

ICN+DTN 기술

강민욱, 정윤원
숭실대학교

요약

최근 인터넷에서 동영상 트래픽 등으로 인한 인터넷 트래픽 급격한 증가 문제를 해결하기 위해 제안된 정보 중심 네트워크인 ICN(Information Centric Network)과 연결성이 보장되지 않는 환경에서 메시지를 효과적으로 전달할 수 있는 지연 감내 네트워크인 DTN(Delay Tolerant Network)을 결합한 ICN+DTN 연구가 재난 환경을 대상으로 활발히 이루어지고 있다. 재난 환경에서는 통신 인프라의 파괴로 인해 네트워크의 연결성이 보장되지 않는다. 따라서, 콘텐츠 이름 기반으로 기회적 접촉을 통한 메시지 전달을 수행하는 ICN+DTN 기술은 재난 환경에서 노드 간 메시지 전송에 매우 효과적이라 할 수 있다. 이에 본고에서는 ICN 및 DTN 기술의 원리에 대해 간략히 알아보고 이를 결합한 ICN+DTN 기술 및 관련 프로젝트의 동향을 소개한다.

I. 서론

1960년대 미국 국방성의 연구비 지원으로 시작된 ARPANET(Advanced Research Projects Agency Network) 프로젝트를 통해 1969년 UCLA에서 스탠퍼드연구소(Stanford Research Institute)로 최초의 패킷 교환 메시지가 전송된 이래 인터넷은 눈부신 성장을 거듭해 왔다. 개발 초기 일부 연구자들의 전유물이었던 인터넷은 어느덧 문명의 이기로서 우리의 생활을 편리하게 해주고 있으며 우리의 삶은 인터넷과 떼려야 뗄 수 없는 관계가 되었다. 날마다 PC나 스마트폰을 이용해 정보검색, 쇼핑, 동영상 시청을 하면서 시간을 보내는 것은 어느덧 우리의 일상이 되었고 많은 일들이 기존의 오프라인에서 인터넷을 통한 온라인으로 변화되어 가고 있다.

인터넷이 우리의 삶에 필수적인 요소가 되면서 인터넷이 처리해야 하는 트래픽의 양은 급격히 증가되었는데 특히 동영상 서비스로 인한 트래픽은 현재 인터넷 트래픽의 많은 부분을 차

지하고 있다. 인터넷에서 패킷은 라우터에 의해 전달되는데 패킷에 저장된 목적지 노드의 IP 주소를 이용하여 라우팅이 수행된다. 라우터는 수신된 패킷의 목적지 노드의 IP 주소를 이용하여 포워딩 테이블을 검색하여 longest prefix match 기법에 의해 출력 인터페이스를 찾는다. 이후 선택된 인터페이스로 패킷을 포워딩 하며 이후의 중계 라우터에서도 이러한 과정을 반복하여 최종적으로 목적지 노드로 패킷을 전달한다. 현재 인터넷에서는 IP 주소를 기반으로 라우팅이 수행되어 동영상을 다운로드 받고 싶은 사용자는 기본적으로 해당 동영상 서버의 IP 주소를 알아야 한다. 물론, 웹 브라우저에 동영상의 링크인 URL(Uniform Resource Locator) 정보를 입력하면 웹 브라우저가 DNS(Domain Name System)을 통해 해당 URL에 대응되는 IP 주소를 얻는 과정을 수행하여 사용자는 IP 주소를 찾는 과정에 실제적으로 관여하지 않아도 된다. IP 주소 기반의 현재 인터넷에서는 <그림 1>에서 볼 수 있는 것처럼 다수의 사용자가 동일한 동영상을 요청하는 경우 동영상 서버로부터 다수의 사용자로 동일한 동영상이 전달되어야 하여 비효율적이며 확장성(scalability)이 떨어지는 한계가 있다.

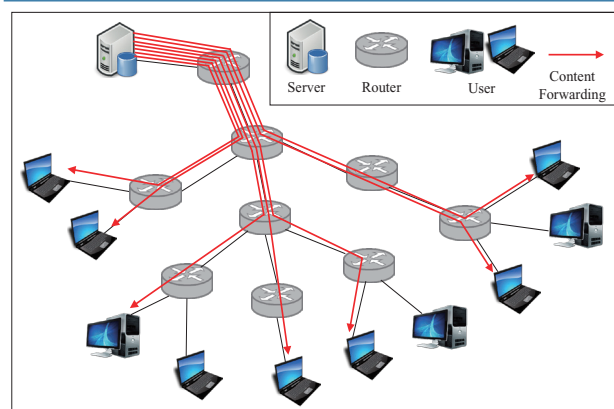


그림 1. 인터넷에서 동영상 다운로드 예

상기와 같은 현재 인터넷의 한계를 해결하고자 최근 정보 중심 네트워크인 ICN(Information Centric Network)[1]에 대한 연구가 CCN(Content-Centric Network)[2] 혹은

NDN(Named Data Network)[3]으로 활발히 진행되고 있다. ICN에서는 IP 주소 대신에 콘텐츠의 이름을 사용하여 라우팅을 수행한다. 특정 콘텐츠를 원하는 사용자는 요청 콘텐츠의 이름을 포함한 Interest라는 패킷을 주위 라우터로 전송하고 이를 수신한 라우터는 자신의 캐시인 CS(Content Store)를 검색하여 콘텐츠가 존재하는 경우 저장된 콘텐츠를 요청 노드에 전송한다[3]. 요청 콘텐츠가 존재하지 않는 경우 라우터는 기존에 처리한 Interest의 입출력 인터페이스 정보를 관리하는 PIT(Pending Interest Table)를 검색하여 이미 동일 콘텐츠에 대한 Interest를 처리한 정보가 있는 경우 수신한 Interest의 입력 인터페이스를 저장하고 주위 라우터로 Interest를 전달하지는 않는다. 그렇지 않은 경우 콘텐츠 이름에 기반하여 관리되는 포워딩 테이블인 FIB(Forwarding Information Base)를 검색하여 longest prefix match 방식을 통해 출력 인터페이스를 결정하고 결정된 인터페이스로 Interest를 전달하고 Interest가 전달된 인터페이스의 정보를 PIT에 저장한다. Interest가 콘텐츠를 가지고 있는 라우터에 도착하면 콘텐츠는 중계 라우터의 PIT 정보를 이용하여 Interest가 전달된 역경로(reverse path)를 통해 콘텐츠를 요청한 노드로 전송한다. 이 때, 전송 경로에 위치한 라우터는 자신의 CS에 콘텐츠의 사본을 저장하고 추후 동일 콘텐츠에 대한 요청이 있는 경우 저장된 콘텐츠를 이용하여 응답한다. <그림 2>는 ICN에서 콘텐츠 탐색 및 전달 과정을 보여준다[3].

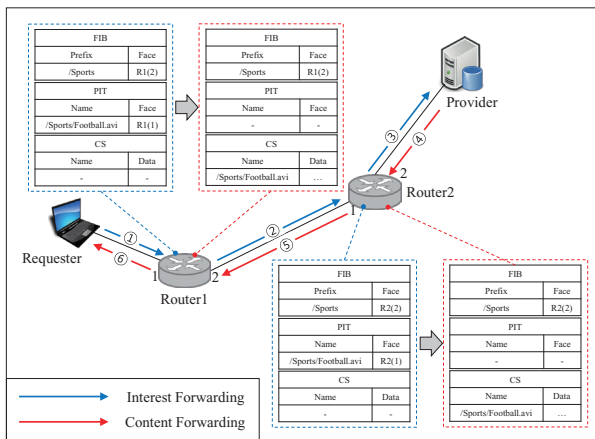


그림 2. ICN에서 콘텐츠 탐색 및 전달 과정

ICN에서는 콘텐츠 이름을 이용하여 라우팅을 수행하여 콘텐츠를 가지고 있는 노드의 IP주소를 알지 않아도 되는 장점이 있다. 또한, <그림 3>에서 볼 수 있는 것처럼 다수의 사용자가 동일한 동영상을 요청하는 경우 콘텐츠를 이미 전달한 라우터의 CS에 저장되어 있는 콘텐츠 복사본을 통해 바로 콘텐츠를 요청

노드로 전송할 수 있어 효율적이다. 즉, ICN은 IP 주소에 기반하여 라우팅을 수행하는 기존의 인터넷의 트래픽 증가 문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

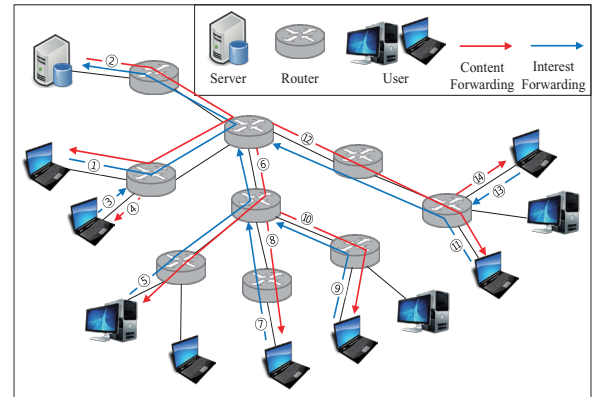


그림 3. ICN에서 동영상 다운로드 예

ICN과 함께 중요하게 여겨지는 미래 네트워크 기술로는 지연 감내 네트워크인 DTN(Delay Tolerant Network)이 있다. DTN은 본래 거리가 멀어 직접 통신이 불가능한 행성 간 통신을 위해 고안된 통신 방식[4]으로 주위 행성이 통신 거리에 근접할 때 기회적으로 통신을 수행하고 이러한 기회적 통신을 통해 최종 목적지로 메시지를 전송한다. 주위 노드와 기회적 통신을 활용하는 DTN의 특성으로 인해 최근에는 DTN은 통신 인프라가 파괴된 재난 환경에서 효과적인 통신을 제공할 수 있는 대안 기술로서 주목 받고 있다. 기존 인터넷에서는 발신 노드로부터 목적지 노드로 전달 경로가 모두 설정이 되어야 패킷 전달이 가능하고 중간 경로가 끊어지는 경우 연결이 해제되어 통신 인프라가 파괴된 재난 환경에는 적합하지 않다. 반면, DTN은 발신 노드로부터 목적지 노드로 연결성이 보장되지 않은 환경에서도 통신이 가능하다. 즉, 발신 노드로부터 목적지 노드로 메시지 발생 시 발신 노드는 이동 중 주위 노드와 접촉 시 미리 정해진 전달 조건을 만족하면 메시지를 전달하고 주위 노드는 다시 이 메시지를 자신의 버퍼에 저장하고 이동하다가 다른 노드를 접촉 시 메시지를 전달하는 과정을 통해 최종 목적지로 메시지의 전달을 수행한다[5]. 이를 store-carry-forward 방식이라고 하며 이를 위해 DTN에서는 응용 계층과 전달 계층 사이에 번들(bundle) 계층을 정의하여 메시지를 장시간 보관할 수 있도록 한다[6]. <그림 4>는 DTN에서 기회적 접촉을 통한 메시지 전달 과정을 보여주고 있다. 소스 노드 S는 R1, R2 노드에게 메시지를 전달하고 R1 노드는 메시지를 가지고 이동하다가 R3, R4 노드와 접촉 시 전달 조건을 만족하는 R3 노드에게는 메시지를 전달하고 전달 조건을 만족하지 않는 R4 노드에게

는 메시지를 전달하지 않는다. 이 때, 메시지 전달 조건은 고려하는 DTN 프로토콜에 따라 다양하게 정의될 수 있다. 마지막으로 R3 노드는 메시지를 가지고 이동하다가 목적지 노드 D와 접촉 시 메시지를 전달한다.

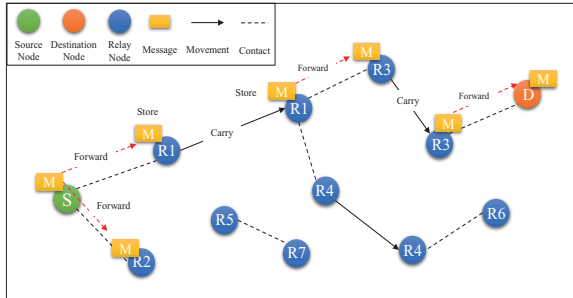


그림 4. DTN에서 메시지 전달

컨텐츠 이름 기반으로 라우팅을 수행하는 ICN은 DTN과 마찬가지로 재난 환경에 적합한 특성을 가진다. 재난 환경에서는 연결 단절로 인해 DNS를 통해 IP 주소를 얻기가 용이하지 않아 기존 IP 주소 기반 인터넷은 제대로 동작하지 않는 반면 컨텐츠 이름 기반으로 동작하는 ICN은 이러한 문제점이 없다. 또한, 종단 간 연결성에 기반하여 라우팅을 수행하는 기존 인터넷과 달리 ICN에서 Interest 및 Content의 전달은 종단 간 연결성을 필요로 하지 않아 연결성이 보장되지 않는 재난 환경에 적합하다. 마지막으로 ICN은 재난 환경에서 컨텐츠 이름 기반의 라우팅을 통해 특정 주제에 관심이 있는 노드 간 통신을 효과적으로 제공해 줄 수 있는 장점이 있다.

상기와 같이 ICN 및 DTN 기술은 각각 재난 환경에 적합한 특성을 가지고 있으며 따라서, 이 두 기술을 결합한 ICN+DTN 기술을 통해 연결이 끊어진 재난 환경에서 효과적인 컨텐츠 이름 기반의 통신을 제공할 수 있다. 본고에서는 2장에서 ICN+DTN 기술에 대한 최근 동향을 소개하고 3장에서 관련 국제 프로젝트인 Green ICN 및 UMOBILE 프로젝트를 소개한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. ICN+DTN 기술 동향

ICN+DTN 기술과 관련한 연구는 재난 환경을 주요 대상으로 다루고 있는데 통상 전체 네트워크는 <그림 5>와 같이 재난으로 인해 서로 간의 연결이 끊어진 다수의 분할 네트워크(fragmented network)를 가정하고 있다[7],[8]. 각 분할 네트워크에는 외부와의 통신을 수행하는 게이트웨이가 존재한다.

각 분할 네트워크 내부는 유선 네트워크, 이동 애드 혹 네트워크(Mobile ad hoc Network), 혹은 D2D(device to device) 등의 다양한 기술을 통해 통신이 가능한 것으로 통상 가정한다. 분할 네트워크 간 통신은 DTN을 통해 이루어지는데 분할 네트워크 사이를 주기적으로 이동하는 데이터 물(Data Mule), 혹은 경찰, 소방관 등의 구조요원 및 일반 사용자의 스마트폰과 같은 노드로 구성된 DTN 노드를 이용하게 된다. 데이터 물은 구급차, 경찰차 등과 같이 재난 지역을 주기적으로 순회하는 노드에 구현될 수 있는데 충분한 버퍼 크기를 가지는 노드로 각 게이트웨이로부터 데이터를 수신하거나 전달하는 역할을 수행한다. 서로 다른 데이터 물의 접촉 시 두 데이터 물 간 데이터 전송도 가능하다. 또한, 스마트폰도 충분한 버퍼 크기를 가지고 있지는 않지만 데이터 물이 담당하지 못하는 영역을 이동하며 주위 노드와의 기회적 접촉을 통해 분할 네트워크 간 통신을 제공할 수 있다.

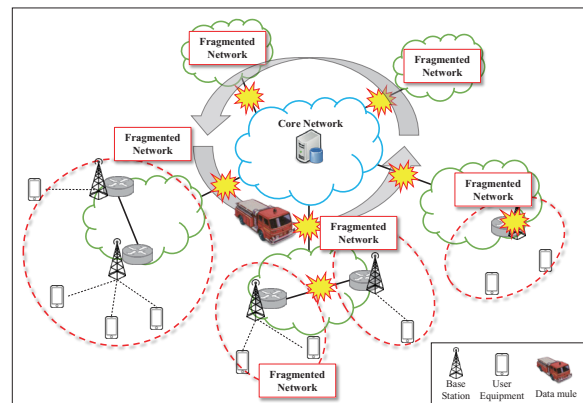


그림 5. 재난 환경에서 분할 네트워크

[7]의 연구에서는 그림 5에서와 같이 전체 네트워크를 여러 개의 분할 네트워크로 가정하고 분할 네트워크 사이를 다수의 데이터 물이 서로 다른 경로를 따라 이동하는 것을 가정한다. 이후 각 분할 네트워크에 존재하는 노드들에 의해 메시지 발생 시 분할 네트워크의 게이트웨이는 더 큰 전송 우선 순위를 가지는 메시지를 우선적으로 데이터 물에 전송하는 기법을 제안하고 있다. 이를 위해 분할 네트워크에서 특정 메시지를 요청한 노드의 수에 비례하고 메시지의 크기에 반비례하는 값인 메시지 우선 순위를 계산한다. 이후, 데이터 물과 메시지의 목적지 노드와의 접촉에 기반하여 정의된 전달 확률 값을 정의하고 마지막으로 메시지 우선 순위와 전달 확률 값의 곱으로 계산된 전송 우선 순위를 계산한다. 데이터 물과 접촉 시 높은 우선 순위를 가지는 메시지를 우선적으로 전송하는데 전송된 메시지의 우선 순위는 이후 전달 확률 값을 이용하여 전달 확률 값이 클

수록 더 많이 감소된다. 이는 이미 전송된 메시지보다 아직 전송되지 않은 메시지의 전송에 우선 순위를 주기 위해서이다. 전송 시 우선 순위 값을 0으로 하지 않는 이유는 비록 데이터 물로 메시지가 전달이 되었다 하더라도 목적지 노드로의 전달이 보장되지는 않기 때문에 추후 재전송을 수행할 필요가 여전히 있기 때문이다.

[8]의 연구에서는 유선 네트워크인 CCN과 재난으로 인해 연결이 끊어진 DTN 네트워크 간 연동을 통한 Interest와 Content의 전송 방법을 제안하고 있다. DTN과의 연동을 위해 CCN 네트워크는 DTN과의 연결 부분에 CCN 및 DTN 기능을 모두 수행할 수 있는 CCNDTN 라우터를 배치한다. DTN에서는 목적지 노드의 ID에 기반하여 메시지를 전송하는 반면 CCN에서는 콘텐츠 이름에 기반하여 메시지를 전송하게 된다. 따라서, DTN에서 ICN 메시지를 콘텐츠의 이름에 기반하여 전송하기 위해 [8]의 연구에서는 DTN의 Binding Protocol Query(BPQ)를 이용하여 Interest에서 찾기를 희망하는 콘텐츠의 이름을 포함한 BPQ 메시지를 전송하고 해당 콘텐츠를 가지고 있는 노드가 이를 수신하면 콘텐츠로 응답하는 방안을 제시하였다.

[9]의 연구에서는 재난 시 메시지 보드(message board)를 이용한 생존자 간 메시지 전달 방안을 제시하고 있다. 메시지 보드를 관리하는 조정자(moderator)는 특정 분할 네트워크에 존재하는 것을 가정한다. 분할 네트워크에 있는 생존자는 subscription 방식을 통해 /bbs/damage_in_tokyo와 같은 주제에 등록을 수행한다. 이후, /bbs/damage_in_tokyo에 등록된 생존자가 신규 메시지를 publish 하는 경우 이 메시지는 데이터 물을 통해 조정자에게 전달되고 조정자는 다시 이 주제에 가입한 노드가 존재하는 분할 네트워크의 게이트웨이에 이를 전달하고 최종적으로 각 분할 네트워크에서 가입된 생존자에게 전달된다. 신규 메시지의 전달 시 offline이었던 노드는 추후 online이 될 때 다시 /bbs/damage_in_tokyo 주제에 가입하고 게이트웨이로부터 가장 최근의 메시지 ID를 수신한다. 이후 가입자는 Interest 메시지를 게이트웨이에 전송하여 메시지를 요청하고 게이트웨이는 캐쉬된 메시지를 콘텐츠로 응답한다.

[10]의 연구에서는 노드의 밀도가 낮은 경우 DTN을 통해 ICN 기반의 콘텐츠를 얻는 과정을 제시하고 있다. 이를 위해 콘텐츠를 요청하는 노드는 주위의 이동 노드 중 agent를 선택하고 이후 agent의 도움을 통해 콘텐츠를 얻게 된다. 콘텐츠 요청 노드는 /ferrying을 prefix로 하는 Interest를 주위 노드에게 방송하고 이를 수신한 노드 중 agent로 동작 가능한 노드는 Data 메시지를 전송하여 이에 응답한다. 이후 콘텐츠 요청 노드는 미리 설정된 정책에 따라 하나 혹은 복수개의 agent를 설정한다. 설정된 agent는 이동 중 콘텐츠 소스와 접촉하게 되

면 콘텐츠를 얻고 다시 콘텐츠 요청 노드 주위로 이동하여 콘텐츠를 전송한다. Agent가 콘텐츠를 요청 노드에게 전송하는 방식은 push 혹은 pull 방식을 사용할 수 있는데 push 방식에서는 콘텐츠를 가지고 있는 agent가 주위에 콘텐츠 정보를 /nofity를 prefix로 가지는 Interest 메시지를 전송함으로써 알려주고 이후 콘텐츠를 전달하는 과정을 수행한다. Pull 방식에서는 콘텐츠 요청 노드가 주기적으로 /nofity를 prefix로 하는 Interest 메시지를 방송하고 이를 수신한 콘텐츠를 가진 agent는 응답을 하고 이후 콘텐츠 전송 과정을 수행한다.

III. ICN+DTN 프로젝트 동향

ICN+DTN 관련 대표적 국제 프로젝트로는 일본과 EU 연합으로 수행된 Green ICN 프로젝트와 EU 프로젝트인 UMOBILE 프로젝트가 있다. Green ICN 프로젝트[11]는 확장성이 있는 전력 효율적인 네트워크와 단말을 설계하는 것을 목표로 2013년 4월에 시작되어 3년 동안 수행된 프로젝트로 EU의 6개 기관과 일본의 6개 기관이 참여하였다. Green ICN 프로젝트에서 고려하는 대표적인 시나리오는 1) 재난 상황에서 효과적인 재난 안내 및 구조 정보의 전달과 2) 캐시와 이름 기반 전달에 기반한 전력 효율적인 비디오 전송이 있다. Green ICN 프로젝트에는 5개의 WP(Work Package)로 구성되어 있는데 각 WP에서 다루는 내용은 아래 <표 1>과 같다[11].

표 1. Green ICN 프로젝트의 Work Package

WP1	Requirements and Architecture for Green Information Delivery
WP2	Application: Green Disaster Information Delivery and Rescue Management
WP3	Application: ICN for Green Video Sharing
WP4	Prototype Implementation and Evaluation
WP5	Dissemination, Standardisation and Exploitation

Green ICN 프로젝트에 참여한 연구자들은 본고에서 소개한 재난 환경을 위한 ICN+DTN 관련 여러 기술들을 제안하였으며 IRTF의 ICNRG(Information Centric Network Research Group)[12]의 표준화에도 적극적으로 참여하여 재난 환경에서 ICN+DTN 기술의 필요성을 정리하고 Use Cases 및 Requirements를 정립하는데 공헌을 하였다.

UMOBILE(universal mobile-centric and opportunistic communications architecture) 프로젝트[13]는 9개의 기관이 참여한 EU 프로젝트로 2015년 2월에 시작하여 2018년 1월에

종료되는 프로젝트로 DTN과 ICN을 통합하는 이동 노드 간 기
회적 통신 구조를 설계하는 것을 목표로 한다. UMOBILE 프로
젝트의 WP(Work Package)[13]는 아래 <표 2>와 같다.

표 2. UMOBILE 프로젝트의 Work Package

WP1	Project management
WP2	System requirements
WP3	System and node architecture development
WP4	Services enablement
WP5	Overall platform integration and validation
WP6	Dissemination, exploitation and standardisation

UMOBILE 프로젝트에서는 기존 NDN 프로토콜을 기반으
로 라우팅 모듈에서는 NDN-Opp를 새롭게 개발하였고 포워
딩 모듈에서는 DTN fwd, NREP, OOC, KEBAPP을 새로
게 개발하였다[14]. NDN-Opp는 DTN 환경에서 노드 간 사
회적 연결(social connection)에 기반하여 NDN 메시지를 기
회적으로 전송한다. DTN fwd에서는 DTN tunneling을 수행
하고, NREP(Name-based Replication Priorities)에서는 이
름 prefix로 SOS, Government, Warning, Chat과 같이 우
선 순위를 쉽게 파악할 수 있는 prefix를 사용함으로써 재난
환경에서 이름에 기반한 우선 순위 전송을 용이하게 구현한
다. OOC(Opportunistic Off-path Content Discovery)에
서는 이미 충족된 Interest의 방향을 나타내는 SIT(Satisfied
Interest Table)를 정의하여 콘텐츠 스스로 가는 경로의 단
절 시 이미 요청한 콘텐츠를 수신한 캐시로 Interest를 전송한
다. KEBAPP(Keyword-Based Application Sharing)에서는
Internet과 연결되지 않은 환경에서 주위에 위치한 사용자들 간
정보를 교환하는 응용 기반 정보 공유 프레임워크를 제안한다.

IV. 결론

본고에서는 ICN 및 DTN 기술을 소개하고 재난 환경에 적합
한 ICN+DTN 기술과 관련한 연구 및 프로젝트 동향을 소개하
였다. ICN+DTN 기술은 이름 기반으로 효과적인 콘텐츠 전송
이 가능한 ICN 기술과 연결성이 보장되지 않는 환경에서도 메
시지를 효과적으로 전송할 수 있는 DTN 기술의 결합을 통해 재
난 환경에서 현재 인터넷이 가지는 문제점을 적절히 해결할 수
있을 것으로 사료된다. 추후 국내에서도 관련 분야의 연구, 개
발 및 표준화 참여를 통한 지식 재산권 확보에 노력을 기울여야
할 필요가 있다.

Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원
으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임
(No.2017-0-00613, MEC 환경에서의 콘텐츠 기반 지연 감내
네트워킹 기술 개발).

참고 문헌

- [1] G. Xylomenos, C. N. Ververidis, V. A. Siris, N. Fotiou, C. Tsilopoulos, X. Vasilakos, K. V. Katsaros and G. C. Polyzos, "A Survey of Information-Centric Networking Research," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 2, pp. 1024-1049, July 2013.
- [2] R. Jmal and L. C. Fourati, "Content-Centric Networking Management Based on Software Defined Networks: Survey," IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 14, no. 4, pp. 1128-1142, October 2017.
- [3] D. Saxena, V. Raychoudhury, N. Suri, C. Becker and J. Cao, "Named Data Networking: A survey," Computer Science Review, Vol. 19, pp. 15-55, February 2016.
- [4] Y. Cao and Z. Sun, "Routing in Delay/Disruption Tolerant Networks: A Taxonomy, Survey and Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 2, pp. 653-677, May 2012.
- [5] K. Scott and S. Burleigh, "Bundle Protocol Specification", IRTF RFC 5050, November 2007.
- [6] S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, K. Fall, V. Cerf, B. Durst, and K. Scott, "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet", IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 6, pp. 128-136, June 2003.
- [7] E. Monticelli, B. M. Schubert, M. Arumathurai, X. Fu and K. K. Ramakrishnan "An Information Centric Approach for Communications in Disaster Situations," IEEE International Workshop on Local & Metropolitan Area Networks (LANMAN), USA, May 2014.

- [8] H. Islam, A. Lukyanenko, S. Tarkoma, and A. Y. Jaaski, "Towards disruption tolerant ICN," IEEE Symposium on Computers and Communication, 2015.
- [9] A. Tagami, T. Yangu, K. Sugiyama, M. Arumaithurai, K. Nakamura, T. Hasegawa, T. Asami, and K. K. Ramakrishnan, "Name-based Push/Pull Message Dissemination for Disaster Message Board," IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN), August 2016.
- [10] C. Anastasiades, T. Schmid, J. Weber and T. Braun, "Information-centric content retrieval for delay-tolerant networks," Computer Networks, vol. 107, no. 2, pp. 194-207, October 2016.
- [11] <http://www.greenicn.org/>
- [12] <https://datatracker.ietf.org/rg/icnrg>
- [13] <http://www.umobile-project.eu/>
- [14] D3.1. "UMOBILE architecture report," Public Deliverable, UMOBILE Project

약 력



강 민 욱

2005년 송실대학교 공학사
 2007년 송실대학교 공학석사
 2007년~현재 송실대학교 정보통신공학과
 박사과정
 관심분야: DTN, ICN, SDN, NFV, Green Cellular Networks



정 윤 원

1995년 KAIST 공학사
 1997년 KAIST 공학석사
 2001년 KAIST 공학박사
 2001년~2002년 King's College London,
 Centre for Telecommunications
 Research, 방문박사후연구원
 2003년~2005년 한국전자통신연구원 연구원(계약직)
 2005년~현재 송실대학교 전자정보공학부 교수
 관심분야: 이동성관리, 성능분석, DTN, ICN, SDN,
 NFV, Green Cellular Networks