

## 무선 통신과 기회적 네트워크를 활용한 멀티미디어 콘텐츠 배포

김석현\*

### 요약

스마트폰의 대중화는 무선 통신의 사용 패턴을 음성 중심에서 데이터 통신 중심으로 바꾸어 놓았다. 무선 데이터 통신에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있으며 이를 만족시키기 위한 기반 시설 확충 비용이 크게 늘어나고 있다. 본 논문에서는 기회적 네트워크와 (opportunistic networks) 무선 통신을 함께 활용하여 멀티미디어 콘텐츠를 사용자들에게 배포함으로써 무선 통신의 사용량을 경감시킬 수 있는 기법을 제시한다. 이러한 기법을 사용함으로써 무선 통신 기반시설 확충에 대한 필요를 낮춤으로써 비용을 절약하는 동시에 사용자들의 데이터 통신에 대한 요구 또한 만족시킬 수 있다. 본 논문에서 제안한 기법은 에이전트 기반 시뮬레이션을 (agent-based simulation) 통하여 검증 하였다. 시뮬레이션 결과는 사용 환경에 따라 최대 70% 정도의 무선 통신 사용량을 기회적 네트워크를 통한 콘텐츠 배포로 대체할 수 있음을 보여 주었다.

키워드 : 콘텐츠 배포, 기회적 네트워크, 무선 통신, 에이전트 기반 시뮬레이션

## Multimedia Contents Dissemination using Mobile Communication and Opportunistic Networks

Seokhyun Kim\*

### Abstract

The popularization of smart phones changes the usage patterns of mobile communication from voice-centric to data-centric communication. The demand for wireless data communications is rapidly increasing, and thus the need for expanding infrastructure for mobile communication is also rapidly increasing. In this paper, we propose a scheme for reducing the cost for the mobile communication infrastructure by exploiting opportunistic networks in dissemination of multimedia contents. By using this scheme, the large portion of the cost for mobile communication infrastructure could be saved, and the need of users for multimedia contents could be also fulfilled. Our scheme is evaluated using agent-based simulations. The simulation results show that about 70% of mobile communication can be replaced with the data communication through opportunistic networks.

Keywords : contents dissemination, opportunistic network, mobile communication, agent-based simulation

### 1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Seokhyun Kim  
접수일:2013년 08월 29일, 수정일:2013년 09월 28일  
완료일:2013년 09월 30일  
\* 삼성전자 소프트웨어센터  
Tel: +82-31-290-8243  
email: seokhyun.kim.78@gmail.com

■ 이 논문은 2011년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음. 이 논문은 남서울대학교 재직 당시의 연구 결과임.

스마트폰이 널리 대중화되면서 스마트폰을 활용한 콘텐츠 검색 및 소비는 지속적으로 증가하고 있다. 무선통신의 주요 기능은 음성 통화였으나, 이제 데이터 통신의 사용량이 음성 통화의 사용량을 크게 능가 한다 [1]. 특히 LTE 서비스가 본격적으로 상용화 되면서 무선통신을 이용한 인터넷 사용이 더욱 보편화되고 사용량 또한 빠른 속도로 증가하고 있다 [1]. 더욱이 무선통

신을 이용한 데이터 통신에서 대용량 멀티미디어가 차지하는 비중 또한 증가하고 있다. 시스코의(Cisco) 예측에 의하면 2015년 세계적으로 이용되는 무선통신의 2/3는 영상 데이터가 될 것이라 한다 [2].

이와 같이 무선통신을 이용한 대용량 멀티미디어 콘텐츠의 소비가 늘어나면서 무선 데이터의 사용량은 급속도로 증가하고 있다. 따라서 이러한 무선 데이터의 필요를 만족시키기 위한 무선통신 기반시설 확충 비용 또한 크게 증가하고 있는 상황이다.

빠르게 증가하는 무선통신 데이터를 위한 기반시설 확충에 많은 투자가 필요하고 이는 비용 측면에서 큰 부담이 된다. 이 문제를 해결하기 위해 무선통신 사용량 증가에 따른 기반시설 확충 비용을 줄이는 동시에 사용자의 데이터 통신에 대한 필요를 충족시키기 위해 기회적 네트워크를 (opportunistic networks) 활용한 무선통신 사용량 경감 기법이 제안 되었다 [3-6].

다양한 멀티미디어 데이터의 경우 많은 사용자가 콘텐츠를 원하고 용량 또한 크다. 하지만 사용자들이 콘텐츠를 요청하는 시점은 모두 다르고 콘텐츠를 전달하는데 소요되는 시간에도 명확한 한계선이 없는 경우가 많다. 예를 들어 동영상 콘텐츠를 사용자들이 요청하고 다운받는 경우 사용자들이 영상을 요청하는 시점은 모두 다르며 콘텐츠가 빨리 도착할수록 좋긴 하지만 다소 늦어진다고 해서 콘텐츠 소비에 있어 심각한 문제가 생기지는 않는다. 콘텐츠 전달이 지연됨에 따른 ‘불편함’은 또 다른 인센티브를 통해 해결할 수 있을 것이다. (이에 관해서는 3.1 절에서 더 살펴보기로 한다.)

무선통신의 이용량을 크게 증가시키고 있는 멀티미디어 콘텐츠의 배포에 기회적 네트워크를 활용할 수 있다. 멀티미디어 콘텐츠의 일부 또는 전체를 적은 수의 사용자에게 무선통신을 이용하여 전달하고, 이 콘텐츠들을 기회적 네트워크를 활용하여 사용자간에 서로 전달한다. 이를 통해 무선통신을 통해 전달해야할 콘텐츠를 디바이스 간의 통신으로 대체함으로써 무선통신의 사용량을 낮출 수 있다.

기회적 네트워크는 스마트폰의 근거리 통신 기능을 (NFC, Near Field Communication) 이용하여 사용자 사이에 데이터를 전송할 수 있는

네트워크 이다 [7]. 기회적 네트워크는 “저장, 이동, 전달” (store, carry and forward) 전략을 이용한다. 어떤 스마트폰에 여러 사용자가 원하는 콘텐츠가 저장되어 있다고 하자. 만약 이 스마트폰의 근거리 통신 반경에 다른 스마트폰이 들어오면 근거리 통신 기능을 이용하여 근거리 통신 반경에 들어온 스마트폰에게 콘텐츠를 전송할 수 있다. 이 스마트폰은 이동하면서 또 다른 스마트폰을 만나 근거리 통신 기능을 이용하여 콘텐츠를 전달한다. 이러한 방식으로 비용에 대한 부담 없이 여러 사용자에게 콘텐츠를 전달할 수 있다.

현재 대부분의 스마트폰은 블루투스 (Bluetooth) 및 와이파이를 (Wifi) 이용한 근거리 통신이 가능하다 [3]. 이러한 근거리 통신을 이용하여 두 개의 스마트폰이 우연히 만날 때 데이터를 주고받도록 할 수 있다. Han에 의하면 이러한 스마트폰의 우연한 만남에서 최소한 수 메가바이트의 정보를 주고받을 수 있다 [3]. 인구밀도가 높은 대도시와 같은 지역에서는 사용자들의 우연한 접촉이 매우 빈번하기 때문에 기회적 네트워크를 통해 상당한 량의 정보를 전달하는 것은 현실적으로 실현 가능한 아이디어이다. 특히 사회적인 관계망을 이용하여 기회적 네트워크를 통해 효율적으로 정보를 전달하고자 하는 많은 연구가 행해지고 있다 [8-12]. 특히 이러한 기법은 피어-투-피어 (peer-to-peer) 네트워크를 활용한 사용자간 콘텐츠의 공유에도 이용 될 수 있다 [13].

본 논문에서는 무선통신과 기회적 네트워크를 통한 멀티미디어 콘텐츠 전달 기법을 제시한다. 제시하는 기법의 핵심은 각 사용자의 스마트폰에서 운용하는 모바일 캐쉬 블록 (mobile cache block) 이다. 모바일 캐쉬 블록은 사용자들이 원하는 콘텐츠를 기회적 네트워크를 통하여 전달하는 통로 구실을 한다.

본 논문이 제시하는 기법은 다음과 같다.

- 각 모바일 기기는 일정 시간 원하는 콘텐츠를 얻지 못하면 광대역 무선 통신을 이용해 원하는 콘텐츠의 일정 부분을 다운 받는다.
- 모바일 기기들이 우연히 만날 때 상대방이 원하는 콘텐츠를 가지고 있다면 이를 얻어온다.
- 모바일 캐쉬 블록이 가득 차있다면 블록 교

체 정책에 의해 하나의 블록을 삭제한다.

다양한 종류의 캐쉬에 널리 사용되는 대표적인 교체 정책으로 LRU가 있다. 이는 시간적인 지역성에 (locality in time) 기반을 둔 개념이다. 하지만 본 논문이 다루는 시나리오에서 모바일 캐쉬 블록에 담겨야 하는 정보는 여러 사용자에게 필요한 인기 있는 정보이다. 이러한 상황에서 특정한 시간대에 특정 콘텐츠 블록이 다수의 기회적 접촉에서 필요로 할 것이라는 가정은 직관적으로 생각해도 잘 맞지 않다. 시뮬레이션 결과는 본 논문의 시나리오에서 LRU 방식은 큰 도움이 되지 않음을 보여준다.

본 논문에서는 모바일 캐쉬 블록을 활용한 무선 데이터 통신 경감을 위해 블록 유효시간 관리 방식을 (block-life-management) 제안하였다. 이 방식은 본 논문에서 가정하고 있는 무선 데이터 경감 기법에 적합한 방식으로 각 모바일 기기가 광대역 무선 통신을 통해 얻은 새로운 콘텐츠 블록이 많은 기기들에게 효과적으로 전달될 수 있도록 하기 위한 것이다. 본 논문의 기여는 다음과 같다.

- 모바일 캐쉬 블록을 활용한 광대역 무선 통신 데이터 경감 기법 제시
- 이러한 기법에서 기존의 LRU는 적합하지 않음을 시뮬레이션을 통해 보임
- 모바일 캐쉬 블록을 위한 블록 유효시간 관리 방식 제안

본 논문에서는 캐쉬 블록을 관리하는 세 가지 정책으로써 단순관리 (naive-manage), LRU 관리, 블록유효시간관리 방법을 제시하였다. 그리고 에이전트 기반 시뮬레이션을 (agent-based simulation) 통해 세 가지 정책의 성능을 분석하였으며, 블록유효시간관리 기법의 경우 작은 수의 캐쉬 블록만을 이용하여 무선 통신을 이용한 콘텐츠 전송량의 최대 70%를 기회적 네트워크를 통해 대체할 수 있음을 보였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구를 정리한다. 3장에서 시스템 모델 및 제안 알고리즘을 설명하고 4장에서 시뮬레이션 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 기회적 네트워크를 활용한 무선통신 사용량 경감 기법

Han은 수 메가 바이트 정도 크기의 콘텐츠를 무선통신과 기회적 네트워크를 통해 전체 사용자에게 전달하는 문제를 고려하였다 [3]. 전체 사용자 중  $k$  명에게 무선통신을 이용하여 콘텐츠를 전달하고, 이들로부터 시작하여 전체 사용자에게 콘텐츠를 전달한다. Han은 처음 무선통신을 이용하여 콘텐츠를 전달하는 효율적인 알고리즘을 제안 하였다 [3]. Li는 [3]과 다른 시스템 모델을 제시한다. [3]에서 무선통신이나 기회적 네트워크를 통해 콘텐츠를 받은 사용자들은 다른 사용자에게 콘텐츠를 전달하지만 Li가 제안한 모델은 특정 헬퍼들만 (helper) 다른 사용자에게 콘텐츠를 전달하고 다른 사용자들은 콘텐츠를 받기만 (subscribe) 한다 [4]. Li는 1) 다양한 종류와 크기의 데이터가 전달되는 경우, 2) 사용자들의 콘텐츠에 대한 관심도가 다른 경우, 3) 헬퍼의 저장 용량에 제한이 있는 경우를 고려하여 수학적 분석 및 시뮬레이션 결과를 제시 하였다 [4]. Barbera는 VIP 위임 (delegation)을 이용한 무선통신 사용량 경감 기법을 제시하고 있다. 전체 사용자 중 사회적 관계망에서 활동이 활발한 소수의 VIP 사용자를 결정한다. 이들에게는 비용 등의 측면에서 이익을 제공하고 이들을 활용하여 콘텐츠를 전달하도록 한다 [5]. VIP 사용자는 전역적인 범위 및 소규모의 사회적 관계망에서 각각 선택된다. Barbera는 신중하게 VIP 사용자를 결정함으로써 대략 4~5% 정도의 VIP 사용자들을 통해서 90% 정도의 무선통신 사용량을 절약할 수 있음을 보였다 [5]. Vukadinovic은 무선통신 기지국에서 가장 강한 전파를 받을 수 있는 기기들 중 일부를 선택하여 이 기기들에게 콘텐츠를 전송하고, 이 기기들을 통하여 전체 사용자에게 p2p 방식으로 콘텐츠가 전달될 때의 데이터 전송량 (throughput) 및 전송 시간, 에너지 소비를 제시 하였다. Vukadinovic은 p2p 방식으로 콘텐츠가 전달되는 방식에 따라 전체 시스템의 성능이 달라질 수 있음을 보였다 [5].

여러 연구들이 있지만 어플리케이션의 특성 및 다양한 상황에 따라 기회적 네트워크를 활용한 무선통신 사용량 경감 기법은 여전히 많은 연구 과제가 남아있는 분야 이다.

## 2.2 사회적 관계망을 활용한 기회적 네트워크

기회적 네트워크 분야에서 가장 많은 주목을 받고 있는 분야는 사회적 관계망을 응용하여 메시지 및 데이터를 전달하는 네트워크를 구축하는 문제이다. Boldrini는 ContentPlace라는 이름의 기회적 네트워크 프레임워크를 제안 하였다 [8]. ContentPlace는 사용자들의 기기로 이루어진 기회적 네트워크에서 사용자들의 사회적 관계를 고려하여 콘텐츠의 위치를 결정함으로써 사용자들의 각 콘텐츠에 대한 접근성을 높일 수 있음을 보였다 [8]. Reich와 Chaintreau는 기회적 네트워크를 이용한 콘텐츠 전달에 시간적인 요소를 추가하였다 [9]. 즉, 콘텐츠 전달 지연에 따른 각 사용자의 어려움을 모델링하여 시간적 요소를 고려했을 때의 기회적 네트워크 최적화에 대하여 연구 하였다 [9]. Pantazopoulos는 대규모의 기회적 네트워크에서 콘텐츠에 대한 접근성을 높이기 위해 사회적 관계망에 대한 정보를 활용하여 콘텐츠를 배치하는 알고리즘을 제시 하였다 [10]. 이 알고리즘은 분산 방식이기 때문에 기회적 네트워크의 구성원이 많은 경우 다른 방식에 비해 효율적이다 [10]. Bastani는 기회적 네트워크 전체의 관점에서 콘텐츠를 전달하는데 필요한 다양한 비용들을 정의하고 (배터리 용량, 버퍼 사용량 등) 전체 기회적 네트워크가 사용한 비용의 측면에서 최적의 콘텐츠 배포 방식에 대해 다루었다 [11]. Gao는 기회적 네트워크에서 기기들 사이에 콘텐츠를 전달할 때 각 기기의 중심성의 (centrality) 측면에서 가장 유리한 기기를 선택할 수 있는 알고리즘을 제시하였다 [12]. 중심성이란 기회적 네트워크를 구성하는 기기들의 그래프에서 다른 기기들로의 연결성의 정도를 나타내는 지표이다. 중심성이 높은 기기에게 콘텐츠를 전달하면 다른 기기로 해당 콘텐츠가 전달될 확률이 높아진다 [12].

현재 사회적 관계망을 응용하여 효율적인 기회적 네트워크를 구축하려는 다양한 연구가 진행되고 있다. 앞으로 기회적 네트워크의 효율성을 위한 여러 측면에서의 연구가 보다 심화되고 이들을 통합할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 3. 제안 알고리즘

### 3.1 기회적 네트워크에 참여하는 사용자에 대한 보상 정책

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다른 연구들과 마찬가지로 사용자가 콘텐츠 배포를 위해 자신의 기기의 일부 자원을 사용해야 한다. 따라서 사용자의 참여에 대한 적절한 보상이 없다면 이러한 네트워크를 구축하기 어려울 것이다.

Barbera는 사회적 관계망에서 활동이 왕성한 일부 사용자들을 VIP 사용자로 지정하고 이들 사용자의 기기를 콘텐츠 배포를 위해 사용하는 대신 해당 사용자들에게 통신의 질, 비용 등의 측면에서 혜택을 주는 방식을 제안하고 있다 [5].

본 논문에서 제안하는 방식은 각 사용자의 기기가 작은 크기의 버퍼를 가지고 있고, 이 버퍼들을 이용하여 콘텐츠를 배포하는 방식이다. 사용자의 기기를 통해 콘텐츠가 배포될 때 다음과 같은 방식의 보상을 고려할 수 있다.

- 사용자 기기에서 다른 기기로 전송되는 콘텐츠의 양을 측정하여 정기적으로 통신망 사업자에게 보고 한다.
- 통신망 사업자는 사용자들이 콘텐츠 배포에 기여한 통신량에 비례하여 유료 콘텐츠나 통신 이용료 등에서 혜택을 준다.

이러한 혜택은 사용자들이 기회적 네트워크에 참여할 수 있는 동기가 될 수 있을 것이다. 통신망 사업자는 기회적 네트워크의 도입을 통해 상당한 정도의 통신망 기반 시설 확충 비용을 아낄 수 있으므로 통신망 사업자에게도 기회적 네트워크를 활용한 콘텐츠 배포는 이익을 가져다 준다.

### 3.2 시스템 모델 및 성능 측정 지표

사용자의 수는  $m$ 이라 하고 각 사용자는  $1, \dots, n$ 으로 나타내며 각 사용자의 기기는  $d_1, \dots, d_n$ 으로 나타낸다. 사용자들은  $m$ 개의 콘텐츠 중 하나를 얻고자 한다고 가정한다. 각 콘텐츠는  $c_1, \dots, c_m$ 이라 하자.

각 콘텐츠는 같은 수의 블록들로 나누어진 상태로 배포된다. 콘텐츠의 블록들이 사용자의 기기에 전달되고 이 블록들이 기회적 네트워크를

통해 사용자들 사이에 전달된다. 콘텐츠들의 블록의 수는  $b$ 로 나타내기로 한다.

각 기기가 얻기를 원하는 콘텐츠의 종류는  $d_i.interest$ 로 표현한다. 따라서  $d_i.interest$ 는 다음과 같이  $c_1 \sim c_m$  중 하나의 값을 갖는다.

$$d_i.interest \in \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$$

사용자  $i$ 의 기기  $d_i$ 는 자신이 원하는 콘텐츠를 다음과 같이  $b$ 개의 블록을 저장할 수 있는 배열에 저장한다. (각 콘텐츠는  $b$ 개의 블록으로 구성되어 있다고 가정 하였다.)

$$d_i.content[1..b]$$

또한  $d_i$ 는 다음과 같이  $s$ 개의 캐쉬 블록들을 가지고 있다.

$$d_i.cache[1..s]$$

따라서  $d_i.content[...]$ 에는  $d_i.interest$ 가 나타내는 콘텐츠의 블록들이 저장되며,  $d_i.cache[...]$ 에는 다른 콘텐츠의 블록들이 저장된다. 각 사용자의 기기  $d_i$ 는  $d_i.cache[...]$ 를 다른 사용자들에게 콘텐츠를 전달하기 위한 용도로 사용하는 것이다.

제안 알고리즘의 성능 측정지표는 기회적 네트워크를 사용함으로써 콘텐츠 다운로드 과정에서 절약한 무선통신의 양이다. 본 논문에서는 모든 콘텐츠를 같은 크기의 블록으로 나누고 블록 단위로 콘텐츠를 전송한다. 이 때 절약된 무선통신의 양의 비율을  $SavedMobileComm$ 이라 하자. 전체 콘텐츠 블록의 수를  $NumTotalBlocks$ 라 하고 기회적 네트워크를 통해 사용자의 기기들이 얻은 콘텐츠 블록의 수를  $NumOppNets$ 라 하자. 그럼  $SavedMobileComm$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SavedMobileComm = NumOppNets / NumTotalBlocks.$$

4장의 시뮬레이션 결과에서는 3.3절에서 제시하는 알고리즘에 따라  $SavedMobileComm$ 이 어떻게 변화하는지 보인다.

### 3.3 제안 알고리즘

각 사용자의 기기  $d_i$ 는 미리 정해진 대기 시간  $T_w$  동안 다른 기기를 통해  $d_j$ 가 원하는 콘텐츠의 블록 하나를 얻고자 시도한다. 만약  $T_w$  동안 접촉한 다른 기기들로부터 어떠한 콘텐츠 블록도 얻지 못했다면 무선 통신을 이용하여  $d_j$ 가 원하는 콘텐츠의 블록 하나를 랜덤하게 다운 받는다.

어떤 사용자  $i$ 가 사용자  $j$ 와 만난 경우  $d_i$ 가 원하는 콘텐츠를  $d_j$ 가 가지고 있다면  $d_i.content[...]$ 에 저장되어 있는 블록 중  $d_i$ 가 가지고 있지 않은 블록 하나를  $d_j$ 에게서 전송 받는다.

하지만  $d_i$ 가  $d_j$ 를 접촉한 경우  $d_i$ 가 원하는 콘텐츠를  $d_j$ 가 가지고 있지 않다면  $d_j$ 가 가지고 있는 콘텐츠 블록 중 하나를 무작위로 받아서  $d_i$ 의 캐쉬에 저장한다. 이 경우  $d_i$ 는  $d_i.content[...]$  및  $d_i.cache[...]$ 에 저장된 콘텐츠 블록 중 하나를 무작위로  $d_i$ 에게 전송하게 된다.

위와 같은 과정을 반복하게 되면 각 기기의 캐쉬 블록은 결국 여러 콘텐츠 블록들로 가득 차게 된다. 이 경우에 사용할 수 있는 캐쉬 블록 관리 방식은 여러 가지가 있을 수 있다. 본 논문에서는 다음과 같은 세 가지 정책을 제시한다.

- 단순관리 (Naive-management): 비어있는 캐쉬 블록이 있으면 콘텐츠 블록을 저장하고 그렇지 않으면 저장하지 않는다.
- LRU관리 (LRU-management): 콘텐츠를 블록을 저장할 때 비어있는 캐쉬 블록이 없으면 최근에 가장 적게 참조된 블록을 비운다.
- 블록유효시간관리 (Block-life-management): 각 콘텐츠 블록은 미리 정해 놓은 유효시간이 (block life) 다 되면 삭제되고 새로운 콘텐츠 블록을 저장할 수 있게 된다.

단순관리는 비어있는 캐쉬 블록이 있으면 다른 기기에게서 받은 콘텐츠 블록을 저장하지만, 그렇지 않다면 더 이상 다른 기기에게서 콘텐츠 블록을 받지 않는 방식이다. LRU 관리는 캐쉬 블록이 가득 찬 상태에서 다른 콘텐츠 블록을 저장하려는 시도가 있으면 최근에 가장 적게 사용된 블록을 지우고 새로운 콘텐츠 블록을 저장한다. 여기서 가장 적게 사용되었다는 것은 다른 기기에게 가장 적은 수로 전송된 블록을 의미한다. 따라서 각 캐쉬 블록은 다른 기기로부터 해당 블록이 전송될 때 마다 다른 기기에게 전송된 수를 계수하고 있어야 한다. 블록 유효시간관리는 각 캐쉬 블록이 새로운 콘텐츠 블록을 저장하고 미리 정해 놓은  $t$  시간 후에는 저장한 블록을 삭제하고 다른 콘텐츠 블록을 저장할 수 있도록 하는 것이다.

일반적인 캐쉬교체 기법은 LFU, LRU,

LRU-K 등 다양하다. 기존의 캐쉬교체 기법들은 주로 지역성에 (locality) 기반을 둔 기법들이다. 하지만 본 논문에서 제시하는 시나리오의 경우 이러한 지역성에 대한 가정을 동일하게 하기 어렵다. 블록유효시간관리 기법은 각 모바일 기기가 광대역 통신망을 통해 지속적으로 새로운 콘텐츠 블록을 다운받는다라는 가정 하에 많은 모바일 기기들이 이렇게 새로운 콘텐츠 블록을 많이 필요로 할 것이라는 가정에 기반을 둔 기법이다.

이상의 세 가지 방식을 통해 캐쉬를 관리하고 시물레이션을 통해 각 방식의 성능을 비교하였다. <표 1>은 본 논문에서 제안한 콘텐츠 배포 알고리즘을 보여준다.

### 4. 시물레이션 결과

#### 4.1 시물레이션 설정

시물레이션을 위해 c++를 이용 하여 에이전트 기반 (agent-based) 시물레이터를 만들었다. 시물레이션은 이산적인 단계들을 (steps) 기반으로 작동한다. 각 단계에서 시물레이션에 참여하는 에이전트들의 내부 상태가 업데이트 된다. 시물레이션의 각 단계 사이의 시간 간격은 0.25초로 고정 하였다. 시물레이션이 진행되면서 각 에이전트는 <표 1>에서 제시한 알고리즘을 실행하게 된다.

각 에이전트가 다른 에이전트로 데이터를 보낼 때 데이터 전송 시간을 임의대로 설정할 수 있다. 각 에이전트는 시물레이션의 각 단계에서 <표 1>의 알고리즘을 실행하고 다른 에이전트와 데이터를 주고받게 된다.

<표 2>는 시물레이션에서 설정 가능한 변수들의 목록을 보여준다.

본 장의 시물레이션 결과들은 각 시물레이션의 환경 설정에 대하여 5회 반복 실험하고 측정 한 값의 평균을 최종적인 실험 데이터로 사용 하였다.

#### 4.2 시물레이션 결과

먼저 시물레이션에 참여한 에이전트의 수에 따라 3장에서 제시한 각 알고리즘들이 보인 성능을 3.2절에서 제안한 *SavedMobileComm*을 통하여 측정 하였다. <표 2>는 이 시물레이션에서

사용한 변수들의 값을 보여주며, (그림 1)은 시물레이션 결과를 보여준다.

시물레이션의 에이전트들은 가로, 세로 각각 25m의 정사각형 모델을 랜덤 웨이포인트 모델을 (random waypoint model) 사용하여 이동한다.

<표 1> 제안한 콘텐츠 배포 알고리즘

```

When  $d_i$  contacts with  $d_j$ :
  If  $d_i.interest = d_j.interest$  then
     $x \leftarrow$  a valid block of  $d_j.content[...]$ ,
      not possessed by  $d_i$ .
     $d_i$  sends  $x$  to  $d_j$ .
     $d_j$  stores  $x$  in  $d_j.content[...]$ .
  Else if  $d_j$  has a block of  $d_i.interest$  then
    Send the block to  $d_i$ 
     $d_i$  stores it in  $d_i.content[...]$ .
  Else
     $y \leftarrow$  a random block among  $d_j.content[...]$ 
      and  $d_j.cache[...]$ .
     $d_j$  sends  $y$  to  $d_i$ .
     $d_i$  stores  $y$  in  $d_i.cache[...]$ .

When  $d_i.cache[...]$  has no room:
  Case Naive-management:
    Do nothing.
  Case LRU-management:
    Empty the least recently used block.
  Case Block-life-management:
    If there is a block that ends its lifespan:
      Empty the block.

When  $d_i$  cannot contact any device in  $T_w$ :
   $d_i$  gets a random block of  $d_i.interest$ 
  using mobile communication.
    
```

<Table 1> Proposed contents dissemination algorithm.

실험 결과 각 에이전트의 캐쉬 블록이 가득 찼을 때 특별한 관리를 하지 않은 단순관리 방식과 (naive), 새로운 콘텐츠 블록을 위한 공간을 확보하기 위해 LRU (least recently used) 방식을 적용하여 삭제할 캐쉬 블록을 선택하고 새로운 콘텐츠를 저장한 방식 사이에 특별한 성능상의 차이점이 보이지 않음을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제시한 콘텐츠 배포 기법은 콘텐츠의 일부를 이동 통신을 통해 일부 기기가 다

운로드 받고 이를 각 기기의 캐쉬 블록을 통해 여러 기기들 사이에 공유하는 방식이다. 단순관리 방식의 경우 각 기기의 캐쉬 블록이 모두 가득차면 이미 캐쉬 블록에 저장되어 있는 콘텐츠들만 여러 기기들 사이에 공유할 수 있다. 즉, 전체 콘텐츠 다운로드 과정의 끝 부분에서 이동통신을 통해 다운로드한 콘텐츠들은 단순관리 방법을 통해서 기기들 사이에 공유가 어렵게 된다. LRU 관리 방식이 단순 관리와 같은 결과를 보였다는 것은 단순히 새로운 블록을 저장할 때 하나의 블록을 삭제하는 방식으로는 시간의 흐름에 따라 전체 시스템에 이동통신을 통하여 제공되는 새로운 콘텐츠 블록을 효율적으로 공유하는데 한계가 있음을 보여준다.

<표 2> 시뮬레이션 설정 값

Parameters	Value Range
Agent density	0.1 ~ 1.2
Number of agents	63 ~ 750
Cache-Mng	naive/LRU/BlockLife
Number of cache blocks	30
Wait time ( $T_w$ )	100 seconds
Communication range of NFC	2 m
Transmission time of a block	3 seconds
Cache block life	200 seconds
Number of contents	3
Number of users who require contents	10% of agents
Agent velocity	1.4 m/s

<Table 2> Simulation parameters

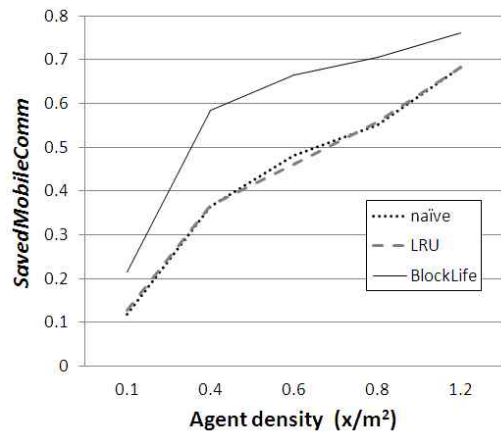
반면 블록 유효시간 관리 방식은 일정 시간이 지나면 캐쉬 블록이 삭제가 되므로 전체 시스템이 비교적 과거에 공급된 콘텐츠 블록의 경우 새로운 블록을 위해 자리를 내주게 된다. 따라서 본 논문에서 제시한 콘텐츠 공유 기법을 위해 블록 유효시간 관리 방식이 다른 방식보다 적합함을 알 수 있다.

다른 관리 방식보다 블록 유효시간 관리 방식이 이동통신과 모바일 캐쉬 블록을 활용한 콘텐츠 배포에 효율적임을 시뮬레이션을 통하여 확인 하였다. 그렇다면 캐쉬 블록의 크기 몇 블록

유효시간을 (block life) 어떻게 정하는 것이 좋은지에 대한 실험이 필요하다.

(그림 2)는 <표 2>의 파라미터들에서 에이전트의 밀도를  $0.4/m^2$ 로 고정하고 캐쉬 블록의 크기를 0~100 으로 변화시키면서 성능을 측정 한 결과이다.

(그림 1) 여러 에이전트 밀도에 따른 SavedMobileComm 측정 값



(Figure 1) SavedMobileComm with varying agent density.

캐쉬 블록의 크기가 0이면 캐쉬 관리 정책의 의미가 없다. 따라서 세 가지 캐쉬 관리 정책이 모두 같은 성능을 보이고 있다. 주목할 만한 것은 LRU와 단순관리(naive) 정책의 경우 캐쉬 블록이 성능 향상에 도움이 되지 못했다는 것이다. 이는 캐쉬에 저장되어 있는 콘텐츠를 전달하는 과정들이 오히려 콘텐츠의 효율적인 전달을 방해했음을 뜻한다. 현재 시뮬레이션에서 각 에이전트는 다른 하나의 에이전트와만 통신이 가능하다. 따라서 캐쉬 블록을 주고받는 과정이 성능 향상에 도움을 주지 못하면 에이전트 사이에 실제 콘텐츠를 주고받는 과정을 방해할 수 있다.

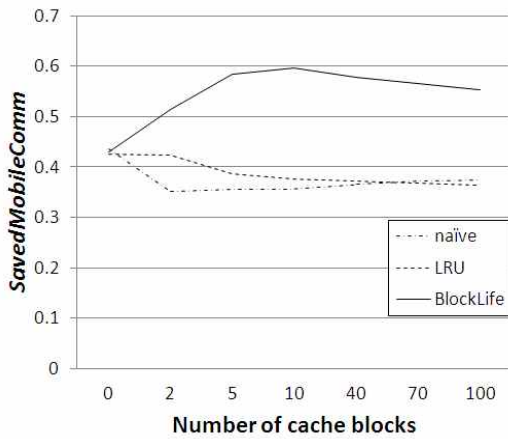
블록 유효시간 관리 정책의 경우 캐쉬 블록의 크기가 작은 경우와 큰 경우의 성능 차이가 별로 없었으며 가장 좋은 성능을 보이는 캐쉬 블록의 크기가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 여러 에이전트가 다양한 콘텐츠 블록을 나르고 전달 하므로 각 에이전트가 이렇게 전달되는 여러 콘텐츠 블록을 가지고 있는 것이 전체 성능에

도움이 되지 않는 것으로 보인다.

이 실험 결과는 각 스마트폰이 제한적인 작은 크기의 캐쉬 블록을 기회적 네트워크에 응용함으로써 콘텐츠 배포에 큰 도움이 될 수 있음을 보여준다.

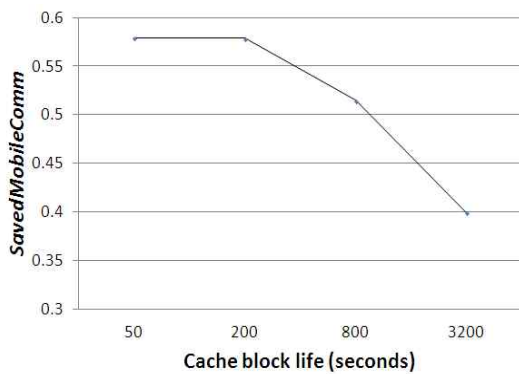
마지막으로 블록 유효시간 관리 정책에서 블록 유효시간에 따른 성능 측정 결과를 (그림 3)에서 보인다.

(그림 2) 여러 캐쉬 블록의 수에 따른 SavedMobileComm 측정 값



(Figure 2) SavedMobileComm with different number of cache blocks.

(그림 3) 여러 캐쉬 블록 유효 시간에 따른 SavedMobileComm 측정 값



(Figure 3) SavedMobileComm with varying cache block lives.

(그림 3)은 에이전트의 수 및 밀도는 각각

250, 0.4/m<sup>2</sup> 이고 캐쉬 블록의 유효시간을 50~3200초로 하였다. 다른 변수들은 <표 2>의 값들과 같다.

캐쉬 블록의 유효시간이 길어지면 교체되는 캐쉬 블록이 점점 적어지므로 단순 관리 정책과 비슷하게 된다. (그림 3)에서 캐쉬 블록의 유효시간이 3200초일 때 SavedMobileComm의 값은 0.4인데 이는 (그림 1)의 단순 관리 정책의 결과와 거의 일치하는 값이다.

(그림 3)의 결과를 보면 비교적 넓은 영역의 캐쉬 블록 유효시간에서 전체적인 성능은 유사한 값을 보이는 것으로 보인다. 실험 결과 전체 시뮬레이션의 시간에 비례하여 캐쉬블록 유효시간이 지나치게 길지 않으면 캐쉬블록 유효시간 관리 정책을 통해 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

### 5. 결론

본 논문은 무선통신과 기회적 네트워크를 통해 효율적으로 멀티미디어 콘텐츠를 배포할 수 있는 방법에 대한 알고리즘을 제시하였다.

각 스마트폰은 작은 크기의 캐쉬 블록을 가지고 서로를 위해 이 블록을 이용하여 멀티미디어 콘텐츠의 일부를 “저장, 이동, 전달” 방식을 통해 다른 스마트폰에 전달한다.

제안 기법의 성능을 에이전트 기반 시뮬레이션을 (agent-based simulation) 통해 검증 하였다. 실험 결과 최대 약 70 퍼센트의 콘텐츠를 이동통신을 사용하지 않고 스마트 폰 기기들 사이의 기회적 접촉을 (opportunistic contacts) 통해서 전달할 수 있음을 확인 하였다.

또한 각 기기가 관리해야 하는 캐쉬 블록의 크기는 작은 경우에도 성능에 크게 지장이 없으며 캐쉬 블록 관리 정책으로서는 각 블록에 유효시간을 두고, 이 시간이 지난 블록을 삭제하는 유효 시간 관리 정책을 제안 하였다. 실험 결과 블록의 유효시간이 너무 길지 않으면 대략 비슷한 정도로 무선 통신을 통한 콘텐츠의 전달을 경감시킬 수 있었다.

앞으로 이 주제에 대한 다양한 연구가 필요하다. 먼저 본 논문에서 제시한 모바일 캐쉬 블록 기법 외에 다양한 상황에서 여러 가지 측면을



고려하는 블록 관리 기법이 제안되어야 할 것이다. 또한 모바일 캐쉬 블록 기법은 불가피하게 사용자 기기의 배터리를 더 많이 소모하게 되는데 이에 대한 추가적인 사용자 인센티브 등에 대한 더 깊은 논의가 필요하다. 또한 실제 시스템에 이러한 기법을 구현하여 보다 실제적이고 다양한 데이터를 얻고 이에 대한 분석을 진행할 필요가 있다.

References

[1] Financial news (파이낸셜 뉴스), “‘이동통신이 대세’ LET 상용화 2년: (중) 업계 구도까지 바꿨다”, July 2013. [http://www.fnnews.com/view?ra=Sent0901m\\_View&corp=fnnews&arcid=201307100402368010236801&cDateYear=2013&cDateMonth=07&cDateDay=10](http://www.fnnews.com/view?ra=Sent0901m_View&corp=fnnews&arcid=201307100402368010236801&cDateYear=2013&cDateMonth=07&cDateDay=10)

[2] Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2010–2015, February 1, 2011. R. Vadali, L. Jianhui, W. Yiqiong, and C. Guohong, “Agent-based route optimization for mobile IP,” Proc. VTC’01, vol.4, pp.2731–2735, Oct. 2001. [http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white\\_paper\\_c11-520862.html](http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html)

[3] B. Han, P. Hui, A. Kumar, M. V. Marathe, J. Shao, and A. Srinivasan, “Mobile data offloading through opportunistic communications and social participation,” IEEE Trans. Mobile computing, vol.11, no.5, pp.821–834, May 2012.

[4] L. Yong, Q. Mengjong, J. Depeng, H. Pan, W. Zhaoheng, and C. Sheng, “Multiple mobile data offloading through disruption tolerant networks,” IEEE Trans. Mobile Computing, vol.99, no.preprints, 2013.

[5] M. V. Barbera, J. Stefa, A. C. Viana, M. D. de Amorim, and M. Boc, “VIP delegation: enabling VIPs to offload data in wireless social mobile networks,” Proc. Int. Conf. Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops, pp. 1–8, June 27–29, 2011.

[6] V. Vukadinović and G. Karlsson, “Spectral efficiency of mobility-assisted podcasting in cellular networks,” Proc. 2nd Int. Workshop Mobile Opportunistic Networking, pp. 51–57, Feb. 22–23, 2010.

[7] M. Conti, M., Kuma, “Opportunities in opportunistic computing”, IEEE Computer, vol. 43, no. 1, pp.42–50, 2010.

[8] C. Boldrini, M. Conti, A. Pasarella, “ContentPlace: social-aware data dissemination in opportunistic networks,” Proc. MSWiM’08, pp.203–210, Oct. 2008.

[9] J. Reich, and A. Chaintreau, “The age of impatience: optimal replication schemes for opportunistic networks,” Proc. CoNEXT’09, pp.85–96, Dec. 2009.

[10] P. Pantazopoulos, I. Stavrakakis, A. Passarella, and M. Conti, “Efficient social-aware content placement in opportunistic networks,” Proc. WONS’10, Feb. 2010.

[11] S. Bastani, B. Landfeldt, C. Rohner, and P. Gunningberg, “A social node model for realising information dissemination strategies in delay tolerant networks,” Proc. MSWiM’12, pp.79–88, Oct. 2012.

[12] W. Gao, and G. Cao, “User-centric data dissemination in disruption tolerant networks,” Proc. INFOCOM’11, pp. 3119–3127, June 2011.

[13] H. Choi, and G. Kim, “A performance analysis of mobile p2p streaming service on wireless lan environments,” Journal of Digital Contents Society, vol.14, no.1, pp.25–33, Mar. 2013.



김 석 현

2008년 : 서울대학교 대학원 (공학 석사)  
 2013년 : 서울대학교 대학원 (공학 박사-대규모분산시스템)

2001년~2004년: 타프시스템(현 레드덕)  
 2004년~2005년: 재미인터랙티브  
 2008년~2013년: 남서울대학교 멀티미디어학과 조교수  
 2013년~현재: 삼성전자 소프트웨어센터  
 관심분야: 분산시스템(Distributed Systems), 운영체제(Operating Systems), 피어-투-피어 네트워크(Peer-to-peer networks), 기회적 네트워크(Opportunistic Networks), 게임 엔진 구조(Game Engine Architecture), 게임 인공지능(Game A.I.) 등