

실내 환경의 전파특성 예측과 분석

손호경, 김성진, 김재영
 경북대학교 전자·전기공학부

Prediction and Analysis of the Propagation Characteristics in Indoor Environments

Ho-Kyung Son, Sung-Jin Kim, Che-Young Kim
 Dept. of Electronic Eng. Kyungpook National University
 E-mail: son@palgong.kyungpook.ac.kr

Abstract

A 3D-ray tracing using triangular ray tubes for predicting propagation in indoor environments is presented. Employed ray tracing scheme needs no reception sphere often suffered from how to assign the correct radius as a touching ray on the receiver.

To verify the developed codes path loss for a rectangular corridor has been computed, measured, and compared with those by image methods, all shows good agreement to each other. Discussions are made on the path loss fluctuations along the distance in a rectangular corridor having a conducting knife.

I. 서론

실내 공간에서의 전파 특성 분석은 건물의 구조, 재질, 가구 배열에 따라 다양한 특성을 가진다. 송신기로부터 전파된 전파가 벽이나 천정, 바닥으로부터 다중 반사를 겪게 되고 또 가구의 모서리로부터의 회절을 겪기 때문에 다른 시간에 다른 방향으로 수신됨으로 심한 페이딩을 겪게 된다. 이것은 디지털 통신에서 강한 간섭을 일으키기 때문에 이에 관한 전파 특성을 예측하는 것은 중요하면서도 어려운 일이다. 실내 전파 환경의 해석에는 기하광학과 회절이론에 근거한 광선 방사 기법과 영상법이 많이 이용된다[1-3]. 영상법은 데이터 획득에 필요한 계산시간이 짧으나 비교적 단순한 구조를 갖는 마이크로셀에 적합하다. 반면에 광선방사기법은 방대한 양의 데이터 베이스를 처리해야 하기 때문에 많은 계산 시간을 요구하지만 복잡한 구조를 가진 마이크로셀에 적합하다. 본 논문에서는 실내의 전파 특성을 예측하기 위하여 광선 방사 기법의 일종인 SBR(shooting-and-bouncing) Image 기법을 도입하였다[4]. 이 기법으로 실내의 벽면·바닥·천정에서의 반사와 편파를 고려하였고 일반적인 광선

방사 기법에서 분석이 되던 수신구 반경분해가 해결되어 오차를 줄일수 있었다. 모서리에서의 회절현상을 고려하기 위하여 UTD를 적용시켰으며 수치 결과의 타당성 검증에 위하여 영상법과 측정에 의한 결과와 비교 하였다.

II. 본문

1. 실내 구조

해석 대상이 되는 특정 건물은 경북대 공학관의 4층이며, 복도를 중심으로 연구실과 강의실이 배

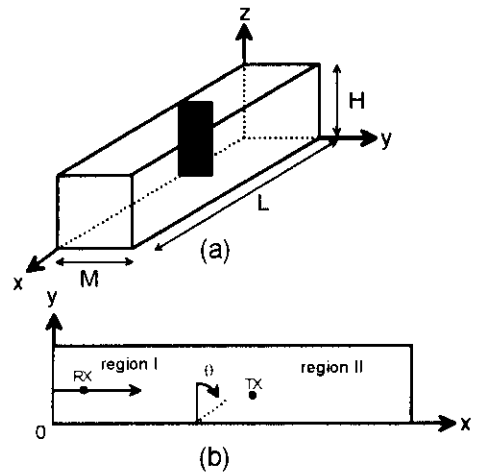


그림 1. 실내 구조물

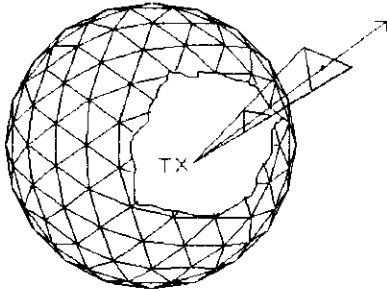


그림 2. 점전원의 모델링

지되어 있다.

그림 1은 이 복도를 길이 L , 폭 M , 높이 H 인 직육면체 공간으로 모델링한 것이며 이 때 $L = 75m$, $M = 2.5m$, $H = 2.6m$ 로 두었다. 천정과 바닥, 벽면은 상대유전율과 절도도로 재질의 특성을 나타내었다. 긴 복도의 중앙에 송신 안테나가 위치하고 있고, 수신 안테나가 복도를 따라 이동하게 된다. 송수신 안테나 사이에 있는 것은 공학관에 실제 존재하는 방해물이며 본 논문에서는 이 방해물에 의한 전파특성을 예측함으로써 실내에 존재하는 구조물이 실내 무선 통신에 미치는 영향을 보이고자 한다.

실내에 있는 구조물에 의한 전파의 반사를 수용하기 위해서는 3차원의 광선발사방법이 권연적이며 경로 추적에서 모든 광선이 3차원 공간에 존재하므로 진행 광선의 일반화가 필요하다. 송신점을 점전원으로 간주할 경우 방사된 광선의 파면은 구면파이므로 그림 2와 같이 송신 안테나에서 삼각광선튜브를 방사시킨다. 방사된 각각의 광선튜브는 공간상의 벽면에 부딪치 반사를 겪게 된다. 방사되는 삼각광선튜브는 먼저 20개의 정삼각형으로 이루어진 20면체를 구성하고 20면체를 이루는 삼각형의 변을 분할주파수 N 으로 각 변에 평행하게 나누면 더 작은 정삼각형이 만들어진다. 이 삼각형을 구에 투영시키면 그림 2와 같은 삼각광선튜브를 만들 수 있다. 이 때 분할주파수 N 에 대응되어 방사되는 광선튜브의 수는 $20N^2$ 이 된다. N 이 클수록 광선튜브의 크기는 더 작아지고 더 많은 계산 시간이 요구된다. 시뮬레이션 결과 이 값은 특경값에 수렴한다.

그림 3은 삼각광선튜브를 추적하고 수신여부를 체크하는 방법을 나타내었다. 기준점 T 를 포함하여 구성된 삼각튜브 $TV_1V_2V_3$ 는 경로 길이 $d = \overline{TU}$, 튜브의 중심광선의 방향은 $\hat{d} = \overline{TU} / \overline{TU}$ 이고 세 개의 방향 벡터 $\overline{UV_1}, \overline{UV_2}, \overline{UV_3}$ 이다. 이러한 정보로부터 꼭지점 V_1, V_2, V_3 는 다음과 같이 계산되어 질 수

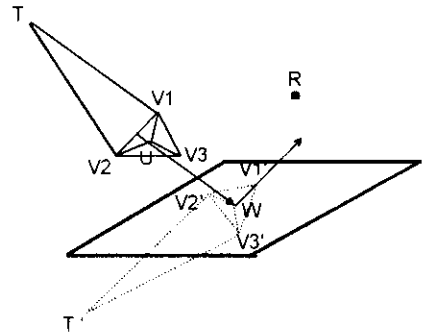


그림 3. 삼각광선튜브의 입사와 반사

있다[4].

$$\overline{V_j} = \overline{T} + d\hat{d} + \overline{UV_j}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

입사 광선 튜브가 주어지면 반사점과 반사 방향은 결정되어질 수 있다. 그 때 반사되는 삼각튜브 $TV_1'V_2'V_3'$ 는 새로운 영상 위치 T' 에 의해 결정된다. 반사점 U' , 새로운 경로 길이 $d' = \overline{T'W} = \overline{T'W}$ 이며

$$\overline{WV_j'} = \frac{d'}{d} [\overline{UV_j} - 2(\overline{UV_j} \cdot \hat{n})\hat{n}], \quad j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

이다. 이때 $\overline{T'R}$ 과 삼각형 $V_1'V_2'V_3'$ 와의 교점이 삼각형 내부에 있고 이 사이에 장애물이 존재하지 않는다면 수신되는 것으로 판단한다.

이렇게 여러 경로를 걸쳐 수신 안테나에 도달된 광선들의 합으로부터 수신 전력을 계산 할 수 있으며, 안테나의 편파를 고려한 수신 전력은

$$P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r |\mathbf{E} \cdot \hat{h}|^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r \left| \sum_k \mathbf{E}_k \cdot \hat{h} \right|^2 \quad (3)$$

이 된다. 여기서 \mathbf{E} 는 다중 경로에 의한 전체 합성신장이고 \hat{h} 은 수신 안테나의 편파 벡터이다. 그리고 λ 는 파장이며 η 는 자유 공간의 파동 임피던스이고 G_r 은 수신안테나의 이득이다.

식(3)은 현대의 신호에 대한 표현치이며, 광대역 신호의 경우 수신전력은 다음과 같다[5].

$$P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r \sum_k |E_k \cdot \hat{h}|^2 \quad (4)$$

식 (3)은 복소량으로 전장을 먼저 합하므로 각 전장의 위상이 고려되지 때문에 페이딩이 심한 신호로 나타나며, 식(4)는 각 전장을 세로하여 그 크기를 합하므로 빠른 페이딩은 사라지게 된다. 변화가 심한 수신전력의 상호비교시에는 식(4)의 광내역 수신전력을 이용하면 구분이 쉽다.

수신전력 이외에 디지털 통신에 있어서 중요한 파라미터 중의 하나는 RMS 지연 확산(RMS delay spread) 이다. 다중 반사파가 상존할 경우 송신된 신호는 수신측에 각각 다른 전파경로로서 도달된다. 즉 각 전파경로로의 신호도착시간이 다르게 된다. 임펄스 신호를 송신했을 때 수신신호 $p(t)$ 는 다음과 같다[6,7].

$$p(t) = \sum_{k=1}^{N_t} p_k \delta(t - \tau_k) \quad (5-1)$$

$$p_k = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} |\sqrt{G_k} E_k \cdot \hat{h}|^2 \quad (5-2)$$

$$\tau_k = \frac{r_k}{c} \quad (5-3)$$

여기서 p_k 은 경로 k 에 의한 수신신호의 크기이며, 편파가 고려된 경우의 수신전력적으로부터 구해진다. τ_k 은 전파경로의 거리 r_k 에 의한 지연시간이고, $\delta(t - \tau_k)$ 은 $t = \tau_k$ 일 때 임펄스를 주는 델타 함수(delta function) 또는 임펄스 함수(impulse function)이다. 마지막으로 N_t 는 총 전파경로수이고, c 는 광속이다. 각 경로로부터 수신전력의 크기를 고려하여 각 전파경로의 지연시간들이 평균 지연시간에 대해 얼마나 떨어져 있는지 그 산포도를 보여주는 RMS 지연 확산을 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta = \left| \frac{\sum_{k=1}^{N_t} \tau_k^2 p_k}{\sum_{k=1}^{N_t} p_k} - \left(\frac{\sum_{k=1}^{N_t} \tau_k p_k}{\sum_{k=1}^{N_t} p_k} \right)^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

이와 같이 지연 확산은 송신전력과는 무관하고, 송수신 안테나의 이득 패턴과 전파 채널의 기하학적 구조에 의해 결정되는 양이다.

2. 수치 결과 및 고찰

앞에서 논의한 SBR/Image 방법을 이용하여

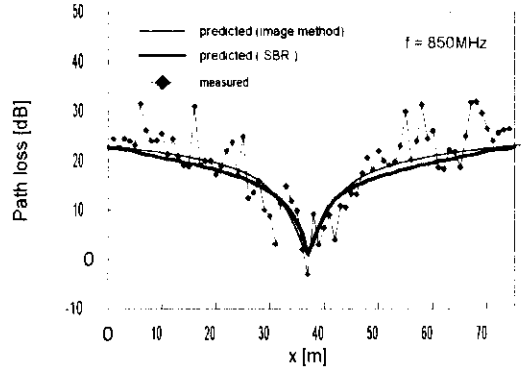


그림 4. 영상법 결과와의 비교

계산된 예측모델의 수치결과를 제시하고 분석하고자 한다. 수치결과를 제시하기 전에 앞서 SBR/Image 방법에 의한 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위해서 이미 검증된 영상법에 의한 수치결과와 비교하였다.

그림 4는 그림 1에서 제시한 모델에서 방화문이 존재하지 않고 나머지는 모두 동일한 모델에서 TX의 위치는 (37., 0.6, 1.6) m, 수신 안테나 RX의 위치는 (x, 1.8, 1.6) m로 두고 예측하고 측정된 것이다. 이때 양쪽에 있는 방의 효과는 복도 벽면의 실효 전기 상수로 반영하였다. 그림 4에서 보듯이 영상법에 의한 결과와 SBR/Image 방법에 의한 결과는 거의 일치한다. 그리고 이는 측정값과도 유사하다. 경로손실을 정의하면 $Path Loss = P_o - P_r$ [dB]와 같고 여기서 P_o 는 송신안테나로부터 1m 떨어진 지점에서 자유공간의 수신전력이다. 측정치 P_o 는 전파 무반사실에서 송수신 안테나 간의 거리를 1 m로 두고 측정된 수신

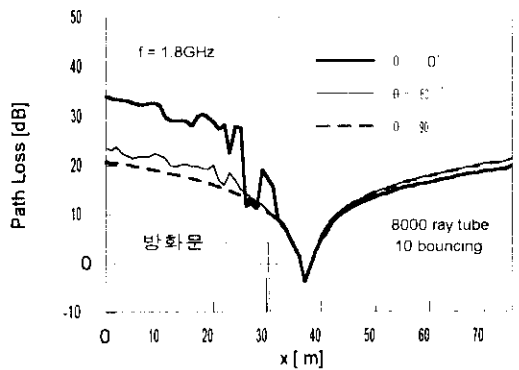


그림 5. 그림 1의 경로손실

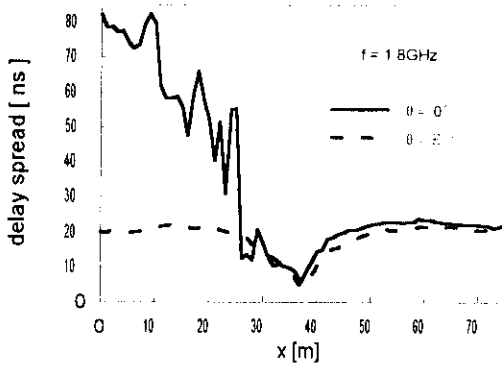


그림 6. 그림 1의 지연확산

전력이다. 그리고 P_r 은 예측 또는 측정된 수신전력이다.

그림 5는 PCS 주파수대인 1.8GHz 에서 계산된 예측 모델의 결과이다. 이때 송신 안테나 TX의 위치는 (37., 0.6, 1.6) m, 수신 안테나 RX의 위치는 (x, 0.8, 1.6) m로 두었다. $\theta = 0$ 일 경우를 살펴 보면, 먼저 수신 안테나가 전파 음영 지역(region I)에 위치할 때는 방화문의 모서리를 통한 회절파와 나머지 방의 공간을 통해 들어온 다중 반사파가 존재하지만 송신 안테나를 가로막는 장애물이되기 때문에 경로 손실은 증가한다. 가시 영역(region II)에 수신 안테나가 있을 때 경로손실은 송신점에서 거리가 멀어질수록 증가함을 볼 수 있다. 또 $\theta = 90$ 일 때보다 경로손실이 작은 데 이것은 방화문이 하나의 반사체 역할을 하여 수신전력을 증가시켰기 때문이다.

그림 6은 예측 모델의 지연확산을 나타낸 것이다. 구조물의 단순한 위치변화가 지연확산에는 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

실내 공간내에 간단한 구조물이 있는 전파 환경에서의 경로손실을 예측하기 위하여 SBR/Image 방법과 UTD이론을 적용시켰다. 먼저 SBR/Image 방법을 간단한 직육면체 모델에 적용 시켜 나온 결과를 영상법에 의한 결과와 그리고 측정치와 비교하므로써 예측치의 타당성을 검증하였다. 예측 모델에 적용시켜 전파 특성을 예측하고 분석할 수 있었다. 더 복잡한 실내 구조의 전파 특성 분석에도 확장하여 적용시킬수 있다고 본다. 위에서 살펴본 바와 같이 실내 공간내에 있는 구조물의 단순한 위치 변화도 전파 환경의 특성에 큰 영향을 미쳤다.

참고 문헌

- [1] S. J. Fortune, D. M. Gay, B. W. Kernighan, O. Landron, R. A. Valenzuel, and M. H. W. Wright, "WISE design of indoor wireless system: practical computation and optimization," IEEE Computational Science and Engineering, pp. 58-68, Spring 1995.
- [2] 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
- [3] U. Dersch and E. Zollinger, "Tropagation mechanisms in microcell and indoor environment," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 43, no. 4, pp. 1058-1066, Nov. 1994
- [4] S. H. Chen and S. K. Jeng, " An SBR/Image Approach for Radio Wave Propagation in Indoor Environments with Metallic Furniture," IEEE Trans. Ant. Propa., vol. 45, no. 1, Jan. 1997
- [5] K. Pahlavan and A. H. Levesque, Wireless Information Network, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 50-55, 1995.
- [6] Jee Yeon Park, et. al., "Generalization of the ray tracing technique in an urban microcell environment," IEEE Asia-Pacific Workshop on Mobile Telecommunication, pp. 5-8, Dec. 1995.
- [7] 김재영, 정백호, 박기연, "도심지 마이크로셀의 LOS 전파특성 예측을 위한 경로수의 확장법," 전자공학회논문집, 제 33권 2호, pp. 15-22, 1996.