적응형 주파수도약 시스템의 간섭신호 제거에 관한 연구

조현섭*

A Study on Interference Cancellation of Adaptive Frequency Hopping System

Hyun-Seob Cho*

요약 본 논문은 블루투스와의 다른 장치를 연결하였을 때 블루투스와의 간섭 현상에 대한 해결 방안을 제시한다. 랜덤 주파수 도약 기법은 무선랜 간섭을 고려하지 않고 블루투스 전체 채널을 이용하여 도약 패턴을 생성하는 기법이다. 제안된 적응적 주파수 도약 기법은 블루투스의 주기적인 캐리어 센싱을 통해 무선랜 간섭을 고려하여 블루투스 채널의 도약 패턴을 생성하는 기법이다. 모의실험을 통해 무선랜 간섭이 혼잡한 상황에서도 블루투스 캐리어 센싱 간격이 줄어들수록 적응적 주파수 도약 기법을 사용하면 패킷 오류율이 감소되는 것을 확인하였다. 특히 주파수 도약 기법은 적응적 주파수 도약 기법 대비 평균 패킷 오류율은 약 13%의 성능 향상이 있었다.

Abstract In this paper, we propose a solution for interference with Bluetooth when connecting Bluetooth and other devices. The random frequency hopping technique is a technique of generating a hopping pattern using the entire Bluetooth channel without considering the interference of the wireless LAN. The proposed adaptive frequency hopping technique is a technique for generating a hopping pattern of Bluetooth channel considering periodic carrier sensing of Bluetooth and considering WLAN interference. Simulation results show that the use of adaptive frequency hopping reduces the packet error rate as the Bluetooth carrier sensing interval decreases even in the congestion of WLAN interference. Especially, the frequency hopping technique improves the average packet error rate by about 13% compared to the adaptive frequency hopping technique.

Key Words : Bluetooth, Communications, Text-type, Controller Transfer Protocol, Self-Similar Traffic

1. 서론

최근 스마트폰 보급이 많아지면서 Wireless Personal Area Network(WPAN) 중의 하나인 블루투스와 무선랜을 널리 사용하고 있다. 본 논문에서는 블루투스와 다른 장치를 연결하였을 때, 블루투스와의 간섭현상에 대한 해결방안을 제시한다. 근거리 통신 네트워크 설계는 대개 센서 네트워크 노드를 관리하는 데 내부 주소를 이용했다. 주소 길이가 상대적으로 짧았고, 저출력 내장형 센서 네트워크 노드를 구현하기에 적합했다. 하지만 내부

주소 관리 방법은 인터넷의 IP 방식과 호환되지 않아 센서 네트워크 노드와 전통적인 무선 네트워크 노드 간 상호 작용을 더 어렵게 만들었다. 따라서 근거리통신과 무선 네트워크의 연결성 문제를 해결할 필요성이 있다. 블루투스와 무선랜은 무허가 주파수 밴드인 (ISM) Industrial, Scientific and Medical 밴드를 사용하는 장점이 있다. 그로 인해 블루투스와 무선랜이 공존하는 경우에 서로에게 간섭을 미치게 된다[1]. 블루투스는 아직 그 기술이 본격적으로 상용화 되고 있지는 못하다. 같은 대역을 공유하는 블루투스 시스템이 존재하는 경

This Paper was supported by research Fund of Chungwoon University in 2017.

*Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, ChungWoon University (chohs@chungwoon.ac.kr)

Received September 26, 2017

Revised October 12, 2017

Accepted October 25, 2017

우, 주파수 도약 기법을 사용하여 간섭을 회피할 수 있다. 블루투스 시스템의 경우 초당 1,600회의 속도로 유사 임의한 주파수 도약 방식으로 간섭 영향을 줄이는데, 이 주파수 도약 기법은 전파 간섭을 고려하지 않고 송신부 클럭과 어드레스 값에 따라 주파수 도약 채널을 결정한다. 본 논문에서는 주파수 간섭신호의 채널 대역폭 단위에 따라 주파수 도약 대역 시스템의 전체 채널들을 작은 개수의 그룹으로 분류한다[2]. 분류된 작은 개수 그룹의 패킷 오류율을 기반으로 주파수 간섭이 존재하는 그룹을 제거하는 주파수 도약 기법을 사용한다. 이를 통해 주파수 간섭 회피에 걸리는 시간을 더 단축하고 주파수 간섭 잡음을 효율적으로 회피하여 향상된 전송 성능을 얻을 수 있다. 따라서 무선랜 간섭이 블루투스 전체 채널에 존재하는 혼잡 상황에서 블루투스 주파수 도약 기법에 따른 블루투스 성능을 평가하였다.

2. 시스템 모델

무선센서 네트워크를 노드 네트워크로 묘사할 수 있다. 노드는 상호 협조적으로 환경을 감지 및 조정하여 사람 또는 컴퓨터와 주변 환경 사이의 상호 작용을 가능하게 한다. 제한된 양의 에너지를 이용한 감지, 처리, 통신 활동은 일반적으로 분산 신호/데이터 처리, 매체접근제어, 통신 프로토콜을 계층간 설계한다. 기존의 무선센서 네트워크 적용 사례를 인프라 시스템의 요소 기술로 통합함으로써, 가능한 새로운 응용 분야를 식별할 수 있으며 미래의 기술 및 시장 동향을 충족하는 발전이 가능하다[3,4]. 예를 들어, 스마트 그리드와 스마트 수도망, 지능형 교통시스템, 스마트 홈을 위한 무선센서 네트워크 기술의 적용은 많은 양의 데이터를 생산하며, 이러한 데이터는 다양한 용도로 사용될 수 있다. 무선 센서 네트워크는 환경을 협조적으로 감지 및 조정하여 사람 또는 컴퓨터와 주변 환경 사이의 상호 작용을 가능하게 하는, 노드 장치의 네트워크로 묘사할 수 있다. 대체로 센서 노드, 액추에이터 노드, 게이트웨이 및 클라이언트를

포함한다. 모니터링 영역(센서 분야) 내부 또는 가까이 임의로 배치된 많은 수의 센서 노드는 자가 자동 구성 기능을 통해 네트워크를 형성한다. 센서 노드는 수집된 데이터를 모니터링 하여 도약을 통해 다른 센서 노드로 전송한다. 전송을 처리하는 동안 모니터링된 데이터는 여러 노드로 처리되어 멀티도약 후 게이트웨이 노드에 도달한다. 마지막으로 수집된 데이터는 게이트웨이 노드에서 인터넷 또는 위성을 통해 관리 서버 노드에 도달할 수 있다. 사용자는 관리 노드로 무선센서네트워크를 구성 및 관리하고, 모니터링된 데이터를 저장한다. 센서 노드는 무선센서 네트워크의 주요 부품 중 하나이다. 센서 노드의 하드웨어는 일반적으로 전원 및 전원 관리 모듈, 센서, 마이크로컨트롤러, 무선 송수신기 등으로 조합된다. 전원 모듈은 시스템에 필요한 안정적인 전력을 제공한다. 센서는 무선센서 네트워크 노드가 환경과 장비의 현황을 감시할 수 있도록 연결고리와 같은 역할을 한다. 센서는 빛, 진동, 화학적 신호 등을 모아서 전기 신호로 변환한 후 마이크로컨트롤러로 전송하는 일을 담당한다. 마이크로컨트롤러는 센서에서 데이터를 수신하여 그에 따라 해당 데이터를 처리한다. 그런 다음 무선 트랜시버(RF 모듈)가 데이터를 전송하여 물리적 통신을 수행한다. 모든 무선센서네트워크 노드 설계 시 무선센서 네트워크 노드의 작은 크기와 제한된 전력 등의 기능을 고려하는 것이 중요하다[5].

블루투스 스마트 또는 블루투스 저에너지(BLE)는 웨어러블 디바이스에게 저전력 커넥티비티를 제공한다. 또한 연결된 디바이스는 마스터와 슬레이브 역할을 한다. 이 기술을 통해 스마트폰, 태블릿, 랩탑, 전용 게이트웨이 같은 허브 디바이스를 갖춘 웨어러블 디바이스 간에 쌍방향 통신을 할 수 있다. 블루투스를 이용한 데이터전송은 그림 1과 같이 이루어진다.

그림 1. 무선랜 시스템의 패킷 프레임을 이용한 채널 액세스
Fig. 1. Channel access using packet frame of WLAN system

기 설정된 주기마다 주파수 도약 대역 시스템의 채널들을 주파수 간섭 신호의 위치 및 대역폭과 동일하게 K 개의 그룹으로 분류하며 이는 식 (1)과 같다.

$$\Psi_k = \{m \in \Omega | wk \leq m < wk + W\} \quad (1)$$

여기서, m 은 주파수 도약 시스템의 전체 채널 개수이고 Ω 는 시스템의 채널들의 집합이다. W 는 각 주파수 간섭 채널의 대역폭이고 w 는 각 간섭 채널과 인접 간섭 채널의 비 중첩된 채널 대역폭을 나타낸다[6]. 주파수 도약 확산 시스템의 채널들을 간섭 신호의 대역폭 단위로 U 개의 그룹으로 분류하게 되며 이는 식 (2)와 같다.

$$\Psi_k = \{m \in \Omega | wk \leq m < wk + W(k+1); k = 0, 1, \dots, U-1\} \quad (2)$$

여기서 m 은 주파수도약 확산 시스템의 전체 채널 개수이고 Ω 는 시스템의 채널들의 집합이다. W 는 각 간섭 채널의 대역폭을 의미한다[7,8]. K 개의 그룹에서 패킷 오류율을 기반으로 K 개의 그룹 중 패킷 에러값이 가장 높은 그룹을 선택하고 선택된 그룹의 패킷 오류율 대비 나머지 그룹의 비율을 특정 임계값을 비교하여 비교한 결과에 따라 주파수 간섭이 존재하는 그룹을 확정하게 된다. 또한 주파수 간섭이 존재하는 그룹이 확정되면 K 개의 그룹에서 주파수 간섭이 존재 한다고 확정된 그룹을 제거하게 된다. 또한 U 개의 그룹의 패킷 오류율 기반으로 각 그룹의 패킷 에러값과 특정 임계

값을 비교하여 그 비교한 결과에 따라 주파수 간섭 신호가 존재할 가능성이 있는 후보 주파수 그룹을 구하게 되고 구한 후보 주파수 그룹 내의 각 채널의 패킷 에러값을 양자화 하여 양자화된 패킷 에러값을 소정의 필터를 통해 필터링하여 주파수 간섭 신호가 실제로 존재하는 주파수 채널들의 집합을 확정하게 된다. 주파수 간섭이 존재하는 그룹이 확정되면 U 개의 그룹에서 주파수 간섭이 존재 한다고 확정된 그룹을 제거하여 주파수 간섭 잡음을 회피하게 된다.

주파수 간섭과 간섭이 제거된 이 후 주파수 도약 채널 상에 다시 나타날 수 있는 주파수 간섭 신호는 주파수 그룹핑 및 필터링 방식을 적용하는데 있어 각 채널들의 패킷 에러값과 간섭 신호 존재 추정율을 동시에 활용하여 주파수 간섭 신호를 반복적으로 검출함으로써 주파수 간섭 신호가 유발할 수 있는 패킷 전송 지연 문제 및 숨은 단말기 문제로 인한 간섭 신호 미 검출 문제를 해결하게 되며 간섭 신호 존재 추정율은 시간 $ts = nTL/2$ 로부터 $tf = ts + TL$ 까지 주파수 도약 확산대역 시스템 i 의 주파수 그룹 k 에 대한 간섭 신호 존재 추정 확률을 나타내며 이는 식 (3)과 같다.

$$\Phi_i^{GRP}(t_s, t_f, k) = \frac{\sum_{j=dk}^{dk+W-1} \Phi_i(t_s, t_f, j)}{W} \quad (3)$$

블루투스 2.4GHz ISM 대역으로 동작한다. 이 표준은 블루투스 SIG(Special Interest Group)에서 관리하고 있으며, 주요 스마트폰 브랜드를 모두 지원한다. 특히 센서 데이터 전송이나 제어 신호 전송등의 낮은 데이터 전송률을 구현하는 애플리케이션에 적합하다. 블루투스 채널은 1MHz의 대역폭을 가지므로 총 79개의 채널을 사용한다. 또한 채널과 슬롯은 기본적으로 1호핑 슬롯(625μs=1/1600초)을 단위로 한다. 그리고 시분할 이중통신 방식(Time Division Duplex)으로 송수신을 한다. 패킷의 종류에 따라 데이터 전송속도가 다양하며 처리량은 비대칭 단일방향으로 최대 723.2kbps

이다. 데이터 전송과 수신에 있어서 마스터는 항상 짝수 슬롯을 사용하고 슬레이브는 홀수 슬롯을 사용하게 된다. 그리고 패킷의 형태는 슬롯마다 마스터와 슬레이브 장치 사이에 하나의 패킷이 교환된다. 패킷은 액세스 코드와 헤더 그리고 페이로드의 순서로 일정한 형태를 가진다. 각 패킷은 72비트의 액세스 코드로 시작된다. 블루투스의 패킷 구성은 아래 그림 2와 같다. 액세스 코드와 헤더는 고정 길이로 페이로드는 패킷의 종류에 따라 달라진다.

그림 2. Bluetooth Packet의 구조 (단위는 bit)
Fig. 2. Structure of Bluetooth Packet (unit is bit)

그림 2에서와 같이 패킷 길이가 긴 패킷은 전송 성공률이 높아질수록 전체 시스템의 유효전송률 역시 증가하게 된다. 채널 집합 내의 모든 채널들의 패킷 오류율을 측정하고 특정 임계 값과 각 채널들의 패킷 오류율을 비교한다. 주파수 간섭 채널들은 $(K+1)$ 개의 집합 Φ_l ($l=0, \dots, K$)으로 분류하여 채널 상태에 맞추어 패킷 길이를 조절하여 전송함으로써 유효 전송률을 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 무선랜 간섭 상황을 만들기 위해 표 1과 같이 1쌍의 블루투스 디바이스와 13개의 무선랜 AP를 고려한다. 이 때, 무선랜 AP끼리의 간섭은 고려하지 않는다고 가정하였다. 블루투스 송신기와 블루투스 수신기는 재전송이 지원되는 신뢰성 있는 링크로 연결되어 데이터를 전송한다. 반면 ACL 링크는 예약된 타임 슬롯이 존재하지 않는다. 또 포인트-멀티포인트의 연결이 가능하나, 하나의 마스터와 슬레이브 사이에는 ACL 링크는 반드시 한 개만 설정될 수 있다. 또한 데이터 재전송이 지원되는 신뢰성이 있는 링크이다. ACL 링크를 이용하면 하나의 피코넷 내부의 모든 슬레이브에게 데이터를 보내는 브로드캐스팅도 가능하다.

표 1. 블루투스 채널 구조 및 무선 LAN 간섭 환경
Table 1. Bluetooth channel structure and wireless LAN interference environment

Type	Header byte	Payload byte	Max Speed	FEC
DM1	1	0.16	108.0	2/3
DM2	1	0.17	172.0	-
DM3	2	0.121	258.0	2/3
DM4	2	0.163	390.0	-
DM5	2	0.214	286.0	2/3
DM6	2	0.329	433.0	-
AUX	1	0.29	185.0	-

제안된 기법은 표 1과 같이 주파수 도약 기법으로 신호를 전송할 때 주파수 도약 채널에 대해 간섭 신호의 존재 여부를 추정하게 된다. 그리고 간섭 신호가 존재하지 않을 경우에만 패킷을 전송하게 된다. 따라서 이때 간섭 신호와의 충돌 확률을 줄이게 됨으로써 주파수 간섭을 효율적으로 회피할 수 있다. 결국 그 검출 결과에 따라 주파수 간섭이 존재하지 않을 경우에만 패킷을 전송함으로써 주파수 간섭을 빠르게 회피할 수 있다. 반면 기존의 적응형 주파수 도약 기법은 다른 주파수 간섭 패킷과 충돌이 발생할 경우 해당 채널을 주파수 도약 채널에서 제외하기 때문에 오히려 다른 주파수 간섭 패킷과의 충돌 확률이 점점 더 증가하게 되어 간섭의 개수가 증가할수록 성능이 상당히 감소하게 된다.

3. 모의실험

랜덤 주파수 도약 기법과 적응적 주파수 도약 기법의 성능을 평가하기 위해 표 1의 파라미터 값을 이용하여 모의실험 환경을 구성하고 모의 실험을 진행하였다. 무선랜 간섭은 미리 지정한 작동 주기에 따라 평균 ON-OFF 시간을 정하고 지수분포를 적용하여 트래픽을 보내는 시점을 결정하였다. 블루투스 캐리어 센싱의 간격이 800 슬롯일 때 블루투스의 각 채널 사용 빈도와 주파수 도약방식은 그림 2와 같다.

그림 2. 제안된 주파수 도약 방식

Fig. 2. The operation of the proposed frequency hopping scheme

제안하는 적응적 주파수 도약 기법은 주파수 간섭 채널과 잡음의 스펙트럼 특성에 따라 채널 분류 방식을 차별화하여 주파수 도약 채널 및 송신 전력을 결정하는 기법이다. 이것은 간섭 성분의 채널 위치와 대역폭에 따라 주파수 도약 확산 시스템의 채널들을 그룹 단위로 분류함으로써 기존 기법에 비해 주파수 간섭 회피에 걸리는 시간을 단축할 수 있다. 또한 전파 간섭이 없는 채널의 잡음만을 선택하여 송신 전력을 결정함으로써 소비 전력을 줄일 수 있다. 각 채널의 패킷 오류율에 따라 각각의 채널로 전송되는 패킷들의 길이를 유동적으로 조절함으로써 종래 기법들에 비해 더 우수한 유효 전송율 및 패킷오류율 성능을 얻을 수 있다. 특히 적응적 주파수 도약 기법은 블루투스 채널의 우측이나 좌측으로 갈수록 사용 빈도가 높아짐을 알 수 있다. 짧은 시간 동안 좁은 대역의 채널들에 간섭을 유발하는 주파수 간섭 신호가 존재하는 경우에는 적응적인 주파수 도약 기법처럼 간섭이 발생한 채널들을 주파수 도약 채널에서 제외할 경우, 오히려 가용 가능한 주파수 도약 채널의 개수가 감소하게 되며 다른 주파수 간섭과의 충돌 확률이 증가하여 시스템 성능이 저하되는 문제점이 있다. 무선랜 간섭이 많은 환경에서 주파수 도약 기법은 성능 향상이 크지 않다. 하지만 제안하는 적응적 주파수 도약 기법은 해당 주파수 그룹의 끝 i 개 채널에 대한 필터 값을 μ 과 비교한다. 이 값이 μ 보다 크면 1값을 1만큼 증가시킨 후 주파수 간섭 신호의 존재 여부를 검증하기 위하여 $i = (V-1)$ 이 될 때까지 동일 과정을 반복하게 된다. 따라서 신호를

전송할 때 다음 주파수 도약에 사용될 채널에 대해 간섭 신호의 존재 여부를 순차적으로 추정하여 간섭 신호가 존재하지 않을 경우에만 패킷을 전송함으로써 간섭을 회피할 수 있다. 이와 같은 과정을 통하여 다수의 주파수 간섭 신호가 존재하는 경우에도 효율적으로 가용한 채널을 최대로 확보할 수 있다.

그림 3. 패킷 오류율

Fig. 3. Packet error rate

블루투스 캐리어 센싱 결과를 이용하여 평균 유지 시간이 400msec 일 때 제안하는 적응적 주파수 도약 기법의 평균 패킷 오류율은 주파수 도약 기법의 평균 패킷 오류율 대비 45.2%의 성능 향상이 있다. 그림 3은 무선랜의 평균 동작 유지 시간에 따른 평균 패킷 오류율 결과이다.

4. 결 론

본 논문은 무선랜이 블루투스가 사용하는 모든 채널에 간섭을 미치는 혼잡 상황에서 블루투스가 사용하는 주파수 도약 기법에 따른 성능을 모의 실험을 통해 평가하였다. 제안된 주파수 도약 기법의 성능이 종래의 주파수 도약 기법의 성능보다 좋음을 확인하였다. 랜덤 주파수 도약 기법은 무선랜 간섭을 고려하지 않고 블루투스 전체 채널을 이용하여 도약 패턴을 생성하는 기법이며, 적응적 주파수 도약 기법은 블루투스의 주기적인 캐리어 센싱을 통해 무선랜 간섭을 고려하여 블루투스 일

부 채널을 이용하여 도약 패턴을 생성하는 기법이다. 평균 패킷 오류율과 평균 수율을 성능 지표로 하였을 때 제안하는 적응적 주파수 도약 기법은 평균 패킷 오류율이 13%이상 성능 향상이 있었다. 따라서 무선랜 간섭이 혼잡한 상황에서도 적응적 주파수 도약 기법을 통해 패킷 오류율을 감소시킬 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] S. Lee, H. Kim and Y. Lee, "Mitigation of co-channel interference in Bluetooth piconets," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 11, no. 4, pp. 1249-1254, Apr. 2012.
- [2] Bluetooth SIG, "Bluetooth specification version 4.2," Dec. 2014.
- [3] R. Minakshmi and H. S. Jamadagni, "Comparative study of adaptive frequency hopping with power control to avoid WLAN interference in WPAN systems like Bluetooth," in Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), pp. 1-5, Jan. 2010.
- [4] A. A. L. Neyestanak and S. R. J. Naraghi, "Impact of variations of Bluetooth transmitting power in the presence of WLAN interfering signal," in Proc. Fifth Asia Modelling Symposium (AMS), pp. 232-235, May 2011.
- [5] W. Joseph, D. Pareit, G. Vermeeren, D. Naudts, L. Verloock, L. Martens, and I. Moerman, "Determination of the duty cycle of WLAN for realistic radio frequency electromagnetic field exposure assessment," Prog. Biophys. Mol. Biol., vol. 111, no. 1, pp. 30-36, Jan. 2013.
- [6] Bluetooth Low Energy. Wikipedia: The Free Encyclopedia. 31 July 2014 at 05:16. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy
- [7] ZigBee Alliance. <http://zigbee.org/Home.aspx>
- [8] SCHMITT, C. Cooperation between all components in the established wireless sensor network. Technische Universität München, 2010.
- [9] HEBELER, J. et al. Semantic Web Programming. John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [10] HATLER, M., GURGANIOUS, D. and CHI, C. Industrial wireless sensor networks. A market dynamics report. ON World, 2012.

저자약력

조 현 섭(Hyun-Seob Cho)

[중심회원]

- 1992년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 원광대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국전력 기술인협회 고급감리원(전력감리)
- 1998년 10월 ~ 현재 : 중소기업 기술경쟁력 평가위원
- 1997년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야>

전기공학, 공장자동화, 응용전자