

논문 2016-53-8-2

# 사물 인터넷 환경에서 CoAP 기반의 신뢰성 있는 이동성 관리 방법

(Reliable Mobility Management Using CoAP in Internet of  
Things Environments)

천 승 만\*, 김 현 수\*, 함 창 균\*, 정 윤 석\*, 박 종 태\*\*

(Seung Man Chun, Hyun Su Kim, Chang Gyun Ham, Yun Seok Chung, and Jong Tae Park<sup>©</sup>)

## 요 약

사물 인터넷 (IoT: Internet of things) 환경에서 여러 종류의 스마트 디바이스들은 스마트 헬스케어 서비스와 같은 원격 모니터링 서비스를 제공하기 위해 4G/5G, WiBro, 블루투스 등의 다양한 네트워크 기술을 통해 인터넷에 연결된다. IETF Mobile IP 기반의 대부분의 국제표준 인터넷 이동성 관리 기술은 IoT 환경에서 디바이스들이 가지고 있는 제한적인 전력, 제한적인 CPU 처리 및 메모리 능력 및 과도한 시그널링 오버헤드로 인해 사물인터넷 환경에 적합하지 않다. 본 논문에서는 IoT 환경에서 신뢰성있는 이동성 관리를 위해 IETF CoAP에 기반한 새로운 이동성관리 프로토콜인 CoMP (CoAP-based Mobility Management Protocol)를 제시한다. CoMP는 Constrained 환경에서도 신뢰성 있게 이동성관리를 제공할 수 있는 장점을 제공한다. CoMP의 구조 및 알고리즘을 제시하고, 마지막으로 수학적 분석과 시뮬레이션을 사용하여 성능평가를 하였다.

## Abstract

In Internet of Things (IoT) environment, a variety of smart devices are connected to Internet through various network technologies such as 4G/5G, WiBro, Bluetooth, etc. in order to provide the remote monitoring service such as smart healthcare service, etc. Most standard mobility management protocols based on IETF Mobile IP may not be suitable for Internet of Things (IoT) environments due to constrained power, constrained CPU processing and memory capacity, and large signalling overhead which are inherently accompanied by various devices in IoT environments. In this article, we propose a new mobility management protocol CoMP (CoAP-based Mobility Management Protocol) for reliable mobility management in IoT environments. The architecture and algorithm to achieve both reliability and simplicity for IoT mobility management are proposed. Finally, performance has been evaluated by both mathematical analysis and simulation.

**Keywords :** IoT, Reliable Mobility Management, Handover for IoT Networks, CoAP Mobility

\* 정회원, \*\* 평생회원, 경북대학교 전자공학부  
(Department of Electrical Engineering Kyungpook University)

© Corresponding Author (E-mail: jtpark@ee.knu.ac.kr)

※ This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2016R1A2B4010551)

※ This work was supported by the Institute for Information and communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government(MSIP) (R7115160002)

Received : March 07, 2016 Revised : June 28, 2016

Accepted : August 01, 2016

## I. 서 론

최근 사물인터넷 (Internet of Things: IoT) 기술이 헬스케어 모니터링, 재해 관리 등 다양한 분야에서 활용되고 있다<sup>[1]</sup>. IoT 환경에서 다수의 디바이스들은 위치를 변경하여 이동할 수 있으며, 이에 따라 인터넷 연결성 (Internet Connectivity)를 확보하기 위한 IP 이동성 관리 (IP Mobility Management) 기능이 필요하다.

안타깝게도 대표적인 이동성 관리 프로토콜들인 IETF Mobile IPv6 (MIPv6)<sup>[2]</sup> 및 HMIPv6<sup>[3]</sup>, PMIPv6<sup>[4]</sup>,

NEMO<sup>[5]</sup>는 IoT 환경에 적합하지 않다.<sup>[6]</sup> 왜냐하면 IoT 환경의 디바이스들은 전력이 제한되어 있고, CPU 처리 능력이나 메모리 용량도 제한적이고 또한 패킷 크기도 IPv6 주소체계를 수용하기에 제한적이며, 그 외 무선통신망의 패킷손실율도 높다. 특히 이러한 제한된 특성 (Constrained Feature) 때문에 기존의 Mobile IP 기반의 대부분 이동성관리 프로토콜은 IoT 환경에 적용하기에는 적합하지 않다.

구체적으로 MIPv6 계열의 Host 기반 이동성관리 프로토콜은 핸드오버 처리에 필요한 시그널링 오버헤드가 너무 크고, 모바일 노드에 이동성 관리 프로세싱이 포함되기 때문에 이동성 관리를 위한 모든 메시지들이 처리되어야만 한다. 특히, 바인딩 업데이트 등은 모바일 노드에서 복잡한 시그널링 통신 메시지를 필요로 하며, 일반적으로 통신 메시지가 CPU 처리에 비해 많은 전력을 소모하기 때문에 자원 제한적인 IoT 장치의 이동성 관리 프로토콜로서는 적합하지 않다<sup>[2]</sup>.

그리고 PMIPv6 계열의 네트워크 기반 이동성관리 프로토콜은 호스트 측 장치에 부담은 많이 주지 않지만 기본적으로 지역적인 네트워크 환경 (Local Network Environment)에서 동작하기 때문에 수많은 작은 사물들이 존재하는 네트워크 환경에는 적합하지 않고, MAG (Mobile Access Gateway)에서 모바일 노드의 이동성에 필요한 핸드오버 절차를 대신하여 처리하기 때문에 모바일 노드의 시그널링 오버헤드와 전력소모를 상당히 줄일 수 있다. 하지만 PMIPv6 MAG 네트워크에서 핸드오버 절차를 수행하기 때문에 대규모 네트워크에 사용될 경우 네트워크 성능 면에서 좋지 않다.

또한, PMIPv6은 일반적으로 망사업자의 네트워크 내에서만 사용될 수 있기 때문에 모바일 노드가 서로 다른 PMIPv6 도메인으로 움직일 경우 서비스가 제한된다. 특히, PMIPv6은 다중 홉 (Multi-Hop)을 지원하지 않고, 그리고 각각의 센서 노드에 64비트 네트워크 프리픽스가 할당되어야 하기 때문에 패킷 오버헤드가 크다. 결론적으로 PMIPv6 이동성 관리 프로토콜도 IoT 환경에서 제한적인 IoT 장치의 이동성관리 서비스를 제공하는 데에는 적합하지 않다<sup>[4]</sup>.

또한, 이러한 표준 이동성 관리 프로토콜들은 제한된 IP 네트워크들의 특성이나 패킷 손실에 대한 네트워크 계층에서의 재전송 메커니즘을 고려하지 않는다<sup>[7]</sup>. 이로 인해 중요한 데이터가 손실 될 수 있으며, 헬스케어 모니터링 서비스와 같은 새로운 IoT 응용 서비스에서 사용되는 time-critical 데이터들에 사람의 생명과 관련된

큰 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 앞에서 기술한 문제점들을 해결하기 위해 IoT 환경을 위한 신뢰성 있는 이동성 관리 메커니즘으로 IETF CoAP 기반의<sup>[2]</sup> CoAP-based Mobility Management Protocol (CoMP)을 제시한다. CoMP는 CoAP 메시지 형식을 확장하여 IP 이동성 관리를 제공할 수 있도록 한다. 구체적으로, CoAP 프로토콜의 Confirmable (CON) 메시지를 확장하여<sup>[8]</sup> 신뢰도가 낮은 IoT 네트워크 환경에서도 신뢰성 있는 신호처리 메시지가 전송 될 수 있도록 한다. 또한 CoMP는 별도의 위치 관리 서버를 활용하여 터널링 기법을 사용하지 않고도 IoT이동식 스마트 디바이스들의 IP 주소 변경 내역을 파악할 수 있다. CoAP의 사용, 별도의 위치 관리 서버, 그리고 터널링이 없음으로 인해 이동성 관리 구조가 매우 간결하게 구성된다. 뿐만 아니라, CoAP의 신뢰성있는 메시지 관리 메커니즘을 사용하여 신뢰도가 낮은 IoT 환경에서 IP 연결성을 확보할 수 있다. 본 논문에서 제시한 CoMP의 성능 평가를 위해 수학적 분석과 시뮬레이션이 사용되었다.

## II. 신뢰성 있는 이동성 관리 구조

그림 1은 CoMP를 사용한 신뢰성 있는 이동성 관리 구조를 나타낸다. 이동성 관리 구조를 구성하는 요소로는 mCSN (Mobile CoAP Sensor Node), IMMS (IoT Mobility Management Server), CWC (CoAP Web Client)가 있다. IMMS는 IP주소, H\_Flag (Hording\_Flag) 등과 같은 mCSN의 리소스들을 저장하는 MMT (Mobility Management Table)를 가진다. MMT는 mCSN의 IP주소 변경 내역을 추적하여 항상 최신의 이동성 관리 정보를 저장한다. mCSN의 LBC (Local Binding Cache)에서는 영구 IP 주소 P\_Addr, 임시 IP 주소 T\_Addr, Lifetime 및 H\_Flag를 확보한다. T\_Addr와 lifetime은 방문한 네트워크의 에지 라우터를 통해 얻는 것으로, DHCPv6 서버에 접근하거나 Stateless IP Autoconfig 메커니즘을 사용하여 해당 정보들을 확보한다.

본 논문에서는 신뢰성 있는 이동성 관리를 제공하기 위한 CoMP 핸드오버 절차를 등록, 탐색, 바인딩, 홀딩의 네 단계로 나누어 제시한다. CoMP의 이동성 관련 신호처리 메시지들은 신뢰성 있는 이동성 관리를 제공하기 위해 CoAP의 CON 메시지를 기반으로 하는 PUT, POST, GET, DELETE 메시지를 사용한다<sup>[8]</sup>.

먼저, mCSN은 IMMS로 등록 메시지를 전송하여 ER

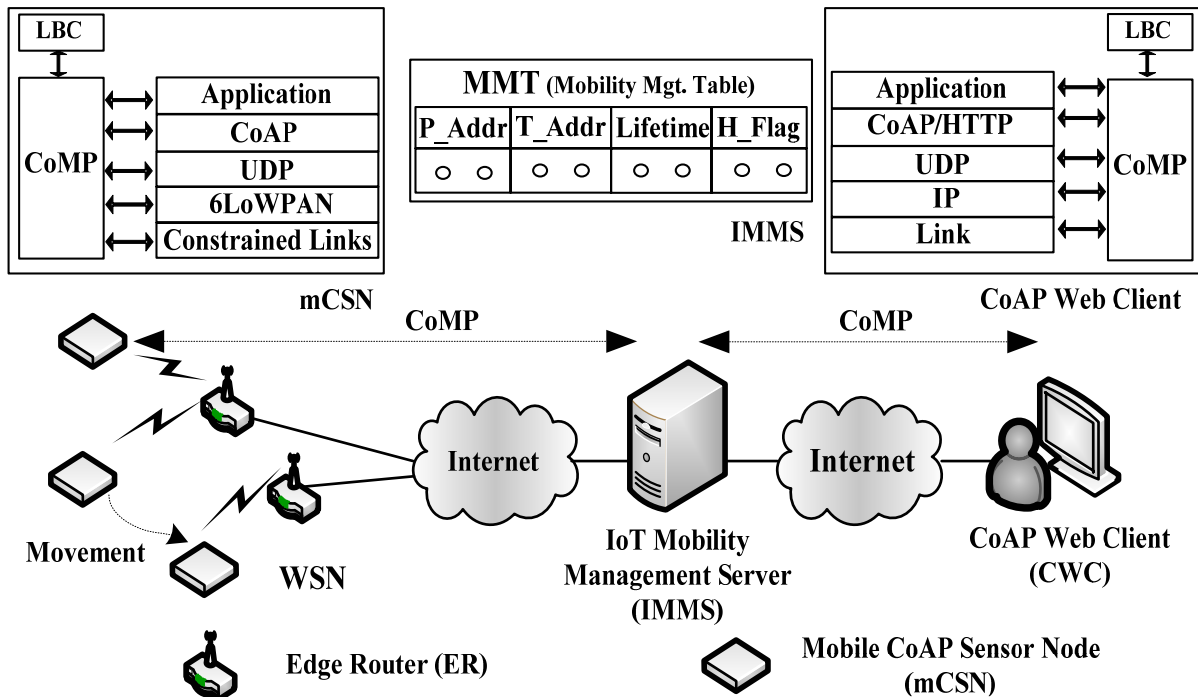


그림 1. CoMP를 사용한 신뢰성있는 이동성 관리 구조  
Fig. 1. Reliable mobility management architecture using CoMP.

(Edge Router)를 통해 mCSN의 H\_Flag, T\_Addr, P\_Addr 를 등록한다. CWC는 IMMS를 통해 mCSN을 발견하게 된다. 다음으로 mCSN이 기존의 ER에서 새로운 ER로 핸드오버하는 상황을 생각해본다.

이 경우 mCSN은 IP 핸드오버 작업이 필요하게 되며, 이를 위해 mCSN은 먼저 기존의 ER에 연결된 Base station으로 부터 RSS (radio signal strength)를 감지한다. 감지하고 있던 기존의 ER의 RSS가 Tv (Threshold value)를 향해 감소할 때에 mCSN은 미리 핸드오버 작업을 준비하며, Tv 밑으로 내려가면 mCSN은 IMMS로 홀딩 메시지를 전송한다.

이 때 홀딩 메시지는 H\_Flag와 같은 mCSN의 핸드오버 상태를 알리기 위해 사용된다. mCSN이 두 네트워크 도메인 범위의 겹쳐진 영역으로 진입하게 되면, mCSN은 새로운 ER의 DHCP로부터 T\_Addr와 같은 새로운 임시 IP주소 획득을 시도한다. 이후 mCSN은 IMMS로 바인딩 메시지를 전송하게 되는데, 해당 메시지는 T\_Addr, P\_Addr, H\_Flag가 포함된다.

IMMS가 바인딩 메시지를 수신하게 되면서, IMMS는 MMT를 참조하여 이를 CWC로 전송하게 된다. 이렇게 IMMS와 CWC가 바인딩 메시지를 수신함에 따라 이들은 MMT와 LBC의 T\_Addr와 H\_Flag를 갱신한다. 마침내 IMMS와 CWC는 새로운 네트워크 도메인에 있는 mCSN에게 데이터를 요청할 수 있게 된다.

이러한 방식을 통해 CWC와 mCSN은 핸드오버 작업 도중 패킷 손실 발생 없이 데이터를 교환할 수 있다. 위의 CoMP 메시지는 기존 CoAP 메시지를 사용하는데, CoAP 메시지 형식의 옵션 값 및 페이로드를 확장하여 사용된다<sup>[8]</sup>.

### III. CoMP의 핸드오버 지연에 대한 수학적 분석

이 장에서는 CoMP의 핸드오버 지연에 대한 성능을 수학적으로 분석한다. 핸드오버 지연은 신호처리 메시지의 패킷 손실로 인해 급격히 증가할 수 있으며, 패킷 손실은 유무선 링크에서 충돌, 혼잡, 시스템 오류 등으로 인해 발생할 수 있다. 이 때 핸드오버 신호처리 메시지를 재전송 하는 것으로 제한된 IoT 네트워크에서 전송 신뢰성을 크게 높일 수 있다.

CoMP는 CoAP의 재전송 메커니즘을 이용하여 신호처리 메시지의 패킷 손실을 방지한다. 이로 인해 CoMP의 핸드오버 지연이 증가할 수 있으나, 신뢰성은 확보된다. CoAP 재전송 알고리즘은 다음과 같다.

#### Algorithm CoAP Retransmission (P, T, Rc, m)

P: CoAP 메시지 시퀀스 번호

T: 시간 //  $T=ACK\_TIMEOUT*ACK\_RANDOM\_FACTOR^{[3]}$

Rc: 재전송 횟수 // initially Rc=0

m: 재전송 횟수의 최대 횟수 // m =4

```

1  Begin
2  If (T == 0 OR Rc == 0) Then {
3    T = ACK_TIMEOUT * ACK_RANDOM_FACTOR;
4    Rc = 0; m = 4; }
5  Else {
6    If (Rc < m) Then {
7      Send the CoAP message to lower layer;
8      While (T < Timeout) //wait until T is expired
9        If (mCSN receives Acknowledgement)
10       Then { T=0; Rc=0;
11         Call CoAP_Retransmission (P+1, T, Rc, m);}
12       Else Call CoAP_Retransmission (P, T*2, Rc+1,
13         m);}
13     Else Discard (P); } // P is discarded
14 End

```

CoMP의 핸드오버 지연을 분석하기 위해, 먼저 전송 및 재전송 횟수의 평균을 계산하였으며 이 과정에는 CoAP 재전송 메커니즘에서의 전송 에러 발생 가능성을 포함하였다.<sup>[9]</sup>의 저자는 802.15.4 링크에서의 물리적 패킷 손실로 인한 신호 대 잡음비 (Signal to Noise Ratio : SNR)의 영향을 연구하였다. 해당 연구에 따르면, SNR이 1, 1.5, 2, 2.5 (dB) 일 때의 패킷 손실비 P는 아래의 공식과 같다.

$$P = 1 - (1 - S)^{2m} \quad (1)$$

어플리케이션 계층에서 잘못된 CoAP 패킷을 가질 확률 A는 MAC 계층에서의 재전송을 포함시키게 되면  $A = P(r+1)$ 로 나타난다. 여기서 r은 MAC 계층에서 허용되는 재전송 횟수의 최대치 (기본값은 5)에 해당한다. 한편, IEEE 802.15.4 MTU (Maximum Transmission Unit)의 전체 크기는 127 바이트이므로 CoAP 패킷은 분할되어야 한다. CoAP 메시지가 f개의 조각으로 나누어질 경우 CoAP 메시지의 잘못된 조각을 가질 확률  $A_f$ 는 다음과 같다.

$$A_f = \sum_{j=1}^f A * (1 - P)^{j-1} \quad (2)$$

여기서 조각의 최대 개수는 12로 고정되어있다<sup>[9]</sup>.

본 논문에서는  $A_f$ 를 사용하여 f개의 조각을 고려했을 때 CoAP의 simple stop-and-wait 메커니즘에서 발생하는 평균 재전송 횟수 및 평균 전송 횟수를 도출하였다. f개

의 조각으로 나뉜 CoAP 메시지의 평균 재전송 횟수 R은 다음과 같이 계산된다.

$$R = \sum_{i=0}^{m-1} i(1 - A_f)A_f^i + (m-1)A_f^m \quad (3)$$

여기서 i는 재전송 횟수를, m은 최대 재전송 횟수를 의미하며 m은 4로 설정한다. CoAP 신호처리 메시지를 전송할 때의 평균 재전송 지연 시간 D는 다음과 같이 계산된다.

$$D = \sum_{k=0}^{m-1} (1 - A_f)A_f^k T_r + (2^k - 1)T_w + A_f^m (2^m - 1)T_w \quad (4)$$

여기서 k는 재전송 횟수,  $T_w$ 는 mCSN이 원격 디바이스로부터 ACK 메시지를 기다리는 시간에 해당한다. 왕복 시간  $T_r$ 은 전송 시작 시간부터 ACK 메시지 수신까지의 시간에 해당한다. 이는 근사적으로 end-to-end 지연시간에 일치한다.

위에서 도출한 CoAP 메시지의 평균 지연시간을 사용하는 것으로 CoMP의 총 핸드오버 지연시간을 계산할 수 있다. mCSN에서의 핸드오프 지연시간은 내부적인 것으로, 핸드오버 작업 도중 mCSN이 패킷을 송수신할 수 없는 시간에 해당한다.

총 핸드오버 지연 시간은 새 ER과 mCSN 사이의 L2 핸드오버로 발생하는 링크 교체 시간 ( $t_{L2}$ ), mCSN의 변동 감지 지연 시간 ( $t_{MD}$ ), DHCP의 중복 주소 감지 및 IP 설정 지연 시간 ( $t_{DHCP}$ ), 그리고 위치 갱신 지연 ( $t_{BU}$ )으로 구성된다.  $t_{BU}$ 는  $2t(mCSN, IMMS)$ 와  $2t(IMMS, CWC)$ 의 합으로, 이들은 각각 mCSN과 IMMS 사이, 그리고 IMMS와 CWS사이에서 전송되는 중속 메시지들의 전송 지연시간에 해당한다. 따라서 총 핸드오버 지연 시간인 TCoMP는 다음과 같이 계산된다.

$$T_{CoMP} = t_{L2} + t_{MD} + t_{DHCP} + 2t_{(mCSN, IMMS)} + 2t_{(IMMS, CWC)} \quad (5)$$

여기서 재전송 횟수가 증가함에 따라  $t_{BU}$ 가 증가한다는 것을 유념할 필요가 있다.

#### IV. 실험

전송 및 재전송의 평균 횟수와 핸드오버 지연시간을 분석하기 위해, 본 논문에서는 [8]에서 제시된, f개의 조각으로 구성된 CoAP 메시지의 서로 다른 SNR에 따른 패킷 손실률을 사용하였다. 여기서 무선 링크의 대역폭 및 유선 링크 대역폭은 각각 250Kbps, 100Mbps로 가정하였으며, tDHCP, tMD, tL2, t(mCSN, ER), t(mCSN, IMMS), t(mCSN, CWC), t(CWC, IMMS), S 그리고 m 은 각각 5000ms, 100ms, 50ms, 4.4ms, 79.4ms, 79.4ms, 50ms, 113byte 그리고 4로 설정하였다.

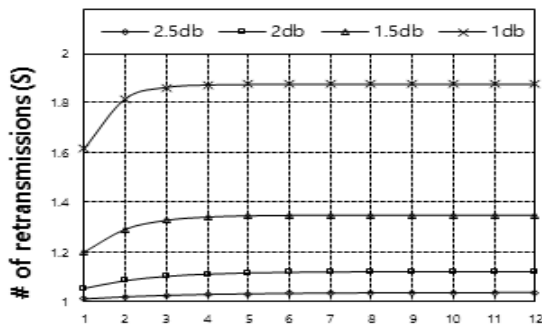


그림 2. f개의 조각으로 구성된 CoAP메시지에 대한 평균 재전송 횟수

Fig. 2. Average number of retransmission counts for f fragmented CoAP messages.

그림 2는 평균 재전송 횟수를 나타낸다. 재전송 횟수가 증가함에 따라 평균 지연시간 역시 증가하는 것을 보인다. CoAP 메시지가 패킷 오류 혹은 네트워크 오류로 인해 재전송 되었을 경우, 평균 지연 시간은 약 3초가 된다.

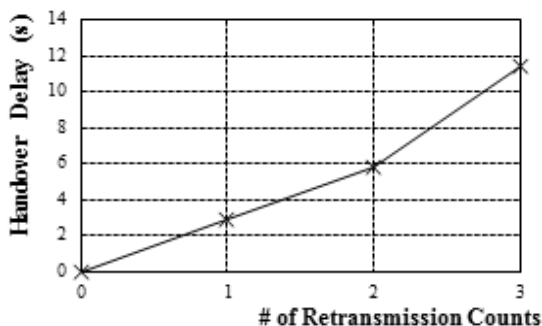


그림 3. 재전송 횟수 증가에 따른 핸드오버 지연시간

Fig. 3. Handover delay by increasing retransmission counts.

그림 3은 재전송 횟수에 따른 핸드오버 지연시간을 나타낸다. 재전송으로 인한 핸드오버 지연시간이 증가

하더라도 CoMP는 CoAP 재전송 메커니즘을 통해 핸드 오버 메시지의 신뢰성을 보장할 수 있다. 반면, MIPv6와 같은 관련 표준 이동성 프로토콜들은 재전송 메커니즘을 지원하지 않는다.

따라서 CoMP는 원격 헬스케어 서비스와 같이 IoT 환경에서 높은 신뢰성을 필요로 하는 서비스들에 적절히 활용될 수 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 IoT 환경에서의 신뢰성 있는 이동성 관리 메커니즘을 위한 CoMP 프로토콜을 설계하였다. IoT 이동성 관리의 신뢰성을 확보하기 위해 IETF CoAP 프로토콜을 확장하였으며, 핸드오버 작업 중 신호처리 메시지의 손실을 방지할 수 있는 홀딩 모드 및 바인딩 모드를 CoAP 프로토콜 확장을 통해 구현하였다. CoMP의 핸드오버 지연에 대한 수학적 분석을 진행하였으며, 성능 평가 결과는 CoMP가 신뢰성 있는 이동성 관리를 위해 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### REFERENCES

- [1] D. Li, W. He, and S. Li, "Internet of things in industries: a survey," *Industrial Informatics*, IEEE Transactions on, Oct, 4, 2014.
- [2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. "RFC 3775: Mobility support in IPv6." IETF, June 2004.
- [3] Soliman, Hesham, et al. "Hierarchical mobile IPv6 (HMIPv6) mobility management." 2008.
- [4] Gundavelli, Sri, et al. "Proxy mobile ipv6." 2008.
- [5] Devarapalli, Vijay, et al. Network mobility (NEMO) basic support protocol. No. RFC 3963. 2004.
- [6] Z. Zue, R. Wakikawa, and L. Zhang, A Survey of Mobility Support in the Internet, IETF RFC 6301, July 2011.
- [7] Khan, "A Study of Network Based Mobility Management Schemes, 6LoWPAN Mobility, Open Issues and Proposed Solutions," Cornell University, Aug. 2014.
- [8] Z. Shelby, K. Hartke, and C. Bormann, Constrained Application Protocol (CoAP), IEEE Internet-Draft, draft-ietf-core-coap-18, June 28, 2013.
- [9] A. Lydovici, et al., "TinyCoAP: A Novel CoAP Implementation of Embedding RESTful Web Services in Wireless Sensor Networks based on TinyOS," *Jour. of Sensor and Actuator Netw.*, vol. 2, pp. 288-315, 2013.

저 자 소 개



천 승 만(정회원)  
 2008년 동양대학교 전자공학과 (공학사)  
 2010년 경북대학교 전자공학부 (공학석사)  
 2015년 경북대학교 전자공학부 (공학박사)

<주관심분야: 차세대 통신망 운용, 이동성 관리, U-헬스케어 네트워크 관리>



김 현 수(정회원)  
 2014년 대구대학교 임베디드시스템 공학 (공학사)  
 2014년~현재 경북대학교 전자공학부 (석사 과정)  
 <주관심분야: U-헬스케어 서비스, 통신, 이동성 관리, 사물인터넷>



함 창 균(정회원)  
 2015년 대구한의대학교 IT콘텐츠 전공 (공학사)  
 2015년~현재 경북대학교 전자공학부 (석사 과정)  
 <주관심분야: U-헬스케어 서비스, 통신, 이동성 관리, 사물인터넷>



정 윤 석(정회원)  
 2016년 경북대학교 전자공학부 (공학사)  
 <주관심분야: 통신, U-헬스케어 서비스, 네트워크 관리>



박 종 태(정회원)  
 1978년 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1981년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1987년 미국 미시건대학교 정보통신(공학박사)

1989년~현재 경북대학교 전자공학과 교수  
 2000년~2003년 IEEE Technical Committee on Information Infrastructure(TCII) 의장  
 1988년~1989년 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 수석연구원  
 1987년~1987년 미국 AT&T Bell 연구소 연구위원  
 1984년~1987년 미국 CITI 연구원  
 <주관심분야: 헬스케어 융합 네트워크 관리, 이동통신, 차세대 통신망 운용, 네트워크 보안>