

論文94-31A-4-2

실내 무선 채널에서 ARQ 기법을 채용하는 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율특성

(Error Rate Performance of DS-CDMA/DQPSK Signal in Indoor Radio Channel Adopting ARQ Scheme)

吳昌憲*, 高鳳震**, 趙成俊**

(Chang Heon Oh, Bong Jin Ko and Sung Joon Cho)

要約

가우스 잡음 (AWGN)과 다중접속 간섭 (MUI) 및 Rician 페이딩환경으로 모델링되는 실내 무선 채널에서 ARQ 기법을 채용할때의 DS-CDMA/DQPSK 신호의 비트 오율식을 유도하고 이를 직접파 대 반사파 전력비 (K_r), 사용자 수 (K), PN 코드 길이 (N), 패리티 비트수 (b), Forward 채널의 BER, 비트에너지 대 잡음전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0) 등을 함수로 하여 수치 계산하고 그 결과를 그래프로 나타내었다. 그 결과 $K_r=6$ 정도의 페이딩하에서는 DS-CDMA/DQPSK 시스템의 성능에 신뢰성이 없으므로 이를 개선시킬 수 있는 개선책이 요구된다. 하나의 개선책으로서 ARQ 기법을 채용하는 경우 시스템의 성능이 개선되는 정도는 사용한 선형 부호의 패리티 비트수가 많을수록 커지지만 반대로 시스템의 throughput 효율은 감소하므로 시스템의 신뢰성과 throughput 효율 사이의 trade-off 관계를 고려할 필요가 있다. 또한 극히 열악한 채널 환경에서는 ARQ 기법을 채용하는 것보다 Hybrid ARQ 기법을 사용하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 ARQ 기법은 실시간처리 (real time processing)를 필요로 하지 않는 고신뢰도의 무선 데이터 통신 시스템에 적용이 가능하리라고 판단된다.

Abstract

The error rate equation of DS-CDMA/DQPSK signal adopting ARQ scheme has been derived in indoor radio channel which is characterized by AWGN, multi-user interference (MUI) and Rician fading. Using the derived equation the error performance has been evaluated and shown in figures as a function of direct to diffuse signal power ratio (K_r), the number of active users (K), PN code sequence length (N), the number of parity bit of linear code (b), forward channel BER, and E_b/N_0 . From the results it is known that in severe fading environments ($K_r=6$) the performance of DS-CDMA/DQPSK system is not reliable so it is needed to adopt techniques for improvement. When an ARQ scheme is adopted, as a method for improving error performance, the performance improves compared with that of non-ARQ scheme and the degree of improvement is proportional to the number of parity bits of linear code. As increasing the number of parity bits, system performance is improved but system throughput efficiency is decreased. Therefore, trade-off between the system reliability and the system throughput efficiency must be considered. In severe fading channel Hybrid ARQ scheme is more effective than ARQ scheme. As a result, ARQ scheme is appropriate for the high-reliability data communication systems over the radio channel in which the real time processing is not required.

* 正會員, 三星電子(株) 通信開發室
(Communication Systems R&D Center,
Samsung Electronics Co., Ltd.)

** 正會員, 仁荷工業專門大學 通信科
(Dept. of Communication, Inha Technical

Junior College)

*** 正會員, 韓國航空大學校 航空通信情報工學科
(Dept. of Telecom. & Inform. Eng.,

Hankuk Aviation Univ.)

接受日字: 1993年 8月 5日

I. 서론

최근들어 사회생활이 복잡해지고, 고도화됨에 따라 병원, 공장, 공항, 사무실, 백화점 등의 실내에서 다수의 이용자들에게 고품질의 다양한 무선 통신 서비스(무선 LAN, 무선 PABX)를 제공할 수 있는 실내 무선 통신시스템(indoor radio communication systems)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[1], [2]}

현재 차세대 무선 LAN방식으로 가장 폭 넓게 연구, 개발되고 있는 방식은 SS(Spread Spectrum: 대역확산)방식을 이용하는 SS LAN이다.^[3] SS는 원래 의도적 전파 방해(jamming)에 강하고 비화가 가능하여 과거에 군사용으로 사용되었으나 최근에는 무선 LAN, PCN, 디지털 셀룰러 시스템과 같은 새로운 분야에 이의 장점을 효율적으로 활용할 수 있는 "reoptimized"에 대한 연구가 활발하다.^{[4], [5]}

실내 무선 통신 시스템에서 중요한 문제는 다수의 사용자들에게 음성 및 고속의 데이터를 신뢰성있게 전달하는 것이다. 음성 통신의 경우는 인간 언어의 용장성으로 인해 낮은 오율에서도 신뢰성있는 통신이 가능하지만 데이터 통신의 경우는 다르다. 데이터는 무선 채널상에서 발생하는 열화 요인들에 보다 민감하게 영향을 받기 때문에 "voice-oriented" 무선 채널상에 음성 전송시와 같은 신뢰성으로 데이터를 전송하기 위해서는 부가적인 에러 제어기법이 요구된다. 통상 셀룰러 전화기의 경우 16Kbps 데이터 전송시 비트 오율이 1×10^{-2} 정도이지만, 대부분의 데이터 통신은 1×10^{-5} 이하의 비트 오율을 요구한다. 따라서 별도의 에러 제어기법 없이는 신뢰성 있는 통신을 기대할 수 없다.^{[6]~[8]}

실내 무선 채널은 경로 손실이 클 뿐만 아니라 심각한 다중경로 페이딩이 존재하므로 시스템 구성이 어렵다. 실제 910 [MHz], 1.75 [GHz] 대를 이용하여 빌딩내 무선채널의 다중경로 전파를 측정한 데이터^{[9], [10]}에 의하면 실내 무선 채널은 Rician 페이딩으로 모델링되는데, 도심 이동체 무선 채널과는 달리 심각한(deep) 페이딩이 수 초 혹은 수 분간 지속되기도 한다. 따라서 실내 무선 채널에서는 선행신호 위상을 기준신호 위상으로 사용하는 DPSK(Differential PSK) 변조방식이 유리하다.^{[11]~[12]}

실내 무선 채널상에서 DS-CDMA/DPSK 신호의 오율특성에 관한 기존의 연구로서는 Geraniotis가 문헌 [13]에서 가우스 잡음하의 DS-SSMA/DPSK 신호의 오율특성을 해석하였으며, Kavehrad는 문헌 [12], [14]에서 가우스 잡음과 레일리 페이딩하의 DS-SSMA/DPSK 신호의 오율특성과 성능 개선

기법으로서 다이버시티 기법과 부호화 기법을 채용했을 경우의 성능개선 정도를 해석하였다. 또한 Wang은 문헌 [15]에서 Rician 실내 무선 채널하의 Hybrid DS/SFH-SSMA/DPSK 신호의 오율특성과, 성능 개선 기법으로서 다이버시티 기법과 부호화 기법을 채용했을 경우의 성능개선 정도를 해석한 바 있다.

이동 무선 채널에서 성능개선 기법으로서 지금까지 주로 연구되어온 기법은 다이버시티 기법이나 채널 부호화 기법이 대부분이며, ARQ(Automatic Retransmission reQuest) 기법을 채용한 연구는 최근들어 시작되고 있다. ARQ 기법을 채용한 기존의 연구로서는 Chuang^[15]과 Comroe^[16]가 여러가지 ARQ 기법의 성능을 throughput면에서 비교 분석하였으며, Siew^[8]는 레일리 페이딩하에서 최적의 데이터 패킷 길이를 throughput면에서 계산하였다. 또한 Wicker^[6], Comroe^[16]와 Le-Ngoc^[17]는 ARQ 기법을 채용했을 경우의 성능개선 정도와 throughput을 해석하였으며, 구체적인 이동 무선 시스템의 오율 특성에 대해 성능 개선 정도를 해석한 것이 아니라 단순히 비트 전송시를 고려하여 시뮬레이션 기법에 의한 해석이었다. 따라서 본 논문에서는 Comroe와 Le-Ngoc의 연구를 보다 구체화하여 실제 이동 무선 시스템의 성능개선 기법으로서 ARQ 기법을 채용했을 경우의 성능개선 정도를 알아보기 위해 가우스 잡음(AWGN)과 다중접속 간섭(MUI: Multi-User Interference) 및 Rician 페이딩 환경으로 모델링되는 실내 무선 채널에서 ARQ 기법에 의한 DS-CDMA/DQPSK 신호의 성능의 개선 정도와 이때의 throughput을 이론적으로 해석하고 이를 수치 계산하고자 한다.

II. 해석모델

본 논문에서 다루고자 하는 실내 무선 시스템은 그림 1과 같으며^[14] ARQ 기법을 채용하기 위해 송, 수신기(TX, RX)단에 그림 2와 같은 ARQ 기법^[17]이 부가된다. 송신 유닛은 제어 가능한 정보원(controllable source)으로부터의 정보 비트를 패킷 형태로 구성하여 저장하며, 제어 및 동기 비트를 부가하여 에러검출 부호기(error detect encoder)에 전달한다. 에러검출 부호기는 에러검출을 위해 데이터 패킷에 패리티 비트를 부가하며, 부호화된 데이터 패킷은 다시 i) ARQ 기법 채용시, ii) Hybrid ARQ 기법 채용시 각각 다음과 같은 과정을 거쳐 AWGN과 다중접속 간섭(MUI) 및 Rician 페이딩 환경으로 모델링되는 순방향 채널

(forward channel)상으로 전송된다.

- i) 대역확산 및 DPSK 변조과정을 거침.
- ii) 에러 정정을 위해 FEC 코드로 부호화된 후 대역확산 및 DPSK 변조과정을 거침.

수신단에서 수신 패킷은 역확산 및 DPSK 복조된 후 i)의 경우 에러검출 복호기로, ii)의 경우 FEC 복호를 거친후 에러검출 복호기로 전달되어 에러검출이 행해진다. 이때 수신 패킷에서 에러가 검출되지 않는다면 패킷은 수신 유니트로 전달되어 패킷번호 확인 후 출력되며, 동시에 반복제어기에 ACK (Acknowledgement +)가 전달된다. 만약 수신 패킷에서 에러가 검출되면 현재의 패킷은 버려지고 패킷 재 전송을 요구하는 NAK (-)가 반복제어기에 전달된다. 수신단 반복제어기는 ACK 또는 NAK에 동기 비트를 부가하여 귀환채널 (return channel)을 통해 송신단의 반복제어기에 이 정보를 전송한다. 송신단의 반복제어기는 수신된 정보가 ACK인 경우 새로운 패킷 전송을 결정하며, NAK인 경우는 현재의 패킷 재 전송을 결정한다. 이와같은 과정은 ACK가 수신될 때까지 계속된다. 본 논문에서는 해석의 편의상 귀환채널은 이상적 (error free)이라고 가정한다.

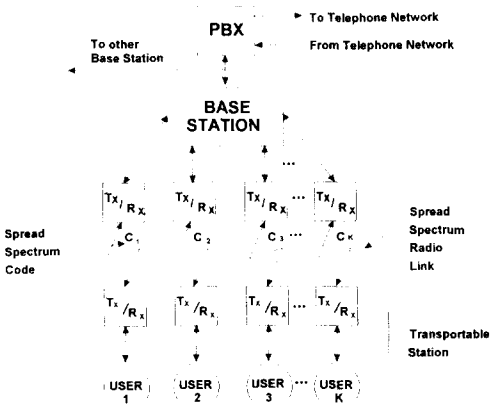


그림 1. 실내 무선 통신시스템
Fig. 1. Indoor radio communication systems.

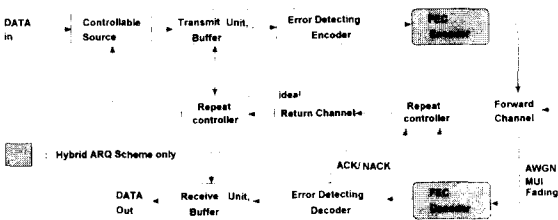


그림 2. Hybrid ARQ 기법의 계통도
Fig. 2. Block diagram of Hybrid ARQ scheme.

1. 채널 모델

본 논문에서는 AWGN과 다중접속 간섭 (MUI) 및 Rician 페이딩 환경으로 모델링되는 실내 무선 채널을 고려한다. 그림1에 표시한 것과 같이 채널상에는 K명의 사용자가 동시에 존재하며, 각 사용자는 사용자 고유의 PN 코드 C_k 를 사용하여 기지국(base station)과 통신을 한다. 특정 사용자 k에 대한 신호 복조시 나머지 사용자 신호는 단지 다중접속 간섭으로 작용하게 된다. PN 코드 길이 N이 클 경우 이 다중접속 간섭은 가우시안 랜덤변수로 근사화되며^[11], 따라서 가우스 잡음과 합하여 하나의 가우시안 랜덤 변수로 처리할 수 있다. 실내 무선 채널의 페이딩율은 데이터율에 비해 느리기 때문에 채널의 특성 파라메타는 연속적인 2비트 간격에서는 크게 변동하지 않는다. k번째 송수신기 사이의 채널을 Rician 페이딩 채널로 가정할때 채널의 복소 저역등가 임펄스 응답 $h(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.^[1]

$$h(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \alpha_l \exp(-j\theta_l) \delta(t - \tau_l), \quad (1)$$

단, α_l : 경로 이득, θ_l : 경로 위상, τ_l : 경로 지연.

식 (1)에서 α_l 은 Rician 랜덤변수이며 θ_l 은 $[0, 2\pi)$ 에서, τ_l 은 $[0, T)$ 에서 각각 일양분포한다고 가정한다. 정규화된 신호진폭 ρ 에 대한 Rician p.d.f $p_{\alpha_l}(\rho)$ 는 다음과 같다.^[18]

$$p_{\alpha_l}(\rho) = 2\rho(K_r + 1) \exp[-K_r - \rho^2(K_r + 1)] I_0[2\rho\sqrt{K_r(K_r + 1)}], \rho \geq 0, \quad (2)$$

- 단, $I_0(\cdot)$: 0 차 변형베셀함수.
- K_r : 직접파 대 반사파 전력비.
- $\rho = \sqrt{\gamma/\gamma_0}$.
- γ : 비트당순시 CNR.
- γ_0 : 비트당평균 CNR.

$\rho = \sqrt{\gamma/\gamma_0}$, 인 관계를 이용하여 식 (2)를 γ 에 대해 풀어쓰면 다음과 같다.

$$p_{\alpha_l} = \frac{(K_r + 1)}{\gamma_0} \exp\left[-K_r - \frac{\gamma(K_r + 1)}{\gamma_0}\right] I_0\left[2\sqrt{\frac{\gamma(K_r^2 + K_r)}{\gamma_0}}\right] \quad (3)$$

식 (3)에서 K_r 은 직접파 대 반사파 전력비로서 $K_r=0$ 인 경우가 직접파가 존재하지 않는 레일리 (Rayleigh) 분포에 해당한다. 문헌 [9]의 실제 전파측정 데이터에 의하면 일반적인 사무실내 무선채널의 다중경로 특성은 사용자가 고정인 경우 $K_r=6 \sim 12$, 사용자가 이동하는 경우 $K_r=2$ 정도의 값으로 모

256Kbps 전송시에 48 Bytes인 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 패킷 길이가 17 Bytes인 경우를 고려하며 이에따라 한 패킷의 블럭수를 6, 각 블럭의 비트수를 15로 가정하여 SR-ARQ인 경우 선형코드로서 BCH(15, v) (단, v = 11, 7, 5)를, Hybrid SR-ARQ인 경우 FEC 코드로서 RS (7, 3) 코드를 사용하여 해석한다.

III. 오울특성

1. Rician 페이딩하에서의 오울 특성

가우스 잡음하에서의 DS-CDMA/MDPSK 신호의 오울식 $P(e|\alpha^2)$ 는 문헌 [20] 에 의하면 다음과 같다.

$$P(e|\alpha^2) = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma} \sin \frac{\pi}{2M}\right), \quad ; M - \text{ary}(M \geq 4) \quad (4)$$

$$\text{단, } \gamma = \left[\left(\alpha^2 \frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(K-1)}{3N} \right]^{-1}$$

K : 사용자 수, N : PN 코드 길이,
 E_b / N_0 : 비트에너지 대 잡음전력 스펙트럼 밀도비.

식 (4)는 랜덤변수 α^2 이 일정할때 즉, 변동이 없을 경우의 조건부 오울식이며, α^2 이 페이딩에 의해 변동할때의 오울식은 식 (4)의 $P(e|\alpha^2)$ 를 γ 의 p.d.f.에 의해 평균을 취해야 구해진다. [21] 즉,

$$P_b = \int_0^\infty P(e|\alpha^2) \cdot p_{\alpha^2}(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

단, $p_{\alpha^2}(\gamma)$: Rician 페이딩에서의 γ 의 p.d.f.

윗식 (5)를 풀면 다음과 같다.

$$P_b = 1 - \frac{(K_r + 1)}{\gamma_0} \exp(-K_r) \frac{2 \sin \frac{\pi}{2M}}{\sqrt{\pi}} \sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{K_r^2 + K_r}{\gamma_0} \right)^m \frac{\Gamma\left(m + \frac{3}{2}\right)}{\Gamma(m+1)} \left[\sin^2 \frac{\pi}{2M} + \frac{K_r + 1}{\gamma_0} \right]^{-\left(m + \frac{3}{2}\right)} \cdot {}_2F_1 \left(1, m + \frac{3}{2}; \frac{3}{2}; \frac{\sin^2 \frac{\pi}{2M}}{\sin^2 \frac{\pi}{2M} + \frac{K_r + 1}{\gamma_0}} \right)$$

단, $\Gamma(\cdot)$: Gamma 함수,
 ${}_2F_1(\cdot, \cdot; \cdot, \cdot)$: Hypergeometric 함수. (6)

2. SR-ARQ 기법을 채용하는 경우의 오울 특성

ARQ 시스템에서 수신기는 검출 불가능한 (undetactable) 에러 벡터가 수신되었을 경우에만 복호 에러가 발생된다. (n, ν) 를 ARQ 시스템의 에러 검출을 위한 선형부호라고 정의할때, 다음과 같은 확률식을 정의할 수 있다. [19]

$$P_c + P_e + P_d = 1, \quad (7)$$

단, P_c : 수신벡터에 에러가 없을 확률,
 P_e : 수신벡터가 검출 불가능한 에러 패턴을 가질 확률,
 P_d : 수신벡터가 검출 가능한 에러 패턴을 가질 확률.

따라서 수신기의 에러발생 확률 $P(E)$ 는 다음식으로 정의된다.

$$P(E) = \frac{P_e}{P_c + P_e} \quad (8)$$

SR-ARQ 기법을 채용하는 경우의 패킷 오울식 $P_{BN}(E)$ 는 다음과 같다. [16]

$$P_{BN}(E) = 1 - \left[1 - \frac{P_b}{P_b(1-2^b) + 2^b} \right]^{BN} \quad (9)$$

단, b : 블럭당 패리티 비트수,
 P_b : 순방향 채널의 비트 오울,
 BN : 한 패킷당 블럭수.

이때의 SR-ARQ의 throughput 효율 η 는 다음과 같이 주어진다. [19]

$$\eta = \left(\frac{\nu}{n} \right) (1 - P_b) \quad (10)$$

단, (n, ν) : 에러 검출을 위한 선형코드.

3. Hybrid SR-ARQ 기법을 채용한 경우

SR-ARQ 기법에 에러 정정을 위해 FEC 기법을 채용하는 Hybrid SR-ARQ 기법의 패킷 오울식 $P_{BN}(E)_H$ 및 이때의 throughput 효율 η_H 는 다음과 같다. [17]

$$P_{BN}(E)_H = 1 - \left[1 - \frac{P_e}{P_e(1-2^b) + 2^b} \right]^{BN} \quad (11)$$

$$\eta_H = \left(\frac{\nu}{n} \right) (1 - P_e) \quad (12)$$

여기서 P_e 는 FEC 기법을 채용할때의 순방향 채널

의 오율식으로서, FEC 코드의 에러 정정능력에 의존한다. FEC 코드로서 RS (n, w) 코드를 사용하는 경우의 P_i 는 ^[21]

$$P_i = \frac{1}{n} \sum_{r=C+1}^n \binom{n}{i} P_{fs}^i (1 - P_{fs})^{n-i} \quad (13)$$

단, P_{fs} : 순방향 채널의 심볼 오율,
 $C (= \frac{n-w}{2})$: 에러 정정이 가능한 심볼수,
 n : 전체 심볼수.

IV. 수치 계산 결과 및 검토

앞에서 구한 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율식을 비트에너지 대 잡음전력 스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0), 직접파 대 반사파 전력비 (K_r), 사용자 수 (K), PN 코드 길이 (N), 패리티 비트수 (b), 순방향 채널의 BER 등을 함수로 하여 수치 계산한 결과를 그림 5 - 그림 10에 나타내었다.

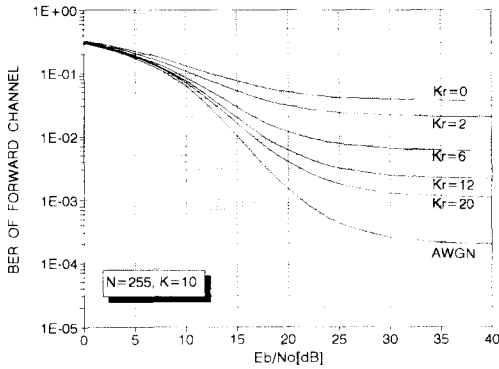


그림 5. 가우스 잡음과 Rician 페이딩하에서 K_r 의 변화에 따른 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율특성 ($N=255, K=10$)

Fig. 5. The error rate performance of DS-CDMA/DQPSK signal in AWGN and Rician fading with the variation of K_r ($N=255, K=10$).

그림 5는 가우스 잡음과 Rician 페이딩하에서 DS-CDMA/DQPSK 신호의 직접파 대 반사파 전력비 (K_r) 변화에 따른 영향을 나타낸 것으로서 $K_r=0$ 인 경우가 직접파가 존재하지 않는 레일리 페이딩 환경에 해당하며, K_r 이 커질수록 반사파 전력에 비해 직접파 전력이 우세해지므로 신호의 성능은 개선된다. K_r 이 매우 커지게 되면 페이딩이 존재하지 않는

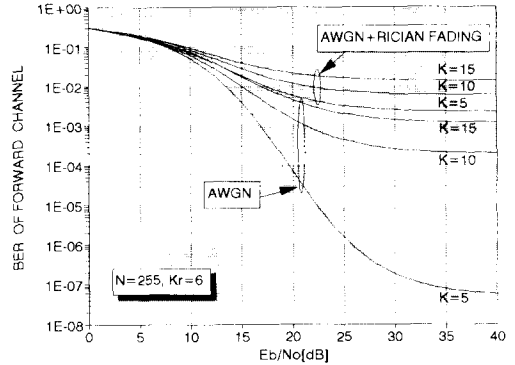


그림 6. 가우스 잡음과 Rician 페이딩하에서 사용자 수(K)의 변화에 따른 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율특성 ($N=255, K_r=6$)

Fig. 6. The error rate performance of DS-CDMA/DQPSK signal in AWGN and Rician fading with the variation of K ($N=255, K_r=6$).

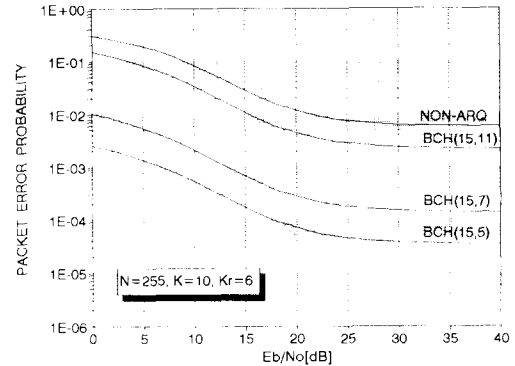


그림 7. SR-ARQ 기법을 채용할 경우의 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오율특성 ($N=255, K=10, K_r=6$)

Fig. 7. The error rate performance of DS-CDMA/DQPSK signal adopting SR-ARQ scheme ($N=255, K=10, K_r=6$).

가우스 잡음환경에서의 성능과 같아진다. 그림 6은 가우스 잡음과 Rician ($K_r=6$) 페이딩하에서 DS-CDMA/DQPSK 신호의 사용자 수 (K)의 변화에 따른 영향을 나타낸 것으로서 가우스 잡음하에서는 E_b/N_0 를 증가시키거나 시스템에 접속되는 사용자 수 (K)가 적어짐에 따라 시스템의 오율특성은 지수함수적으로 좋아지지만 Rician ($K_r=6$) 페이딩하에서는

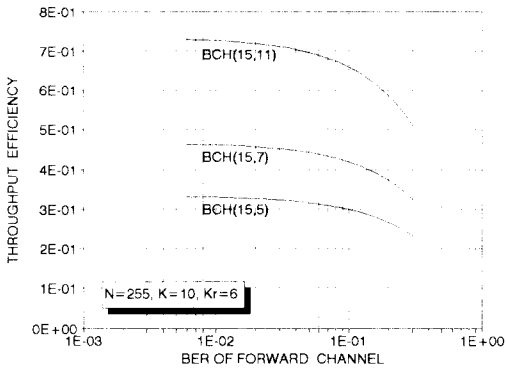


그림 8. SR-ARQ 기법을 채용할 경우의 DS-CDMA/DQPSK 시스템의 throughput 효율 ($N=255, K=10, K_r=6$)

Fig. 8. Throughput efficiency of DS-CDMA/DQPSK system adopting SR-ARQ scheme ($N=255, K=10, K_r=6$).

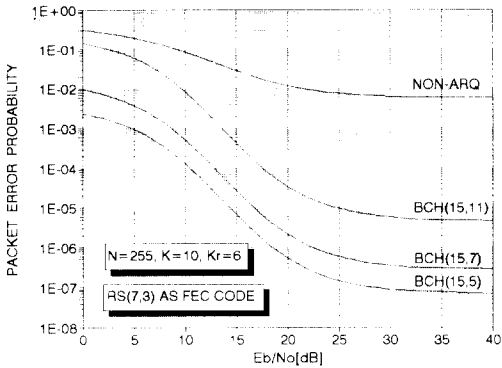


그림 9. Hybrid SR-ARQ 기법을 채용할 경우의 DS-CDMA/DQPSK 신호의 오류특성 ($N=255, K=10, K_r=6$)

Fig. 9. The error rate performance of DS-CDMA/DQPSK signal adopting Hybrid SR-ARQ scheme ($N=255, K=10, K_r=6$).

E_b/N_0 가 40 [dB] 이상되고 시스템에 접속되는 사용자 수 (K)가 적어지더라도 1×10^{-3} 이하의 오류율 결코 얻을 수 없기 때문에 시스템을 정상적으로 사용할 수 없다. 또한 가우스 잡음만의 환경하에서도 시스템에 접속되는 사용자가 증가함에 따라 시스템의 성능이 크게 열화됨을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8은 가우스 잡음과 Rician ($K_r=6$) 페이딩하에서

DS-CDMA/DQPSK 신호의 성능 개선책으로 SR-ARQ 기법을 채용하여 수신한 경우의 오류특성 및 이때의 시스템 throughput 효율을 나타낸 것인데 선형 부호로서 BCH(15,11), BCH(15,7), BCH(15,5)를 사용한 경우를 비교하여 나타내었다. 그림 7로부터 Non-ARQ 시스템에 비해 SR-ARQ 기법을 채용하므로써 시스템의 오류성능이 좋아짐을 알 수 있으며, 그 개선정도는 사용한 BCH 부호의 패리티 비트수가 많을수록 즉, 에러검출 능력이 우수할수록 더 커짐을 알 수 있다. 예를들어, E_b/N_0 가 30 [dB] 일때 Non-ARQ 시스템의 오류율이 약 6×10^{-3} 인데 비해 SR-ARQ 기법을 채용하면 BCH(15,7), BCH(15,5)를 사용한 경우 각각 약 1.5×10^{-4} , 3.7×10^{-5} 으로 오류율이 개선된다. 이것은 ARQ 시스템의 성능은 사용한 선형 부호의 에러 검출 능력에 의존하기 때문이다. 이와같은 ARQ 기법에 의한 성능개선 효과는 시스템의 throughput 효율과 밀접한 관계가 있으며, 이를 그림 8에 나타내었다. 그림 8은 Non-ARQ 시스템의 throughput 효율을 1이라고 할때 SR-ARQ 기법을 채용한 경우의 throughput 효율을 나타낸 것으로서, 사용한 BCH 부호의 패리티 비트수 및 순방향 채널의 BER에 따라 변한다. BCH 부호의 패리티 비트수가 증가할수록, 순방향 채널의 BER이 나빠질수록 SR-ARQ 시스템의 throughput 효율은 급격히 감소함을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8로부터 SR-ARQ 기법을 채용하므로써 시스템의 성능이 개선되며, 그 정도는 사용한 선형부호의 패리티 비트수가 많을수록 커지지만 이에따라 시스템의 throughput 효율이 감소함을 알 수 있다. 따라서 시스템의 신뢰성과 throughput 효율을 고려하여 선형부호를 선택해야 한다. 그림 9는 가우스 잡음과 Rician ($K_r=6$) 페이딩하에서 DS-CDMA/DQPSK 신호를 Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하여 수신한 경우의 오류 특성으로서 에러정정을 위해 FEC 부호로서 RS(7,3) 부호를 사용한 경우이다. Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하므로써 Non-ARQ 시스템에 비해 시스템의 오류성능이 개선됨을 알 수 있으며, 그 개선정도는 SR-ARQ 기법을 채용한 경우에 비해 크다. 예를들어, E_b/N_0 가 30 [dB] 일때 Non-ARQ 시스템의 오류율이 약 6×10^{-3} 인데 비해 Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하면 BCH(15,7), BCH(15,5)를 사용한 경우 각각 약 3.6×10^{-7} , 9×10^{-8} 으로 오류율이 개선됨을 알 수 있으며, 이 개선치는 그림 7의 SR-ARQ 시스템의 경우 보다 큰 값으로 이는 에러정정을 위해 RS(7,3)부호를 사용했기 때문이다. 따라서 $K_r=6$ 정도의 페이딩하에서도 Hybrid SR-

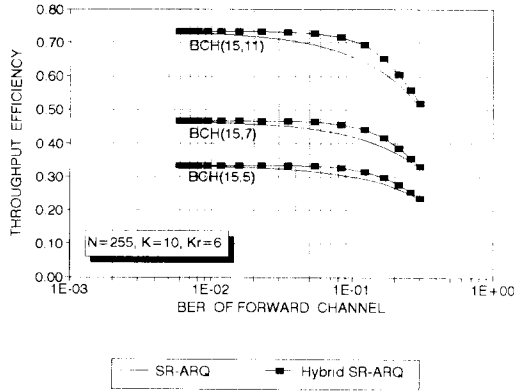


그림 10. ARQ 기법을 채용할 경우의 DS-CDMA/DQPSK 시스템의 throughput 효율 비교 ($N=255$, $K=10$, $K_r=6$)

Fig. 10. Comparison of throughput efficiency of DS-CDMA/DQPSK system adopting ARQ scheme ($N=255$, $K=10$, $K_r=6$).

ARQ 기법을 채용하는 경우 E_b/N_0 30 [dB] 이상에서 BCH (15, 11) 부호를 사용하면 시스템의 throughput 효율 약 73% 정도에서 1×10^{-5} 이하의 오율을 얻을 수 있어 신뢰성있는 시스템 사용이 가능하다. 또한 Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하므로써 SR-ARQ 기법을 채용한 경우에 비해 우수한 throughput 효율을 얻을 수 있음을 그림 10에 나타내었다. Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하므로써 SR-ARQ 기법을 채용하는 경우에 비해 양호한 throughput 효율을 얻을 수 있지만 그 차이는 작다. 이것은 시스템의 throughput 효율이 순방향 채널의 BER 특성보다 사용한 선형부호의 패리티 비트수에 더 큰 영향을 받기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 가우스 잡음과 다중접속 간섭(MUI) 및 Rician 페이딩환경으로 모델링되는 실내 무선 채널에서 DS-CDMA/DQPSK 시스템에 대한 성능의 개선책으로 ARQ 기법을 채용할때의 비트 오율식을 유도하고 이를 이용하여 수치 계산한 결과를 그래프로 나타내고 이에 대해 검토하였다.

가우스잡음과 $K_r=6$ 정도의 페이딩하에서 DS-CDMA/DQPSK 시스템은 신뢰성있는 성능을 얻을 수 없으며, 따라서 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 개선책이 요구된다. 하나의 개선책으로서 ARQ 기법을 채용하는 경우 시스템의 성능이 개선되는 정

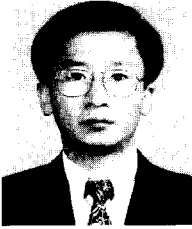
도는 사용하는 선형 부호의 패리티 비트수가 많을수록 커지지만 반대로 시스템의 throughput 효율은 감소하므로 시스템의 신뢰성과 throughput 효율 사이의 trade-off 관계를 고려하여 선형부호를 선택해야 한다. 또한 극히 열악한 채널 환경에서는 ARQ 기법을 채용하는 것보다 Hybrid ARQ 기법을 사용하는 것이 바람직하며, Hybrid SR-ARQ 기법을 채용하는 경우 E_b/N_0 가 30 [dB], 시스템의 throughput 효율이 약 73%라면 $K_r=6$ 정도의 페이딩일지라도 1×10^{-5} 이하의 오율을 얻을 수 있어 신뢰성있는 통신이 가능하다. 따라서 실시간 처리 (real time processing)를 필요로 하지 않는 고신뢰도 (high-reliability)의 무선 데이터 통신시스템에 ARQ 기법을 적용할 수 있겠다.

參考文獻

- [1] A. A. M. Saleh and R. A. Valenzuela, "A statistical model for indoor multipath propagation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, pp. 128-137, Feb. 1987.
- [2] A. S. Acampora and J. H. Winters, "A wireless network for wideband indoor communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, pp. 796-805, June 1987.
- [3] 주간기술동향, "무선 LAN의 최근동향 및 향후 전망," 한국전자통신연구소, pp 2-19, 1993, 4.
- [4] R. L. Pickholtz, L. B. Milstein, and D. L. Schilling, "Spread spectrum for mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-40, pp. 313-322, May 1991.
- [5] D. L. Schilling, L. B. Milstein, R. L. Pickholtz, M. Kullback, and F. Miller, "Spread spectrum for commercial communications," *IEEE Commun. Mag.*, pp 66-79, April 1991.
- [6] S. B. Wicker, "High-reliability data transfer over the land mobile radio using interleaved Hybrid-ARQ error control," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT 39, pp. 18-55, Feb. 1990.
- [7] J. C. I. Chuang, "Comparision of two

- ARQ protocols in a Rayleigh fading channel." *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-39, pp. 367-373, Nov. 1990.
- [8] C. K. Siew and D. J. Goodman, "Packet data transmission over mobile radio channels." *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-38, pp. 95-101, May 1989.
- [9] R. J. C. Bultitude, "Measurement, characterization and modeling of indoor 800/ 900 MHz radio channels for digital communications." *IEEE Commun. Mag.*, pp. 5-12, June 1987.
- [10] R. J. C. Bultitude, S. A. Mahmoud, and W. A. Sullivan, "A comparison of indoor radio propagation characteristics at 910 MHz and 1.75 GHz." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-7, pp. 20-30, Jan. 1989.
- [11] J. Wang and M. Moeneclaey, "Hybrid DS/SFH spread-spectrum multiple access with predetection diversity and coding for indoor radio." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-10, pp. 705-713, May 1992.
- [12] M. Kavehrad and B. Ramamurthi, "Direct-sequence spread spectrum with DPSK modulation and diversity for indoor wireless communications." *IEEE Trans Commun.*, vol. COM-35, pp. 224-236, Feb. 1987.
- [13] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC 3, pp. 687-694, Sept. 1985.
- [14] M. Kavehrad and P. J. Mclane, "Performance of low-complexity channel coding and diversity for spread spectrum in indoor wireless communications." *AT&T Tech. J.*, vol. 64, pp. 1927-1965, Oct. 1985.
- [15] J. Wang and M. Moeneclaey, "Hybrid DS/SFH-SSMA with predetection diversity and coding for indoor radio multipath Rician-fading channels." *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-40, pp. 1654-1662, Oct. 1992.
- [16] R. A. Comroe and D. J. Costello, "ARQ schemes for data transmission in mobile radio systems." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-2, pp. 472 - 481, July 1984.
- [17] S. Le-Ngoc, "Design of an adaptive coding and retransmission strategy for a multipath fading channel." in Proc. 40th IEEE Veh. Technol., Con., pp. 449-454, May 6-9, 1990.
- [18] L. J. Mason, "Error probability evaluation for systems employing differential detection in a Rician fast fading environment and Gaussian noise." *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp. 39-47, Jan. 1987.
- [19] S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding : Fundamentals and Applications*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1983.
- [20] 오 창현, 조 성준, "실내 무선 채널상에서의 DS-SSMA/DPSK 신호의 오율특성." 대한전자공학회 추계학술 발표회 논문집, pp. 59-63, 1992년 11월.
- [21] J. G. Proakis, *Digital Communications*. New York: McGraw-Hill, 1983.

著者紹介



吳昌憲(正會員)

1965年 2月 10日生. 1988年 2月 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사). 1990年 2月 한국항공대학교 대학원 항공통신공학과 졸업(공학석사). 1991年 2月 ~ 현재 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정 재학중. 1990年 2月 ~ 1993年 9月 한진전자(주) 기술연구소 근무(연구원). 1993年 10月 ~ 현재 삼성전자(주) 통신개발실 근무(연구원).
주관심 분야는 디지털 무선통신, 이동통신 등임.



高鳳麗(正會員)

1963年 11月 6日生. 1986年 2月 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사). 1988年 2月 한국항공대학교 대학원 졸업(공학석사). 1993年 2月 한국항공 대학교 대학원(박사과정 수료). 1994年 3月 ~ 현재 인하공업전문대학 통신과 전임강사로 재직중. 주관심 분야는 디지털 무선통신, 이동통신, 정보이론, 환경 전자공학(EMC) 등임.



趙成俊(正會員)

1946年 1月 9日生. 1969年 2月 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사). 1975年 2月 한양대학교 대학원 졸업(공학석사). 1981年 3月 오사카대학 대학원 통신공학과 졸업(공학박사). 1969年 4月 ~ 1972年 7月 해군기술장교(중위)로 복무. 1972年 8月 ~ 현재 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수로 재직중. 주관심 분야는 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학(EMC) 등임.