

지그비 모듈에서 송신기 출력 신호 세기에 따른 수신기 LQI의 신뢰도 특성 분석

Analysis of the Rx LQI Reliability upon the Output Power Level of Tx in Zigbee Module

손병희*, 김광진*, 서정태*, 권영빈**, 박재화**, 박호현*, 이정우*, 최영완**

Byung-Hee Son, Kwang-Jin Kim, Jung-Tae Seo, Young-Bin Kwon, Jae-Hwa Park, Ho-Hyun Park, Jung-Woo Lee, Young-Wan Choi

Abstract

IEEE 802.15.4에서 채널 간 충돌을 회피하기 위해 제안된 CSMA/CA 알고리즘은 수신되는 신호의 상관관계를 나타내는 지표인 LQI (Link Quality Indicator) 값과 수신되는 신호의 크기를 나타내는 지표인 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 값을 이용한다. 지그비 모듈에서 측정되는 LQI 값은 수신되는 신호의 크기에 따라 변화하는데, 그 상관관계가 매우 부정확한 문제가 있어 왔다. 본 논문에서는 CC2430과 CC2591을 이용해 제작된 지그비 모듈을 기반으로 수신 신호의 크기와 LQI 값을 실험적으로 측정하여 RSSI 값에 따른 LQI 값의 상관관계를 분석하였다.

Keywords : IEEE 802.15.4, LQI, RSSI, CSMA/CA, WPAN

I. 서 론

WPAN은 개인이 사용하는 휴대 가능한 장치에 주로 사용된다. 휴대성의 특징을 가지고 제한된 환경에서 배터리를 이용해 동작하므로 시스템을 최대한 오래 유지하기 위해 기존의 무선 네트워크보다 더 작은 평균 전력 소모로 동작해야 한다. 전력 소모를 줄이기 위해서는 채널 간의 충돌을 가급적 회피해야 하는데, 이는 채널 간 잦은 충돌이 데이터 재전송의 원인이 되며 이로 인한 에너지 소비는 전체 네트워크의 수명을 감소시키기 때문이다. 이를 위해 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 같은 기법을 채택한다. CSMA/CA 알고리즘은 수신되는 신호의 크기를 나타내는 지표인 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 값과 수신되는 신호의 상관관계를 나타내는 지표인 LQI (Link Quality Indicator) 값을 지표로 이용한다. RSSI 혹은 LQI가 일정 기준 수치 이하로 감소한다면 그 데이터는 정확하지 않은 데이터가 될 수 있고, 이러한 값들이 쌓이게 되면 네트워크 전체의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. LQI와 RSSI 값을 이용하여 노드 간 무선 링크 품질을 정확히 모니터링 하고 제어 할 수 있다면 이는 신뢰성과 에너지 효율성을 동시에 향상시킬 수 있는 방안으로 활용 될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 네트워크의 신뢰도를 향상시키기 위한

방안으로 Texas Instrument사의 CC2430과 CC2591을 기반으로 지그비 모듈을 제작하여 실험적으로 RSSI와 LQI 값의 변화를 분석하여 두 파라미터 간의 상관관계를 도출하였다.

II. 이론 연구

1. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI는 수신단의 신호 세기를 뜻하며 일반적으로 아래와 같이 주어진다.

$$RSSI = - (10n \log_{10} d + A) \tag{1}$$

n : signal propagation constant

d : distance from sender

A : received signal strength at one meter

위의 식은 기존의 Friis' equation에 근거하여, 많은 실험적 검증과정을 거친 수식이다. 이론적으로 본다면 RSSI는 신호전달 상수 혹은 거리가 증가함에 따라 감소한다.

위의 그림 1이 보이는 바와 같이 이론적으로 계산한

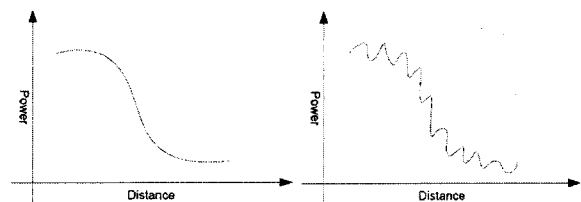


그림 1. 이론치와 측정된 RSSI
Fig. 1. Theoretically vs. measured RSSI

접수일자 : 2009년 8월 12일
최종완료 : 2009년 8월 14일
*중앙대학교 전자전기공학부
교신저자, E-mail : ychoi@cau.ac.kr
**중앙대학교 컴퓨터공학부

RSSI 값과 측정된 RSSI 값은 차이를 보인다. 이는 실제 상황에서는 주변 환경의 영향을 받아 수신되는 신호의 세기가 변하기 때문이다. 영향력은 복잡한 공간일수록, 그리고 실내일수록 더욱 심하게 흔들리게 된다. 주변 사물과 환경에 의한 반사와 회절, 굴절 등의 페이딩 현상으로 인해 실제 계산된 값보다 더욱 크게, 혹은 작게 수신되게 된다.

2. Link Quality Indicator (LQI)

LQI는 전달 받은 패킷의 신호 세기나 품질을 나타낸다. 이것은 수신자의 신호세기 측정 모듈을 사용하여 측정된 신호 세기 또는 신호세기 대 잡음의 비율로 결정된다. LQI는 각 수신 패킷마다 측정되며 일반적으로 0 ~ 255까지의 값을 갖게 된다. 수신단에 측정된 RSSI 값은 MAC단에서의 LQI 값을 생성하는데 사용된다. 하지만 RSSI 값을 바로 적용하여 LQI 값을 구하게 되면 상황에 따라 LQI 값의 신뢰도를 확보하지 못하는 경우가 발생될 수 있다. 대표적인 예로 채널 대역폭이 좁은 구간에서의 간섭이 심하게 일어날 경우 실질적인 링크품질이 열화되어도 LQI 값은 증가하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 식을 적용하여 LQI의 범위를 50 ~ 110 까지 정의하였다.

$$LQI = (CORR - a) \cdot b \quad (2)$$

위에서 CORR은 송수신된 32 sequence 값의 상관관계 (correlation) 값을 바탕으로 구해지는 값이며, a와 b는 PER 측정에 의해 구해진 CORR 값에 따라 정해지는 parameter이다. 그리고 IEEE 802.15.4에서 권고하는 있는 1% 미만의 PER을 만족시키기 위해서는 LQI 값이 100 이상으로 유지되어야 하며, 그 이하의 값이 수신될 경우는 오류가 발생할 가능성이 커 신뢰도가 매우 떨어지는 데이터가 된다.

III. 실험 결과

본 논문에서는 TI사의 CC2430 chipset을 사용하였고, 그 비를 이용하여 보다 넓은 공간에서 통신이 가능하게 하기 위해 Pre-LNA와 Power Amplifier를 포함하고 있는 CC2591을 부착한 모듈을 사용하였다. 안테나의 이득은 3 dBi의 dipole 안테나를 이용하였으며 국내 EIRP 기준이 10 dBm이므로 최대출력 신호를 7 dBm으로 하였다. 본 모듈의 sensitivity는 -91 dBm이다. 송신부와 수신부의 높이는

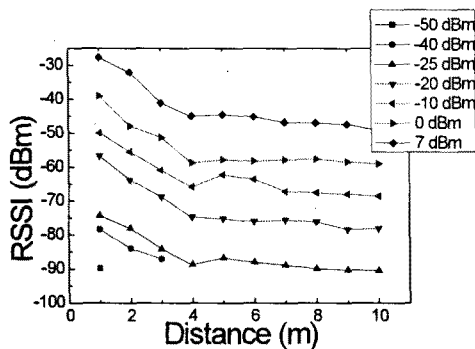


그림 2. 거리증가에 따른 전력별 RSSI
Fig. 2. Distance vs. RSSI for each powers

각각 지면으로부터 1 m로 설정하였다.

1. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

그림 2는 출력신호의 세기를 바꾸어 가며 각 거리마다 50번의 샘플을 취해 평균값을 낸 결과이다.

TI사에서 제공하는 수신 감도인 -91 dBm 이하로 가는 신호는 수신하지 못하고 있다. 4 m까지는 RSSI가 선형적으로 감소하였으며 그 이후는 평평한 모습이다. 출력 신호의 세기가 떨어지면 수신단의 RSSI 값이 큰 폭으로 떨어졌다. -50 dBm 같은 경우 1 m에서만 신호가 검출되고, -40 dBm의 경우는 3 m까지 신호가 수신되었다.

2. Link Quality Indicator (LQI)

LQI 값을 검출하는 실험 또한 RSSI 값을 검출하는 방식과 동일한 환경으로 진행하였다.

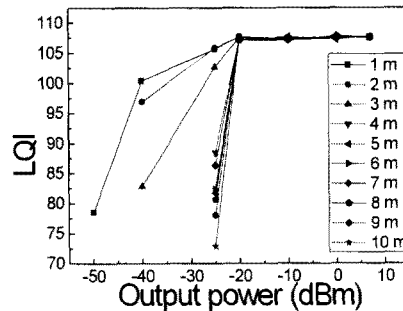


그림 3. 출력신호 세기에 따른 거리별 LQI
Fig. 3. Output power vs. LQI for each distances

그림 3은 그림 2와는 다르게 각 출력신호 세기 별로 LQI가 떨어지는 값을 확인 할 수 있도록 그렸다. -20 dBm 이상의 신호에서는 LQI 값이 105 이상을 유지하고 있지만 -25 dBm 이하에서는 LQI 값이 급격히 감소하고 있다. -50 dBm에서는 하나의 데이터만 존재한다는 것은 전송거리가 1 m인 경우에만 LQI가 검출 되었고 나머지 거리에서는 LQI를 측정 할 수 없었다는 것은 수신측에서 받은 신호의 세기가 매우 미약하여 그 값조차 읽지 못하였다는 것이다.

3. RSSI vs. LQI

본 실험에서 측정한 값 중에 거리에 따라 LQI 값이 증

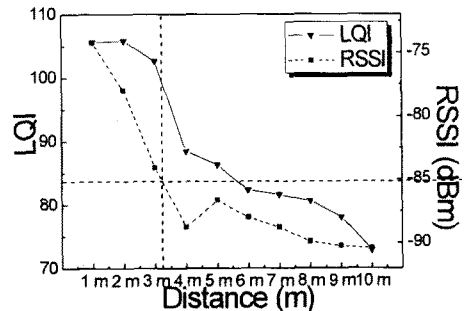


그림 4. RSSI와 LQI값 비교
Fig. 4. RSSI vs. LQI

분히 변화하는 출력신호 세기는 -25 dBm이었다. 출력 신호를 이용하여 LQI와 RSSI를 비교해 보았다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 LQI 값이 100이하로 떨어지는 지점은 3 m를 조금 넘는 지점인데, 그 곳에서의 RSSI 값은 -85 dBm 이하로 떨어지는 곳이다. RSSI가 -85 dBm 이하가 되면 LQI 값이 급격히 감소하게 되어 PER이 높아지게 되고 그 신호는 신뢰성을 잃게 된다. 실제 sensitivity는 -91 dBm이지만 RSSI가 그 수치가 되기 전에 이미 LQI가 감소하는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

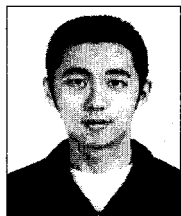
본 논문에서는 최근 여러 곳에 사용되고 있는 WPAN에서 통신의 신뢰도를 향상시키기 위해 측정 기준이 되는 RSSI와 LQI 값에 대해 측정해 보았다. 일반적으로 제시되는 sensitivity인 -91 dBm보다 높은 -85 dBm에서 그 이하로 RSSI 값이 떨어지게 되면 LQI 값도 100 이하로 떨어지게 되어 통신의 신뢰도가 급격히 열화됨을 실험적으로 확인하였다. 이러한 결과는 수신단에서 받은 신호가 실제로 잡음이 섞인 신호인지, 혹은 신뢰할 만한 신호인지 파악하는데 매우 중요하게 활용 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 서울시산학연사업(10544), 지식경제부 출연금으로 ETRI, 시스템 반도체진흥센터에서 수행한 IT SoC핵심설계인력양성사업, 중소기업청이 주관하는 산학연 공동기술개발 지원사업의 지원을 받아 연구되었음

[참고 문헌]

- [1] CC2430 Data Sheet
- [2] Ralf Grossmann, Jan Blumenthal, Frank Golasowski and Dirk Timmermann, "Localization in Zigbee-based Sensor Networks".
- [3] CC2431 Location Engine Data Sheet
- [4] Cao Zhichao, Athanasios Floros and Sun Tao, "Online Water Monitoring Using Wireless Sensor Networks Communication System Design." WaterWell CSD Fall 2008.



손 병 회

2009년 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2009년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 대학원 석사과정
<관심분야> 센서 네트워크, 무선통신시스템



김 광 진

2007년 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2009년 중앙대학교 전자전기공학부 석사
2009년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 무선 측위, 아날로그 CMOS 회로, 광 바이오 시스템, 무선통신시스템



서 정 태

2009년 중앙대학교 전자전기공학부 학사
2009년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 대학원 석사과정
<관심분야> 무선통신시스템, USN



권 영 빈

1978년 아주대학교 전자공학과 학사
1981년 한국과학기술원 석사
1986년 프랑스 파리 ENST 박사
2003~2006년 중앙대학교 정보통신 연구원장, 정보대학원장, 정보처장, 전산원장
1995~현재 국제 패턴 인식 학회(IAPR) 이사
1986~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 패턴인식, 생체인식, RFID 국제 표준화



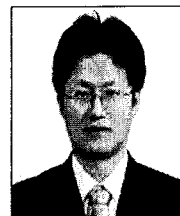
박 재 화

1989년 한양대학교 전자공학과 학사
1991년 한양대학교 전자공학과 석사
2000년 버팔로 뉴욕주립대 전기공학과 박사
1995년~2000년 Research Scientist CEDAR SU NY at Buffalo
2001년~2003년 Software Engineer Motorola
2003년~현재 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학부 부교수
<관심분야> 패턴인식, 휴먼인터페이스



박 호 현

1987년 서울대학교 계산통계학과 학사
1995년 한국과학기술원 컴퓨터공학과 석사
2001년 한국과학기술원 전산학과 박사
1987년~2003년 삼성전자 수석연구원
2003년~2007년 중앙대학교 조교수
2007~현재 중앙대학교 부교수
<관심분야> 멀티미디어 스트리밍, 멀티미디어, 정보검색, 시공간 데이터베이스, USN



이 정 우

1994년 서울대학교 전기공학과 학사
1996년 서울대학교 전기공학과 석사
2003년 University of Illinois at Urbana-Champaign Ph.D. in Electrical Engineering
2003년~2004년 University of Illinois at Urbana-Champaign Research Associate
2004년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 통신시스템, 오류정정부호, 정보이론, 무선통신, 신호처리



최 영 완

1985년 서강대학교 전자공학과 학사
1987년 버팔로 뉴욕주립대 전기및컴퓨터공학과 석사
1992년 버팔로 뉴욕주립대 전기및컴퓨터공학과 박사
1992~1995 한국 전자 통신 연구원 선임연구원
1995~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
<관심분야> 광전자, 광통신, 회로시스템, Microwave-Photonics, USN