

무선랜 간섭 환경에서 지그비 네트워크 성능 개선을 위한 채널 선택 기법

Channel Selection Scheme to Improve the Performance of Zigbee Networks over WLAN Interference Environment

손종인*
(Jong-In Son)

정광수**
(Kwang-Sue Chung)

요약

저전력 근거리 통신을 목적으로 개발된 지그비 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 홈네트워크 솔루션으로 많이 활용되고 있다. 하지만 최근 스마트폰 및 태블릿 PC의 보급으로 인해 지그비 네트워크와 동일 주파수를 사용하는 무선랜의 사용이 증가하였고, 이로 인해 주파수 간섭 문제가 빈번히 발생하게 되었다. 이와 같은 주파수 간섭 문제를 해결하기 위해 지그비 네트워크에서의 간섭 최소화 기법의 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 기존의 간섭 최소화 기법은 간섭 탐지를 위한 자원 소모가 크거나 간섭 회피를 위한 채널 호핑 시간이 길다는 문제를 갖는다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 제안하는 간섭 최소화 기법은 불필요한 자원의 낭비를 줄이기 위해 ACK 메커니즘을 이용하여 간섭을 탐지하며, 테이블 기반의 채널 호핑 기법을 통해 기존의 기법보다 빠르게 간섭을 회피한다. OPNET 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 간섭 최소화 기법의 성능을 평가하였다. 실험 결과를 통해 간섭 발생시 제안하는 기법이 기존 기법보다 빠른 채널 호핑이 가능하고 이로 인해 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

ZigBee networks developed for low power and short range communication are being used as home network solution for ubiquitous computing. However, as smart phones and tablet PCs have been widely used, WLANs which use same frequency with ZigBee networks have been increasingly used. Therefore, radio frequency interference causes many problems. To solve radio frequency interference problem among ZigBee networks and WLANs, many researches focus on designing interference minimization schemes in ZigBee networks. However, existing schemes have problems that have waste of resource for detecting interference, and have unnecessary time to avoid interference. In this paper, we propose an interference minimization scheme to solve radio frequency interference in ZigBee networks. The proposed scheme detects interference using ACK mechanism to reduce waste of resource, and avoids interference using table driven channel hopping scheme which is faster than existed schemes. The performance of proposed interference minimization scheme is evaluated by using OPNET simulator. Through the simulation result, we prove that proposed scheme has faster channel hopping than existing schemes.

Key words : Zigbee networks, WPAN, WLAN Interference, Channel hopping, Table-driven scheme

† 본 연구는 국방과학연구소 지원에 의한 위탁연구(UD100023ID)의 일환으로 수행되었음.

* 주저자 : 광운대학교 전자통신공학과 석사과정

** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자통신공학과 교수

† 논문접수일 : 2012년 3월 19일

† 논문심사일 : 2012년 4월 3일

† 게재확정일 : 2012년 4월 13일

I. 서론

최근 홈 네트워크에서는 근거리 통신을 목적으로 지그비 네트워크를 많이 활용하고 있다. 지그비 네트워크는 다른 무선 통신 기술에 비해 전력 소비가 적고, 저렴하게 구현된 통신 기술이다. 이러한 특징으로 인해 지그비 네트워크는 산업, 과학, 의료 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

지그비 네트워크의 물리 계층 및 매체 접근 제어 계층은 IEEE 802.15.4[1] 표준에 의해 정의된다. IEEE 802.15.4 의 물리 계층에서 정의된 2.4 GHz의 ISM (Industrial, Science, and Medical) 대역은 산업, 과학, 의료 등에 많이 사용되는 비 허가 주파수 대역으로 블루투스, 무선랜 등이 사용하고 있다. 특히 스마트폰과 태블릿 PC의 보급과 더불어 무선랜의 사용이 증가함에 따라 동일한 주파수 대역을 사용하는 지그비 네트워크에 많은 간섭을 주게 되었다. 지그비 네트워크는 송신 출력이 작기 때문에 비교적 송신 출력이 큰 무선랜에 의한 간섭의 영향을 많이 받게 된다. 이와 같은 이기종 네트워크에 의한 간섭은 패킷 전송의 실패를 야기시키며 네트워크의 신뢰성을 감소시키는 요인이 된다.

동일한 주파수를 사용하는 네트워크에서 간섭을 최소화하기 위해 다수의 기법이 제안되었다. 제안된 간섭 최소화 기법은 간섭 탐지 기법과 간섭 회피 기법으로 구분할 수 있다. 간섭 탐지 기법의 하나로 에너지 스캔을 통해 채널의 간섭 여부를 파악하는 기법이 제안되었다[2]. 에너지 스캔을 이용한 간섭 탐지 기법은 스캔의 주기를 짧게 하면 보다 정확하게 충돌을 감지할 수 있지만 잦은 에너지 스캔으로 인해 네트워크의 자원 낭비가 심화된다. 간섭 회피 기법으로는 간섭이 발생하였을 경우 랜덤한 채널 호핑을 통해 간섭을 회피하는 기법이 제안되었는데, 충돌이 발생한 채널을 회피하여 패킷 손실을 줄이는 장점이 있지만 불확실한 채널 간섭 회피로 인해 채널 호핑 시간이 증가할 수 있다[3].

본 논문에서는 무선랜의 주파수 간섭을 최소화하기 위한 TCH (Table-driven Channel Hopping) 기법을 제안한다. 제안하는 TCH 기법은 간섭에 의해 패

킷 손실이 발생하였을 경우 빠르게 채널 간섭 발생을 탐지하고 테이블을 기반으로 채널 호핑을 수행하여 간섭을 회피한다. TCH 기법을 통해 빠르게 안정된 채널을 사용할 수 있으므로 간섭 감지 및 회피 동작에 의한 자원 낭비를 줄일 수 있고 패킷 손실을 최소화할 수 있다.

논문의 2장에서는 지그비 네트워크의 간섭에 대한 관련 연구를 기술하였고 3장에서는 제안하는 TCH 기법에 대하여 기술하였다. 4장에서는 실험을 통해 테이블 기반 채널 호핑 기법의 성능을 평가하였으며 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 기술하였다.

II. 관련 연구

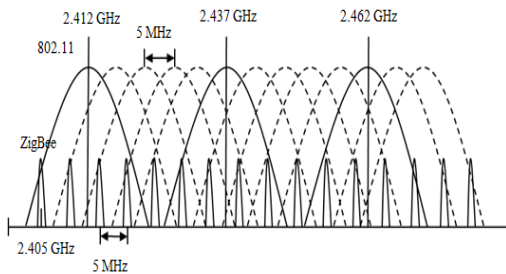
1. 주파수 간섭 문제

지그비 네트워크는 WPANs (Wireless Personal Area Networks) 기술로 낮은 전력을 소모하며, 초저가의 센서 네트워크를 구현하기에 적절한 방안을 제공한다. 지그비 네트워크는 총 3개의 주파수 대역을 사용한다. 1개의 채널로 이루어진 868 MHz 대역은 주로 유럽에서 사용되며 10개의 채널로 이루어진 915 MHz 대역은 주로 북미에서 사용된다. 16개의 채널로 이루어진 2.4 GHz 대역은 산업, 과학, 의료 등에 많이 사용되는 비 허가 주파수 대역으로 전세계적으로 사용된다[4]. 국내에서는 지그비 네트워크의 주파수를 할당받지 못하였기 때문에 전 세계적으로 사용하는 2.4 GHz대역을 사용한다. 식 (1)은 2.4 GHz대역에서의 지그비 네트워크의 중심 주파수를 나타낸다[5]. k 는 각 채널의 인덱스 값을 나타내며 d 는 두 개의 인접한 채널 간의 주파수 간격을 나타낸다.

$$F_k = 2405 + d(k-11), \text{ for } k=11, 12, \dots, 26 \quad (1)$$

IEEE 802.15.4[1]의 규격에서는 기본적으로 멀티 채널을 사용하는 것이 가능하다. 현재 사용하고 있는 지그비 네트워크는 중심주파수 2,405 MHz 부터

2,480 MHz 까지 총 16개의 채널을 사용하며 각각의 채널은 5 MHz의 간격을 갖는다. IEEE 802.11b는 총 14개의 채널을 사용하며 각 채널은 22 MHz의 대역폭과 5 MHz의 간격을 가지고 있으며 통산 3개의 비 중첩 주파수를 사용한다. 사용하는 3개의 주파수는 랜덤하게 선택된다. 따라서 <그림 1>과 같이 지그비 네트워크와 무선랜이 같은 주파수 대역을 사용함에 따라 간섭이 발생하게 된다[6].



<그림 1> 지그비 네트워크와 무선랜의 채널 사용 예
(Fig. 1) An example of Zigbee and Wireless LAN channels

2. 간섭 최소화 기법

지그비 네트워크에서 무선랜 주파수와와의 간섭을 최소화하기 위한 기법들이 다수 연구되었다. 간섭 최소화 과정은 간섭 탐지 단계와 간섭 회피 단계로 구성된다. 간섭 탐지 기법인 에너지 탐지 스캔 기법은 IEEE802.15.4 PHY 계층에서 측정된 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 값을 이용하여 간섭을 판별한다[3]. 즉, 지그비 네트워크에서 사용 가능한 16개 채널의 에너지를 스캔하여 RSSI 값을 코디네이터에 전송하게 된다. 코디네이터는 RSSI 값을 기반으로 채널 정보를 추정하여 비교표를 작성하고 이를 End Device에 보낸다. 그리고 End Device에서는 통신할 수 있는 최적의 채널을 찾아서 변경한다. 이 기법은 측정된 RSSI 값을 기반으로 임계값을 설정하여 임계값 이상의 RSSI 값일 경우 간섭으로 판단한다. 하지만 RSSI 값은 거리에 비례하여 측정되기 때문에 새로운 노드가 코디네이터에 근접한 위치로 추가되었을 때 RSSI 값이 임계값 이상으로 측정된

다. 이에 따라 새로운 노드를 간섭으로 판단하는 오류가 발생할 수 있다. 또한 통신 패킷을 정해진 시간마다 분석하여 그 정보를 기반으로 채널을 선택하기 때문에 이에 따른 자원 낭비가 심각하며 통신 패킷을 수신하는 시간이 네트워크 상황에 따라 변할 수 있다는 단점이 있다.

에너지 탐지 스캔 기법의 단점을 보완하기 위하여 ACK/NACK 기반으로 간섭 탐지하는 기법이 제안되었다[3]. 이 기법은 패킷을 전송할 때 ACK를 받았는지를 판단하여 간섭을 탐지하게 된다. ACK를 제대로 수신하였을 경우 SuccessNACK 값을 0으로 설정하게 되며 ACK를 수신하지 못하였을 경우 SuccessNACK값에 1을 더해준다. 해당 값이 클 경우 이를 기존에 정해 놓은 SuccessNACK의 임계값과 비교하여 간섭이 발생하였다고 판단한다. ACK/NACK기반의 간섭 탐지 기법은 불필요한 자원의 낭비를 줄일 수 있으며 네트워크 상황의 변화를 적게 받는 장점이 있다. 하지만 적절한 임계값을 찾지 못할 경우 자원의 낭비가 심각해질 수 있으며 간섭 탐지에 실패할 수 있다는 단점이 있다.

채널 호핑은 간섭이 발생한 채널에서 현재 사용되지 않는 채널로 이동하여 간섭을 회피하는 방법이다. 하지만 매 채널마다 호핑을 할 경우 채널 변경 횟수가 많아져서 불필요한 자원 낭비가 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 DAIA (Distributed Adaptive Interference Avoidance) 기법이 제안되었다[7]. DAIA 기법은 에너지 스캔을 통하여 간섭의 발생을 판단하고 스캔한 에너지 값이 정해 놓은 임계값 보다 클 경우 간섭이 발생한 것으로 판단하여 채널 호핑을 통한 간섭 회피를 수행한다. 일반적으로 무선랜의 한 개의 채널에 지그비 네트워크 채널 4개가 중첩되기 때문에 간섭이 발생하였을 때 현재 채널에서 4개의 채널을 호핑하여 다시 채널의 간섭 여부를 에너지 스캔을 통하여 판단한다. 하지만 이전에 발생한 채널 간섭을 고려하지 않고 단순히 채널 호핑을 수행함으로써 인해 불필요한 채널 호핑이 발생할 수 있다.

III. Table-driven Channel Hopping 기법

본 논문에서는 지그비 네트워크에서 무선랜의 주파수 간섭을 최소화하기 위한 TCH (Table-driven Channel Hopping) 기법을 제안한다. TCH 기법은 ACK 메커니즘을 통해서 간섭을 판별하고 이를 채널 테이블에 저장한다. 또한 채널에서 간섭이 발생한 빈도를 확률적으로 계산하여 안정된 채널을 찾고 해당 채널로 호핑한다.

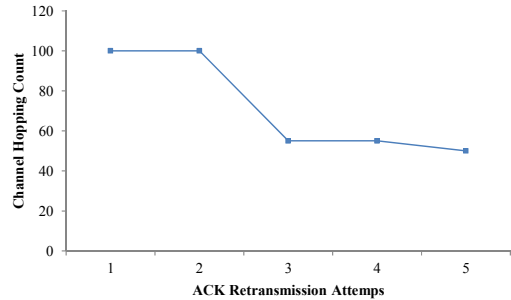
1) 채널 간섭 탐지

기존의 채널 간섭 탐지 기법에서는 채널의 RSSI를 측정하여 이를 기반으로 간섭을 탐지한다. 하지만 이와 같은 에너지 스캔 기법을 사용하여 간섭을 탐지할 경우 간섭 탐지를 위해 추가로 자원을 소모한다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 MAC (Media Access Control) 프로토콜에서의 ACK 메커니즘을 이용한 간섭 탐지 기법을 제안한다.

IEEE 802.15.4에서는 데이터 프레임이나 MAC 명령 프레임의 성공적인 데이터 수신을 ACK 메커니즘을 통해 확인할 수 있다. 만약 수신중인 디바이스에서 수신된 데이터 프레임을 처리할 수 없다면 ACK 패킷은 전송되지 않는다. 송신 디바이스에서 일정 주기 이후에도 ACK 패킷을 받지 못한다면 그 전송을 실패로 간주하고 재전송을 수행한다. 패킷 전송의 실패는 패킷 충돌, 채널 간섭 등에 의해 발생할 수 있다. 따라서 전송 실패 시 통신 채널을 변경한다면 패킷 충돌 및 채널 간섭의 영향을 최소화할 수 있다.

ACK 메커니즘을 통한 간섭 탐지 기법에서 재전송 횟수의 임계값은 채널 간섭 탐지의 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 실험을 통하여 적절한 재전송 횟수 임계값을 분석하였다. 실험을 위하여 OPNET Modeler[8]의 지그비 모델을 이용하여 ACK 메커니즘 기반의 채널 호핑 기법을 구현하였고 간섭을 발생시키기 위하여 무선랜 재머를 이용하였다. 이와 같은 환경에서 ACK 메커니즘의 재전송

횟수를 1회에서 5회로 변경하며 재밍이 발생할 때 두 지그비 노드 간의 채널 변경 횟수를 계산하였다. <그림 2>는 ACK 메커니즘의 재전송 횟수에 따른 채널 변경 횟수를 나타낸다.



<그림 2> 재전송 횟수에 따른 채널 호핑 횟수
(Fig. 2) Channel hopping count as number of retransmission

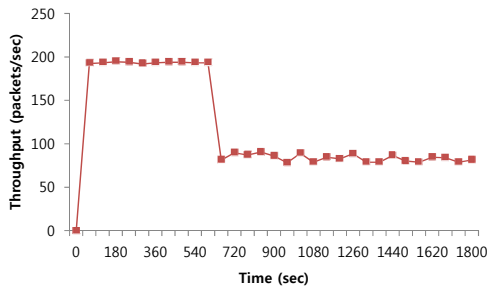
재전송 횟수 임계값을 작게 설정하였을 경우 불필요한 채널 변경으로 인해 네트워크 자원 소모가 커지게 되며, 크게 설정하였을 경우 채널 간섭 탐지의 지연이 증가한다. 실험에서는 재전송 횟수를 3회로 설정하였을 경우 적절한 네트워크 자원 소모 및 간섭 탐지가 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 제안하는 TCH 기법에서는 ACK 메커니즘의 재전송 횟수 임계값을 3회로 설정하여 이를 초과하였을 경우 간섭이 탐지되었다고 판단한다.

2) 채널 간섭 회피

무선 네트워크에서의 채널 할당 기법은 데이터 전송 전에 채널을 할당하는 FCA (Fixed Channel Assignment) 기법과 데이터 전송 후에 채널을 할당하는 DCA (Dynamic Channel Assignment) 기법으로 구분할 수 있다[9]. DCA 기법의 하나인 채널 호핑 기법은 간섭에 의한 충돌이 발생하거나 데이터 전송 중이어서 채널을 사용하지 못할 경우 다른 채널로 이동하여 사용하는 방식이다. 채널 호핑 기법은 동일한 패턴을 갖는 일반적인 호핑 방식과 특정한 방식을 갖는 독립적 호핑 방식이 있다.

일반적인 호핑 방식인 DAIA 기법은 16개의 채널

널 중 4개의 채널만 사용하기 때문에 해당하는 4개의 채널에서 모두 간섭이 발생할 경우 간섭을 회피하지 못한다. 해당하는 4개의 채널에서 간섭을 발생시키기 위하여 13번, 17번, 21번, 25번의 채널에 일정 시간 이후 간섭을 발생시킨 후 해당 채널을 이용하도록 DAIA 기법을 실험하였다. <그림 3>은 사용하는 4개의 채널에서 간섭이 발생하였을 때 DAIA 기법의 전송량을 측정하는 것이다. 사용하는 4개의 채널 모두 간섭이 발생하기 때문에 간섭이 발생하지 않는 채널로 호핑할 수 없으며 이에 따라 전송량이 낮게 측정되는 것을 확인할 수 있다.



<그림 3> 간섭 환경에서 DAIA 기법의 전송량
(Fig. 3) Throughput of DAIA scheme in interference environment

이와 같이 일반적인 호핑 방식을 따를 경우 특정한 상황에서의 간섭을 회피하지 못하고 전송률이 급격히 낮아지게 된다. 따라서 본 논문에서는 간섭 상황을 인지하여 특정한 호핑 방식을 따르는 독립적 호핑방식인 TCH 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 TCH 기법은 16개의 모든 채널에서 무선랜 간섭 발생을 체크하여 이를 무선랜에서의 채널 사용 패턴으로 인식하고, 모든 채널을 검색하여 간섭 발생 채널을 회피하기 때문에 간섭을 최소화할 수 있다. 제안한 TCH 기법은 채널의 간섭이 발생하였을 때 그 횟수를 체크하여 채널 테이블에 누적값을 저장한다. 테이블은 <그림 4>와 같이 각 채널과 간섭에 의한 충돌 발생 횟수를 나타내는 값으로 구성된다. 누적된 충돌 발생 횟수는 무선랜의 채널 사용 패턴 확률을 나타낸다[10].



<그림 4> 채널 테이블 예
(Fig. 4) An example of channel table

<그림 5>는 간섭이 탐지되었을 경우 채널 선택 알고리즘을 나타낸다. 패킷을 전송중인 노드에서 ACK 메커니즘을 통하여 재전송 횟수가 3회 이상일 경우 간섭이 발생했다고 판단한다. 간섭이 발생하였을 경우 해당 채널의 누적 값에 1을 더한 후 16개의 채널의 누적 값 중 최소값을 가지고 있는 채널을 검색한다. 채널을 검색할 때는 간섭이 발생한 현재 채널을 기준으로 양쪽의 3개 채널과 현재 채널, 즉 총 7개의 채널을 제외한 9개의 채널에서 검색한다. 이는 현재 간섭을 발생시킨 무선랜의 채널이 지그비 채널 4개와 중첩되기 때문에 무선랜의 간섭에 영향 받는 채널은 호핑할 채널에서 제외시키는 것이다. 또한 지그비 채널 4개와 무선랜 주파수 1개가 겹치게 되지만 <그림 6>과 같이 14번 채널에서 간섭이 탐지되었을 경우 11번부터 17번 채널 모두 간섭이 탐지될 수 있기 때문에 총 7개의 채널을 다음 호핑할 채널에서 제외시킨다. 따라서 현재 간섭의 영향을 받을 수 있는 7개 채널의 상태를 1, 나머지 9개 채널의 상태를 0으로 설정한다. 제안하는 TCH 기법에서는 채널의 상태와 간섭 발생 누적 테이블을 가지고 다음 전송할 채널을 선택하게 된다. 채널의 상태가 0이면서 검색된 채널이 1개인 경우 현재 채널에서 최소값을 가지고 있는 채널로 호핑한다. 만약 채널의 상태가 0이면서 검색된 채널이 2개 이상일 경우 현재 채널에서 최소 4개에서 최대 8개의 채널 중 랜덤한 채널로 호핑한다. 호핑한 채널이 26번 채널을 넘어갈 경우 지그비 네트워크에서 호환

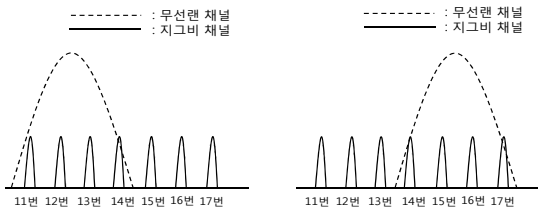
하는 채널이 아니므로 사용 가능한 채널로 다시 설정을 하게 된다.

Algorithm 1 Pseudo-code for Channel Selection

```

at transmission node:
IF retransmission cnt > 3 THEN
collision_cnt[cur_ch] = collision_cnt[cur_ch]+1
FOR ch = cur_ch-3 to cur_ch+3
state[ch] = 1
END FOR
FOR ch = min_ch to max_ch
IF collision_cnt[ch] < small AND state[ch] = 0 THEN
small = collision_cnt[ch]
small_cnt = 1
next_ch = ch
ELSE IF collision_cnt[ch] = small AND state[ch] = 0 THEN
small_cnt = small_cnt + 1
END IF
END FOR
IF small_cnt > 1 THEN
next_ch > 26 THEN
next_ch = next_ch -26 + 10
END IF
END IF
change_ch (next_ch)
END IF
    
```

〈그림 5〉 TCH 알고리즘
 〈Fig. 5〉 TCH algorithm



〈그림 6〉 간섭 발생 예상 범위 예
 〈Fig. 6〉 An example of expected range of interference occurrence

IV. 실험 및 성능 평가

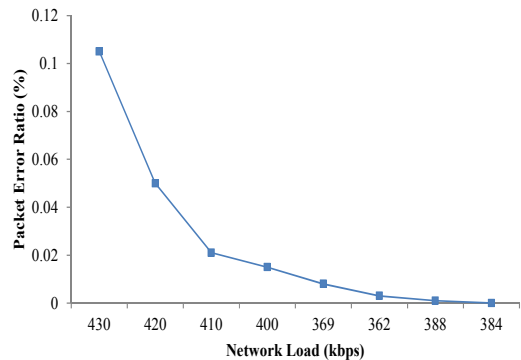
1. 간섭 및 채널 호핑에 따른 실험 및 평가

무선랜 간섭 환경에서 지그비 네트워크의 성능을 알아보기 위해 OPNET Modeler[8]를 이용하여 실험을 수행하였다. 무선랜의 간섭 발생을 설정하기 위하여 802.11b의 주파수 대역을 갖는 랜덤 재머

를 사용하였다. 재머는 방해전파를 보내어 원활한 통신에 교란을 주는 역할을 수행한다. 실험에서는 랜덤한 재밍과 슬리핑을 갖는 랜덤 재머를 사용하였다[11]. 802.11b는 기본적으로 3개의 채널을 랜덤하게 사용하기 때문에 많은 간섭이 발생하는 상황을 적용하기 위하여 실험에서는 2,412 MHz, 2,437 MHz, 2,462 MHz를 중심 주파수를 갖는 3개의 재머를 사용한다. 각각의 주파수는 무선랜 환경과 같은 환경을 만들기 위해 무선랜의 1번, 6번, 11번 중심 주파수로 설정한 것이다.

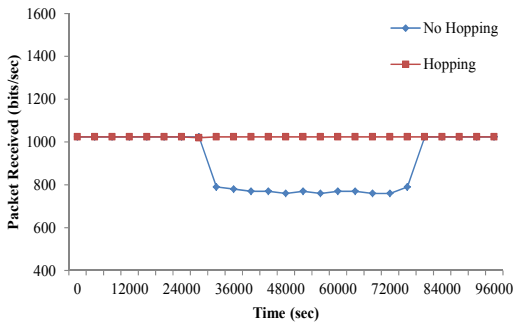
각 실험의 성능 분석을 위해 시뮬레이션 시간은 1,000,000 초, 전송 파워는 0.001 W (0dBm), 트래픽은 1024 비트의 패킷 사이즈를 갖는 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽을 1초에 한번씩 생성하였다. 노드 간 전송 거리는 100 m로 구성하였으며 Receiver Power Threshold 값은 -85 dBm으로 설정하였다. 네트워크 부하를 증가 시키기 위하여 재머 노드의 트래픽은 0.05초마다 19000비트에서 22000비트까지 증가시키며 실험하였다.

〈그림 7〉은 간섭 증가에 따른 패킷 전송 실패율의 변화를 나타낸다. 네트워크 부하가 410 kbps 이상 증가하게 되었을 때 PER (Packet Error Ratio) 이 0.02% 이상의 값을 보임을 확인할 수 있었다. 즉, 네트워크 부하가 증가함에 따른 간섭으로 패킷 전송 실패가 급격하게 증가하게 됨을 알 수 있다.



〈그림 7〉 네트워크 부하에 따른 패킷 전송 실패율
 〈Fig. 7〉 Packet error ratio as various network load

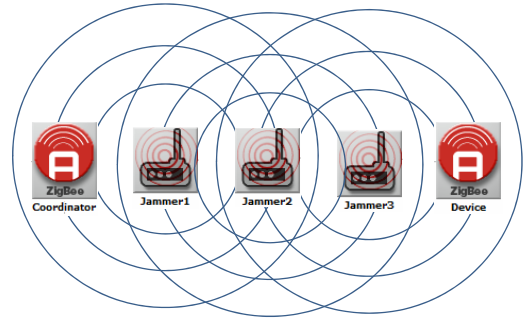
채널 호핑이 패킷 전송률에 주는 영향을 평가하기 위하여 기존 802.15.4 MAC 프로세스 모델을 사용한 경우와 채널 호핑이 추가된 MAC 모델을 사용한 경우를 각각 실험하여 성능을 비교하였다. 재머 노드는 300,000초에서 800,000초 사이의 시간 동안 채밍하게 된다. <그림 8>과 같이 채널 호핑을 하지 않을 경우 해당 시간에 패킷 전송 실패가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 즉 재머 노드가 발생하는 간섭에 의해 전송 실패가 나타나게 됨을 알 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 간섭의 발생 후 사용하지 않는 다른 채널을 선택하는 채널 호핑을 수행하도록 하였다. <그림 8>과 같이 채널 호핑을 이용할 경우 간섭으로 인한 패킷 전송 실패를 줄일 수 있음을 확인하였다.



<그림 8> 패킷 수신량 비교
(Fig. 8) Comparison of received packet

2. TCH 기법의 실험 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 TCH 기법을 평가하기 위해 2개의 지그비 네트워크 노드와 3개의 재머를 50 m의 반경에 <그림 9>와 같은 토폴로지를 설정하여 실험을 하였다. 실험에서 사용하는 지그비 네트워크 노드와 재머의 실험 환경 변수는 <표 1>과 같이 설정하였다. 이와 같은 환경에서 어떤 기법도 적용하지 않았을 경우와 DAIA 기법, 그리고 제안하는 TCH 기법의 성능을 비교하였다. TCH 기법은 전송을 시도하는 채널에서 간섭이 발생할 경우 ACK 메커니즘을 통해 재전송 여부를 결정한다.

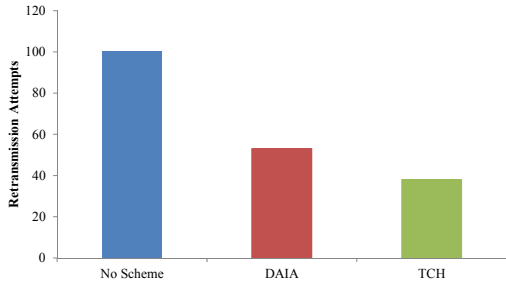


<그림 9> 시뮬레이션 토폴로지
(Fig. 9) Simulation topology

<표 1> 실험 환경 변수
(Table 1) Simulation parameters

지그비 네트워크 환경 변수	Packet size	128 bytes
	Packet interval time	0.005 초
	Data rate	250 kbps
	Traffic mode	Constant
	Start time	10 초
	End time	1800 초
ACK	Yes	
재머 환경 변수	Base Frequency	2412, 2437, 2462 MHz
	Bandwidth	22 MHz
	Packet size	128 bytes
	Packet interval time	0.0072 초
	Start time	20 초
	End time	1800 초

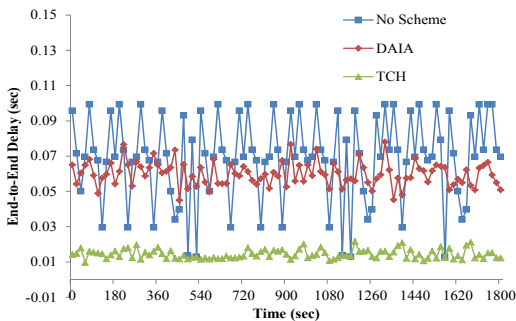
TCH 기법은 전송을 시도하는 채널에서 간섭이 발생할 경우 ACK 메커니즘을 통해 재전송 여부를 결정한다. 재전송이 결정된 후 간섭이 발생하지 않는 채널을 검색하게 되며, 검색된 채널을 통해 재전송이 이루어진다. <그림 10>은 각 기법이 18초마다 재전송 여부를 판단하여 총 100회의 샘플링 값을 비교한 결과이다. 실험 결과를 통해 어떤 기법도 적용하지 않았을 경우에 비해 TCH 기법의 경우 재전송 횟수를 62% 만큼 성능이 개선하였으며 DAIA 기법에 비해서는 15% 만큼 성능을 개선하였다. DAIA와 TCH 기법의 성능이 더 좋게 나타난 이유는 간섭에 의한 패킷 손실을 인지하지 못하고 해당



〈그림 10〉 각 기법의 재전송 횟수 비교
(Fig. 10) Comparison of the number of retransmission

채널에서 재전송을 시도하기 때문이다. 또한 DAIA 기법에 비해 본 논문에서 제안한 TCH 기법의 재전송 횟수가 적다는 것을 알 수 있다. 이는 테이블을 통해 관리되는 값들이 채널의 상태를 나타내고 있기 때문에 안정적인 채널로의 빠른 이동이 가능하기 때문이다.

〈그림 11〉은 각 기법의 평균 지연시간을 나타낸 결과이다. TCH 기법은 어떤 기법도 적용하지 않은 경우에 비해 79%의 성능 개선을 보였으며 DAIA 기법에 비해서는 65%의 성능 개선을 보였다. TCH 기법이 짧은 지연시간을 가지는 이유는 재전송 횟수가 DAIA 기법에 비해 적으며 재전송에 필요한 자원 낭비와 시간이 더 적기 때문이다. 실험을 통해 지그비 네트워크에서 무선랜에 의한 간섭이 발생할 경우 제안하는 TCH 기법을 통해 더욱 빠르게 안정된 채널을 선택하여 통신할 수 있음을 확인할 수 있다.



〈그림 11〉 전송 지연 시간 비교
(Fig. 11) Comparison of the end-to-end delay

V. 결 론

최근 스마트폰 및 태블릿 PC의 사용이 증가하면서 무선랜의 트래픽이 많이 증가하였다. 무선랜과 지그비 네트워크는 동일한 주파수 대역인 ISM 대역을 사용하기 때문에 송신 전력이 무선랜에 비해 작은 지그비 네트워크는 이로 인한 간섭을 많이 받게 된다. 간섭을 받은 지그비 네트워크는 원활한 통신이 불가능하며 이는 네트워크의 성능을 저하시키는 원인이 된다.

본 논문에서는 무선랜에 의한 주파수 간섭 환경에서 지그비 네트워크 성능 개선을 위한 TCH 기법을 제안하였다. TCH 기법은 ACK 메커니즘을 통해서 간섭을 판별하고 이를 채널 테이블을 통해 간섭이 발생한 채널의 빈도를 확률적으로 계산하여 안정된 채널을 선택할 수 있다. 제안하는 TCH 기법과 기존의 간섭 최소화 기법인 DAIA와의 성능 비교를 통하여 TCH 기법이 간섭 발생시 빠르게 채널 호핑을 수행할 수 있음을 확인하였다.

향후 지그비 네트워크를 위한 정교한 간섭 발생 탐지 기법을 연구하고자 한다. 또한 간섭 주파수 대역 인지를 통한 채널 호핑 기법을 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Computer Society, "IEEE Standard 802.15.4-2006: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," September 2006.
- [2] ZigBee Alliance, "Understanding ZigBee RF4CE", July 2009.
- [3] M. Kang, J. Chong, H. Hyun, S. Kim, B. Jung and D. Sung, "Adaptive Interference-Aware Multi-channel Clustering Algorithm in a ZigBee Network in the Presence of WLAN Interference," *Proc. of the International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, pp. 200-205, February 2007.
- [4] D. Kim, M. Yoon and H. Rye, "Multi-Channel

- MAC for Wireless Sensor Network,” *Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 34, no. 2, pp.22-31, February 2009.
- [5] J. Han, S. Lee, H. Kim and Y. Lee, “Performance Improvement of IEEE 802.15.4 in the Presence of Co-channel Interference,” *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp.49-54, March 2011.
- [6] B. Woo, J. Chang, S. Eun, D. Lee, S. Sin, S. Oh and J. Kim, “ZigBee Error Rate Measurements under Wi-Fi and Bluetooth Interference Conditions Anticipated in the Near-Future,” *Proc. of the Korea Computer Congress*, vol. 33, no. 1(A), pp.181-183, June 2006.
- [7] W. Yuan, X. Cui and I. Niemegeers, “Distributed Adaptive Interference-Avoidance Multi-channel MAC Protocol for ZigBee Networks,” *Proc. of the IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, pp.415-149, June 2010.
- [8] OPNET, <http://www.opnet.com/>.
- [9] O. Incel, L. Hoesel, P. Jansen and P. Havinga, “MC-LMAC: A Multi-channel MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 1, pp.73-94, January 2011.
- [10] J. Son and K. Chung, “A Channel Hopping Scheme Considering Radio Frequency Interference of WLAN for ZigBee Networks,” *Proc. of the Korea Computer Congress*, vol. 38, no. 1(A), pp.369-372, July 2011.
- [11] W. Xu, W. Trappe, Y. Zhang and T. Wood, “The Feasibility of Launching and Detecting Jamming Attacks in Wireless Networks,” *Proc. of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp.46 - 57, May 2005.

저자소개



손 종 인 (Son, Jong-In)

2011년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 학사

2011년 2월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자통신공학과 석사과정



정 광 수 (Chung, Kwang-Sue)

1981년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사

1983년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1991년 2월 : 미국 University of Florida 전기공학과 박사

1983년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국 전자통신 연구원 선임연구원

1993년 3월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자통신공학과 교수