

# 이동위성통신 DS/CDMA 시스템에서 도플러 시프트 보상기술의 해석

강희조\*

\*목원대학교 컴퓨터공학부

## Analysis of Doppler Shift Compensation Techniques in DS/CDMA System Mobile Satellite Communication

Heau-jo Kang\*

\*Division of Computer Engineering, Mokwon University

E-mail : hjkang@mokwon.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 이동위성통신 DS/CDMA 시스템의 상향링크 채널에 대한 이중모드 통신방식을 제안하고, 제안 시스템의 성능을 해석하고 제안 시스템의 유용성도 확인하였다. 또한 이동위성통신 DS/CDMA 시스템에 큰 도플러 옵셋의 해결방안으로 Kajiwara가 제안한 이중채널 방식을 이용하여 이동위성채널에 널리 쓰이는 라이시안 페이딩 모델을 설정하였으며 변조 방식으로는 DCPSK 신호를 이동체의 속도와 전송률 에러의 성능을 비교 분석하였다.

### 1. 서 론

최근에 지상 셀룰러 시스템에 대하여 CDMA의 응용에 상당한 관심을 가져왔다. 셀룰러 CDMA의 선택은 잠재적 용량 증대, 원근문제에 강한 능력, 소프트 셀 핸드오프 때문에 매력적이다[1],[2]. 셀룰러 CDMA의 개발과 병행하여, 새로운 주파수 밴드가 1-3 GHz 대역에서 이동 위성 서비스에 할당되었다. 왜냐하면, 저궤도위성과 정지궤도 위성으로부터 휴대용 단말기를 통해서 사용자에게 개인통신 서비스를 제공하기 위해서이다. 저궤도 위성은 전 세계의 모든 지역에서 사용자에게 통신 서비스의 광역화를 제공할 것이다. 정지궤도 위성과 비교했을 때, 저궤도 위성은 가벼우며 저전력을 사용하는 단말기와 훨씬 짧은 전파 지연 및 가시거리 전송을 제공한다[3]. 게다가, CDMA를 도입한 저궤도 위성 시스템은 고용량과 낮은 침투치 대 평균전력 비를 제공한다[4]. 이러한 시스템은 지상 셀룰러 시스템을 교체하는 것이 아니라 전 세계 무선 네트워크 영역을 확장하는 것이다. 그러나, 이 시스템은 반송파 주파수와 위성의 고도에 따라서, 30~60 kHz 범위에서 반송파는 큰 도플러 옵셋을 겪는다.

저궤도 위성 시스템에서 이용할 수 있는 몇 가지 복조 구성도가 있을 수 있다:

1) 동기 PSK(CPSK) 복조기. PLL(phased lock loop)에 의한 반송파 복원은 최악 상황의 도플러

쉬프트를 조정하기에 충분히 넓게 선택된 루프 대역폭 때문에 큰 도플러 쉬프트의 존재에서 어렵다[5],[6].

2) DPSK(differential PSK) 복조기. DPSK 복조기는 반송파의 주파수 옵셋에 아주 민감하므로 저궤도 위성에 이용할 수 없다.

3) DDPSK(double differential PSK) 복조기. DDPSK 복조기는 도플러 옵셋에 민감하지 않다. 그러나, 그것은 이상적인 DPSK 복조기와 비교했을 때, 대략 3.5 dB의 SNR 감소를 일으킨다[7].

본 논문은 큰 도플러 옵셋의 해결 방안중의 하나로써 상향링크(단말기에서 위성 방향)에 대해서 DCPSK (dual-channel PSK)를 이용하며 반송파 복원에 대하여, 파일럿 전송이나 반송파 복원 회로가 필요 없고, 주파수 옵셋과 국부 발진기 불안과 무관한 성능을 지니며, 차동 부호기/복호기가 필요 없다.

DCPSK 복조기를 사용한 CDMA 시스템에서, 전송된 CDMA 신호는 직교선형편파로 된 두 성분으로 구성되어지는데, 이것은 차동 PN 코드에 의해서 확산되며, 그들 중의 오직 하나만이 데이터 열에 의해서 변조된다. 수신기에서, 대응하는 정합필터(역 확산기)에 의해서 역 확산된 두 성분 중의 하나가 복조를 위한 파일럿 기준 반송파로써 사용된다. 비록 DCPSK 복조기가 교차편파 주파수 재사용을 활용할 수 없을지라도, 이러한 성분들이 둘 다 같은 도플러 천이와 국부 발진기

불안을 보이므로, 시변 도플러 주파수 오프셋이 수신된 신호로부터 완벽하게 제거될 수 있다. 일반적으로, 예러가 두 그룹에 발생할 수 있으므로 CPSC 복조기가 버스트 에러를 피하기 위하여 송/수신기에서 차동 부호화/복호화 동작을 필요로 한다. 반면에, 복조기가 단일 사용자 채널에서 부가성 가우스 잡음으로 3 dB 열화를 유발시키는데, 이것은 이중채널 신호 처리가 행해야 할 상관관계이다. 그러나, CDMA 채널이 일반적으로 간섭이 제한되어 있으므로 동일 채널 간섭이 가우스잡음 보다 더 주된 성분이 된다.

본 논문에서는 이동위성통신 DS/CDMA 시스템에 큰 도플러 오프셋의 해결방안으로 Kajiwara가 제안한 이중채널 방식을 이용하여 이동위성채널에 널리 쓰이는 라이시안 페이딩 모델을 설정하였으며 변조 방식으로는 PSK 신호를 이동체의 속도와 전송률 에러의 성능을 비교 분석하였다.

## II. 이동위성 DS/CDMA 시스템

### 2.1 저궤도 위성 시스템

저궤도 위성은 전 세계 모든 곳에서 사용자에 게 폭 넓은 통신 서비스를 제공한다. 정지궤도 위성 과 비교하면, 저궤도 위성은 가볍고 저 전력을 사용하는 단말기와 훨씬 짧은 전달지연과 LOS(가 시거리) 전송을 제공한다. 현존하는 지상 셀룰러 와 네트워크에 기반을 둔 저궤도 위성 사이의 통합은 전 세계 네트워크를 구축하기 위한 최종 목 표가 될 것이다. 즉, 개인 전화기는 셀룰러 전송 과 위성 전송 사이에서 상호 교환 가능한 이종모 드 단말기가 될 것이다. 또한, DS/CDMA와 관련 된 저궤도 위성 시스템은 CDMA 신호 포맷을 채 용한 다른 시스템과 주파수 공유를 허용한다. 실 제로, 음성 서비스가 PCS 채널의 대다수를 차지 하기 때문에 음성 활동 성분이 주파수 효율성 향 상에 중대한 결과를 초래한다. 몇 가지 문제점들 이 시스템 구축을 위해 해결되어야 하는데, 그 중의 하나가 30 kHz ~ 60 kHz 범위의 도플러 주파수 오프셋이다.

### 2.2 도플러 주파수 오프셋

주파수 오프셋은 수신기에 있어서 동기와 이동에 따른 도플러 천이의 영향 등에 의하여 발생한다. 성공적으로 이동위성통신 시스템을 구현하는데 요구되는 중요한 요소 하나가 도플러 주파수 오프셋에 강한 복조기를 개발하는 것이다. BER 성능 은 오프셋이 크고 시변하는 반송파 주파수 오프셋에 덜 민감해야 한다. 도플러 주파수 오프셋  $\Delta f$ 는

$$\Delta f = f_c \cdot \frac{V}{c}$$

여기서,  $f_c$  : 반송파 주파수,  $V$  : 단말기에 대 한 위성 속도이다.

위성이 바로 단말기 위에 위치할 때,  $\Delta f = 0$ 이

다. 도플러 주파수 오프셋 뿐만아니라, 송/수신기 내부의 국부발진기도 주파수 오프셋을 유발한다. 예 를 들어,  $10^{-6}$ 의 정확성을 가지는 국부 발진기는 2.4 GHz의 반송파 주파수에 대해서 2.4 kHz의 주파수 오프셋을 초래한다.

### 2.3 라이시안 페이딩 통신로

위성과 항공기, 위성과 지상 이동체 간의 통신은 라이시안 페이딩 통신로를 모델링하여 많은 연구가 행해지고 있는데, 이와 같은 라이시안 페이딩 채널을 통해 수신된 신호는 가시거리 성분 인 직접파 성분과 전송로에 인접한 물체로부터 반사되어 시간 지연을 갖고 도달하는 반사파 성분으로 구성된다. 직접파 성분은 자유공간을 전파 하는 성분이고 반사파 성분은 직접파와 같은 형태를 지니지만 진폭은 레일리 분포를 하고 위상 은 랜덤하게 변화한다. 이때 수신 신호 진폭의 실효치로 정규화 시킨 진폭의 변동을

$$\gamma \left( = \frac{R}{\sqrt{R^2}} \right)$$

다음과 같다[8].

$$p(\gamma) = \begin{cases} 2\gamma(k+1)\exp[-k-\gamma^2(k+1)]I_0[2\gamma\sqrt{k(k+1)}] & \gamma \geq 0 \\ 0 & ;\text{그외} \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $I_0(\cdot)$ 는 0차의 변형 베셀함수이고  $k$  는 직접파대 반사파 비이다.

## III. 이중채널 복조기

### 3.1 이중채널 복조기를 사용한 DS/CDMA

DS/CDMA BPSK 신호로 가정된 곳에서 블럭 도가 그림 1에 설명되어 있다. 송신된 신호는  $\pi/2$  범위 밖에서 두 선형편파 성분으로 구성되 고, 그것은 차동 PN 코드에 의해 확산되며, 두 편파 성분 중 오직 하나만이 데이터 스트림에 의 해서 변조된다. 그 두 성분에 대한 차동 직교 PN 코드의 사용은 교차-편파 결합에 기인한 성능 열 화를 피하기 위한 것이다. 이종모드 결합기에서, 수신된 CDMA 신호는 두 복소 선형 성분  $r_s(t)$ 와  $r_d(t)$ (복소 IF 신호)로 나누어지는데 그것이 대응 하는 정합필터(역 확산기)를 거쳐 I-Q 복조기에 인가된다. 그때,  $r_s(t)$  와  $r_d(t)$ 는

$$r_s(t) = \sum_{i=1}^M \sqrt{P_i} \gamma_i \cdot c_k(t - \tau_i) \quad (2)$$

$$\cdot \exp[j(\omega t + \varphi_i - \pi/2)] + n_s(t)$$

$$r_d(t) = \sum_{i=1}^M \sqrt{P_i} \gamma_i \cdot c_k(t - \tau_i) \quad (3)$$

$$\cdot \exp[j(\omega t + \theta_i(n) + \varphi_i)] + n_d(t)$$

여기에서,  $P_i$  : 각각의 선형 성분에 대한  $i$ 번째 터미널에 수신된 전력,  $\gamma_i$  : 라이시안 페이딩 랜덤 진폭  $\tau_i$  : 상대적 시간 지연 ( $0 \leq \tau_i \leq T$ ),  $T$  : 데이터 심볼 주기,  $c_R(t)$ 와  $c_Q(t)$  : 처리이득  $G_p$ 인 직교 확산 코드,  $M$  : 실제 터미널 사용자 수,  $w$  : 미지 주파수 오프셋  $\Delta f$ 를 포함한 반송파 각 주파수,  $\varphi_i$  : 위상 항(두 성분 사이의 차동 위상 차이가 여기에서 고려되었다),  $\theta_i(n)$  :  $(n-1)T \leq t \leq nT$  동안 0 또는  $\pi$  값을 취하는 BPSK 데이터 위상,  $n_k(t)$ 와  $n_Q(t)$  : 단측파대 전력 주파수 밀도  $N_0$ 를 사용한 평균이 0인 부가성 가우스 잡음(복소).

첫 번째 신호를 희망신호와  $w \gg 2\pi/T$ 로 가정하면 일반적으로 손실이 없으므로 역확산 I 채널 신호(복소)는

$$R_I(\tau_1) = \int_0^T r_I(t) \cdot c_{I1}(t-\tau_1) dt \quad (4)$$

$$= A_I + I_I + GN_I$$

$$A_I = \sqrt{P_1} T \cdot \exp[j(w\tau_1 + \varphi_1 - \pi/2)] \quad (5)$$

$$I_I = \sum_{k=2}^M \sqrt{P_k} T \cdot R_{Ik}'(\tau_k - \tau_1) \cdot \exp[j(w\tau_1 + \varphi_1 - \pi/2)] \quad (6)$$

$$GN_I = \int_0^T n_I(t) \cdot c_{I1}(t-\tau_1) dt \quad (7)$$

여기서,  $R_{Ik}'(t) : c_1(t)$ 와  $c_k(t-\tau)$  ( $k \neq 1$ )의 상호상관 함수.

또한 최대 도플러는 확산 대역폭과 비교해서 일반적으로 무시할 수 있으므로 총 시스템 대역폭은  $2\pi \cdot G_p/T$ 로 가정할 수 있다.

해석의 단순화를 위해  $M \gg 1$ 이고 전력 제어 ( $P_k = P$ )가 완벽하다고 가정하면, 동일 채널 간섭 항  $I_I$ 는 [9]로 주어진 분산이  $\sigma_I^2$ , 평균이 0인 독립 가우스 변수로 간주될 수 있다.

$$\sigma_I^2 = \frac{(M-1) \cdot PT^2}{2 \cdot G_p} \quad (8)$$

(6)-(8)로 부터, 동일 채널 간섭과 부가성 잡음  $U_I (= I_I + GN_I)$ 는 평균이 0, 분산  $\sigma_U^2$ 인 가우스 변수로 다룰 수 있다[9].

$$\sigma_U^2 = \frac{v \cdot (M-1) \cdot PT^2}{2 \cdot G_p} + N_0 \cdot T \quad (9)$$

유사하게, 역확산 Q 채널 신호는

$$R_Q(\tau_1) = \int_0^T r_Q(t) \cdot c_{Q1}(t-\tau_1) dt \quad (10)$$

$$= A_Q + I_Q + GN_Q$$

$$A_Q = \sqrt{P_1} T \cdot \exp[j(w\tau_1 + \theta_1(n) + \varphi_1)] \quad (11)$$

$$I_Q = \sum_{k=2}^M \sqrt{P_k} T \cdot R_{Ik}^Q(\tau_k - \tau_1) \cdot \exp[j(w\tau_1 + \theta_k(n) + \varphi_1)] \quad (12)$$

$$GN_Q = \int_0^T n_Q(t) \cdot c_{Q1}(t-\tau_1) dt. \quad (13)$$

$I_Q + GN_Q (= U_Q)$ 는 분산이  $\sigma_U^2$ , 평균이 0인 독립 가우스 변수이다.

이중 채널 프로세스에서,  $R_I(\tau_1)$ 과  $R_Q(\tau_1)$ 이 그림 2처럼 I-Q 복조기에 인가되고, 그것의 결정 알고리즘은

$$d_1(n) = \text{sgn}(\text{Im}\{R_I^*(\tau_1) \cdot R_Q(\tau_1)\}) \quad (14)$$

$$= \text{sgn}(\text{Im}\{(A_I + U_I)^* \cdot (A_Q + U_Q)\})$$

$$= \text{sgn}(PT^2 \cdot \cos[\theta_1(n)] + N_U)$$

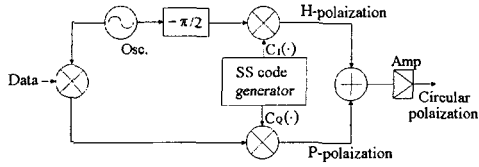
여기서,  $N_U = \text{Im}\{A_I^* \cdot U_Q + A_Q \cdot U_I^* + U_I^* \cdot U_Q\}$ ,

$\text{Im}\{\cdot\}$ 은 복소 변수 중 영상 부분이고,  $[\cdot]^*$ 은  $[\cdot]$ 의 공액 신호이다.

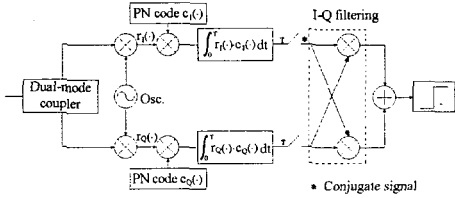
정적 채널에서 BER 값  $P_E$ 는

$$P_E = \frac{1}{2} \cdot \exp\left[-\frac{1}{\frac{M-1}{G_p} + \frac{2}{E_b/N_0}}\right] \quad (15)$$

여기에서, 각 선형 성분에 대한 에너지는 (2)과 (3)로부터  $PT/2$ 이므로 원형 편파의 비트 에너지는  $E_b = P \cdot T$ 이다. (15)로부터 분명히, BER 성능이 미지의 도플러 주파수 오프셋에 영향을 받지 않는다. 저레도 이동 위성이 시변 도플러 주파수 오프셋을 유발시킬지라도, 복조기는 시변 도플러 주파수 오프셋에 효과적이다. 이 복조기의 결점은 단일 사용자 채널( $M=1$ )에서 부가성 가우스 잡음에 3 dB 열화를 받고, 그것은 반 도플러 용량에 대한 값이다. 그러나 DS/CDMA 채널은 일반적으로 간섭 제한되므로 동일 채널 간섭이 부가성 잡음보다 더 큰 영향을 미치는 요소이기 때문에, 시스템의 성능의 저하가 상대적으로 작다.



(a) 송신기



(b) 수신기

그림 1. 제안 시스템 모델

IV. 주파수 효율

CPSK 복조기를 사용한 CDMA 시스템의 주파수 효율,  $\eta_{CPSK}$  는 다음과 같이 주어진다.

$$\eta_{CPSK} = \frac{C}{N_0 \cdot W_s} \cdot \frac{1}{\beta_W} \cdot \frac{1}{v \cdot \left(1 + p \cdot a \cdot \frac{c}{N_0 \cdot W_s}\right) \cdot \left(\frac{E_b}{N}\right)_{req}} \quad (16)$$

여기서,  $C = M \cdot E_b \cdot R_b$ ,  $M$  : 시스템에서 접속 사용자 수,  $R_b$  : 데이터 심볼율(=1/T),  $W_s$  : 확산 대역폭,  $\left(\frac{E_b}{N}\right)_{req}$  : 특정 BER을 요구하는 밀도율(동일 간섭 채널 + 잡음)에 대한 비트당 신호 에너지,  $p$  : 편파 분리 인자,  $\beta_W$  : 전체 시스템 대역폭과 칩을 비.

다른 한편으로는, DCPSK 복조기를 사용한 CDMA 시스템의 주파수 효율,  $\eta_{DCPSK}$  는 (14)로부터 (17) 같이 표현된다.

$$\eta_{DCPSK} = \frac{C}{N_0 \cdot W_s} \cdot \frac{1}{\beta_W} \cdot \frac{1}{v \cdot \left(2 + a \cdot \frac{c}{N_0 \cdot W_s}\right) \cdot \left(\frac{E_b}{N}\right)_{req}} \quad (17)$$

여기서,  $E_b$  : 양쪽 선형 편파 성분의 합,

IV. 계산결과 및 검토

그림 2 에러 정정과 음성 활동 사이클은 고려하지 않고  $\Delta f = 30$  kHz인 도플러와 처리이득  $G_p = 128$ 에 대해서 동시 접속 사용자 함수로써 BER을 보여준다. 비록 CPSK는 단일 사용자 채널에서 우수하지만 DCPSK는 사용자 접속 수  $M$ 이 2보다 클 때에 CPSK보다 더 우수하다. 이것은  $M > 2$ 에 대하여 동일 채널 간섭이 가우스 잡음보다 더 우세하고 간섭을 포함하는 파일럿 신호가 위상 에러의 증가를 초래하기 때문이다.

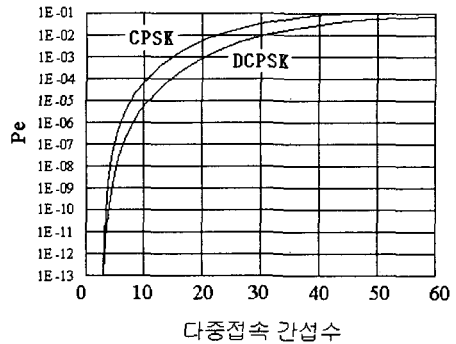


그림 2. 다중접속 간섭에 의한 에러 성능(SNR = 20 dB, 도플러 : 30 kHz)

그림 3에서는 라이시안 페이딩에서 이동체의 속도 및 변조방식에 따른 시스템의 성능을 비교하였으며 이동체의 속도가 빠르게 움직이면 도플러 주파수가 커져서 성능이 열화 됨을 확인할 수 있으며 변조 방식에 따른 성능도 열화함을 확인할 하였다.

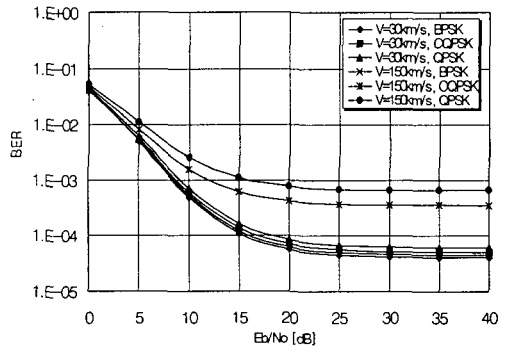


그림 3. 페이딩에서 이동체의 속도 및 변조방식에 따른 BER 성능 ( $f_c = 1.8$ GHz,  $K=10$ ,  $U=5$ ,  $N=255$ , Transmission rate= 9.6 kb/s)

그림 4은 최대 도플러 주파수가 30 kHz일 때

주파수 효율을 보여준다. BER이  $10^{-3}$ 일 때 코딩 이득은 대략 4 dB인 코드율이 1/3, 구속장 길이가 6인 컨볼루션 코드의 사용을 가정한다. 그러므로, 1.2 dB의 장치 구현 마진과 0.7 dB(150 mm/hr의 폭우일 때)의 차동 위상 쉬프트 손실에 대하여, DCPSK 복조기의  $(E_b/N)_{req}$  값은 대략 5.9 dB이다. 또한 CPSK 복조기에 대한 PLL의 루프 필터는 pull-in time이 대략 3.1 ms( $T_p=30T$ )이다.

DCPSK 복조기를 사용한 CDMA 시스템은 CPSK 복조기를 사용했을 때보다 더 좋은 주파수 효율을 제공한다는 것을 알 수 있다.

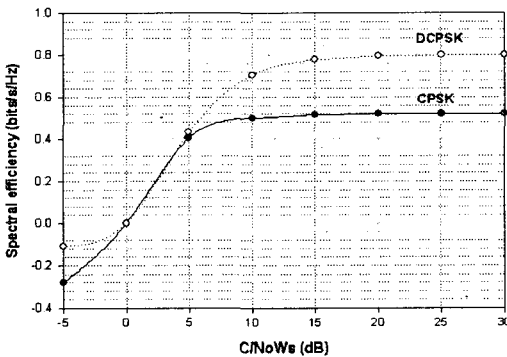


그림 4. 스펙트럼 효율(도플러 율셋 : 30 kHz)

### V. 결론

본 논문에서는 이동위성통신 DS/CDMA 시스템의 상향링크 채널에 대한 이중 채널 복조기를 제안하고, 이 시스템의 성능을 해석하고 분석하였다. 제안 시스템에서 복조기는 반송파 복원, 차동 부호화/복호화, PLL과 같은 반송파 복원회로를 위해 임의의 프리앰블 전송이 필요하지 않으므로, 그 결과 높은 주파수 효율과 시스템의 복잡성을 줄일 수 있으며 이동위성통신 DS/CDMA 시스템에서, 이중채널 복조기는 도플러 주파수 율셋에 강하고 높은 효율을 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

[1] K. S. Gilhousen et al., "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.  
 [2] W. C. Y. Lee, "Smaller cells for greater performance," IEEE Comm. Mag., pp. 48-51, Nov. 1991.  
 [3] 森永規彦, "次世代衛星通信技術の潮流", 電子情報通信學會論文誌, B-II, vol.

[4] J. L. Grubb, "the traveler's dream come true," IEEE Comm. Mag., pp.48-51, Nov. 1991  
 [5] K. Gilhousen et al., "Increased capacity using CDMA for mobile satellite communication," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 8, no. 4, pp. 503-514, May 1990.  
 [5] F. M. Gardner, Phase lock Techniques. New York: Wiley, 1979, pp. 71-79.  
 [6] R. E. Ziemer and W. h. Tranter, Principles of Communications Systems, Modulation, and Noise, Boston, MA: Houghton Mifflin, 1976, pp 319-342.  
 [7] M. K. Simon and D. Divsalar, "On the implementation and performance of single and double differential detection schemes," IEEE Trans. Comm., vol. 40, no. 2, pp. 278-291, Feb. 1992.  
 [8] A. J. Viterbi and A. M. Viterbi, "Nonlinear estimation of PSK-modulated carrier phase with application to burst digital transmission," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 29, no. 4, pp. 543-551, Apr. 1983.  
 [9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple-access communication - Part I: System analysis," IEEE Trans. Comm., vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.