

디지털 라디오 수신기에 미치는 전파 간섭 분석

준회원 홍무현*, 김주석*, 정회원 이용태***, 백명선***, 김경석**

Analysis of interference on Digital Radio Receiver

Moo-Hyun Hong*, Ju-Seok Kim* Associate Members,
Yong-Tae Lee***, Myung-Sun Baek***, Kyung-Seok Kim** Regular Members

요약

최근 아날로그 라디오 방송에서 고품질 오디오 및 영상을 포함한 부가데이터 서비스가 가능한 디지털 멀티미디어 방송 방식으로의 전환이 급격히 이루어지는 추세에 있다. 디지털라디오란 기존의 FM/AM 라디오를 디지털 신호로 전송하는 것으로 보다 깨끗한 음질과 교통, 날씨정보 등 다양한 부가 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 이 밖에도 라디오가 디지털로 전환되면 갈수록 늘어나는 FM 주파수에 대한 수요도 충족시킬 수 있을 것으로 기대하고 있다. 본 논문에서는 동일 주파수 대역에서 Digital FM Radio 시스템의 수신 전계 강도를 이용하여 디지털 라디오 방송의 간섭영향을 분석하였고, 간섭신호의 송신 출력과 희망신호의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio 수신기의 전파 간섭 영향을 분석하였다. Digital FM Radio 수신기의 최소전계강도식과 $(S/(N_o + I))$ 의 식을 유도하여 Digital FM Radio의 환경을 모의실험에 적용하여 결과를 확인하였다.

Key Words : Digital Radio, Digital FM Radio, DAB

ABSTRACT

Recently, analog broadcasting are being converted into digital radio broadcasts. Among the various ways that HD Radio is a candidate for the U.S. approach. Digital Radio will transmit a digital signal to existing analog FM/AM. It provides clear sound quality, traffic information, weather information and various value-added services. In addition, the converted digital radio will be able to meet demand to growing demand for analog FM. In this paper, Digital FM Radio system in the same frequency band using electric field strength of the received digital radio broadcasting interference effects were analyzed. And Digital FM Radio Receiver interference effects were analyzed by interference signal power and signal power. Results were confirmed by applying equation at minimum field strength and SNR.

I. 서론

디지털 신호처리 기술의 발달로 통신 및 방송 분야에서 전 세계적으로 디지털화가 급속히 진행되고 있는 가운데 방송 서비스의 다양화, 방송과 통신의 융합화 등 방송 환경은 급격한 변화를 맞이하고 있다.

특히 디지털 방송은 기존의 아날로그 방식에 비하여 주파수 이용 효율이 높아 다양한 방송 서비스와 부가 서비스를 함께 제공할 수 있을 뿐만 아니라 아날로그 방식에 비하여 우수한 품질의 신호를 전송할 수 있는 등 많은 이점을 제공할 수 있다. 따라서 현재 포화상태에 이른 FM 주파수의 효율적 사용과 청취자들에게 CD수준의 음질 서비스 및 다

* 본 연구는 방송통신위원회의 방송발전기금 지원에 의하여 수행되었습니다.

** 충북대학교 전자정보대학 차세대 전파 시스템 연구실(kevinhong83@naver.co.kr, cjskim@nate.com)

*** 충북대학교 전자정보대학 (kseokkim@cbnu.ac.kr), 한국전자통신연구원(ytlee@etri.re.kr, sabman@etri.re.kr)

논문번호: KICS2010-10-486, 접수일자: 2010년 10월 12일, 최종논문접수일자: 2010년 11월 3일

양한 부가서비스를 제공하는 디지털 라디오를 위한 다양한 노력과 시도가 이루어지고 있으며 일부 국가들은 이미 디지털라디오 방송 서비스를 제공하고 있는 상황이다^{[1][3]}.

대표적인 디지털 라디오 전송방식은 유럽방식인 DAB(Digital Audio Broadcasting)와 미국 방식인 Ibiquty 사가 개발한 Digital FM Radio(IBOC방식), 미국-유럽기업의 연합 컨소시엄이 개발한 DRM (Digital Radio Mondiale), 일본의 ISDB(Intergrated Services Digital Broadcasting)-T 등으로 나눈다.

현재 각 나라별로 전송방식을 정하여 서비스 되고 있지만 우리나라에서는 아직 서비스되지 않고 있다. 이에 따라 우리나라에서도 방송통신위원회가 작년과 올해에 걸쳐 디지털라디오 전송방식을 결정하기 위한 비교 실험을 실시함에 따라 방송 및 가전 업계의 관심이 높아지고 있다. 어떤 전송방식을 선택하느냐에 따라 주파수의 분배가 결정되고 가전사들의 이해관계도 엇갈릴 것으로 예상된다^[4].

본 논문은 기존의 아날로그 FM에 Digital FM Radio 시스템의 적용에 앞서 동일 주파수 대역에서 Digital FM Radio 시스템의 최소 수신 전계 강도를 이용하여 디지털 라디오 방송의 간섭영향을 분석하고, 간섭신호의 송신 출력과 희망신호의 송신 출력에 따른 전파 간섭 영향을 분석하고자 한다.

II. Digital FM Radio의 수신 전계 강도 분석

아날로그 FM의 디지털화인 Digital FM Radio 시스템은 향후 통신 기술의 발달을 위해 필요한 기술이다. 따라서 Digital FM Radio의 수신 시스템의 전계 강도 유도에 대해 살펴보고자 한다. 전계 강도는 전파의 세기를 단위 면적당의 에너지로 표시한 것으로, 최소 수신 전계 강도는 수신 가능한 최소한의 값을 나타낸 것이다. 즉, Digital FM Radio 송신소에서 송출된 신호는 Digital FM Radio 수신기가 있는 위치까지의 거리 및 전파환경에 따라 수신신호의 변화가 있다.

먼저 수신 한계 레벨을 정의해 보고자 한다. Digital FM Radio 수신기의 열잡음 전역에 대한 수신감도 레벨은 다음의 식(1)으로 나타낼 수 있다.

$$S = N_0 \times BW \times NF \times S/N \quad (1)$$

식(1)에서 N_0 는 열잡음, BW 는 신호의 대역폭, NF 는 Noise Figure, S/N 은 BER(Bit Error Rate)

값을 적용한다. Digital FM Radio에서의 디지털 신호는 OFDM 방식의 신호가 이용되므로, OFDM의 BER을 이용하여 S/N 을 $BER=10^{-3}$ 로 적용하였다^{[5][6]}. 또한, 열잡음은 다음과 같이 표현된다^[7].

$$N_0 = T_{total} + 10\log_{10}(k) \quad (2)$$

식(2)는 열잡음을 나타낸 것으로 전체 시스템을 포함하는 잡음온도(T_{total})와 Boltzmann상수(k)를 이용하여 구할 수 있다.

위의 식(1)과 식(2)를 이용하여 Digital FM Radio 수신기의 수신한계 레벨의 전계강도(최소 수신 전계 강도) $E_s(dB\mu V/m)$ 는 안테나 이득 및 수신기의 경로손실을 고려하여 식(3)과 같이 구할 수 있다^[8].

$$E_s(dB\mu V/m) = S(dBm) + 20\log_{10}f_{MHz} + 77.2 - G_r + L_r \quad (3)$$

여기에서 G_r 은 수신기 안테나 이득(dBi), f_{MHz} 는 송신기의 중심 주파수(MHz), L_r 수신기의 경로 손실(dBm)이다.

III. 두 중계기 간에 Digital FM Radio의 간섭 분석

기존의 아날로그 FM과 Digital FM Radio의 복수 무선 시스템이 하나의 소형 단말에 융합되는 과정에서 송출 거리에 따라 간섭이 발생하는 문제가 뒤따른다. 따라서 동일 주파수 대역에서 간섭 신호에 의한 간섭 현상을 $(S/(N_o + I))_{dB}$ 을 이용하여 분석하고자 한다.

먼저 $(S/N_o)_{dB}$ 을 구해보면, 다음의 식(3)과 같이 나타낼 수 있다^[9].

$$SNR = P_t + G_t - L + G_r - N_0 - NF \quad (4)$$

식(4)에서 P_t 는 송신소 송신기의 전력(dBm), G_t 는 송신기 안테나 이득(dBi), L 은 송신기 안테나 이득(dBm), G_r 은 수신기 안테나 이득(dBi), NF 는 Noise Figure(dBm), N_0 는 열잡음(dBm)이다.

송신소와 Digital FM Radio 단말기의 거리를 D 로 가정하면, 송신소로부터 방사된 신호가 단말기까지 진행하는 동안의 경로손실 L 은 자유공간 손실 조건을 따른다고 가정하면, 식(5)로 표현된다.

$$L = 20\log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) \quad (5)$$

즉, Digital FM Radio 단말기의 수신 전력은 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_r = P_t + G_t - L \quad (6)$$

이 경우 안테나를 포함한 수신부 전체의 시스템 잡음지수 T_{total} 는 다음과 같이 표현된다^[7].

$$T_{total} = T_a + T_i + (10^{NF/10} - 1) \times T_r \quad (7)$$

식(7)에서 T_a 는 수신기 안테나의 잡음온도로 차량용 Digital FM Radio 단말기의 경우 150K이하를 요구한다. 기저대역 신호처리부 전단까지의 수신부 잡음지수(Noise Figure)는 차량용의 경우 3dB이하를 권고하고 있다^[10].

식(2)와 식(4)~식(7)를 통해 $(S/N_o)_{dB}$ 를 도출하였고, $(S/(N_o + I))_{dB}$ 를 도출할 때 개념적으로 이해를 돕기 위해 Digital FM Radio 환경의 전파 간섭 모델을 이용하였다. 그림 1은 송신소1과 송신소2 사이에 Digital FM Radio 수신기가 있다고 가정할 때, 송신소1과 Digital FM Radio수신기와의 거리 D_{signal} 과 송신소2와 Digital FM Radio 수신기와의 거리 $D_{interference}$ 에 따른 간섭영향 모델을 나타낸 그림이다.

그림 1에서 간섭신호 전력의 Path Loss가 자유공간 조건을 따른다고 가정하면 Path Loss는 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_i(dB) = 20\log(4\pi/\lambda) + 20\log(D_{interference}) \quad (8)$$

또, 간섭 신호의 전력밀도는 식(9)와 같이 표현된다^[7].

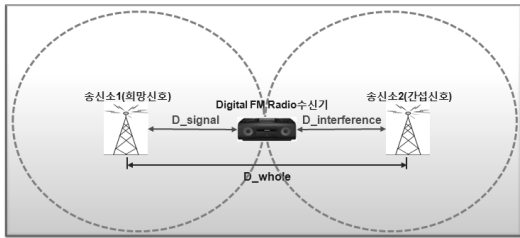


그림 1. Digital FM Radio 환경에서의 전파 간섭 모델

$$S_i = E_i - L_i + G_i \quad (9)$$

여기에서 S_i 에 해당하는 등가 잡음 온도 값은 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_i = \frac{S_i}{k} \quad (10)$$

따라서 간섭신호를 포함하는 전체 시스템 잡음온도는 식(7)을 이용하여 도출할 수 있다.

이때, $(S/(N_o + I))_{dB}$ 값은 식(4)~식(10)을 이용하여 식(11)처럼 나타낸다^{[7],[8],[10]}.

$$(S/(N_o + I))_{dB} = (P_r)_{dB} + (G_r)_{dB} - (T_{total})_{dB} - (k)_{dB} \quad (11)$$

IV. 모의실험 및 분석

4.1 송신 출력에 따른 전파 간섭 영향

아날로그 FM의 디지털화인 Digital FM Radio 시스템은 향후 통신 기술의 발달을 위해 필요한 기술이다. 따라서 동일 주파수 대역에서 간섭신호의 송신 출력과 희망신호의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio 수신기의 전파 간섭 영향을 알아보고자 한다.

먼저, 그림 1에서 송신소1과 Digital FM Radio 수신기의 거리 D_{signal} 을 고정했을 때, 송신소1의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio수신기의 간섭 영향을 확인하였다.

간섭분석은 식(4)~식(11)을 이용하여 표 1의 파라미터 환경을 적용하여 희망신호의 송신 출력을 고정하고, 간섭 신호의 송신 출력에 따른 간섭 분석을 확인하는 형태로 모의실험을 진행하였다. 본 논문에서는 간섭 분석을 위해 표 1의 전파환경을 적용하였다.

그림 2는 그림 1의 간섭 모델에서 송신소1(희망신호)의 송신 출력을 100W로 고정하고 송신소2(간섭신호)의 송신 출력을 10W, 25W, 100W로 가변하여 Digital FM Radio 시스템의 $(S/(N_o + I))_{dB}$ 을 나타낸 결과이다.

분석 결과 송신소1과 Digital FM Radio 수신기와의 거리 D_{signal} 을 50km로 고정된 상태에서 송신소2의 송신 출력이 100W일 때, $(S/(N_o + I))_{dB}$ 이 0dB로 균형을 이루는 것을 볼 수 있다. 또한, 송신

표 1. 간섭 분석을 위한 파라미터

Parameter	Value
기지국 환경	Pass Loss(Free-Space)
수신안테나의 잡음온도	150K
수신부 잡음지수	290K(상온)
NF	0.0dB
주파수	103.5MHz
희망신호의 송신 출력	100W(50dBm)/1kW
안테나 이득	0.0dBi
단말기 수신 전력	-28.72dBm
BW	140kHz
S/N	10dB(BER= 1×10^{-3})

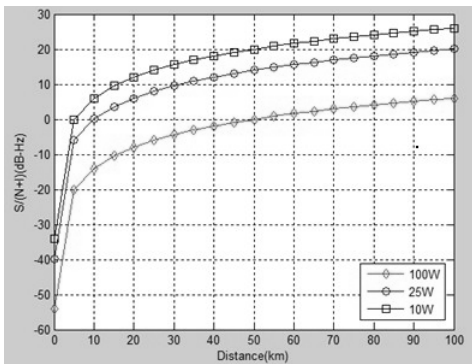


그림 2. 간섭 신호의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio 수신기의 $(S/(N_o + I))$ (송신소1의 송신출력=100W, 송신소2의 송신출력=가변)

소2의 송신출력이 25W, 10W로 변함에 따라 $(S/(N_o + I))_{dB}$ 이 증가하는 것을 볼 수 있다.

그림 3은 그림 2의 간섭 모델에서 송신소2(간섭 신호)의 송신 출력을 25W로 고정하고 송신소1(희망

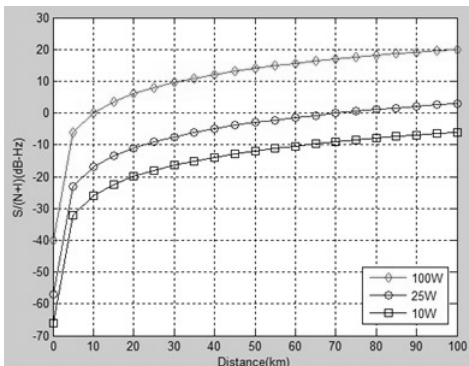


그림 3. 희망 신호의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio 수신기의 $(S/(N_o + I))$ (송신소1의 송신출력=가변, 송신소2의 송신출력=25W)

신호)의 송신 출력을 10W, 25W, 100W로 가변 하여 Digital FM Radio 시스템의 $(S/(N_o + I))_{dB}$ 을 나타낸 결과이다.

분석 결과 송신소1의 송신출력이 10W, 25W, 100W로 변함에 따라 $(S/(N_o + I))_{dB}$ 이 증가하는 것을 볼 수 있다.

4.2 실제 환경에서의 Digital FM Radio의 전파 간섭 영향

Digital FM Radio 시스템은 국내에서 아직 실현된 바 없는 것으로, 시뮬레이션 방법으로 특정 지역의 Digital FM Radio 송신소에서의 수신 전계강도를 계산해 서비스의 간섭 분석을 하고자 한다.

본 시뮬레이션은 ETRI에서 개발한 전파분석 시뮬레이터를 이용했으며 다음과 같은 시스템 환경을 적용하여 그 결과를 확인하였다. 그림 4는 간섭 분석을 하기 위한 기지국 자료 입력이다.

그림 4의 기지국 자료 입력은 위의 표 1의 환경에 따라 각각을 입력하였다. 최소 수신 전계 강도는 표 1의 간섭 환경에서 식(3)을 이용하여 최소 수신 전계강도를 $4.96dB\mu V/m$ 을 적용하였다. 위의 기지국 자료 입력을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 그림 6과 그림 7의 결과를 얻었고, 동일 주파수 대역에서 전파 간섭 영향을 확인할 수 있다.

그림 5는 103.5MHz의 동일 주파수를 사용하는 4개의 송신소를 이용하여 간섭영향을 분석하였다. 사용된 4개의 송신소 중 강원도 패방산 송신소를 희망송신소로 가정하였고, 안양 송신소, 경주 송신소, 광양 송신소는 간섭신호로 가정하였다.

그림 4. 기지국 자료 입력

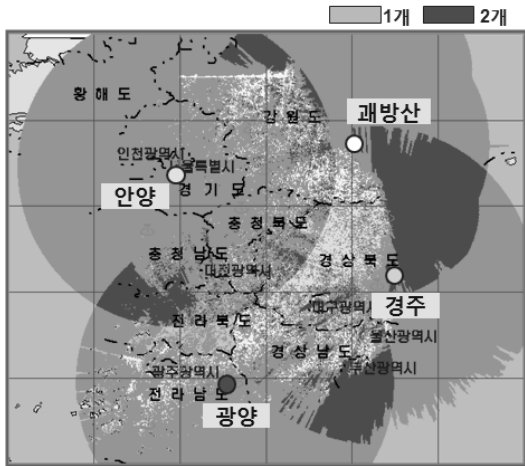
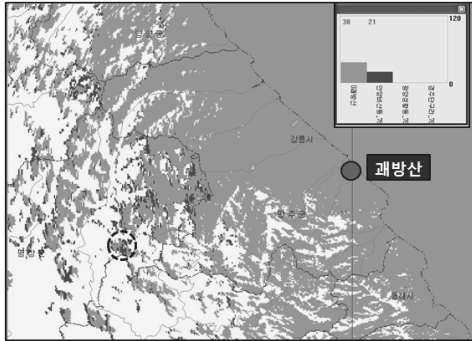


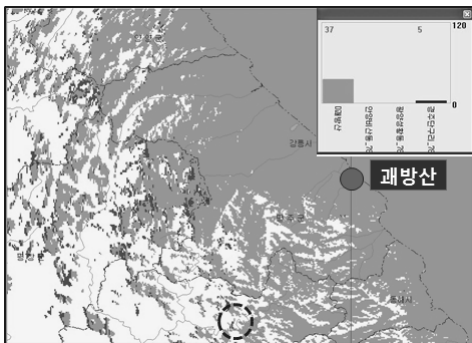
그림 5. Digital FM Radio의 전파 중복 영역

위 그림 5를 통해서 알 수 있듯이 강원도 패방산 송신소를 이용해서 1kW의 출력으로 Digital FM Radio 서비스를 했을 때 최소 수신 전계 강도에 따른 결과이다.

그림 6은 그림 5의 결과를 바탕으로 실제 간섭이 일어나는 영역을 분석하였다.



(a) 패방산 송신소-안양 송신소 간섭



(b) 패방산 송신소-경주 송신소 간섭

그림 6. Digital FM Radio의 전파 간섭 영역

위 그림 6에서 회색부분은 패방산 송신소(희망신호)에서 방출되는 전계 강도 영역을 나타낸 것이고, 진한회색 부분은 간섭이 일어나는 지역을 나타낸 것이다. 그림 6의 (a)는 패방산 송신소(희망신호)와 안양 송신소(간섭신호)의 간섭 지역을 나타낸 것으로 왼쪽 위의 전계강도를 보면 패방산의 전계강도는 $38dB\mu V/m$ 이고 안양 송신소의 전계강도는 $21dB\mu V/m$ 이다. 즉, 최소수신 전계강도 $4.96dB\mu V/m$ 보다 크기 때문에 신호로 판단하여 간섭이 일어나는 것을 확인하였다. 또, 그림 6의 (b)는 패방산 송신소(희망신호)와 경주 송신소(간섭신호)의 간섭 지역을 나타낸 것으로 왼쪽 위의 전계강도를 보면 패방산의 전계강도는 $37dB\mu V/m$ 이고 안양 송신소의 전계강도는 $5dB\mu V/m$ 이다. 즉, 최소수신 전계강도 $4.96dB\mu V/m$ 보다 크기 때문에 간섭이 일어나는 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 동일 주파수 대역에서 Digital FM Radio 시스템의 수신 전계 강도를 이용하여 디지털 라디오 방송의 간섭영향을 분석하였다. 또한, 동일 주파수 대역에서 간섭신호의 송신 출력과 희망신호의 송신 출력에 따른 Digital FM Radio 수신기의 전파 간섭 영향을 분석하였다.

수신 전계 강도에 따른 간섭영향 분석은 최소 수신 전계 강도를 이론값인 $4.96dB\mu V/m$ 를 적용하여 실제 패방산 송신소를 희망국으로 간주하여 동일 주파수 대역에서의 간섭영향을 분석하였다. 그 결과 패방산 송신소를 이용해 1kW의 출력으로 Digital FM Radio 서비스를 했다고 가정하면 최소 수신 전계 강도로 설정한 $4.96dB\mu V/m$ 까지의 분포 지역을 확인 하였다. 이때 간섭이 일어나는 지역은 인접한 동일 주파수 대역을 사용하는 부분으로 최소 수신 전계강도 $4.96dB\mu V/m$ 보다 크게 나타나는 부분에 간섭이 일어나는 것을 확인하였다. 또한, 희망신호의 송신 출력과 간섭신호의 송신 출력을 가변한 결과 간섭신호의 송신 출력이 약할수록, 희망 신호의 간섭 신호가 강할수록, $(S/(N_o + I))_{dB}$ 이 증가하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이용태 외8명, “디지털라디오 비교실험방송”, 한국전자통신연구원, 2009. 12.

[2] Carl-Erik W. "Digital Audio Broadcasting in the FM Band", Industrial Electronics, Proceedings of the IEEE International Symposium on Vol.1, 1997.

[3] 강민구, 백종호, "디지털 라디오방송과 DMB 재난방송 연구", 통신위성 우주산업 연구회 논문지 제3권 제1호, 2008.

[4] 박종혁, "디지털 라디오 방송과기술 표준화 방식에 대한 연구", 성균관대학교(석사). 2010.02.

[5] Juha Heiskala, John Terry, "OFDM Wireless LANs:A Theoretical and Practical Guide", SAMS, 2002.

[6] Keller, T., Hanzo, L., "Adaptive multicarrier modulation:a convenient framework for time-frequency processing in wireless communications", Proceedings of the IEEE, Vol.88, pp.611-640.

[7] 박성균, 박태홍, 양훈기 "S-DMB 수신기에서 UWB 시스템 간섭 분석", 한국전자과학회논문지 제 16권 3호, 2005. 3.

[8] N.H.Jeong, J.H. Lee, K.W.Suh., "Analysis of frequency sharing between mobile systems and radiolocation radars in VHF band", The 12th International Conference on Advanced Communication Technoogy, Phoenix Park, Korea, pp.1179-1183. Feb., 7-10, 2010.

[9] Michel Daoud Yacoub,"FOUNDATIONS of MOBILE RADIO ENGINEERING", CRC Press, 1993.

[10] Agilent Technologies, "Noise Figure Measurement Accuracy-The Y-Factor Method", Application Note57-2, pp.5-7.

[11] Young-Keun Yoon, Heon-Jin Hong, Ik-Guen Choi, "Ultra-wideband Coexistence with WiBro", ETRI Journal, Vol.29, No.2, Apr., 2007, pp.237-239.

[12] iBiquity Digital Corporation, "IBOC FM Transmission Specification", August, 2001.

[13] 이상운, "디지털 라디오 방송기술 및 표준화 동향", (정보통신표준화소식) TTA Journal 통권 제 109호, 2007, pp.71-76.

[14] Young-Keun Yoon, "Effective Method of Interference Mitigation for UWB Cooperation with WiMAX", Advanced Communication Technology(ICACTION), 2010 The 12th International Conference on Vol.1, 2010, pp.329-332.

[15] 구재일, 진용욱, "성층권 고공항등체 DMB 트랜스폰더의 지표면 수신전계 강도 분석", 한국통신학회논문지 '06-1 Vol.31, No.1A, 2006.

홍 무 현 (Moo-Hyun Hong)

준회원



2009년 2월 충북대학교 정보통신공학과 학사
2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
<관심분야> Multi-rate DSP, SDR, Spectrum Sensing, 디지털 라디오

김 주 석 (Joo-Seok Kim)

준회원



2007년 2월 충북대학교 정보통신공학과 학사
2009년 2월 충북대학교 전파공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재 충북대학교 전파통신공학과(박사 과정)
<관심분야> Cross Layer, Scheduling, CR, WLAN, 디지털 라디오

이 용 태 (Yong-Tae Lee)

정회원



1993년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 학사
1995년 8월 한국항공대학교 항공전자공학과 석사
2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사
1995년 8월~현재 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 책임연구원
<관심분야> DTV, DMB, 디지털라디오 시스템

백 명 선 (Myung-Sun Baek)

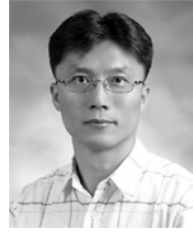
정회원



2003년 2월 세종대학교 학사
2005년 2월 세종대학교 석사
2009년 2월 세종대학교 박사
2009년 4월~현재 한국전자통신
연구원 방송시스템 연구부
<관심분야> 디지털 방송기술, 디
지털 라디오 방송 기술, MIMO
-OFDM, 협동통신 기술

김 경 석 (Kyung-Seok Kim)

정회원



1989년 1월~1998년 12월 한국
전자통신연구원 무선통신연구
단 선임연구원
1999년 1월~2002년 3월 Univer-
sity of Surrey(영국) 전기전자
공학과(공학박사)
2002년 2월~2004년 8월 한국
전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
2004년 9월~2005년 2월 전북대학교 생체정보공학부
전임강사
2005년 3월~현재 충북대학교 정보통신공학과 부교수
<관심분야> 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM,
DSA, UWB