

# 나카가미 페이딩 채널에서 패킷결합기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 전송율 분석

황재문\* · 박진수\*\*

Throughput Analysis of DS/CDMA System Applying Packet Combining Scheme over Nakagami Fading Channel

Zai-Moon Hwang\* · Jin-Soo Park\*\*

## 요 약

본 논문에서는 나카가미 페이딩 채널에서 Type-1 Hybrid ARQ 기법과 결합될 수 있는 패킷결합 기법을 DS/CDMA 시스템에 적용하여 AWGN 채널과 레이크 수신기를 사용한 나카가미 페이딩 채널하에서 시스템의 전송율을 분석하였다. 분석을 위한 파라미터로서 패킷결합수( $L$ ), 다이버시티 브랜치수( $L_c$ ), 페이딩 지수  $m$ , 사용자수( $K$ ) 및 패킷의 길이( $N$ )를 사용하였으며, 에러검출을 위해 CRC-12 부호와 에러정정을 위해 (2,1,3) 길쌈부호를 사용하였다.

분석결과 AWGN 채널에서 보다 나카가미 페이딩 채널하에서 레이크 수신기를 사용하였을 때 시스템의 전송율이 우수함을 확인하였고, 패킷결합수( $L$ )가 증가할 때 채널의 상태가 저하됨에 따라 시스템의 전송율은 급격히 감소하지만 결합기법을 통해 낮은  $E_b/N_0$ 에서도 시스템의 전송율은 일정하게 유지됨을 확인하였다. 또한 페이딩 지수( $m$ )와 다이버시티 브랜치수( $L_c$ )가 증가하면 시스템의 전송율은 증가하지만, 사용자수( $K$ )와 패킷의 길이( $N$ )가 증가하면 시스템의 전송율은 감소함을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we analyzed the throughput of DS/CDMA system applying packet combining scheme combined with Type-1 Hybrid ARQ scheme over AWGN channel and Nakagami fading channel with RAKE receiver. As the parameter for analysis, we used number of combined packet( $L$ ), number of diversity branch( $L_c$ ), fading index( $m$ ), and length of packet( $N$ ), and used CRC-12 error detection code and (2,1,3) convolutional code.

As a results, we found that throughput of system over Nakagami fading channel with RAKE receiver was superior to throughput over AWGN channel, and throughput of system decreases rapidly as channel degrades when number of combined packet( $L$ ) was increased. However throughput of system with the combining scheme was achieved even at low  $E_b/N_0$ . Also, we found that throughput of system was increased when fading index( $m$ ) and number of diversity branch( $L_c$ ) were increased, but it was decreased when number of user( $K$ ) and length of packet( $N$ ) were increased.

## 키워드

DS/CDMA, Type-1 Hybrid ARQ, Packet Combining, Throughput, Nakagami Fading

## 1. 서 론

오늘날 무선통신 서비스 시장이 다양화되면서 용

량의 증가와 유연성 있는 채널의 할당은 물론 음성, 데이터 및 동영상과 같은 멀티미디어 서비스를 받을

\*극동정보대학 컴퓨터게임과

\*\*청주대학교 전자공학과

수 있는 고속 데이터 전송을 요구하고 있다. 이에 대한 요구를 충족할 수 있는 기술로 가장 주목받는 것이 CDMA(Code Division Multiple Access) 통신방식이다. 이러한 CDMA 통신방식은 동일한 주파수를 이용하여 다수의 사용자에게 동시에 정보를 전송할 수 있기 때문에 채널을 효과적으로 사용할 수 있고, 비동기 전송이 가능하기 때문에 이동통신에 매우 효과적으로 적용할 수 있다. 그러나 여러 사용자가 동시에 같은 주파수를 사용함으로써 발생하는 충돌에 의해 각 수신기의 입력에서 유효채널잡음은 사용자수에 비례하여 증가하므로 이에 대한 개선기법이 필요하다.

대부분의 경우 CDMA 시스템의 성능은 FEC(Forward Error Correcting) 기법을 이용하여 평가하고 있다. 에러제어를 위해  $(n, k)$  선형부호를 사용하였을 때 FEC 기법은 전송에러에 관계없이 전송율을 항상  $k/n$ 으로 유지할 수 있기 때문에 높은 전송율을 얻을 수 있으나 수신백터에 포함된 복호에러의 유무에 관계없이 데이터를 사용자에게 전달하기 때문에 전송에러가 부호의 에러정정 능력보다 증가될 경우에는 높은 신뢰도를 얻기 어렵다. 복호된 패킷의 신뢰도를 증가시키기 위해 FEC 기법은 Hybrid ARQ의 형태로 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 기법과 결합할 수 있으며, 결합기법을 사용함으로써 평균 재전송 횟수를 감소시킬 뿐만 아니라 수신 데이터에 대해 높은 신뢰도를 얻을 수 있다.[1,2,3]

패킷결합 기법은 사전 수신패킷과 현재 수신패킷을 결합하여 재전송 횟수를 줄이고, 신뢰도를 향상시킬 수 있는 기법으로 Chase[4], Wicker[5], Kallel[6] 등이 연구를 수행하였지만, 기존의 연구에서는 통신 채널을 AWGN으로 한정하여 시스템의 성능을 분석하였기 때문에 시변적이고 주파수 선택적인 무선 채널하에서 채널에러율의 변화에 대해 시스템을 성능을 보장할 수 없을 뿐만 아니라 시스템 성능에 대해 정확한 분석적 결과를 제시하지 못하였다.

따라서 본 논문에서는 잡음이 부가된 패킷의 신뢰도를 증가시키기 위해 [4-6] 등에서 수행된 패킷결합 기법을 DS/CDMA 통신 시스템에 적용하여 AWGN 채널과 나카가미 페이딩 채널하에서 레이크 수신기를 사용하였을 때 다이버시티 브랜치수( $L_c$ ),

페이딩 지수( $m$ ), 사용자수( $K$ ) 및 패킷의 길이( $M$ )가 시스템의 전송율에 미치는 영향을 비교분석하였다. 시스템의 분석을 위해 CRC 부호를 에러검출 부호로 사용하였으며, 길쌈 부호기와 비터비 복호기의 쌍으로 구성된 에러정정 부호를 사용하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 나카가미 페이딩 채널에서 패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템을 제안하였고, 시스템의 평균 비트에러확률을 유도하였다. 3장에서는 시스템의 전송율에 대한 상한과 하한을 수학적으로 유도하였고, 4장에서는 전송율에 대한 컴퓨터시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 끝으로 5장에서 결론을 맺었다.

## II. 시스템 모델

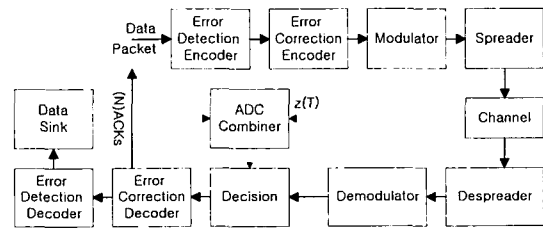


그림 1. 패킷결합 DS/CDMA 시스템  
Fig. 1. Packet Combining DS/CDMA System

패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 모델을 그림 1에 나타내었다. 데이터의 확산에는 자기 상관 및 상호상관 특성이 우수한 Gold 시퀀스를 사용하였고, 에러정정에는 길쌈부호를 에러검출에는 CRC 부호를 각각 사용하였다.[7,8,9] 패킷결합기는 평균규칙을 통해 버퍼에서 사전 수신패킷과 현재 수신패킷을 결합하게 되는데 수신패킷을 결합함으로써 보다 정확한 단일형태의 패킷을 형성할 수 있다.[4]

### 2.1 DS/CDMA 시스템 모델

본 논문에서 사용된 DS/CDMA 시스템은 Milstein에 의해 제안된 모델이다.[8]  $K$ 명의 사용자가 신호를 송신한다고 가정하고, 0번째 사용자를 기준사용자로 하였을 때, 채널을 통과하는 모든 사용자의 송신신호  $s(t)$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) b_k(t - \tau_k) e^{j(\omega_0 t + \phi_k)} \quad (1)$$

식 (1)에서  $\tau_k$ 는  $(0, T)$ 의 범위에서 독립적으로 분포하는 랜덤변수이며,  $\tau=0$ 이다.  $a_k(t)$ 는 주기가  $T_c$ 인  $k$ 번째 사용자에게 대한 PN 부호계열이고,  $b_k(t)$ 는 주기가  $T$ 인  $k$ 번째 사용자의 데이터 비트이다.  $P_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 전송전력이고,  $\omega_0$ 는 반송파 각 주파수로 모든 사용자에게 대해 동일하며,  $\phi_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 반송파 위상성분에 시간지연을 고려한 랜덤변수로  $(0, 2\pi)$ 의 범위에서 독립적으로 분포한다.

주파수 선택적 다중경로 나카가미 페이딩 채널은 그림 2와 같이 탭지연선을 이용하여 수학적으로 표현할 수 있다.  $k$ 번째 사용자에게 대한 채널의 다중경로 수는  $L_p^{(k)}$ 이고, 각 다중경로의 시간지연 간격은 확산부호의 칩주기  $T_c$ 로 정한다.  $k$ 번째 사용자의  $i$ 번째 경로에 대해  $\Psi_i^{(k)}$ 는 위상성분으로  $(0, 2\pi)$ 의 범위에서 독립적으로 분포하는 랜덤변수이고,  $\alpha_i^{(k)}$ 는 가중치로 나카가미 분포의 확률밀도함수를 갖는 독립적인 랜덤변수이다.

$$p(\alpha_i^{(k)}) = M(\alpha_i^{(k)}, m, \Omega_i^{(k)}) \quad (2)$$

$$M(R, m, \Omega) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} e^{-(m/\Omega)R^2}$$

$m$ 은 페이딩 지수로 모든 다중경로에 대해 동일한 값으로 가정하고,  $\alpha_i^{(k)}$ 의 2차 모멘트는  $\Omega_i^{(k)}$ 로 정의한다. 도심지형에 적합한 것으로 알려진 지수함수의 MIP(Multipath Intensity Profile)을 고려하면  $\Omega_i^{(k)}$ 는  $\Omega_0^{(k)}$ 에 대해  $e^{-\delta i}$ 만큼 감소하며,  $\delta$ 는 MIP의 감쇠지수이다. 본 논문에서는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 시스템의 성능을 향상시키기 위해 레이크 수신기를 사용하였다.

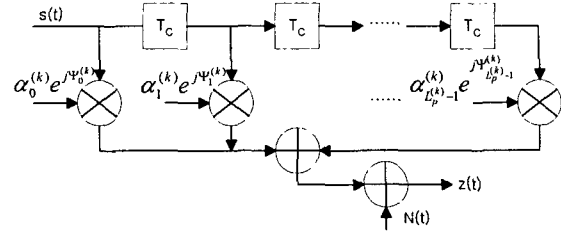


그림 2. 다중 경로 채널 모델  
Fig. 2. Multipath Channel Model

그림 3에 표현된 레이크 수신기는  $L_R$ 개의 분해경로를 가지며, 양측 스펙트럼 밀도가  $\eta_0$ 인 AWGN  $N(t)$ 가 부가되어 레이크 수신기에 입력되는 신호는 식 (3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{n=0}^{L_p^{(k)}-1} \sqrt{2P_k} a_k(t - nT_c - \tau_k) \cdot b_k(t - nT_c - \tau_k) \alpha_n^{(k)} e^{j(\Psi_n^{(k)} + \phi_k)} + N(t) \quad (3)$$

전체 수신신호  $r(t)$ 가 정합필터와 레이크 수신기를 통과한 후 샘플링 시간출력은 식 (4)와 같다.

$$z(t) = U_s + U_{mp} + U_{ma} + U_N \quad (4)$$

식 (4)에서  $U_s$ 는 신호성분,  $U_{mp}$ 는 다중경로 자기 간섭,  $U_{ma}$ 는 다른 사용자에게 의한 다중접속 간섭,  $U_N$ 은 AWGN을 각각 나타낸다. 결정변수는 평균이  $U_s$ 이고, 분산이 식 (5)와 같이 주어지며, 나카가미 페이딩  $\alpha$ 에 조건부이다. 조건부 비트에러확률을 구하기 위해 샘플링 출력  $U_{mp}$ ,  $U_{ma}$ ,  $U_N$ 에 대한 분산을 구하면 식 (5), 식 (6), 식 (7), 그리고 식 (8)과 같다.

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{2} (\sigma_{mp}^2 + \sigma_{ma}^2 + \sigma_N^2) \quad (5)$$

$$\sigma_{mp}^2 \approx \frac{4E^2}{M} \Omega_0 [q(L_p, \delta) - 1] \sum_{n=0}^{L_p-1} \alpha_n^2 \quad (6)$$

$$\sigma_{ma}^2 \approx \frac{8E^2}{3M} \sum_{k=1}^K \Omega_k [q(L_p, \delta) - 1] \sum_{n=0}^{L_p-1} \alpha_n^2 \quad (7)$$

$$\sigma_N^2 \approx 4E\eta_0 \sum_{n=0}^{L_p-1} \alpha_n^2 \quad (8)$$

여기서  $E=PT$ 는 한 비트 당 평균 수신 에너지이고,  $M$ 은 한 비트 당 확산부호의 칩 수이며,  $q(L_p, \delta)$ 는 식 (9)와 같이 정의할 수 있으며, 각 수신기에 대해 동일한 값을 가진다.

$$q(L_p, \delta) \equiv (1 - e^{-\delta L_p}) / (1 - e^{-\delta}) \quad (9)$$

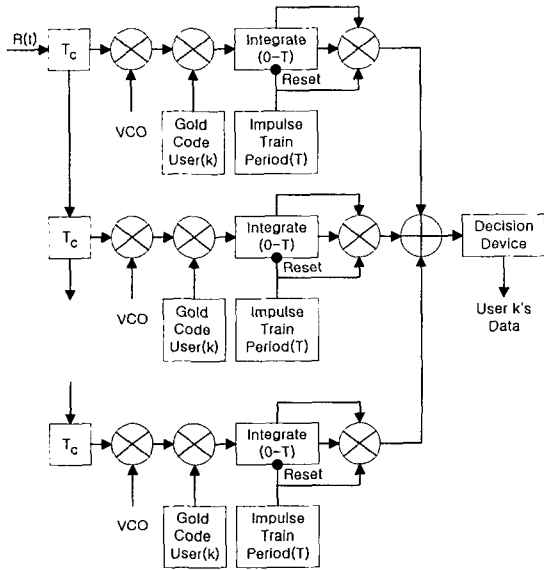


그림 3. 레이크 수신기 모델  
Fig. 3. RAKE Receiver Model

본 논문에서는 DS/CDMA 시스템의 전송을 분석에 필요한 조건부 비트에러확률을 구하기 위해 식 (10)과 같은 변수를 적용한다.

$$S \equiv \frac{1}{\Omega_0} \sum_{n=0}^{L_p-1} \alpha_n^2 \quad (10)$$

$S$ 는 나카가미 분포의 랜덤변수들을 제공하여 더한 것이므로 역시 나카가미 분포로 근사화 할 수 있다. 식 (10)을 사용하면, 식 (11)과 같은 조건부 비트에러확률을 구할 수 있다.

$$P_b(S) = \phi(-U_s/\sigma_T) = \phi(-\sqrt{\gamma S}) \quad (11)$$

$\phi(x)$ 는 식 (12)와 같이 가우시언 적분함수를 나타내며,  $\gamma$ 는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(1/2)y^2} dy \quad (12)$$

$$\gamma = \left[ \frac{q(L_p, \delta) - 1}{2M} + \frac{Kq(L_p, \delta)}{3M} + \frac{\eta_0}{2E\Omega_0} \right]^{-1} \quad (13)$$

$\gamma$ 는 Pursley가 유도한  $\overline{SNR}$ 로 대체되며, 본 논문의 나머지 부분에서 비터비 복호기 입력단의 채널비트에러율을 구하는데 적용된다.[11] 식 (11)을  $S$ 에 대해 적분하고, Hypergeometric 함수를 이용하면 평균 비트에러확률을 구할 수 있다.  $\gamma_s$ 는 경로 당 실효  $SNR$ 이고,  $m_s$ 는 나카가미 분포의 랜덤변수  $S$ 에 대한 페이딩 지수이다.  $\Gamma(\cdot)$ 는 Gamma 함수로서 식 (16)과 같이 정의할 수 있으며, Hypergeometric 함수는 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p = \sqrt{\frac{\gamma_s}{1+\gamma_s}} \frac{(1+\gamma_s)^{-m_s} \Gamma\left(m_s + \frac{1}{2}\right)}{2\sqrt{\pi} \Gamma(m_s + 1)} \cdot {}_2F_1\left(1, m_s + \frac{1}{2}; m_s + 1; \frac{1}{1+\gamma_s}\right) \quad (14)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma\Omega}{2m_s} = \frac{\gamma q(L_R, 2\delta)}{2mq(L_R, 2\delta)} \quad (15)$$

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-y} y^{z-1} dy, \quad z > 0 \quad (16)$$

$${}_2F_1(a, b, c, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a)_k (b)_k z^k}{(c)_k k!} \quad (17)$$

## 2.2 패킷결합기(Packet Combiner)

패킷결합 기법을 설명하기 위해 다음과 같은 기호를 정의한다.

- $X^{(i)}$  : 전송 데이터 패킷의  $i$ 번째 카피
- $Y^{(i)}$  : 수신 데이터 패킷의  $i$ 번째 카피
- $\overline{C}^{(L)}$  :  $Y^{(1)}, Y^{(2)}, \dots, Y^{(L)}$ 을 결합한 패킷

패킷결합은 비율  $R$ 로 부호화된 재전송 패킷을 결합하는 기법으로 패킷결합 기법을 사용함으로써 보다 신뢰성 있는 단일형태의 패킷을 얻을 수 있다. 패킷결합 기법을 채용하는 재전송 프로토콜에는 에러검출을 위해 CRC 부호  $C_0$ , 에러정정을 위해 길쌈 부호  $C_1$ 이 각각 사용하였으며, 전송과 재전송에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

송신기에서는  $k$ 비트의 메시지  $I$ 를  $C_0$ 와  $C_1$ 을 이용하여 부호화하여  $M$ 비트의 전송패킷을 생성하며, 최종적으로 부호어  $M$ 비트 부호어  $X^{(1)}$ 을 전송한다. 수신기에서는 전송도중 채널에서 발생한 잡음으로 인해  $X^{(1)}$ 에 대응하는 부호어  $Y^{(1)}$ 을 수신한다. 수신기에서  $Y^{(1)}$ 을 수신하면 수신패킷을 복호하여 정정가능한 에러패턴을 가지면 수신패킷에 대한 에러정정을 시도하고 수신기는 ACK 신호를 송신기로 전송한다. 송신기가 ACK 신호를 수신하면  $X^{(2)}$ 를 수신기로 전송함으로써 수신기의 재전송요구에 응답하게 되고, 수신기는 새로운 수신패킷  $Y^{(2)}$ 에 대한 복호를 시도한다. 만약  $Y^{(2)}$ 를 정확히 복호하지 못하면 수신기는 이전의 수신카피와 함께 현재의 수신카피를 결합하고, 복호기는 결합패킷에 대한 복호를 시도한다. 만약 결합패킷을 정확히 복호하지 못하면

출하기 위해 역확산, 복조 및 에러정정 과정을 거치게 된다. 패킷결합기에 입력되는 값은 식(4)에 표현된 결정변수  $z(T)$ 이고 패킷결합기는 정정불가능한 에러가 검출된 패킷의 카피들을 단일형태의 패킷으로 결합하며, 새로운 패킷을 결합할 때마다 결정변수  $z(T)$ 를 갱신한다.  $z_1^{(i)}$ 를  $i$ 번째 수신카피의 첫번째 비트와 결합된 결정변수라 하면  $L$ 개의 카피를 수신하여 결합한 후 갱신한 결정변수  $\bar{z}_1^{(L)}$ 은 식 (19)와 같다.

$$\bar{z}_1^{(L)} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L z_1^{(i)} \quad (19)$$

$Y_i = (y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, \dots, y_N^{(i)})$ 를  $i$ 번째 수신카피라 하면, 각 비트  $y_j^{(i)}$ 는  $y_j^{(i)}$ 의 결정변수  $z_j^{(i)}$ 와 관련이 있으며, 결정변수  $Z^{(i)} = (z_1^{(i)}, z_2^{(i)}, \dots, z_N^{(i)})$ 의 대응집합을

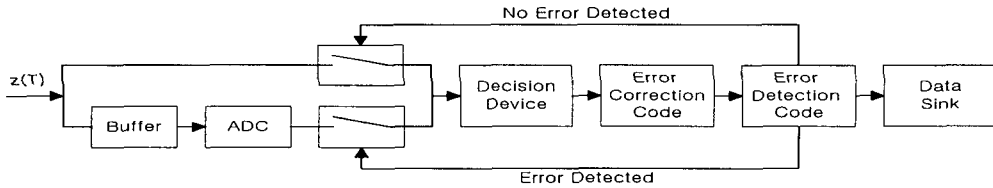


그림 4. 패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 수신기  
Figure 4 : The Receiver of DS/CDMA System with Packet Combining Scheme

수신기는 NACK 신호를 송신기로 전송하고, 이에 대해 송신기는  $X^{(3)}$ 를 수신기로 전송한다. 이러한 데이터의 재전송은 데이터 패킷에 대한 정확한 복호가 수행될 때까지 계속되며, 수신기는 복호가 성공적으로 수행될 때까지 데이터 패킷을 결합한다.

수신된  $L$ 개의 카피  $L = \{Y^{(1)}, \dots, Y^{(L)}\}$ 이 부정확하다고 인식되면, 재전송된 부호어에 대한 soft decision 값의 평균을 취함으로써 보다 정확한 단일 형태의 결합패킷  $\bar{C}^{(L)}$ 을 얻을 수 있으며, 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{c}_j^{(L)} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L y_j^{(i)} \quad (18)$$

### 2.3 패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템

패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 수신기를 그림 4에 표시하였다. 수신패킷은 에러를 검

형성할 수 있다. 즉, 패킷결합 과정은 결정변수  $Z^{(i)}$ 의 전체집합에 대해 평균을 취하는 과정이라 말할 수 있다.

$$\bar{Z}^{(L)} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L Z^i = (\bar{z}_1^{(L)}, \bar{z}_2^{(L)}, \dots, \bar{z}_N^{(L)}) \quad (20)$$

본 논문에서는 결합패킷의 첫번째 비트를 고찰한다. 고찰된 비동기 DS/CDMA 시스템의 랜덤변수  $z_1^{(i)}$  ( $i=1 \dots L$ )가 통계적으로 독립적이므로 랜덤변수 모두가 동일한 평균과 분산  $z_1^{(1)}$ 을 가진다고 가정하면,  $z_1^{(L)}$ 의 분산은 식 (21)과 같다.

$$var(\bar{z}_1^{(L)}) = \frac{1}{L} var(z_1^{(1)}) \quad (21)$$

$L$ 개의 패킷을 결합한 후, 유효 신호대 잡음비는 식 (22)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{SNR}^{(L)} = L \cdot \overline{SNR} \quad (22)$$

여기서  $\overline{SNR}$ 은 결합이 없을 때의 신호대 잡음비를 나타내며, 패킷결합을 수행하면 수신패킷의 결합수  $L$ 이 증가함에 따라  $SNR$ 은  $L$ 에 비례하여 증가하게 된다.

### III. 전송을 분석

에러제어 시스템의 성능은 전송로를 통해 단위시간당 전송되는 전체 비트 수와 정확하게 수신된 정보 비트 수와의 비율로 평가할 수 있다. 본 논문에서 고찰된 시스템은 에러정정을 위해 길쌈 부호기와 비터비 복호기로 구성되고, CRC 에러 검출법을 사용한다. 시스템의 성능을 평가하기 위해 비터비 복호기의 출력 시퀀스에 대한 특성을 다음과 같이 기술한다.

$R_c^{(L)}$  : 에러가 없을 경우

$R_u^{(L)}$  : 검출 불가능한 에러 패턴을 가질 경우

$R_d^{(L)}$  : 검출 가능한 에러 패턴을 가질 경우

$R_d^{(L)}$ 은 “재전송 요구가 발생하는 경우”와 동일한 사건이다. 위에서 기술된 사건들의 관계는 식 (23)과 같다.

$$P(R_c^{(L)}) + P(R_u^{(L)}) + P(R_d^{(L)}) = 1 \quad (23)$$

$L$ 개의 수신패킷을 결합함으로써 형성된 비터비 복호기의 출력시퀀스에 대한 채널비트에러율은 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(R_c^{(L)}) = (1 - p^{(L)})^N \quad (24)$$

여기서  $N$ 은 전송된 시퀀스 대 비트 수를 나타낸다. 대부분의 CRC 코드에 대해  $P(R_u^{(L)})$ 는 적은 값을 가지므로  $P(R_u^{(L)})$ 의 값은 무시할 수 있으며,  $P(R_d^{(L)})$ 은 식 (25)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(R_d^{(L)}) \approx 1 - (1 - p^{(L)})^N \quad (25)$$

### 3.1 HD(Hard Decision) 복호법

HD 복호법을 사용하였을 경우 채널 비트에러율  $p^{(L)}$ 의 한계식은 식 (26)과 같다.

$$\begin{aligned} p_{low,hard}^{(L)} &= \frac{1}{k} P_{d,free} \leq p^{(L)} \\ &\leq \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}} c_d P_d = p_{up,hard}^{(L)} \end{aligned} \quad (26)$$

$d_{free}$ 는 길쌈 부호의 최소자유거리,  $c_d$ 는 가중치가  $d$ 인 모든 부호어 중 0이 아닌 총 정보 비트의 수,  $k$ 는 부호 격자가지 대 정보 비트의 수를 나타내며,  $P_d$ 는 식 (27)과 같다.

$$P_d = \begin{cases} \sum_{j=(d+1)/2}^d \binom{d}{j} p^j (1-p)^{(d-j)} & d \text{ is odd} \\ \frac{1}{2} \binom{d}{d/2} p^{d/2} (1-p)^{d/2} \\ + \sum_{j=(d/2)+1}^d \binom{d}{j} p^j (1-p)^{(d-j)} & d \text{ is even} \end{cases} \quad (27)$$

여기서  $p$ 는  $L$ 개의 패킷을 결합한 후 비터비 복호기 입력단에서의 채널비트에러율을 나타낸다.

$$p = Q(\sqrt{\overline{SNR}^{(L)}}) \quad (28)$$

### 3.2 SD(Soft Decision) 복호법

SD 복호법을 사용하였을 경우 비트 에러 확률  $p^{(L)}$ 의 한계식은 식 (29)와 같다.

$$p^{(L)} \geq p_{low,soft}^{(L)} = \frac{1}{k} Q\left(\sqrt{2d_{free}\left(\frac{E_b}{N_o}\right)^{(L)}}\right) \quad (29)$$

$$\begin{aligned} p^{(L)} &\leq p_{up,soft}^{(L)} \\ &= \frac{1}{k} e^{d_{free}(E_b/N_o)^{(L)}} Q\left(\sqrt{2d_{free}\left(\frac{E_b}{N_o}\right)^{(L)}}\right) \\ &\quad \cdot \left. \frac{\partial T(X, Y)}{\partial Y} \right|_{Y=1, X=e^{-E_b/N_o}} \end{aligned} \quad (30)$$

여기서  $(E_b/N_o)^{(L)}$ 은  $L$ 개의 패킷을 결합한 후 유효 신호대 잡음비를 나타내고,  $T(X, Y)$ 는 길쌈 부호의 무계 계수자를 나타낸다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{(L)} = \frac{D^2 L}{2 \text{var}(z)} = \frac{\overline{SNR}^{(L)}}{2} \quad (31)$$

송신기가 전송할 평균비트수를  $T_r$ 이라 하고, 비터비 복호기의 출력에서 비트에러율에 대해 초기 개발된 한계식을 사용하면 식 (32)와 식 (32)과 같이  $P(R_d^{(L)})$ 의 한계를 정할 수 있다.[12]

$$P(R_{d,low}^{(L)}) = 1 - (1 - p_{up}^{(L)})^N \leq P(R_d^{(L)}) \leq 1 - (1 - p_{low}^{(L)})^N = P(R_{d,up}^{(L)}) \quad (32)$$

$$1 + \sum_{j=1}^{\infty} \prod_{i=1}^j P(R_{d,low}^{(i)}) \leq T_r \leq 1 + \sum_{i=1}^{\infty} P(R_{d,up}^{(i)}) \quad (33)$$

시스템의 전송율은 전송된 비트수 대 수신된 정보 비트수의 비율로 식 (34)와 같다.

$$\eta = (R_{com} R_{CRC}) / T_r \quad (34)$$

여기서  $R_{com}$ 는 길쌈부호의 비율이고,  $R_{CRC}$ 는 CRC 부호의 비율이다.

#### IV. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

본 장에서는 패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 전송율에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 확산부호는 주기가 63인 Gold 부호를 사용하였고, 에러검출과 에러정정을 위해 CRC-12 부호와 (2,1,3) 길쌈부호를 각각 사용하였다.

그림 5~8에 AWGN 채널과 나카가미 페이딩 채널하에서 레이크 수신기를 사용하였을 때 패킷결합 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템의 전송율을 나타내었다. 패킷결합수는  $L$ 은 1에서 4까지로 제한하였으며, 페이딩 환경에서 다이버시티 브랜치수  $L_C$ 와 페이딩 지수  $m$ 이 시스템의 성능에 미치는 영향에 대해 각각 고려하였다.

그림에서 보듯이  $L$ 이 증가함에 따라 시스템의 전송율은 급격히 감소하지만 낮은  $E_b/N_0$ 에서 시스템의 전송율은  $1/L$ 로 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

그림 5와 6은  $L_R$ 의 값이 1로 고정되고,  $m$ 이 1과 4인 경우 시스템의 전송율을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이  $m$ 이 1인 경우에는  $L$ 의 값이 증가되더라도 전송율은 AWGN 보다 감소함을 알 수 있지만,  $m$ 이 4인 경우에는 AWGN 보다 증가함을 알 수 있다. 그림 7과 8은  $L_R$ 의 값이 3으로 고정되고,  $m$ 이 1과 4인 경우 시스템의 전송율을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이  $m$ 이 1인 경우와 4인 경우 모두 AWGN 보다 전송율이 높음을 알 수 있다. 그림 5~8의 전송율의 분석결과를 보면  $m$ 이 증가할 때보다  $L_C$ 가 증가할 때 시스템의 전송율의 변화가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 9, 10, 11에는 페이딩 지수  $m$ , 사용자수  $K$  및 패킷의 길이  $N$ 의 변화가 시스템의 전송율에 미치는 영향에 대해 각각 나타내었다. 그림에서 보듯이 페이딩 지수  $m$ 이 증가함에 따라 시스템의 전송율이 증가함을 알 수 있지만, 사용자수  $K$ 와 패킷의 수  $N$ 이 증가함에 따라 시스템의 전송율은 감소함을 알 수 있다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 시변적이고 주파수 선택적인 무선 채널 환경에서 잡음이 부가된 패킷의 신뢰도를 증가시키기 위해 패킷결합 기법을 DS/CDMA 통신 시스템에 적용하여 AWGN 채널과 나카가미 페이딩 채널하에서 레이크 수신기를 사용하였을 때 다이버시티 브랜치수( $L_R$ ), 페이딩 지수( $m$ ), 사용자수( $K$ ) 및 패킷의 길이( $M$ )가 시스템의 전송율에 미치는 영향을 비교분석하였다. 시스템의 분석을 위해 CRC-12 부호를 에러검출 부호로 사용하였으며, 길쌈 부호기와 비터비 복호기의 쌍으로 구성된 에러정정 부호를 사용하였다.

분석결과 AWGN에서 보다 나카가미 페이딩 채널하에서 레이크 수신기를 사용하였을 때 시스템의 정보전송율이 증가함을 확인할 수 있었으며, 패킷결합의 수  $L$ 이 증가함에 따라 시스템의 전송율은 급격히 감소하지만 낮은  $E_b/N_0$ 에서 시스템의 전송율은  $1/L$ 로 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 페이딩 지수  $m$ 과 다이버시티 브랜치수  $L_C$ 가 증가함에 따라

시스템의 전송율이 증가함을 알 수 있으며, 사용자수  $K$ 와 패킷의 길이  $N$ 이 증가함에 따라 시스템의 전송율은 감소함을 확인할 수 있었다. 아울러 시스템의 전송율을 증가시키기 위해서는 페이딩 지수  $m$ 을 증가시키는 것 보다 다이버시티 브랜치수  $L_C$ 를 증가시키는 것이 더 바람직함을 확인하였으며, 일정한 전송율을 달성하기 위해서는 사용자 수  $K$ 와 패킷의 길이  $N$ 을 적당한 값으로 조정해야 함을 확인하였다.

본 논문의 연구결과는 실시간 통신에서는 적용하기 어려우나 패킷결합 기법과 다이버시티 기법을 통해 시간과 주파수에 따라 광범위하게 변하는 무선채널 환경에서 높은 신뢰도와 전송율을 요구하는 무선 데이터 통신 시스템에 적용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 궤환채널에 존재하는 에러를 고려한 연구와 ACK 신호와 NACK 신호에 따라 Hybrid ARQ 시스템을 적응형 시스템으로 구현하는 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

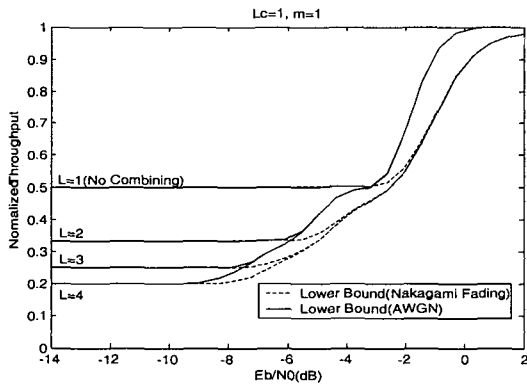


그림 5. 패킷결합수에 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 5. Throughput of DS/CDMA System for Number of Combined Packet

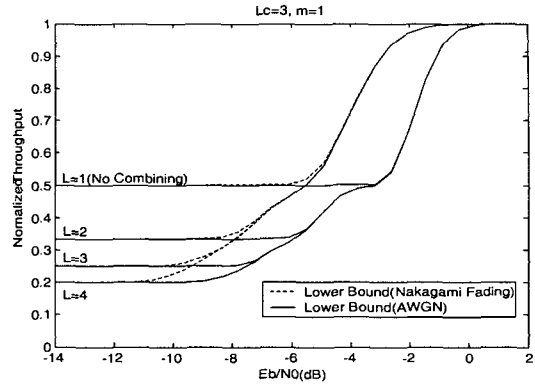


그림 7. 패킷결합수에 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 7. Throughput of DS/CDMA System for Number of Combined Packet

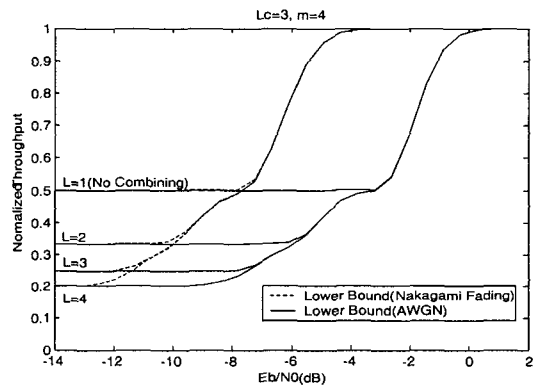


그림 8. 패킷결합수에 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 8. Throughput of DS/CDMA System for Number of Combined Packet

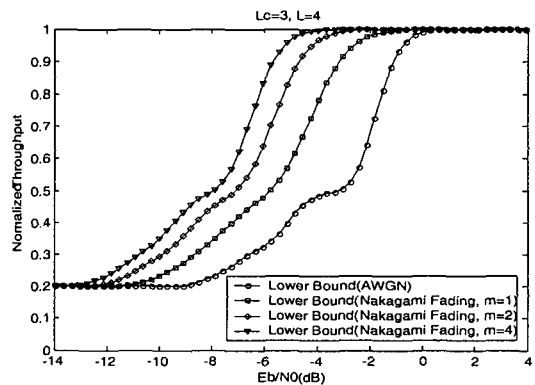


그림 9. 페이딩 지수에 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 9. Throughput of DS/CDMA System for Fading Index



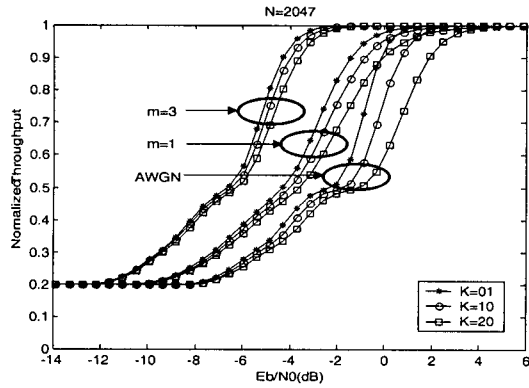


그림 10. 사용자수에 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 10. Throughput of DS/CDMA System for Number of User

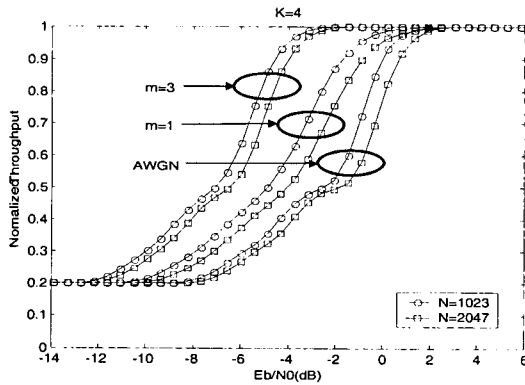


그림 11. 패킷의 길이 따른 DS/CDMA 시스템의 전송율  
Fig. 11. Throughput of DS/CDMA System for Length of Packet

### 참고문헌

[1] S. Lin, D. J Costello, and M. J Miller. "Automatic repeat request error control schemes," *IEEE Trans. Commun. Mag.*, vol. 22, pp. 5-17. Dec. 1984.  
[2] A. Drukarev and D. J. Costello, Jr., "Hybrid ARQ error control using sequential decoding," *IEEE Trans. Comm. Theory*, vol. IT-29, pp. 521-535, July 1983.  
[3] S. B. Wicker, *Error control Systems for Digital Communication and Storage*. Englewood Cliffs,

NJ: Prectice-Hall, 1995.

[4] D. Chase, "Code combining — A maximum-lilelihood decoding approach for combining an arbitrary number of noise packets," *IEEE Trans. Commun.*, vil. COM-33, no. 5, pp. 385-393. May 1985.  
[5] B. A. Harvey and S. B. Wicker, "Packet Cimbinig Suytems Based on the Viterbi Decoder," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 42, No. 2/3/4, pp. 1544-1557, Feb., 1994.  
[6] S. Kallel and D. Haccoun, "Sequential Decoding with ARQ and Code Combining: A Robust Hybrid FEC/ARQ System," *IEEE Trans. Commun.*, vil. 36, No. 7, pp. 773-780, July 1988.  
[7] R. Gold "Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, pp. 619-621, Oct. 1967.  
[8] M. Y. Rhee, *Error Correcting Coding Theory*, McGraq-Hill, New York, 1989.  
[9] D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding:Fundamentals and Applications*, Prectice-Hall, 1983.  
[10] T. Eng and L. B. Milstein, "Coherent DS-CDMA Performance in Nakagami Multipath Fading," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43. No. 2/3/4, Feb/Mar/Apr, 1995.  
[11] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phae-coded spread spectrum multiple-access communications — Part I," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.  
[12] S. Kallel and Haccoun, "Sequential decoding with ARQ and code combining," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-36, pp. 775-779, July 1988.

저자소개



황재문(Zai-Moon Hwang)

1994년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1996년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 2월 청주대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

2001년 3월~현재 극동정보대학 컴퓨터게임과 전임강사

※관심분야: 이동통신, 위성통신, 부호이론



박진수(Jin-Soo Park)

1975년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1977년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1985년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1978년~현재 청주대학교 정보통신공학부 교수

1999년~현재 청주대학교 정보통신연구센터 소장

2000년~현재 한국정보처리학회 충북지부 지부장

※관심분야: 디지털 이동통신, 대역확산통신, 부호이론, 멀티미디어통신, 영상통신