

옥내에서의 PCS 대역 전파의 채널 특성 분석

곽도영⁰, 이종호, 최준수*, 김성철

서울대학교 전기공학부, 국민대학교 컴퓨터학부*

Analysis of Indoor Wireless Channel in PCS Band

Do-Young Kwak⁰, Jong-Ho Lee, Joon-Soo Choi*, Seong-Cheol Kim

School of Electrical Engineering, Seoul National University.

School of Computer Science, Kookmin University*.

dykwak@maxwell.snu.ac.kr, dowar@maxwell.snu.ac.kr, jschoi@kmu.kookmin.ac.kr*, sckim@maxwell.snu.ac.kr

요약

건물 외부에 위치하는 기지국과 건물 내에 위치하는 단말기 사이의 채널 특성을 분석하기 위해 전파 추적 기법을 기반으로 한 모의 실험을 수행하였다. 본 모의 실험에서는 건물 내에 29 개의 단말기를 설치하고, 각 단말기에서의 수신 특성을 다중 경로를 통해 수신된 여러 개의 신호의 상호 간섭 패턴을 분석하여 구했다. 그 결과 상쇄 간섭으로 인해 창가 쪽에 위치한 단말기의 수신 파워가 건물 안 쪽에 위치하는 단말기의 수신 파워보다 작은 경우도 나타났다. 단말기들과 기지국 간의 채널 특성 분석 결과 29 개 단말기들의 mean excess delay의 평균값은 90.01[nsec], 표준편차는 23.55 였다. 또한 rms delay spread는 평균 47.50[nsec]로 나타났으며 표준편차는 13.17의 값을 보였다.

1. 서론

단말기로부터 원거리에 위치한 기지국으로부터 나온 신호가 건물 내부의 단말기에 도달할 때 전파는 평면파의 형태로 도달하고, 단말기와 기지국 사이에 LOS(Line of Sight) 경로가 확보되지 않으면 전파는 건물 벽에서의 여러 번의 반사와 투과를 거쳐 단말기에 도달한다. 이 때 단말기의 수신 특성은 다중 경로를 거친 여러 개의 전파들의 간섭에 의해 결정되고, 각 전파의 크기와 위상은 그 전파가 진행하는 경로에 따라 달라진다. 이러한 다중 경로 환경은 수신 신호의 세기 변화에만 영향을 미칠 뿐 아니라 디지털 신호의 시확산(time spreading) 현상을 야기하여 디지털 신호의 부호간 간섭 현상을 유발한다. 따라서 이러한 부호 간의 간섭 현상을 효율적으로 극복하기 위해서는 기지국과 단말기 간의 채널의 정확한 시확산 모델이 기반이 되어야 한다.

채널의 특성을 파악하는 방법은 크게 측정을 통해 확률론적으로 파악하는 방법과 모의 실험을 통해 결정론적으로 파악하는 방법의 두 가지로 나뉘어진다. 본 논문에서는 앞에서 언급한 두 가지 방법 중 전파 추적 기법을 기반으로 한 모의 실험의 방법을 통해 기지국과 단말기 간의 채널의 특성을 분석할 것이다. 모의 실험을 통한 채널의 특성 분석 방법은 측정에 의한 방법에 비해 시간과 비용을 절약할 수 있고, 실험 환경이나 통신 환경이 변화하더라도 쉽게 적용할 수 있는 장점이

있다.

본 논문의 제 2 장에서는 전파 추적 기법에 관해 간단한 소개를 하고, 제 3 장에서는 모의 실험 환경에 관해 언급을 할 것이며, 제 4 장에서는 모의 실험 결과를 바탕으로 채널의 특성을 분석할 것이다. 마지막으로 제 5 장에서는 본 논문의 결론을 맺을 것이다.

2. 전파 추적 기법

전파 추적 기법은 고주파의 신호를 광선으로 모델링하는 것을 기본으로 한다. 단말기로부터 원거리에 위치한 기지국으로부터 나온 전파는 단말기가 위치한 건물 근처에 도달하면 평면파의 형태를 지니고, 이러한 평면파를 모델링하기 위해 먼저 기지국으로부터 일정 거리 떨어진 위치에 하나의 가상의 선을 설정하고 이 선에 도달한 전파들은 그 선에 직교하게 도달하고 모두 같은 크기와 위상을 가진다고 가정한다. 그리고 그 선 위에 독립적이고 평행한 광선들의 모임이 존재한다고 가정하고, 그 각각의 광선들의 모임을 단말기 근처에 도달한 평면파로 모델링한다. 본 모의 실험에서는 평면파로 모델링된 각각의 광선들의 경로를 추적함으로써 단말기에 도달하는 신호의 크기와 위상을 예측한다. 그림 2.1 은 이러한 전파 추적 기법의 개념을 나타낸 것이다.

처음에 평면파를 모델링할 때 일정한 간격을 가지는 독립적이고 평행한 광선으로 설정했다. 이러한 각각의

광선들은 실제로 약간의 폭을 가지는 전파빔을 나타내고, 단말기에 신호가 수신되는 과정은 단말기로 모델링되는 점이 전파빔의 폭 안에 포함될 때 단말기에 신호가 수신되었다고 고려한다. 전파 추적 기법에서는 선의 형태로 광선의 경로를 추적하므로 광선의 폭을 고려하기 위해서 단말기의 capture circle 을 설정하고 이 원 내에 광선이 지나가면 신호가 단말기에 도달되었다고 생각한다. Capture circle 의 반지름 r 과 평행한 광선들 간의 간격 s 와의 관계는 식 (1)과 같다.

$$r = s/2 \quad (1)$$

그림 2.2 는 단말기에 신호가 수신되는 과정을 capture circle 을 이용하여 나타낸 그림이다.[3]

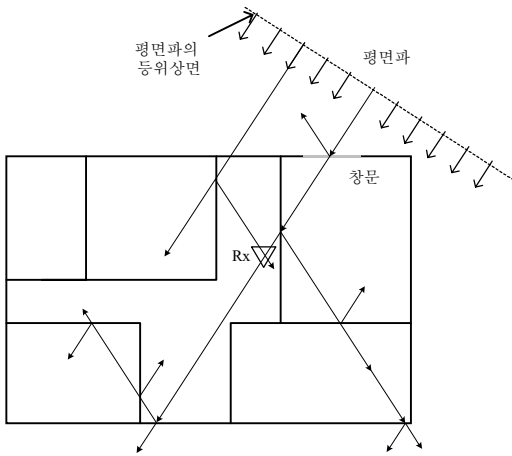


그림 2.1 전파 추적 기법의 개념도

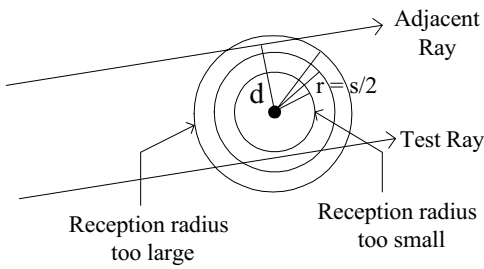


그림 2.2 Capture Circle 의 개념도

단말기에 수신되는 신호의 E-field 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.[6]

$$E_i = E_0 f_{ii} f_{ri} L_i(d) \prod_j \Gamma(\theta_{ji}) \prod_k T(\theta_{ki}) e^{-jkd} \quad (2)$$

변수	변수의 의미
f_{ii}	송신 안테나의 방사 패턴
f_{ri}	수신 안테나의 방사 패턴
$L_i(d)$	i 번째 다중 경로 전파의 경로 감쇠
d	경로 거리 [meter]

$T(\theta_{ji})$	j 번째 벽에서의 반사 계수
$\Gamma(\theta_{ki})$	k 번째 벽에서의 투과 계수
E_i	i 번째 다중 경로 전파의 전기장의 세기 [V/m]
E_0	송신 전기장의 기준 세기 [V/m]
e^{-jkd}	경로 거리로 인한 수신 신호의 위상 변화

표 2.1 전파 추적 모델의 수신 신호를 나타내는 변수

본 모의 실험에서 송신 전기장의 기준 세기 E_0 는 평면파의 등위상면에서의 전기장의 세기로 두었으며 그 크기는 1[V/m]로 설정하였다. 또한 편의상 송신 안테나와 수신 안테나를 무지향성 안테나로 가정하였으며 기지국과 건물 사이의 경로 거리에 비해 건물 내부에서의 경로 거리는 무시할 수 있을 만큼 작으므로 경로 감쇠 $L_i(d)$ 는 고려하지 않았고, 건물 내부에서의 경로 거리 d 는 수신 신호의 위상 변화에만 영향을 미친다고 가정하였다.

건물에서 전파의 반사와 투과 특성을 결정하는 반사 계수와 투과 계수는 전파가 벽에 입사하는 각도, 전파의 주파수 및 벽의 두께와 재질에 따라 좌우된다. 본 모의 실험에서는 E-field 와 H-field 의 경계 조건을 이용해 벽의 투과 및 반사 계수를 구하였다.[1,2] 그림 2.3 과 2.4 는 창과 창 사이에 공기층이 존재하는 이중창에서의 벽의 특성을 나타낸 그림이다.

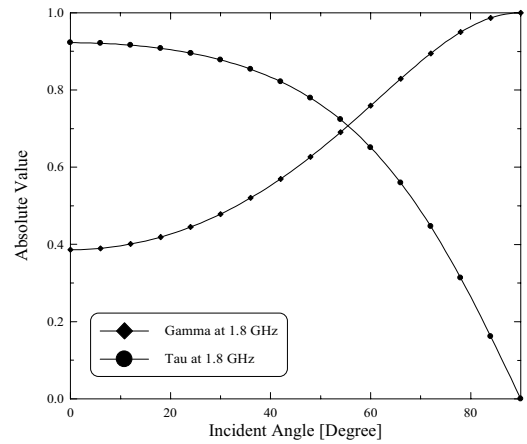


그림 2.3 이중창에서의 투과 및 반사 계수의 절대치

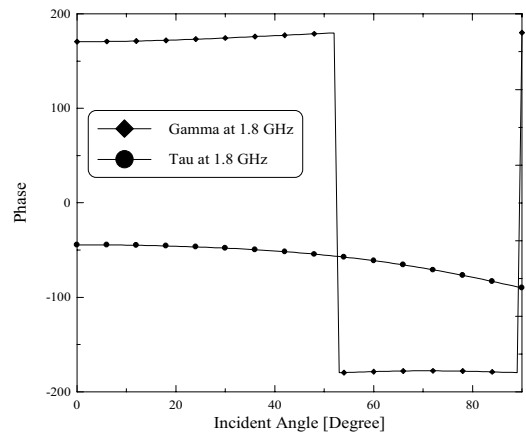


그림 2.4 이중창에서의 투과 및 반사 계수의 위상

3. 모의 실험 환경

지금까지 언급한 전파 추적 기법을 이용하여 실제 건물에 대해 모의 실험을 시행하였다. 그림 3.1은 모의 실험의 대상이 된 건물의 평면도이고, 각 점들이 단말기를 나타내며 각 점의 옆에 쓰여져 있는 숫자들은 편의상 붙인 단말기의 번호를 나타낸다. 기지국은 건물의 남서쪽에 위치하고 있으며 신호는 왼쪽 아래 45° 각도로부터 입사되고 있다고 가정한다.

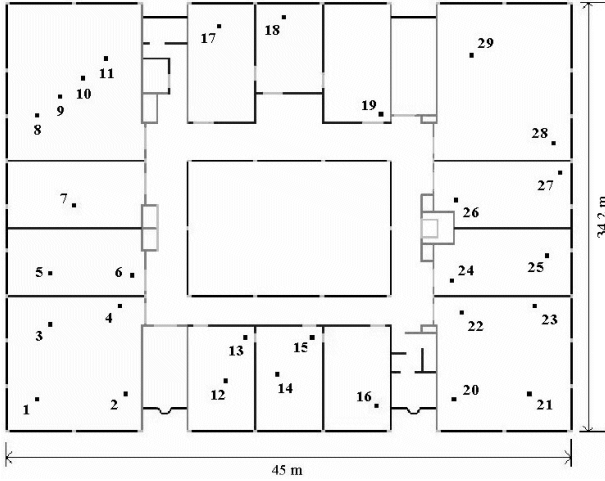


그림 3.1 모의 실험의 대상인 건물의 평면도

건물의 외벽은 이중창으로 이루어져 있고, 각 벽은 콘크리트 벽으로 이루어져 있으며 엘리베이터와 문은 금속으로 이루어져 있다. 또한 건물을 지지하기 위해 곳곳에 기둥이 존재한다.

4. 모의 실험 결과 및 채널 특성 분석

전파 추적 기법에서 수신기에 수신된 신호는 광선의 경로 거리, 크기, 위상과 수신기에 입사된 각도, 도착까지 걸린 시간 등의 정보를 지니고 있다. 실제 상황에서 신호는 모의 실험과 같은 impulse 가 아닌 다소의 폭을 가지는 펄스이다. 이러한 신호의 폭을 고려하기 위해서 신호가 도착한 시간에 impulse 가 아닌 100nsec의 폭을 가지는 pulse 가 도착했다고 가정한 다음 수신 신호를 분석하였다. 그림 4.1은 이러한 수신 특성 분석 과정을 나타낸 그림이다.

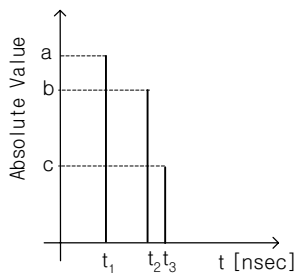


그림 4.1a 수신기에 수신된 신호의 절대값

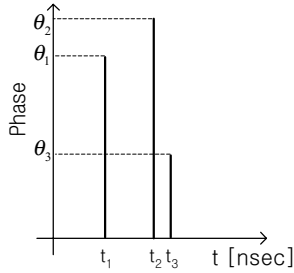


그림 4.1b 수신기에 수신된 신호의 위상

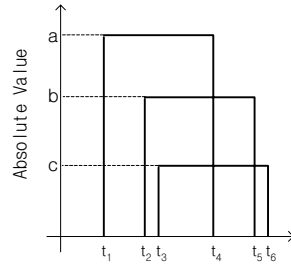


그림 4.1c 펄스 폭을 고려한 수신 신호

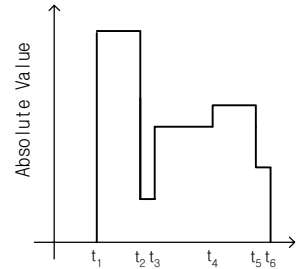


그림 4.1d 수신기의 수신 특성

각 단말기에서의 수신 특성은 그림 4.2에 나타난 것과 같다. 왼쪽 그림은 각 단말기에서의 충격응답 $r(t)$ 를 volt scale로 나타낸 것이다.

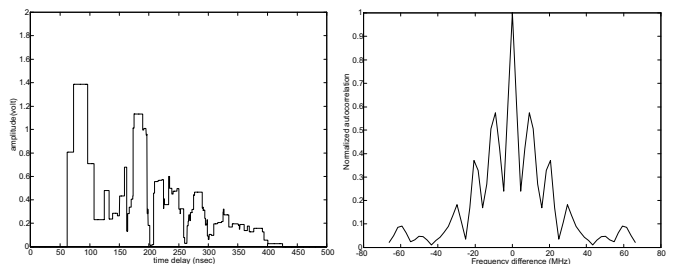


그림 4.2a 3번 단말기에서의 수신 특성

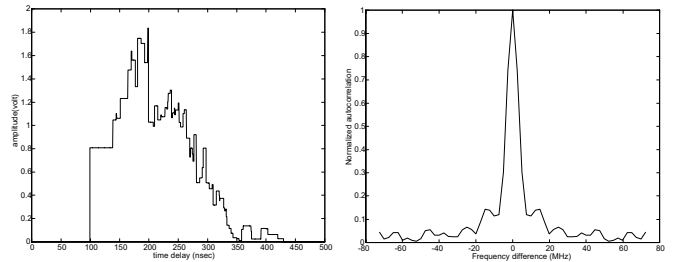


그림 4.2b 8번 단말기에서의 수신 특성

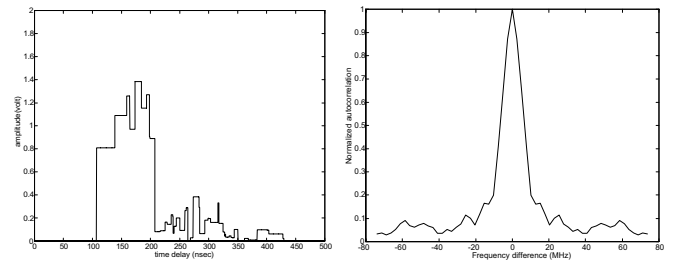


그림 4.2c 9번 단말기에서의 수신 특성

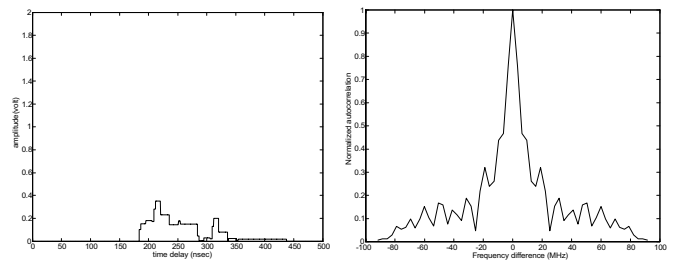


그림 4.2d 19번 단말기에서의 수신 특성

앞에서 구한 단말기의 volt 스케일의 충격응답 $r(t)$ 로

부터 펄스를 보냈을 때 단말기의 평균 수신 파워가 시간 지연 t 에 따라 어떻게 변하는지를 나타내는 multipath intensity profile $s(t)$ 는 식 (3)와 같이 정의된다.

$$s(t) = \frac{r^2(t)}{\eta} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3)$$

여기서 η 는 임피던스를 나타내고, $\lambda^2/4\pi$ 는 안테나의 cross section 을 나타낸다. 본 논문에서는 수신 파워의 절대적인 값보다는 상대적인 값을 통해 채널을 분석하고 있으므로 계산상의 편의를 위해 η 와 $\lambda^2/4\pi$ 를 1로 정규화했다. 또한 그림 4.2의 오른쪽 그림은 multipath intensity profile $s(t)$ 의 자기 상관 함수 (autocorrelation function)의 FFT를 나타낸 것이다.

비슷한 x 좌표값을 가지는 3번과 8번 단말기의 수신 특성을 비교할 때 간섭 패턴의 차이에 따라 수신 특성이 달라졌다는 것을 알 수 있었다. 즉, 3번 단말기에는 상쇄 간섭이 발생하였고 8번 단말기에는 보강 간섭이 발생하였다. 오른쪽 그림에서 보는 것처럼 상쇄 간섭이 발생한 경우보다 보강 간섭이 발생한 경우, coherent bandwidth가 더 넓다는 것을 알 수 있다. 약간의 위치 이동이 있는 8번과 9번 단말기의 수신 특성의 비교에서도 약간의 위치 변화가 간섭 패턴에 많은 영향을 미쳐 두 단말기의 충격 응답이 완전히 다르다는 것을 알 수 있다. 8번 단말기의 경우 다중 경로를 거친 신호가 시간 지연을 가지고 도달해 많은 시확산이 일어난 반면 9번 단말기는 시확산이 거의 일어나지 않았다. 시확산이 거의 일어나지 않은 9번 단말기의 coherent bandwidth가 수신 파워는 크지만 시확산이 많이 일어난 8번 단말기의 coherent bandwidth보다 크다는 것을 알 수 있다. 또한 금속문이 최소한의 투과와 반사를 거쳐 단말기에 도달할 수 있는 경로를 가로막고 있는 19번 단말기의 경우는 전체적으로 신호의 파워가 약하나 시확산은 거의 일어나지 않았고, 따라서 coherent bandwidth도 다소 넓다는 것을 알 수 있다.

다중 경로 채널은 mean excess delay, rms delay spread의 두 가지 파라미터로 분석될 수 있다. Multipath intensity profile $s(t)$ 로부터 mean excess delay $\bar{\tau}$ 는 식(4)와 같이 정의된다. mean excess delay는 첫번째로 도달한 신호를 기준으로 한 평균 전파 지연 시간을 말한다.

$$\bar{\tau} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} t s(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} s(t) dt} \quad (4)$$

rms delay spread σ 는 식 (5)와 같이 정의되며 mean excess delay를 기준으로 multipath intensity profile이 어느 정도 퍼져 있는가를 말한다. 이 rms delay spread는 부호간 간섭 현상을 피할 수 있도록 전송 속도를 결정하는 데 매우 중요한 파라미터이다.[4]

$$\sigma^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (t - \bar{\tau})^2 s(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} s(t) dt} \quad (6)$$

Mean excess delay는 13번 단말기에서 최대 133.81 [nsec]로 나타나 가장 시확산이 크게 나타났고, 19번 단말기에서 55.29 [nsec]로 시확산이 가장 작게 나타났다. 마지막으로 rms delay spread는 5번 단말기에서 82.35 [nsec]로 가장 크게 나타났고, 27번 수신기에서 29.91 [nsec]로 가장 작게 나타났다. 표 4.1은 29개 단말기의 채널 파라미터의 결과를 나타낸 것이다.

	Max	Min	Avg.	Std. Dev.
Mean excess delay [nsec]	133.81	55.29	90.01	23.55
Rms delay spread [nsec]	82.35	29.91	47.50	13.17

표 4.1 채널 파라미터 분석

5. 결론

본 논문에서는 단말기로부터 원거리에 위치한 기지국 으로부터 나온 전파가 건물 내 단말기에 도달할 때는 평면파의 형태로 도달된다는 가정 하에 전파 추적 기법을 이용해 단말기와 기지국 간의 채널 특성을 분석하였다. 수신 특성을 분석해 본 결과 전파 자체의 세기 감쇠 뿐 아니라 다중 경로를 통해 발생된 여러 개의 전파의 간섭 패턴 역시 수신 특성에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 벽 근처에 존재하는 단말기의 경우 그렇지 않은 단말기에 비해 더 많은 시확산이 일어나는 것을 볼 수 있었다.

본 모의 실험을 통해 분석된 채널 특성을 바탕으로 시확산 및 부호간의 간섭을 제거할 수 있는 효율적인 기술의 구현이 가능하리라고 기대된다.

6. 참고 문헌

- [1] D. K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics*, Addison Wesley, 2nd ed., 1989.
- [2] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, Wiley, 1989.
- [3] S. C. Kim, "Prediction model of wave propagation inside building including specular and diffracted transmission and reflection," 한국통신학회논문지, vol. 23, No. 6, pp. 1592-1601, 1998년 6월.
- [4] S. C. Kim, H. L. Bertoni, and M. Stern, "Pulse propagation characteristics at 2.4 GHz inside buildings," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 45, No. 3, pp. 579-592, Aug. 1996.
- [5] W. Honcharenko and H. L. Bertoni, "Mechanism governing UHF propagation on single floors in modern office building," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, No. 4, pp. 496-504, Nov. 1992.
- [6] S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, "Site-specific propagation prediction for wireless in-building personal communication system design," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, No. 4, pp. 879-891, Nov. 1994.