

도심지 이동통신 환경의 무선 채널 파라미터

이 중서, 정백호*, 고학림*, 김채영**
 호서대학교 정보통신공학과, *호서대학교 벤처전문대학원, **경북대학교 전자·전기공학부

Wireless Channel Parameter in Urban Mobile Communication Environment

Jong-Seo Lee, Beak-Ho Jung*, Hak-Lim Ko*, Che-Young Kim**

Dept. of Information and Communication Eng., Hoseo Univ.

*Graduate School of Venture, Hoseo Univ.

**School of Electronics and Electrical Eng., Kyungpook National Univ.

Abstract - 본 논문에서는 도심지 마이크로셀의 전파 환경 특성을 예측하기 위한 무선 채널 파라미터 산출 코드를 구현하였다. 이를 위해 광선추적기법을 이용하여 전파가 겪게 되는 회절과 다중반사의 위치를 구한 다음 전장을 계산하였다. 광선추적기법의 구현시 경로 계산에 소요되는 시간의 단축을 위해 건물의 모든 모서리에서 발생하는 회절 이후의 광선추적을 먼저 수행하는 기법을 제안하였으며, 기존 방법의 결과와 동일하면서도 하나의 수신점에 대한 계산시간을 1/70 이하로 단축하였다.

게 된다. 2차원상의 반사와 회절 위치는 높이가 고려된 3차원의 좌표값으로 변환되며, 이때 각 경로에 대해 지면 반사 경로가 설정된다. 수신점에 도달하는 최종 전파 경로들을 통해 수신 위치에서 장의 크기가 결정된다.

도심지의 각 건물은 평탄한 지면 위에 있으며, 건물의 수직축은 직각 좌표계의 z축과 일치한다고 가정하였다. 또한 건물은 다각형의 구조를 가지고 있으며, 수평면인 xy 평면에서 각 건물의 모서리 좌표로 정의된다. 즉 임의의 건물은 모서리의 집합으로 표현된다. 본 논문에서 시뮬레이션의 예로 사용되는 지형지도는 측정치와의 비교를 위하여 그림 1과 같이 구성하였다 [1].

1. 서론

최적의 이동 통신 시스템 설계를 위해서는 전파환경의 신호 예측이 요구된다. 이를 위하여 본 논문에서는 도심지 마이크로셀에서의 전파 특성을 파악하기 위하여 기하 광학과 UTD(Uniform Theory of Diffraction)에 근거한 광선추적기법을 이용하였다. 또한 현재 관심이 증대되고 있는 스마트 안테나를 사용한 이동통신 시스템에서의 주요 파라미터인 도달각(Angle of Arrival, AOA)과 지연시간에 따른 경로손실을 함께 산출하고자 한다.

광선추적기법의 적용시 고려되는 파는 직접파, 다중 반사파 및 회절파이다. 다중 반사에는 건물에 의한 반사 뿐만 아니라 지면에 의한 반사를 포함하였으며, 회절파의 경우는 건물의 수직 모서리에 의한 회절을 고려하였다. 도심지의 건물들은 송신위치보다 모두 높다고 가정하여 건물 지붕에서의 회절은 무시하였다.

건물과 도로는 서로 상이한 유전율과 전도도를 갖는 손실 유전체로 모델링하였다. 또한 광선추적기법의 적용을 위하여 전파가 부딪히는 면은 전파의 파장에 비하여 매우 크다고 가정하였다. 2차원 지형 데이터를 이용하여 경로추적을 수행한 후, 높이가 고려된 3차원 경로를 산출하여 전파의 편파가 고려된 장을 계산하였다. 경로 산출의 경우 회절점에서 시작되는 경로는 송신 및 수신 위치와 무관하므로 입력지도 데이터를 근거로 모든 회절점 이후의 경로 산출을 선행하여 계산시간을 단축하는 알고리즘을 적용하였다. 그리고 측정치와 본 광선추적기법의 시뮬레이션 결과와 비교하여 타당성을 확인하였다.

2. 광선추적기법

광선추적기법에서 사용되는 전파경로는 송신점에서 좌표계의 x축과 이루는 각인 발사각의 기울기를 갖는 직선 방정식으로 나타내었으며, 건물의 벽면 또한 두점을 지나는 직선 방정식으로 표현하였다. 이 두 직선 방정식 간의 해는 반사 위치를 나타내게 된다. 발사경로와 건물의 교차점은 영상법에 의해 광선의 진행 방향을 결정하

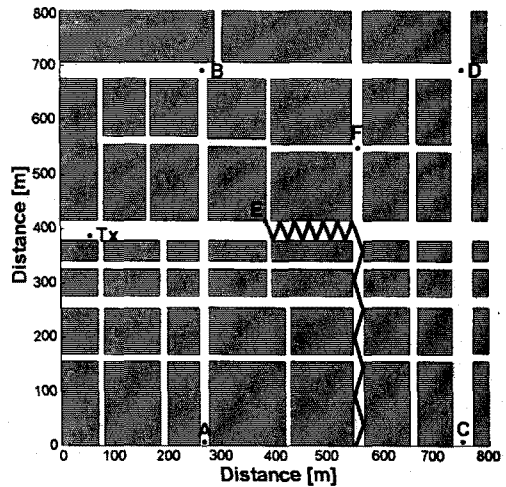


그림 1. 도심지 마이크로셀 환경의 평면도

특정한 지형지도 입력을 통해 도심지에서의 전파 환경이 구축되어지며, 송신 및 수신 위치를 정의하면 광선추적을 통해 송신점으로부터 시작되어 수신점까지 도달하는 전파 경로가 산출된다. 송신점에서 모든 방위각의 전 방향으로 발사되는 전파는 x축에 대해 증분각 Δφ만큼씩 증가한다. 또한 수신점에 대한 도달파를 고려하기 위해 다음과 같이 방위각 φ에 대하여 n번째 발사광선의 다발이 정의된다.

$$n\Delta\phi - \frac{\Delta\phi}{2} \leq \phi < n\Delta\phi + \frac{\Delta\phi}{2} \quad (1)$$

여기서 $\Delta\phi$ 는 방위각의 증분각이다. 수신점이 식 (1)의 부등식 범위내에 있으면 도달 경로가 형성된다.

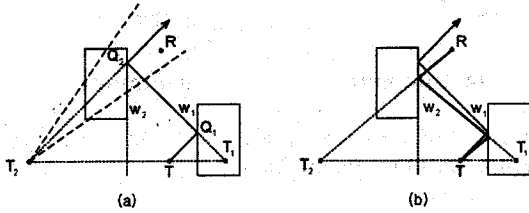


그림 2. 반사경로에 대한 도달파 확인

직선 방정식으로 표현된 시험 광선과 벽면들간의 해들 중에서 최단거리의 해가 반사 위치이며, 영상법에 따라 반사 방향이 결정된다. 그림 2는 송신점에서 출발한 광선이 수신점에 도달되는 경로의 산출 과정을 보이고 있다. 두 개의 사각형은 건물을 나타내고 있다. T_1 는 송신점, T_2 와 T_1 는 T 의 각 벽면에 대한 영상점, Q_1 과 Q_2 는 반사점을, R 은 수신점을 표시하고 있다. 그림 2의 (a)는 송신점에서 발사된 광선의 반사과정에서 생성된 영상점 T_2 의 광선 다발(쇄선)안에 수신점이 놓여져 있는 것을 나타내고 있다. 그림 2의 (b)는 R 에서 시작하여 송신점까지 역추적 과정을 통해 최종 도달경로를 구하는 과정을 나타내고 있다.

건물의 모서리에서 발생하는 회절 이후의 광선 추적은 계산 수행 시간을 연장시킨다. 그러나 그림 1과 같은 도심지 전파 환경에서 송신 또는 수신 위치가 바뀌더라도 회절을 일으킨 이후의 모든 광선 경로는 동일 경로를 겪게 된다. 따라서 본 논문에서는 회절 위치에서 미리 광선추적을 수행하여 프로그램 수행 시간을 단축하였다. 광선의 최대 반사 횟수를 미리 설정한 후 회절점에서 발사된 광선에 대해 반사점과 이 광선 다발 안에 놓이는 회절 위치에 대한 정보들이 저장된다. 이후에 송신점에서 발사된 광선이 회절을 일으킬 경우 미리 작성된 회절점 이후의 광선 경로에 대한 정보를 이용하면 된다.

그림 1의 지도에서 최대 반사 횟수를 30으로 두고 점 E 에서 0.5° 간격으로 수행한 발사 광선의 경로 추적은 약 6분이 소요되었으며, 모든 회절점(200개)에 대한 전체적인 평균은 4분 정도이다. 즉 그림 1의 지도에서 회절점의 수가 200개이므로 약 80분이 소요되었다. 그리고 이 데이터를 활용하면 임의 송신점에서 하나의 수신점까지 경로추적을 완료하는데 약 10분이 소요되었다. 그러나 기존의 방법으로는 약 700분이 소요되었다. 그러므로 송신 또는 수신 위치의 경우가 100개이라면 기존 방법은 70,000분이 소요되며, 제안된 방법으로는 회절점 이후 경로 산출을 포함하여 1,800분이 소요된다. 송신 또는 수신 위치 변경이 많을수록 계산 소요 시간의 차이는 매우 커지게 된다.

3차원으로 변환된 전파 경로는 기하광학과 UTD에 근거하여 수신점에서 편파가 고려된 최종 장이 계산된다. 회절점 또는 반사점을 Q 라 하고 각 점의 입사장을 $E^i(Q)$ 라 할 때, 수신점 R 에서의 회절장 $E^d(R)$ 와 반사장 $E^r(R)$ 은 다음과 같이 주어진다 [2].

$$E^d(R) = E^i(Q) \cdot \overline{D} A_d(\rho, s) e^{-jks} \quad (2)$$

$$E^r(R) = E^i(Q) \cdot \overline{T} A_r(\rho, s) e^{-jks} \quad (3)$$

여기서 \overline{D} 와 \overline{T} 는 각각 다이아드 회절 계수와 다이아드 반사 계수이며, $A_d(\rho, s)$ 와 $A_r(\rho, s)$ 는 회절과 반사에

대한 공간 감쇄 함수이다. ρ 는 Q 에서의 입사파면의 곡률반경이며 k 는 전파 상수, s 는 Q 에서 R 까지의 거리를 나타낸다.

경로 손실의 산출시에는 다음의 식을 사용하였다.

$$L = 20 \log_{10} \left| \frac{\lambda}{4\pi} \frac{E_{br}}{E_i} \right| \quad (4)$$

여기서 λ 는 파장, E_{br} 는 수신점에서 각 경로 전장의 합이다. 그리고 $E_i = \sqrt{30 P_t G_t}$ 이며 거리 1 m의 입사장이다. P_t 는 송신 전력, G_t 는 송신 안테나의 이득이다 [1]. 그리고 송신점으로부터 장점 Q 의 입사장은

$$E^i(Q) = \sqrt{30 P_t G_t} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{e} \quad (5)$$

이며, r 은 경로거리이고, \hat{e} 는 편파 벡터이다.

3. 수치 결과

본 논문에서 제안된 알고리즘을 이용하여 작성된 광선 추적기법 코드의 타당성을 검증하기 위하여 측정치와 비교하였다 [1], [3]. 표 1에는 경로 손실을 계산하는데 사용된 입력 파라미터들을 나타내고 있다. 발사 광선의 증분각은 $\Delta\phi = 0.5^\circ$ 로 두었으며, 반사회절 제한 횟수는 각각 20과 1로 두어 광선추적을 수행하였다. 송신 안테나의 위치는 그림 1의 지도에서 (50, 385) m이다.

표 1. 채널 입력 파라미터

Frequency		1.5 GHz
Transmitter antenna height		5.5 m
Receiver antenna height		3 m
Building	Relative Permittivity	$\epsilon_r = 9$
	Conductivity	$\sigma = 0.1 \text{ S/m}$
Ground	Relative Permittivity	$\epsilon_r = 15$
	Conductivity	$\sigma = 7 \text{ S/m}$

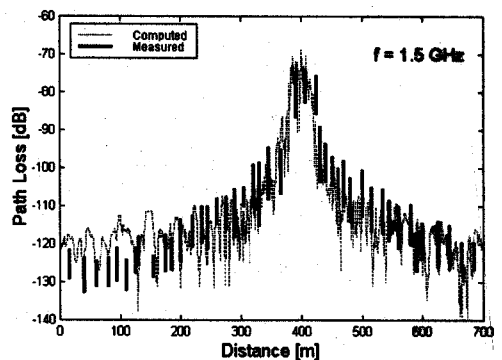


그림 3. 측면도로 A-B (그림 1)의 경로 손실

그림 3과 4는 그림 1의 측면 도로 A-B와 C-D에서 수신점을 1 m 간격으로 이동하여 경로 손실을 계산한 결과를 측정치와 함께 나타낸 것이다 [3]. 굵은 실선은

측정값을 나타내고 있으며, 가는 실선은 계산치이다. 도로 A-B의 계산 결과는 측정치와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있으며, C-D의 경우 가시영역과 비가시 영역의 일부에서 측정치와 약간 벗어나 있다. 그러나 비가시 영역의 다른 구간에서는 매우 잘 일치하고 있다.

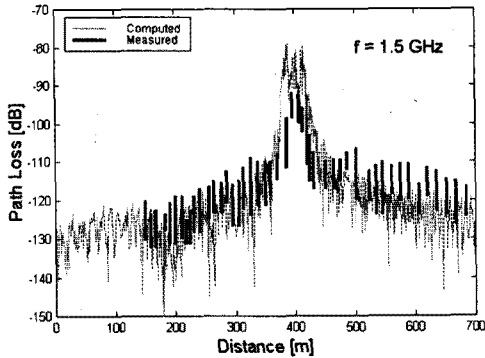
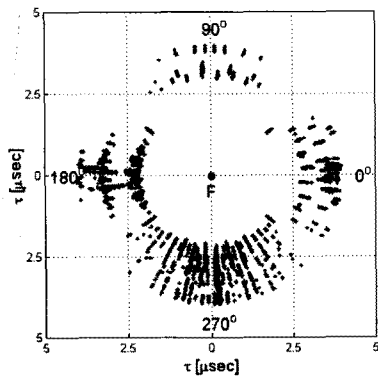
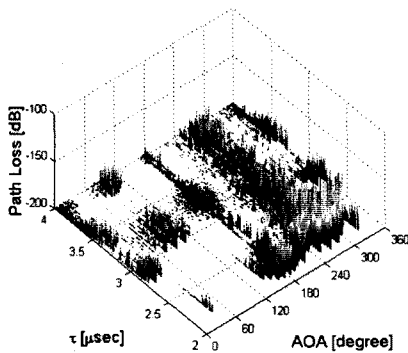


그림 4. 측면도로 C-D (그림 1)의 경로손실



(a)



(b)

그림 5. 수신점 F (그림 1)에서 지연시간과 도달각에 따른 경로분포와 각 경로의 손실

그림 5는 그림 1의 F 위치에 도달하는 각 전파경로를 도달각과 지연시간에 따라 보이고 있다. 반사와 회절 횟수는 각각 20과 2로 설정하여 경로를 얻었다. 그림 5의 (a)에서 보는 바와 같이 송신점이 놓인 주도를 따라 수신점 F가 놓인 방향으로 반사 또는 회절되는 경로가 지배적임을 볼 수 있다. 즉 270° 부근에서 입사 경로가 밀집되어 있는 것을 알 수 있다. 그림 5의 (b)는 AOA와 지연시간에 따른 각 경로의 손실 분포를 나타내고 있으며 주 도달각은 방위각 270° 부근임을 분명히 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전파환경이 결정된 지도가 입력되면 각 회절점으로부터의 경로를 먼저 산출하여 이용하는 기법을 제안하였으며, 송신점과 수신점의 위치와 무관하게 이를 활용하여 계산시간을 획기적으로 단축할 수 있었다. 계산된 결과는 측정치와 잘 일치하였으며, 송신 및 수신 위치를 임의적으로 선택하더라도 단시간내에 수신점에 도달되는 경로를 도달각과 지연시간의 함수로서 볼 수 있도록 구현하였다.

이 논문은 호서대학교 산학협동연구소의 연구비 지원으로 수행된 결과임.

(참 고 문 헌)

- [1] S. Y. Tan and H. S. Tan, "A microcellular communications propagation model based on the uniform theory of diffraction and multiple image theory," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 10, pp. 1317-1326, Oct. 1996.
- [2] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, chapter 13, 1989.
- [3] T. Iwama and M. Mizuno, "Prediction propagation characteristics for microcellular land mobile radio," in *Proc. Int. Symp. Antennas Propagat.*, Sapporo, Japan, pp. 421-424, 1992.