

ndnSIM 기반 NDN 네트워크 구현 및 성능 평가

박상현¹ · 임현국^{2*}

ndnSIM based NDN Network Implementation and Performance Evaluation

Sanghyeon Park¹ · Huhnkuk Lim^{2*}

¹Undergraduate Student, Department of Computer Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea

^{2*}Associate Professor, Department of Computer Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea

요 약

NDN(Named Data Networking)은 미래의 인터넷 아키텍처를 실현하기 위한 ICN의 대표 기술이라 할 수 있다. NDN은 특정 데이터를 갖는 호스트 IP 주소가 아닌 데이터 이름 자체로 데이터를 검색한다. Consumer는 요청하고자 하는 데이터의 이름을 갖는 Interest 패킷을 NDN 네트워크에 보내고, NDN 네트워크 안에 존재하는 NDN 라우터는 CS, FIB, PIT 세 가지 이름 테이블을 이용해 Interest 패킷을 다음 홉으로 포워딩한다. Producer 혹은 NDN 라우터는 Interest 패킷이 운반한 데이터의 이름에 해당하는 데이터 패킷을 consumer에게 역시 이름 기반 포워딩을 통해 전송한다. 본 논문에서는 ndnSIM 기반 NDN 네트워크를 설계 구현하고 성능 평가를 수행한다. ndnSIM 구조를 분석하고, ndnSIM을 이용해 6-node 혼잡 NDN 네트워크 및 9-node grid NDN 네트워크를 개발한다. 구현한 두 개의 NDN 네트워크에 대해 Interest 패킷 전송율의 증가에 따른 패킷 지연 성능 및 패킷 전송 처리율 성능을 시뮬레이션을 통해 측정한다. NDN 네트워크 안에 혼잡이 패킷 지연 및 전송 처리율에 미치는 영향을 분석하고 이것이 미래에 NDN 네트워크를 구축 개발하고자하는 엔지니어들에게 하나의 사전지식으로 제공되길 기대한다.

ABSTRACT

Named Data Networking (NDN) is a representative technology of ICN that realizes the future Internet architecture. NDN searches for data by its content and not by its host IP address. The consumer generates an interest packet and sends it to the NDN network. The NDN network uses three tables such as CS, FIB, and PIT and forwards the received interest packet to the next hop. The producer transmits the data packet to the consumer through a name-based forwarding scheme. In this paper, we design and implement an ndnSIM-based NDN network and perform performance evaluation. We analyze the ndnSIM structure and develop a 6-node congested NDN network and a 9-node grid NDN network using ndnSIM. In the simulation, the performance of latency and throughput of the interest packet rate are measured. We analyze the effect of congestion on the latency and throughput of the NDN network. This approach will help researchers in the future.

키워드 : 엔디엔 네트워크, 성능 평가, 엔디엔심, 지연, 전송 처리율

Keywords : NDN network, performance evaluation, ndnSIM, latency, throughput

Received 13 March 2022, Revised 22 March 2022, Accepted 29 March 2022

* Corresponding Author Huhnkuk Lim(E-mail:hklim@hoseo.edu, Tel:+82-41-540-5942)

Associate Professor, Department of Computer Engineering, Hoseo University, Asan, 31499 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.5.725>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

현재 인터넷은 호스트 중심의 네트워크 패러다임을 따르며 종단 간 세션에 대한 발신지/목적지 식별자(예: IP 주소)가 필요하다. 그 결과, 현재 인터넷은 QoS(서비스 품질), 이동성, 멀티캐스팅 및 보안에서 빠르게 증가하는 사용자 요구를 따라갈 수 없다[1-2]. 이러한 아키텍처 문제를 혁신적인 방법으로 해결하기 위해 새로운 네트워크 패러다임인 정보 중심 네트워크(Information Centric Networking: ICN)가 제안되었다. ICN은 위치가 아니라 데이터 자체에 중점을 둔다. NDN(Named Data Networking)은 미래 인터넷 아키텍처를 실현하기 위한 ICN의 대표 기술이라 할 수 있다 [1-2].

NDN은 데이터 가져오기를 위해 전역적으로 고유하고 계층적인 이름을 사용한다. NDN은 데이터 위치에서 데이터 이름으로 통신 패러다임을 변경한다. 데이터를 검색하기 위해 consumer가 원하는 데이터 이름을 가진 Interest 패킷이 이름 기반 포워딩을 이용하여 NDN 네트워크에 전달된다. NDN 네트워크에서 Interest 패킷에 상응하는 Data 패킷은 Interest 패킷이 중개된 동일한 경로의 반대 방향으로 consumer에게 반환되고 중개한 NDN 라우터에 캐시 된다 [3-4].

대표적인 ICN 아키텍처 중 하나인 NDN(Named Data Networking)에서는 데이터를 호스트하는 시스템의 IP 주소가 아닌 데이터 이름으로 데이터를 검색한다[1-4]. NDN 라우터는 패킷 전달을 용이하게 하기 위해 FIB(Forwarding Information Base) 및 PIT(Pending Interest Table)의 두 가지 데이터 구조를 사용한다. FIB는 Interest 패킷을 데이터로 전달하는 데 사용된다. PIT는 Interest 패킷이 수신된 인터페이스의 기록과 해당 Interest 패킷이 요청한 데이터 이름을 유지한다. PIT는 데이터 패킷이 관심 패킷의 역 경로를 따르도록 한다. Content Store(CS)라고 하는 세 번째 데이터 구조는 라우터에서 미래의 이익을 충족시키기 위해 데이터 패킷을 캐싱 하는데 사용된다. 요청된 데이터가 라우터 캐시에 있는 경우 Interest 패킷을 FIB에 따라 다음 홉으로 전달하지 않고 요청 Interest 패킷에 상응하는 캐싱된 Data 패킷을 전송한다.

라우터 캐시에서 상응하는 Data 패키지가 없는 경우 Interest 패키트는 FIB 항목을 기반으로 다음 홉으로 전달된다. Interest 패키지를 전달하기 전에 입력 인터페이스와

데이터 이름이 PIT에 저장된다. Data 패키지가 라우터에 수신되면 이 데이터 이름에 대해 PIT 항목의 인터페이스로 전달된다. PIT에 이 데이터 이름에 대한 항목이 없으면 Data 패키지가 버려지고, 항목이 있으면 PIT 항목에 기재된 인터페이스로 Data 패키지가 중개된다. 라우터에서 Interest/Data 패키지 전달 절차는 그림 1에 설명되어 있다 [1-4].

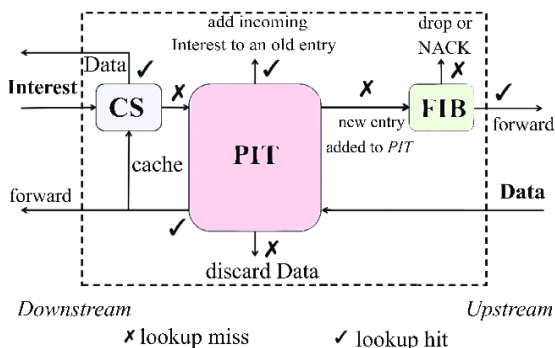


Fig. 1 Interest/Data packet forwarding procedure in NDN.

본 논문에서는 ndnSIM 기반 NDN 네트워크를 설계 구현하고 성능 평가를 수행한다. ndnSIM 구조를 분석하고, ndnSIM을 이용해 6-node 혼잡 NDN 네트워크 및 9-node grid NDN 네트워크를 개발한다. 구현된 두 개의 NDN 네트워크에 대해 Interest 패킷 전송율 증가에 따른 패킷 지연 성능 및 패킷 전송 처리율 성능을 시뮬레이션을 통해 측정한다. NDN 네트워크 안에 혼잡이 패킷 지연 및 전송 처리율에 미치는 영향 분석을 통해 미래에 NDN 네트워크를 구축 개발하고자하는 엔지니어들에게 하나의 사전지식을 제공하고자 한다.

II. ndnSIM 구조

ndnSIM은 여러 개의 소프트웨어 요소로 이루어져 있는데, 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 NS3, NFD, ndn-cxx, NDN simulation layer, ndnSIM으로 이식되는 ndnSIM-specific application 및 real-world application 그리고 플러그 앤 플레이 시뮬레이션 시나리오들로 구성되어 있다 [5].

ndnSIM 구조에서 Simulation Layer에 해당하는 구성 요소들은 다음으로 이루어진다. 먼저 ndnSIM Core는

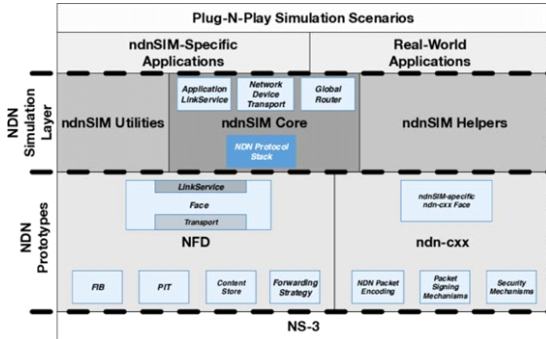


Fig. 2 ndnSIM 구조

NDN 프로토콜 스택(protocol stack), NS3 Network Device Transport 및 Global router로 구성된다 [5-7].

Application Link Service는 ndnSIM-specific applications와 로컬 포워더 간 직접 통신을 용이하게 하며, Global router는 FIB 환경 설정을 용이하게 하기 위한 용도로 사용된다.

ndnSim Utilities는 시뮬레이션 결과를 얻기 위한 패킷 추적기와 시뮬레이션 토폴로지의 정의를 단순화시키기 위한 토폴로지 판독기로 구성 된다 [5-7].

ndnSim Helpers는 노드들에 NDN 스택 및 시뮬레이션 응용을 설치하고 구성하기 위해, FIB/포워딩 정책/캐시 데이터 교환 정책 등을 관리하기 위해, 그리고 시뮬레이션 된 토폴로지 안에 링크의 상태를 단순화시키기 위한 헬퍼 역할을 수행 한다 [5-7].

NDN prototype은 크게 NFD 와 ndn-cxx로 구성되며 다음과 같은 역할을 수행한다. 먼저 Ndn-cxx에는 NFD 네트워크 전달자를 포함하여 다양한 NDN 응용을 구현하는 데 필요한 주요 요소가 포함되어 있다. 라이브러리는 패킷 형식의 인코딩 및 디코딩은 물론 데이터 구조 관리 및 글로벌 이벤트 스케줄러를 담당한다. Ndn-cxx에는 패킷 인증을 위한 계층적 키 체인을 생성하는 데 사용되는 NDN 보안 섹션도 포함되어 있다 [3].

패킷 중개를 위해 NFD는 입/출력 Face, 패킷 포워딩에 필요한 Tables (FIB, PIT, CS) 및 Forwarding Strategy를 포함 한다 [3]. 3개의 테이블은 Interest 패킷과 Data 패킷을 중개하기 위해 필요한 정보를 제공하며, Forwarding strategy 모듈은 Interest 패킷을 어떻게 전달할지 여부, 또한 중개 시기 및 출력 인터페이스에 대한 결정을 반환한다. 현재 NFD는 최적 경로, 멀티캐스트, 클라이언트 제어, NCC 액세스 라우터 및 적응형 SRTT

(Smooth Round Trip Time) 기반 전달(ASF) 정책 등을 운영한다. Best route 라우팅은 NFD의 기본 라우팅 전략이며 최소의 경로 비용을 기반으로 패킷을 전송한다.

III. ndnSIM 기반 NDN 네트워크

ndnSIM 기반으로 아래와 같이 두 가지 타입의 NDN 네트워크를 설계 구현하고 이를 토대로 패킷 지연 (Latency)과 전송 성능(Throughput)을 얻기 위한 실험을 수행하였다.

3.1. 6 노드 혼잡 NDN 네트워크 설계 및 구현

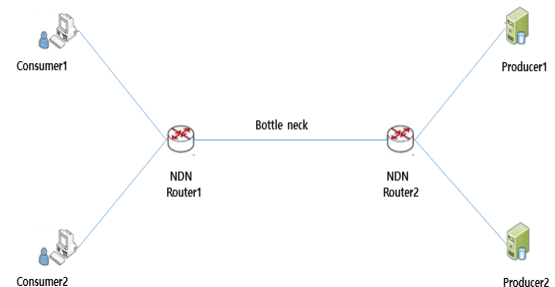


Fig. 3 6-node bottle neck NDN network

그림 3과 같이 6개의 노드로 구성된 혼잡 NDN 네트워크를 설계 구현하였다 NDN router 1과 NDN router 2 사이에 트래픽 혼잡을 부여하기 위해 타 링크 대역폭의 1/10 (1 Mbps)로 정의하였다. 각 링크의 지연은 10 ms로 설정하고, Data 패킷 사이즈는 동일하게 1024 바이트로 설정하였다. 각 NDN router의 큐 사이즈는 10 chunk으로 설정하였다.

모든 노드에 NFD, ndn-cxx 라이브러리 기반의 CS/FIB/PIT 테이블을 이용하여 이름 기반의 Interest/Data 포워딩이 가능하도록 하였다. 각 NDN 라우터의 CS 캐시 크기는 10,000 chunks 으로 설정하였으며, 캐시에 입력된 데이터 패킷의 교환 정책으로 LRU(Least Recently Used) 기법을 적용하였다.

LRU 기법은 NDN 라우터에서 보편적으로 가장 많이 사용되어지는 캐시 메모리에서의 패킷 교환 기법으로 성능이 가장 우수한 것으로 알려져 있다. LRU 기법은 입력 데이터 콘텐츠를 시간상 가장 오래 전에 사용된 콘텐츠와 교체한다. 그림 4에서 LRU는 가장 오래전 사용

된 시간($t = n-3$)으로 표시되는 콘텐츠 7을 현재 입력된 콘텐츠 4와 대체하므로, 콘텐츠 4 ($t = n$)는 콘텐츠 7이 있던 캐시 메모리에 위치하게 된다.

Current Data Arrival → 4		
Previous Cache Status is 3 1 7		
Current time is n i.e. " $t = n$ "		
Random	3	3
	1	4
	7	7
FIFO	3	4
	1	3
	7	1
LRU	3 $t = n-1$	3 $t = n-1$
	1 $t = n-2$	1 $t = n-2$
	7 $t = n-3$	4 $t = n$
LFU	3 $f=5$	3 $f=5$
	1 $f=9$	1 $f=9$
	7 $f=3$	4 $f=1$
Previous Status		Current Status

Fig. 4 Cache replacement policies

3.2. 9-node grid 토폴로지 설계 및 구현

그림 5와 같이 7개의 NDN 라우터, 1개의 consumer, 1개의 producer로 구성된 그리드 NDN 네트워크를 구현하였다. 역시 NFD, ndn-cxx 라이브러리 기반의 CS/FIB/PIT 테이블을 이용하여 모든 노드에 이름 기반의 Interest/Data 포워딩이 가능하도록 구현하였다.

노드와 노드 간 링크의 대역폭은 1 Mbps, 지연은 10 ms로 설정하였다. 각 노드의 라우팅 정책으로 Best route 라우팅 기법을 적용하였고 각 노드의 큐 사이즈는 10 chunk로 설정하였다.

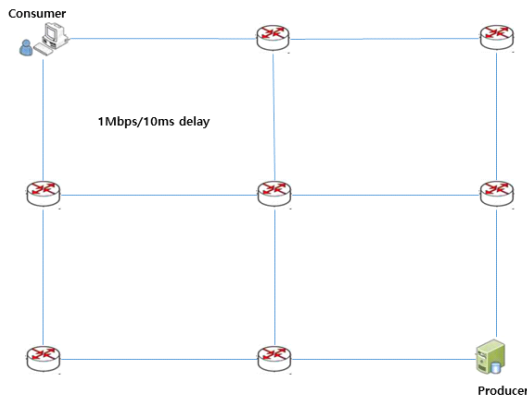


Fig. 5 9-node grid NDN network

IV. 성능 평가 및 결과

3장에서 기술한 각 토폴로지에 대해 그림 6과 같이 Interest rate의 증가에 따른 패킷 지연을 시뮬레이션을 통해 측정하였다.

그림 6(a)는 6-node 혼잡 NDN 네트워크에 대해 Interest rate 증가에 따른 패킷 지연 결과이다. Interest rate 증가에 따라 혼잡에 기인하여 급격한 패킷 지연 증가 효과가 나타났으나 Interest rate이 600을 넘어서 포화 상태에 이르렀다. Interest rate이 600을 넘어서 포화 상태에 이르는 이유는 네트워크 혼잡에 기인한 급격한 패킷 지연 증가가 Data 패킷의 손실 효과로 평균 패킷 지연이 상쇄되기 때문이었다.

한편 그림 6(b)는 9-node grid NDN 네트워크에 대해 Interest rate의 증가에 따라 측정된 패킷 지연 결과를 보여준다. 모든 각 Interest 패킷에 대응되는 데이터 패킷은 모두 producer로부터 전송되며 앞서 설명한 혼잡 NDN 네트워크와는 달리 Interest rate이 증가함에 따라 패킷 지연이 보다 완만하게 증가함을 알 수 있고 Interest rate이 1000을 넘어서부터 Data 패킷의 손실에 기인하여 패킷 지연이 포화 상태에 이르렀다.

그림 7은 Interest rate의 증가에 따라 측정된 패킷 전송 처리율(throughput) 결과를 보여준다. 먼저 그림 7(a)는 6 node 혼잡 NDN 네트워크에 대해 Interest rate 증가에 따른 throughput을 측정한 결과이다. Interest rate 증가에 따라 혼잡에 기인하여 매우 완만한 throughput 상승효과를 거두었으나, Interest rate이 400을 넘어서 포화 상태에 이르렀다. 로컬 라우터에 캐싱된 데이터 패킷의 전송은 큰 영향력을 발휘하지 못하였다. 반면 그림 7(b)안에 혼잡을 고려하지 않은 9-node NDN 네트워크에서는 Interest rate 증가에 따라 보다 급격한 throughput 상승효과를 거두었고 Interest rate이 300 이상에서는 거의 포화된 throughput 결과를 얻을 수 있었다.

패킷 지연(average latency)은 패킷 전송 처리율(throughput)에 영향을 주는 하나의 요소에 불과하므로, 패킷 지연과 패킷 전송 처리율과의 일대일 상관관계를 도출하는 것은 무리가 있다. 각각 다른 NDN 네트워크 토폴로지에 대해 하나는 혼잡을 적용하고(그림 6(a), 그림 7(a)), 다른 하나에는 혼잡을 적용하지 않았으나(그림 6(b), 그림 7(b)), 결과 패턴을 분석해 볼 때 NDN 네트워크 안에 혼잡은 Interest rate이 증가함에 따라 패킷지연

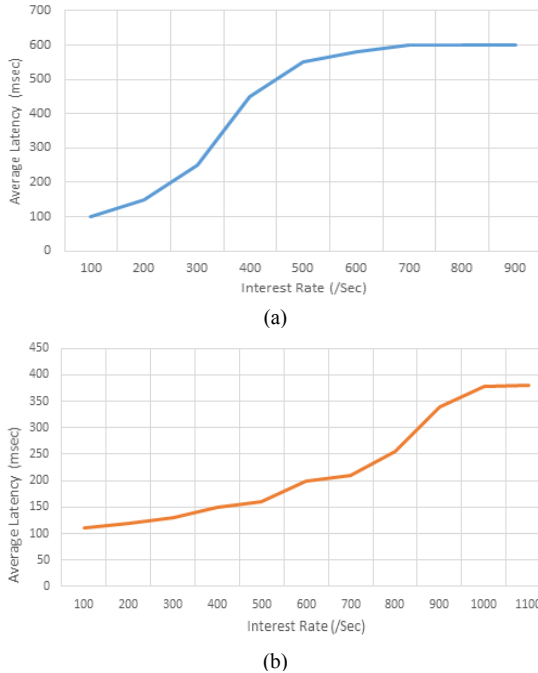


Fig. 6 Average latency measured in the increase of Interest rate (a) 6-node congestion NDN network, (b) 9-node grid NDN network

성능과 패킷 전송 처리율 성능에 악화된 영향을 미침을 알 수 있다. 혼잡이 예상되는 링크를 중심으로 로컬 네트워크상에 보다 더 큰 캐시 사이즈를 NDN 노드 안에 위치시킨다면 혼잡에 기인한 성능 악화를 개선할 수 있을 것이다.

제시된 두 개의 네트워크 구조에 대해 현실적인 네트워크 안에 링크의 대역폭, 지연 설정 등을 포함한 다양한 시나리오를 반영한다면 혼잡에 기인한 보다 더 실제적인 전송 처리율, 패킷 지연 성능 결과를 비교 분석할 수 있을 것이다.

NDN 전송 성능은 호스트중심네트워킹 기술인 TCP/IP 인터넷 기술과 비교하여 호스트-서버간 연결설정 절차가 불필요하고 전송 제어가 홉 바이 홉 단위로 이루어져 전송 거리와 무관하게 일정한 전송 성능을 보장한다. 또한 다수의 consumer(client)로부터 원거리에 존재하는 인기 있는 콘텐츠의 반복적 전송 요청 시 이미 캐싱된 로컬 네트워크상에 콘텐츠의 고속 전송으로 보다 효율적인 전송 성능을 보장 한다 [4][7].

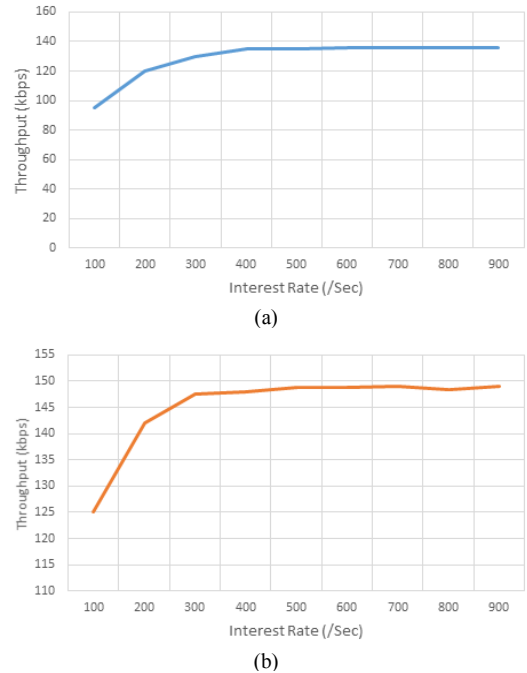


Fig. 7 Throughput measured in the increase of Interest rate (a) 6-node congestion NDN network, (b) 9-node grid NDN network

V. 결 론

본 논문에서는 ndnSIM 기반 NDN 네트워크를 설계 구현하고 성능 평가를 수행하였다. 6 node 혼잡 NDN 네트워크 및 9-node NDN 네트워크에 대해 Interest rate의 증가에 따른 패킷 지연 성능 및 패킷 전송 처리율을 ndnSIM 시뮬레이션을 통해 측정하였다. NDN 네트워크 안에 혼잡은 Interest rate의 증가에 따라 보다 급격한 패킷 지연 악화 현상을, 그리고 패킷 전송 처리율 측면에서도 악화된 성능 결과를 가져왔다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Academic Research Fund of Hoseo University in 2021 (20210460)

REFERENCES

- [1] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, and B. Ohlman, "A Survey of Information-Centric Networking," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 7, pp. 26-36, Jul. 2012.
- [2] L. Zhang, A. Afanasyev, J. Burke, V. Jacobson, K. Claffy, P. Crowley, C. Papadopoulos, L. Wang, and B. Zhang, "Named Data Networking," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44, no. 3, pp. 66-73, Jul. 2014.
- [3] A. Afanasyev, J. Shi, B. Zhang, L. Zhang, I. Moiseenko, Y. Yu, W. Shang, Y. Huang, J. P. Abraham, S. Benedetto, and C. Fan, "NFD developer's guide," NDN Technical Report, NDN-0021, Jul. 2014.
- [4] H. Khelifi, S. Luo, B. Nour, H. Mouncla, Y. Faheem, R. Hussain, and A. Ksentini, "Named data networking in vehicular ad hoc networks: Stateof-the-art and challenges," *IEEE Communication & Surveys Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 320-351, Mar. 2020.
- [5] A. Afanasyev, "Developing Simple Simulations with ndnSIM," in *NDN Tutorial - ACM ICN 2016*, Kyoto, Japan, Sep. 2016.
- [6] S. Mastorakis, A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, "ndnSIM 2.0: A new version of the NDN simulator for NS-3," NDN Technical Report NDN-0028, 2015.
- [7] S. Mastorakis, A. Afanasyev, and L. Zhang, "On the Evolution of ndnSIM: an Open-Source Simulator for NDN Experimentation," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 47, no. 3, pp. 19-33, Jul. 2017.



박상현(Sanghyeon Park)

2016년 3월~현재 : 호서대학교 컴퓨터공학부
※ 관심분야 : Vehicular NDN, IoT



임हन국(Huhnkuk Lim)

2020년 3월~현재 : 호서대학교 컴퓨터공학부 부교수
2015년 3월~2020년 2월 : 과학기술연합대학원대학교(UST) HPC 및 데이터 과학 전공 교수
2006년 3월~2020년 2월 : 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부 책임연구원
2006년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
2001년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
※ 관심분야 : Vehicular NDN, IoT, Edge AI, Smart mobility