

트래픽 스케줄링 기반 데이터 중복 회피 알고리즘

최 명 수*, 김 범 무*, 이 성 로^o

Data Overlap Avoidance Algorithm Based on Traffic Scheduling

Myeong Soo Choi*, Beom-mu Kim*, Seong Ro Lee^o

요 약

동일한 주파수 대역을 공유하는 무선기술들은 상호 간섭에 의해 가끔 심각한 성능저하를 일으킨다. 본 논문에서는 근거리 4S (Ship to Ship, Ship to Shore) 해상채널 환경에서 상호 간섭에 의한 성능저하를 개선하기 위해 2.4GHz의 ISM 대역에서 동작하는 서로 다른 통신방식에서 트래픽 스케줄링을 기반의 중복회피 알고리즘을 제안하였다. 특히 IEEE 802.11의 WLAN과 블루투스의 데이터 전송을 고려하여 두 시스템들이 서로 독립적으로 동작할 때 제안된 알고리즘이 동작하는 것을 보인다. 모의실험 결과에 따르면, 제안된 알고리즘은 데이터 전송시 추가적인 작은 지연으로 WLAN과 블루투스 사이에서 간섭을 완화시킴을 확인할 수 있었다.

Key Words : WLAN, Bluetooth, Interference, ISM Band, Scheduling

ABSTRACT

Wireless technologies sharing the same frequency band and operating in the same environment often interfere with each other, causing severe decrease in performance. In this paper, we propose a algorithm based on traffic scheduling techniques that mitigate interference between different wireless systems operating in the 2.4-GHz industrial, medical, and scientific band. In particular, we consider IEEE 802.11 wireless local area networks (WLANs) and Bluetooth data transfer, showing that the proposed algorithms can work when the two systems are able to exchange information as well as when they operate independently of one another. Results indicate that the proposed algorithm remarkably mitigate the interference between the WLAN and Bluetooth technologies at the expense of a small additional delay in the data transfer.

I. 서 론

최근 비허가 주파수 대역을 공동으로 사용하는 WLAN (Wireless Local Area Network)과 WPAN (Wireless Personal Area Network) 등 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 대역을 사용하는

기기가 급속히 증가하고 있다. 비허가 주파수대역의 사용은 사용 주파수의 공유를 통해 다양한 무선 매체에 대한 액세스를 가능하게 하였지만, 이는 또 다른 무선 시스템과 스펙트럼을 이용하는데 상호 간섭 등으로 인하여 비효율적인 심각한 문제를 유발시킨다. 예를 들면, 2.4GHz ISM 대역에서 WLAN과 WPAN

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2011-0023364)이며, 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행(NIPA-2014-H0401-14-1009)되었음.

♦ First Author : Gwangju Technopark Robot Center, mschoi@gjtp.or.kr, 정회원

^o Corresponding Author : Mokpo National University Dept. of Information and Electronics Engineering, srlee@mkpo.ac.kr, 정회원

* Department of Information Electronics Engineering, Mokpo National University, ktiger1907@mkpo.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2014-05-180, Received May 8, 2014; Revised September 12, 2014; Accepted September 12, 2014

간의 간섭이 있다. IEEE 802.15.2 에서는 2.4GHz 대역을 사용하는 이기종 기기인 블루투스과 WLAN 사이의 간섭 회피 방안에 대한 다양한 방법을 표준화 하였다^[1]. IEEE 802.15 워킹 그룹에 따르면, 두 개의 다른 통신방식을 사용하는 장치간의 거리가 2m가 못되는 경우 WLAN과 블루투스의 간섭은 시스템 처리량의 심각한 저하를 유발시킨다. 또한, 장치간의 거리가 2-4m 사이의 범위에 있을 때 시스템 처리량이 덜 감소함을 보이고 있다^[2]. 이러한 간섭의 영향을 완화하기 위해 IEEE 802.15 워킹 그룹은 WLAN과 블루투스가 서로의 성능에 영향을 주지 않고 공유 환경에서 동작할 수 있도록 하는 기술 연구를 위해 작업 그룹 2 (Task Group 2)를 조직하였다^[3].

현재 개발되어진 많은 응용프로그램들은 WLAN과 WPAN을 동시에 필요로 하는 상황에 맞추어 개발되고 있기 때문에 WLAN과 WPAN은 경쟁기술이라기 보다는 상호 보완하는 기술이라 할 수 있다^[4]. WLAN은 주파수 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)과 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)을 사용할 수 있는 반면에 블루투스는 FHSS 방식을 사용한다. [4]의 연구에서 공존 메카니즘의 두 클래스, 즉, 협업 기술 (collaborative technique)과 비협업 기술 (non-collaborative technique)의 클래스가 정의되었다. 협업 기술은 블루투스 망과 WLAN이 정보를 교환하고 상호 간섭을 줄일 수 있게 한다. 하지만, 블루투스과 무선랜 장치가 동일한 터미널을 공동으로 사용할 경우에만 구현이 가능하다. 블루투스 시스템과 WLAN 시스템은 독립적으로 동작하기 때문에, 비협업 기술로 블루투스과 WLAN 두 시스템간에 정보를 교환할 수 있는 방법은 없다. WLAN 시스템과 블루투스 시스템 송신기에서 동일한 주파수와 동일한 시간에 중복된 신호를 전송할 때 수신기에서 신호대 잡음비의 감소를 일으킬 수 있도록 간섭에너지가 충분할 경우 WLAN과 블루투스의 간섭이 발생한다.

본 논문에서는 근거리 4S (Ship to Ship, Ship to Shore) 해상통신 채널모델에서 WLAN과 블루투스간 간섭을 감소시키기 위한 간단한 트래픽 스케줄링 기법을 기반으로 한 데이터 중복 회피 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 무선랜과 블루투스가 같은 환경을 공유하는 다른 기술에 의한 간섭을 감지할 수 있다는 가정에 근거를 두고 있으며, 이 가정은 트래픽 전송과 관련된 정보가 간섭 시스템간에 직접 교환할 수 있는 협업 환경에서 일반적인 사실이다. 비협업 설정에서 시스템간 간섭의 감지는 채널 센싱, 수신 신호

강도, 패킷 손실률의 평가를 통해 얻을 수 있다. 본 논문에서는 패킷 손실률의 평가를 통해 제안한 알고리즘의 성능평가를 하였다.

II. 관련연구

WLAN과 블루투스의 간섭에 대한 사전연구^[5]로 연구결과를 보면 2.4GHz ISM 대역에서의 간섭이 저전력 PAN (Personal Area Network)의 성능을 크게 줄인다고 결론지었다. 또한, 현재 상용화되고 있는 Wi-Fi, 블루투스, Wireless USB, ZigBee 기술들은 산업, 과학, 의료용으로 분배된 ISM 대역 즉, 2.4GHz 대역을 동시에 사용하기 때문에 주파수 간섭이 불가피하고, 이로 인한 통신속도의 저하가 발생되고 있다^[6]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어왔다. 특히, IEEE 802.15 TG2에서 여러 공존 메카니즘들이 제안되었다. 제안된 공존 메카니즘들은 협력 메카니즘과 비협력 메카니즘으로 나눌 수 있다^[7]. 협력 공존 메카니즘의 중요한 예가 있는데 그중 하나는 매체 액세스 제어 (MAC)의 향상된 시간적 알고리즘 (META)^[7]과 무선 매체 액세스 (AWMA)^{[2],[7]}이다. 비협력 공존 메카니즘은 적응적 패킷 선택과 스케줄링, 전송전력 제어, 전송전력 비율조정 방식을 갖는 적응적 주파수 호핑 (AFH, Adaptive Frequency Hopping) 기술을 포함한다. AFH 방식^{[2],[7]}에 따르면 블루투스 주파수 채널을 “good”이나 “bad” 채널로 분류하고, WLAN 신호 주파수의 중복 확률을 줄이기 위해 사용된다.

적응적 패킷 선택과 스케줄링^[7]은 WLAN과 블루투스 사이의 간섭을 효과적으로 완화하는데 사용할 수 있다. 주파수 홉의 상태에 따라 최상의 블루투스 패킷 타입을 선택하면 블루투스의 처리량이 향상된다. 또한 블루투스 전송은 WLAN 대역을 피하는 홉을 선택하는 것으로 두 무선 시스템간의 간섭을 줄일 수 있다.

참고문헌 [2]에서는 가능한 만족스러운 성능을 얻기 위해 WLAN과 블루투스 장치들의 전송전력을 감소해야 한다는 것에 근거하여 송신 전력 제어와 송신 전력 속도 조절 방식을 제안하고 있다. 현재 모든 WLAN 장치들은 신호 품질의 인식 수준을 바탕으로 제어알고리즘을 구현하고 있다. 참고문헌 [3]에서 제시한 방식은 낮은 전송전력에서 높은 의무비율을 통합하기 위해 이 제어알고리즘을 확장하였다. 실제로 WLAN 장치는 낮은 전송전력을 사용하여 가장 높은 속도로 전송하게 된다.

WLAN 환경에서 단위지역에서 다수의 AP가 출현

하였을 때 간섭이 발생하여 처리율이 저하되는 현상을 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다⁸⁾⁹⁾. 이 연구들은 최적화 알고리즘을 통해 처리율이 저하되는 현상을 해결하고자 하였으나 단위 지역 내 AP들의 응집도는 더 높아지고, 예상치 못한 네트워크 오류나 성능의 저하가 초래되었다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 참고문헌 [10]의 연구에서는 인프라 네트워크에서 AP간에 직접적인 통신을 하지 않고 자체적으로 채널을 할당하는 알고리즘을 제시하여 AP의 처리율을 향상시켰다. 이 연구에서 동적인 채널 할당 방식을 사용하고 있지만, 새로운 BSS의 출현이나, 이동성이 있는 AP는 고려하고 있지 않고 있기 때문에 이동성이 있는 단말의 경우에는 적합하지 않다. 또한, 참고문헌 [11]의 연구에서는 Chaotic 무선 환경에서 동적 채널 선택 기법을 제안하였다. 최종 사용자 개개인 이 임의로 AP를 설정하고 제조사가 제공하는 디바이스들이 무분별하게 응집됨으로써 혼란이 생기는 네트워크를 ‘Chaotic’이라 정의하고 이러한 상황에서 적합한 채널변경기법을 보여주고 있다. 이는 기준값과 비교해서 채널의 변경이 필요하다고 판단될 경우 채널의 변경이 이루어지는데, 이는 단위 지역내에서의 AP간 간섭을 회피하기에는 적합하나, 이동성이 있는 노드에는 적합하지 않다. Hotspot 환경에서는 불특정 다수의 디바이스들이 밀집하게 되는데 이때, 네트워크 사용자들은 공정하게 네트워크 자원을 할당받지 못하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 참고문헌 [12]의 연구는 동적 채널 할당 기법인 MAXchop 알고리즘을 제안하여 각 AP들이 공평하게 자원을 점유할 수 있게 해 주고 있다.

III. 간섭 모델 및 제안한 중복 회피 알고리즘

3.1 IEEE 802.11과 블루투스의 채널 및 간섭 모델

IEEE 802.11 WLAN은 11Mbps의 전송속도로 약 100m의 범위를 커버한다. 본 논문에서는 DSSS 방식을 사용하는 시스템을 고려하였다. 네트워크의 기본적인 구성 블록은 동일한 확산 시퀀스와 MAC 기능을 이용하는 여러 무선 스테이션으로 구성된 BSS(Basic Service Set)로 이루어져 있다. 무선 스테이션은 직접 애드혹 네트워크를 형성하거나 유선 네트워크의 연결을 제공하는 중앙 액세스 포인트를 통해 통신할 수 있다¹³⁾. IEEE 802.11 표준에 정의된 MAC의 두 가지 기본적인 기능은 DCF (Distributed Coordination

Function) 기능과 PCF (Point Coordination Function) 기능이다. DCF는 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 프로토콜을 기반으로 하고 있으며 비동기 데이터 전송을 허용하고 있다. PCF는 액세스 포인트의 폴링을 기반으로 실시간 트래픽을 지원할 수 있다. 본 논문에서는 DCF 만을 고려하였다.

블루투스는 사용자 주변의 10m 범위에 위치한 장치들과의 상호 연결을 제공한다. 블루투스 기술은 통신망을 형성하는 무선 네트워크 기술, 네트워크를 구성하는 장비 간에 사전에 네트워크의 정의와 계획 없이 상황에 따라 조정 프로토콜에 의하여 마스터와 슬레이브의 역할을 하면서 네트워크를 형성한다. 블루투스 시스템의 기본 구조는 마스터와 오직 마스터 디바이스와의 통신을 허용하는 슬레이브 디바이스로 구성된 피코넷 (piconet)이다¹⁴⁾.

블루투스 채널은 FH/TDD (Frequency Hop/Time Division Duplex) 방법을 사용한다. 채널은 슬롯이라고 불리는 625 μ sec 구간으로 나누어지며, 각 슬롯에 대하여 서로 다른 홉 주파수가 사용되며, 홉 비율 1,600 hops/sec이다. 하나의 패킷은 interval/slot 단위로 전송되며, 그 다음의 슬롯들은 TDD 모드로 전송이 되어 송신과 수신을 교대로 한다. 채널은 여러 개의 간격이 일정한 1MHz 홉들을 사용한다. GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) 변조를 이용하여 1Mbit/sec의 심볼율을 얻는다. 블루투스 시스템의 주파수 대역으로 80MHz 이거나 더 넓은 대역을 사용하는 나라에서는 79홉 캐리어가 사용된다. 블루투스 시스템의 주파수 대역이 80MHz 보다 작은 나라(일본, 프랑스, 스페인 등)에서는 23홉 캐리어가 정의된다. 평균적으로 주파수 홉 시퀀스는 같은 확률로 각각의 캐리어를 사용한다.

블루투스 시스템은 음성과 데이터를 혼합하는 멀티미디어 응용을 지원하기 위하여 SCO (Synchronous Connection-Oriented)와 ACL (Asynchronous Connection-Less)의 두 가지 형태의 링크를 정의한다. SCO 링크는 보통 음성을 위해 대칭적이면서 회선교환 (Circuit Switched) 방식을 택하고, 점대점 (point-to-point) 통신을 지원한다. 이러한 링크들은 일정한 간격으로 두 개의 연속적인 슬롯(Forward 슬롯과 Return 슬롯)을 가진다. ACL 링크는 버스트 (burst)한 데이터 전송을 위하여, 대칭적 또는 비대칭적이면서 패킷 교환 방식을 택하고 점대다점 (point-to-multipoint) 통신을 지원한다. 이때 마스터 장치는 ACL 통신을 제어하기 위하여 폴링(polling) 방식을 사용한다. 패킷은 각

각의 물리적인 링크에 대하여 정의되는데, SCO 링크에 대하여 세 종류의 단일슬롯 음성 패킷이 정의되며, 각각은 64kbit/sec의 비율로 음성을 전송한다. 음성은 비보호되어 전송되지만, SCO 간격이 감소하면서 2/3 또는 1/3의 에러 정정 기법이 선택된다. ACL 링크에 대하여 1-슬롯, 3-슬롯, 5-슬롯의 데이터 패킷이 정의된다. 데이터는 비보호되거나 2/3의 에러 정정 기법에 의하여 보호된다. 최대의 데이터 전송율은 비보호된 5-슬롯 패킷으로부터 얻어진다.

그림 1은 2.4GHz ISM대역에서 WLAN과 블루투스의 주파수 채널을 보이고 있고, 표 1은 2.4GHz ISM대역에 사용되는 기술들을 비교한 표이다.

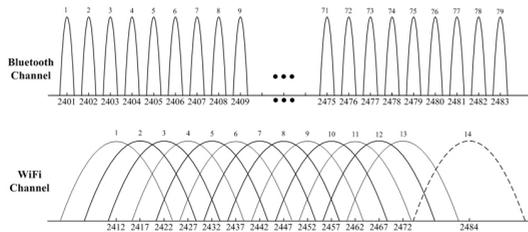


그림 1. 2.4GHz ISM대역에서의 WLAN과 블루투스 주파수
Fig. 1. WLAN and Bluetooth frequency channel at 2.4GHz ISM band

표 1. WLAN과 블루투스 기술 비교
Table 1. Technique Comparison of WLAN and Bluetooth

	Data Rate	No. of Channel	Method of Interference avoid	Bandwidth
WLAN (802.11b)	11Mbps	13	Fixed Channel Collision Avoidance	22MHz (Static)
Bluetooth	723Kbps	79	Adaptive Frequency Hopping	1MHz (Dynamic)

3.1.1 채널 모델

본 논문에서는 모의실험을 위해 채널 모델의 가지 거리 (LOS) 전파는 처음 8m로 정의하고, 8m 이상의 거리는 3.3의 전파지수를 갖는 전파모델을 적용하였다. 경로 손실은 dB 값으로 계산되어지며 다음과 같이 정의할 수 있다¹⁵⁾.

$$L_p = \begin{cases} 32.45 + 20\log(f \cdot d) & \text{if } d < 8m \\ 58.3 + 33\log\left(\frac{d}{8}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, f 는 GHz 단위의 주파수이고, d 는 미터 단위의 거리이다.

본 논문에서는 송신기와 수신기의 안테나가 추가

손실은 무시하고, 단위 (unit) 이득을 갖는다고 가정하였다. 수신된 전력 (P_R)은 송신전력 (P_T)에서 경로손실을 빼줌으로써 구할 수 있으며 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_R = P_T - L_P \quad (2)$$

식 (2)는 변조 방식에 의존하지 않기 때문에 WLAN 또는 블루투스 송신기 하나에 의해 주어지는 시점에서 수신된 전력을 계산하는데 사용된다.

물리계층 성능을 결정할 수 있는 메인 파라미터는 희망 신호와 간섭 신호간의 신호대 간섭비이다. 이 비율은 dB로 주어지며 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$SIR = P_R - P_I \quad (3)$$

여기서 P_I 는 수신기에서의 간섭 전력이다.

간섭이 없는 경우 WLAN 또는 블루투스 시스템중 하나에 대한 BER은 고려중인 송신기 전력과 범위를 거의 무시할 수 있다. 채널모델을 완성하기 위해 수신된 신호에 계산된 SNR에 따른 잡음을 더해줘야 한다. 신호대 잡음비는 $SNR = P_R - S_R$ 로 정의할 수 있다. 여기서 P_R 은 수신된 신호의 전력이며, S_R 은 수신기의 감도이다. 수신기에서 잡음은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 사용하였다.

3.1.2 간섭 모델

WLAN과 블루투스 장치 운영에 있어 상호 간섭에 대한 적절한 모델을 개발하고 공존 메커니즘을 정의하는 것은 반드시 필요하다. 블루투스(또는 WLAN) 송신기로부터 간섭 전력이 WLAN(또는 블루투스) 수신기에서 간섭 전력 캐리어에 감소를 일으킬 때마다 WLAN과 블루투스간의 간섭이 발생한다.

본 논문에서 블루투스 장치가 WLAN 장치에 간섭을 일으킬 수 있는 충분한 전력을 가지고 있고, 블루투스 장치에 간섭을 일으킬 수 있도록 WLAN 장치가 설정되어 있다고 가정하였다. 또한, 블루투스와 WLAN 장치에 의한 동일한 시간과 동일한 주파수 모두 겹쳐 전송될 때마다 충돌에 관련된 신호를 하나의 동일한 오류 확률로 수신되는 것을 고려하였다.

그림 2는 IEEE 802.11 패킷과 블루투스 패킷을 보여주고 있다.

WLAN과 Bluetooth의 상호 간섭 영향 분석을 위해 IEEE 802.11 WLAN은 DSSS (Direct Sequence

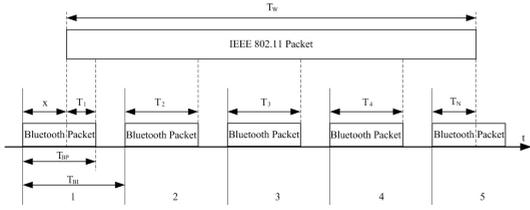


그림 2. IEEE 802.11 패킷과 블루투스 패킷
Fig. 2. Packet of IEEE 802.11 and Bluetooth

Spread Spectrum) 방식을 사용하고, 22MHz 대역폭을 고려하였다. 블루투스 기술은 음성 전송을 위해 SCO (Synchronous Connection Oriented)와 데이터 전송을 위해 ACL (Asynchronous Connection Less) 링크를 설정한다. 본 논문에서 음성 링크에 간섭의 영향을 줄이기 위해 반복 전송 (SCORT)과 동기식 연결 지향적인 것 (SCO)을 고려하였다. γ 로 표시되는 블루투스의 간섭 전력 마진에 캐리어의 감소 원인이 있기 때문에 블루투스의 송신기는 WLAN 수신기를 방해한다. p_e 로 정의되는 WLAN 수신기에서의 비트 에러 확률은 γ 가 주어지면 계산이 가능하다. 예를들어, BPSK 변조를 사용하고, DSSS 신호를 사용하는 WLAN의 p_e 는 식 (4)와 같이 표현 할 수 있다^[16].

$$p_e = Q(\sqrt{2 \cdot \gamma \cdot L_c}) \quad (4)$$

여기서 L_c 는 정보 비트당 칩의 수를 말한다.

본 절에서는 블루투스의 간섭으로 인한 WLAN 시스템의 패킷 오류 확률을 계산하고자 한다. 이를 위해 T_{BI} 는 블루투스 패킷 구간, T_{BP} 는 블루투스에서 패킷당 전송 시간, T_W 는 WLAN의 시간 구간으로 정의한다. WLAN 패킷과 겹치는 블루투스 패킷 간격의 수는 x 에 의존하고 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

WLAN과 블루투스의 충돌은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$N(x) = \begin{cases} \lceil \frac{T_W}{T_{BI}} \rceil, & \text{if } x \leq T_{BI} \cdot \lceil \frac{T_W}{T_{BI}} \rceil - T_W \\ \lceil \frac{T_W}{T_{BI}} \rceil + 1, & \text{else.} \end{cases} \quad (5)$$

여기서, T_{BI} 는 블루투스의 시간 슬롯, T_{BP} 는 실제 슬롯 당 전송 시간, T_W 는 WLAN 패킷 시간 기간, x 는 처음으로 중복되는 블루투스 슬롯의 시작 부분에서 WLAN 패킷의 시작 부분까지의 시간 기간이다. 즉,

x 의 범위는 $(0, T_{BP})$ 이다. WLAN 패킷과 중복되는 블루투스 슬롯의 수는 x 에 따라 달라진다. 변수 T_i ($i = 1, \dots, N(x)$)는 실제로 WLAN 패킷을 방해하는 블루투스의 i 번째 패킷을 가리킨다.

$$T_i = \begin{cases} \max(T_{BP} - x, 0), & i = 1 \\ T_{BP}, & i = 2, \dots, N(x) - 1 \\ \min(x + T_W - (N(x) - 1)T_{BI}, T_{BP}), & i = N(x) \end{cases} \quad (6)$$

$i = 1, \dots, N(x)$ 에서 x 의 값을 고정하여 i ($i = 1, \dots, N(x)$) 슬롯에서 전송되는 블루투스 트래픽 확률 δ_i 를 정의할 수 있다.

$$\delta_i = \begin{cases} 0, & \text{if the } i\text{th BT slot is idle} \\ 1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (7)$$

블루투스의 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 패킷 오류 확률값은 [16]의 연구에서 얻어진 식 (8)와 식 (9)를 사용한다.

$$\begin{aligned} \epsilon &= 1 - P\{\text{correct WLAN packet}\} \\ &= 1 - \int_0^{T_{BI}} (1 - p_e)^{Sx} \cdot \frac{1}{T_{BI}} dx \end{aligned} \quad (8)$$

$$\epsilon = 1 - \int_0^{T_{BI}} (1 - \bar{p}_e)^{Sx} \cdot \frac{1}{T_{BI}} dx \quad (9)$$

WLAN 스테이션이 DSSS 방식을 사용하는 것과 대역외 간섭을 무시함으로써, 블루투스와 WLAN이 동일한 주파수에서 겹치는 확률은 블루투스 흡이 22MHz WLAN DSSS 대역으로 호핑할 확률과 동일하다. 블루투스 스펙에서 제시된 것과 같이 블루투스 호핑 시퀀스를 생성하는데 사용되는 절차에서 무선랜 대역에 호핑되는 블루투스가 매개변수 h_f 를 가지는 독립적인 분산 프로세스에 의해 근사할 수 있도록 한다. 블루투스의 피코넷이 실제로 WLAN 시스템을 방해하는 간섭확률을 구하기 위해 확률값 h_f 를 구해야 한다. 본 논문에서는 [16]의 연구에서 계산된 $h_f = 0.25$ 를 이용한다. 공존 메카니즘이 적용되지 않는다면 22MHz의 WLAN 대역과 79MHz의 블루투스 대역에서 $h_f = (22/79) = 0.278$ 로 정의할 수 있다^[17].

블루투스와 WLAN 사이의 충돌과 관련된 "hit" 심볼의 평균 개수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\eta_x = h_f \left(T_1^{(s)} \delta_1 + \sum_{i=2}^{N(x)-1} T_i^{(s)} \delta_i + T_{N(x)}^{(s)} \delta_{N(x)} \right) \quad (10)$$

여기서 $T_i^{(s)}$ 는 $T_i/T_s (i=1, \dots, N(x))$ 의 비율이고, T_s 는 심볼의 지속시간을 나타낸다. 식 (10)으로부터 블루투스 와 802.11 사이에 존재하는 간섭을 완화시키기 위해 $N(x)$, h_f 또는 $\delta_i (i=1, \dots, N(x))$ 를 작게 만들어야 한다. 작은 $N(x)$ 는 짧은 WLAN 패킷을 사용함으로써 얻을 수 있으나, WLAN 전송에 있어 오버헤드를 증가시킨다. 작은 h_f 파라미터는 WLAN과 블루투스 전송이 주파수에 오버랩되는 확률값의 감소를 필요로 한다.

3.2 데이터 중복 회피 알고리즘

MAC 계층에서 단순한 트래픽 스케줄링 기술을 이용하여 WLAN과 블루투스 두 시스템이 공존할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 데이터 전송과 관련된 것이다. 멀티 슬롯 전송의 경우 패킷은 패킷이 시작되는 슬롯에 해당하는 홉은 단일 주파수 홉을 사용하여 보내진다. 이 알고리즘의 핵심은 WLAN과 블루투스 전송 사이의 주파수 중복을 피하기 위해 블루투스 시스템에 특성화된 다양한 패킷 길이를 사용하는 것이다. 제안한 알고리즘은 ACL 링크가 블루투스 채널상에서 활성일 경우 적용된다. 또한, 제안된 알고리즘은 WLAN과 블루투스 장치 모두 같은 환경을 공유하고 동일한 주파수 대역을 사용하는 다른 기술에 의한 간섭을 감지할 수 있다는 가정에 근거하고 있다. 이러한 가정은 블루투스 와 WLAN이 직접 자신의 트래픽 전송에 관련된 정보를 교환할 수 있는 협업 환경에서 사실이다. 비협업 환경에서 수신 신호 강도와 패킷 손실율을 평가하고 채널 센싱을 통해 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서 블루투스 데이터 링크를 고려하고 블루투스 마스터 장치가 WLAN 스테이션의 간섭에 의해 주파수 채널을 점유하는 것을 인식하고 있다고 가정하였다. 일반적으로 WLAN 시스템은 22MHz 대역을 벗어나지 않는다. 따라서 비협업 설정에서 블루투스 장치는 다음 방법 가운데 하나를 사용하여 WLAN에 의해 점유되는 주파수 채널을 식별할 수 있다³⁾.

방법 1) 블루투스 장치는 관찰된 패킷 손실을 기반으로 채널을 점유하는 결정을 한다.

방법 2) 블루투스 장치와 WLAN 장치가 동작을 시작하기 전에 블루투스 장치는 무선 환경을 통해 수신된 신호강도(RSSI)를 평가한다.

방법 3) 블루투스 장치가 주파수 스펙트럼에 걸쳐 "test"패킷을 전송하여 채널에서의 패킷 손실율을 관찰하고 간섭시스템에 의해 사용된 대역을 찾는다.

방법 1, 2는 이미 블루투스 스펙에 포함되어 있으며, 마스터와 슬레이브 사이에서 POLL-NULL 메시지가 교환되는 동안 방법 3을 구현하는 "test"패킷으로 사용할 수 있다.

그림 3에서와 같이 마스터 장치는 항상 짝수 슬롯에서 전송이 시작되고, 슬레이브 장치는 홀수 슬롯에서 전송이 시작된다. 본 논문에서는 단순화를 위해 기본 데이터 패킷의 길이가 하나의 슬롯으로 가정하였다.

그림 4에서와 같이 일반 시간 슬롯 m 에서 호핑 시퀀스의 주파수 위치를 f_m 이라하고, 현재 시간 슬롯이 $2n$ 이라하자. 첫 번째 고려사항으로 f_{2n} , f_{2n+1} 이 WLAN 대역으로 호핑한다. 여기서 f_{2n} 과 f_{2n+1} 는 각각 마스터 전송과 슬레이브 전송을 나타낸다.

슬레이브를 위해 마스터에 충분한 데이터가 버퍼링 된다면 마스터는 단일 슬롯 패킷을 대신할 멀티 슬롯 패킷을 스케줄링한다. 이 방법은 f_{2n+1} 주파수 홉을 생략한다. 그림 5에서와 같이 3개 슬롯 패킷이 보내졌다면 다음 슬레이브 전송은 f_{2n+3} 을 사용한다. 만약 너무 작은 데이터를 사용할 경우에는 마스터가 기본적인 역할을 하며 단일 슬롯 패킷을 보낸다.

다음으로 주파수 위치 사이에서 f_{2n} , f_{2n+2} 가 WLAN 대역에 호핑한다고 가정한다. 여기서 f_{2n+2} 가 마스터 전송에 해당한다는 것을 알 수 있다. 시간 슬롯 $2n$ 에서 마스터는 다음 전송 슬롯에서 f_{2n+2} 를 생

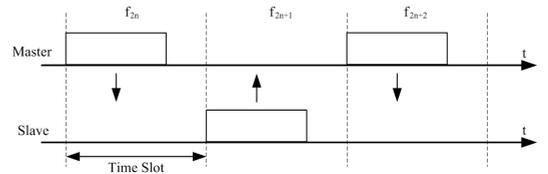


그림 3. 블루투스에서 FH/TDD 채널
Fig. 3. FH/TDD channel in Bluetooth

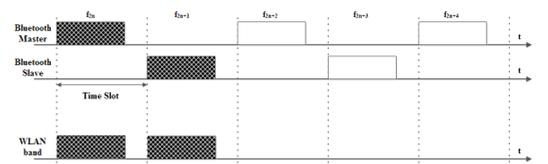


그림 4. 블루투스 f_{2n} , f_{2n+1} 이 WLAN 대역으로 호핑의 예
Fig. 4. Example of hopping from Bluetooth f_{2n} , f_{2n+1} to WLAN band

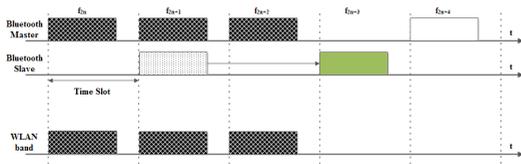


그림 5. 3개의 블루투스 패킷이 WLAN 대역으로 호핑하는 예 Fig. 5. Example of hopping from three Bluetooth band to WLAN band

략한 멀티 슬롯 패킷을 슬레이브에 전송하기 위해 질의를 한다. 예를들어, 슬레이브가 전송을 위한 충분한 데이터가 있는 경우 3개 슬롯 패킷은 f_{2n+1} 주파수만을 사용하여 $2n+1$ 슬롯에서 $2n+3$ 슬롯까지 확장된다. 다음 슬롯은 마스터 전송을 위해 할당되는데, 주파수 f_{2n+4} 위치로 호핑한다. 기본 데이터 전송에 있어 3개 슬롯 패킷 또는 5개 슬롯 패킷이 사용될 때 유사한 메카니즘이 적용된다.

이미 언급했듯이 본 논문에서는 대역의 간섭에 대해 고려하지 않았다. 인접한 채널의 간섭이 매개변수 h_f 의 증가로 이어질 수 있지만, 이는 중복 회피 알고리즘에 영향을 주지 않는다. 간섭이 감지되는 모든 주파수 채널은 블루투스 장치가 데이터 중복 회피 알고리즘을 사용하여 피할 수 있는 주파수의 집합에 포함되어 있다.

IV. 모의실험 및 결과

4.1 모의실험 환경

본 실험을 위해 11MB/s의 동일한 전송률을 제공하고 DCF MAC 방식을 사용하고 IEEE 802.11 애드혹 네트워크를 고려하였다. 모든 스테이션은 자체 포함된 BSS로 운영하고 서로 통신할 수 있는 모든 스테이션은 유한 전송 버퍼가 있는 비동기 데이터를 사용자로 가정한다. 스테이션의 높은 계층 프로토콜에서 MAC 하위 계층으로의 프레임의 도착은 기하급수적인 상호 도착 시간과 프레임 길이에 대한 잘린(truncated) 기하 분포로 모델링된다^[18]. 최대 프레임 길이는 IEEE 802.11 표준에 의해 제시된 MAC 서비스 데이터 단위의 최대 길이로 설정된 상태에서 잘린 기하 분포의 평균값은 1500 byte로 설정한다. 지수 분포의 매개변수는 고정된다. WLAN 트래픽 로드와 평균은 채널용량으로 정규화되는데 이를 λ_w 로 표현한다.

모의실험 모델의 단순화를 위해 네 가지 가정을 하였다.

- 1) WLAN 패킷의 길이는 500, 1000, 1500 byte로

제한하였다.

- 2) RTS(Request to Send)/CTS(Clear to Send) 메카니즘은 항상 활성화(active) 상태로 한다.

- 3) 같은 DSSS 확산 시퀀스를 사용하는 BSS 근처에서는 간섭을 고려하지 않는다.

- 4) 전파지연은 스테이션간의 짧은 거리로 인하여 무시한다.

WLAN 전송은 수신기에서 정확히 수신하고 아무런 충돌이 발생하지 않으면 전송을 성공적으로 마친 것으로 간주한다. 만약 패킷이 정확하게 수신되지 않으면 IEEE 802.11 표준에 정의된 백오프 절차에 의해 재전송을 하게 된다.

표 2는 모의실험 모델에 사용된 WLAN 파라미터 값을 보여준다.

블루투스 시스템에서는 하나의 피코넷을 고려하였고, 각 장치는 유한한 전송 버퍼를 가지고 있다. 무선 채널을 통한 패킷 오류 프로세스는 베르누이로 가정하고, 평균 패킷 오류 확률(p_e)은 10^{-3} 으로 설정하였다. 또한, 블루투스 SCO 트래픽이 HV3 타입 링크를 사용하여 전송한다고 가정하였다. 패킷은 각 활성화 연결에 대한 HV3 타입의 링크를 통해 매 여섯 시간 슬롯마다 양방향으로 전송된다. 데이터 트래픽의 경우 DH1 타입 링크는 기본 동작 모드로 간주하고, 단일 슬롯 데이터 패킷이 사용된다. 데이터 중복 회피 알고리즘을 적용하면 한 슬롯 패킷과 세 슬롯 패킷을 사용하는 것을 고려해야 한다. 세 슬롯 패킷을 사용할 경우 DH3 타입 링크를 사용하게 된다. 표 3은 블루투스 시스템에서 사용되는 파라미터 값을 보여준다.

블루투스 장치의 MAC 하위 계층으로의 데이터 도착은 기하 급수적인 상호도착 시간과 데이터 단위 길이에 대한 잘린 기하 분포로 모델링 된다. 최대 데이터 단위 길이는 100 DH1 패킷에 의해 전달되는 전체 정보에 해당하는 2800 byte로 설정된 상태에서 잘린 기하 분포의 평균값은 1500 byte로 설정된다. 블루투

표 2. WLAN 시스템의 파라미터
Table 2. Parameter of WLAN system

Parameter	Value
Long_Retry_Limit	10
Physical Header	144bit
MAC Header	272bit
Slot Time	20 μ s
SIFS	10 μ s
DIFS	50 μ s

표 3. 블루투스 시스템의 파라미터
Table 3. Parameter of Bluetooth system

Parameter	Value
T_{BI}	$625\mu s$
T_{BP} (1 slot packet)	$366\mu s$
T_{BP} (m slot packet)	$625\mu s$ ($i \leq m - 1$ at slot) $366\mu s$ ($i = m$ at slot)

스 트래픽 로드의 평균은 채널용량 λ_b 로 정규화되며, 이와 같은 방법으로 지수분포 파라미터가 결정된다. 정확한 수신을 하지 못한 패킷은 고속 자동 반복 요청 방식^[4]에 따라 재전송되며, 발신자는 패킷 전송에 따라 먼저 전송이 가능한 슬롯에 전송결과를 전송한다.

4.2 모의실험 결과

그림 6은 블루투스 음성 링크 간섭의 영향에 의한 WLAN의 패킷 오류 확률을 보여준다. 확률 곡선은 WLAN 패킷 페이로드의 값들에 대해 블루투스 트래픽 부하의 다른 값을 보여준다. 또한 WLAN 패킷 오류 확률은 상당히 높으며, 보다 큰 페이로드가 고려될 수록 증가함을 보여준다.

그림 7은 블루투스 데이터 트래픽 발생시 WLAN의 패킷 에러 확률을 보여준다. 실제로 WLAN의 페이로드와 블루투스에서 트래픽 생성률 λ_b 에 의해 발생하는 WLAN의 패킷 에러 확률을 보이고 있다. 그림에서 보느냐와 같이 λ_b 가 커짐에따라 패킷 오류 확률이 증가하며 큰 페이로드를 고려해야 한다.

그림 8, 9, 10은 제안한 방법을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 성능 비교를 보이고 있다. 그림 8과 9의 모의실험결과에서의 모의실험 환경은 블루투

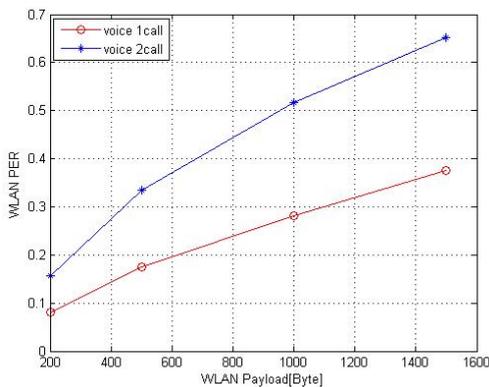


그림 6. 블루투스 음성통화시 WLAN의 패킷 에러 확률
Fig. 6. WLAN packet error rate when Bluetooth voice call

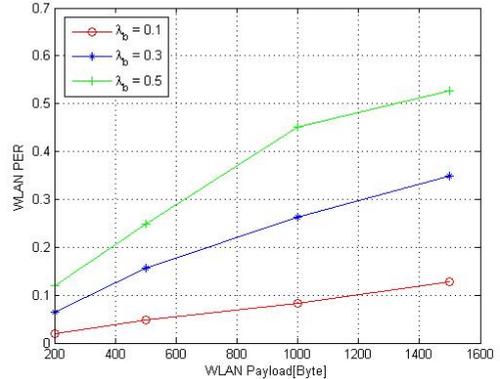
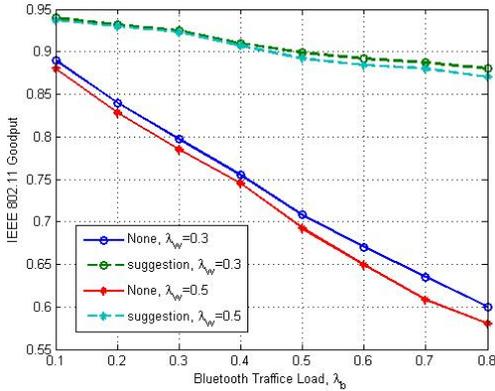


그림 7. 블루투스 트래픽 생성률 λ_b 에 따른 WLAN의 패킷 에러 확률
Fig. 7. WLAN packet error rate versus WLAN payload at Bluetooth traffic rate λ_b

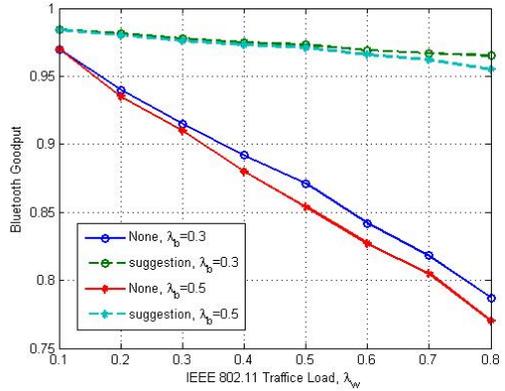
스 ACL 링크를 적용하고, 블루투스와 WLAN의 트래픽 생성률은 각각 λ_b 는 0.1~0.8, $\lambda_w=0.3, 0.5$, WLAN 페이로드는 500, 1000, 1500 byte를 적용하였다. 그림 8(a)는 블루투스 트래픽 생성률 $\lambda_b = 0.1\sim 0.8$ 에 대한 IEEE 802.11 굿풋(goodput)을 보이고 있다. 여기서 중복 회피 알고리즘을 적용했을 경우 IEEE 802.11 굿풋은 블루투스의 트래픽 로드가 증가함에도 불구하고 거의 일정하게 유지하지만, 제안한 알고리즘을 적용하지 않았을 경우에는 블루투스의 트래픽 생성률이 증가함에 따라 IEEE 802.11 굿풋은 많은 감소를 볼 수 있다. 제안된 중복 회피 알고리즘을 적용하여 블루투스의 트래픽 생성률이 0.8일 때, 약 50% 정도의 성능향상을 얻을 수 있었다. 그림 8(b)는 WLAN 트래픽 생성률 $\lambda_w = 0.1\sim 0.8$ 에 대한 블루투스의 굿풋을 보이고 있다. 제안한 중복 회피 알고리즘을 적용하여 802.11 트래픽 생성률이 0.8일 때, 약 24% 정도의 성능향상을 얻을 수 있었다.

그림 9는 블루투스 트래픽 생성률과 블루투스 평균 패킷 지연시간의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 두 개의 곡선이 겹치는 것을 통해, 제안한 방식에서 블루투스의 처리량의 감소 없이도 WLAN과 블루투스간의 상호 간섭이 완화됨을 보이고 있다.

그림 10은 블루투스 데이터링크에서 블루투스 트래픽 생성률이 0.4일 때 WLAN 페이로드에 대한 WLAN의 굿풋을 보이고 있다. 블루투스 ACL 링크를 적용하고, 블루투스와 WLAN의 트래픽 생성률이 각각 $\lambda_b=0.4, \lambda_w=0.3, 0.5$, WLAN 페이로드는 200, 500, 1000, 1500 byte를 적용하였다. 시뮬레이션 결과로 보아 WLAN 페이로드는 일정한 값으로 고정되어



(a) 블루투스 트래픽 로드에서 IEEE 802.11 굿풋
(a) Goodput of IEEE 802.11 about Bluetooth traffic load



(b) IEEE 802.11 트래픽 로드에서 블루투스 굿풋
(b) Goodput of Bluetooth about IEEE 802.11 traffic load

그림 8. 블루투스 데이터 링크에서 WLAN과 블루투스 시스템의 굿풋
Fig. 8. Goodput of WLAN and Bluetooth system in Bluetooth data link

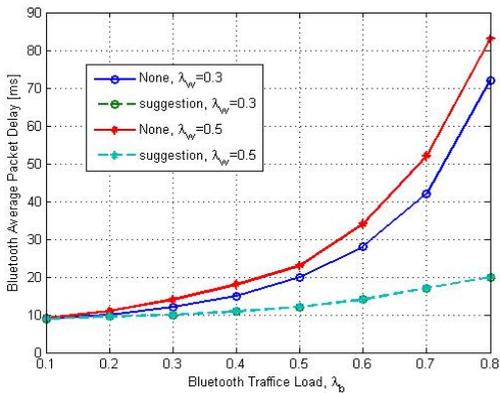


그림 9. 블루투스 데이터 링크에서 블루투스 트래픽 생성물과 블루투스 평균 패킷 지연시간의 관계
Fig. 9. Bluetooth average packet delay versus Bluetooth traffic load in Bluetooth data link

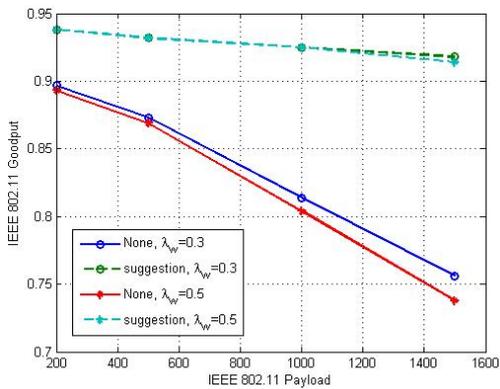


그림 10. 블루투스 데이터링크에서 IEEE 802.11 페이로드에 대한 IEEE 802.11의 굿풋
Fig. 10. WLAN Goodput vs. WLAN payload in Bluetooth data link

있음을 확인할 수 있었고, 이는 중복 회피 알고리즘을 통해 성능의 개선을 확인할 수 있었다. 예상대로 패킷 오류 확률이 감소하기 때문에 제안 알고리즘을 적용하지 않았을 경우 무선랜 페이로드의 낮은 값은 높은 802.11 굿풋을 제공한다. 이것은 WLAN 페이로드가 성능에 영향을 끼치지 않는다는 것을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 근거리 4S(Ship to Ship, Ship to Shore) 해상통신 채널모델에 적용하기 위한 2.4GHz의 ISM 대역에서 작동하는 WLAN과 블루투스의 간섭분석과 간섭을 줄이기 위한 트래픽 스케줄링 기반 데이터 중복 회피 알고리즘을 제안하였다. 블루투스 시스템에서는 음성과 데이터 링크 모듈을 고려하였다. 모의실험 결과 블루투스의 피코넷이 활성화 되었을 때 WLAN 시스템은 높은 패킷 오류 확률을 보였다. 결론적으로 오프셋 주파수가 클 때 간섭 전력은 작아지며, 간섭의 영향이 작아지게 됨을 확인할 수 있었고, 제안한 알고리즘은 WLAN 트래픽과 블루투스 데이터 패킷 사이의 주파수 중복을 피하기 위해 블루투스 장치에 적용되어야 한다. 중복 회피 알고리즘은 중앙 집중식 컨트롤러를 필요로 하지 않는다. 그 이유는 WLAN과 블루투스 패킷 트래픽의 정확한 시간 스케줄링을 하지 않기 때문이다. 블루투스와 WLAN 이외의 간섭 시스템이 존재하는 경우 제안한 중복 회피 알고리즘으로 충분한 정확성을 가진 다른 시스템의 간섭 패턴을 예측할 수 있다. 또한 중복 회피 알고리즘을 사용하면 WLAN 스테이션은 주기적 패턴을 가지

는 어떠한 간섭 전송에서 무선랜 성능에 미치는 영향을 줄일 수 있다. 마찬가지로 블루투스 장치에 의해 수행된 간섭 회피 알고리즘은 ISM대역에서 제한된 주파수 범위를 사용하는 무선 시스템에 의해 생성된 간섭에 대응할 수 있다. 결과적으로 제안된 알고리즘은 WLAN과 블루투스 사이의 간섭을 효과적으로 줄일 수 있음을 보였다.

References

- [1] IEEE 802.15.2 standard, *Coexistence of wireless personal area networks with other wireless devices operating in unlicensed frequency bands*, 2003.
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG2-Coexistence-Mechanisms.html>
- [3] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG2-Technical-Presentations.html>
- [4] J. Lansford, A. Stephens and R. Nevo, "Wi-Fi (802.11b) and Bluetooth: enabling coexistence," *IEEE Network*, vol. 15, pp. 20-27, 2001.
- [5] J. -H. Hauer, V. Handziski, and A. Wolisz, "Experimental study of the impact of WLAN interference on IEEE 802.15.4 body area networks," in *European Conf. Wirel. Sensor Netw.*, vol. 5432, pp. 17-32, Feb. 2009.
- [6] J. Y. Kang and H. Y. Kim, "A study on suppressed method for the frequency interference within wireless communications Devices," *J. KICS*, vol. 28, no. 1A, pp. 34-40, Jan. 2003.
- [7] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG2-Draft.html>
- [8] O. Jo and D.-H. Cho, "Efficient spectrum matching based on spectrum characteristics in cognitive radio Systems," *IEEE WTS2008*, pp. 230-235, Apr. 2008.
- [9] S. Kim, R. Huang, and Y. Fang, "Deterministic priority channel access scheme for QoS support in IEEE 802.11e wireless LANs," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 58, no. 2, Feb. 2009.
- [10] D. J. Leith and P. Clifford, "A self-managed distributed channel selection algorithm for WLANs," *4th Int. Symp. Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, pp. 1-9, Apr. 2006.
- [11] M. Ihmig and P. Steenkiste, "Distributed dynamic channel selection in chaotic wireless networks," *Program for European Wireless 2007*.
- [12] Z. Ma, Z. Cao, and W. Chen, "A fair opportunistic spectrum access(FOSA) scheme in distributed cognitive radio networks," *IEEE ICC 2008*, pp. 4045-4058, Beijing, May 2008.
- [13] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "IEEE 802.11 wireless local area networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 35, pp. 116-126, Sept. 1997.
- [14] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system," *IEEE Personal Commun.*, vol. 7, pp. 28-36, Feb. 2000.
- [15] N. Golmie, R. E. Van Dyck, A. Soltanian, A. tonnerre, and O. Rebal, "Interference evaluation of bluetooth and IEEE 802.11b systems," *Wireless Networks*, vol. 9, pp. 201-211, 2003.
- [16] C. F. Chiasserini and R. R. Rao, "Performance of IEEE 802.11 WLANs in a Bluetooth Environment," *IEEE WCNC*, vol. 1, pp. 94-99, Chicago, Sept. 2000.
- [17] Carla F. Chiasserini, Ramesh R. Rao, "Performance of IEEE 802.11 WLANs in a bluetooth environment," *IEEE WCNC 2000*, Chicago, IL, Sept. 2000.
- [18] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai, "Investigation of the IEEE 802.11 medium access control (MAC) sublayer functions," in *Proc. INFOCOM'97*, pp. 126-133, Apr. 1997.

최 명 수 (Myeong Soo Choi)



2000년 2월 : 목포대학교 전자
공학과 학사

2002년 2월 : 목포대학교 전자
공학과 석사

2009년 2월 : 목포대학교 전자
공학과 박사

2009년 3월~11월 : 목포대학교
해양텔레매틱스 기술개발센터 박사후연구원

2009년 12월~2014년 7월 : 목포대학교 정보산업연
구소 전임연구교수

2014년 8월~현재 : 광주테크노파크 가전로봇센터 연
구원

<관심분야> Digital Communication System, 위성
통신, 해양텔레매틱스, 무선 채널 모델

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 : 고려대학교 전자공학
과 학사

1990년 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 석사

1996년 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 박사

현재 : 목포대학교 정보전자공학
과 교수

<관심분야> Digital Communication System, 위성
통신, 해양텔레매틱스, USN

김 범 무 (Beom-mu Kim)



2012년 2월 : 목포대학교 정보
전자공학과 학사(공학인증)

2014년 2월 : 목포대학교 전자
공학과 석사

2014년 3월~현재 : 목포대학교
전자공학과 박사과정

<관심분야> LBS, WSN, IoT