

저전력 무선 네트워크를 위한 유무선 연동 센서 네트워크의 전력 제어 방법

이경숙* · 김현덕**

요 약

본 논문에서는 IEEE와 ZigBee Alliance에서 제정한 국제 표준안과 호환성을 가지고, 저전력 저비용을 강점으로 하는 지그비를 이용하여 상대적으로 열악한 전송 환경을 갖지만 적용이 용이한 무선망과, 기존 무선 기반 센서 네트워크 단점을 극복하기 위해 이미 구축되어 있는 동축케이블을 이용한 유선망을 연동함에 있어서 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘을 이용하여 저전력 소모를 특징으로 하는 지그비 장치의 새로운 저전력 소모 방안을 제시하였다. 보다 최적화된 저전력 소모를 가능하도록 실험을 통해 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

Method for Power control of Wired and Wireless linkage Sensor Network for Low-power Wireless network

Kyung-Sook Lee* · Hyun-Deok Kim**

ABSTRACT

In this paper, using a new low-power consumption method for ZigBee device, which consume low-power using an output power control algorithm through RSSI monitoring as interlocking wireless network using ZigBee which has advantages of a low-power consumption, a low-cost, a compatibility and a draft international standardization enacted by IEEE and ZigBee Alliance, with wired network using built coaxial cable to overcome the disadvantage of the existing wireless sensor network, is proposed. Effectiveness of the output power control algorithm through RSSI monitoring has been verified by experimentation for more optimized low-power consumption.

Key words : Transmission power controlling algorithm, RSSI monitoring, Wireless sensor network, Wired and Wireless linkage sensor network, ZigBee, Coaxial cable

접수일(2012년 5월 7일), 수정일(1차: 2012년 6월 15일),
게재확정일(2012년 6월 21일)

* 경북대학교 IT대학 모바일통신공학과

** 경북대학교 IT대학

1. 서론

여러 무선 네트워크 기술 중에서 지그비(ZigBee)는 저전력 소모, 시스템 구성의 저비용, 다수의 네트워크 노드를 수용할 수 있어 대용량을 필요로 하지 않는 센서 및 제어 분야에서 크게 각광받고 있다[1]. 그러나, 근거리 무선통신 방식을 근간으로 한 지그비는 노드 간의 통신 거리가 수십 미터 이내로 제한되고, 전파 음영 지역에서의 통신을 위해서는 새로운 노드들이 추가되어야 한다. 또한 동일 주파수 대역의 무선랜과 블루투스의 간섭에서 자유롭지 못하다는 단점이 있다.

이와 비교하여 유선망에서의 통신은 무선 환경에서 보다 안정된 신호 및 장거리 전송이 가능하여 신뢰성 높은 인프라 구축이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 네트워크 구축을 위한 전용 유선망 설치가 필요하므로 이에 대한 대안으로써 이미 풍부한 인프라가 구축되어 있는 전력선이나 동축케이블을 활용하는 방안이 검토될 수 있을 것이다[2].

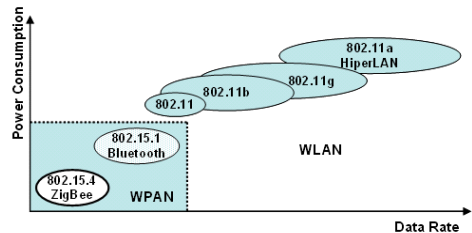
CATV 서비스를 위한 동축케이블은 대역폭이 넓어 다양한 서비스를 통합하여 제공하는데 적합하며, 누전으로 인한 비상 상황 등에도 전력선 통신에 비해 우수한 생존성을 보장할 수 있다. 또한 센서 노드는 사용되는 목적상 한번 물리적 공간에 배치가 되면 장기간 동안 배터리의 교체 없이 주기적으로 정보를 수집하고 필요시 관련 디바이스를 제어하는 역할을 포함한다. 이러한 특성으로 인하여 센서 노드에서 소모되는 전력을 최소화하여 센서 노드의 수명을 증가시키는 것이 매우 중요하다[3].

본 논문에서는 IEEE와 ZigBee Alliance에서 제정한 저전력 저비용을 강점으로 한 지그비를 이용하여 기존 무선 기반 센서 네트워크의 단점 극복 방안을 제안한다. 이미 구축되어 있는 동축케이블을 이용하는 유선망을 연동함에 있어서 RSSI 모니터링 출력 파워 조절 알고리즘을 이용함으로써 저전력 지그비 장치에 보다 효율적이고 최적화된 저전력 소모 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구 배경 및 관련 기술

2.1 지그비(ZigBee) 특징과 문제점

유비쿼터스에 대한 관심이 증가하면서 10m 내외의 근거리에서 편리하게 사용할 수 있는 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술이 주목받고 있다. 그에 따라 지그비는 그림 1과 같이 다른 무선 네트워크 기술에 비해 저전력과 저가 호스트 기반의 무선 네트워크 솔루션으로 홈네트워크 및 공장 자동화, 헬스케어 분야 등에서 크게 각광받고 있다[4, 5].



(그림 1) 무선 네트워크 기술의 종류 및 특징

지그비는 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 WPAN 기술로 낮은 전력을 소모하며, 저가의 센서 네트워크를 구현하기에 적합한 기술이다. 주파수 대역은 유럽, 북미 지역의 868MHz 및 915MHz 대역과 전 세계 공용의 2.4GHz 대역으로 정의된다[6-8].

그 외 지그비의 대략적인 기술적 특징은 표 1의 내용과 같다.

<표 1> 지그비의 기술적 특징

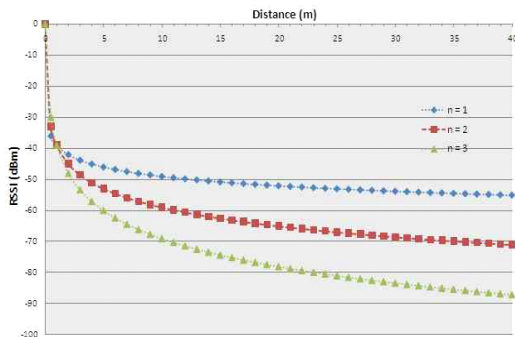
구분	기술적인 특징
주파수 대역	2개의 물리 계층: 868/915MHz, 2.4GHz
데이터 전송률	868MHz: 20kbps, 915MHz: 40kbps, 2.4GHz: 250kbps
채널수	868MHz: 1채널, 915MHz: 10채널, 2.4GHz: 16채널
적용 거리(범위)	10 ~ 75m
전력 소모	Tx: 30mA, Standby: 3uA
어드레싱	8-bit Short Address 또는 64-bit IEEE Address
채널 접속 방식	CSMA/CA 또는 Slotted CSMA/CA

지그비의 단점으로는 전송 거리와 전파 간섭을 들 수 있다. 전송 거리의 한계는 출력 파워를 높이거나

지그비 라우터를 설치함으로써 극복할 수 있다. 그러나, 출력 파워를 높일 경우 많은 전력 소모로 인해 저전력 소모라는 지그비의 기본 취지에 반하며, 지그비 라우터를 여러 개 두는 것도 트래픽 증가와 비용 증가를 유발한다. 전파 간섭에 있어서도 점점 늘어나는 2.4GHz 대역의 통신 장비들과의 충돌로 정확한 패킷 전송을 보장할 수 없다.

반면에 지그비 신호를 유선 매체에 실어 전송할 경우 앞서 언급한 지그비의 단점들을 극복할 수 있다. 장애물에 의한 신호의 감쇠를 막고 다른 무선기기들로부터 전파 간섭을 피할 수 있다. 뿐만 아니라 전송 거리도 늘어나 불필요한 지그비 라우터가 빠짐으로써 비용절감의 효과도 있다.

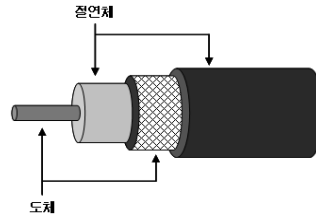
그리고, 지그비의 단점으로 거리에 따른 전력 증가에 대한 여러 연구 결과 지그비의 전파 신호세기는 전파가 전달된 거리에 반비례하는 관계를 발견하였다 [9]. 그림 2는 이론적인 신호세기의 감쇠를 나타내는 그래프로 거리가 증가함에 따라 신호세기가 로그 형태로 감쇠하는 모습을 보여주고 있다. 또한 경로손실 (n)에 따른 값의 변화를 보여주고 있다.



(그림 2) 거리에 따른 RSSI 값의 이론적인 변화

2.2 동축케이블(Coaxial cable)의 특징

동축 케이블은 고주파 전송용 케이블로 지름은 0.4~1인치이며, 절연체인 폴리에틸렌은 신호의 교란을 방지하고, 그물 모양의 외선은 인접한 회선과의 차폐 역할을 한다. 용량이 커서 음성 회선 1만개를 동시에 보낼 수 있으며, 장거리 전화망, 종합 유선 방송(CATV), 구내 정보 통신망(LAN) 등에 사용된다[10].



(그림 3) 동축 케이블 구조

동축 케이블은 주로 수십 MHz에서 수백 MHz 대역의 신호를 전송하기 위한 목적으로 사용되므로 2.4 GHz 대역의 지그비 신호를 동축 케이블 상에 실을 경우 신호의 반사가 일어나며 그 결과 전송 거리에 영향을 주게 된다.

2.3 유무선 연동 센서 네트워크의 특징

센서 네트워크의 대표적인 기술인 지그비는 무선 네트워킹 기술을 기반으로 하고 있다. 이러한 무선 네트워킹 기술은 앞 절에서 보인 바와 같이 주변 환경에 따라 성능이 크게 변화한다. 즉, 지그비 기반 무선 전송시스템의 전송 거리 한계 및 전파 간섭은 열악한 무선 환경이 원인이라고 할 수 있다. 이와 같이 무선 기술을 기반으로 한 센서 네트워크의 성능 변동은 신뢰성 및 일관성을 필수 조건으로 하는 센서 네트워크 인프라로서 치명적 약점이다. 즉, 센서 네트워크는 어떠한 환경에서도 목적하고자 하는 정보를 송수신할 수 있어야 함에도 불구하고 기존의 지그비 기술은 성능 보장 측면에서 한계를 가짐을 의미한다.

한편 기존 무선 센서 네트워크 기술의 문제점을 극복하기 위해서 주변 환경을 고려하여 무선 네트워크를 최적화 하는 방안이 검토될 수 있다. 예를 들어, 지그비 기술을 이용할 경우, 라우터를 적절히 추가하여 노드간의 전송거리를 단축하거나, 간섭의 원인인 무선 랜 및 블루투스 송신 장치로부터 센서 노드를 이격시키는 것이다. 하지만, 이 방법은 트래픽 및 비용 증가를 동반하는 문제점이 있거나, 경우에 따라서는 적절한 노드 위치를 확보하는 것이 불가능하여 최적화 하는 부분이 제한적일 수 있다.

기존 무선 센서 네트워크 기술의 문제점을 극복하기 위해 유무선 연동 기술을 활용하여 일정한 성능을 보장하는 방법으로 이미 구축되어 있는 CATV망을

기반으로 하여 유무선 연동 센서 네트워크를 구축함으로써 추가적인 인프라 필요 없이 보다 안정적 통신을 보장할 수 있다. 즉, 지그비 신호를 동축케이블을 통해 전달함으로써 앞에서 언급한 신호의 간섭 및 장애물에 의한 신호 감쇄를 줄일 수 있다. 또한, 열악한 환경에서는 이미 포설된 CATV망을 이용하여 네트워크를 구축하고, 비교적 전파 환경이 우수한 지역에서는 무선을 이용함으로써 지그비의 전송 성능을 최적화할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

센서 네트워크에서 소량의 센싱 데이터를 일정한 시간 주기 또는 이벤트 발생 시 데이터를 송신하게 된다. 그리고 센서 노드는 사용되는 목적상 한 번 물리적 공간에 배치 가 되면 장기간 동안 배터리의 교체 없이 주기적으로 정보를 수집하고 필요시 관련 디바이스를 제어하는 역할을 포함한다. 이러한 특성으로 인하여 센서 노드에서 소모되는 전력을 최소화하여 센서 노드의 수명을 증가시키는 것은 매우 중요하다[3].

최근까지 저전력으로 작동되는 무선 센서 네트워크에 대한 연구는 MAC 프로토콜 알고리즘을 개선하는 분야에서 대부분 이루어지고 있다. 이에 대한 연구는 센서 노드의 대기 시간을 증가시키거나 데이터 수신 시점에 대한 정보를 미리 수신기에 전달하여 해당 시간만 수신기를 작동하여 데이터를 수신하는 기술 등이 연구되고 있다[3].

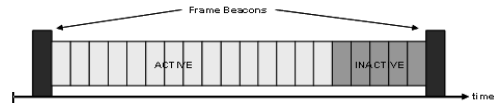
본 논문에서는 CATV망을 이용한 유무선 연동 센서 네트워크상에서의 저전력 소모 방안으로 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘을 이용함으로써 보다 최적화된 저전력 소모가 가능하도록 유효성을 검증하였다.

3.1 MAC 계층의 저전력 제어 방법

지그비 코디네이터는 동일한 PAN 내의 디바이스들에게 비콘 프레임(Beacon Frame)을 주기적으로 브로드캐스팅 할 수 있다. 이때, 연속된 두 개의 비콘 프레임 사이의 시간을 ACTIVE 구간과 INACTIVE

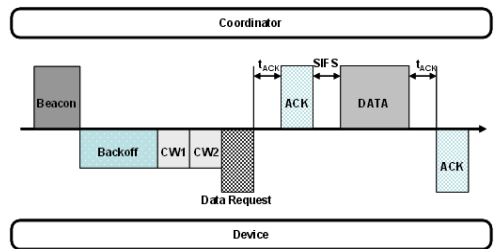
구간으로 분할하여 사용할 수 있는데, 이와 같이 분할된 구조를 Superframe 구조라고 한다.

Superframe 구조에서 동작하는 PAN 내에서는 ACTIVE 구간의 시간에만 채널에 접근이 허용되며, INACTIVE 구간에서는 모든 디바이스들이 슬립 모드(Sleep Mode)로 동작하기 때문에 Superframe 구조를 조정하여 저전력 소모가 가능해진다[11].



(그림 4) Superframe 구조

Superframe 구조로 동작하는 PAN 내에서 데이터의 Downlink는 지그비 코디네이터가 비콘 프레임을 브로드캐스팅하면서 시작된다. 그림 5에 Downlink 과정을 나타내었다.



(그림 5) 데이터 수신 과정

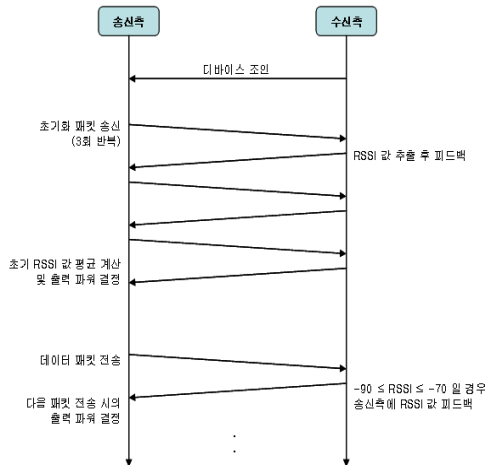
지그비 코디네이터는 비콘 프레임을 통해 특정 디바이스에 전송할 데이터가 있다는 정보를 보낸다. 디바이스는 자신이 받을 데이터가 있는지를 판별한 후, 자신이 받을 데이터가 있을 경우 Downlink를 준비한다. 채널 접근 권한을 얻기 위해 CSMA/CA 알고리즘에 의해서 임의로 정해진 Backoff 만큼 지연 후, 채널 접근 권한을 획득하면, 디바이스는 데이터 요청 프레임(Data Request Frame)을 전송한다. 데이터 요청 프레임을 받은 코디네이터는 tACK 후에 응답 프레임(ACK Frame)을 전송하여, 데이터 요청이 성공적으로 수행되었음을 알리고 SIFS 이후에 데이터 프레임을 전송한다. 디바이스는 데이터 프레임에 이상이 없을 경우 tACK 이후에 응답 프레임을 전송하여 데이터 프레임을 성공적으로 받았음을 알린다.

이러한 일련의 과정을 통해서, 디바이스는 데이터 프레임의 수신하는 시점을 알 수 있다. 즉, 주기적인 비콘 프레임을 수신하는 시점과 자신이 수신할 데이터가 있어서 응답 프레임과 데이터 프레임을 수신 받는 시점에만 수신기를 활성화하면 된다. 그 외의 구간에서는 항상 수신기를 비활성화시킬 수 있으므로, 이러한 Downlink 방식에서는 저전력 소모가 가능하다[11].

Superframe 구조로 동작하는 PAN 내에서는 Battery Life Extension Mode를 지원하는데, 이는 CSMA/CA에서 사용되는 방식으로 전송 기회를 얻기 위한 Backoff Delay를 줄이는 방법이다. Backoff Delay는 0과 Maximum Backoff 값 사이의 임의의 값으로 결정된다. 따라서, Maximum Backoff 값이 작을수록, 평균적인 Backoff Delay는 작아지고, 그만큼 MAC의 처리 시간이 줄어들기 때문에, 전력 소모를 줄일 수 있다[11].

3.2 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘

MG2455-F48칩이 수신 가능한 최소한의 신호 세기는 -98dBm이다. 이 점을 이용하여 송신측의 출력 파워를 조절하게 되는데 수신측의 수신 패킷 상에는 해당 패킷 수신시의 수신신호강도(RSSI, Received Signal Strength Indication)가 명시되며 이 수신신호강도를 송신측으로 전송함으로써 송신측은 다음 번 패킷 출력 시 출력 파워를 높이거나 낮출 수 있다.



(그림 6) RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘 순서도

최초 송신측(지그비 코디네이터)에 수신측(지그비 엔드 디바이스)이 조인(Join)하면 송신측에서는 의미 없는 데이터를 담은 초기화 패킷을 3회 수신측으로 전송한다. 수신측에서는 수신 패킷 상에 명시된 RSSI 값을 추출하여 송신측으로 전송한다. 송신측에서는 전송받은 RSSI 값의 평균을 구하고 RSSI-출력 파워 관계 테이블을 참조하여 초기 출력 파워를 결정하게 된다.

이후 송신측은 유효한 데이터를 담은 데이터 패킷을 송신하게 되고 수신측에서는 RSSI 값이 $-90 \leq \text{RSSI} < -70$ 의 범위를 벗어날 경우에만 송신측으로 RSSI 값을 전송한다. 이는 수신측의 RSSI 값이 수신감도인 -98dBm에 근접할 만큼 송신측의 출력 파워가 최소한으로 맞춰졌다는 것을 의미한다. 송신측에서 RSSI 값을 받게 되면 앞서와 같이 RSSI-출력 파워 관계 테이블을 참조하여 다음 번 패킷 출력 시의 출력 파워를 결정하게 되고 이러한 과정을 반복함으로써 출력 파워를 가변시키게 된다.

<표 2> RSSI-출력 파워 관계 테이블

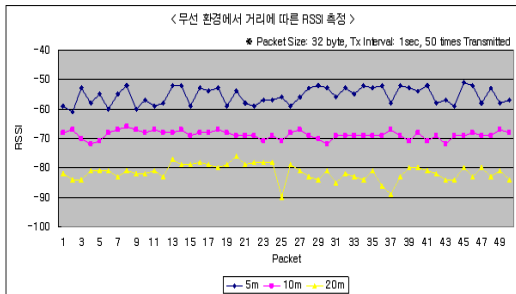
RSSI [dBm]	출력 파워 [dBm]	입력 파워 [dBm]
RSSI < -90	+8	-80
$-70 \leq \text{RSSI} < -60$	-10	-80
$-60 \leq \text{RSSI} < -50$	-20	-80
$-50 \leq \text{RSSI} < -40$	-30	-80
$-40 \leq \text{RSSI} < -30$	-40	-80
$-30 \leq \text{RSSI} < -20$	-50	-80
RSSI ≥ -20	-60	-80

표 2를 보면 수신측 입력 파워가 -80dBm에 근접하도록 기준을 잡았고, 이 기준을 만족시키도록 송신측 출력 파워가 결정되도록 하였다. 그 이유는 MG2455-F48칩의 수신감도가 -98dBm이므로 약 20dBm의 간격을 둔 -80dBm을 평균 입력 파워로 잡음으로써 통신 채널의 예상치 못한 변화에 보다 안정적으로 패킷 수신을 할 수 있도록 하기 위함이다.

무선 환경에서 거리에 따른 RSSI 값의 변화를 살펴보기 위해 다음과 같은 조건으로 실험을 하였다.

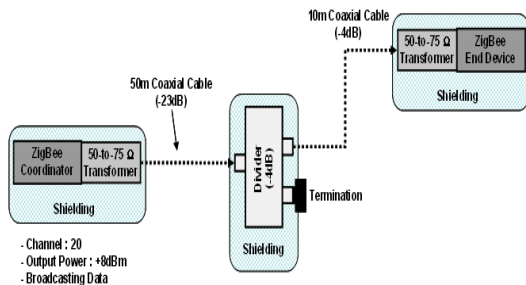
<표 3> 무선 환경에서 거리에 따른 RSSI 값 측정 실험 조건

실험 조건	
채널	2,450MHz(20번)
거리	지그비 장치간 거리: 5m, 10m, 20m
출력 파워	+8dBm
전송 간격	1초
안테나	2dBi 다이폴 안테나
패킷 사이즈	32Byte



(그림 7) 무선 환경에서 거리에 따른 RSSI

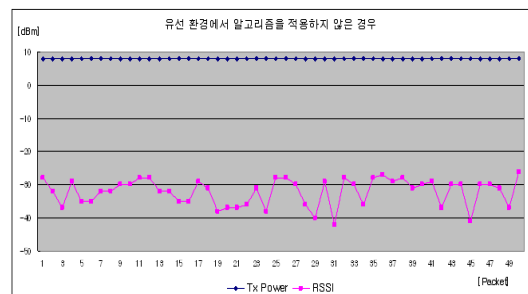
무선 환경에서 RSSI 값은 무선 랜의 영향이나 사람의 이동 등에 의해 급격하게 변화되므로 무선 환경에 본 알고리즘을 적용할 경우 패킷 수신을 실패할 확률이 높아진다. -80dBm에 맞도록 낮은 출력 파워로 송신한 패킷이 전달과정에서 무선 채널상의 예기치 못한 요인에 의해 채널 상태가 순간적으로 나빠질 경우 패킷이 상실될 수 있기 때문이다. 그러므로 무선 환경에서는 RSSI 모니터링에 의한 출력 파워 조절 알고리즘은 적합하지 않다. 다음은 유선 환경에서의 실험 구성도를 나타낸다.



(그림 8) 유선 환경에서 알고리즘 검증 실험 구성

<표 4> 유선 환경에서 알고리즘을 미적용한 경우 RSSI 측정 조건

실험 조건	
채널	2,450MHz(20번)
거리	지그비 장치간 거리: 60m
출력 파워	+8dBm
전송 간격	1초
패킷 사이즈	32Byte

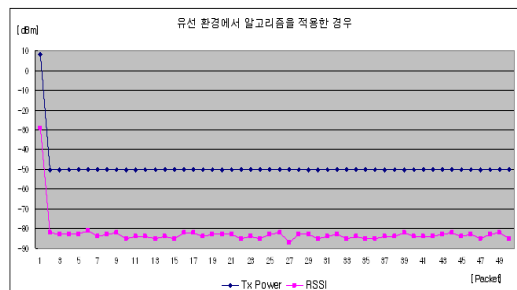


(그림 9) 유선 환경에서 알고리즘을 적용하지 않은 경우

송신측에서는 최대 출력 파워인 +8dBm으로 50개의 패킷을 송신하였다. RSSI 값이 대체적으로 -25dBm~-40dBm 사이로 측정되었으며, 50개의 패킷을 모두 송신하는데 총 2,315mA의 전류가 소모되었다.

<표 5> 유선 환경에서 알고리즘을 적용한 경우 RSSI 측정 조건

실험 조건	
채널	2,450MHz(20번)
거리	지그비 장치간 거리: 60m
출력 파워	최초 +8dBm 이후 알고리즘에 의해 가변됨
전송 간격	1초
패킷 사이즈	32Byte



(그림 10) 유선 환경에서 알고리즘을 적용한 경우

유선 환경에서 알고리즘을 적용한 경우 50개의 패킷을 모두 전송하는데 총 1,490mA의 전류가 소모되어 알고리즘을 적용하지 않은 경우보다 36% 전류 소비가 감소하였다. 이로써 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 보완하는 보다 안정적이고 신뢰성 있는 경제적인 센서 네트워크로 유무선 연동의 센서 네트워크상에서 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘을 이용하였다. 저전력 소모를 특징으로 하는 지그비 장치에 효율적인 저전력 소모 방안을 제시함으로써 보다 최적화된 저전력 소모를 가능하게 하였다. 또한 실험을 통해 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘의 유효성을 검증하였다. 이와 함께, 본 논문에서 제안한 RSSI 모니터링을 통한 출력 파워 조절 알고리즘 방법뿐만 아니라, 다른 저전력 소모 방안들의 적용 및 비교/분석에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 최동훈, 배성수, 최규태, 지그비 기술과 활용, 세화, 2007.
- [2] 장한식, 이상도, "Zigbee 기술을 이용한 디지털 홈 네트워킹," 한국통신학회지 제22권 11호, 2005.
- [3] 유영대, 최정훈, 김남, "IEEE 802.15.4 무선 스타 센서 네트워크에서 비콘 신호 주기에 따른 센서 노드 전력소모량 분석", 한국통신학회지, 제31권, pp.881-812, 2006.
- [4] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>
- [5] Radiopulse, ZigBee Applications, <http://www.radiopulse.co.kr/>
- [6] P. Baronti et al, "Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards," computer Communications, May 2007.
- [7] IEEE, IEEE Std. 802.15.4TM,2003.
- [8] IEEE 802.15.4 Workgroup, IEEEStd.802.15.4: IEEEStandardforWirelessMediumAccessControl(MAC)andPhysicalLayer(PHY)SpecificationsforLow-RateWirelessPersonalAreaNetworks(LR-WPANs),2003.
- [9] Y. Chengbo, et al, "ZigBee Wireless Sensor Network in Environmental Monitoring Applications," WICOM,2009
- [10] TTA 정보통신 용어사전, <http://word.tta.or.kr/>
- [11] 윤성록, "ZigBee : 저속-저가-저전력의 무선 통신 기술", SITI Review 2004년 10월 제6호,pp. 3~9.

[저자 소개]



이 경 숙 (Kyung-Sook Lee)

1995년 2월 경일대학교
컴퓨터공학과 (공학사)
2003년 8월 경북대학교 정보통신학과
(공학석사)
2012년 8월 경북대학교
모바일통신공학과(공학박사)
현재 (재)대경선도산업지원단
선임연구원

email : kslee@ee.knu.ac.kr



김 현 덕 (Hyun-Deok Kim)

1997년 2월 경북대학교 전자공학과
(공학사)
1999년 2월 한국과학기술원
전기 및 전자공학과
(공학석사)
2002년 2월 한국과학기술원
전자전산학과(공학박사)
현재 경북대학교 IT대학 부교수

email : hyundkim@ee.knu.ac.kr