

Zigbee의 저전력화와 채널간섭 분석☆

Analysis of Low Power and Channel Interferences for Zigbee

강민구* 신호진**
Kang, Mingoo Shin, Hojin

요약

무선PAN(Wireless Personal Area Network, WPAN)에서 Zigbee의 저전력화와 채널간섭을 개선하고자, Zigbee망의 전력소모와 통신패턴을 분석하였다. Zigbee의 ad-hoc특성인 토폴로지 변화로 인한 동적 망구성시 토폴로지의 저전력화를 위해 종단장치(end device)들이 채널검색주기를 설정할 때 종단장치의 배터리 수명을 고려한 통신패턴을 분석하였다. 또한, Zigbee의 Random Back off 통신방식에서 무선랜(WLAN)과 채널간섭을 고려한 통신패턴도 분석하였다. 이로서, Zigbee의 종단장치의 배터리 수명을 연장하고자 종단 장치의 채널검색 주기를 설정하는 통신패턴을 설정하였으며, Zigbee의 협력장치(coordinator)와 종단장치 사이의 최적의 통신패턴의 분석을 통해 채널간섭을 최소화 할 수 있었다.

ABSTRACT

The battery consumption and the wireless communication pattern were analyzed for the low power and the improvement of channel interferences between of Zigbee networks and WPAN(Wireless Personal Area Network). The communication patterns considering end device's battery saving during channel searching period were analyzed for low power consumption topology of Zigbee dynamic ad-hoc characteristics. And, the communication patterns were analyzed due to channel interferences between WLAN and Random Back off of Zigbee, too. As a result, the communication patterns of Zigbee's coordinator and end devices is alleviated for the longer battery life time of Zigbee's end device due to Zigbee's end device setting techniques.

☞ KeyWords : WPAN, Zigbee, Chnnael Inteference, Communication Patterns Analysis, Battery Life Time
WPAN, Zigbee, 채널간섭, 통신패턴 분석, 배터리 수명

1. 서론

최근 홈 망에서 근거리 제어용으로 유행하는 Zigbee통신의 계층구성요소로 IEEE 802.14.4표준에서 정의하는 2개의 계층으로 물리계층과 매체접근제어계층(MAC)이 있다[1].

Zigbee기기들은 블루투스, 무선랜(WLAN)이 사용하는 2.4 GHz주파수대역이며, 직교 주파수분할 다중화를 사용한다. 무선랜은 ISM대역의

2.4GHz~2.4835GHz사이 대역에서 25MHz 간격으로 13채널을 제공한다[2][3].

본 논문에서는 Zigbee의 ad-hoc 특성인 토폴로지 변화로 인한 동적 망구성시 채널간섭을 개선하고자, Zigbee망의 통신패턴을 분석한다. 또한, 저전력화를 위해 종단장치가 채널검색주기를 설정 시 종단장치의 배터리 수명을 고려한 통신패턴을 분석한다[4][5].

2. Zigbee RF Modem/MAC분석

IEEE 802.14.4표준에서 정의하는 Zigbee의 물리계층(PHY)은 무선전송특성을 정의하고, 매체접근제어계층(MAC)은 충돌방지를 목적으로 한다. Zigbee연합은 망 계층과 응용계층의 규격을 정의하였으며 보안에 대해서도 표준화 하였다. 또한,

* 종신회원 : 한신대학교 정보통신학과 교수
kangmg@hs.ac.kr(교신저자)

** 정 회 원 : 한신대학교 정보통신학과 조교수
hjshin@hs.ac.kr

[2009/09/03 투고 - 2009/09/07 심사(2010/02/04 2차) - 2010/05/24 심사완료]

☆ 이 논문은 한신대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

IEEE 802.15.4에서는 두 종류의 물리계층(Multi band, Multi-rate)을 지원하고 있으며, 이들 물리계층은 낮은 동작비율과 저전력동작을 위해 동일한 패킷구조를 갖는다[2].

두 물리 계층사이의 근본적인 차이는 주파수 대역으로 일반적으로 널리 활용되는 ISM대역인 2.4GHz대역을 사용한다. 물리계층은 사용대역에 따라 전송속도가 다르며, 2.4GHz대역에서는 직교 위상변조방식에 의해 250Kbps의 전송속도를 제공하고 있다[3].

2.1 무선랜과 Zigbee의 채널간섭 분석

Zigbee RF간섭으로 868/915MHz 대역은 이진변조방식에 의해 각각 20Kbps와 40Kbps 전송속도를 갖는다.

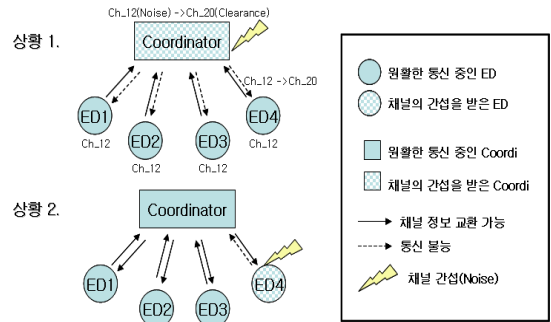
868/915MHz 및 868.0MHz와 68.6MHz사이의 대역에서 한개의 채널과 902.0MHz와 928.0MHz대역에서 10개의 채널을 제공한다. 2.4GHz와 2.4835GHz사이 대역에서 5MHz간격으로 16채널을 제공한다[3].

동일 주파수 대역에서 무선랜과 Zigbee가 통신을 하게 되면 보통 20dBm정도의 출력으로 22MHz의 대역폭을 가지고 통신하는 무선 랜과는 달리 0dBm정도의 출력과 3MHz의 대역폭으로 통신하는 Zigbee는 간섭을 받는다[4].

본 논문에서는 채널간섭의 분석을 위한 통신 채널은 Zigbee채널의 ‘11번’ 채널(2403.5MHz~2406.5MHz)부터 ‘26번’채널(2478.5MHz~2481.5MHz)까지 16개의 채널을 사용한다[5].

2.5GHz대역에서 무선채널 간섭분석을 위한 모듈의 송신전력(Tx Power)은 +5dBm(1.5V)이다. 협력장치는 Dipole안테나와 2dBi 다이폴 안테나(Dipole Antenna)를 사용한 간섭 환경을 만들기 위해 1대의 AP, 2대의 노트북, 3개의 중단장치와 1대의 협력장치를 사용한다.

또한, 채널간섭 분석을 위한 2가지의 간섭모델 설정을 가정하여 채널간섭을 분석한다[6].



(그림 1) 무선랜과 Zigbee의 채널간섭모델 분석

2.1.1 간섭모델1제안

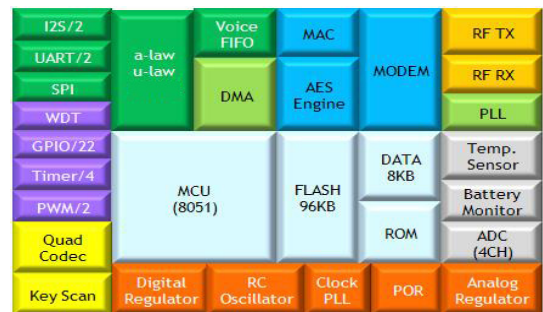
협력장치가 통신하고 있는 채널에 간섭이 생겼을 때, 간섭이 없는 채널로 변경하였으나 변경한 채널의 정보를 나머지 중단장치가 수신하지 못함.

2.1.2 간섭모델2제안

‘ED4’가 통신하고 있는 채널에 간섭이 생겨서 협력장치와 통신 불가.

2.2 Zigbee 설계 플랫폼 분석

Radiopulse의 Zigbee 플랫폼 블록도는 단일칩 구조가 특성으로 무선 Zigbee 설계용 플랫폼(MG2455)의 H/W는 Zigbee RF 모듈과 인터페이스 보드 등으로 구성되어 있다[4].



(그림 2) Zigbee 플랫폼 블록도

3. Zigbee 전력소모와 채널간섭 분석

본 논문용 Zigbee플랫폼은 2.4GHz RF 송수신기와 기저대역 모뎀, H/W MAC, 8051 MCU를 내장한다. S/W는 디바이스 프로그래머, 프로파일 시뮬레이터, 프로파일 빌더, 패킷 분석기로 구성되어 USB 포트와 DC-Jack (5.0V)으로 전력을 공급하고, Zigbee 모듈을 연결용 Zigbee송수신 모듈 커넥터가 있다[4].

(표 1) Zigbee설계용 MG2455 파라미터

RF Transceiver	RadioPulse
Microcontroller	8051 core
Program memory(KB)	64
Sleep mode(μ A)	9
Frequency(MHz)	2450
Data rate(kbps)	250
Sensitivity(dBm)	-99
Transmit power(dBm)	9
Rx current(mA)	6
Tx current(mA)	29
Crystal frequency(MHz)	16
Structure	SoC

Zigbee 통신망이 형성되면 각각의 종단장치는 최적의 채널을 찾기 위해 기저국 주변을 검색하여 그 정보를 협력장치에 보내고, 협력장치는 각 종단장치에게 정리한 채널상태표를 보내준다. 이처럼 협력장치와 종단장치 간의 채널정보를 미리 공유하면 채널에 간섭이 일어났을 때 최적의 채널을 찾아 통신을 가능하게 한다.

본 논문에서는 종단장치가 2분마다 1번씩 채널 검색을 수행하여 새로운 채널 상태정보를 협력장치에게 보내주도록 설정한다.

3.1 Zigbee망의 통신패턴과 전력소모 연구

Zigbee 통신망에서 각각의 종단장치에 주기를 설정시 종단장치의 배터리 수명에 대해 고려한다.

자주 깨어나지 않는 종단장치는 일주일에 한번 또는 매 시간 체크 하는 것 같이 통신 주기가 짧게 설정하면 자주 정보를 체크할 수 있지만, 배터리 수명이 짧아진다[6].

이는 Zigbee의 MAC계층에서 수신도 송신처럼 에너지를 소모한다. 이러한 전력소모는 배터리를 전원으로 장시간 동작해야 하는 센서망에서는 치명적인 다음과 같은 요인이 있다 [1].

3.1.1 충돌요인(Collision)

2개 이상의 패킷이 한 채널에 동시에 전송되어 발생하여 전송오류로 인한 재전송으로 인한 쓸데없는 에너지 낭비를 초래한다.

3.1.2 과도청취(Overhearing)요인

다른 노드로 가는 패킷을 쓸데없이 수신하여 에너지 낭비를 초래한다.

3.1.3 대기청취(Idle Listening)요인

아무도 송신중이 아닌데도 쓸데없이 수신 대기로 에너지 낭비를 초래한다.

3.1.4 프로토콜 오버헤드요인

제어메시지 송수신에 RTS/CTS/SYNC에 의한 에너지 낭비 초래한다.

이러한 에너지소모 요소를 고려하여 센서노드용 MAC은 자신이 송신하거나 수신만 깨어나고, 나머지 시간에는 휴면대기(sleep)하여 전원을 절약하는 기능을 기본적으로 지원한다.

이때, 비컨(beacon)을 통해 Active/InActive 구간의 길이와 CAP, CFP등을 설정하게 된다. 대기모드(InActive) 기간이 길고, 시간간격이 길수록 노드가 휴면하는 시간이 길어지기 때문에 노드의 수명은 늘어난다.

이때, 패킷 전달에 필요한 시간이 늘어나고, 실시간으로 급하게 전송해야 하는 데이터의 경우

불리할 수 있다.

이를 보완하기 위해 배터리의 용량과 동작개시 주기와 송·수신시 소모되는 전류량으로 배터리의 수명시간을 분석한다.

3.2 협력장치에서 채널간섭 회피방안 연구

Zigbee에서의 협력장치는 2.5GHz대역의 무선망에서 존재하는 한 개의 망 관리자가 종단장치와의 통신을 설정하고 저장하며 관리한다. 이는 Random Backoff 방식으로 TDMA처럼 간을 나누어 쓰되 시간을 서로 동기화를 해 센서 망을 위한 CSMA/CA를 활용한 경쟁기반 방식으로 TDMA를 활용한 스케줄 기반방식과 여러 개의 채널을 활용방식, 여러 가지 방식을 혼합하는 하이브리드 방식 등이 있다[1].

Zigbee에서 정의된 협력장치들은 다음 4단계의 통신패턴과 무선채널의 검색기능으로 협력장치의 채널분석에 의한 채널간섭을 회피한다[6].

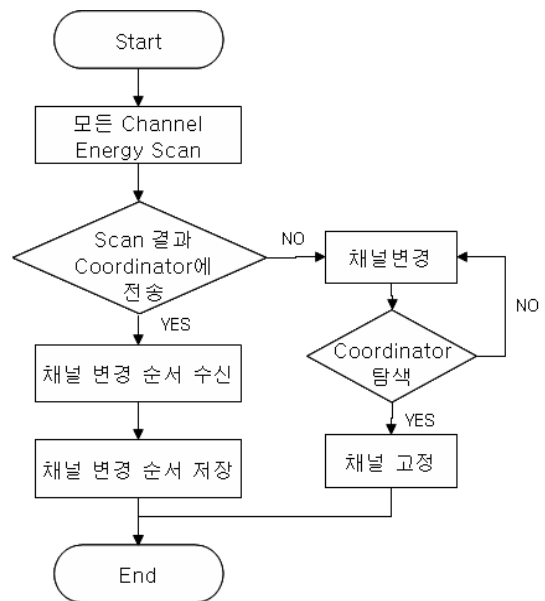
3.2.1 먼저, 망 형성 초기 각 종단장치들은 주변의 채널을 검색하여 그 정보를 협력장치에게 전달해 준다. 이 채널정보를 이용해 잡음이 없는 채널들을 추정하여 비교표로 작성한 후 모든 종단장치에게 보내준다. 이로 인해 통신할 수 없는 상황이라 판단되어지는 경우 준비된 최적의 채널로 순서대로 변경한다.

3.2.2 두 번째, 2.5GHz대역에서 무선통신에 의한 간섭과 잡음이 없는 채널을 주기적인 변경해야 한다. 협력장치는 종단장치들로부터 채널을 검색하는 갱신명령에 따라 미리 설정한 시간간격으로 종단장치들에게 통보한다.

3.2.3 세 번째는 주기가 다른 종단장치의 통신 상황에 따라 통신응답신호를 전송한다. 무선랜은 지속적으로 무선신호를 전송하면서 특정 종단장치가 통신에 간섭을 받아 통신을 하지 못하게 된다. 이 종단 장치는 최종적으로 협력장치에게서

받은 채널 변경 절차를 따라 차례로 데이터를 전송한다.

3.2.4 마지막으로 종단 장치가 정기적으로 협력 장치에게 보내는 채널의 상태를 알리는 채널 상태값을 협력장치가 받지 못하면 협력장치는 통신이 단절된 것으로 인식한다.



(그림 3) 협력장치의 채널간섭 흐름도 설계

이때 협력장치는 최종적으로 종단장치에게 보낸 채널 변경절차 차례로 이행하여 종단장치 검색을 하고, 종단장치 검색에 성공하면 나머지 노드들도 해당 채널로 변경하게 된다.

이처럼 무선랜은 채널간섭을 분석하기 위해 통신채널을 사용 중이거나 사용하지 않을 때 각각의 노드는 정기적으로 검색 값을 협력장치에 전송하며 협력장치는 채널변경 절차에 따라 전송 받은 값을 전송한다.

3.3 종단장치에서 채널간섭 회피방안 연구

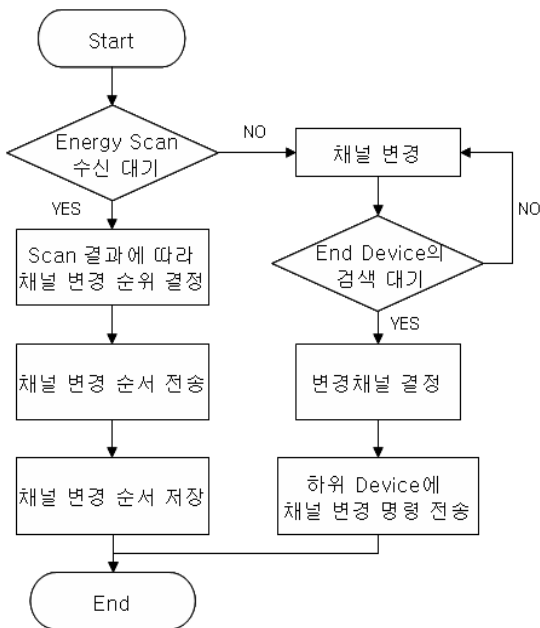
Zigbee통신에서 종단장치는 협력장치와 접속을

하며, 하나의 무선망 내에 여러 개가 존재 가능한 종단 단말기이다.

동기식 종단장치는 채널정보를 확인하기 위해 주기적인 통신이 가능하며, 상시 대기상태에서 원할 때에 통신이 가능하다. 비동기방식의 통신에서는 종단장치가 특정 상태에서만 통신을 하기 때문에 오랜 시간 동안 휴면(Sleep)상태가 된다.

이러한 비동기방식의 통신 상태에서는 종단장치가 통신을 하려고 할 때 간섭이 발생한다.

특별히, Zigbee의 경쟁기반 MAC은 전력소모를 고려하지 않은 MACA를 개량하여 ‘대기청취’나 ‘과도청취’를 회피하기 위해 고정 및 가변 duty cycle을 가지는 방법과, 데이터 채널과 별도의 제어채널을 사용하는 방법, 채널 감지시간을 고려하여 긴 프리앰블을 미리 전송하는 방법 등이 사용된다.



(그림 4) 종단장치의 채널간섭 흐름도 설계

(그림4)는 Zigbee의 전력소모를 줄이면서 간섭 문제를 개선하기 위해 협력장치의 채널간섭을 분석하기 위한 흐름도이다.

이때, 휴면상태인 단말기가 일정주기로 Zigbee 종단장치가 다음 4종류이 통신방식을 활용한 저전력 효과와 채널간섭을 줄일 수 있다[6].

3.3.1 첫째로 항상 수신 가능한 상태이다. 이것은 데이터를 주고받을 준비가 된 상태로써 주기를 정하지 않고 원하는 때에 통신을 한다.

3.3.2 둘째는 정해진 주기에 한 번씩 메시지를 협력장치에 보내서 확인하는 동기방식이다. 협력장치와 통신이 되지 않으면 채널간섭이 발생한 것으로 간주하여 다른 채널로 이동한다.

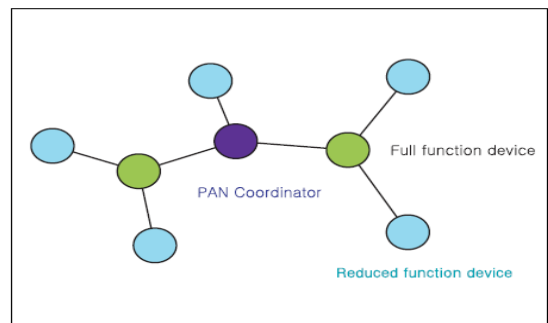
3.3.3 세째는 둘째의 상태보다는 긴 주기로써 메시지를 협력장치에게 보내 확인한다.

3.3.4 마지막으로 아주 가끔씩 확인 메시지를 보내서 확인하는 방식으로, 만약 통신이 접속되지 않으면 다른 채널로 전환한다.

4. Zigbee의 채널간섭 개선영향 연구

4.1 종단/협력장치의 간섭과 통신패턴분석

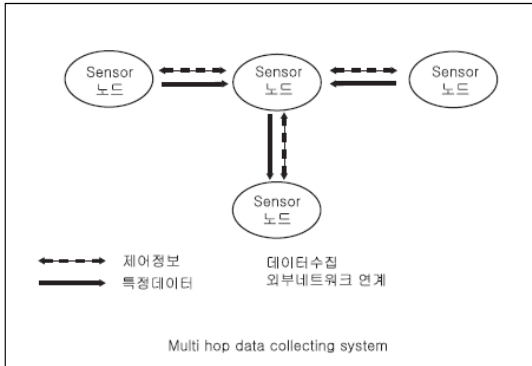
Zigbee망에서 노드 번호 할당에 16비트 주소를 사용하므로 65,536개까지 연결 될 수 있다.



(그림 5) Zigbee망 구성을 위한 모델

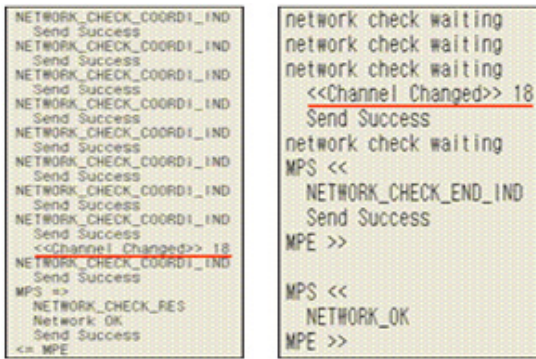
Zigbee를 구성하는 망의 모델 형태에는 별형(Star)과 클러스트-트리(Cluster-Tree), 메쉬(Mesh)

의 세 가지 망형태가 지원된다.



(그림 6) Zigbee의 멀티홉 데이터 수집모델

Zigbee망 가입에 시간이 짧게 걸리고, 휴면에서 빠르게 깨어나야 한다. 별형의 망 형태는 가장 단순한 망 형태라 저가로 구성할 수 있다. 메쉬 형태는 라우터와 코디네이터가 하나 이상의 경로를 선택할 수 있어, 전송중 이상이 발생하면 다른 경로로 전송할 수 있다.



(그림 7) 협력장치-종단장치 채널변경 확인화면

(그림7)은 Radiopuls의 2.45GHz RF전송부인 LM 2455센서노드에 전력소모를 줄이면서 간섭문제를 개선하는 협력장치와 종단장치간의 채널 간섭별로 무선채널의 간섭회피에 따른 채널변경의 결과 화면이다[4].

(그림7)에서 센서노드간의 협력장치는 ‘18번 채널’로 종단장치에게 전송요청 신호를 보내면 종단장치는 이전에 설정한 채널의 변경절차에 따라 채널을 변경하고, 전송성공을 알리는 ‘Send Success’ 메시지를 협력장치에게 전송하여 채널이 변경되었음을 통보한다.

본 논문에서는 Zigbee센서망의 ad-hoc적인 특징 때문에 이동성과 링크 실패에 기인한 지속적인 망 토폴로지 변화에 의한 동적 망 토폴로지의 저전력 효율과 Random Back off 방식을 이용한 통신방식을 적용한다.

본 논문에서는 Zigbee모듈에서 발생할 수 있는 2.4GHz대역의 AP무선 신호와의 채널간섭을 제거하고자 종단장치와 협력장치에서 최적의 통신패턴의 결과를 분석하였다.

특히, Zigbee센서노드에 전력소모를 줄이면서 간섭문제를 개선하기 위해 다양한 통신패턴 별로 협력장치와 종단장치의 채널간섭을 개선하기 위한 다음 3가지의 종단장치에서의 수신시간 별로 개선 결과를 분석하였다.

(표 2) 협력장치의 간섭영향 통신패턴 분석

통신패턴분석	기본방식에서의 통화성공률	개선방법적용에서의 통화성공률
항상 수신	5 %	88 %
10초 간격	5 %	28 %
1분 간격	1 %	32 %

이때, ‘종단장치-1’이 항상 수신하는 경우와 ‘종단장치-2’는 10초간격으로 수신하는 경우 및 ‘종단장치’는 1분 간격으로 수신하는 경우이다.

또한, (표3)은 종단장치에 의한 통신패턴을 분석하였다. 통신 실험 결과로 ‘종단장치-2’(10초 간격)는 10초마다 전원 끄고(Power Down), ‘종단장치-3’(1분 간격)은 1분 마다 출력되게 한 것이다. 이러한 2가지 상황에 따라 기존의 방법과 개선방법의 통화 성공률을 비교한다.

‘상황- 1’ 에 대한 실험으로 협력장치가 통신하는 채널에 간섭이 발생한 경우 통신횟수는 50번

으로 제한하였고 50번의 통신 횟수 중에 성공 횟수를 백분율로 환산하여 나타내었다.

(표 3) 종단장치의 간섭영향 통신패턴 분석

통신방식	기존방식 통화성공률	개선방법적용시 통화성공률
종단장치-1(항상 수신)	4 %	86 %
종단장치-2(10초간격)	2 %	30 %
종단장치-3(1분 간격)	1 %	32 %

(표3)에서 종단장치의 간섭환경에서 두 가지의 상황에 따른 실험을 통해 알 수 있는 것은 기존의 방법으로 실험을 했을 때 보다 개선방법을 적용하여 실험하였을 때 통신의 성공률이 개선됨을 알 수 있었다.

4.2 통신패턴분석에 따른 배터리 수명분석

모든 센서노드는 데이터 중계기능을 갖고 있고 송신노드로 부터 수신노드까지 복수의 노드를 경유하여 정보 데이터를 전달한다.

따라서 경로제어 기술이 중요하게 되고, MANET (Mobile Ad-hoc Networks)에서 제안되는 프로토콜은 proactive, reactive 및 hybrid 형으로 나눌 수 있다. Proactive는 주변노드를 확인하기 위하여 제어정보의 송수신을 정기적으로 수행하여 전력소모가 큰 단점이 있고, Reactive 는 Proactive에 비해 전력소모를 줄인 방안으로서 각 노드에서 통신 요구가 있을 때 동작을 하여 주변노드를 확인하게 된다.

통신을 하지 않을 때는 동작을 하지 않기 때문에 장기간 구동이 가능한 장점을 지니고 있다. 이 두가지 방법이 혼재 된 것이 Hybrid 형이다. 다음 표는 WPAN(wireless personal area network)의 통신 방식별 전력소모 비교분석 표이다[7].

(표 4) WPAN의 통신방식별 전력소모 비교분석

	UWB	Bluetooth	ZigBee
규격(IEEE)	802.15.3a	802.15.1	802.15.4
전송속도	480Mbps	1Mbps	250kbps
소비전력	100mW	120mW	60mW
전송거리	10m	~100m	~75m
주파수 대역	3~10.6GHz	2.4GHz	2.4GHz 868/915MHz

본 논문에서 Radiopuls의 2.45GHz RF전송부인 LM 2455센서노드를 사용한다[4]. 이때, H/W규격은 센서노드의 저전력을 구현하기 위해 수신 신호에 따라 멀티 밴드를 사용하거나, 센서노드의 전력소모를 줄이기 위한 저전력 방식으로 기상(wake-up)회로기술을 사용하여 자주 깨어나지 않는 종단장치도 미리 계산한 배터리 수명에 따라 알맞은 주기를 설정한다.

(표 5) 통신패턴분석과 배터리 수명분석

통신패턴분석 (ms)	평균전류 (mA)	배터리 (mAh)	지속시간 (일)
항상수신(0.1ms)	1723mA	1740mAh	121일
10초(10,000ms)	463mA	1740mAh	450일
1분(60,000ms)	347mA	1740mAh	601일
10분(600,000ms)	326mA	1740mAh	639일

(표5)에서는 종단장치 상태와 배터리 용량에 따른 평균 전력소모와 배터리의 수명시간을 분석하였다. 이때, AA건전지의 배터리 수명 계산결과 값에 따라 종단장치의 4가지 상태 중 10분 이상 수면대기 방식인 것을 제외한 3개의 종단장치 의 채널정보를 주기적으로 협력장치와 종단장치가 채널정보를 교환으로 배터리 지속시간이 증가함을 알 수 있다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 Zigbee기반의 망의 채널 간섭을

개선하고, Zigbee센서노드에 저전력화를 위한 전력소모를 개선하기 위해 Radiopuls의 802.15.4를 기반으로 MANGO-ZDK의 하드웨어 및 소프트웨어를 활용하였다.

특히, Zigbee센서망의 ad-hoc적인 특징 때문에 이동성과 링크 실패에 기인한 지속적인 망 토폴로지 변화에 의한 동적 망 토폴로지의 저전력 효율과 Random Backoff 방식을 이용한 통신방식을 고려한 Zigbee모듈에서 발생할 수 있는 2.4GHz대역에서 AP의 무선신호와의 채널간섭을 제어하기 위한 설계방안을 제안하고 통신 패턴을 분석하였다.

이를 위해 Keil C 통합 설계환경에서 채널 간섭 제어 알고리즘으로 협력장치 및 종단장치사이의 효율적인 채널을 변경이 가능하였다.

실제로 제안한 채널 간섭을 제어하기 위한 세 가지 통신패턴에 의해 전력소모를 개선하고, 채널 간섭 회피할 수 있도록 Zigbee 협력장치와 종단장치를 설계하였다. 또한, 다양한 종단장치의 통신 방식에 따라 Zigbee 종단장치가 항상 수신 가능한 패턴으로 채널을 변경하고 통신성공률이 개선된 것을 확인 하였다.

향후 본 연구의 활용을 위해 대규모의 Zigbee와 2.5GHz대역의 무선망에서 환경적 변수를 고려한 좀 더 유동적이고 신뢰성 있는 채널 변경 알고리즘을 개발해야 할 것이다.

또한, Zigbee 센서망에 적합한 저전력 센서노드 기술개발과 유연한 센서노드 관리방안 및 확장성, 그리고 센서노드의 신뢰성을 확보하기 위해 가변성(scalable)과 이동성을 지원할 수 있고, 간섭 영향을 최소화하는 알고리즘의 개발이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김지은외, “USN 센서노드 기술 동향,“ 전자통신동향분석 제22권 제3호, 2007년 6월
- [2] 심재창외, “지그비 기술의 응용과 실습”, 홍릉과학출판사, 2007.
- [3] <http://www.Zigbee.org/>
- [4] <http://www.radiopulse.co.kr/>
- [5] 이원준외, “저속WPAN”, 홍릉과학, 2005.
- [6] 문미양 외, “Zigbee기반 망 간섭의 개선연구,“2007년 한국인터넷정보학회추계학술발표대회논문집, 2007.11.03
- [7] <http://www.hna.or.kr/>
- [8] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks,”IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol.12, Issue 3, June 2004, p.493-506.
- [9] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, “Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks,” IEEE Wireless Commun. and Networking Conf., Vol.3, 21-25 Mar. 2004, pp.1534-1539.
- [10] V. Rajendran, K. Obraczka, and J.J. Garcia-Luna-Aceves, “Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks,” Proc. ACM SenSys 03, Los Angeles, California, 5-7 Nov. 2003, pp.181-192.

● 저 자 소 개 ●



강 민 구

1986 연세대학교 전자공학과(공학사)
1989 연세대학교 전자공학과(공학석사)
1994 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1985 ~ 1987 삼성전자 연구원
1997 ~ 1998 일본 오사카대학 Post Doc.
1994 ~ 2000 호남대학교 정보통신공학부교수
2000 ~ 현재 한신대학교 정보통신학과 교수
E-mail : kangmg@hs.ac.kr



신 호 진

1994년 성균관대학교 전기공학과 졸업(학사)
1994 ~ 1995 삼성중공업
1999년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)
2006년 성균관대학교 대학원 전기전자및컴퓨터공학과 졸업(박사)
2007 ~ 2008 성균관대학교 Post Doc.
2009 ~ 현재 한신대학교 정보통신학과 조교수
관심분야 : 무선랜, 모바일통신, 유비쿼터스 센서 네트워크, etc.
E-mail : hjshin@hs.ac.kr