

USN 의 전송 계층 프로토콜에서 에러 및 흐름제어의 성능 평가

Analysis of Flow and Congestion control in USN

차현수*, 강철균, 유승화, 김기형

(Hyun-Soo Cha, Chul-kun Kang, Seung-Wha Yoo, and Ki-Hyung Kim)

Abstract : Many applications of sensor network require connection to the Internet. The transmission protocol of traditional sensor network was designed within the sensor network itself. However, based on 6LoWPAN which can be accessed using IPv6, direct connection is possible between the sensor network and the TCP/IP network outside. Transmission of data in applications of sensor network falls into two main categories. One is a small packet that is periodically produced such as packet related to temperature and humidity. The other is a relatively large packet that brings about network overheads such as images. We investigated the conformance test and pros and cons of application data over the transmission protocol of Zigbee and 6LoWPAN. As a result, both Zigbee and 6LoWPAN have shown low rate of loss for periodic data and have increased reliability of data transfer. When transmitting streaming image data, both ACK, non ACK mode of Zigbee and UDP of 6LoWPAN minimized transmission time but suffered the consequences of high packet loss. Even though TCP of 6LoWPAN required a long transmission time, we were able to confirm that no loss has occurred.

Keywords: ZigBee, 6LoWPAN, measurement

I. 서론

최근 무선 네트워크 기술의 발전에 따라 여러 분야에서 최근 무선 네트워크 연구의 경향은 언제나 어디에서나 데이터 통신을 할 수 있는 기술을 개발하는 것이다. 이와 같은 연구의 결과로 저속의 저전력 근거리 무선 네트워크(LR-WPANs) 표준인 IEEE 802.15.4가 제정되었으며 이에 기반한 유비쿼터스 센서네트워크(USN)에 관한 연구가 국·내외에서 활발히 진행되고 있다. USN은 센서를 이용하여 수집된 온도 습도와 같은 환경정보, 군용 감시 시스템을 위한 이미지, 오디오 정보 등을 전송한다. 또한 USN에 기반한 기술로써 대표적으로 ZigBee가 있으며 이는 네트워크 계층과 전송계층에 관한 표준기술이다. 최근 국내에서도 USN 관련 연구가 활발히 진행 중이며 특히, 센서 노드에 IPv6 체계를 도입하는 6LoWPAN 기술 연구가 주목받고 있다. 6LoWPAN과 ZigBee의 기반기술 LR-WPAN은 앞서 언급한 응용분야의 특성으로 인해 몇 가지 특징을 갖는다. 우선 적은 전력소비와 낮은 비용을 만족시키기 위해 최대 250kbps의 대역폭만을 제공하며 이를 통해 전송되는 패킷의 크기는 최대 127바이트이다. 또한 네트워크를 구성하는 노드는 16비트의 short address와 64비트의 IEEE 확장 MAC 주소를 통해 식별된다. 이와 같은 제약사항으로 인하여 ZigBee와 같은 기존의 USN 네트워크에서는 센서 네트워크 내부 범위에서만 데이터를 전송할 수 있는 네트워크 계층 기술을 발전 시켜왔으며 기존의 인터넷 인프라와의 연결을 지원하기위해 데이터 패킷의 주소를 변환하는 게이트웨이로써 싱크노드를 이용하였다. 이와 같은 방식은 구현이 복잡하고 일관성이 결여되므로 6LoWPAN은 IPv6 체계를 도입하여 각각의 센서노드에 경량 IP 스택을 탑재하였다. 또한 기존의 IP에 기반한 전송 프로토콜 기술인 UDP와 함께

TCP를 적용함으로써 데이터 전송의 신뢰성 또한 보장할 수 있게 되었다. 앞서 언급한 군용 감시 시스템과 같은 응용은 데이터를 최대한 빠르게 전송해야하며 전송 도중 손실이 없어야 한다. 반면 음성 데이터 전송 응용에서는 비교적 큰 크기의 데이터를 손실을 감수하고 빠른 시간 내에 전송하여야 한다. 이와 같은 데이터 전송을 위해 6LoWPAN은 UDP와 TCP 프로토콜이 ZigBee는 응용계층의 APS 서브계층이 이를 담당한다. 센서네트워크에 IPv6를 적용한 6LoWPAN이 여러 특성을 갖는 응용에 어느 정도의 전송 성능과 신뢰성을 제공하는지 평가할 필요성이 있으며 이를 통해 IPv6가 센서네트워크에 적합함을 판단할 수 있다. 또한 용이한 IP 네트워크 접근성 이외의 장점을 알 수 있다. 본 논문에서는 6LoWPAN과 ZigBee 네트워크의 전송 프로토콜의 효율성과 신뢰성을 실험을 통해 평가·분석하였다.

II. 관련 연구

2.1 6LoWPAN

6LoWPAN 워킹 그룹은 LoWPAN 상에서 IPv6 패킷 전송 방안을 정의하는 것을 목표로 하고 있다. 세부적으로 낮은 전송률을 가진 IEEE 802.15.4 기술을 통해서 헤더 사이즈가 큰 IPv6 패킷을 효율적이고 안전하게 전달하고, 전달하고자 하는 장치들을 어떻게 검색할 것인지 연구하는 것이다. 또한 IEEE 802.15.4 기술이 사용하는 MAC 주소를 이용하여 IPv6 자동 주소 설정 기능을 djpeg 계 수행할지도 포함된다. <그림 1>은 6LoWPAN의 표준 기술 범위를 나타낸다. LoWPAN에서는 기존의 네트워크보다 많은 수의 노드가 요구되는 응용 서비스들이 존재하므로 큰 주소 공간을 가진 IPv6가 적합하다.

2.1.1 6LoWPAN 특성

6LoWPAN은 다음과 같은 특성들을 가진다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 20xx. x. xx.

차현수, 강철균 : 아주대학교 일반 대학원 컴퓨터 공학과

(ricman@ajou.ac.kr, jadorak@ajou.ac.kr)

※ 본 연구는 교육부 학술연구조성비의 지원을 받아 연구되었음.

- 작은 패킷 사이즈를 가진다
- 16 비트 단축형(short)과 IEEE 64 비트 확장형 MAC 주소를 지원한다.
- 현재 IEEE 802.15.4 물리계층에서 정의한 주파수 2.4GHz, 915MHz, 868MHz 에 대해서 각각 250kbps, 40kbps, 20kbps 의 낮은 데이터 전송률을 제공한다.
- 스타(star)와 메시(mesh) 토폴로지를 제공한다.
- 일반적으로 일부 또는 모든 장치들이 배터리를 이용해서 작동하는 저전력 특성을 갖는다.
- 일반적으로 장치들의 위치는 미리 정해지지 않고, ad-hoc 형태로 배치될 것이다. 더구나 이 장치들은 때때로 접근이 용이하지 않을 수도 있고, 위치가 이동될 수도 있다.

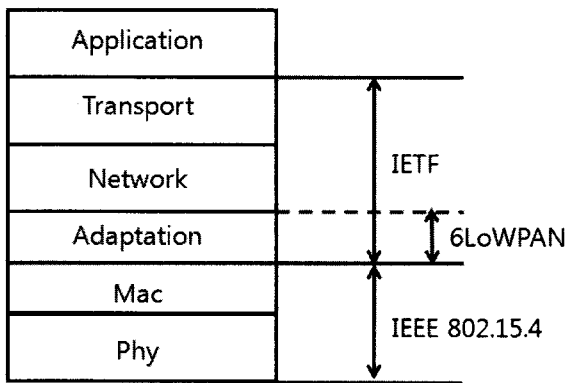


그림1 6LoWPAN 계층구조

2.2.2 6LoWPAN 전송 방법

6LoWPAN 패킷은 IEEE 802.15.4 프레임위에 멀티홉(Multi-hop) 메시 헤더, 단편화(Fragmentation) 레더, IPv6 압축헤더, UDP 압축헤더/TCP 헤더로 구성되며 이들 헤더가 모두 한 패킷에 담길 수도 있고, 아니면 일부만 담길 수도 있는데, 이를 효과적으로 구분하기 위해 디스패치(dispatch)헤더가 사용된다. 소스와 목적지 노드가 멀티홉으로 떨어져 있을 때 이 때 목적지(Final destination)와 소스(Originator)노드의 주소는 16비트 또는 64비트로 표현할 수 있다. 이 후에 프레임멘테이션 디스패치 헤더가 오면 Adaptation 계층에서 각각의 프래그먼트 별로 정해진 최대 adaptation retransmission max retries번 까지 1홉의 범위를 대상으로 재전송을 시도한다.

2.2 ZigBee

저전력 무선 네트워크의 핵심 기술로 높은 주목을 받고 있는 ZigBee 기술은 IEEE 802.15.4의 PHY/MAC 기술을 바탕으로 "ZigBee Alliance" 에서 추가적인 기능을 부여하여 더욱 향상된 기술을 지원하고 있다. 하지만 ZigBee 기술은 open standard, 즉 누구나 자신의 목적에 맞게 사용할 수 있는 표준 기술이 아니며 "ZigBee Alliance" 에 가입한 멤버에 한

해서 기술 사용이 가능하다.

2.2.1 ZigBee 특성

▶ ZigBee 코디네이터

각각의 ZigBee 네트워크 내에서 하나의 ZigBee 코디네이터가 필요하다.

네트워크 정보를 초기화하며 IEEE 802.15.4 표준의 PAN 코디네이터와 같은 역할을 한다.

FFD(Full Function Device)만이 코디네이터가 될 수 있다.

▶ ZigBee 라우터

선택사항의 네트워크 기기로서 여러 개의 ZigBee 라우터가 존재할 수 있다.

ZigBee 코디네이터 혹은 이미 네트워크에 접속 중인 ZigBee 라우터를 통해 네트워크에 참여한다.

IEEE 802.15.4 표준의 코디네이터와 유사한 역할을 함. FFD만이 ZigBee 라우터가 될 수 있다.

▶ ZigBee 종단기기

라우팅 기능이 없다.

하나의 네트워크 내에 여러 개 존재할 수 있다.

코디네이터 또는 이미 네트워크에 접속 중인 ZigBee 라우터를 통해 네트워크에 참여한다.

2.2.2 전송 방법

Association되어 있는 장치만이 네트워크 계층으로부터 데이터 프레임 전송할 수 있다. 그렇지 않은 장치가 프레임 전송을 요청할 경우 네트워크 레이어가 패킷을 버리고 NLDE-DATA.confirm 프리미티브에 INVALID_REQUEST 상태를 실어 상위 레이어에 에러를 통지한다.

III. 프로토콜 모델링 및 실험 환경

3.1 프로토콜 모델링

ZigBee와 6LoWPAN은 모두 IEEE 802.15.4를 기반으로 동작한다. 따라서 본 절에서는 IEEE 802.15.4 프로토콜의 동작 과정을 모델링 한다. 모델링 결과를 토대로 손실률과 딜레이를 예상해보고 실제 측정 결과와 비교해 본다.

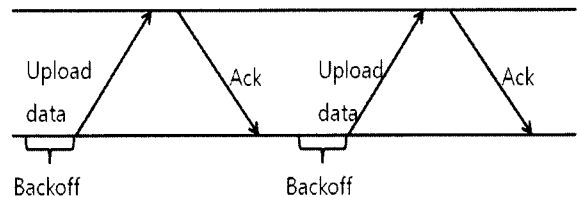


그림 2 Non-beacon mode 상향 전송

그림 2는 Non-beacon 모드로 동작하는 전송 과정을 보여 준다. 이때 디바이스는 데이터 프레임을 전송하고 unslotted CSMA-CA를 사용한다. X(t)는 분산 마코브 체인을 나타낸다.

Define $X(t)$ by

$$X(t) = \begin{cases} (s(t), b(t)), & \text{when a device is in the process of backoff steps} \\ Tx, & \text{when a device is in the process of packet transmission} \\ \text{idle}, & \text{when a device is in the idle state} \end{cases}$$

at t .

$$\begin{cases} \pi_{i,0} = (\alpha + \beta - \alpha\beta)^i \pi_{0,0} & \text{if } 1 \leq i \leq M \\ \pi_{i,-1} = (1 - \alpha)\pi_{i,0} & \text{if } 0 \leq i \leq M \\ \pi_{0,j} = \pi_{0,0} - \{(1 - P_{Tx})(1 - P_s)\pi_{Tx} + (1 - P_{idle})\pi_{idle}\} & \text{if } 1 \leq j \leq W_0 - 1 \\ \pi_{i,j} = \pi_{i,0} - \frac{j}{W_i}(\alpha\pi_{i-1,0} + \beta\pi_{i-1,-1}) & \text{if } 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq W_i - 1 \\ \pi_{Tx} = \frac{1-\beta}{1-P_{Tx}} \sum_{i=0}^M \pi_{i,-1} \\ \pi_{idle} = \frac{1}{1-P_{idle}} \{\alpha\pi_{M,0} + \beta\pi_{M,-1} + (1 - P_{Tx})P_s\pi_{Tx}\} \end{cases}$$

위의 식은 steady-state 상태에서의 마코브 확률을 나타내고 정상 상태에서의 전송률은 아래 식의 S로 나타낼 수 있다. Ps는 전송이 성공할 확률을 나타낸다.

$$S = n \cdot \pi_{Tx} \cdot P_s$$

3.2 실험 환경

본 논문에서는 ZigBee와 6LoWPAN의 성능을 분석하기 위해서 2가지의 장비를 사용하여 주기적 데이터 전송과 스트리밍 데이터 전송을 수행하였다. 각 장비는 <표 1>과 같은 특성을 가지고 있다.

Spec.	ZigBee	6LoWPAN
Model	MG2400	PN2420
RF Rate	250kbps	250kbps
RAM	Flash 64k, RAM 4k	Flash 128k, RAM 32k
MCU	Enhanced 8051	Atmega 128L
RF Range	ISM 2.4GHz	ISM 2.4GHz

◦ ZigBee 실험장비

RadioPulse의 MG2400 장비는 ZigBee Alliance의 Licence를 획득한 장비로 ZigBee Spec 1.1를 기반으로 구현되어 있다. ZigBee 네트워크는 Tree 및 Mesh 토폴로지로 형성할 수 있으며 Tree일 경우에는 Hierarchical Routing을 사용하며 Mesh일 경우에는 AODV Like한 Mesh Routing을 사용한다. 또한 End-to-End의 신뢰성 있는 전송을 확보하기 위해 Ack-enable 모드를 사용하여 패킷 손실에 대한 재전송 방안을 확보하였다. Ack-enable 모드에서는 총 3회의 재전송을 허용한다.

◦ 6LoWPAN 실험장비

사용된 장비는 PicosNet에서 개발한 PN2420을 사용하였으며 이 장비는 IETF의 6LoWPAN WG에서 정의된 RFC 4944(-Transmission of Packets over IEEE 802.15.4 Networks-)를 기반으로 Adaptation 계층, IPv6 계층, 전송계층(UDP, TCP) 그에 따른 패킷

포맷으로 구현되어 있다. 특히 라우팅 프로토콜에는 HiLow, AODV 프로토콜을 간략화하고 최적화된 LOAD를 사용, ZigBee와 동일하게 Tree 및 Mesh 토폴로지에 대한 라우팅이 가능하도록 하였으며 경량화된 TCP/IP를 사용한다. 6LoWPAN의 TCP는 Flow control과 Loss Recovery를 제공한다.

3.3 실험 내용

실험은 주기적인 데이터 전송 실험과 고정크기 데이터 스트림 전송 실험으로 나누어 수행하였다. 동일한 조건하에 두 실험을 수행하기 위해서 <그림 1>과 같은 형태의 토폴로지를 이용하였으며 각 장비의 전원은 알카라인 건전지 AA 2개를 사용하였고 16m의 Transmission Range가 되도록 -25dBm의 Tx Power로 설정하였다. 본 실험은 ZigBee와 6LoWPAN의 스택(네트워크 계층 이상)의 성능 측정이 목적이므로 동일한 IEEE 802.15.4의 MAC 계층을 사용하였으며 특히 None-beacon-enable 모드를 사용하였다. 사용된 각 장비의 수는 7개의 센서 노드와 1개의 코디네이터 노드이다.

◦ 주기적 데이터 전송 실험

<그림 1>의 5, 6, 7번 노드가 60바이트의 패킷을 500ms, 1000ms 간격을 두고 코디네이터로 전송한다. 전송 패킷 개수는 한 번의 실험 시 600개를 전송하였고 이중 최초의 100개는 Route Discovery의 영향을 배제하기 위해 분석에서 제외하였다. 전송 노드 개수는 1~3개의 3가지로 실험하였다. 단 실험 시작 시 램덤 딜레이를 두어 트래픽 전송의 동기화를 방지하였다.

◦ 스트리밍 데이터 전송 실험

이 실험 항목은 군용 감시 시스템응용에서 노드에 부착된 카메라 모듈로 부터 발생하는 이미지 데이터를 기준으로 하였다. 이러한 센서네트워크 카메라 모듈이 생성하는 640x480 해상도의 이미지는 JPEG 압축을 통해 약 60KB 크기가 된다. 따라서 스트리밍 전송 실험은 패킷 당 64바이트 크기의 패킷을 1060번 전송하게 된다. 이 중 최초의 100개 패킷은 주기 전송 실험과 마찬가지로 분석에서 제외하였다. PN2420과 MG2400이 모듈로 부터 읽어올 수 있는 각각의 최대 속도로 패킷 전송을 시도하였다. 노드 배치와 전송 노드 수는 주기 전송 실험과 같다.

IV. 실험 결과

4.1 성능 평가 기준

실험에 사용된 평가기준은 전송률, 전송 시간, 손실률 등이며 이를 통해 두 전송 프로토콜에 대한 성능을 비교평가 하였다.

◦ 손실률

두 실험에서 전송하는 모든 패킷의 수에서 몇 개의 패킷이 손실되는지를 평가하는 항목이며 다음 식과 같다.

$$\frac{nr_{tx} - nr_{rx}}{nr_{tx}} \times 100$$

where nr_{tx} : 총 전송 패킷수
 nr_{rx} : 총 수신 패킷수

▪ 전송률 스트리밍 데이터 실험에서 초당 전송이 성공한 패킷의 수를 구하며 다음 식과 같다.

$$\frac{nr_{rx}}{t_{rx}}$$

where nr_{rx} : 수신한 패킷수
 t_{rx} : 전송 총 시간

▪ 전송시간

$T_s - T_e$
 where T_s : 첫 패킷 수신 시간,
 T_e : 마지막 패킷 수신 시간

4.2 스트리밍 데이터

노드 수는 동시에 코디네이터로 데이터를 보내는 전송노드의 수를 나타내며 이는 트래픽 집중화에 따라 발생하는 현상을 파악하기 위함이다. 본 실험에서 6LoWPAN 은 TCP 를 사용하였으며 ZigBee 는 None-Ack 모드와 Ack 모드를 사용하여 실험하였다.

◦ 손실률

본 실험 결과를 분석해 보면 6LoWPAN은 앞서 설명한 방식으로 재전송을 하기 때문에 손실되는 패킷이 없었다. ZigBee의 경우는 None-Ack모드의 경우, 노드의 수가 증가할수록 손실률이 급격히 늘어났고, Ack모드의 경우에도 노드수의 증가에 따라 급격한 손실률 저하가 있었다. 그러나 기존의 예상과는 달리 ACK를 사용한 경우에 성능이 낮게 측정되었는데 이것은 네트워크의 트래픽이 일정 수준이상으로 증가하게 되면 오히려 Ack 메시지가 오히려 네트워크내에 트래픽을 증가시키는 역할을 하기 때문으로 판단된다. 즉 네트워크내에 트래픽의 양이 증가 하게 될수록 재전송 요청의 수도 증가 하게 되고, 이것은 꼭 Ack 메시지의 증가로 이어진다. 증가하게 된 Ack 메시지는 네트워크내의 트래픽 상황을 더욱 악화 시켜 다음과 같은 결과를 보인 것으로 생각된다.

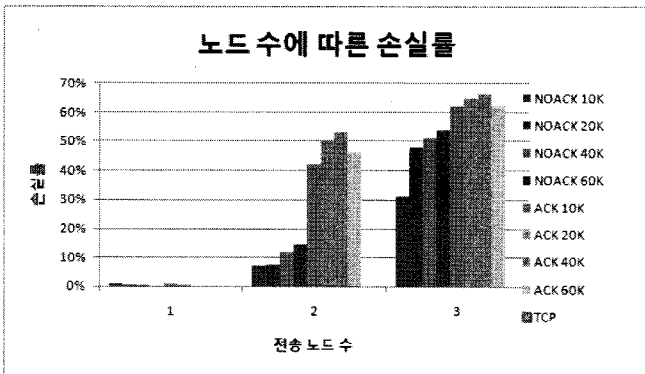


그림 3 스트리밍 - 노드수에 따른 손실률

◦ 전송률

위의 손실률 실험과 마찬가지로 ZigBee의 경우 Ack 메시지를 사용하게 되면 성능이 저하된다. 이는 손실률 실험 분

석과 마찬가지로 Ack 메시지가 네트워크내의 트래픽 상황을 악화 시키기 때문이다. 따라서 단순히 Ack 메시지를 이용한 재전송 방안은 오히려 역효과를 가져올 수 있으므로 적절한 흐름제어와 혼잡 제어 방안이 필요할 것으로 예상된다. 네트워크내의 상황을 고려하지 않고 사용되는 재전송 방안은 네트워크의 성능 저하시키는 것으로 판단되기 때문이다. 또한 6LoWPAN의 경우 실제 전송율을 측정해 본 결과 ZigBee에 비해서 상당히 낮게 측정 되었다. 이는 IEEE 802.15.4에서 정의한 패킷의 크기가 127바이트에 불과 하기 때문에 실제 ZigBee에 비해서 헤더의 크기가 훨씬 큰 6LoWPAN의 경우 실제 패킷에서 헤더의 비율이 높기 때문이다. 따라서 같은 응용 데이터를 전송한다고 가정한다면 6LoWPAN이 ZigBee에 비해서 전송율이 떨어질 것으로 예상된다. 그러나 본 실험 결과에서 전송 노드의 수가 1개에서 3개로 증가하는 과정을 보면 ZigBee의 경우 노드의 증가에 따른 전송률 감소가 급격하게 일어남을 볼 수 있다. 그러나 6LoWPAN의 경우 노드의 증가에 따른 전송률 감소가 측정되고 있으나 ZigBee에 비해서는 감소 정도가 양호 하였다. 따라서 네트워크의 규모가 커진다면 오히려 6LoWPAN이 양호한 성능을 보일 것으로 예상된다. 전송률의 저하는 ZigBee에 비하여 현저히 미미 하였다.

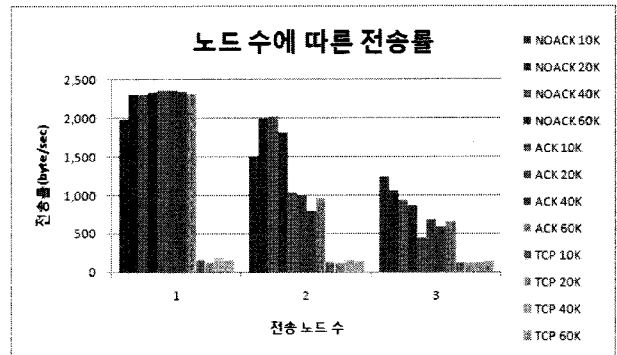
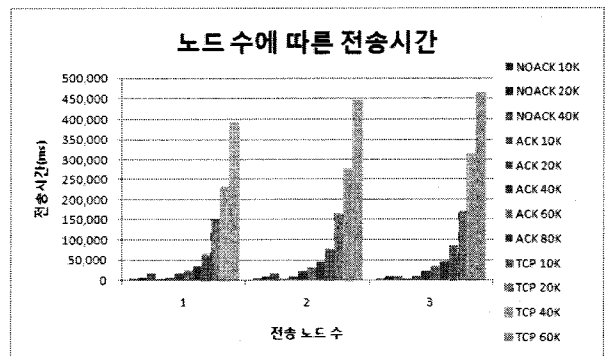


그림 4 스트리밍 - 노드수에 따른 전송률

◦ 전송시간

실험결과 Ack모드가 None-Ack모드 보다 전송 시간이 더 오래 걸린 것을 알 수 있다. 이는 Ack모드가 손실된 데이터를 재전송하기 때문에 이에 따른 지연이 발생하여 나타난 결과 있다.



<그림 5 스트리밍 - 노드수에 따른 전송 시간>

6LoWPAN의 경우 데이터의 Loss율은 0%로 나타나고 그에 따른 TradeOff로 전송시간이 증가했음을 알 수 있다. 실험 데이터 값을 비교해 보면 2개 노드가 동시에 60Kbyte의 데이터

를 전송할 때 ZigBee의 경우 약 26초, 6LoWPAN의 경우에는 약 443초가 걸리는 것을 알 수 있다. 이는 TCP의 흐름 제어를 위한 처리시간의 증가와 전송이 실패할 경우 전송이 성공하는 순간까지 재전송을 수행하는 TCP 메커니즘과 Adaptation layer의 적용에 따른 중복된 신뢰성 보장 메커니즘에 따른 결과로 볼 수 있다. 향후 이 부분은 개선될 경우 6LoWPAN의 TCP와 ZigBee 네트워크의 전송시간 차는 크게 줄어들 것으로 예상된다.

4.3 주기 데이터 전송

▫ 손실률

<그림 5>는 주기적 데이터 전송 시 전송노드 수가 손실률에 미치는 영향을 보여준다. 6LoWPAN TCP는 주기 데이터 전송 시 스트리밍 전송 실험과 동일하게 손실률이 0%였다. 한편 UDP는 1000ms 간격으로 전송할 때, 전송 노드 수 2개와 3개 모두 약 4.4%의 손실률을 보였다. 그러나 500ms 주기 전송 시에는, 노드 수가 2개일 때 12.63%의 손실률을 보였고 노드 수가 3개로 늘어나면 손실률이 15.51%로 증가하기 시작하였다. ZigBee에는 위의 그래프의 결과를 볼 수 있었다. 결과를 살펴보면 다음과 같다. None-Ack 모드가 6LoWPAN의 UDP 모드 보다 손실률이 낮은 것으로 측정되었다. 이것은 스트리밍 실험과 마찬가지로 패킷의 헤더가 ZigBee에 비해 좀 더 무거운 6LoWPAN의 IPv6 헤더가 트래픽의 증가를 야기 시켜 전체네트워크의 성능을 저하시킨다는 것으로 볼 수 있다. 또한 500ms와 1000ms의 주기 실험 결과를 서로 비교해 보면 500ms의 경우가 1000ms의 경우보다 높은 loss율을 보이는 원인은 500ms 주기가 1000ms 주기에 비해 상대적으로 많은 트래픽을 발생하기 때문에 그에 따른 충돌 증가와 재전송 패킷의 증가를 나타내는 것으로 볼 수 있다.

▫ 전송 시간

<그림 8>의 결과그래프의 전송 노드 수는 위의 실험과 같이 동시에 전송하는 노드의 수를 나타내고 주기는 500ms와 1000ms로 실험을 수행하였다. 패킷 전송간의 간격 안에서 재전송이 일어나므로 ZigBee와 6LoWPAN 간의 전송 시간 차이는 많지 않았다.

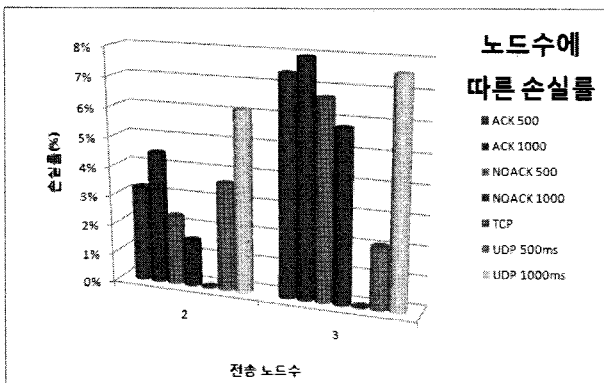


그림 5 주기전송 - 노드수에 따른 손실률

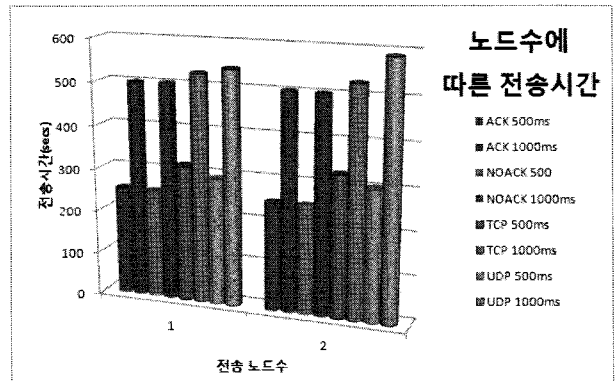


그림 7 주기전송 - 노드수에 따른 손실률

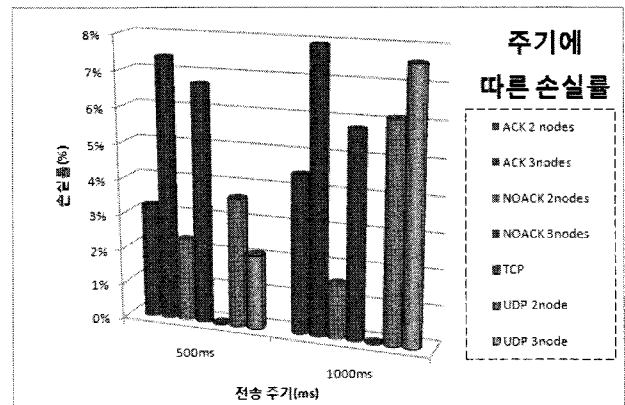


그림 8 주기전송 - 노드수에 따른 손실률

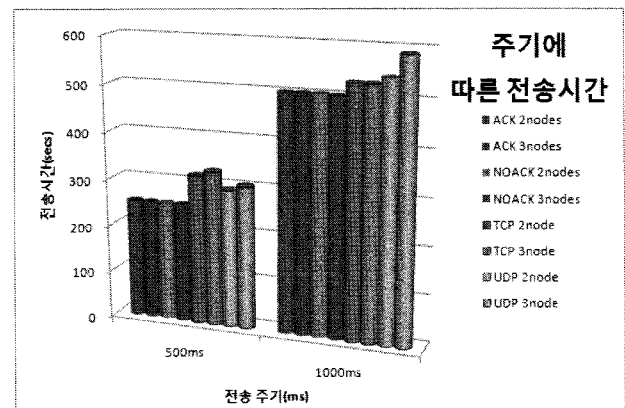
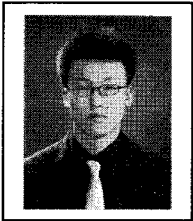


그림 9 주기전송 - 노드수에 따른 손실률

IV. 결론

ZigBee의 전송 프로토콜은(APS 레이어 3회 재전송)은 데이터 전송의 신뢰성 보장을 위해 단순히 단-대-단 재전송만을 제공한다. 반면에 6LoWPAN의 TCP 프로토콜은 신뢰성 지원을 위하여 단-대-단 재전송, Flow Control을 제공한다. 실험 결과, 주기적 데이터 전송 시, ZigBee와 6LoWPAN 두 네트워크 모두 만족할만한 성능을 보였다. 그러나 스트리밍 데이터 전송 시, ZigBee는 노드 수가 증가함에 따라 큰 손실률 증가를 보였고 6LoWPAN은 0% 손실률을 보여 신뢰성 보장에서 큰 차이를 보였다. 본

논문의 실험에서는 네트워크 전체의 송신 시도 횟수 측정이 미비하여 전송 효율성 및 전력 소비 효율성과 같은 현상을 파악하는데 미진하였다. 앞으로 추가적인 실험을 통하여 이와 같은 기준을 추가하여 성능평가를 수행할 것이다.



차 현 수

2008년 아주대학교 전자공학부(공학사).
2008년 ~ 현재 아주대학교 일반대학원
컴퓨터 공학과 석사과정 재학중
관심분야 센서 네트워크



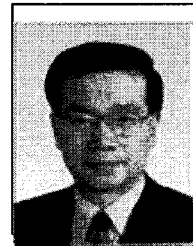
김 기 형

1990년 한양대학교 졸업(공학사)
1992년 한국과학기술원 졸업(공학석사)
1996년 한국과학기술원 졸업(공학박사)
1997년 2005년 영남대학교 정보통신공
학부 교수
2005년 현 재 아주대학교 정보및컴퓨터
공학부 교수 관심분야 6LoWPAN, 센서네트워크, IPv6, 임베디
드시스템



강 철 균

2006년 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공
학부 (공학사).
2006년 ~ 현재 현재 아주대학교 정보
통신 전문대학원 석사과정 재학중.
관심분야 센서 네트워크



유 승 화

1972 서울대학교 응용 수학 이학사
1980 University of Kansas Computer Sci-
ence 공학석사
1983 University of Kansas Computer Sci-
ence 공학박사
1983-1988 AT&T Bell Labs 연구원
1988-1989 Amdahl Corporation 수석연구원
1989-1999 삼성전자 정보통신 전무
1999-현재 아주대학교 정보통신 전문대학원 교수 관심분야
Operating Systems, Computer Network, VoIP, 네트워크 관리