

개선된 영상기법을 이용한 마이크로셀 환경에서의 전파경로 추적 모델링

(The Ray Tracing Modeling Using the Modified Image
Method in Microcellular Environment)

송 기 홍* · 함 영 권* · 이 혁 재*

Ki Hong Song* · Young Kwon Hahm* · Hyuck Jae Lee*

요 약

마이크로셀 환경에서의 수신전력 및 지연 프로파일 예측을 위한 전파경로 추적법에 적용하기 위하여 반사지점을 찾는 방법인 개선된 영상기법과 반사 횟수에 따른 다중경로파 수를 계산하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 이용한 전파경로 추적모델을 이용하여, 여러가지 형태의 환경 구조 및 다중경로파 수에 대한 시뮬레이션 결과를 보였다. 또한 예측모델의 신뢰성을 검증하기 위하여 도로 양쪽을 따라 배치된 아파트 단지 내에서의 측정된 측정치와 시뮬레이션 결과를 비교 검토 하므로써 적절한 반사 횟수를 제안하였다.

Abstract

This paper proposes the modified image method scheme to search the reflected points and the method to calculate the number of rays. These methods are applied to the ray tracing technique for received power and delay profile prediction in microcellular environment. With ray tracing model using these methods, we show the simulated results for various environmental structures. To demonstrate the validity of this approach, these simulated results are compared and analysed with measured results in apartment towns along the street. In addition we proposed the optimum number of multipath rays with the results in microcellular environment.

I. 서 론

마이크로셀 환경에서의 수신전력 예측방법중
에서 전파경로 추적방법(ray tracing technique)

* 한국전자통신연구소(Electronics and Telecommunications Research Institute)

을 이용하여 가시거리 및 비가시거리 지역에서의 수신전력을 얻는 방법을 제안한다. 특히 전파경로 추적시 이용하기 위한 개선된 영상기법과 반사 횟수에 따른 다중경로파의 수를 계산하는 방법을 제안한다.

마이크로셀에서의 수신전력 예측을 위하여 많은 문헌 [1]~[3]에서 전파경로 추적 방법(ray tracing technique)을 제안하였다. 이 방법을 이용하기 위해서는 송신된 전파가 수신기에 도달하는 동안 반사 및 회절 현상이 발생한 각 매질에 대한 반사 및 회절 계수를 얻어야 한다[4]. 반사 및 회절계수를 구하기 위해서는 각 현상이 발생하는 위치를 알아야 한다. 이를 위하여 벽면과 장애물을 전위적 반사체로 간주하여 영상전원(image source)에 의한 반사파의 크기를 계산하는 방법인 영상전원 방법(image method) [5]을 이용할 수 있으며, 이 방법은 일정한 간격으로 송신방향을 변화시킨 전파의 경로를 추적하는 방법[6]에 비해 매우 정확한 해를 얻을 수 있다.

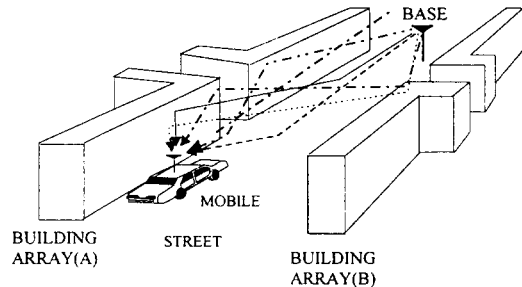
본 논문에 제안된 영상기법은 기존의 송신기 위치에 대하여 영상기법을 적용한 구조와 달리 반사체에 대하여 영상기법을 적용하므로써 반사파의 반사지점을 매우 용이하게 얻을 수 있는 방법으로서 계산시간도 단축되었다. 특히 수신기가 비가시거리 영역내에 위치할 때 수신기에 도달할 수 있는 각 반사파 및 회절파를 포함한 다중경로파의 반사지점을 정확하게 얻을 수 있다. 또한 수신전력의 계산에 이용될 다중경로파(multipath wave)의 수를 결정할 때 반사 횟수를 선택하면 그에 따른 다중 경로 파의 수가 결정되는 방법을 제안하였다. 이것은 수신전력에 영향을 주는 다중 경로파의 크기는 반사체에서의 반사 횟수와 밀접한 관계가 있기 때문이다. 이와 같이 제안된 방법을 이용하여 여러가지 환경 및 다중경로파 수에 대한 시뮬레이션 결과를 보였으며, 예측 모델의 신뢰성을 검증하기 위하여 도로 양쪽을 따라 배치된 아파트 단지에서 측정한 측정치와 시뮬레이션 결

과치를 비교 검토하였으며, 검증된 결과를 이용하여 마이크로셀 환경에서의 전파경로 추적기법 이용시 고려해야 할 적절한 다중경로파의 수를 제안하였다.

II. 반사지점 및 다중경로파 수 계산

2-1. 수신전력 모델링

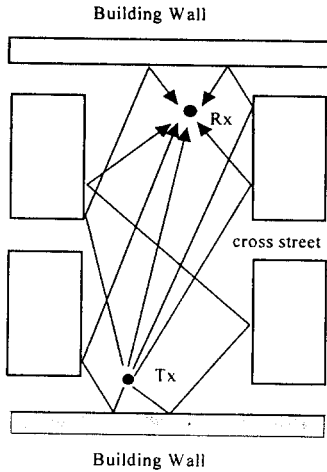
[그림 1]은 사거리가 도심 가운데 위치한 일반 도심지 환경에서 송신기와 수신 기사이에 송신신호가 다중경로파를 형성하여 전파하는 모습을 나타낸다. [그림 1]에서 보는 것처럼 각 다중경로파는 여러가지 경로를 통해 수신기에 도달하게 되며 수신기에서의 수신전력은 이들의 합으로 이루어짐을 알 수 있다.



[그림 1] 대도시 마이크로셀에서의 전파환경
[Fig. 1] Radio environment in urban microcell area.

또한 일반적인 도심지역 내에서의 도로는 [그림 2]와 같이 T자형, 십자형 또는 T자형 등 다양한 구조를 가지고 있다. 특히 T자형이나 T자형 도로의 경우 수신 전력은 도로 양쪽에 위치한 반사체에서 생기는 반사체뿐 아니라 도로 전후면에 위치한 반사체에서 생기는 반사파들도 큰 영향을 미칠 수 있으므로 계산에 고려되어야 한다.

이와 같은 마이크로셀 환경구조에서 이동체



[그림 2] T 형 및 십자형을 가진 구조에서 도로 전후면 반사체에 의한 전파전파 현상

[Fig. 2] Radio propagation phenomenon by the front or rear reflects in the T and cross-type streets.

에서의 수신전력은 직접파 및 각 반사체에서의 반사파와 건물 모서리 부분에서 생기는 회절파의 합으로 크게 나눌 수 있다 [7].

따라서 반사 및 회절 성분을 고려한 수신전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_r = & P_t(\lambda/4\pi)^2 \{ |G_d(x)|/l_d \\
 & + \sum_{i=1}^N \left[G_{ri}(x) \frac{R_i}{l_{ri}} \cdot \exp(j\frac{2\pi}{\lambda}(l_{ri}-l_d)) \right] \\
 & + \sum_{k=1}^M \left[G_{dk}(x) \frac{R_{dk}^b D_k R_{dk}^m}{S_d} \sqrt{\frac{S}{SS_d}} \cdot \exp(j\frac{2\pi}{\lambda}(S_d-l_d)) \right]^2 \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, P_t 는 송신전력, λ 는 파장이 되며 l_d 는 직접파 경로의 길이, l_{ri} 는 i 번째 다중경로파의 경로길이를 의미한다. 그리고 R_i 는 i 번째 다중경로파의 반사계수로서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_i = \prod_{j=1}^J r_{ji} \quad (2)$$

식 (2)에서 도로 양쪽 벽면에 J 번 반사되어 만들어진 i 번째 다중경로파의 반사계수 R_i 는 각각의 반사지점에서의 반사계수 r_{ji} 의 곱으로 나타내어진다. G_d, G_{ri} 는 직접파 및 i 번째 다중경로파의 송신기와 수신기 간 복사패턴의 곱이 된다. 또한 $R_{dk}^b D_k R_{dk}^m$ 는 k 번째 다중경로파가 송신기에서 수신기까지 도달하는데 필요한 반사 및 회절계수의 곱이 된다. 즉 R_{dk}^b 는 송신기에서 회절지점까지의 경로 상에서 생기는 반사 계수를 나타내며 D_k 는 회절지점에서의 회절 계수를 나타낸다⁽⁸⁾. 또한 R_{dk}^m 는 회절지점에서 수신기까지의 경로 상에서 발생하는 반사 계수를 뜻한다. 만약 송신기에서 회절지점까지의 경로 상에 반사현상이 발생하지 않고 송신기와 직접 회절지점에 도달하면 $R_{dk}^b = 1$ 이 된다. 그리고 S' 은 송신기에서 회절지점까지의 전파경로, S 는 회절체에서 수신기까지의 전파경로를 나타내며 S_d 는 송신기에서 수신기까지의 전파경로의 길이로서 $S+S'$ 가 된다.

식 (1)에서 우변항 중괄호 안의 첫 번째 항은 직접파에 의한 수신전력의 크기, 두 번째 항은 반사파에 의한 수신전력의 크기이며, 세 번째 항은 회절 현상에 의해 발생한 다중경로파가 수신전력에 미치는 영향을 나타낸다. 이와 같이 수신전력은 직접파와 N 개의 반사파들의 합, 그리고 M 개의 회절현상에 의해 발생하는 다중경로파의 전체 합으로 이루어져 있다. 만약 회절 현상이 발생하지 않으면 세 번째 항은 0이 된다. 또한 수신기가 비가시거리지역에 들어가게 되면 직접파는 제외되고 반사파와 회절파만 수신전력에 영향을 미침을 알 수 있다.

식 (1)에서 각 다중경로파의 반사지점 및 다중경로파의 수는 각각 아래와 같이 구할 수 있다.

2-2. 반사지점 계산

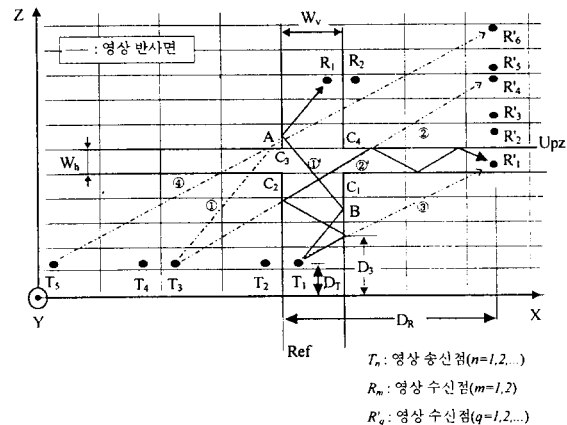
전파경로 추적을 위한 반사지점 계산 방법은 두 가지로 나타낼 수 있다. 먼저 송신 안테나에서 전파 송신 방향을 일정하게 변화시키면서 송신하였을 때, 송신된 전파 중에서 수신기에 도달하는 전파를 찾아 이 전파의 반사지점을 찾는 방법이다[6]. 두 번째 방법은 영상기법을 이용한 방법으로서 영상 송신기를 반사면에 대해 실제 송신기와 반사면과의 거리만큼 반대 방향으로 이격된 지점에 배치하여 각 다중경로파의 반사지점을 찾는 방법이다[5].

상기된 두 가지 방법 중에서 첫 번째 방법은 송신파의 송신 방향에 대한 변화량에 따라 수신기에서의 정확도가 결정되며, 수신기에서 적용되는 수신영역(receiving area)의 크기에 따라 수신되는 다중경로파의 수가 달라지므로 정확한 수신전력을 얻기 어렵다. 그리고 송수신기간 이격 거리가 매우 가깝거나 먼 거리에 있는 경우 계산이 어렵다. 그러므로 이 방법은 근사적인 해밖에 구할 수 없으며 수신기에 도달하지 않는 방향에 대해서도 송신하므로 수신전력의 계산시간이 길어진다. 두 번째 방법은 영상기법을 이용하여 다중경로파의 경로를 정확히 예측할 수 있으므로 보다 정확한 해를 얻을 수 있으며, 적절한 경로에 대해서만 전파경로를 추적하므로 계산시간이 짧다.

본 논문에서는 기존의 영상기법보다 반사지점의 계산이 용이할 뿐 아니라 보다 다양한 환경에 적용할 수 있는 개선된 영상기법을 제안한다. 먼저 기존의 방법은 송수신기가 가시거리 영역 내에 있다는 가정 하에 이용되므로 이용상 제한이 있다. 즉 수신기가 비가시거리 영역 내에 있을 경우 새로운 영상전원 구조를 이용하여야 한다. 그러나 본 논문에서 제안된 영상기법은 [그림 3]에서 보는 것처럼 송신기에 대한 영상 송신점 대신에 도로 양쪽에 위치한 빌딩 벽면에 대하여 도로 폭에 해당되는 넓이만큼 이격시켜 반복 설치한 영상반사면을 이용하는 방법으로서 실제 도로 양쪽 벽면 사이에 위치한 송수신기는 각 영상 반사면 사이에 제

배치하여 새로운 영상 송수신점을 얻는다. 따라서 영상 송신점 및 수신점을 잇는 직선과 영상 반사면이 만나는 점이 실제 발생하는 반사지점이 된다. 이러한 방법은 반사지점 계산이 매우 용이할 뿐 아니라 수신기가 비가시거리 영역 내에 있을 경우에도 그대로 적용할 수 있어 효과적이다.

[그림 3]에서 W_b 는 X축을 따라 놓인 도로의 폭을 나타내고, W_v 는 Z축을 따라 위치한 도로의 폭이다. 그리고 C_1, C_2, C_3 및 C_4 는 각 모서리 점을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 영상 송수신점은 R_m 점과 R'_q 점 두 가지로 나뉜다. R_m 점은 수신기가 가시거리 영역 내에 있을 때, R'_q 점은 수신기가 비가시거리 영역 내에 있을 때 이용된다. 수신기가 ①번 경로와 같이 가시거리영역내에 있는 경우 송수신기간 및 각 반사지점의 위치는 T_n 과 R_m 점을 잇는 직선과 영상 반사면이 만나는 점이 되어 ① 경로를 따르는 다중경로파가 된다. 차단지역 내에 수신기가 있을 경우 송수신기간 거리 및 반사지점은 ②번 경로처럼 T_n 과 R'_q 점을 잇는 직선과 영상 반사면이 만나는 점이 되어 ② 경로를 따르는 다중경로파가 된다. 이와 같이 제안된 방법



[그림 3] 반사지점을 찾기 위한 개선된 영상기법
 [Fig. 3] The modified image method for searching the reflected points.

은 가시거리 및 비가시거리 영역에 대해 연속적인 수신전력의 예측을 가능하게 한다.

[그림 3]에서 T_m 과 R'_q 에서 n 과 q 는 원하는 반사 횟수의 계산까지 확장이 가능하나 R_m 는 수신기에 도달하기 직전의 반사지점의 위치에 따라 m 이 1 또는 2로 구분된다. 즉 R_1 과 T_m 를 잇는 직선은 최종적으로 도로 왼쪽 벽면에 반사되어 수신기에 도달하는 다중경로파, R_2 와 T_m 를 잇는 직선은 도로 오른쪽 벽면에 반사되어 수신기에 도달하는 다중경로파가 된다. 이러한 방법은 기존의 방법에 비해 변수의 수를 줄일 수 있으므로 계산 시간을 줄일 수 있다.

그림에서 보는 바와 같이 비가시거리영역내에서 영상 수신점에 반사파가 도달하기 위해서는 오른쪽 벽면과 만나는 다중경로파에 대한 Z축상 직선거리가 C_1 보다 커야 하며 $C_1 + W_k$ 보다는 작아야 한다. 이 범위를 벗어나는 다중경로파는 수신기에 도달하지 못한다. 예를 들어 T_3 영상 송신점에 의한 다중경로파가 비가시거리 영역내의 영상수신점에 도달하기 위해서는 모든 R'_q 점들이 될 수 있으나 실제로 $T_3 - R'_4$ 이상이 되어야 한다. 따라서 그림에서 ③번 경로의 경우 실제 벽면인 오른쪽 벽면과 만나는 점의 Z축상 거리 D_3 가 C_1 보다 작으므로 송신기로부터의 송신된 전파가 수신기에 도달하지 못하며, ④번 경로의 경우 Z축상 거리가 $C_1 + W_k$ 보다 크므로 역시 수신기에 도달하지 못한다. 이와 같이 얻은 여러가지 경로 중에서 최소 거리 경로는 영상 송신점의 번호의 합이 가장 작은 경로가 됨을 알 수 있다.

이상과 같은 방법으로 얻은 반사지점에 대하여 각 매질의 특성을 나타내는 유전체 상수와 전도도를 이용하여 반사지점에서의 반사계수를 산출할 수 있으며, 반사계수에 따른 반사파의 수신전력을 구할 수 있다. 또한 사거리의 각 건물 모서리에서 회절현상이 발생하여 수신기에 전달되는 회절파에 대해서는 먼저 송신기와 회절지점까지의 각 반사지점을 계산하고 다시 회

절지점과 수신기까지의 각 반사지점을 계산한다.

2-3. 다중경로파의 갯수 계산

전파경로 추적 기법을 이용한 수신전력 예측 시 계산에 고려될 다중경로파의 수를 적절하게 결정하는 것은 보다 엄밀한 수신전력의 예측뿐 아니라 계산시간의 단축 등을 위해 매우 중요하다. 이와 같이 수신전력에 영향을 주는 다중경로파의 수는 옥내 또는 옥외 등 전파환경에 따라 달라지므로 적절하게 선택할 수 있어야 한다. 수신전력의 크기는 전파경로의 길이와 벽면 또는 지면 반사 횟수에 밀접한 관계가 있다. 특히 마이크로셀 환경에서는 전파경로의 길이 보다는 반사계수에 의해 크기가 좌우될 뿐 아니라 경로길이는 대체로 반사 횟수에 비례한다. 따라서 반사 횟수에 따른 다중경로파 수의 계산 방법을 제안한다.

벽면에 한번이하로 반사되어 수신기에 도달하는 전파들은

- 직접파
- 지면반사파
- 왼쪽벽면 반사파
- 오른쪽 벽면 반사파
- 전면 반사파
- 후면 반사파

로 구분되어 전체 6개의 경로에 대한 다중경로파들의 합이 된다. 이중에서 한번 반사되는 다중경로파는 지면 반사파를 제외하고 4개가 된다. 이와 같이 반사 횟수 i 에 따른 고려해야 할 i 번째 다중경로파의 수는 다음과 같다.

$$M_i = 4 \times (i-1) + 4 \times i, \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

식 (3)에서 우변 첫째 항은 지면-벽면 반사파 성분들의 수를 나타내고 둘째 항은 벽면 반사파 성분들의 수이다. 여기서 각 항에 적용된 4는 도로 양쪽뿐만 아니라 도로 전후에 위치한 반사체를 나타내며, 도로 양쪽면 반사체만

존재하는 경우 2가 된다. 따라서 N번 이하의 반사 횟수에 따른 총 다중경로파의 합은 식 (4)와 같다.

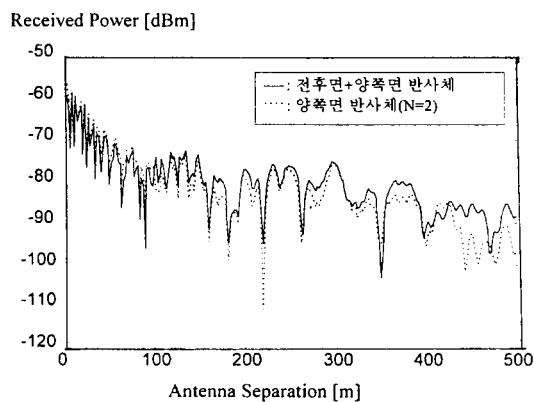
$$M_i = \sum_{i=1}^N M_i + 2, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

윗식에 포함된 두 번째 항 2는 직접파와 지면반사파를 나타내고 첫째 항은 각 반사 횟수에 의한 다중경로 수에 대한 합이 된다. 예를 들어 두번까지의 반사가 고려된 경우 수신점에서 다중경로파의 수는 18이 되며 전후면 반사체가 없을 경우 10개의 다중경로파를 가진다.

III. 시뮬레이션 결과 및 측정 결과 분석

3-1. 시뮬레이션 결과

제안된 방법을 이용하여 얻은 여러 가지 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션에는 전후면 반사체가 있는 경우와 없는 경우, 회절과가 고려된 경우등 다양한 전파환경에 대한 결과를 얻었다. 송수신 안테나 높이는 10 m, 1.5 m, 사용 주파수는 1.8 GHz이며 건물벽의 재질은 시



[그림 4] 전후면 반사체가 있을 때와 없을 때의 결과 비교.

[Fig. 4] Comparison of the received powers between whether or not the front and rear reflectors exist.

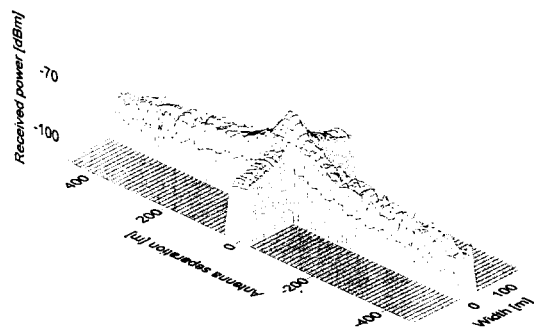
멘트(유전체 상수 : 3, 전도도 : 0.005)로 가정하였다.

[그림 4]는 도로 전후면에 반사체가 있는 경우와 없는 경우에 대한 결과를 비교하였다. 계산에 고려된 다중경로파는 반사체에 두번까지 반사될 때 생기는 반사파들의 합이며, 따라서 전후면 반사체가 있는 경우 18개, 없는 경우 10개의 다중 경로파가 계산에 고려된다.

그림에서 보는 바와 같이 두 가지 경우의 결과가 양쪽 경계 부근에서 많은 차이가 생기며 전후면 반사체가 있을 경우가 없을 경우보다 수신전력이 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 수신기가 도로 전후면 반사체 부근으로 갈수록 전후면 반사체에 의한 반사파가 수신전력에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

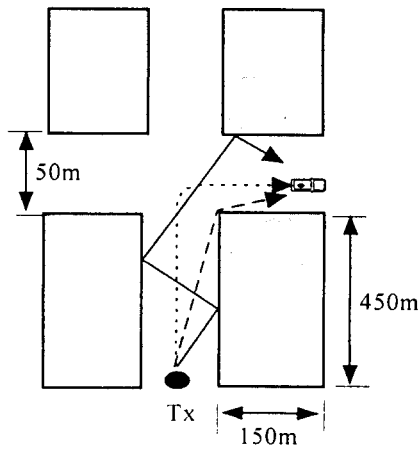
[그림 5]는 송신 안테나가 사거리 중앙에 위치할 때 네 방향으로의 신호크기의 변화를 나타낸다. 그림을 보면 전 방향이 가시거리 영역 내에 있으므로 예측 구간내 거의 모든 지역에서 -100 dBm이상의 수신전력을 얻을 수 있다.

[그림 6]은 건물 모서리 등에서 주로 발생하는 회절파의 영향을 확인하기 위한 결과이다.



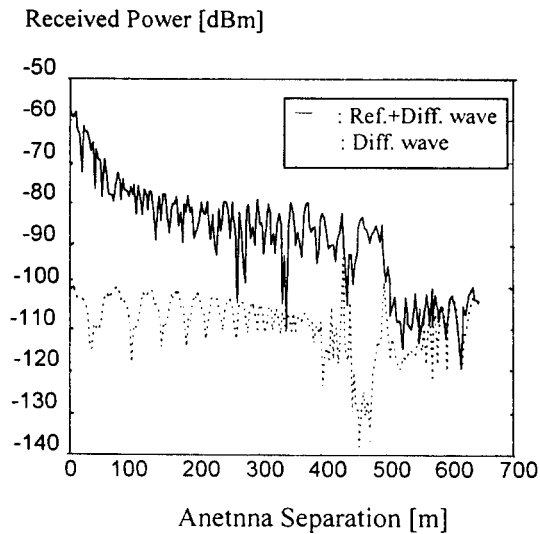
[그림 5] 송신안테나가 중앙에 있을 때 수신전력 분포.

[Fig. 5] The received power distribution in case the transmitting antenna locates in the center of the cross street.



---▶ : 차량주행 경로

(a) 수신전력 예측에 이용된 구조



(b) 수신전력 비교

[그림 6] 전체 파(반사파+회절파)와 회절파간의 수신전력 비교.

[Fig. 6] Comparison results between the received power by total(reflected and diffracted waves) and diffracted waves.
 (a) Environmental structure used for the received power prediction.
 (b) Comparison of the results.

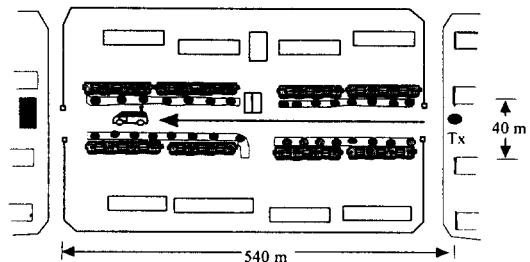
[그림 6] (a)에서와 같이 차량이 이동하였을 경우 사거리 및 모서리에 가까운 차단지역에서는 직접파 및 반사파의 영향이 매우 크지만 사거리에서 멀어질수록 회절파의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다.

3-2. 측정결과 비교분석

다중경로 추적 모델의 정확성을 검증하기 위하여 대전 월평동지역 및 둔산지역내 아파트 단지에서의 측정치와 실제 구조를 근거로 한 예측치를 비교하였다.

1) 대전 월평동지역내 누리아파트 타운에서의 측정

[그림 7]에서 보는 바와 같이 이 지역 환경 구조는 아파트가 도로 양 옆을 따라 일렬로 배치되어 있어 다중경로추적방법을 적용할 수 있는 적절한 구조이다. 그림에서 보듯이 도로 가운데 지점에서의 아파트 모서리에서 회절현상이 발생하리라 예측할 수 있으므로 시뮬레이션 시 회절현상을 고려하였으며, 아파트 끝에 위치해 있는 상가 건물에 의한 반사파도 고려하였다. 따라서 수신전력의 계산에 이용되는 전파는 직접파, 지면 반사파, 도로 양쪽 반사파, 회절파 및 뒤쪽 상가에 의한 반사파들의 합이 된다. 이 지역에서의 측정에 이용된 송수신안테나 높이



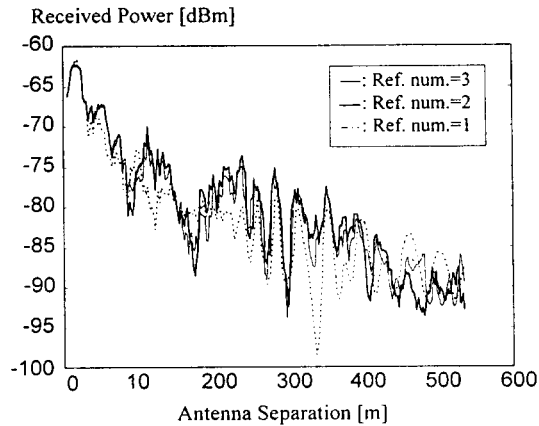
[그림 7] 대전 월평동지역 누리 아파트 타운 구조.
 [Fig. 7] Nuri apartment town structure in Taejeon area.

는 각각 12 m, 2.3 m 이며 3 dB monopole 안테나를 이용하였고 중심주파수는 1.8 GHz이다. 송신출력은 36 dBm (ERP) 를 사용하였다.

다중경로추적모델 적용시 보다 간편한 예측을 위하여 건물의 재질특성을 아파트 전면에 대해서는 유리(유전체 상수 : 5.11, 전도도 : 0.001)로 가정하였고 후면은 시멘트로 가정하였다. 그리고 송신전력은 일반화하였다.

[그림 8]은 [그림 7]의 구조에 대하여 고려하는 반사 횟수를 각각 한 번, 두 번, 세 번까지 고려하였을 때 예측된 페이딩 신호에 대하여 30λ 국부 평균의 결과를 서로 비교하였다.

비교 결과 각 반사 횟수에 따른 수신전력의 크기는 별 차이가 없으나 고려되는 다중경로파의 수가 늘어날수록 페이딩현상이 심해지는 것을 볼 수 있으며, 반사 횟수가 한 번 또는 두 번인 경우의 페이딩의 변화는 상당히 크게 나타나지만 두 번과 세 번의 차이에서는 거의 없다. 따라서 반사 횟수가 증가하면 할수록 신호의 변화는 더욱 심해지게 되지만 평균 수신전력은 거의 변화가 없으며, 마이크로셀 환경에서 페이딩 신호의 변화를 예측하기 위해서는 두번



[그림 8] 다중경로파 수의 변화에 따른 수신전력의 비교

[Fig. 8] Comparison of the received powers among the various number of rays.

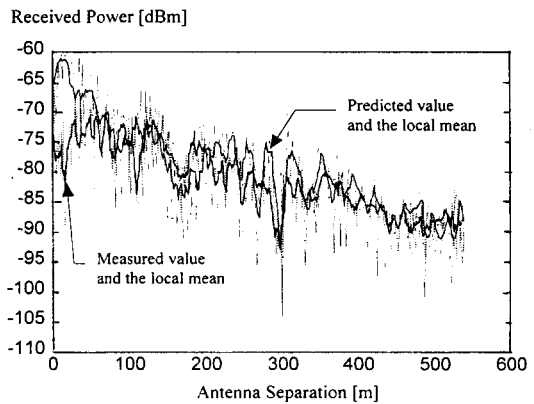
의 반사 횟수까지 고려하면 됨을 알 수 있다.

[그림 9]는 두 번의 반사 횟수까지 고려하여 예측된 수신전력 분포와 실제 측정된 수신전력의 분포를 비교하였다.

그림에서 보는 바와 같이 두 페이딩 신호에 대한 30λ 국부 평균의 결과를 비교하면 두 결과의 차이가 최대 4 dB 이내로서 매우 잘 따라감을 알 수 있다.

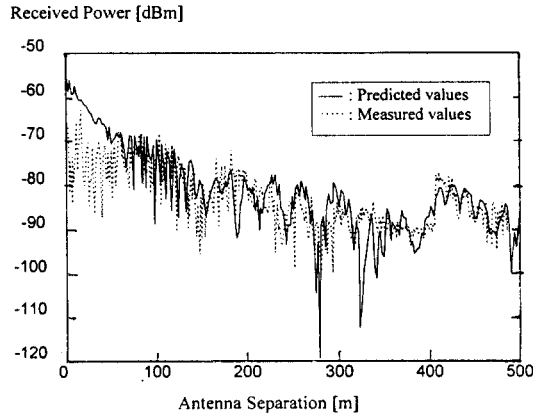
[그림 10]은 도로 좌측에 위치한 아파트에서 21 m 떨어진 [그림 9]의 결과와는 달리 18 m 떨어진 도로상 지점을 따라 측정된 측정치와 그에 따른 예측치를 비교하였다.

[그림 9]와 [그림 10]의 두 결과에서 보는 바와 같이 신호세기의 변화는 측정지점의 조그만 변화에도 매우 민감하게 변화를 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 주변 건물보다 낮게 위치한 송신 안테나에서 송신되는 전파가 반사 횟수 및 경로에 따른 위상 차가 심한 것을 나타내며 이 현상은 도로와 같은 방향보다는 도로를 가로지르는 방향에서 매우 심하게 나타난



[그림 9] 두 번의 반사 횟수까지 고려하여 예측된 수신전력과 측정된 수신전력의 분포 비교.

[Fig. 9] Comparison of the results between predicted data considering two reflected waves and measured data.

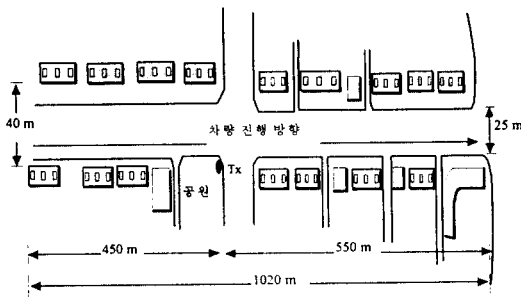


[그림 10] 도로 좌측 18 m 떨어진 지점에서의 측정치와 예측치의 결과비교.
 [Fig. 10] Comparison of the results between predicted and measured data at the spot located by 18 m from the left located apartment.

다. 또한 본 모델에서의 예측치도 이러한 변화에 대하여 매우 잘 따라감을 볼 수 있다.

2) 대전 둔산지역 시애틀 공원 주위

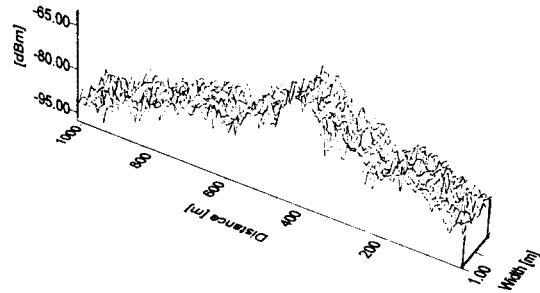
[그림 11]과 같이 도로 양쪽을 따라 아파트가 일렬로 분포되어 있으나 중간지점에 이를 가로지르는 도로가 있으며, 한쪽 옆에 약 120



[그림 11] 둔산지역 시애틀 공원주위 구조.
 [Fig. 11] The environmental structure around the seattle park in Taejeon area.

m² 넓이를 가진 나무가 별로 없고 잔디가 많이 깔려 있는 공원이 있다. 첫 번째 경우와 같이 아파트 전면은 유리로 가정하였으며, 후면은 시멘트로 가정하였다. 또한 중간지점 네 모서리에서의 회절현상도 역시 고려하였다.

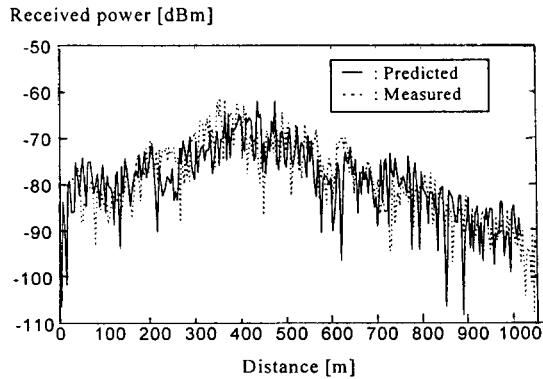
[그림 12]는 송신 안테나가 사거리 모서리(시애틀 공원 쪽)에 위치해 있으며 높이는 12 m이고 차량진행 방향을 따라 수신기가 이동한 경우에 40 m도로 폭에 분포한 수신전력을 나타낸다. 그림을 보면 안테나 주위에서의 신호 세기가 가장 크고 멀어질수록 줄어드는 것을 볼 수 있다.



[그림 12] 그림 11의 구조에 대한 수신전력 분포.
 [Fig. 12] The received power distribution for the structure of the figure 10.

[그림 13]은 수신차량이 도로 일차 선을 따라 차량이동 방향으로 이동하였을 때의 측정 결과와 그림의 예측 결과 중에서 아파트 왼쪽에서 22 m 떨어진 지점에서의 예측 결과를 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 예측 결과가 측정치에 매우 근접하게 따라감을 알 수 있다.

앞에서 언급한 두 가지 환경구조에서 여러 가지 전파경로의 수에 따른 수신전력의 변화량을 측정치와 비교검토한 결과, 마이크로셀 환경에서의 반사 횟수는 2 번, 전파경로는 18 개(전후면 반사체가 없을 경우 10개)를 고려했을 경우 최소 전파경로의 수로서 측정치와 유사한 결과를 얻었다. 3번의 반사 횟수를 선택하였을 경우 약 2배의 계산시간이 요구되나 2번의 반



[그림 13] 측정치와 예측치의 비교.
 [Fig. 13] Comparison of the results between predicted and measured data.

사 횡수를 고려하였을 경우와 유사한 예측결과를 얻었다. 그러므로 마이크로셀 환경에서 전파경로 추적기법을 이용한 수신전력 예측시 2번의 반사 횡수까지 고려하는 것이 적절함을 알 수 있다. 옥내환경에서는 전파의 도파관 효과로 인하여 마이크로셀에서 얻었던 최적의 다중경로파 수보다 더 많은 개수를 이용해야 할 것이다.

IV. 결 론

마이크로셀 환경에서 전파경로 추적법을 이용한 수신전력 계산시 적용하기 위한 개선된 영상기법과 반사 횡수에 따른 다중경로파 수를 계산하는 방법을 제안하였다. 제안된 구조를 이용하여 여러 가지 환경구조와 반사 횡수에 대한 시뮬레이션 결과를 보였으며, 특히 마이크로셀 해석시 도로 양쪽에 위치한 반사체에 의한 다중경로파외에 도로 전후면에 위치한 반사체에 의한 다중경로파도 수신전력 계산에 고려하였다. 또한 시뮬레이션 결과와 측정치를 비교검토하므로써 예측모델의 신뢰성을 검증하였으며, 검증된 결과를 이용하여 마이크로셀 환경에서 수신전력 예측시 고려해야 할 적절한

다중경로파의 수를 제안하였다.

본 고에서 제안된 영상기법은 수신기의 위치에 관계없이 적용할 수 있으며, 반사 횡수에 제한없이 사용할 수 있을 뿐 아니라 원하는 횡수 또는 다중경로파 수를 선택할 수 있다. 또한 기존의 방법에 비해 계산 속도가 단축되었다. 반사 횡수에 따른 수신전력의 분석 결과, 마이크로셀 환경에서 고려해야 할 최적의 반사 횡수는 2번, 전파경로는 18개(전후면 반사체가 없을 경우 10개)임을 알 수 있었다. 그리고 전후면 반사체도 수신전력에 많은 영향을 미치는 것을 볼 수 있었으며, 전체적으로 제안된 방법을 이용한 예측치를 측정치와 비교한 결과 상당히 유사함을 볼 수 있었다. 또한 차단지역에서의 수신전력 및 보다 다양한 지역에서의 수신전력 측정을 통해 제안된 모델을 보완하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Howard H. Xia, Henry L. Berton, Leandro R. Maciel, Andrew Lindsay-Stewart, Robert Rowe, and Limond Grindstaff, "Radio Propagation Measurement and Modeling for Line-of-Sight Microcellular Systems," *Proc. 42nd IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 349-354, May 10-13, 1992.
- [2] A. J. Rustako, Noach Amitay, G. J. Owens, and R. S. Roman, "Radio Propagation at Microwave Frequencies for Line-of-Sight Microcellular Mobile and Personal Communications," *IEEE Trans. VT.*, Vol-40, No. 1, Feb, 1991.
- [3] Athanasiadou, A.R. Nix and J.P. McGeehan, "A Ray Tracing Algorithm for Microcellular Wideband Propagation Modelling," *Proc. 45th IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 261-265, July 25-28, 1995.
- [4] William C. Jakes, Jr., *Microwave Mobile*

- Communication, *John Wiley & Sons, Inc.*, 1974.
- [5] Michael C. Lawton and J. P. McGeehan, "The Application of a Deterministic Ray Launching Algorithm for the Prediction of Radio Channel Characteristics in Small-Cell Environments." *IEEE Trans. VT.*, Vol-45, No. 4, Nov, 1994.
- [6] Scott Y. Seidel, Theodore S. Rappaport, "Site-Specific Propagation Prediction for Wireless In-Building Personal Communication System Design," *IEEE TRANS.*, VT., Vol-43, No. 4, Nov, 1994.
- [7] Constantine A. Balanis., *Advanced Engineering Electromagnetics*, *John Wiley & Sons, Inc.*, 1989.
- [8] Vinko Erceg, A. J. Rustako, R. S. Roman, "Diffraction Around Corners and Its Effects on the Microcell Coverage Area in Urban and Suburban Environments at 900 MHz, 2GHz, 6GHz," *IEEE Trans. VT.*, Vol-43, No. 3, Aug, 1994.

송 기 홍



1962년 10월 9일 생
 1988년 2월 : 경북대학교
 전자공학과 졸업 (공학사)
 1990년 2월 ~ : 경북대학
 교 대학원 전자공학과
 (공학석사)
 1990년 2월 ~ 현재 : 한국
 전자통신연구소 전파신
 호처리연구실 선임연구

원

[주 관심분야] 무선통신, 이동통신

이 혁 재



1947년 11월 20일 생
 1970년 2월 : 서울대 전자
 공학과(공학사)
 1977년 : Oregon State
 Univ. 전자공학과(석사)
 1982년 : Oregon State
 Univ. 전자공학과(박사)
 1970년 ~ 1973년 : 해군기
 술장교

1976년 ~ 1982년 : Oregon State Univ. 연구조교 및 Teaching Assistant.

1983년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파공학연구
 부장

함 영 권

1958년 6월 12일 생
 1980년 2월 : 연세대 전자공학과(공학사)
 1982년 2월 : 연세대 대학원 전자공학과(공학석사)
 1984년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파신호
 처리연구실 선임연구원

[주 관심분야] 디지털 이동통신