

6LoWPAN 노드와 외부 노드의 통신 시에 오버헤드 감소 방법

정회원 최대인*, Doopalam Enkhzul*, 준회원 박종탁*, 종신회원 강현국*

Overhead Reduction Methods in Communication between 6LoWPAN and External Node

Dae-In Choi*, Doopalam Enkhzul* *Regular Members,*
Jong-Tak Park* *Associate Member,* Hyun K. Kahng* *Lifelong Member*

요 약

6LoWPAN은 IETF Working Group으로 IEEE 802.15.4 상에서 IPv6 패킷을 전송하는 기술의 표준화를 진행하고 있다. 6LoWPAN WG은 현재 2개의 RFC 문서를 제정하였다. 이 중에 RFC 4944는 단편화, 재조립, 헤더 압축의 기술이 포함되어 있다. 본 논문은 6LoWPAN 노드가 외부 노드와 통신 할 경우에 효율적인 통신 메커니즘을 제안 한다. 이 통신 메커니즘은 6LoWPAN과 외부 네트워크 사이의 게이트웨이가 각 노드 사이에서 프락시 게이트웨이처럼 동작하는 방법을 사용 하였다. 성능 비교 및 분석을 위하여 QualNet으로 시뮬레이션을 하였다. 이를 통하여 제안한 메커니즘과 기존의 RFC 4944의 방법을 비교하여 성능이 향상되었음을 확인하였다.

Key Words : Proxy Gateway, Address Translation, 6LoWPAN, IEEE 802.15.4, QualNet

ABSTRACT

As an Internet Engineering Task Force (IETF) Working Group, 6LoWPAN is standardizing the IPv6 packet transfer technology in accordance with IEEE 802.15.4. It has completed two Request for Comments (RFC) documents, one of which, RFC 4944, addresses fragmentation, reassembly, and header compression technologies. In this paper, a communication mechanism is proposed to provide efficient communication between 6LoWPAN and external nodes. In this mechanism, the gateway between 6LoWPAN and external networks serves as the proxy gateway between nodes. The simulation was conducted using QualNet to compare the performance of the proposed mechanism and the existing RFC 4944 method. The comparative analysis of the proposed mechanism and the existing method showed that the proposed method performed better.

I. 서 론

Wireless sensor networks는 가까운 시일 내에 다양한 영역에 사용 될 것이다. 이러한 환경에서의 통신에는 많은 제약 사항^[3]이 있다. 이러한 제약 사항에서의 통신을 위하여 다음과 같은 표준이 있다. MAC,

PHY standard로는 IEEE 802.15.4^[2]가 제정 되었다. ZigBee는 IEEE802.15.4 상위 계층에 사용할 수 있는 스펙이다. 하지만, ZigBee는 ZigBee Alliance에 가입한 회원만 사용 가능한 비공개 표준이었으나 현재는 모두에게 스펙이 공개 되었다^[12]. 센서 노드의 특성상 센서네트워크에서 TCP/IP를 사용하는 것은 많은 제

※ 본 연구는 지식경제부의 지원을 받는 정보통신표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음.

* 고려대학교 전자및정보공학부 ({nbear, enkhzul, jontaki, kahng}@korea.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-02-112, 접수일자 : 2011년 2월 10일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 19일

약이 있어 non-IP 기반의 ZigBee가 널리 사용 되었다. 하지만 기존 네트워크와의 연동을 위해서는 추가적인 연구 개발이 필요하였다¹³⁾. 따라서 IEEE 802.15.4 상에서 IP 기반의 프로토콜에 대한 필요성이 대두되었으며, 이러한 요구에 따라 IETF 에서는 6LoWPAN working group 이 만들어졌다¹¹⁾.

6LoWPAN은 현재 2개의 RFC를 제정 하였다. 첫 번째, RFC 4919는 6LoWPAN의 제약 사항, 문제점, 목표 등에 대해서 정의하였다. 두 번째, RFC 4944¹⁴⁾는 IEEE 802.15.4 상에서 IPv6 패킷의 전송에 필요한 단편화, 재조립, 헤더 압축 등에 대한 내용을 담고 있다.

RFC4944에서는 6LoWPAN의 노드가 외부 네트워크의 노드와 통신을 하는 방법에 대해서도 다루고 있다. 하지만 이 방법을 사용할 경우 내부 네트워크의 노드와 통신에 비하여 송수신의 오버헤드가 많이 증가하게 된다. 이에 따라, 본 논문에서는 6LoWPAN의 노드가 외부 네트워크의 노드와 통신을 할 경우에 효율적인 통신 메커니즘을 제안하고 검증한다. II장에서는 관련 연구에 대하여 소개하며 III장에서는 효율적인 통신 메커니즘을 제안 한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해서 기존 방법과 비교 분석을 한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 RFC4944

RFC 4944¹⁴⁾ 는 IEEE 802.15.4¹²⁾ 상에서 IPv6 패킷들의 전송에 필요한 단편화, 재조립, 헤더 압축 등에 대한 내용을 담고 있다. 6LoWPAN의 노드들 사이의 통신은 네트워크 프리픽스는 링크로컬을 가정하고 있기 때문에 생략이 가능하다. 또한 IPv6 주소의 interface identifier 부분은 IEEE802.15.4의 주소를 이용하여 유추할 수 있다. 따라서 이 경우에 6LoWPAN의 노드는 그림 1과 같이 HC2 dispatch의 SRC와 DST의 엔코딩은 "00"을 사용하여 패킷을 전송 할 수 있다.

하지만 6LoWPAN의 노드와 외부 네트워크의 노드 사이에서 통신을 할 경우에는 다음과 같은 제약 사항이 있다. 첫째, 각 노드는 상대 노드의 네트워크 프리

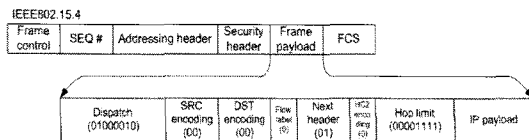


그림 1. 링크 로컬 통신 경우

픽스 정보가 필요하다. 두 번째, global IPv6 주소의 interface identifier의 정보가 필요하다. 따라서, 이러한 경우에 6LoWPAN의 노드는 그림 2와 같이 HC2 dispatch의 SRC와 DST의 엔코딩은 "11"을 사용하고, 128비트 송신자 IPv6 주소와 128비트 목적지 IPv6 주소를 포함한 패킷을 사용하여 패킷을 전송하게 된다.

또한, IP 페이로드가 커서 하나의 패킷에 전송할 수 없을 경우에는 6LoWPAN dispatch 앞에 분할 헤더가 추가 된다. 분할 헤더는 그림 3과 그림 4처럼 첫 번째 분할 패킷은 4바이트, 두 번째 분할 패킷부터는 5 바이트의 길이를 가진다.

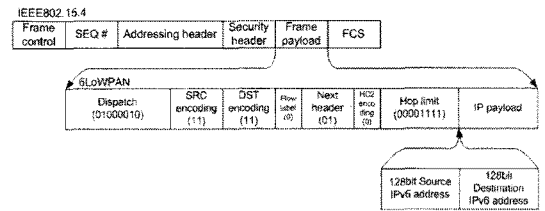


그림 2. 외부 통신 경우

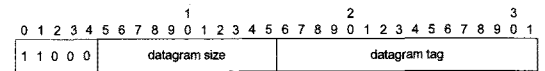


그림 3. 첫 번째 분할 패킷 헤더

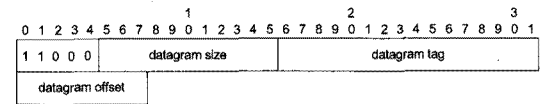


그림 4. 두 번째 부터의 분할 패킷 헤더

2.2 TinyOS

TinyOS¹¹⁰⁾는 센서 노드에서 사용하는 운영체제이다. 오픈 소스로서 다양한 플랫폼을 지원하고 있어 다양한 연구개발에서 사용되고 있다. TinyOS는 컨포넌트 기반의 작은 코드 크기를 가지고 있으며 개발의 편의를 위하여 nesC를 제공한다. 또한 TinyOS는 네트워크 연동을 지원 한다.

TinyOS는 2.1.1 버전에서 6LoWPAN을 지원하고 있다. TinyOS에서 지원하고 있는 방법은 그림 2에서 "hop limit"를 제외한 형태의 패킷을 전송 한다. 이러

표 1. QUERY 메시지 형태

Types	IPv6 dispatch value
Query request	01010001
Query reply	01010010

한 전송 방식은 매 패킷마다 송신자 주소와 목적지 주소에 각 16 바이트를 사용하여 32 바이트의 오버헤드가 추가로 발생 한다.

III. 제안 메카니즘

3.1 용어

- 1) 내부 노드: IEEE 802.15.4 네트워크 내부의 노드
- 2) 외부 노드: IEEE 802.15.4 네트워크 외부의 노드
- 3) 맵핑 테이블: 내부 노드와 외부 노드에 대한 링크로컬 주소와 global 주소의 맵핑
- 4) 게이트웨이: 내부 네트워크와 외부 네트워크 사이의 라우터

3.2 QUERY request/reply메시지

내부 노드는 외부 노드의 global IPv6 주소에 대응하는 링크로컬 IPv6 주소를 알기 위하여 게이트웨이에게 QUERY request를 전송하고, 게이트웨이에게 QUERY request에 대한 응답으로 QUERY reply를 전송하게 된다. 이 QUERY request와 QUERY reply는 6LoWPAN의 dispatch의 예약 된 값 중에서 표 1과 같은 값을 사용 한다.

QUERY request는 global IPv6 주소를 포함하고, QUERY reply 링크로컬 IPv6 주소의 interface identifier만을 전송한다. 링크로컬 IPv6 주소의 네트워크 프리픽스주소는 고정 된 값이기 때문에 필요하지 않다.

3.3 게이트웨이 동작

게이트웨이는 내부 노드로부터 QUERY request 수신 한다. 게이트웨이는 QUERY request의 global IPv6 주소에 해당하는 링크로컬 주소를 맵핑 테이블에서 검색 한다. 이때에, 만약 맵핑 테이블에 해당하는 global IPv6 주소가 없을 경우에는 새로운 링크로컬 주소를 생성 하여 global IPv6 주소와 링크로컬 주소를 맵핑 테이블에 추가 한다. 새로운 링크로컬 주소는 global IPv6 주소의 interface identifier와 내부 네트워크의 링크로컬 프리픽스를 사용하여 생성 한다. 검색한 결과인 링크로컬 주소의 interface identifier를 QUERY reply로 송신 한다. 이 때에 링크로컬 주소의 interface identifier만을 전송하는 이유는 링크로컬 주소의 네트워크 프리픽스는 FE80::0/64로 정해져 있기 때문이다.

게이트웨이는 내부 노드로부터 데이터 패킷을 수신 하면 다음과 같이 IPv6 주소 변환을 한다. 송신자 주

소를 내부 network의 global 프리픽스와 내부 노드의 interface identifier를 사용하여 global IPv6 주소로 변환 한다. 또한, 목적지 주소를 맵핑 테이블을 검색하여 그 결과인 global IPv6 주소로 변환 한다.

게이트웨이는 외부 노드로부터 데이터 패킷을 수신 하면 다음과 같이 IPv6 주소 변환을 한다. 송신자 주소를 맵핑 테이블을 검색하여 그 결과인 링크로컬 IPv6 주소를 사용 한다. 만약, 맵핑 테이블에 해당하는 global IPv6 주소가 없을 경우에는 새로운 링크로컬 주소를 생성하여 global IPv6 주소와 링크로컬 주소를 맵핑 테이블에 추가 한다. 목적지 주소는 global IPv6 주소의 네트워크 프리픽스를 링크로컬 프리픽스로 변환 한다.

3.4 내부 노드와 외부 노드의 통신 시나리오

- 1) 외부 노드가 내부 노드에게 패킷 전송을 시작하는 경우
 - (1) 외부 노드는 내부 노드에게 global IPv6를 사용하여 패킷을 전송 한다.
 - (2) 게이트웨이는 수신한 패킷의 송신자 global IPv6 주소에 대응하는 링크로컬 IPv6 주소를 할당하고, 맵핑 테이블에 global IPv6 주소와 링크로컬 IPv6 주소를 추가 한다. 또한 수신한 패킷의 목적지 global IPv6 주소의 프리픽스를 링크로컬 프리픽스로 변환 한다.
 - (3) 게이트웨이는 변환 한 패킷을 내부 노드에게 전송 한다.
- 2) 내부 노드가 외부 노드에게 패킷 전송을 시작하는 경우
 - (1) 내부 노드 (FE80:00A0:37FE:FF27:0020)는 게이트웨이에게 통신을 원하는 외부 노드 (2002:00A0:37FF:FE27:0010)에 대한 global IPv6 주소를 포함한 QUERY request 패킷을 전송 한다.
 - (2) 게이트웨이는 수신한 QUERY의 global IPv6 주소 (2002:00A0:37FF:FE27:0010)에 대응하는 링크로컬 IPv6 주소 (FE80:00A0:37FE:FF27:0010)

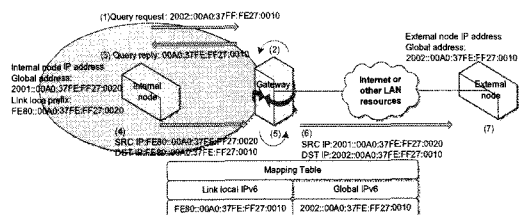


그림 5. 외부 노드가 내부 노드에게 패킷 전송을 시작하는 경우

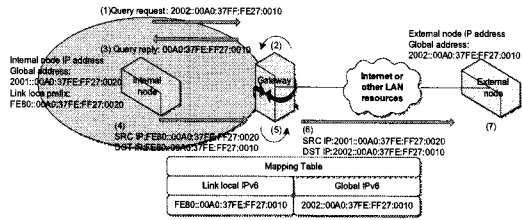


그림 6. 내부 노드가 외부 노드에게 패킷 전송을 시작하는 경우

0010)를 할당하고, 맵핑 테이블에 global IPv6 주소 (2002:00A0:37FF: FE27:0010)와 링크로컬 IPv6 주소 (FE80: 00A0:37FF:FE27:0010)를 추가 한다.

- (3) 게이트웨이는 내부 노드에게 QUERY request에 응답으로 외부 노드의 링크로컬 IPv6 주소 (FE80:00A0:37FF:FE27:0010)의 interface identifier(00A0:37FF: FE27:0010)만을 QUERY reply에 포함하여 전송 한다.
- (4) 내부 노드는 외부 노드에게 패킷을 전송하기 위하여 송신자에 자신의 링크로컬 IPv6 주소 (FE80:00A0:37FF:FE27:0020), 목적지에 외부 노드의 링크로컬 IPv6 주소 (FE80:00A0:37FF: FE27:0010)를 사용하여 패킷을 전송 한다.
- (5) 게이트웨이는 자신이 외부 노드인 것처럼 이 패킷을 수신한다.
- (6) 게이트웨이는 목적지 주소(FE80:00A0:37FF: FE27:0010)를 맵핑 테이블에서 검색하여 해당하는 global IPv6 주소(2002:00A0:37FF:FE27: 0010)로 변환하고, 송신자 주소 (FE80:00A0: 37FE:FF27:0020)는 노드의 global IPv6 주소 (2001:00A0:37FF:FE27: 0020)로 변환하여 외부 네트워크로 전송 한다.
- (7) 외부 노드는 게이트웨이를 통해서 내부 노드가 전송한 이 패킷을 수신 한다.

IV. 제안 메카니즘

4.1 시뮬레이션 환경

본 시뮬레이션은 QualNet^[11] 5.0.2 version을 사용하였다. IEEE 802.15.4 환경을 위하여 “Sensor Networks Library”를 사용 하였다. IEEE 802.15.4 상에서 6LoWPAN과 우리의 제안한 방식에 대하여 시뮬레이션 하였다. 본 시뮬레이션은 표 2와 같은 파라미터를 사용하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

parameter	value
Area size	100m * 100m
Number of nodes	3
Total time of simulation	3 minutes
IEEE 802.15.4 address length	16bits
Routing protocol	AODV
Traffic type	CBR/UDP
IPv6 payload size	32 ~ 1280 bytes
Node transmission power	3 dbm
Inter-packet transmission delay	1 sec
IEEE 802.15.4 topology	star
MAC poll interval	1 sec
MAC propagation delay	1 micro-sec

4.2 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서는 기존의 6LoWPAN과 제안한 방식을 비교하였다. 비교 대상은 IPv6 페이로드 크기의 변화에 따라 패킷 수와 페이로드 효율 그리고 end-to-end 지연을 비교하였다.

4.2.1 패킷 수

6LoWPAN에서는 페이로드가 하나의 IEEE 802.15.4 프레임으로 전송 할 수 없을 경우에 분할을 하여 전송하게 된다^[4]. 이때에 분할프레임은 두 가지 경우로 나뉘어 지게 된다. 분할되어 전송 되는 첫 번째 분할 프레임은 분할 전의 프레임에 데이터그램 크기, 데이터그램 태그 필드를 가진 분할 헤더를 추가하여 4 바이트가 증가 되며, 그 이후의 분할프레임은 데이터그램 크기, 데이터그램 태그, 데이터그램 오프셋 필드를 가진 분할헤더를 추가하여 5 바이트가 증가 된다. 그림 7은 IPv6 페이로드 크기에 따라서 전송하기 위하여 필요한 패킷 숫자를 보여 준다. IPv6 패킷의 페이로드 크기가 192 바이트 까지는 기존과 동일 하나 IPv6 페이로드 크기가 커질수록 기존의

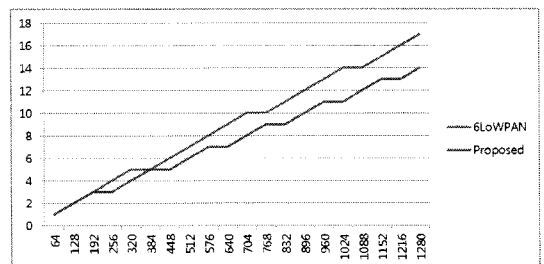


그림 7. IPv6 페이로드 크기에 따른 패킷 수

6LoWPAN에 비하여 적은 패킷으로 전송 할 수 있다. 제안한 방식은 기존의 6LoWPAN에 비하여 모든 페이로드 크기에 대하여 같거나 적은 패킷으로 보낼 수 있음을 보여 준다.

4.2.2 페이로드 효율

6LoWPAN 노드와 게이트웨이 사이의 전송 효율을 다음과 같이 정의 한다.

$$\text{efficiency}(\%) = \frac{\sum p_6}{\sum (p_6 + h_p + h_1)}$$

Where,

p_6 : length of IPv6 payload

h_p : length of IEEE 802.15.4 header

h_1 : length of 6LoWPAN header

그림 8은 p_6 가 IPv6 페이로드의 길이를 나타내며 64바이트에서 1280 바이트까지 바꾸어 가며 시뮬레이션 하였다. h_p 는 IEEE 802.15.4 헤더의 길이를 나타내며 QualNet에서는 25 바이트를 사용 한다. h_1 은 6LoWPAN 헤더의 길이를 나타낸다. h_1 에 분할헤더가 필요한 경우에는 1st 분할헤더는 4 바이트, 그 이후의 분할헤더는 5 바이트가 증가 한다. 그림 8에서 64 바이트에서 1280바이트까지의 전송 효율의 평균을 보게 되면 기존의 6LoWPAN은 약 60%의 전송효율을 가지지만, 제안한 방식은 약 72%의 전송효율을 가진다. 따라서 기존의 6LoWPAN에 비하여 약 12%의 전송 효율 향상을 보여준다.

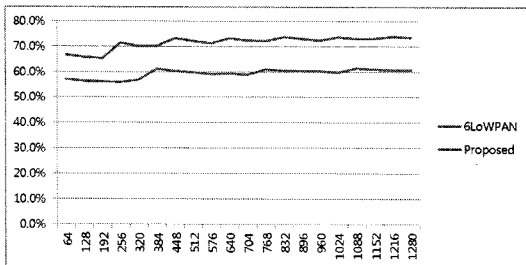


그림 8. IPv6 페이로드 크기에 따른 전송 효율

4.2.3 End-to-end 지연

그림 9는 내부 노드가 외부 노드에게 또는 외부 노드가 내부 노드에게 전송한 패킷의 end-to-end 지연에 대한 시뮬레이션 결과 이다. End-to-end 지연은 기존의 6LoWPAN과 비교하여 거의 비슷하거나 조금 줄어들었다. IPv6 페이로드 크기가 작은 64바이트에서

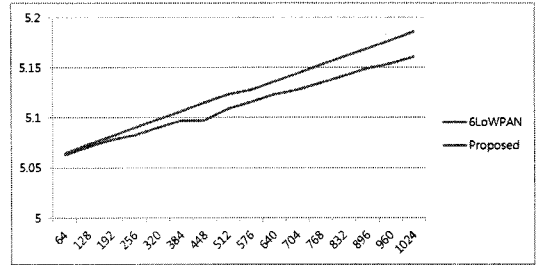


그림 9. IPv6 페이로드 크기에 따른 end-to-end 지연

는 기존의 6LoWPAN과 비슷하나 IPv6 페이로드가 증가할수록 end-to-end 지연이 줄어들어 페이로드 크기가 큰 경우에 기존에 비하여 빨라진다.

V. 결 론

내부 노드가 수집한 센싱 정보는 궁극적으로 외부 네트워크에 있는 외부 노드에게 전달 되어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 기존의 6LoWPAN에 비하여 효율적으로 센싱 정보를 전송할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 6LoWPAN의 내부 노드와 외부 노드가 통신 할 때에 발생하는 오버헤드를 줄이기 위하여 게이트웨이는 외부 노드의 주소에 대한 맵핑 테이블을 유지 관리해야 한다. 구현 시에 이 맵핑 테이블은 주소 당 24 바이트가 필요하며 주소를 검색하기 위하여 바이너리 검색과 같은 단순한 알고리즘을 통해서 구현 가능 하다. 또한, 게이트웨이는 QUERY 메시지에 대하여 처리 한다. 이 메시지의 처리는 처음 통신 시에 한 번만 이루어지기 때문에 성능에 영향은 미미하다. 제안한 방법에 대한 검증을 위하여 QualNet을 이용하여 성능을 비교 및 검증 하였다. 이러한 과정을 통해서 IP 페이로드가 증가할수록 기존의 6LoWPAN에 비교하여 적은 패킷 수, 우수한 전송 효율, 짧은 end-to-end 지연을 보이게 된다.

참 고 문 헌

- [1] IETF 6LoWPAN working group, <http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>
- [2] IEEE, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE, October 2003.
- [3] N. Kushalnagar, G. Montenegro, and C. P. P. Schumacher, "IPv6 over low-power wireless

- personal area networks (6lowpans): Overview, assumptions, problem statement, and goals”, *IETF*, RFC4919, August 2007.
- [4] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, D. Culler, “Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks”, *IETF*, RFC4944, September 2007.
- [5] Ki-Hyung Kim, Seung Wha Yoo, Hee Jung Kim, Soohong Daniel Park, Jae Ho Lee, “Interoperability of 6LoWPAN”, *IETF* draft, 2005.
- [6] Zimmermann, A., Sa Silva, J. Sobral, J.B.M.; Boavida, F., “6GLAD: IPv6 Global to Link-layer ADDRESS Translation for 6LoWPAN Overhead Reducing”, Next Generation Internet Networks, 2008. *NGI 2008*, pp.209-214.
- [7] David Culler, “IP-based Wireless Sensor Networking: Secure, Reliable, Low-Power IP Connectivity for IEEE 802.15.4 Networks”, *Industrial Embedded Systems*, 2007.
- [8] Jonathan Hui, David Culler, Samita Chakrabarti, “6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15.4 into the IP architecture”, Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance White Paper #3, January 2009.
- [9] Arch Rock Homepage, <http://www.archrock.com/>
- [10] Tiny OS Homepage, <http://www.tinyos.net/>
- [11] QualNet Homepage, <http://www.scalable-networks.com/products/qualnet/>
- [12] 임채성, Waleed Mansoor, 김기형, 유승화, 박수홍, 이재호, “IPv6기반 센서 네트워크(6LoWPAN)을 위한 라우팅 프로토콜 기술”, *대한전자공학회, 전자공학회지*, 제33권 제8호 (통권 제267호) 2006.8, pp.42-51.
- [13] 김계원, 서재완, 황대준, 추현승, “구글맵을 이용한 위치 추적 서비스를 제공하는 6LoWPAN 테스트베드 구현”, *한국인터넷정보학회, 인터넷정보학회논문지*, 제10권 제5호 2009.10, pp.13-26.

최 대 인 (Dae-In Choi)

정회원



2003년 2월 고려대학교 전자정보공학부 졸업
 2005년 2월 고려대학교 전자정보공학부 석사
 2005년 1월~2010년 2월 (주)과이오링크 부설연구소 과장
 2008년 9월~현재 고려대학교 전자정보공학부 박사과정

<관심분야> 미래인터넷, 센서네트워크, 통신공학, 안드로이드, 무선인터넷, IPv6, 6LoWPAN, 임베디드시스템,

Enkhzul Doopalam

정회원

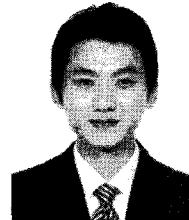


2004년 1월 Mongolian University of Science and Technology 졸업
 2005년 2월 Mongolian University of Science and Technology 석사
 2010년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학부 박사과정

<관심분야> Addressing and routing of Future network, Sensor network

박 종 탁 (Jong-Tak Park)

준회원



2010년 2월 고려대학교 전자정보공학부 졸업
 2010년 3월 고려대학교 전자정보공학부 석사 과정
 <관심분야> 전자공학, 통신공학

강 현 국 (Hyun K. Kahng)

중신회원



2003년 2월 고려대학교 전자정보공학부 졸업
 1998년 12월 미시간대학교 컴퓨터 공학 석사
 1990년 6월 조지아 공과대학교 박사
 1994년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학 교수

<관심분야> 미래인터넷, 센서네트워크, 통신공학, IPv6, 6LoWPAN