐싱한다. 적극적 캐싱 기법은 경로 노드와 인접한 노드들에서 수행된다.



(a) 적극적 캐싱
(a) Aggressive caching

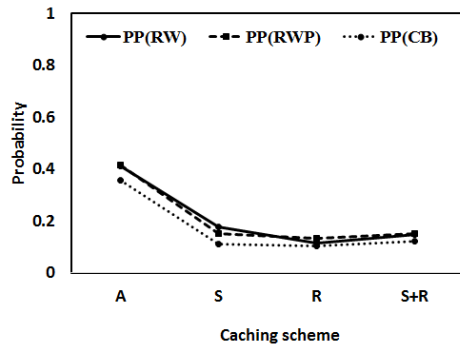


(b) 제한된 적극적 캐싱
(b) Restricted aggressive caching

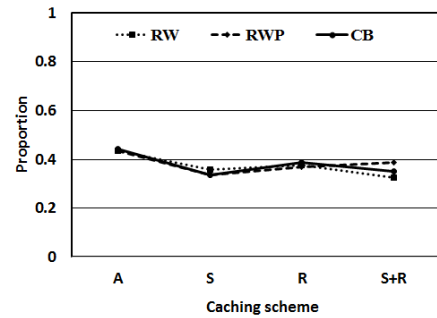
그림 3. 캐시 적중률
Fig. 3. Cache hit ratio

그림 3(a)은 분당 요청률 λ 가 3, 6, 9, 12일 때 이동성 모델 RW, RWP, CB에 대한 적극적 협업 캐싱 기법의 캐시 적중률을 보여주고 있다. Local hit은 요청 노드에서, Path hit은 경로 노드에서, Adjacent hit은 경로 노드의 이웃노드에서 캐시 적중이 발생함을 나타낸다. X 축에서 3, 6, 9, 12는 분당 요청률 λ 이다. 실험 결과로부터 적극적 협업 캐싱 기법의 경우 이동성 모델이나 요청율에 대하여 캐시 적중률의 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

그림 3(b)는 적극적 협업 캐싱 기법을 수행하는 노드를 제한한 경우의 캐시 적중률을 보여준다. A는 적극적 캐싱을, S는 그림 1의 노드 F와 같이 콘텐츠를 저장하는 노드를, R은 요청 노드를, S+R은 콘텐츠 노드와 요청 노드를 기준으로 적극적 협업 캐싱이 수행됨을 나타낸다. 무조건적인 적극적 캐싱과 비교하여 제한적인 캐싱 기법은 더 높은 캐시 적중률을 보인다. 이것은 캐시 크기가 제한적이므로 수신되는 모든 콘텐츠를 저장하는 무조건적 캐싱 기법은 캐시 갱신율이 상대적으로 크게 증가하기 때문이다.



(a) 캐싱 노드로 선택될 확률
(a) Probability of being selected as caching node



(b) 전송채널 수에 따른 비
(b) Ratio of the number of transmission channels

그림 4. 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation results

그림 4(a)는 이동성 모델과 적극적 협업 캐싱 기법에 대하여 캐싱 노드로 선택될 확률을 보여준다. 요청률 λ 는 6, 이동성 모델은 RWP 이다. 캐싱 노드는 경로 노드와 경로 노드에 인접한 이웃 노드들이다. 이동성 모델에 따라 약간의 차이가 발생하지만 캐싱을 사용하지 않는 경우와 비교하여 무조건적인 적극적 캐싱 기법(A)은 약 40% 정도의 전송 채널 수를 필요로 한다. 제한적인 적극적 캐싱 기법을 사용하는 경우 콘텐츠 노드(S), 요청 노드(R), 콘텐츠 노드와 요청 노드(S+R)에서 각각 15%, 12%, 14% 정도의 캐싱 노드 선택 확률을 보인다. 제한적 캐싱 기법은 무조건적 캐싱 기법과 비교하여 평균적으로 약 35% 정도의 선택 확률을 보인다.

그림 4(b)는 캐싱 기법을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우의 전송 채널 수의 비율을 보여준다. 캐싱을 사용하지 않을 때의 전송 채널 수와 비교하여 적극적 협업 캐싱 기법 A, S, R, S+R은 각각 44%, 34%, 38%, 35% 정도의 전송 채널 수를 필요로 한다. 실험결과로부터 적극적 캐싱은 콘텐츠를

저장하고 있는 노드의 이웃 노드들에서만 수행되도록 하는 것이 캐시 적중률이나 전송 측면에서 효율적임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 모바일 애드혹 네트워크에서 대량의 데이터 전송을 위한 적극적 협업 캐싱 기법을 제안한다. 제안된 기법은 전송되는 콘텐츠를 경로 노드와 경로 노드와 직접적으로 연결 가능한 인접 노드에 저장하고 사용자에게 제공되도록 한다. Zipf 분포에 기반을 둔 콘텐츠 요청은 인기를 기반으로 하기 때문에 캐시 적중률과 비례 관계를 가진다. 캐싱을 수행하는 노드 수가 증가할수록 캐시 적중률의 향상을 기대할 수 있다. 그러나 제한된 캐시 용량과 높은 요청률은 캐시 갱신 빈도를 증가시켜 캐시 적중률 및 전송 채널 효율을 감소시킨다. 그러므로 본 논문에서는 캐싱을 수행하는 노드를 선별하여 캐시 갱신 빈도를 낮추면서 높은 캐시 적중률을 가지는 기법을 제안한다. 제안된 캐싱 기법은 콘텐츠 요청률, 이동성 모델, 적극적 캐싱을 수행하는 노드 수의 관점에서 캐시 적중률, 캐싱 노드 선택 확률, 전송 경로 비율을 평가하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 기법은 이동성 모델과의 상관관계는 적으며, 적극적 캐싱 기법을 콘텐츠 노드에서만 수행하도록 하는 것이 캐시 적중률 및 노드 에너지 사용 측면에서 효율적임을 보여준다. 그러므로 제안된 캐싱 기법은 모바일 애드혹 네트워크 환경에서 노드 에너지 및 전송 채널의 효율적 사용을 가능하게 하는 대안적 기법이 될 수 있을 것이다.

References

- [1] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. Soong, and J. C. Zhang, "What will 5G be?", *IEEE Journal on selected areas in communications*, Vol. 32, No. 6, pp. 1065-1082, Jun. 2014.
- [2] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, and M. Zaharia, "A view of cloud computing", *Communications of the ACM*, Vol. 53, No. 4, pp. 50-58, Apr. 2010.
- [3] S. Bitam, A. Mellouk, and S. Zeadally, "VANET-cloud: a generic cloud computing model for vehicular Ad Hoc networks", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 22, No. 1, pp. 96-102, Feb. 2015.
- [4] M. H. Miraz, M. Ali, P. S. Excell, and R. Picking, "A review on Internet of Things (IoT), Internet of everything (IoE) and Internet of nano things (IoNT)", In *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, IEEE, Wrexham, UK, pp. 219-224, Sep. 2015.
- [5] J. Wu and I. Stojenovic, "Ad hoc Networks", *IEEE Computer*, pp. 29-31, 2004.
- [6] M. Conti and S. Giordano, "Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, No. 1, pp. 85-96, Jan. 2014.
- [7] W. Liang, Z. Li, H. Zhang, S. Wang, and R. Bie, "Vehicular ad hoc networks: architectures, research issues, methodologies, challenges, and trends", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 2015, Article ID 745303, 11pages, Aug. 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/745303>
- [8] T. Qiu, N. Chen, K. Li, D. Qiao, and Z. Fu, "Heterogeneous ad hoc networks: Architectures, advances and challenges", *Ad Hoc Networks*, Vol. 55, pp. 143-152, Feb. 2017.
- [9] A. Aggarawal, S. Gandhi, and N. Chaubey, "Performance analysis of AODV, DSDV and DSR in MANETS", *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, Vol. 2, No. 6, pp. 167-177, Nov. 2011.
- [10] G. Adam, C. Bouras, A. Gkamas, V. Kapoulas, G. Kioumourtzis, and N. Tavoularis, "Performance evaluation of routing protocols for multimedia transmission over mobile ad hoc networks", In *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*, 2011 4th Joint IFIP, IEEE, Toulouse, France, pp. 1-6, Oct. 2011.

- [11] S. Mitra, R. Islam, K. Mukherjee, A. Das, and S. Nandi, "A Modified Algorithmic Approach of DSDV Routing Protocol for Wireless Ad Hoc Network", IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE), Vol. 14, No. 4, pp. 49-54, Sep.-Oct. 2014.
- [12] M. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, "Forwarding strategies in named data wireless ad hoc networks: Design and evaluation", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 50, pp. 148-158, Apr. 2015.
- [13] D. Kim, J. H. Kim, C. Moon, J. Choi, and I. Yeom, "Efficient content delivery in mobile ad-hoc networks using CCN", Ad Hoc Networks, Vol. 36, Part 1, pp. 81-99, Jan. 2016.
- [14] Y. Ma and A. Jamalipour, "A cooperative cache-based content delivery framework for intermittently connected mobile ad hoc networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 9, No. 1, pp. 366-373, Jan. 2010.
- [15] N. Laoutaris, H. Che, and I. Stavrakakis, "The LCD interconnection of LRU caches and its analysis", Performance Evaluation, Vol. 63, No. 7, pp. 609-634, Jul. 2006.
- [16] V. F. Mota, F. D. Cunha, D. F. Macedo, J. M. Nogueira, and A. A. Loureiro, "Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey", Computer Communications, Vol. 48, pp. 5-19, Jul. 2014.
- [17] P. Nayak and P. Sinha, "Analysis of Random Way Point and Random Walk Mobility Model for Reactive Routing Protocols for MANET Using NetSim Simulator", In Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (AIMS), IEEE, Kota Kinabalu, Malaysia, pp. 427-432, Dec. 2015.
- [18] B. Kim and K. Park, "A Cell-based Mobility Model for Mobile Ad-hoc Networks", Journal of Korean Institute of Information Technology (JKIIT), Vol. 15, No. 2, pp. 69-77, Feb. 2017.

저자소개

김 백 현 (Backhyun Kim)



2006년 8월 : 인천대학교
정보통신공학과(공학박사)
2019년 3월 ~ 현재 : 인천대학교
기초교육원 교수
관심분야 : 모바일 에드혹
네트워크, 웹캐싱, 유비쿼터스
컴퓨팅, IoT, 빅데이터, IT융합,
컴퓨팅적사고, e-러닝

우 요 섭 (Yoseop Woo)



1992년 2월 : 한양대학교
전자통신공학과(공학박사)
1992년 3월 ~ 현재 : 인천대학교
정보통신공학과 교수
관심분야 : 자연언어처리, 인터넷
시스템, 빅데이터 시스템

김 익 수 (Iksoo Kim)



1985년 8월 : 동국대학교
전자공학과(공학박사)
1988년 3월 ~ 현재 : 인천대학교
정보통신공학과 교수
관심분야 : 멀티캐스트, 모바일
에드-혹 네트워크, IoT, 자율주행
시스템, 멀티미디어 전송 네트워크