

NDN 기반 드론 네트워크의 데이터 사전 캐싱 기법

Data Pre-Caching Mechanism in NDN-based Drone Networks

최수호*, 조인휘*, 김원태**★

Suho Choi*, Inwhee Joe*, Wontae Kim**★

Abstract

Networking services based on the flying drones may cause many handover events because the coverage radius is narrower than that of the existing infrastructure, such as cellular networks. Therefore, it copes with frequent handover by pre-caching data to target network provider before handover using a content store. As a result of the simulation, it can be confirmed that the delay is lowered. This is because the data that was requested before the handover is delivered to the target drones, and the car that has completed the handover receives the data through the target drones. On the other hand, if the proposed method is not used, it can be confirmed that the delay is increased. This is because it can not cope with the path change due to the handover and re-sends the packet requesting the data.

요약

비행하는 드론 기반 네트워킹 서비스는 셀룰러 네트워크와 같은 기존 통신 인프라보다 커버리지 반경이 좁기 때문에 많은 핸드오버 이벤트를 유발할 수 있다. 따라서, 콘텐츠 스토어를 활용하여 핸드오버 이전에 요청한 데이터를 핸드오버 이후 타겟 네트워크 제공자에게 사전에 캐시 함으로써 잦은 핸드오버에 대응하였다. 시뮬레이션 결과, 핸드오버 이전에 요청한 데이터를 타겟 드론에게 전달하였고 핸드오버를 끝낸 자동차가 타겟 드론을 통해 데이터를 받음으로써 딜레이가 감소함을 확인할 수 있었다. 반면에, 제안하는 방법을 사용하지 않으면 핸드오버에 따른 경로 변경에 대응하지 못하였고 데이터를 요청하는 패킷을 다시 보냄으로써 딜레이가 증가했음을 확인했다.

Key words : Named-Data Networking, Pre-caching, Drone relay network, Highway network

1. 서론

고속도로에 설치된 인프라는 긴 고속도로 구간을 빠르게 이동하는 자동차와 안정적인 통신을 하기 위해 넓은 커버리지 반경이 필요하다. 그리고 도시로 진입하는 구간에서는 자동차의 밀도가 높아서

많은 커버리지 용량이 요구되는데, 이런 요구들을 모두 만족하려면 높은 비용을 감당해야 한다.

더욱이, 일부 구간에서는 러시아워라고 불리는 현상이 발생한다. 이 현상은 특정 시간대에만 자동차의 밀도가 높다. 따라서, 트래픽이 많이 발생하고 신호 간 간섭이 심해진다. 만약 인프라의 커버리지

* Dept. of Computer Software, Hanyang University

** Dept. of Computer Science and Engineering, Koreatech University

★ Corresponding author

E-mail : wtkim@koreatech.ac.kr, Tel : +82-41-560-1485

※ Acknowledgment

This paper was supported by the Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP)(No. 2018-0-01456-002) and by University Innovation Support Project(UISP) funded by the Ministry of Education

Manuscript received Oct. 8, 2019; revised Nov, 20 2019; accepted Nov. 28, 2019.

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.

용량을 초과하는 트래픽이 발생한다면, 자동차와의 무선링크를 원활히 유지할 수 없어서 액세스에 대응하지 못하기 때문에 자동차의 QoS는 낮아진다. 이 문제는 인프라와 멀어질수록 심각해진다.

하지만, 해당 시간대 이외에는 자동차의 밀도가 낮아져서 트래픽이 적어지기 때문에 러시아워를 감당하기 위해 인프라를 추가하는 것은 비용 문제가 발생한다. 또한, 외곽지역에서는 자동차의 밀도가 적어 고성능의 인프라 설치에 비효율적이지만, 유동적인 도로 상황 속에서 적절한 타협점을 찾기 어렵다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 이동성이 높은 드론을 통한 네트워크 지원 방법을 도입하였다[1]. 드론의 이동성을 이용한다면 러시아워 같은 특정 시간대에 투입하여 스몰 셀과 같은 추가 인프라를 제공함으로써 트래픽을 분산시킬 수 있다. 그리고 커버리지 음영지역이나 사고 지점으로 이동하는 등의 실시간 요구사항에 맞출 수 있다.

하지만, 드론을 통한 네트워크 지원은 기존의 인프라보다 커버리지 범위가 좁아서 핸드오버가 잦다. 핸드오버가 잦으면 경로를 재설정하여 패킷을 재전송하는 빈도수가 증가한다. 이런 문제는 딜레이를 증가시킨다.

이런 문제를 해결하기 위해 NDN(Named-Data Networking)[2-4]을 도입하였다. NDN은 노드마다 CS (Content Store)를 가지고 있다. CS를 통해 데이터를 요청하고 받아오는 과정에서 만나는 노드마다 데이터를 캐시 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 진행 방향이 정해져 있는 고속도로 특성을 이용, 데이터를 사전에 캐싱하여 핸드오버에 대응하는 방법을 통해 데이터 요청자의 QoS를 보장하는 방법을 적용하였다. 이 방법을 통해 패킷 재전송 횟수를 줄이고 딜레이를 낮출 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본론에서는 제안하는 방법과 동작 과정에 대해 설명한다. 그리고 성능평가를 통해 성능을 확인하며, 마지막으로 앞선 내용을 바탕으로 결론을 도출한다.

II. 본론

1. 드론을 통한 네트워크 지원 방법

드론의 위치선정은 Large-scale 전파경로 손실모

델을 통해 거리별 손실과 적절한 커버리지를 계산하여 정할 수 있다. 전파경로 손실모델은 Frii's 자유공간 전파경로 손실모델을 사용하였고 [5]에서 제안하고 도출된 수식을 사용하였다. 해당 논문에서는 수식을 사용한 결과와 실제 환경과 유사하게 나타났다. 사용된 수식은 다음과 같다.

$$PL(d) = 10 \log \frac{P_t}{P_r(d)} \quad (1)$$

$PL(d)$ 는 거리별 경로 손실을 나타낸다. P_t 는 송신 전력, $P_r(d)$ 는 거리별 수신 전력을 뜻하며, d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다. 다음은 자유공간에서 전파경로 손실모델을 나타내는 수식이다.

$$P_r(d) = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2 L_t} + C \quad (2)$$

G_t 는 송신기의 안테나 이득, G_r 는 수신기의 안테나 이득이다. λ 는 파장을 나타내며, L_t 는 송신 시스템에서 발생하는 손실이다. 다음 수식은 [5]에서 추가된 보정계수이다.

$$C = G_r + L_r \quad (3)$$

C 는 수신 시스템에서 발생한 손실과 수신 안테나 이득을 보정 하기 위해 사용되었다. G_r 는 수신기의 안테나 이득이며, L_r 는 수신 시스템에서 발생한 손실이다. 본 논문에서는 [5]에서 사용된 것과 다르게 스펙트럼 분석기의 증폭을 삭제하였다.

페이딩 이득은 -20dBm을 설정하였으며, 최고 속도로 이동하는 자동차를 고려하여 40m를 커버리지 중첩 구간으로 설정하였고 이 구간에서 원활하게 핸드오버가 진행되도록 설정하였다.

2. 데이터 사전 캐시 방법

데이터 요청자가 타겟 드론으로 핸드오버 하기 전에, 요청한 데이터를 타겟 드론의 CS로 사전에 캐시한다. 이 방법을 통해 핸드오버 직후 바로 요청한 데이터를 받을 수 있다. 사전 캐시하는 방법은 다음과 같다.

고속도로에서는 속도가 제한되어 있고 드론은 일정 거리를 간격으로 커버리지를 구성하여 네트워크를 제공한다. 따라서, 본 논문에서는 자동차의 이동 거리를 계산하여 예측하고 핸드오버 되기 이전

과 이후로 나뉘어서 판단을 내렸다. 판단에 사용되는 수식은 다음과 같다.

$$Delay = I_r - I_t \quad (4)$$

수식 (4)는 $Delay$ 를 구하는 수식이다. I_r 는 드론이 받은 Interest의 시간이고 I_t 는 데이터를 요청한 자동차의 Interest 전송 시간이다. I_r 에서 I_t 를 빼면 자동차로부터 걸리는 시간을 알 수 있다. 다음은 데이터를 요청한 자동차의 이동 거리이다.

$$D_v = Delay^2 R_s \quad (5)$$

수식 (5)는 데이터를 요청한 자동차의 이동 거리이다. 수식 (4)에서 도출한 $Delay$ 를 제곱하여 도출해 낸 왕복시간에 고속도로의 제한속도인 R_s 를 곱한다. 다음은 데이터를 요청한 자동차의 현재거리를 구하는 수식이다.

$$D_s = |HO_t - I_t| * R_s \quad (6)$$

수식 (6)은 데이터를 요청한 자동차의 현재거리이자 기준 거리이다. 데이터를 요청한 차량이 핸드오버 한 시간에 데이터를 찾기 위해 Interest를 전송한 시간을 빼고 절댓값을 통해 나온 값에서 고속도로의 제한속도 R_s 를 곱하였다. 데이터를 사전캐시하는 판단은 다음과 같다.

$$D_s + D_v < D_c \quad (7)$$

$$D_c = D_d - 50m \quad (8)$$

D_c 는 데이터를 사전에 캐시 하는데 판단할 기준이 되는 거리이다. 수식 (1)을 통해 도출한 드론의 커버리지 거리인 D_d 에서 핸드오버 구간의 시작점인 40m와 안정적인 데이터 보급을 위해 추가로 10m를 차감한 50m를 감소하였다.

자동차가 판단 기준 거리에 도달하기 전에는 데이터를 전달하여도 데이터 요청자에게 도달할 수 있다. 반면에, 판단 기준 거리에 도달하면 데이터가 온전히 데이터 요청자에게 전달될 수 없다. 따라서, 핸드오버 될 드론으로 데이터를 보내어 사전에 캐시하는 방법을 추가하였다.

3. 동작 과정

가. Interest 패킷을 받았을 때 동작 과정

그림 1은 드론이 Interest 패킷을 받았을 때 동작 과정을 나타내었다. 먼저, 데이터를 찾는 Interest를 받으면 자신의 CS에 데이터가 존재하는지 확인한다. 만약 데이터가 존재한다면, 데이터를 사전캐시해야 하는지 판단한다. 사전캐시를 해야 한다고 판단되면 자신이 핸드오버 시킬 타겟 드론인지 확인한다.

만약 자신이 타겟 드론이라면, 데이터 요청자가 핸드오버 할 때까지 대기한다. 그렇지 않다면, 데이터를 전달한다.

하지만, 자신의 CS에 데이터가 존재하지 않는다면 기존의 NDN 프로세스를 따른다.

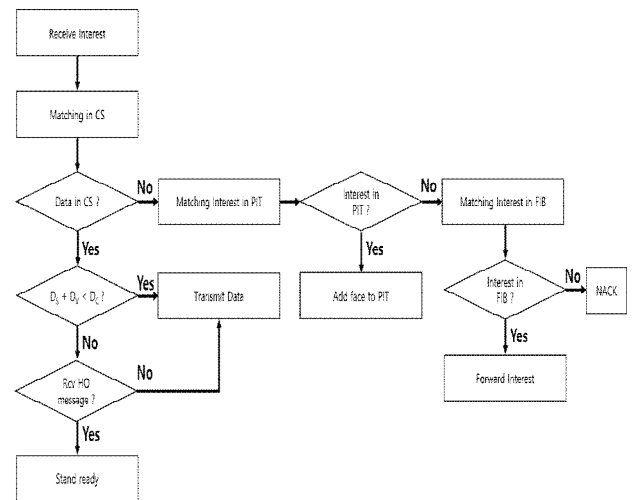


Fig. 1. Process when received Interest packet.

그림 1. Interest 패킷을 받았을 때 동작 과정

나. Data 패킷을 받았을 때 동작 과정

그림 2는 드론이 Data 패킷을 받았을 때 동작 과정을 나타내었다. 먼저, 데이터 패킷을 받으면 데이터 요청자가 자신의 네트워크로 핸드오버 시켜야 하는지 메시지를 확인한다.

만약, 핸드오버를 시켜야 한다면 데이터를 캐시해준다. 그렇지 않다면, 사전캐시를 해야 하는지 판단한다.

만약에, 사전캐시를 해야 한다고 판단되면 타겟 드론으로 목적지를 재설정된 뒤 데이터를 전달한다. 그렇지 않다면, 기존의 설정된 목적지로 데이터를 전달한다.

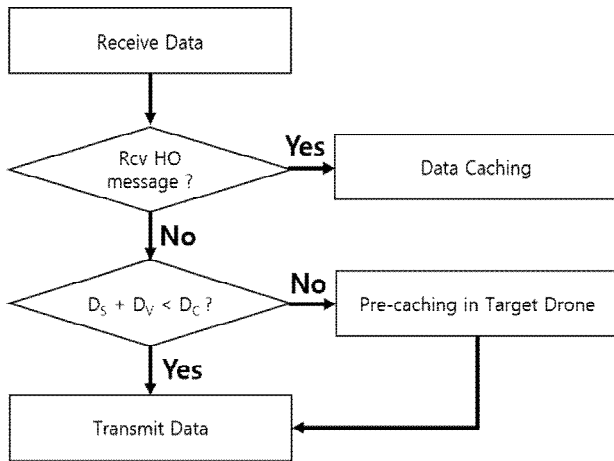


Fig. 2. Process when received Data packet.
그림 2. Data 패킷을 받았을 때 동작 과정

다. 데이터 전달 중 핸드오버 요청 시 동작 과정

그림 3은 데이터 요청자에게 요청된 데이터를 전달하던 과정에서 핸드오버 요청 메시지가 도착했을 때 순서도이다.

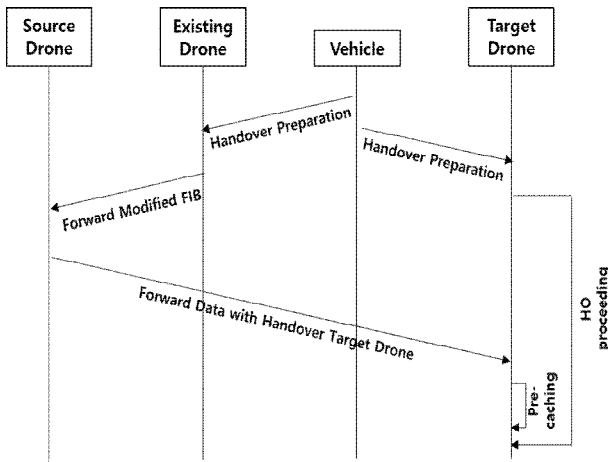


Fig. 3. flowchart when received Handover message.
그림 3. 핸드오버 메시지를 받았을 때 순서도

기존에 네트워크를 제공하던 드론은 자동차로부터 핸드오버를 요청하는 메시지를 받으면, 데이터를 보내던 소스 드론에게 경로가 수정된 FIB를 보낸다. 그러면, 소스 드론은 자동차가 핸드오버 할 타겟 드론에게 데이터를 전달한다. 타겟 드론은 받은 데이터를 자신의 CS에 캐시한다.

4. 성능 평가

제안된 방법을 적용한 시나리오는 도로 외곽지역에서 드론의 추가 네트워크 지원을 상정하였다. 성

능평가는 NS-3.29[6, 7]를 사용했으며, ndnSIM[8] 모듈을 적용하였다. 사용된 시뮬레이터의 파라미터는 아래 표 1과 같다.

Table 1. NS-3 Parameter.

표 1. NS-3 파라미터

Parameters	Drone Value	Vehicle Value
WiFi	802.11b	
WiFi Mac Type	AP-STA WiFi Type	
Frequency	5.0 GHz	
Mobility Model	Constant Velocity Mobility Model	
Payload Size	1024 Byte	
Data Size	3 MB	
Interest Frequency	10	
Antenna Gain	14 dBm	16 dBm
Antenna Power	10 dBi	7 dBi
System Loss	1 dBm	1 dBm

파라미터에 따라 수식 (1)을 계산하였고 그 결과는 다음과 같다.

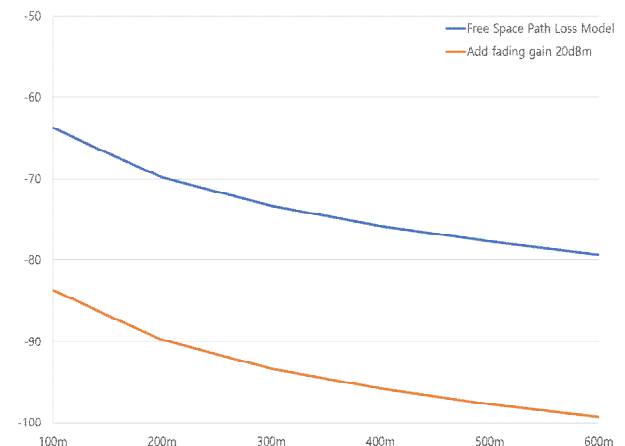


Fig. 4. Free Space Path Loss Model.

그림 4. Free Space Path Loss Model

그림 4는 자유공간 전파경로 손실모델을 거리별로 나타내었다. -20 dBm을 페이딩 이득으로 보았을 때, 실제 환경 전파손실과 오차 범위를 고려해 전파의 도달 거리는 400m 정도가 한계임을 알 수 있다.

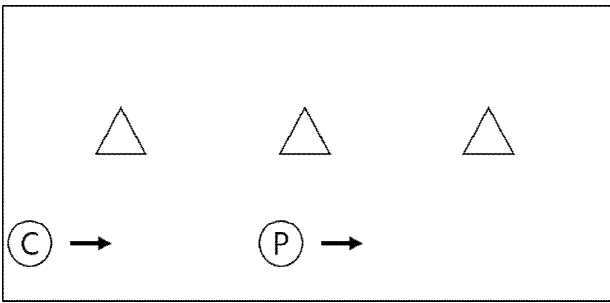


Fig. 5. The topology used for performance evaluation.
그림 5. 성능평가에 사용된 토폴로지

그림 5는 성능평가에 사용된 토폴로지이다. 삼각형은 드론을 나타내었으며, 수식 (1)을 통해 구한 적정 거리인 400m의 커버리지를 적용하였고, 중첩 거리를 50m로 설정하여 토폴로지를 구성하였다.

데이터 요청자인 C는 데이터 생산자인 P와 같은 속도로 이동하고 핸드오버가 비슷한 시간에 이루어지도록 설정하였다.

데이터 요청자는 데이터 생산자를 향해 Interest 패킷을 10번 보내어 총 3MB의 크기를 가진 데이터를 요청하는 식으로 테스트를 진행하였다.

가. 데이터 사전 캐시 유무에 따른 딜레이 비교

앞서 3절에서 소개한 사전캐시 알고리즘을 적용한 결과와 적용하지 않은 결과를 비교했다. 그 결과는 다음과 같다.

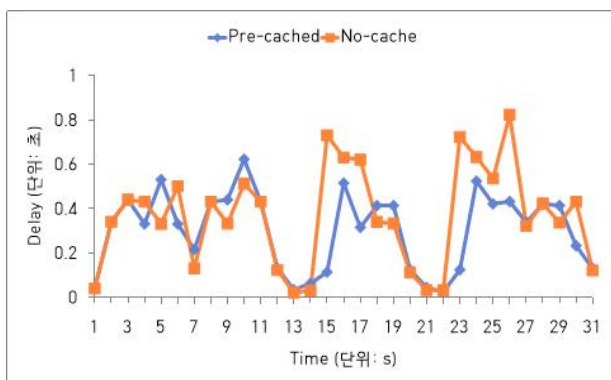


Fig. 6. Delay comparison with or without data Pre-cache.
그림 6. 데이터 사전 캐시 유무에 따른 딜레이 비교

그림 6은 데이터 사전 캐시 방법을 적용한 노드와 적용하지 않은 노드의 딜레이를 비교한 결과이다. 3MB의 데이터를 1024Byte 크기의 페이로드를 가진 Interest를 1초부터 초당 10개씩 보내어 받도

록 하였다.

결과를 보면, 1초부터 데이터를 요청하여 약 6초에 3 MB 크기를 가진 데이터를 모두 받는다. 이후에 7초부터 다시 데이터를 요청한다. 핸드오버가 진행되는 구간인 12-13초 동안에는 데이터를 받지 못한다. 왜냐하면, 핸드오버에 따라 경로가 변경되었고 FIB가 수정되어 반영되지 않았기 때문이다.

제안된 방법을 적용한 경우에는 11초에서 요청한 데이터를 진행 방향에 있는 타겟 드론의 CS에 사전에 캐시 해둠으로써 핸드오버 구간이 지나고 난 다음인 14초에서 타겟 드론을 통해 데이터를 받는다. 따라서, 딜레이가 낮은 것을 볼 수 있다. 이 사이에 FIB를 재구축하였고 15초에 남은 데이터를 받기 때문에 딜레이가 다시 상승하였다.

반면에, 제안된 방법을 적용하지 않으면 약 13~14초 사이에 데이터를 재요청하지만, 경로가 바뀌어서 FIB를 재구축한 뒤에 데이터 생산자를 향해 Interest 패킷을 재전송하는 횟수가 증가하였기에 딜레이가 상당히 높아졌음을 확인할 수 있다. 이런 결과는 다음 핸드오버 구간인 21~22초에서도 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서 제안하는 드론은 기존의 인프라보다 커버리지 반경이 좁아 핸드오버가 잦다. 그래서, 데이터를 다운로드 중에 핸드오버가 시작되면 타겟 드론의 CS로 캐시하는, 사전캐시 방법을 제안하였다. 데이터를 전달하는 드론은 데이터 요청자의 거리를 예측하여 타겟 드론으로 보낼지 말지 판단한다. 이러한 방법을 적용했을 때, 핸드오버 직후의 데이터를 받는 딜레이가 제안하는 방법을 적용하지 않았을 때 보다 약 6배가량 감소했다. 따라서, 제안하는 방법은 효율성이 좋다고 판단할 수 있다. 반면에, 이 결과는 싱글 안테나를 통해 하나의 요청을 처리했을 때 결과이므로 다수의 요청을 처리하려면 다수의 안테나와 고성능의 CPU가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] W Shi, H Zhou, J Li, W Xu, N Zhang, X Shen,

“Drone Assisted Vehicular Networks: Architecture, Challenges and Opportunities,” in *IEEE Network*, Vol.32, No.3, pp.130–137, 2018.

DOI: 10.1109/MNET.2017.1700206

[2] Zhang, Lixia, et al. “Named data networking,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* Vol.44, No.3, 2014.

[3] Named Data Networking project. <https://named-data.net/>

[4] A. Afanasyev, J. Burke, T. Refaei, “A Brief Introduction to Named Data Networking,” *MILCOM-IEEE Military*, 2018.

DOI: 10.1109/MILCOM.2018.8599682

[5] Jun-Hee L., Ki-Taek L., Jong-Chan K., Dong-Hoan S., Hyung-Rae C., “Large scale propagation analysis suitable for domestic highway environment,” *J. Korean Soc. of Marine Engineering (JKOSME)*, Vol.41, No.9, pp.914–920, 2017.

DOI: 10.5916/jkosme.2017.41.9.914

[6] NS-3: Network Simulator 3 <https://www.nsnam.org/>

[7] Afanasyev, Alexander, I. Moiseenko, and L. Zhang. “ndnSIM: NDN simulator for NS-3,” University of California, Los Angeles, Tech. Rep 4, 2012.

[8] ndnSIM: NDN simulator for NS-3 <http://ndnsonline.net/current/>

Inwhee Joe (Member)



1983.2 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
1995.2 : MS degree in Information and Communication, Arizona University.
1998.2 : PhD degree in Information and Communication, Georgia Tech University.

1998~2000 : Oak Ridge National Institute Researcher.

2000~2002 : Bellcore Lab (Telcordia) Scientist

2002~ : Professor, Hanyang university.

Won-Tae Kim (Member)



1994.2 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
1996.2 : MS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
2000.8 : PhD degree in Electronics Engineering, Hanyang University.

2001.1~2005.2 : CTO, Rostic Technologies Inc.

2005.3~2015.8 : Team Manager, ETRI

2015.9~2019.8 : Assistant professor, Koreatech university.

2019.9~ : Associate professor, Koreatech university.

BIOGRAPHY

Suho Choi (Member)



2017.2 : BS degree in Information Communication, Sunchon National University.

2019.8 : MS degree in Computer Software, Hanyang University.