

TWO-Ray 라이시안 채널에서 차량간 통신 시스템에서의 성능분석

* 김 춘 구 , * * 이 정 도 , * 강 희 조

* 동신대학교 전기전자공학과

* * (주) 에스피 컴텍 연구소

Performance Analysis of Inter-Vehicle Communication System in Two-Ray Rician Channel

* Choon-Gu Kim, * Heau-Jo Kang

* Dept. of Electron & Electronics Eng., Dongshin Univ.

* * SP Com Teach Co., LTD

요약

본 논문은 근거리에서의 차량간 통신에 밀리미터나 광전파를 분석하는데 효과적인 Ray Tracing 방법을 도입하여 오울특성을 분석하였다. 분석환경으로는 간섭신호에 강한 장점을 지니며 산소흡수에 의한 감쇠가 크며 주파수 재사용효율이 좋은 60GHz 대역에서의 비트오율을 분석하였다. 전파모델로 지면반사파, 콘크리트벽에 의한 반사와 옆 도로를 달리는 차량에 의한 반사를 고려한 Two-Ray 라이시안 채널에서의 다중접속자에 의한 DS/CDMA 시스템의 비트오율특성을 분석하여 검토하였다.

I. 서론

사회·경제 규모가 확대, 고도화됨에 따라 차량 및 교통수요가 폭발적으로 증가하여 대도시는 심각한 교통문제에 직면하게 되었다. '88년 도로 1km당 자동차보유대수가 36대에서 '98년 120대까지 점차 증가하였으며 자동차보유대수의 증가로 교통수요는 증가하나 이를 수용할 도로의 건설이 저조하여 교통혼잡이 가중됨을 보여주는 결과이다. 1일 평균 교통사고 발생건수는 '96년 이후로 조금씩 줄어들고 있으나 여전히 심각한 문제가 되고 있다[1].

이와 같은 ITS시스템은 국내에서 크게 5개 분야로 분류를 하고 있다. 이 중에서 AVHS는 차량의 전후방·측방 충돌예방, 교차로에서의 충돌예방, 전방 교통사고 및 급커브, 노면결빙 등 감속을 요하는 위험상황을 사전에 피할 수 있게 하는 시스템이다. 이는 노변기지국(RSE)의 서비스를 받음으로써 이를 해결 할 수 있겠지만 노변기지국의 설치에는 경제적인 측면에서 한계가 있다. 따라서 차량간의 직접적인 통신을 통해 이를 해결할 수 있을 것으로 예측이 된다. 이와 같은 안전지원 서비스를 통하여 도로상의 잦은 접촉사고 및 대형사고를 방지하고 교통안전성을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

II. 전파전파모델

본 논문에서는 전파의 분석방법으로는 광전파나 밀리미터파를 분석하는데 효과적인 Ray tracing 방법을 이용하였다. 근거리차량간통신(IVC)에서 차량간 송수신 안테나의 위치가 가로등보다 낮은 위치에 있어 가시거리가 형성되어 직접파가 존재하는 채널 특성을 보인다. 참고문헌[2]에 의하면 실제 마이크로 셀 채널의 특성은 라이스 확률 분포를 갖는다고 밝혀졌다. 또한 선행 차량에서 전송되어지는 신호는 다중경로를 거친 후 타 차량의 수신안테나에 수신되어 합쳐지게 되어 결과적으로 수신신호의 진폭은 매우 큰 계수를 가지는 라이스 확률 분포를 나타내게 된다[2].

이러한 차량간 통신의 최근 연구 동향은 광대역 스펙트럼을 이용하여 고속 디지털 전송이 가능하고 전파의 특성상 파장이 매우 짧아 지게 되어 안테나 및 기기의 소형화가 가능하고 대역폭을 넓게 사용할 수 있어서 정보량을 고속으로 전송할 수 있으며 차량 간 통신이나 무선 LAN같은 근거리 통신 시스템에 적합하고 짧은 거리(수 Km)에서 높은 산소 흡수나 강우감쇠에 의한 간섭신호에 강한 장점을 지녀 주파수 사용 효율이 매우 좋은 밀리미터파를 이용한 연구가 활발하다. 현재 국내에서는 대기의 주된 성분인 산소와 수증기에 의해 산소흡수감쇠량이 15[dB/m]이고 강우량이 50[mm/h]일 경우에 약 17[dB/m]인 60GHz대역에서의 근거리 차량간 이동통신에 대한 연구가 활

발히 진행되고 있다[3][4].

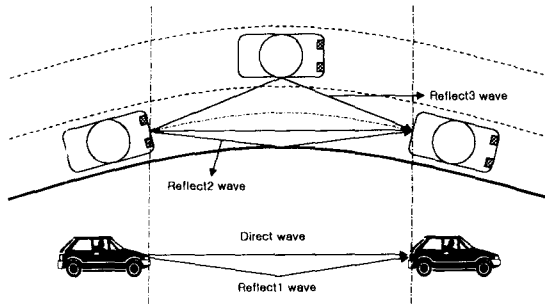


그림 1. Propagation model

그림 1은 본 논문에서 고려하는 차량간 통신 모델이다[5]. 전파환경은 2차선으로 가정하고 커브 반지름 R[m]이고, 도로의 폭은 L_r[m]이다. 송신기 T_x와 수신기 R_x 사이의 거리는 L_{TR}로 정의한다. 직접파와 지면반사파, 콘크리트벽에 의한 반사 그리고 옆 도로를 달리는 차량 V_r에 의한 반사파를 고려한 Two-Ray Rician channel 모델을 분석했다.

III Two-Ray Rician channel 모델

각 패스에 의해 수신된 신호전력은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 [P_r] = & 20 \log \left\{ \frac{4\pi l_A^2}{\lambda^2} \sin^2 \left(\frac{\pi l_A \sin \theta_i}{\lambda} \right) \right\} \\
 & + 20 \log \left(\frac{\lambda \cos \theta_i}{4\pi L_{TR}} \right) - \frac{\gamma_o L_{TR}}{\cos \theta_i} \\
 & + 10 \log \rho_g + 10 \log \rho_w + 10 \log \rho_v
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 P_{r0}와 θ₀는 직접파 패스의 수신된 신호전력과 직접파 패스의 incident angle이다. 그리고 P_{ri}와 θ_i(i = 1, 2, 3)은 반사파 패스의 수신된 전력과 i번째 반사파 패스의 incident angle이다. 또한 l_A는 rectangular aperture horn antennas의 길이이다. 그리고 λ는 파장이고, γ_o[dB]는 산소흡수 감쇠계수이다. 그리고 ρ_g, ρ_w, ρ_v는 지면, 콘크리트벽 그리고 옆 차선을 달리고 있는 차량에 의해 각각 반사된 계수이다.

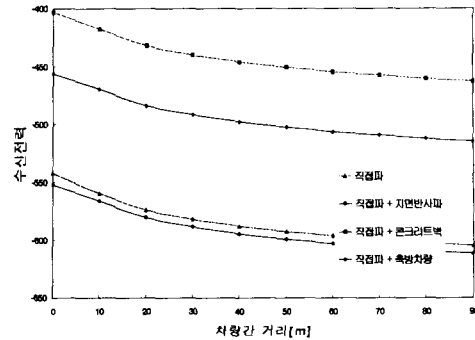


그림 2. 60GHz대역에서 산소흡수를 고려한 차량간

거리에 따른 수신신호 전력

그림 2는 60GHz대역에서 산소흡수를 고려한 차량간 거리에 따른 수신신호전력을 나타낸 그림이다.

따라서 직접파 패스의 전력에 대한 반사파 성분의 상대적 전력 P_i는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[P_i]dB = [P_{r_i}]dB - [P_{r_0}]dB \quad (i=0, 1, 2, 3) \tag{2}$$

안테나 위치의 offset를 무시한다고 가정한다면 incident angle(θ_i)(도달각)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\theta_0 = \frac{\theta}{2} \tag{3}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left[\cos \frac{\theta}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{d_H}{R \sin \frac{\theta}{2}} \right)^2}} \right] \tag{4}$$

$$\theta_2 = \frac{\theta}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{-R \left(\frac{1 - \cos \theta}{2} \right) + \frac{L_{TR}}{2}}{R \sin \frac{\theta}{2}} \right] \tag{5}$$

$$\theta_3 = -\frac{\theta}{2} + \tan^{-1} \left[\frac{R(1 - \cos \theta) + L_{TR} - \frac{d_w}{2}}{R \sin \frac{\theta}{2}} \right] \tag{6}$$

여기서 L_{TR}은 송신기와 수신기사이의 거리 (차량간 거리)이고, R은 curvature radius, d_w는 차량의 폭이다. 그리고 θ는 도로의 central angle이다.

옆 차선에 차량 V_r이 존재한다면 반사 패스 3이 존재한다. 반사 패스 3이 존재할 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{여기서 } q = \frac{d_L}{d_L + \frac{1}{\lambda_v}} \tag{7}$$

여기서 d_L 은 차량의 길이, λ_r 는 달리는 차량의 대수이다. 반사 패스의 수는 차량의 트래픽에 의해 변한다.

차량간 통신시스템의 bit error rate을 분석하기 위해서 반사파 성분의 전력대 직접파 성분의 전력비(R/D)를 도출하는게 필요하다. 반사파 성분 전력 대 직접파 성분의 전력 비는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} [R_{sd}dB] &= [P_1 + P_2, qP_3]dB \\ &= [P_1 + P_2 \cdot \frac{d_L}{d_L + \frac{1}{\lambda_r}} P_3]dB \end{aligned} \quad (8)$$

수신된 신호의 순시 CNR(Carrier-to-Noise Power Ratio) γ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\gamma = \frac{\rho^2}{2\rho^2} \quad (9)$$

여기에서 ρ 는 수신신호의 진폭(Received Signal Envelope)이다. 그리고 ρ^2 (Noise Power)은 잡음 전력을 나타낸다.

평균 CNR(Carrier-to-Noise Power Ratio), Γ_o 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Gamma_o = \frac{P_m(1+R_{sd})}{kTBF} P_T \quad (10)$$

여기서 P_T 는 전송 전력이다. 그리고 P_{rd} 는 각 패스의 수신신호이고 파라미터 k, T, B, F는 수신기의 열 잡음(Thermal Noise)이다. 여기서 k는 볼츠만 상수 (Boltzmann constant), T는 수신기의 잡음 온도(Noise Temperature)이다. 그리고 B는 무선신호의 대역폭(Radio Signal Bandwidth)이다. 그리고 F는 수신기 회로에서 잡음지수(Noise Figure)이다.

γ 의 확률밀도 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} p(\gamma) &= \frac{R_{sd}+1}{R_{sd}} e^{-\left\{ \frac{(R_{sd}+1)\gamma}{R_{sd}\Gamma_o} + \frac{1}{R_{sd}} \right\}} \\ &\cdot I_0 \left(\frac{2}{R_{sd}} \sqrt{\frac{(R_{sd}+1)\gamma}{\Gamma_o}} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $I_0(\cdot)$ 는 다음과 같이 정의되는 베셀 함수이다.

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{x \cos \theta} d\theta \quad (12)$$

IV. 차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템

성능 해석 변조 방식을 QPSK로 가정한다. AWGN 환경에서 DS/CDMA-QPSK 시스템의 오류율 P_e 는

$$\gamma = \left[\left(\frac{E_b}{N_0} \right)^2 + \frac{2(U-1)}{3PN} \right]^{-1} \quad (13)$$

$$Pe_{(QPSK)} = \text{erfc} \sqrt{\gamma} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{4} \right) \quad (14)$$

이다. 여기서 γ 는 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음 전력비, U 은 사용자수이며 PN 은 PN코드 길이 그리고 E_b/N_0 는 비트 에너지 대 잡음 전력 비이다.

라이시안 채널에서의 비트오율식은 식(11)와 식(14)에 의해서 식(15)와 같이 표현된다.

$$pe = \int_0^{\infty} Pe_{(QPSK)} \cdot p(\gamma) d\gamma \quad (15)$$

V. 성능 개선 기법

1. MRC 다이버시티 수신기법

Rician 페이딩 환경에서 N 가지 MRC 다이버시티의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p_{MRC}(\gamma) &= \left(\frac{R_{rd}+1}{\Gamma} \right)^{N/2-1} \left(\frac{\gamma}{R_{rd}N} \right) \\ &\cdot \exp \left(-R_{rd}N - \frac{(R_{rd}+1)\gamma}{\gamma_0} \right) \\ &\cdot I_{N-1} \left(2\sqrt{\frac{R_{rd}(R_{rd}+1)N\gamma}{\gamma_0}} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 K_r 은 Rician factor, γ 는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, γ_0 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비, N 은 다이버시티 가지수 그리고 $I_N(\cdot)$ 은 N 차의 제1종의 변형 베셀함수이다[6].

Rician 페이딩하에서 MRC 다이버시티를 채용했을 경우 DS/CDMA-QPSK 신호의 오류율은 잡음 환경에서의 오류율에 최대비 합성 다이버시티 확률밀도함수를 이용하여 식(13)와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Pe_{(MRC)} = \int_0^{\infty} P_e \cdot p_{MRC}(\gamma/\Gamma) d\gamma \quad (13)$$

여기서 γ 는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, Γ 는 감파기에 들어오는 평균 신호대 잡음 전력비이다.

VI. 해석결과 및 검토

그림 3은 라이시안 심도, 차량간 거리($l=100$), PN 코드길이(PN) 등을 파라메타로 계산한 결과에 라이시안 페이딩 환경하에서

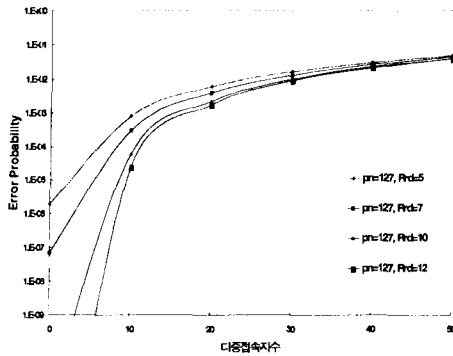


그림 3. Rician fading 환경에서의 비트오율특성 (PN=127, U=2~50, Kr=7~12)

DS/CDMA시스템을 채용하여 다중접속사용자에 따른 비트 오율 성능을 나타낸 그래프이다. 라이시안 심도의 크기가 증가함에 따라 성능의 개선 폭은 매우 커짐을 알 수 있었으며 다중접속 사용자에 의한 성능의 열화의 폭 또한 매우 커짐을 알 수 있었다. 그러나 라이시안 심도의 증가로 따른 성능의 개선을 보이지만 다중접속사용자의 수가 20명이 넘게되면 음성서비스에 대해서도 매우 열악한 환경을 보인다.

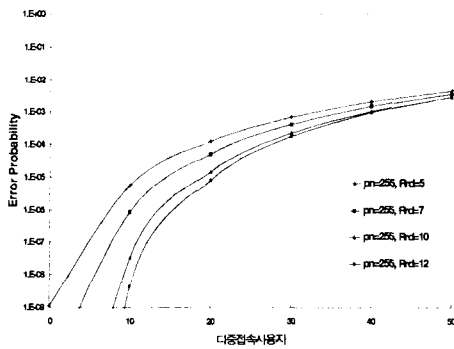


그림 4. Rician fading 환경에서의 비트오율특성 (PN=255, U=2~50, Kr=7~12)

그림 4는 그림 3과 같은 동일 조건에 PN 코드 길이를 255로 고정하고 다중접속사용자를 변수로 하여 라이시안 페이딩 환경하에서 DS/CDMA시스템의 비트오율 성능을 나타낸 그래프이다. 라이시안 심도의 크기가 증가함에 따라 성능이 향상된다. 그러나 다중접속 사용자수가 증가에 따른 성능의 열화가 커지며 다중접속 사용자가 20명으로 늘어날 때 매우 큰 성능 열화를 보인다. 그림 4의 그래프 특성을 보면 다중접속 사용자가 20명인 경우에 모두(라이시안 심도 5, 7, 10)가 음성서비스를 만족할 만한 비트 오율특성을 보인다.

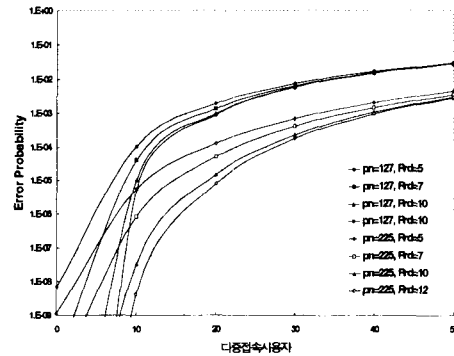


그림 5. Rician fading 환경하에서 MRC다이버시티 수신 기법을 채용한 경우의 비트 오율 특성 (PN=127/255, U=2~50, Kr=7~12)

그림 5는 그림 3과 동일한 조건하에서 가지수가 두 개인 MRC다이버시티수신기법을 채용하여 PN 코드의 길이와 다중접속사용자를 변수로 할 경우의 비트 오율 특성을 나타낸 그래프이다. 사용자가 15명 이하인 경우 데이터 서비스 기준은 만족함을 알 수 있었다.

VI. 결론

밀리미터파 대역에서 지면반사파와 콘크리트벽에 의한 반사 그리고 옆 도로를 달리는 차량에 의한 반사파를 모델링하여 분석을 행하였으며 산소 흡수에 의한 감쇠를 고려한 환경을 분석하였다. 라이시안 페이딩 환경에서는 매우 열악한 환경을 보이며 다이버시티를 채용함으로써 데이터 서비스 만족함을 알 수 있었다.

향후 연구과제는 패킷에 의한 데이터 서비스가 주가 될것으로 예측된다. 따라서 비트 오율특성과 패킷오율 특성을 분석할 예정이다.

참고문헌

- [1] 교통사고 통계분석, 도로교통안전관리공단, 1999.
- [2] R. J. Bultitude & G. K. Bedal, "Propagation Characteristics on MicroCellular Urban Radio Channels at 910MHz", *IEEE, Select. Area Commu.*, vol. 7, Jan. 1980.
- [3] Tnshar, Tank, Nathan, Yee & J. Linuartz, "Vehicle-to-Vehicle Communication for AVHS Platoon", *Proc. 44th IEEE Veh Tech. Cong.* 1994.
- [4] W. Schafer, "Channel modelling of short range radio links at 60GHz for mobile inter vehicle communication", *IEEE TRANS. Technol.*, pp. 314-319, May. 1991.
- [5] T. Imai and T. Fujii, "Indor Micro Cell Area Prediction System Using Ray-Tracing for Mobile Communication System," *IEEE Proc. PIMRC'96*, vol.1, pp. 24-28, Oct. 1996.
- [6] M. Schwartz., *Communication System and Techniques*, New York : McGraw-Hill, 1996.