

## 비인프라 기반 사물인터넷 구축을 위한 자율네트워킹 기법

윤주상\*

### Self-organization Networking Scheme for Constructing Infrastructure-less based IoT Network

Joosang Youn\*

Department of Industrial ICT Engineering, Dong-Eui University, Pusan 47340, Korea

#### 요 약

최근 로컬 IoT 네트워크 구축과 관련하여 RPL 프로토콜을 활용하는 다양한 비-인프라 기반 IoT 네트워킹 기법들이 연구 중이다. 특히, RPL 프로토콜은 자율네트워킹과 로컬 네트워크에 존재하는 노드 간 애드혹 경로를 제공하지 못하는 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 비-인프라 기반 IoT 네트워크 구축을 지원하는 자율네트워킹 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 저전력 손실 네트워크로 구성된 네트워크 환경에 적용 가능한 자율네트워킹 기법이다. 실험을 통해서 제안한 자율네트워킹 기법의 우수한 성능을 보였다. 특히, 단대단 데이터 발생률과 단대단 지연 측면에서 제안하는 기법의 성능이 우수함을 증명하였다.

#### ABSTRACT

Recently, various infrastructure-less IoT networking schemes have been studied to construct local IoT networks based on self-organization. This is, because RPL protocol, which is to support infrastructure based network construction is used to construct local IoT networks. Thus, a self-organization networking and ad hoc path between client and server in local IoT networks is not supported in basis RPL protocol. In this paper, we propose a self-organization networking scheme which support infrastructure-less based IoT network construction in low-power and lossy network based IoT environments consisting of IoT devices with the constrained feature, such as low power, the limited transmission rate and low computing capacity. Through simulation, we show that the proposed self-organization networking scheme improves the performance, in terms of the number of packets generated for end-to-end data transmission and the end-to-end delay, compared to basis RPL protocol.

**키워드** : 사물인터넷, 저전력 라우팅 프로토콜, 라우팅, 자율네트워크

**Key word** : IoT, RPL, Routing, SON

Received 23 November 2017, Revised 01 December 2017, Accepted 07 December 2017

\* Corresponding Author Joosang Youn(E-mail:jsyoun@deu.ac.kr, Tel:+82-51-890-1993)

Department of Industrial ICT Engineering, Dong-Eui University, Pusan 47340, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2018.22.1.196>

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

최근 IETF 표준화 기구에서 사물인터넷을 위한 다양한 통신프로토콜을 개발 중이다[1]. 특히, 자원 제약적 디바이스로 구성된 저전력 손실 네트워크를 로컬 사물인터넷 환경으로 가정하고 자원-제약적 디바이스 (Constrained Node)[1]에 인터넷 연결성 제공을 위한 다양한 기술을 개발 중이다. IETF에서는 자원-제약적 노드로 구성된 Low power and Lossy Network (LLN)을 사물인터넷 접속 네트워크 환경으로 인식하고 접속 네트워크 관련 사물인터넷 표준기술을 중점적으로 개발하고 있다[2-6]. 이는 IETF 표준화 기구가 사물인터넷 환경 구축에 필요한 기술을 코어 네트워킹 기술보다 접속 네트워킹 기술에 초점을 맞추고 있음을 의미한다. 본 논문에서는 인프라 (Infrastructure) 기반 네트워크로 구성된 기존 접속 네트워크 환경에서 비-인프라 (Infrastructure-less) 기반 IoT 네트워크 구축을 위한 새로운 네트워킹 기법을 제안한다. 제안하는 네트워킹 기법은 네트워크에 참여하는 노드들 스스로 효율적 데이터 전달을 수행할 수 있는 네트워크를 구성하는 Self-Organization Networking (SON) 기법이다. 본 논문에서 제안하는 SON 기법에는 네트워크 설정 및 구성 기법, 이웃노드 탐색 기법 등이 포함된다.

본 논문의 구성은 2장에서 본 논문에서 가정한 네트워크 모델을 정의하고 3장에서 SON 정의 및 SON 기반 IoT 네트워크 구성 방법 등을 제안한다. 그리고 4장에서는 성능 분석을 하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 네트워크 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 비-인프라 기반 IoT 네트워크 환경을 고려한다. 가정된 네트워크 모델은 인터넷 연결성 제공을 위해 게이트웨이가 존재하며 게이트웨이를 중심으로 인프라 IoT 네트워크를 구성할 수 있다. 이때 Routing Protocol for Low-power Lossy Networks (RPL) [7]를 이용해서 링크를 형성한다. 본 논문에서 제안하는 비-인프라 기반 IoT 네트워크 모델은 기존 트리 형태로 구성된 인프라 기반 네트워크에서 네트워크에 참여하는 노드 간 데이터 전송 시 게이트웨

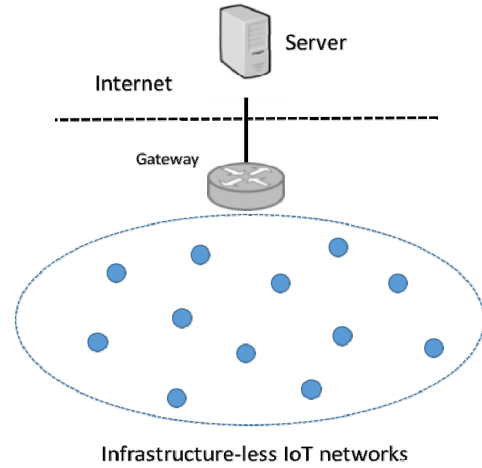


Fig. 1 Infrastructure-less IoT networks model

이를 통해 전달되는 문제점을 해결하기 위한 효율적인 데이터 전송이 가능한 비-인프라 기반 IoT 네트워크를 구성할 수 있는 SON 기법을 제안한다. 이때 제안하는 SON 기법은 기존 링크를 활용하데 최소의 링크를 형성하여 네트워크를 구성한다.

## III. 제안하는 SON 기법

본 논문에서는 비-인프라 기반 IoT 환경에서 네트워크에 참여하는 노드들 스스로 네트워크를 형성할 수 있는 SON 기법을 제안한다. 제안하는 SON 기법의 기본 개념은 다음과 같다. 우선, 네트워크 내에서 한 개 이상의 제어노드를 선발한다. 선발된 제어노드는 네트워크 내에 서브 네트워크를 형성하며 형성된 서브 네트워

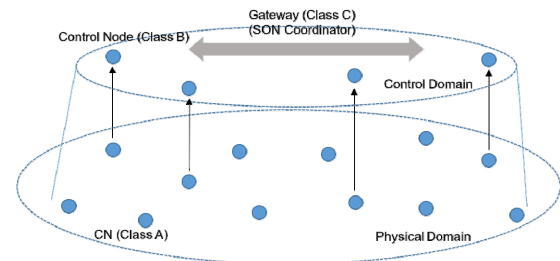


Fig. 2 Overview of the proposed scheme in local Infra-less IoT network

크를 위한 대표 노드 역할을 수행한다. 그림 2에 보면 하나의 물리적 네트워크를 두 개의 논리적 도메인으로 구분하여 네트워크 구성 방법을 실행한다. 두 개의 도메인은 실제 노드가 위치한 정보를 기반으로 구성된 물리적 도메인과 제어노드로 구성된 제어 도메인으로 구분된다. 여기서 제어 도메인은 네트워크 구성 시 필요한 정보를 서로 주고받을 때 사용되는 오버레이 네트워크 형태의 도메인이다. 특히, 제어노드는 자신이 속한 그룹을 대표하는 대표 노드로서 역할을 수행하기 때문에 그룹 내에 속한 노드와 제어 메시지를 제어노드에 대신 전달한다. 또한 인프라 기반 네트워크와 인터넷을 연결하는 게이트웨이를 제어노드와 연결하는 SON 코디네이터 역할을 수행하는 노드로 지정하고 비-인프라 기반 IoT 네트워크의 최상위 권한을 가진 노드로 지정한다. 따라서 SON 코디네이터는 비-인프라 기반 IoT 네트워크 내에 존재하는 모든 노드의 정보를 수집하고 관리하며 IoT 네트워크 구성 시 생성되는 링크 생성의 최종적 결정을 수행한다. 또한 비-인프라 기반 IoT 네트워크에서 이웃노드 탐색 과정인 Neighbor Discovery (ND) 기능을 수행하는 역할도 동시에 수행한다.

### 3.1. Self-Organization Networking 기법

비-인프라 기반 네트워킹 기술은 네트워크 내에 network management server, ND server 와 같은 네트워크 코디네이터 역할을 수행하는 노드가 최소한 하나 이하로 존재하는 상황을 의미한다. 따라서 비-인프라 기반 IoT 네트워킹은 자신이 원하는 서비스를 제공받기 위해 네트워크 내에 코디네이터 역할을 최소화하며 자율적 방법으로 임시/즉시 네트워크를 형성하고 기존 네트워크에 스스로 참여하여 서비스 피어 노드를 찾을 수 있는 기능을 제공하는 네트워크 기술로 정의 할 수 있

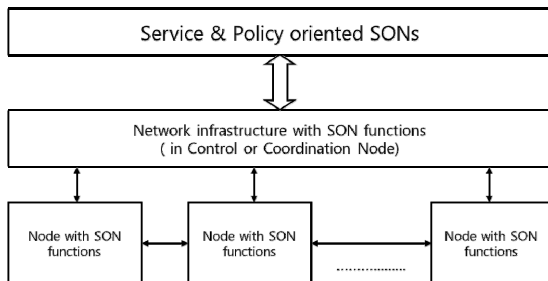


Fig. 3 The concept of infrastructure-less IoT networking

다. 그림 3은 비-인프라 기반 IoT 네트워킹의 개념을 도시하고 있다. 비-인프라 기반 IoT 네트워킹의 주 기능은 SON이다. 네트워크 내에 존재하는 모든 노드는 SON을 위해 다음과 같은 3가지 기능을 가지고 있으며 각 기능에 대한 정의는 다음과 같다.

- Self-hearing function (SHF): 노드 스스로 주변 상황을 파악하는 기능
- Coordination function (CF): 네트워크 형성과정에서 노드간 코디네이션 기능을 수행
- Self-Optimization function (SOF): 정의된 서비스를 위한 최적화된 네트워크 형성 기능

또한 네트워크 내에 노드들 중에 선발된 제어노드 및 코디네이터노드는 SON 기능과 함께 추가적으로 제어와 관련된 기능을 포함한다. 여기서 제어노드 및 코디네이터노드는 네트워크 형성 시 필요한 제어 메시지를 전달하고 전달 메시지 수를 최소화하여 네트워크 오버헤드를 최소화 시킨다. SON을 통한 네트워크 형성 과정은 다음과 같다. 우선, 네트워크 형성 목적은 서비스 또는 네트워크 관리자에 의해 결정된 정책에 따라 정의된다. 이 후 이 정보를 제어노드 및 코디네이터 노드에 전달하며 정보를 전달 받은 노드들은 그에 맞는 네트워크를 형성하기 위한 과정을 수행한다. 이 모든 과정은 SON의 3가지 기능을 통해 자율적으로 동작한다.

제안된 SON은 우선, 네트워크 오버헤드를 최소화하기 위해 네트워크 내 제어노드를 자율네트워크 목적에 맞게 최소로 선발해야 한다. 따라서 선발 방법은 각 노드들 스스로 자신의 주변 상황 및 정보를 수집하고 수집된 정보를 활용하여 스스로 선발되며 본 논문에서는 [8]에 제안된 방법을 이용한다.

SON은 그림 4에 도시된 것처럼 위에 3가지 기능을 단계별로 수행한다. SON 기능을 가진 SON 노드는 SHF를 통해 주변 상황 정보를 수집하며 수집된 정보를 통해 주변 서비스 및 디바이스 탐색 과정을 수행한다. 여기서 정보 수집과정 주변의 모든 정보를 수집하는 과정이며 탐색 과정은 수집된 정보를 토대로 자신과 연관성이 있는 서비스 노드를 탐색하는 과정이 수행된다. 이 후 CF를 통해 탐색된 디바이스들과 연결 설정을 위한 과정을 취하게 되고 SOF을 통해 최적화된 네트워크

설정을 위한 결정과정을 취하게 된다. 이후 네트워크가 형성되며 단대단 데이터 전송을 위해 이웃 노드 탐색 과정과 경로 설정/탐색 과정이 필요하다.

### 3.2. 제어 영역 설정 방법

본 논문에서는 제어 노드 선발 시 발생하는 오버헤드를 최소화하기 위해서 RPL를 통해 형성된 링크를 최대한 활용하는 [8]에 제안된 영역 기반 라우팅 기법을 활용한다. [8]에 제안된 기법은 게이트웨이를 중심으로 RPL 토폴로지를 형성하고 형성된 토폴로지 내에 RPL 링크를 최대한 활용하기 위해서 게이트웨이와 1-홉 또는 2-홉 노드를 제어노드로 선발하고 선발된 제어노드의 하위 노드로 연결된 노드들을 제어노드가 관리하는 네트워크 노드로 설정한다.

### 3.3. 이웃 노드 탐색 방법

본 논문에서 사용되는 이웃노드 탐색 기술은 기존 IPv6 ND 기술 [9]을 활용하는 새로운 방식을 제안한다. 기존 ND 방식은 ND 수행 시 아웃노드 중 6LoWPAN Router (6LR) 노드를 선정하고 6LR 노드를 통해 6LoWPAN Border Routers (6LBR)로 Duplicate Address Request/Duplicate Address Confirmation(DAR/DAC) 메시지를 주고받아 ND 과정을 수행한다. 하지만 본 논문에서는 그림 4에 도시된 절차처럼 기존 방식을 경량화한 ND 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 6LBR 역할을 수행하던 게이트웨이까지 DAR 메시지를 전송하지 않고 자신을 관리하는 제어노드까지 DAR/DAC 메시지를 주고받아 네트워크 내에 ND 과정에서 발생하는 제어 메시지 수를 줄이도록 하였다.

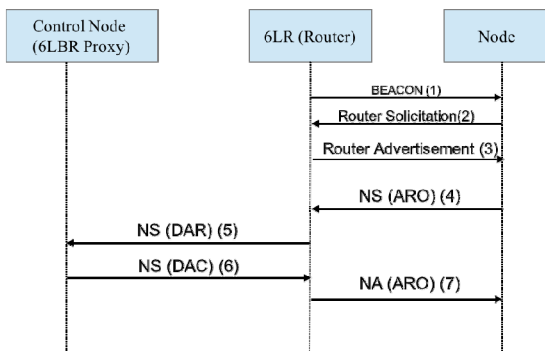


Fig. 4 Proposed ND scheme

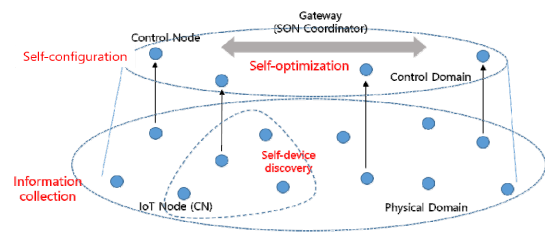


Fig. 5 The overview of end-to-end path configuration based on SON

### 3.4. 경로 설정/탐색 방법

네트워크가 형성되면 노드 간 데이터 전달을 위해 경로 설정 및 탐색 과정이 필요하다. 본 논문에서는 계층 기반 경로 설정/탐색 기법을 제안한다. 여기서 계층 영역은 SON의 제어노드가 관리하는 영역으로 정의된다. 그림 5는 SON 기능이 어디에서 동작하는지 정의하고 있으며 제어노드가 관리하는 영역을 도시하고 있다. 경로설정 및 경로탐색 과정은 그림 6에 도시되어 있다. 경로탐색에 필요한 제어메시지는 제어노드로 구성된 제어도메인 내에서만 전달된다. 따라서 물리 도메인에 있는 각 노드는 제어노드에 의해서 탐색된 경로를 통해 물리 도메인 내에 경로를 설정하고 데이터 전달이 이루어진다. 제안하는 기법은 기존 헤더 기반 경로 설정 및 전달과 다르게 그림 6처럼 경로 탐색 및 경로 설정이 분리되어 이루어진다. 따라서 제안하는 기법은 기존 방법인 헤더 노드 중심의 기존 방법이 가진 헤더 노드의 부담을 최소화 할 수 있는 장점을 가진 기법이다.

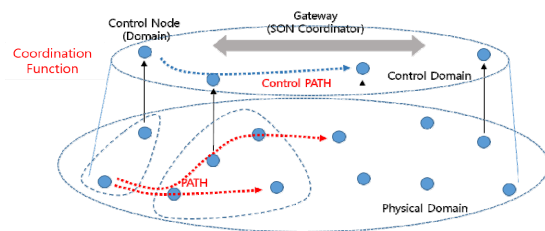


Fig. 6 The example of path configuration

## IV. 성능 평가

성능 검증을 위해 NS-3 Simulator[10]를 활용하여 제안한 기법을 구현하였다. 실험 측정을 위해 사용된 파

라미터는 네트워크 내 데이터 발생량, 평균 단대단 지연, 평균 단대단 경로 길이 등이며 기존 RPL 프로토콜을 통해 형성 되는 네트워크와 비교 분석하였다. 실험 환경은 100m\*100m square region에서 루트 역할을 수행하는 게이트웨이 1개와 100개의 노드를 랜덤 위치에 배치하고 클라이언트-서버 설정을 20, 25, 30개로 설정하였다. 클라이언트와 서버로 설정된 노드들은 기존 방식과 제한한 방식에서 모두 고정하여 실험을 수행하였다. 모든 실험에서 클라이언트-서버가 선정되면 60초 동안 512byte 크기의 데이터 패킷을 초당 5개씩 발생시켰다. 혼잡에 의한 손실을 발생시키기 위해 랜덤하게 백그라운드 트래픽을 유발하였다. 또한 데이터 전달 기술은 6LoWPAN을 사용하였다. 기존 방법은 네트워크에서 경로 설정을 RPL 프로토콜 통해 Destination Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG)로 구성한 네트워크를 사용하였다.

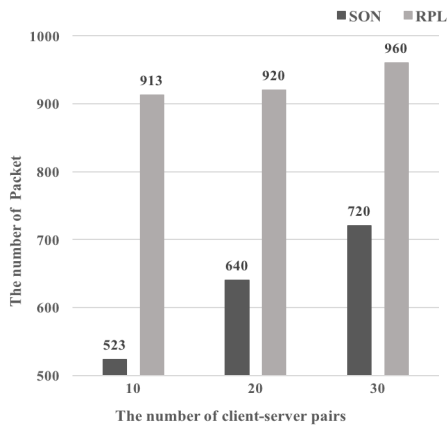


Fig. 7 Number of packet generated over E2E path

그림 7은 설정된 클라이언트-서버 경로를 위해 발생한 총 데이터 수이다. 여기서 데이터 발생률 측정은 홉 단위로 발생한 패킷의 수를 합한 결과이다. 실험 결과를 보면 기본 방식에 비해 SON은 발생한 데이터 발생량이 35% 정도 감소함을 보여주고 있다. 기존 방식은 게이트웨이를 통해서만 데이터가 전달되기 때문에 바인프라 기반 경로를 통해 전달되기 때문에 홉 단위로 발생하는 데이터의 양이 많다. 또한 그림 8에 도시된 단대단 경로의 평균 데이터 전달 지연 결과에서도 SON을 통한 데이터 지연이 낮음을 확인하였다.

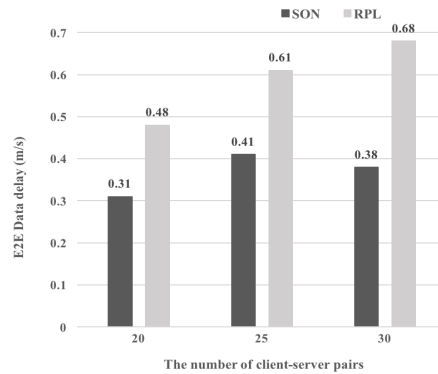


Fig. 8 Average end-to-end delay of E2E path

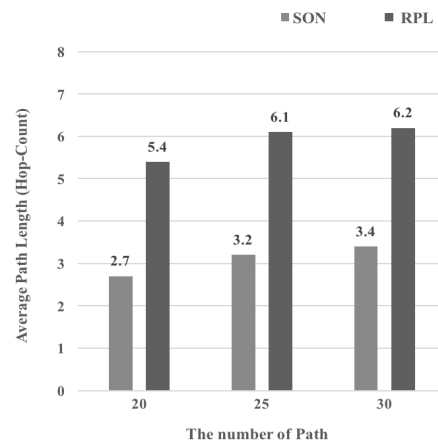


Fig. 9 Average path length(hop-count) of E2E path

성능 개선 이유는 기존 방식인 RPL 방식은 루트 주변에 혼잡이 발생할 확률이 높기 때문에 혼잡에 따른 지연이 발생한다. 이에 반해 제한한 SON은 데이터 전달 시 분산 효과가 있다. 따라서 혼잡 발생 확률이 낮기 때문에 네트워크 단대단 지연이 낮게 평가되었다. 더불어 SON은 경로 선택 시 길이가 작은 경로를 선택하기 때문에 단대단 지연이 낮게 평가되었다. 특히 RPL를 이용한 성능평가에서는 클라이언트-서버 상이 많을수록 단대단 데이터 전달 지연이 증가하는 결과를 보여주고 있다. 다음 실험은 클라이언트-서버의 선택 경로 평균 길이를 측정하였다. 그림 9는 평균 단대단 데이터 경로 길이를 도시하고 있다. SON을 이용한 경로의 평균 길이가 RPL 프로토콜에 비해 작게 평가되었다. 또한 이 결과는 그림 7, 8에 도시된 성능 평가 결과에 대한 근거

로 평가될 수 있다. 지금까지의 실험 결과를 통해 제안하는 SON이 RPL 프로토콜을 통해 구성된 네트워크에 비해 데이터 전달에 있어 효율적임을 확인하였다. 이는 불필요한 데이터 전달을 방지하며 네트워크 라이프 타임을 증가시키는 효과로 작용할 수 있다. 더불어 자율 네트워크 기반 사물인터넷 서비스 개발에 활용될 수 있음을 증명하였다.

## V. 결 론

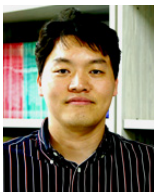
사물인터넷은 무수히 많은 디바이스가 인터넷에 접속되어 많은 양의 데이터가 처리해야 할 것으로 보고 있다. 따라서 데이터 분산 및 서비스 인지형 IoT 서비스 개발을 위해서는 비-인프라 기반 네트워크 관점에서의 서비스 지원 기술 및 디바이스 제어 기술이 필요하다. 기존 접속 네트워크에서의 사물인터넷 네트워킹 기술은 게이트웨이를 중심으로 네트워킹이 이루어졌다. 그러나 본 논문에서는 노드 간 자율적 방법을 통해 비-인프라 기반 IoT 네트워크를 구축할 수 있는 SON 기법을 제안했다. 제안된 기법은 기존 인프라 방식에 비해 네트워크 내에 발생하는 트래픽 발생률과 데이터 전달률이 높게 평가되었다. 뿐만 아니라 제안된 SON 기법으로 자율 사물인터넷 서비스 제공을 위한 자율네트워킹 기술로 활용이 가능하다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partly supported by the ICT R&D program of MSIT/IITP (No. R0127-15-1020) and by Dong-eui University Foundation Grant (2016)

## REFERENCES

- [ 1 ] J. Youn, Y-H. Choi, Y-G. Hong, "The overview of IETF technology standard for IoT," *INFORMATION AND COMMUNICATIONS MAGAZINE (Information and Communication)*, vol. 31, no. 9, pp. 32-39, Sep. 2014.
- [ 2 ] IETF RFC 7228, *Terminology for Constrained Node Networks*, IETF, Bormann, C et al., May 2014.
- [ 3 ] S. H. Ye and S. H. Han, "Indoor Environment Monitoring System Using Short-range Wireless Communication in Mobile Devices," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.17, no.9, pp. 2167-2173, Sep. 2013.
- [ 4 ] S. H. Ye and S. H. Han, "Comparison of Efficiency Analysis of Device Energy Used in Object Communication," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.21, no. 6, pp. 1106-1112, Jun. 2017.
- [ 5 ] N. Sharoon, "Dynamic Path construction in Multi-Hop Wireless Networks," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol.2, no.2, pp. 19-25, June 2016.
- [ 6 ] M. Bansal, L. Shricastava, "Performance Analysis of Wireless Mobile Adhoc Network with Different Types of Antennas," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol.3, no.1, pp. 33-44, March 2017.
- [ 7 ] IETF RFC 6550, *RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks*, IETF, Winter, T., Ed., Thubert, P., Ed., Brandt, A., Hui, J., Kelsey, R., Levis, P., Pister, K., Struik, R., Vasseur, JP., and R. Alexander, Mar. 2012.
- [ 8 ] J. Youn, "Zone based Ad Hoc Network Construction Scheme for Local IoT Networks," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 22 no. 12, pp. 95-100, December 2017.
- [ 9 ] IETF RFC4861, *Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)*, IETF, T. Narten, E. Nordmark et al., Sep. 2007.
- [10] NS-3 Consortium, NS3 Project [Internet]. Available: <https://www.nsnam.org/>.



윤주상(Joosang Youn)

2001년 고려대학교 전기전자전파공학부 (학사)  
 2003년 고려대학교 전자공학과 (석사)  
 2008년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (박사)  
 2008년 ~ 현재 동의대학교 산업CT기술공학 부교수  
 ※관심분야 : 사물인터넷, 무선인터넷, 5G