

국내 대도시 환경에서의 벡터 채널 분석

정회원 고학림*, 김성래*, 이종헌**

A Vector Channel Characteristics in the Dense Urban Area

Hak-Lim Ko*, Sung-Lae Kim*, Jong-Hean Lee** *Regular Member*

요약

공간 필터링 시스템은 시·공간 벡터 채널 특성에 의해 그 성능과 용량이 영향을 받는다. 본 논문에서는 배열 안테나를 이용하여 국내 대도시 환경에서 측정을 수행하고 측정된 데이터를 이용하여 대도시 환경에서의 시·공간 벡터 채널을 분석하였다. 분석 결과 국내와 같이 높은 건물이 많은 대도시 환경에서는 셀 안에 사용자가 균일하게 분포되어 있더라도 기지국에 수신되는 신호는 도로 방향이나 상가 방향에서 집중되어 수신되었으며, 사용자가 한 방향에서 다른 방향으로 점진적으로 이동할 때 수신되는 신호의 방향은 사용자의 이동에 의해 점진적으로 변하지 않고 한 방향에서 다른 방향으로 급격하게 점프되어 변함을 알 수 있었다.

Keywords : Spatial filtering system, Vector channel model, Angle-delay spread

ABSTRACT

The capacity and the performance of the spatial filtering system depends on the spatial properties of wireless vector channel. In this paper, we have analyzed the wireless vector channel characteristics in the dense urban area using the data collected from the real environments. After analyzing the measurement data, it has been found out that the signals were received mainly from only a few directions (such as roads or commercial buildings) even if mobile users are randomly distributed in a cell. Moreover, the DOA(Direction-of-Arrival) of a received signal may not change continuously while a mobile is moving, it may jump from one direction to the other direction with fading.

I. 서론

CDMA(Code Division Multiple Access) 시스템의 성능과 용량은 동일한 주파수를 공유하는 다중접속 간섭(MAI: Multiple Access Interference)에 의해 제한된다. 따라서 향후 낮은 비트 에러율(BER: Bit Error Rate)을 요구하는 고속의 데이터 통신을 서비스하기 위해서는 다중접속 간섭이 감소되어야 한다. 그러므로 최근 다중접속 간섭을 감소시키기 위해 스마트 안테나 시스템과 같은 공간 필터링 방

법[1-2]이 연구되고 있다. 공간 필터링 방식에서는 원하는 사용자 신호의 수신 방향을 추정하고, 추정된 방향으로만 전력을 집중시켜 전파를 송·수신함으로써, 원하는 사용자의 신호와 다른 방향으로부터 송·수신되는 다중접속 간섭을 줄여 시스템의 성능과 용량을 향상시킨다. 하지만 공간 필터링 시스템의 성능은 셀 내에서 사용자의 공간 분포와 각 사용자 신호의 도달각 분산에 의해 큰 영향을 받는다[3-4]. 따라서 공간 필터링 시스템의 성능을 보다 정확하게 분석하기 위해서는 셀에서 실제의 전파환

* 호서대학교 벤처전문대학원 정보통신융합기술사업(wtkim@array.hoseo.ac.kr)

** SK텔레콤 중앙연구원

논문번호 : 030528-1125, 접수일자 : 2003년 11월 25일

※ 본 연구는 SK텔레콤 중앙연구원의 지원으로 수행되었습니다.

경과 유사한 사용자의 공간 분포와 각 사용자 신호의 도달각 분산이 고려된 채널 모델을 이용해야 한다.

현재 공간 필터링 시스템의 성능을 분석하기 위한 여러 가지 벡터 채널 모델이 제안되고 있으며, 이러한 채널 모델은 다음의 두 가지 관점에서 연구되고 있다. 첫 번째는 셀 내에서 사용자의 수신 신호의 공간 분포에 대한 공간 분포 모델이다. 이러한 모델에서는 사용자가 셀 안에 균일하게 분포되어 있을 때, 사용자의 신호가 모든 방향으로부터 균일하게 수신된다는 균일 분포 모델[5], 사용자의 신호가 일정 방향으로부터 집중되어 수신된다는 비균일 분포모델 [6], 그리고 도로에 사용자가 많이 존재하기 때문에 도로 방향에 가중치를 주는 모델[7] 등이 있다. 또한 두 번째로는 한 사용자 신호에 대한 도달각 분산과 시간 퍼짐에 중점을 둔 모델로써, 사용자의 다중 경로 신호에 의한 scatterers가 일정 반경을 갖는 원 상에 균일하게 분포되었다고 가정하는 Lee's 모델[9], 사용자의 신호가 일정한 반경을 갖는 원 내에 가우시안적으로 분포되어 수신된다는 가우시안 분포 모델[10] 등이 있으며, 특히 Mogensen은 bad urban 모델[11]에서 복수 개의 다중경로 신호군(cluster)을 제안하였다. 하지만 상기의 모델은 여러 가지 가정 하에서 제안되었으며, 실제의 전파환경에서는 이러한 가정이 맞지 않는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 실제의 전파환경에서 측정을 수행하고, 측정 데이터를 이용하여 대도시 환경에서의 벡터 채널 특성을 분석해봄으로써, 공간 필터링 시스템의 성능 분석에 유용하게 사용될 수 있게 하였다.

II. 벡터 채널 모델

무선통신 시스템에서 송신된 신호는 벡터 채널을 통과하여 다중경로로 배열 안테나에 수신된다. 복수 사용자에 대한 무선 벡터 채널 임펄스 응답은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\vec{h}(t, \tau) = \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^{L_k} \bar{a}(\theta_{k,l}) \rho_{k,l} e^{j(2\pi f_c \tau + \phi_{k,l})} \delta(t - \tau_{k,l})$$

여기서 L_k 는 k 번째 사용자 신호에 대한 다중경로의 수이고, $\rho_{k,l}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 경로신호에 대한 채널 감쇄이며, $\alpha_{k,l}$ 는 위상 편

이이고, $\tau_{k,l}$ 은 k 번째 사용자의 l 번째 경로신호에 대한 시간지연이고, $f_{k,l}$ 는 도플러 주파수이며, $\theta_{k,l}$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 경로신호의 수신 방향이다. 그리고, $\bar{a}(\theta_{k,l})$ 는 k 번째 사용자의 l 번째 경로신호에 대한 방향벡터이다.

현재까지 제안된 벡터 채널모델에서는 식(1)의 무선채널 파라미터가 실제 벡터 채널 환경에 근사하도록 모델링 되어왔다. 그러므로 Lee모델[9]에서는 scatterers를 일정한 반경을 갖는 원주상에 균일 간격으로 배치함으로써 주변 건물의 반사에 의한 다중경로를 가정하였으며, 논문[12]의 채널 모델링에서는 사용자 방향의 좁은 빔폭 내에 다중경로에 의한 scatterers를 균일 간격으로 배치하였다. 또한, Geometrically Based Single Bounce Circular Model(GBSBCM)[13]에서는 scatterers를 반경 R을 갖는 원내에 배치하였다. 그리고 bad urban모델[11]에서는 대도시 환경에서 복수개의 scatterer cluster를 가정함으로써 수신된 신호의 도달각 분산이 증가되게 하였다. 또한, 논문[7-8]의 채널 모델에서는 수신된 사용자 신호의 도달각 분산에 대한 확률밀도함수를 사용하였다. 하지만, 현재까지 제안된 벡터 채널 모델은 일정한 가정 하에서는 실제의 무선 채널 환경과 유사하지만 그렇지 않은 경우도 종종 발생한다. 따라서 본 연구에서는 배열 안테나를 사용하여 국내 대도시 환경에서 측정을 수행하고, 측정된 데이터를 분석해 봄으로써 대도시 환경에서의 무선 벡터 채널 특성을 해석하였다.

III. 대도시 환경에서의 벡터 채널 특성

본 연구에서는 대도시 환경에서 수신되는 신호의 시·공간 특성을 분석하기 위하여 그림 1에 보이는 배열 안테나 시스템을 사용하여 측정을 수행하였다.

표1에 측정에서 사용한 송신기와 수신기의 파라미터가 보여진다. 표 1에서 보이는 바와 같이 본 연구의 측정에 사용된 송신기에서는 3.84Mcps의 데이터를 1.95 GHz의 반송 주파수로 QPSK 변조하여 전송하였으며, 수신기에서는 10.5dBd strip dipole 8 x 4 평면 배열 안테나를 사용하여 전송된 신호를 수신하였다.

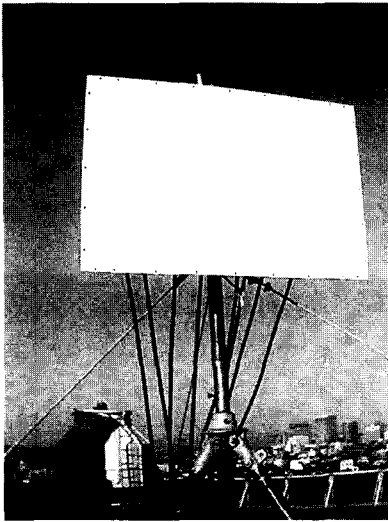


그림 1. 측정에 사용된 배열 안테나

표 1. 측정에 사용된 송·수신기의 파라미터

Antenna	Base station	10.5dB Strip Dipole 8*4 Array Antenna HPBW (horizontal : 91-103°, vertical : 15-16°)
	Mobile	0 dBd Omni Antenna
Transmitter	Frequency	1.95GHz
		25dBm
	Modulation	QPSK
	Chip Rate	3.84 Mcps
	Filter	Square Cosine Filter (Roll-off Factor=0.35)
Receiver	Frequency	70 MHz
	Channel Number	8
	Sampling Rate	19.2 MHz

또한 수신기에 수신된 신호는 70 MHz의 중간 주파수를 갖는 신호로 저주파 변환하고, 이를 A/D 변환기에서 전송된 데이터 칩 윌의 5배인 19.2MHz로 오버 샘플링 하여 디지털 데이터로 변환하였다. 본 연구에서는 디지털로 변환된 데이터를 저장하고, 저장된 데이터를 사용하여 국내 대도시 환경에서의 벡터 채널 특성을 분석한다.

2.1 측정 데이터의 분석

본 연구에서는 서울 및 분당 지역 등에서 측정을 수행하였으며, 그림 2에 측정을 수행한 한 지역의 지도가 보여진다.

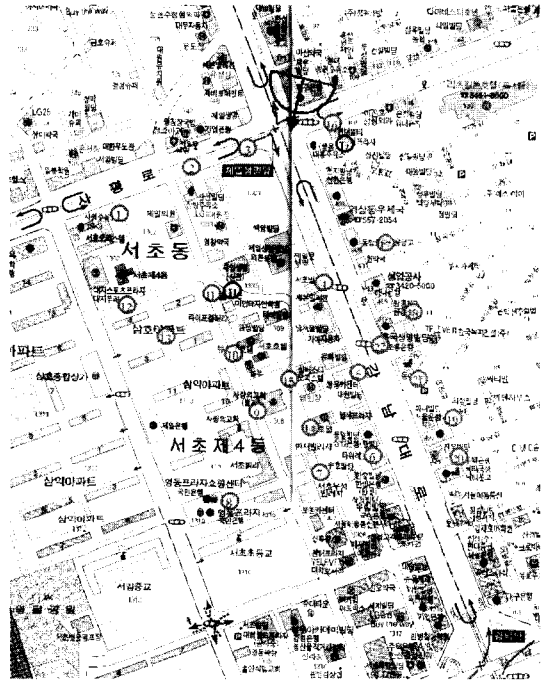


그림 2. 데이터 측정 지역의 지도

그림 2에서 보이는 바와 같이 배열 안테나는 사평로와 강남대교가 교차하는 지점의 건물 위에 설치하였으며, 지도의 파란 원으로 표시된 지점에서 표 1과 같은 파라미터를 갖는 신호를 송신하였다. 우리는 수신된 신호를 표 1에서 설명한 방법을 사용하여 디지털 데이터로 변환시킨 후 저장하였으며, 저장된 디지털 데이터를 사용하여 각 사용자 신호에 대한 angle-delay profile을 추정하였다. 그림 3에 그림 2 지도의 17번 위치에서 신호를 전송하였을 때, 수신한 디지털 데이터를 사용하여 추정할 수 있는 신호의 angle-delay profile이 보여진다.

그림 3에서 보이는 바와 같이 17번 위치에서 전송한 신호는 배열 안테나 기준에서 약 35-40°방향으로부터 수신되었으며 이는 그림 2의 지도에서 강남대로 우측에 있는 소로의 방향과 같았다. 또한, 수신된 신호의 다중경로에 의한 주 신호군(scatterer cluster)은 한 개였으며 이 cluster 내에 시간 지연된 다중경로 신호가 포함되어 있음을 알 수 있었다.

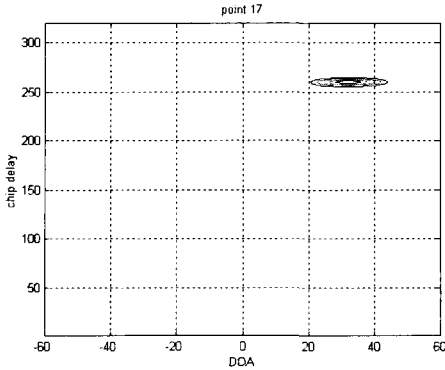


그림 3. 17번 지점에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile

그림 4는 18번 위치에서 신호를 전송하였을 때, 수신된 데이터를 사용하여 추정된 angle-delay profile이다.

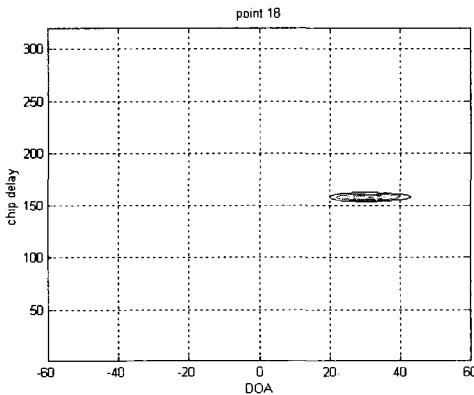


그림 4. 18번 지점에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile

그림 4에서 보이는 바와 같이 기지국에 수신된 신호는 그림 3과 거의 동일한 방향인 35-40°방향으로부터 가우시안 적인 분포로 수신되었으며, 그림 2의 16, 19 및 20번의 위치에서 전송한 신호 모두가 이와 유사한 방향으로부터 수신되는 것을 알 수 있었다. 16, 17, 18, 19, 20번은 모두 강남대로 우측에 있는 소로 상에 위치하고 있으며 이들 지점에서 전송된 신호가 모두 유사한 방향으로부터 수신된다는 것은 대도시 환경에서 도로는 마치 도파관과 같은 역할을 하기 때문에 도로 상에서 전송된 신호는 도로를 따라서 전파된다는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 성능 분석 결과 우리는 대도시 환경에서 도로

의 wave-guide 특성을 입증하였으며, 특히 사용자가 기지국으로 전파 가능한 도로 상에 위치할 때 수신된 신호의 신호군(cluster)은 한 개였다.

그림 5는 측정 지도의 9번 위치에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile이다.

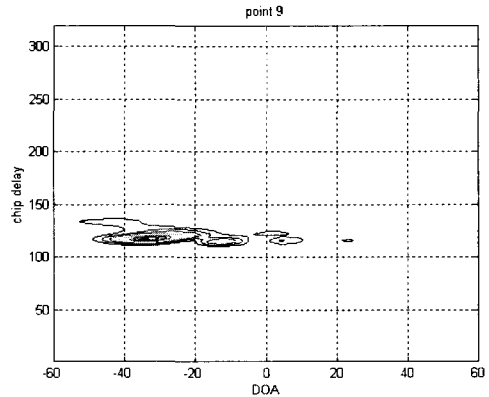


그림 5. 9번 지점에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile

지도에서 9번의 위치는 배열 안테나의 기준 방향인 0°에 위치해 있지만, 그림 5에서 보이는 바와 같이 가장 강하게 수신된 신호군은 -30°도 방향으로부터 수신됨을 알 수 있으며, 또한 복수개의 신호군이 존재함을 알 수 있다. 이는 9번 위치에서 전송된 신호의 상당부분은 강남대로의 좌측 소로를 따라 이동하다가 사평로를 만난 후에 사평로를 따라 기지국에 수신된 것이며, 일부의 신호는 9번 앞에 있는 건물 위에 회절되어 기지국에 수신된 것으로 추정된다. 따라서 도로 상에 있지 않는 사용자 신호도 상당 부분 도로를 통해 기지국에 수신됨을 알 수 있었다. 그러므로 대도시 환경에서 사용자 신호의 공간 분포 모델은 균일 분포 모델보다는 사용자의 신호가 몇 개의 방향으로부터 집중되어 수신되게 하는 확률밀도 함수를 이용하는 것이 더 현실적인 것으로 사료된다. 하지만 집중되어 수신되지 않는 방향의 확률밀도 함수 값이 0이 되어서는 않된다. 이를 그림 6을 예로 들어 설명한다. 그림 6에 측정 지도의 8번 위치에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 이용하여 추정된 신호의 angle-delay profile이 보여진다.

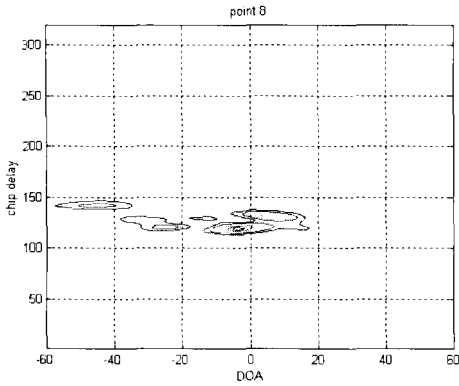


그림 6. 8번 지점에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile

지도에서 보는 바와 같이 8번의 위치는 배열 안테나 기준 방향인 0°에 위치해 있으며, 강하게 수신된 신호군은 0°주위에 분포해 있고, 복수개의 신호군이 분포해 있음을 볼 수 있다. 이것은 8번 위치 전방의 낮은 빌딩의 의해서 신호의 dominant한 경로 신호가 빌딩의 상층부에 회절되어 수신된 것으로 판단되며, 다른 신호는 빌딩의 외벽에 반사되어 도로를 통해 수신된 것으로 보여진다. 따라서 대도시 환경에서의 사용자 신호의 공간 분포 모델용 확률 밀도 함수에서는 복수개의 방향에서 피크 값(도로 방향이나 상가 건물 방향 등)을 갖고 나머지 방향에서는 낮은 확률 값을 갖는 것이 바람직해 보인다. 또한, 한 사용자 신호에 대한 도달각 분산 및 신호군의 수는 사용자가 기지국에 직접 수신이 가능하게 하는 도로상에 위치한 경우에는 하나의 신호군으로 그 이외의 지역에서는 복수개의 신호군으로 수신되는 것으로 보여진다.

그림 7에 측정 지도의 21번 위치에서 신호를 전송하였을 때, 수신된 신호를 이용하여 추정된 angle-delay profile 이 보여진다.

그림 7에서 보는 바와 같이 21번 위치에서 수신된 신호는 10°주위에서 강한 신호군(scatterer cluster)으로 수신되며, 또한 30°주위에서 또 다른 신호군으로 수신되는 것이 보여진다. 여기서 10°방향은 강남대로 방향이고 30°방향은 강남대로 우측에 위치한 소로 방향이다. 21번 위치의 앞에는 높은 건물이 있기 때문에 21번 위치에서 전송된 신호의 일부는 강남대로 방향으로 또 일부는 강남대로 우측의 소로 방향으로 수신된다.

만약 21번이 강남대로 방향에서 소로 방향으로

이동하면 신호의 수신 방향은 21번의 이동방향을 따라서 이동하지 않고, 21번이 강남대로에 있을 때면 신호는 강남대로 방향으로부터 수신되다가 21번이 강남대로 우측의 소로 방향으로 움직이면 신호는 강남대로 방향과 소로 방향 모두에서 페이딩의 영향을 받으며 수신된다. 또한 21번이 소로 상으로 이동하면 신호는 소로 방향으로부터만 수신된다. 즉, 사용자가 기지국 기준 10°방향에서 30°방향으로 이동할 때, 사용자 신호의 수신 방향은 10°에서 30°로 점진적으로 변하는 것이 아니라 처음에는 10°방향에서 수신되고, 중간에는 10°와 30°방향 모두에서 페이딩의 영향을 크게 받으며 수신되다가, 나중에는 30°방향으로부터만 수신된다. 따라서, 높은 건물이 많은 대도시 환경에서 사용자가 이동할 때, 사용자 신호의 수신 방향은 점진적으로 사용자의 이동에 따라 변하지 않고 한 방향에서 다른 방향으로 급격히 바뀌는 경우가 자주 발생한다. 따라서 적용 빔용 공간 필터링 알고리즘에서는 이러한 점프 현상이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

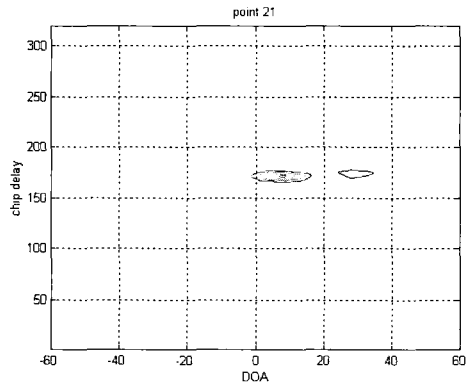


그림 7. 21번 지점에서 신호를 전송하였을 때 수신된 신호를 사용하여 추정된 angle-delay profile

이상의 측정 결과에서 보이는 바와 같이 높은 건물이 많은 국내 대도시 환경에서 사용자의 신호는 상가건물 방향이나 도로방향에서 주로 수신되었으며, 사용자의 이동시에 수신신호의 방향은 사용자의 이동 방향에 의해 점진적으로 바뀌지 않고 한 방향에서 다른 방향으로 급격히 바뀌는 현상이 자주 발생함을 알 수 있었다. 하지만 일부의 신호는 낮은 건물의 옥상위로 회절되어 사용자의 방향과 같은 방향에서 수신되는 현상도 발견되었기 때문에 높은 건물이 많지 않은 지역에서의 신호는 도로 방향과

사용자가 현재 위치하고 있는 방향으로부터 수신되리라 사료된다.

III. 결 론

본 논문에서는 높은 건물이 많은 대도시 환경에서 측정된 데이터를 이용하여 시·공간 벡터 채널 특성을 분석하였다. 측정 데이터의 분석 결과 대도시 전파 환경에서는 사용자가 셀 안에 균일하게 분포되어 있다고 하더라도, 사용자의 신호는 도로나 상가 건물 등 몇 개의 방향으로만 밀집되어 수신되었다. 또한 사용자가 상가 건물이나 기지국에 바로 전파가 가능한 도로 상에 위치하여 신호를 전송하였을 때, 신호는 하나의 신호군으로 수신되었고 이 경우 한 신호군 내에 분해 가능한 다중경로 신호가 포함되어 있었으며, 그 이외의 지역에서 신호를 전송하였을 때 신호는 복수개의 신호군으로 수신되었다. 또한, 사용자가 한 방향에서 다른 방향으로 점진적으로 이동할 때, 사용자 신호의 수신 방향은 사용자의 이동에 의해서 점진적으로 변하지 않고 한 방향에서 다른 방향으로 급격히 바뀌는 현상이 자주 일어남을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 분석된 벡터 채널 특성을 이용하면 공간 필터링용 시스템과 알고리즘의 성능을 보다 현실적으로 분석 가능하리라 사료된다.

감 사 의 글

본 논문을 위해 측정을 해주신 SK 텔레콤 중앙 연구원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications : IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.

[2] A. F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, Capacity Improvement with Base-Station Antenna Arrays in Cellular CDMA, *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. 43, No. 3, pp. 691-698, Aug. 1994.

[3] P. van Rooyen, M. Lötter, and D. van Wyk, *Space-time Processing for CDMA Mobile*

Communications, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Ma, 2000.

[4] J. Litva and T. K. Lo, *Digital Beamforming in Wireless Communications*, Artech House, Norwood, MA, 1996.

[5] Jake, W. C., *"Microwave Mobile Communications"*, Wiley, New York, 1974

[6] Tracy L. Fulghum, Karl J. Molnar, *"The Jake Model Incorporating Angular Spread for a Disk of Scatterers"*, IEEE VTC'98, pp. 489 - 493, 1998

[7] K. Leung, W. Massey, and W. Whitt, Traffic Models for Wireless Communication Network, *IEEE Journ. Select. Areas Commun.*, Vol. 12, pp. 1353-1364, Oct. 1994.

[8] M. Lötter, *Numerical Analysis of Spatial/Temporal Cellular CDMA*, PhD thesis, University of Pretoria, 1999.

[9] W. C. Y. Lee, *Mobile Communication Engineering*, McGraw Hill Publications, NY, 1982.

[10] C. Ward, M. Smith, A. Jettfries, D. Adams, and J. Hudson, *"Characterising the radio propagation channel for smart antenna system"*, Electronics & Communication Engineering, journal, pp. 191-201, Aug. 1996

[11] P. Mogensen, P. Jetterberg, H. Dam, P. L. Espensen, S. L. Larsen, and K. Olesen, *"Algorithms and Antenna Array Recommendations"*, Technical Report A020/AUC/AI2/DR/P/t/xx-D2.1.2, Tsumani(II), Sept. 1996.

[12] D. Aszetyl, *On Antenna Arrays in Mobile Communication Systems : Fast Fading and GSM Station Receiver Algorithms*, PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1996.

[13] P. Petrus, J. H. Reed, and T. S. Rappaport, Effects of Directional Antennas at the Base Station on the Doppler Spectrum, *IEEE Comm. Letters*, Vol. 1, No. 2, Mar. 1997.

고 학 림(Hak-Lim Ko)

정 회 원



1983년 2월 : 숭실대학교 전자
공학과(공학사)

1986년 8월 : Fairleigh
Dickson Univ. Electrical
Eng. (공학석사)

1995년 8월 : North Carolina
State Univ. Electrical &
Computer Eng.(공학박사)

1996년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 전기정보통신공
학부 부교수

<관심 분야> 이동통신, 배열 신호처리, 스마트 안테
나 시스템

김 성 래(Sung lae Kim)

준 회 원



2001년 : 호서대학교 전파공학
과 졸업

2001년~현재 : 호서대학교 정
보통신융용기술학과(석사과정)

<관심 분야> 이동통신, 배열 신호처리, 스마트 안테
나 시스템

이 증 원(Jong Heon Lee)

정 회 원



1985년 : 경희대학교 전자공학
과 졸업(공학사)

1987년 : 경희대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 : 경희대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학박사)

1994~1995 : Post Doctoral Fellow of the Univ.
of British Columbia

1996년 : 한국이동통신 주식회사 입사

현재 : SK 텔레콤 R&D기획팀장

<관심 분야> 이동통신 시스템, 스마트 안테나