

바디 센서 네트워크에 존재하는 다양한 채널 상태에 따른 에너지 효율적인 디바이스 전력 관리 기법

홍진아, 이우식, 김남기¹
경기대학교 컴퓨터과학과
e-mail : {jin-a, wslee, ngkim}@kgu.ac.kr

Energy Management Method Depending on Diverse Channel Conditions In Wireless Body Sensor Networks

Jina Hong, Woosik Lee, Namgi kim
Dept. of Computer Science, Kyonggi University

요 약

바디 센서 네트워크 환경에 존재하는 다양한 종류의 디바이스는 매우 작은 배터리 기반으로 작동을 한다. 특히 기존에 존재하였던 센서 네트워크 환경보다 바디 센서 네트워크 환경이 자원이 매우 제한적이기 때문에 디바이스의 전력 관리가 매우 중요하다고 할 수 있다. 하지만 바디 센서 네트워크는 사람의 움직임 또는 센서의 위치와 같은 고유의 특징을 가지고 있기 때문에 바디 센서 네트워크를 구축하기 위해서 고유의 특징을 고려해야만 한다. 본 논문에서는 바디 센서 네트워크 환경에 존재하는 다양한 제약사항을 분석하며, 대표적인 전송 전력 관리 기법에 따른 에너지 효율적인 측면을 고려한 분석을 한다. 또한 분석된 결과를 통해 바디 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 대안을 제시하고자 한다.

1. 서론

바디 센서 네트워크 환경이란 사람이 착용하는 다양한 디바이스가 IEEE 802.15.4 표준기반의 무선 네트워크로 연결되어 이뤄진 환경을 의미한다. 이런 환경에 존재하는 다양한 디바이스는 실시간으로 사람 주변에 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 중앙에 데이터 수집하는 구동체에게 전달하여 IT-BT-NT의 기술이 융합된 새로운 서비스를 창출할 수 있게 도와준다. 특히나 초 고령화 사회로 진입을 하고 있는 우리나라의 경우 U-Healthcare, U-City와 같은 다양한 사업을 추진하고 있으며 그 중요성을 날로 커지고 있는 상황이다. 이런 추세에 맞춰 삼성그룹의 경우 U-Health 관련 사업을 씨앗산업으로 지정하여 다양한 사업을 진행하고 있으며, LG 그룹의 경우 U-병원을 통해 차별화된 경쟁력을 갖추기 위한 다양한 노력을 하고 있다. 그리고 SK 그룹의 경우에는 정통부와 함께 저소득층 노인들을 대상으로 U-Healthcare 서비스를 시범 운영을 하고 있으며, KT의 경우 모바일용 혈당 측정기 등 휴대폰을 통해 다양한 U-Healthcare 서비스를 지원해주고 있는 상황이다 [1]. 하지만 바디 센서 네트워크 환경에 존재하는 다양한 디바이스는 그 사용 용도에 따라 전송거리, 전송속도, 주파수 대역뿐만 아니라 보안과 토폴로지도 달라질 수 있다. 그리고 바디 센서 네트워크 환경에 존재하는 센서는 ECG, EMG, EEG, GSR, Pulse Oximeter, Skin Temperature, Pill Camera와 같이 다양한 센서가 존재 할 수 있다. 특히나 바

디 센서 네트워크 환경에 존재하는 이런 디바이스는 소형 배터리 기반으로 동작을 하며, 사람의 몸 안팎에 배치될 수 있기 때문에 에너지 효율적인 시스템을 구축해야 하는 문제를 가지고 있다. 이에 따른 에너지 효율적인 시스템을 구축하기 위한 기술은 대표적으로 MAC 스케줄링 방식과 전송 전력 관리 기술이 있다. 본 논문에서는 전송 전력 관리 기술과 관련하여 바디 센서 네트워크 환경의 제약사항을 분석하며, 실제 환경에서 실험을 통해 채널을 좀 더 세밀하게 분석하고자 한다. 그리고 실험결과를 전송률과 패킷당 에너지 소모량을 통해 효율적인 디바이스 전력 관리를 하고자 한다.

2. 관련연구

바디 센서 네트워크에 존재하는 디바이스는 사람의 움직임 또는 디바이스의 배치에 따라 다양한 채널 상태가 나타난다 [2]. 이와 같은 바디 센서 네트워크에 존재하는 고유 특징을 고려하기 위해선 기본적으로 바디 센서 네트워크 환경에 대한 이해를 바탕으로 시스템 설계를 해야 된다.

바디 센서 네트워크에 존재하는 전송 전력 관리 기술에 대한 연구는 많이 존재하지만 [3-7] 대표적인 연구로는 선형적인 접근방법 [3], 지수적인 접근방법 [4], 변동적인 접근방법 [5]이 존재한다. 선형적인 접근방법의 경우 디바이스는 현재 채널 상태 변화에 따라 디바이스의 전송전력을 한 단계씩 변경하면서 천천히

¹ 교신저자: 김남기 (ngkim@kgu.ac.kr)

따라가는 방법이다. 이 방법의 경우 채널이 급변하는 상황의 경우 안정적으로 디바이스의 에너지를 관리할 수 있지만, 채널의 상태가 변경되는 경우 다른 접근방법에 비해 상대적으로 비효율적인 접근을 한다는 단점을 지니고 있다. 지수적인 접근 방법의 경우 [4]엔 선형적인 방법에 비해 빠르게 최적의 전송 전력을 찾을 수 있기 때문에 채널이 좋은 경우 에너지 효율적인 동작을 수행한다. 하지만 채널 상태가 실시간으로 급격히 변할 경우 불필요한 전력 변경으로 안정적인 디바이스의 관리가 어렵게 된다. 마지막으로 변동적인 접근 방법 [5]의 경우 빠르게 최적의 전력 소비점을 찾기 위해 수학적으로 방정식을 쓰는 방법으로 써, 만약 빠르게 방정식을 구할 수 있다면 다른 알고리즘에 비해 비교적 빠르게 최적의 전송 전력을 찾을 수 있다. 하지만 그렇지 않을 경우 끝까지 최적의 전송 전력을 찾을 수 없게 되면 경우가 발생 할 수 있다. 본 논문에서는 앞서 살펴본 대표적인 3 가지 접근방법에 대해 바디 센서 네트워크의 다양한 환경을 고려한 전력 관리 기법에 대한 대안을 제시한다.

3. 바디 센서 네트워크 환경의 제약사항

바디 센서 네트워크 환경이란 사람의 신체 일부에 다양한 디바이스가 장착되어 네트워크를 구축한 환경을 말한다. 이와 같은 환경에 배치된 디바이스는 사람의 신체의 형태나 디바이스의 배치 상태와 같은 변수가 존재한다. 뿐만 아니라 바디 센서 네트워크 환경에서 사용되는 2.4GHz 주파수 영역은 IEEE 802.11 주파수 영역과 블루 투스의 영역과 겹치기 때문에 주변 간섭을 많이 받을 수 있다는 단점을 지니고 있다. 또한 바디 센서 네트워크 환경에 배치되어야 하는 디바이스의 경우 배터리 교체하기가 힘든 사람의 몸 안에 배치될 경우 에너지 효율적인 시스템 구축을 해야만 한다. 이런 제약사항을 고려한 시스템을 구축해야만 에너지 효율적인 시스템을 구축할 수 있게 된다. 표 1 은 바디 센서 네트워크 환경에 존재할 수 있는 제약사항을 보여주고 있다. 표에서 보는 것처럼 사람의 움직임과 사람의 모션에 따라 현재 채널 상태가 고정적과 역동적인 상태로 변경될 수 있으며, 디바이스의 위치에 따라 고정 링크가 될 수도 있고, 변동 링크가 될 수도 있다. 뿐만 아니라 주파수 영역에 따라 디바이스의 전파 직진성과 동일한 대역의 디바이스의 간섭을 고려해야만 한다.

<표 1> 바디 센서 네트워크 환경의 다양한 제약 사항

제약사항	항목
사람의 움직임	서기, 걷기, 뛰기
사람의 모션	팔/다리의 움직임
디바이스 위치	사람의 각 신체 부위
주파수 영역	ISM (400 MHz, 2.45 GHz) UWB (3.1 - 10.6 GHz)
네트워크 링크	고정 링크, 변동 링크
제약적인 자원	소형 배터리
토폴로지	Star, Mesh, Peer-to-Peer
채널 상태	고정적, 역동적인

4. 실험 환경 구축과 실험 절차

본 논문에서는 다양한 채널에 따른 실험 환경을 구축하기 위해 그림 1 과 같은 사각 형태의 복도에서 실험을 진행하였다. 그림에 존재하는 바디 센서 네트워크 실험자는 사람의 사각형의 둘레를 서기, 걷기, 뛰기의 다양한 움직임을 통해서 실험의 필요한 데이터를 수집하게 된다.

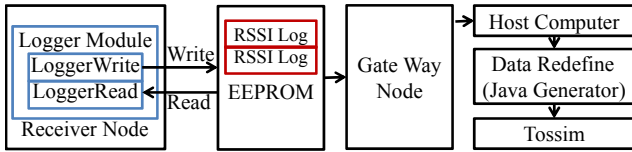


(그림 1) 바디 센서 네트워크 환경의 실험 환경과 사람의 움직임 방향

바디 센서 네트워크 환경에서 실험을 수집하는 장비는 Crossbow Technology [8] 에서 제공하고 있는 Cricket Mote 를 가지고 실험을 진행하였다. Cricket Mote 는 CC1000 Radio [9] 모듈을 가지고 있으며, 전송 파워 레벨을 22 단계로 제공하고 있는 Radio 모듈이다. 표 2 는 본 논문에서 실험을 위해 설정한 파라미터를 보여주고 있다. 파라미터에서 Target RSSI Margin 이 의미하는 것은 최적의 파워를 찾기 위해 필요한 수신 전력 세기의 범위를 의미한다. Target RSSI Point 는 수신 전력 세기의 범위의 중심축을 의미하는 값으로써, Target RSSI Point 의 값이 움직이면 전체적인 Target RSSI Margin 의 범위가 변경된다. 따라서 Target RSSI Point 값과 Margin 의 값이 디바이스의 전력 소비와 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 만약 Target RSSI Margin 의 범위가 좁을 경우 전송 전력 제어 알고리즘이 최적의 전송파워의 구체적인 값을 찾을 수 있지만, 채널 상태가 안 좋을 흔들리는 경우 못 찾게 되는 경우가 발생할 수 있다. 반면 Target RSSI Margin 의 값이 너무 클 경우 채널에 둔하게 반응하여 최적의 전송 전력 파워를 찾기 못하는 경우가 발생하게 된다. 이에 따라 Target RSSI Point 의 경우 너무 낮게 설정하게 되면 전송 패킷이 손실될 위험이 크며, 너무 높게 설정하게 되면 에너지 소비가 높기 때문에 적당한 Target RSSI Point 를 찾는 것은 곧 디바이스의 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 지름길이다.

<표 2> 바디 센서 네트워크 환경의 실험 파라미터

설정 항목	파라미터
Target RSSI Margin	±5
Target RSSI Point	-65, -75, -85, -95
전송 노드 위치	가슴
좋은 채널 상태	배, 서기
나쁜 채널 상태	등, 뛰기



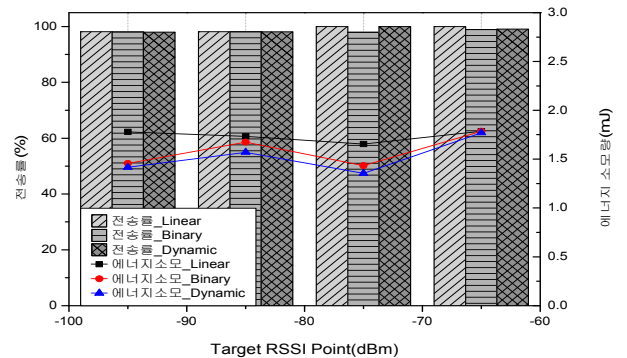
(그림 2) 전체적인 실험 구조도

그림 2 는 본 논문의 실제 실험 구조도를 보여주고 있다. 좀 더 자세히 살펴보면, 처음에 Logger Module 의 경우 그림 1 에서 사람이 움직임에 따라 수집되는 Module 로써 실시간으로 데이터를 수집하여 디바이스의 EEPROM 에 저장하는 역할을 수행한다. 이 때 Logger Module 의 Logger Write 와 Logger Read 가 사용되며 수집된 데이터는 실제 환경에서 사람의 움직임에 따른 수신 전력 세기라고 할 수 있다. 그리고 Gate Way Node 의 경우 최종적으로 데이터 분석을 위해 Host Computer 에 연결된 중계자 역할을 수행하는 디바이스라고 할 수 있다. 따라서 Gate Way Node 의 경우 실제 환경에서 수집된 Log Data 를 수집하여 Host Computer 에게 넘기는 역할을 수행한다. Host Computer 의 경우 수집된 Log Data 를 실제 시뮬레이터에 사용할 수 있는 데이터로 가공하기 위해 Java 로 제작된 프로그램을 사용한다. 사용되는 Java 프로그램은 Log Data 를 Header 파일의 형태로 변환하여 시뮬레이터에 적합하도록 변경해준다. 본 논문에서 사용하는 시뮬레이터는 TinyOS 에서 제공하고 있는 TOSSIM 시뮬레이터로 Event 기반의 센서 네트워크 시뮬레이터라고 할 수 있다.

5. 실험 결과

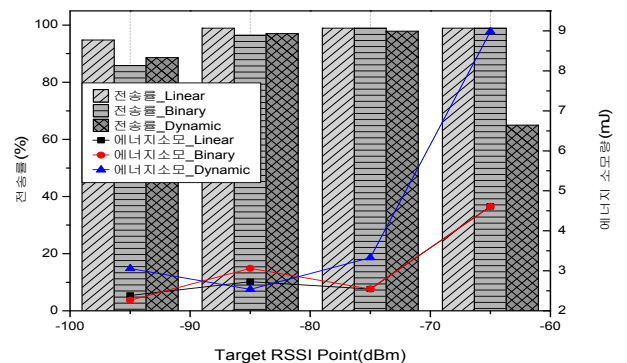
그림 3 은 좋은 채널 환경에서 데이터의 전송률과 에너지 소모량을 보여주고 있다. 이 그림에서 X 축은 Target RSSI Point 를 의미하며, 왼쪽 Y 축은 데이터 전송률을 보여주고 있다. 그리고 오른쪽 Y 축은 데이터 한 개당 에너지 소모량을 보여주고 있다. 그림에서 에너지 소모량은 Target RSSI Point 에 상관없이 전체적으로 96% 이상의 좋은 결과를 보여주고 있다. 이런 결과를 통해 우리는 좋은 채널 환경에서는 바디 센서 디바이스가 데이터를 효과적으로 전달할 수 있음을 알 수 있다. 반면 에너지 소모량은 Target RSSI Point 값에 따라 다른 결과를 보여주고 있는데 -75 Point 에서 가장 낮은 에너지 소모량을 보여주고 있으며, -65 Point 에서 가장 높은 에너지 소모량을 보여주고 있다. 이런 결과를 통해 우리는 바디 센서 네트워크의 좋은 채널 환경에서는 Target RSSI Point 값이 -75 이면서 센서의 위치는 배, Target RSSI Margin 의 범위는 ±5 인 경우가 바디 센서 네트워크의 디바이스의 전력 측면에서 좋은 영향을 가져온다는 것을 판단할 수 있다. 뿐만 아니라 이런 결과를 통해 채널 상태가 좋을 경우 Target RSSI Point 가 너무 높으면 디바이스가 높은 데이터 성공률에도 불구하고 불필요하게 전송 전력 파워를 쓴다는 것을 판단할 수 있다. 특히나 좋은 채널 환경에서는 방정식을 활용해서 전송 전력을 판단하는 변동적인 접근방법의 알고리즘이 가장 효율적

으로 동작되며, 선형적으로 접근하는 방법은 다른 접근방법에 비해 에너지 소모량이 크다는 것을 알 수 있다.



(그림 3) 좋은 채널 환경에서 데이터 전송률과 에너지 소모량

그림 4 는 나쁜 채널 환경에서 데이터 전송률과 에너지 소모량을 보여주고 있다. 나쁜 채널의 환경의 경우 좋은 채널과는 다르게 전송률이 95% 미만인 경우가 많이 보인다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 송신자 디바이스의 위치인 가슴과 수신자 디바이스의 위치인 등의 링크가 변동링크이기 때문이다. 특히나 Target RSSI Point 가 높을 경우 기본적으로 전송률이 높을 것 같지만, 변동적인 접근 방법의 경우엔 전송률이 상당히 낮다는 것을 확인할 수 있다. 이 이유는 변동적인 접근 방법의 경우 이전 수신 파워와 현재 수신 파워의 값을 바탕으로 데이터 방정식을 만드는 데 Target RSSI Point 가 높을 경우 실제 수신 파워의 차이가 역으로 보이거나 기울기가 너무 낮아 잘못된 전송 파워 예측으로 인해 낮을 수 있다고 예측할 수 있다. 이로 인해 실제 에너지 소모량도 가장 높은 결과를 보여주고 있다. 또한 좋은 채널과는 다르게 나쁜 채널의 환경에서는 전체적으로 에너지 소모량이 높게 나타나 평균적으로 220% 정도 증가한 결과를 볼 수 있다. 뿐만 아니라 Target RSSI Point 의 가장 좋은 Point 는 -95 Point 라고 할 수 있다. 이런 결과를 통해 우리는 나쁜 채널에서는 Target RSSI Point 를 낮게 설정해야 디바이스의 에너지를 효율적으로 관리할 수 있음을 알 수 있다.



(그림 4) 나쁜 채널 환경에서 데이터 전송률과 에너지 소모량

6. 결론

본 논문에서는 바다 센서 네트워크 환경에 존재하는 디바이스의 수명연장을 위해 기본적으로 고려해야 될 바다 센서 네트워크 환경의 제약사항을 분석하였다. 그리고 실제 환경에서 바다 센서 네트워크 환경에서 실험을 통해 바다 센서 네트워크 환경에 필요한 데이터 값을 수집하였으며, TinyOS 시뮬레이터 환경에서 다양한 전송 전력 세기 조절 알고리즘의 실험 결과를 분석하였다.

분석 결과 좋은 채널 환경에서는 변동적이 접근방법을 사용하는 것이 가장 효과적이며, Target RSSI Point 는 -75 지점이 가장 좋다는 것을 확인하였다. 그리고 전체적으로 전송률이 높다는 것 또한 볼 수 있었다. 반면에 채널이 나쁜 경우엔 선형적인 접근 방법이 다른 접근 방법에 비해 좋은 결과를 보여주었으며, Target RSSI Point 의 -95 지점이 가장 좋다는 것을 확인할 수 있었다. 이런 결과를 통해 우리는 채널 환경에 따라 Target RSSI Point 지점을 지정할 수 있는 알고리즘을 구축한다면 바다 센서 네트워크 환경에 존재하는 디바이스가 효율적으로 에너지 소비를 하면서 높은 데이터 전송률을 가지고 통신을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

본 실험 결과를 바탕으로 우리는 좀 더 다양한 Target RSSI Margin 과 Target RSSI Point 값에 따른 실험 결과를 분석할 예정이다. 그리고 좀 더 다양한 채널 환경에 따른 결과를 분석할 예정이다. 뿐만 아니라 분석 결과를 바탕으로 새로운 전송 전력 제어 알고리즘을 제안할 예정이다. 본 연구는 바다 센서 네트워크에 반드시 필요한 에너지 절약 연구의 초석이 될 것이라 믿는다.

Acknowledgment

이 논문은 2012 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제 번호: 2012R1A1A1002133)

참고문헌

- [1] 윤양문, "Body Area Network for Healthcare Service," 한국전파진흥회, 2008 년 1 월
- [2] Woosik Lee, Min Choi, and Namgi Kim, "Experimental link channel characteristics in wireless body sensor systems," IEEE ICOIN, pp. 374-378, Feb. 2012.
- [3] Donald Knuth, "The Art of Computer Programming. 3: Sorting and Searching", 3rd edition, Addison-Wesley, 1997.
- [4] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein, "Introduction to Algorithms", 1st edition, MIT Press and McGraw-Hill, 1990.
- [5] M. Quwaider, J. Rao, and S. Biswas, "Body-posture-based dynamic link power control in wearable sensor networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 48, pp. 134-142, July. 2010.
- [6] L. Liang and et al., "Experimental Study on Adaptive Power Control Based Routing in Multi-Hop Wireless Body Area Networks," Globecom, pp. 590-595, Dec.

2012.

- [7] S. Xiao and et al., "Transmission Power Control in Body Area Sensor Networks for Healthcare Monitoring," IEEE JSAC, vol. 27, pp. 37-48, Jan. 2009.
- [8] Crossbow-Technology, (<http://bullseye.xbow.com:81/index.as>)
- [9] CC1000 Data Sheet, (<http://www.ti.com/lit/ug/swru058/swru058.pdf>)