

실내외 환경에서 센서노드의 성능 평가[†]

(Performance Analysis of Wireless Sensor Nodes over Indoor and Outdoor Environments)

적 학 초*, 문 병 현**

(Xuechao Di and Byung-Hyun Moon)

요 약 오늘날 무선센서노드는 환경모니터링과 같은 다양한 응용분야에서 많이 사용된다. 본 논문에서는 실내환경에서 전파를 방해하는 장애물(콘크리트 내벽, 철문)과 2.4GHz의 무선랜(IEEE 802.11b/g)이 있는 환경에서 센서노드의 RSSI(Received Signal Strength Indication)와 PER(Packet Error Rate)을 측정하였다. 또한 다양한 실외 환경에서 센서노드의 RSSI와 PER을 측정하였다. 본 논문을 통해 분석되어진 데이터를 바탕으로 실내외 환경에서 데이터의 손실을 최소화할 수 있는 안정적인 무선센서네트워크의 구축에 필요한 가이드라인을 제시한다.

핵심주제어 : 무선센서노드, 주파수간섭, 실내외 환경

Abstract Wireless sensor nodes are widely used for various applications such as environmental monitoring. In this paper, the RSSI and PER are measured for the indoor environment with the various interferences such as obstacles(concrete walls, steel doors) and the 2.4GHz wireless LAN interference. Also, the RSSI and PER are measured for the outdoor environments. From the measured values of the RSSI and PER, the guideline for the stable operation of the wireless sensor network is suggested.

Key Words : Wireless sensor networks, RSSI, PER, Indoor/outdoor environments

1. 서 론

무선센서네트워크는 환경 감시, 생태조사, 교통정보, 농업 생산, 건축물 관리, 생산물 유통 등 다양한 응용 분야에 실용화 단계에 있다.

무선센서네트워크의 구축하기 위해 실제의 환경에 센서노드가 배치되면 전력소비를 고려한 설계가 필요하다[1][2]. 또한 센서노드의 주변에 여러 장애물에 전파방해가 발생하여 데이터의 손실을 가져 올 수 있다. 전파를 방해하는 요인에는 2.4GHz를 사용하는 무

선랜과 같은 동일주파수 대역을 사용하는 이종기와 콘크리트 내벽, 철문등과 같은 장애물이 있다.

GE에서는 2004년 2.4GHz를 사용하는 이종기인 무선랜(IEEE 802.11b/g), 블루투스, 전자레인지에 의한 간섭이 있을 경우 센서노드의 성능을 전산모의실험을 통하여 분석하였다[3]. GE외에도 IEEE 802.11b/g가 존재하는 공간에 IEEE 802.15.4의 센서노드의 성능을 수학적 모의실험 또는 간단한 측정실험을 통하여 성능을 분석하였다[4][5].

본 논문에서는 2.4GHz의 무선랜(IEEE 802.11b/g)에 의한 간섭이 있을 경우 센서노드의 사용주파수 채널 및 거리에 따른 RSSI (Received Signal Strength Indication)과 PER(Packet Error Rate)을 측정하여

[†] 본 논문은 2010년도 대구대학교 학술연구지원에 의한 논문임

* 대구대학교 정보통신공학과

** 교신저자, 대구대학교 정보통신공학부

성능을 분석하였다. 또한 실내에서 무선센서네트워크를 구축할 때 전파를 방해하는 장애물(콘크리트 내벽, 철문, 층간의 장애물)이 있을 경우와 실외의 LOS(Line Of Sight)환경과 장애물(계단, 건물)에 의한 NLOS(Non LOS)환경에서 센서노드의 RSSI와 PER를 측정하였다.

2. 실험을 위한 센서 노드

2.1 센서노드 하드웨어

본 논문에서 무선센서네트워크의 전파환경 분석을 위하여 Atmel사의 ATmega128기반으로 CC2420을 RF 모듈로 사용하는 센서노드를 사용하였다. 노드에 부착된 칩안테나를 사용하였으며 RF출력을 0dBm으로 하여 성능을 측정하였다.



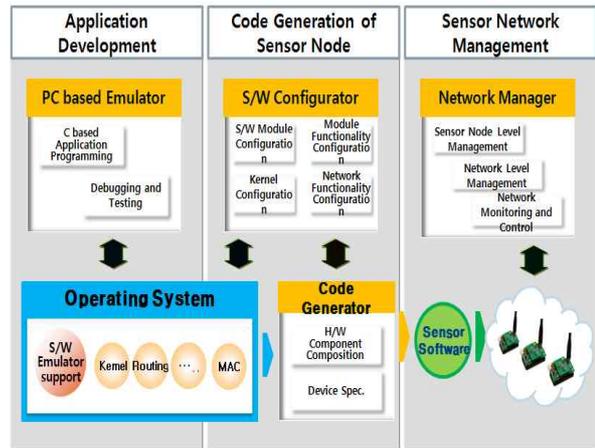
<그림 1> ATmega128 기반의 센서노드

2.2 센서 소프트웨어 플랫폼

센서 소프트웨어 플랫폼은 센서노드 상에서 구동하는 센서 운영체제와 미들웨어 등의 시스템 소프트웨어와 센서 어플리케이션 개발자를 위한 다양한 개발 도구로 구성된다. 센서 운영체제와 미들웨어는 다양한 응용분야의 어플리케이션을 신속하게 개발할 수 있고 이들을 효율적으로 구동시킬 수 있도록 프로그래밍의 용이성, 높은 성능을 제공되어야 한다. 이를 위한 센서 운영체제로는 UC버클리의 TinyOS, UCLA의 SOS, 국내 ETRI의 Nano-Qplus 등과 대구대학교 유비쿼터스 신기술 연구소(UTRC)에서 개발한 SenWeaver 플랫폼이 있다.

SenWeaver 플랫폼은 프로그래밍의 용이성, 다양한 하드웨어의 가용성, 동적 재구성성의 용이성, 에너지와 컴퓨팅 자원의 효율적 관리를 위한 목적으로 개발되

었다[6][7].



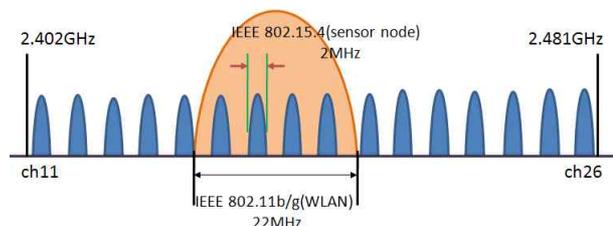
<그림 2> 센서 소프트웨어 플랫폼 구성

효과적인 센서 어플리케이션 개발 및 유지보수가 가능하도록 그림 2와 같이 센서 어플리케이션 개발단계부터 센서 어플리케이션과 센서 운영체제 커널의 조합하여 센서노드의 실행코드 생성 및 실행이미지 적재 단계, 네트워크 관리 단계에 이르기까지 전반적인 개발환경을 제공한다.

3. 2.4GHz 무선랜 환경에서의 성능

3.1 실험 환경

무선랜(IEEE 802.11b/g)과 센서노드의 채널 및 주파수 대역폭은 그림 3과 같다.

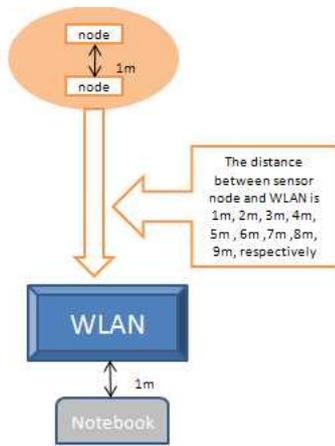


<그림 3> 무선랜과 IEEE 802.15.4의 채널

본 논문에서 무선랜과 센서노드의 사용 채널간의 중첩 유무에 따른 간섭이 있을 경우 거리에 따른

RSSI와 PER성능을 20바이트의 패킷을 15,000회 전송하여 측정하였다. 간섭을 발생시키는 무선랜의 채널은 그림 3과 같이 중심주파수가 2.432GHz인 채널을 사용하였다.

무선랜과 센서노드의 채널의 중첩 유무에 따른 성능 측정을 그림 4에서 두 센서노드 사이의 거리, 무선랜AP(Access Point)와 노트북간의 거리와 센서노드와 무선랜AP사이의 거리를 1m로 고정시킨 환경에서 센서노드의 채널을 11번 채널(2405MHz)에서 19번 채널(2445MHz)로 변화시키면서 성능을 측정하였다.



(a) 실험환경 개념도



(b) 송신기 화면



(c) 수신기 화면

<그림 4> 무선랜이 존재하는 실험환경

또한 무선랜의 채널과 중첩되는 센서노드의 채널인 15번 채널(2425MHz)에서 18번 채널(2440MHz)에서 거리에 따른 성능을 측정하기 위하여 그림 4와 같이 센서노드로부터 무선랜을 1m에서 9m까지 1m단위로 성능을 측정하였다.

3.2 센서노드의 사용채널에 따른 성능 측정

표 1.은 센서노드의 사용채널에 따른 수신된 패킷수와 RSSI를 측정 데이터를 나타내었다. 주파수 offset의 의미는 무선랜의 중심주파수와 센서노드의 사용채널의 중심주파수와와의 주파수 간격을 나타낸다.

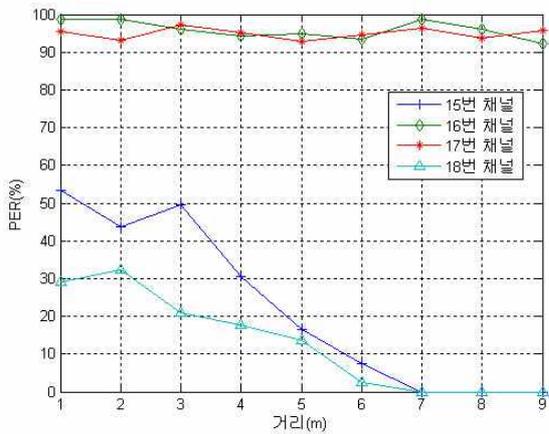
<표 1> 채널별 성공적인 패킷 수신 측정결과

센서노드의 채널 / 주파수 offset	수신 패킷수	RSSI (dBm)
11번 채널 / 27MHz	15000	-41
12번 채널 / 22MHz	15000	-44
13번 채널 / 17MHz	15000	-43
14번 채널 / 12MHz	15000	-44
15번 채널 / 7MHz	6977	-55
16번 채널 / 2MHz	191	-60
17번 채널 / 3MHz	687	-59
18번 채널 / 8MHz	10630	-41
19번 채널 / 13MHz	15000	-42

표 1에서와 같이 주파수 offset이 2MHz일 때 98.7%, 3MHz일 때 95.4%, 7MHz일 때 53.5%, 8MHz일 때 29.1%의 패킷손실이 발생함을 알 수 있다. 따라서 무선랜이 존재하는 환경에서는 무선센서네트워크를 구축 시 무선랜의 중심주파수와 12MHz이상 차이나는 센서노드의 채널을 사용해야만 데이터 손실이 없는 무선센서네트워크 구축이 가능하다..

3.3 노드와 무선랜간의 거리에 따른 성능 측정

그림 5는 수신패킷의 수신에 오류가 있는 경우만을 대상으로 센서노드가 15번, 16번, 17번, 18번 채널을 사용할 때 통신거리에 따른 패킷 수신 성능을 측정 결과를 나타내었다.



<그림 5> 센서노드와 무선랜의 거리에 따른 PER 성능

그림 5에서와 같이 채널 16번과 17번의 경우, 통신 거리와 관계없이 90%이상의 패킷손실이 발생함을 알 수 있다. 또한 15번 채널의 경우 무선랜과 센서노드의 거리가 1~6m일 때 7.45%~53%의 패킷 손실이 발생하며 18번 채널의 경우 2.48%~32.3%의 패킷 손실이 발생한다. 그러나 15번과 18번 채널의 경우 무선랜을 센서노드로부터 7m이상 떨어진 곳에 배치하였을 경우 15,000회 모두 수신하여 패킷손실이 없는 무선센서네트워크의 구축이 가능함을 알 수 있다. 따라서, 주파수 offset이 최소 7MHz이상의 주파수를 사용해야 함을 알 수 있다.

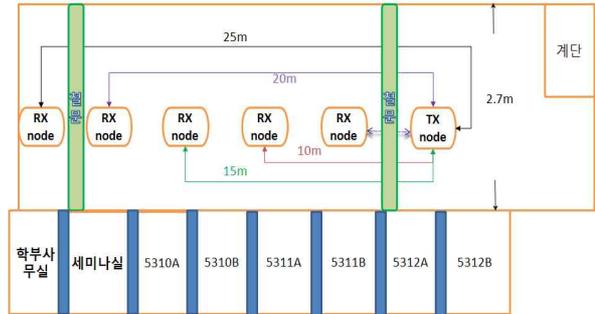
4. 장애물이 있는 실내 환경에서의 성능

실내 환경에 무선센서네트워크를 구축할 경우 건물 내에서 전파를 방해하는 장애물에 대해 고려하여 센서노드를 배치하여야 데이터의 손실을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 실내에서 전파를 방해하는 장애물로 철문, 콘크리트 내벽, 층간, 장애물이 있는 환경인 대구대학교 공과대학 5호관에서 성능을 측정하였다. 성능 측정 시 센서노드의 채널로 11번 채널(2405MHz)을 사용하였으며 20바이트의 패킷크기를 15,000회 전송하여 성능을 측정하였다.

4.1 철문이 있는 경우

그림 6은 철문이 있는 경우 성능을 측정하기 위한

실험 환경으로 공과대학 5호관 3층의 복도에서 실험을 실시하였다. 복도의 양 쪽 벽은 콘크리트로 이루어져 있으며 복도의 폭은 2.7m이고 철문과 철문 사이의 거리는 21m이다.



(a) 건물도면



(b) 송수신기 측정환경

<그림 6> 철문이 있는 실내 환경

철문이 있는 경우에 센서노드의 성능 측정은 철문의 개수, 개폐 여부 및 통신거리를 변화시키면서 성능을 측정하였다.

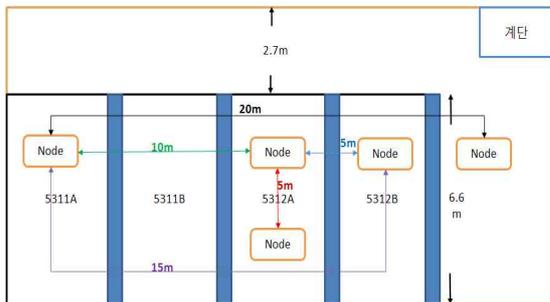
<표 2> 철문이 있는 실내 환경의 측정 결과

거리 / 철문 개폐여부	수신 패킷수	RSSI (dBm)
5m / 첫 번째 철문 open	15000	-64
5m / 첫 번째 철문 close	15000	-80
10m / 첫 번째 철문 close	15000	-84
15m / 첫 번째 철문 close	15000	-88
20m / 첫 번째 철문 close	14559	-92
25m / 두 번째 철문 open	4941	-93
25m / 두 번째 철문 close	0	

표 2에서와 같이 철문 1개를 닫았을 경우에 15m까지는 패킷 손실이 없는 통신이 가능하며 20m이상이 되면 패킷 손실이 발생함을 알 수 있다. 또한 철문 2개 모두 닫혔을 경우 통신이 이루어지지 않음을 알 수 있다.

4.2 콘크리트 내벽이 있는 경우

그림 7은 콘크리트 내벽이 있을 때 성능을 측정하기 위한 환경으로 두께가 0.2m의 콘크리트 구조로 되어있는 내벽으로 둘러 싸인 공과대학 5호관의 3층에 있는 실험실에서 실험을 실시하였다.



(a) 건물도면



(b) 송수신기 측정환경

<그림 7> 콘크리트내벽 실내 환경

콘크리트 내벽에 의한 센서노드의 성능을 측정하기 위하여 콘크리트 내벽이 없을 때와 콘크리트 내벽의 개수를 1개에서 4개까지 1개씩 늘리면서 실험을 진행하였다.

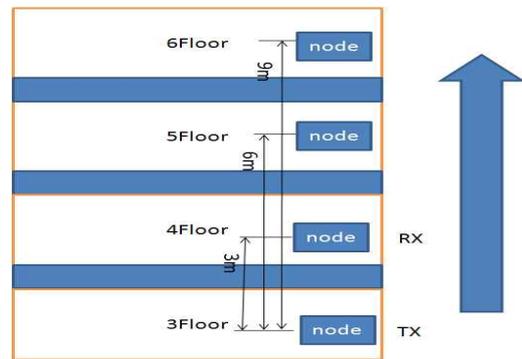
표 3에서와 같이 콘크리트 내벽이 2개 이상이 되면 패킷의 손실이 발생함을 알 수 있고 콘크리트 내벽이 4개 이상이 되면 통신이 불가능함을 알 수 있다.

<표 3> 콘크리트 내벽 실내 환경의 측정 결과

콘크리트 내벽의 수	수신 패킷수	RSSI(dBm)
0개	15000	-57
1개	15000	-62
2개	14683	-79
3개	12215	-88
4개	0	

4.3 다층건물일 경우

다층건물에 무선센서네트워크를 구축할 경우 층간 장애물에 의해 데이터의 손실이 발생할 수 있다. 그림 8은 층간 장애물이 있는 경우 센서노드의 성능을 측정하기 위한 환경으로 공과대학 5호관 3층 ~ 6층의 층간 장애물에 의한 전파 방해가 있는 경우에서 실험을 실시하였다. 층간 장애물의 두께는 약 0.5m로 콘크리트와 수도관, 각종 배선들로 구성되어 있다.



(a) 건물도면



(b) 송수신기 측정환경

<그림 8> 다층건물 실내 환경

층간 장애물에 의한 성능 측정을 위하여 송신기 노드는 3층에 고정하고 3층에 고정시킨 노드와 같은 위치의 4층, 5층, 6층으로 수신기 노드를 이동시키면서 실험을 실시하였다. 표 4에서와 같이 층간 장애물이 2

개 이하인 경우는 패킷의 손실이 없이 통신이 가능하지만 3층에서 6층으로 통신처럼 3개인 경우 통신이 이루어지지 않음을 알 수 있다.

<표 4> 다층건물 실내 환경의 측정 결과

층간 통신	수신 패킷수	RSSI(dBm)
3층 → 4층	15000	-76
3층 → 5층	15000	-87
3층 → 6층	0	



(b) 송수신기 측정환경
<그림 9> 건물 사이 LOS 환경

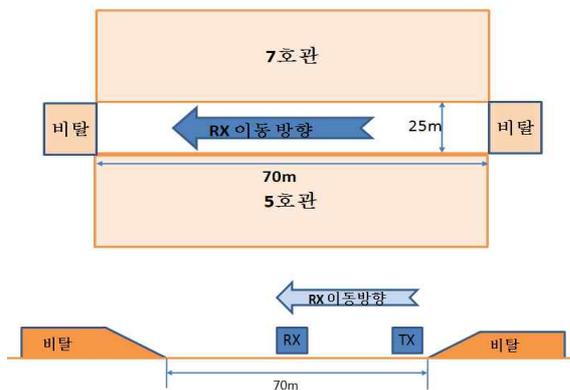
실외 실험에서 거리를 5~70m로 변경하면서 측정 실험을 실시 하였다.

5. 실외 환경에서의 성능

실외 환경에 무선센서네트워크를 구축할 경우 건물 사이에서 전파를 방해하는 장애물 및 통신 거리에 대해 고려하여 센서노드를 배치하여야 데이터의 손실을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 실외에서 전파를 방해하는 장애물이 없는 LOS환경과 건물 및 계단등의 전파를 방해하는 장애물이 있는 NLOS환경로 나뉘서 대구 대학교 공과대학 5호관주변에서 성능을 측정하였다. 성능 측정 시 센서노드의 채널로 11번 채널(2405MHz)을 사용하였으며 20바이트의 패킷크기를 15,000회 전송하여 성능을 측정하였다.

5.1 건물 사이의 LOS 환경

그림 9는 장애물이 없는 경우 센서노드의 성능을 측정하기 위한 환경으로 공과대학 5호관과 7호관 사이에서 실험을 실시하였다.



(a) 건물도면

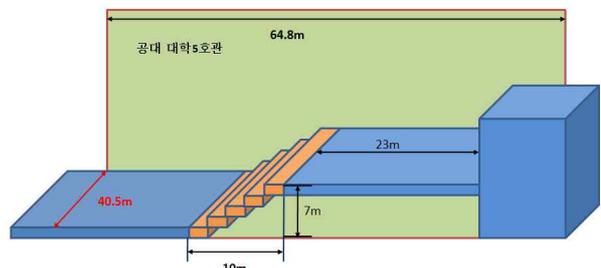
<표 5> 건물 사이 LOS 환경의 측정 결과

통신거리	수신 패킷수	RSSI(dBm)
5m	15000	-68
10m	15000	-68
20m	15000	-75
30m	15000	-75
40m	15000	-76
50m	15000	-77
60m	15000	-79
70m	15000	-81

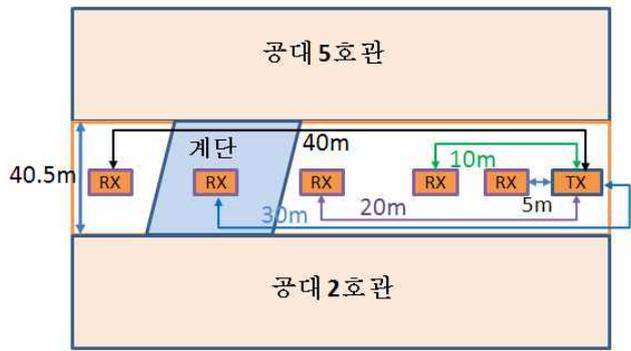
표 5에서와 같이 장애물이 없는 경우에서 통신거리 70m까지 데이터의 손실이 없는 센서네트워크를 구성할 수 있다.

5.2 계단에 의한 NLOS 환경

그림 10은 계단 장애물이 있는 경우 센서노드의 성능을 측정하기 위한 환경으로 공과대학 5호관과 2호관 사이의 계단 장애물에 의한 전파 방애가 있는 경우에서 실험을 실시하였다.



(a) 계단 측면도



(b) 건물도면



(c) 송수신기 측정환경

<그림 10> 계단에 의한 NLOS 환경

계단 없을 때와 계단 있을 때 실험을 진행하였으며 송신노드에서 23m 떨어진 곳에 계단이 위치한다.

<표 6> 계단에 의한 NLOS 환경의 측정 결과

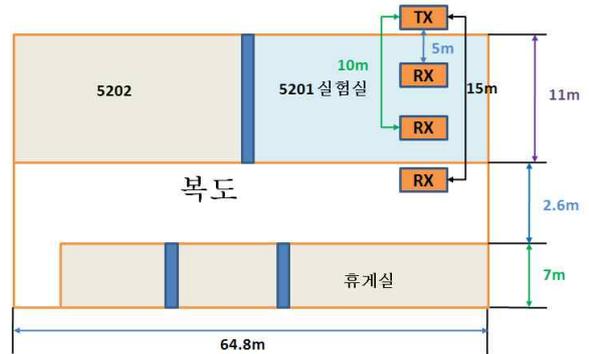
통신거리	수신 패킷수	RSSI(dBm)
5m	15000	-61
10m	15000	-65
20m	15000	-76
30m	228	-89
40m	0	

표 6에서와 같이 송신노드와 수신노드 사이에서 계단이 존재 하고 거리 20m를 넘으면 패킷의 손실이 발생함을 알 수 있고 40m에서는 통신이 불가능함을 알 수 있다.

5.3 건물에 의한 NLOS 환경

그림 11은 건물이 있는 경우 센서노드의 성능을 측

정하기 위한 환경으로 공과대학 5호관에서의 실험환경이다.



(a) 건물도면



(b) 송수신기 측정 환경

<그림 11> 건물에 의한 NLOS 환경

두께가 0.2m의 콘크리트 외벽, 내벽이 있는 경우에 거리를 5-15m로 변화시키면서 성능을 측정하였다.

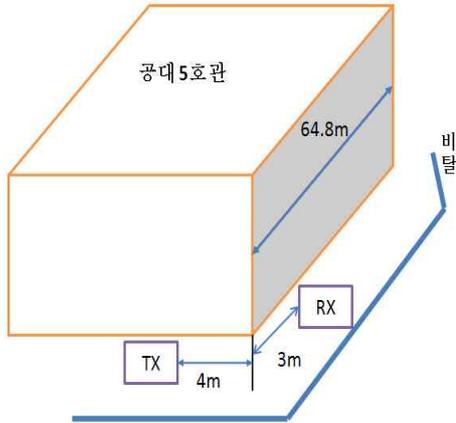
<표 7> 건물에 의한 NLOS 환경의 측정 결과

통신거리	수신 패킷수	RSSI(dBm)
5m	15000	-72
10m	5486	-87
15m	0	

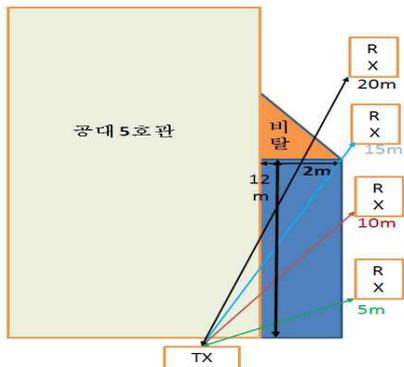
표 7에서와 같이 콘크리트 외벽이 있고 통신 거리 10m 되면 패킷의 손실이 발생함을 알 수 있고 콘크리트 외벽과 내벽 다 있으면 통신이 불가능함을 알 수 있다.

5.4 건물의 모서리에 의한 NLOS 환경

그림 12는 건물의 모서리 장애물에 의한 NLOS 환경에서 센서노드의 성능을 측정하기 위한 환경으로 공과대학 5호관 모서리에서 실험을 실시하였다.



(a) 건물도면



(b) 송신기와 수신기 배치 도면



(c) 송수신기 측정환경

<그림 12> 건물의 모서리에 의한 NLOS 환경

건물의 모서리의 한쪽 면에 송신노드를 배치하고 다른 한 면에 수신노드를 배치하여 노드간의 거리를 5~20m로 변화시키면서 성능을 측정하였다.

<표 8> 건물의 모서리에 의한 NLOS 환경의 측정 결과

통신거리	수신된 패킷수	RSSI(dBm)
5m	15000	-78
10m	15000	-84
15m	252	-89
20m	0	

표 8에서와 같이 15m 이상이 되면 데이터의 손실이 발생하고 20m 이상이면 통신이 불가능함을 할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 2.4GHz의 무선랜(IEEE 802.11b/g)이 있는 환경에서의 센서노드의 성능을 측정하였다. 또한 철문, 콘크리트 내벽, 층간장애물이 있는 다층건물의 실내환경과 LOS환경 및 건물 및 계단에 의한 NLOS 환경의 실외환경에서의 센서노드의 성능을 측정하였다.

2.4GHz의 무선랜이 있는 경우 무선랜의 중심주파수와 주파수 offset이 12MHz 이상이 되어야 데이터의 손실이 없는 통신이 가능하다. 주파수 offset이 7M-8MHz일 때는 7m 이상 무선랜과의 거리를 유지하면 데이터의 손실이 없는 통신이 가능하며 3MHz 이하인 경우는 데이터의 손실이 심각함을 확인하였다.

건물 내부에 철문이 있을 때 철문 1개를 단았을 경우 20m 이상이 되면 데이터의 손실이 발생하므로 20m 이내에 센서노드 1개를 더 배치하는 것이 좋으며 철문이 2개 이상일 경우 통신이 불가능하므로 철문이 2개 이상인 경우 철문 1개 이후에 센서노드를 하나 배치하여야 손실이 없는 무선센서네트워크를 구축할 수 있다. 콘크리트 내벽이 2개 이상인 경우 데이터의 손실이 발생하고 4개 이상인 경우에는 통신이 불가능하므로 콘크리트 내벽 2개 이상인 경우 콘크리트 내벽 1개를 사이에 두고 센서노드를 1개 더 배치하여야 한다. 또한 층간장애물이 3개 이상인 경우 통신이 불가능하므로 3층 이상의 건물에는 층간 장애물 2개 이내

에 센서노드를 배치하여야 데이터의 손실이 없는 무선센서네트워크의 구축이 가능하다.

LOS환경에서는 70m까지 데이터의 손실이 발생하지 않음을 확인하였다. NLOS환경의 경우 계단에 의해 데이터의 손실이 발생하므로 계단을 중심으로 센서노드를 추가 배치해야 한다. 또한 무선센서네트워크를 구축하고있는 곳에 건물이 있는 경우 건물을 통과하여 통신이 불가능하므로 건물 내부에 센서노드를 배치하여야 원활한 통신이 이루어질 수 있다. 센서노드를 건물의 모서리를 사이에 두고 거리가 15m이상이면 데이터의 손실이 발생하고 20m이상이면 통신이 불가능하므로 건물의 모서리를 상이에 두고 통신거리가 10m이상이면 10~15m사이에 센서노드를 하나를 더 배치하여야 데이터의 손실이 없는 무선센서네트워크를 구축할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 최혜원, 유기영, “센서네트워크에서 에너지 보유량을 고려한 라우팅 프로토콜”, 한국산업정보학회논문지, 제13권, 제2호, pp. 28-34, 2008년 6월.

[2] 최영숙, 류정탁, 김경기, 김희철, “센서노드 배터리 충전을 위한 Solar Cell의 완충시간에 대한 연구”, 한국산업정보학회논문지, 제16권, 제1호, pp. 31-36, 2011년 3월.

[3] Babak Azimi-Sadjadi, Daniel. Sexton., Ping Liu, Michael Mahony, “Interference Effect on IEEE 802.15.4 Performance,” 3rd International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2006), IEICE, May 31-Jun. 2, 2006

[4] Soo Young Shin, Hong Seong Park, Wook Hyun Kwon, Mutual interference analysis of IEEE 802.15.4 and Ieee 802.11b”, Computer Networks, Vol 51, No. 12, pp. 3338-3353, 2007

[5] Wei Yuan, Xiangyu Wang and Jean-Paul M. G. Linnartz, “A Coexistence Model of IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11b/g,” 2007 14th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology, pp.1-5, Nov. 15. 2007

[6] 김태환, 김희철, “재구성 가능한 고성능 센서 운영체제를 위한 소프트웨어 아키텍처 설계”, 대한임베디드공학회, 대한임베디드공학회 논문지, 제2권, 제4호, pp. 242-250, 2007년 12월.

[7] 김태환, 남영진, 김희철, “WPAN 기반의 센서네트워크 소프트웨어 플랫폼 기술동향”, 한국정보처리학회, 정보처리학회지, 제16권, 제3호, pp. 72-82, 2009년 5월.



적 학 초 (Xuechao Di)

- 정회원
- 2008년 8월 : 대구대학교 정보통신공학부 (공학사)
- 2010년6월 : 대구대학교 정보통신공학과 석사
- 관심분야 : 무선센서네트워크



문 병 현 (Byung-Hyun Moon)

- 정회원
- 1985년 6월 : Southern of Illinois University 전자공학과 (공학사)
- 1987년 6월 : University of Illinois (Urbara-Campaign) 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 12월 : Southern Methodist University 전자공학과 (공학박사)
- 1991년 9월~현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수
- 관심분야 : 통신이론, 무선통신

논문접수일 : 2011년 08월 04일
 1차수정완료일 : 2011년 09월 02일
 2차수정완료일 : 2011년 11월 30일
 게재확정일 : 2011년 12월 10일