

다중경로 페이딩 채널에서 Hybrid SC/MRC 기법이 적용된 MC / DS CDMA 시스템의 성능분석

정희원 김원섭*, 박진수*

Performance Analysis of MC/DS CDMA System with Hybrid SC / MRC Diversity over Multi-path Fading Channels

Won-Sub Kim*, Jin-Soo Park* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 나카가미-m 다중 경로 페이딩 환경에서 MC/DS-CDMA 시스템에 하이브리드 SC/MRC 기법을 적용하여 MRC 기법이 적용된 경우와 비교, 분석 하였다.

분석결과, 각 반송파의 입력 다이버시티 가지 수(L)가 3이고 선택된 가지 수(L_c)가 2인 경우 $L_c=2$ 일 때의 MRC 기법보다는 성능이 우수하지만 $L_c=3$ 일 때의 MRC 기법을 적용한 경우보다는 성능이 떨어짐을 알 수 있었다. 그러나, 페이딩 지수가 낮을 경우 즉, 환경이 열악해질수록 $L_c=3$ 일 때의 MRC 기법과 하이브리드 SC/MRC-(2/3) 다이버시티 기법의 성능이 거의 같음을 확인 할 수 있었고 $L_c=4$ 일 때의 MRC 기법과 하이브리드 SC/MRC-(2/4) 다이버시티 기법인 경우도 유사한 성능을 가짐을 확인하였다. 따라서 MC/DS-CDMA 시스템에서 모든 다이버시티 가지에 대해 비트 동기 및 페이딩 진폭, 위상동기를 요구하는 MRC 다이버시티 기법보다는 이를 필요로 하지 않는 SC기법의 장점과 성능이 우수한 MRC 기법의 장점을 이용한 하이브리드 SC/MRC 기법을 적용함으로써 복잡도는 줄이면서 MRC 기법을 사용한 경우의 성능에 근접함을 확인하였다.

Key Words : Hybrid SC/MRC, MRC, MC / DS CDMA, Nakagami-m 페이딩.

ABSTRACT

In this paper, the hybrid SC/MRC technique was applied to the MC/DS-CDMA system in the Nakagami-m multi-path fading environment. The applied scheme was compared with other cases when the MRC technique was applied and then performances were analyzed. The result of analysis showed that the performance of the applied system, whose number of branches (L) for the input diversity of each carrier wave was 3 and whose selected number of branches (L_c) was 2, was better than that of the MRC technique when the L_c of the MRC technique was 2. The performance of the applied system was lower than that of the MRC technique, when the L_c of the MRC technique was 3. However, as the fading index was lowered, which means the telecommunication environment deteriorated, the performance of the hybrid SC/MRC-(2/3) diversity technique when L_c of MRC technique was 3, was almost the same as that of the MRC technique. The hybrid SC/MRC- (2/3) diversity technique shows a similar performance to that of the MRC technique, when the L_c of the MRC technique was 4. Therefore, it was confirmed that the MC/DS-CDMA system could reduce complexity and achieve similar performance to that of the MRC by applying the hybrid SC/MRC technique, which utilized the advantages of the SC technique and high performance of the MRC scheme, rather than the MRC diversity technique that requires bit synchronization, frequency of fading, and phase synchronization for every diversity branch.

I. 서 론

MC-DS/CDMA 방식은 다중 반송파를 이용하여 신호의 직 병렬 변환기를 통해 병렬 데이터를 만든

* 청주대학교 디지털통신연구소(kimws@cju.ac.kr)

논문번호 : 040157-0419, 접수일자 : 2004년 4월 20일

*이 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것임

후 각기 다른 부 반송파로 변조하여 전송하는 방식으로 각각의 캐리어 신호의 상관성을 이용하여 출력 신호를 얻는다⁽¹⁾. 이동 통신 환경에서 신호는 심각한 페이딩 현상을 겪게 되어 신호 대 잡음비가 좋지 않게 되며, 이에 신호를 보상하기 위한 방안으로 다이버시티 결합방식이 사용되고 있다⁽²⁾.

다중 경로를 거쳐 수신되는 신호를 합성하는 기법으로는 최대비 합성(Maximal Ratio Combing), 동이득 합성(Equal Gain Combing), 선택적 합성(Selective Combing) 등 여러 다이버시티 기법이 있다. 그 중 MRC는 시간-조정, 동 위상, 페이딩 진폭에 의한 최적의 가중치를 고려하여 신호를 검출하므로 신호의 최대 신호 대 잡음비가 가장 우수하다. 그러나 각 신호의 브랜치에서 페이딩 진폭에 대한 정보를 필요로 하기 때문에 다른 방식보다 복잡성이 높다. 실제 시스템에서는 비교적 간단한 SC 와 EGC 같은 두 기술들이 사용되고 있다. 그러나 SC 다이버시티는 복잡성 면에서 간단하나 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 것을 선택하므로 다이버시티 중에서 성능이 가장 떨어진다.

본 논문에서는 고속 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 차세대 무선 접속 기술을 적용한 MC/DS-CDMA 시스템에 하이브리드 SC/MRC 기법을 적용한 경우와 MRC 기법을 적용한 경우를 비교 분석한다. 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 방식은 기존의 SC 다이버시티 방식에 MRC 다이버시티 방식을 합성시킨 형태이며 SC 다이버시티에 의한 L 개의 선택 가지 중에서 L_c 개를 선택한 다음 최적의 가중치를 주어 이들을 최대비 합성으로 검출하는 방식이다. 본 논문에서 나카가미 페이딩 채널 환경 하에서 존재하는 경로의 수 (L_p), 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 브랜치 수 (L, L_c), 사용자수(K), 반송파의 수(U)를 고려한 MC/DS-CDMA 시스템의 평균비트 오류 확률 식을 유도하고 Matlab을 이용한 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석한다.

II. 시스템 모델

2.1 송·수신기 모델

MC/DS-CDMA 송신기는 이진 데이터 열을 가지면 k 사용자에게 대한 송신 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sum_{u=1}^U \sqrt{2P} b_{ku}(t) c_k(t) \cos(2\pi f_u t + \phi_{ku}) \quad (1)$$

식(1)에서 U는 부 반송파의 수, ϕ_{ku} 는 부 반송파의 위상, f_u 는 부 반송파의 주파수를 나타내며 P 는 부반송파의 전송 전력을 나타낸다.

$b_{ku}(t)$ 는 k 번째 사용자의 이진 입력 데이터로 표현하면 다음과 같다.

$$b_{ku}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_{ki} p_{T_s}(t - iT_s) \quad (2)$$

식(2)에서 의사 불규칙 확산 부호 $c_k(t)$ 는 하나의 심볼 당 j 개의 칩이 할당된다. 각 사용자들에게 확산 변조되어 구형과 형태의 PN 부호를 가지게 되며 다음과 같이 표현된다.

$$c_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_{kj} p_{T_c}(t - jT_c) \quad (3)$$

$b_{ku}(t)$, $c_k(t)$ 는 임펄스 열로 변조되며 p_{T_c} 는 칩파형 필터의 임펄스 응답을 나타내며 필터를 거쳐 출력된다. MC/DS-CDMA 시스템에서의 총 대역폭은 $\omega_s = 2T_{c_i}$ 를 필요로 하며 직접확산 파형은 서로간의 중복을 피하며 나이퀴스트 주파수를 만족한다. MC/DS-CDAMA 시스템에서의 부 반송파의 중심주파수는 다음 식으로 표현된다.

$$f_u = f_0 + \frac{\lambda(1-U+u)}{2T_s}, \quad u=0, 2, 4, \dots, 2(U-1) \quad (4)$$

부 반송파 간격간의 대역폭 관계는 다음과 같이 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\omega_s = (U-1) \Delta + \omega_{ds} \quad (5)$$

$$\frac{2}{T_{c_i}} = (U-1) \frac{\lambda}{T_s} + \frac{2}{T_c} \quad (6)$$

식(6)에서 지연시간 $T_s = N_e T_c$ 이며 $T_s = UT_b = UN_1 T_{c_i}$ 이다.

처리이득 (N_e)과 다중 경로(L_p)는 다음 식을 만족한다.⁽¹⁾

$$N_e = UN_1 - \frac{(U-1)\lambda}{2} \quad (7)$$

$$L_p = \left\lceil \frac{2N_e(L_1-1)}{2N_e + (U-1)\lambda} \right\rceil + 1$$

주파수 선택적 나카가미 페이딩 환경에서 K명의 사

용자를 가지는 MC/DS-CDMA 시스템의 수신 신호는 식(8) 표현된다.⁽¹⁾

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U \sum_{l_p=1}^{L_p-1} \sqrt{2P} a_{ul_p}^{(k)} b_{ku}(t - \tau_{kl_p}) \cdot c_k(t - \tau_{kl_p}) \cdot \cos(2\pi f_u t + \phi_{ul_p}^{(k)}) + n(t) \quad (8)$$

식(8)에서 $\phi_{ul_p}^{(k)}$ 는 $\phi_{ul_p}^{(k)} = \phi_{ku} - \phi_{ul_p} - 2\pi f_u \tau_{kl_p}$ 로 정의되며 (0, 2π)에서 균일한 분포를 가지는 랜덤 변수를 가진다. τ_k 는 k 번째 사용자의 전파 지연을 나타내며 n(t)는 영 평균을 가지는 가우시안 분포의 $N_0/2$ 인 양측과 대 전력 스펙트럼 밀도를 가진다.

수신기는 SC/MRC를 이용한 RAKE 수신기를 사용했으며 Matched Filter의 수는 주파수 합성기에서 발생하는 부 반송파의 수와 같다. 수신기에서의 다이버시티 가지 수는 $1 \leq L \leq L_p$ 와 같은 조건을 만족한다.

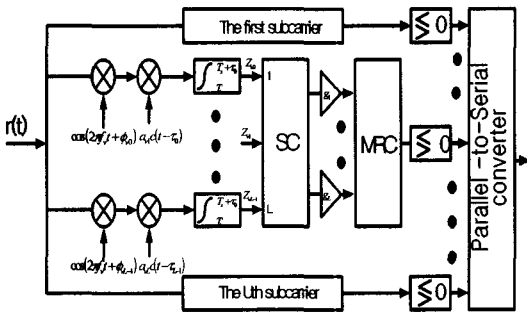


그림 1. MC/DS-CDMA 시스템의 하이브리드 SC/MRC 수신기 블럭도

2.2 수신신호의 분산

필터에서 출력되는 SC/MRC에서의 Z 번째 데이터 비트 Z_v 는 v 번째 사용자의 데이터 열로 표현하면 식(9)으로 정의된다.⁽³⁾

$$Z_v = \sum_{l=0}^{L-1} Z_{vl} \quad v = 1, 2, \dots, U \quad (9)$$

$$Z_{vl} = \int_{T_l}^{T_l + \tau_l} r(t) \cdot a_{vl} c(t - \tau_l) \cos(2\pi f_v t + \phi_{vl}) dt \quad (10)$$

결정변수 Z_{vl} , $v = 1, 2, \dots, U$ 로 나타나며 v 번째 부데이터 열의 현재 데이터 비트는 0 아니면 1로 결정된다. 지연시간 $\tau_l = 0$ 으로 가정하고 결정영역을 분석하면 Z_{vl} 은 다음과 같이 전개할 수 있

다.

$$Z_{vl} = \sqrt{\frac{P}{2}} T_s \left\{ D_{vl} + N_{vl} + \sum_{l_p=0}^{L_p-1} I_1^{(s)} + \sum_{l_p=1}^U \sum_{l_p=0}^{L_p-1} I_2^{(s)} \right. \\ \left. + \sum_{l_p=2}^K \sum_{l_p=0}^{L_p-1} I_1^{(k)} \sum_{l_p=2}^K \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \sum_{l_p=1}^U I_2^{(k)} \right\} \quad (11)$$

여기에서 N_{vl} 은 영평균 가우시안 랜덤 변수와 분산값에 의해 영향을 받는다. 비트당 에너지는 $E_b = P T_s$ 이며 출력신호 D_{vl} 은 $k=1$, $L_p=l$ 그리고 $u=v$ 로 가정하면 식(12)와 같이 근사화 할 수 있다.⁽⁸⁾

$$D_{vl} = b_v[0] a_{vl}^2 \quad (12)$$

b_v 는 기본 사용자에게 대한 v개의 부 반송파 상관 값이다.

자기 간섭 $I_1^{(s)}$ 는 $l_p, l_p=0, 1, \dots, L_p-1$ ($l_p \neq l$)의 경로에 의해 수신되어지는 부 반송파 v 와 관련하여 다음 식으로 표현된다.

$$I_1^{(s)} = \frac{a_{vl} a_{vl} \cos \theta_{vl}}{T_s} [b_v[-1] R_1(\tau_l) + b_v[0] R_1^*(\tau_l)] \quad (13)$$

부분적인 자기상관함수 $R_1(\tau_l)$, $R_1^*(\tau_l)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_1(\tau_l) = \int_0^{\tau_l} c(t - \tau_l) c(t) dt \quad (14)$$

$$R_1^*(\tau_l) = \int_{\tau_l}^{T_s} c(t - \tau_l) c(t) dt \quad (15)$$

자기 간섭 $I_2^{(s)}$ 는 $l_p, l_p=0, 1, \dots, L_p-1$ ($l_p \neq l$)의 경로에 의해 수신되어지는 부 반송파 u 와 관련하여 다음 식으로 표현된다.

$$I_2^{(s)} = \frac{a_{vl} a_{vl}}{T_s} [b_u[-1] R_1(\tau_l, \theta_{ul_p}) \\ + b_u[0] R_1^*(\tau_l, \theta_{ul_p})] \quad (16)$$

부 반송파 u, v의 부분적인 자기 상관 함수 $f(u)$, $f(v)$ 는 다음과 같다.

$$R_1(\tau_l, \theta_{ul_p}) = \int_0^{\tau_l} c(t - \tau_l) c(t) \cdot \cos(2\pi(f_u - f_v)t + \theta_{ul_p}) dt \quad (17)$$

$$R_1^*(\tau l_p, \theta_{ul_p}) = \int_{\tau l_p}^{\tau_s} c(t - \tau l_p) c(t) \cdot \cos(2\pi(f_u - f_v)t + \theta_{ul_p}) dt \quad (18)$$

다중경로 간섭 MUI(multiuser interference)에서의 부 반송파(v)와 경로, 사용자수를 포함하는 $I_1^{(k)}$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I_1^{(k)} = \frac{a_{vl_s}^{(k)} a_{vl_s} \cos \theta_{vl_s}^{(k)}}{T_s} \cdot [b_{kv}[-1]R_k(\tau_{kl_p}) + b_{kv}[0]R_k^*(\tau_{kl_p})] \quad (19)$$

마지막으로 다중경로 간섭 MUI(multiuser interference)에서의 부 반송파(u)와 경로, 사용자수를 포함하는 $I_2^{(k)}$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I_2^{(k)} = \frac{a_{ul_s}^{(k)} a_{vl_s}}{T_s} [b_{ku}[-1]R_k(\tau_{kl_s}, \theta_{ul_s}^{(k)}) + b_{ku}[0]R_k^*(\tau_{kl_s}, \theta_{ul_s}^{(k)})] \quad (20)$$

다중경로 간섭 MUI(multiuser interference)에서의 $I_2^{(k)}$ 는 영 평균을 가지는 가우시안 랜덤 변수로 근사화 될 수 있으면 분산은 다음과 같이 주어진다⁽⁴⁾.

$$Var[I_2^{(k)}] = \frac{\Omega_{ul_s}^{(k)} a_{vl_s}^2 N_e}{2\pi^2(u-v)^2 \lambda^2} [1 - \sin c(\frac{2\pi(u-v)\lambda}{N_e})] \quad (21)$$

$I_1^{(k)}$ 의 자기 간섭은 가우시안 함수로 근사화 하면 다음과 같다.

$$Var[I_1^{(k)}] = \frac{\Omega_{vl_s}^{(k)} a_{vl_s}^2}{3N_e} \quad (22)$$

식(21)에서 $k=1$ 로 놓고 각각의 칩 기간을 독립적이라 가정하고 가우시안 랜덤변수로 근사화 하면 $I_2^{(s)}$ 의 분산 값을 얻을 수 있다.

$$Var[I_2^{(s)}] = \frac{\Omega_{ul_s} a_{vl_s}^2 N_e}{2\pi^2(u-v)^2 \lambda^2} [1 - \sin c(\frac{2\pi(u-v)\lambda}{N_e})] \quad (23)$$

자기 간섭 $I_1^{(s)}$ 는 $\lim_{x \rightarrow u-v \rightarrow 0} (Var[I_2^{(s)}])$ 으로 계산하여 영 평균 가우시안 랜덤 변수로 근사화 시켜 분산 값을 얻을 수 있다.

$$Var[I_1^{(s)}] = \frac{\Omega_{vl_s} a_{vl_s}^2}{3N_e} \quad (24)$$

결과적으로 상관 출력 값 Z_{vl} 은 $D_{vl} = b_v[0] a_{vl}^2$ 의 표준 평균값과 분산 값으로 나타난다.

$$Var[Z_{vl}] = \left\{ \sqrt{\frac{a_{vl}^2 N_0}{2E_b}} + \sum_{l_p=0}^{L_p-1} var[I_1^{(s)}] \right. \\ + \sum_{k=1}^U \sum_{l_p=0}^{L_p-1} Var[I_2^{(s)}] C \\ + \sum_{k=2}^K \sum_{l_p=0}^{L_p-1} Var[I_1^{(k)}] \\ \left. + \sum_{k=2}^K \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \sum_{u=1}^U Var[I_2^{(k)}] \right\} \quad (25)$$

I_s^* 와 I_M^* 은 $I_2^{(s)}$, $I_2^{(k)}$ 의 증가하는 시간동안 $\Omega_{ul_p} a_{vl}^2$ 을 포함하는 평균으로 나타낼 수 있다. 부 반송파 u 와 v 를 고려하여 다시 쓰면 다음과 같다.⁽³⁾

$$I_s^* = I_M^* = \frac{1}{U(U-1)} \sum_{v=1}^U \sum_{u=1}^U [1 - \sin c(\frac{2\pi(u-v)\lambda}{N_e})] \quad (26)$$

MIP는 $\Omega_{ul_s}^{(k)} = \Omega_0 \exp(-\eta l_p)$ 으로 주어지며 부 반송파와 사용자에게 대해서 독립적인 랜덤변수이다. 부 반송파는 중복을 피하며 다른 사용자를 가진다. Z_v 는 L 개의 독립적인 가우시안 랜덤변수의 합으로 표준화 할 수 있으며 평균값은 다음과 같다.

$$E[Z_v] = b_v[0] \sum_{l_p=0}^{L_p-1} a_{vl}^2 \quad (27)$$

최종적으로 Z_v 의 분산은 식(28)과 같이 표준화된 다.

$$Var[Z_v] = \left[\left(\frac{2\Omega_0 E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{(KL_p - 1)q(L_p, \eta)}{L_p} \right] \\ \cdot \left[\frac{1}{3N_e} + (U-1)I_M^* \right] \cdot \Omega_0 \sum_{l_p=0}^{L_p-1} a_{vl}^2 \quad (28)$$

III. 성능 분석

3.1 MRC 수신 신호의 평균 BER 계산

최적의 MRC를 하이브리드 SC/MRC와 비교하기 위하여 MRC 수신기의 평균 BER을 구해보면 다음과 같다. MRC에서 조건부 SNR(신호대 잡음비)은

$\gamma_t = \sum_{i=1}^{L_c} \gamma_i$ 에 의해 주어지고, γ_i 은 모든 브랜치 ($L_c=L$)의 확률을 포함하는 수신되는 브랜치 L에 랜덤하게 일치되어진다.

Eng와 Milstein에 의해 얻어진 결과를 이용하여 평균 BER의 이상적인 결과를 얻었다^[7].

$$P_b(E) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g\gamma/m}{\pi(1+g\gamma/m)}} \frac{\Gamma(L_c m + \frac{1}{2})}{\Gamma(L_c + 1)} \cdot \left(\frac{1}{1+g\gamma/m}\right)^{L_c m} \cdot {}_2F_1\left(1, L_c m + \frac{1}{2}, L_c m + 1; \frac{1}{1+g\gamma/m}\right) \quad (29)$$

3.2 Hybrid SC/MRC(2/3) 수신 신호의 접합 평균 BER 계산

논문에서 $L_c=2$ 와 $L=3$ 의 접합 확률은 다음과 같이 정의된다^[8].

$$p_{\gamma_1, \gamma_2}(\gamma_1, \gamma_2) = 6p_\gamma(\gamma_1)p_\gamma(\gamma_2) \frac{\gamma(m, \frac{m\gamma_2}{\gamma})}{\Gamma(m)}, \quad \gamma_1 \geq \gamma_2 (L_c=2, L=3) \quad (30)$$

이진 신호의 수신기에서 $L=3$ 이고 $L_c=2$ 인 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 기법은 수신되는 신호의 브랜치 중 가장 큰 신호를 가지는 두 개의 MRC 조합으로 구현되어진다. 페이딩 진폭상의 BER를 표현하면 다음과 같다.

$$P_b(\gamma_t) = Q(\sqrt{2g\gamma_t}) \quad (31)$$

여기서, $r_t = \bar{r} \cdot \frac{\alpha^2 \nu}{\Omega_0}$ 이며, 동기 BPSK 변조신호에서는 $g=1$ 이고 최소 상관 동기 직교 BPSK에서는 $g=1/2$ 이고 수신시 MRC에서의 접합 수식은 $r_t = r_1 + r_2$ 이 된다. 총 SNR의 평균 BER은 r_t 의 PDF에 의해 계산되어진다^[7].

$$P_b(E) = \int_0^\infty Q(\sqrt{2g\gamma_t}) p_{\gamma_t}(\gamma_t) d\gamma_t \quad (32)$$

나카가미-m 분포함수를 적용하고^[7] 위의 식(29)을 식(31)에 대입하여 풀면 다음과 같다.

$$P_b(E) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^\infty \int_0^{\gamma_1} 6p_\gamma(\gamma_1)p_\gamma(\gamma_2) \cdot \frac{\gamma(m, \frac{m\gamma_2}{\gamma})}{\Gamma(m)} \exp\left(-\frac{g(\gamma_1 + \gamma_2)}{\sin^2 \phi}\right) d\gamma_2 d\gamma_1 d\gamma_\phi \quad (33)$$

3.3 Hybrid SC/MRC(2/4) 수신 신호의 접합 평균 BER 계산

논문에서의 $L_c=2$ 와 $L=4$ 의 접합 확률은 (33)식으로 정의된다^[8].

$$p_{\gamma_1, \gamma_2}(\gamma_1, \gamma_2) = 12p_\gamma(\gamma_1)p_\gamma(\gamma_2) \frac{\gamma(m, \frac{m\gamma_2}{\gamma})}{\Gamma(m)}, \quad \gamma_1 \geq \gamma_2 (L_c=2, L=4) \quad (34)$$

$L_c=2$ 와 $L=4$ 인 경우의 평균 BER 최종 식은 다음과 같다.

$$P_b(E) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^\infty \int_0^{\gamma_1} 12p_\gamma(\gamma_1)p_\gamma(\gamma_2) \cdot \left[\frac{\gamma(m, \frac{m\gamma_2}{\gamma})}{\Gamma(m)}\right]^2 \exp\left(-\frac{g(\gamma_1 + \gamma_2)}{\sin^2 \phi}\right) d\gamma_2 d\gamma_1 d\gamma_\phi \quad (35)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 다중 경로 나카가미-m 페이딩 환경에서 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 수신 Multi-Carrier DS-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 주요한 파라미터는 레이크 수신기의 브랜치 수(L)와 다중 경로 수 (L_p), 사용자수(K), 부반송 파수(U), 그리고 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 선택 가지 수 (L_c), 나카가미 페이딩 지수(m)을 고려하였다. 시스템의 성능분석을 위해 BPSK 변조를 사용하였으며 기본 경로 수 (L_1)는 32, 확산이득 $N_1 = 128$, MC/DS-CDMA에서의 다중 반송파 수 (M)에 변화를 주어 시스템을 비교·분석하였다.

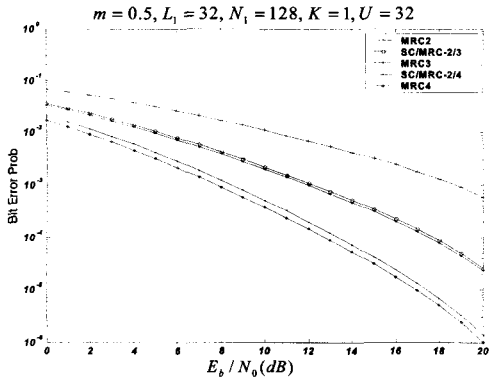


그림 2. $m=0.5, L_1=32, N_1=128, K=1, U=32$ 일 경우의 $P(e)$

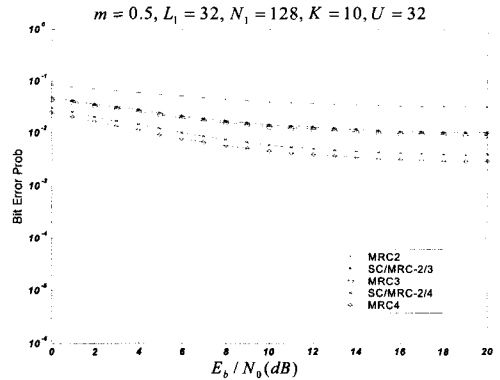


그림 4. $m=0.5, L_1=32, N_1=128, K=10, U=32$ 일 경우의 $P(e)$.

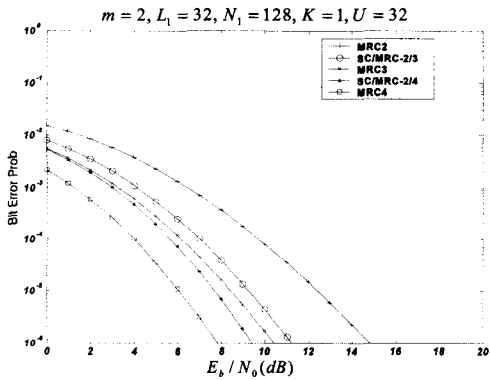


그림 3. $m=2, L_1=32, N_1=128, K=1, U=32$ 일 경우의 $P(e)$

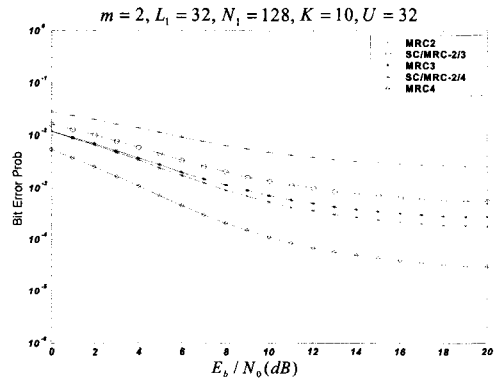


그림 5. $m=2, L_1=32, N_1=128, K=10, U=32$ 일 경우의 $P(e)$

그림2와 그림3은 기준 사용자만이 고려된 경우에 대하여 통신 환경이 열악하다고 고려되는 페이딩 지수(m)가 0.5인 경우에 대한 경우와 통신 환경이 양호하다고 고려되는 페이딩 지수(m)가 2인 경우에 대하여 분석한 결과이다. 분석 결과에서 보는 바와 같이 통신 환경이 양호하다고 고려되어지는 경우 MRC-4 방식과 Hybrid SC/MRC-2/4 방식이 10^{-4} 인 경우 2dB 정도의 비교적 큰 성능 차이를 보임을 알 수 있지만 두 경우 모두 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다. 따라서 어떠한 방식을 사용하든 우리가 원하는 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 통신환경이 열악한 경우 MRC-4 방식과 Hybrid SC/MRC-2/4 방식의 성능 차가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 통신 환경에 상관없이 Hybrid SC/MRC 방식으로 MRC 방식을 대체하더라도 시스템에 문제가 없음을 알 수 있다.

그림4와 그림 5에서는 페이딩 지수(m)가 0.5인 경우와 2인 경우에 사용자가 10명인 경우에 대한 성능 분석을 한 것이다. 사용자가 10명일 경우에도 기준 사용자를 사용한 경우와 동일한 결과를 나타낼 수 있다. 즉, 통신 환경이 양호하다고 고려되어지는 경우 MRC-4 방식과 Hybrid SC/MRC-2/4 방식이 10^{-4} 인 경우 2dB 정도의 비교적 큰 성능 차이를 보임을 알 수 있지만 두 경우 모두 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다. 따라서 어떠한 방식을 사용하든 우리가 원하는 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 통신환경이 열악한 경우 MRC-4 방식과 Hybrid SC/MRC-2/4 방식의 성능 차가 거의 없음을 알 수 있다. 사용자가 많아짐에 따라 통신 환경이 어떠한 경우라도 성능이 좋지 않음을 알 수 있지만 이는 다른 변수를 조정함으로써 개선시킬 수 있을 것이고 Hybrid SC/MRC 방식으로 MRC 방식을 대체하는 데는 문제가 없음을 알 수 있다.

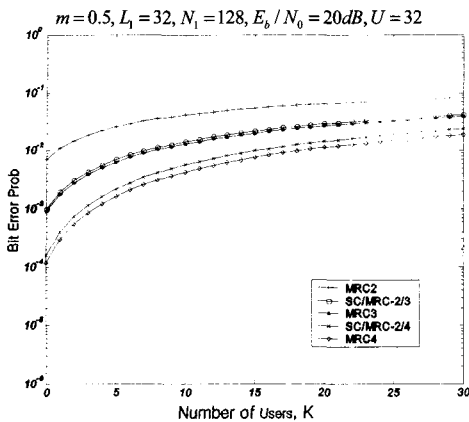


그림 6. $m=0.5, L_1=32, N_1=128, E_b/N_0=20\text{dB}, U=32$ 일 경우의 $P(e)$

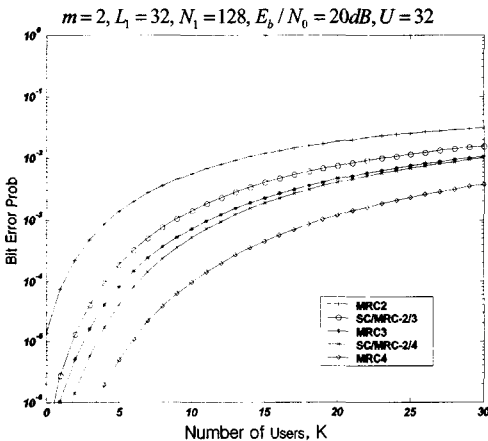


그림 7. $m=2, L_1=32, N_1=128, E_b/N_0=20\text{dB}, U=32$ 일 경우의 $P(e)$

그림 6과 그림7은 페이딩 지수(m)이 2인 경우와 0.5인 경우에 대하여 사용자 수에 따른 분석하였다. 사용자 수가 증가함에 따라 성능 곡선이 올라감을 알 수 있으며 주어진 변수에서 적당한 사용자의 수를 파악할 수 있으며 Hybrid SC/MRC-2/4 방식의 경우와 MRC-4 방식의 경우를 비교하면 페이딩 지수(m)가 2인 경우 성능의 차가 다소 있지만 모두 우수한 성능을 보이고 있으며 페이딩 지수(m)가 0.5인 경우 우수한 성능을 보이지만 두 방식의 차가 거의 없음을 알 수 있다. 위의 분석 결과는 MC-DS/CDMA 시스템에서 통신 환경이 어떠한 경우라도 Hybrid SC/MRC방식을 MRC방식으로 대체 할 수 있는 것임을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 나카가미 페이딩 환경에서 Multi-Carrier DS-CDMA 시스템에서의 일반적인 MRC 다이버시티와 하이브리드 SC/MRC 다이버시티의 성능을 비교·분석하였다.

분석결과 Multi-Carrier DS-CDMA 시스템에서 $L=3$ 이고 $L_c=2$ 인 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 수신기는 $L=2$ 일 때의 MRC 다이버시티 보다는 성능이 우수하지만 $L=3$ 일 때의 MRC 다이버시티보다는 성능이 떨어진다. 그러나 환경이 열악해질수록 MRC-3과 하이브리드 SC/MRC-2/3의 성능이 비슷해지며 MRC-4와 하이브리드 SC/MRC-2/4인경우도 유사한 성능을 가진다.

따라서, MC/DS-CDMA 광대역 시스템에서는 하드웨어의 복잡성, 소프트웨어의 간결성 및 성능과 경제성을 고려 시 하이브리드 SC/MRC 다이버시티 수신 방식이 더 효율적임을 알 수 있었다. 또한 브랜치 수가 많아질수록 성능이 향상되어 짐을 알 수 있었으며 브랜치 수가 많아질수록 수신 시 선택의 폭이 커짐으로 지연확산을 줄일 수 있었다. 따라서 선택된 다이버시티(L_c)는 입력 다이버시티 (L)의 배수만큼 가지이득을 가지므로 경로수를 줄이면서 동일한 이득을 얻는 Hybrid SC/MRC 다이버시티를 적용한 Multicarrier DS-CDMA 시스템이 앞으로의 음성이나 데이터, 영상 등의 다양한 서비스를 제공하기 위한 차세대 멀티미디어 시스템에 적합한 방식이라 사료된다.

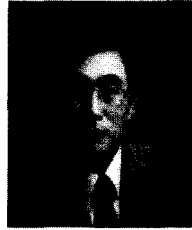
참고 문헌

- [1] Shiro Kondo, Laurence B. Milstein "Performance of Multicarrier DS-CDMA Systems," IEEE Trans. Commun., vol. 44, No. 2, Feb, 1996.
- [2] D.Brennan, " Linear diversity combining technique," proc. IRE, vol47, pp. 1075-1102, June 1959
- [3] Lie-Liang Yang, Lajos Hanzo, "Performance of Generalized Multicarrier DS-CDMA Over Nakagami- m Fading Channels" IEEE Trans. Commun.,vol 50, No.6 2002
- [4] M.B Pursley,"Performance evaluation for phased-coded spread-spectrum multiple-access systems," IEEE trans. commun, pp795-799, Aug,1977

- [5] Lie-Liang Yang, Lajos Hanzo, " Performance of Generalized Multicarrier DS-CDMA Using Various Chip Waveforms," IEEE Trans. Commun., vol 51, No.5 2003
- [6] MarvinK. Simon, Moharred-Sim Aiouini, Digital Communication over Fading Channels, 1rd ed. New York, John wiley & Sons,INC, 2000
- [7] T.Eng, L.B.Milstein, " Coherent DS-CDMA Performance in Nakagami multipath fading," IEEE Trans. Commun, vol.43, pp.1134-1143
- [8] Mohamed-slim Alouini, Marvin K. Simon, "Performance of Coherent Receivers with Hybrid SC/MRC over Nakagami-m Fading Channels," IEEE Trans. Commun, vol.48, pp.1155-1164
- [9] J.G. Proakis, Digital Communications, 3rd ed. New York, McGraw-Hill, 1995
- [10] Minoru Nakami, "The m-Distribution-A General Fomular of Intensity Distribution of Rapid Fading," Symposium Publications Division, Pergamon, 1960.

박진수(Jin-Soo Park)

정회원



1975년 : 한양대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1977년 : 한양대학교 대학원
전자통신과 졸업(공학석사)
1985년 : 한양대학교 대학원
전자통신과 졸업(공학박사)
1978년~현재 : 청주대학교

정보통신공학부 교수
1999년~현재 : 청주대학교한국과학재단지정
정보통신연구센터 소장
<관심분야> 디지털 이동 통신, 부호이론, 대역확산
통신, Multimedia 통신, 영상통신

김원섭(Won-Sub Kim)

정회원



1999년 : 청주대학교
전자공학과 졸업(공학사)
2001년 : 청주대학교
전자공학과 (공학석사)
2004년 : 청주대학교
전자공학과 박사수료
2000년 4월~2004년 2월 :

한국과학재단지정 정보통신연구센터 기술연구원
2004년 3월~현재 : 라인전자 연구개발팀 팀장
<관심분야> 디지털 이동 통신, 부호이론,
대역확산 통신, Multimedia 통신, 영상통신