밀리미터파 무선통신로에서 차량간 통신 시스템의 성능개선

Improvement Performance of Inter-Vehicle Communication System in Millimeter Wave RF Channels

김춘구*, 강희조*, 최용석**

Choon-Gu Kim*, Heau-Jo Kang*, and Yong-Suk Choi**

요 약

본 논문은 도로 지면, 옆 차선의 차량 그리고 콘크리트 벽 반사를 포함하는 차량간 통신 시스템의 전파 모델을 제시했다. 그리고 광전파나 밀리미터파를 분석하는데 효과적인 Ray tracing 방법을 이용한 전파 손실과 지연 특성을 이론적으로 전개했다. 마지막으로 다이버시티, BCH 부호화 그리고 컨벌루션 부호화 기법을 이용하여 전파 특성의 향상을 보았다. 분석 결과, MRC 다이버시티와 BCH 부호화는 데이터 서비스 기준인 PER = 10^{-6}을 만족할 수 없었다. 그러나 라이시안 페이딩에서 컨벌루션 부호화 기법을 채용했을 때 데이터 서비스 기준인 PER=10^{-6}을 만족하는 패킷 오율 특성을 얻음을 알 수 있었다.

Abstract

We presented a channel model for the inter vehicle radio link including the reflection from the road surface, side road vehicle and concrete wall. Then we theoretically derived the path loss and delay profile characteristics using the Ray tracing method efficiently analyzing millimeter wave or optic wave. Finally, we shown the improvement of propagation characteristics by diversity techniques, BCH coding and convolution coding techniques. At the result, MRC diversity techniques and BCH coding can't obtained PER=10^{-6} which is considered to be data service criterion. But, we knew that Packet Error Rate Characteristic can obtained PER=10^{-6}, which is considered to be data service criterion, when convolution coding scheme are adopted in Rician fading.

I. 서 론

차량들의 자유로운 이동성을 지원하기 위한 도로망 구축은 천문학적인 비용과 엄청난 시간을 요구하기 때문에 차량운전자들에게 실시간 교통상황 정보 및 목적지까지의 최적경로를 제공하여 운전자들의 빠르고 안전한 운행을 기반으로 도로망의 활용 효율을 높이기 위한 정보통신 시스템인 ITS(Intelligent Transportation System) 구축에 전 세계적으로 다양한 노력이 집중되고 있다[1]. AVHS는 도로에 차량간 통신을 할 수 있는 기반설비가 갖추어진 상태에서 자차 및 타차와의 통신을 통해 전방-측방-후방 차량의 상태를 파악하면서 통신을 통해 전후면·측면 충돌예방, 교차로에서의 충돌예방, 전방 교통사고 및 급커브, 노면결빙 등 도로상황을 예지하여 차

* 동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electron & Electronics Engineering, Dongshin University)
** 한국전자통신연구원(Electrons and Telecommunications Research Institute)
· 논문번호 : 2001-2-6
· 접수일자 : 2001년 11월 30일

량간의 주행간격을 현재의 인간 운전자에 의한 주행 안전 간격보다 훨씬 좁힘으로써 단위도로 면적당, 또 단위시간 당 주행할 수 있는 차량의 대수를 2배 혹은 3배까지도 증가시키는 것을 목표로 하는 미래형 교통체계이다[2],[3]. 차량간 통신 시스템에서 밀리미터파의 파장이 매우 짧기 때문에 이로 인하여 안테나, 송신기 그리고 수신기 회로 같은 장치나 소자의 크기를 줄일 수 있다. 밀리미터파 대역을 이용하면 광대역 스펙트럼을 이용할 수 있기 때문에 고속의 고분해능과 고속 디지털 전송이 가능해진다. 또한 짧은 거리에서 높은 산소 흡수 영향으로 간섭신호에 강하고 높은 스펙트럼 효율성을 얻을 수 있다[4].

Ⅱ. 본 론

2-1 전파전파모델

본 논문에서는 전파의 분석방법으로는 광전파나 밀리미터파를 분석하는데 효과적인 Ray tracing방법을 이용하였다. 근거리차량간통신(IVC)에서 차량간 송수신 안테나의 위치가 가로등보다 낮은 위치에 있어 가시거리가 형성이 되어 직접파가 존재하는 채널 특성을 보인다. 참고문헌[5]에 의하면 실외 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 진

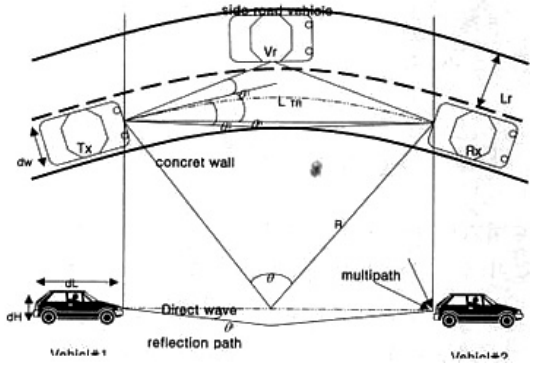

그림 1. 차량간 전파 모델
Fig. 1. Inter vehicle propagation model.

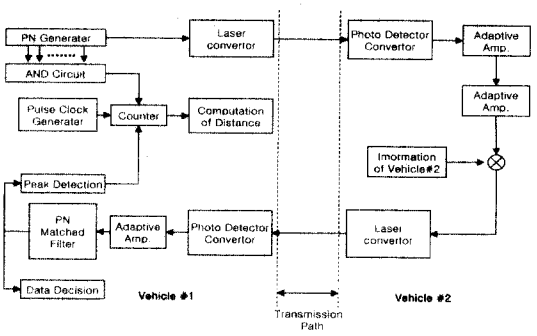

그림 2. 부메랑 전송 시스템
Fig. 2. Boomerang transmission system..

폭은 매우 큰 계수를 가지는 라이스 확률 분포를 나타내게 된다[6]. 본 논문에서는 근거리 차량간 통신 시스템을 분석하기 위해서 광전파나 밀리미터파를 분석하는 매우 효율적인 Ray tracing 방법[7]을 이용하였다. 그림 1은 본 논문에서 고려하는 차량간 통신 모델이다[8]. 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.

2-2 Boomerang Transmission System

그림 2는 부메랑 전송 시스템의 블록도를 보인 그림이다[6]. 차량 #2가 차량#1의 PN code를 안다는 것은 불가능하다. 그러나 부메랑 전송 시스템은 차량 #2가 차량 #1에서 보내진 정보는 차량 #2에서 common PN code를 이용하여 정보를 얻고 차량 #2의 정보를 차량 #1의 PN code와 함께 재전송을 하면 차량 #1은 자신의 PN code를 이용하여 역확산하여 차량 #2의 정보를 얻는 방법이다.

2-3 Two-Ray Rician channel 모델

각 경로에 의해 수신된 신호전력은 다음과 같이 주어진다.

$$[P_{ri}] = 20\log\left\{\frac{4\pi l_A^2}{\lambda^2}\sin c^2\left(\frac{\pi l_A \sin\theta_i}{\lambda}\right)\right\} + 20\log\left(\frac{\lambda\cos\theta_i}{4\pi L_{TR}}\right) - \frac{\gamma_o L_{TR}}{\cos\theta_i} + 10\log\rho_g + 10\log\rho_w + 10\log\rho_v \quad (i=0, 1, 2, 3) \quad (1)$$

여기서, P_{ro}와 θ_o는 직접파 경로의 수신된 신호전력과 직접파 경로의 incident angle이다. 그리고 P_{ri}와 θ_i (i = 1, 2, 3)은 반사파 경로의 수신된 전력과 i번째 반사파 경로의 incident angle이다. 또한 l_A는 차량의 전후면에 부착된 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. 따라서 직접파 경로의 전력에 대한 반사파 성분의 상대적 전력 P_i는 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

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

$$\theta_o = \frac{\theta}{2} \quad (3)$$

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

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

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

여기서 L_{TR}은 송신기와 수신기 사이의 거리(차량간 거리)이고, R은 curvature radius, d_w는 차량의 폭이다. 그리고 θ는 도로의 central angle이다. 옆 차선에 차량 V_r이 존재한다면 반사 경로 3이 존재한다. 반사 경로 3이 존재할 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$q = \frac{d_L}{d_L + \frac{1}{\lambda_v}} \quad (7)$$

여기서, d_L은 차량의 길이, λ_v는 달리는 차량의 대수이다. 반사 경로의 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.

$$R_{rd}[dB] = P_1 + P_{2+}qP_3\,[\mathrm{dB}] = P_1 + P_2 + \frac{d_L}{d_L+\frac{1}{\lambda_v}}P_3\,[\mathrm{dB}] \quad (8)$$

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

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

여기서, ρ는 수신신호의 진폭(Received Signal Envelope)이다. 그리고 ρ^2(Noise Power)은 잡음전력을 나타낸다.

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

$$\Gamma_o = \frac{P_{ro}(1+R_{rd})}{kTBF}P_T \quad (10)$$

여기서, P_T는 전송 전력이다. 그리고 P_{rd}는 각 경로의 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 대역폭이다. 그리고 F는 수신기 회로에서 잡음지수

(Noise Figure)이다. γ의 확률밀도 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$p(\gamma) = \frac{R_{td}+1}{R_{td}} e^{-\left\{\frac{(R_{td}+1)\gamma}{R_{td}\Gamma_o}+\frac{1}{R_{td}}\right\}} \cdot I_o\left(\frac{2}{R_{td}}\sqrt{\frac{(R_{td}+1)\gamma}{\Gamma_o}}\right) \quad (11)$$

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

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

2-4 차량간 MC-CDMA/QPSK 시스템

성능 해석 변조 방식을 QPSK로 가정한다. AWGN 환경에서 DS/CDMA-QPSK 시스템의 오율식 P_e는 다음과 같다.

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

$$Pe_{(QPSK)} = erfc\sqrt{\gamma} \cdot \sin(\pi/4) \quad (14)$$

여기서, γ는 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음 전력비, U은 사용자수이며 PN은 PN코드 길이 그리고 E_b/N_o는 비트 에너지 대 잡음 전력비이다.

라이시안 채널에서의 비트 오율식은 식 (11)과 식 (14)에 의해서 식 (15)와 같이 표현된다.

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

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

$$PER = 1-(1-Pe)^{PL} \quad (16)$$

여기서, P_e는 비트 오율, P_L은 패킷 당 비트의 수이다.

Ⅲ. 성능 개선 기법

3-1 BCH 부호화 기법

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

$$t = [p/m] \quad (17)$$

이다. BCH 주어간의 최소 거리 d_{min}과 에러 정정 능력은 $2t+1 \le d_{min} \le 2t+1$인 관계가 있다. BCH 부호화를 행한 오율식 P_{BCH}는 다음과 같다.

$$P_{BCH} = \frac{1}{n}\sum_{i=t+1}^{n} i\binom{n}{i} Pe^i (1-Pe)^{n-i} \quad (18)$$

여기서, P_e는 부호화를 하지 않았을 때 채널의 오율값이다[9].

3-2 Convolution 부호화 기법

컨벌루션 코드는 가우스 잡음 환경하에서 에러정정 능력이 우수하고 잡음이 연집특성을 갖는 채널에서도 쉽게 연집에러를 정정할 수 있다. 본 논문에서 사용한 부호율이 1/2 부호장이 7인 컨벌루션 부호의 비트 오율식은 다음과 같다.

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10} + \cdots) \quad (19)$$

여기서, D는 Bhattachayya의 상한식으로서 다음과 같이 주어진다.

$$D = 2\sqrt{\frac{Pe(1-Pe)}{M-1}} + \left(\frac{M-2}{M-1}\right) \cdot Pe \quad (20)$$

여기서, P_e는 변조신호의 오율이다[10].

Ⅳ. 해석결과 및 검토

그림 3은 라이시안 심도, 차량간 거리 등을 파라미터로 계산한 결과에 라이시안 페이딩 환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템을 채용하여 다중접속사용자와 PN코드길이 그리고 라이시안 심도에 따른 비트 오율 특성 그래프이다. 라이시안 심도의 크기가 증가함에 따라 성능의 개선 폭은 매우 커지고 있으나 성능 열화의 폭 또한 다중접속사용자 수의 증

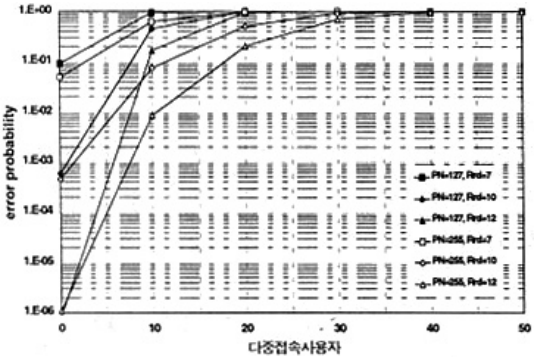

그림 3. Rician fading 환경에서의 패킷 오율 특성(PN =127/255, L_{TR} = 100, N_p=511).

Fig. 3. Packet error characteristic in Rician fading(PN =127/255, L_{TR} = 100, N_p=511).

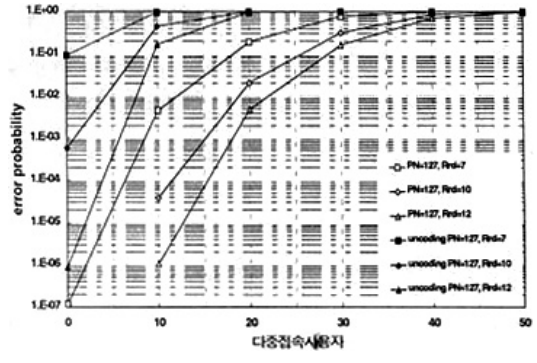

그림 4. Rician fading 환경하에서 BCH 부호화 기법을 채용한 경우 패킷 오율 특성(P_N =127, N_p= 511).

Fig. 4. Packet error rate characteristic when BCH coding scheme are adopted in Rician fading (P_N =127, N_p=511).

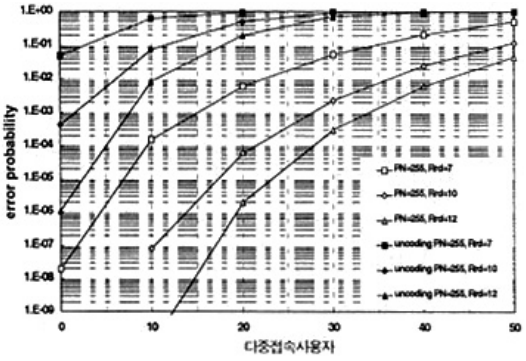

그림 5. Rician fading 환경하에서 BCH 부호화 기법을 채용한 경우 패킷 오율 특성 (P_N = 255, N_p = 511).

Fig. 5. Packet error rate characteristic when BCH coding scheme are adopted in Rician fading (P_N = 255, N_p = 511).

가에 따라 매우 커짐을 알 수 있다.

그림 4는 처리이득 값과 차량간 거리를 파라미터로 BCH(15, 7, 2) 부호화 기법을 채용한 다중접속사용자 수에 따른 패킷 오율 특성 그래프이다. MRC 다이버시티 수신 기법으로는 MUI에 의한 시스템의 열화에 효과적이지 못했다. 따라서 다중 오류 수정 부호로 확대시켜 여러 개의 산발 오류를 제어할 수 있는 BCH 부호화 기법을 채용하여 DS-CDMA/QPSK 시스템의 다중접속사용자 수에 따른 패킷 오율 특성을 구하였다. 라이시안 심도 증가에 따라 시스템 성능이 개선된다. PN코드길이가 127일 때 BCH 부호화 기법은 MRC 다이버시티 수신 기법에서 가지 수가 2개인 경우와 비슷한 성능임을 알 수 있었다. 그러나 PN코드길이가 127인 경우 시스템의 열화를 극복하지 못함을 알 수 있었다.

그림 5는 동일한 환경에서 PN코드길이가 255일 때 다중접속사용자 수에 따른 DS-CDMA/QPSK 시스템의 패킷 오율 특성을 나타낸 그래프이다. 다중사용자 수에 따른 DS-CDMA/QPSK 시스템 성능은 라이시안 심도가 10, 12인 경우에 PER=10^{-3}을 만족한다. 페이딩 환경과 비교하여 큰 폭의 성능 개선됨을 알 수 있었다. 그러나 플래툰 주행 시 최대 접속사용자 수인 20에 이르게 되면 시스템의 성능은 매우 열화되어지며 PER=10^{-6}을 달성하지 못한다.

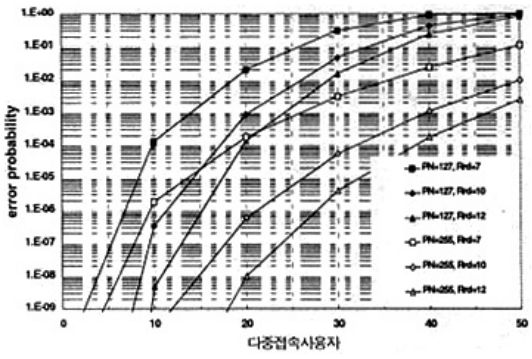

그림 6. Rician fading 환경하에서 컨벌루션 부호화 기법을 채용한 경우 패킷 오율 특성(P_N =127/255, N_p=511).

Fig. 6. Packet error rate characteristic when convolution coding scheme are adopted in Rician fading(P_N = 127/255, N_p = 511).

그림 6은 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능 개선을 위해서 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨벌루션 부호화 기법을 채용하여 다중접속사용자 수의 변화에 따른 패킷 오율 특성 그래프이다. PN코드길이가 127인 경우 라이시안 심도가 10, 12일 때 PER $=10^{-3}$으로 개선됨을 알 수 있었다. PN코드길이가 255일 때 PER$=10^{-6}$, 즉 데이터 서비스를 위한 오율을 만족함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 15[dB/Km]로 산소흡수에 의한 감쇠가 매우 큰 60 GHz 대역에서 근거리 차량간 통신을 위한 2-Path 모델에 옆 차선을 달리는 차량에 의한 반사와 차선의 콘크리트 벽면을 고려하여 AWGN과 페이딩환경에서 다중접속사용자에 따른 DS-CDMA/QPSK 시스템의 비트오율과 패킷오율을 구하였다. 전파분석 방법으로는 밀리미터파나 광전파를 분석하는데 매우 효과적인 Ray tracing 방법을 이용하였으며 수신성능 개선을 위해 오류정정계수 t가 2개인 BCH 부호화 기법 그리고 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 분석을 분석하였다. 수신성능 개선을 위하여 에러정정계수가 2개인 BCH 부호화 기법을 채용한 경우의 패킷 오율 특성은 P_N 코드길이와 라이시안 심도에 따라 P_N 코드길이가 127인 경우에 0.0049, P_N 코드길이가 255인 경우에 2.04 $\times 10^{-6}$으로 성능의 개선됨을 알 수 있었다. 차량간 통신 시스템은 음성 위주의 시스템에서 데이터 교환으로 전개될 것으로 예상된다. 따라서 이를 만족하기 위한 시스템을 구현하기 위해서 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 컨벌루션 부호화 기법을 적용하였다. DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선을 위해 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우, P_N 코드길이가 127이고 라이시안 심도가 10, 12일 때 0.8×10^{-3}, 0.1×10^{-3}으로 데이터 서비스 기준은 만족하지 못하고 있음을 알았다. P_N 코드길이가 255인 경우 라이시안 심도가 10, 12일 때 5.93×10^{-7}, 1.04×10^{-8} 데이터 서비스 기준인 PER $=10^{-6}$을 만족함을 알았다. 따라서 차량간 통신 시스템은 컨벌루션 부호화 기법을 적용함으로써 데이터 서비스 오율을 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C. Blumentritt, K. Balke, E. Seymour and R. Sanchez, TravTek System Architecture Evaluation, McLean, Virginia: Federal Highway Administration, 1995.

[2] S. D. Elliott & D. J. Daiey, "Wireless Communications For Intelligent Transportation Systems," Norwood, MA:Artech House, 1995.

[3] N. Naitou, "*Micro and Millimeter Wave Engineering*," Corona Pub., Ltd, 1986.

[4] W. Schafer, "Channel modelling of short range radio links at 60GHz for mobile inter vehicle communication," *IEEE Trans. Tech.*, pp. 314-319, May 1991.

[5] R. J. Bultitude& G. K. Bedal, "Propagation Characteristics on Micro Cellular Urban Radio Channels at 910MHz" *IEEE, Select, Area Commu.*, vol. 7, Jan, 1980.

[6] Tnshar, Tank, Nathan, Yee and J. Linuartz, "Vehicle to Vehicle Communication for AV-

HS Platoon", *Proc. 44th IEEE Veh. Tech. Cong.* 1994.

[7] T. Imai & T. Fuji, "Indoor Micro Cell Area Prediction System Using Ray-Tracing for Mobile Communication System," *IEEE Proc. PIMRC'96*, vol. 1, pp. 24-28, Oct. 1996.

[8] K. Mizui, M. Uchida and M. Nakagawa. "Vehicle to vehicle communication and ranging systems using spread spectrum techniques." In *13rd IEEE Vech. Tech. Conf.*, pp. 335-338, Yokohama, May 1993.

[9] J. L. Massey, "Shift-register synthesis and BCH coding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. T-15, pp. 127-127, Jan. 1969.

[10] Viterbi, A. J. "Convolution codes and their performance in communication," *IEEE Trans. Commun. Tech.*, vol. COM-19, pp. 751-772, Oct. 1971.

김 춘 구(金春九)

1975년 7월 24일 생
2000년 2월 : 동신대학교 전기전자공학과(학사)
2000년 3월~현재 : 동신대학교 전기전자공학과(석사과정)
전기전자공학과 무선고도정보시스템 Lab
관심분야 : ITS통신시스템, 밀리미터파 통신

강 희 조(姜熙照)

1994년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)
1994년 7월 ~ 1995년 12월 : 전자통신연구원 위성망 연구소 초빙연구원
1996년 8월 ~ 1997년 8월 오사카 대학교 공학부 통신공학과 post Doc.
1998년 3월 ~ 1998년 8월 : 전자통신연구원 무선이동 위성통신시스템 연구소 초빙연구원
2000년 6월 ~ 현재 : 한국전자파학회 호남지부 지부장
1990년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 전기전자공학부 교수
1999년 12월~ 현재 : 동신대학교 기술혁신센터 부소장
2000년 7월 ~ 현재 : 동신대학교 지역산업정보화센터장
관심분야 : 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 밀리미터파 통신, ITS 통신시스템, 멀티미디어통신, PELD

최 용 석(崔容碩)

1982년 : 연세대학교 천문우주공학과(이학사)
1994년 : 동경대학교 대학원 전파물리학과(이학박사)
1983년~1986년 : 공군 레이다 분석관(중위)
1987년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 전파기술 연구부 책임연구원(전파응용연구팀 팀장)
관심분야 : 전파전파 특성 예측 모델링, 위성 및 지상 밀리미터파 무선통신