

밀리미터파 대역을 이용하는 차량간 DS-CDMA/QPSK 방식의 성능 분석

* 김 춘 구, * 강 희 조, ** 최 용 석
 * 동신대학교 전기전자공학과
 ** 한국전파통신연구원 무선·방송 연구소 전파자원연구팀

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

* 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 논문에서는 근거리 차량간통신(IVC)에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능을 분석하고, 다중접속에 강한 장점을 지닌 60GHz 밀리미터파를 이용하여 첨단차량도로시스템(AVHS)의 플레톤주행에 적합한 One-Ray Rician 채널 모델에서의 패킷오율을 구하였다. 성능 개선 기법으로는 BCH 채널 부호화(255, 247, 1)와 MRC 다이버시티 수신기법을 동시에 채용했을 때 One-Ray Rician 페이딩 환경하에서 Rician 심도와 사용자 수의 변화에 따른 시스템의 오율 특성을 분석하고 차량간 거리에 따른 패킷 오율을 구하였다.

Abstract

This paper have been analyzed performance of DS-CDMA/QPSK system in short range IVC, and evaluated packet error rate(PER) in an One-Ray Rician channel model suitable for platoon driving of AVHS that 60GHz millimeter wave is very powerful to MP(multipath-wave). We analyzed probability characteristic of system as variation of Rician factor and user number in One-Ray Rician fading environment and evaluated packet error rate(PER) according to inter-vehicle distance when the BCH channel coding(255, 247, 1) and diversity schemes is adopted.

I. 서론

본 논문에서 채용하는 첨단차량도로시스템(AVHS : Advanced Vehicle Highway System)은 도로에 차량과 통신할 수 있는 기반설비가 갖추어진 상태에서 자차(自車)센서 및 타차(他車)와 통신을 통해 전방차량-측면차량-후방차량의 상태를 파악하여 주변 차량과 안전거리를 유지하면서 통신을 통해 도로상황을 예지하고 목적지까지 안전하게 주행 가능하게 하며 도로 사용의 효율성을 극대화하기 위한 시스템이다[1].

최근 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 차량 간 통신이나 무선 LAN같은 근거리 통신 시스템에 적합하고, 짧은 거리(수 Km)에서 높은 산소 흡수나 강우감쇠에 의한 간섭신호에 강한 장점을 지닌 밀리미터파를 이용한 연구가 활발하다. 대기의 주된 성분인 산소와 수증기에 의해 60GHz 주파수 대역에서 산소 흡수 감쇠량은 15[dB/Km]이고 강우량이 50[mm/h]일 경우에는 약 17[dB/Km]로 감쇠가 심하게 일어난다. 이러한 특성들을 이용한 차량간 통신에 대한 연구가 활발하다[2].

II. 시스템 모델

1. 차량간 통신 채널

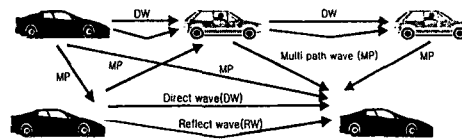


그림 1. Propagation model

그림 1은 차량간 통신채널의 전파모델을 보인 것이다. 본 논문에서 차량간 이동통신은 안테나가 가로등과 같이 낮은 위치에 설치되는 경우가 많아 송수신기 사이에 가시거리가 형성되어 직접파가 존재하는 채널 특성을 보인다. 최근 연구에 의하면 실외 마이크로셀 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_c 를 가지는 라이스 확률분포를 나타내게 된다[4].

60GHz에서 밀리미터파 주파수 대역은 거리에 따

른 경로 손실이 매우 크다. 일반적으로 자유공간상에서의 밀리미터파 대역은 등방성 안테나를 사용한다. 거리에 따른 경로손실 및 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.

2. One-Ray Rician 모델

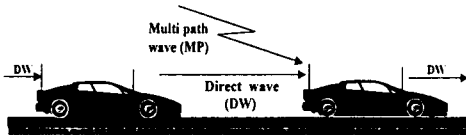


그림 2. One-Ray Rician channel model

그림 2는 차량간 통신채널의 전파모델에서 One-Ray Rician channel 모델을 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. 본 논문에서 고려한 채널 모델은 플라톤(Platoon) 주행 시 차량간 거리가 매우 짧아지게 되어 지면 반사파가 존재하지 않기 때문에 플라톤 주행에 적합한 One-Ray Rician channel 모델을 채용한다[4].

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 도출한다. 본 논문에서의 Platoon주행은 10대의 차량으로 구성되었다고 가정하였다. 따라서 Platoon주행은 10m내외거리로 매우 짧기 때문에 참조거리를 100m로 제한한다.

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

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

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[2]. 여기서 P_1 는 평균 수신전력 ($P_{Dw} + P_{MP}$), K_1 는 직접파전력대 반사파전력비 (P_{Dw}/P_{MP}) 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

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

이다. 여기서 P_{Dw} 는 평균수신전력, K 는 볼츠만 상

수, T 는 수신기의 잡음온도, F 는 수신기 회로에서 잡음지수 그리고 B 는 무선신호의 대역폭이다.

표 1. 시스템 파라메타

| | | |
|---------|---------------------------------|-----------|
| 파 장 | : λ | 5.0[mm] |
| 송신전력 | : P_t | 10[dBm] |
| 송신안테나이득 | : G_t | 5[dB] |
| 수신안테나이득 | : G_r | 5[dB] |
| 산소흡수 | : $\alpha_{Oxygen\ Absorption}$ | 15[dB/Km] |
| 강우감쇠 | : $\alpha_{Rain\ Attenuation}$ | 17[dB/Km] |
| 참고거리 | : D_{ref} | 100[m] |

표 2. 열잡음 파라메타

| | |
|---------------|----------------------------|
| 볼츠만상수 K | $1.38 \times 10^{-23} J/K$ |
| 수신기의 잡음온도 T | 300K |
| 잡음지수 F | 10[dB] |
| 무선신호의 대역폭 B | 15[MHz] |

III. 차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템

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

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

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

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 의해 식(8)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.

IV. 차량간 DS/CDMA 시스템의 성능 개선

3-1. BCH 부호화기법

BCH 부호는 단일 오류만 수정할 수 있는 해밍 부호에서 여러 개의 산발 오류를 수정할 수 있는 다중 오류 수정부호로 확대시킨 것으로 이 부호 방식은 블록 길이, 부호율, 크기, 오차 정정 능력에 관한 광범위한 선택을 제공하는 강력한 순환 부호 방식에

속한다. BCH 부호는 k 개의 정보 비트와 p 개의 패리티 검사 비트로 구성되므로 부호어의 비트수 $n=k+p$ 가 되며 BCH (n, k, t)라고 표시된다. 이때 부호길이 $n=2^m-1$ 이고 n 비트 부호어에서 정정될 수 있는 에러, 즉 에러 정정 능력 t 는

$$t = \lfloor p/m \rfloor \quad (10)$$

이다. BCH 주어간의 최소 거리 d_{\min} 과 에러 정정 능력은 $2t+1 \leq d_{\min} \leq 2t+1$ 인 관계가 있다[5].

BCH 부호화를 행한 오류식 P_{BCH} 는

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (11)$$

이다. 여기서 P_e 는 부호화를 하지 않았을 때 채널의 오류값이다.

3-2. MRC 다이버시티 수신기법

다이버시티 기법은 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩의 영향을 효과적으로 경감시킬 수 있는 방법으로 알려져 있다. 다이버시티 수신 기법이란 불완전한 신호레벨을 보상함으로써 페이딩의 영향을 줄이는 것을 말한다. 가장 많이 사용되고 있는 공간 다이버시티는 공간적으로 서로 떨어진 다수개의 수신안테나를 이용하여 수신하되 다수개의 수신신호를 적당한 방법으로 합성하여 출력 신호를 얻는 방법이다. 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.

$$p_{MRC}(\gamma) = \left(\frac{K_r+1}{\Gamma} \right)^{\frac{N+1}{2}} \left(\frac{\gamma}{K_r N} \right) \cdot \exp\left(-K_r N - \frac{(K_r+1)\gamma}{\gamma_0}\right) \cdot I_{N-1}\left(2\sqrt{\frac{K_r(K_r+1)N\gamma}{\gamma_0}}\right) \quad (12)$$

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

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

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

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

V. 해석결과 및 검토

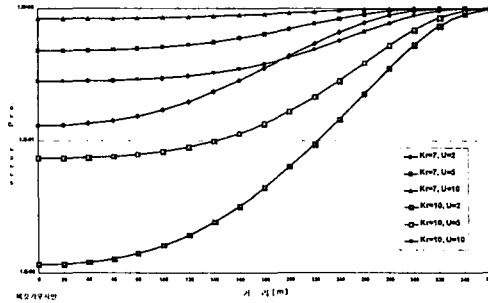


그림 3. One-Ray Rician fading 환경 하에서의 DS-CDMA/QPSK 신호의 패킷 오류 특성 (PN=255, U=2~10, Kr=7~10, PL=511)

그림 3은 본 논문에서 고려하는 60GHz 주파수 대역에서 산소 흡수 감쇠량은 15[dB/Km], 강우량이 50[mm/h]일 경우에 강우 감쇠는 17[dB/Km]일 때 거리와 간섭수 그리고 페이딩 환경에 따른 패킷 오류 특성을 나타낸 것이다. $K_r=10, U=10$ 인 경우 100[m]에서 오류가 0.296으로 매우 열악함을 알았다.

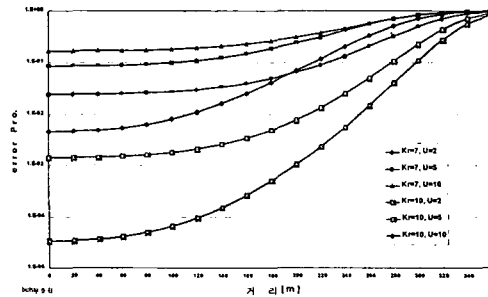


그림 4. One-Rician fading 환경 하에서 BCH(255, 247, 1) 채널부호화를 채용한 경우의 패킷 오류 특성 (PN=255, U=2~10, Kr=7~10, PL=511)

그림 4는 One-Ray Rician 채널모델에서 BCH(255, 247, 1) 부호화 기법을 채용했을 때의 DS-CDMA/QPSK의 시스템에 대한 패킷 오류 특성을 나타낸 것이다. BCH 부호는 k 개의 정보 비트와 p 개의 패리티 검사 비트로 구성되므로 부호어의 비트수는 $n=k+p$ 가 되며, n 비트 부호어에서 정정될 수 있는 에러, 즉 에러 정정 능력 t 는 $t=1$ 을 선택하였다. $K_r=10, U=10$ 인 경우 100[m]에서 0.0278로 BCH 부호화 기법만을 사용하더라도 매우 열악하다.

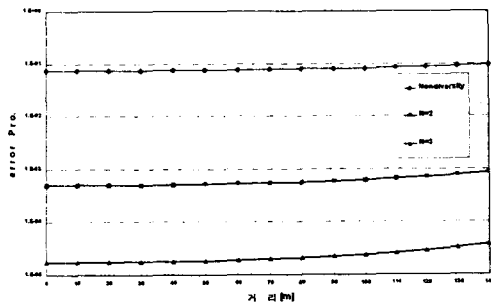


그림 5. One-Rician fading 환경하에서 MRC diversity 수신기법을 채용한 경우의 패킷 오율 특성 (PN=255, U=10, Kr=10, PL=511, N=1~3)

그림 5는 One-Ray Rician fading 환경하에서의 MRC diversity의 가지수에 따른 패킷 오율 특성을 보인 것이다. 가지수가 늘어날수록 0.082, 6.15×10^{-4} , 2.38×10^{-5} 로 성능이 향상됨을 볼 수 있었다. 이는 BCH 채널부호화를 했을 때보다 약 100배의 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

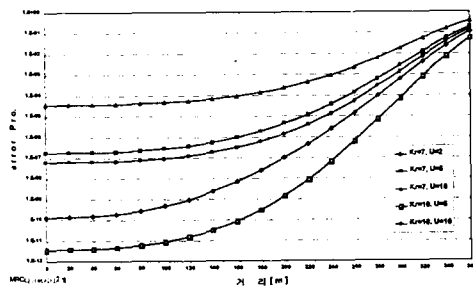


그림 6. Rician fading 환경하에서 BCH 부호화 기법과 MRC다이버시티 수신 기법을 동시에 채용한 경우의 패킷오율 특성 (PN=255, U=2~10, Kr=7~10, N=2개, PL=511)

그림 6은 BCH 부호화 기법과 가지 수 2개인 MRC 다이버시티 수신 기법을 동시에 채용한 패킷 오율 특성을 나타낸 것이다. $K_r=10$, $U=10$ 일 경우 100[m]에서 패킷오율이 10^{-8} 으로 멀티미디어 서비스가 가능한 기준오율을 만족한다.

VI. 결론

본 논문은 AVHS의 Platoon 주행을 위해 요구되어지고 있는 단거리 통신 시스템의 성능을 분석하였다. 차량간 통신에서는 운전자의 안전과 직결되기 때문에 신뢰성 있는 차량간 통신이 요구된다. 따라서 신뢰성 확보를 위해 차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템에 BCH 채널 부호화와 MRC 다이버시티 수신기법을 동시에 채용하였으며, AVHS의 Platoon 주행을 적합한 One-Ray Rician 채널 모델을 적용하여 차량간 거리에 따른 패킷 오율을 구하였다.

차량간 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 분석 결

과, One-Ray Rician fading 환경인 경우에 산소 흡수와 강우 감쇠에 따른 성능의 저하로 인해 0.296이라는 매우 열악한 결과치를 얻었다. BCH(255, 247, 1) 부호화기법을 채용한 경우에도 0.0278로 성능이 크게 개선되지 못한다. 따라서 이를 개선하기 위해서 MRC 다이버시티 수신기법을 채용한 경우에도 10^{-4} 으로 성능향상을 가지나 멀티미디어 서비스 패킷오율식 기준인 10^{-8} 에는 미치지 못한다. 본 논문에서 제안한 BCH 채널부호화와 MRC 다이버시티 수신기법을 동시에 적용함으로써 10^{-8} 을 달성할 수 있었다. 따라서 BCH 채널 부호화기법과 MRC 다이버시티 수신기법을 동시에 채용한 것이 성능 개선 면에서 효과적이라는 것을 알 수 있었으며 영상 서비스 기준을 만족함을 알 수가 있었다. 또한 본 논문에서 얻어진 결과는 100[m]이내에서의 차량 충돌 방지 레이다, 차량간 또는 차량대 고정 기지국간의 통신 등 DSRC(Direct Short Range Communication)에 적합함을 알았다.

참고문헌

- [1] N. Naitou, "Micro and Millimeter Wave Engineering," Corona pub., LTD, 1986.
- [2] W. Schafer, "Channel modelling of short range radio links at 60 GHz for mobile inter vehicle communication," *IEEE Trans. Tech.*, pp. 314-319, May 1991.
- [3] R. J. Bultitude and 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] J. L. Massey, "Shift-register synthesis and BCH decoding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-15, pp. 127-127, Jan. 1969.
- [6] M. Schwartz., *Communication System and Techniques*, New York : McGraw-Hill, 1996.