

밀리미터파 페이딩 채널에서 DS-CDMA시스템의 성능 분석

Performance Analysis of DS-CDMA System in Millimeter-Wave Fading Channel

강희조*, 김윤호*

Heau-Jo Kang*, Yoon-Ho Kim*

요 약

본 논문은 밀리미터파 페이딩 채널에서 차세대 초고속 무선통신 시스템의 전파 전파 특성에 대해 제안한다. 도플러 천이와 레일리 페이딩을 동시에 고려하기 위해서 Jakes 모델의 페이딩 시뮬레이터를 구현하고 차세대 무선통신 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 밀리미터파 페이딩 채널에서 DS-CDMA 시스템의 오류 특성을 분석하고 부호화 기법과 다이버시티기법에 의해 시스템의 성능이 향상됨을 확인 하였다.

Abstract

In this paper, we proposed the radio wave propagation characteristics of the next-generation ultrafast wireless communication system in millimeter-wave fading channel. For considering doppler shift and Rayleigh fading simultaneously, the fading simulator of Jakes model implemented and analyzed the performance of the next-generation wireless communication system. In addition, the error rate characteristics of DS-CDMA system analyzed in the millimeter-wave fading channel and the system performance improved by coding technique and diversity technique.

Keywords : 60 GHz communication, Millimeter-wave, diversity, BCH coding

I. 서 론

현재 국내외적으로 정보의 광역화 및 초고속화에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있으며 이러한 요구에 적합한 밀리미터파 대역(30-300 GHz)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 60 GHz 대역은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 산소에 의한 전파의 흡수 감쇠가 크기 때문에 여러 응용 분야에서 사용될 수 있다. 대표적인 응용으로 위성간 통신, 군사용 응용 분야, 차량 충돌 방지 시스템 및 상업용의 다양한 대

용량 무선시스템 등이 있다[1],[2]. 이중에서도 상업용 시스템으로는 대용량의 단거리 통신 시스템, 무선 LAN, 열차무선 시스템, 광통신과 결합되어 광대역 통신을 가능하게 하는 4세대 이동통신에 적용이 예상된다. 그림 1에서는 60 GHz 대역의 다양한 응용 예를 나타내었다[3].

최근에 모든 선진국들은 LAN과 또는 PCN에서 개발될 이동전화, 팩스, 데이터 전송, 화상회의와 같은 새로운 통신 서비스에 대한 폭발적인 수요를 목격하였다. 실제적인 글로벌 통신 네트워크라는 야심찬 목

* 목원대학교 컴퓨터공학부 (Division of Computer Engineering, Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 강희조

· 투고일자 : 2009년 7월 29일

· 심사(수정)일자 : 2009년 7월 30일 (수정일자 : 2009년 8월 12일)

· 게재일자 : 2009년 8월 30일

표는 현재 개발 중인 자동화도로교통시스템(IVHS)과 같은 서비스와 기존의 PCN과의 통합에 직면해 있다 [4]. 더욱 더 높은 데이터 효율을 제공하는 새로운 서비스가 끊임없이 증가하는 가입자에게 소개되고 제공됨으로써, 기존의 마이크로파 대역(900 MHz-20 GHz)은 급격하게 포화되었다. 그러므로 과거 뿐만 아니라 현재에, 무선 시스템 관계자들의 관심은 용량 증대를 위해서 더욱 더 높은 주파수 대역으로 나아가기를 갈망해왔으며, 밀리미터파 대역을 사용하고자 각국에서 연구에 매진하고 있다. 이러한 솔루션은 무선 전파 환경에서 대기의 영향(특히, 20 GHz 이상의 주파수에서 강우, 수증기, 산소)으로 상당히 방해받을 것으로 여겨진다. 그러나 이러한 현상은 실제로 높은 용량을 요구하는 통신 시스템에 유리하다는 것이 밝혀졌다. 특히, 60 GHz 주위의 주파수들은 산소 흡수 특성의 이용에 특별한 관심이 있으므로 가스 감쇠가 산소의 존재에 주로 영향을 받아 주파수 영역에서의 감쇠만으로 관심 영역을 제한한다[5], [6]. 이러한 특성을 염두에 두면, 60 GHz 대역은 고밀도 단거리 트래픽을 요구하는 특정 응용시스템에 최근 할당되어 왔다.

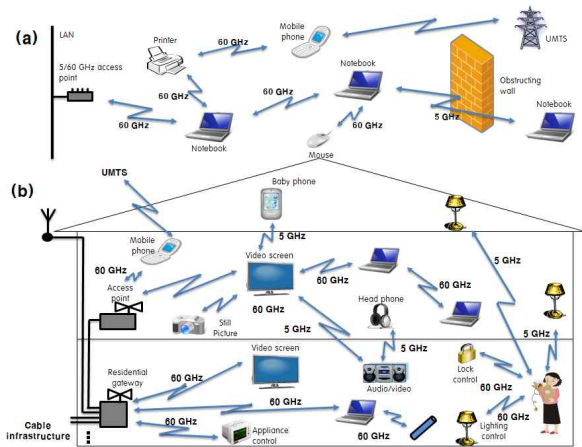


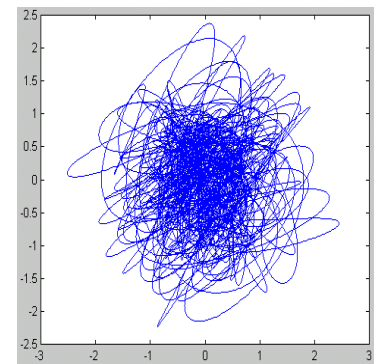
그림 1. 60 GHz 시스템 응용
Fig. 1. Application of 60 GHz system

II. 밀리미터파 페이딩 채널의 특성 분석

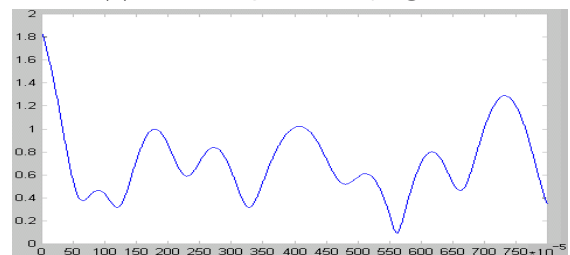
본 논문에서는 60 GHz 주파수 대역의 실내 무선 환경에서 여러 가지 변조 방식에 대하여 고속 데이터

전송이 가능하도록 데이터 전송률은 20 Mbps를 고려한다. 또한 도플러 쉬프트와 레일리 페이딩을 동시에 고려하기 위해서 Jakes 모델의 페이딩 시뮬레이터를 구현하였다.

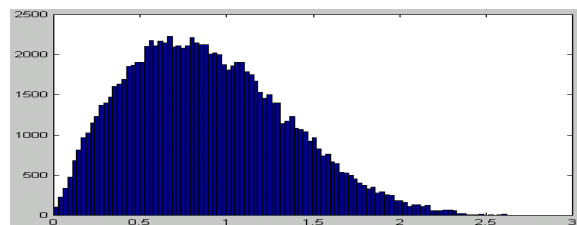
실내 무선 환경에서 이동속도는 기껏해야 10 Km/h 이내이므로 $f_c=60$ GHz, $v=10$ km/h이면 최대 도플러 쉬프트 f_d 는 약 556 Hz이다. 이것을 신호의 대역폭으로 정규화하면 $T_s=3 \times 10^{-5}$ 으로 도플러 쉬프트는 시스템의 BER 성능에 거의 영향을 미치지 못함을 예측할 수 있다. 60 GHz, 10 km/h의 이동속도에서 Jakes 모델에 의해 만들어진 주파수 비선택적 페이딩은 그림 2와 같다. 그림 2 (a)는 레일리 분포를 하는 페이딩 신호의 진폭과 랜덤한 위상을 도시하였다. 이에 대한 포락치만을 도시하면 그림 2 (b)와 같다. (b)의 결과를 히스토그램으로 도시한 것이 (c)에 나타낸 레일리 분포이다.



(a) 랜덤한 위상을 가진 페이딩 신호



(b) 페이딩 신호의 포락치



(c) 레일리 분포

그림 2. Jakes 모델로 구현된 레일리 페이딩
Fig 2. Rayleigh fading implemented of Jakes model

실내 환경의 RMS 지연확산은 30 ns를 고려한다. RMS 지연확산이 30 ns일 경우, 최대지연확산 T_m 은 약 138 ns이고 신호의 전송률이 20 Mbps이므로, 채널 모델에서 고려되어야 할 다중경로의 수는 $M = \lceil T_m/T_s \rceil + 1 = 3$ 으로 주어진다. 그림 3은 정규화된 전력지연 프로파일을 보여준다. 그림 3에서와 같이 RMS 지연확산이 30 ns이면 최대 지연확산이 138 ns인 주파수 선택적 페이딩 채널이고 신호의 대역폭 간격으로 다중경로를 분해한다면 다중경로 간 시간차는 50 ns인 정규화된 PDP(power delay profile)로 나타낼 수 있다. 그림으로 부터 각 경로에서의 정규화된 전력은 0.817, 0.154, 0.029로 각각 주어진다. 그리고 각 경로에서의 독립적인 레일리 페이딩은 Jakes 모델에 의해서 주어진다.

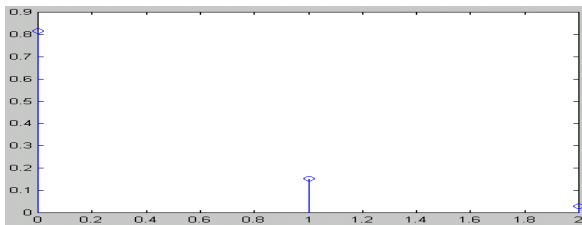


그림 3. 지수적으로 감소하는 정규화된 전력지연 프로파일(RMS=13 ns, $T_s=20$ Mbps)

Fig 3. A fully qualified power delay profile of index decreasing

그림 4에서는 $E_b/N_o=15$ dB에 대하여 다양한 채널 환경에서 BPSK의 수신신호를 도시하였다. 그림 4 (a)는 +1 또는 -1로 매핑되는 BPSK 심볼을 나타낸다. 그림 4 (b)에서는 수신기의 열잡음이 추가된다. 비교적 큰 E_b/N_o 이므로 잡음이 추가되어 수신된 BPSK 신호는 송신된 심볼 위치에 대부분 분포되어 있고 판정 경계인 0을 넘어가는 신호는 거의 나타나지 않는다. 그림 4 (c)와 (d)에서는 페이딩을 받은 신호에 (b)의 가우스 잡음이 추가되어 수신된 신호를 매핑 하였다. 주파수 비선택적 페이딩은 60 GHz의 중심주파수를 가지고 이동속도가 10 km/h인 그림 2에 도시된 Jakes 모델로부터 발생시켰고, 주파수 비선택적 페이딩은 동일한 조건에서 그림 3의 PDP의 전력 감쇠 파라미터를 사용하여 Jakes 페이딩 시뮬레이터를 이용하여 3개의 독립적인 레일 분포를 가지도록 발생시켰다. 특히, 동기 검파의 경우 위상동기가 완벽하게

맞추어지므로 페이딩의 랜덤 위상 변화는 배제된 포락치 만이 BPSK 신호에 영향을 미치는 것으로 간주될 수 있다. 그림 4 (c)와 (d)로부터 주파수 비선택적 페이딩 채널보다 주파수 선택적 페이딩 채널인 경우가 수신신호를 더욱 크게 열화 시키는 것을 확인할 수 있다.

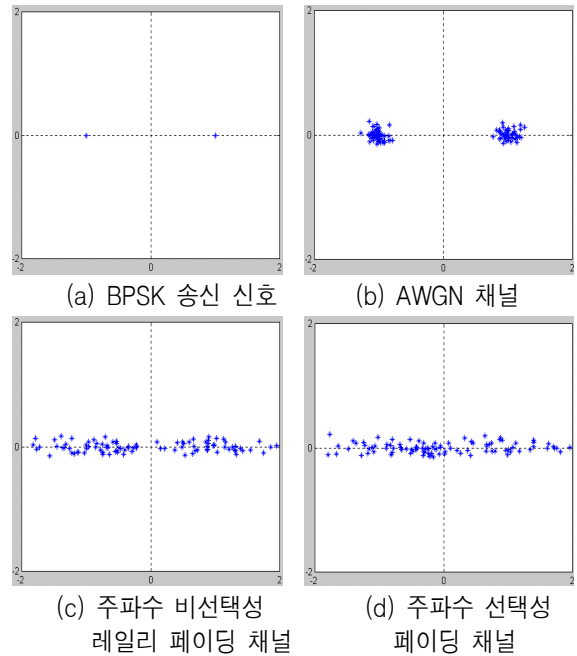


그림 4. 다양한 채널에서 BPSK의 수신 신호 매핑
Fig 4. BPSK receiving signal mapping in various channels

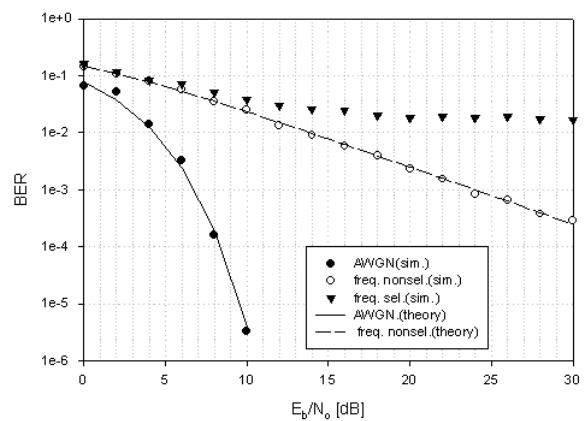
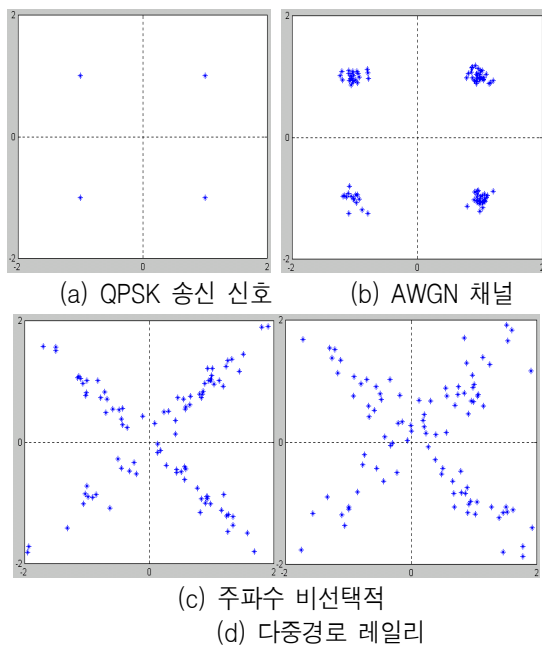


그림 5. BPSK 시스템의 BER 성능
Fig 5. BER performance of BPSK system

그림 5에서는 BPSK 시스템의 BER 성능을 보여준다. 여기서, 심볼은 시뮬레이션 결과이고, 실선 및 점선은 이론 성능을 나타낸다. BPSK 시스템에서

AWGN 채널 환경에서는 좋은 성능을 보여주지만 페이딩 채널에서는 BER 성능이 크게 열화 된다. 특히, 주파수 선택성 페이딩 채널에서는 신호전력을 높이더라도 BER= 10^{-2} 대에서 error floor가 발생함을 볼 수 있다. 이것은 다중경로에 의한 ISI의 영향 때문이다. 따라서, 60 GHz대에서도 마찬가지로 다중경로 전파환경에서는 페이딩을 경감하기 위해서 다이버시티 기법이나 등화기가 필요함을 알 수 있다.

그림 6은 $E_b/N_o=15$ dB이고 심볼 전송율이 20 Msps인 QPSK 시스템에서의 신호 매핑을 보여준다.



(a) QPSK 송신 신호 (b) AWGN 채널
(c) 주파수 비선택적 레일리 페이딩 채널 (d) 다중경로 레일리 페이딩 채널
그림 6. 다양한 채널에서 QPSK의 수신 신호 매핑
Fig 6. QPSK receiving signal mapping in various channels

그림 7은 QPSK 시스템의 BER 성능을 나타낸다. QPSK는 독립적인 두 개의 BPSK 채널로 구성되므로 QPSK의 BER 성능은 BPSK의 BER과 같음을 볼 수 있다.

그림 8 (a)는 QPSK 송신 신호로 비트 00, 01 11, 10 을 각각 $1+j$, $-1+j$, $-1-j$, $1-j$ 에 대응시켜 매핑 하였다. 이러한 송신 신호가 수신기의 열잡음에 의해서 그림 6 (b)와 같이 각 신호점을 중심으로 분포된다. 그림 6 (c)와 (d)에서는 페이딩을 받고 AWGN이 부가된 수신 신호를 매핑 하였다. AWGN 채널에서는 신호의 판정

경계면 가까이에서 수신신호가 거의 보이지 않지만 페이딩을 받게 되면 판정 경계면 근처에까지 많이 분포하게 되어 수신신호를 판정 시 에러가 발생할 가능성이 클 것이라는 것을 예상할 수 있다.

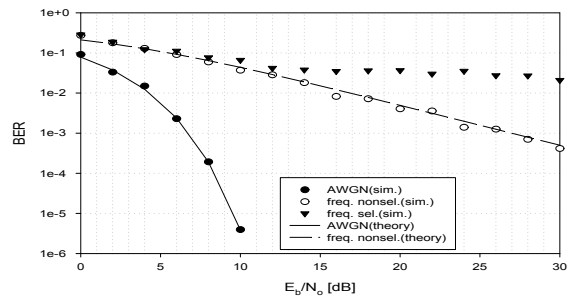
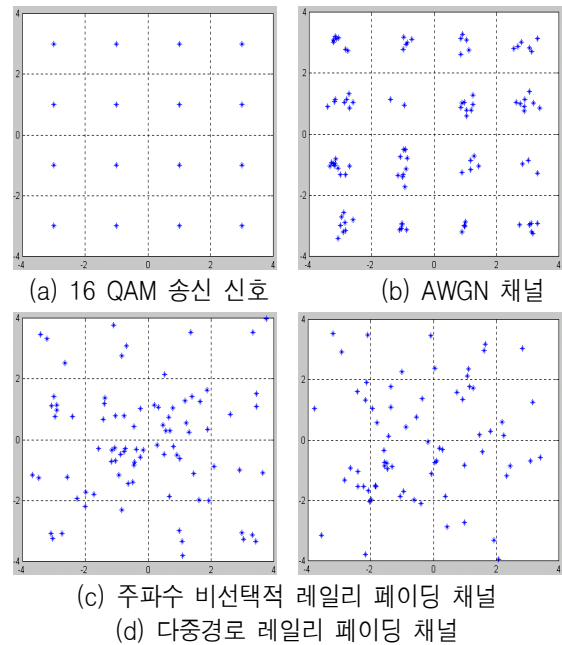


그림 7. QPSK 시스템의 BER 성능
($f_c=60$ GHz, $v=10$ Km/h, $T_s=50$ ns, $E_b/N_o=15$ dB)
Fig 7. BER performance of QPSK system



(a) 16 QAM 송신 신호 (b) AWGN 채널
(c) 주파수 비선택적 레일리 페이딩 채널 (d) 다중경로 레일리 페이딩 채널
그림 8. 다양한 채널에서 16 QAM의 수신 신호 매핑
($E_b/N_o=15$ dB)
Fig 8. 16QAM receiving signal mapping in various channels

그림 9은 16 QAM 시스템에서의 수신 신호 매핑을 보여준다. QAM에서는 위상뿐만이 아니라 진폭에 정보가 실리게 된다. 따라서 수신기의 판별 경계는 위상과 진폭을 같이 고려하게 된다. 그러므로 페이딩

채널에서 앞에서 다루었던 PSK 계열보다 BER 성능의 열화가 심하게 될 것이라는 것을 그림을 통해서 예측할 수 있다. 이에 대한 BER 성능이 그림 11에 도시되었다. 따라서 QAM 시스템에서는 페이딩을 보상할 수 있는 다이버시티 기법이나, 등화기가 필수적으로 요구될 것으로 사려 된다.

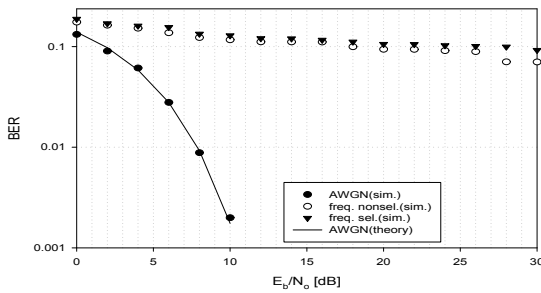


그림 9. QAM 시스템의 BER 성능
Fig 9. BER performance of QAM system

III. 밀리미터파 페이딩 채널에서 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.

BCH가 매우 중요한 이유는 몇 백의 블록 길이에서 같은 블록 길이와 부호율을 갖는 부호 방식에 비해 더 좋은 성능을 보이기 때문이다. 블록 부호 방식인 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

$$t = \lfloor p/m \rfloor \tag{1}$$

이다. BCH 주어간의 최소 거리 d_{\min} 과 에러 정정 능력은 $2t + 1 \leq d_{\min} \leq 2t + 1$ 인 관계가 있다. 따라서 BCH 부호화를 행한 오류율 P_{BCH} 는

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_{(1-P_e)^{n-i}} \tag{2}$$

이다[7],[8]. 여기서 P_e 는 부호화를 하지 않았을 때 채널의 오류값 이다.

60GHz에서 산소 흡수 감쇠량은 15[dB/km], 강우량이 50[mm/h]일 경우에 강우 감쇠는 17[dB/km]일 때 거리와 간섭 수 그리고 페이딩 환경에 따른 비트 오류 특성을 나타낸 것이다.

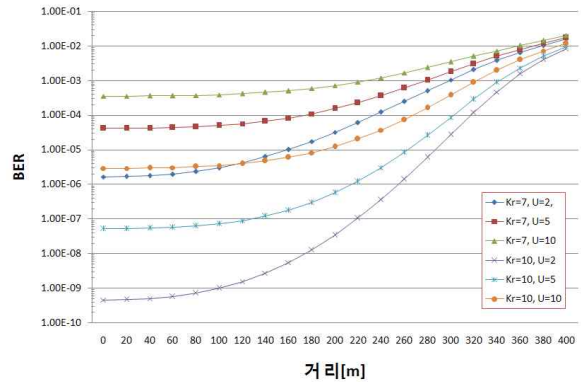


그림 10. 밀리미터파 페이딩 채널에서 BCH(255, 247, 1) 채널 부호화에 의한 성능 향상
(PN = 255, U = 2 ~ 10, Kr = 7:10)
Fig 10. Performance improving by BCH channel coding in millimeter-wave fading channel

그림 10은 BCH(255, 247, 1) 부호화 기법을 채용한 경우로 $K_r=10, U=10$ 인 경우 100[m]에서 데이터 서비스 기준 오류인 10^{-5} 을 만족하는 10^{-6} 을 만족한다.

3-2. 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.

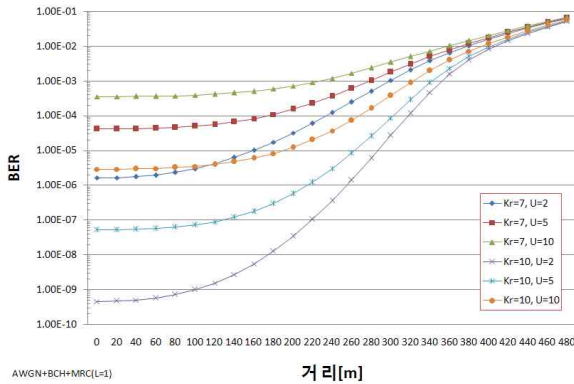


그림 11. 밀리미터파 무선 채널에서 다이버시티 수신 기법을 채용한 경우의 비트 오류 특성 (PN=255, U=2~10, Kr = 7:10, 가지수 = 1개)
Fig 11. Bit error rate characteristics using diversity in millimeter-wave wireless channel

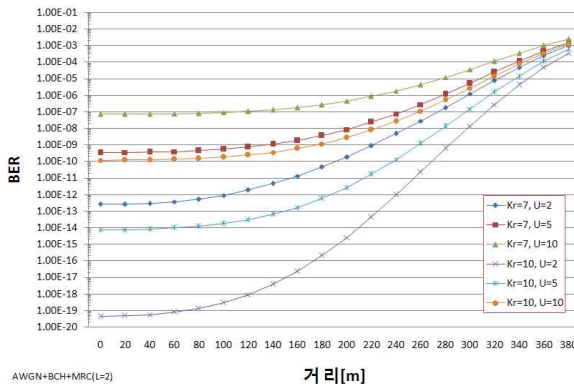


그림 12. 밀리미터파 페이딩 채널에서 다이버시티 기법에 의한 성능 향상 (PN=255, U=2~10, Kr = 7:10, 가지수 = 2개)
Fig 12. Performance improving by diversity in millimeter-wave fading channel

MRC 다이버시티는 다이버시티가지 입력의 위상을 모두 동상이 되도록 조정함과 더불어 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 것일수록 합성 SNR이 크게 기여하도록 합성하는 방식이다. 따라서 다이버시티 효과는 MRC가 가장 뛰어나다.

60GHz에서 산소 흡수 감쇠량은 15[dB/km], 강우량이 50[mm/h]일 경우에 강우 감쇠는 17[dB/km]일 때 거리와 간섭 수 그리고 페이딩 환경에 따른 비트 오류 특성을 나타낸 것이다.

그림 11은 BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 가지수 1인 수신 기법을 채용한 경우로 100[m]에서 $K_r=10, U=10$ 인 경우 10^{-5} 을 만족하는 10^{-6} 을 만족한다.

그림 12는 BCH부호화 기법과 가지수 2인 MRC 다이버시티 수신 기법을 동시에 채용한 비트 오류 특성을 나타낸 것이다. $K_r=10, U=10$ 일 경우 100[m]에서 10^{-9} 을 만족하는 10^{-10} 을 만족한다.

IV. 결 론

밀리미터파 대역은 광대역 전송이 가능할 뿐만 아니라 산소에 의한 전파의 흡수감쇠가 크기 때문에 위성간 통신, 군사용 응용분야, 차량 충돌 방지 시스템 및 상업용의 다양한 대용량 무선시스템 등에서 사용될 수 있다.

밀리미터파의 채널 모델은 다중경로 페이딩 채널이다. 즉, 주파수 선택적 페이딩 채널이다. 시변 다중경로 채널은 TDL로 모델링 된다. TDL 모델에서 각 탭은 신호의 채널 대역폭으로 주어지고, 각 탭 계수에 독립적인 레일리 페이딩이 부여된다. 각 탭 계수에 주어지는 독립적인 레일리 페이딩은 주파수 비선택적 페이딩이 된다. 이러한 주파수 비선택적 페이딩은 도플러 주파수와 레일리 페이딩을 함께 나타내는 Jakes 모델로 모델링 할 수 있다. 따라서 각 탭 계수에 주어지는 레일리 페이딩은 Jakes 모델에서 발생시킨 독립적인 페이딩으로 주어진다. 그리고 다중경로를 통해서 수신되는 신호는 지수 함수 형태의 전력 지연 프로파일을 가진다. 이러한 전력지연 프로파일은 채널의 RMS 지연확산과 최대 지연확산으로 결정된다. 60 GHz 대에서 RMS 지연확산은 실내 환경의 경우 13~100 ns로 관찰되었고, 실외 환경의 경우 150 ns 이상으로 알려져 있다. 이러한 다중경로 채널에서 여러 가지 변조방식에 대하여 BER 성능을 시뮬레이션 하였다. 그 결과 16 QAM 시스템과 같은 변조방식은 페이딩을 경감시킬 수 있는 기법(예를 들어, 다이버시티 기법, 등화기 등등)과 반드시 병행 사용해야 신뢰성 있는 통신이 가능할 것으로 사료되었다.

여러 응용 분야 중 차량 간 통신 시스템의 전파 전

과 특성에 대해 연구한다. 첫 번째로 이 논문은 차량의 트래픽(Vehicle Traffic)을 계산한 새로운 전파 모델을 제안한다. 다음으로, 차량 간 통신 시스템(IVC)의 고속 디지털 전송에 연구했다. 즉 이 논문은 차량 간 통신시스템의 최대 이용 가능한 비트율, 요구되어진 전송 전력, 비트 에러율을 분석한다. 그 결과 차량 트래픽, 안테나 사이즈가 전송 성능에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 밀리미터파 페이딩 채널에서 시스템의 오율 특성을 분석하고 부호화 기법과 다이버시티기법에 의해 시스템의 성능 분석 결과, 채널 부호화 기법을 채용하지 않은 경우에 10^{-3} 인데 비해 적용한 경우 10^{-5} 로 성능이 향상됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. Yoneyama, "Millimeter wave research activities in Japan," *IEEE Trans. MTT* Vol. 46, no. 6, pp.727-733, Jun. 1998.
- [2] P. Smulders, "Exploiting the 60 GHz band for local wireless multimedia access: Prospects and future directions," *IEEE Comm. Magazine*. pp.140-147, Jan. 2002.
- [3] H. H. Meinel, "Commercial applications of millimeter waves - history, present status and future trends". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, pp. 1639-1653, 1995.
- [4] R. Prasad, *Unversal Wireless Personal Communications*. Artech House, 1998.
- [5] W. Schafer, "Channel modelling of short-range radio links at 60 GHz for mobile inter vehicle communication," *IEEE Trans. Tech.* no. 1, pp. 314-319, May 1991.
- [6] B. S. Perlman, *Millimeter-Wave Technology, A Tutorial give at the FCC* Sept. 6, 1995.
- [7] J. L. Massey, "Shift-register synthesis and BCH decoding," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-15, pp. 127-127, Jan. 1969.
- [8] H. H Ma and M. A. Poole, "Error correcting code

against the worst-case partial band jammer," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, pp.124-133, Feb. 1984.

강 희 조 (姜熙照)



1994년 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 (공학박사)
1996년~1997년 일본 오사카대학교
공학부 통신공학과 객원교수
1990년~2003년 2월 동신대학교
전자정보통신공학부 교수
2003년~현재 : 목원대학교 컴퓨터

공학부 교수

2008년 7월~현재 목원대학교 방재정보통신RIC 센터장

2009년 1월~현재 한국항행학회 부회장

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 무선이동통신, 위성통신, 가시광통신, 방재정보통신, WBAN, 인지적무선통신, 기술정책 등

김 윤 호 (金允鎬)



2003년 - 현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수

2005-2006: University of Auckland, NZ, CITR Lab Research Fellow

2008-현재: ISO/TC223 Korea Delegate
IEEE, 대한전자공학회, 한국통신학회
정회원/ 한국디지털컨텐츠학회,
한국해양정보통신학회, 한국항행학

회 종신회원

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 사회안전 및 IT 정책, 방재정보통신 등.