

890MHz에 대한 실내 무선통신의 경로손실 예측모델

송만중*, 홍성욱*, 김홍수**

Path Loss Prediction Models at 890MHz for the Indoor Radio Environment

Man Jong Song*, Sung Wook Hong*, Heung Soo Kim**

ABSTRACT

The indoor radio environment, radio propagation characteristics are affected by various types of scattering and multipath phenomena. In order to provide services in a building, it is very important to analyze the propagation characteristics of the indoor radio environment.

In this paper, the multipath loss model at 890(MHz) for the indoor environment are presented. The validity of the results by the present model is confirmed by comparing measured data. By this comparison, we showed that the theoretical analysis suggested in this paper is applicable to an analysis of the indoor radio environment.

I. 서 론

오늘날 인간은 항상 통신을 이용하면서 일상생활을 영위하고 있다고 해도 과언이 아니다. 가정과 사무실의 전화나 거리의 공중전화를 이용하여 국내는 물론 통신위성을 통하여 세계의 어디든지 누구와도 쉽게 통신을 할 수 있다. 그러나 고정된 장소에서 통신을 하는 것보다 시간과 공간에 구애받지

않고 통신을 한다는 것은 신속하고 정확한 정보 교환을 가능케 하여 통신 영역을 확대시켜 준다는 장점 때문에 이동통신에 대한 이용도가 급증하고 있다. 이러한 요구에 따라 최근 이동통신 시스템 개발과 함께 이용자들에게 다양한 서비스가 제공되고 있다. 실내에서 무선전파로 음성 뿐만 아니라 데이터, 화상 등을 전송하는 것은 매우 매력적이며 이와 같은 기술로 인하여 건물내 특정 위치에서만

* 대학원 통신공학과

** 공과대학 통신공학과

사용되었던 통신에 대해 진정한 의미의 이동성을 주는 것이다.

실내에서의 전파 특성은 자유공간에서의 전파 특성과는 매우 다르다. 실내에서 송신기와 수신기 주위에 놓여 있는 물체들은 실내 무선 전파에 많은 영향을 끼친다. 실내에서의 무선 전파는 건물내의 벽, 천정, 가구 등에 의하여 감쇠를 받을 뿐만 아니라 주위의 물체들에 의한 반사로 인하여 다중 경로가 형성된다. 이와 같은 감쇠와 다중 경로 전파 손실은 실내 이동통신 시스템 설계에 있어서 중요한 파라미터(parameter)이다. 따라서 정확한 실내 이동통신 특성을 분석하기 위해서는 실내 환경에 따른 여러 가지 파라미터들을 적용하여 계산한 값과 실제 측정된 결과와의 비교, 분석이 필요하다. 여러 연구자들이 실내의 무선전파 특성을 예측했고 그들의 결과를 통계적으로 표현하고 모델화 하였다. Seidel(1991) 등은 실내 이동통신에 대해서 914MHz 경로손실 예측모델을 제안하였다. Keenan-Motley(1990)는 단말기의 안테나를 접은 상태로 양복 상위 주머니에 보관중일 때 사람 몸에 의한 경로손실이 14dB정도임을 실험을 통해 구하였다. Devasirvatham(1991)은 다른 환경 조건의 빌딩 내에서 850MHz, 1.9GHz, 4.0GHz, 5.8GHz의 다양한 주파수 대역에서 시간 지연과 전파 감쇠를 측정하였다. 그 결과 RMS 시지연 확산과 거리에 따른 경로손실 특성이 4개의 주파수에서 통계적으로 거의 동일한 특성을 가지는 것으로 나타났다.

경로손실 모델은 자유공간 손실과 선형 경로손실 모델로 표현되고 선형 경로손실 계수는 주파수에 무관하다. 비슷한 결과가 Hawbaker와 Rappaport(1991)의 연구 결과에서도 나타났다.

본 연구에서는 실내 이동통신 환경에 대한 경로손실 예측모델을 제시하였다. 이 모델은 송신기와

수신기 사이의 직접파뿐만 아니라 벽, 천정, 바닥 등에 의한 실내에서 나타날 수 있는 다섯 개의 다중경로에 의한 경로손실 모델을 제시하였다. 이 모델에 대한 타당성을 제시하기 위해 실내환경에서 거리에 따라 경로손실이 지수적으로 증가하는 거리 종속 모델에 의한 결과와 비교한다. 그리고 890MHz대의 전파 실험을 통해 다중경로 모델과 비교, 분석하여 제시한 모델의 타당성을 증명하였다.

II. 경로손실 예측모델

1. 실내 다중경로에 대한 경로손실 모델

Fig. 1은 실내 이동통신 환경을 나타내고 있으며 복도의 벽과 바닥은 평탄한 것으로 가정한다. 송신기의 위치를 Tx, 수신기의 위치를 Rx라 하고 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 는 각각 전파경로 거리를 나타낸다. 복도의 높이를 a, 복도의 폭은 b라 한다.

송신기와 수신기 사이의 물체들에 의해 반사되어진 산란전계 E_s 는 다음과 같다.

$$E_s = E(1 + \Gamma e^{j\phi}) \quad (1)$$

여기서 Δd 는 직접파와 반사파와의 전파경로 차를 나타내고 Γ 는 반사계수를 나타낸다. 자유공간 경로손실로 인해 E는 거리에 비례해서 선형적으로 감쇠되어 진다. 자유공간 전파경로 손실식에 따라 수신기에 수신되는 평균전력은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{|E|^2}{2\eta_0} = P_t g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (2)$$

여기서 η_0 는 자유공간 특성임피던스이고, P_t 는 송신전력, g_t 는 송신안테나 이득, g_r 는 수신안테나 이득, λ 는 파장, d 는 송신기와 수신기간의 거리이다.

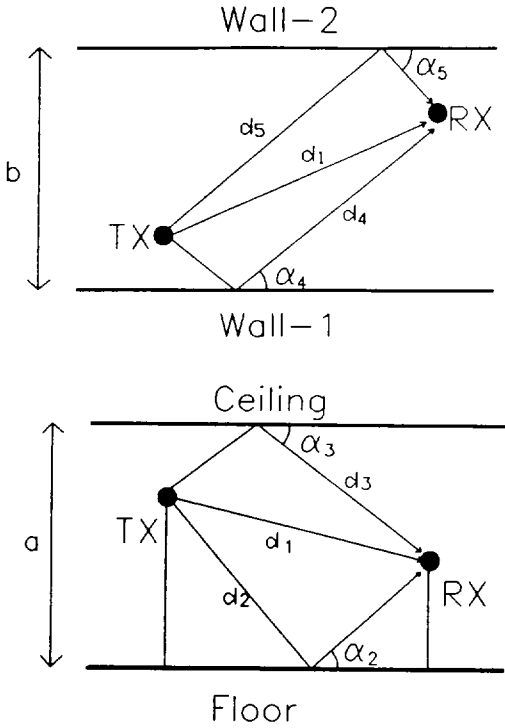


Fig. 1. A multipath propagation model in a passage way.

식 (2)를 실내 다중경로 환경에 적용시키기 위해 Fig. 1처럼 다중경로 거리 d_i 에서 대한 수신점에서의 수신전력은 다중경로 손실 계산식을 이용하면 다음과 같다.

$$P_r = P_t g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \sum_{i=1}^n \frac{1 + \Gamma(\alpha_i) e^{-j\beta \Delta d_i}}{d_i} \right|^2 \quad (3)$$

여기서는 $\Gamma(\alpha_i)$ 는 반사계수, α_i 는 입사각, β 는 전파상수이고 Δd_i 는 직접파와 다중경로 전파의 경로 차를 나타낸다. $n=1$ 은 송·수신기 사이에 직접파만이 존재한다고 가정하였을 때의 전파경로이고 $n=3$ 은 직접파와 바닥 및 천정 반사 또는 직접파와 양쪽 벽면의 반사를 고려한 3가지 전파에 대

해서만 영향이 미친다고 가정하여 적용된 전파경로이다. $n=5$ 는 일반적인 복도 환경에서 발생될 수 있는 5가지의 전파를 모두 고려했을 때의 경로이다. 식 (3)의 거리항인 d_i 에 적용되는 파라미터로 h_t 는 송신기 안테나 높이이고, h_r 는 수신기 안테나의 높이이다. 그리고 벽-1로 부터 송신안테나가 떨어져 있는 거리는 x_1 이고, 수신안테나가 떨어져 있는 거리는 x_2 이므로 벽-1을 기준으로한 송·수신기 사이의 거리 d 가 변화된다고 하였을 때 송·수신기 사이의 실제 떨어진 거리 d' 는 다음과 같다.

$$d' = \sqrt{d^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (4)$$

따라서 송·수신기 사이에서 전달되는 경로는 다섯 가지이며 그 중 직접 전파된 신호로서 거리 d_1 은

$$d_1 = \sqrt{d'^2 + (h - h_r)^2} \quad (5)$$

이며, 또한 바닥 및 천정에 의해 반사되어 온 전파 경로 거리 d_2 , d_3 는 각각 다음과 같다.

$$d_2 = \sqrt{d'^2 + (h_t + h_r)^2} \quad (6)$$

$$d_3 = \sqrt{d'^2 + [2 \times (a - h_t)]^2} \quad (7)$$

벽-1 및 벽-2로 부터 반사되는 전파경로 거리 d_4 , d_5 는 다음과 같다.

$$d_4 = \sqrt{d^2 + (2 \times x_1)^2} \quad (8)$$

$$d_5 = \sqrt{d^2 + [2 \times (b - x_2)]^2} \quad (9)$$

한편 반사계수 $\Gamma(\alpha_i)$ 는

$$\Gamma(\alpha_i) = \frac{\epsilon_c \sin \theta - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta}}{\epsilon_c \sin \theta + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta}} \quad (\text{수직편파}) \quad (10)$$

$$\Gamma(\alpha_i) = \frac{\sin \theta - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta}}{\sin \theta + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \theta}} \quad (\text{수평편파}) \quad (11)$$

이며, 안테나의 특성 및 각 반사 대상 물체의 유전율(ϵ_r)에 따라 변화되며 유전체 상수 ϵ_c 는 다음과 같다.

$$\epsilon_c = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (12)$$

여기서 유전율 ϵ_r 은 유전체상수 ϵ_c 의 중요한 성분이며 σ 는 도전율이다.

2. 거리종속 경로 손실모델

실내의 평균 경로 손실은 거리에 대해서 지수적으로 증가한다.

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (13)$$

여기서 \overline{PL} 은 평균 경로 손실이고, n 은 경로 손실이 거리에 대해서 얼마나 빠르게 증가하는가를 나타내는 평균 경로 손실 지수이고 d 는 송신기와 수신기 사이의 거리이다. 평균 경로 손실에 대한 식 (13)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{PL}(d) = PL(d_0) + 10 \times n \times \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \text{ [dB]} \quad (14)$$

여기서 기준거리는 1(m)로 했고, $PL(d_0)$ 는 송신기에서 1(m) 기준 거리까지의 자유공간 손실로 가정할 수 있다. 안테나 이득과 케이블 손실이 같다고 가정하면 1(m) 자유공간 경로에 대한 890(MHz)대의 경로 손실은 31.4(dB)이다. 식 (14)에서 경로 손실은 대수 정규분포를 이루고 있음을 알 수 있다. 여기서 실내의 형태와 크기, 송신기와 수신기 간 물체의 함수 파라미터들로 나타나는 평균 경로 손실지수 n 을 결정해야 한다. 또한 송신기와 수신기 간의 거리 d 에 대한 경로 손실은

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + X_\sigma \text{ [dB]} \quad (15)$$

이며, X_σ 는 표준편차 σ 를 갖는 제로 평균 대수 정규분포이다. 선형회귀는 측정된 값에 대한 최소 자승 오차(MMSE) 의미의 n 과 σ 의 값을 계산하기 위해 사용되었다. 표준편차를 매우 작게 하기 위해서 실내형태와 크기, 송·수신간의 물체들을 고려하여 n 값을 정한다.

III. 실내에서의 전파실험

890(MHz)대의 실내환경에 대한 전파실험을 제주대학교 공과대학 A동 3층 복도에서 실행했다. 복도의 형태는 정방형태로 높이는 3.33(m)이고 벽과 벽간격은 2.76(m) 직선거리는 약 45(m) 거리이다. 복도 천정은 석고보드로 이루어져 있고 바닥은 대리석이고 양쪽벽은 콘크리트 구조로 되어 있다. 복도 양쪽으로는 강의실 출입구가 1.5~7(m) 간격으로 배치되어 있고 강의실문은 나무로 되어 있다. 송신기에서 -30(dB) 전력으로 890(MHz)의 주파수를 갖는 CW 신호를 송출시켰고 송신안테나는 3(dBi) 이득을 갖는 $\lambda/4$ 수직안테나를 사용했다. 수신기는 15(KHz)의 대역폭을 갖고 0~99(dBm) 사이의 세기 신호를 측정할 수 있는 장비이다. 수신안테나는 무이득 $\lambda/4$ 수직안테나를 사용했다. 실험과정은 첫번째 송신안테나를 복도의 벽면에서 1.38(m) 거리를 갖는 복도의 한쪽끝 중앙에 고정시켜 수신기를 복도 중앙 및 양쪽 벽면에서 복도를 따라 이동하면서 경로손실을 측정하였고, 두번째로 송신안테나를 복도의 벽면에서 0.69(m) 떨어져 중앙에서 벽면으로 이동하면서 경로손실을 측정하였다. 수신안테나는 복도에서 1.3(m) 간격으로 40(m)까지 이동하였다. 송신단과 수신단의 구성도는 Fig. 2와 같다.



Hewlett Packard BIRD (U. S. A)
8656B (0-000MHz) M-43

(a) Transmitter



MOTOROLA
R-2008D

(b) Receiver

Fig. 2. Schematic diagram of the transmitter and the receiver system for the experiment.

IV. 결과 및 고찰

Table 1은 거리종속 경로 손실모델에 대한 실내 환경의 평균 경로 손실지수 및 표준편차와 측정 위치 수를 요약하였다.

Table 1. Pass loss exponent n and standard deviation σ

	n	σ (dB)	No. of Locations
The passage of 3rd	1.2	5.51	40
Floors in Building A	1.3	4.53	40
of the Engineering	1.4	5.05	40
College	1.5	5.02	40
	1.6	5.40	40

Fig. 3은 실내 복도 환경에서의 경로 손실을 송신기와 수신기간의 거리의 변화에 대해 나타낸 것이다. Fig. 3에서 \circ 로 나타낸 곡선의 공대 3층 복도에서의 경로 손실을 측정한 값이며, 이 곡선은 평균 경로 손실지수가 $n=1.2$ 에서 1.6까지 변화했

을 때의 이론적 경로 손실 값을 나타내었다. 여기서 점선으로 나타낸 곡선의 경로 손실지수는 $n=1.3$ 으로 이때의 실험값과 예측곡선의 표준편차는 $\sigma=4.53$ (dB)으로 최소값을 갖는다.

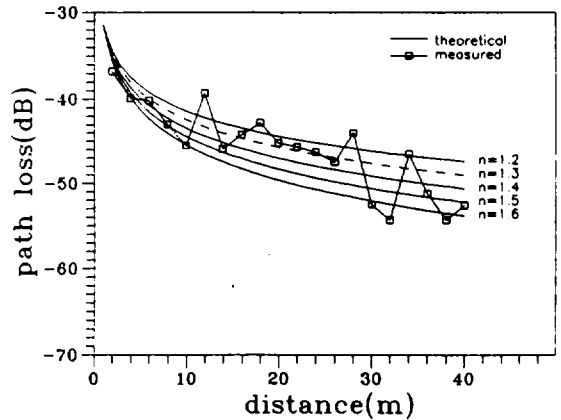


Fig. 3. Mean path loss as a function of distance-dependent.

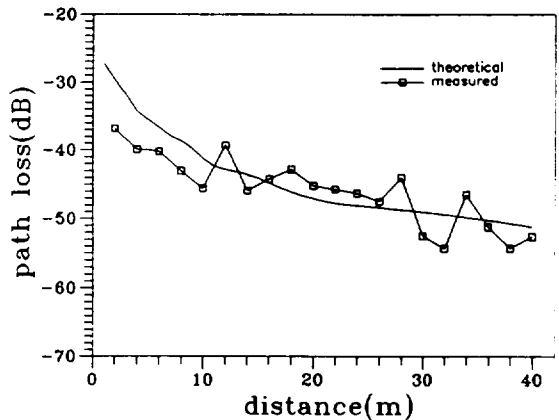


Fig. 4. Pass loss for Tx is center and Rx is center.

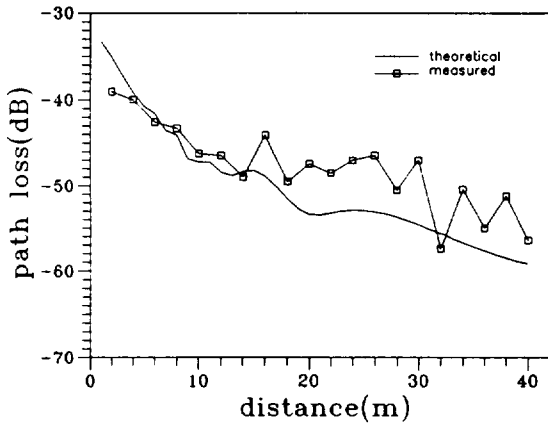


Fig. 5. Pass loss for Tx is center and Rx is a near wall.

Fig. 4와 Fig. 5는 송신기 위치가 복도 한쪽끝의 중간에 위치하고 수신기가 복도 중앙을 따라서 이동할 때와 복도의 한쪽 벽면 옆으로 이동하였을 때의 경로 손실을 송·수신간의 거리에 따라 나타낸 것이다. 수신기가 복도 중앙을 따라서 이동할 때의 경로 손실은 실험값과 예측 경로 손실 곡선과의 표준편차가 $\sigma=3.6(\text{dB})$ 의 값을 가졌다. 수신기가 실내 복도의 한쪽 벽면옆으로 이동하였을 때 경로 손실은 실험값과 경로 손실 예측곡선과의 표준편차가 $\sigma=4.28(\text{dB})$ 의 값을 가졌다.

Fig. 6, Fig. 7 그리고 Fig. 8은 송신기를 정면으로 볼 때 송신안테나를 복도의 왼쪽 벽면 옆으로 고정시키고 수신기를 복도 중앙을 따라 이동하면서 수신하였을 때와 복도 오른쪽 벽면과 왼쪽벽면을 따라 이동하면서 수신하였을 때의 경로 손실을 송·수신기간의 거리에 따라서 나타낸 것이다. 수신기가 복도 중앙을 따라 이동하면서 수신하였을

때 경로 손실은 실험값과 예측 경로곡선과의 표준 편차는 $\sigma=3.95(\text{dB})$ 의 값을 가졌다. 수신기가 복도 왼쪽 벽면을 따라 이동하면서 수신하였을 때

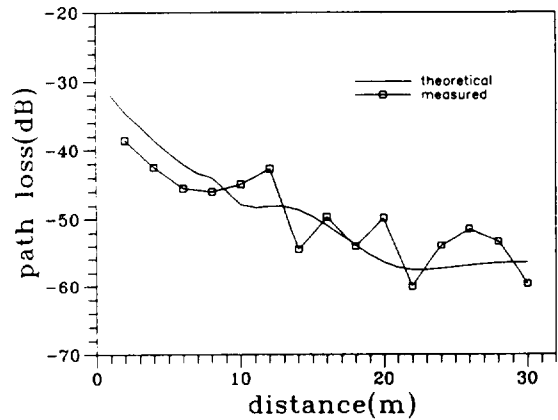


Fig. 6. Pass loss for Tx is a left wall and Rx is center.

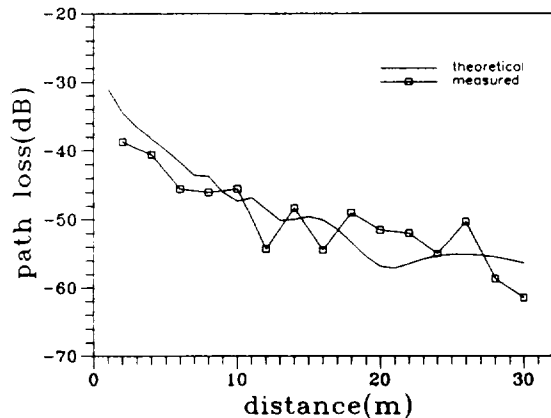


Fig. 7. Pass loss for Tx is a left wall and Rx is a left wall.

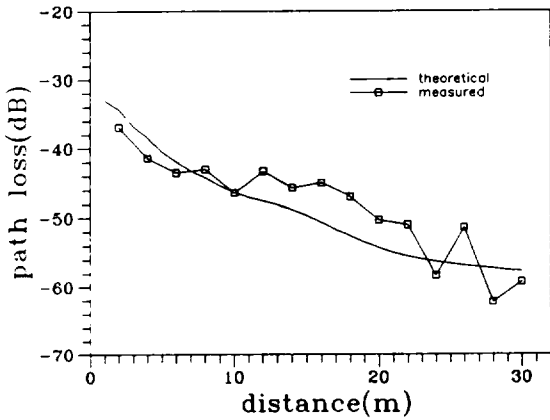


Fig. 8. Pass loss for Tx is a left wall and Rx is a right wall.

경로 손실의 표준편차는 $\sigma = 3.91$ [dB]의 값을 가졌으며 복도 오른쪽 벽면을 따라 이동하였을 때 경로 손실의 표준편차는 $\sigma = 3.57$ [dB]의 값을 가졌다.

Table 2는 실내 다중경로 손실모델과 실험치를 비교한 결과를 나타낸 것이다.

Table 2. Simulated results by the indoor multipath loss model

Location of Tx	Location of Rx	σ (dB)	No. of Locations
Center of passage	Center	3.60	30
	Near wall	4.28	30
Near wall of passage	Center	3.95	30
	left	3.91	30
	right	3.57	30

Table 1과 Table 2에서 다중경로 모델과 거리 종속 경로 손실모델을 이용하여 복도의 경로 손실을 예측한 결과를 보면 다중경로 모델에 의한 표준편차는 3.60 [dB]로서 거리종속 경로모델에 의한

표준편차는 4.53 [dB]보다 작다. 본 연구에서 제시한 다중경로 모델은 실내 전파 환경을 예측하는 모델로 적합하다.

V. 결 론

본 연구에서는 건물 내부에서 이동 무선전파를 사용하는 경우 발생되어지는 여러 가지 특성 변화를 예측할 수 있는 다중경로 손실모델을 제시하였다. 제시한 모델에서 몇가지 환경 요소를 적용하여 경로 손실 변화를 계산한 결과 매우 민감한 영향을 받으면서 거리가 증가함에 따라 경로 손실이 증가하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 제시한 모델과 측정결과를 비교, 분석한 결과 다중경로에 의한 경로 손실모델의 적합성을 확인하였다. 이 모델에서 나타나는 표준편차는 모델링 과정에서 고려되지 못한 사항(창문, 강의실문 등)으로 인해 발생되어진 오차이다. 따라서 본 연구에서 제시한 모델을 기초로 하여 보다 많은 실제 환경의 요소들을 부가하여 이에 따른 실내 이동통신 특성 변화를 이론적으로 해석할 수 있다면 더 나아가 건물 전체에 대한 실내 전파특성을 나타낼 수 있을 뿐 아니라 고층 빌딩내의 설계 확에 큰 도움이 될 것이라고 생각한다.

참 고 문 헌

- A. J. Motley and J. M. Keenan, 1990. Radio coverage in buildings, British Telecom Tech. J., Special Issue on Mobile Communications, 8(1) : 19-24.
- D. A. Hawbaker and T. S. Rappaport, 1991. Indoor wideband radio propagation measurement at 1.3GHz and 4.0GHZ, Electron. Lett., 26(21) : 1800-1802.
- D. M. J. Devasirvatham, 1991. Multi-frequency propagation measurements and models in a large metropolitan commercial building for personal communications. International symposium on personal, indoor and mobile radio communications, : 98-103, London.
- S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, 1991. 900MHz path loss measurements and prediction techniques for in-building communication system design, IEEE, VT-21 : 613-618.
- S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, 1992. 914MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings, IEEE Trans. Antennas & ropag., 40(2) : 207-217.
- W. C. Y. Lee, 1982. Mobile Communications Engineering, New York, McGraw-hill.