

Platoon 주행을 위한 밀리미터파 대역에서의 차량간 DS/CDMA 방식의 성능 분석

Performance Analysis of Inter-Vehicle DS/CDMA in Millimeter Wave-Band for Platoon

* 김 춘 구 , * 강 회 조 , ** 최 용 석

* 동신대학교 전기전자공학과

** 한국전자통신연구원 무선·방송 연구소 전파자원연구팀

* Choon-Gu Kim, * Heau-Jo Kang, ** Yong-Seok Choi

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

** Radio Technology Department, ETRI-Radio

& Broadcasting Technology Laboratory

요약

본 논문은 근거리 차량간통신(IVC)에서 첨단차량도로시스템(AVHS)의 플레톤 주행에 적합한 One-Ray Rician 채널 모델을 적용하여 간섭신호에 강한 장점을 지닌 60GHz 밀리미터파를 에서 패킷 오율 특성을 분석하였다. 차후에 사용자의 욕구 증대에 따른 멀티미디어 서비스를 만족시키기 위해서 Convolution 부호화 기법과 MRC 다이버시티 수신 기법을 동시에 적용하였으며 그에 따른 DS-CDMA/QPSK System의 패킷 오율 특성을 분석하였다.

I. 서론

지능형 교통체계(ITS : Intelligent Transportation Systems)의 한 분야인 첨단도로 교통체계 (AVHS : Advanced Vehicle Highway Systems)는 지금까지의 교통기술은 교차로에서의 차량대기시간을 줄이기 위한 신호제어체계 중심으로 발전해 왔다. 이에 따른 물류비용의 증가로 사회적, 경제적 문제는 매우 심각한 상태이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 전자, 전기, 제어, 무선통신, 정보통신 등과 같은 최첨단 기술을 접목시켜 차량간의 주행 간격을 현재의 인간 운전자에 의한 주행 안전 간격보다 훨씬 좁힘으로써 단위 도로 면적 당, 또 단위 시간 당 주행할 수 있는 차량의 대수를 2배 혹은 3배까지도 증가시키는 것을 목표로 하는 미래형 교통체계이다 [1].

최근 차량간 이동통신에 관한 연구 동향은 광대역 스펙트럼을 이용하여 고속 디지털 전송이 가능하고, 전파의 특성상 파장이 짧아 안테나 및 기기의 소형화가 가능하고, 대역폭을 넓게 사용할 수 있어서 정보량을 고속으로 전송할 수 있으며 짧은 거리(수 Km)에서 대기의 주된 성분인 산소와 수증기의 감쇠가 심하게 일어나 주파수 재사용의 효율이 크며 간섭신호에 강한 장점을 지닌 60GHz 밀리미터파를 이용한 차량간 통신에 대한 연구가

세계 각국을 비롯해 국내에서는 etri를 중심으로 활발한 연구가 진행중이다[2].

II. System Model

1. 차량간 통신 채널 모델

본 논문에서의 차량간 이동통신은 안테나가 가로등과 같이 낮은 위치에 설치되는 경우가 많아 송수신기 사이에 가시거리가 형성되어 직접파가 존재하는 채널 특성을 보인다. 최근 연구에 의하면 실외 마이크로 셀 채널 특성은 라이스 확률 분포를 갖는다고 밝혀졌다[3]. 또한 선행차량에서 전송된 신호는 다중경로를 거친 후 후방 차량의 수신안테나에 수신되어 합쳐지게 되며 결과적으로 수신신호의 진폭이 매우 큰 계수 K_r 을 가지는 라이스 확률분포를 나타내게 된다[4].

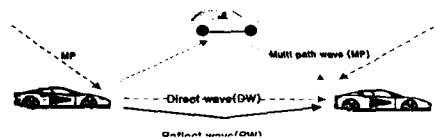


그림 1. One-Ray Rician 채널 모델

그림 1은 차량간 통신채널의 전파모델을 보인 것이다.

차량간 통신시스템(IVC: Inter Vehicle Communication

)에서 자신의 차와 근접한 차량과 데이터 교환은 매우 중요하다. 이런 상황에서 송신기와 수신기 사이에 일반적으로 직접파가 존재하고, 동시에 지면 반사파 그리고 주위의 환경에 따른 다중경로가 존재하게 된다. 차량 간 통신 채널 모델은 환경에 따라 3가지를 생각할 수 있다. 첫 번째 모델은 지면 반사파 없이 직접파와 주위환경(옆 차선의 차량, 도로 분리대 등)에서 생기는 다중경로 파(Multi-Path Wave)로 구성된 One-Ray Rician 채널 모델이고 두 번째 모델은 직접파와 지면 반사파로 구성된 2-패스 Rician 채널 모델 그리고 마지막으로 3번째 모델은 2-패스 Rician 모델에 멀티패스 성분이 더해진 2-Ray Rician 채널 모델이다. 본 논문에서 고려한 채널 모델은 플레톤(Platoon)주행 시 차량간 거리가 매우 짧아지게 되어 지면 반사파가 존재하지 않기 때문에 플레톤 주행을 적합한 One-Ray Rician 채널 모델을 채용한다[4].

60GHz 주파수대역으로 매우 높은 밀리미터파는 단거리 통신에 장점을 가지고 있어 거리에 따른 경로손실(Path Loss)은 매우 크다. 60GHz대역에서는 산소와 수증기에 의한 영향이 크다. 따라서 이들의 감쇠를 고려한 수신신호는

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t + G_r - \{(\alpha_{oxygen} + \alpha_{rain})d\} - L \quad (1)$$

이다.

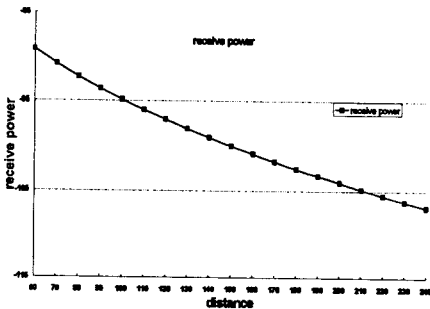


그림 2. 60GHz대역에서 산소흡수와 강우감쇠를 고려한 거리에 따른 수신신호 전력

그림 2는 송신 전력 P_t , 주파수의 파장(Wave Length) λ , 그리고 송신기와 수신기의 안테나 이득 G_t 와 G_r 을 고려하고, 60 GHz에서 산소 흡수 15 [dB/Km]와 강우량이 50 [mm/h]일 때의 감쇠량 17[dB/Km]을 이용하여 계산한, 거리에 따른 차량간 채널 모델의 수신신호 전력을 나타낸 것이다.

P_{DW} 는 차량간 거리 d 에서 자유공간 전파에 따른 수신신호전력이다. 즉 지면 반사파가 없을

때의 수신전력을 나타낸다. P_{DW} 는 송수신간 거리에 따라 변하고, 참고거리 D_{ref} 에서 수신신호전력 P_{ref} 를 도입하여 도출하였다.

$$P_{ref} = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi D_{ref}} \right)^2 G_t G_r \quad (2)$$

$$P_{DW} = P_{ref} \left(\frac{D_{ref}}{d} \right)^2 10^{-(\alpha_{oxygen} + \alpha_{rain})d/10} \quad (3)$$

One-Ray Rician 채널 모델의 전력밀도 함수는

$$P_{ONE}(P) = \frac{K_1 + 1}{P_1} e^{-(K_1 + 1)\frac{P}{P_1} - K_1} \cdot I_0 \left(2\sqrt{K_1(K_1 + 1)\frac{P}{P_1}} \right) \quad (4)$$

이다[5]. 여기서 $P_1(P_{DW} + P_{MP})$ 은 평균 수신전력, $K_1(P_{DW}/P_{MP})$ 은 직접파전력대 반사파전력비 그리고 $I_0(\cdot)$ 는 0차의 제 1종 변형 베셀 함수이다.

전체 평균 수신 신호 전력을 평균 신호 전력 대 잡음 전력 비로 대치하면 Γ 는

$$\Gamma = \frac{P}{K \times T \times F \times B} \quad (5)$$

이다. 여기서 P 는 평균수신전력, K 는 볼츠만 상수, T 는 수신기의 잡음온도, F 는 수신기 회로에서 잡음지수 그리고 B 는 무선신호의 대역폭이다.

III. 차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템

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

$$\gamma = \left[\left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(U-1)}{3PN} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$P_{e(QPSK)} = \text{erfc} \sqrt{\gamma} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{4} \right) \quad (7)$$

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

라이시안 채널에서의 비트오율식은 식(4)와 식(7)에 의해서 식(10)과 같이 표현된다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{e(QPSK)} \cdot P_{One}(P) dr \quad (8)$$

차량간 라이시안 채널에서 패킷오율은 비트오율과 관계가 있고, 패킷오율은 다음과 같다.

$$PER = 1 - (1 - P_e)^{PL} \quad (9)$$

여기서 P_e 는 비트 오율, PL 은 패킷 당 비트의 수이다.

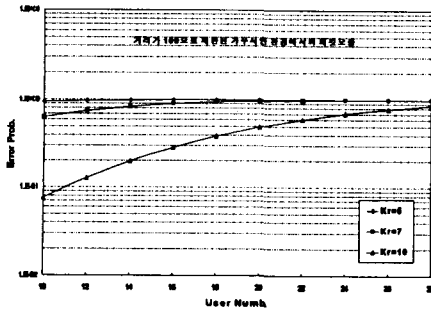


그림 3. One-Ray Rician 환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템 신호의 패킷오율특성
 그림 3은 가우스 잡음 환경에서 계산한 결과를 나타낸 패킷오율특성 그래프이다. PN코드의 길이를 255, 차량간 거리를 100m로 고정시키고 다중접속 사용자수 U(U=10~28)를 변화시키는 경우에 대하여 다중접속 사용자수가 증가할수록 오율이 현저하게 저하되며 특히 Rician 심도가 10인 경우 그 성능의 열하의 폭이 더 커짐을 알 수 있었다. 또한 계산된 결과치는 매우 열악한 결과치를 얻으며 Rician 심도의 값이 증가시키더라도 음성서비스 기준에 미치지 못함을 알 수 있었다.

IV. 차량간 DS/CDMA 시스템의 성능 개선

4-1. MRC 다이버시티 수신기법

다이버시티 기법은 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩의 영향을 효과적으로 경감시킬 수 있는 방법으로 알려져 있다. MRC 다이버시티는 다이버시티가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 더불어 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 것일수록 합성 SNR이 크게 기여하도록 합성하는 방식이다.

Rician 페이딩 환경에서 N 가지 MRC 다이버시티의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$p_{MRC}(\gamma) = \left(\frac{K_r+1}{\Gamma}\right)^{\frac{N+1}{2}} \left(\frac{\gamma}{K_r N}\right) \cdot \exp\left(-K_r N - \frac{(K_r+1)\gamma}{\gamma_0}\right) \cdot I_{N-1}\left(2\sqrt{\frac{K_r(K_r+1)N\gamma}{\gamma_0}}\right) \quad (9)$$

여기서 K_r 은 Rician 심도, 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 오율식은 잡음 환경에서의 오율식에 최대비 합성 다이버시티 확률밀도함수를 이용하여 다음과 같은 식을

얻을 수 있다.

$$Pe_{(MRC)} = \int_0^\infty Pe_{(QPSK)} \cdot p_{MRC}(\gamma/\Gamma) d\gamma \quad (10)$$

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

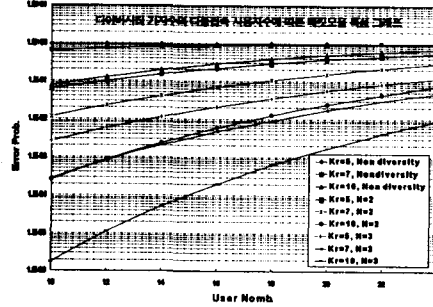


그림 4. One-Ray Rician 환경에서 다중접속 사용자수에 따른 MRC 다이버시티 수신기법을 채용한 DS-CDMA /QPSK 시스템 신호의 패킷오율특성

그림 4는 시스템의 성능 향상을 위하여 공간다이버시티기법 중, 최대비합성 다이버시티 수신기법을 이용하였으며 다이버시티 가지수(L=Non, 2, 3)를 적용하였을 때 다중접속 사용자수에 의한 패킷 오율 성능을 나타낸 그래프이다. 가지수가 2 개인 경우에 약 10^{-1} 의 성능 개선을 보이며 3개인 경우 Rician 심도가 10인 경우에 매우 큰 성능 개선을 보임을 알 수 있었다. 그러나 다중접속 사용자의 수가 증가할수록 성능의 열하가 심해짐을 알 수 있었다.

4-2. Convolution 부호화기법

에러검출 및 정정을 위한 부호화기법에는 크게 선형블럭 부호화와 컨벌루션 부호화가 있다. 블럭 부호화와 컨벌루션 부호에 대한 근본적인 차이는 기억장치의 유무에 있으며 컨벌루션 부호의 부호기는 출력제열에 의해서도 결정되므로 기억이 있는 장치로 간주된다. 컨벌루션 부호의 특징은 가우스 잡음의 통신로에서 에러정정능력이 특히 우수하여 디지털 통신분야에서 그 성능이 인정되고 있다[7].

본 논문에서 부호율이 1/2, 부호장이 7인 컨벌루션 부호의 비트 오율식은 다음과 같다.

$$Pe_c \leq \frac{1}{2} (7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10} + \dots) \quad (11)$$

여기서 D는 Bhattachayya의 상한식으로서 다음과 같이 주어진다[8].

$$D = 2\sqrt{\frac{Pe(1-Pe)}{M-1}} + \left(\frac{M-2}{M-1}\right) \cdot Pe \quad (12)$$

여기서 Pe 는 변조신호의 오율이다.

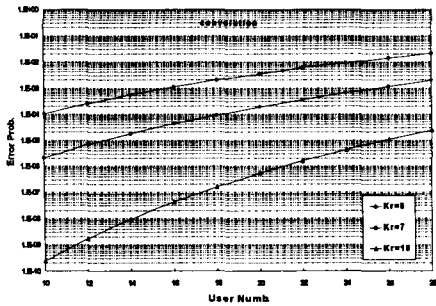


그림 5. One-Ray Rician 환경에서 Convolution 부호화기법을 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템 신호의 패킷오율특성

그림5는 One-Ray Rician 환경하에서 DS-CDMA

/QPSK 시스템에 대하여 컨벌루션 부호화기법을 채용하였다. MRC 다이버시티 수신 기법을 채용한 결과에 비해 그 성능의 개선 폭이 매우 큼을 알 수 있었으며 Rician 심도가 10인 경우는 약 10^{-8} 의 매우 큰 성능의 개선을 보임을 알 수 있었다.

4-3. MRC 다이버시티 수신기법과 Convolution 부호화 기법을 동시에 이용한 성능 개선

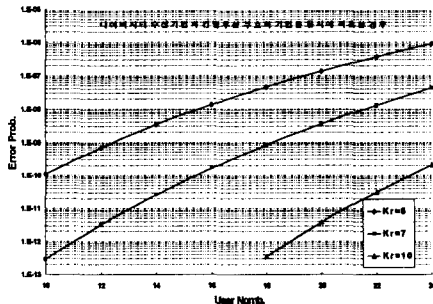


그림 6. One-Ray rician 환경에서 MRC 다이버시티 수신기법과 Convolution 부호화 기법을 동시에 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템 신호의 패킷오율특성

그림 6은 시스템의 성능 향상을 위하여 최대비합성 다이버시티 수신기법(L=2)과 Convolution 부호화 기법을 동시에 채용하여 다중접속 사용자수에 의한 패킷 오율 성능을 나타낸 그래프이다. Rician 심도의 크기가 증가함에 따라 성능의 개선 폭은 매우 커짐을 알 수 있었으며 다중접속 사용자에 의한 성능의 열화의 폭 또한 매우 커짐을 알 수 있었다.

V. 결론

60GHz에서 산소 흡수 감쇠량이 15 [dB/Km]와 강우량이 50 [mm/h]일 때의 감쇠량 17(dB/Km)

을 이용하여 차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 분석 결과 One-Ray Rician fading 환경인 경우에 산소 흡수와 강우 감쇠에 따른 성능의 저하로 인해 음성 서비스 기준에도 미치지 못하는 매우 열악한 결과를 얻음을 알 수 있었다. 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 수신 기법을 채용한 결과 가우시안 잡음 환경과 마찬가지로 다중접속 사용자 수가 20명으로 증가 될 때 즉 플래툰 주행에서 가장 많은 사용자가 동시에 접속한다면 음성서비스에 미치지 못함을 알 수 있었다. Convolution 부호화 기법을 채용했을 때는 Rician 심도가 7인 경우 음성 서비스를 10인 경우 데이터 서비스를 만족할 정도로 매우 성능의 개선 폭이 큼을 알 수 있었다. 그러나 앞으로 사용자의 욕구 증대에 따른 멀티미디어 서비스 기준에는 미치지 못함으로 이를 개선 하고자 MRC 다이버시티 수신 기법과 Convolution 부호화 기법을 동시에 적용하였으며 Rician 심도가 7, 10인 경우에 멀티미디어 서비스 기준을 만족함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하고 있는 MRC 다이버시티 수신 기법과 Convolution 부호화 기법을 동시에 적용함으로써 향후 플래툰 주행 시 차량간 이동통신에서 멀티미디어 서비스를 만족함을 알았다.

참고문헌

- [1] S. D. Elliott, & D. J. Daiey, "Wireless Communications For Intelligent Transportation Systems," Norwood, MA : Artech House, 1995.
- [2] W. Schafer, "Channel modelling of shortrange radio links at 60GHz for mobile inter vehicle communication," *IEEE TRANS. Technol.*, pp. 314-319, May. 1991.
- [3] R. J. Bultitude, & G. K. Bedal, "Propagation characteristics on micro cellular urban radio channels at 910MHz", *IEEE J. Select. Area Commun.*, vol. 7, pp. 31-39, Jan. 1980.
- [4] T. Tank, Nathan. Yee and J. Linuartz, "Vehicle-to-vehicle communication for AVHS Platoon", Proc. 44th *IEEE Veh. Tech. Cong.*1994
- [5] N. Naitou, "Micro and Millimeter Wave Enginnering," Corona pub., LTD, 1986.
- [6] M. Schwartz., *Communication System and Techniques*, New York : McGraw-Hill,1996.
- [7] Rhee, M. Y., *Error Correcting Coding Theory*. McGraw-Hill, 1989.
- [8] Viterbi, A. J., "Convolution codes and their performance in communication system," *IEEE Trans. commun. Technol.*, col. COM-19, pp. 751-772, Oct. 1971.