

논문 2021-58-2-5

정보중심네트워크에서 생산자 이동성 조사 및 분석

(Survey on Producer Mobility in Information Centric Networks)

사나 파야즈*, 무하마드 아티프 우르 레흐만*, 무하마드 살라우딘*, 김 병 서**

(Sana Fayyaz, Muhammad Atif Ur Rehman, Muhammad Salahuddin, and Byung-Seo Kim[©])

요 약

정보 중심 네트워킹(ICN)과 그 결실인 명명된 데이터 네트워킹(NDN)은 호스트 중심 주소 기반 통신 아키텍처에서 콘텐츠 중심 이름 기반 통신 아키텍처로 패러다임의 전환을 제안하고 있다. NDN은 풀 기반 통신 모델을 따르고, 중간 노드의 포워딩 상태를 유지함으로써 소비자(최종 사용자) 모빌리티를 기본적으로 지원한다. 반면에 생산자(콘텐츠 생성자) 이동성은 NDN의 원래 아키텍처 설계에서 초기에 지원되지 않았었다. 따라서, 모바일 생산자 노드에서 발생하는 성능 저하 문제를 효율적으로 해결하기 위해, 최근 몇 년 동안 다수의 생산자 이동성 계획이 제안되어 왔다. 본 논문에서는 문헌에서 제안된 기존의 연구 노력(생산자 이동성의 맥락에서)에 대한 간략한 조사를 제공했다. 본 논문은 이동성 제도를 1) 유선 네트워크에서의 생산자 이동성과 2) 무선 네트워크에서의 생산자 이동성으로 분류하였다. 무선 네트워크에 대한 생산자 이동 체계는 VANETs(Vehicular AdHoc Networks)의 맥락에서 개략적으로 설명된다. 또한 NDN의 효율적인 생산자 이동성과 관련된 향후 연구 방향과 과제를 조망했다.

Abstract

Information-centric networking (ICN) and its fruition, the named data networking (NDN) is a paradigm shift from host-centric address-based communication architecture to the content-centric name-based communication architecture. NDN follows a pull-based communication model and natively supports the consumer (end-user) mobility by maintaining the forwarding states on Intermediate nodes. The producer (content-generator) mobility, on the other hand, was not initially supported in the original architectural design of NDN. Therefore, to efficiently address the degradation issues incurred by mobile producer nodes, a plethora of producer mobility schemes have been proposed over the recent few years. In this paper, we provided a brief survey on the existing research efforts-in the context of producer mobility, that have been proposed in the literature. This paper classified the mobility schemes into two main categories 1) producer mobility in wired networks and 2) producer mobility in wireless networks. The producer mobility schemes for wireless networks are outlined in the context of Vehicular AdHoc Networks (VANETS). Moreover, we also shed light on the future research directions and challenges associated with the efficient producer mobility in NDN.

Keywords : ICN, NDN, Mobility, VANET, Wireless

I. 서 론

21세기는 거의 모든 일상 생활에서 사물인터넷(IoT)이 적용됨에 따라 엄청난 데이터의 생성을 경험하고

*학생회원, **평생회원 전자전산공학과(Hongik University, Dept. of Electronics and Computer Eng.)

©Corresponding Author(E-mail : jsnbs@hongik.ac.kr)

※ 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “이전공공기관연계육성(R&D,P0015131)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임

Received ; October 28, 2020 Revised ; January 29, 2021
Accepted ; February 4, 2021

있다. 생산된 데이터는 만들어지는 데이터를 생성하고 공유 시키는 생산자 노드와 그 데이터를 활용하는 소비자 노드, 즉 이 두 노드들 간의 통신을 통해서 공유된다. 특히 이동 중에 발생하는 다양하고 방대한 양의 데이터를 효과적으로 송수신하기 위해서는 효율적인 이동성 관리 체계가 필요하다. 현재의 위치 의존형 인터넷 프로토콜(IP) 기반 인터넷 아키텍처에서, 소비자와 생산자 모빌리티 모두의 관리는 번거로운 작업이다. 그 이유는 IP 네트워크에서는 데이터를 전송하기 위해서는 일대일 연결이 필요하지만, 모바일 엔드 호스트가 네

트위크의 한 지점(PoA)에서 다른 지점(PoA)으로 이동할 때는 물리적 IP 주소를 변경하고 데이터 전송을 위한 요청 노드와 새로운 연결을 설정해야 하기 때문이다. 그렇게 함으로써 최종 사용자는 데이터 수신 지연을 경험할 수 있으며, 이는 궁극적으로 네트워크의 성능을 떨어뜨린다. IP 기반 네트워크 아키텍처^[1]에서 모빌리티 관리를 효율적으로 처리하기 위해, 지난 20년 동안 다양한 연구 노력이 이루어졌지만, 이러한 제안 솔루션은 너무 복잡하고 실행하기 어렵다. 모바일 IP^[3] 및 콘텐츠 전달 네트워크^[4]와 같은 오버레이 솔루션은 이동성 문제를 해결할 잠재력이 있을 수 있지만, 이러한 솔루션은 스마트 기기의 수가 폭발적으로 증가하는 경우에는 확장성이 충분하지 않다.

반면에 명명된 데이터 네트워킹(NDN)^[6]은 노드의 위치가 아닌 데이터를 중심으로 통신이 수행되는 혁명적 네트워킹 패러다임을 제공한다. NDN에서는 생산자 노드의 IP 어드레스가 아닌 계층적, 의미적(semantic)으로 의미 있는 이름을 사용하여 데이터에 접속할 수 있다. NDN을 종래의 IP 기반 아키텍처와 비교하면, NDN은 네트워크 캐싱, 확장성, 콘텐츠 보안, 선천적 다중화 지원, 소비자 이동성 등의 몇 가지 유익한 특징을 제공하며 좀 더 효과적인 이동성 관리는 NDN에서 연구의 중요한 부분을 차지한다. 소비자 이동성은 NDN 아키텍처에서 기본적으로 지원되는 반면, 생산자 모빌리티를 효율적으로 처리하는 것은 현재의 동작원리를 기반으로 해결해야 하는 난제 중 하나이다. 그 이유는 생산자 노드가 한 부착점에서 다른 부착점으로 이동할 때, 이를 가리키는 FIB 항목은 새로운 인터페이스 정보로 업데이트되어야 하기 때문이다. 결과적으로, 운송 중인 Interest 패킷은 새로운 PoA를 향한 경로를 따라야 한다. 생산자 모빌리티의 주요 이슈 중 하나는 생산자가 자신의 위치를 네트워크에 알리지 않는 한 생산자 노드의 새로운 위치를 알 수 없다는 점이다. 또한 잦은 이동 환경에서 너무 많은 Announcement 패킷의 전송은 네트워크 성능에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. ICN/NDN에서의 이러한 문제를 해결하기 위해, 유선 네트워크와 무선 네트워크 모두를 고려한 다양한 해결책이 제안되었다.

본 논문에서는 유무선 네트워크와 무선 네트워크 모두의 생산자 이동성 계획에 대한 논의를 제공한다. 무선 네트워크에 대해 제안된 기존의 연구결과들은 VANETS(Vehicular AdHoc Networks)의 맥락에서 개략적으로 설명되고, 모빌리티 체계에 관한 간략한 조사

이외에도 NDN 생산자 모빌리티 영역에서 발생할 수 있는 향후 연구 문제와 과제를 중점적으로 다루고 있다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 정리되어 있다. 제2절에서는 NDN의 작업 측면에서 NDN의 간략한 개요를 설명한다. NDN의 이동성 체계에 대한 개요와 간단한 조사는 섹션 3에 제시되어 있다. 제4절은 미래의 방향과 과제를 제시하고 마지막으로 제5절은 우리의 평가서를 마무리한다.

II. 명명 데이터 네트워킹 (NDN)

Van Jacobson 외 연구진^[8]은 2006년 자신의 Google 토크에서 NDN의 초기 아이디어를 제시했다. 그 이후로 이러한 방향으로 많은 연구 노력이 이루어졌고 따라서 현재 NDN은 학계와 산업계 양쪽에서 ICN의 가장 진보되고 널리 사용되는 아키텍처다. NDN은 네트워크에서 원하는 콘텐츠의 데이터를 얻기 위해 계층적이고 의미론적(Semantical)으로 의미 있는 이름 요소들의 컬렉션을 이용한다. 이러한 이름 구성요소는 "/" 문자로 구분되는 경우가 많다. 계층 이름의 잠재적인 이점 중 하나는 동일한 이름의 수신 요청을 집계하여 중간 노드의 라우팅 항목 크기를 줄인다는 것이다. NDN에서 생산자 노드는 생산자 노드가 생산하고 있는 콘텐츠에 이름을 할당하는 책임을 진다. 일단 콘텐츠에 이름이 할당되면, 생산자 노드는 향후 요청이 이행될 수 있도록 네트워크에서 이름을 전파한다. 중간 라우터는 이러한 이름을 사용하여 캐시 정책에 따라 내용을 캐시한다. NDN 이름의 형식은 URL의 현재 구조와 매우 유사함을 보여준다. 예를 들어, IP 기반 네트워킹의 "hongik.ac.kr/admission/guide.pdf/" URL은 NDN에서 "ndn:dn:dn:ac/kr/kr/fdm/pdf/"로 나타낼 수 있다. 이러한 URL과 이름의 기본적인 작업 차이는 NDN에서는 이러한 애플리케이션 계층 이름이 네트워크 계층으로 직접 전달되는 반면, URL은 먼저 DNS(Domain Name System)를 사용하여 IP 주소로 변환된 후, IP 주소가 네트워크 계층으로 전달된다는 것이다. NDN에서, 생산자 노드는 데이터 패킷(응답)으로 응답하는 반면, 소비자 노드는 관심 패킷(요청)에 내용 이름을 삽입하여 네트워크에 전달한다.

NDN의 소비자, 생산자, 중간 데이터 라우터(DR)와 같은 노드는 세 가지 다른 유형의 데이터 구조를 이용한다. 이러한 데이터 구조에는 1) 수신된 의미있는

Interest 패킷의 기록을 보관하는 데 사용되는 Pending Interest Table(PIT), 2) 앞으로의 사용을 위해 데이터를 저장하는 데 사용되는 콘텐츠 저장소(CS), 3) Interest 패킷을 다음 노드로 포워딩하는 데 사용되는 FIB(Forwarding Information Base)가 포함된다. 이러한 데이터 구조 외에도, 노드들은 잠재적으로 최적의 인터페이스로 이익 패킷을 전달하기 위해 FIB와 함께 다른 전달 전략을 채택한다.

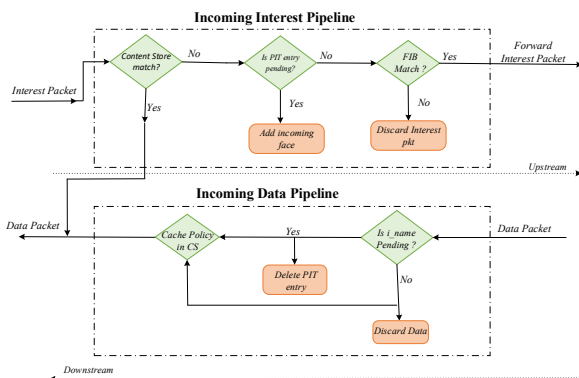


그림 1. NDN 통신의 동작 과정
Fig. 1. NDN Communication Working Flow.

그림 1은 NDN에서의 통신의 전반적인 작업 흐름을 나타낸다. 소비자 노드가 특정 데이터를 요구할 때, 네트워크에 이익 패킷을 포워드 한다. Interest 패킷이 중간 DR에 도착하면 먼저 CS를 검색하여 요청되어진 데이터가 CS에 저장되어 있는지를 확인한다. 데이터를 사용할 수 있는 경우 DR은 캐시에서 데이터를 가져와 Interest 패킷이 수신된 인터페이스로 전달하지만 하면 된다. CS에 Data가 없는 경우, PIT는 이전에 같은 콘텐츠 이름에 대하여 요청이 있었는지 여부를 PIT를 통하여 확인한다. 동일한 데이터에 대한 Interest 메시지가 이미 전달된 경우, Interest 메시지는 억제되고, 수신된 인터페이스는 PIT의 인바운드 항목에 저장된다. 그러나 일치하는 이름이 PIT에 없는 경우 DR은 새로운 PIT 항목을 생성하고 FIB에서 longest-prefix match를 수행하여 Interest 패킷을 생산자 노드로 전달한다. Interest 패킷을 수신할 때 생산자 노드는 데이터 패킷으로 응답한다. DR에서 데이터 패킷이 수신되면 PIT 테이블을 확인하고 모든 다운스트림 인터페이스에서 데이터를 전달한다. 또한 DR은 캐싱 정책에 따라 데이터 패킷을 CS에 저장할 수 있다. 마지막으로 DR은 향후 요청을 위한 스토리지 공간을 생성하기 위해 PIT에서 해당 항목을 제거한다.

III. 명명 데이터 네트워킹에서 이동성 지원

NDN의 풀(Pull) 기반 콘텐츠 중심적 특성은 소비자가 Interest 패킷의 형태로 요청을 시작하여 생산자로부터 데이터 패킷을 가져올 수 있게 한다. 이동성의 관점에서, 소비자와 생산자 모두 이동성이 있고 그들의 PoA를 바꿀 수 있다. 따라서 우선 이동성을 1) 소비자 이동성과 2) 생산자 이동성의 두 범주로 분류했다. 그 후, 생산자 모빌리티는 더 나아가 1) 유선 네트워크에서의 모빌리티와 2) 무선 네트워크에서의 모빌리티로 나누어 분석하였는데 특히 무선 네트워크와 관련하여 다수의 연구들이 VNET환경에서의 이동성 문제를 다루고 있기에 VANET에서의 이동성 부분에 대하여 분석하였다.

본 논문에서 조사하고 참고한 기존 연구결과들을 분석하여 정리한 표를 표 1에서 보이고 있다. 표 1에서 보듯이 소비자 이동성에 대한 연구는 미비한 반면 생산자 이동성 부분에 대하여 상대적으로 활발히 연구가 진행되고 있으며 유선네트워크 부분에서는 생산자의 이동으로 인한 NDN 기반의 위치 추적 방식에 초점을 두고 있다. 반면, VANETs에서는 효과적인 데이터의 전달 방법, 캐싱 방법, 이동에 따른 데이터의 사전 추출 방법 등의 분류로 연구가 진행 되어 오고 있음을 알 수 있다.

각 부분들에 대한 자세한 사항은 다음 절에서 상세히 논의하였다.

1. 소비자 노드의 이동성

NDN은 데이터 중심적 특성 때문에 기본적으로 네트워크에서 소비자 이동성을 지원한다. 원하는 데이터를 가져오기 위해 소비자 노드는 네트워크에서 Interest 패킷을 전송한다. 데이터를 검색하는 동안, Interest 패킷은 DR에 빵 부스러기(bread-crumbs) 흔적을 남기고, Interest 패킷은 생산자 영역에 도달하고, 생산자 노드는 데이터 패킷을 구성하여 소비자에게 다시 전달한다. 데이터 패킷은 소비자 노드로 돌아가는 길에 Interest 패킷에 의해 형성된 흔적을 따른다.

PIT의 Bread Crumb 트레일의 유지보수는 소비자 이동성을 기본적으로 지원한다. 소비자 노드가 한 PoA에서 다른 PoA로 이동하면 유사한 Interest 패킷을 다시 전송할 수 있다. 그렇게 함으로써, 새로운 그리고 유사한 Interest 패킷은 이전 Interest 패킷으로부터 여전히 PIT 항목이 있는 DR에 도달할 수 있다. 이러한 경우 관련 Interest의 정보가 PIT 항목에 있는 경우, DR은

표 1. NDN 이동성 관련 연구들에 기여부분 비교

Table1. Contribution Comparisons for surveyed researches for NDN Mobility.

이동성	적용 명	기능	기 여 부 분	한 계 부 분	참고 문헌
생산자 이동성	유선망 부분	위치 추적	로컬 컨트롤러 및 홈 컨트롤러 등 다수의 분산형태의 컨트롤러를 활용하여 이동성을 추적하는 분산형 이동성 추적 방식 제안	추가 오버헤드 발생 모빌리티 지원을 위해 구조 변경 필요	[2]
			전용 노드가 네트워크상에서 모바일 생산자의 트랙을 유지하는 후기 바인딩 기법을 제안하며, 이 기법은 생산자의 새로운 PoA로 요청을 리디렉션하는 데 사용하도록 함	업데이트 오버헤드 증가 로컬 컨트롤러의 오류로 인해 일시적으로 연결이 끊어질 수 있음	[5]
			모바일 생산자가 새로운 위치로 이동할 때마다 라우터 서버와 추적 설정을 유지하는 추적 기반 접근법.	최적 경로가 미보장 경로 신호 오버헤드 비용 증가	[7]
	VANETs	데이터 전달	차량용 NDN에서 생산자 이동 시 Broadcasting Storm을 방지하기 위한 데이터 배포 제어 방식 제안	Interest 패킷 브로드캐스트 스톰 문제 미 고려 제공자와 소비자 노드가 서로 멀리 떨어져 있는 경우 효율성이 감소	[14]
			Forwarding 결정은 콘텐츠의 성공적 획득 여부와 위치 정보에 기반하여 Forwarding 결정을 만드는 방식 제안	콘텐츠 연결 저장소 및 위치 저장소 같은 동적 환경의 변동으로 인해 ISR이 낮기 때문에 반복적 중복적 계산 발생	[21]
		캐싱	네트워크 Edge에서 콘텐츠를 캐싱하여 생산자 이동성 또는 가용성의 영향을 완화하는 캐시 공유 메커니즘.	추가적인 데이터 구조 필요 기회주의적 캐싱은 향후 수요를 충족하지 못하고 리소스 낭비 초래	[15]
			차량의 위치 및 속도와 같은 대개 변수를 사용하여 다가올 Roadside Unit을 예측하여 데이터를 능동적으로 그 Roadside Unit으로 부터 캐싱하는 방식 제안	차량 노드의 가변 속도 미 고려	[17]
			요청 시 노드 간에 데이터를 교환할 수 있는 가상 캐시의 개념	접촉하는 차량이 사전 캐싱을 활성화하기 위해 추가 정보를 교환으로 인한 충돌 증가	[19]
		사전 추출	언기도와 콘텐츠 신선도에 따라 Roadside Unit에서 데이터를 사전 추출하는 방식 제안	새로운 프로토콜을 지원하기 위한 RSU 및 라우터의 업그레이드 문제로 인한 배포 어려움 증가	[16]
			차량간 통신을 위한 프리페치 방식으로 프리페치 i.e Rapid와 Realtime RapidVFetch의 두 가지 프리페치 방식을 제안	무선 채널로 인한 패킷 손실 미 고려 고밀도 트래픽 시나리오에서 다중 프리페치로 인한 RSU 추가 오버헤드 발생	[18]
소비자 이동성	VANETs	데이터 전달	데이터 패킷에 데이터 배포 제한 필드를 도입하고 소비자가 위치를 변경할 경우 관심 패킷이 통과시킨 홉수보다 약간 높게 한도를 설정하는 방식 제안.	고밀도 네트워크 환경 미 고려 역방향 이동성 미 고려	[13]

동종의 Interest 패킷들이 들어오는 인터페이스 ID들을 합쳐서 수신된 데이터 패킷을 전달한다. PIT에 정보가 없는 경우, DR은 패킷을 다음 DR에 전달하기만 하면 다음 DR이 그 정보를 PIT에 가지고 있을 가능성이 있다. PIT 통합 외에도 DR에서 NDN 캐싱은 원하는 데이터를 제공할 수 있으며 그렇게 함으로써 새로운 Interest 패킷은 원래 생산자 노드로 전달되지 않을 것이다.

NDN의 소비자 모빌리티는 DR에서 구 Interest 패킷과 새로운 Interest 패킷의 경로가 서로 교차할 수 있다는 가정에 크게 의존한다는 점에 유의해야 한다. 경로가 서로 교차할 경우, 다시 전송된 Interest 패킷은 DR 캐시에서 가져오거나 새로운 Interest 패킷을 PIT의 이전 Interest 패킷과 통합하여 가져올 수 있다. 반대로, 만약 이러한 경로가 서로 교차하지 않는다면, 요청은 데이터의 원래 생산자에게 전달되어야 한다.

야흐마드 외 연구진[13]은 기본 소비자 이동성 지원 외에도 차량 통신 시나리오에서 위치가 변경될 경우 소비자를 찾을 수 있는 효율적인 솔루션을 제안했다. 저자들은 데이터 패킷에 데이터 배포 제한(DDL) 필드를 도입해 Interest 패킷이 통과시킨 홉 수보다 그 제한을 약간 높게 설정했다. DDL을 포함하면 두 가지 이점을 얻을 수 있다. 1) DDL 필드에 정의된 특정 홉 수까지만 데이터 패킷을 다시 통과시킬 수 있으므로 브로드캐스트

스트림을 피할 수 있으며 2) Interest 패킷 홉에 비해 홉 수가 약간 증가하므로 소비자 노드가 2~3홉 정도 이동을 했다 하더라도 네트워크가 그 노드의 위치를 찾을 수 있다.

2. 생산자 노드의 이동성

NDN의 생산자 이동성은 생산자 노드가 그것의 PoA를 변경할 때, 네트워크는 생산자 노드를 가리키는 FIB 엔트리를 갱신할 필요가 있기 때문에 도전적인 작업이다. FIB 항목의 업데이트는 광고 메시지에 의해 또는 생산자의 새로운 위치를 가리키는 추적의 기록을 유지하는 전용 노드를 채택함으로써 이루어질 수 있다. 다음의 하위섹션들은 NDN 영역에서 제안된 기존의 생산자 이동성 솔루션을 설명한다.

가. 유선 네트워크에서의 Producer 이동성

인터넷과 같은 순수 유선 네트워크에서는 생산자 모빌리티가 하나의 PoA에서 다른 PoA로 서버 노드 콘텐츠를 이전하는 것으로 간주할 수 있다. 예를 들어 현재 홍익대 세종캠퍼스에 상주하고 있는 ndn:bcnlab/hongik/ac/kr의 웹서버는 홍익대 서울캠퍼스로 이전해야 한다. 이 경우 생산자(웹 서버) PoA가 변경되고 있으며, 현재 서버 위치에 연결된 즉시 노드는 이에 따라 FIB 항목을 업데이트해야 한다. 그러한 시나리오를 다루기 위해 다양한 기법들이 다음

과 같이 연구되어 제안되어졌다.

[5]에서 저자들은 Locator/ID 이름 분할이라고도 할 수 있는 후기 바인딩 기법을 제안했다. 이 기법에서 전용 노드는 네트워크에서 생산자 이동성의 트랙을 유지하며, 이 트랙은 생산자의 새로운 PoA로 요청을 리디렉션하는 데 사용될 수 있다. 이 체계에서 [2]와 마찬가지로 생산자 노드가 위치를 변경하면 새로운 위치를 등록한다. 이러한 두 가지 계획은 빈번한 등록 및 업데이트 메시지로 인해 네트워크의 트래픽 오버헤드를 증가시킨다.

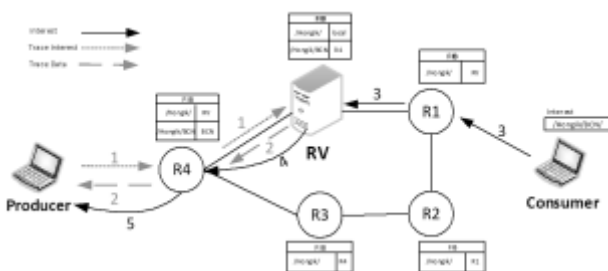


그림 2. KITE의 트래킹 기반 이동성 방식
Fig. 2. Tracing based mobility solution in KITE.

Azgin 외 연구진^[2]은 생산자의 이동이 네트워크안의 전용 노드에 의해 처리되는 분산형 접근방식을 제안했다. 논문에서 사례 시나리오가 차량을 모바일 노드로 고려하고 있지만, 제안된 계획은 주로 네트워크에서 정적 및 유선 연결 노드를 고려한다. 그들의 제안에서 모바일 생산자 노드는 로컬 컨트롤러와 홈 컨트롤러와 같은 분산 컨트롤러에 의해 추적된다. 자율시스템(AS)을 기반으로 복수의 도메인을 상정하고 있으며, 각 AS는 로컬 컨트롤러, 에지 라우터, 서비스 라우터로 구성된다. 모바일 생산자는 PoA를 로컬 컨트롤러에 등록하고, 경로 업데이트 메시지를 보내 위치를 능동적으로 업데이트한다. 소비자 노드는 Interest 패킷을 포워드 할 때, 먼저 서비스 라우터 로컬 캐시에서 데이터나 경로를 탐한다. 경로가 없을 경우, 로컬 컨트롤러에 연락하여 경로에 대한 로컬 캐시를 조회한다. 경로가 없을 경우 로컬 컨트롤러는 다른 AS 로컬 컨트롤러에 연락하여 모바일 생산자 노드를 향해 최신 경로를 가져오게 된다. 일단 생산자 노드를 향한 경로가 발견되면, 경로 정보는 NDN 원칙을 채택하여 Interest 패킷을 포워드 하는 에지 라우터로 포워드 된다. 데이터 패킷을 수신할 때, 에지 라우터는 그것을 서비스 라우터 쪽으로 포워드 하고, 결국 소비자 노드는 데이터를 수신한다.

저자들은 KITE [7]에서 모바일 생산자(MP)가 PoA에서 다른 PoA로 이동할 때마다 Trace Interest(TI)/Trace Data(TD) 교환을 활용해 정지된 랑테부 서버(RV)로 추적 설정을 다시 설정해야 하는 추적 기반 생산자 모빌리티 솔루션을 제안했다. 모바일 생산자는 RV에 TI를 발행하고 TI를 수신한 RV는 확인하고 이에 대하여 TD 패킷으로 회답한다. TD는 모바일 생산자의 역경로를 따르는 반면, 중간 노드는 TD를 수신할 때 데이터 이름 접두사에 대한 FIB 항목을 생성하거나 업데이트한다. 이러한 FIB 입력은 TI의 들어오는 인터페이스를 가리키며, 결과적으로 RV에서 모바일 생산자로 가는 경로를 만든다. 소비자가 모바일 생산자에게 데이터를 요구할 경우, RV를 요청하고 RV는 추적 설정을 이용하여 MP로부터 콘텐츠를 검색한다. 앞서 언급한 추적 기반 솔루션의 전반적인 작동은 그림 2에 나와 있다.

나. 무선 네트워크에서의 Producer 이동성

유선 네트워크 외에도 ICN은 무선 네트워킹 시나리오의 유망한 솔루션으로 볼 수 있다. 이 하위섹션은 무선 네트워크의 이동성 관리 솔루션 중 일부를 설명한다. 처음에 우리는 VANETs에 대해 제안된 해결책을 설명했다.

(1) VANET에서의 ICN

지난 20년 동안 VANETs 분야에서 교통 여건 개선과 안전 운전 등을 위한 다양한 연구 노력이 이루어졌다. 이러한 연구 노력의 대부분은 차량 밀도의 급속한 증가와 다양한 차량 애플리케이션의 요구조건에 따라 유연하게 확장되지 않는 기존의 주소 기반 통신에 기초한다^[20]. 이러한 확장성 및 복잡성 요건에 대처하기 위해 NDN을 적극적으로 탐구하고 있으며, 몇 가지 유망한 해결책이 제안되었다.

[14]에서 아흐메드 외 연구진은 CONET로 명명된 차량용 NDN(VNDN)에 대한 통제된 데이터 보급 체계를 제안했다. 저자들은 Interest 패킷의 홉카운트 필드와 데이터 패킷의 라이브 시간(TTL) 필드를 도입했다. 홉수는 이익 브로드캐스트 스톰을 피하기 위해 이익 패킷을 특정 수의 통신 홉으로 제한하는 것을 목표로 한다. 마찬가지로, TTL 필드를 포함시키는 근거는 생산자 이동성의 경우 데이터 방송 스톰을 피하기 위함이다.

NDN 캐싱의 유용한 특징을 이용하여 [15]의 저자들은 VANETs에서 생산자 이동성 문제를 효과적으로 해결하는 캐시 공유 메커니즘을 제안했다. 제안된 메커니

즘에서, 콘텐츠는 생산자 이동성이나 이동으로 인한 통신 불능으로 인한 영향을 완화하기 위해 네트워크 에지에서 캐시된다. 결과적으로, 생산자가 움직인다면, 여전히 네트워크 에지로부터 데이터에 접근할 수 있고, 이는 궁극적으로 Interest Satisfaction Rate를 향상시킨다. 이 연구와 유사하게 [19]에서 저자들은 ICN 연결 차량의 가상 캐시에 대한 개념을 제시했는데, 이 개념은 노드가 주문형(On-Demand)으로 캐시된 콘텐츠를 교환할 수 있으며, 나중에 생산자 노드를 사용할 수 없거나 이동할 경우 사용할 수 있다.

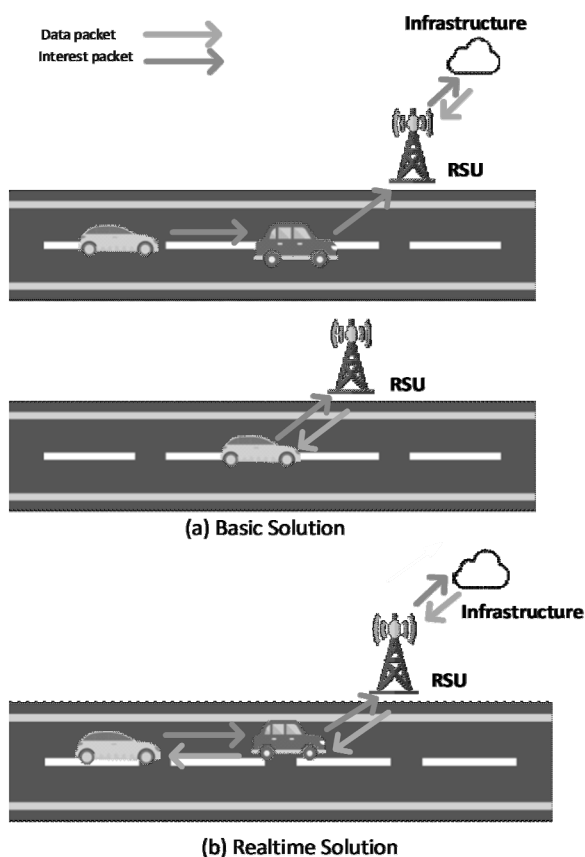


그림 3. RapidVFetch
Fig. 3. RapidVFetch.

[17]에서 Grewe 등은 생산자 노드가 미래를 위해 RSU(Roadside Unit)에서 데이터를 능동적으로 캐싱하는 사전 캐싱 방식을 제안했다. 저자는 차량의 다음 RSU를 예측하기 위해 차량의 위치, 속도, Interest 빈도 등 다양한 매개변수를 사용했다. 다음 RSU가 결정되면, 네트워크는 미리 콘텐츠를 다운로드한다. 이 방법은 소비자로부터 1홉 떨어진 곳에 데이터를 능동적으로 캐싱 시킴으로써, 네트워크 효율성을 향상시킨다. 또 다른 접근법^[16]에서 저자들은 데이터를 인기도(Popularity)에 기

초하여 RSU에서 프리페치하는 유사한 제도를 제안했다. 저자들은 RSU의 저장 공간을 절약하기 위해 콘텐츠의 최근 발생 정도도 고려한다.

Z.Jang 외 연구진^[18]은 두 가지 다른 유형의 프리페치 메커니즘을 제시하였는데, 하나는 그림 3에서 보이는 바와 같이 일반 콘텐츠를 위한 RapidVFetch와 비디오 스트리밍을 위한 실시간 RapidVFetch방식들을 제안하였다. 처음에 차량이 RSU 범위를 벗어나면 인접 차량의 다른 차량으로 Interest 패킷을 전달하고, 인접 차량은 RSU로 Interest 패킷을 전달한다. RSU에서 Interest 패킷이 수신되면 생산자 노드에서 콘텐츠를 프리페치한다. 이후 요청 차량이 RSU 범위에 진입하면 유사한 Interest사를 재전송하고, 결국 데이터는 RSU로부터 직접 수신된다.

[21]에서 저자들은 콘텐츠 연결 및 위치 인식 전달(CCLF)로 명명된 VANET에 대한 적응형 전달 방식을 제안했다. CCLF에서 노드는 NDN 패킷을 브로드캐스트하고 다른 노드가 독립적인 결정을 내릴 수 있도록 허용한다. 이러한 결정은 두 가지 요인 1) 콘텐츠 검색에 있어 노드의 성공과 2) 위치 정보를 기반으로 한다. 더 명시적으로 노드는 타이머를 설정하고 타이머 만료 시 패킷을 전달한다. 타이머는 데이터 위치까지의 거리가 짧고 성공률이 더 좋은 노드가 먼저 Interest 패킷을 포워드 하는 방식으로 설정된다. 이웃 노드들은 같은 패킷이 포워딩될 경우에 대비해 전송을 과열시키고 포워딩을 억제한다. 이 밀도 인식 억제 메커니즘은 스마트 포워딩 타이머와 함께 불필요한 패킷 전송을 현저하게 감소시키고 통신 이동성 시나리오를 개선한다.

IV. 정보중심 네트워킹의 이동성 연구 방향

유무선 네트워크를 위한 NDN 생산자 모빌리티 영역에서의 다양한 연구 작업이 Broadcast storm, 혼잡, 평균 지연 등의 문제를 해결하기 위해 노력하지만, 몇 가지 해결해야 하는 연구 과제들이 존재하고 이에 대한 지속적인 연구가 필요하며 다음과 같다.

- 무선 센서 네트워크: 무선 네트워크의 다른 문제들 중에서 WSN과 같은 무선 네트워크를 포함하는 자원의 주요 연구 과제 중 하나는 무선 노드들은 활용 에너지의 한계가 있기 때문에 에너지 효율적인 생산자 이동성을 지원하는 것이다^[22, 23]. 따라서 이러한 노드들이 자주 위치를 변경하고 새로운 위치를 알리기 위

해 전통적인 접근방식을 채택한다면 엄청난 양의 에너지가 고갈될 수 있다. 비록 패킷 억제 메커니즘과 지연 타이머 솔루션이 채택될 수 있지만, 그럼에도 불구하고 일정량의 에너지가 낭비되어 센서 노드의 전원이 궁극적으로 감소한다. 결과적으로, 전송 및 수신과 처리 패킷의 높은 에너지 소비로 인해 노드가 소멸할 수 있다.

- 자율 주행: 날이 갈수록 자율주행차의 비전이 현실화되고 있다. 자율차 안전요건을 개선하기 위해 학계와 산업계 양쪽에서 방대한 연구가 이뤄지고 있다. 주요 안전 요건 중 하나는 치명적인 충돌을 피하고 인명을 구하는 것이다^[24]. 이런 치명적인 충돌사고를 해결하기 위한 직관적인 발상은 협동자율주행 개념을 채용하는 것이다. 협업 자율주행에서는 차량이 주변 정보를 서로 공유한다. 이러한 경우, 이러한 모든 협업 차량은 데이터의 소비자 및 생산자로서 활동하며, 의사결정 수행을 위한 프로세스 컴퓨팅 집약적 작업으로 작용한다. 자율주행차가 생산자 노드 역할을 하고 고속으로 이동하면 소비자 차량이 정보를 놓칠 가능성이 있다. 기존의 접근 방식 중 하나는 나중에 사용하거나 복구하기 위해 도로변 단위(RSU)에 데이터를 저장하는 것이다. 그러나 이 접근방식은 RSU에 과부하될 수 있으며 정체 현상이 발생할 수 있다. 자율 주행에서 이동성 문제를 효율적으로 해결하려면 이 방향에서 추가 연구 노력이 필요하다.
- 제안 기술: Interest/Data 패킷의 브로드캐스트 스톱방지 다양한 플러딩 및 브로드캐스트 기법이 VANET에서 사용되는 경우가 많은데, 이는 차량 토폴로지의 빠른 변화와 역동적인 특성 때문이다. 이러한 기법은 브로드캐스트 스톱 및 오버헤드의 증가 문제를 일으키고 이는 충돌 및 전파 지연 증가 측면에서 네트워크의 성능을 저하시킨다. 이러한 문제에 대처하기 위해 정보 중심 VANET 분야에서 수많은 방송 폭풍 회피 기법이 제안되었다. 이러한 기술은 네트워크에서 브로드캐스트 스톱을 줄이기 위해 다음 매개 변수 중 하나 또는 모두를 고려하는 경우가 많다: 1) Interest 패킷 억제, 2) Data 패킷 억제, 3) Interest 패킷 전송 제한, 4) Data 패킷 전송 제한 및 5) 가장 먼 전달자 선택. 이와 같이 전술한 기법 외에도 본 논문의 저자들은 현 점점 노드들의 수와 전송 각도 등 두 가지 매개 변수를 더 포함하여 브로드캐스트 스톱을 더욱 줄일 수 있을 것으로 판단하고 연구 중에 있다. 이전 접근 방식에서는 먼저 모든 차량이 현재 점점 수(이웃 차량)를 계산한 후 다른 차량과 비교하여 인접 노드가 더 많은 포워드

차량만 선택하였다. 그렇게 함으로써 생산자 노드(관심 패킷 전송의 경우) 또는 소비자 노드(데이터 패킷 전송의 경우)에 도달할 가능성이 증가할 것이다. 이 기법은 현재 점점 수를 계산한 후 선택된 차량이 현재 위치 좌표에 대해 변속기 각도(밀도가 높은 영역 선택)를 계산하는 변속기 기법과 더욱 통합될 수 있다. 일단 각도가 계산되면, 관심 또는 데이터 패킷은 잠재적 포워드 수를 더욱 제한하고 소비자 또는 생산자 차량을 찾을 가능성을 증가시키기 위해 특정 각도 내에서 전달하도록 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 현재 미래의 네트워킹 아키텍처인 NDN에서 증가하고 있는 생산자 이동성 방식에 대한 연구 동향을 제공했다. 본 논문에서는 첫째, 현재의 네트워킹 아키텍처, 즉 주소 기반 네트워크에서 모빌리티가 어떻게 문제인지 설명하였고, 둘째로 NDN의 기본적인 작업과 노드 이동성 측면에서 NDN이 얼마나 많은 지원을 제공하는지에 대해 설명하였다. 셋째, NDN의 산하에 제안된 다양한 생산자 이동성 체계를 제시하였다. 더욱이, NDN의 건축 설계에서 소비자 이동성의 기본적인 지원도 기술하였다. 넷째, ICN 분야의 연구 공동체를 위한 몇 가지 향후 방향과 과제를 논의하였다.

REFERENCES

- [1] Z. Zhu, R. Wakikawa, and L. Zhang, "A survey of mobility support in the Internet," RFC 6301, 2011.
- [2] Azgin, Aytac & Ravindran, Ravi & Wang, Guoqiang. (2014). A Scalable Mobility-Centric Architecture for Named Data Networking. 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN).
- [3] C. E. Perkins, "Mobile networking through Mobile IP," in IEEE Internet Computing, vol. 2, no. 1, pp. 58-69, Jan.-Feb. 1998, doi: 10.1109/4236.656077.
- [4] Pathan, Khan & Buyya, Rajkumar. (2012). A Taxonomy and Survey of Content Delivery Networks.
- [5] Azgin, A., Ravindran, R., Chakraborti, A., & Wang, G.Q. (2016). Seamless Producer Mobility as a Service in Information Centric Networks. In Proceedings of the 3rd ACM Conference on Information-Centric Networking (pp. 243-248). Association for Computing Machinery.

- [6] Zhang, L., Afanasyev, A., Burke, J., Jacobson, V., claffy, k., Crowley, P., Papadopoulos, C., Wang, L., & Zhang, B. (2014). Named Data Networking SIGCOMM Comput. Commun. Rev., 44(3), 66–73.
- [7] Zhang, Y., Xia, Z., Mastorakis, S., & Zhang, L. (2018). KITE: Producer Mobility Support in Named Data Networking. In Proceedings of the 5th ACM Conference on Information-Centric Networking (pp. 125–136). Association for Computing Machinery.
- [8] Jacobson, V., Smetters, D., Thornton, J., Plass, M., Briggs, N., & Braynard, R. (2009). Networking Named Content. In Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (pp. 1–12). Association for Computing Machinery.
- [9] Din, I.U.; Kim, B.-S.; Hassan, S.; Guizani, M.; Atiquzzaman, M.; Rodrigues, J.J.P.C. Information-Centric Network-Based Vehicular Communications: Overview and Research Opportunities. *Sensors* 2018, 18, 3957.
- [10] G. Grassi, D. Pesavento, G. Pau, R. Vuyyuru, R. Wakikawa and L. Zhang, “VANET via Named Data Networking,” 2014 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), Toronto, ON, 2014, pp. 410–415, doi: 10.1109/INFOCOMW.2014.6849267.
- [11] Cristiano M. Silva, Barbara M. Masini, Gianluigi Ferrari, Ilaria Thibault, “A Survey on Infrastructure-Based Vehicular Networks”, *Mobile Information Systems*, vol. 2017, Article ID 6123868, 28 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6123868>.
- [12] H. Khelifi et al., “Named Data Networking in Vehicular Ad Hoc Networks: State-of-the-Art and Challenges,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 320–351, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2894816.
- [13] S. H. Ahmed, S. H. Bouk, M. A. Yaqub, D. Kim, H. Song and J. Lloret, “CODIE: Controlled Data and Interest Evaluation in Vehicular Named Data Networks,” in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 6, pp. 3954–3963, June 2016, doi: 10.1109/TVT.2016.2558650.
- [14] S. H. Ahmed, S. H. Bouk, M. A. Yaqub, D. Kim and M. Gerla, “CONET: Controlled data packets propagation in vehicular Named Data Networks,” 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, 2016, pp. 620–625, doi: 10.1109/CCNC.2016.7444850.
- [15] Francisco Renato C. Ara?jo, Antonio M. de Sousa, Leobino N. Sampaio, SCA-N-Mob: An opportunistic caching strategy to support producer mobility in named data wireless networking, *Computer Networks*, Volume 156, 2019, Pages 62–74, ISSN 1389–1286, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.04.008>.
- [16] D. Grewe, S. Schildt, M. Wagner and H. Frey, “ADEPt: Adaptive Distributed Content Prefetching for Information-Centric Connected Vehicles,” 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Porto, 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/VTCSpring.2018.8417748.
- [17] D. Grewe, M. Wagner and H. Frey, “PeRCeIVE: Proactive caching in ICN-based VANETs,” 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Columbus, OH, 2016, pp. 1–8, doi: 10.1109/VNC.2016.7835962.
- [18] Z. Zhang, T. Li, J. Dellaverson and L. Zhang, “RapidVFetch: Rapid Downloading of Named Data via Distributed V2V Communication,” 2019 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Los Angeles, CA, USA, 2019, pp. 1–8, doi: 10.1109/VNC48660.2019.9062801.
- [19] D. Grewe, M. Wagner, S. Schildt, M. Arumaithurai and H. Frey, “Caching-as-a-Service in Virtualized Caches for Information-Centric Connected Vehicle Environments,” 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), Taipei, Taiwan, 2018, pp. 1–8, doi: 10.1109/VNC.2018.8628354.
- [20] H. Khelifi et al., “Named Data Networking in Vehicular Ad Hoc Networks: State-of-the-Art and Challenges,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 320–351, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2894816.
- [21] Chowdhury, M., Khan, J., & Wang, L. (2020). Leveraging Content Connectivity and Location Awareness for Adaptive Forwarding in NDN-Based Mobile Ad Hoc Networks. In Proceedings of the 7th ACM Conference on Information-Centric Networking (pp. 59–69). Association for Computing Machinery.
- [21] Rehman, M.A.U.; Ullah, R.; Kim, B.S. NINQ: Name-Integrated Query Framework for Named-Data Networking of Things. *Sensors* 2019, 19, 2906.
- [22] din, M.S.; Rehman, M.A.U.; Ullah, R.; Park, C.-W.; Kim, B.S. Towards Network Lifetime Enhancement of Resource Constrained IoT Devices in Heterogeneous Wireless Sensor Networks. *Sensors* 2020, 20, 4156.
- [23] Z. Dong, W. Shi, G. Tong and K. Yang, “Collaborative Autonomous Driving: Vision and Challenges,” 2020 International Conference on Connected and Autonomous Driving (MetroCAD), Detroit, MI, USA, 2020, pp. 17–26, doi: 10.1109/MetroCAD48866.2020.00010.

저 자 소 개



Sana Fayyaz(학생회원)
2019년 Bahauddin Zakariya
University Multan
(공학사)
현재 홍익대학교 전자전산공학과
석사과정

<주관심분야: 네트워킹, ICN/NDN, Edge computing,
Microservices>



Muhammad Atif Ur Rehman
(학생회원)
2013년 University of Lahore,
전산학과(공학사)

2016년 COMSATS Institute of Information
Technology(CIIT) Islamabad, 전산학과
(공학석사)

현재 홍익대학교 전자전산공학과 박사과정

<주관심분야: 네트워킹, ICN/NDN, Edge computing,
Microservices>

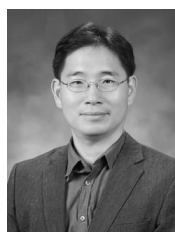


Muhammad Salah ud din(학생회원)
2013년 University of Engineering
and Technology, 전산학과
(공학사)

2015년 COMSATS Institute of Information
Technology (CIIT) Islamabad, 전산학과
(공학석사)

현재 홍익대학교 전자전산공학과 박사과정

<주관심분야: 무선 네트워킹, WSNs, ICN/NDN,
Edge computing>



김 병 서(평생회원)
2001년 University of Florida,
Dept. Electrical and
Computer Engineering
M.S.

2004년 University of Florida, Dept. of Electrical
and Computer Engineering Ph.D.

2005년 미국 모토롤라 Sr. Engineer

현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

<주관심분야: 유무선 네트워크, CDN/CCN, 전송
통신, IT융합>