ISSN 1598-0170 (Print)
ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jksii.or.kr

에너지 효율을 위한 인체 센서 시스템의 전송 전력 조절 모델 분석☆

The Analysis of Transmission Power Control Model for Energy Efficiency in Body Sensor Systems

홍 진 아[1] 김 남 기[1*]
Jin-a Hong Namgi Kim

요 약

무선 인체 센서 네트워크 시스템은 기존의 센서 네트워크 시스템과는 달리 장치가 소형이고 배터리 용량이 매우 제약적이다. 그리고 링크 채널의 특성, 센서 노드를 장착한 사람의 움직임, 부착된 센서 노드의 위치, 전송 전력을 조절하는 알고리즘 등에 따라 다양한 채널 환경이 형성될 수 있다. 따라서 이와 같은 제약사항 및 환경을 극복하고 센서 노드의 에너지를 효율적으로 관리하기 위해 본 논문에서는 사람의 움직임과 센서 노드의 위치, 전송 전력 조절 알고리즘을 종합적으로 고려한 상태에서 최적의 전송 전력 세기 값을 찾기 위한 실험을 수행한다. 그리고 실험의 결과를 바탕으로 에너지 소모와 패킷 전송률 측면에서 분석을 실시한다. 이를 통해 본 논문은 무선 인체 센서 네트워크 시스템에 적합한 수신 신호 세기 값과 그 값에 접근하기 위해 허용할 수 있는 수신 신호 세기의 범위 설정에 따른 효율성을 비교 평가한다.

☞ 주제어 : 센서 네트워크, 무선 인체 센서 네트워크, 에너지 소모, 전송 전력 조절

ABSTRACT

In wireless body sensor system(WB-SNSs), unlike existing sensor network system, the size of device is small and amount of battery is considerably limited. And various channel environments can be made by link channel characteristic, human movements, sensor placements, transmission power control(TPC) algorithms and so on. In this paper, therefore we take diverse experiments with totally considerated environments to overcome these restrictions and to manage the energy efficiently and find the value of target received signal strength indicator(RSSI) based on diverse factors such as human movements, sensor placements, and TPC algorithms. And we conduct analysis in terms of energy consumption and packet delivery rate(PDR) based on the experimental results. Through these analysis, we compare and evaluate the efficiency according to setup values of Target RSSI and Target RSSI range suitable for wireless body sensor network system.

☞ keyword : sensor network, wireless body sensor network, energy consumption, transmission power control

1. 서 론

최근 우리 사회는 사물과 컴퓨터, 그리고 인간간의 융합이 가속화되는 디지털 컨버전스 시대로 변화하고 있다. 특히 사물과 사물, 인간과 사물간의 네트워크가 형성되는 센서 네트워크 환경에서 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network) 기술은 디지털 융합 시대의 핵심 기술로 대두되고 있다 [1]. 센서 네트워크 환경에서는 언제 어디서나 부착된 센서로부터 사물 및 주변 환경 정보를 획득하고 이를 가공해 인터넷을 통한 지식 정보 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이런 유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 최근 들어 인체와 관련된 분야에 많이 접목되어 응용되고 있으며 사람 몸 주변에 센서가 배치되어 사람의 건강 상태 파악과 같은 서비스를 제공해 주는 인체 센서 네트워크 기술로 발전하고 있다 [2][3].

인체 센서 네트워크 기술은 기존의 센서 네트워크 기술과 달리 사용되는 장치의 크기가 매우 소형이고 배터리 용량 또한 매우 제약적이다. 뿐만 아니라 인체 센서 노드를 장착한 사람의 움직임이나 장치의 배치에 따라 다양한 채널 상태가 형성될 수 있다. 따라서 이와 같은

[1] Department of Computer Science, Kyonggi University, Suwon, 443-760, Korea
* Corresponding author (ngkim@kgu.ac.kr)
[Received 04 March 2014, Reviewed 09 March 2014, Accepted 02 June 2014]
☆ 본 연구는 2013년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

제약사항을 극복하고 센서 노드에게 장기적으로 안정적인 전력을 공급하면서 원활한 작동을 구현하기 위해서는 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 에너지 절약 기술에 대한 연구가 필요하다 [4].

센서 노드의 에너지를 효율적으로 동작시키기 위한 기술로는 저전력 MAC 기술과 전송 전력 조절 기술이 있다. 저전력 MAC 기술은 무선 데이터 통신에서 에너지를 낭비시키는 요소인 collision, overhearing, control packet overhead, idle listening을 줄일 수 있도록 조절하여 에너지를 절약하는 방식이다 [5]. 반면 전송 전력 조절 기술은 센서 노드가 데이터 패킷을 보낼 때의 전송 전력을 조절해서 에너지를 절약하는 방식이다.

본 논문에서는 이 중 전송 전력 조절 기술에 집중하여 에너지 효율성을 분석한다. 이를 위해 무선 인체 센서 시스템에서 일반적으로 사용되는 전송 전력 모델을 소개하고 실험을 통해 모델의 환경설정에 따른 에너지 효율성을 분석한다. 특히 본 논문에서는 전력 조절 기술에서 중요한 핵심 요소인 센서의 배치나 사람의 움직임에 주목한다. 그리하여 본 논문에서는 이러한 센서의 배치나 사람의 움직임에 따른 센서 노드의 에너지 소모량과 패킷 전송률을 전송 전력 조절 모델에 기반하여 비교 분석한다. 그리고 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin의 특성에 대해서도 분석해 본다.

2. 관련연구

2.1 전송 전력 조절 기술

전송 전력 조절 기술은 센서 노드의 에너지 소모를 줄이기 위한 기술 중 가장 대표적인 핵심 기술이다. 전송 전력 조절 기술을 통해 센서 노드는 현재 채널 상태에 적절한 전력만을 소모하며 센서 노드의 수명을 연장시킬 수 있다. 전송 전력 조절 기술은 센서 노드에서 적절한 수신 신호 세기 (Received Signal Strength Indication, RSSI)를 유지하기 위해 전송 전력 레벨 (Transmission Power Level, TPL)을 현재 채널 상태에 맞게 동적으로 조절한다. 따라서 수신 신호 세기와 전송 전력 레벨은 서로 밀접한 관계가 있다. 기본적으로 송신 노드의 전송 전력 레벨이 높으면 수신 노드의 수신 신호 세기 값도 높고, 송신 노드의 전송 전력 레벨이 낮으면 수신 신호 세기 값도 낮다. 하지만 이러한 관계는 동적으로 변화하는 인체 센서 네트워크 환경의 채널 상태에 의해 달라질 수 있다. 예를 들어 송신 노드에서 같은 전송 전력 레벨로 패킷이 전송되더라도 채널 상태가 좋아지면 수신 노드에서 수신 신호 세기 값이 높게 나타나지만, 채널 상태가 나빠지면 수신 노드에서 수신 신호 세기 값이 낮게 나타날 수 있다. 따라서 다양하고 동적으로 변화하는 무선 인체 센서 네트워크 채널 환경에서 에너지 효율을 고려하여 적절한 전송 전력 레벨을 찾는 것은 전송 전력 조절 기술에서 매우 중요한 문제라고 볼 수 있다.

2.2 기존 연구

센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 전송 전력을 동적으로 조절하는 기술에 대한 연구는 꾸준히 진행되어왔다 [6]-[10]. 그 중 대표적인 전송 전력 조절 방법으로는 Linear 알고리즘과 Binary 알고리즘이 있다 [6]. Linear 알고리즘은 장치의 현재 채널 상태 변화에 따라 장치의 전송 전력 레벨을 한 단계씩 변경하는 방법이다. 이에 반해 Binary 알고리즘은 전송 전력 레벨을 지수적으로 변경하는 방식이다. 두 알고리즘의 특성상 채널이 급변하는 환경에서는 Linear 알고리즘이 안정적으로 장치의 에너지를 관리할 수 있고 반대로 채널이 안정적인 환경에서는 Binary 알고리즘이 빠르게 전송 전력 레벨을 변경하여 에너지를 절약할 수 있다.

이러한 Linear나 Binary 전송 전력 조절 방식들에 대해 단편적으로 성능을 분석한 연구들은 어느 정도 존재한다. [7]은 CC2420 모듈을 사용하여 사람이 장착하고 있는 센서 노드의 배치에 따른 에너지 소모 실험 결과를 분석하였다. [8]는 센서 노드를 장착한 사람의 여러 움직임을 고려하여 에너지 소모량을 실험하고 다양한 링크 채널의 특성을 분석하였다. 그러나 대부분의 연구가 각각 센서 노드의 배치와 장착한 사람의 움직임만을 단편적으로 고려하였고 종합적으로 전송 전력 조절 기술이 에너지 효율에 미치는 영향을 고려하지 않았다. [9]은 인체 센서 네트워크 환경에서 전송 전력을 조절하는 알고리즘에 대하여 요약하고 전송 전력 조절 모델을 제안하였다. 하지만 전송 전력 조절 모델만 제안하였을 뿐 동적 환경을 고려한 실험 결과가 없다. [10]은 측정된 채널의 기간을 일정 시간 간격으로 증가시켜서 전송 전력을 절감하는 알고리즘을 제안하였다. 사람의 움직임 및 장소를 고려하여 실험을 실시하였지만 사용한 모듈이 CC2420이기 때문에 출력전력 및 전력 레벨 등이 다르다. 따라서 본 논문에서는 무선 인체 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 배치와 센서 노드를 장착한 사람의 움직임을 복합적으로 고려할 때 다양한 환경 변수 설정이 전송 전력 조절 기술

성능에 미치는 영향을 실제 실험을 통해 비교하고 분석해 본다.

3. 시스템 구조 및 전송 전력 조절 모델

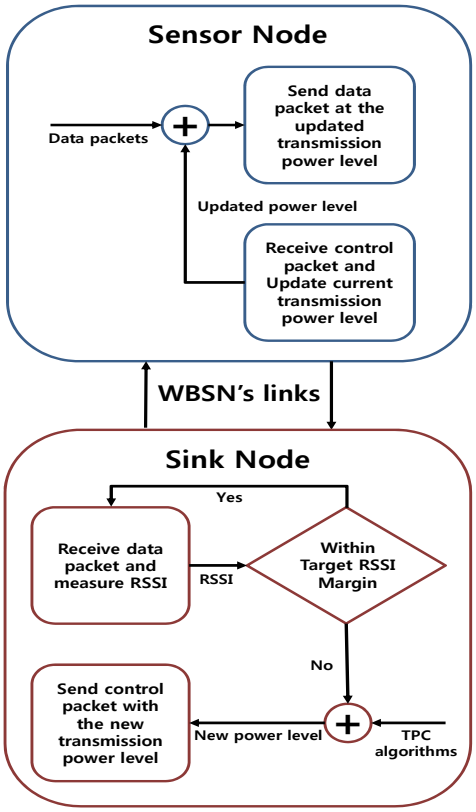
3.1 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 사용하는 센서 데이터 송수신 구조를 나타내고 있다. 그림에서 센서 노드는 측정한 센서 데이터를 패킷으로 만들어 싱크 노드에게 무선 링크를 통해 전송한다. 싱크 노드는 데이터 패킷을 수신하면서 수신 신호 세기로 함께 측정한다. 만약 이 때 측정한 수신 신호 세기 값이 미리 정해놓은 허용 가능한 수신 전력 세기 범위 안에 들어가면 제어 패킷 전송 부하를 줄이기 위해 싱크 노드는 전송 전력 레벨을 갱신하지 않고 다음 데이터 패킷을 기다린다. 그러나 수신 신호 세기 값이 허용 수신 전력 세기 범위에서 벗어난다면 전송 전력 조절 알고리즘을 이용하여 새로이 계산된 전송 전력 레벨을 찾는다. 이 후 싱크 노드는 센서 노드에게 새로운 전송 전력 레벨을 제어 패킷에 담아 송신한다. 제어 패킷을 수신 받은 센서 노드는 전송 전력 레벨로 조절하여 다음 데이터부터 변경된 전송 전력 레벨로 패킷을 송신한다.

3.2 전송 전력 조절 모델

그림 2는 전송 전력 조절 알고리즘에서 일반적으로 사용하는 전송 전력 조절 모델을 보여주고 있다. 그림에서 Target RSSI Point는 목표로 하는 수신 전력 세기를 의미한다. 전송 전력 조절 모델에서 Target RSSI Point를 높이면 센서 노드의 평균적인 전송 전력 레벨이 높아지기 때문에 에너지 소모가 커진다. 하지만 이 때, 센서 노드의 수신 전력 세기 값도 높기 때문에 패킷이 손실될 위험은 반대로 낮아진다. 이에 반해 Target RSSI Point를 낮추면 평균적인 전송 전력 레벨이 낮아지고, 상대적으로 에너지 소모도 적어진다. 하지만 이 경우 센서 노드의 수신 전력 세기 값도 낮아지기 때문에 패킷이 손실될 위험도 커진다는 단점이 있다.

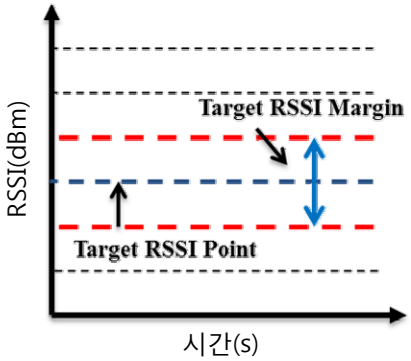
Target RSSI Margin은 Target RSSI Point로부터 일정한 범위 이내에 있는 값들로 불필요한 제어 패킷 전송을 막기 위하여 전송 전력 레벨 변경을 하지 않아도 되는 값의 범위를 말한다. 이러한 Target RSSI Margin이 넓으면 채널 변화에 둔하게 반응하여 전송 전력을 되도록 갱신하지 않기 때문에 제어 패킷에 의한 에너지 소모가 적어진다.



(그림 1) 센서 데이터 송수신 시스템 구조
(Figure 1) Sensor Data Transmit/Receive System Structure

하지만 전송 전력 갱신 없이 허용 가능한 전송 전력 레벨의 최대값도 높아지기 때문에 데이터 패킷에 대한 에너지 소모도 커진다. 반대로 Target RSSI Margin이 좁은 경우에는 수신 신호세기가 Target RSSI Point에서 조금만 멀어져도 전송 전력을 갱신하므로 목표로 하는 수신 전력 세기 값에 근접할 확률이 높아진다. 하지만 수신 전력 세기의 범위가 너무 좁아서 센서 노드가 채널 변화에 지나치게 민감하게 반응하여 제어 패킷에 의한 에너지 소모가 커질 수 있다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 변화를 보다 현실적으로 분석하기 위해 센서 노드의 배치와 사람의 움직임에 따라 동적으로 변하는 채널 상태가 존재하는 무선 인체 센서 네트워크 환경에서 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin 값의 변화가 센서 노드의 에너지 소모량과 전송률에 미치는 영향을 실험을 통해 자세하게 분석하고 검증한다.



(그림 2) 전송 전력 조절 모델
(Figure 2) Transmission Power Control Model

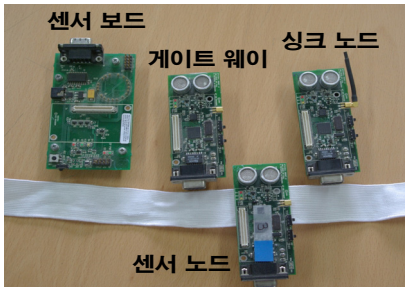
4. 실험 환경 및 결과

4.1 실험 환경 구축

그림 3은 본 논문에서 실험을 위해 사용된 장소를 보여주고 있다. 실험에서 사용된 장비는 그림 4와 같이 Crossbow Technology [11]에서 제작된 Cricket Mote다. 이 Cricket Mote는 300~1000 MHz 주파수 대역에서 1.5V 건전지 2개로 동작한다. Cricket Mote는 CC1000 Radio [12] 모듈을 이용하여 총 22단계로 이루어진 전송 전력 레벨을 가지고 있다. 그림 4의 센서 보드는 싱크 노드 또는 센서 노드와 접촉시켜 컴파일하는 용도이며 게이트웨이는 호스트 컴퓨터에 연결된 중계자 역할을 수행하는 디바이스이다. 따라서 게이트 웨이는 실제 실험 환경에서 수집된 로그 데이터를 수집하여 호스트 컴퓨터에게 전달하는 역할을 수행한다.

본 실험에서 실험자는 CC1000 Radio 모듈을 가지고 있는 Cricket Mote 센서 노드와 싱크 노드를 장착하고 복도의 사각형 둘레에서 서기, 걷기, 뛰기의 사람 움직임별로 데이터를 수집하였다. 표 1은 실험 환경 구축을 위해 설정한 파라미터를 나타내고 있다. 표에서 나타나 있듯이 다양한 실험 결과를 보기 위해 Target RSSI Margin과 Target RSSI Point는 그 값을 세분화하여 설정을 하였다. 싱크 노드의 위치는 가슴으로 고정시키고, 센서 노드의 위치와 사람의 움직임을 기준으로 채널을 좋은 채널 상태와 나쁜 채널 상태로 분류하였다. 수신 신호 세기 값이 수신 전력 세기 범위에서 벗어났을 때 싱크 노드는 Linear나 Binary 알고리즘을 사용하여 새로운 전송 전력을 계산하였다.

(그림 3) 실험 환경
(Figure 3) Experimental Environment



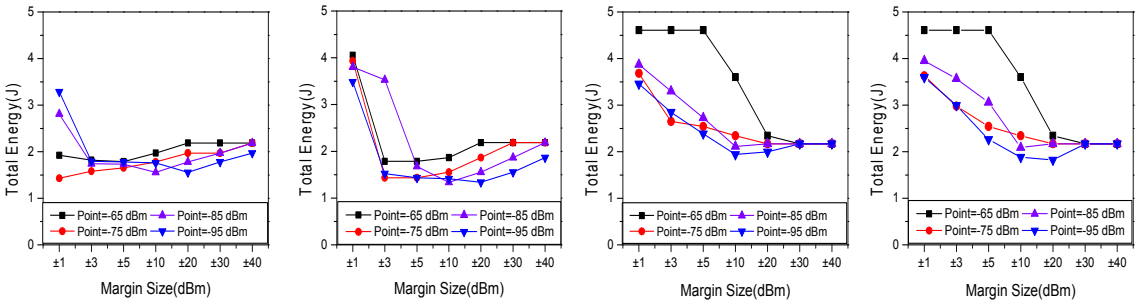
(그림 4) 실험에 사용한 장비
(Figure 4) Experiment Device

(표 1) 실험 환경 파라미터
(Table 1) Experiment Environment Parameters

설정항목	파라미터
Target RSSI Margin (dBm)	±1, ±3, ±5, ±10, ±20, ±30, ±40
Target RSSI Point (dBm)	-65, -75, -85, -95
싱크 노드 위치	가슴
좋은 채널 상태	센서의 위치 : 배 인체의 움직임 : 서기
나쁜 채널 상태	센서의 위치 : 등 인체의 움직임 : 뛰기
대상 TPC Algorithm	Linear, Binary

4.2 실험 결과

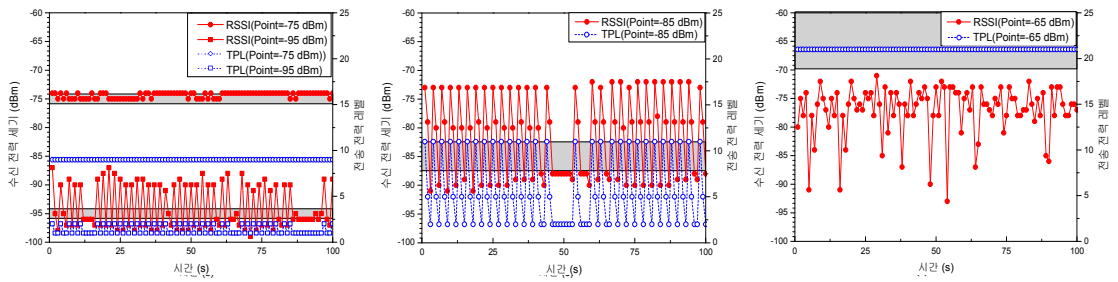
그림 5는 좋은 채널 상태와 나쁜 채널 상태일 때 알고리즘 별 전체 에너지 소모량을 보여주고 있다. 좋은 채널 상태란 센서의 위치가 배에 있고 실험자가 서있는 상태를 말하고, 나쁜 채널 상태란 센서의 위치가 등에 있고 실험자가 뛰고 있는 상태를 말한다. 그리고 전체 에너지 소



(a) Stomach, Standing, Linear (b) Stomach, Standing, Binary (c) Back, Running, Linear (d) Back, Running, Binary

(그림 5) 채널 상태와 알고리즘에 따른 전체 에너지 소모량

(Figure 5) Total energy consumption of channel condition and algorithm



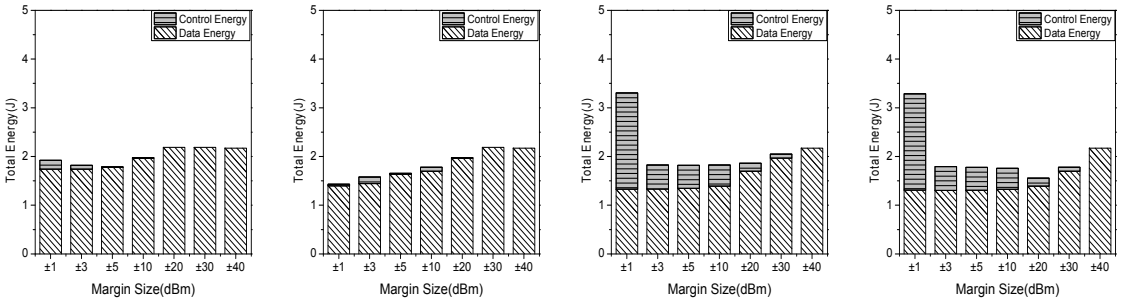
(a) Stomach, Standing, Linear Margin=±1 dBm (b) Stomach, Standing, Binary Margin=±3 dBm (c) Back, Running, Linear, Binary Margin=±3 dBm

(그림 6) 예외의 경우에 수신 전력 세기와 전송 전력 레벨 그래프

(Figure 6) RSSI and TP graph in exceptional case

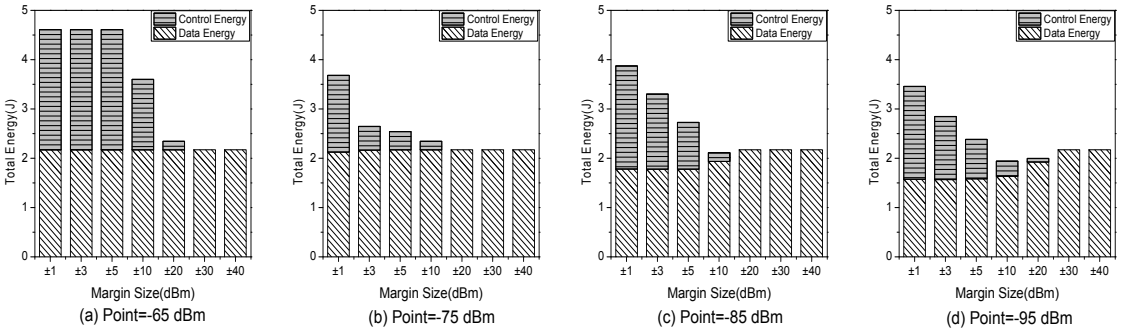
모량은 제어 에너지 소모량과 데이터 에너지 소모량을 합하여 산출하였다. 이 그래프에서 X축은 Target RSSI Margin의 크기이고, Y축은 전체 에너지 소모량을 의미한다. 그림 5의 (a), (b), (c), (d)를 살펴보면 일부 예외를 제외하고는 그래프 패턴이 비슷한 형태를 띠고 있음을 알 수 있다. 보다 자세히 관찰해 보면 Target RSSI Margin이 ±1인 경우엔 전체 에너지 소모량이 평균 3509.07 mJ로 그림 5의 평균보다 146%이상으로 소모가 많았다. 또한 Target RSSI Margin이 ±40 dBm인 경우엔 낮은 표준편차를 가지며 각 Target RSSI Point 마다 전체 에너지 소모량과 수신 전력 세기 값이 일정 값으로 수렴함을 알 수 있다. 따라서 전체적으로 센서 노드의 위치, 사람의 움직임 상태, 알고리즘에 관계없이 그래프의 전체 에너지 소모량이 로그(log) 형태의 패턴을 나타내는 것을 알 수 있다.

그림 5 (a)를 보면 Target RSSI Margin이 ±1 dBm인 것들 중 Target RSSI Point가 -65, -75 dBm일 때 전체 에너지 소모량이 로그 형태의 패턴을 따르지 않음을 알 수 있다. 이는 그림 6 (a)에서 수신 전력 세기와 전송 전력 레벨 결과 그림을 통하여 그 원인을 알아낼 수 있다. 그림 6의 (a)를 보면 Target RSSI Margin이 ±1 dBm일 때 TargetRSSI Point가 -75 dBm인 경우는 최적의 전송 전력 레벨인 9로 일정하게 패킷을 전송한다. 이 경우 채널 상태가 비교적 안정적이고, 허용할 수 있는 Target RSSI Margin의 범위 내에 수신 전력 세기 값이 존재하기 때문에 전체 에너지 소모가 적은 편이다. 그러나 Target RSSI Point가 -95 dBm인 경우 Target RSSI Margin 범위 주변에서 최적의 전송 전력을 찾지 못하는 진동(Oscillation) 현상을 보인다. 결과적으로 Target RSSI Margin 안에 들기 위해 제어 패킷을 과도하게 전송하여 불필요한 에너지 소모가 증가해 센서 노드의 전체 에너지 소모량이 증가한다. 결과를 통해 우리는 Target RSSI Point가 높은 경우에는 일정한 전송 전력 레벨에 대해 수신 전력 세기가 상대적으로 안정적이기 때문에 허용할 수 있는 범위가 어느 정도 좁아도 되지만, Target RSSI Point가 낮은 경우에는 수신 전력 세기가 민감하게 변화하기 때문에 허용할 수 있는 범위가 좀 더 넓어야 한다는 것을 알 수 있었다.



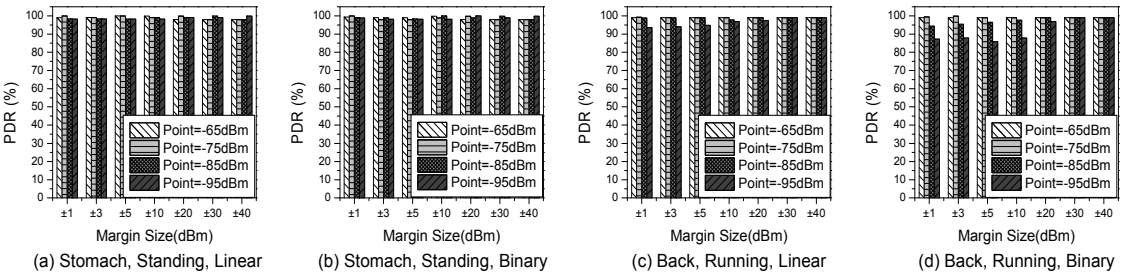
(그림 7) 좋은 채널 상태의 Point별 제어, 데이터 에너지 소모량

(Figure 7) Control and data energy consumption depending on points of good channel



(그림 8) 나쁜 채널 상태의 Point별 제어, 데이터 에너지 소모량

(Figure 8) Control and data energy consumption depending on points of bad channel



(그림 9) 채널 상태와 알고리즘에 따른 패킷 전송률

(Figure 9) Packet transmission rate depending on channel condition and algorithm

두 번째 예외로는 그림 5 (b)에서 Target RSSI Margin이 ±3 dBm이고 Target RSSI Point가 -85 dBm인 부분이다. 이는 그림 6 (b)를 통해 좋은 채널 상태임에도 불구하고 진동 현상으로 인하여 적합한 전송 전력 레벨을 찾지 못하고 Target RSSI Margin 범위 주위에서 반복적으로 진동하기 때문임을 알 수 있다. 즉 진동 현상 때문에 센서 노드는 과도한 제어 패킷으로 생기는 에너지로 인해 전체 에너지 소모량이 증가한 것이다.

세 번째 예외로는 그림 5 (c)와 (d)에서 Target RSSI Point가 -65 dBm이고 Target RSSI Margin이 ±5 dBm인 부분이다. 이는 그림 6 (c)에서 설명이 가능한데 그림 6 (c)에서 센서 노드는 전송 전력 중 최대 레벨인 22로 전송을 하고 있음에도 불구하고 RSSI의 최대값이 -72 dBm으로 Target RSSI Margin의 범위 안에 포함되지 못하고 낮음을 알 수 있다. 따라서 센서 노드의 전체 에너지 소모량이 많아져 로그 형태의 패턴을 따르지 못하는 것이다.

그림 7과 그림 8은 각각 채널 상태가 좋고, 나쁠 때 전체 에너지 소모량을 제어 에너지와 데이터 에너지로 구분하여 나타낸 누적 그림이다. 이 그림에서 데이터 에너지는 데이터 패킷을 전송하는데 소모한 에너지이고, 제어 에너지는 싱크 노드가 제어 패킷을 전송하는데 소모한 에너지를 의미한다. 그림 7 (a)에서 Target RSSI Point가 -65 dBm인 경우와 그림 7 (d)의 -95 dBm인 경우를 비교해 보면 Target RSSI Point가 높은 경우가 낮은 경우 보다 데이터 에너지가 더 많이 소모된다. 뿐만 아니라 채널 상태가 좋지 않을 때에는 Target RSSI Point가 동일하더라도 제어 에너지가 상대적으로 더 많이 소모되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 각각의 그래프에서 Target RSSI Margin 범위가 큰 경우가 작은 경우 보다 데이터 에너지 소모가 많다. 그러나 이 차이는 채널 상태가 좋지 않을수록 줄어든다. 또한 Target RSSI Margin 범위가 큰 경우는 작은 경우 보다 채널 상태 변화에 둔하게 반응하기 때문에 제어 패킷에 의한 에너지 소모가 적다. 따라서 채널 상태에 따른 매우 섬세한 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin의 값 설정이 필요함을 알 수 있다.

그림 9는 좋은 채널 상태와 나쁜 채널 상태일 때 알고리즘 별 데이터 패킷 전송률을 나타낸다. 그림 9 (a)와 (b)를 보면 패킷 전송률이 평균 98.8%로 채널 환경이 좋은 경우에는 Target RSSI Point나 Target RSSI Margin이 영향을 거의 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 같은 전송 전력 레벨임에도 불구하고 채널 상태가 좋지 않을 경우에는 수신 신호 세기가 약해진다. 따라서 그림 9 (c)와 (d)에서 Target RSSI Point가 낮은 -95 dBm의 경우 평균 패킷 전송률이 91%로 손실되는 패킷이 상대적으로 많은 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 표 2는 채널 환경과 전송 전력 조절 알고리즘에 따른 에너지 소모량을 비교한 것이다. 표에서 에너지 소모가 최소인 것은 좋은 채널 환경에서 Binary 알고리즘을 이용하여 전송 전력을 조절한 경우이다. 이 때 최소 에너지 소모량은 Target RSSI Point가 -85 dBm이고 Target RSSI Margin이 ±10 dBm일 때였고 그 값은 1338 mJ이었다. 반대로 최대 에너지 소모량은 Target RSSI Point가 -65 dBm이고 Target RSSI Margin이 ±1 dBm일 때였고 그 값은 4056 mJ이다. 이는 에너지 효율이 환경 설정 값에 의해 최대 303%까지 달라질 수 있음을 의미한다. 그러므로 적합한 전송 전력을 찾기 위하여 시스템 환경에 따라 Target RSSI Point과 Target RSSI Margin을 최적화하여 설정하는 것이 매우 중요함을 알 수 있었다.

(표 2) 에너지 효율성

(Table 2) Energy Efficiency Rate

에너지 소모량 / 채널, 알고리즘	최소(mJ)	최대(mJ)	효율증가도 (%)
좋은 채널 환경, Linear	1429	3286	230
좋은 채널 환경, Binary	1338	4056	303
나쁜 채널 환경, Linear	1942	4612	237
나쁜 채널 환경, Binary	1821	4612	253

5. 결론

인체 센서 네트워크 환경에서 전송 전력을 조절하여 센서 노드의 에너지를 효율적으로 관리하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 전송 전력 모델 분석이 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 인체 센서 시스템의 전송 전력 조절 모델을 소개였다. 그리고 실험을 통해 센서 노드의 위치와 센서 노드를 장착한 사람의 움직임에 따른 에너지 효율성을 분석하였다. 특히 다양한 채널 환경에서 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin의 특성과 값의 변화가 미치는 영향을 에너지 소모 측면에서 분석하였다.

분석 결과 센서 노드의 위치, 사람의 움직임 상태, 전송 전력 조절 알고리즘에 관계없이 Target RSSI Margin이 낮으면 전체 에너지 소모량은 높고, Target RSSI Margin이 높으면 전체 에너지 소모량은 일정 값으로 수렴하는 로그 형태의 패턴을 띄는 것을 알 수 있었다. 그리고 Target RSSI Point가 높으면 센서 노드의 평균적인 전송 전력 레벨과 수신 신호 세기, 데이터 패킷에 의한 에너지 소모가 증가함을 알 수 있었다. 또 패킷 전송률은 채널 상태의 영향을 많이 받아 채널 환경이 좋은 경우와 나쁜 경우를 비교했을 때 최대 14%의 패킷 전송률 차이가 있었다. 그리고 Target RSSI Margin이 넓으면 제어 에너지보다 데이터 패킷에 의한 에너지 소모가 더 많은 영향을 미침을 분석을 통해 알 수 있었다. 마지막으로 에너지 소모량이 최대인 경우와 최소인 경우를 비교해 보았을 때 에너지 효율이 평균 250% 이상 차이 남을 알 수 있었다. 따라서 실제 구현될 무선 인체 센서 네트워크 시스템은 적용하고자 하는 해당 센서 시스템에 최적화된 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin 값을 설정하는 것이 센서 노드의 에너지를 효율적으로 관리하는 측면에서 매우 중요함을 알 수 있었다.

추후 연구로는 실험 분석을 바탕으로 Target RSSI Point와 Target RSSI Margin 값을 설정하여 실제 무선 인체 센서 네트워크 환경에 적용 가능하면서 에너지 효율을 증가시킬 수 있는 전송 전력 조절 알고리즘에 대해 연구해 볼 계획이다.

참 고 문 헌(Reference)

[1] Ministry of Information and Communication, http://www.mic.go.kr.

[2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, “A survey on sensor networks”, IEEE Communications Magazine, Aug, 2002.

[3] Chris O, Aleksandar M, Corey S, and Emil J, “System Architecture of a Wireless Body Area Sensor Network for Ubiquitous Health Monitoring”, Journal of Mobile Multimedia, Vol. 1, no. 4, Jan, 2006, pp. 307-326.

[4] Akyildiz I.F, Weilian Su, Cayirci E, “A survey on sensor networks”, IEEE Communications Magazine, Vol. 40, Issue. 8, Aug, 2002, pp.102-114.

[5] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", INFOCOM, Jun, 2002, pp. 1567-1576.

[6] S.Lin, “ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks”, IEEE Int’l. Symp. Antennas Propagation, June, 2007, pp.345-48.

[7] Woo-Sik Lee, Min Choi, and Namgi Kim, “Experimental link channel characteristics in wireless body sensor systems”, ICOIN, Feb, 2012, pp. 374-378.

[8] Woosik Lee, Min Choi, and Namgi Kim, “Different Characteristics of Radio Modules in Wireless Body Sensor Network Systems”, Network and Parallel Computing, Vol. 7513, Sep, 2012, pp. 308-314.

[9] Woosik Lee, and Namgi Kim, “A Study of Transmission Power Control Algorithms in Wireless Body Sensor Systems”, SoftTech, Vol. 19, 2013, pp.31-34.

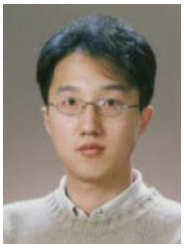
[10] Bruce Moulton, Lief Hanlen, June Chen, Graham Croucher, Lukshi Mahendran, Andrew Varis, “Body area Network transmission power control using variable adaptive feedback periodicity”, AusCTW, Feb, 2-5, 2010, pp. 139-144.

[11] Crossbow-Technology, http://bullseye.xbow.com:81/index.as

[12] CC1000 Data Sheet, http://www.ti.com/lit/ug/swru058/swru058.pdf.

◐ 저 자 소 개 ◑

홍 진 아 (Jin-a Hong)
2013년 경기대학교 컴퓨터과학과(공학사)
2013년~현재 경기대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정
관심분야 : 센서 네트워크
E-mail : jin-a@kgu.ac.kr



김 남 기 (Nam-gi Kim)
1997년 서강대학교 컴퓨터학과(공학사)
2000년 KAIST 전산학과(공학석사)
2005년 KAIST 전산학과(공학박사)
2005년~2007년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2007년~현재 경기대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야 : 통신 시스템, 네트워크
E-mail : ngkim@kgu.ac.kr