

정보 중심 지연 허용 네트워크에서 우선순위 기반 메시지 전달 기법

강민욱*, 정운원**

A Priority-based Message Forwarding Scheme in Information-Centric Delay-Tolerant Networking

Min Wook Kang*, Yun Won Chung**

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2020-2017-0-01633), 이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00613, MEC 환경에서의 콘텐츠 기반 지연 감내 네트워킹 기술 개발)

요 약

정보 중심 지연 허용 네트워크는 노드 간 안정된 연결성이 보장되지 않는 네트워크 환경에서 지연 허용 네트워크 기술을 통해 이름 기반 정보 중심 네트워크 메시지를 효과적으로 전달하는 네트워크이다. 정보 중심 지연 허용 네트워크에서는 노드 간 기회적 접촉을 통해 메시지를 전달하는데 짧은 접촉 시간 및 제한된 전송 속도로 인해 버퍼에 저장된 메시지를 접촉 노드에게 충분히 전달하는데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 접촉 시 전달 예측률, 인기도, 긴급성 우선순위의 가중합으로 정의된 전달 우선순위에 기반하여 메시지를 전달하는 우선순위 기반 메시지 전달 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 제안 기법은 전달 우선순위를 사용하지 않고 메시지를 전달하는 기존 기법에 비해 부하율은 증가하지만 최대 19%의 향상된 가중 평균 전달률을 가지는 것을 알 수 있다.

Abstract

In Information-Centric Delay-Tolerant Networking, name-based Information-Centric Networking (ICN) messages are delivered efficiently through Delay-Tolerant Networking (DTN) technology, in a network environment, where stable connectivity between nodes are not guaranteed. In Information-Centric Delay-Tolerant Networking, messages are forwarded using opportunistic contacts between nodes but there is restriction to forward messages stored in buffer sufficiently to contact node, due to short contact time and limited transmission speed. To overcome this problem, a priority-based forwarding scheme is proposed, where messages are forwarded at contact based on forwarding priority, which is a weighted sum of delivery predictability, popularity, and urgency priority. Performance analysis results through simulation show that the proposed scheme has better weighted average delivery ratio with maximum 19% improvement, compared to conventional scheme without forwarding priority, although overhead ratio is increased.

Keywords

delay-tolerant networking, information-centric networking, delivery predictability, delivery ratio, overhead ratio

* 숭실대학교 정보통신공학과 박사과정

- ORCID: <http://orcid.org/0000-002-7475-8143>

** 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-002-2964-0330>

• Received: Nov. 27, 2020, Revised: Jan. 08, 2021, Accepted: Jan. 11, 2021

• Corresponding Author: Yun Won Chung

School of Electronic Engineering, Soongsil University, 369, Sangdo-Ro, Dongjak-gu, Seoul, 06978, Korea

Tel.: +82-2-820-0908, Email: ywchung@ssu.ac.kr

I. 서 론

최근 데이터 트래픽의 급증으로 인해 IP 주소 기반으로 라우팅을 수행하는 기존 인터넷에서 발생하는 트래픽 병목 문제를 해결하기 위해 콘텐츠의 이름 기반으로 라우팅을 수행하는 정보 중심 네트워크인 ICN(Information-Centric Networking)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]-[3]. 정보 중심 네트워크에서는 콘텐츠를 요청하는 인터리스트(Interest)와 데이터의 라우팅을 효과적으로 수행하기 위해 각 노드는 데이터를 저장하는 캐쉬에 해당하는 CS(Content Store), 데이터를 요청하는 인터리스트 정보를 관리하는 PIT(Pending Interest Table), 데이터 생산자로서의 라우팅 정보를 관리하는 FIB(Forwarding Information Base)를 관리한다[1].

지연 허용 네트워크인 DTN(Delay-Tolerant Networking)은 통신 인프라의 부재, 낮은 노드의 밀도 등으로 인해 메시지 발생 노드와 목적지 노드 간 연결성이 지속적으로 보장되지 않은 불안정한 라우팅 환경에서도 메시지를 전달하기 위해 제안된 네트워크 기술이다. 이를 위해 노드는 전달 계층 위에 위치한 번들(Bundle) 계층에 메시지를 저장한다. 이후, 이동 중 주위 노드와의 기회적 접촉 시 메시지를 전달하는 저장-이동-전달(Store-carry-forward) 방식을 통해 최종 목적지로 메시지를 전달한다[4].

최근 재난 환경과 같이 통신 인프라의 파괴로 인해 노드 간 연결성이 제대로 보장되지 않은 환경에서 이름 기반으로 라우팅을 수행하기 위해 정보 중심 네트워크 기술과 지연 허용 네트워크 기술을 결합한 정보 중심 지연 허용 네트워크(Information-Centric Delay-Tolerant Networking)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5]-[7]. 정보 중심 지연 허용 네트워크에서 인터리스트 및 데이터는 노드 간 기회적 접촉을 이용하여 전달될 수 있으나 노드의 이동성으로 인한 짧은 접촉 시간 및 제한된 전송 속도로 인해 버퍼에 저장된 인터리스트 및 데이터를 접촉 노드에게 충분히 전달하는 데에 한계가 있다.

[8]의 연구에서는 재난으로 인해 전체 네트워크가 다수의 분할 네트워크(Fragmented networks)로 나누어진 환경에서 분할 네트워크 간 정보 중심 네트워크 메시지를 지연 허용 네트워크 기술을 이용하

여 전달 시 메시지의 우선순위에 기반한 효과적인 메시지 전달 방법을 제안하였다. 각 분할 네트워크에는 메시지 전달을 담당하기 위한 게이트웨이 노드가 존재하고, 분할 네트워크를 순회하는 고성능의 노드인 데이터 물통을 통해 분할 네트워크 간 지연 허용 네트워크 라우팅을 통해 메시지가 전달된다. 각 분할 네트워크 내부에서 이동 노드는 게이트웨이 노드와 애드 혹(Ad-hoc) 모드, 무선랜, 또는 유선랜을 통해 통신 가능한 상황을 가정하였다. 게이트웨이 노드와 데이터 물통 간 효율적인 메시지 전달을 위해 [8]의 연구에서는 메시지 우선순위(Message priority) 및 전송 우선순위(Transmission priority)를 정의하고 전송 우선순위가 높은 순서대로 메시지를 전송한다. 이 때, 메시지 우선순위는 메시지의 요청 노드 수를 메시지의 크기로 나눈 값으로 정의되고, 전송 우선순위는 메시지 우선순위와 데이터 물통이 메시지의 목적지 노드로 메시지를 전달할 확률 값의 곱으로 정의된다.

본 연구에서는 목적지 노드로의 메시지 전달 예측률, 인기도, 긴급성 우선순위의 가중합으로 전달 우선순위(Forwarding priority)를 정의하고 두 노드의 접촉 시 전달 우선순위가 높은 순서대로 메시지를 전달하는 우선순위 기반 메시지 전달 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 데이터 물통 및 게이트웨이를 통해 분할 네트워크 간 메시지 전달을 가정한 기존 [8]의 연구와 달리 분할 네트워크, 게이트웨이 및 데이터 물통을 별도로 가정하지 않고 지연 허용 네트워크 프로토콜로 동작하는 일반 이동 노드들로 구성된 일반적인 지연 허용 네트워크 환경을 가정한다. 전달 예측률은 IRTF RFC 6693 표준으로 제정된 PROPHET(Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity) 프로토콜[9]에서 정의된 두 노드 간 전달 예측률을 노드와 데이터를 가진 노드들의 집합 간 전달 예측률 혹은 노드와 데이터를 요청한 요청 노드들의 집합 간 전달 예측률로 확장한 [10]의 결과를 활용한다. 메시지 인기도는 각 메시지를 요청한 노드 수에 기반하여 정의되며, 메시지 긴급성 우선순위는 긴급 구조를 위한 SOS 요청, 지인의 생존 확인을 위한 채팅 등의 서로 다른 메시지의 특성에 따른 긴급성에 기반하여 정의된다.

본 논문의 2장에서는 우선순위 기반 메시지 전달 기법을 제안하고 3장에서는 제안 기법의 성능을 전달률 및 부하율 측면에서 분석한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결과를 요약한다.

II. 우선순위 기반 메시지 전달 기법

정보 중심 지연 허용 네트워크에서는 짧은 접촉 시간 및 제한된 전송 속도 등으로 인해 버퍼에 저장된 인터리스트 및 데이터를 접촉 노드에게 충분히 전달하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 메시지 전달 시 우선순위를 정하고 우선순위가 높은 메시지를 우선적으로 전달함으로써 제한된 자원을 효과적으로 사용하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 다수의 노드가 동일 데이터를 요청하는 인터리스트를 발생시키고 동일 데이터가 여러 노드에 저장되어 있는 일반적인 정보 중심 지연 허용 네트워크 환경을 고려한다. 정보 중심 네트워크 메시지의 라우팅을 수행하기 위한 지연 허용 네트워크 라우팅 프로토콜로 노드 간 접촉 이력에 기반하여 전달 예측률을 계산하고 접촉 시 전달 예측률이 더 높은 노드에게 메시지를 전달하는 PROPHET 프로토콜[9]을 활용한다. 또한, [10]의 연구에서와 같이 두 노드의 접촉 시 두 노드가 서로 다른 요청 노드 정보를 포함하는 동일한 인터리스트 및 데이터를 가지고 있는 경우 요청 노드 정보가 인터리스트 및 데이터에 병합되는 것을 가정한다. 이를 통해, 버퍼에 저장하여야 하는 인터리스트 및 데이터 메시지의 개수를 효과적으로 줄일 수 있다.

제안하는 메시지 우선순위 기반 메시지 전달 기법에서는 메시지 m 의 전달 우선순위(Forwarding priority) $FP(m)$ 를 식 (1)과 같이 정의한다.

$$FP(m) = \omega_{DP} \times DP(m) + \omega_{MP} \times MP(m) + \omega_{UP} \times UP(m) \quad (1)$$

식 (1)에서 $DP(m)$ 은 전달 예측률(Delivery predictability), $MP(m)$ 은 메시지 인기도(Message popularity), $UP(m)$ 은 메시지의 긴급성 우선순위(Urgency priority)를 의미하며 0에서 1까지의 값으로 정의된다. 또한, ω_{DP} , ω_{MP} 및 ω_{UP} 는 각각 전달 예측

률 가중치, 메시지 인기도 가중치 및 긴급성 우선순위 가중치를 의미하고 세 값의 합은 1로 정의된다.

본 논문에서는 다수의 노드가 동일 데이터를 요청하는 인터리스트를 발생시키고 동일 데이터가 여러 노드에 저장되어 있는 정보 중심 네트워크 환경을 고려하기 위해 [10]의 연구에서 제안된 것처럼 노드와 데이터를 가진 노드들의 집합 간 혹은 노드와 데이터를 요청한 요청 노드들의 집합 간 전달 예측률로 $DP(m)$ 을 정의한다.

메시지 인기도 $MP(m)$ 은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$MP(m) = \begin{cases} \frac{NR(m)}{NR_{threshold}}, & NR_{threshold} > NR(m) \\ 1, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 $MP(m)$ 은 메시지의 요청 노드 수에 비례하여 증가하는 값으로 $MP(m)$ 은 임계값 $NR_{threshold}$ 대비 요청 노드 수 $NR(m)$ 로 계산되고 요청 노드 수 $NR(m)$ 이 요청 노드 수 임계값 $NR_{threshold}$ 보다 크거나 같은 경우 메시지 인기도 $MP(m)$ 은 1로 정의된다. 요청 노드가 많은 메시지는 접촉 시 확산을 촉진함으로써 요청 노드에게 신속하게 메시지를 전달할 필요가 있으며 따라서 메시지 인기도는 요청 노드의 수에 비례하도록 정의하였다.

긴급성 우선순위 $UP(m)$ 은 메시지의 긴급성에 따라 정의된 값으로 SOS 메시지와 같이 긴급한 메시지는 1에 가까운 값을 가지고 채팅 메시지와 같이 긴급성이 낮은 메시지는 0에 가까운 값을 가지는 것으로 정의한다. 본 논문에서는 제한된 자원 환경에서 메시지의 긴급성 우선순위가 높은 메시지를 우선적으로 전달하기 위해 전달 우선순위 계산 시 긴급성 우선순위를 활용하였다.

그림 1은 제안 기법의 흐름도이다. 제안 기법에서는 인터리스트 메시지 발생 시 미리 정의된 기준에 따라 발생한 메시지의 긴급성 우선순위인 $UP(m)$ 이 정의된다. 이후, 노드 A와 노드 B가 접촉 시 두 노드는 자신이 가지고 있는 메시지의 정보 등을 포함한 요약 벡터(Summary vector)의 교환을 통해 서로의 정보를 공유하고 이를 이용하여 $DP(m)$ 및 $MP(m)$ 을 갱신한다.

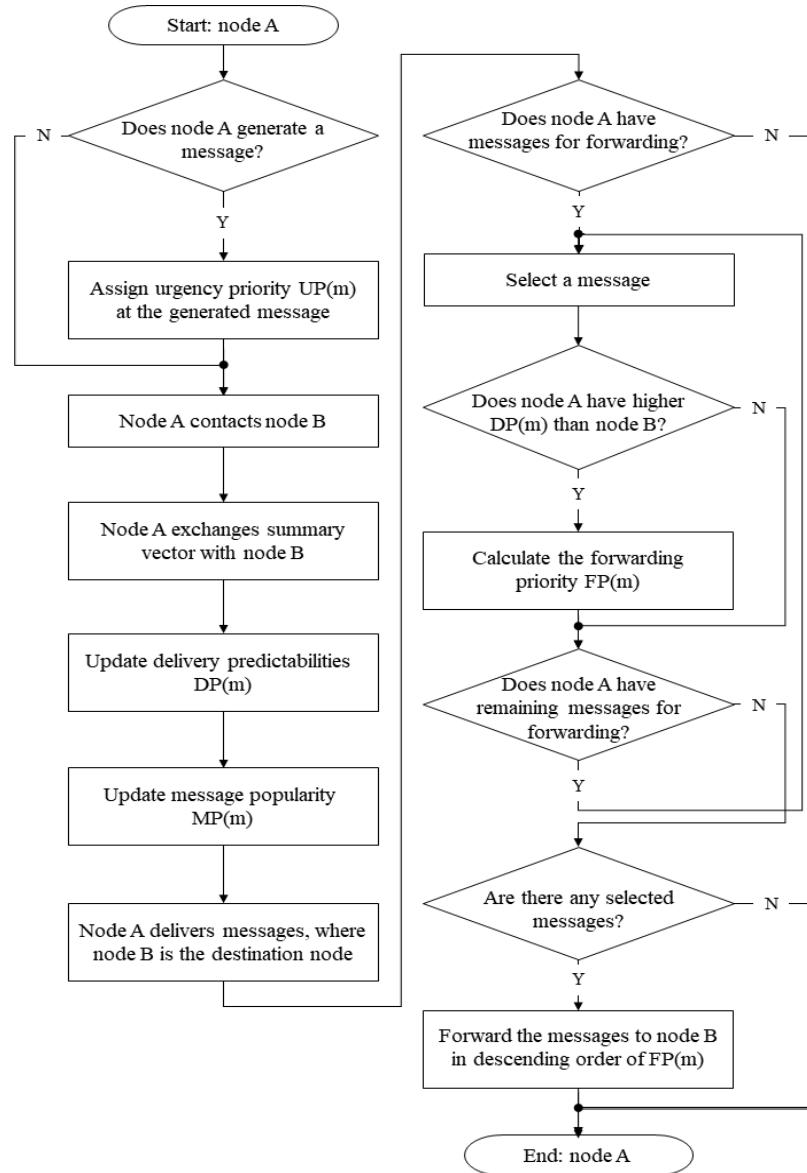


그림 1. 제안 기법의 흐름도

Fig. 1. A flowchart of the proposed scheme

두 노드는 상대 노드가 자신이 가지고 있는 메시지의 목적지 노드에 해당하는 경우 이 메시지를 우선적으로 전달한다. 이후, 자신이 가지고 있는 인터리스트 혹은 데이터 메시지에 대해 메시지 목적지 노드 집합으로의 $DP(m)$ 을 비교하여 접촉 노드가 메시지 목적지 노드로 $DP(m)$ 이 더 큰 메시지를 추출하고, 이 중 식 (1)에서 정의된 메시지 전달 우선순위인 $FP(m)$ 이 높은 메시지를 접촉 노드에게 우선적으로 전달한다.

III. 성능 분석

본 논문에서는 표 1의 파라미터 환경에서 ONE (Opportunistic Network Environment) 시뮬레이터 [11], [12]를 사용하여 제안 기법의 성능을 식 (3), (4)의 전달률 및 부하율의 측면에서 비교하였다.

$$\text{전달률} = \frac{\text{전달된 데이터 수}}{\text{발생한 인터리스트 수}} \quad (3)$$

$$\text{부하율} = \frac{\text{중계된 데이터 수} - \text{전달된 데이터 수}}{\text{전달된 데이터 수}} \quad (4)$$

표 1. 실험 환경

Table 1. Simulation environment

Parameter	Value
Simulation time (s)	43,200
Map size (m ²)	4,500 x 3,400
Transmission range (m)	15
Packet transmission speed (Mbytes/s)	0.25
Movement model	Shortest path map based movement
Number of hosts	150
Buffer size (Mbytes)	5-50
Message size (Mbytes)	Interest: 0.001 Data: U[1,2]
Message generation interval (s)	Interest: U[25,35]
Number of messages	Interest: 750 Data: 150
TTL of Messages (min)	Interest: 60 Data: 300
NR _{threshold}	5
UP(m)	0.1, 1.0
ω_{DP} , ω_{MP} , ω_{UP}	0.34, 0.33, 0.33

제안 기법과의 성능 비교를 위한 기존 기법으로는 접촉 시 접촉 노드의 DP(m)이 높은 순서대로 메시지를 선택하고 접촉 노드의 메시지의 목적지 노드로의 전달 예측률이 자신의 전달 예측률보다 더 큰 경우 메시지를 전달하는 GRTRmax기법[9]을 고려하였다. 인터리스트 및 데이터의 긴급성 우선순위 UP(m)의 값은 각각 0.1 및 1.0을 가지는 메시지를 고려하였고 동일한 수만큼 발생되도록 설정하였다.

그림 2는 버퍼의 크기를 5Mbytes에서 50Mbytes로 변화시키면서 제안 기법 및 기존 기법의 데이터 전달률을 비교한 그래프이다. 메시지 긴급성 우선순위에 따른 전달률을 상세히 분석하기 위해 각 기법마다 UP(m)=0.1, UP(m)=1.0인 메시지 각각에 대한 개별 전달률, UP(m)=0.1, 1.0인 개별 전달률을 단순 평균한 평균 전달률 및 UP(m)=0.1, 1.0인 개별 전달률에 긴급성 우선순위인 UP(m)의 가중치를 곱한 평균으로 계산된 가중 평균 전달률을 구하였다. 성능 분석 결과 기존 PROPHET 프로토콜은 긴급성 우선순위와 상관없이 메시지를 전달하여 고려하는 전달률이 모두 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 반면, 제안 기법은 UP(m)=0.1인 메시지의 전달률은 기존 기법에 비해 감소하는 반면, 전달을 촉진시킨 UP(m)=1.0인 메시지의 전달률은 기존 기법에 비해

증가하는 것을 알 수 있다. 단순 평균 전달률은 버퍼 크기가 5, 10Mbytes인 경우 제안 기법이 기존 기법 대비 최대 약 4% 정도 증가하고 이외의 구간에서는 기존 기법에 비해 최대 8% 정도 감소하지만, 메시지 긴급성 우선순위를 고려하여 정의된 가중 평균 전달률은 기존 기법 대비 항상 우수하며 최소 약 6%, 최대 약 19% 정도 향상됨을 알 수 있다.

그림 3은 버퍼의 크기를 5Mbytes에서 50Mbytes로 변화시키면서 제안 기법 및 기존 기법의 데이터 부하율을 도출한 그래프로 UP(m)=0.1, UP(m)=1.0인 메시지 각각에 대한 개별 부하율, UP(m)=0.1, 1.0인 개별 부하율을 단순 평균한 평균 부하율을 도출하였다.

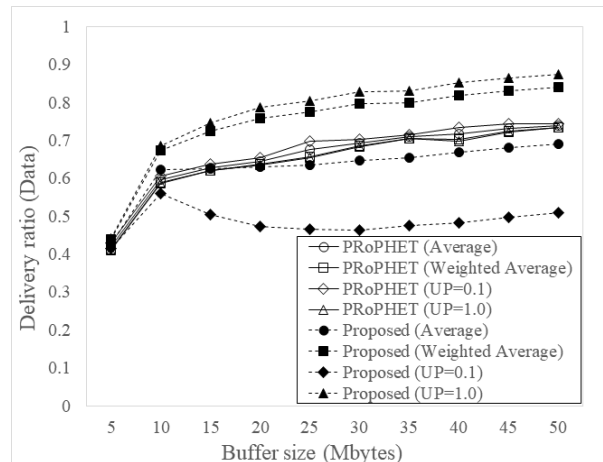


그림 2. 버퍼 크기 변화에 따른 데이터 전달률
Fig. 2. Delivery ratio for data varying buffer size

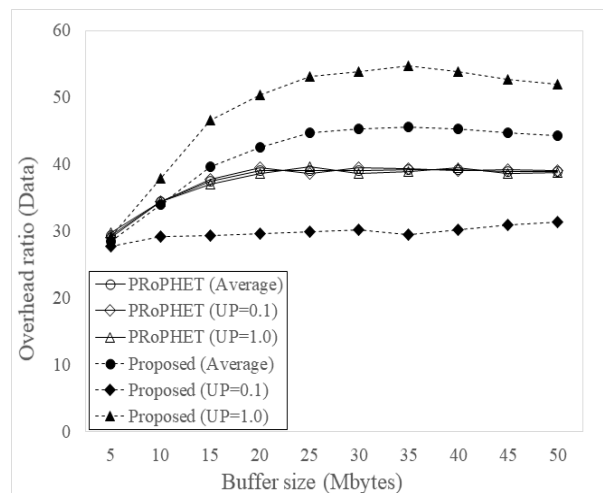


그림 3. 버퍼 크기 변화에 따른 데이터 부하율
Fig. 3. Overhead ratio for data varying buffer size

전달률 결과와 유사하게 기존 기법은 고려하는 부하율이 모두 비슷한 값을 가지는 것을 알 수 있었다. $UP(m)=0.1$ 인 메시지의 부하율은 제안 기법이 기존 기법에 비해 감소하는 반면, $UP(m)=1.0$ 인 메시지의 부하율은 제안 기법이 기존 기법에 대해 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 제안 기법에서는 $UP(m)=1.0$ 인 메시지의 전달을 우선적으로 수행하여 $UP(m)=1.0$ 인 메시지의 부하율이 증가하기 때문이다. 평균 부하율은 버퍼 크기가 5, 10Mbytes인 경우 제안 기법이 기존 기법 대비 최대 약 3% 정도 감소하고, 이외의 구간에서는 제안 기법이 기존 기법 대비 최대 16% 정도 증가하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 정보 중심 지연 허용 네트워크 환경에서 메시지 전달 예측률, 인기도, 긴급성 우선순위의 가중합으로 구성된 메시지 전달 우선순위를 정의하였다. 이후, 두 노드의 접촉 시 메시지 우선순위가 높은 메시지를 우선적으로 전달하는 우선순위 기반 메시지 전달 기법을 제안하였다. 성능 분석 결과 제안 기법은 비교 기법에 비해 버퍼의 크기가 매우 작은 경우를 제외하고는 부하율이 증가하였다. 반면, 고려하는 모든 버퍼 크기에서 가중 평균 전달률이 최대 19% 향상되었다. 서로 다른 긴급성 우선순위를 가지는 인터리스트 메시지를 가정한 정보 중심 지연 네트워크 환경에서 긴급성 우선순위를 고려한 가중 평균 전달률이 부하율보다 사용자의 서비스 체감 품질에 더 큰 영향을 미치는 것을 고려하였을 때 제안 기법은 기존 기법에 비해 우수한 체감 품질을 제공할 수 있다고 할 수 있다.

References

- [1] C. Fang, H. Yao, Z. Wang, W. Wu, X. Jin, and F. R. Yu, "A Survey of Mobile Information-Centric Networking: Research Issues and Challenges", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 3, pp. 2353-2371, Feb. 2018.
- [2] C. Fang, F. R. Yu, T. Huang, J. Liu, and Y. Liu, "A Survey of Green Information-Centric Networking: Research Issues and Challenges", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 17, No. 3, pp. 1455-1472, Feb. 2015.
- [3] R. Ravindran, A. Chakraborti, S. O. Amin, A. Azgin, and G. Wang, "5G-ICN: Delivering ICN Services over 5G Using Network Slicing", IEEE Communications Magazine, Vol. 55, No. 5, pp. 101-107, May 2017.
- [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. 654-677, May 2012.
- [5] M. W. Kang and Y. W. Chung, "ICN+DTN Technology", KICS Information and Communications Magazine, Vol. 34, No. 12, pp. 43-48, Nov. 2017.
- [6] H. Islam, A. Lukyanenko, S. Tarkoma, and A. Y. Jaaski, "Towards Disruption Tolerant ICN", IEEE Symposium on Computers and Communication, Larnaca, Cyprus, pp. 212-219, Jul. 2015.
- [7] 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, Rome, Italy, pp. 1-6, Jun. 2016.
- [8] E. Monticelli, B. M. Schubert, M. Arumaithurai, X. Fu, and K. K. Ramakrishnan, "An Information Centric Approach for Communications in Disaster Situations", IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks, Reno, NV, USA, pp. 1-6, May 2014.
- [9] A. Lindgren, A. Doria, E. Davies, and S. Grasic, "Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks", Internet Research Task Force, RFC 6693, Aug. 2012.
- [10] M. W. Kang and Y. W. Chung, "Performance

Analysis of a Novel DTN Routing Protocol for ICN in Disaster Environments", International Conference on Information and Communication Technology Convergence, Jeju, Korea, pp. 1276-1278, Oct. 2018.

[11] The Opportunistic Network Environment Simulator, <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>, [accessed: Nov. 11, 2020]

[12] A. Keranen, J. Ott, and T. Karkkainen, "The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation", Proceedings of International Conference on Simulation Tools and Techniques, Rome Italy, pp. 1-10, Mar. 2009, <https://doi.org/10.4108/ICST.SIMUTOOLS2009.5674>

저자소개

강 민 욱 (Min Wook Kang)



2015년 2월 : 숭실대학교
정보통신전자공학부(공학사)
2017년 2월 : 숭실대학교
정보통신공학과(공학석사)
2017년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교
정보통신공학과(박사과정)
관심분야 : DTN, ICN, SDN/NFV

정 윤 원 (Yun Won Chung)



1995년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과(공학사)
1997년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학석사)
2001년 8월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학박사)
2001년 10월 ~ 2002년 12월 :

King's College London Visiting Post-doctoral
Research Fellow

2003년 1월 ~ 2005년 8월 : 한국전자통신연구소 연구원
2005년 9월 ~ 현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 교수
관심분야 : DTN, ICN, SDN/NFV