

레이리 페이딩 채널에서 부분 SSPIC 다중사용자 검파기법을 적용한 DS-CDMA 시스템의 성능분석

Performance Analysis of a DS-CDMA System with Partial SSPIC Multiuser Detection Schemes in Rayleigh Fading Channel

이 현재 · 오 창 현* · 신 동 옥*

Hyun-Jae Lee · Chang-Heon Oh* · Dong-Uk Shin*

요 약

본 논문에서는 비동기 Rayleigh 페이딩 채널에서 MUD 과정에서 발생하는 시간 지연을 최소화 하면서 서비스 별로 다르게 요구되는 QoS 요구를 충족시킬 수 있는 부분 SSPIC I, II형 다중 사용자 검파 기법을 제안하고 성능을 분석하였다. 결과에 의하면 제안한 부분 SSPIC I, II형 기법 모두 SIC 단계에서 발생하는 시간 지연을 효과적으로 단축할 수 있으며, 부분 SSPIC I형 기법은 성능 및 용량 면에서 기존 SICPIC 기법보다 향상되었고, 부분 SSPIC II형 기법은 유사한 성능을 나타내었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 부분 SSPIC I, II형 다중 사용자 검파 기법은 기존 SICPIC 다중 사용자 검파 기법의 단점인 간섭 제거 과정에서 발생하는 시간 지연을 효과적으로 단축시킬 수 있고, 간섭 제거 기법을 적용하지 않은 기존의 CDMA 수신기와 비교하여 과도한 시스템의 복잡도 및 시간 지연의 증가 없이 효과적으로 시스템의 성능을 개선 할 수 있다.

Abstract

In this paper, we proposed and analyzed the performance of the partial SSPIC (Successive Serial Parallel Interference Cancellation) scheme adopting modified successive serial interference cancellation (SIC) scheme. Modified partial successive serial cancellation (SIC) stage is used to effectively shorten interference cancellation delay. Performance is analyzed in Rayleigh fading channel with both perfect and imperfect channel estimation. From the results, proposed partial SSPIC I and II multiuser detectors can shorten effectively a detection delay at first SIC stage. The partial SSPIC type I detector outperformed the conventional concatenated SICPIC detector in both performance and capacity and type II detector maintains similar performance. Proposed partial SSPIC multiuser detector can effectively improve the system performance without excessive detection delay.

Key words: DS-CDMA, interference cancellation, multiuser detector, partial SSPIC.

I. 서 론

현재 사용되고 있는 DS-CDMA (Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 시스템은 TDMA나 FDMA 보다 많은 사용자 용량을 가지며, 우수한 통

화 품질을 제공한다. 하지만 동시에 같은 주파수 대역을 여러 사용자가 공유함으로써 발생하는 다중 사용자 간섭 (MUI : Multi-User Interference)에 의해 성능 및 시스템 용량이 제한된다. MUI를 효과적으로 줄이기 위한 여러 가지 방안들이 제안되었지만,

텔슨전자(주)(Telson Electronics Co., LTD)
* 한국기술교육대학교 정보기술공학부(School of Information Technology, Korea University of Technology and Education)
· 논문 번호 : 20011114-162
· 수정완료일자 : 2002년 2월 8일

가장 근본적인 해결 방안으로 연구되고 있는 기법이 다중 사용자 검파 (MUD : Multi-User Detection) 기법이다^[1].

MUD 기법은 1986년 Verdu에 의해 최적 다중 사용자 검파방식이 소개 되었는데^[2], 최적 방안임에도 불구하고 사용자의 증가에 따라 증가하는 시스템의 복잡도로 인해 실제 시스템에 적용하기 어렵다^[3]. 이러한 문제에 대한 대책으로 준 최적 MUD 기법에 대한 연구가 진행되어왔으며, 준 최적 MUD 기법에는 MMSE (Minimum Mean-Squared Error), Decorrelator, SIC (Serial Interference Cancellation), PIC (Parallel Interference Cancellation) 등의 기법들이 포함된다. 최근에는 이러한 기법들간의 결합을 통하여 MUI를 효율적으로 제거하기 위한 다양한 수신기 구조들이 제안되고 있다^[4]. 그렇지만, 여러 종류의 데이터를 동시에 지원하는 고속 무선 멀티미디어 서비스에 적합한 MUD 기법에 대한 연구는 최근에 서야 시작되고 있다^[5]. 무선 멀티미디어 서비스 전송의 경우 전송되는 데이터들의 종류가 다양해지며, 이에 따라 각 사용자에게 요구되는 QoS (Quality of Service)를 만족시키기 위한 전력이 동적으로 변화하기 때문에 MUI의 영향은 더욱 심각해진다. 따라서, 다양한 데이터 특성에 따라 다르게 요구되는 다양한 QoS를 만족시키고, 다중 사용자 검파 과정에서 발생하는 시간 지연을 효과적으로 단축시킬 수 있는 MUD 기법이 요구된다.

본 논문에서는 다양한 형태의 준최적 다중 사용자 검파 기법들 중 SIC 기법과 PIC 기법을 직렬 연결한 SICPIC 기법을 바탕으로 간섭 제거 과정에서 발생하는 시간 지연을 효율적으로 줄일 수 있는 부분 SSPIC (Partial Successive Serial Parallel Interference Cancellation) 기법을 제안하고 Rayleigh 페이딩 채널에서 부분 SSPIC 기법의 성능을 평균 비트 오류 확률 (Average P_b) 과 사용자 수 측면에서 분석한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템의 비동기 (asynchronous) 역방향 링크 전송을 가정하며, 단일

셀 내에 K 명의 사용자가 존재한다고 가정한다. 채널 모델로는 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하며, 기지국은 모든 사용자의 고유한 PN 코드를 알고 있다. k번째 사용자의 데이터 신호 $b_k(t)$ 는 단위 진폭이고, 부호가 +1이며, 주기가 T인 시퀀스이다. 또한, k번째 사용자는 CDMA 시스템의 다중 접속을 위해 단위 진폭이고, 주기가 T_c 인 시퀀스로 구성된 PN 코드 $c_k(t)$ 를 할당받는다. k번째 사용자의 DS-BPSK 신호 $s_k(t)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P_k} b_k(t) c_k(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_k). \quad (1)$$

f_c 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며, θ_k 는 기준 사용자 신호에 대한 k번째 사용자 신호의 위상 천이를 나타낸다.

2-1 SIC 다중사용자 검파기법

SIC 기법의 다중 사용자 검파기는 수신한 K명의 사용자 신호를 수신신호의 세기에 따라 큰 신호부터 작은 신호로 정렬한 후 순차적으로 간섭을 제거하는 MUD 기법이다^[6]. 각 간섭제거 단계에서는 수신 신호의 검출, 재생성, 제거의 과정이 이루어지며 간섭 제거 단계가 증가할수록 제거되지 않은 사용자들의 MUI로 인한 간섭의 양은 감소하지만 간섭제거 단계가 증가할수록 시간지연이 증가된다. 이동국이 송신한 DS-BPSK 신호가 식 (1)과 같을 때, 기지국에서 수신한 신호는 식 (2)와 같이 K명의 사용자들로부터 송신된 신호의 합으로 나타난다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \sqrt{2P_k} b_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta_k) + n(t). \quad (2)$$

여기서, P_k 는 각 사용자들의 평균 수신전력이며, α_k 는 페이딩에 의한 진폭 변화를 나타내는 랜덤 변수이다. τ_k 는 기준 사용자 신호에 대한 k번째 사용자 신호의 시간차이다. θ_k 는 $[0, 2\pi)$ 사이에서 균일하게 분포하는 k번째 사용자의 랜덤 위상이며, $n(t)$ 는 양측 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ (watts/Hz)인 AWGN이다. 전체 사용자의 신호가 합쳐진 수신신호 $r(t)$ 는 수신전력이 큰 신호부터 작은 신호 순으

로 정렬 된다고 가정한다. 따라서, $k=1$ 이라면 수신 신호 세기가 가장 큰 사용자의 신호이고, $k=K$ 라면 수신 신호 세기가 가장 작은 사용자의 신호를 의미한다. SIC 다중 사용자 검파기의 첫 번째 수신기 출력은 아래와 같다^[7].

$$Z_1 = \int_0^T r(t)c_1(t-\tau_1)\cos(2\pi f_c t + \hat{\theta}_1)dt = D_1 + I_1 + \eta. \quad (3)$$

여기서, $\hat{\theta}_1$ 은 첫 번째 사용자의 예측 위상이며, k 번째 사용자의 예측위상 $\hat{\theta}_k = \theta_k + \Delta\theta$ 이다. 첫 번째 사용자의 예측 진폭은 \hat{a}_1 으로 나타내며 $\hat{a}_k = a_k + \Delta a$ 와 같이 k 번째 사용자의 예측 진폭을 나타낼 수 있다. 예측 진폭과 위상 모두 예측 에러를 포함하고 있는데, 예측 에러는 앞에서와 같이 각각 $\Delta\theta$ 와 Δa 로 표시되며, i.i.d 가우시안 랜덤 변수이고 분산은 $\sigma_{\Delta\theta}^2$ 와 $\sigma_{\Delta a}^2$ 이다.

식 (3)에서 D_1 은 첫 번째 사용자의 희망신호이고, I_1 과 η 는 각각 MUI 성분과 AWGN 성분의 가우시안 랜덤 변수이다. MUI 성분 I_1 항은

$$I_1 = \sum_{k=2}^K a_k \sqrt{\frac{P}{2}} \int_0^T b_k(t-\tau_k)c_k(t-\tau_k)c_1(t)\cos(\theta_k - \hat{\theta}_1)dt, \quad (4)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

MUI 성분 I_1 의 분산은 가우시안 근사화를 통해 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Var(I_1) = \frac{NT^2}{3} \sum_{k=2}^K Pa_k^2 E[\cos^2(\theta_k - \hat{\theta}_1)] = \frac{NT^2}{6} \sum_{k=2}^K Pa_k^2. \quad (5)$$

첫 번째 수신기 출력에서의 SIR은

$$SIR_1 = \frac{D_1^2}{Var[I_1] + Var[\eta]}. \quad (6)$$

이때, D_1^2 은 다음과 같다.

$$D_1^2 = a_1^2 T^2 \frac{P}{2} (\cos^2(\Delta\theta)). \quad (7)$$

2번째 사용자의 수신기 출력 신호는 다음과 같다.

$$Z_2 = \int_0^T r_2(t)c_2(t-\tau_2)\cos(2\pi f_c t + \hat{\theta}_2)dt = D_2 + I_2 + E_2 + \eta. \quad (8)$$

D_2, I_2, η 항들은 첫 번째 사용자의 성분과 같다. E_2 항은 첫 번째 사용자의 신호가 예측에러로 인해 완전하게 제거되지 못하고 남은 MUI 성분이다. E_2 의 분산은 식 (9)와 같다^[7]. 이러한 잔여 MUI 성분은 SIC 다중 사용자 검출기 전체의 성능에 영향을 미치게 된다.

$$Var(E_2) = E[a_1^2](4Pb_1) \frac{T^2}{6N} P + \sigma_{\Delta\theta}^2 \frac{T^2}{6N} P + \sigma_{\Delta a}^2 \frac{T^2}{6N} P. \quad (9)$$

k 번째 사용자의 수신기 출력 SIR은 다음과 같다^[7].

$$SIR = \frac{P_k^2 (\cos(\Delta\theta))^2}{\frac{NT^2}{6N} P \sum_{l=1}^{k-1} E[a_l^2] + \frac{T^2}{6N} P \sum_{l=1}^{k-1} E[b_l^2] + \frac{1}{6N} P (\sigma_{\Delta\theta}^2 + \sigma_{\Delta a}^2)}. \quad (10)$$

k 번째 사용자의 에러율은

$$Pb_k = E[Q(\sqrt{E[SIR_k]})] = \int_0^\infty Q(\sqrt{E[SIR_k]})f_{k,k}(a_k)da_k, \quad (11)$$

이며, 여기서 $f_{k,k}(a_k)$ 는 k 번째 사용자의 pdf로 다음과 같이 주어진다.

$$f_{k,k}(x) = \frac{K!}{(k-K)!(k-1)!} \cdot (1 - e^{-2x})^{K-k} \cdot (e^{-2x})^{k-1} \cdot 2e^{-2x}. \quad (12)$$

2-2 PIC 다중사용자 검파기법

PIC 기법의 다중 사용자 검파기는 우수한 성능을 갖지만 초기 검파한 신호의 성능에 의해 검파기 성능이 결정된다. 따라서, 다른 형태의 MUD 기법과 직렬 연결될 경우 선행 MUD 단의 성능에 의해 크게 영향을 받게 된다.

PIC 다중 사용자 검파기의 첫 번째 수신기 출력은 식 (14)와 같다^[7].

$$r_{pl} = r(t) - \sum_{k=2}^K s_k(t - \tau_k), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Z_{pl} &= \int_0^T r_{pl}(t) c_1(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_1) dt \\ &= D_{pl} + E_{pl} + \eta. \end{aligned} \quad (14)$$

PIC 기법에서도 다른 사용자들의 영향이 완전히 제거되지 않고 남아서 간섭으로 작용하는 E_{pl} 성분이 존재한다. j 번째 사용자의 SIR은

$$SIR_{pv,j} = \frac{D_{pv,j}^2}{\text{Var}[E_{pv,j}] + \text{Var}[\eta]}, \quad (15)$$

이고, $\text{Var}[E_{pv,j}]$ 은 다음과 같다^[7].

$$\begin{aligned} \text{Var}(E_{pv,j}) &= \frac{T^2}{6N} P \left[\sum_k \sum_{l,k+j} (E[a_k^2]) \cdot 4Pb_{p(v-1),k} \right. \\ &\quad \left. + \sigma_{da_i}^2 + \sigma_{d\theta_i}^2 \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

식 (15)와 (16)의 아래첨자 v 는 중첩 사용되었을 경우 몇 번째 단인지를 나타낸다^[2].

III. 부분 SSPIC I, II 다중사용자 검파기법

본 논문에서 제안하는 부분 SSPIC I형과 II형 다중 사용자 검파 기법을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 부분 SSPIC I형과 II형 다중 사용자 검파 기법은 SIC 기법과 PIC 기법이 직렬 연결된 SICPIC 다중 사용자 검파 기법을 기본으로 하여, 기존 SICPIC 기법의 단점인 다중 사용자 검파 과정에서 발생하는 시간 지연을 SIC 단을 통과하는 사용자 수를 제한하여 효과적으로 단축시킴으로써 시간 지연에 민감한 음성 서비스와 같은 서비스에 적용 가능한 구조이다. 또한, 직렬 연결한 PIC 단을 통해 시스템 전체의 신뢰도를 향상시켜 상대적으로 시간 지연에 민감하지 않으면서 높은 신뢰도를 요구하는 데이터 서비스와 같은 서비스에도 적용 가능한 구조이다. 따라서, 멀티 미디어 서비스의 다양한 데이터 특성에 적용 할 수 있는 구조이며, 서비스 별로 달리 요구되는 QoS와 시간 지연 요구를 충족시킬 수 있는 구조이다.

부분 SSPIC I형 다중 사용자 검파 기법은 그림 1과 같은 구조를 갖고, 다중 사용자 검파 알고리즘은 그림 3과 같다. 부분 SSPIC I형 다중 사용자 검

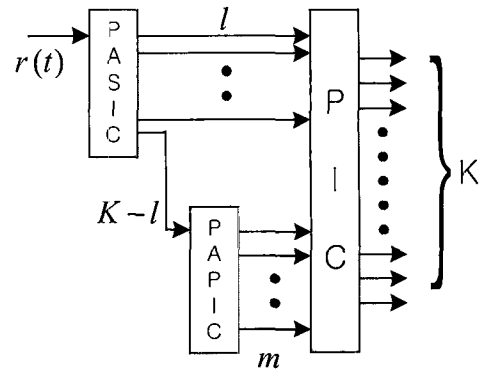


그림 1. 부분 SSPIC I형

Fig. 1. Partial SSPIC type I.

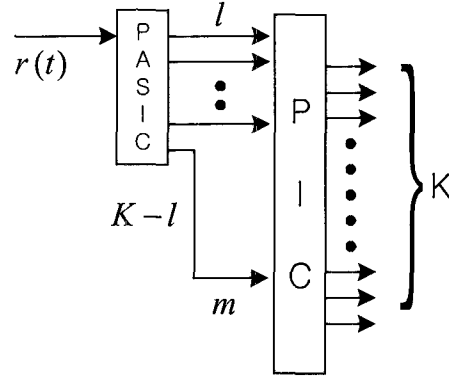


그림 2. 부분 SSPIC II형

Fig. 2. Partial SSPIC type II.

파 기법은 시스템 파라미터인 'l'에 의해 전체 사용자 K명 중 수신 신호 전력이 큰 사용자부터 정렬된 전력 프로파일(power profile)에 의한 순서가 'l'보다 같거나 작은 사용자들만이 부분 SIC (PASIC : Partial SIC) 단에서 검파 후 간섭 제거 과정을 거친다. 부분 SIC 단을 거치게 되는 신호들은 전력 프로파일에서 'l'보다 높은 순서를 갖는 사용자 즉, 상대적으로 낮은 수신 전력의 사용자들보다 수신 신호 전력이 큰 사용자들이기 때문에 전력 프로파일 순서가 'l'보다 큰 사용자들에게 주는 다중 사용자 간섭의 크기가 크다. 따라서, 이러한 사용자들을 먼저 제거함으로써 수신 신호 세기가 낮은 사용자들의 신호들은 부분 SIC 단 이전의 수신 신호 상태보다 상대적으로 좋은 상태가 된다. 그리고, 신호의 검

파를 확실히 할 수 있는 확률이 높은 사용자들을 먼저 검파 함으로써 시스템의 평균 비트 에러 확률 (*Average P_b*)을 유지할 수 있게 된다. 기존 SICPIC 기법과 비교해 보면 초기 SIC 단의 수행 대상을 전력 프로파일에서 일정 범위 이내로 제한하였기 때문에 검파시간을 제외하고 순수히 간섭 제거 과정에서 발생하는 시간 지연을 단축할 수 있고, 전체 사용자에 영향을 주는 다중 사용자 간섭의 많은 부분을 차지하는 사용자들을 먼저 제거함으로써 시스템의 평균 비트 에러 확률을 최소화 할 수 있다. 'l'명의 사용자들에 신호가 제거된 'm (= K-l)'명의 사용자 들은 두 번째 단인 부분 PIC (PAPIC : Partial PIC) 로 입력된다. 부분 PIC 단에서는 전력 프로파일 순서가 'l'보다 큰 'm' 명의 사용자들에 대한 검파 및 간섭 제거 과정이 수행된다. 채널 예측이 안정된 수준일 때 SIC 기법보다 PIC 기법의 성능이 우수하기 때문에 낮은 수신 전력을 갖는 'm'명의 사용자들에 대해서는 부분 PIC 기법을 적용하여 우수한 간섭 제거 결과를 얻을 수 있도록 하였다. 'm' 명의 사용자도 SIC 기법을 적용한 SICPIC 기법과 비교하여 SIC 기법을 PIC 기법으로 교체하여 간섭 제거 과정에서의 시간 지연 발생을 억제하였고, 직렬로 연결된 전체 사용자 (K) 를 대상으로 한 PIC 단에 입력되는 신호들의 평균 비트 에러 확률이 좋아졌기 때문에 기존 SICPIC 기법보다 향상된 시스템 신뢰도를 얻을 수 있다. 부분 SIC 단을 거친 'l' 명의 사용자와 부분 PIC 단을 거친 'm' 명의 사용자는 마지막으로 전체 사용자 (K) 명을 대상으로 한 PIC 단을 거쳐 최종 검파된다. 부분 SSPIC I형 다중 사용자 검파 기법을 거친 각 사용자의 최종 비트 에러 확률은 식 (16)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{b_{l+1,k}} = \int_0^{\infty} Q\left[\frac{E_b N_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{\text{Var}(F_{i,1}) + \text{Var}(F_{i,2}) \right)} \right)} \right] \cdot s(\alpha) d\alpha$$

$$= \int_0^{\infty} Q\left[\sqrt{\frac{E_b N_0}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{\text{Var}(F_{i,1}) + \text{Var}(F_{i,2}) \right)} \right)} \right] \cdot s(\alpha) d\alpha$$

$$= \int_0^{\infty} Q\left[\sqrt{\frac{E_b N_0}{2}} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{\text{Var}(F_{i,1}) + \text{Var}(F_{i,2}) \right)} \right)} \right] \cdot s(\alpha) d\alpha \quad (17)$$

식 (17)에서 $P_{b_{l+1,k}}$ 항은 최종적으로 전체 사용자 K 명을 대상으로 PIC 단을 거치기 이전에 간섭

제거 과정을 거치면서 얻은 각 사용자들의 비트 에러 확률을 반영한 것이다. 따라서, 이전 간섭 제거 기법의 결과를 그대로 전달받게 되고, 시스템 전체의 신뢰성에 주요한 부분을 차지한다.

부분 SSPIC I형 다중 사용자 검파 기법은 부분 PIC 단의 추가로 구조의 복잡도는 증가하지만 채널 예측 에러가 존재하는 열악한 채널 조건에서도 높은 시스템 신뢰도를 얻을 수 있는 구조이며, 기존 SICPIC기법과는 달리 첫 번째 SIC 단에서 발생하는 시간 지연을 효과적으로 줄일 수 있는 구조이다.

부분 SSPIC II형 다중 사용자 검파 기법은 그림 2와 같은 구조를 가지며, 다중 사용자 검파 알고리즘은 그림 4와 같다. 부분 SSPIC II형 다중 사용자 검파 기법 또한 시스템 파라미터인 'l'에 의해 전체 사용자 K 명중 전력 프로파일(power profile)에 의한 순서가 'l' 보다 같거나 작은 사용자들만이 부분 SIC (PASIC : Partial SIC) 단에서 검파 후 간섭 제거 과정을 거친다. 'm'명의 사용자들은 부분 SSPIC I형 기법에서와 같이 시스템 전체의 다중 사용자 간섭에서 큰 부분을 차지하는 'l' 명의 사용자 신호들이 제거되었기 때문에 초기 수신 신호에

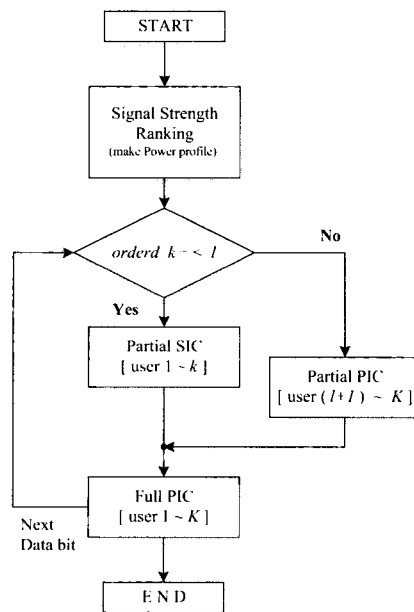


그림 3. 부분 SSPIC I형 검파 흐름도
Fig. 3. Detection flow of partial SSPIC type I.

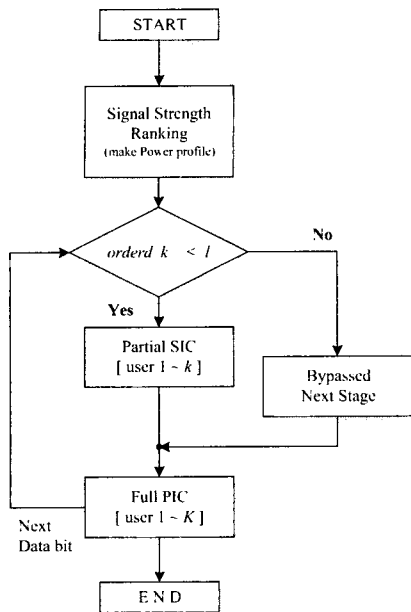


그림 4. 부분 SSPIC II형 검파 흐름도.
Fig. 4. Detection flow of partial SSPIC type II.

서 보다 상대적으로 작은 사용자 간섭을 받게 된다. 기존 SICPIC 기법과 비교해 볼 때 기존 SICPIC 기법은 'm' 명의 사용자에게도 SIC 기법을 적용하였기 때문에 부분 SSPIC II형 기법보다 평균 비트 에러 확률 ($Average P_b$) 면에서 일정 수준 향상을 얻을 수 있다. 하지만, 최악의 경우 음성 서비스 신호가 전력 프로파일에서 가장 낮은 수신 전력의 사용자 즉, K번째 사용자로 판단 될 수 있다. 이러한 경우 기존 SICPIC 기법을 적용하였을 때 시스템 전체의 일정한 평균 비트 에러 확률의 달성은 가능하지만 시간 지연으로 인해 음성 서비스의 QoS는 매우 떨어지게 된다. 반면, 부분 SSPIC II형 기법은 전력 프로파일에서 'l' 보다 큰 순서를 갖는 사용자들을 다음 단인 전체 사용자 (K)를 대상으로한 PIC 단으로 통과시킴으로써 평균 비트 에러 확률은 약간의 열화가 발생하지만 간섭 제거 과정에서의 시간 지연 발생을 효과적으로 단축할 수 있어 지연에 민감한 서비스의 QoS 달성이 용이하다. 또한, 시스템의 복잡도를 낮출 수 있다. 부분 SIC 단을 거친 'l' 명의 사용자와 나머지 'm' 명의 사용자 신호들은 두 번째 단인 PIC 단으로 입력된다. 두 번째 PIC 단은 첫 번째 단에서 단축된 SIC 기법인 부분 SIC

기법의 적용으로 발생하는 시스템 평균 비트 에러 확률의 열화 현상을 줄여 주기 위한 단이다. 부분 SSPIC II형 다중 사용자 검파 기법을 거친 각 사용자의 최종 비트 에러 확률은 식 (17)과 같다. 식 (17)에서 $Pb_{\rho_l, k}$ 항은 최종적으로 전체 사용자 K 명을 대상으로 PIC 단을 거치기 이전에 간섭 제거 과정을 거치면서 얻은 각 사용자들의 비트 에러 확률을 반영한다.

부분 SSPIC II형 다중 사용자 검파 기법은 간섭 제거 과정에서 발생하는 시간 지연과 시스템 복잡도를 낮추고 SICPIC 기법의 성능에 근접한 시스템 신뢰도를 제공할 수 있는 다중 사용자 검파 기법이다.

IV. 수치해석 및 검토

본 논문에서 제안한 부분 SSPIC I형과 II형 다중 사용자 검파 기법의 성능을 Rayleigh 페이딩 채널에서 진폭과 위상에 대하여 완벽한 채널 예측이 이루어진 경우와 진폭과 위상 예측 오차가 존재하는 경우로 나누어 평균 비트 오류 확률 ($Average P_b$)과 사용자 수 측면에서 분석하였다.

그림 5는 사용자수가 30명에서 60명으로 변할 때 Rayleigh 페이딩 채널에서 순서 통계량 (order statistics)에 의한 사용자 정렬 순서에 따른 $E[a_k^2]$ 의 변화를 나타내었다. 정렬된 첫 번째 사용자부터 정

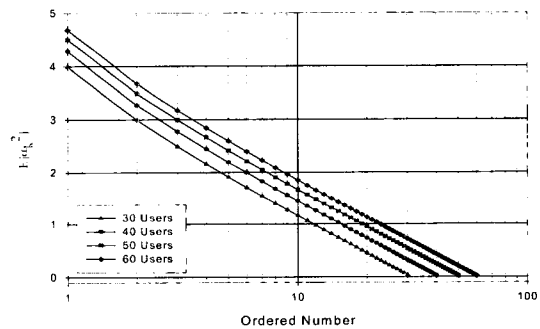


그림 5. 순서 통계량에 의한 정렬 순서에 따른 $E[a_k^2]$ 변화.

Fig. 5. Analytical $E[a_k^2]$ according to ordered number with order statistics.

렬순서가 전체 사용자의 30%인 9, 12, 15, 18번째 사용자 이내에 정렬 순서를 갖는 사용자들 진폭의 합이 나머지 사용자들의 진폭에 합보다 매우 큰 것을 알 수 있다. 즉, 나머지 사용자들에게 미치는 다중 사용자 간섭의 크기가 크다는 것을 알 수 있다.

그림 6에 Rayleigh 페이딩 채널에서 완벽한 진폭과 위상의 예측이 이루어졌을 때 SICPIC 기법과 부분 SSPIC I, II형 기법의 성능을 비교하여 나타내었다. 여기서, 평균 비트 에러 확률은 전체 사용자의 비트 에러 확률을 더하여 전체 사용자 수 (K)로 나눈 값으로^[1], 시스템 복잡도와 함께 다중 사용자 검파 기법의 성능을 나타내는 중요한 요소이다. 산술 평균 (average) 이므로 가장 나쁜 성능을 갖는 사용자의 비트 에러 확률이 전체 시스템의 평균 비트 에러 확률의 결정에 영향을 주게 된다. 부분 SIC 기법을 적용하는 사용자수를 결정하는 시스템 파라미터 ' l '은 전체 사용자의 30%인 $0.3 \cdot K$ 로 가정하였다. $E_b/N_0=20$ [dB]에서 SICPIC 기법은 평균 비트 에러 확률이 6.6×10^{-3} 이었으나 부분 SSPIC I형 기법은 2.8×10^{-3} 으로 단일 사용자의 성능에 근접한 성능을 나타내었다. 부분 SSPIC II형 기법은 평균 비트 에러 확률이 1.0×10^{-2} 로 근소한 성능 차이가 나타났다. SIC 단에서 생성된 초기 전력 프로파일에서 K 번째 사용자 즉, 수신 신호 세기가 가

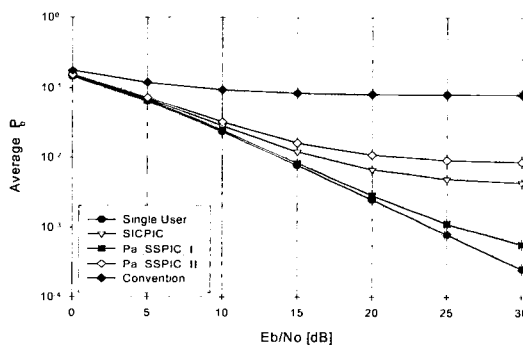


그림 6. 완벽한 채널 예측이 이루어질 때 평균 비트 에러 확률($N=63, K=40, l=0.3K, \sigma_{\Delta u}^2=0.0, \sigma_{\Delta \phi}^2=0.0$).

Fig. 6. Performance of the proposed partial SSPIC scheme versus SICPIC scheme, with perfect ranking and perfect channel estimation.

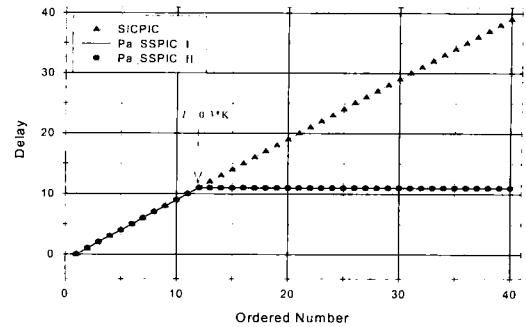


그림 7. 사용자 정렬 순서에 따른 시간 지연 비교 ($K=40, l=0.3K$).

Fig. 7. Comparison of time delay between SICPIC scheme and proposed partial SSPIC scheme.

장 낮은 사용자가 겪는 시간지연은 그림 7과 같이 제안한 부분 SSPIC 기법과 기존의 SICPIC 기법이 상당한 차이를 나타낸다. 기존 SICPIC 기법에서는 K 번째 사용자의 경우 $(K-1) \cdot T$ 의 시간 지연을 겪게 된다. 하지만, 제안한 부분 SSPIC 기법에서는 $l \cdot T$ 의 시간지연만을 겪게 된다. 따라서, 제안한 부분 SSPIC 검파 기법이 기존 SICPIC 기법보다 K 번째 사용자가 겪는 시간지연을 $(K-l) \cdot T$ 만큼 단축시킬 수 있다.

그림 8과 9는 사용자 수의 증가에 따른 평균 비트 에러 확률의 변화를 나타낸 것이다. 그림 8의 부분 SSPIC I형 기법은 $E_b/N_0=20$ [dB]에서 60명 사용자 일 때까지 단일 사용자의 성능에 근접한 성능을 나타내었다. SICPIC 기법은 30명 사용자일 때 평균 비트 에러 확률이 4.6×10^{-3} 로 나타났지만 부분 SSPIC I형 기법은 60명 사용자 일 때도 4.2×10^{-3} 으로 사용자 30명의 용량 증가가 나타났다. 그림 9의 부분 SSPIC II형 기법은 $E_b/N_0=20$ [dB]에서 20명 사용자일 때 4.9×10^{-3} 의 평균 비트 에러 확률을 나타내었다.

그림 10과 11은 불완전한 채널 예측으로 진폭 예측 에러와 위상 예측 에러가 존재할 때 제안한 기법과 SICPIC 기법의 성능을 나타낸 것이다. 그림 10은 모든 간섭 제거 단에서 진폭 예측 오차의 분산 ($\sigma_{\Delta u}^2 = E[(\Delta^2 e)]$)과 위상 예측 오차의 분산 ($\sigma_{\Delta \phi}^2 = \pi^2 E[(\Delta^2 e)]$)이 각각 0.001 일 때의 성능과 예측

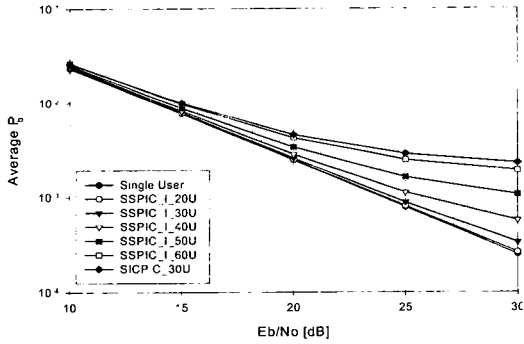


그림 8. 사용자 수에 따른 부분 SSPIC I형 기법의 평균 비트 에러 확률($N=63$, $l=0.3K$, $\sigma_{\Delta\alpha}^2=0.0$, $\sigma_{\Delta\phi}^2=0.0$).

Fig. 8. Performance of partial SSPIC I scheme according to active user numbers with perfect ranking and perfect channel estimation.

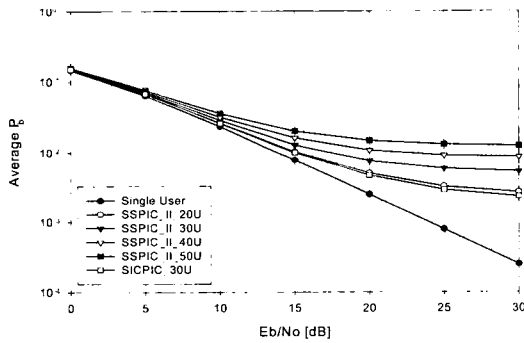


그림 9. 사용자 수에 따른 부분 SSPIC II형 기법의 평균 비트 에러 확률($N=63$, $l=0.3K$, $\sigma_{\Delta\alpha}^2=0.0$, $\sigma_{\Delta\phi}^2=0.0$).

Fig. 9. Performance of partial SSPIC II scheme according to active user numbers with perfect ranking and perfect channel estimation.

에러가 존재하지 않는 경우를 비교하여 나타내었다. 부분 SSPIC I, II형 기법과 SICPIC 기법 모두 매우 근소한 성능의 변화가 나타났다. 그림 11은 모든 간섭 제거 단계에서 $\sigma_{\Delta\alpha}^2$ 과 $\sigma_{\Delta\phi}^2$ 이 각각 0.01일때의 평균 비트 에러 확률을 나타낸 것이다. 부분 SSPIC II형 기법과 SICPIC 기법은 예측 에러의 증가에도

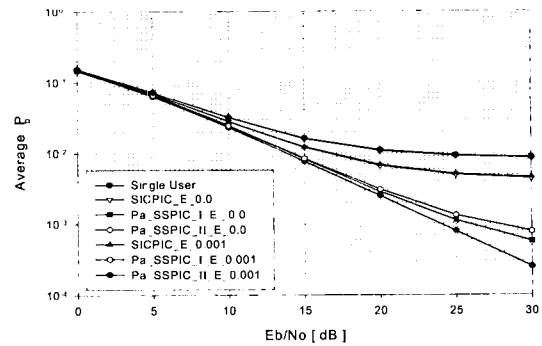


그림 10. $\sigma_{\Delta\alpha}^2=0.001$, $\sigma_{\Delta\phi}^2=0.001$ 일 때 평균 비트 에러 확률($N=63$, $K=40$, $l=0.3K$).

Fig. 10. Performance of the proposed partial SSPIC scheme with both phase and amplitude channel estimation error of MSE=0.001 and for K=40 and N=63 and $l=0.3K$.

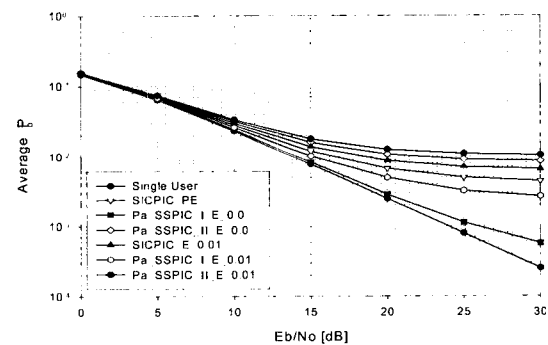


그림 11. $\sigma_{\Delta\alpha}^2=0.01$, $\sigma_{\Delta\phi}^2=0.01$ 일 때 평균 비트 에러 확률($N=63$, $K=40$, $l=0.3K$).

Fig. 11. Performance of the proposed partial SSPIC scheme with both phase and amplitude channel estimation error of MSE = 0.01 and for K=40 and N=63 and $l=0.3K$.

적은 성능의 열화만을 나타내었지만 부분 SSPIC I형 기법은 추가된 부분 PIC 단의 영향으로 예측 에러 증가에 민감한 특성을 나타내었다. 하지만, 여전히 기존 SICPIC 기법보다 우수한 성능을 나타내었다. 따라서, 채널 예측 에러가 존재하는 열악한 채널 환경에서도 우수한 시스템 신뢰도를 갖는다는 것을 알 수 있다.

그림 8, 9와 그림 10, 11의 결과를 비교해 볼 때 다중 사용자 검파 기법의 용량과 성능을 제한하는 주요한 요소가 채널 예측의 정확도이고 이것을 어느 정도까지 정확하게 할 수 있는지가 중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 비동기 Rayleigh 페이딩 채널에서 다중 사용자 검파 과정에서 발생하는 시간 지연을 최소화하면서 서비스 별로 다르게 요구되는 QoS 요구를 충족시킬 수 있는 부분 SSPIC I, II형 다중 사용자 검파 기법을 제안하고 성능을 분석하였다.

성능 분석 결과에 의하면 제안한 부분 SSPIC I형과 II형 다중 사용자 검파 기법은 기존 SICPIC 기법의 단점이었던 시간 지연을 효과적으로 단축시킬 수 있었다. 특히, K 번째 사용자가 겪는 시간 지연을 약 70 %정도 단축시킬 수 있었다. 부분 SSPIC I형 기법은 부분 PIC 단의 추가로 구조의 복잡도는 다소 증가하였지만 AWGN 뿐만 아니라 Rayleigh 페이딩 채널에서도 기존 SICPIC 기법의 평균 비트 에러 확률 ($Average P_b$) 보다 우수한 성능을 나타내었으며, 부분 SSPIC II형 기법은 부분 SIC 단의 적용으로 구조가 간략화 되었지만 성능은 기존 SICPIC 기법과 비교하여 Rayleigh 페이딩 채널에서도 근접한 성능을 나타내었다.

따라서, 본 논문에서 제안한 부분 SSPIC I형과 II형 다중 사용자 검파 기법은 기존 SICPIC 다중 사용자 검파 기법의 단점인 간섭 제거 과정에서 발생하는 시간 지연을 효과적으로 단축시킬 수 있으며, 과도한 시스템의 복잡도 증가 없이 효과적으로 시스템의 성능을 개선할 수 있는 다중 사용자 검파 기법이다.

참 고 문 헌

- [1] P. Patel and J. Holtzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system", *IEEE JSAC Comm.*, vol. 12, no. 5, pp. 796-807, June 1994.
- [2] R. Lupas and S. Verdu, "Near-far resistance of multiuser detectors in asynchronous channels", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 4, pp. 509-519, April 1990.
- [3] L. C. Hui and K. B. Letaief, "Successive interference cancellation for multiuser asynchronous DS/CDMA detectors in multipath fading links", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 3, pp. 384-391, March 1998.
- [4] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications", *IEEE Commun. Mag.*, pp. 124-136, Oct. 1996.
- [5] A. F. van Meeteren, T. Ojanpera, H. Nikookar, and R. Prasad, "Groupwise weighted parallel interference cancellation for asynchronous multirate DS-CDMA", *Proceedings of the IEEE VTS 50th VTC*, vol. 3, pp. 1820-1824, Sep. 1999.
- [6] P. R. Patel and J. Holtzman, "Analysis of DS/CDMA successive interference cancellation scheme using correlations", *Proceedings of the Globecom'93*, vol. 1, pp. 76-80, Nov. 1993.
- [7] T. Bin, R. Steele, and Y. Li, "Performance of an adaptive successive serial-parallel CDMA cancellation scheme in flat fading channels", *Proceedings of the VTC'97*, vol. 1, pp.193-197, May 1997.

이 현 재



1998년 2월: 수원대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2001년 2월: 한국기술교육대학교
대학원 정보통신공학과 (공학석
사)
2001년 1월~현재: 텔슨전자(주)
기술연구소

[주 관심분야] 이동통신, 무선통신

신 동 욱



1980년 2월: 한양대학교 전자공학
과 (공학사)
1982년 2월: 한양대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
1988년 2월: 일본 와세다 대학 응
용물리학과 (공학석사)
1994년 2월: 일본 와세다 대학 응

용물리학과 (공학박사)
1994년 9월~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부
부교수

[주 관심분야] 무선통신, 화상처리

오 창 현



1988년 2월: 한국항공대학교 항공
통신공학과 (공학사)
1990년 2월: 한국항공대학교 대학
원 항공통신정보공학과 (공학석
사)
1996년 2월: 한국항공대학교 대학
원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월~1993년 9월: 한진전자(주) 기술연구소
1993년 10월~1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀
1999년 3월~현재: 한국기술교육대학교 정보기술공학부
조교수

[주 관심분야] 이동통신, 무선통신