일반논문-10-15-1-04

분산 중계기 Part 3: 필드 테스트 결과

박 성 익^{a)†}, 서 재 현^{a)}, 음 호 민^{a)}, 이 용 훈^{a)}, 김 흥 목^{a)}

Distributed Translator Part 3: Field Test Results

Sung Ik Park^{a)†}, Jae Hyun Seo^{a)}, Homin Eum^{a)}, Yong Hoon Lee^{a)}, and Heung Mook Kim^{a)}

요 약

본 논문에서는 ATSC (Advanced Television Systems Committee) 지상파 디지털 TV 방송 방식에서의 분산 주파수 망(distributed frequency network)을 위해 개발된 분산중계기(Distributed Translator: DTxR)에 대한 필드 테스트 결과를 기술하고, 그 결과를 분석한다. 캐나다 오타와에서 수행된 필드 테스트에서는 두 대의 DTxR 신호가 동시에 수신되는 중첩 지역을 중심으로 안테나 및 수신기 종류에 따른 각 측정 지점의 수신 전계 강도, 잡음 마진, 수신 여부, 수신가능 방위각을 측정하였다. 필드 테스트 결과에 의하면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때 수신 전계 강도 및 잡음 마진은 각각의 DTxR이 켜졌을 때 보다 증가하였지만, 수신율 및 수신가능 방위각은 수신기의 종류에 따라 증가하거나 비슷하였다.

Abstract

This paper presents and analyzes field test results of distributed translator (DTxR) for distributed frequency network (DFN) in the ATSC (Advanced Television Systems Committee) terrestrial digital TV broadcasting system. In the field test, according to types of antennas and receivers in areas where are overlapped by two DTxRs' coverage, we measured reception power, noise margin reception possibility, and ease of reception at each test point. By the field test results, when two DTxRs are on, reception power and noise margin are increased than when one DTxR is on. However, reception rate and ease of reception are similar or increased according to types of receivers.

Keywords : ATSC, DFN, DTxR, 필드 테스트

1. 서 론

본 논문은 분산중계기(Distributed Translator: DTxR) 기술 및 실험실 테스트의 연속으로서^{[1][2]}, 캐나다 오타와 지역

에서 수행된 DTxR에 대한 필드 테스트 절차 및 결과를 기술하고, 그 결과를 다양한 각도에서 분석한다. 본 필드 테스트에 앞서 2007년 서울 지역(3대의 DTxR이 설치) 및 2008년 여수/순천 지역(5대의 DTxR이 설치)에서 DTxR 필드 테스트가 수행되었다^{[3][4]}. 서울 지역 테스트에서는 인위적으로 선정된 소규모 단거리 지역에서의 DTxR 수신품질을 조사하였고, 여수/순천 지역 테스트에서는 실제 운영되고 있는 아날로그 및 DTV 중계소를 중심으로 분산 주파수 망을 구축하고 그 성능을 측정하였다. 서울 및 여수/순천 일원에서의 테스트에서는 2대 이상의 DTxR 신호가 겹치는 지

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부

Broadcasting System Research Department, ETRI

† 교신저자 : 박성익 (psi76@etri.re.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가위원회의 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-016, 지상파 DTV 분산중계 기술개발] 및 [2009-S-015, 지상파 DTV 전송효율고도화 기술개발]

· 접수일(2009년9월14일), 수정일(2009년12월28일), 게재확정일(2010년1월18일)

역이 상대적으로 적었을 뿐만 아니라 9m 높이의 지향성 (directional) 안테나를 사용하였기 때문에, 열악한 다중경로 신호를 가지는 신호 중첩 지역에서 분산 주파수 망이 수신기에 미치는 영향을 충분히 분석하지 못했다.

본 논문에서는 두 대의 DTxR 신호가 동시에 수신되는 중첩 지역을 중심으로 1.5 m 높이의 지향성 및 무지향성 (Omni-directional) 안테나를 사용하여 신호 품질을 측정하였다. 필드 테스트를 위한 측정 항목으로는 안테나 및 수신기 종류에 따른 각 측정 지점의 수신 전계 강도, 잡음 마진, 수신 여부, 수신 가능 방향각 등이다. 뿐만 아니라 본 논문에서는 필드 테스트 지역의 환경, 주송신기 및 DTxR의 상세 사항, 측정 차량 구성, 테스트를 위해 사용된 상용 수신기의 성능에 관해서도 살펴본다.

II. DTxR 필드 테스트를 위한 구성

1. 측정 지역 환경

실제 제작된 DTxR의 성능을 평가하기 위한 필드 테스트는 단층 건물 및 고층 빌딩이 많고, 오타와 강 쪽으로 하향 경사진 캐나다 오타와 시내 지역에서 수행되었다. 오타와 시내의 일부 지역은 지형적 차단 및 고층 건물에 의해 CRC (Communication Research Centre)에 설치된 주송신기로부터

터의 신호 수신에 약하거나 불가능하다. 이러한 지역의 방송구역 확대를 위해 두 대의 DTxR을 설치하여 필드 테스트를 수행하였다. 오타와 시내 북쪽 지역에서 두 대의 DTxR 신호가 동시에 수신되는 중첩 지역을 중심으로 16개의 측정 지점이 선정되었으며, 측정 지점 및 DTxR의 위치는 그림 1과 같고, 각 측정 지점에 대한 좌표, 거리, 환경에

표 1. 16개의 측정 지점에 대한 좌표, 거리, 환경

Table 1. Coordinate, distance, and environment of 16 test sites

Site #	GPS 좌표		DTxR로부터의 거리 (km)		Site 환경
	N	W	DTxR1	DTxR2	
1	45°26'02"	75°41'02"	3.04	2.34	Suburban
2	45°25'58"	75°41'25"	3.56	1.82	Urban
3	45°25'54"	75°41'36"	3.82	1.56	Urban
4	45°25'52"	75°41'48"	4.08	1.29	Urban
5	45°25'44"	75°41'35"	3.93	1.54	Urban
6	45°25'39"	75°40'57"	3.30	2.36	Suburban
7	45°25'41"	75°41'01"	3.34	2.28	Suburban
8	45°25'16"	75°41'59"	4.81	1.30	Downtown
9	45°25'22"	75°40'46"	3.46	2.67	Suburban
10	45°25'27"	75°40'46"	3.35	2.64	Suburban
11	45°25'11"	75°41'38"	4.53	1.76	Downtown
12	45°25'11"	75°41'22"	4.26	2.06	Urban
13	45°25'36"	75°41'35"	4.04	1.55	Urban
14	45°25'48"	75°41'21"	3.60	1.85	Urban
15	45°25'54"	75°41'05"	3.21	2.22	Suburban
16	45°24'56"	5°41'54"	5.09	1.81	Urban

그림 1. 16개의 측정 지점 및 두 DTxR의 위치

Fig. 1. 16 test sites and location of two DTxRs

대한 정보는 표 1과 같다. 모든 측정은 도로 옆 인도에서 1.5m 높이의 지향성 및 무지향성 안테나를 사용하였기 때문에 자동차 및 주변 건물로 인한 강한 정적/동적 다중경로가 존재한다.

2. 주송신기 및 DTxR 구성

주송신기는 오타와 남서쪽으로 20 km 떨어진 CRC (N45°21'13", W75°54'08")의 테스트 방송 타워에 설치되어 있으며, 타워의 높이는 77 m이다. 19.39 Mbps MPEG-2 비디오 신호는 8-VSB 변조기에 의해 변조되고, 채널 38(614-620MHz)로 상향 변환되며, 14 dBi 이득의 Pannel 안테나를 통해 ERP 기준 650 W로 송출된다. 2 대의 DTxR 은 캐나다 정부건물인 Place du Portage와 일반 아파트인 St-Laurent에 각각 설치되었으며, 주송신기로부터의 38번 채널 신호를 수신하여 46번 채널(662-668 MHz)로 분산 중계한다. 2대의 DTxR 및 주송신기에 관한 상세한 정보는 표 2에 나타난다.

3. 수신 안테나 구성

필드 테스트를 위한 수신 안테나로는 1.5 m 높이의 능동형 지향성 및 무지향성 안테나가 각각 사용되었으며, 두 안테나의 팬(pan)과 틸트(tilt)는 안테나 자세 원격제어 시스템에 의해 제어된다. 지향성 안테나는 빔폭이 60도이며, 지향성 안테나와 무지향성 안테나는 2.9 dB 잡음 지수를 가지는 LNA (Low Noise Amplifier)에 연결된다. 수신 안테나 출력 즉, 안테나에 연결된 LNA의 출력은 15 m 길이의 케이블

를 통해 측정 차량에 연결되며, 그 구조는 그림 2와 같다.

그림 2. 측정 차량에 연결된 안테나 구성
Fig. 2. Antenna set-up with the test van

4. 측정 차량 구성

그림 3은 측정 차량 장비 구성도이다. 그림 3에 의하면, 수신 안테나는 8 dB의 손실을 가지는 15 m 길이의 케이블

표 2. 주송신기 및 DTxR 정보

Table 2. Information of main transmitter and two DTxRs

	Main Tx (CRC)	DTxR 1 (St. Laurent)	DTxR 2 (Portage)
GPS	45°25'42" (N), 75°42'46" (W)	45°26'34" (N), 75°38'49" (W)	45°25'42" (N), 75°42'46" (W)
Height	77 m	76 m	88 m
Antenna Gain	11.95 dBd (14.09 dBi)	7.33 dBd (9.47 dBi)	5.46 dBd (7.6 dBi)
Estimated EIRP	650 Watts	600 Watts	300 Watts
BR	-	-30 dB	-30 dB

그림 3. 측정 차량 구성
Fig. 3. Test van set-up

에 의해 TP-1에 연결되며, TP-3에서의 수신신호의 레벨에 따라 TP-2와 TP-6 사이에서 사용되는 LNA의 수가 결정된다. 다수의 LNA가 사용되는 이유는 수신 신호의 레벨을 TP-6과 TP-7 사이에서 사용되는 장치들의 평균 잡음 전력보다 높이기 위함이다. 하지만, TP-7과 4출력 분배기 (splitter) 사이의 감쇄기는 수신 안테나 출력(TP-0)에서 수

신기 입력(TP-8)까지의 전체 이득을 지향성 안테나의 경우 -5 dB로, 무지향성 안테나의 경우 0 dB로 각각 조정한다. 지향성 안테나를 사용한 측정에서 전체 시스템 이득이 -5 dB인 이유는 무지향성 안테나의 측정 결과와 동일한 조건에서 비교하기 위함이다. 표 3과 4는 수신 신호의 레벨에 따른, 즉 LNA의 수에 따른 지향성 및 무지향성 안테나를

표 3. 지향성 안테나를 위한 LNA 수에 따른 구성

Table 3. Different setups with different number of LNA for the directional antenna

지향성 안테나			
평균 전력	SETUP #1	SETUP #2	SETUP #3
안테나 출력(No LNA)	-32 to -52 dBm	-52 to -72 dBm	-72 to -92 dBm
TP-0 (안테나 출력)	-12 to -32 dBm	-32 to -52dBm	-52 to -72 dBm
Cable Loss	8 dB	8 dB	8 dB
TP-1 (Van antenna input)	-20 to -40 dBm	-40 to -60 dBm	-60 to -80 dBm
TP-2 (bandpass filter out)	-23 to -43 dBm	-43 to -63 dBm	-63 to -83 dBm
TP-3 (LNA#1 출력)	-3 to -23 dBm	-23 to -43 dBm	-43 to -63 dBm
TP-4 (LNA#2 출력)	TP-3	-6 to -26 dBm	-26 to -46 dBm
TP-5 (LNA#3 출력)	TP-3	TP-4	-8 to -28 dBm
TP-6 (LNA#4 출력)	SPARE	SPARE	SPARE
TP-7 (결합기 출력)	-7 to -27 dBm	-10 to -30 dBm	-12 to -32 dBm
TP-8 (수신기 입력)	-17 to -37dBm	-37 to -57 dBm	-57 to -77 dBm
LNA의 수	1	2	3
HP 감쇄기 (dB)	2	19	37
시스템 이득 (TP-0 to TP-8)	-5 dB	-5 dB	-5 dB

표 4. 무지향성 안테나를 위한 LNA 수에 따른 구성

Table 4. Different setups with different number of LNA for the Omni-directional antenna

무지향성 안테나			
평균 전력	SETUP #1	SETUP #2	SETUP #3
안테나 출력(No LNA)	-32 to -52 dBm	-52 to -72 dBm	-72 to -92 dBm
TP-0 (안테나 출력)	-12 to -32 dBm	-32 to -52dBm	-52 to -72 dBm
Cable Loss	8 dB	8 dB	8 dB
TP-1 (Van antenna input)	-20 to -40 dBm	-40 to -60 dBm	-60 to -80 dBm
TP-2 (bandpass filter out)	-23 to -43 dBm	-43 to -63 dBm	-63 to -83 dBm
TP-3 (LNA#1 출력)	-3 to -23 dBm	-23 to -43 dBm	-43 to -63 dBm
TP-4 (LNA#2 출력)	TP-3	-6 to -26 dBm	-26 to -46 dBm
TP-5 (LNA#3 출력)	TP-3	TP-4	-8 to -28 dBm
TP-6 (LNA#4 출력)	SPARE	SPARE	SPARE
TP-7 (결합기 출력)	-7 to -27 dBm	-10 to -30 dBm	-12 to -32 dBm
TP-8 (수신기 입력)	-15 to -35dBm	-32 to -52 dBm	-52 to -72 dBm
LNA의 수	1	2	3
HP 감쇄기	0	14	32
시스템 이득 (TP-0 to TP-8)	-3 dB	0 dB	0 dB

사용한 측정에서 전체 시스템 이득을 조정하기 위한 감쇄 값 및 수신 차량 구성을 각각 보여준다. 여기서, 표 4의 SETUP #1은 수신 전계 강도가 높아서 측정을 위한 전체 시스템 이득을 0 dB가 아닌 -3 dB로 조정하였다. 예를 들어, 표 4의 TP-3에서의 수신 신호의 레벨이 -43에서 -63 dBm 사이에 있다면, 감쇄값이 37 dB인 3개의 LNA를 사용하는 SETUP #3의 배치가 사용된다.

5. 필드 테스트를 위한 수신기 특성

필드 테스트를 위해 2004년도에 제작된 5세대 수신기 A와 2005년도에 제작된 5세대 수신기 B가 사용되었다. 각 수신기별 등화기의 단일 정적 에코 제거 능력은 그림 4와 같다. 수신기 테스트 과정에서 단일 에코의 위상 변화에 무관하게 하기 위하여 0.05 Hz의 느린 도플러가 삽입되었으며, 수신기 입력 신호의 레벨은 -50 dBm이다.

그림 4. 필드 테스트를 위한 수신기의 등화 범위
Fig. 4. Equalizer range of commercial receivers for the field test

III. 필드 테스트 절차 및 결과

1. 필드 테스트 절차

필드 테스트는 표 5와 같이 6가지 조건에서 수행되었으며, 테스트 절차 및 측정 항목은 다음과 같다.

- ① 안테나 설치: 지향성 안테나의 경우 안테나 입력 신호

호의 레벨이 가장 큰 곳으로 안테나 방향을 조정한다.

- ② 측정 차량 구성 결정: 스펙트럼 분석기를 사용하여 TP-3에서 수신 신호의 레벨을 측정하고, 레벨에 따른 표 3 및 4의 LNA 수에 따른 측정 차량의 구성을 결정한다.
- ③ C/N 측정: TP-6에서 다중경로 신호가 포함된 C/N을 측정한다.
- ④ 수신 성공 여부 결정: 수신기로부터 출력된 영상 신호 및 음성 신호를 관찰하여 수신 여부를 결정한다.
- ⑤ 잡음 마진 측정: 잡음 신호 생성기를 이용하여 TOV에 도달할 때까지 잡음 신호를 증가시키고, TP-7에서 C/N을 측정한다. 그 후, TP-6에서 측정된 C/N과의 차이 즉, 잡음 마진을 계산한다.
- ⑥ 수신 가능 방위각 측정: 지향성 안테나를 사용하는 경우, 수신 가능한 방위각을 안테나 방향을 1도씩 회전하며 측정한다.

여기서, 잡음 마진과 수신 가능 방위각은 수신이 성공할 경우에 한하여 측정된다. 위와 같은 테스트 절차 및 측정 항목은 표 5의 6가지 조건에 따라 수행된다.

표 5. DTxR On/Off에 따른 측정 조건
Table 5. Test conditions according to DTxR On/Off

측정 조건	수신 안테나	DTxR #1 On/Off	DTxR #2 On/Off
조건1	지향성	On	Off
조건2		Off	On
조건3		On	On
조건4	무지향성	On	Off
조건5		Off	On
조건6		On	On

2. 필드 테스트 결과

표 6 및 7, 그림 5는 DTxR On/Off 및 안테나(지향성 및 무지향성)에 따른 수신 전계 강도 및 잡음 마진을 각각 나타낸다. 표 6에 의하면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때 무지향성 안테나의 경우 평균 4 dB 이상의 수신전력이 증

표 6. TP-8에서의 DTxR On/Off 및 안테나 종류에 따른 수신 전계 강도

Table 6. Reception power at TP-8 according to DTxR On/Off and antenna types

SITE #	TP-8에서의 수신 전계 강도 (dBm)					
	무지향성 안테나			지향성 안테나		
	DTxR #1 "ON"	DTxR #2 "ON"	Both "On"	DTxR #1 "ON"	DTxR #2 "ON"	Both "On"
1	-42.1	-51.1	-41.6	-51.8	-45.2	-43.3
2	-40.7	-42.1	-34.2	-41.3	-39	-37.9
3	-46.1	-44.4	-43.4	-48.4	-43.7	-43.1
4	-43.9	-39	-37.6	-43.6	-39.6	-39.4
5	-47.6	-45.3	-43.5	-47.3	-44.2	-43
6	-46.9	-52.5	-45.8	-46.1	-53	-45.8
7	-47.8	-48.9	-45.9	-47.4	-53.7	-48.5
8	-56.5	-42.4	-43	-54.9	-43.6	-46.1
9	-44.2	-63.8	-44.1	-46.6	-63.9	-46.2
10	-59.9	-59.2	-56.2	-58.8	-52.7	-52.7
11	-53.4	-52.6	-49.8	-56.3	-53.3	-52
12	-54.5	-55.4	-52.5	-55	-52.5	-53.3
13	-47.1	-45	-41.5	-46.7	-46.7	-43.3
14	-45.1	-40.1	-39	-52.6	-37.6	-37.7
15	-50.2	-46.3	-43.1	-48.1	-45.6	-44.1
16	-62	-61.5	-58.7	-61.3	-60.9	-59.1
평균	-49.3	-49.4	-45.0	-50.4	-48.5	-46.0

표 7. DTxR On/Off, 지향성 및 무지향성 안테나에 따른 평균 잡음 마진

Table 7. Average noise margin at TP-8 according to DTxR On/Off and antenna types

수신 안테나	수신기	DTXR #1 On [dB]	DTXR #2 On [dB]	Both On [dB]
무지향성	수신기 A (04)	11.4	12.0	16.0
	수신기 B (05)	11.3	14.1	14.5
지향성	수신기 A (04)	16.7	19.0	20.9
	수신기 B (05)	16.5	18.6	19.5

가하였고, 지향성 안테나는 최소 2.5 dB 이상 수신전력이 증가하였다. 이러한 수신전력의 증가는 표 7 및 그림 5에 나타난 것처럼 상용 수신기의 잡음 마진을 증가시켜 방송 신호의 품질을 향상시킨다. 표 7에 의하면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때 수신기 A의 평균 잡음 마진은 무지향성

및 지향성 안테나에 따라 각각 약 4 dB 및 0.5 dB 증가하였고, 수신기 B는 각각 약 0.5 dB 및 1 dB 증가하였다.

그림 6과 7, 그리고 표 8은 DTxR On/Off에 따른 수신기별 수신율 및 수신가능 방위각(지향성 안테나)을 각각 나타낸다. 그림 6에 따르면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때

그림 5. DTxR On/Off, 지향성 및 무지향성 안테나에 따른 수신기별 잡음마진
Fig. 5. Noise margin of two receivers according to DTxR On/Off and antenna types

그림 6. DTxR On/Off, 지향성 및 무지향성 안테나에 따른 수신기별 수신율
Fig. 6. Successful reception rate of two receivers according to DTxR On/Off and antenna types

표 8. DTxR On/Off에 따른 지향성 안테나의 수신기별 평균 수신가능 방위각

Table 8. Average successful reception sectors of two receivers according to DTxR On/Off

수신기	DTXR #1 On [degree]	DTXR #2 On [degree]	Both On [degree]
수신기 A (04)	326	335	354
수신기 B (05)	322	350	348

그림 7. DTxR On/Off에 따른 지향성 안테나의 수신기별 수신가능 방위각

Fig. 7. Successful reception sectors of two receivers according to DTxR On/Off

그림 8. 12번 site에서의 채널 프로파일

Fig. 8. Channel profile at site 12

그림 9. 12번 site에서의 DTxR On/Off에 따른 수신 스펙트럼
Fig. 9. Spectrum at site 12 according to DTxR On/Off

수신기 A의 전체 수신율은 각각의 DTxR이 켜졌을 때 보다 평균 10% 증가하였고, 수신기 B는 DTxR 1만 켜졌을 때와는 같았지만 DTxR 2만 켜졌을 때 보다 약 3% 감소하였다. 또한, 표 8 및 그림 7에 따르면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때 수신기 A의 평균 수신가능 방위각은 각각의 DTxR이 켜졌을 때 보다 평균 23도 증가하였고, 수신기 B는 DTxR 1만 켜졌을 때 보다는 26도 증가하였지만 DTxR 2만 켜졌을 때 보다는 약 2도가 감소하였다. 이것은 DTxR 신호들이 겹치는 중첩지역에서 수신기(등화능력이 열악한 수신기)에 따라 수신성능이 악화될 수 있음을 의미하지만, 본 측정에서 사용된 수신기에서의 그 영향은 미미하였다.

그림 8과 9는 12번 site에서 TxID 신호분석기를 통해 측정된 2대의 DTxR에 대한 채널 프로파일 및 수신 스펙트럼

을 각각 나타낸다. TxID 신호의 용이한 검출을 위해 앙상블 평균(ensemble average) 횟수와 상관길이를 20과 64,896로 설정하였다^{[5][6]}. 그림 8에서 녹색은 DTxR 1 (St. Laurent)에 의해 야기된 채널 프로파일이며, 붉은색은 DTxR 2 (Portage)에 의해 야기된 채널 프로파일이다. 그림 8과 9에 의하면, 필드 테스트를 위한 측정 지역은 2 대의 DTxR로부터 신호가 동시에 수신되며, 주변 건물로 인한 강한 다중경로가 존재한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 DFN을 위해 개발된 DTxR에 대한 신호

중첩 지역에서의 필드 테스트 결과를 기술하였고, 그 결과를 다양한 각도에서 분석하였다. 필드 테스트에서는 안테나 및 수신기 종류에 따른 각 측정 지점의 수신 전계 강도, 잡음 마진, 수신 여부, 수신 가능 방위각을 측정하였다. 뿐만 아니라, 본 논문에서는 필드 테스트 지역의 환경, 주송신기 및 DTxR의 구성, 측정 차량 구성 및 배치, 측정을 위해 사용된 수신기의 성능에 관해서도 살펴보았다. 필드 테스트 결과에 의하면, 두 대의 DTxR이 모두 켜졌을 때 수신 품질을 나타내는 수신 전계 강도 및 잡음 마진은 각각의 DTxR이 켜졌을 때 보다 증가하였지만, 수신율 및 수신 방위각은 수신기의 종류에 따라 증가하거나 비슷하였다. 개발된 DTxR을 이용하여 실제 방송환경에서 DFN을 구성하기 위해서는, 시험 방송 및 주파수 배치 등과 같은 연구가 동반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김홍목, 박성익, 음호민, 서재현, 이용태, 임형수, 이수인, 이혁재, “분산 중계기 Part 1: 분산 중계 기술,” 방송공학회논문지, 제15권, 제1호, pp. 14-28, 2010년.
- [2] 박성익, 음호민, 서재현, 김홍목, 이수인, “분산 중계기 Part 2: 실험실 테스트 결과,” 방송공학회논문지, 제15권, 제1호, pp. 29-39, 2010년.
- [3] 왕수현, 서영우, 목하균, 이재영, 이용훈, 김홍목, “DTV 분산중계망 필드 테스트 결과,” 방송공학회논문지, 제13권, 제4호, pp. 463-478, 2008년
- [4] 목하균, 왕수현, 서영모, 이용태, 이용훈, 김홍목, “DTV 분산중계망의 구축 및 실험방송 결과분석,” 방송공학회논문지, 제14권, 제4호, pp. 518-536, 2009년
- [5] S. I. Park, J.-Y. Lee, H. M. Kim, and W. Oh, “Transmitter Identification Signal Analyzer for Single Frequency Network,” IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 54, no. 3, pp. 383-393, Sept. 2008.
- [6] S. I. Park, H. M. Kim, and W. Oh, “Reception Power Estimation using Transmitter Identification Signal for Single Frequency Network,” IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 55, no. 3, pp. 652~655, Sept. 2009.

저 자 소 개

박 성 익

- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리

서 재 현

- 1993년 3월 ~ 1999년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 경북대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 디지털 방송시스템, 디지털 신호처리

— 저 자 소 개 —

음 호 민

- 1992년 3월 ~ 1998년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 1998년 3월 ~ 2000년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 영상 신호처리, DTV 전송시스템

이 용 훈

- 2005년 2월 : 한밭대학교 전자공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 차세대모바일방송기술연구팀 기술원
- 주관심분야 : DMB, DTV 시스템, 영상신호처리

김 흥 묵

- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 ~ 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 근무
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 지상파방송기술연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털 신호처리, DTV 전송시스템