

CDMA 시스템에서 그룹분리를 이용한 순차적 간섭 제거기에 관한 연구

*최병구, 이영철, 염순진, 박용완
* 영남대학교 정보 통신공학과

A study on the SIC of using group separation in CDMA system

*Byung-Goo Choi, Soon-jin Yeom, Yong-Wan Park

*Dept. of Information and Communication Engineering Yeungnam Univ.

요약

본 논문에서는 CDMA 시스템에서 다중 사용자 검출을 위해 수신신호를 나누는 개념과 순차적 간섭 제거기를 조합한 새로운 간섭 제거기를 제안한다. 본 간섭 제거기에서 수신신호는 큰 신호 성분들의 그룹, 작은 신호 성분들의 그룹으로 나뉘지며 각 그룹의 신호들은 재 확산되어 각각 수신신호에서 제거되고 그 결과치는 원하는 신호 검출을 위해 각각 위, 아랫단 순차적 간섭 제거기의 입력 신호로 이용된다. 컴퓨터 시뮬레이션 및 구조분석을 통해서 향상된 순차적 간섭 제거기가 비트 오류율과 복잡성의 면에서 순차적 간섭 제거기의 성능을 유지시키는 동시에 순차적 간섭 제거기의 지연시간에 대한 단점을 향상시킴을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce a modified interference cancellation scheme for multiuser detection in CDMA. This detector uses successive interference canceller(SIC) and the divided received signal concepts. The active users are splits into two groups large signal power group and small signal power group- throughout ranking, matched filter, decision, regeneration. And each group is subtracted from the received signal respectively to obtain good BER performance. Each of the resulting signal is become respectively SICs input signal. The computer simulation and analysis of structure demonstrate that the proposed SIC keeps the SICs BER performance, complexity and reduces SICs delay time.

1. 서론

기존의 FDMA, TDMA 무선접속방식보다 훨씬 많은 용량을 가지고 있는 DS/CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 통신방식은 멀티미디어 이동 통신 등에 많이 이용되어지고 있다. 이는 대역 확산 방식을 이용하는 것으로서 사용자들에 대하여 서로 직교성을 가진 부호를 이용하여 독립적인 신호로 만들어 줌으로써 다중화 방식을 구현한다. 그러나, 현실적으로 완벽하게 직교하지 않은 확산 부호를 사용하는 경우가 많아 사용자간에 간섭을 일으켜 시스템 용량이나 BER에 영향을 미치는 다중 접속 간섭 발생이 문제시 되고 있다. 그리고, 송신기의 위치에 따라 수신되어지는 신호의 전력크기가 서로

달라짐으로써 문제시되는 원-근거리 문제도 큰 문제점이라 할 수 있다[1][2].

이러한 문제점들을 해결하기 위하여 이동 통신 시스템에 적용되어지는 기술이 전력 제어 기술이다[3]. 이는 송신기가 수신기와 멀리 떨어져 있을 경우 큰 전력 신호를 사용하고, 거리가 가까운 경우 작은 전력 신호를 사용함으로써 최종적으로 수신기에 도착하였을 때는 거리에 상관없이 거의 유사한 전력 신호로 모든 사용자들의 신호가 처리가 되게끔 하여 다중 접속 간섭 발생을 최소화하는 기술이다. 그러나, CDMA 시스템 특성상 전력 제어 기술만으로는 완벽하게 직교하지 않는 확산 코드로 인해 발생하는 다중 간섭을 완전하게 제거하지 못해 CDMA 시스템의 성능 향상에 한계가 생긴다. 이와 같은 한계를 극복하기 위한 방법으로 최근에 간섭 제거기에 대한 연구가 매

우 활발히 진행되고 있다. 기존의 수신기는 사용자 신호의 확산 부호에 맞추어진 정합 필터에 수신 신호를 통과시킨 후 신호 판정을 하게 된다. 그러나, 다중 접속 간섭으로 인해 성능이 저하됨으로 이를 개선시킬 목적으로 최적의 간섭 제거기가 제안되었다. 이 시스템은 Viterbi 알고리즘을 사용함으로써 사용자의 수 K 에 비례하여 시스템의 단수 2^{K-1} 만큼 요구되어지기 때문에 실제적으로 구현이 복잡하여 구현 가능한 준최적 간섭 제거기가 제안되었다[4][5]. 준 최적의 수신기 중 비선형 간섭 제거기는 그 구조에 따라 순차적 간섭 제거기(SIC)와 병렬형 간섭 제거기(PIC)로 나뉘어진다[6-9]. 순차적 간섭 제거기의 경우 모든 사용자 신호를 크기 순으로 나열한 뒤 가장 큰 신호를 검출하고 이 신호를 재 확산시켜 수신신호에서 제거하며 다시 신호를 크기 순으로 나열하고 큰 신호를 검출하는 과정을 모든 사용자 신호가 검출되기까지 반복한다. 이 방식은 좋은 비트 오율 성능을 나타내지만 사용자 수에 비례하여 지연 시간이 증가한다. 병렬형 간섭 제거기의 경우는 기존의 수신기를 통해서 검출된 각 신호들을 동시에 재 확산시켜 얻어진 값들 중에서 K 명의 사용자 각각에 대해서 자기신호에 해당하는 성분을 제외한 모든 신호를 더해져서 각각 수신신호에서 동시에 제거한다. 이로부터 얻어진 결과 값들은 정합필터(matched filter)를 통하게 되고 각 사용자의 신호는 동시에 검출된다. 이 방식은 병렬로 처리되기 때문에 순차적 간섭 제거기의 단점인 지연 시간을 해결할 수 있으나 좋은 성능을 얻기 위해 병렬형 간섭 제거기를 다단으로 사용해야 함으로 인해서 하드웨어적 복잡도가 높아진다.

본 논문에서는 낮은 하드웨어적 복잡도와 좋은 성능의 이점을 가지고 있는 순차적 간섭 제거기의 특성을 그대로 유지하면서 단점인 지연 시간을 줄이기 위해서 수신신호를 그룹들로 나누고 그룹들의 결과 값들을 각각 수신신호로부터 제거하며 이로부터 얻어지는 신호들을 각각 순차적 간섭 제거기의 입력 신호로 사용하는 새로운 간섭 제거기 구조를 제안한다. 논문은 II부분에서 제안 간섭 제거기의 구조와 그 특징을 설명, III과 IV부분에서 시뮬레이션을 통해서 제안된 간섭 제거기의 성능을 다른 간섭 제거기와 비교 분석, 결론을 내리는 순서로 구성된다.

II. 본론

제안된 간섭 제거기는 순차적 간섭 제거기의 지연 시간을 개선시키기 위해서 수신신호를 그룹으로 나누는 개념을 사용했으며 제안된 시스템의 구조는 그림1과 같다. 수신신호를 전력 크기 순으로 정렬해서(sorting) 얻은 크기에 따른 의사잡음 부호(PN 코드) 종류에 관한 정보를 가지고 수신신호를 정합필터, 판정, 재 확산의 과정을 포함한 그룹 처리를 하게되는데 먼저 큰 전력을 가진 신호들을 판정하고 이 신호들을 재 확산시켜 수신신호로부터 제거한 결과 값을 아래 그룹의 입력 신호로 사용해서 작은 전력을 가진 신호들을 구한다. 좋은 비트 오율 성능을 얻기 위해서 첫 번째 그룹에서 얻어진 신호들은 모두 더해져서 수신신호로부터 제거되고 이로부터 얻어지는 값은 아래 쪽 순차적 간섭 제거기(SIC)의 입력신호로 이용되며 두 번째 그룹에서 얻어진 신호들 또한 모두 더해져서 수신신호로부터 제거되며 이로부터 얻어지는 값은 위 쪽 순차적 간섭 제거기(SIC)의 입력신호로 이용된다.

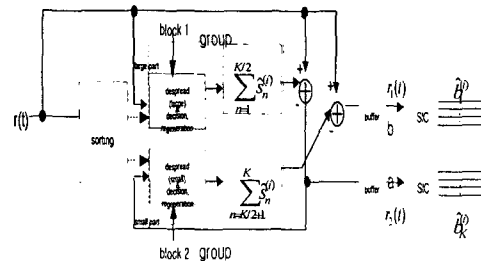


그림 1. 제안한 간섭 제거기 구조

이 시스템은 각 그룹 내에서 처리되는 사용자 수에 따라서 특성이 달라지는데 그 일반적인 특성은 다음과 같다. 첫째 각 그룹이 동작하는데 걸리는 시간이 1비트이므로 사용자 수를 나누는 방법에 상관없이 항상 최종 단에서 위쪽 부분이 아래쪽 부분 보다 1비트 지연이 더 생긴다. 둘째 총 K 명의 사용자 중 위쪽 그룹에서 X 사용자에 대해서 처리하고 아래쪽 그룹에서 $K-X$ 명의 사용자에 대해서 처리할 때 X 값이 작을수록 순차적 간섭 제거기의 특성에 더욱 근접하게 되어 좋은 비트 오율 성능, 긴 지연시간 특성이 예상된다.

각 그룹에서 처리하는 사용자 수를 정하기 위해서 사용자 수 나누는 방법에 따른 지연시간을 표 1에서 알아본다.

표 1. 사용자 수 나누는 방법에 따른 지연시간 비교

K-짝수일 때		K-홀수일 때	
UG:LG	지연시간	UG:LG	지연시간
K/2+1:K/2-1	K/2+3	(K+1)/2:(K-1)/2	(K+5)/2
K/2:K/2	K/2+2	(K-1)/2:(K+1)/2	(K+3)/2
K/2-1:K/2+1	K/2+2	(K-1)/2:(K+1)/2	(K+3)/2
K/2-2:K/2+2	K/2+3	(K-3)/2:(K+3)/2	(K+5)/2

(UG(upper group), LG(lower group))

전체 사용자를 두 그룹으로 나누는 방법에서 사용자수가 홀수 일 때 위, 아래 그룹에서 처리하는 사용자수를 (K-1)/2명, (K+1)/2명으로 했을 때와 짝수 일 때 K/2명, K/2명 또는 K/2-1명, K/2+1명으로 했을 때 지연 시간이 가장 짧음을 알 수 있다. 본 논문은 지연 시간 향상에 중점을 두므로 그룹에서 처리하는 사용자수를 위와 같이 하며 사용자 수가 짝수인 경우 비트 오류 성능은 제 III장에서 계산하였다.

그림1에서 각 그룹에서 처리하는 사용자 수를 K/2 명, K/2명으로 놓았을 때 수신된 신호의 기저 대역 신호는 식(1)과 같이 주어진다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{2p_k g_k} u_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $u_k(t) = b_k(t) a_k(t)$ 이다.

K는 전체 사용자 수이고 $u_k(t)$ 는 주기가 T인 k번째 사용자 데이터 비트($b_k(t)$)와 의사잡음 부호열($a_k(t)$)을 곱한 값이며 p_k 는 k번째 사용자의 전력을 나타내며 g_k 는 k번째 사용자의 경로 크기이며 $n(t)$ 는 평균이 0이고 $N_o/2$ 의 전력 스펙트럼 밀도를 갖는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise :AWGN)이다.

식(1)은 블록 1 (큰 신호 전력을 가진 그룹)의 입력 신호가 되며 k번째 사용자의 i번째 심볼에 대한 정합 필터의 출력은 식(2)와 같이 주어진다.

$$y_k^{(i)} = \frac{1}{T} \int_{iT+\tau_k}^{(i+1)T+\tau_k} r(t) a_k(t - \tau_k) dt = \sqrt{2p_k g_k} b_k^{(i)} + F_k^{(i)} + \eta_k^{(i)} \quad (2)$$

여기서 $\eta_k^{(i)}$ 는 필터링된 잡음을 나타내고 다중 접속 간섭량은 식(3)과 같으며 h_{ki} 는 부분 상호 상관 값을 나타낸다.

$$F_k^{(i)} = \sum_{l \neq k}^K \sqrt{2p_l g_l} h_{kl} b_l^{(i)} \quad (3)$$

식(2)의 값들은 판정, 재 확산 과정을 거쳐서 다 더해진 후 수신신호로부터 제거되는데 이를 수식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$r_2(t) = r(t) - \sum_{n=1}^{K/2} \hat{s}_n^{(i)} = r(t) - \sum_{n=1}^{K/2} \sqrt{2p_n g_n} \hat{u}_n(t - \tau_n) \quad (4)$$

식(4)에서 수신신호로부터 제거되는 신호들 중에서 에러를 발생시키는 작은 전력 신호들은 신호 전력이 작기 때문에 $r_2(t)$ 에 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 수신신호로부터 이 그룹 내에 있는 모든 신호 성분들이 제거된 $r_2(t)$ 는 아래 쪽 SIC의 입력신호(a)로 보내짐과 동시에 작은 신호 전력 그룹(블록2)의 입력 신호가 된다.

블록2(작은 신호 전력을 가진 그룹)의 입력 신호를 가지고 정합 필터를 통과 시켜 구해진 출력은 식(5)와 같다.

$$y_k^{(i)} = \frac{1}{T} \int_{iT+\tau_k}^{(i+1)T+\tau_k} r_2(t) a_k(t - \tau_k) dt = \sqrt{2p_k g_k} b_k^{(i)} + F_k^{(i)} + \eta_k^{(i)} \quad (5)$$

블록1에 해당되는 신호 성분들이 제거된 신호를 블록2에서 입력 신호로 이용하므로 간섭량은 식(6)과 같이 줄어들었다.

$$F_k^{(i)} = \sum_{\substack{l=K/2+1 \\ l \neq k}}^K \sqrt{2p_l g_l} h_{kl} b_l^{(i)} \quad (6)$$

식(5)의 값들은 판정, 재 확산 과정을 거쳐서 다 더해진 후 수신신호로부터 제거되는데 이를 수식으로 표현하면 식(7)과 같다.

$$r_1(t) = r(t) - \sum_{n=K/2+1}^K \hat{s}_n^{(i)} = r(t) - \sum_{n=K/2+1}^K \sqrt{2p_n g_n} \hat{u}_n(t - \tau_n) \quad (7)$$

식(7)에서 수신신호로부터 제거되는 신호들 중에서 에러를 발생시키는 작은 전력 신호들은 신호 전력이 작기 때문에 $r_1(t)$ 에 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 수신신호로부터 이 그룹 내에 있는 모든 신호 성분들이 제거된 $r_1(t)$ 는 위쪽 순차적 간섭 제거기의 입력신호(b)로 보내진다.

$\hat{\delta}_k^{(i)}$ 에서 $k=1, k=K/2+1$ 일 때를 각 순차적 간섭 제거기에서 가장 큰 신호로, k의수가 증가함에 따라 신호 전력이 낮아진다고 가정한다. 각 순차적 간섭 제거기로부터 처음으로 얻어지는 $\hat{\delta}_{K/2+1}^{(i)}$ 는 순차적 간섭 제거기의 초기 입력 신호인 $r_1(t), r_2(t)$ 가 정합필터와 판정을 통과된 후 얻어지는 신호들이며 재 확산되어서 각각 검출기의 초기 입력 신호에서 제거된다. 이 결과 신호들은 다음 번째 신호 검출을 위한 입력 신호들

이 되며 모든 신호가 다 검출될 때까지 이 과정은 반복된다.

위쪽 순차적 간섭 제거기에서 j 번째 제거 후 검출기의 입력 신호 $z_{j+1}(t)$ 는 식(8)과 같으며

$$z_{j+1}(t) = r_1(t) - \sum_{i=1}^j \sqrt{2\beta_i g_i} u_i(t - \tau_i), \quad (8)$$

$$1 \leq j \leq K/2 - 1$$

아래쪽 순차적 간섭 제거기에서 m 번째 제거 후 검출기의 입력 신호 $z_{m+1}(t)$ 는 식(9)와 같다.

$$z_{m+1}(t) = r_2(t) - \sum_{i=K/2+1}^m \sqrt{2\beta_i g_i} u_i(t - \tau_i), \quad (9)$$

$$K/2 + 1 \leq m \leq K - 1$$

$z_{j+1}(t)$ 와 $z_{m+1}(t)$ 를 각각 순차적 간섭 제거기의 입력 신호로 사용하여 정합 필터와 판정을 통과 시켜 $\hat{\delta}_{j+1}^{(i)}$, $\hat{\delta}_{m+1}^{(i)}$ 를 구한다.

III. 시뮬레이션 및 비교 분석

이 절에서 제안된 간섭 제거기의 비트 오류 성능을 시뮬레이션을 통해 분석한다. 시뮬레이션 환경은 역 방향 링크의 수신기에서 각 사용자의 전송시간 지연, 채널의 크기 및 위상을 완벽하게 추정된다고 가정했다. E_b/N_0 는 6dB이고 채널 환경은 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN)과 레일리 페이딩(Jake model)을 사용하였고 다중사용자는 1~30명으로 하고 반송파 주파수는 1.9GHz, 이동국의 속도는 100km/h로 했다. 그리고 확산 코드는 $2^5 - 1$ 의 길이를 가지는 의사잡음 코드(31 칩)를 사용했으며 그림 2는 전력 제어가 되었을 때와 전력 제어가 되지 않았을 때 순차적 간섭 제거기, 제안된 간섭 제거기의 사용자 수에 따른 비트 오류 성능을 나타낸 것이다.

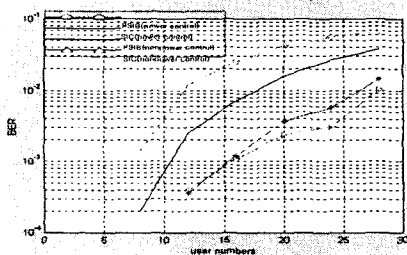


그림 2. 전력 제어가 되었을 때와 전력제어가 되지 않았을 때의 비트 오류 성능

순차적 간섭 제거기는 크기 순으로 정렬해서 가장 큰 신호에 해당되는 신호를 검출하고 수신 신호로부터 제거시켜 다른 신호에 대한 간섭량을

줄여 주는 방법인데 신호 전력의 크기가 모두 같다면 비트 오류 성능의 큰 향상을 가져오지 않는다. 제안한 간섭 제거기 또한 순차적 간섭 제거기의 구조를 이용하므로 전력제어가 되어있지 않다고 가정하고 시뮬레이션을 한다. 그림 3은 각 그룹에서 처리되는 사용자 수에 따른 비트 오류 성능을 나타낸 것이다.

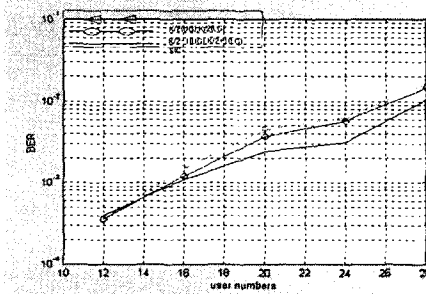


그림 3. 각 그룹에서 처리되는 사용자 수에 따른 비트 오류 성능

지연 시간 향상에 주안점을 둔 본 논문에서는 위, 아래 그룹 내에서 처리하는 사용자 수를 $K/2$ 명, $K/2$ 명 또는 $K/2 - 1$ 명, $K/2 + 1$ 명으로 했을 때 지연 시간이 가장 짧으나 $K/2 - 1$ 명, $K/2 + 1$ 명으로 했을 때가 더 좋은 비트 오류 성능을 나타내므로 이 때를 기준으로 놓고 지연시간, 비트 오류 성능, 하드웨어적 복잡도에 대해서 다른 간섭 제거기와 비교한다. 그림 4는 사용자수에 따른 비트 오류 성능을 비교한 것이다.

그림 4는 사용자 수가 적을 때에는 제안된 간섭 제거기가 순차적 간섭 제거기의 비트 오류 특성을 그대로 따라가고 사용자 수가 많아질수록 순차적 간섭 제거기의 비트 오류 보다 증가됨을 보인다.

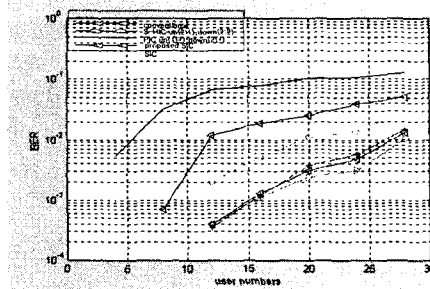


그림 4. 사용자 수에 따른 비트 오류

표 2는 제안된 순차적 간섭 제거기와 다른 간섭 제거기와의 지연시간, 하드웨어적 복잡도, 비트 오류 성능들을 비교했다. 하드웨어적 복잡도와 지연시간은 사용자 제거(cancellation) 수와 한 사

용자를 제거 시켜주기 위해 요구되는 루프당 추정되는 지연 시간을 1비트라는 것에 기초를 두고 계산되었다[10][11].

표2. 여러 간섭 제거기간의 성능 비교

	BER(6dB 인 경우)	# of cancellation	Delay time
SIC	0.0024	19	20
PIC(2 stage)	0.0025	760	a
S-HIC(g-2)	0.0027	390	4+2a
Proposed SIC	0.0037	38	12

(사용자 수 (K) : 20, a : 1~2비트)

제안된 순차적 간섭 제거기는 순차적 간섭 제거기의 두 배 되는 사용자 제거 수를 나타냈지만 여전히 낮은 하드웨어적 복잡도를 유지했고 비트 오류 성능 면에서 순차적 간섭 제거기 보다 0.0013의 증가를 보이지만 순차적 간섭 제거기의 비트 오류 성능을 비슷하게 유지한다. 지연시간 면에서 다른 간섭 제거기(PIC,HIC)와 비교했을 시 제안된 순차적 간섭 제거기는 지연 시간이 길지만 순차적 간섭 제거기의 지연 시간을 20bit에서 12bit로 줄였다.

VI. 결론

제안된 순차적 간섭 제거기의 각 그룹에서 처리되는 사용자 수에 따라 지연 시간과 비트 오류 성능이 달라지는데 본 논문에서는 지연 시간을 줄이는 것에 중점을 두고 전체 사용자수가 짝수일 때 각 그룹에서 처리하는 사용자 수를 위쪽 그룹 $K/2-1$ 명, 아래쪽 그룹 $K/2+1$ 명으로, 홀수일 때 $(K-1)/2$ 명, $(K+1)/2$ 명으로 했다. 제안된 순차적 간섭 제거기는 병렬형 간섭 제거기(PIC)와 비교해서 만족할만한 지연시간을 가지지는 못하지만 순차적 간섭 제거기(SIC)와 비교했을 경우, 지연 시간을 K bit에서 전체 사용자 수가 짝, 홀수 일 때 각각 $K/2+2$, $(K+3)/2$ bit으로 줄였다. 비트 오류 성능 면에서 제안된 순차적 간섭 제거기가 순차적 간섭 제거기의 비트 오류 성능과 비슷하게 유지함을 시뮬레이션을 통해 확인했으며 순차적 간섭 제거기의 두 배가 되는 사용자 제거수를 나타냈지만 여전히 낮은 하드웨어적 복잡도를 유지했다. 즉 순차적 간섭 제거기의 장점을 유지하는 동시에 단점을 극복한 제안된 간섭 제거기는 실제 구현측면에서 다른 간섭 제거기보다 좋은 특성을 가진다.

참고문헌

- [1] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DS - CDMA Communications", *IEEE Communication Magazine*, pp.124-136, Oct. 1996
- [2] S. G. Glisic, P. A. Leppanen, "Code Division Multiple Access Communications", Kluwer Academic Publishers, 1995
- [3] S. C. Yang, "CDMA RF System Engineering", Artech House Publishers, pp.83-85, 1998
- [4] R. Lupas, S. verdu, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels", *IEEE trans. on Information theory*, vol. 35, no. 1, Jan. 1989
- [5] M.K Varanasi, B. Aazhang. "Near-Optimum Detection in Synchronous Code Division multiple-Access System", *IEEE trans. on Information theory*, vol. 39, no. 5, May. 1991
- [6] A.Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA System", *IEEE Personal Commun*, vol. 2, no.2, pp.46-58, Apr. 1995
- [7] G. Xue, E. Gunawan, V. K. Dubey, C. B. Soh, "Performance of DS-CDMA System with M-ary Orthogonal modulation and Successive Interference Cancellation ", *ICICS '97*, vol. 2, Sep. 1997
- [8] Anthony C.K. Soong, Witold A.Szymien, "Performance of a Reference Symbol Assisted Multi-Stage Successive Interference Cancelling Receiver With Quadrphase Spreading" , *IEEE 47th Vehicular technology Conference Proceedings*, vol. 2-A, May. 1997
- [9] P. Patel, J. Holtzman, "Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, No. 5, pp.796-807, June. 1994
- [10] D. Koulakiotis, A.H. Aghvami, "Evaluation go a DS/CDMA Multi-user Receiver Employing a Hybrid form of Interference Cancellation in Rayleigh Fading Channels", *IEEE Comms. Letters*, Vol. 2, No. 3, pp.61-63, March 1998.
- [11] D. Divsalar. M. simon. and D.Raphaeli. "A new approach to parallel interference cancellation for CDMA." in *Proc. Globecom'96, London, U.K*, pp. 1452-1457, Nov. 1996