

# 무선 센서 네트워크를 위한 온도인지형 전송파워 제어 기법

## (T2PC: Temperature-aware Transmission Power Control Scheme for Wireless Sensor Networks)

이 정 욱<sup>†</sup>      정 광 수<sup>\*\*</sup>  
(Jungwook Lee)      (Kwangsue Chung)

**요 약** 센서 노드는 사막, 도시, 데이터 센터등과 같이 온도의 변화가 심한 환경에 설치될 수 있다. 특히 온도가 증가하게 되면 설정한 파워에 비해 출력되는 파워가 감소되기 때문에 RSSI와 같은 링크 품질의 저하를 초래하며, 패킷 손실이 발생할 수 있다. 무선 환경에서 온도의 변화를 보상하기 위한 노드간에 링크 품질의 변화를 파악하고 일련의 피드백 과정을 통하여 전송파워 제어하는 기존의 방법이 있으나, 추가적인 제어 패킷들이 많이 발생하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 온도 변화에 따른 링크품질의 유지를 위하여 T2PC(Temperature-aware Transmission Power Control)를 제안하였다. T2PC는 각 노드에서 자체적으로 얻을 수 있는 온도정보를 이용하여 전송파워를 제어함으로써 감소된 링크 품질을 보상하도록 하였다. 또한 기존의 피드백을 이용한 전송파워 제어 기법보다 적은 컨트롤 패킷으로 패킷 수신율을 향상시켰다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 온도, RSSI, 전송파워 제어

**Abstract** The sensor nodes can be installed in the environment in which the temperature change is considerable, such as desert, urban, and data center. Particularly, because the output power becomes less than the targeted power if a temperature is increasing, link quality is degraded and packet losses are occurred. In order to compensate the temperature changes, existing schemes detect the change of the link quality between nodes and control transmission power through a series of feedback process. However, these approaches can cause heavy overhead by additional control packets.

In this paper, we propose the T2PC(Temperature-aware Transmission Power Control) to keep up the link quality despite temperature variation. At each node, T2PC compensates the attenuated link quality by controlling the transmission power based on the local temperature measurement. In addition, the packet reception ratio can be improved with less control packets than ones required in existing transmission power control methods based on the feedback control.

Key words : Wireless Sensor Networks, Temperature, RSSI, Transmission Power Control

· 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장동력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다[2008-S-041-01, u-City용 센서네트워크 PHY/MAC 개발]. 연구비 지원에 감사드립니다.

† 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과  
jwlee@adams.kw.ac.kr

\*\* 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수  
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2010년 3월 18일

심사완료 : 2010년 7월 25일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제37권 제5호(2010. 10)

## 1. 서론

센서 노드는 온도의 격차가 심한 환경에 설치될 수 있으며, 온도의 증가에 따라 링크 품질의 지표인 RSSI가 감소되고, 그로 인해 노드간의 연결성이 저하될 수 있다[1]. 예를 들어 센서 네트워크를 통하여 사막에 설치된 송유관 파이프의 결함을 감지하는 응용에서는 밤낮의 일교차가 심하게 일어나며, 마찬가지로 아스팔트와 빌딩들이 밀집된 도시에 설치될 경우에는 여름철 열섬 현상으로 인하여 온도변화가 극심할 수 있다. 이외에 실내환경에서도 데이터 센터의 HAVC(Heating, Ventilating, and Air Conditioning)와 같이 다수의 서버가 열을 발생시켜 온도 변화에 따른 링크 품질의 변화를 초

래할 수 있다. 이와 같은 온도 변화를 보상 하기 위해 상용전원이 공급되는 중계기는 합제 내부에 열 보상장치를 구비하여 적정온도를 유지할 수 있다. 하지만 배터리로 동작하는 센서 노드에서는 이러한 장치들이 큰 오버헤드가 될 수 있기 때문에 새로운 온도 보상 기법이 필요하다.

본 논문에서는 전송파워 제어를 통하여 신뢰성과 네트워크의 생존시간을 증가하고자 하였으며, 온도의 변화에 적용하는 새로운 T2PC기법을 제안하였다. 제안한 T2PC는 온도에 변화에 따른 링크 품질 보상을 위하여 각 노드가 감지된 온도 센서의 정보를 이용하여 링크 품질의 변화를 예측하여 전송파워를 제어하고 추가적인 제어 패킷을 통하여 최적의 전송파워를 유지하고자 하였다. 이를 통하여 온도가 변화하는 환경에서 민감하게 대처하여 손실을 줄이고자 하였으며, 노드 간의 제어 패킷을 줄여 에너지 소모를 줄이고자 하였다. 실험을 통하여 온도가 변화하는 상황에서 적은 제어 패킷으로 전송파워를 제어하여 신뢰성을 유지하는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 전송파워 제어 기법들에 대하여 설명하고, 3장에서는 전송파워 제어 변수의 모델링과 제안하는 T2PC의 기법에 대하여 살펴볼 것이며, 4장에서는 본 논문에서 제안한 T2PC와 기존에 제안된 전송파워 제어 기법들과의 성능 비교를 통하여 신뢰성 및 제어 패킷에 대한 에너지 효율성을 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

## 2. 관련 연구

데이터의 효율적인 송신을 위한 기존의 전송파워 제어 기술들은 링크의 신뢰성을 유지하는 최소의 전송파워를 설정하고 불필요하게 사용되는 에너지 소모를 줄이고자 하였으며 노드들간의 간섭을 방지하고자 하였다. 전송파워를 제어하기 위해 기존 노드는 주기적인 비컨 메시지를 브로드캐스팅하고 상대 노드들은 수신여부를 기존 노드에게 ACK하여 연결성을 파악할 수 있도록 한다.

LMA(Local Mean Algorithm)[2]기법은 LifeMsg를 통하여 상대 노드들에게 브로드캐스팅을 하고 이를 수신한 노드들은 LifeAckMsg를 기존 노드에게 전달한다. 기존 노드는 LifeAckMsg의 수를 파악하고 적절한 연결성을 보장하기 위하여 전송파워를 제어한다. 예컨대 수신 받은 LifeAckMsg의 수가 설정한 이웃 노드의 최소 한계값인 NodeMinThresh보다 적으면 전송파워를 증가하여 적절한 연결성을 유지하도록 하였고, 반대로 최대 한계값인 NodeMaxThresh보다 크면 전송파워를 감소하여 에너지 소모를 줄여 네트워크의 생존시간을 증가시키고자 하였다. 하지만 네트워크에서 원천적으로

연결성을 개선할 수 없는 외곽에 위치한 노드의 경우 전송파워 제어를 통하여 한계값의 범위 안에 도달할 수 없다. LMN(Local Mean of Neighbor algorithm)[2]에서는 자신과 연결된 이웃 노드의 수를 LifeAckMsg를 이용하여 전송하고 전송파워를 제어함으로써 선천적으로 연결성이 적은 노드의 전송파워 제어를 효율적으로 할 수 있었다. 하지만 LMA와 LMN기법은 이웃 노드를 판별하는 기준으로 삼는 LifeAckMsg가 노드간의 연결성만을 보장하기 때문에 링크의 품질을 파악할 수 없다 [3-5]. 결국 링크의 수신율의 변화가 심각한 Transitional Region[6]에서 패킷의 수신율이 작은 노드를 이웃 노드로 취급하게 되어 신뢰성을 감소시킬 수 있다.

LINT/LILT, DTPC(Dynamic Transmission Power Control)는 수신 받은 신호세기인 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 PRR(Packet Reception Ratio)을 만족하는 값의 임계치 이상을 갖은 노드들만을 이웃 노드로 취급하여 신뢰성 있는 링크를 가진 이웃 노드를 판별하였다[7,8]. 결국 RSSI의 임계치를 Transitional Region보다 신뢰성이 높은 Clear Region[6]에 만족하도록 선택하는 것이다. 또한 링크의 신뢰성을 판별하기 위해 최종적인 신뢰성 판단 지표인 PRR을 이용하여 전송파워를 제어하였으며, PRR이 개선 되지 않는 노드들에 대해서 Blacklisting으로 제거하였다[9]. 하지만 PRR을 이용하여 이웃 노드를 판별할 경우에는 다수의 샘플링을 통하여 링크의 품질을 파악하기 때문에 다른 기법에 비해 민첩성이 결여될 수 밖에 없다.

환경의 변화는 링크의 품질과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 온도와 RSSI는 반비례 관계에 있다[1]. 25°C에서 65°C에서 송신과 수신 신호 감쇄를 감안할 때 최대 8dBm의 차이가 날 수 있으며, 만족하는 PRR이 되는 RSSI의 임계치 값이 8dBm까지 변화할 수 있다. 시간과 공간에 따라서 적응적으로 전송파워를 제어하는 ATPC(Adaptive Transmission Power Control)는 설치된 공간에서 Initial Phase를 통하여 각 링크에 대한 전송파워 제어를 모델링하고 시간에 따라 변화하는 링크에 품질을 Running Phase의 피드백을 통하여 환경에 적응적으로 전송파워를 제어할 수 있도록 하였다[4]. 하지만 네트워크의 규모가 커질 경우에 각 링크의 전송파워를 제어하는 오버헤드가 심각해 지기 때문에 네트워크의 확장성을 지원하기 어려우며, 전반적으로 링크가 안정할 때에만 오버헤드가 적은 특징이 있다.

## 3. T2PC(Temperature-aware Transmission Power Control)

본 장에서는 온도에 따라 변화하는 링크 품질의 지표

인 RSSI를 유지하고 신뢰성을 보장하기 위한 전송파워 제어 알고리즘을 제안한다. 온도의 변화에 따른 전송파워 제어 오버헤드를 줄이기 위한 전송파워 제어를 위하여 개루프 방식으로 제어하여 페루프 방식의 피드백에 따른 제어 패킷의 오버헤드를 줄이고자 하였다.

온도에 의해 변화하는 링크 품질에 대해서 전송파워 제어를 통하여 보상할 수 있다. 하지만 기존의 페루프의 피드백을 통한 전송파워 제어는 반복적으로 노드간에 주고 받는 제어 패킷이 많아지면서 전송에 대한 에너지 소모와 혼잡발생이 야기될 수 있다. T2PC는 각 노드에 장착된 온도 센서를 감지하여 온도의 변화에 대하여 전송 출력을 보상하고 페루프 피드백의 반복을 줄이고자 하였다.

$$RSSI \text{ variation [dBm]} = 0.1996 * (\text{Temperature } [^{\circ}\text{C}] - 25) \quad (1)$$

온도에 대한 전송 출력의 보상을 위하여 K. Bannister et.al[1]과 CC2520[10]에서 실험된 구체적인 RSSI와 온도와의 관계식을 이용하여 온도 변화에 대한 전송 출력 변화량을 측정하였다. 식 (1)과 같이 상온 25°C을 기준으로 변화된 온도에 대한 RSSI의 값을 산출할 수 있다.

$$dBm = 12 * \text{Power\_level}^{0.355} - 40 \quad (2)$$

또한 식 (1)에서 측정된 RSSI의 변화량을 보상하기 위하여 CC2420의 Power Level에 대한 Output Power의 관계를 이용하였다. Power Level과 Output Power의 관계식은 식 (2)로 나타낼 수 있다. 즉, 현재 출력되는 Output Power와 온도에 의해 변화된 RSSI값의 차이를 얻어낼 수 있으며, 이를 보상하기 위하여 전송파워를 제어하는 제어 변수인 Power Level의 값을 산출할 수 있다. 따라서 각 노드는 이웃 노드와의 추가적인 통신을 하지 않고도 온도에 대한 전송 출력의 변화를 보상할 수 있는 개루프 제어를 구현할 수 있다.

전송파워 제어 변수는 최적의 전송파워를 제어하기

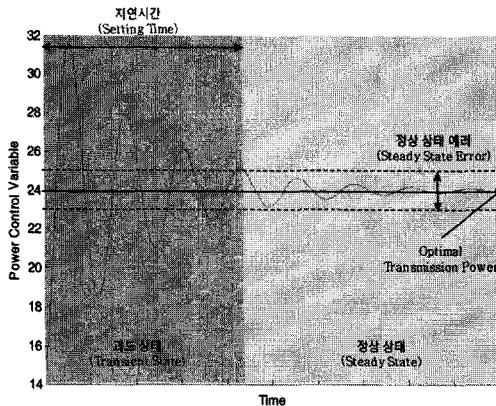


그림 1 제어 이론의 과도상태 및 정상상태

위한 페루프 피드백을 시행할 때 중요한 변수로 작용한다. 전송파워 제어 변수는 그림 1과 같이 전송 출력이 과도상태(Transient State)에서 이웃 노드 수의 상·하한 임계치 범위 내에 해당하는 정상상태(Steady State)에 도달하는 시간인 지연시간(Setting Time)에 영향을 준다. 즉, 정상 상태에 도달하는 시간 동안 데이터의 전송이 실행이 되면 신뢰성을 저하시킬 수 있으며, 데이터 전송 주기가 짧을 경우 더욱 심각한 손실을 야기시킬 수 있다. 또한 전송파워를 제어하는 지연시간 동안에 반복되는 페루프 피드백에 의해서 에너지 소비에 영향을 줄 수 있다.

T2PC는 이러한 제어 변수의 값을 온도에 따라 변화하는 링크 품질에 보상하기 위하여 각 노드에서 온도에 의해 링크 품질이 변화될 시 각 노드 자체에서 식 (1), (2)를 통하여 전송 출력을 자체적으로 설정하여 개루프로 제어한 후에 가장 최소 값의 제어 변수로 페루프 피드백을 통하여 최적의 전송 출력을 설정하도록 한다.

T2PC의 기준 노드 알고리즘은 그림 2와 같다. 그림 2의 4번째 줄은 타이머를 설정하여 이웃 노드에게 주기적으로 브로드캐스팅을 하고 이에 대한 ACK를 수신하기 위한 것이다. 이웃 노드로부터 ACK가 오면 6번째 줄의 RSSI 임계치와 비교하여 이웃 노드의 수를 카운트한다. 6~18줄은 온도 이외에 장애물, 노드의 이동등과 같은 외부요인에 의하여 링크 품질이 변하였을 때 이웃

**Algorithm 1 T2PC : Reference node**

```

1:  RSSITH = -87dBm;
2:  Neighbormax = 6, Neighbormin = 5;
3:  Power Control Variable = 15;
4:  INTERRUPT VECTOR Timer0 fired(time {sec}) BCAST;
5:  WHILE
6:    IF(RCEV BCAST ACK ≥ RSSITH)THEN{
7:      Neighbor++;
8:      IF(Neighbormax ≥ Neighborcurrent ≥ Neighbormin) THEN
9:        Keep TX power;
10:     ELSE IF(Neighborcurrent ≥ Neighbormax) {
11:       TX power = -(Power Control Variable / =2);
12:       BCAST(TX power);
13:     }
14:     ELSE IF(Neighborcurrent ≤ Neighbormin) {
15:       TX power = +(Power Control Variable / =2);
16:       BCAST(TX power); }
17:     }
18:   ENDIF
19:   ELSE IF (RCEV Broadcast ACK ≥ RSSITH && Change temperature)
20:     Power Control Variable = 1;
21:   ENDIF
22: ENDWHILE
    
```

그림 2 기준 노드에서의 T2PC 알고리즘

노드와 페루프 피드백 방식으로 전송파워를 제어하는 부분이다. 최대 전송파워 레벨인 31에서 중간 값인 15를 시작으로 8, 4, 2, 1의 단계로 제어변수를 조절하도록 하여 링크 품질의 급격한 변화나 완만한 변화에 적응적으로 대처할 수 있도록 구현하였다. 19~21줄은 이웃 노드가 온도변화에 따라 개루프 방식으로 전송파워를 조절할 것을 감지하고 제어 변수를 1로 설정하여 페루프 피드백에서 미세하게 전송파워를 조절할 수 있도록 하였다.

이웃 노드에서 수행되는 T2PC 알고리즘은 그림 3과 같이 표현될 수 있다. 그림 3의 1번째 줄은 타이머를 설정하여 주기적으로 데이터를 송신하는 함수이다. 이 함수에서는 장착된 온도 센서의 값을 읽고 온도의 변화에 따라 전송 출력을 보상할 수 있도록 한다. 9~11번째 줄은 전송 레벨을 dBm의 전송 출력 단위로 환산해 주며, 12~14번째 줄은 dBm을 전송 레벨로 환산하여 전송파워를 조절할 수 있도록 한다. 또한 15~21번째 줄에서는 기준 노드로 부터 명령 받은 전송파워레벨을 수신 받아 자신의 전송파워레벨을 변경한다. 다음으로 자신이 감지한 온도변화에 대한 정보를 포함하여 기준 노드에게 ACK를 보낸다. 각 이웃 노드들은 이러한 방법으로 기준 노드로 부터의 빈번한 페루프 피드백이 없이 자신의 전송파워를 제어하여 온도 변화에 대한 전송파워 제어의 오버헤드를 줄일 수 있다.

#### Algorithm 2 T2PC : Neighbor node

```

1:  INTERRUPT VECTOR Timer1 fired(time [sec]){
2:      ADC reading(Temperature){
3:          RSSI variation = 0.1996*(Temperature-25);
4:          RSSI variation = + Transfer TX power(Current TX power);
5:          Update dBm = RSSI variation;
6:          Transfer TX power(Update dBm);
7:      }
8:  }
9:  Transfer TX dBm( Current TX power){
10:     Current dBm = 12 * Current TX power0.355 - 40;
11:  }
12:  Transfer TX power( Current dBm){
13:     TX power = (((Current dBm + 40)/12)2.81
14:  }
15:  WHILE
16:     IF(RCEV BCAST)THEN{
17:         TX power = RCEV BCAST(TX power);
18:         BCAST ACK (ADC reading());
19:     }
20:  ENDFIF
21:  ENDWHILE

```

그림 3 이웃 노드에서의 T2PC 알고리즘

## 4. 성능평가

RSSI가 변화하는 양상을 확인하기 위하여 1200초 동안 약 28도에서 약 68도까지 총 40도의 온도 변화를 주었다. 송신 노드와 수신 노드는 7m의 간격을 두고 최대의 전송파워로 설정 하였으며, 1초마다 데이터를 전송 하였다. 송신 노드는 히터로 가열하여 온도의 변화를 가 하였으며, 엔클로저(Enclose) 안에 설치하여 열 손실을 막고자 하였다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 40도의 온도가 변화하는 동안에 수신 측에서 측정된 RSSI는 8dBm의 감소가 있었으며, 식 (1)에서의 온도와 RSSI의 관계식에 부합하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 600초에서 900초 동안은 온도의 증가에도 RSSI의 값이 이전보다 증가하였다. 이는 온도의 변화 이외의 외부 환경 변화에 따라서 RSSI의 변화 영향을 준 것이라고 판단된다. 결국은 이러한 오차는 페루프 피드백 제어 방식을 통하여 보상할 수 있을 것이다.

T2PC의 성능을 평가하기 위하여 온도변화 환경에서 전송파워를 최대로 설정한 것, 설치된 네트워크에서 최적으로 전송파워를 설정한 것, DTPC(Dynamic Transmission Power Control)의 전송파워를 제어하는 세가지 기법과 비교 실험을 하였다. 실험은 총 8개의 노드를 설치하여 하나의 노드가 최대로 7개의 노드와 연결이 가능하도록 하였다. 최대의 전송파워는 7개의 노드와 연결이 되었으며, 최적의 전송파워는 28도에서 이웃 노드와의 연결성을 최대 6개를 유지하도록 하였다. 이외 전송파워를 제어하는 DTPC와 T2PC는 1초마다 전송파워를 제어하여 링크의 품질 변화에 및 온도의 변화에 따라 5~6개의 이웃 노드들과 연결성을 유지하도록 하였다. 여기서 비교하는 성능은 설정된 전송파워와 제어하는 동안의 에너지 효율성을 측정하였다. 또한 신뢰성을 측정하기 위해서 6개의 이웃 노드에서 1초마다 전송한 데이터의 Sequence Number의 손실을 계산하였다.

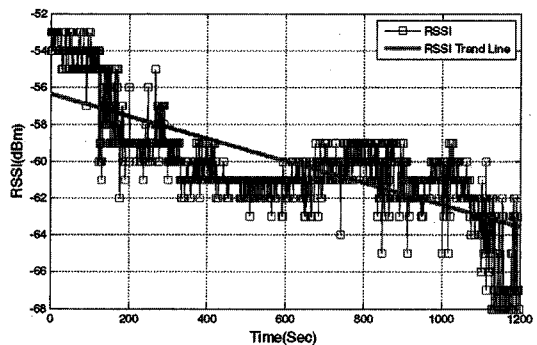


그림 4 온도의 변화에 따른 RSSI의 변화 추이

전송과워 레벨과 에너지의 소모는 비례하여 나타나며, 그림 5는 각 기법에 대한 에너지 소모량을 나타낸다. 평균적으로 전송과워 레벨을 비교하였을 때 DTPC는 15.7, T2PC는 12.6의 값이 나타난다. 즉, 최적의 전송과워(-10 dBm), T2PC, DTPC, 최대의 전송과워(0 dBm)의 순으로 에너지를 적게 소모하였다. 최대로 전송과워를 설정한 기법은 그림 6과 같이 온도의 변화와 관계없이 이웃 노드와의 연결성이 지속적으로 7개를 유지하여 100%에 가까운 PRR(Packet Reception Ratio)을 유지하였으나, 그림 5에서 볼 수 있듯이 불필요한 에너지 소모가 많이 발생되는 것을 알 수 있다. 이와 반대로 최적으로 전송과워를 설정한 기법은 에너지가 가장 적게 소모되었으나, 온도의 변화에 따라서 링크 품질의 변화에 적응하지 못하고 바로 노출되기 때문에 그림 6과 같이 이웃 노드와의 연결성의 5이하까지 떨어지게 되며 PRR이 82.6%로 가장 낮게 측정이 되었다. 반면에 DTPC는 전송과워 제어를 통하여 이전의 방법보다 신뢰성 및 에너지 효율성을 전반적으로 개선하였지만 제안한 T2PC와 비교하여 온도를 인지하지 않고 페루프 피드백 방식으로 전송과워를 제어하기 때문에 이웃 노드와의 연결성의 변화폭이 많았다. 결국 DTPC는 온도에 따른 링크 품질의 변화에서는 제안한 T2PC에 비하여 많은 에너지 오버헤드를 보이고 있다. 또한 T2PC와 DTPC는 각각

98.7%와 94.5%의 PRR을 보였다. 이는 DTPC는 T2PC보다 페루프 피드백 방식을 이용하여 다량의 제어 패킷을 발생시키고 이로 인한 혼잡발생으로 데이터 패킷의 손실이 야기되어 때문에 신뢰성이 저하되기 때문이다.

본 실험에서는 전송과워 레벨을 최대로 하여 링크를 연결하는 기법과 설치된 네트워크의 상황에서 최적의 전송과워로 링크를 연결한 기법을 비교하여 온도가 변화할 때 적응적으로 전송과워를 제어하여 신뢰성 및 에너지 효율성을 향상시키는 것을 확인하였다. 또한 기존에 제안된 네트워크 별로 전송과워를 제어하는 DTPC(Dynamic Transmission Power Control)기법과 비교를 하여 온도에 변화에 따라서 개루프 방식을 이용하는 T2PC가 에너지 효율측면에서 19.7%가량의 개선이 있었으며 신뢰성측면에서 4.4%의 개선을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

기존에 무선 환경에서 온도의 변화를 보상하기 위해서는 냉각 및 발열 장치를 구성하였다. 중계기와 같이 상시 전원이 공급되는 장치에는 유용하지만, 배터리로 동작하는 센서 노드는 많은 비용과 에너지 소모를 발생시키기 때문에 적용하기 어렵다. 특히 무선 센서 네트워크에서 온도의 변화가 극심한 지역에 설치될 수 있으며 온도의 변화에 따른 링크 품질의 변화에 적응할 수 있

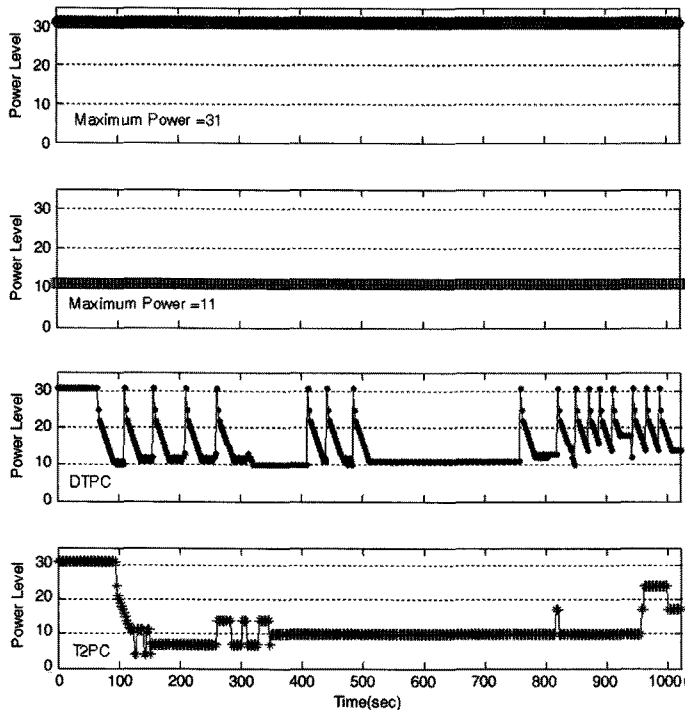


그림 5 T2PC 에너지 효율성 성능 평가

어야 한다.

본 논문에서는 이러한 온도의 변화에 따른 링크 품질의 변화를 위하여 에너지 효율적으로 전송파워 제어를 하고 신뢰성을 유지하는 T2PC를 제안하였다. T2PC는 장착된 온도 센서를 이용하여 온도에 의해서 변화된 링크의 품질을 자체 노드에서 전송파워 제어를 통한 개루프 방식으로 보상을 하여 기존의 페루프 피드백 방식의 전송파워 제어 기법에 비하여 적은 제어 패킷을 발생시키도록 하였다.

실험을 통하여 온도의 변화에 따른 RSSI의 변화 양상을 확인하였으며 이를 모델링하였다. 제안한 T2PC는 고정된 전송파워로 동작하는 기법과의 비교를 통하여 에너지 효율성과 신뢰성의 향상을 확인할 수 있었다. 또한 네트워크별로 전송파워를 제어하는 기존의 기법과의 비교 실험에서 혼잡발생으로 인한 신뢰성 감쇄를 개선할 수 있었으며 적은 제어 패킷을 통한 에너지 효율을 증대시킬 수 있었다.

of Transmission Power Control Algorithms for Wireless Sensor Networks," *Technical Report No. UCB/EECS-2005-16, University of California at Berkeley*, November 2005.

- [9] D. Son, B. Krishnamachari and J. Heidemann, "Experimental Study of the Effects of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks," In *Proceeding of IEEE Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, October 2004.
- [10] CC2520, 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / Zigbee RF Transceiver, <http://ti.com>.



이 정 옥

2008년 8월 광운대학교 정보제어공학과 졸업. 2008년 8월~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사과정. 관심분야는 무선 센서네트워크, 임베디드시스템

## 참 고 문 헌

- [1] K. Bannister, G. Giorgetti, and S. Gupta, "Wireless Sensor Networking for "Hot" Applications: Effects of Temperature on Signal Strength, Data Collection and Localization," In *Proceedings of ACM the Fifth Workshop on Embedded Networked Sensors*, June 2008.
- [2] M. Kubisch, H. Karl, A. Wolisz, L. C. Zhong, and J. Rabaey, "Distributed Algorithms for Transmission Power Control in Wireless Sensor Networks," In *Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, March 2003.
- [3] K. Srinivasan and P. Levis, "RSSI is Under Appreciated," In *Proceedings of ACM The Third Workshop on Embedded Networked Sensors*, May 2006.
- [4] S. Lin, J. Zhang, G. Zhou, L. Gu, J. A. Stankovic, and T. He, "ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks," In *Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2006.
- [5] K. Srinivasan, P. Dutta, A. Tavakoli, and P. Levis, "An Empirical Study of Low Power Wireless," *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2010.
- [6] A. Woo, T. Tong, and D. Culler, "Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks," In *Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, November 2003.
- [7] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain, "Topology Control of Multihop Wireless Networks Using Transmit Power Adjustment," In *Proceedings of IEEE Computer and Communications*, 2000.
- [8] J. Jeong, D. Cullar and J.H. Oh, "Empirical Analysis

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 37 권 제 1 호 참조