http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.4.1
JIIBC 2013-4-1

국내 700 MHz 대역에서 MIMO 채널 측정 파라미터를 이용한 채널 상관도 분석

Channel Correlation Analysis using MIMO Channel Measurement Parameters at Domestic 700MHz band

정명원*, 정영준*, 백정기**

Myoung-Won Jung, Young-Jun Chong, Jeong-Ki Pack

요 약 차세대 이동통신 시스템에서는 새로운 주파수 대역에서 다중 안테나 사용이 높은 데이터 전송률과 용량을 가능하도록 만들 것이다. 본 논문에서는 국내 전파 특성 측정을 통해 도출된 채널 파라미터(경로 손실, 지연 확산, 각 확산, K-factor) 간에 상관도를 분석하였다. 측정은 DTV 방송과 혼신을 피하기 위하여 제주도에서 채널 사운더와 4×4 안테나로 측정하였다. 채널 파라미터 간에 상관도 분석은 유사한 환경에서 통신 시스템을 설계하는데 있어서 많은 도움을 줄 것이다.

Abstract In the next generation of mobile communication systems, high data rates and high capacity will be possible if multiple antennas are used at new frequencies. This paper presents the correlations between channel parameter path loss (PL), delay spread (DS), angular spread (AS) and K-factor established based on channel measurements. To avoid interference from Korean DTV broadcasting, we measured the channel characteristics in urban/rural/suburban areas on Jeju Island using a channel sounder and 4×4 antennas. The correlations between channel parameter show that the wireless channel characteristics can be determined and effective communication system design can be produced for use in similar environments.

Key Words : Channel Parameter, Mobile Communication, Joint Distribution, Correlation Coefficients

Ⅰ. 서 론

무선 전송기술의 발달은 전송 용량 증대를 위하여 다중안테나의 사용과 더 넓은 대역폭의 사용을 선호한다. 차세대 이동통신 기술로서 다중안테나 사용은 MIMO 공간 채널 모델의 필요성을 증가시키고 있으며 개발 시스템의 검증 기구로서 그 필요성에 대한 공감대가 형성되고 있다. 이에 따른 새로운 주파수 대역의 차세대 이동통신 시스템에 대한 연구가 필요하다. 차세대 이동통신 시스템 개발을 위한 무선공간 채널모델 연구는 사용 주파수 대역 측면에서의 주파수 연구와 통신 시스템 설계측면에서 무선 공간 채널 파라미터 연구로 분류 할 수 있다. 무선 통신에서 다중 경로 전파 특성을 분석하는 것은 매우 중요하다. 따라서 무선 공간 채널 파라미터 연구는 차세대 이동통신 시스템을 설계하는데 많은 도움을 줄 것이다.[1]~[3]

*정회원 : 한국전자통신연구원 전파기술연구부
**정회원 : 충남대학교 전파공학과
접수일자 : 2013년 6월 12일, 수정완료 : 2013년 7월 23일
게재확정일자 : 2013년 8월 16일

Received: 12 June, 2013 / Revised: 23 July, 2013 /
Accepted: 16 August, 2013
*Corresponding Author: mwjung@etri.re.kr
Broadcasting & Telecommunicaitons Media Research Lab., ETRI, Korea

본 논문에서는 아날로그 방송의 디지털화에 따른 주파수 재배치로 인한 새로운 이동통신 주파수 대역으로 사용될 예정인 781MHz 대역에서 4×4 안테나와 채널 사운더로 채널 특성을 측정하였다. 측정지역은 현재 사용중인 DTV 방송과 혼신을 피하기 위하여 제주도에서 도심, 교외, 시골지역으로 나누어 선정하였다. 각 환경에서 전파 특성 파라미터인 경로 손실, 지연 확산, 각 확산, K-factor를 도출 하였다. 도출된 전파 파라미터들 간 상관도 분석을 통해 국내 전파 특성을 알아보고자 하였다.

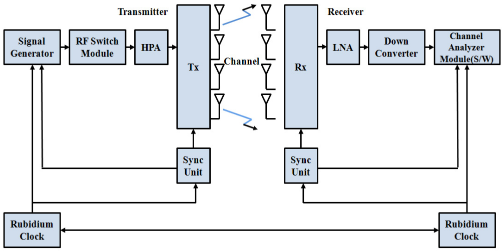


그림 2. 채널 사운더 구성도

Fig. 2. The Channel sounder configuration

II. 측정 환경 및 분석 시나리오

측정은 두 차량에 장착 된 안테나를 사용하여 제주도의 세 가지 환경으로 나누어 실행하였다. 측정지역은 DTV 방송과 혼신을 피하기 위하여 측정 지역을 선정하였고 도심 및 산림형태 구성 요소를 고려하여 세 가지 환경으로 구분하였으며 50m부터 1000m 까지 이동 측정을 실시하였다.

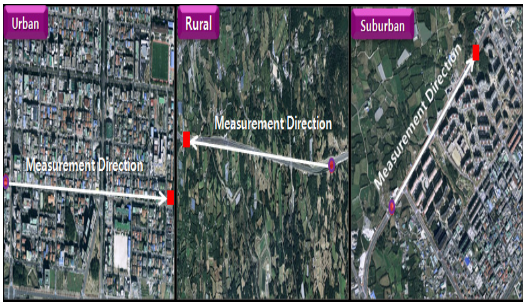


그림 1. 제주도 측정 지역

Fig. 1. Measurement area in the city of Jeju Island

그림 2는 무선전파 특성을 분석하기 위한 전파 특성 측정 시스템을 나타낸 것이다. 먼저 송신단 베이스 밴드 모듈에서 IF 신호를 발생시키고 RF 모듈에서 UHF 주파수 대역으로 up-converting 하였다. RF 주파수 대역폭은 756~806MHz로 총 50MHz 이다. 모든 측정 데이터는 제어 프로그램에서 IF 신호를 처리한 후 저장 및 시각화 하는 작업을 실시하였다. 이 때 송수신 시스템에서 사용하는 모든 클럭은 10MHz 류비듐 오실레이터를 동기 신호 및 기준 클럭으로 사용하여 정확도를 향상시켰다.[4]~[6]

III. 무선채널 파라미터 분석

1. 경로 손실

무선채널을 통과하는 전파는 반사, 회절, 산란등을 겪게 되며 송・수신기 사이의 주변 환경과 거리에 따란 다른 값을 가지게 된다. 따라서 세 가지 환경에서 다른 경로 손실 값을 보이며 도심 환경이 가장 큰 경로 손실을 보이는 것을 볼 수 있었다. 경로 손실은 다음과 같은 수식에 의해 피팅 작업을 실시하여 상수 값으로 나타내었다.

$$P_L[d] = L_0 - 10n\log_{10}\left(\frac{d}{d_{ref}}\right) + X_\sigma,\ \ [dB] \tag{1}$$

여기서 L_0값은 초기값을 나타내며, n은 경로 손실 지수에 해당된다. 또한 X_σ은 측정된 경로 손실 값과 피팅한 그래프와의 차이로 표준편차 값에 해당되며 d_{ref}는 50m이다.

표 1. 경로 손실 상수 값

Table 1. PL constant

측정 환경 및 규격				상수 값		
지역	주파수 [GHz]	Tx높이 [m]	Rx높이 [m]	L_0	n	X_σ [dB]
도심	0.781	5.0	1.5	66.68	3.60	2.40
시골				66.70	2.28	3.10
교외				65.64	2.78	3.36

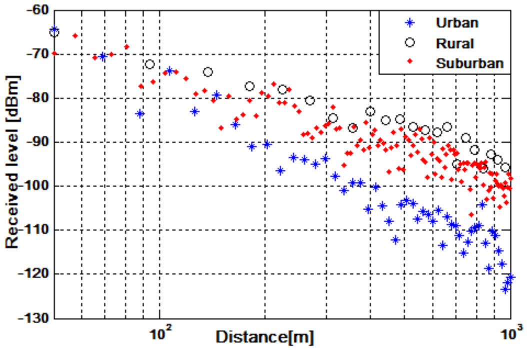


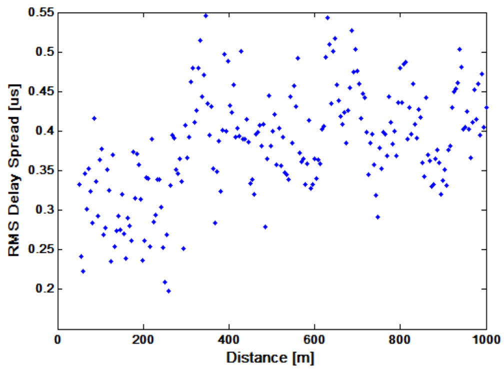
그림 3. 세 가지 환경에서 거리에 따른 경로 손실
Fig. 3. Path loss according to distance in the the three environments

2. 지연 확산

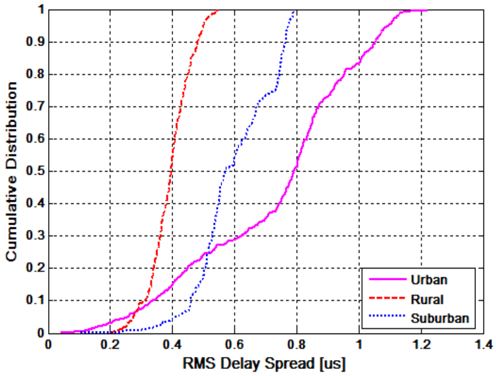
MIMO 무선통신 채널을 통해 전송되어지는 신호는 기존 단일 안테나 시스템 채널에서 발생하는 전파 현상과는 다른 현상을 겪게 되며, 다중 경로 페이딩을 겪으면서 채널은 시간 지연 확산과 각 확산을 일으킨다.[7] 지연확산은 임펄스 신호가 무선채널을 통과하여 수신측에 도착하였을 때 다중 경로 산란 성분을 나타내는 전력 지연 프로파일(PDP)에서 시간과 파워 값의 2차 모멘트 제곱근으로 계산되었다.

표 2. 세 가지 환경에 대한 지연 확산
Table 2. Delay spread for three environments

환경	최소값 [μs]	최대값 [μs]	평균값 [μs]
도심	0.04	1.22	0.57
시골	0.19	0.54	0.38
교외	0.10	0.79	0.54



(a) 시골
(a) Rural



(b) 세 가지 환경에 대한 누적 분포 함수
(b) CDF for three environments

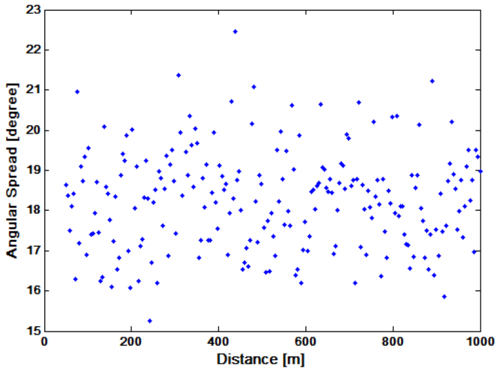
그림 4. 지연 확산
Fig. 4. Delay spread

3. 각 확산

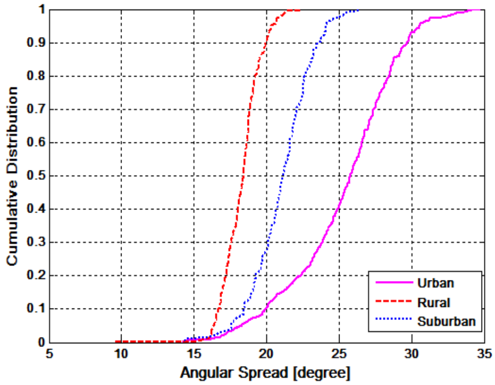
여러 가지 환경에서 MIMO 무선채널을 통과한 전파는 각 안테나 별로 다른 각도로 입사하게 된다. 먼저 수신된 안테나의 I,Q 데이터를 바탕으로 도착각(Angle of Arrival)을 계산하고 MIMO 무선채널의 각도상의 퍼짐을 나타내는 각 확산을 도출하였다.[8]

표 3. 세 가지 환경에 대한 각 확산
Table 3. Angular spread for three environments

환경	최소값 [deg]	최대값 [deg]	평균값 [deg]
도심	14.18	34.79	24.70
시골	9.57	22.47	18.21
교외	14.31	26.40	20.86



(a) 시골
(a) Rural



(b) 세 가지 환경에 대한 누적 분포 함수
(b) CDF for three environments

그림 5. 각 확산
Fig. 5. Angular spread

4. K-factor

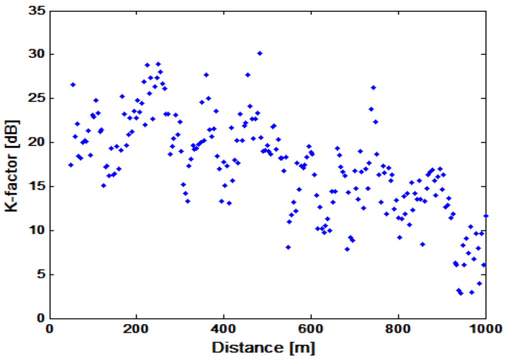
K-factor는 무선전파 채널에서 LOS(Line-of-Sight) 성분의 지표로서 K-factor 수식은 다음과 같다.

$$K = 10\log_{10}\frac{c^2}{2\sigma^2}, \quad [dB] \tag{2}$$

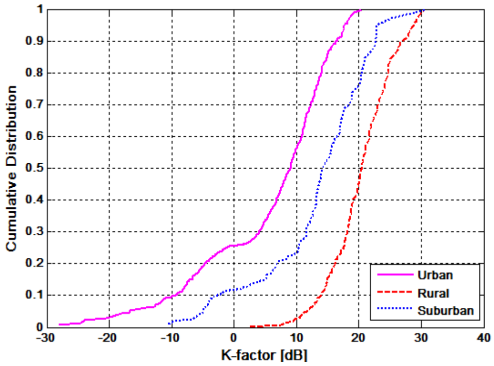
여기서 c^2은 LOS 성분의 전력을 의미하고 $2\sigma^2$은 산란 성분들의 전력의 합으로 표시된다[5].

표 4. 세 가지 환경에 대한 K-factor
Table 4. K-factor for three environments

환경	최소값 [dB]	최대값 [dB]	평균값 [dB]
도심	-28.01	20.39	3.47
시골	2.89	30.14	17.31
교외	-10.56	30.76	6.80



(a) 시골
(a) Rural



(b) 세 가지 환경에 대한 누적 분포 함수
(b) CDF for three environments

그림 6. K-factor
Fig. 6. K-factor

Ⅳ. 채널 파라미터 간 상관도 분석

도출된 파라미터 간에 상관계수는 다음 수식에 의해 계산된다[6].

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{C_{xx}C_{yy}}} \tag{3}$$

여기서 C_{xy}는 채널 파라미터 x와 y의 공분산이다. 채널 파리미터간의 상관도 분석은 각 환경에서 도출된 채널 파라미터를 설명하여 전파 특성을 이해하는데 매우 중요하다. 그림 7-9는 환경 별 결합분포 그래프이고 표 5-7은 환경 별 상관 계수이다.

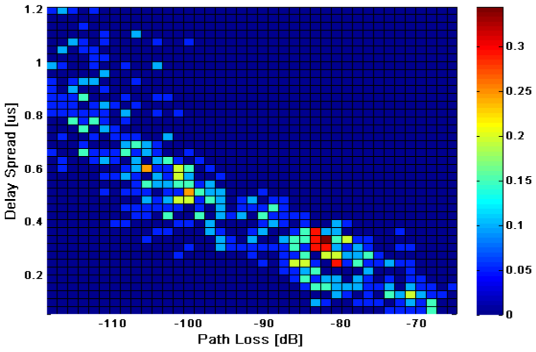


그림 7. PL과 DS 간의 결합분포 (도심)
Fig. 7. Joint distribution PL vs DS (Urban)

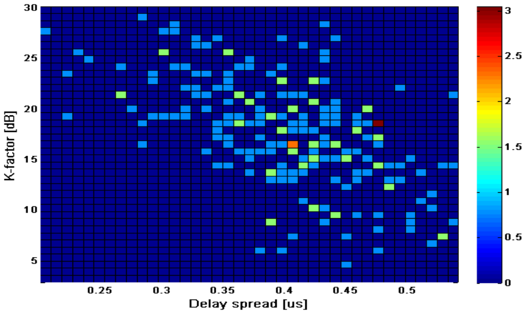


그림 8. DS과 K-factor 간의 결합분포 (시골)
Fig. 8. Joint distribution DS vs K-factor (Rural)

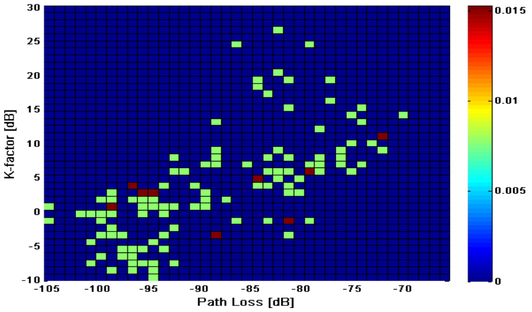


그림 9. PL과 K-factor 간의 결합분포 (교외)
Fig. 9. Joint distribution PL vs K-factor (Suburban)

표 5. 상관계수 (도심)
Table 5. Correlation Coefficients (Urban)

	거리	경로손실	지연확산	각확산	K-factor
거리	1.00	-0.90	0.96	-0.76	-0.83
경로손실	-0.90	1.00	-0.82	0.56	0.65
지연확산	0.96	-0.82	1.00	-0.77	-0.86
각확산	-0.76	0.56	-0.77	1.00	0.67
K-factor	-0.83	0.65	-0.86	0.67	1.00

표 6. 상관계수 (시골)
Table 6. Correlation Coefficients (Rural)

	거리	경로손실	지연확산	각확산	K-factor
거리	1.00	-0.73	0.48	-0.03	-0.69
경로손실	-0.73	1.00	-0.51	0.05	0.43
지연확산	0.48	-0.51	1.00	-0.29	-0.54
각확산	-0.03	0.05	-0.29	1.00	0.13
K-factor	-0.69	0.43	-0.54	0.13	1.00

표 7. 상관계수 (교외)
Table 7. Correlation Coefficients (Suburban)

	거리	경로손실	지연확산	각확산	K-factor
거리	1.00	-0.80	0.22	-0.24	-0.85
경로손실	-0.80	1.00	-0.16	0.25	0.64
지연확산	0.22	-0.16	1.00	-0.15	-0.36
각확산	-0.24	0.25	-0.15	1.00	0.27
K-factor	-0.85	0.64	-0.36	0.27	1.00

상관계수의 값은 -1.00에 가까울수록 파라미터간에 음의 상관성을 보인다는 것을 의미하며 1.00에 가까울수록 양의 상관성을 보인다는 것을 의미한다. 거리에 따른 각확산의 상관계수가 음의 값을 보이는 것은 송신기와 수신기가 가까이 위치하였을 때 더 높은 각도의 전파가 많이 들어왔음을 의미한다. 또, 도심 환경에서의 상관 계수가 다른 환경에서 상관 계수보다 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 도심환경에서 거리에 따라 채널 파라미터들 값의 변화가 크기 때문이며 이는 거리에 따라 전파가 겪는 페이딩 현상과 반사, 회절, 산란등의 효과가 많다는 것을 설명한다.

V. 결 론

본 논문에서는 새로운 이동통신 시스템 설계를 위해 후보 주파수 781MHz에서 채널 파라미터 간에 상관도를 분석하였다. 먼저 측정 데이터를 바탕으로 채널 파라미터 경로 손실, 지연 확산, 각 확산, K-factor를 도출하였다. 경로 손실, 지연확산, 각 확산은 도심환경에서 가장 큰 값을 보였고 시골환경에서 K-factor 값이 가장 큰 것으로 보아 LOS 성분의 신호가 가장 많이 들어 왔음을 확인 하였다. 또, 도출된 파라미터 간에 도심, 시골, 교외 지역에서 상관도를 분석한 결과 도심 환경에서 상관 계수가 다른 환경보다 큰 것을 확인하였다. 이는 다른 지역보다 거리에 따라 건물, 인구, 수풀에 따른 페이딩 현상이 많이 일어났음을 설명한다. 채널 파라미터와 상관도 분석을 통해 국내 이동통신 시스템 설계에 도움을 줄 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

Reference

[1] J. Walfisch, and H.L. Bertoni, “A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments,” IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.36, no.12, pp. 1788-1796, Dec.1988.

[2] J.R. Hampton, N.M. Merheb, W.L. Lain, et al., “Urban Propagation Measurements for Ground Based Communicationin the Military UHF Band,” IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.54, no.2, pp.644-654, Feb. 2006.

[3] J.W. Lim, S.W. Kwon, H.W. Moon, Y.H. Park, Y.J. Yoon, J.G. Yook, J.S. Jeong, J.H. Kim,“Study on the Measurement System for MIMO Channel Considering Urban Environment at Microwave Frequencies”, The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 18, no.10, pp. 1142-1149, Oct. 2007.

[4] T. H. Im, I. S. Park, H. J. Yoo, et al., "An Efficient Soft-Output MIMO Detection Method Based on a Multiple-Channel-Ordering Technique", ETRI Journal, vol.33, no.5, pp.661-669, Oct. 2011.

[5] Nitesh Shroff, K. Giridhar, "Biased Estimation of Rician K factor", IEEE International Conference

[6] Gunnar Eriksson et al., "Urban Peer-to-Peer MIMO Channel Measurements and Analysis at 300MHz", IEEE Military Communications Conference, pp.1-8, 2008.

[7] Draft Revision of Recommendation ITU-R P.1411-5, “Propagation and prediction methods for the planning of short-range outdoor radio communication systems”, 2011

[8] T. S. Rappaport, “Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings,” IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.37, no.8, pp.1058-1069, Aug.1989.

[9] D. H. Ha, Y. H. Lee,"The Implementation of A Modified Channel Model Simulator for UWB System in Indoor Radio Propagation Environment", Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 9, no.4, pp. 93-104, 2011.

[10] T. K. An, B. H. Kim, M W. Nam, Y. S. Lee, S. K. Jeong, M. K. Oh, "Development of a Simulator for Radio Propagation Path Loss in Tunnel at 18GHz", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 12, no.4, pp. 1796-1802, 2011.

[11] W. H. Jeong, J. S. Kim, M. W. Jung, Y. K. Yoon, J. H. Kim, K. S. Kim, "MIMO Radio Channel Measurement and Analysis at 781MHz", Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 12, no.2, pp. 181-188, 2012.

저자 소개

정 명 원(정회원)

- 2006년 2월 : 충남대학교 전파공학과 졸업(공학사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 전파공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 2008년 5월~2009년 2월 : 한국기계연구원 신뢰성평가센터 연구원
- 2009년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 전파기술연구부 스펙트럼공학연구실 선임연구원
- 2010년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정

<주관심분야 : 전파전파, 스펙트럼공학, 무선채널분석, MIMO, MU-MIMO, 채널모델 등>

백 정 기(정회원)

- 1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1978년 2월~1983년 2월: 국방과학연구소 연구원
- 1985년 2월: Virginia Tech Electrical Engineering(공학석사)
- 1988년 2월: Virginia Tech Electrical Engineering(공학박사)
- 1988년 3월~1989년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1989년 3월~2004년 2월: 동아대학교 전기공학과 조교수
- 2004년 4월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

<주 관심분야: 전파전파, 전자파 산란 및 인체영향 등>

정 영 준(정회원)

- 1992년 2월: 제주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1994년 2월: 서강대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 2005년 2월: 충남대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 1994년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구부 스펙트럼공학연구실 실장, 책임연구원

<주 관심분야: 스펙트럼공학, RF 회로 및 시스템, 디지털 무전기 등>