

IEEE 802.15.4 MAC 계층 기반의 이기종 비면허 기기 간 주파수 간섭 회피 방법

Interference Avoidance Based on IEEE 802.15.4 MAC Layer between Heterogeneous Unlicensed Devices

장병준 · 김석환* · 윤현구** · 최선웅

Byung-Jun Jang · Seok-Hwan Kim* · Hyungoo Yoon** · Sunwoong Choi

요 약

이기종 비면허 기기들이 동일한 주파수 대역을 공동 사용하기 위해서는 주파수 간섭 회피 기법이 필요하다. 본 논문에서는 이기종 비면허 대역 공동 사용의 대표적인 예로서 2.4 GHz ISM 대역에서 동작하는 WLAN과 WPAN 간의 주파수 간섭을 MAC 계층에서 분석하였다. 분석 결과, WPAN의 성능이 WLAN의 간섭으로 인하여 크게 저하되는 것을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다. 이러한 주파수 간섭을 회피하기 위한 방법으로 WPAN 시스템을 위한 채널 변경 기법을 새롭게 제안하였다. 실험을 통하여 제안한 채널 변경 기법이 고정된 채널을 사용하는 기존의 방법에 비하여 주파수 간섭의 영향을 회피할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In order for heterogeneous unlicensed devices to co-exist on the same frequency band, the frequency interference avoidance mechanism is necessary. In this paper, a frequency interference between WLAN and WPAN systems that operate at 2.4 GHz ISM band was analyzed in the MAC layer. We observed that WPAN systems suffer from severe interference from WLAN systems. To avoid this interference problem, we propose a new channel shift algorithm for WPAN systems. We showed that the proposed channel shift algorithm is better than the traditional WPAN system which uses a fixed channel in terms of throughput.

Key words: Frequency Interference, Interference Avoidance, WLAN, WPAN, ISM Band, SEAMCAT, NS-2

I. 서 론

최근 들어 비면허 주파수 대역을 공동 사용하는 WLAN(Wireless Local Area Network)과 WPAN(Wireless Per-

sonal Area Network) 등의 비면허 기기가 급속히 증가하고 있다. 하지만, 우선권이 없는 비면허 기기들이 주파수를 공동 사용하는 경우 주파수 간섭이 문제가 된다. 대표적인 예로는 917~923.5 MHz 대역의 RFID(Radio Frequency

「본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업 및 2011년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0023856).」

국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

*LG이노텍(주)(LG Innotek Co., Ltd.)

**명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

· Manuscript received August 23, 2013 ; Revised November 27, 2013 ; Accepted December 4, 2013. (ID No. 20130823-16S)

· Corresponding Author: Sunwoong Choi (e-mail: schoi@kookmin.ac.kr)

Identification) 기기와 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기기 간의 간섭, 2.4 GHz ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역에서 WLAN과 WPAN 간의 간섭 등이 있다. 이와 같이 동일한 주파수 대역을 비면허 기기가 공동 사용할 경우, 공동 사용을 위한 표준이 없다면 주파수 간섭이 발생하여 시스템 성능에 영향을 주게 된다. 이에, 최근 본 연구팀에서는 이기종 비면허 기기 간의 간섭의 영향을 물리 계층과 MAC 계층에서 비교, 분석하여 발표한 바 있다^[1].

하지만 참고문헌 [1]에서는 주파수 간섭의 영향만을 다루었으며, 주파수 간섭을 회피하는 방법까지는 제안하지 않았다. 현재까지 이기종 비면허 기기 간의 주파수 간섭을 회피하기 위한 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다. IEEE 802.15.2에서는 비면허 대역인 2.4 GHz의 ISM 대역을 사용하는 이기종 기기인 Bluetooth와 WLAN 사이의 간섭 회피 방법에 대한 다양한 방법을 표준화하였다^[2]. 예를 들어 노트북에 WLAN과 Bluetooth 장치가 같이 설치되어 있는 경우에 사용할 수 있는 collaborative coexistence 방식과 그렇지 않은 non-collaborative coexistence 방식으로 구분하여 표준을 제안하고 있다. 그 외에도, WLAN과 WPAN 사이의 주파수 간섭을 회피하기 위하여 WPAN에서 채널을 스캔하는 방법^[3], WPAN을 유선 링크에 연결하여 전반적인 네트워크를 구축하여 관리하는 방법^[4] 등이 제안되어 있다.

본 논문에서는 기존에 제안된 WPAN 시스템의 주파수 간섭 회피 방법의 장단점을 분석하고, 기존방법의 단점을 극복할 수 있는 새로운 주파수 간섭 회피 방법으로 WPAN의 채널 변경 기법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 WPAN이 주파수 간섭에 의해 처리율이 떨어지는 것을 감지하면, 통신 채널을 간섭이 없는 채널로 변경하여 성능을 향상시킨다. 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 실제 한 쌍의 WLAN과 WPAN이 있는 환경을 구성하여 간섭 실험을 함으로써 제안된 방법이 주파수 간섭을 효과적으로 회피할 수 있음을 확인하였다.

II. 주파수 간섭 분석 및 실험

본 장에서는 이기종 비면허 대역 공동 사용의 대표적

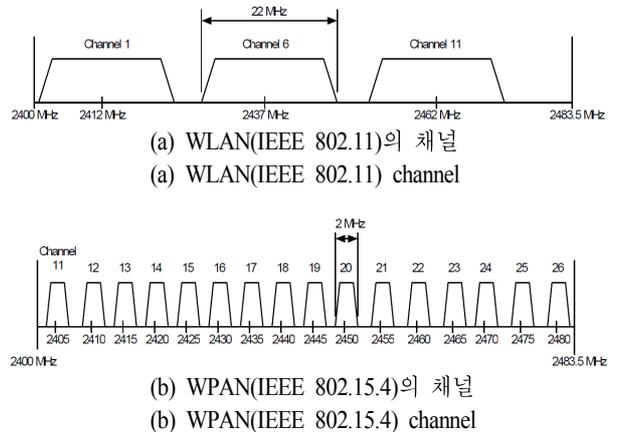


그림 1. WLAN과 WPAN의 채널

Fig. 1. Channels of WLAN and WPAN.

인 예로서, 2.4 GHz ISM 대역에서 WLAN 시스템과 WPAN 시스템이 인접하여 존재하는 주파수 간섭 시나리오를 MAC 계층 간섭 분석을 이용하여 분석하고자 한다.

WLAN 시스템과 WPAN 시스템은 모두 비면허 대역인 2.4 GHz ISM 대역을 사용한다. 따라서 두 시스템이 공존할 때 상호 주파수 간섭 문제가 발생하게 된다. 두 시스템이 사용하는 채널은 그림 1과 같다. IEEE 802.11 표준을 따르는 WLAN 시스템은 22 MHz 채널 대역폭을 갖고, 우리나라에서는 14개의 채널을 사용할 수 있다. IEEE 802.15.4 표준을 따르는 WPAN 시스템은 2 MHz의 채널 대역폭을 갖는다. 2.4 GHz 대역에서는 11번부터 26번까지 16개의 채널을 사용할 수 있다. 주파수 간섭은 그림 1과 같이 WLAN 시스템과 WPAN 시스템이 사용하고 있는 주파수 구간이 겹치는 경우(예: WLAN 1번 채널과 WPAN 11, 12, 13, 14번 채널)에 발생한다.

본 연구팀은 이전 연구 결과^[1]에서 실제 MAC 프로토콜에 따른 throughput 성능을 계산하기 위해서는, 각 시스템이 사용하고 있는 MAC 프로토콜(CSMA/CA 등)을 전혀 고려하지 못하는 물리 계층 간섭 분석으로는 불가능하고, MAC 계층의 간섭 분석이 필요하다는 것을 보였다. 주파수 간섭의 영향을 MAC 계층에서 분석하기 위한 시나리오는 참고문헌 [1]과 같이 한 쌍의 WLAN 기기와 한 쌍의 WPAN 기기가 2.4 GHz ISM 대역에서 주파수를 공동 사용하는 간단한 시나리오를 가정하였다. WLAN 송신

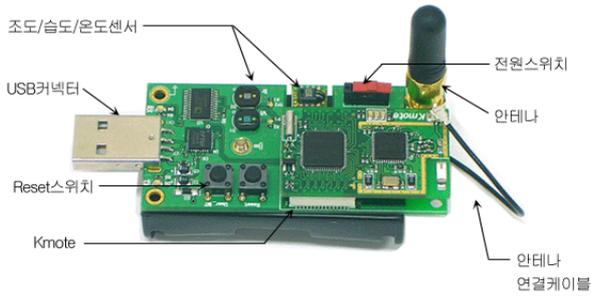


그림 2. Knote 센서 노드
Fig. 2. Knote sensor node.

기와 WPAN 수신기 사이의 이격 거리를 1 m로 설정하였다. 이 때 WLAN 기기는 11 Mbps의 IEEE 802.11b 규격을 사용하는 기기이며, WPAN 기기는 IEEE 802.15.4 규격을 따르는 Zigbee 기기이다. WLAN 채널은 중심주파수 2,462 MHz이고, 채널 대역폭이 22 MHz인 11번 채널로 고정하여 사용하였다. WLAN의 트래픽을 간섭원으로 삼아, 주파수 채널에 따른 WPAN의 throughput을 분석하였다.

또한, 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 다음과 같은 간섭 실험을 실시하였다. 먼저, WLAN은 IEEE 802.11b 규격을 갖는 Notebook 한 대와 WLAN AP 하나로 구성하였다. WPAN은 그림 2와 같은 Knote 센서 노드 2개로 구성하였다. Knote 센서 노드는 온도, 습도, 조도 센서를 내장하고 있어서 주변 정보를 센싱할 수 있고, CC2420 무선 라디오 칩을 탑재하고 있어서 주변 노드들과 통신을 할 수 있다. Knote 센서 노드를 동작시키기 위하여 tinyOS 2.x를 운영 체제로 사용하였고, IEEE 802.15.4 규격을 따르기 위하여 Telecommunication Networks Group에서 제공하는 tinyOS용 TKN15.4 코드를 추가로 활용하였다^{[5],[6]}. 이 때 TKN15.4 코드의 비콘 활성화(beacon enabled) 모드를 사용하였다. 센서 노드 중 1개는 코디네이터로 동작하여 주기적으로 비콘을 전송한다. 다른 1개의 센서 노드는 비콘을 수신하여 그에 따라 동작하게 하였다. 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 1 m로 고정하여 가능한 한 시뮬레이션 환경과 동일하게 맞추었다.

채널의 변화에 따른 MAC 계층 시뮬레이션 결과 및 실험 결과는 그림 3과 같다. 이전 연구 결과^[1]에서는 간섭원으로 작용하는 WLAN이 포화 상태로 동작하도록 10

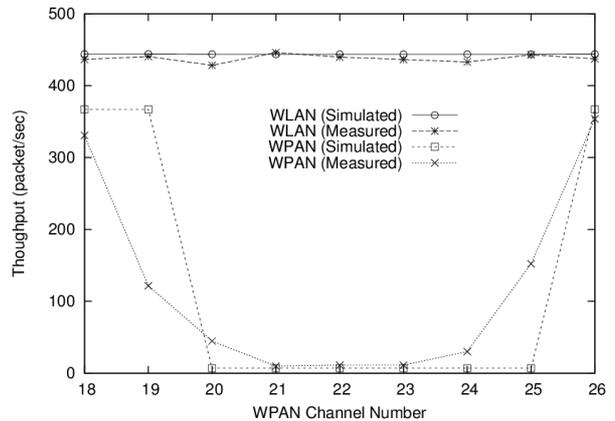


그림 3. 간섭 상황에서 WLAN과 WPAN 성능
Fig. 3. Performance of WLAN and WPAN under interference.

Mbps의 UDP 트래픽 부하를 가정하였으나, 이번에는 현실에 더욱 가까운 상황을 설정하기 위하여 파일 전송을 하는 TCP 트래픽 부하를 가정하였다. 하지만, TCP 역시 전송 제어를 통하여 망의 대역폭을 거의 모두 사용하기 때문에 포화 상태의 WLAN을 가정한 이전과 거의 유사한 결과를 얻었다.

WPAN은 21번(2,455 MHz)부터 채널 24번(2,470 MHz)까지는 WLAN의 11번 채널(2,462 MHz)과 스펙트럼이 겹치는 영역이므로 throughput이 거의 영임을 알 수 있다. 채널 18번(2,440 MHz)과 채널 26번(2,480 MHz)의 경우에는 채널이 겹치지 않으므로 간섭이 없는 경우와 동일한 throughput 성능을 보인다. 실험에서는 WPAN 채널 19번, 20번, 25번은 인접 채널로서 스펙트럼 마스크에 의해 일부 간섭 영향을 받음을 확인할 수 있다. 하지만 시뮬레이션에서는 실제의 스펙트럼 마스크가 아닌 WLAN과 WPAN의 규격 상의 스펙트럼 마스크를 사용하였기 때문에 인접 채널의 효과는 확인할 수 없었다.

그에 반해 WLAN은 주파수 간섭의 영향을 거의 받지 않는다. CSMA/CA를 사용하는 WLAN 시스템은 clear channel assessment(CCA)를 통해 통신을 시작하기 전에 채널의 상황을 파악하고, 채널이 idle 상태인지, busy 상태인지를 결정하는데, 일반적으로 energy detection(ED)보다는 WLAN 신호를 감지하는 방식을 많이 사용하고 있다^[7]. 즉, WPAN 시스템이 데이터를 송수신하는 도중에도 W-

LAN 시스템은 채널의 상태를 idle로 판단하게 되어 데이터를 송신하게 되고, 이로 인해 상대적으로 전송 파워가 낮은 WPAN 시스템은 간섭의 영향을 크게 받게 된다.

이와 같이 WLAN 시스템의 CCA가 WPAN 시스템을 감지하지 못하는 한계점 때문에, 상호 시스템의 존재 유무를 파악하는 방법의 주파수 간섭 회피 방안은 구현하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 WLAN 시스템과 WPAN 시스템이 상호 정보 공유 없이 주파수 간섭을 회피하는 방안을 연구하게 되었다.

III. 주파수 간섭 회피 방법 분석

본 장에서는 기존에 제안된 주파수 간섭 회피 방법들을 분석하였다. 먼저, IEEE 802.15.2에서 제안한 WLAN과 Bluetooth 사이의 주파수 간섭 회피 방안은 크게 collaborative coexistence 방식과 non-collaborative coexistence 방식으로 나뉜다^[2]. Collaborative coexistence 방식은 두 시스템이 서로 정보를 교환하면서 주파수 간섭을 회피하는 방식이고, non-collaborative coexistence 방식은 상호 정보 교환 없이 주파수 간섭을 회피한다. Collaborative coexistence 방식은 서로 정보를 공유할 수 있는 커뮤니케이션 링크가 필요하기 때문에, 하나의 단말에서 간섭이 이루어지는 경우가 아니면 구현이 어렵다. 반면에 non-collaborative coexistence 방식은 두 장치 사이에서 정보 교환이 필요하지 않으므로, 커뮤니케이션 링크를 구현하지 않아도 된다.

대표적인 non-collaborative coexistence 방식으로 Bluetooth ACL(Asynchronous ConnectionLess) 링크에서의 패킷 스케줄링 기법이 있다. 간섭 추정을 통해 Bluetooth 장치는 현재 무선 랜과 같은 다른 장치들이 어떤 주파수 대역을 사용하고 있는지 감지한다. 감지한 주파수 간섭에 대한 정보를 유지하기 위해 Bluetooth 장치는 주파수 간섭 테이블을 작성하고, 비트 에러율 측정값을 각 주파수 오프셋에 기록한다. 간섭 추정을 통해 수집한 정보를 토대로 "bad" 수신 채널에서 패킷이 전송되는 것을 막는다. ACL 링크의 패킷 스케줄링 기법은 Bluetooth 장치가 주파수 호핑을 할 때, 사용하지 않는 주파수를 선택할 수 있을 때까지 호핑을 시도하며, 패킷 전송을 하지 않고 기다린다. 이러한 과정을 거쳐 Bluetooth 시스템은 현재 사용되

지 않고 있는 주파수 대역, 즉 간섭이 발생하지 않은 채널을 선택하여 패킷을 전송하게 되어 주파수 간섭 문제를 회피할 수 있다.

다음으로 WPAN의 주파수 간섭 회피 방안으로 채널 스캔 방법이 있다^[3]. 센서 노드가 맨 처음 비콘을 통해 네트워크를 형성하는 초기 단계에서, 각 노드들은 모든 채널에 대한 노이즈 레벨 정보를 수집한다. 그리고 코디네이터에게 수집한 정보를 전송하여 코디네이터가 모든 채널의 노이즈 레벨 정보를 알 수 있도록 한다. 코디네이터는 전송 받은 채널 정보를 이용하여 간섭이 없는 채널들을 추출하여 채널 테이블을 만든 후, 모든 단말 노드들에게 채널 테이블을 브로드 캐스트 한다. 이후 사용 중인 채널에 간섭이 발생할 경우, 코디네이터와 단말 노드들은 공유하고 있는 채널 테이블을 토대로 간섭이 없는 채널로 변경하며 통신을 한다. 하지만 이 방법은 간섭이 없는 경우에도 채널 정보가 주기적으로 업데이트 되어야 하며, 이를 위해 모든 센서 노드들이 주기적으로 모든 채널에 대한 노이즈 레벨을 감지해야 하기 때문에, 추가적인 배터리 소모가 발생한다. 또한, 모든 채널에 대한 노이즈 레벨 값을 송수신하기 위해 오버헤드가 발생할 수 있고, 해당 간섭 회피 방안을 사용하기 위해서는 노드가 노이즈 레벨 측정 기능을 갖추고 있어야 하는 단점이 있다.

마지막으로 Wired Short Cuts이라 하여 WPAN 장치를 유선 링크에 연결하여 전반적인 네트워크를 구축하는 방법이 있다^[4]. 이는 유선 링크를 이용하여 전반적인 센서 노드의 홉 수를 줄이고, 주파수 간섭에 의한 데이터 유실을 줄여 처리율을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다. 하지만 WPAN과 유선 링크를 결합하여 네트워크를 구축하면 센서 노드의 이동성 및 호환성이 떨어지는 문제가 있다. 또한, WPAN을 유선 링크에 연결하기 위한 별도의 프로토콜을 필요로 하여 오버헤드 및 복잡성의 문제가 있다. 따라서 유선 링크를 이용한 WPAN 시스템의 주파수 간섭 회피 방안은 무선센서 네트워크 시스템에 그대로 적용하기 어렵다.

IV. 제안한 간섭 회피 알고리즘

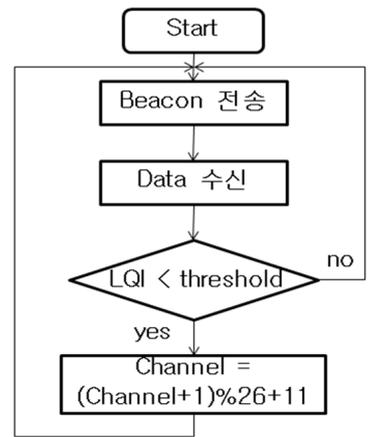
본 장에서는 2.4 GHz 대역에서 타 간섭원이 존재할 때,

주파수 간섭을 회피할 수 있는 WPAN의 채널 변경 기법을 새롭게 제안한다. III장에서 살펴본 바와 같이 기존에 제안된 IEEE 802.15.2 또는 채널 스캔 방법을 이용한 주파수 간섭 회피 방안과는 달리 본 논문에서 제안한 기법은 별도의 오버헤드가 필요하지 않다. 또한, 각 노드가 자신의 주변 노이즈 레벨 정보를 수집할 필요가 없어 기존에 제안된 방안에 비해 추가적인 에너지 소모가 일어나지 않는다.

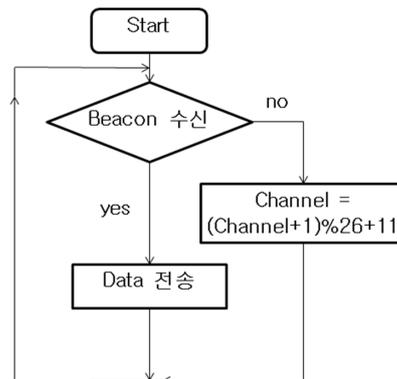
통상적인 IEEE 802.15.4 동기식 MAC 프로토콜은 코디네이터의 비콘 메시지를 각 노드들이 수신하고, 코디네이터가 제공하는 네트워크 정보에 따라 전송을 준비한다. 코디네이터는 정해진 채널만을 이용하여 비콘을 전송하므로 동일한 채널을 사용하는 노드들만이 네트워크에 참여할 수 있다. WPAN이 구성되면 경쟁 구간에서 송신 노드가 결정되고, 비경쟁 구간에서 코디네이터에 데이터를 전송한다. 코디네이터는 전송 받은 데이터를 바탕으로 LQI (Link Quality Indicator)를 얻을 수 있다. LQI는 송신 노드와 수신 노드 사이의 연결 강도를 뜻하고, 그 값이 높을수록 신호에 간섭이 없음을 나타낸다.

본 논문에서 제안하는 채널 변경 기법은 비콘 메시지 송수신 특성과 LQI 값을 기반으로 설계되었다. 우선 코디네이터의 측면에서 볼 때, 정상적으로 동기화가 진행되어 패킷의 전송이 성공적으로 진행되는 상황에서 간섭 채널을 사용하는 WLAN 시스템의 데이터 송수신으로 인한 주파수 간섭이 발생할 경우, LQI 값의 감소를 감지할 수 있다. LQI 값이 threshold 미만으로 떨어질 경우, 코디네이터는 LQI 값의 감소를 일정 횟수만큼 카운트하고, LQI 값의 감소현상이 지속될 경우, 코디네이터는 현재 통신 채널을 다음 채널로 변경한다. 만약 현재 채널이 26번인 경우 다음 채널을 11번으로 변경한다. 결과적으로 이러한 과정을 거치면 코디네이터의 비콘 메시지는 변경된 채널을 통해서 브로드 캐스트된다.

송신 노드 입장에서 볼 때, 처음 코디네이터의 비콘 메시지를 수신하여 연결이 완료되었을 경우, 송신 노드는 초기 채널을 이용하여 지속적으로 비콘 메시지를 수신하고 데이터를 송신한다. 그러나 코디네이터가 주파수 간섭을 판단하여 채널을 변경하게 되면, 송신 노드는 기존 채널을 통해 더 이상 비콘 메시지를 수신할 수 없게 된다.



(a) 코디네이터
(a) Coordinator



(b) 노드
(b) Device

그림 4. 채널 변경 기법의 순서도
Fig. 4. Flowchart of channel shift scheme.

이 때 송신 노드는 비콘 메시지 수신 실패를 통해 코디네이터가 통신 채널을 변경했음을 인지하고, 자신의 송수신 채널을 코디네이터와 동일한 방법으로 증가시킨다. 따라서 다음 슈퍼프레임의 비콘 수신 구간에서 변경된 채널을 통해 비콘 메시지를 기다리게 되고, 결과적으로 코디네이터의 변경 채널과 동기화된다. 그림 4는 채널 변경 기법의 순서도를 보여준다.

에너지 효율 측면에서 볼 때, 채널 변경은 슈퍼프레임의 비콘 송수신 부분에서 일어나는데, 이는 기존 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 듀티 사이클을 변경하지 않고 구현이 되었으므로, 활성 주기와 비활성 주기의 길이에

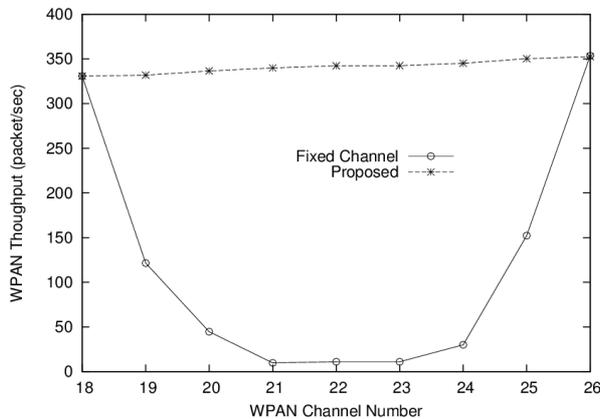


그림 5. 채널 변경 기법의 성능

Fig. 5. Performance of channel shift scheme.

영향을 주지 않는다. 따라서 본 논문에서 제안한 채널 변경 기법은 WPAN 시스템의 추가적인 에너지 소모 없이 간섭 채널을 회피할 수 있을 뿐 아니라, 채널 스캔을 통한 주파수 간섭 회피 방안에 비해 에너지 측면과 오버헤드 발생 방지 측면에서 보다 효율적이다.

제안한 WPAN의 채널 변경 기법을 tinyOS 코드를 수정하여 실제 시스템에 구현하고, 실험을 수행하여 성능을 분석하였다. LQI threshold는 20을 사용하였다.

그림 5는 WLAN 시스템에 파일 전송을 하는 TCP 트래픽을 가정된 상황에서, 고정된 채널을 사용하는 기존의 WPAN 시스템의 성능과 본 논문에서 제안한 채널 변경 기법의 성능을 비교하여 보여준다. 채널 변경 기법을 적용한 WPAN 시스템의 성능이 간섭 채널을 회피하여 높은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 주파수 간섭이 존재하는 경우, 본 논문에서 제안한 채널 변경 기법은 스스로 간섭이 없는 채널로 이동하여 향상된 성능을 얻을 수 있다. 하지만, 간섭원이 많거나 채널 상태의 변화에 따라 간섭채널로 잘못 판단하는 경우 빈번한 WPAN 채널 변경의 문제를 야기할 수도 있으므로 실제 구현 시 다양한 시나리오 환경에서 검증할 필요가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 현재 주파수 간섭 이슈가 활발히 논의되고 있는 2.4 GHz ISM 대역을 공동 사용하고 있는 WLAN과 WPAN 시스템 간의 주파수 간섭 영향을 MAC 계층에서 분석하고, 주파수 간섭을 피하기 위하여 WPAN의 채널을 스스로 변경하는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 및 실제 실험을 통하여 간섭이 존재하는 채널에서 간섭이 없는 채널을 찾아가 MAC 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

References

- [1] 장병준, 최선웅, 윤현구, "비면허 기기 간 주파수 공동 사용을 위한 MAC 계층 기반의 간섭 분석 및 간섭 완화 정책", 한국전자파학회논문지, 24(8), pp. 841- 848, 2013년 8월.
- [2] IEEE 802.15.2 standard, Coexistence of wireless personal area networks with other wireless devices operating in unlicensed frequency bands, 2003.
- [3] 문미양, "ZigBee 기반 네트워크 간섭의 개선연구", 한국인터넷정보학회지, 8(2), pp. 551-556, 2007.
- [4] 김병철, "유무선 통신을 동시에 지원하는 센서 네트워크를 위한 802.15.4 MAC 구조", 경북대학교 석사학위논문, 2009년 12월.
- [5] <http://www.tinyos.net/>
- [6] Jan-Hinrich Hauer, "TKN15.4: An IEEE 802.15.4 MAC implementation for TinyOS 2", *Technical University Berlin Telecommunication Networks Group*, Mar. 2009.
- [7] Jun Huang, Guoliang Xing, Gang Zhou, and Ruogu Zhou, "Beyond co-existence exploiting WiFi white space for ZigBee performance assurance", *IEEE ICNP 2010*, Oct. 2010.

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소
2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원
2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선통신시스템, 전파응용

윤 현 구



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2002년~2004년: (주)현대시스콤 선임연구원

2004년~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 조교수
[주 관심분야] 디지털 통신, 무선 자원 관리, MIMO 채널 모델링, RFID/USN

김 석 환



2009년: 국민대학교 전자공학부 (공학사)
2011년: 국민대학교 전자공학부 (공학석사)
2011년 1월~현재: LG이노텍 주임연구원
[주 관심분야] 무선 네트워크, 무선 통신 시스템, 텔레매틱스 시스템

최 선 응



1998년: 서울대학교 전산학과 (공학사)
2000년: 서울대학교 전산학과 (공학석사)
2005년: 서울대학교 전기, 컴퓨터공학부 (공학박사)
2005년 9월~2007년 2월: 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원

2007년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 부교수
[주 관심분야] 무선 네트워크, 네트워크 자원관리, 시스템 성능 평가