

700 MHz 대역에서 도심 지역 건물 밀집도를 고려한 MIMO 채널 특성 분석

Analysis of MIMO Channel Characteristics Considering the Building Density in the Urban Area at the 700 MHz Frequency Band

정명원 · 김종호 · 정영준 · 백정기*

Myoung-won Jung · Jong Ho Kim · Young Jun Chong · Jeong Ki Pack*

요 약

도심 지역은 무선 채널 환경 중 대표적인 이동 통신 사용 지역으로서, 건물의 밀집도가 다양하게 분포하는 형태를 보인다. 건물 밀집도의 차이는 신호전달 과정에서 상당한 영향을 미칠 것으로 예상되어, 건물 밀집도의 정도가 채널 특성 분석에 있어서 영향을 미칠 가능성을 고려하여 전파 특성을 분석할 필요성이 있다. 측정은 제주도 인근 도심 지역에서 실시하였으며, 채널 사운더와 4×4 안테나로 채널 특성을 측정하였다. 측정된 데이터를 바탕으로 도심 지역에서 건물 밀집도를 고려한 채널 특성을 도출하였다. 본 논문은 700 MHz 대역에서 도심 지역 건물 밀집도를 고려한 MIMO 시스템의 전파 채널 측정을 통해 측정 데이터를 분석하고, 채널 특성을 도출하였다.

Abstract

Urban area is a representative environment of wireless channels in the mobile communication, building density has a different distribution depending on the location. Building density has affect to propagation prediction For this reason, building density is expected to affect to the channel characteristics, we need to analyze it. We measured channel characteristics in urban areas of Jeju island by channel sounder and 4×4 antenna. Channel characteristics considering the building density were derived based on the measured data in the urban area. In this paper, the measurement data is analyzed and channel characteristics are derived through MIMO Channel measurements at 700 MHz considering the building density in the urban area.

Key words : MIMO, Building Density, Channel Characteristics, Channel Capacity

I. 서 론

최근 주파수 포화현상으로 인해, 신규 주파수의 확보가 사실상 매우 어려운 직면에 처해 있다. 이에

따라, 기존 UHF 대역의 주파수의 회수 재배치를 통한 신규 이동 통신 시스템으로의 주파수 배치가 이루어지고 있다^{[1]~[6]}. 현재 700 MHz 대역의 경우 주파수가 차세대 이동 통신 시스템으로의 배치가 유력

「본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신-방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.」

한국전자통신연구원 전파기술연구부(Department of Electronic Engineering, Radio Technology Research Department, ETRI)

*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received April 16, 2013 ; Revised July 5, 2013 ; Accepted July 16, 2013. (ID No. 20130416-046)

· Corresponding Author : Jeong Ki Pack (e-mail : jkpack@cnu.ac.kr)

하게 진행되고 있으며, 이 주파수는 방송시스템 용도로 사용된 주파수로서, 전파 특성 및 시스템을 위한 채널 특성 분석 연구는 초기단계에 있다^{[7],[8]}.

이에 선행 연구를 통해, 700 MHz 대역의 경로 손실 특성, 지연확산 특성, 각확산 특성 등을 분석하여 기존 모델과 비교 분석하였으며, 900 MHz 대역 주파수 대역과 차이가 있음을 확인할 수 있었다^[9]. 향후 도입될 무선 통신 시스템은 광대역 대용량 시스템으로서, 전파 경로에 따른 특성만으로는 분석의 한계가 있어, MIMO 채널 측정을 통한 채널 응답을 분석하고, 그 결과를 이용한 채널 특성 도출이 필요하다. 또한, 도심 지역의 경우 전파의 진행경로에 무수히 많은 클러스터(빌딩, 나무, 차량 등)가 존재하기 때문에 주변 밀집도에 따른 신호의 특성도 상당히 변화할 가능성이 존재하기 때문에, 이에 대한 분석이 필요하다^[10].

이에, 본 논문에서는 700 MHz 대역에서 4x4 안테나와 채널 사운더를 이용하여 도심 건물 밀집 환경에서 채널 특성을 측정하고, 그 결과를 분석하였다. 본 논문의 2장에서는 측정시스템 및 측정 환경, 건물 밀집도를 분석하였으며, 3장에서는 건물 밀집도에 따른 전파 특성 상관관계를 분석하였고, 4장에서는 건물 밀집도에 따른 채널 특성 분석 결과를 기존 전파 예측 방법과 비교분석하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 제시하였다.

II. 측정 환경 및 건물 밀집도 분석

측정은 두 차량에 장착 된 안테나를 사용하여 제주도의 도심환경에서 실행하였다. 그림 1에는 측정 환경 및 측정셋업을 나타내었다.



그림 1. 측정 환경 및 측정 셋업
Fig. 1. Measurement environment and set-up.

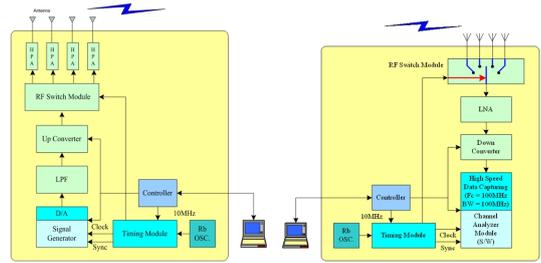


그림 2. 채널 사운더 구성도
Fig. 2. Channel sounder structure.

표 1. 채널 사운더 성능 규격
Table 1. Channel sounder performance standard.

항목	규격
동작 주파수	756~806 MHz
채널 대역폭	50 MHz
송신기 출력 전력	10 Watt @HPA 출력
수신 감도	-81 dBm/50 MHz
송신 안테나 수 수신 안테나 수	4 4
Input/output VSWR	1 : 1.5
Input impedance	50 Ω
안테나 이득	송신 안테나 : 10.04 dBi 수신 안테나 : 2.15 dBi (무지향성 안테나)
주파수 안정도	10^{-11}
Chip rate	50 Mcps
PN length	4,096 chips

도심 지역에서 측정차량에 MIMO 전파 특성 측정용 채널사운더를 장착하고, 송신차량은 지면으로부터 5 m 높이에 송신 안테나(지향성 안테나, HPBW: 45°) 4개를 1 λ 간격으로 설치하였으며, 수신 차량은 지면으로부터 1.5 m 높이에 수신 안테나(무지향성 안테나) 4개를 1 λ 간격으로 설치하였다. 송신 안테나의 방향을 수신 차량 방향으로 배치한 후, 수신 차량이 송신차량에서 멀어지는 방향으로 측정을 진행하였다.

측정 시스템의 채널 사운더의 구성도는 그림 2에 나타내었고, 성능 규격은 표 1에 나타내었다.

781 MHz 주파수를 중심으로 국내 도심환경에서 건물 밀집도에 따른 전파 특성을 분석하기 위한 전파 특성 측정 시스템을 구축하였다. 송신단 base ba-

nd 모듈에서 50 MHz 대역폭의 IF 신호를 발생시키고, RF 모듈에서 UHF 대역으로 up-converting 시켜서 신호를 발생시켰다. 또, 송신단 RF 모듈에서 4개의 신호로 switching하여 HPA 모듈에서 최대 40 dBm 전력으로 송출시켰다. 송출된 신호를 수신단 RF 모듈에서 4개의 신호로 결합하여 수신단 제어 컴퓨터에서 RF 신호를 디지털 신호로 전환한 뒤 제어 프로그램에서 IF 신호를 처리한 후 저장 및 시각화 하는 작업을 실시하였다. 이 때 송수신 시스템에서 사용하는 모든 클럭은 10 MHz 류비덤 오실레이터를 동기 신호 및 기준 클럭으로 사용하여 정확도를 향상시켰다. 채널 사운더를 이용한 측정 결과를 통해, 경로 손실, 지연확산, 각확산, 채널 용량, MIMO 각 채널의 상관관계 등의 도출이 가능하다. 또한, 일반적으로 MIMO 시스템은 안테나 지향성 및 채널 다중도 증가로 공간 해석 능력이 향상되어, 송신 출력을 높이거나 주파수 범위를 할당할 필요 없이 SISO 시스템에 비해 채널 용량이 증가하는 효과를 갖는다.

측정은 총 2개의 도심 지역에서 진행하였고, 빌딩 밀집도의 산출은 측정 지역의 GIS(Geographic Information System) 데이터를 기준으로 하였으며, 빌딩 밀집도의 산출식은 식 (1)과 같다^[11].

$$b_d = \frac{\text{Building standing area}}{\text{Region area}} \quad (1)$$

이때, 전파의 도달거리를 기준으로, 측정 경로에



그림 3. 측정 지역의 밀집도 분석 영역
Fig. 3. Analysis section in the measurement area.

표 2. 측정 환경
Table 2. Channel sounder performance standard.

번 호	측정 환경	측정 거리 (m)	측정 조건	평균 건물 밀집도(%)
1	도심	1,000	도로 양방향 건물 밀집	47
2	도심	875	도로 한방향 건물 밀집	48

서 약 80 m 간격 내의 건물의 분포를 기준으로 밀집도를 산정하였다. 그림 3에 밀집도 분석 영역을 도시하고, 표 2에 두 도심 지역 환경 정보를 나타내었다.

III. 건물 밀집도에 따른 전파 특성 상관관계

본 장에서는 건물 밀집도의 정도에 따라 전파 특성 파라미터에 얼마나 영향을 미치는 것인가를 분석하였다. 고려한 전파 특성 파라미터들은 large scale parameters(LSPs)로 각 변수들의 상관관계와 건물 밀집도의 관련성을 분석하였으며, 상관계수는 식 (2)를 통해 계산하였다^[12].

$$\rho(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x(i) - \bar{x})(y(i) - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x(i) - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y(i) - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

x 변수에는 경로 손실, 지연확산, 각확산, 건물 밀집도를, y 변수에는 거리 정보를 반영하여, 거리에 따른 각 변수들의 상관관계를 도출하였다.

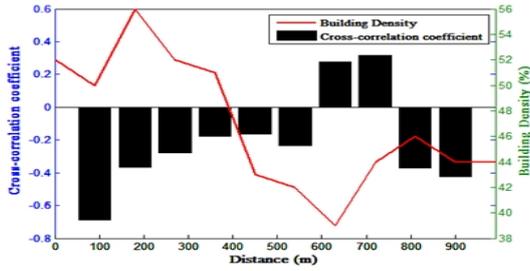
3-1 경로 손실

경로 손실은 거리의 제곱에 반비례하는 특성을 보이지만, 건물 밀집도에 따른 변화는 거리에 반비례하지 않으며, 그 상관관계는 그림 4와 같다.

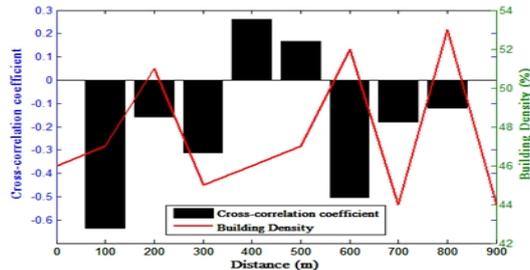
그림 4(a)에서 보는 바와 같이, 거리에 따른 경로 손실의 상관관계는 0 m에서 400 m까지는 음(-)의 형태로 항상 양(+)의 관계를 보이고 있지 않다. 그 외 환경에서도 거리에 따른 상관관계가 양(+)일 때, 경건물 밀집도는 낮은 경향을 보이고, 그 외 경우는 반대의 경향을 보인다. 이것은 손실 특성이 수신 환경의 건물밀집도가 높을수록 다중 경로 신호의 증가로 인해, 거리에 따른 경로 손실을 줄여주는 효과를 보인 것으로 판단된다. 즉, 건물 밀집도가 높은 영역에서 경로 손실의 크기가 감소하는 것을 나타내는 것이다.

3-2 지연 확산

경로 손실 특성과 마찬가지로, 신호 경로상의 지연확산 특성은 거리에 비례하는 특성을 갖는다. 하지만, 거리에 따른 건물 밀집도는 반비례하지 않



(a) 측정 환경 1
(a) Site 1



(b) 측정 환경 2
(b) Site 2

그림 4. 건물 밀집도를 고려한 경로 손실 특성
Fig. 4. Path loss according to building density.

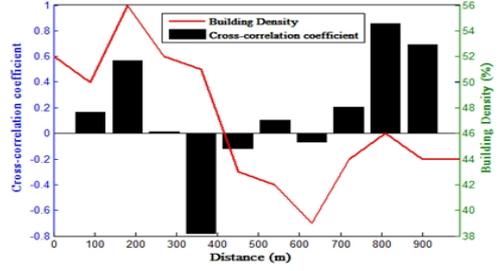
며, 둘의 관계는 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 보는 바와 같이, 경로 손실의 경우와 반대의 경향을 보이고 있다. 거리에 따른 지연확산이 양(+)의 상관관계일 때, 건물 밀집도는 높은 경향을 보이고 있다. 그 외 경우는 반대의 경향을 갖는다. 이것은, 건물 밀집도가 높을 때, 거리에 따른 지연확산의 크기가 증가하는 것을 나타낸다.

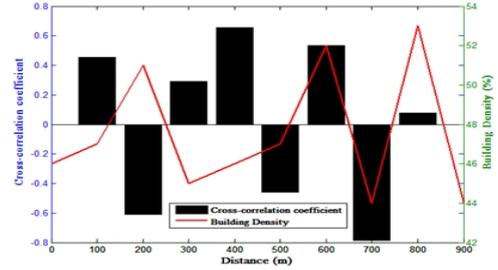
3-3 각 확산

각확산의 경우, 경로 손실과 유사하게 거리가 반비례하여 감소하는 경향을 보인다. 그러나 건물 밀집도와는 반비례 관계를 갖지 않으며, 그림 6에 그 결과를 나타내었다.

그림 6에서 보는 바와 같이, 경로 손실의 경우와 유사하게 거리에 따른 각 확산 특성은 거리에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 거리에 따른 각확산이 양(+)의 상관관계일 때, 건물 밀집도는 높은 경향을 보인다. 그 외 경우는 반대의 모습을 보인다. 즉, 건물 밀집도가 높을 때, 거리에 따른 각확산의 크기가 감소하는 것을 나타내는 것이다.

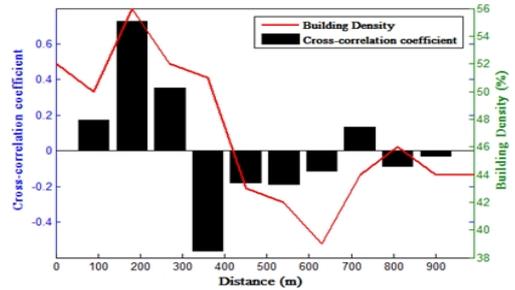


(a) 측정 환경 1
(a) Site 1

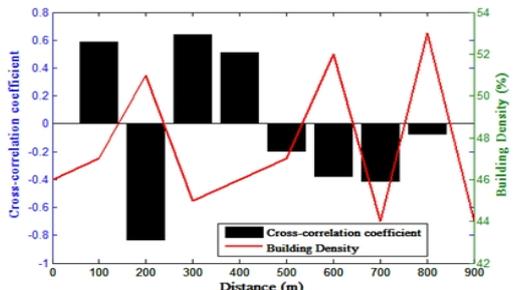


(b) 측정 환경 2
(b) Site 2

그림 5. 건물 밀집도를 고려한 지연확산 특성
Fig. 5. Delay spread according to building density.



(a) 측정 환경 1
(a) Site 1



(b) 측정 환경 2
(b) Site 2

그림 6. 건물 밀집도를 고려한 각 확산 특성
Fig. 6. Angular spread according to building density.

IV. 건물 밀집도에 따른 채널 특성 검증

앞장에서 건물 밀집도에 따른 전파 채널 파라미터들의 변화를 도출하였다. 본 장에서는 건물 밀집도를 변화시켜 전파 채널 파라미터들의 변화 정도를 확인하고, 건물 밀집도에 따른 전파 채널 특성의 변화를 분석하였다.

도출된 빌딩 밀집도에 따른 파라미터 간에 교차상관계수는 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_{LSP}(b_d) = Ab_d + B \quad (3)$$

LSP는 large scale parameter이며, 실제 분석데이터와 fitting 결과는 그림 7과 같으며, 전제 결과 중에서 경로 손실 결과만을 나타내고, 나머지 결과는 표 3에 나타내었다.

표 3에서 PL은 경로 손실, DS는 지연확산, AS는 각확산을 나타낸다. 위 표에서 보는 바와 같이, 건물 밀집도의 변화에 따라 전파 채널 파라미터는 유동적으로 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 이용하여, 실제 전파 채널 파라미터에 건물 밀집도가 미치는 영향도 확인이 가능하다. 실제 환경에 대한 건

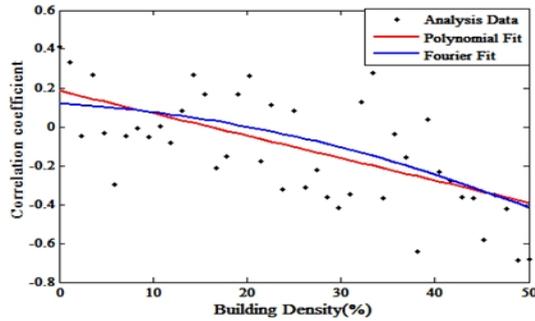


그림 7. 건물 밀집도의 상관계수 특성
Fig. 7. Correlation coefficient according to building density.

표 3. 빌딩 밀집도에 따른 상관계수
Table 3. Correlation coefficient constant for building density.

Parameter	A	B
PL vs distance	-0.011	0.179
DS vs distance	0.024	-0.515
AS vs distance	0.018	-0.502

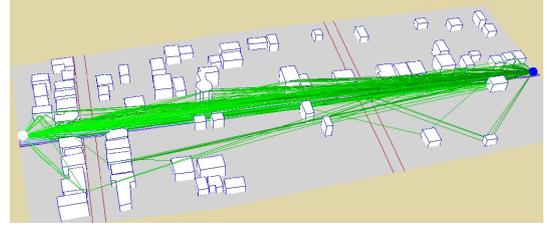
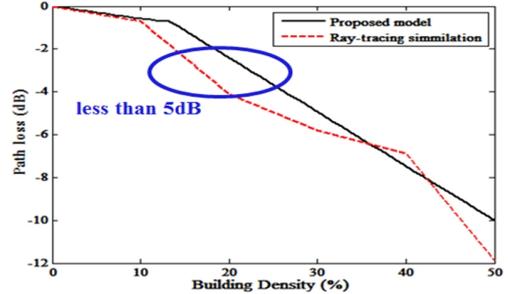
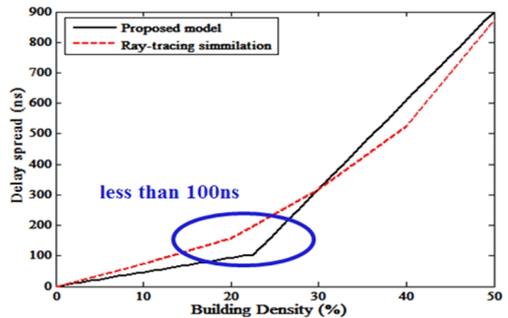


그림 8. 전파추적 기법을 이용한 시뮬레이션(건물 밀집도 20 %)
Fig. 8. Ray-tracing simulation(Building density 20 %).

물 밀집도의 추출에는 주관적인 의견이 반영되므로, 전파추적 알고리즘 기법과 실제 측정 환경에서의 GIS 데이터를 이용하고 전파 특성을 분석하였다. 지표 면적과 건물의 면적을 이용하여 건물 밀집도를 계산하고, 건물밀집도를 10 %에서 50 %까지 10 % 간격으로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 20 %의 건물 밀집도 환경에서의 시뮬레이션 전파추적 과정을 그림 8에 나타내었다.



(a) 경로 손실
(a) Path loss



(b) 지연 확산
(b) Delay spread

그림 9. 전파 추적 기법과 제안 방법의 비교 결과
Fig. 9. Comparison result with ray-tracing and proposed method results.

그림 9에는 건물 밀집도를 고려한 경로 손실 추출 방법과 전파추적 기법을 이용한 경로 손실 예측 결과와 비교한 결과를 나타내었다. 위 그림에서 보는 바와 같이, 경로 손실은 5 dB 이내에서 차이를 보이고, 지연확산은 100 ns 이내에서 차이를 보이고 있다. 이것은, 전파추적기법에 있어서 오차 범위 내의 결과로서, 분석 결과를 충분히 활용 가능하다는 것을 보여주는 것이다. 단, 도심 이외의 지역에서 추가적인 측정 및 분석을 통해 우리의 결과를 보완할 필요가 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 포화상태인 UHF 대역에서 차세대 이동 통신 시스템의 설계 및 도입을 위하여, 후보 주파수인 700 MHz 대역에서 도심 지역의 건물 밀집도와 전파 채널 파라미터의 거리에 따른 상관관계를 도출하였다. 도출 결과의 검증을 위해 측정 결과 및 전파추적기법을 통한 검증으로 측정결과의 타당성을 검증하였다. 검증 결과, 건물 밀집도를 이용한 전파예측의 결과와 전파추적 기법을 이용한 결과가 시뮬레이션 오차 범위에서 유사성을 보이는 것을 확인하였다. 다만, 현재의 결과는 전파경로에 있어서 도심 지역의 직선경로 및 가시경로 환경에서 측정된 결과를 분석한 것으로, 앞으로 도심 외 지역과 비가시경로의 복합 환경에서 측정 및 분석을 통해 분석결과를 확인하고, 일반 환경으로 확대할 필요가 있을 것으로 판단된다. 향후, 부도심 및 기타 전파환경의 비 가시경로를 포함하는 다양한 환경에서 건물 밀집도를 이용한 추가적인 전파 특성을 측정하고, 분석을 진행할 계획이다.

References

[1] 정우수, 조병선, 하영욱 "해외 저대역 주파수 이용동향", 전자통신동향분석, 22(6), pp. 182-193, 2007년.
 [2] 정현규, 이광천, "차세대 이동 통신 무선 채널모델 연구동향", 전자통신동향분석, 21(3), 2006년 6월.
 [3] 임재우 외 7명, "도심 환경을 고려한 마이크로파 대역 MIMO 전파 채널 측정 시스템에 관한 연구",

한국전자과학회논문지, 18(10), pp. 1142-1149, 2007년 10월.
 [4] Ji Li, Jean Conan, and Samuel Pierre, "Joint estimation of channel parameters for MIMO communication systems", 2nd International Symposium on Wireless Communication Systems 2005, pp. 22-26, 2005.
 [5] Han-Shin Jo, Jong-Gwan Yook, "Path loss characteristics for IMT-advanced systems in residential and street environments", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 9, pp. 867-871, 2010.
 [6] J. W. Lim, S. W. Kwon, H. W. Moon, Y. H. Park, Y. J. Yoon, J. G. Yook, J. S. Jeong, and 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.
 [7] 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.
 [8] Recommendation ITU-R M.2531, "WINNER II Channel Models", 2007.
 [9] M. W. Jung, J. H. Kim, J. I. Choi, et al., "An enhanced approach for a prediction method of the propagation characteristics in Korean environments at 781 MHz", ETRI Journal, vol. 34, no. 6, pp. 911-921, Dec. 2012.
 [10] Z. Xiongwen, H. Lassi, M. Juha, J. Tommi, K. Pekka, and N. Jukka-Pekka, "Correlations of wide-band channel parameters in street canyon at 2.45 and 5.25 GHz", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 6, pp. 252-254, 2007.
 [11] Q. Wu et al., "Urban building density detection using high resolution SAR imagery", Jurse, pp. 45-48, Apr. 2011.
 [12] A. Bottcher et al., "Cross correlation characteristics of large scale parameters in urban macro cell", VTC, Sep. 2011.

정 명 원



2006년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2008년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2008년 5월~2009년 2월: 한국기계연구원 신뢰성평가센터 연구원
2009년 3월~현재: 한국전자통신연구원

구원 전파기술연구부 선임연구원

2010년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 전파자 전파/산란, 전파전파 특성 예측모델링, 스펙트럼 공학

정 영 준



1992년 2월: 제주대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1994년 3월~현재: 한국전자통신연구원

스펙트럼공학연구실 실장, 책임연구원

[주 관심분야] 스펙트럼공학, RF 시스템, 디지털 무전기

김 중 호



1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1989년 3월~현재: 한국전자통신연구원

스펙트럼공학연구실 책임연구원

[주 관심분야] 스펙트럼공학, 전파전파, 채널모델

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1978년 2월~1983년 2월: 국방과학연구소 연구원
1985년 2월: Virginia Tech Electrical Engineering (공학석사)
1988년 2월: Virginia Tech Electrical Engineering (공학박사)

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 인체영향 등