

동기복조 방식의 W-CDMA 시스템을 위한 그룹단위 직렬간섭제거(GSIC) 알고리즘의 성능해석

Performance Analysis of Groupwise Serial Interference Cancellation(GSIC) for W-CDMA System with Coherent Detection

구 제 길* · 최 형 진**

Je-Gil Koo* · Hyung-Jin Choi**

요 약

본 논문은 동기복조 방식의 그룹단위 직렬 교차 간섭제거(GSCIC : Groupwise serial cross interference cancellation) 알고리즘을 제안하고, 기존 GSBIC (Groupwise serial block interference cancellation) 알고리즘과 함께 다중경로 페이딩 채널에서 단위 셀 비동기 W-CDMA 시스템 역방향 링크에 적용하여 해석하였다. 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘(GSIC : Groupwise serial interference cancellation)은 일반적으로 그룹단위 직렬 블록 간섭제거(GSBIC)알고리즘과 그룹단위 직렬 교차 간섭제거(GSCIC)알고리즘으로 나눌 수 있다. 본 논문에서 GSCIC 제안 알고리즘은 기존 GSBIC 알고리즘을 개선한 것이다. 다중경로 페이딩 채널에서 GSBIC와 GSCIC 알고리즘 성능을 기존 직렬 간섭제거 알고리즘(SIC)과 비교하였다. 성능비교 결과 GSCIC 알고리즘은 감소인자 R_f 에 따라 GSBIC 알고리즘보다 우수한 성능을 얻었고, 직렬 간섭제거 알고리즘과 비슷한 성능을 얻었다. 한편, GSBIC와 GSCIC 알고리즘은 시스템 처리 능력에 따라 그룹 내 사용자 수를 가변하면서 성능을 쉽게 분석할 수 있는 장점을 갖고 있다.

Abstract

This paper proposes the groupwise serial cross interference cancellation(GSCIC) algorithm for coherent detection and analyzes the groupwise serial block interference cancellation(GSBIC) and GSCIC algorithm for an asynchronous wideband DS-CDMA system in a single cell over multipath fading channels. In general, the GSIC algorithm can be grouped into two classes: i.e., GSBIC and GSCIC algorithm. In this paper, the proposed GSCIC algorithm is to improve the performance of the GSBIC algorithm. We compare the performance of the GSCIC and existing GSBIC algorithm in a multipath fading channel to that of the existing SIC algorithm. As a result, the performance of GSCIC algorithm is somewhat better compared with the GSBIC algorithm according to reduction factor R_f and is similar to that of the SIC algorithm. And also, the GSBIC and GSCIC algorithms have the advantage that it can be analyzed system performance easily, changing the number of users within a user group according to system capacity.

I. 서 론

DS-CDMA 시스템은 셀내의 동일한 주파수 대역에서 다수의 사용자가 존재함에 따라 다른 사용자

*용인송담대학 디지털전자정보과(Dept. of Digital Electronics & Information Eng., Yong-In Song Dam College)

**성균관대학교 전기·전자 및 컴퓨터공학부(Comsys Lab, School of Electrical and Computer Eng., Sung Kyun Kwan University)

· 논문번호 : 20001016-116

· 수정완료일자 : 2001년 3월 5일

에 의한 다중 접속 간섭(MAI : multiple access interference)이 발생한다. 이 다중 접속 간섭은 일종의 간섭신호로 작용하여 사용자 수가 증가할수록 급증하여 시스템 성능을 저하시킨다. 이러한 성능저하 요인을 극복하기 위한 방법으로 다중 사용자 검출(multi-user detection) 기술이 연구되어 왔다.

다중 사용자 검출 방식은 최적방식^[1]과 준 최적방식으로 발전되어 왔으며, 구현 복잡도 때문에 준 최적방식이 보다 실현 가능성이 높은 것으로 연구되었다. 준 최적방식에서 기존 직렬 간섭제거(SIC : serial interference cancellation) 알고리즘^{[2]-[4]}은 복잡도가 상대적으로 낮은 반면, 셀내의 사용자가 많을 경우 전체 처리 지연이 큰 것이 단점이다. 따라서 일정한 그룹의 사용자 신호만을 처리하여 전체적인 시스템 성능을 개선시키려는 그룹단위 직렬 간섭제거(GSIC : groupwise serial interference cancellation)^[5]이 제안되었다. 그런데 GSIC 알고리즘은 그룹내의 다른 사용자간 간섭이 제거되지 않기 때문에 일종의 그룹단위 직렬 블록 간섭제거(GSBIC : groupwise serial block interference cancellation) 알고리즘으로 볼 수 있다. GSBIC 알고리즘 성능은 그룹내의 사용자 수를 늘릴수록 성능 저하가 커지는 단점을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 동기복조 방식의 비동기 W-CDMA 시스템 역방향 링크에 GSBIC 알고리즘을 적용하여 다중경로 채널에서 다시 해석하고 성능을 평가하였으며, GSBIC 알고리즘의 단점을 개

선하기 위해 그룹내에서 다른 사용자 간섭을 제거하는 그룹단위 직렬 교차 간섭제거(GSCIC : Groupwise serial cross interference cancellation) 알고리즘을 제안하고 성능을 비교 평가하였다.

본 논문의 구성은 I장의 서론에 이어서, II장에서는 직렬 간섭제거를 위한 시스템 모델을 제시하였다. III장에서는 본 논문에서 접근한 시스템 모델에 따른 직렬 간섭제거 해석을 기술하였다. IV장에서는 III장에서 해석한 직렬 간섭제거의 성능을 수치 분석하였다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결과를 종합하여 결론을 맺었다.

II. 시스템 모델

본 논문은 비동기 W-CDMA 시스템의 역방향 링크 규격^[9]을 따른 단위 셀을 적용한다. 따라서 k -번째 사용자에게 대한 송신기 모델은 그림 1과 같다. BPSK 데이터 채널과 제어채널을 각각의 채널부호 $b_{ch}^d(t)$ 와 $b_{ch}^c(t)$ 으로 확산시킨 다음, k -번째 사용자의 칩 주기 T_c 를 갖는 I-와 Q-채널의 스크램블 부호 $a_k^{I/Q}(t) (= \sum_{n=1}^N a_{k,n}^{I/Q} p(t-nT_c))$ 로 최종 확산시켜 송신신호 $s_k(t)$ 를 발생한다.

펄스정형 필터의 임펄스 응답 $p(t)$ 는 칩(chip) 구간동안 단위 직각 펄스로 가정한다. 그리고 $d_k(t)$ 는 역방향 링크 물리채널중 고정할당 물리채널(DPCH : dedicated physical channel)의 데이터 채널인

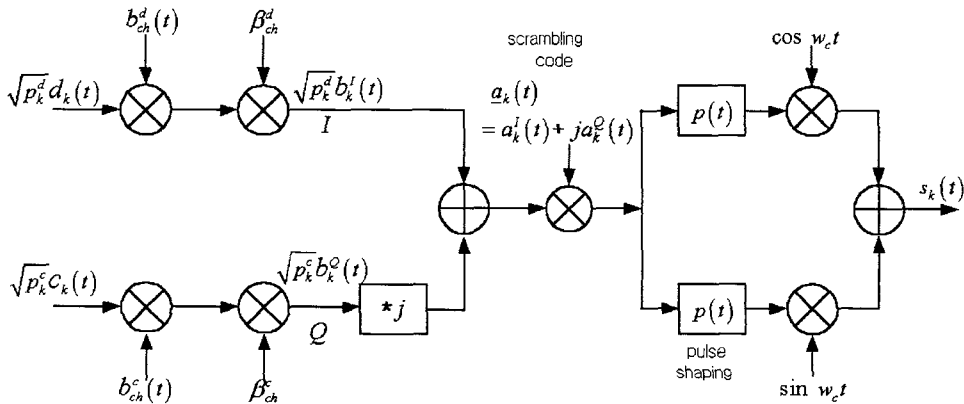


그림 1. 역방향 링크 송신기 모델

Fig. 1. Transmitter model of reverse link.

DPDCH 신호를 나타내고, $c_k(t)$ 는 제어 채널인 DPCCH 신호를 나타낸다. P_k^d 와 P_k^c 는 k -번째 사용자의 데이터 채널 및 제어 채널 전력을 나타낸다. 또한 $b_k^{I/Q}(t)$ 는 비트주기 T 를 갖는 k -번째 사용자의 데이터 채널 및 제어 채널의 이진 데이터 열을 나타내며, 각각 $b_k^I(t) = \beta_{ch}^d d_k(t) b_{ch}^d(t)$ 와 $b_k^Q(t) = \beta_{ch}^c c_k(t) b_{ch}^c(t)$ 와 같다. β_{ch}^d 와 β_{ch}^c 는 각각 데이터 채널과 제어 채널 이득을 나타내고, $N (\equiv T/T_c)$ 은 처리 이득을 의미한다.

한편, 전체 K 명의 사용자 신호가 저속 레일레이 페이딩 채널환경에서 서로 다른 지연을 갖는 P 개의 다중경로를 통해 수신기에 입력된다고 가정한다. 그리고 수신되는 k -번째 사용자의 송·수신기간 페이딩 채널의 저역통과 등가 임펄스 응답을 식 (1)과 같이 정의한다.

$$h_k(t) = \sum_{l=1}^P a_k^l \delta(t - \tau_k^l) e^{j\theta_k^l} \quad (1)$$

여기서 $\delta(\cdot)$ 는 Dirac 임펄스 함수를 나타내고, l 은 P 개의 전송경로 중 l -번째 경로를 나타낸다. 전체 P 개의 경로 중 L 개의 경로 신호만을 복조할 수 있다고 가정하고 L 개의 경로중 l -번째 경로를 l_T 라고 한다. a_k^l 는 k -번째 사용자 신호의 l -번째 경로이득을 나타내며, 평균 경로전력이 $E[(a_k^l)^2] \equiv 2\rho$ 인 레일레이 확률분포로 가정한다. k -번째 사용자 신호의 l -번째 경로위상 θ_k^l 은 $[0, 2\pi)$ 에서 균일분포를 가진다고 가정한다. 그리고 τ_k^l 는 k -번째 사용자의 l -번째 경로에 대한 비동기 전송지연을 나타내며, $[0, T)$ 사이에서 균일분포를 가진다고 가정한다.

따라서 전체 K 명의 수신 신호가 P 개의 다중 경로를 통한 경로지연 및 위상이동에 의한 신호의 조합 형태로 수신기에 입력된다.

III. 그룹단위 직렬 간섭제거 (GSIC) 알고리즘

GSIC(groupwise serial or successive interference cancellation) 알고리즘^[5]은 R. Prasad가 제안한 것으로 일종인 그룹단위 직렬 블록 간섭제거 (GSBIC)

알고리즘으로 볼 수 있다. 이것은 그룹내의 사용자 간 간섭제거가 이루어지지 않기 때문이며, 그룹을 크게 할수록 성능이 저하된다. 본 논문에서는 그룹 단위 직렬 블록 간섭제거 (GSBIC) 알고리즘과 GS-BIC 알고리즘을 개선한 그룹단위 직렬 교차 간섭제거 (GSCIC) 알고리즘을 제안하여 성능을 해석하고 기존 알고리즘과 비교 분석하였다.

직렬 간섭제거에 의한 다중 사용자 신호 검출은 이상적인 샘플링에 의해서 얻은 신호를 스크램블 부호와 채널 부호로 차례대로 역확산시켜서 구한다. 일반적으로 k -번째 사용자의 l -번째 경로에 있어서 l -채널 성분과 Q -채널 성분의 샘플링 신호에 대한 복소 역확산 신호는 식 (2)~(5)와 같이 4가지 성분 즉, $y_k^{II}(l)$, $y_k^{IQ}(l)$, $y_k^{QI}(l)$ 및 $y_k^{QQ}(l)$ 로 나눌 수 있다. 각 사용자의 신호를 검출하기 전에 전체 사용자 신호를 신호전력이 가장 큰 신호부터 내림차순으로 정렬되어 있다고 가정한다. 그리고 전력순대로 정해진 사용자 수를 묶어 하나의 그룹으로 나누고 그룹내 사용자들의 순서는 전체 사용자를 전력 내림차순으로 전력순 정렬(power ranking)할 때 정해진 순서를 따른다고 가정한다. 따라서 가장 큰 신호인 첫 번째 사용자 신호부터 신호를 검출한다.

$$y_k^{II}(l_T) = d_{k-1}^I \cdot a_k^I(t - \tau_k^{l_T}) \cos \phi_k^{l_T} \quad (2)$$

$$y_k^{QI}(l_T) = d_{k-1}^Q \cdot (-)a_k^I(t - \tau_k^{l_T}) \sin \phi_k^{l_T} \quad (3)$$

$$y_k^{IQ}(l_T) = d_{k-1}^I \cdot (-)a_k^Q(t - \tau_k^{l_T}) \cos \phi_k^{l_T} \quad (4)$$

$$y_k^{QQ}(l_T) = d_{k-1}^Q \cdot a_k^Q(t - \tau_k^{l_T}) \sin \phi_k^{l_T} \quad (5)$$

이상과 같이 구한 역확산 신호 식 (2)와 식 (3)을 합함으로써 l -채널 성분 $y_k^I(l_T)$ 을 구하고, 역확산 신호 식 (4)와 식 (5)를 합함으로써 Q -채널 성분 $y_k^Q(l_T)$ 을 구할 수 있다. 여기서 각 사용자의 경로 위상은 채널추정을 통해 정확히 검출한다고 가정한다.

k -번째 사용자의 역확산 신호성분 $y_k^I(l_T)$ 와 $y_k^Q(l_T)$ 을 재 확산시켜 이상적인 샘플링 신호인 $d_{k-1}^{I/Q}(t)$ 에서 제거함으로써 다른 사용자의 간섭신호를 제거한다. 이와 같은 과정을 반복함으로써 차례대로 다중 사용자의 간섭제거를 직렬로 수행한다.

3-1 그룹단위 직렬 블록 간섭제거 (GSBIC) 알고리즘

GSBIC 알고리즘은 그림 2와 같이 3명의 사용자 신호를 하나의 그룹으로 구성한 R. Prasad의 GSIC 알고리즘을 일반화한 것이다. 각 사용자 그룹에서 간섭제거 장치(IRU : Interference replica unit)는 상위 전력을 갖는 사용자 그룹의 간섭신호들이 제거된 상태에서 각각의 사용자 신호를 검출하고 재확산을 통해 신호를 재생해서 동일 그룹내의 사용자 재생 신호들과 함께 나머지 신호 총합에서 제거하는 개념이다. 그런데 GSBIC 알고리즘은 각 그룹내에서 사용자 신호간 간섭 제거가 이루어지지 않는다. 따라서 그룹의 사용자 수가 크면 서로 제거되지 않는 간섭 성분이 증가되어 성능이 저하된다.

그림 2의 블록도에서 h -번 직렬 간섭제거 후, $(h+1)$ -번째 사용자의 I -채널 역확산 신호는 식 (6)과

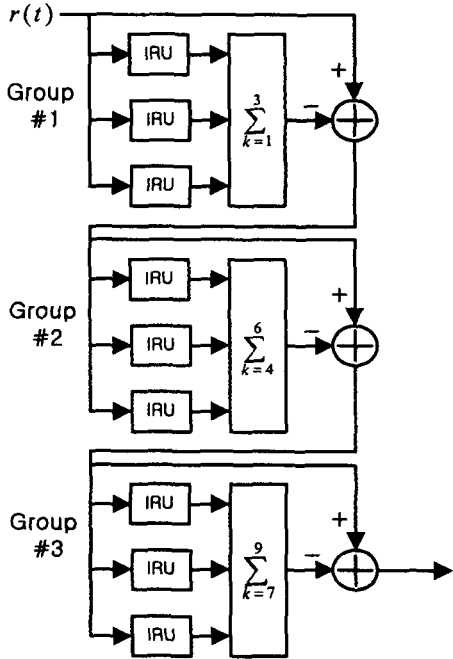


그림 2. 3명의 사용자 그룹을 갖는 GSBIC 알고리즘 블록도

Fig. 2. Block diagram of GSBIC algorithm for 3 user group.

같다. 여기서 그룹 단위로 사용자가 줄어드는 감소 인자(Reduction factor)를 R_f 로 정의한다.

$$y_{h+1}^I(l_T) = \frac{1}{2} \alpha_{h+1}^{I_r} \sqrt{P_{h+1}^d} b_{h+1}^I(t - \tau_{h+1}^{I_r}) + \frac{1}{2} C_{h+1}^I(l_T)_{GSBIC} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} C_{h+1}^I(l_T)_{GSBIC} = & S_{h+1, h+1}^I(l_T)_{GSBIC} \\ & + I_{h+1, h+1}^I(l_T)_{GSBIC} + I_{h+1}^I(l_T)_{GSBIC} \\ & + N_{h+1}^I_{GSBIC} + \sum_{i=1}^h R_i^I_{GSBIC} \\ & - \sum_{i=1}^h [C_{i, GS BIC}^I I_{i, h+1}(\tau_{i, h+1}) \cos(\phi_i^{I_r}) \\ & - C_{i, GS BIC}^Q I_{i, h+1}(\tau_{i, h+1}) \cos(\phi_i^{I_r} - \phi_{h+1}^{I_r})] \\ & - \sum_{i=1}^h [C_{i, GS BIC}^I I_{i, h+1}(\tau_{i, h+1}) \sin(\phi_i^{I_r} - \phi_{h+1}^{I_r}) \\ & + C_{i, GS BIC}^Q I_{i, h+1}(\tau_{i, h+1}) \sin(\phi_i^{I_r} - \phi_{h+1}^{I_r})] \end{aligned} \quad (7)$$

그리고 식 (7)에서 $S_{h+1, h+1}^I(l_T)_{GSBIC}$, $I_{h+1, h+1}^I(l_T)_{GSBIC}$, $I_{h+1}^I(l_T)_{GSBIC}$, $N_{h+1}^I_{GSBIC}$ 및 $\sum_{i=1}^h R_i^I_{GSBIC}$ 신호는 각각 직교성분에 의한 자기 간섭(self interference) 성분, $(h+1)$ -번째 사용자의 제거되지 않는 다중경로에 의한 간섭성분, $(h+2)$ -번째 이후의 나머지 사용자의 다중 접속 간섭 성분, 백색 가우시안 잡음(AWGN) 성분, h -번째까지 제거되지 않는 다중 경로에 의한 간섭성분 및 h -번째까지의 불완전한 간섭제거에 의한 간섭성분을 나타낸다. 또한 $A_k^I = \alpha_k^I \sqrt{P_k^d} b_k^I(t - \tau_k^I)$, $B_k^I = \alpha_k^I \sqrt{P_k^c} b_k^Q(t - \tau_k^I)$ 를 나타낸다. $C_{i, GS BIC}^{I/Q}$ 는 I -채널과 Q -채널의 역확산 신호에서 첫 번째 사용자의 간섭과 잡음신호 성분의 총합을 나타낸다. 식 (7)에서 $I_{i, k}(\tau_{i, k}(l, l_T))$ 는 상호 상관항을 나타내며 식 (8)과 같이 정의한다.

$$I_{i, k}(\tau_{i, k}(l, l_T)) = \frac{1}{T} \int_0^T a_i^{I/Q}(t - \tau_i^I) a_k^{I/Q}(t - \tau_k^{I_r}) dt \quad (8)$$

그리고 비동기 채널에서 $I_{i, k}(\tau_{i, k}(l, l_T))$ 의 분산 값은 식 (9)와 같이 주어진다^[2].

$$Var[I_{i, k}(\tau_{i, k}(l, l_T))] = \frac{2}{3N} \quad (9)$$

h -번 직렬 간섭제거 후, $(h+1)$ -번째 사용자의 I -채널과 Q -채널 잡음 분산값은 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} \eta_{h+1}^{I, GSBIC} &= \eta_{h+1}^{Q, GSBIC} = \frac{N_o}{4} \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{l=1, l \neq l_T}^P E[(\alpha_{h+1}^l)^2] (P_{h+1}^d + P_{h+1}^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{k=1}^K \sum_{R_l \mid R_{l+1}} E[(\alpha_k^l)^2] (P_k^d + P_k^c) \\ &- \frac{2}{3N} \sum_{l=1}^{h+1} E[(\alpha_{h+1}^{l_T})^2] (P_{h+1}^d + P_{h+1}^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{h}{R_l} \rfloor R_l} \sum_{l=L+1}^P E[(\alpha_i^l)^2] (P_i^d + P_i^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{h}{R_l} \rfloor R_l} [L \eta_{i,n}^I(l_T) + L \eta_{i,n}^Q(l_T)] \quad (10) \end{aligned}$$

식 (10)에서 네 번째 항은 그룹 내에서 해당 사용자 신호의 중복 제거를 고려하여 나머지 사용자 신호에서 빼준 것이다.

3-2 그룹단위 직렬 교차 간섭제거 (GSCIC) 알고리즘

GSBIC 알고리즘은 전체 사용자의 간섭제거를 일정한 그룹단위로 수행함으로써 성능에 대한 구현 이점을 얻을 수 있는 반면, 그룹의 사용자 수가 증가하면 성능이 저하되는 단점이 존재한다. GSCIC 알고리즘은 그룹내 타 사용자 간섭을 차례대로 제거하여 GSBIC 알고리즘 단점을 개선하기 위한 알고리즘이다. 이것을 확장하면 일반적인 직렬 간섭제거(SIC) 알고리즘과 동일한 성능을 얻는다. 그러나 일반 SIC 알고리즘과의 차이점은 성능과 구현 복잡도를 고려하여 시스템 성능목표에 따라 간섭제거를 위한 사용자 수를 임의의 그룹으로 나누어서 다양하고 쉽게 간섭제거 알고리즘을 해석하고 성능을 평가할 수 있다는 점이다.

GSCIC 알고리즘의 블록도는 그림 3과 같다. GSBIC 알고리즘과 마찬가지로 각 사용자 그룹을 3명의 사용자로 나누어 구성한 것이다. 각 사용자 그룹에서 간섭제거 장치(IRU)는 GSBIC 알고리즘의 블록도 기능과 동일하다. 각 그룹 또는 그룹간 사용자 신호들의 간섭제거는 직렬 간섭제거 알고리즘

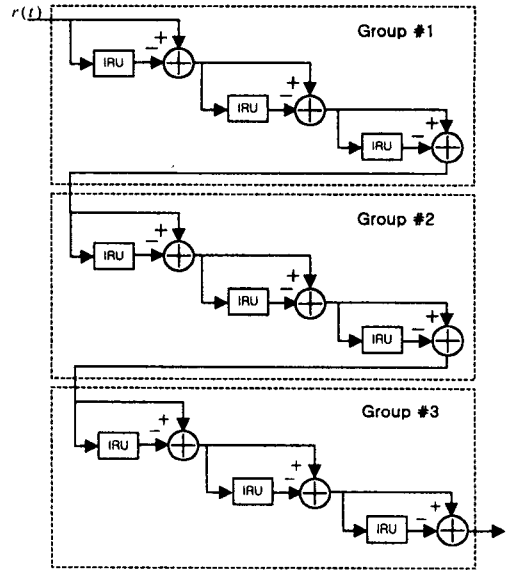


그림 3. 3명의 사용자 그룹의 GSCIC 알고리즘 블록도

Fig. 3. Block diagram of GSCIC algorithm for 3 user group.

개념과 동일하게 큰 신호 전력 사용자부터 이루어진다.

GSCIC 알고리즘에서 h -번 직렬 간섭제거 후, $(h+1)$ -번째 사용자의 I -채널과 Q -채널 잡음 분산값은 식 (11)과 같다. 마찬가지로 R_l 를 그룹단위의 감소인자로 정의한다.

$$\begin{aligned} \eta_{h+1}^{I, GSCIC} &= \eta_{h+1}^{Q, GSCIC} = \frac{N_o}{4} \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{l=1, l \neq l_T}^P E[(\alpha_{h+1}^l)^2] (P_{h+1}^d + P_{h+1}^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{k=1}^K \sum_{R_l \mid R_{l+1}} E[(\alpha_k^l)^2] (P_k^d + P_k^c) \\ &- \frac{2}{3N} \sum_{k=1}^{h+1} \sum_{R_l \mid R_{l+1}} E[(\alpha_{h+1}^{l_T})^2] (P_{h+1}^d + P_{h+1}^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{i=1, i \neq h+1}^{\lfloor \frac{h}{R_l} \rfloor R_{l+1}} \sum_{l=L+1}^P E[(\alpha_i^l)^2] (P_i^d + P_i^c) \\ &+ \frac{2}{3N} \sum_{i=1, i \neq h+1}^{\lfloor \frac{h}{R_l} \rfloor R_{l+1}} [L \eta_{i,n}^I(l_T) + L \eta_{i,n}^Q(l_T)] \quad (11) \end{aligned}$$

식 (10)과 동일하게 식 (11)의 네 번째 항은 그룹 내에서 해당 사용자 신호의 중복 제거를 고려하여 나머지 사용자 신호에서 빼준 것이다.

h -번 간섭제거 후, $(h+1)$ -번째 크기의 신호 전력을 갖는 사용자의 신호 대 잡음비(SNR : signal to noise ratio)는 식 (12)와 같다.

$$SNR_{h+1} = \frac{(a_{h+1}^{I_T})^2 P_{h+1}^d}{\eta_{h+1}} \quad (12)$$

여기서 BPSK 데이터 비트 발생확률이 동일하다고 가정할 때, h -번 간섭제거 후 $(h+1)$ -번째 사용자의 시불변 감쇄계수(경로이득) $\alpha_{h+1}^{I_T}$ 에 대한 조건 오류율은 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} P_{e,h+1}^I(\alpha_{h+1}^{I_T}) &= P\{y_{h+1}^I(l_T) < 0 \mid b_{h+1}^I = +1\} \\ &= P\{y_{h+1}^I(l_T) > 0 \mid b_{h+1}^I = -1\} \\ &= Q(\sqrt{SNR_{h+1}}) \end{aligned} \quad (13)$$

한편, 경로이득 $\alpha_{h+1}^{I_T}$ 가 불규칙할 때 오류율을 구하기 위해서는 $P_{e,h+1}^I(\alpha_{h+1}^{I_T})$ 를 레일레이 분포를 갖는 $\alpha_{h+1}^{I_T}$ 의 확률밀도함수 $p(\alpha_{h+1}^{I_T})$ 로 평균을 취해야 한다. 이렇게 얻은 평균 오류율은 식 (14)와 같다^[6].

$$\begin{aligned} P_e^I &= \int_0^\infty P_{e,h+1}^I(\alpha_{h+1}^{I_T}) p(\alpha_{h+1}^{I_T}) d\alpha_{h+1}^{I_T} \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{\frac{E[SNR_{h+1}]}{1 + E[SNR_{h+1}]}} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 $E[SNR_{h+1}]$ 은 SNR_{h+1} 의 평균값을 나타낸다.

이상과 같은 동일한 방법으로 Q-채널 평균 오류율을 구할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문은 비동기 W-CDMA 시스템 역방향 링크에서 개선된 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘 성능을 단위 셀에서 수치 해석하였다. 여기서 각 사용자의 전력은 내림차순으로 정렬되어 있고, 그룹내의 사용자 전력순서도 그룹을 나누면서 정렬된 순서를 그대로 유지한다고 가정한다. 또한 위상 추정이 완벽하다고 가정하고 부호화와 다기화 기법은 고려하

지 않는다. 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘 성능은 GSBIC과 GSCIC 알고리즘으로 나누어 평가하고 기존 직렬 간섭제거 알고리즘 성능과 비교하였다.

간섭제거 알고리즘의 성능분석을 위해서 하드웨어 구현 복잡도를 이용한다^{[7]-[8]}. 본 논문에서는 하드웨어 복잡도를 나타내는 간섭제거 지연을 기존 SIC와 GSBIC 알고리즘과 비교 분석하였다. 여기서 간섭제거 지연은 간섭제거를 위한 신호재생 및 간섭제거(regeneration and cancellation) 동작 횟수로 나타낸다. SIC, GSBIC 및 GSCIC 알고리즘들의 신호재생 및 간섭제거 동작 횟수 N_{RC} 는 각각 식 (15) 및 식 (16)과 같다.

$$N_{RC_{SIC}} = N_{RC_{GSIC}} = (K-1) \quad (15)$$

$$N_{RC_{GSCIC}} = \lfloor \frac{K}{R_f} \rfloor \quad (16)$$

여기서 K 는 다중 사용자 검출을 위한 전체 사용자 수를 나타내고, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 최소 정수값을 나타낸다.

식 (15)와 식 (16)의 N_{RC} 를 그림 4 및 그림 5와 같이 전체 사용자 수 K 와 그룹내 사용자 수 R_f 의 변수로 나타낸다. 그림 4와 같이 복잡도만을 고려할 경우 그룹내의 사용자 수가 증가할수록 GSBIC 알고리즘이 가장 뚜렷한 복잡도 개선을 얻을 수 있고, SIC와 GSCIC 알고리즘의 N_{RC} 는 선형적으로 증가한다. 따라서 간섭제거에 의한 평균 오류율 성능과 Trade-off에 의한 적절한 알고리즘 선택이 필요하다.

또한 간섭제거 복잡도를 줄이기 위한 방법으로 시스템의 필요 성능목표에 맞추어 간섭제거 단수를 줄이는 방법도 일반적으로 적용한다^[8]. 그림 5는 그룹내 사용자 수에 대한 알고리즘별 N_{RC} 를 나타낸다. 여기서 GSBIC 알고리즘은 그룹내에서 간섭제거가 이루어지지 않기 때문에 그룹내 사용자 수 R_f 가 증가함에 따라 N_{RC} 복잡도가 급격히 저하된다. 그러나 시스템내의 전체 사용자만큼 간섭제거를 수행하는 GSCIC 알고리즘은 일정한 N_{RC} 를 갖는다. 그런데 만족하는 간섭제거 성능목표에 따라 간섭제거 단을 7/10, 5/10 또는 3/10 등과 같이 줄임으로써 개선할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 동일한 전력('1')을 갖는 단일 경로에서

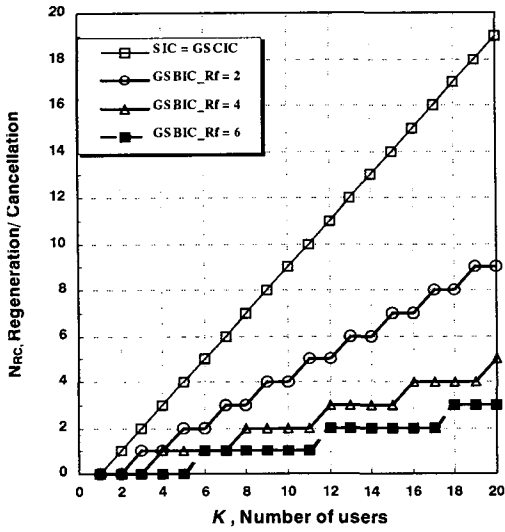


그림 4. 전체 사용자 수에 대한 신호재생 및 간섭제거(N_{RC}) 동작 횟수

Fig. 4. Signal regeneration and cancellation(N_{RC}) for total system users.

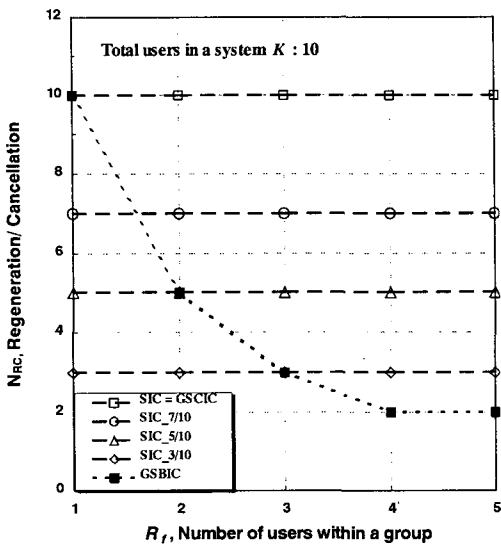
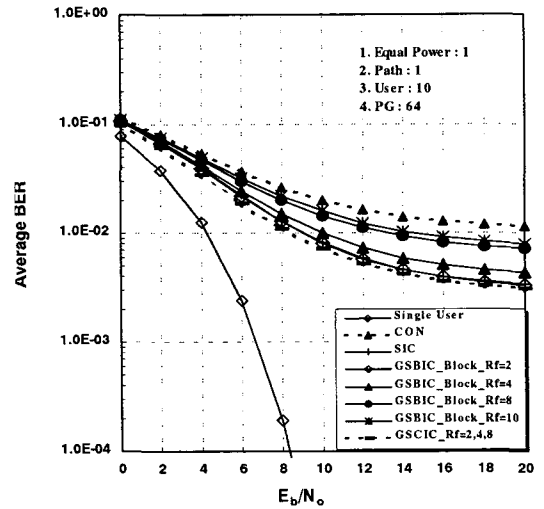


그림 5. 그룹내 사용자 수에 대한 신호재생 및 간섭제거(N_{RC}) 동작 횟수

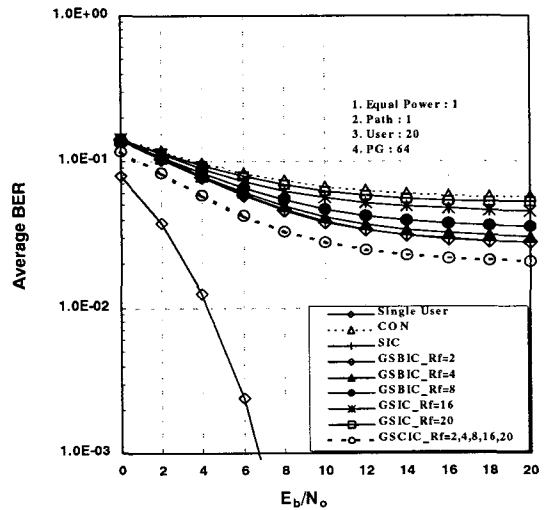
Fig. 5. Signal regeneration and cancellation(N_{RC}) for number of users within a group.

처리이득 PG=64, 사용자 10과 20에 대한 GSBIC와

GSCIC 알고리즘의 평균 오류율 성능을 나타낸 것이다. 사용자 10인 경우 GSCIC 알고리즘 성능은 R_f 의 변화에 대해 동일한 성능을 나타낸다. 이것은 그룹내에서 다른 사용자 신호 간섭을 서로 제거하기 때문이다. 또한 기존의 직렬 간섭제거(SIC) 알고



(a) 사용자 수 10



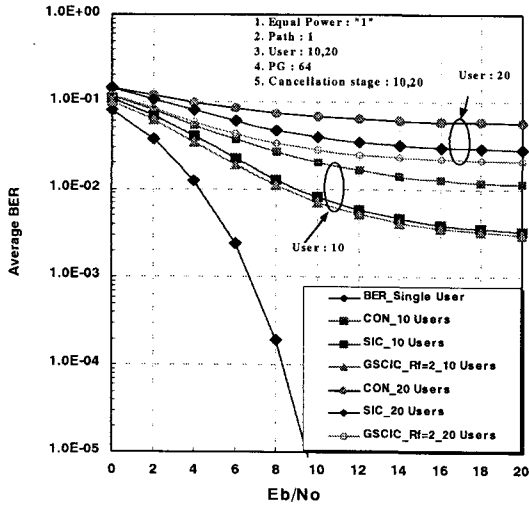
(b) 사용자 수 20

그림 6. 단일경로에서 GSBIC와 GSCIC 알고리즘의 평균 오류율 성능

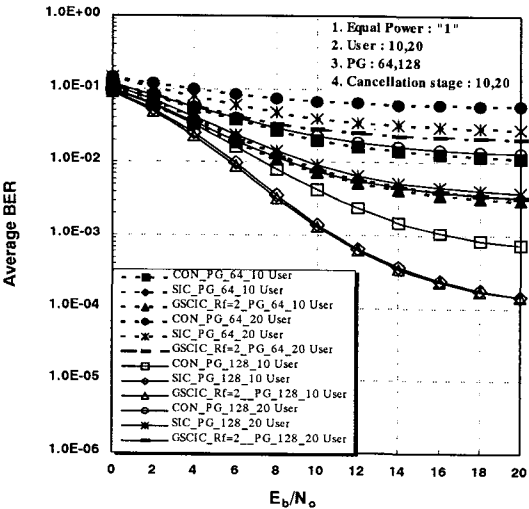
Fig. 6. Average BER performance of GSBIC and GSCIC algorithm for one path.

리즘 성능에 비해 근소하게 우수한 성능을 나타낸다.

그리고 GSBIC 알고리즘은 R_f 가 커짐에 따라 선형적으로 성능 열화가 발생한다. $R_f=2$ 인 GSBIC 알고리즘 성능은 직렬 간섭제거 알고리즘 성능에 근접한 결과를 나타낸다. 그리고 사용자 20인 경우



(a) PG : 64



(b) PG : 64, 128

그림 7. 단일경로에서 사용자 수와 PG에 대한 평균 오류율 성능

Fig. 7. Average BER performance of the number of users and PG for one path.

의 성능도 사용자 10인 경우의 성능과 유사한 결과를 보이고 있지만 전체적으로 평균 오류율 성능이 상승된 결과를 나타낸다. 이것은 사용자 수의 증가로 다른 사용자 간섭성분이 상대적으로 증가하기 때문이다.

그림 7은 단일경로에서 사용자 수와 처리이득(PG)에 대한 평균 오류율 성능을 나타낸다. 그림 7(a)와 같이 PG=64에서 사용자 10인 경우 직렬 간섭제거 알고리즘과 GSBIC 알고리즘 성능결과는 유사하다. 그러나 사용자가 20인 경우 다른 사용자 간섭성분의 증가로 성능차이가 커진다. 그림 7(b)에서는 처리이득이 64와 128인 경우의 성능을 나타낸다. 실선으로 나타낸 처리이득 128인 경우의 성능이 처리이득 64인 경우의 성능보다 크게 우수한 결과를 나타낸다.

한편, 그림 8은 단일경로의 레일레이 페이딩에 대한 평균 오류율 성능을 나타낸다. 레일레이 페이딩에 의한 성능 둔화가 뚜렷하고, 페이딩 환경에서의 성능 차이는 상대적으로 줄었음을 알 수 있다. 그리고 그림 9는 레일레이 페이딩 채널에서 단일경로와 3개 경로에 대한 평균 오류율 성능을 나타낸다. 3개 경로에서의 성능은 단일 경로의 성능보다

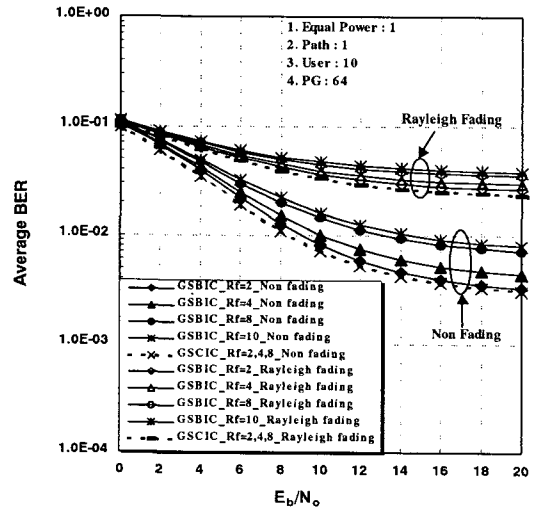


그림 8. 단일경로의 레일레이 페이딩 채널에 대한 평균 오류율 성능

Fig. 8. Average BER performance of Rayleigh fading channel for one path.

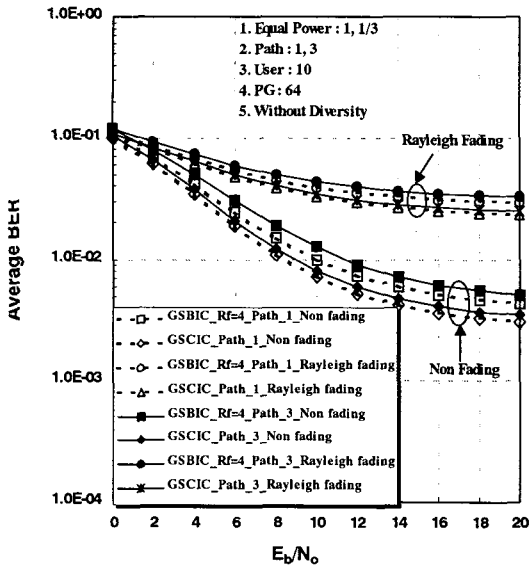


그림 9. 레일레이 페이딩 채널에서 단일경로와 3개 경로에 대한 평균 오류율 성능

Fig. 9. Average BER performance of one and three paths for Rayleigh fading channel.

BER = 1×10^{-2} 에서 약 2 dB 이상 저하된다. 이것은 다중화(diversity)를 고려하지 않는 시스템에서 다중 경로에 의한 간섭성분이 증가하기 때문이다. 또한 다중경로에 의한 것보다 레일레이 페이딩에 의한 성능 차이가 큼을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 W-CDMA 역방향 링크에 적용한 동기 복조 방식의 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘을 다중경로에서 해석하고 성능을 평가하였다. 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘은 직렬 간섭제거 알고리즘을 시스템 성능목표에 따라 융통성있게 구현하기 위한 접근으로 시스템 사용자를 일정한 그룹단위로 나누어 간섭제거를 수행하는 GSBIC와 GSCIC 알고리즘으로 나누어 성능을 해석하고 수치결과로 성능을 평가하였다. 성능비교 결과 GSCIC 알고리즘은 감소인자 R_f 에 따라 GSBIC 알고리즘보다 우수한 성능을 얻었으며, 직렬 간섭제거 알고리즘에 비해 커다란 성능개선은 얻지 못했지만, GSBIC와

GSCIC 알고리즘은 그룹내 사용자 수를 시스템 처리 능력에 따라 임의로 가변하면서 성능을 쉽게 해석하고 평가할 수 있는 장점을 갖고 있다.

일반적으로 직렬 간섭제거 알고리즘에 비해 그룹단위 직렬 간섭제거 알고리즘의 성능개선이 크지않는 것은 사용자 전력의 내림차순으로 간섭제거를 수행할 때, 큰 전력 사용자 신호의 간섭제거에 의한 오류율 성능이 상대적으로 작은 전력 사용자 신호의 오류율 성능보다 뒤지기 때문이다. 따라서 평균 오류율 성능을 개선하기 위해서는 큰 전력 사용자 신호의 오류율 성능을 개선하는 알고리즘 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] S. Verdú, "Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple-access channels," *IEEE Trans. on Information Technology*, vol. 32, no. 1, pp. 85-96, Jan., 1986.
- [2] P. R. Patel, and J. M. Holtzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA Systems," *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, vol. 12, no. 5 pp. 796-807, June, 1994.
- [3] L. M. A. Jalloul and J. M. Holtzman, "Performance analysis of DS/CDMA noncoherent M-ary orthogonal modulation in multipath fading channels," *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, vol. 12, no. 5 pp. 862-870, June, 1994.
- [4] A-L. Johansson and A. Svensson, "Successive interference cancellation in multiple data rate DS/CDMA systems," *Proceedings of IEEE VTC*, pp. 704-708, 1995.
- [5] F. Wijk, G. M. J. Janssen, and R. Prasad, "Groupwise successive interference cancellation in a DS/CDMA system," *Proceedings of IEEE PIMRC*, pp. 742-746, 1995.
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1995.
- [7] D. Koulakiotis and A. H. Aghvami, "Evaluation of a DS/CDMA multiuser receiver employing a

hybrid form of interference cancellation in Rayleigh-fading channels," *IEEE Communication Letters*, vol. 2, no. 3, pp. 61-63, March, 1998.

[8] D. Koulakiotis and A. H. Aghvami, "Hybrid interference cancellation a multiuser detection scheme for W-DS/CDMA systems," *Proceedings of IEEE ICT*, vol. 2, pp. 52-56, June, 1998.

[9] 3GPP, "Technical specifications of physical channels and mapping of transport channels onto physical channels(FDD)," Version 2.0, Apr., 1999.

[9] 3GPP, "Technical specifications of physical channels and mapping of transport channels onto physical channels(FDD)," Version 2.0, Apr., 1999.

구 제 길



1984년 2월: 성균관대학교 전자공학과(공학사)

1986년 2월: 성균관대학교 일반대학원 전자공학과(공학석사)

1996년 3월~2001년 2월: 성균관대학교 일반대학원 전자공학과 공학박사(Ph.D)

1986년 1월~1998년 1월: 삼성전자(주) 정보통신(본) 정보통신 및 CDMA 개발연구소 근무(선임연구원)

1998년 3월~현재: 용인송담대학 디지털전자정보과 교수
[주 관심분야] 디지털통신, 이동 및 무선통신, IMT-2000 CDMA 시스템 개발과 신호 처리기술

최 형 진



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)

1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사)

1976년 3월~1979년 7월 : 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(선임연구원)

1979년 9월~1982년 12월: 미국 University of Southern California 전기공학과 공학박사(Ph.D)

1982년 10월~1989년 2월: 미국 LinCom Corp. 근무(연구원)

1989년 3월~현재: 성균관대학교 전기·전자 컴퓨터공학부 정교수

[주 관심분야] 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술