

# OFDM 시스템 기반

## ITS의 성능 분석

Performance of OFDM-based ITS

김윤현\*, 김진영\*\*

광운대학교

Key Words : OFDM, Cyclic prefix, Delay spread, Doppler shift

### 목 차

- I. 서론
- II. 시스템 모델
- III. 실험 결과
- IV. 결론

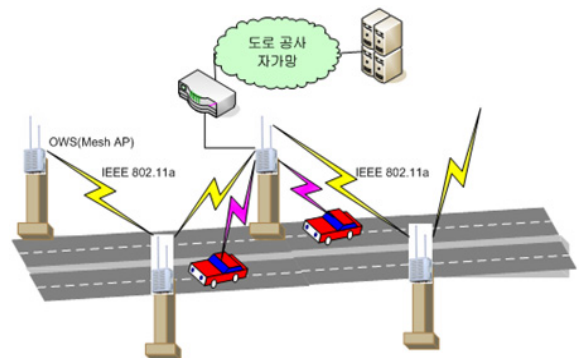
## I. 서론

지능형 교통 시스템 (ITS : Intelligent Transport System)은 기존의 교통체계를 정보통신, 전자, 제어 컴퓨터 등의 첨단기술과 접목시켜 교통의 이동성, 안정성, 효율성 및 교통환경을 혁신적으로 개선하는 신 교통체계를 말한다. 그림 1에서 보이듯이 ITS가 기존의 단순한 차량간의 정보 및 도로상황 전달만의 목적이 아니라 보다 다양하고 정확한 주변 환경 및 도로정보를 신속히 전달하기 위해서 OFDM (Orthogonal Division Multiple Access)기반의 연구가 진행되고 있다. OFDM은 우선, 고속의 데이터 스트림을 병렬구조의 부반송파 개수만큼 나누어서 전송한다. 병렬구조로 나누어진 각 데이터 스트림은 각각 저속의 심볼 전송율로 변조된다 [2]. 이렇게 저속으로 변형된 데이터 스트림 전송은 Doppler shift에 의한 채널 페이딩 현상을 보상해 준다 [3]. 또한 저속 데이터 스트림을 병렬의 부반송파에 실어서 전송함으로써 고속의 데이터 전송이 가능하다. 또한, OFDM의 큰 특징 가운데 하나로 CP 삽입을 들 수 있다. IFFT(Inverse fast Fourier transform)로 얻어진 각 데이터 블록 마지막 부분의 심볼들을 복사해서 각 데이터 블록 앞에 붙임으로써 delay spread로 인한 ISI를 방지할 수 있다 [4][5].

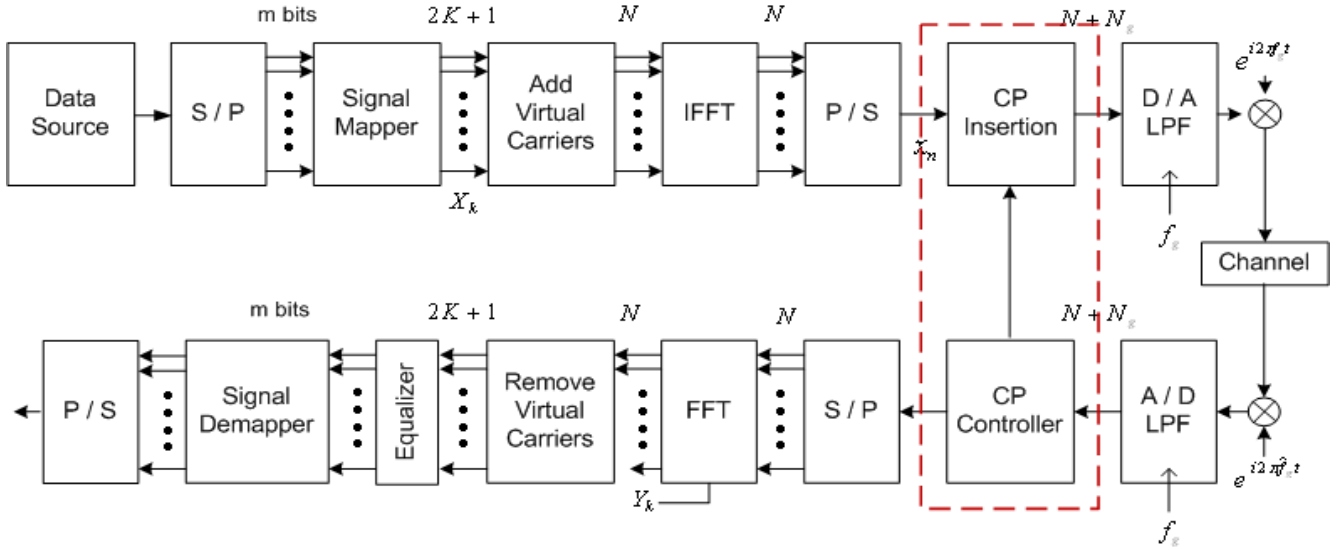
CP 삽입이 OFDM 시스템 성능향상에 큰 기여를 하지만, 고정된 CP 길이는 시스템에 오버헤드를 유발한다. 예를 들어, 802.11a 무선 랜 시스템에서는 데이터 블록길이의 1/5만큼을 고정 CP로 사용함으로써 시간과 에너지를 CP로 인해 소비한다 [6]. 그리고 802.16e 시스템에서는 코드율에 따라 가변적으로 CP길이를 조절하지만, CP로 인해 발생하는 시간 및 에

너지 측면에서의 직접적인 해결책으로 볼 수 없다. 따라서 본 논문에서는 delay spread 된 수신 신호를 이용하여 CP길이를 가변적으로 변경할 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

본 논문에서는 가변적인 CP길이의 설정을 위해 멀티 패스 채널을 통해 delay된 수신 신호간의 상관관계 값을 이용하였다 [7]. 우선 delay된 수신 신호들을 분석하여 노이즈 레벨 이하의 수신 파워를 가지는 신호는 배제하였다. 그리고 첫 번째와 마지막 delay된 신호의 상관관계 값을 구해서 몇 번째 심볼에서 최대 상관도를 가지는지 그 값을 구한다. 구해진 값을 다시 송신단에 피드백하여 다음 전송 될 데이터 블록의 CP 값을 조절하였다. 하지만 채널 상태가 빠르게 변하는 상황에서는 재편성 된 CP 길이로 인해 심볼간의 간섭을 일으켜 BER을 악화시킨다. 따라서 본 논문에서는 채널상태에 따라 CP 길이를 조절하는 심볼 간격을 조절하였으며 매 심볼마다 CP 길이를 조절한 방법과 데이터 속도 및 파워로스 측면에서 비교하였다.



<그림 1. 고속도로 이용을 위한 광대역무선 접속 인프라>



<그림 2. 적응형 CP 길이를 갖는 제안된 OFDM 시스템>

본 논문의 실험은 Rayleigh 채널을 이용하였으며, 수신단이 100Km/h 와 130Km/h의 속도로 움직인다는 가정 하에 Doppler 효과를 고려하였다. 이러한 실험 환경을 바탕으로 제안한 가변적 CP 길이를 이용하였을 때의 데이터 전송 속도와 파워 소비 측면에서의 이득을 실험 결과로 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델에 대해 자세히 설명하였으며, 3장에서는 실험 결과를 보여주고 마지막으로 4장에서 결론을 맺도록 하겠다.

## II. 시스템 모델

그림 2는 본 논문에서 제안한 적응형 CP 길이를 갖는 OFDM 시스템을 나타낸다. 제안된 시스템에서 샘플 시간을  $0.2\mu s$  으로 설정하였으며 데이터 블록 크기를 128로 하여 하나의 블록 구간은  $25.6\mu s$  이 된다. 본 시스템에서는 FFT point를 128 point로 실험하였다.  $0.2\mu s$  시간으로 데이터를 생성하여 OFDM 시스템의 특징 중 하나인 S/P(Serial-to-parallel) 블록을 거쳐서 각각 부반송파에 의해 변조된다. 부반송파에 의해 변조된 데이터 블록들은 IFFT를 거쳐 시간 영역의 식 (1)과 같은 신호가 된다.

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \exp\left\{ \frac{2\pi i k}{N} \right\}, \quad 0 \leq i \leq N, \quad (1)$$

여기서 N은 FFT point를 나타낸다. IFFT를 거친 신호들에 신호 데이터 블록의 1/8 길이만큼의 CP를 신호 앞단에 삽입한다.

$$x_n^g = x(n)_N, n = -G, \dots, 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

식 (2)는 CP가 삽입된 신호를 나타내며 여기서 G는 CP 길이를 나타낸다. 식(2)의 신호는 채널을 통과하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$r_n(t) = x_n^g(t) * h_n(t) + n(t). \quad (3)$$

여기서 '\*'은 컨볼루션을,  $n(t)$ 는 AWGN 채널을,  $h_n(t)$ 은 Rayleigh 페이딩 채널을 나타내며 다음과 같은 PDF를 갖는다.

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & r < 0 \end{cases}. \quad (4)$$

멀티패스 채널을 거친 송신 신호들은 반사, 굴절, 회절 등에 의해 여러 지연된 신호들이 유입된다. 그림 1의 CP controller 블록에서 첫 번째로 수신단에 들어온 신호와 지연된 신호들 중 그 신호의 파워가 노이즈 파워 레벨 이상이 되는 마지막 지연된 신호의 상관관계 값을 구하게 된다. 이렇게 구해진 상관관계 값은 송신단의 CP insertion 블록으로 피드백 되어 송신단은 피드백 된 상관관계 값에 의해 CP 길이를 조절하게 된다. 본 논문에서는 채널 상태가 급격히 변하지 않는다는 가정하에 실험하였으며. 이런 가정에 근거하여 피드백된 상관관계 값을 그대로 CP 길이에 반영하지 않고  $+0.5\mu s$  정도의 CP값을 추가하였다.

또한, 수신단의 움직임에 따른 Doppler 효과를 고려하였다. Doppler 효과에 따른 중심 주파수의 변화와 수신 파워의 감소량을 고려하여 상관관계 값을 계산하였으며 그 계산과정은 다음과 같다. 만약 신호의 중심 주파수를  $f_c$ 라 하고, 송신단과 수신단의 각도를  $\alpha$ , 그리고 최대 Doppler 주파수를  $f_m$  이

라고 하자. 이때 수신된 신호의 주파수 변화는 다음과 같이 표현할 수 있다 [8][9].

$$f = \frac{v}{\lambda} \cos(\alpha) + f_c = f_m \cos \alpha + f_c. \quad (5)$$

여기서  $v$ 는 수신단의 이동속도를  $\lambda = c/f_c$  ( $c$ : 빛의 속도)를 나타낸다. 만약  $S(f)$ 를 수신 신호의 파워 스펙트럼이라 하면, 주파수에 따른 파워 스펙트럼은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S(f)|df|. \quad (6)$$

식(5)에 의해  $|df|$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$|df| = |d\alpha| \sin \alpha f_m. \quad (7)$$

또한 식 (5)에서  $\alpha$ 는,

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{f - f_c}{f_m} \right], \quad (8)$$

로 계산되며 다음과 같이 적용 가능하다.

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left( \frac{f - f_c}{f_m} \right)^2}. \quad (9)$$

만약 수신된 파워가 균일 분포  $p = 1/2\pi$ 를 갖는다면 수신 신호의 파워 스펙트럼은 다음과 같이 구해진다.

$$S(f) = \frac{1}{8\pi f_m} K \left[ \sqrt{1 - \left( \frac{f - f_c}{2f_m} \right)^2} \right]. \quad (10)$$

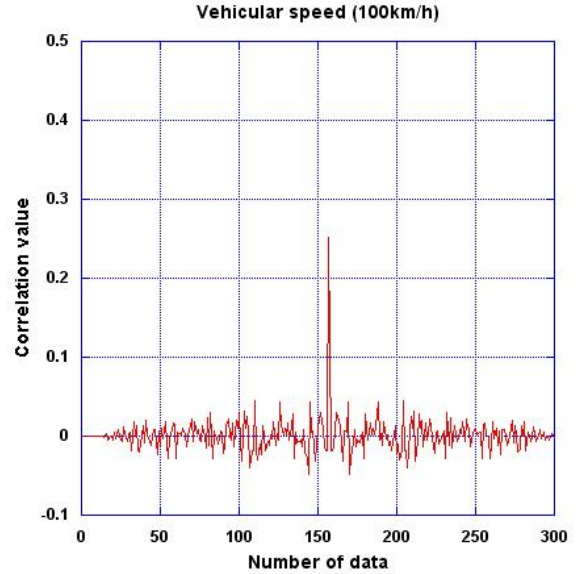
여기서  $K[\cdot]$ 는 1차 완전 타원 적분형을 나타낸다. [10].

본 논문에서는 ITS에 적합한 적응형 CP 길이를 갖는 OFDM 시스템에 관한 연구를 위해 고속도로 상에서의 통신을 가정하여 수신단의 속도가 100km/h와 130km/h 일 때의 두 가지 경우에 대해 식 (10)에 의거하여 실험하였다. 또한 지연된 신호는 앞서 언급했듯이, 노이즈 파워 레벨 이상이 되는 마지막 지연된 신호와 첫 번째 지연신호를 택하여 Doppler 효과를 고려하여 상관관계 값을 구하였다. 그림 2와 3은 각각 수신단의 속도에 따른 지연된 신호 사이의 상관관계 값을 나타낸다.

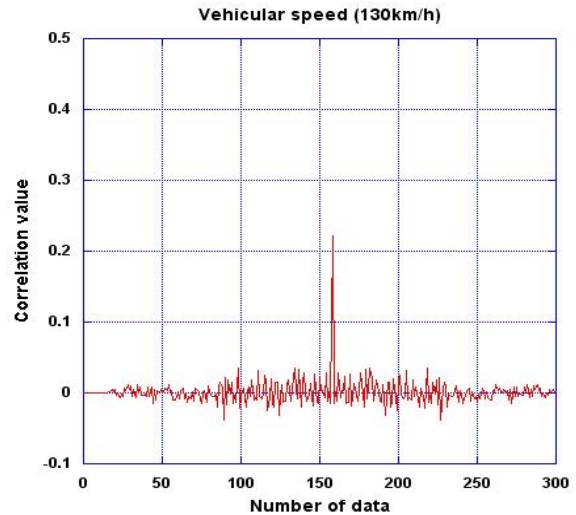
그림 2와 3에서 보여주듯이 계산된 상관관계 값에 의해서 CP 길이를 조절하며 조절된 CP 값에 의해 송신 / 수신 신호는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\widehat{x}_n^g = x(n)_N, n = -\widehat{G}, \dots, 0, 1, \dots, N-1. \quad (11)$$

$$r_n(t) = \widehat{x}_n^g(t) * h_n(t) + n(t). \quad (12)$$



<그림 3. 수신된 신호의 상관관계 값 (100km/h)>



<그림 4. 수신된 신호의 상관관계 값 (130km/h)>

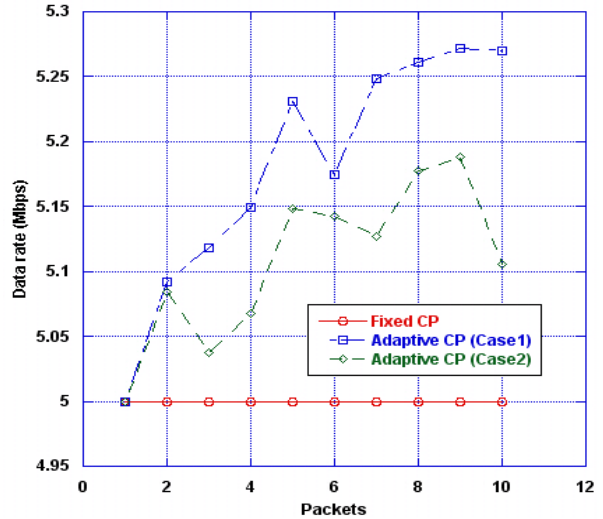
## IV. 실험 결과

TABLE I. SIMULATION PARAMETERS

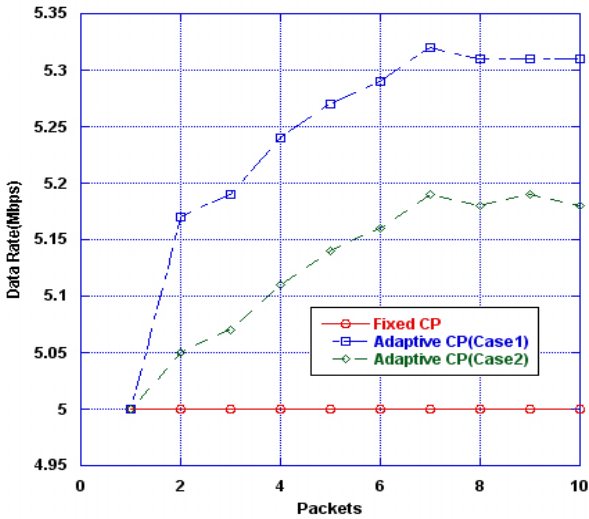
Sampling time	0.2us
FFT Point	128
Block size	25.6us
Speed of vehicle	100km/h, 130km/h
Channel	Rayleigh

위 TABLE I에 준하여 실험을 하였으며 수신단의 속도에 따른 데이터 전송 속도와 파워 소비 이득에 대한 실험 결과를 다음과 같이 얻을 수 있다.

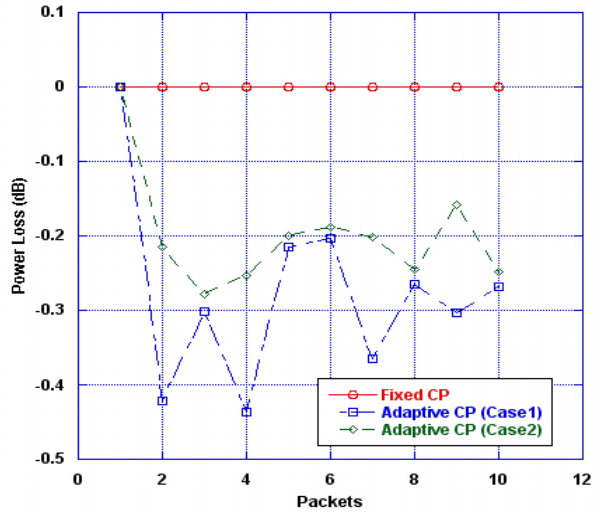
그림 5는 수신단의 이동 속도가 100km/h 일 때의 데이터 전송 속도의 이득을 보여준다. 고정된 CP 길이를 사용했을 경우 데이터 전송 속도 이득이 없는 반면, 본 논문에서 제안한 가변적 CP 길이를 적용 했을 경우 그림 5의 결과에서 보듯이 전송 속도 이득을 가져올 수 있다. 또한 매 심볼마다 CP 길이를 조절하게 되면 연속된 심볼간의 간섭이 발생하여 BER의 악화를 가져온다는 점을 착안하여 채널 상태에 따라 CP 길이를 가변적으로 변경하였을 때의 데이터 전송 속도의 이득을 그림 5에 같이 나타내었다. 그림 6은 그림 5과 같은 조건에서의 파워 손실을 나타낸다. 그림 7은 수신단의 속도가 130km/h 일 때의 데이터 전송속도 이득을 보여준다. 이와 마찬가지로 그림 8은 파워 손실의 비교를 나타낸다. 마지막으로 그림 9은 CP 길이를 조절함으로써 생기는 약간의 BER 성능의 저하를 보여준다.



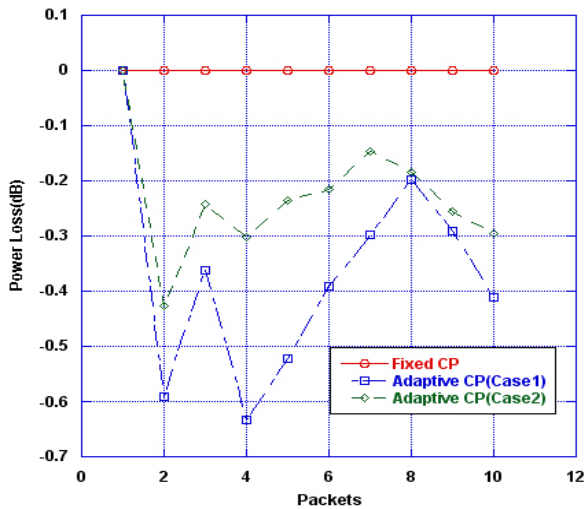
<그림 7. 제안된 방법의 데이터 전송율 (130km/h)>



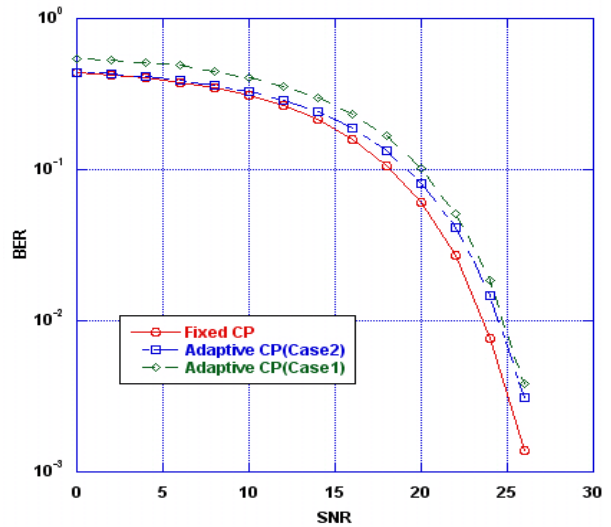
<그림 5. 제안된 방법의 데이터 전송율 (100km/h)>



<그림 8. 제안된 방법의 파워 손실 (130km/h)>



<그림 6. 제안된 방법의 전력 손실 (100km/h)>



<그림 9. BER 성능 차이>

## V. 결론

본 논문에서는 ITS에 적합한 고속 데이터 전송 방식의 하나로 적응형 CP 길이를 갖는 OFDM 시스템을 제안하였다. 기존 OFDM의 문제 중 하나로 고정된 길이의 CP를 사용함으로써 이로 인해 발생하는 데이터 전송 속도 및 파워 측면에서의 손실이 불가피 하였다. 따라서 본 논문에서는 지연된 신호 사이의 상관관계 값에 따라 CP 길이를 조절하는 방법을 제안하였다. 실험 결과에서 보이듯이 고정된 CP 길이를 사용하는 기존의 OFDM 시스템에 비하여 제안된 적응형 CP 길이를 사용하는 경우 데이터 전송 속도 및 파워 손실 측면에서 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice(2nd)*, Prentice Hall, 2002.
2. L. Hanzo et al, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*, Wiley, 2003.
3. J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Commun.Magazine*, vol. 28, no. 5, pp. 5-14, May 1990.
4. S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 19, pp. 628-634, Oct. 1971.
5. J. Chuang and N. R. Sollenberger, "Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 38, no. 7, pp. 78-87, July 2000.
6. A. Santamaria and F. J. Lopez, *Wireless LAN Standard and Applications*, MA: Artech House, 2002.
7. T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 49, no. 5, pp. 1893-1906, Sep. 2000.
8. P. Robertson and S. Kaiser, "The effects of Doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems," *IEEE Vehicular Tech. Conf.*, vol. 1, pp. 329-333, Sept, 1999.
9. D. J. Young and N. C. Beaulieu, "The generation of correlated Rayleigh random variates by inverse discrete Fourier transform," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 48, pp. 1114-1127, July, 2000.

10. W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley, 1974.