

논문 2009-46TC-6-7

# 주파수대역을 공유하는 Wi-Fi 시스템과 WiMAX 시스템이 결합된 써큘레이터 기반의 공존장치 성능 분석

(Performance Analysis of Circulator-Based Collocated Device for Wi-Fi System and WiMAX System in Shared Band)

김 동 은\*, 김 중 우\*, 박 수 원\*, 이 승 형\*\*, 강 철 호\*, 한 기 영\*\*\*, 강 현 구\*\*\*

(Dongeun Kim, Jongwoo Kim, Suwon Park, Seung Hyong Rhee, Chul-Ho Kang,  
Kiyoung Han, and Hyongoo Kang)

## 요 약

공유 주파수대역을 사용하는 복수의 통신 시스템이 존재하는 경우 이를 공존(Coexistence)이라고 한다. 공존에는 상호간섭이 심각한 문제로 대두되는데 공존문제를 해결하기 위한 방법 중 공존하는 복수의 통신시스템들이 하나의 송수신기인 공존장치에 결합되어 동작할 때 이를 병립(Collocated)라고 한다. 병립인 WiMAX시스템과 Wi-Fi시스템을 비공동(Non-Collaborative)과 공동(Collaborative)통신으로 모형화하고, 간섭을 최소화하기 위해 써큘레이터를 도입하여 그 구조와 성능에 대해 분석 및 제안한다.

## Abstract

The single device that is combined more than one communication systems in shared band is called *Collocated* system. In this paper, the collocated system is made by combination of Wi-Fi and WiMAX system. Performance of the collocated system is analysed by using two communication model, *Collaborative* and *Non-Collaborative*. To minimize the mutual interference between Wi-Fi and WiMAX system in collocated system, the circulator-based collocated system is proposed and analysed its performance characteristics.

**Keywords :** circulator; coexistence; WiMAX; Wi-Fi; shared band

## I. 서 론

근래 모바일 단말 장치들이 여러 무선통신시스템을 동시에 만족해야 하는 요구가 증가함에 따라 단수 또는

복수의 무선통신장치들이 같은 주파수 대역을 사용하거나 서로 다른 무선통신 시스템으로 전환할 수 있는 능력을 가져야 할 필요가 생겨났다<sup>[1]</sup>. 이러한 공유 주파수 대역을 사용하는 복수의 통신시스템이 존재하는 경우를 공존(Coexistence)이라고 한다. 또한 공존은 병립(Collocated), 공동(Collaborative) 두 개의 하위 개념을 갖는다<sup>[2]</sup>.

공동은 서로 다른 시스템들 간에 통신프로토콜을 가지고 정보를 교환하면서 상대방의 통신을 방해하지 않는 것을 일컫는다. 병립은 복수의 통신시스템이 하나의 통신장치에 함께 설치되어 동작하는 것을 일컫는다. 병립과 공동은 표 1과 같이 네 가지의 통신 모형을 만든다.

\* 평생회원, 광운대학교 전자통신공학과  
(Dept. of Electronics and Communications  
Engineering, Kwangwoon University)

\*\* 평생회원, 광운대학교 전파공학과  
(Dept. of Wireless Communications Engineering,  
Kwangwoon University)

\*\*\* 정회원, (주)삼성전자 DMC연구소  
(Samsung Electronics, Co., Ltd.)

※ 본 연구는 삼성전자(주)의 지원을 받아 수행되었음.  
접수일자: 2009년2월10일, 수정완료일: 2009년6월17일

표 1. 병립과 공동  
Table 1. Collocated and Collaborative.

		공동(Collaborative)	
		비공동(Non-)	공동
병립 (Collocated)	비병립 (Non-)	비병립 및 비공동	비병립 및 공동
	병립	병립 및 비공동	병립 및 공동

병립과 공동이라는 개념을 포함하여 공존상태에서 간섭을 완화하는 여러 방법들이 시도되고 있다. 비병립 및 공동인 시스템으로는 별도의 주파수 채널인 CCCC: Common Spectrum Coordination Channel을 이용한 기술이 있다<sup>[3]</sup>. CCCC를 이용한 기술은 별도의 채널을 구성해야 하기 때문에 주파수 효율이 떨어지며 CCCC를 통해 전달될 메시지를 생산하고 관리하는 중앙통제장치를 필요로 하는 단점이 있다. 병립 및 공동인 시스템으로는 Relay Station을 이용하여 펌토셀을 구성한 기술이 있다<sup>[4]</sup>. BSHC (Base Station Hybrid Coordinator)로 명명된 이 Relay Station은 두 개의 MAC을 가지고 있으면서 Wi-Fi STA (Station)을 지원하기 위해 WiMAX를 백홀로 이용한다. BSHC는 WiMAX의 단말의 형태로 WiMAX의 전송용량 중 일부를 BSHC와 STA가 사용하게 되어 있기 때문에 두 시스템 모두의 전송율을 감소시키는 결과를 가져오며 Hidden Node 문제가 충분히 해결되지 않고 있다. 비병립 및 비공동 시스템으로는 동적 주파수 선택 기술(DFS: Dynamic Frequency Selection)이 있다<sup>[5]</sup>. 채널을 스캔하여 Wi-Fi가 쓰지 않는 비어있는 주파수 영역 (Frequency White Hole)을 찾아낸 후 WiMAX의 주파수 대역을 이동한다. 현재 DFS 기술을 스캐닝을 수행하는데 지연이 발생하여 음성들 실시간 통신에 적합하지 않다는 단점이 있다. 본 논문에서는 공동과 비공동을 모두 지원할 수 있는 써클레이터 기반의 병립시스템을 제안하고자 한다.

제안하는 써클레이터 기반의 병립 가정용 소형 기지국은 IEEE 802.16m BS (Base Station) 와 IEEE 802.11 AP (Access Point)를 결합하여 구성하였으며 이때 셀 구조를 그림 1에 도시하였다. BSAP (BS + AP)는 WiMAX의 MS (Mobile Station)과 Wi-Fi의 STA을 동시에 지원하고 있으며 ISM (Industrial, Science and Medical) 대역의 송신전력 제한으로 인해 작은 서비스 권역을 가지게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 비공동 및 공동을 모두 지원하기 위해 시분할 모델을 분석하고, III장에서는 제안하는 써클레이터 기반의 병립 시스템을 묘사하고, IV장에서는 제안장치의 간섭분석이 주어지며, V장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 평가 및 검증한다. 그리고 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시분할운영(TDO: Time Division Operation)

Wi-Fi시스템<sup>[6]</sup>과 WiMAX시스템<sup>[7]</sup>은 공통적으로 동일한 주파수 대역을 상·하향링크가 함께 사용하는 시분할 이중화방식이다. Wi-Fi시스템은 TDD와 반송파감지 다중접속(CSMA: Carrier Sense Multiple Access)이 결합된 방식을 사용한다. 이러한 관찰을 바탕으로 비공동과 공동을 모두 지원하기 위해 통신 시스템을 시분할운영 방식에 따라 모형화하였다.

1. 비공동 통신모형 (A)

두 시스템 간에 정보의 공유가 전혀 없는 경우이며 각각의 시분할 시스템이 독립적으로 동작하고 있다. 각각의 시스템이 하향링크 또는 상향링크에 있을 확률을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(D_1) = \frac{d_1}{d_1 + u_1} \tag{1-1}$$

Cell coverage of 2.4 GHz ISM band

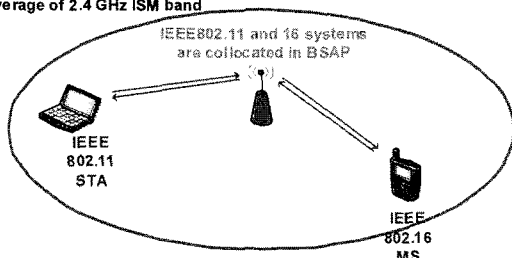


그림 1. WiMAX BS와 Wi-Fi AP가 결합된 소규모 기지국  
Fig. 1. BSAP (BS+AP).

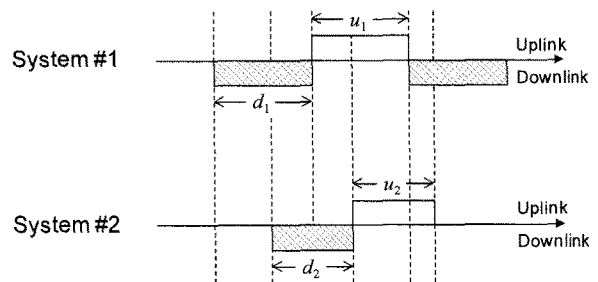


그림 2. 시분할 비공동 통신 모형  
Fig. 2. Non-collaborative TDO system model.

$$P(U_1) = \frac{u_1}{d_1 + u_1} \quad (1-2)$$

$$P(D_2) = \frac{d_2}{d_2 + u_2} \quad (1-3)$$

$$P(U_2) = \frac{u_2}{d_2 + u_2} \quad (1-4)$$

식 (1-1)부터 (1-4)에서  $D_i$ 는 시스템  $i$ 가 하향링크 전송구간에 있는 사건이고,  $U_i$ 는 상향링크 전송구간에 있는 사건이다.  $d_i$ 는 한 프레임 내에서 시스템  $i$ 의 하향링크 부프레임 전송 시간이고,  $u_i$ 는 상향링크 부프레임 전송 시간을 의미한다. 한편, 두 시스템이 서로 독립이므로 식 (1-1)에서 (1-4)를 이용하여 충돌의 확률을 구하면 다음과 같다.

$$P(D_1 \cap D_2) = P(D_1)P(D_2) = \frac{d_1 d_2}{(d_1 + u_1)(d_2 + u_2)} \quad (2-1)$$

$$P(D_1 \cap U_2) = P(D_1)P(U_2) = \frac{d_1 u_2}{(d_1 + u_1)(d_2 + u_2)} \quad (2-2)$$

$$P(U_1 \cap D_2) = P(U_1)P(D_2) = \frac{u_1 d_2}{(d_1 + u_1)(d_2 + u_2)} \quad (2-3)$$

$$P(U_1 \cap U_2) = P(U_1)P(U_2) = \frac{u_1 u_2}{(d_1 + u_1)(d_2 + u_2)} \quad (2-4)$$

만약  $d_1 = u_1 = d_2 = u_2$  이라고 하면 식 (3)이 성립한다.

$$P(D_1 \cap D_2) = P(D_1 \cap U_2) = P(U_1 \cap D_2) = P(U_1 \cap U_2) = \frac{1}{4} \quad (3)$$

### 2. 시분할 공동 통신 모형 (B)

공유주파수 대역을 사용하는 시스템들 간의 간섭을 최소화하기 위해 일반적인 TDD 시스템을 복수의 시스템

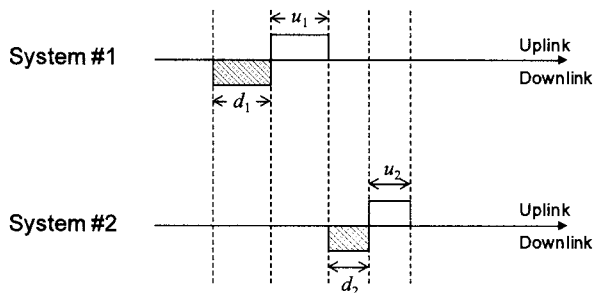


그림 3. 시분할 공동 통신 모형  
Fig. 3. Collaborative TDD system model.

템간의 TDD로 확장한 것이다. 공존문제를 MAC 계층에서 해결하기 위한 방법 중 대표적인 통신모델이다. 이상적으로는 간섭 또는 충돌이 없는 경우지만 두 시스템을 모두 스케줄링하기 위해서는 별도의 통신프로토콜이 필요하다.

그림 3에서 묘사된 것과 같이 두 시스템을 시간영역에서 완전히 분리해내는 기법이며 동시에 전송 또는 수신할 수 없기 때문에 전송용량은 각각의 통신시스템에 대하여 절반으로 줄어든 것이다.

$$P(D_1 \cap D_2) = P(D_1 \cap U_2) = P(U_1 \cap D_2) = P(U_1 \cap U_2) = 0 \quad (4)$$

### 다. 전송방향 분할 병립 통신 모형 (C)

어느 하나의 시스템이 하향링크에 있으면 다른 하나는 상향링크에 있도록 만든 모델이다. 제안되는 써클레이터에 기반할 때 종래의 병립시스템에 비하여 가장 큰 성능향상을 보이게 된다.

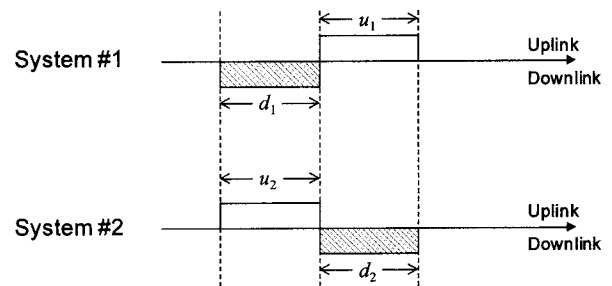


그림 4. 전송방향분할 병립 모형  
Fig. 4. Transmission direction division collocated system model.

$$\text{if } d_1 = u_2 \text{ and } u_1 = d_2 \Rightarrow P(D_1 \cap D_2) = P(U_1 \cap U_2) = 0 \quad (5-1)$$

$$P(D_1 \cap U_2) = \left( \frac{u_2}{(u_1 + u_2)} \right)^2 \quad (5-2)$$

$$P(U_1 \cap D_2) = \left( \frac{u_1}{(u_1 + u_2)} \right)^2 \quad (5-3)$$

### III. 써클레이터를 이용한 병립통신장치

써클레이터는 시계방향 또는 반시계방향으로 일정한 방향성을 가지는 3-포트 RF 전력 전달 소자이다. 주로 고전력 증폭기의 안정화를 위해 사용되나 원래 목표는

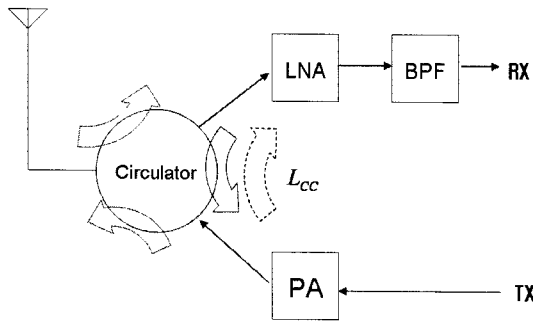


그림 5. 써클레이터를 사용한 안테나 구조  
Fig. 5. Antenna architecture using the circulator.

송신단과 수신단을 분리해 주는 역할을 하는 것이다. 그렇기 때문에 써클레이터는 격리기(Isolator)라고 불리기도 한다.

그림 5에 써클레이터의 동작을 간단히 묘사하였다. 송신단에서 나오는 전력의 대부분은 써클레이터와 안테나를 통해 방사된다. 안테나를 통해 수신된 전력은 써클레이터를 통해 수신단으로 들어가게 된다. 이때 수신단에서 발생한 전력은 송신단으로 들어갈 수 있지만 수신단에서는 잘못된 임피던스 정합에 의해 반사된 전력을 제외하고 발생하는 전력이 없기 때문에 문제가 되지 않는다. 송신단에서 수신단으로 흘러 들어가는 전력은 써클레이터에서 차단한다. 이때 격리계수(Lcc)를 삽입 손실이라 한다.

일반적인 셀룰라 시스템에서는 페라이트 접합 써클레이터(Ferrite Junction Circulator)를 사용하게 된다<sup>[10]</sup>. 도파관을 이용한 써클레이터 등 여러 가지 형태의 써클레이터가 존재하지만 크기와 가격에 대한 부담으로 인해 페라이트가 주로 사용된다. 또한 현재 기술 수준에서는 페라이트를 사용하더라도 듀플렉서(Duplexer)에 비해 훨씬 큰 크기를 가지기 때문에 휴대용 단말기에서

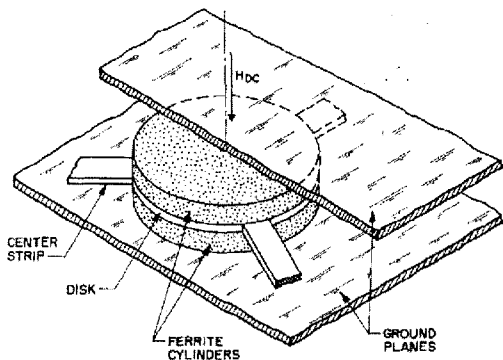


그림 6. 페라이트 접합 써클레이터<sup>[10]</sup>  
Fig. 6. Ferrite junction circulator.<sup>[10]</sup>

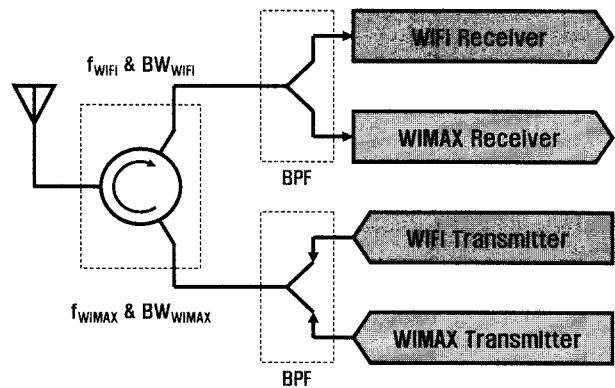


그림 7. 써클레이터 기반의 공존장치  
Fig. 7. Circulator-based collocated system.

사용하는 것은 제한이 따른다. 그림 6에 간단한 형태의 페라이트 접합 써클레이터를 묘사하였다.

본 논문에서는 이와 같은 특징을 갖는 써클레이터를 사용하여 공유주파수 대역을 사용하는 Wi-Fi AP와 WiMAX BS가 공존하는 병립통신장치를 구현하고자 한다. WiMAX BS와 Wi-Fi AP가 결합된 소규모 기지국 형태가 될 것이며 이를 BSAP (=BS+AP)라 명명한다.

그림 7은 BSAP의 구조를 도시하고 있다. 써클레이터의 뒷 단에 Wi-Fi AP와 WiMAX BS의 송신부끼리, 그리고 수신부끼리 결합되어 있다. 이와 같은 구성의 송수신기는 써클레이터에서 일차적으로 신호대역과 신호외대역의 간섭을 억압하고 이차적으로 대역통과필터(BPF: Band Pass Filter)에서 신호외대역 간섭을 억압한다.

#### IV. 시분할 운영에 따른 간섭 분석

앞서 언급한 세 가지 시분할 운영 모델은 표 2와 같이 네 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다.

표 2. 시분할 운영 모형  
Table 2. Time division operation model.

		WiMAX	
		상향링크	하향링크
Wi-Fi	상향링크	A만 존재	A & C
	하향링크	A & C	A만 존재

A: 비공동 통신모형,  
C: 전송방향분할 병립 통신모형

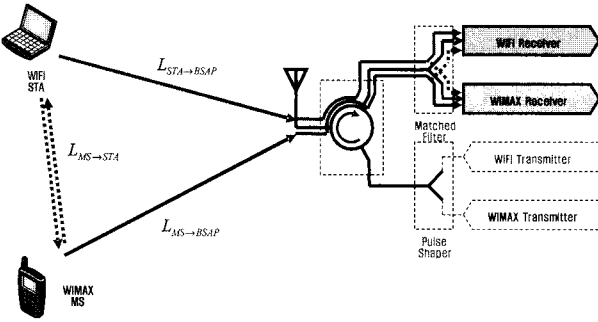
##### 1. 사건 $U_{WiMAX} \cap U_{Wi-Fi}$

두 시스템이 모두 상향링크인 경우이며 표 2와 같이

표 3. 수식 정의

Table 3. Formalization.

정의	WiMAX	Wi-Fi
역할	Interferee	Interferer
전력밀도	$\Pi_{WIMAX}(f)$	$\Pi_{WIFI}(f)$
대역폭 (MHz)	$W_{WIMAX} = 10$	$W_{WIFI} = 20$
경로손실	$L_{MS \rightarrow BSAP} = L_{BSAP \rightarrow MS}$	$L_{STA \rightarrow BSAP} = L_{BSAP \rightarrow STA}$
	$L_{MS \rightarrow STA} = L_{STA \rightarrow MS}$	
부반송파 밀도	$\nu_{WIMAX}^{UL}, \nu_{WIMAX}^{DL}$	$\nu_{WIFI}^{UL}, \nu_{WIFI}^{DL}$
중심주파수 이격	$\times$	$\Delta f_c$

그림 8. 사건  $U_{WIMAX} \cap U_{WIFI}$  간섭 모형Fig. 8. Interference model of event  $U_{WIMAX} \cap U_{WIFI}$ .

비공동 통신 모형에서만 존재한다. 이때 Wi-Fi시스템이 WiMAX시스템에 미치는 간섭의 영향은 아래와 같다.

BSAP의 WiMAX수신부에서의 수신 전력

$$S_{BSAP, WIMAX} = \nu_{WIMAX}^{UL} L_{MS \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIMAX}^{UL}(f) df \quad (6)$$

BSAP의 Wi-Fi 수신부에서의 수신 전력

$$S_{BSAP, WIFI} = \nu_{WIMAX}^{UL} L_{STA \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WIFI}/2}^{W_{WIFI}/2} \Pi_{WIFI}^{UL}(f) df \quad (7)$$

BSAP의 WiMAX 수신부에서의 간섭전력

$$I_{BSAP, WIFI} = \nu_{WIFI}^{UL} L_{STA \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIFI}^{UL}(f - \Delta f_c) df \quad (8)$$

식 (6), (7)로부터 BSAP에서의 수신 전력비 (APR: Average received Power Ratio)

$$APR_{BSAP} \square \frac{S_{BSAP, WIMAX}}{S_{BSAP, WIFI}} = \frac{\nu_{WIMAX}^{UL} L_{MS \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIMAX}^{UL}(f) df}{\nu_{WIFI}^{UL} L_{STA \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WIFI}/2}^{W_{WIFI}/2} \Pi_{WIFI}^{UL}(f) df} \quad (9)$$

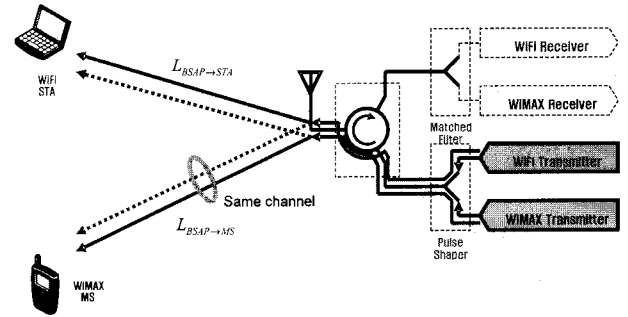
신호 대 간섭비

$$SINR_{BSAP, WIMAX} = \frac{S_{BSAP, WIMAX}}{I_{BSAP, WIFI} + N_0 W_{WIMAX} \nu_{WIMAX}^{UL}} \quad (10)$$

간섭은 수신단인 BSAP에서만 나타나며 써클레이터에 의한 간섭완화 효과는 없다. 단지 신호 대 간섭비는 중심주파수 이격을 나타내는  $\Delta f_c$ 와 거리에 따른 경로손실에 의존한다. 만약 두 시스템의 중심주파수가 충분히 이격되어 있어서 상호간섭이 없다면 신호 대 간섭비는 Wi-Fi의 Spectrum Mask 또는 BPF 때문에 매우 작을 것이다.

## 2. 사건 $D_{WIMAX} \cap D_{WIFI}$

두 시스템이 모두 하향링크인 경우이다. 비공동 통신 모형에서만 나타난다. 그림 9와 같이 간섭은 WiMAX단 말기인 MS수신부에서만 있고 신호와 간섭의 경로손실은 동일하다.

그림 9. 사건  $D_{WIMAX} \cap D_{WIFI}$ 의 간섭 모형Fig. 9. Interference model of event  $D_{WIMAX} \cap D_{WIFI}$ .

MS에서의 APR

$$APR_{MS} \square \frac{S_{MS, WIMAX}}{S_{MS, WIFI}} = \frac{\nu_{WIMAX}^{DL} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIMAX}^{DL}(f) df}{\nu_{WIFI}^{DL} \int_{-W_{WIFI}/2}^{W_{WIFI}/2} \Pi_{WIFI}^{DL}(f) df} \quad (11)$$

MS에서의 SINR

$$SINR_{MS, WIMAX} = \frac{\nu_{WIMAX}^{DL} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIMAX}^{DL}(f) df}{\nu_{WIFI}^{DL} \int_{-W_{WIMAX}/2}^{W_{WIMAX}/2} \Pi_{WIFI}^{DL}(f - \Delta f_c) df + N_0 W_{WIMAX} \nu_{WIMAX}^{DL}} \quad (12)$$

식 (12)와 같이 사건  $U_{WIMAX} \cap U_{WIFI}$ 와 마찬가지로  $L_{CC}$ 와 관련된 부분이 없지만 경로손실은 사라지고  $\Delta f_c$ 에 의해 간섭량이 커지거나 작아질 뿐이다. 이것은 공유주파수 대역에서 공존하는 두 시스템간의 충분한 중

심주파수 이격이 필요하다는 것을 의미한다.

3. 사건  $D_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$

WiMAX는 하향링크이고 Wi-Fi는 상향링크인 경우이다. 비공동 통신 모형이거나 전송방향분할 통신 모형에서 나타난다. 그림 10과 같이 WiMAX단말기인 MS 수신부에서 간섭이 있다.

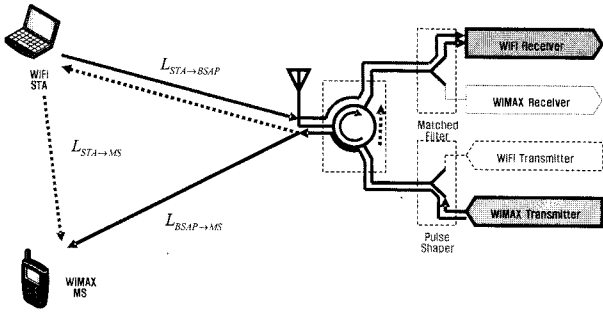


그림 10. 사건  $D_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ 의 간섭 모형  
Fig. 10. Interference model of  $D_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ .

MS에서의 APR

$$APR_{MS} = \frac{v_{WiMAX}^{DL} L_{BSAP \rightarrow MS} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiMAX}^{DL}(f) df}{v_{WiFi}^{UL} L_{STA \rightarrow MS} \int_{-W_{WiFi}/2}^{W_{WiFi}/2} \Pi_{WiFi}^{UL}(f) df} \quad (13)$$

MS에서의 SINR

$$SINR_{MS, WiMAX} = \frac{v_{WiMAX}^{DL} L_{BSAP \rightarrow MS} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiMAX}^{DL}(f) df}{v_{WiFi}^{UL} L_{STA \rightarrow MS} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiFi}^{UL}(f - \Delta f_c) df + N_0 W_{WiMAX} v_{WiMAX}^{DL}} \quad (14)$$

식 (14)과 식 (10)을 통해 사건  $U_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ 와 사건  $D_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ 의 간섭 모형 차이를 알 수 있다. 중심주파수 이격과 거리에 따른 경로손실이 모두 존재하고 있다.

4. 사건  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$

WiMAX가 상향링크이고 Wi-Fi가 하향링크인 경우이다.  $D_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ 와 마찬가지로 비공동 통신 모형이나 전송방향분할 공동 통신 모형에서 나타난다. 그림 11과 같이 간섭은 BSAP 수신단에서 보이고 있다. 다만 이때의 간섭은 써클레이터의 격리계수로 인해 억압된다.

BSAP의 WiMAX수신부에서의 APR

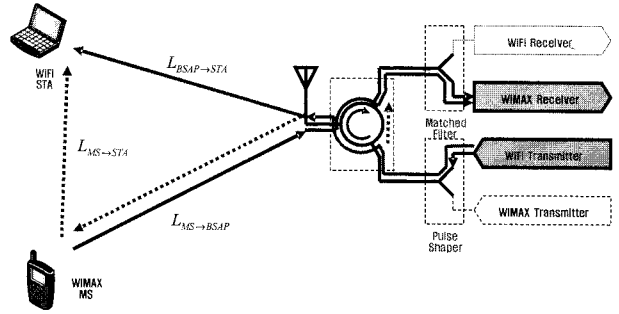


그림 11. 사건  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ 에서 간섭 모형  
Fig. 11. Interference model of event  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ .

$$APR_{BSAP} = \frac{v_{WiMAX}^{UL} L_{STA \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiMAX}^{UL}(f) df}{v_{WiFi}^{DL} L_{CC} \int_{-W_{WiFi}/2}^{W_{WiFi}/2} \Pi_{WiFi}^{DL}(f) df} \quad (15)$$

BSAP의 WiMAX수신부에서의 SINR

$$SINR_{WiMAX} = \frac{v_{WiMAX}^{UL} L_{MS \rightarrow BSAP} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiMAX}^{UL}(f) df}{v_{WiFi}^{DL} L_{CC} \int_{-W_{WiMAX}/2}^{W_{WiMAX}/2} \Pi_{WiFi}^{DL}(f - \Delta f_{WiFi}) df + N_0 W_{WiMAX} v_{WiMAX}^{UL}} \quad (16)$$

식 (16)에서 분모인 간섭신호의 수신전력에서 경로손실이 없지만 분자인 WiMAX신호의 수신 전력은 경로손실이 있다. 만약 격리계수  $L_{CC}$ 가 없다면 중심주파수가 이격되어 있다고 할지라도 두 시스템의 신호대역이 인접해 있으면 간섭신호의 전력은 경로손실을 겪은 신호전력보다 대단히 크게 보일 것이다. 이와 같은 환경은 공존장치에서 간섭이 최악의 경우(Worst case)가 된다. 이 때 써클레이터의 삽입손실은 이와 같은 간섭을 억압하여 경로손실에 의존하는 SINR을 보상함으로써 서비스 권역을 확대한다.

V. 실 험

지금까지 BSAP에서 써클레이터를 사용할 때 간섭에 의한 SINR 변화에 대해 살펴보았다. IV장의 수식들을 이용한 시뮬레이션 환경은 표 4와 같다.

실험을 위하여 WiMAX는 시간영역에서, Wi-Fi는 주파수 영역에서 각각 오버샘플링을 한다. 또한 이상적이지 않은 대역통과필터 특성을 적용하기 위해 roll-off factor가 0.25인 펄스성형필터(송신부)와 정합필터(수신부)를 사용하였다. 여기서 펄스성형필터는 오버샘플링의 역할을, 정합필터는 다운샘플링의 역할을 동시에 수

표 4. 시뮬레이션 환경

Table 4. Simulation condition.

	WiMAX	Wi-Fi
신호대역폭 (MHz)	8.75	20
샘플링 주파수 (MHz)	10	20
오버샘플링 비율	8	4
확장된 샘플링 주파수 (MHz)	80	80
FFT 크기	1024	64 → 256
부반송파 치환	1/3 Partial Usage	없음
Pulse Shaping Filter	Raised Cosine Filter (Roll-off factor = 0.25)	없음 (스펙트럼 마스크)
채널 부호화	1/2 Tail-biting 길쌈 부호기	없음
변조	QPSK, 64QAM	QPSK
부반송파 간격 (kHz)	9.765	321.5
써클레이터 격리계수	0, -20, -30 dB	0, -20, -30 dB
경로손실 모델	Simple Two-Ray pathloss model	Simple Two-Ray pathloss model
안테나 높이	BSAP : 1.5m, MS : 1.5m	BSAP : 1.5m, STA : 1.5m
AWGN	No	No

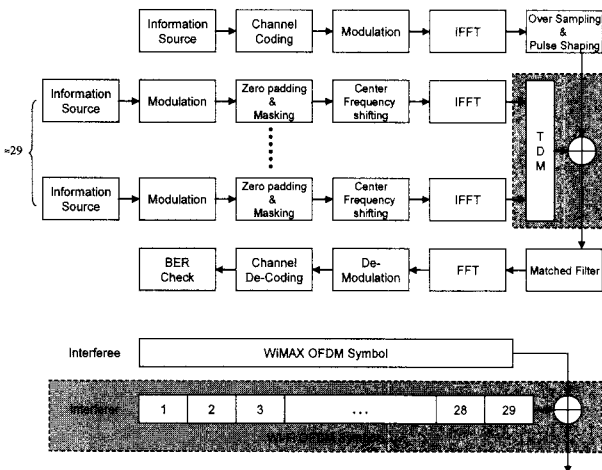


그림 12. 실험 블록 다이어그램  
Fig. 12. Simulation block diagram.

행한다.

중심주파수 이격에 대한 영향을 실험하기 위해서 Wi-Fi는 주파수 영역에서 '0'영역의 확장을 통해 동일한 오버샘플링 효과를 주었다. 또한 간섭이 가장 큰 경우를 분석하기 위하여 스펙트럼 마스크 모양의 Wi-Fi 신호를 할당하였다. 결과적으로 시간영역에서는 두 시스템의 최종적인 샘플링 주파수를 동일하게 만들었다.

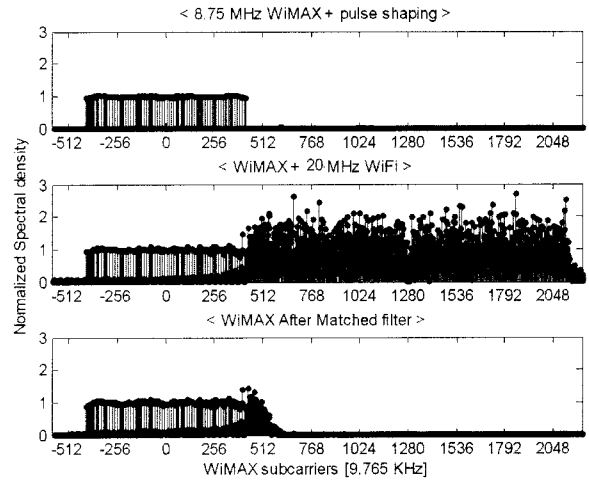


그림 13. 합성된 신호의 주파수 영역 모델  
Fig. 13. Combined signal model in frequency domain.

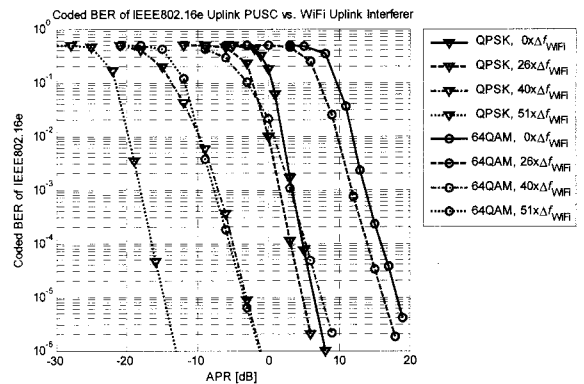


그림 14.  $U_{WiMAX} \cap U_{Wi-Fi}$ 인 경우 시뮬레이션 결과  
Fig. 14. Simulation result in case of event  $U_{WiMAX} \cap U_{Wi-Fi}$ .

한편, 실험을 단순하게 하고 간섭의 영향에 집중하기 위하여 백색잡음의 영향은 제외하였다.

그림 13에서 간섭의 역할을 하는 Wi-Fi의 신호가 평탄하지 않은 이유는 WiMAX와 Wi-Fi의 OFDM 심볼 길이가 다르기 때문이다. WiMAX의 OFDM심볼 길이는 Cyclic Prefix(CP)를 포함하여 115.2ms 이고 Wi-Fi의 OFDM 심볼 길이는 CP를 포함하여 4ms 이기 때문에 시간영역에서 두 시스템을 합성하려면 29개의 Wi-Fi OFDM 심볼이 필요하다. 그림 13에서 묘사된 것처럼 시간영역에서 여러 개의 OFDM심볼을 합성하고 나면 주파수 영역에서는 평평하지 않은 신호로 보인다.

그림 13의 마지막 그림은 정합 필터를 통과한 주파수 영역에서의 신호를 보여준다. 대역통과 필터의 역할을 하는 정합 필터 때문에 WiMAX의 신호의대역은 제거되었지만 신호대역으로 침투한 Wi-Fi 간섭 신호는 제거되지 않는다. 또한 Wi-Fi를 모델링할 때 스펙트럼 마스크 함수의 형태로 생성하였기 때문에 Wi-Fi의 신호

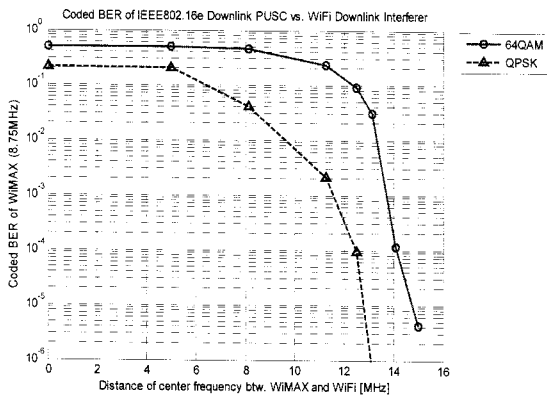


그림 15.  $D_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ 인 경우 시뮬레이션 결과  
 Fig. 15. Simulation result incase of event  $D_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ .

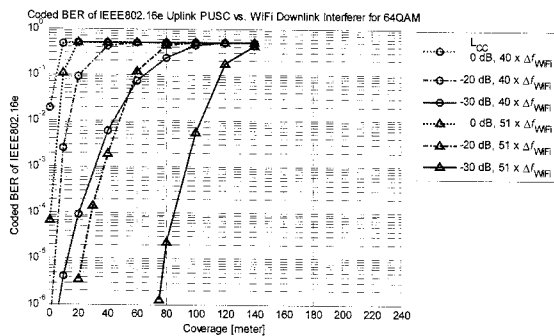
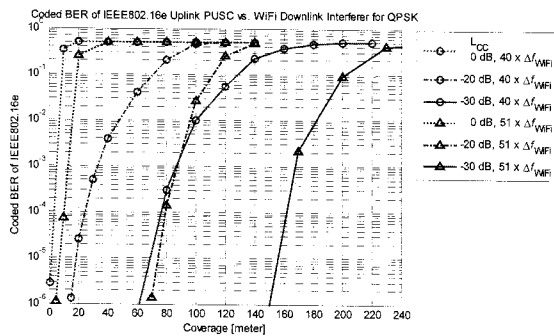


그림 16.  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ 인 경우 시뮬레이션 결과  
 Fig. 16. Simulation result in case of event  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ .

외대역도 간섭으로 작용하고 있음을 알 수 있다.

그림 14는  $U_{WiMAX} \cap U_{WiFi}$ 인 경우의 결과이다. BER은 APR과 두 시스템의 주파수 이격에 의해 결정된다. APR은 Wi-Fi 단말기와 BSAP간의 거리, WiMAX단말기와 BSAP간의 거리의 차이에 의해 달라진다. APR이 0 dB가 아니라는 것은 두 시스템의 경로 손실이 서로 다를 수 있음을 의미한다. 따라서 실험된 시스템은 APR이 낮은 영역(<0 dB)이라 할지라도 요구하는 성능인 패킷오류율 (PER) 1% 이하인 비트오류율 (BER) <  $10^{-5}$ 을 만족해야 한다. 그림 14의 파선은 중심

주파수 이격이 충분한 경우이다. 이 때  $51 \times \Delta f_{WiFi} \approx 15$  MHz 이므로  $(W_{WiMAX} + W_{WiFi})/2$ 를 만족한다.

그림 15는 중심주파수 이격이 BER에 미치는 영향을 보여준다.  $D_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ 인 경우에 중심주파수 이격만이 SINR을 줄일 수 있다는 결과가 반영되었다. 64QAM 변조에서 BER <  $10^{-5}$ 를 만족하기 위해서는 충분한 중심주파수 이격이 필요하다.

그림 16은 써큘레이터의 사용이 서비스 권역에 미치는 영향을 보여준다. 표 2의 네 가지 경우 중 가장 간섭의 영향이 큰 경우는 사건  $U_{WiMAX} \cap D_{WiFi}$ 에서 나타난다. 삼각형으로 강조된 점선은 충분한 중심주파수를 이격하였으나 써큘레이터를 사용하지 않은 경우의 서비스 권역을 나타내고 있다. 한편, 삼각형으로 강조된 실선은 중심주파수 이격이 충분하고  $LCC = -30$ dB인 써큘레이터를 사용했을 때 64QAM 변조일 때 80미터의 서비스 권역을 확보할 수 있음을 보여준다.

#### IV. 결 론

공유 주파수대역을 사용하는 WiMAX와 Wi-Fi가 결합된 공존장치에서 써큘레이터에 기반하여 상호간의 간섭을 최소화하는 구조를 제안하였다. 공존장치가 써큘레이터를 기반으로 구현될 경우 크기의 제한으로 인해 소형 기지국(Home Base Station)의 형태로 결합될 수 있고 이에 따라 BSAP를 제안하였다.

두 시스템이 모두 하향링크인 경우를 예로 들어 중심주파수 이격의 당위성을 도출하였으며, 두 시스템이 모두 상향링크인 경우를 예로 들어 거리에 따른 신호 대 간섭비의 차이를 도출하였다.

마지막으로 WiMAX가 상향링크이고 Wi-Fi가 하향링크인 상태가 간섭의 양이 가장 크다는 것을 식 (10), (12), (16)의 비교를 통해 나타내었으며 이 때 간섭을 완화할 수 있는 송수신기의 구조를 써큘레이터를 이용하여 제안하였다.

써큘레이터에 기반한 공존장치는 중심주파수 이격과 병행 운용되며 결과적으로는 써큘레이터의 격리계수에 의한 서비스 권역의 확대를 가져온다.

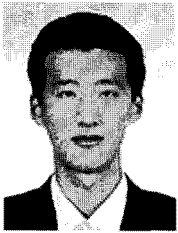
#### 참 고 문 헌

[1] J. M. Peha, "Wireless communications and coexistence for smart environments", IEEE

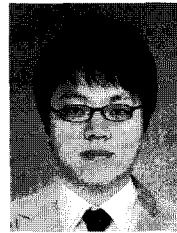


- Pers. Commun., vol. 7, pp. 66 - 68, Oct. 2000.
- [2] Carla-Fabiana Chiasserini and Ramesh R. Rao, "Coexistence Mechanisms for Interference Mitigation in the 2.4-GHz ISM Band". IEEE Trans. Commun., vol. 2, NO. 5, pp.964-975, Sept. 2003.
- [3] Xiangpeng Jing, Dipankar Raychaudhuri, "Spectrum co-existence of IEEE 802.11b and 802.16a networks using the CSCC etiquette protocol", DySPAN 2005, 8-11 Nov. 2005 Page(s): 243 - 250
- [4] Berlemann L., Hoymann C., Hiertz G.R. and Mangold S. "Coexistence and Interworking of IEEE 802.16 and IEEE 802.11(e)", Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006-Spring. IEEE 63rd Vol. 1, pp. 27 - 31, 2006.
- [5] Xiangpeng Jing, Siun-Chuon Mau, Raychaudhuri D. and Matyas R., "Reactive cognitive radio algorithms for co-existence between IEEE 802.11b and 802.16a networks", IEEE Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. Vol. 5, 28 Nov.-2 Dec. 2005 Page(s):5 pp.
- [6] Local and Metropolitan Area Networks: Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, ANSI/IEEE Standard 802.16
- [7] Local and Metropolitan Area Networks: Wireless LAN, ANSI/IEEE Standard 802.11
- [8] C. E. Fay and R. L. Comstock, "Operation of the Ferrite Junction Circulator", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 13, pp. 15-27, Jan. 1965.
- [9] Berlemann L., Hoymann C., Hiertz G. and Walke B., "Unlicensed Operation of IEEE 802.16: Coexistence with 802.11(A) in Shared Frequency Bands", IEEE Pers. Commun., 17th International Symposium, pp. 1 - 5, Sept. 2006.
- [10] David A. Wiegandt and Carl R. Nassar, "High-Throughput, High-Performance OFDM via Pseudo-Orthogonal Carrier Interferometry", IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1123-1134, July 2003.
- [11] 김동은, 김종우, 박수원, 이승형, 강철호, 한기영, 강현구, "써클레이터 기반의 주파수대역을 공유하는 Wi-Fi 시스템과 WiMAX 시스템간 간섭 완화 방법", 19회 통신 정보 합동 학술대회, VIII-A-2, 광주, 대한민국, 2009년 4월.
- [12] 김동은, 김종우, 박수원, 이승형, 강철호, 한기영, 강현구, "주파수 대역을 공유하는 WiFi시스템이 WiMAX시스템에 미치는 간섭 분석", 19회 통신 정보 합동 학술대회, VIII-A-3, 광주, 대한민국, 2009년 4월
- [13] 김종우, 김동은, 박수원, 이승형, "공유주파수대역내 Wi-Fi시스템과 WiMAX시스템의 공존: AP의 수정된 전력 절약 모드 기반 방법", 19회 통신 정보 합동 학술대회, VI-B-1, 광주, 대한민국, 2009년 4월
- [14] 김종우, 김동은, 박수원, 이승형, "주파수대역을 공유하는 Wi-Fi시스템과 WiMAX시스템간 간섭 분석: WiMAX시스템으로부터 Wi-Fi시스템으로의 간섭", 19회 통신 정보 합동 학술대회, VIII-A-4, 광주, 대한민국, 2009년 4월
- [15] D. Kim, J. Kim, S. Park, S. H. Rhee, C. Kang, K. Han, H. Kang, "Circulator-Based Collocated System for Coexistence of Wi-Fi and WiMAX Systems in Shared Bands", Proceeding of The First International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 5A-3, pp. 214-219, Hong Kong, China, June 2009.
- [16] J. Kim, D. Kim, S. Park, S. H. Rhee, K. Han, H. Kang, "Use of Vestigial Power Management Bit within Wi-Fi Frame Structure of Access Point for Coexistence of Wi-Fi and WiMAX Systems in Shared Bands", Proceeding of The First International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 5A-4, pp. 220-224, Hong Kong, China, June 2009.

저 자 소 개



김 동 은(평생회원)  
 2004년 광운대학교 전과공학과  
 공학사  
 2007년~현재 광운대학교  
 전자통신공학과 석사과정  
 <주관심분야 : 무선네트워크PHY,  
 OFDM>



김 종 우(평생회원)  
 2007년 경원대학교 전자공학과  
 공학사  
 2009년 광운대학교  
 전자통신공학과 공학석사  
 2009년~현재 광운대학교  
 전자통신공학과 박사과정  
 <주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>



박 수 원(평생회원)  
 1994년 2월 KAIST 전기및  
 전자공학과 공학사  
 수학과 (복수전공)  
 1996년 2월 KAIST 전기및  
 전자공학과 공학석사  
 2003년 2월 KAIST 전자전산  
 학과 공학박사

1994년 3월~1998년 9월 삼성전자 전임연구원  
 1998년 9월~1999년 2월 한국과학기술원  
 전일제 위촉연구원  
 1999년 3월~2002년 5월 한국전자통신연구원  
 시간제 위촉연구원  
 2002년 6월~2006년 2월 삼성전자 통신연구소  
 책임연구원  
 2006년 3월~2007년 2월 광운대학교  
 전자통신공학과 전임강사  
 2007년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과  
 조교수  
 <관심분야> CDMA/OFDM/OCHM/ORHM 무선  
 접속기술, 전력제어, SDR/CR 기술, 간섭/공존문  
 제, PAPR완화기술, 부호이론



이 승 형(평생회원)  
 1988년 연세대학교 전자공학과  
 공학사  
 1990년 연세대학교 전자공학과  
 공학석사  
 1999년 University of Texas  
 at Austin, ECE, Ph. D.  
 2000년~현재 광운대학교 전과공학과 부교수  
 2009년~현재 정보과학회 논문지(IN) 편집위원장  
 2009년~현재 한국통신학회 통신네트워크연구회  
 위원장  
 <주관심분야 : 무선네트워크MAC, WPAN/BAN>



강 철 호(평생회원)  
 1975년 한양대학교 전자공학과  
 공학사  
 1979년 서울대학교 전자공학과  
 공학석사  
 1977년~1981년 국방과학연구소  
 1988년 서울대학교 전자공학과  
 공학박사  
 1994년~현재 광운대학교 전자공학부 정교수  
 <주관심분야 : 음성신호처리, 통신신호처리>



한 기 영(정회원)  
 1997년 서울대학교 전기공학부  
 공학사  
 2000년 서울대학교 전기공학부  
 공학석사  
 2004년 서울대학교 전기공학부  
 공학박사

2004년~현재 삼성전자 DMC연구소  
 시스템연구팀  
 <주관심분야 : 무선통신, 신호처리>



강 현 구(정회원)  
 1996년 KAIST 수학과 이학사  
 1998년 KAIST 산업공학과  
 공학석사  
 2003년 KAIST 산업공학과  
 공학박사  
 2003년~현재 삼성전자  
 DMC연구소 시스템연구팀  
 <주관심분야 : 무선데이터통신 MAC, SON>