디지털 역지향성 배열 안테나 시스템에서 위상 추적 Settling 시간과 BER 성능 평가

Phase Tracking Settling Time and BER Performance Evaluation in the Digital Retrodirective Array Antenna System

김소라 · 이승환* · 신동진* · 유흥균

So-Ra Kim · Seung Hwan Lee* · Dong Jin Shin* · Heung-Gyoon Ryu

요 약

디지털 역지향성 안테나 시스템은 사전 정보 없이 입사된 신호의 위상을 추적하고 위상을 반대로 돌려 수신된 방향으로 재전송을 할 수 있는 시스템으로써 아날로그 역지향성 안테나와 비교하여 수정과 업그레이드가 쉽다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 디지털 역지향성 안테나는 고속 이동체 환경에서의 빠른 빔 추적이 가능할 것이다. 특히 빠르고 정확하게 빔을 추적하기 위해서는 설계된 디지털 역지향성 안테나 시스템의 디지털 PLL의 성능이 매우 중요하므로, 본 논문에서는 디지털 역지향성 안테나 시스템에서 디지털 필터 설계에 따른 위상 추적의 동작시간과 BER 성능을 확인하였다. 1 MHz의 QAM 신호를 발생시켰으며, 30°의 위상 지연이 생겼을 경우의 시뮬레이션 결과, 필터의 동작이 안정할 경우 위상 공액 기법을 사용한 역지향성 안테나 시스템의 성능이 사용하지 않았을 경우의 역지향성 안테나 시스템보다 약 1 dB의 성능 차이가 나며, 필터의 동작이 불안정할 경우, 발진이 일어나 위상을 추적하지 못해 성능이 매우 나빠짐을 확인할 수 있다.

Abstract

Digital retrodirective antenna system is easy to modify and upgrade because it can control the phase information of the output signal toward opposite direction to input signal without a priori knowledge of the arrival direction. Due to this advantage, it is possible to do fast beam tracking. Especially, we need to design the digital PLL performance for the digital retrodirective array antenna system. So, in this paper the settling time of phase estimator and BER performance of retrodirective antenna system are investigated according to design of filter in digital PLL. When QAM signal is used for 1 Mbps with 30° of phase delay, simulation results show that digital phase conjugation technique has better BER performance by about 1 dB than non-phase conjugation system when digital filter is stable. If not, the system can't estimate the exact phase because of oscillation of filter.

Key words : Beam Forming, Digital Retrodirective Array, Phase Conjugation, Digital PLL, Digital Filter

I. 서 론

무선 통신 기기의 발전과 함께 스마트폰 사용자의 급증 등으로 주파수 원이 부족하게 되었고, 음성

「본 연구는 KCA(Korea Communications Agency)에서 관리되고 있는 KCC(Korea Communications Commission)의 R&D 프로그램에 의해 지원되었음(과제번호: KCA-2012-11-921-04-001).」

충북대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

*한국전자통신연구원(ETRI)

· Manuscript received November 8, 2012 ; Revised December 3, 2012 ; Accepted December 14, 2012. (ID No. 20121108-125)

· Corresponding Author : Heung-Gyoon Ryu (e-mail : ecomm@cnu.ac.kr)

통화와 문자 메시지 전송뿐만 아니라 사진, 동영상 등의 큰 용량의 데이터를 송수신하게 되면서 좀 더 빠르고 좀 더 고품질의 통신 기술을 요구하고 있다. 차세대 이동통신에서는 주파수 원의 재 사용률을 높이기 위하여 공간적인 방향성을 갖는 안테나를 이용하는 빔 포밍 기술과 스마트 안테나 기술이 제안되었으며, 오늘날 활발한 연구가 진행되고 있다^[1]. 또한, 높은 이득을 가지며 도달하는 신호를 빠르게 추적할 수 있는 안테나에 대한 요구가 이동 통신, 위성 통신 등에서 점점 증가하고 있다. 이러한 여러 기능을 가진 안테나를 실현하기 위하여 디지털 빔 형성 안테나가 제안되었으며^[2], 디지털 빔 형성 안테나는 아날로그 단계에서 수신된 신호를 합성 또는 분배하는 대신 디지털 단계에서 처리하기 위하여 아날로그 - 디지털 변환기를 이용하여 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다.

역지향성 안테나는 사전정보 없이 입사된 신호 각을 반대 방향으로 돌려보낸 신호원으로 다시 신호를 보내는 기술이다^[3]. 서로 다른 안테나는 독립적으로 신호를 받으며 신호의 각을 계산하며, 그때 각을 반대로 하여 신호를 재전송한다. 두 개의 링크가 고정되어 있는 상태에서, 무선 통신의 Quality of Service (QoS)를 향상할 수 있으며, 역지향성 안테나는 모든 방향에 대하여 전력을 송출해야 하는 무지향성 안테나보다 별도의 신호 처리 기술 없이 수신된 방향으로 신호를 재전송하므로 입사된 방향으로만 에너지가 집중되어 높은 지향성을 갖기 때문에 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이것은 현대의 많은 이동기기에 있어서 매우 중요한 특성이다. 따라서 역지향성 안테나 시스템은 이러한 특성 때문에 송수신 전력의 낭비를 줄일 수 있고, 이에 따라서 모바일의 배터리 수명을 늘릴 수 있게 된다.

역지향성 안테나를 구성하기 위해서 가장 중요한 기술은 공액 위상기 기술이다. 효율적인 공액 위상기를 설계하기 위해서 다양한 기술들이 제안되고 있다. 대표적으로 코너 반사 기술과 Van Atta 배열 기술이 있는데, 먼저 코너 반사는 그림 1과 같이 입사각과 반사각이 같은 특성을 사용한 기술이다. 한편, Van Atta 배열은 중심 요소에서 같은 간격의 쌍으로 연결된 평면의 혹은 선형의 배열이다^[4]. 이는 안테나에 입사된 평면파를 생각할 때 신호는 쌍으로 연결

된 라인을 통해 반대 위상을 가지고 입사된 방향으로 신호를 보내는 방식이다^[5]. 헤테로다인 혼합기를 적용한 아날로그 역지향성 안테나 기술은 RF 주파수의 2배를 가지는 발진기를 사용하여 구성된다^[6].

아날로그 역지향성 안테나 기술은 복잡한 신호 처리 없이 쉽게 구현 가능한 장점이 있지만, 믹서와 국부 발진기와 같은 추가적인 RF 소자가 필요하기 때문에 새로운 변조 방식의 적용이 어려우며, 실제로 RF 주파수의 2배의 빠르기를 갖는 발진기를 설계하는 것은 매우 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 직접 변환을 사용한 디지털 역지향성 안테나 기법이 연구되고 있다. 직접 변환 방식의 역지향성 안테나 기술은 주파수 가변이 용이하지만 직접 변환 방식으로 인하여 주파수 오프셋 및 DC 오프셋에 민감하다는 단점을 가지며, 아날로그에 비해 신호 처리의 시간이 길어질 수 있다.

디지털 역지향성 안테나는 앞으로 신호 처리 속도를 빠르고 정확하게 하는데 연구가 될 것이며, 본 논문에서는 디지털 역지향성 안테나 시스템에서의 핵심인 공액 위상 역할을 하는 디지털 PLL에 따른 반

그림 1. 코너 반사
Fig. 1. Corner reflector.

그림 2. Van Atta array system
Fig. 2. Van Atta array system.

그림 3. 역지향성 안테나
Fig. 3. Retrodirective array.

응 속도와 수신 성능을 확인하였다. 필터에 따라 동작 속도와 수신 성능이 달라지는데, 이것은 앞으로 고정된 링크에서의 빔 포밍뿐만 아니라 이동체에서의 무선 통신에서의 성능에 대해 영향을 줄 것이다.

본 논문의 구성은 먼저 2장에서 디지털 역지향성 안테나 배열 시스템의 위상 추정과 공액위상기 등의 전체적인 구성도를 살펴보고, 3장에서는 필터에 따른 속도 및 성능을 시뮬링크를 통해 시뮬레이션한 결과를 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 디지털 역지향성 안테나 시스템 모델

역지향성 안테나는 그림 3과 같이 수신된 신호를 신호원 방향으로 신호를 재전송하는 기술이다. τ_2 , τ_3 그리고 τ_4 는 송신된 평면파 기준면으로부터 안테나 배열까지의 시간 지연이다. 각각 안테나에 입사각이 θ 인 신호가 전송되었을 경우, 각각의 안테나에서 수신된 신호의 위상 지연은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 f 는 신호의 주파수, c 는 빛의 속력, d 는 안테나 간의 거리이다.

$$\Delta\phi = 2\pi f \frac{d}{c} \sin\theta \quad (1)$$

그림 4는 역지향성 안테나 시스템의 전체적인 블록도이다. 역지향성 안테나를 구성하기 위해서는 위상 검출기와 공액위상기가 필요하며, 이는 디지털로 간단하게 구현할 수 있다. 송신기에서 데이터를 전송하면 역지향성 안테나는 위상검출기를 통해 위상 차이를 계산하며, 공액위상을 취하여 위상을 180° 돌려 보내진 방향 그대로 다시 전송하게 된다.

2-1 Digital Phase Lock Loop

그림 5는 디지털 PLL의 블록도이며, 이는 각을 추정하여 반대 방향으로 위상 변환이 가능할 수 있도록 해준다. PLL은 입력 신호와 기준 신호의 주파수와 위상에 관계된 신호를 출력 발생시키는 닫힌 루프이다. 기존의 PLL은 너무 많은 아날로그 소자와 다루기 힘든 위상 지터를 포함하고 있다. 하지만 디지털 PLL의 경우 디지털 신호 처리 기술의 발전을 통하여 훨씬 더 다루기 용이하다.

2-2 위상 추정기(Phase Detector)

위상 추정기는 들어오는 신호와 기준 신호와의 위상차를 발생시키는 디지털 PLL에서 아주 중요한 역할을 한다. 위상 추정기의 처리 방법을 간략하게 설명하자면 먼저 입력된 신호를 hard decision하여 표준 신호(I_0 , Q_0)를 결정한다. 표준 신호는 입력된 신호와 비교하여 위상차를 추정한다. QPSK 혹은 4-QAM의

그림 5. 디지털 PLL
Fig. 5. Digital PLL.

그림 4. 공액 위상기법의 디지털 역지향성 안테나 시스템 블록도
Fig. 4. Digital retrodirective antenna array system by phase conjugation.

변조 신호(I, Q)를 사용할 경우 표준 신호의 크기는 $\sqrt{2}$ 이며 식 (2)로 표현될 수 있다. 위상차 φ 가 30° 보다 작을 때 식 (3)으로 표현할 수 있으며 이로써 위상차를 추정한다.

$$\begin{aligned} e^{j\varphi} &= \cos\varphi + j\sin\varphi = e^{j(\varphi' - \varphi_0)} \\ &= \frac{e^{j\varphi'}}{e^{j\varphi_0}} = \frac{\sqrt{I^2 + Q^2}}{\sqrt{I_0^2 + Q_0^2}} \cdot \frac{I + jQ}{I_0 + jQ_0} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{I^2 + Q^2}} \cdot \frac{I_0 + Q_0 + j(I_0Q - IQ_0)}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varphi \approx \sin\varphi = \frac{1}{\sqrt{2(I^2 + Q^2)}} \cdot (I_0Q - IQ_0) \quad (3)$$

2-3 Digital Phase Lock Loop

그림 6은 디지털 PLL에 사용되는 NCO와 Loop filter의 블록도이며^[8], Loop filter는 G_1 과 G_2 에 따라 필터 성능이 결정된다. Loop filter의 전달 함수는 식 (4)로 표현할 수 있다.

Loop filter의 전달 함수는 식 (5)와 같이 IIR 필터의 전달 함수로 표현할 수 있다. 이는 디지털 필터

그림 6. NCO & loop filter

Fig. 6. NCO & loop filter.

로 대체할 수 있으며, 디지털 필터의 계수 변화에 따른 디지털 PLL의 반응 속도와 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능을 확인하였다.

그림 7은 성능 확인을 위해 시뮬링크로 구현한 역지향성 안테나 시스템의 블록도이다. 그림 3은 디지털 역지향성 안테나를 사용한 시스템 모델이며, 안테나 배열이 두 개인 시스템으로 실험하였으며, 전송의 up link, 재전송의 down link로 표현하였다.

$$H_{LF} = \frac{(G_2 - G_1)z^{-1} + G_1}{1 - z^{-1}} \quad (4)$$

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1}}{a_0 + a_1z^{-1}} \quad (5)$$

그림 7. 디지털 역지향성 안테나 시뮬링크 블록도

Fig. 7. Digital retrodirective antenna array system block diagram.

III. 시뮬레이션 결과

앞에서 언급한 바와 같이, 본 논문은 필터에 따른 공역을 이용한 역지향성 안테나 시스템의 반응 속도와 성능을 알아보았다.

필터의 전달 함수를 결정하는 계수 a_0, a_1, a_2 와 b_0, b_2, b_3 를 변화시키며 시뮬레이션 하였으며, 반응 속도를 측정할 때에는 전송 링크(up link)에 잡음이 없이 시뮬레이션 하였으며, BER 성능 확인을 할 때에는 전송 링크와 재전송 링크에 같은 AWGN 채널을 삽입하여 확인하였다.

3-1 반응 속도

신호의 속도는 1 MHz이며, 그림 8의 위상을 추정하여 전압을 인가하는 NCO의 출력인 포인트 1에서 측정하였다. 반응 속도를 측정하기 위해 스위치를 이용하여 phase offset을 30°, 60°를 스위치를 phase offset을 인가하였으며, 오차 범위 0 %, 1 % 그리고 5 %가 되는 지점의 시간을 각각 측정하였다. 결과는 표 1과 같다.

시뮬레이션상 관측 기본 시간 간격이 샘플링 시간보다 짧게 관측할 수 없으므로 정확한 반응 시간을 측정할 수 없지만, 그림 9에서 볼 수 있듯이 필터에 따라 반응시간의 차이가 남을 확인할 수 있다. 결과를 보면 필터의 계수 a_0, a_1, a_2 와 b_0, b_2, b_3 가 각각 1, -0.01, 0, 1, -0.01, 0와 1, -0.0001, 0, 1, -0.001, 0 2차 계수 필터에서의 반응 속도가 가장 빨랐다.

표 2. 그림 9의 파라미터

Table 2. Parameter for Fig. 9.

	b_0	b_1	b_2	a_0	a_1	a_2
a	2	-0.9	-0.001	1	-1	0.5
b	1	-0.5	0	1	-0.1	0
c	1	-1	-0.1	1	-1	0

3-2 BER 성능

그림 11은 공역위상 기법을 사용한 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능과 그렇지 않은 경우의 BER 성능을 확인한 것이다. 역지향성 안테나의 경우 위상공역 기법을 통하여 재전송시 위상 지연을 계산하여 보내므로 각의 크기와 상관없이 재전송 수신단에서는 위상 지연 없이 받을 수 있는 데에 비하여 그렇지 않은 경우는 위상 지연이 커질수록 수신단에서는 그대로 위상 지연이 큰 상태로 수신되기 때문에 위상 지연에 따라 BER 성능도 크게 나빠짐을 알 수 있다.

표 1의 반응 속도 결과에 따라 성능을 확인하였으며, 그림 11과 12의 그래프 각각의 디지털 필터계수는 표 3과 같다.

먼저, 위상 지연이 30°일 때의 위상 공역을 이용한 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능이다. 안정한 시스템에서의 성능은 그림 11에서의 5번 선처럼 성능을 보이지만, 불안정한 시스템에서는 NCO의 출력이 발진하며, 발진시점에 따라 그림 11의 1~4번

그림 8. 필터에 따른 디지털 PLL 동작 속도를 측정하기 위한 시뮬링크 블록도
Fig. 8. Simulink block diagram for measuring of settling time according to the filter.

표 1. 필터 계수에 따른 동작 속도 결과

Table 1. Settling time according to the filter coefficient.

b_0	b_1	b_2	a_0	a_1	a_2	T_set(0%)	Tset(1%)	Tset(5%)
1	-0.01	0	1	-0.01	0	1.00E-06	1.00E-06	0.00E+00
1	-0.0001	0	1	-0.001	0	1.00E-06	1.00E-06	0.00E+00
2	-1	0	1	-1	0	3.00E-06	3.00E-06	2.00E-06
2	-0.5	0	1	-1	0	3.00E-06	1.20E-05	8.00E-06
2	-1	0	1	-1	0	3.00E-06	3.00E-06	2.00E-06
2	-0.5	0	1	-1	0	3.00E-06	1.20E-05	8.00E-06
1	-0.01	0	1	0	0	5.00E-06	1.00E-06	0.00E+00
1	-0.01	0	1	0	0	5.00E-06	1.00E-06	0.00E+00
1	-0.2	0	1	0	0	1.00E-05	2.00E-06	0.00E+00
1	-1E-04	0	1	-0.001	0.1	1.10E-05	4.00E-06	1.00E-06
2	-1	0	1	-1	0.1	1.40E-05	5.90E-06	4.00E-06
1	-0.5	0	1	-0.1	0	2.00E-05	1.00E-05	4.00E-06
0.1	-0.001	0.1	1	-0.1	0.001	2.00E-05	1.04E-05	8.00E-06
1.5	-0.2	0	1	0	0	2.50E-05	9.00E-06	6.70E-06
0.1	-0.001	0.1	1	-0.1	0	2.60E-05	1.05E-05	8.00E-06
0.1	-0.001	0.1	1	-0.1	-0.1	3.30E-05	7.00E-06	6.30E-06
2	-0.5	0	1	-1.2	0	4.30E-05	2.60E-05	1.90E-05
2	-0.1	0	1	-1	0	6.00E-05	9.10E-05	5.80E-05
1	-0.1	0	1	0	0	6.00E-05	3.00E-05	5.00E-06
1	-0.5	0	1	-1.2	0	7.00E-05	3.80E-05	1.80E-05
0.1	-0.01	0	1	0	0	7.00E-05	4.95E-05	3.20E-04
0.1	-0.001	0	1	0	0	7.20E-05	4.35E-05	2.70E-05
0.1	-1	-0.1	1	-0.1	0.001	1.24E-04	3.35E-05	2.95E-05
2	-0.9	-0.001	1	-1	0.5	1.65E-04	9.00E-05	5.70E-05
0	1	0	1	0	0	inf	inf	inf
3	-1	0	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
3	-0.5	0	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
2	-1	-0.1	1	-0.1	0.001	unstable	unstable	unstable
2	-0.5	-0.001	1	-1	0.5	unstable	unstable	unstable
2	-1	-0.1	0.1	-0.1	0.001	unstable	unstable	unstable
2	-0.5	-0.001	1	-1	0.5	unstable	unstable	unstable
2	-3	0	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
1	1	0	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
1	-1	-0.1	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
1	-1	-0.1	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
0.1	-0.001	0.1	0.1	-0.1	0	unstable	unstable	unstable
0.1	-0.001	0.1	0.1	-0.1	-0.1	unstable	unstable	unstable
0.1	-0.001	0.1	0.1	-0.1	0.001	unstable	unstable	unstable
0.1	-1	-0.1	0.1	-0.1	0.001	unstable	unstable	unstable
0	1	0	1	-1	0	unstable	unstable	unstable
0	1	0	1	-2	0	unstable	unstable	unstable
-1	-0.5	0	1	-0.1	0	unstable	unstable	unstable
-1	-0.1	0	1	-0.1	0	unstable	unstable	unstable

(a)

(b)

(c)

그림 9. 반응 속도의 측정
Fig. 9. Measurement of settling time.

선처럼 성능 차이가 약간씩 있는 것을 확인했으며, 이는 위상 지연에 따라서는 성능 차이가 없음을 알 수 있다.

IV. 결 론

그림 10. 위상 지연이 각각 30°, 60°일 때 공액위상 기법을 사용한 역지향성 안테나를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 BER 성능
Fig. 10. BER performance of retrodirective array antenna system using conjugation and not using at phase delay 60° and 30°.

그림 11. 위상 지연이 30°일 때 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능
Fig. 11. BER performance of retrodirective array antenna system at phase delay 30°.

본 논문에서는 고정된 링크상에서 디지털 역지향성 안테나 시스템의 위상 추적 및 공액 위상기 역할을 하는 디지털 PLL의 필터에 따라 완전하게 위상을 추적하는데 걸리는 동작 속도와 그에 따른 BER 성능

그림 12. 위상 지연이 60°일 때 역지향성 안테나 시스템의 BER 성능

Fig. 12. BER performance of retrodirective array antenna system at phase delay 60°.

표 3. BER 성능에 관련한 파라미터

Table 3. Parameter for BER performance.

No.	b_0	b_1	b_2	a_0	a_1	a_2
1	0	1	0	1	-2	0
2	0.1	-0.001	0.1	0.1	-0.1	-0.1
3	2	-0.5	0	1	-1.2	0
4	1	-0.5	0	1	-1.2	0
5	Stable system					

을 MATLAB의 시뮬링크로 확인하였다. 필터 계수에 따라 추적 동작 속도는 달랐지만, 필터의 안정도에 따라 BER의 성능이 결정됨을 알 수 있다. 하지만, 고정된 링크가 아닌 이동하는 통신기기에서의 역지향성 안테나 시스템을 적용했을 때에 추적 동작 속도는 BER에 영향을 끼칠 것으로 예상되므로 역지향성 안테나 시스템에서의 필터 성능은 중요한 특성을 알

수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Tanaka, R. Miura, and Y. Karasawa, "Implementation of a digital signal processor in a BDF self-beam-Steering array antenna", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 1, Jan. 1997.
- [2] Y. Otaki, W. Chujo, K. Uehara, and M. Fujise, "Implementation of a digital beamforming antenna for mobile satellite communications utilizing multi-digital signal processor", *Proc. ISAP*, pp. 145-148, 1992.
- [3] E. D. Sharp, M. A. Daib, "Van Atta reflector array", *IRE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-8, pp. 436-438, 1960.
- [4] L. C. Van Atta, "Electromagnetic reflector", U.S. patent 2,908,002, 1955.
- [5] J. H. Reed, *Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering*, Prentice Hall PTR, 2002.
- [6] R. Y. Miyamoto, Y. Qian, and T. Itoh, "Retrodirective arrays for wireless communication", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 171-79, 2002.
- [7] R. Y. Miyamoto, Y. Qian, and T. Itoh, "A reconfigurable active retrodirective/ direct conversion receiver arrays for wireless communication", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 71-79, 2002.
- [8] C. Loadman, "A DSP based retrodirective array for duplex digital communication at 2.4 GHz", master's thesis, Dalhousie University, 2006.
- [9] Junyeong Bok, Seung Hwan Lee, Dong Jin Shin, and Heung-Gyoon Ryu, "Analysis of digital retrodirective antenna technology in high-speed rail", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 23(11), pp. 1264-1271, Nov. 2012.

김 소 라

동 통신 시스템

2010년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
2012년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 무선 통신 시스템, 이

신 동 진

1978년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년~2002년: CDMA 및 CDMA-2000 이동통신 시스템 개발 연구실장
1982년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
[주 관심분야] 5세대 무선 통신 시스템, Small Cell Network

이 승 환

무선간섭인지연구팀팀장
2010년~현재: 과학기술연합대학원대학교 교수
[주 관심분야] Small Cell Networks, Compact MIMO, Cognitive Radio

1995년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 2월: University of Edinburgh (공학박사)
2001년~현재: 한국전자통신연구원

유 흥 균

2008년: ICWMC 2008 국제학술대회 "Best Paper Award" 수상
[주 관심분야] 무선 통신시스템, 위성통신, B3G/4G 이동통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 교수
2002년 3월~2004년 2월: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장
1996년~현재: IEEE, IET 논문 심사위원
2002년: 한국전자파학회 학술상 수상