

# IEEE 802.15.4 무선 PAN에서 링크 품질에 기반을 둔 Transmission Power Control 알고리즘

## Transmission Power Control algorithm based link quality indicator at IEEE 802.15.4 wireless personal area network

서정태\*, 김광진\*, 손병희\*, 권영빈\*\*, 박재화\*\*, 박호현\*, 이정우\*, 최영완\*\*\*  
Jung-Tae Seo, Kwang-Jin Kim, Byung-Hee Son, Young-Bin Kwon, Jae-Hwa Park,  
Ho-Hyun Park, Jung-Woo Lee, Young-Wan Choi

### Abstract

IEEE 802.15.4 기반의 무선 PAN(WPAN: Wireless Personal Area Network)환경에서 기존에 제안된 전송 전력 제어(TPC: Transmission Power Control) 알고리즘은 수신 신호의 세기를 기반으로 반복 전송을 통하여 적합한 최소 전송 전력을 결정하는 방법으로 진행되어 왔다. 이러한 방법은 통신 채널의 변화가 잦은 지역에서는 재전송률이 높아지고 전송 품질이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.4에서 제공하는 링크 품질 지표(LQI: Link quality indicator)값을 바탕으로 최소 전송 전력을 결정하여 재전송률을 줄이고, 통신 채널 변화에 보다 능동적으로 대응할 수 있는 새로운 전송 전력 제어 방법을 제안하고자 한다.

**Keywords** : IEEE 802.15.4, WPAN, TPC, RSSI, LQI

### I. 서론

무선 네트워크를 구성하는데 있어서 무선 노드들의 전원용량은 한정되어 있기 때문에 각 노드들의 소모 전력량은 매우 중요한 고려대상이 되며, 그에 따라 최근의 무선 네트워크에서 노드들의 소모 전력량을 줄이는 방법들이 연구되고 있다. 이러한 소모 전력량을 줄이는 기술 중 전송 전력 제어(TPC: Transmission Power Control)는 노드간 데이터 전송 시 사용되는 전력량을 최소한으로 줄이는 기법으로써, 무선 노드들의 위치에 따라 유동적으로 전송 전력을 제어하게 되어 불필요한 전송 전력을 절약할 수 있는 방법이다. 또한 TPC는 추가적인 하드웨어를 필요로 하지 않으며, 간단하게 소프트웨어적으로 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 전송 전력을 낮추는 과정에 있어서 무선 노드들의 주변 환경의 변화에 따라 신호의 손실이 생기는 문제점을 가지고 있다[1-2].

본 논문에서는 TPC 알고리즘으로 IEEE 802.15.4 표준의 수신신호세기(RSSI: Received Signal Strength Indicator)값과 링크 품질 지표(LQI: Link Quality Indicator)값을 기반으로 이론적 모델과 폐루프(close-loop)방식의 제어방식을 이용하는 새로운 전송 전력 제어 알고리즘을 제안하고 있다. 본 알고리즘은 전송 전력 제어를 위해 추가적인 데이터 전송 없이 IEEE 802.15.4에서 제공하는 LQI 값을

바탕으로 PER (packet error rate)이 1% 이내를 만족하는 최소의 전송 전력을 선택하고 있다. 따라서 매 신호 전송 시마다 채널의 상태를 측정하여 전력을 이론적 모델을 계산하여 전송 전력 제어를 하게 되므로, 수신신호의 손실을 줄이면서 전송 시 필요한 최적의 전력을 빠르게 결정할 수 있는 장점이 있다[3].

### II. 제안된 알고리즘

제안하는 TPC 알고리즘은 기존의 방법에서 사용되어온 RSSI 기반의 log-distance path loss model을 통한 거시적 전송 전력 제어와 IEEE 802.15.4 표준에서 제공하는 LQI 값을 이용한 미시적 전송 전력 제어를 통하여 최적 전력을 결정한다.

#### 1. Log-distance path loss model

노드간 신호세기 감소량은 Log-distance path loss model을 통하여 식(1)같이 구할 수 있다.

$$P_{loss} = 10n \log_{10} \frac{d}{d_0} \quad (1)$$

$n$ 은 환경변수,  $d$ 는 노드간 거리를 나타낸다.

이러한 신호세기 감소량은 환경변수  $n$ 값과 거리  $d$ 에 의해 결정된다. 먼저 무선네트워크가 이루어지는 환경의 변화가 없다고 가정하면, 노드간 신호세기 감소량은 노드간 거리에 따라 일정한 값으로 결정되게 된다. 이를 이용하면, 식(2)를 통해 수신노드가 수신할 수 있는 최소의 신호세기에 맞추어 전송노드에서 전송 전력을 결정할 수 있다[4].

접수일자 : 2009년 8월 14일

최종완료 : 2009년 8월 14일

\*중앙대학교 전자전기공학부

\*\*중앙대학교 컴퓨터공학부

\*\*\*중앙대학교 전자전기공학부, 책임저자

$$P_{RX} = P_{TX\_old} - P_{loss}$$

$$P_{TX\_next} = RSS_{sensitivity} + P_{loss} \quad (2)$$

그러나 IEEE 802.15.4에서 권고하는 1% 미만의 PER 을 만족하는 sensitivity는 고정된 값이 아닌 주변 환경에 따라서 변화한다. 또한 식(1)에서 알 수 있듯이 노드간의 신호 세기 감소량 역시 환경에 따라 변화하는 값이므로 전송 전력을 결정할 때 이러한 점을 고려하여야 한다. 따라서 수신 신호의 PER을 측정할 수 있으면, 이를 통해 환경의 변화에 강인한 신뢰성 높은 전송 전력 제어를 할 수 있게 된다.

### 2. Link Quality Indicator

IEEE 802.15.4에서는 보다 효율적인 전송을 위해 채널의 상태를 판단하기 위한 지표로 LQI 를 표준에 제공하고 있다. LQI 값은 두 가지 형태로 표현될 수 있는데 하나는 RSSI 값을 바탕으로 0 ~ 255 사이의 값으로 변화시켜 채널의 신호세기감소량을 보여주는 형태와, 다른 하나는 미리 알려진 32 sequence 값과 수신된 32 sequence 값과의 상관관계 값을 바탕으로 수신된 신호의 손실 정도를 볼 수 있는 형태로 나누어진다.

본 논문에서는 상관관계에 의한 두 번째의 LQI 형태를 사용하고 있으며, 이 값을 CER (Chip Error Rate)로 활용한다. 이는 샘플링 구간이 짧은 PER 로 고려될 수 있다. 이러한 LQI 값은 50 ~ 110 사이의 값을 가지며, 그림 1에 실험을 통한 LQI값과 PER과의 관계를 나타내었다.[5]

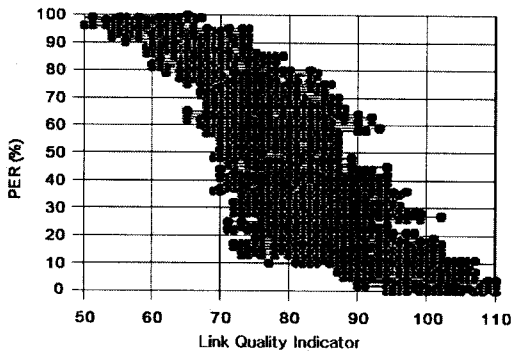


그림 1. LQI 값과 PER과의 관계  
Fig 1. Link quality indicator versus packet error rate

그림 1의 결과를 통해 PER을 1%를 만족하는 LQI 임계 값을 실험적으로 선택 할 수 있으며, 결정된 LQI 임계값을 통해 수신된 신호의 PER 값을 근사적으로 유추할 수 있는 지표로 활용할 수 있다.

### 3. Transmission Power Control 알고리즘

앞서 언급한 log-distance path loss model과 LQI 값을 바탕으로 전송 전력 제어 알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘은 노드간 path loss를 RSSI 값을 통해 계산하여, 기본 sensitivity를 바탕으로 전송 전력을 첫 단계에서 결정하게 되고, 수신된 LQI 값을 바탕으로 환경에 따른 sensitivity의 변화를 고려하여 PER 1%를 만족하는 전송 전력을 결정하는 두 단계의 폐루프 방법으로 이루어져 있다.

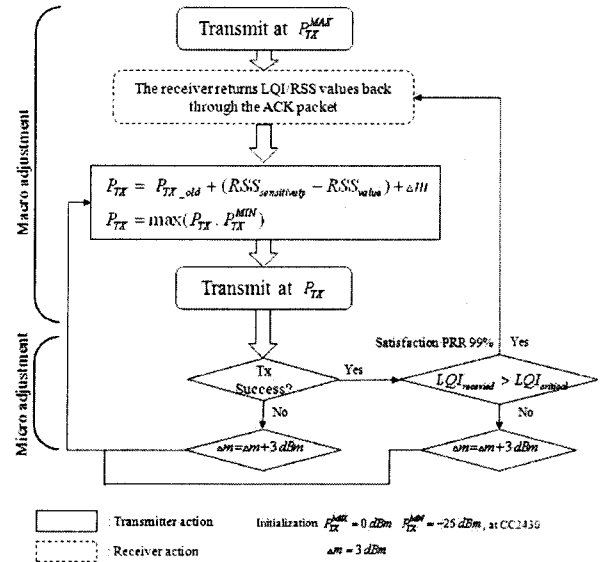


그림 2. 제안된 전송 전력 제어 알고리즘  
Fig 2. Propose Transmission Power Control algorithm

### III. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 IEEE 802.15.4 표준의 네트워크에 적용하여 그 성능을 측정하였다. 실험에는 Texas Instruments사의 CC2430EM을 사용하였다. CC2430은 최대 0 dBm에서 최소 -26 dBm까지 전송 전력을 제어할 수 있다. 실험은 그림3과 같이 진행하였으며, 전송노드와 수신노드의 거리를 일정거리 이상 위치한 상태에서 전송노드와 수신노드의 거리를 약 40 m부터 120 m 정도까지 변동시키면서 RSSI, LQI 값과 전송노드의 전송 전력의 세기를 측정하였다. 본 실험에서 LQI의 임계값은 그림1의 데이터를 바탕으로 100으로 설정하였으며, 기본 sensitivity

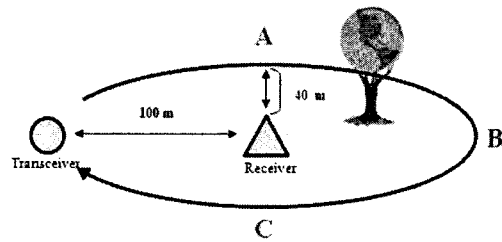


그림 3. 실험 시나리오  
Fig 3. Experiment scenario

는 -90 dBm으로 설정하여 실험을 진행하였다[6].

그림4, 그림5 그리고 그림6에 각각 RSSI 값의 변화, 전송 전력의 변화, LQI의 측정값을 그래프로 나타내었다.

측정결과 노드간 거리가 멀어지는 B지점에서는 최대 전력으로 전송하며, 거리가 가까운 A, C 지점에서는 전송 전력이 줄어드는 모습을 볼 수 있다. 또한 A지점과 B지점 사이에서 나무로 인한 채널 환경의 변화에도 빠르게 전송 전력을 변화시키는 모습을 볼 수 있다. LQI 값 역시 임계값으로 설정해 놓은 100 이상에서 유지되고 있으므로, 노드간 PER이 1%를 근사적으로 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 TPC 알고리즘을 통해 실험된 실외 환경에서 전송 시 전력 소모량을 약 35% 줄일 수 있음을 알 수 있다.

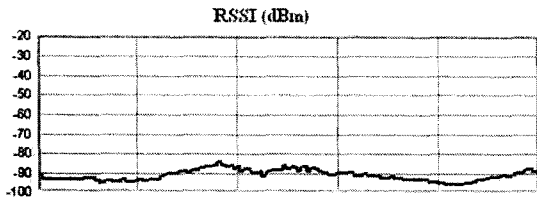


그림 4. 수신측 수신 세기 변화  
Fig 4. Variation received signal strength each nodes

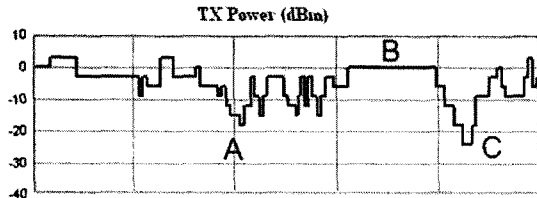


그림 5. 전송측 전송 전력 변화  
Fig 5. Variation Transmit power each nodes

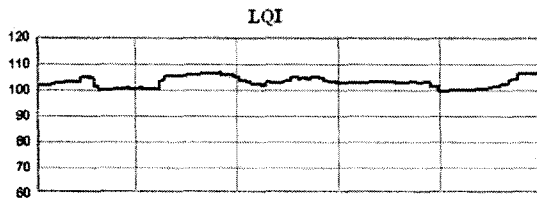


그림 6. 노드간 링크 품질 지표 변화  
Fig 6. Variation LQI value each nodes

#### IV. 결 론

본 논문에서는 새로운 방식의 TPC 알고리즘을 제안하고 그 성능을 실험을 통하여 살펴보았다. 제안된 알고리즘은 log-distance path loss model에 기반을 두어 전송 전력을 제어하며, 그에 따른 전송 품질의 저하 없이 PER 1%를 만족시키기 위해 IEEE 802.15.4 표준에서 제공하는 링크 품질 지표를 활용하는 것이다. 제안된 알고리즘은 실험을 통해 검증되었으며, 주변 환경의 변화에 따라 빠르게 전송 전력을 조절하여, 그에 따라 전력 소모를 최소화함을 확인할 수 있다.

#### 감사의 글

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

#### [ 참고 문헌 ]

[1] D. Son, B. Krishnamachari, and J. Heidemann, "Experimental Study of The Effect of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks," *Proc. SECON*, pp.289-298, Oct. 2004.  
[2] I. Khemapech, A. Miller and I. Duncan, "A Survey

of Transmission Power Control in Wireless Sensor Networks"

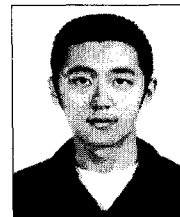
[3] IEEE 802.15.4, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Oct. 2003.  
[4] Tapan K. Sarkar, Zhong Ji, Kyungjung Kim, Abdellatif Medouri and Magdalena Salazar-Palma, "A Survey of Various Propagation Models for mobile Communication," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*  
[5] K. Srinivasan and P. Levis, "RSSI is under appreciated," *Proc. Em-Nets, Cambridge, USA*, May 2006.  
[6] CC2430 2.4GHz IEEE 802.15.4/Zigbee RF Transceiver <http://www.ti.com>



**서 정 태**  
2009년 중앙대학교 전자전기공학부 학사  
2009년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 대학원 석사과정  
<관심분야> 무선통신시스템, USN



**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



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



**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



**박재화**

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



**박호현**

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



**이정우**

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



**최영완**

1985년 서강대학교 전자공학과 학사  
1987년 버팔로 뉴욕주립대 전기 및 컴퓨터공학과 석사  
1992년 버팔로 뉴욕주립대 전기 및 컴퓨터공학과 박사  
1992~1995 한국 전자 통신 연구원 선임연구원

1995~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

<관심분야> 광전자, 광통신 회로시스템, Microwave-Photonics, USN 등