

# 콘텐츠 중심 네트워크에서의 이동성 연구 동향

김유성, 김도형\*, 염익준  
성균관대학교, \*한국과학기술원

## 요약

최근 인터넷을 통한 동영상 서비스 비중이 크게 증가하고 스마트폰과 같은 이동 단말의 빠른 보급으로 인해, 인터넷 트래픽이 폭발적으로 증가하고 인터넷 접속 환경 역시 이동 중심으로 변화하고 있다. 현재의 인터넷은 이러한 변화 추세를 수용하기 위해 근본적인 문제가 제기 되고 있어, 새로운 혁신적 접근 방식의 콘텐츠 중심 네트워크 기술이 주목 받고 있다. 본고에서는 콘텐츠 중심 네트워크의 효율적인 데이터 전송 기법을 소개하고, 특히 이동성에 관한 이슈 및 연구 동향에 대해 살펴본다.

## I. 서론

최근 스마트폰과 같은 이동 단말의 빠른 보급으로 자유롭게 이동하며 인터넷에 접속할 수 있고, 텍스트나 이미지에 비해 용량이 큰 동영상 콘텐츠 서비스가 크게 증가하고 있다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 이동 인터넷 트래픽은 폭발적으로 증가하며, 동영상 트래픽이 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 보여준다 [1].

이러한 인터넷 사용 변화의 추세를 수용하기에 현재 인터넷으로는 근본적인 문제가 제기 되고 있어, 폭발적으로 증가하는 인터넷 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있고, 사용자의 이동성을 기본으로 지원해줄 수 있는 네트워크 기술이 필요하다. 최근 현재 인터넷을 점진적으로 개선하기 보다 혁신적으로 새롭게 (clean-slate) 설계하는 미래 인터넷 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다 [2]-[6]. 본고에서는 대표적인 미래 인터넷 연구로 꼽히는 콘텐츠 중심 네트워크 (Content Centric Networking) 기술을 소개한다. 인터넷의 주요 사용 용도가 콘텐츠를 요청하고 배포한다는 점에서, 콘텐츠 중심 네트워크 기술은 이를 어떻게 효율적으로 제공할 수 있는지, 그리고 인터넷 접속이 고정 유선 환경에서 이동 무선 환경으로 변화 할 때, 기존의 인터넷과 비교하여 어떤 장점을 가지는지 소개한다. 더불어 콘텐츠 제공자가 이동성을 가지거나, 네트워크 모든 구성 노

드가 이동성을 가지는 Mobile Ad-hoc Network (MANET) 환경에서 직면하는 이슈들과 이에 대한 연구 동향을 살펴본다.

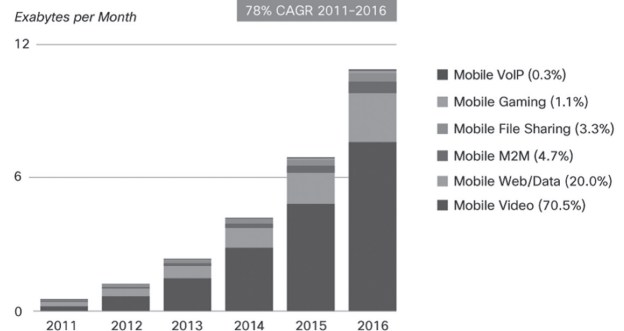


그림 1. 이동 인터넷 트래픽 분류  
(Source: Cisco VNI Mobile, 2012)

## II. 본론

### 1. 콘텐츠 중심 네트워크 (CCN) 소개

기존의 인터넷은 종단간 통신을 (host-to-host communication) 효율적으로 제공하기 위해 만들어졌다. 콘텐츠 요청자는 콘텐츠 제공자의 (예: YouTube) IP 주소를 얻어와 종단간 연결성을 맺은 후, 종단 네트워크, 코어 (core) 네트워크 등을 거쳐 데이터 서비스를 받는다. 인기 있는 콘텐츠는 다수의 요청자가 콘텐츠 제공자에게 종단간 연결성을 요청하고 반복적으로 데이터 전송이 수행되어, 서버와 네트워크의 과부하를 발생시킨다. 또한 이동 단말이 다른 네트워크로 이동 하면, IP 주소가 변경되어 종단간 연결성이 끊어지므로, 새로운 IP 주소를 할당 받은 후 다시 종단간 연결을 맺어야 한다.

Van Jacobson 의해 제안된 콘텐츠 중심 네트워크는 (Content Centric Networking, 이하 CCN 으로 표기) IP 주소와 같은 특정 주소로 종단간 연결성을 요청하는 대신, 콘텐츠 자체를 효율적으로 요청하고 배포할 수 있도록 제안되었다 [2]. IP 주소와 같은 서버의 인터페이스 주소로 종단간 연결을 요구

하지 않고, 콘텐츠 이름을 사용하여 요청 및 배포가 이뤄진다. 즉 기존의 인터넷은 IP 주소를 이용하여 어느 곳에서 (Where) 가져와야 하는지 초점을 두었다면, CCN 은 콘텐츠를 사용하여 무엇을 (What) 요청하고 배포할지 중점을 두고 있다.

### 1.1 CCN 패킷 타입

CCN 에서는 두 개의 패킷 타입을 정의한다. 첫 번째는 콘텐츠를 요청하기 위한 Interest 패킷으로 Content Name 항목에 필요한 콘텐츠 이름을 넣어 네트워크로 전송한다. IP 패킷 과는 달리 Interest 패킷에는 콘텐츠 요청자 및 제공자의 주소가 없으며, 대신 모든 콘텐츠는 유일한 이름을 가지고, 아래 예처럼 계층적으로 정의함으로써 중간 CCN 노드가 콘텐츠 이름에 대해 Longest Prefix Match 를 수행하여 라우팅이 가능하다.

예: /youtube.com/news/CNN

Interest 패킷에는 랜덤 임시 변수 항목이 있어 서로 다른 경로를 통해 Interest 를 전송하더라도 routing loop 문제를 방지할 수 있다. 이는 다수의 경로를 동시에 활용할 수 있어 콘텐츠의 접근성을 높이고 링크 단절이나 혼잡으로 인한 네트워크 변화를 유연하게 대처할 수 있게 한다.

Interest 패킷을 수신한 CCN 노드는 Content Name 항목의 이름을 확인하여 해당하는 데이터가 있다면 Data 패킷에 담아 응답한다. Data 패킷 역시 Content Name 항목이 존재하며, Interest 패킷의 Content Name 을 그대로 복사한다. Data 패킷의 라우팅은 Interest 패킷이 지나온 역 방향 경로를 따라 요청자에게 전달된다.

Data 패킷에는 서명 (Signature) 과 사인 (Signed Info) 정보 항목이 있어, Data 자체의 인증과 보안성을 제공할 수 있다. 기존의 인터넷은 보안성을 높이기 위해선, 종단간 연결 시 마다 보안 절차를 수행하였지만, CCN 에서는 콘텐츠를 처음 배포할 때 한 번만 수행하면 된다.

### 1.2 CCN 노드 모델

CCN 노드는 다음과 같은 요소로 구성된다.

- Forwarding Information Base (FIB): 콘텐츠 제공자는 서비스 하고자 하는 콘텐츠 이름을 자신이 연결된 네트워크에 공지함으로써 (announce) 해당 정보가 전체 네트워크로 알려진다. 네트워크의 CCN 노드는 공지 받은 정보를 FIB 테이블에 추가한다. CCN 노드가 Interest 패킷을 받으면 아래에서 소개할 Content Store 와 PIT 에서 먼저 콘텐츠 이름으로 검색해 보고 없다면, FIB 에 있는 정보에 따라 콘텐츠 제공자

가 있는 방향으로 전달한다. 콘텐츠 이름이 계층적으로 구성되어 있어, IP 라우팅과 유사하게 콘텐츠 이름으로 Longest Prefix Match 및 Name Aggregation이 가능하다.

- Pending Interest Table (PIT): FIB 에 따라 Interest 패킷을 전송 후에는 해당 Interest 패킷 정보를 PIT 에 일정 시간 저장해 둔다. 이후 동일 콘텐츠 이름의 Interest 패킷이 들어오면, 중복으로 내보내지 않고 해당 Interest 패킷이 유입된 인터페이스 정보만 남겨둔다. Data 패킷이 도착하면 콘텐츠 이름으로 PIT 에서 검색하여 Interest 패킷이 들어왔던 모든 인터페이스로 Data 패킷을 전달한 후, 해당 Interest 정보는 PIT 에서 제거한다. 이와 같이 PIT 에 Interest 패킷을 잠시 동안 남겨두어 Interest 가 지나온 역 방향 경로를 따라 Data 패킷을 전달할 수 있다. 또한 동일 콘텐츠 이름에 대한 Interest 패킷은 외부로 한번씩만 전송함으로써 (Interest Aggregation), 콘텐츠 제공자로 향하는 Interest 패킷 수를 줄이고, Data 패킷이 도착하면 요청 받았던 모든 인터페이스로 복사 전달 해준다. 이는 IP 멀티캐스트와 같이 다수의 콘텐츠 요청자에게 효율적인 데이터 전송이 가능하다.

- Content Store: CCN 노드는 Data 패킷을 받으면 자신의 PIT 에 남겨진 정보에 따라 Data 패킷을 전달하고 해당 Data 패킷은 그냥 버리는 것이 아니라 Content Store 에 저장한다. In-Network Caching 개념으로 이후 동일한 콘텐츠 이름에 대해 Interest 메시지가 들어오면 Content Store 에서 먼저 검색하여 즉시 응답해줄 수 있다. Content Store 의 저장 공간 관리를 위해 Least Recently Used (LRU) 와 같은 캐시 교체 정책을 적용한다.

앞서 살펴본 바와 같이, CCN 은 콘텐츠 이름 기반으로 콘텐츠 요청 및 배포가 이뤄진다. 요청 (Interest) 패킷은 FIB에 따라 콘텐츠 제공자 방향으로 라우팅 되며, 전달한 Interest 정보를 PIT 에 남겨둔다. 해당 콘텐츠를 보유한 CCN 노드 (콘텐츠 제공자 혹은 Content Store 에 복사본을 가진 CCN 노드) 만한다면, 더 이상 콘텐츠 제공자 방향으로 Interest 패킷을 전달할 필요 없이 즉시 데이터 서비스를 수행한다. Data 패킷은 CCN 노드의 PIT 에 남겨진 정보에 의해 Interest 패킷이 지나온 역 방향으로 콘텐츠 요청자에게 전달된다. CCN 노드는 저장 공간 (Content Store) 을 보유하고 있어 Data 패킷을 전달 후에는 저장 공간에 캐싱해 두어 이후 동일한 요청에 대해 즉시 응답할 수 있다. 이와 같은 방식은 종단간 연결성을 요구하지 않으며, In-Network Caching 으로 콘텐츠 접근성을 높이고, 멀티캐스팅 효과로 다수 요청자에게 효율적인 데이터 전송도 가능하다. 콘텐츠 요청자 입장에서 빠른 콘텐츠 수신으로서

비스 품질 개선 효과를 높이고, 콘텐츠 제공자와 망 사업자 측면에선 서버 로드 및 네트워크 트래픽을 줄임으로써 서비스 구축 및 운용 비용의 절감 효과를 기대할 수 있다.

본고에서는 콘텐츠 중심 네트워크에서의 이동성에 관한 이슈와 연구 동향을 중심으로 살펴본다. 콘텐츠 요청자가 이동성을 가지는 경우와 콘텐츠 제공자가 이동성을 가지는 경우를 각각 살펴보고, 네트워크 구성 노드가 모두 이동성을 가지는 Mobile Ad-Hoc Network (MANET) 환경에서의 이슈 및 연구 동향을 소개한다.

## 2. CCN 에서의 콘텐츠 요청자 이동성

콘텐츠 요청자가 이동성을 가지는 경우, 기존의 인터넷과 비교하여 CCN 은 다음과 같은 장점을 가진다.

- 종단간 연결성을 요구하지 않기 때문에 자신의 네트워크 Access Point 가 변경되더라도 연결성이 끊어지거나 새롭게 연결을 시도할 필요가 없다. 옮겨간 네트워크로 아직 응답 받지 못한 혹은 새로 수신하고자 하는 콘텐츠에 대해 Interest 패킷을 (재)전송하면 된다. Data 패킷은 Interest 패킷이 지나온 역 방향 경로로 따라 올 수 있기 때문에, 콘텐츠 요청자는 새로운 네트워크로 이동 후, 해당 네트워크 이름과 (예: 도메인 주소) 같은 정보 획득이 늦더라도 문제 없이 콘텐츠 요청 및 수신이 가능하다.
- In-Network Caching 개념을 도입 함으로써 항상 콘텐츠 제공자까지 Interest 패킷을 전달할 필요 없이, 해당 콘텐츠 복사본이 저장된 CCN 노드를 만난다면 그 즉시 받아들일 수 있다. 인기 있는 콘텐츠의 경우 종단 네트워크에 가까운 CCN 노드에 이미 저장되어 있을 확률이 높아 이동 단말이 다른 네트워크로 이동 후에도 빠른 수신이 기대된다. 더불어 유선 네트워크에 비해 종단 무선 채널의 높은 패킷 손실에 대해서도 한번 받아온 Data 패킷은 지나온 경로에 저장 되어 있으므로 다시 콘텐츠 제공자까지 Interest 패킷을 요청할 필요 없이, Data 패킷이 저장된 가장 가까운 CCN 노드로부터 빠르게 복구할 수 있다.
- Routing loop 문제가 발생하지 않는 CCN 에서는 복수의 (multiple) 경로로 Interest 를 보내고 응답을 받는 것이 가능하다. 그러므로 이동 단말의 경우 복수의 네트워크 인터페이스를 가지고 있다면, 이를 활용하여 다수의 경로를 통해 콘텐츠를 빠르게 찾고 선택적으로 활용함으로써 이동성에 유연하게 대처할 수 있는 기회를 제공 받는다.

지금까지 살펴 본, CCN 환경에서의 콘텐츠 요청자의 이동성

지원은 기존의 인터넷의 비해 향상된 성능을 기대할 수 있지만 다음과 같은 이슈에 대해 심도 있는 논의가 필요하다.

- 이동 단말이 다수의 Interest 패킷을 보낸 후 다른 네트워크를 옮겨가면 해당하는 다수의 Data 패킷이 이전 네트워크로 전달되게 된다. 물론 Data 패킷이 이전 네트워크 경로 상에 캐시로 남아 해당 콘텐츠에 대한 요청이 추가로 발생한다면 빠르게 응답해줄 수 있겠지만, 콘텐츠 종류에 따라선 재요청이 발생할 가능성이 미비하거나 없을 수 있음으로 불필요한 트래픽과 저장 공간의 낭비가 발생할 수 있다. 많은 이동 단말들이 높은 대역폭의 서비스를 받으며 빈번하게 네트워크를 이동하는 경우 불필요한 네트워크 자원 낭비 문제는 더욱 커질 수 있다.
- Interest Aggregation 은 일정 시간 동안 동일한 콘텐츠에 대한 Interest 패킷을 수신하면 중복으로 내보내지 않는 기능을 제공한다. 이는 멀티캐스트와 같은 효과를 제공하여 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 그러나 Interest Aggregation 으로 인해 다음과 같은 문제가 야기될 수 있다. 이동 단말이 다른 네트워크로 이동 후에는, 이전 네트워크에서 요청했던 Interest 패킷에 대한 Data 패킷은 수신할 수가 없기 때문에, 이동 후에는 Interest 패킷의 재전송이 필요하다. 그러나 PIT 에 이전 Interest 정보가 아직 남아 있다면 Interest Aggregation 되어 재전송 지연 현상이 나타날 수 있다. 파일 전송과 같은 패킷 복구 지연에 덜 민감한 서비스 경우 문제 되지 않겠지만, 라이브 스트리밍 서비스나 음성 채팅과 같은 실시간 서비스에서는 패킷 복구 지연으로 인한 문제가 야기 될 수 있다.
- CCN 의 기본 캐싱 정책은 Data 패킷이 지나온 모든 CCN 노드에 LRU 캐시 교체를 수행하며 저장하게 된다. 이러한 캐시 교체 정책의 간단함은 적용하기가 용이하지만, 네트워크 전체 성능 면에서는 과도한 중복 저장과 빈번한 캐시 교체 수행을 야기할 수 있다. CCN의 전체 성능을 향상 시키기 위한 다양한 In-Network Caching 기법들이 제안되고 있지만, 이동성이 높은 환경을 고려한 효율적인 In-Network Caching 정책에 대한 연구는 아직 초기 단계이다.

## 3. CCN 에서의 콘텐츠 제공자 이동성

이전 장에서 언급한 바와 같이 CCN 에서 콘텐츠 요청자가 이동성을 가지는 경우 기존의 인터넷에 비해 우수한 성능 향상을 기대할 수 있다. 그러나 스마트폰과 같은 이동 단말의 인터넷 사용이 보편화 되면서, 고정된 서버가 아닌 이동성을 가지는 단

말이 콘텐츠 제공자가 될 수 있다. 이동 단말에 저장된 이미지, 동영상 등을 공유하거나 음성 채팅, 화상 회의와 같은 서비스의 경우 이동 단말이 콘텐츠 요청자 일 뿐만 아니라, 콘텐츠 제공자의 역할도 함께 갖게 된다. 콘텐츠 제공자가 이동성을 가지는 경우는 콘텐츠 요청자만 이동성을 가지는 경우와는 달리 고려해야 할 중요한 요소들이 나타난다 [7].

콘텐츠 제공자가 다른 네트워크로 이동하는 경우, 콘텐츠 요청자가 보내는 Interest 패킷을 더 이상 수신할 수 없게 된다. 파일 전송과 같이 정적인 콘텐츠인 경우, 콘텐츠 제공자가 있었던 이전 네트워크 CCN 노드의 Content Store 에 저장되어 있다면 당분간 서비스가 가능하겠지만 시간이 흘러 콘텐츠가 Content Store에서 방출 된다면 더 이상 서비스가 불가능하게 된다. 반면 음성채팅, 화상회의와 같은 실시간 콘텐츠의 경우 Interest 패킷이 콘텐츠 제공자에게 직접 전달되지 못하게 되므로 서비스의 단절이 발생한다.

이러한 문제의 가장 단순한 해결책으로는 콘텐츠 제공자가 새롭게 이동한 네트워크에 자신이 서비스 하는 콘텐츠 이름을 공지하는 것이다. 공지된 정보는 CCN 전체 네트워크로 퍼져나가게 되어 언젠간 요청자의 Interest 패킷을 받을 수 있게 된다. 그러나 소요되는 시간이 길고, 다수의 이동 단말이 빈번히 이동하는 경우 전체 네트워크에 발생하는 오버헤드로 확장성 문제가 야기된다. 또한 FIB 에서 콘텐츠 이름을 계층적으로 aggregation 하지 못하게 되어 FIB 테이블 사이즈가 크게 증가하는 문제 역시 예상된다.

이와 같이 콘텐츠 제공자의 이동성 지원이 직면한 문제를 효율적으로 해결하기 위한 노력이 필요하며, 본 장에서는 콘텐츠 제공자 이동성 지원을 위한 연구 동향을 살펴본다.

- 분산 네임 서비스 방식의 이동성 지원 [8]: 기존의 인터넷 Domain Name Service (DNS) 와 유사하게, 분산 이름 데이터베이스를 적용할 수 있다. 사용자는 자신의 영구적인 이름을 분산 데이터베이스에 등록하고 (예: "/myDomain/Bob/"), 다른 네트워크로 이동할 때 마다 새롭게 할당 받는 이름을 (예: "/newDomain1/Bob/") 분산 네임 데이터베이스에 바인딩 요청한다. 콘텐츠 요청자는 먼저 알려진 영구적인 이름으로 ("/myDomain/Bob/") 질의함으로써 분산 네임 데이터베이스에 바인딩 되어 있는 "/newDomain1/Bob/" 정보를 받아와 Interest 패킷을 전송한다. 그러나 기존의 인터넷 DNS 는 유선 환경의 고정된 노드를 기본으로 가정하였고, 이동 단말이 중심이 되는 환경에서는 (다수의 콘텐츠 제공자가 빈번하게 이동하는), 잦은 바인딩 요청을 처리할 수 있는 확장성과 이름 질의에 대한 신속하고 정확한 응답을 제공할 수 있는 연구가 필요하다.

- 에이전트 기반의 Indirection 기법 [8][9]: Mobile IP [11] 와 유사한 방식으로 "Home Repository" 와 같은 이동성 관리 에이전트를 특정 네트워크에 (예: home domain) 구축한다. "Home Repository" 는 영구적인 콘텐츠 이름을 네트워크로 공지하며, 콘텐츠 제공자가 다른 네트워크로 이동 시 부여 받은 이름을 "Home Repository" 에게 바인딩 요청한다. 콘텐츠 요청자는 알려진 영구적인 이름으로 Interest 패킷을 보내면, "Home Repository" 가 수신하게 되고, 바인딩 되어 있는 콘텐츠 제공자의 현재 콘텐츠 이름으로 전달한다. 이러한 indirection 기능을 위해 IP 터널링 기법과 유사한 encapsulation 방식을 사용하거나 [8], Interest 패킷에 "Content Name" 이외에 "Location Name" 을 추가하여 사용한다 [9]. CCN 노드가 Interest 패킷을 받으면 "Content Name" 항목의 콘텐츠 이름으로 Content Store 에 복사본이 존재 하는지 확인하고, 복사본을 보유하고 있지 않다면 "Location Name" 항목에 들어있는 이름을 기반으로 라우팅 한다. 즉 "Content Name" 은 콘텐츠의 식별자로 사용하고, "Location Name" 은 콘텐츠 제공자의 위치 정보로 활용한다.

- CCN Indirection 기법 [10]: CCN Indirection 은 분산 이름 데이터베이스나, 이동성 관리 에이전트를 별도로 구축하지 않고, CCN 네트워크 레벨에서 indirection 기법을 제안한다. 콘텐츠 제공자가 한 도메인에서 다른 도메인으로 이동 하였을 때, Virtual Interest 패킷을 자신의 콘텐츠 이름 그대로 담아서 전송한다. Virtual Interest 패킷은 콘텐츠 제공자의 이전 도메인으로 라우팅 되어 전달되며, 지나가는 모든 라우터는 콘텐츠 제공자가 새로 옮겨간 위치로 라우팅 될 수 있도록 FIB 를 수정한다. Virtual Interest 패킷이 최종적으로 콘텐츠 제공자가 연결되었었던 이전 CCN 노드로 도달하면, FIB 수정과 더불어, PIT 에서 대기중인 Interest 를 재 발송시킨다. 재 발송된 Interest 는 수정된 FIB 정보에 따라 다른 네트워크로 옮겨간 콘텐츠 제공자에게로 전달된다. 추후 발생하는 Interest 패킷은 네트워크 토폴로지에 따라 (FIB 정보가 변경된 CCN 노드 위치에 따라) 이전 도메인을 경유하지 않고 콘텐츠 제공자에게 직접 오거나, 혹은 이전 도메인을 거쳐 우회되어 도착할 수 있다. 콘텐츠 제공자의 이전 위치와 새로운 위치 사이 경로에 대해서만 FIB 수정을 수행하기 때문에 네트워크 전체로 영향을 미치지 않는다. 그러나 다수의 이동 단말들이 빈번히 이동성을 가지는 경우 확장성 문제에 검증이 요구되며, 우회되는 경로를 개선하기 위한 경로 최적화에 대한 추가 연구가 진행 중이다.

#### 4. CCN 에서의 MANET 연구 동향

앞서 언급한 이동성 연구는 네트워크를 구성하는 중간 노드가 고정된 유선 환경을 가정하고 있다. 본 장에서는 네트워크를 구성하는 모든 노드가 이동성을 가질 수 있는 Mobile Ad-Hoc Network (MANET) 에 대해 살펴본다. 먼저 CCN 패러다임을 MANET 환경에 가져가는 것이 어떤 장점을 가질 수 있는지 기술하고, 동적인 MANET 환경에서 콘텐츠 중심 네트워크 기술을 적용하기 위한 연구 동향을 소개한다.

MANET 에 관한 많은 연구가 현재의 인터넷을 기반으로 수행되었다. IP 주소를 이동 단말 노드에 할당하고 동적인 네트워크 변화를 수용할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안함으로써 중단간 연결성을 제공하고 유니캐스트 방식으로 데이터 전송이 이뤄진다. 그러나 MANET 환경의 응용 서비스들을 살펴보면 전장에서의 지휘 및 통제, 재난 상황에서의 긴급 구조, 차량 간 교통 정보 공유 등, 네트워크 인프라가 갖춰지지 못한 환경에서 중단간 통신 보다는 콘텐츠 혹은 데이터 중심의 서비스가 중요하다. 이러한 콘텐츠 중심 서비스는 CCN 의 패러다임과 일치한다 [12].

최근 MANET 을 CCN 과 접목하여 보다 효율적인 콘텐츠 요청 및 배포를 지원하려는 연구가 진행되었다 [12]–[15]. 무선 채널의 기본 성질인 브로드캐스트를 적극 활용하며, 기존의 MANET over IP에 비해 다음과 같은 장점을 가진다.

- 기존의 MANET over IP 에서는 모든 이동 노드에게 IP주소를 할당하고 회수하는 등 IP 주소 관리가 중요하다. DHCP 와 같은 인프라가 존재 하지 않는 MANET 환경에서는 IP 할당, 중복 확인 및 회수를 효과적으로 하는 것은 여전히 해결해야 할 문제로 남아있다. MANET over CCN 에서는 IP주소 할당이 필요하지 않다. 대신 어플리케이션 레벨에서 콘텐츠 이름(혹은 데이터 이름) 사용하여 Interest 및 Data 패킷을 교환한다. 예를 들어, 차량간 통신 (Vehicle to Vehicle Communication) 에서 서울 테헤란로의 통행속도를 알고 싶다면 아래 예와 같이 데이터 이름으로 Interest 패킷을 브로드캐스팅 하면 된다. 주변 차량을 통해 Interest 패킷은 퍼져나가며 해당 정보를 가진 노드를 만나면 지나온 경로 반대로 Data 패킷이 전달된다 [16].

예) /교통정보/서울/테헤란로/{시간대}/통행속도

- 기존의 IP 중심 MANET 에서는 패킷 자체가 특별한 의미를 가지고 있지 못하였다. 패킷 전달을 위해 목적지 IP 주소를 활용하고 패킷을 전달한 이후에는 버려버린다. 그러나 콘텐츠 중심 MANET 에서는 Data 패킷 자체가 콘텐츠 이름을 포

함하고 있어 캐시로 저장해 두면 동일한 요청이 들어왔을 때 즉시 응답할 수 있다. 위의 테헤란로 통행속도와 같은 예에서도, Data 패킷이 전달될 때, 전달을 담당하는 차량 노드는 물론 전달을 담당하지 않더라도 브로드캐스팅에 의해 듣게 되었을 때 (overheard) 이를 캐시로 저장하여 이후 동일 요청에 대해 응답할 수 있다.

- 기존 MANET 에서는 매 홉마다 송신자가 최종 목적지에 대해 수집 혹은 계산된 단일 경로 정보를 기반으로 다음 홉 수신자를 선택하여 유니캐스트 방식으로 패킷을 전달한다. 만약 해당 노드가 사라졌다면 다시 단일 경로를 찾기 위한 라우팅 정보 수집 및 계산을 수행하여야 한다. 반면 콘텐츠 중심 MANET 에서는 무선 채널의 브로드캐스트 성질을 적극 활용하여 송신자가 던진 패킷을 수신한 모든 수신자가 자신이 적합한 전달자 인지 판단하여 높은 이동성을 가진 네트워크에서도 패킷을 전달하는데 효율적이다.
- CCN 에서는 앞서 설명한 것과 같이 routing loop 문제가 발생하지 않는다. 그러므로 Interest 패킷을 잠재적인 목적지를 향하여 여러 경로를 통해 전달할 수 있다. 하나 이상의 경로로부터 응답을 받는다면 가장 좋은 성능을 얻을 수 있는 경로를 선택하여 사용할 수 있다. 이러한 다수의 경로를 활용할 수 있음은 기존의 MANET 라우팅 프로토콜에서 요구하던 단일 경로를 얻기 위해 수집하고 계산하는 오버헤드와, 라우팅 정보의 일관성 유지 관리 비용을 줄일 수 있다.

이와 같은 MANET over CCN 을 위해 구체적인 전송 규약을 제안한 Listen First Broadcast Later (LFBL) [14] 와 Content centric fashion mANET (CHANET) [15] 연구가 있다.

LFBL 와 CHANET 모두 무선 채널 특성인 브로드캐스트 방식만으로 패킷 전달을 수행한다. 최초 콘텐츠 요청은 Interest 패킷이 브로드캐스팅 되어 네트워크 전체로 퍼져나간다. 해당 콘텐츠를 가지는 노드를 만나면 Interest 패킷이 지나온 반대 방향으로 Data 패킷이 전달된다. Data 패킷에는 콘텐츠 제공자 이름 (예: MAC address) 항목과 Distance (예: 콘텐츠 제공자로부터 거리 혹은 홉 수) 항목이 추가되며, Distance 는 매 홉마다 증가시킨다. 브로드캐스트 되는 Data 패킷을 엿들은 모든 노드는 콘텐츠 제공자 이름 (예: MAC address) 과 Distance (예: 콘텐츠 제공자로부터 거리 혹은 홉 수) 정보를 콘텐츠 제공자 테이블에 기억해둔다.

이후 콘텐츠 요청자는 Interest 패킷에 콘텐츠 제공자 이름과 Distance 정보를 담아 브로드캐스트 한다. 동일한 브로드캐스트 방식을 사용하지만 이번엔 전체 네트워크로 퍼지는 대신, 각

수신자가 자신이 패킷 전달자로서 적합한지 판단하여 패킷 전달을 수행한다.

패킷 전달자로서 적합성 여부를 판단하기 위해선 Interest 패킷에 명시된 콘텐츠 제공자 이름이 자신의 콘텐츠 제공자 테이블에 저장되어 있는지 확인한다. 알지 못하는 콘텐츠 제공자 정보라면 그냥 버리고, 기록된 콘텐츠 제공자 정보라면 패킷 전송 충돌을 피하기 위해 임의의 시간만큼 기다리는 정책을 사용한다. 특히 콘텐츠 제공자와 가까운 거리일수록 먼저 패킷 전달을 수행함으로써, 복잡한 라우팅 정보 수집 과정 없이 효율적인 패킷 전달이 이뤄진다. 또한 중간 노드가 요청 받은 Interest 패킷에 대한 Data 패킷을 자신의 Content Store에 보유하고 있다면, Interest 패킷에 명시된 Distance (콘텐츠 요청자와 콘텐츠 제공자의 거리)를 확인하고 자신이 명시된 콘텐츠 제공자보다 콘텐츠 요청자와 더 가깝다면 즉시 Data 패킷을 보내주어 콘텐츠 접근성을 높일 수 있다.

콘텐츠 중심 네트워크 기술을 통한 MANET 환경 구축은 앞에서 살펴본 바와 같은 여러 장점을 지닐 수 있다. 그러나 기존의 MANET 연구와는 달리 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) [18]와 같은 별도의 동적 라우팅 기법을 요구하지 않는 것이 최선인지에 대해 아직 논의가 필요한 이슈이며, 브로드캐스트 방식을 적극적으로 활용하는데 있어 야기될 수 있는 broadcast storm [17]과 같은 확장성 문제와 지속적인 브로드캐스트 송수신에 따른 배터리 소모와 같은 문제 역시 검증이 요구된다.

### III. 결론

이동 단말의 빠른 보급과 대용량 동영상 콘텐츠 서비스 비중이 높아짐에 따라, 인터넷 트래픽이 폭발적으로 증가하고, 인터넷 접속 환경은 고정된 유선 환경 중심에서 이동 무선 환경 중심으로 변화해가고 있다. 이러한 인터넷 사용의 변화를 수용하기에 현재의 인터넷은 근본적인 문제가 제기되고 있어, 새롭게 혁신적 접근 방식인 미래 네트워크 기술에 대한 연구가 범세계적으로 진행되고 있다. 본고에서는 콘텐츠의 요청과 배포를 효율적으로 지원하고 단말의 이동성을 기본으로 고려하는 콘텐츠 중심 네트워크 기술을 살펴보았다.

콘텐츠 중심 네트워크 기술은 종단간 연결성이 요구되지 않아 다른 네트워크로 이동 후에도 별다른 요구 사항 없이, 필요한 콘텐츠에 대해 Interest 패킷을 (재)전송하기만 하면 된다. In-Network Caching 도입으로 콘텐츠 요청이 매번 콘텐츠 제공자에게 도달할 필요가 없으며, 손실된 패킷 복구 역시 패킷

손실이 발생한 직전 노드로부터 저장된 복사본을 받아들일 수 있다. 인기 있는 콘텐츠 경우 여러 중단 네트워크로 캐시 되어 있어, 이동 단말의 콘텐츠 접근성을 높여줄 수 있다. 더불어 여러 경로로 요청 패킷을 보내더라도 routing loop 문제가 발생하지 않기 때문에 복수의 네트워크 인터페이스를 활용하여 보다 유연한 이동성을 제공할 수 있다.

본고에서 언급한 콘텐츠 요청자가 이동 시 발생할 수 있는 이슈들을 포함하여, 콘텐츠 제공자가 이동성을 가지는 경우 및 MANET over CCN에 대해선 많은 도전 과제가 남아있다. 콘텐츠 중심 네트워크 기술은 아직 설계 및 구현을 위해 활발한 논의가 진행 중이며, 국내에서도 여러 국내외 연구 과제들과 협력을 공고히 하여 많은 기여를 할 수 있기를 기대한다.

### 참고 문헌

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, Feb. 2012.
- [2] V. Jacobson et al., "Networking Named Content" in ACM CoNEXT'09, Rome, Italy, Dec. 2009.
- [3] T. Koponen et al., "A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture," in SIGCOMM'07, Kyoto, Japan, Aug. 2007.
- [4] D. Lagutin, K. Visala, and S. Tarkoma, "Publish/Subscribe for Internet: PSIRP Perspective," in Towards the Future Internet - Emerging Trends from European Research, G. Tselentis et al., Eds. IoS Press, 2010.
- [5] B. Ahlgren et al., "Design Considerations for a Network of Information," in ACM ReArch, Madrid, Spain, Dec. 2008.
- [6] A. Detti et al., "CONET: A Content Centric Inter-Networking Architecture," in ACM SIGCOMM Workshop on Information-Centric Networking (ICN-2011), Toronto, Canada, Aug. 2011.
- [7] G. Tyson, N. Sastry, I. Rimal, R. Cuevas and A. Mauthe, "A Survey of Mobility in Information-Centric Networks: Challenges and Research Directions," ACM MobiHoc Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design, June 2012.
- [8] F. Hermans, E. Ngai, and P. Gunningberg, "Mobile

Sources in an Information-Centric Network with Hierarchical Names: An Indirection Approach,” In Proc. of the 7th Swedish National Computer Networking Workshop, June 2011.

- [9] F. Hermans, E. Ngai, and P. Gunningberg, “Global source mobility in the content-centric networking architecture,” ACM MobiHoc Workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design, June 2012.
- [10] D. Kim, J. Kim, Y. Kim, and H. Yoon, “Mobility Support in Content Centric Networks,” ACM Sigcomm Workshop on Information Centric Networking, Aug. 2012.
- [11] C. Perkins, et al., “IP Mobility Support for IPv4,” IETF RFC 3344, August 2002.
- [12] M. Meisel, V. Pappas, and L. Zhang, “Ad Hoc Networking via Named Data,” in MobiArch’10, Chicago, Illinois, Sep. 2010.
- [13] Varvello et al., “On the Design of Content-Centric MANETs,” in ONS’11, Bardonecchia, Italy, Jan. 2011.
- [14] M. Meisel et al., “Listen First, Broadcast Later: Topology-Agnostic Forwarding Under High Dynamics,” Annual Conference of International Technology Alliance in Network and Information Science, Sep. 2010.
- [15] M. Amadeo and A. Molinaro, “CHANET: A Content-Centric Architecture for IEEE 802.11 MANETs,” IEEE/IFIP 2011 International Conference on the Network of the Future, November, 2011
- [16] L. Wang, R. Wakikawa, R. Kuntz, R. Vuyyuru, and L. Zhang. Data naming in vehicle-to-vehicle communications, IEEE Infocom 2012 Workshop on Emerging Design Choices in Name-Oriented Networking (NOMEN), Mar. 2012.
- [17] O. Tonguz et al., “On the Broadcast Storm Problem in Ad Hoc Wireless Networks,” in BROADNETS’06, San Jose, California, Oct. 2006.
- [18] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,” IETF RFC 3561, Jul. 2003

## 약 력



김 유 성

2002년 경북대학교 이학사  
 2004년 한국과학기술원 공학석사  
 2008년 한국과학기술원 공학박사  
 2008년~2011년 삼성전자 책임연구원  
 2011년~2012년 성균관대학교 정보통신공학부 박사 후 연구원  
 2012년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수  
 관심분야: 미래 인터넷, 무선/이동 네트워크



김 도 형

2004년 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부 공학사  
 2004년~현재 KAIST 석박사 통합과정 재학중  
 관심분야: Wireless network, congestion control, mobility issue



염 익 준

1995년 연세대학교 공학사  
 1998년 Texas A&M University 공학석사  
 2001년 Texas A&M University 공학박사  
 2002년~2008년 한국과학기술원 전산학과 교수  
 2008년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수  
 관심분야: QoS, Congestion Control, Mobile Ad-hoc 네트워크