CDMA 이동통신시스템의 역방향 전력제어 성능평가

정 영 지*, 박 형 윤*

Performance Evaluation of Reverse Link Power Control in CDMA System

Yeong-Jee Chung, Hyoung-Yun Park

Abstract

본 논문에서는 CDMA 이동통신 시스템의 모델을 설정하고, 역방향 전력제어에 대한 모델을 제안하였으며 전력제어 파라메터에 따른 CDMA 이동통신 시스템의 성능을 평가하였다. 이때 역방향 전력제어 성능 평가 파라메터는 역방향 링크 전력 제어 주기 Tp, 전력제어 지연시간 kTp 그리고 콤맨드 에러 CMD_ERR와 전력의 증가 및 감소량을 나타내는 PWR_STEP등이며, 이들 파라메터들의 평가 결과는 Tp에 대하여 단말기의 이동 속도가 빠를수록 수신 신호 전력 레벨은 기준 레벨에서 심하게 변하는 잔류 페이딩을 볼 수 있었다. 콤맨드 에러에 의한 영향 보다는 전력제어 시간 지연에 의한 영향이 더 크게 나옴을 볼 수 있었으며 PWR_STEP의 변화에 따른 영향은 변화량이 약 2dB로 커질때 전력 제어 오차가 작아짐을 보였다. 이러한 결과 고찰을 통하여 CDMA 이동통신 시스템의 역방향 전력제어 시뮬레이션을 통해 전력제어 파라미터를 최적화함으로써CDMA이동통신 시스템의 성능을 개선할 수 있음을 보였다.

1. 서 론

CDMA 방식은 한정된 주파수 대역에 수용할 수 있는 채널을 극대화 할 수 있다는 장점이 있음에 따라 디지털 이동통신의 효율적인 다원 접속 방식으로 채택되었다. 그러나 동일한 주파수 내의 채널의 수가 증가함에 따라 간섭 전력도 증가하게 되어 수용할 수 있는 채널 수의 제한을 가져오게 된다. 또한, 디지털 이동 통신망은 셀룰라 방식을 취하기 때문에 여러 개의 셀로써 구성되어져 있으므로 하나의 셀 내의 기지국을 중심으로 순방향 및 역방향에 대한 이러한 현상은 단일 셀 내의 채널에 의한 영향뿐만 아니라 인접한 주변 셀로부터의 영향과 전파 환경에 따른 영향을 받게 된다.[1][3]

그러므로 이동통신 시스템의 운용 효율을 극대화 하기 위해서는, 각 사용자의 전송 전력을 제어하여, 기지국의 수신기에서 수신되는 신호 세기를

* 원광대학교 컴퓨터 및 정보통신공학부
접수일자 : 1999년 11월 27일

통화에 필요한 최소한의 세기가 되도록 유지하는 전력 제어가 필수적이다.[9][10]

본 논문에서는 이동국으로부터 기지국으로 전송되는 역방향 전력 제어로 개방 회로 전력 제어와 폐쇄 회로 전력 제어 그리고 외부 회로 전력 제어의 전력 제어 알고리듬을 모델링하고 전력제어 파라메터를 정의한다.

그리고 각각의 전력제어 파라메터를 변화시켜 시뮬레이션을 수행함으로써 전력제어 파라메터가 시스템의 성능에 어떤 영향을 주는지 살펴본다. 이를 위하여 CDMA 이동통신 시스템의 해석모델을 설정하고, 채널 및 트래픽 그리고 단말기의 이동성을 모델링하여 시뮬레이션을 수행함으로써 디지털 이동통신 시스템의 성능 평가를 위한 역방향 전력제어 평가 모델을 제안하고자 한다. 또한 다양한 전파환경 및 셀의 환경조건에 대한 CDMA 파라메터의 시뮬레이션 결과의 해석 그리고 시스템 해석모델을 통하여 다양한 전파환경에 대하여 CDMA시스템의 역방향 전력제어에 대한 전력제어 파리미터의 최적화 방법을 제시하고, 전력제어 파라미터가 시스템에 미치는 영향을 평가,분석함으로써 CDMA 이동통신 시스템 성능의 극대화 방법을 모색하고자 한다.

2. 전력 제어 모델

CDMA 시스템은 일반적으로 간섭제한 시스템으로 알려져 있다. CDMA 시스템은 동일 주파수 대역을 여러 사용자가 동시에 사용하므로 자기 셀내에서의 간섭 및 주변 셀로 부터의 간섭이 존재하여 시스템의 용량을 제한하는 주요인이 된다. 따라서 시스템의 용량을 증가시키기 위한 가장 기본적인 방법은 전력 제어이다. 즉, 시스템의 용량은 그 시스템이 견딜 수 있는 전체 간섭양에 의해 결정되므로 용량을 증가시키시 위해서는 각 사용자의 전송 전력을 적절히 제어하여, 기지국의 수신기에서 수신되는 신호 세기를 미리 설정된 신호 대 간섭 및 잡음비 SINR을 만족하도록 하는데 필요한 최소한의 세기가 되도록 하는 전력 제어가 필수적이다.

CDMA 이동통신 시스템에서 역방향의 경우 '원근단 문제(Near-end far-end problem)'가 존재하며, 순방향의 경우 '코너 효과(Coner effect)'가 존재한다고 알려져 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 역방향 및 순방향 전력 제어가 동시에 수행되어야 한다. 본 절에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 사용되는 각 방향 전력 제어의 정확도 및 사용되는 파라메터의 값을 설정하기 위한 시뮬레이션 모델을 설정한다.

그림 1은 기지국 전력 제어 방식과 이동국 전력 제어 방식을 채널을 포함하여 모델링 한 것이다.[3][4]

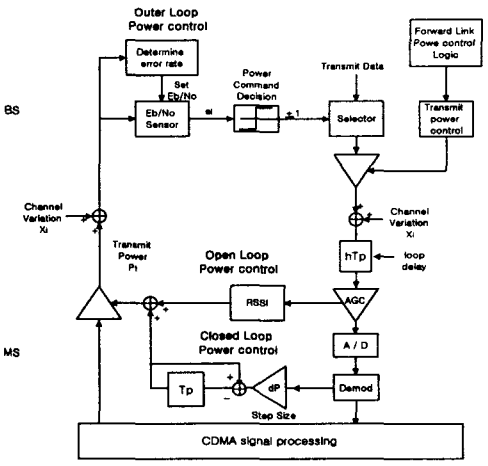


그림 1. 전력 제어 개념도

2.1역방향 전력 제어

역방향 전력 제어는 이동국에서 기지국으로 전송되는 이동국의 전력을 제어하는 것으로 개방 회로 전력 제어와 폐쇄 회로 전력 제어 및 외부 회로 전력 제어로 나누어지며 각각 독립적으로 수행된다.

개방 회로 전력 제어

개방 회로 전력 제어에서는 각 이동국이 순방향 링크를 통하여 수신되는 총 전력을 측정하여 역방향 링크의 경로 손실을 추정한다. 이동국은 호 접속시 페이징 채널을 통해 수신되는 APM(Access Parameters Message)을 이용하여 초기 송신 전력의 세기를 결정한 후, 엑세스 응답이 올 때 까지 송신 전력을 일정 크기만큼 반복적으로 증가시킨다. 접

속이 된 후에는 AGC 입력을 통해 들어오는 신호 세기를 측정하여 송신 전력의 크기를 결정한다. 이를 수식으로 간략히 표현하면 다음과 같다.

$$P_t^m = k - P_r^m \quad \cdots\cdots (1)$$

P_t^m : 이동국 송신 전력

P_r^m : 이동국 수신 전력

k : Turn Around Constant

여기서 k는 다음과 같으며, 보통 -73[dB] 정도이다.

$$k = E_B/N_t + 10\log(N_0R) + P_t^c + F_{mc} - 10\log(1-X) + 10\log(1+c_1+c_2) \quad \cdots\cdots (2)$$

E_b : 비트 에너지

N_t : 총 잡음

N_0 : 열잡음 전력 밀도

R : 데이타율

P_t^c : 기지국 송신 전력

F_{mc} : 기지국 잡음 지수

X : 기지국 부하

c_1 : 타셀 전력/자기셀 전력

c_2 : 열잡음/자기셀 전력

채널의 변화를 좇아가는 개방 회로 전력 제어의 속도는 AGC 필터의 시정수에 의해 결정된다. 만약 시정수가 τ이면 이동국의 송신 전력은 다음과 같다.[5]

$$P_t^m(t) = P_t^m(1 - \exp(1 - \frac{t}{\tau})) \quad \cdots\cdots (3)$$

본 시뮬레이션에서는 이동국에서 이루어지는 수신 전력 추정은 완벽하다고 가정하며 AGC의 시정수는 변화를 주어 시뮬레이션을 수행한다.

폐쇄 회로 전력 제어

순방향 링크와 역방향 링크는 서로 독립적이므로 서로 다른 페이딩을 겪게 된다. 이것을 보상해 주기 위해 폐쇄 회로 전력 제어가 필요하다. 이를 위해 기지국에서는1.25[msec]마다 이동국으로 부터 오는 SNR을 측정하여, 기준 SNR(set Eb/No)보다 높은 지, 낮은 지를 파악한 후 이동국으로 다시 이에 대한 명령을 전송한다. 이동국에서는 이 명령을 받아 일정양(PWR_STEP) 만큼 전력을 조절하여 송신한다.[6][8]

본 논문에서는 폐쇄 회로 전력 제어의 시뮬레이션을 위해 피드백 전력 제어 방법을 적용한다. 이동국의 송신 전력 Pt는 전력제어 샘플링 주기 Tp 초 마다 ΔP만큼 변화시키고 기지국에서는 수신된 SNR을 측정하여 기준 SNR δ_i와 비교한 후 명령을 이동국에 전송한다. 이 명령은 채널을 통과할 때 지연 및 에러가 발생하게 되는데 이러한 지연 시간(kTp) 및 에러양에 따라 송신 전력의 변화 및 이에 따른 성능을 시뮬레이션을 통해 검토한다.

$$P_{i+1} = P_i - \triangle P \cdot C(E_{i-k}) \quad \cdots\cdots (4)$$

$$C(E_{i-k}) = \begin{cases} +1 & \text{if } E_{i-k} < 0 \\ -1 & \text{if } E_{i-k} > 0 \end{cases} \quad \cdots\cdots (5)$$

$$E_{i-k} = P_{i-k} + X_{i-k} - \delta_{i-k} \quad \cdots\cdots (6)$$

외부 회로 전력 제어

외부 회로 전력 제어는 역방향 링크의 폐쇄 회로 전력 제어의 기준 SIR를 조절하는 기능을 한다. 역방향 링크 폐쇄 회로 전력 제어는 기지국이 수신한 신호의 크기를 기준으로 전력을 제어하는 것이라면 외부 회로 전력 제어는 기지국이 수신한 메세지의 프레임 오류율을 기준한다. 따라서 외부 회로 전력 제어는 수신 신호 세기와 복조기에서 출력된 winning symbol의 에너지 크기로 부터 신호 대 잡음 비를 추정할 때에 일어날 수 있는 오류를 보정하는 역할을 한다.[7]

폐쇄 회로 전력 제어에서 일어날 수 있는 오류는 다음과 같다.

- 기지국의 역방향 링크에서 각 디바이스들의 이득 변화
- 기지국이 갖고있는 신호 에너지대 잡음 전력 밀도(noise spectral density) 대 복조기 출력 에너지 값 참조표(Look up Table)의 오차
- 실제 운영되고 있는 시스템의 참조표에 반영되지 않은 레이크 receiving에 참여한 finger의 숫자에 대한 변화오차 (일반적으로 그 차이는

signal to noise ratio가 작을 수록 크다.)

이 가운데 첫번째와 세번째 이유로 인한 오류는 순간적인 변화가 아니므로 본 연구에서는 두번째 이유로 인한 오차를 보정하는 역할로 외부 회로 전력 제어의 역할을 정의한다.

기지국의 복조기에서 얻는 winning symbol의 에너지는 결국 신호 성분과 잡음 성분의 합으로 보아야 한다. 따라서 이를 신호 성분으로 보고 만든 참조표에는 어느 정도 오차가 존재한다.

기지국이 수신한 신호의 세기는 AGC 루프에 의하여 일정하게 만들어지며, 따라서 복조기에서 winning symbol의 에너지는 S/I_o(S: Singal 전력, I_o: 전체 수신 신호 세기) 비에 비례한다.

복조기의 winning symbol 에너지는

$$E = G\frac{M^2S + MN_oW_B}{S + N_oW_B} \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서, G는 역방향 링크의 이득 이고, S는 신호 성분의 전력 세기, N_o는 단측대파의 잡음 전력 스펙트럼 밀도, W_B는 PN 칩의 전송 대역폭이고, M은 심볼당 PN칩 수이다. 식 (7)과 심볼 에너지 대 잡음 전력 밀도의 정의로 부터

$$E_w/N_o = \frac{ST}{N_o} = \frac{MS}{N_oW_B} \quad \cdots\cdots (8)$$

$$E = G \cdot \frac{M \cdot E_w/N_o + M}{\frac{E_w/N_o}{M} + 1} = G \cdot M^2 \cdot \frac{E_w/N_o + 1}{E_w/N_o + M} = E_S + E_N \quad \cdots\cdots (9)$$

이고, 여기서 E_S와 E_N은 각 각, winning symbol 에너지의 신호 성분과 잡음 성분으로 다음과 같다.

$$E_S = GM^2\frac{E_w/N_o}{E_w/N_o + M} \quad \cdots\cdots (10)$$

$$E_N = GM^2\frac{1}{E_w/N_o + M} \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서 부호화된 데이터 6비트가 1 Walsh 심볼로 변환되므로 부호화되지 않은 데이타 한 비트에 대한 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도와 심볼 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도의 관계는 다음과 같다.

$$E_b/N_o = \frac{E_w/N_o}{6R} \quad \cdots\cdots (12)$$

여기서, R은 채널 코딩율이다.

2.2 전력 제어 파라메터

전력제어 알고리즘에 대한 성능을 시험하기 위해서는 다양한 시스템 입력 파라미터를 정의해야 하며, 이를 시뮬레이션에 적용하여 성능을 분석한다.

역방향 폐쇄 회로 전력 제어

그림 2는 폐쇄 회로 전력 제어의 흐름도이며, 아래의 파라메터는 시스템 파라메터의 의미를 간략히 설명한 것이다.

T_p : 역방향 링크 전력 제어 주기

kTp : 지연 시간

CMD_ERR : 기지국으로 부터 전송되는 전력 제어 명령이 채널을 통과할 때 발생하는 오류 확율 (0 ~ 10%)

PWR_STEP : 이동국이 기지국으로 부터 명령을 받아 수행하는 전력의 증가 및 감소량 (0.5또는 1[dB])

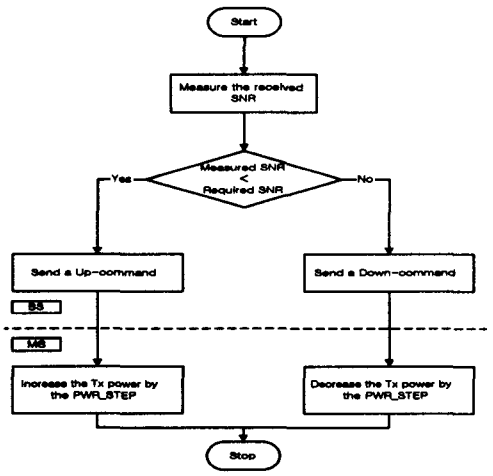


그림 2. 역방향 폐쇄 회로 전력 제어의 흐름도

역방향 개방 회로 전력 제어

그림 3은 개방 회로 전력 제어의 개념을 나타낸 것이며, 파라메터는 아래와 같다.

PWR_INIT : 개방 회로 전력 제어시 전송되는 초기 송신 전력

K : Turn Around Constant

τ : AGC의 시정수

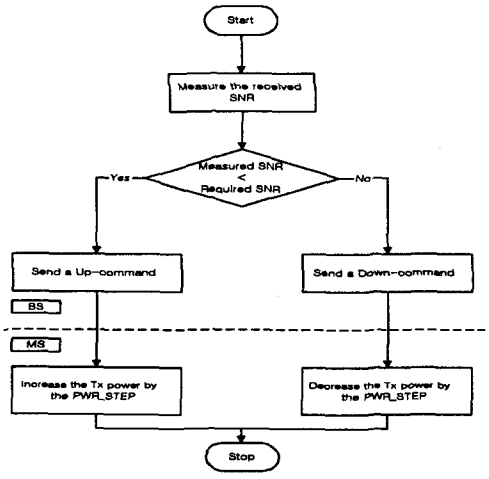


그림 3. 역방향 개방 회로 전력 제어 흐름도

역방향 외부 회로 전력 제어

그림 4는 외부 회로 전력 제어의 시뮬레이션을 위한 구성도이며, 파라메터는 아래와 같다.

THRE_EbNo_INIT : Initial Eb/No Threshold

THRE_EbNo_MAX : Maximum Eb/No Threshold

THRE_EbNo_MIN : Minimum Eb/No Threshold

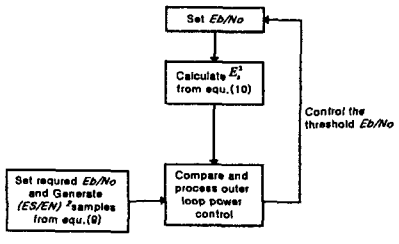


그림 4. 외부 회로 전력 제어 시뮬레이션을 위한 개요도

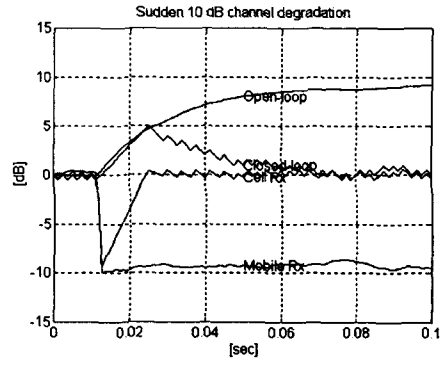
THRE_EbNo_INC : Increase Step Size of Eb/No Threshold

THRE_EbNo_DEC : Decrease Step Size of Eb/No Threshold

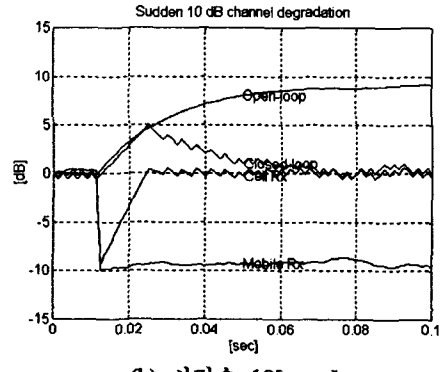
3. 전력 제어 성능 평가

3.1 전력 제어 성능 평가

지금까지 우리는 CDMA 이동통신 시스템을 기본으로 하는 CDMA네트워크의 성능을 평가하기 위하여 CDMA 이동통신 시스템 관련 각종 파라메터를 정의하고 모델링하였다. 우선 이러한 모델링 자체의 성능을 평가하기 위하여 PC 환경하에서 MATLAB을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.



(a) 시정수=20 [msec]



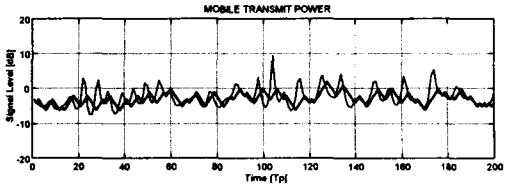
(b) 시정수=10[msec]

그림 5. 시정수에 따른 개방 회로 전력 제어

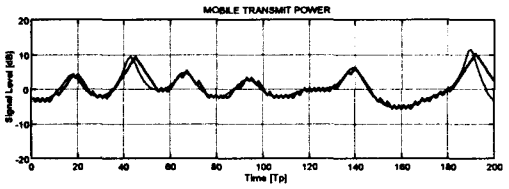
그림 5(a)와 (b)는 개방 회로 전력 제어 및 폐쇄

회로 전력 제어를 동시에 사용하였을 경우 이동국과 기지국에서 수신되는 전력을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 채널 상태가 갑작스런 새도우잉 효과로 인해 10dB 정도 급격히 나빠졌을 경우 시정수가 20msec인 AGC를 사용한 개방 회로 전력 제어 루프는 천천히 전력을 증가시키며, 10msec인 AGC를 사용한 개방 회로 전력 제어 루프는 좀 더 빨리 전력을 증가시킴을 볼 수 있다. CDMA 시스템의 경우 순방향 링크와 역방향 링크는 서로 독립적이다. 따라서 AGC의 시정수를 너무 작게 설정하여 채널의 변화에 빨리 쫓아가도록 하는 것은 바람직 하지 못하다. 그림에는 또한 폐쇄 회로 전력 제어 루프에 의한 전력 제어도 동시에 나타내었다. 실제로 역방향 전력 제어 루프는 이 둘의 합에 의해 채널의 변화를 보상한다.

전력 제어 알고리즘에 포함된 시스템 파라메터 및 환경에 관련된 변수의 변화에 따른 수신 신호 세기의 변화는 매우 크다. 특히 역방향 전력 제어의 폐쇄 회로 알고리즘의 경우 차량의 속도, 다이버시티 차수, 그리고 전력 조절 레벨 등에 따라 송, 수신 신호의 전력에 큰 영향을 준다. 그림 6에서는 전력 제어 명령을 내려 보내는 콤맨드 비트에 에러와 지연이 없고(CMD_ERR=0, kT_p=0), 전력 조절 레벨(Δp)을 1dB로 하고 두 개의 안테나 다이버시티 를 사용하였을때(L_p=2) 차량의 속도 즉, 최대 도플러 천이에 따른 송, 수신 신호 세기의 변화를 보여준다. 그림 6의 (a), (b)는 기준 수신 신호 전력 레벨(PWR_THRE)이 0 dB이고, 각각 f_DT_p=0.1, 0.02일때 송, 수신 신호 세기의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 f_DT_p=0.1의 의미는 전력 제어 샘플링 율이 최대 도플러 주파수 f_D의 10배를 의미하며, T_p=1.25 [msec]일때 f_D=80 [Hz]가 된다. 이때의 차량 속도는 약 96 [km/h]를 의미하며, f_DT_p=0.02일때는 19[km/h]를 의미한다. 그림에서 보는 바와같이 차량의 속도가 빠를 수록 수신 신호 전력 레벨은 기준 레벨에서 심하게 변하는 잔류 변화(잔류 페이딩)를 볼 수 있으며, 전력 제어 오차의 중요 원인이 된다. 전력 조절 레벨이 고정된 경우 채널에 의한 에러나 지연이 없다고 가정했을 때도 이러한 잔류 변화가 상당히 남아있다.



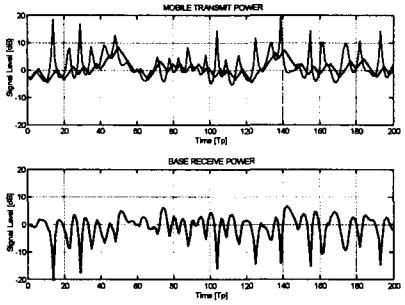
(a) f_DT_p=0.1



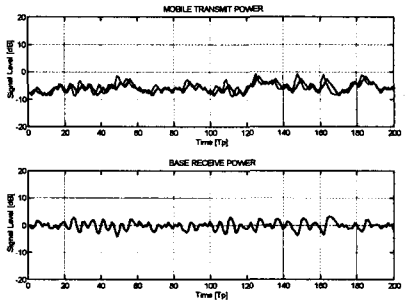
(b) f_DT_p=0.2

그림 6. 전력 제어가 된 후의 최대 도플러 주파수 변화에 따른 송,수신 신호 의 잔류 페이딩 (Δp=1, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0, PWR_THRE=0)

그림 7에서는 f_DT_p=0.1, Δp=1, kT_p=0, CMD_ERR=0 일때 전체 다이버시티 차수 L_p에 따른 송, 수신 신호 세기의 변화를 보여준다. 그림 7의 (a), (b)는 마찬가지로 PWR_THRE = 0 dB일때, 각각 L_p=1, 4인 경우에 대한 송, 수신 신호 세기의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 총 다이버시티 차수에 따라 잔류 페이딩의 정도가 심하게 차이가 남을 볼 수 있으며, 따라서 레이크 수신기의 성능은 페이딩 채널 환경에서 매우 중요하다.



(a) L_p=1



(b) L_p=4

그림 7. 전력 제어가 된 후의 다이버시티 차수 변화에 따른 송신 신호 변화 및 수신 신호의 잔류 페이딩 (f_DT_p=0.1, $\triangle p$=1, kT_p=0, CMD_ERR=0, PWR_THRE = 0)

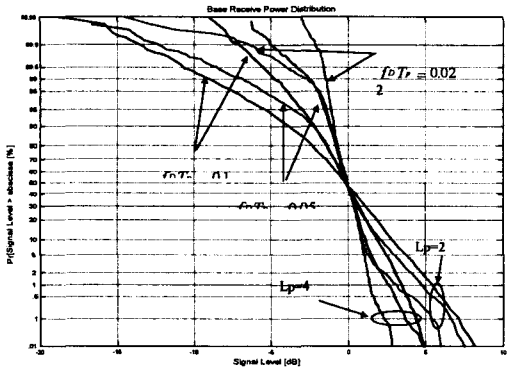
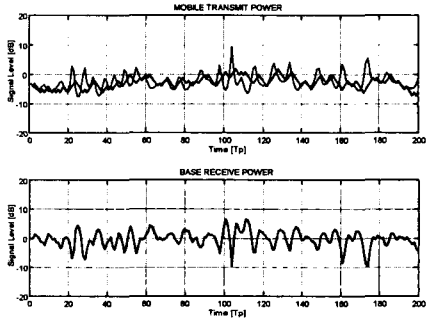
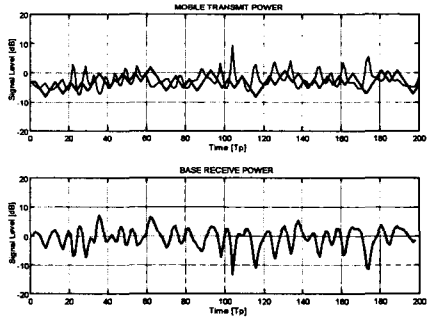


그림 8. 전력 제어 오차 분포(△p=1, kT_p=0, CMD_ERR=0)

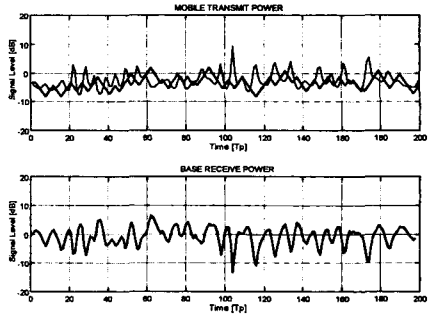
그림 8에서는 △p=1 [dB]일때 f_DT_p와 L_p의 여러 가지 값에 따른 수신 신호의 분포를 대수 정규(Log-normal) 평면 상에 나타낸 그림이다. 시뮬레이션에 의해 얻어진 다중 경로 페이딩에 대한 분포는 평균 전력 제어(Average Power Control)에 의해 수신된 신호 분포와 같다고 볼 수 있다. 왜냐하면, 평균 전력 제어의 경우에는 단기 페이딩(short-term fading)을 보상하지 않기 때문이다. 그림에서 보는 바와같이 f_DT_p 즉, 최대 도플러 천이가 작을수록 그리고 L_p 즉, 총 다이버시티 차수가



(a) kT_p=0, CMD_ERR=10



(b) kT_p=2, CMD_ERR=0



(c) kT_p=2, CMD_ERR=10

그림 9. 전력 제어의 지연 및 콤맨드 에러에 의한 송신 신호 변화 및 수신 신호의 잔류 페이딩 (f_DT_p=0.1, △p=1, L_p=2)

클수록 전력 제어는 단기 페이딩에 의한 대부분의 채널 변화를 제거할 수 있다. 그러나 페이딩율이 상대적으로 높거나, 추가적인 루프 지연($k>0$) 및 콤맨드 에러가 있으면 전력 제어가 된 후에도 신호의 페이딩 특성이 거의 그대로 남아 있게 되어 평균 전력 제어에 의해 얻어진 경우의 것과 매우 유사하다는 사실을 알 수 있다.

그림 9는 f_DT_p=0.1, △p=1, L_p=2일때 전력 제어의 지연 및 콤맨드 에러에 의한 영향을 나타낸 것이다. 그림 (a)의 경우에는 지연이 없고 콤맨드 에러(10%)만 있는 경우이며, 그림 (b)는 지연이 $2T_p$이고 콤맨드 에러가 없는 경우이며, 그림 (c)는 지연이 $2T_p$이고 동시에 콤맨드 에러가 10%인 가장 실제 환경에 맞는 경우이다. 주목할 만한 사실은 그림 (a)와 그림 (b)를 비교해보면 전력 제어 오차는 콤맨드 에러에 의한 영향 보다는 지연에 의한 영향이 더 크다라는 사실이다. 그림 10을 보면 이러한 사실을 보다 더 잘 알 수 있다.

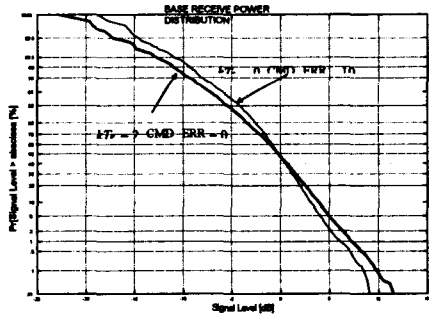


그림 10. 전력 제어의 지연 및 콤맨드 에러를 포함한 전력 제어 오차 분포(f_DT_p=0.1, △p=1, L_p=2)

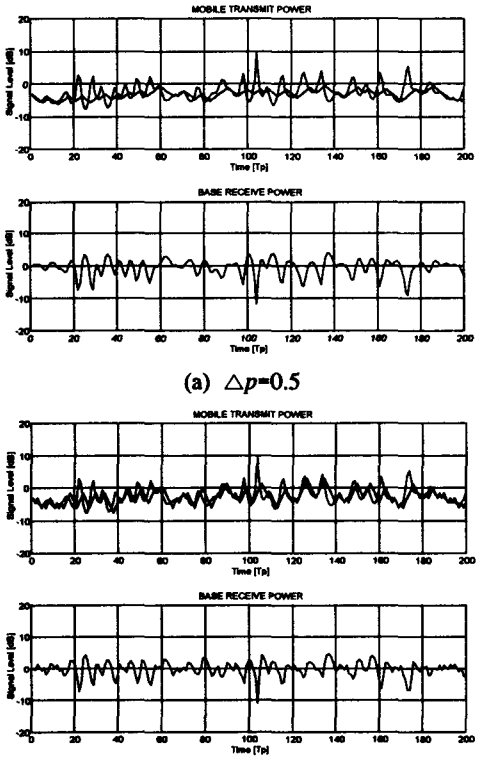
표 1. 지연이 없는 경우 속도 및 콤맨드 에러에 따른 전력 제어 오차(kT_p=0, △p=1, L_p=2)

CMD_ERR	V_m= 10 [km/h]	V_m=30	V_m=60	V_m=100
0 [%]	0.6350	1.3721	2.4343	2.9240
10	0.9576	1.9791	2.7931	3.1306
20	1.5650	2.6213	3.2456	3.4576

표 2. 지연이 $2T_p$인 경우 속도 및 콤맨드 에러에 따른 전력 제어 오차(kT_p=2, △p=1, L_p=2)

CMD_ERR	V_m= 10 [km/h]	V_m=30	V_m=60	V_m=100
0 [%]	1.7096	3.0795	3.9353	3.9336
10	1.8571	3.2250	3.9397	3.9496
20	2.3498	3.6481	4.0030	4.0358

지금까지 전력 제어 조절양(△p)을 일정하게 유지시킨 후 여러 파라메터를 변화시키면서 그 영향을 살펴보았다. 그러나 역방향 폐쇄 회로 전력 제어에 있어서 가장 중요한 파라메터 가운데 하나는 전력 제어 조절양 △p이다. 그림 11은 f_DT_p=0.1이



(a) △p=0.5

(b) △p=1.5

그림 11. 전력 제어 조절양의 변화에 의한 송신 신호 변화 및 수신 신호의 잔류 페이딩 (f_DT_p=0.1, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0)

며, 전력 제어 지연이나 콤맨드 에러가 없을 경우 $\triangle p$의 변화에 따른 영향을 나타낸 그림이다. f_DT_p=0.1인 경우 차량의 속도는 약 96 [km/h]이며 이러한 고속의 경우에는 $\triangle p$가 어느 정도(약2dB) 커질수록 전력 제어 오차는 작아진다. 그림 12를 보면 이 사실은 분명하다. 그러나 전력 제어 오차가 있거나 차량의 속도가 저속인 경우에는 문제가 다르다.

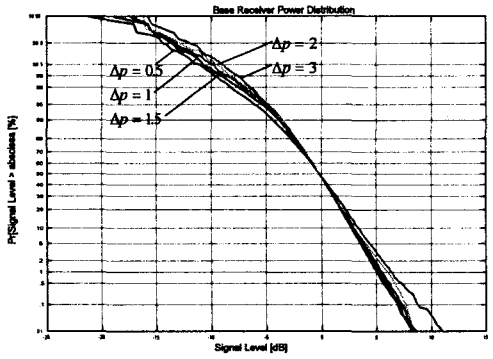


그림 12. 전력 제어 조절양의 변화에 따른 전력 제어 오차 분포(f_DT_p=0.1, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0)

표 3. 지연과 에러가 없는 경우 전력 제어 조절양에 따른 전력 제어 오차(CMD_ERR=0, kT_p=0, L_p=2)

V_m	$\triangle p$=0.5 [dB]	$\triangle p$=1	$\triangle p$=1.5	$\triangle p$=2
10 [km/h]	0.7035	0.6350	0.9074	1.1833
30	1.9659	1.3721	1.2576	1.4042
100	3.0408	2.9240	2.8232	2.8194
f_DT_p=0.1	2.9747	2.8211	2.7536	2.7606

표 4. 지연과 에러가 있는 경우 전력 제어 조절양에 따른 전력 제어 오차(CMD_ERR=10, kT_p=2, L_p=2)

V_m	$\triangle p$=0.5 [dB]	$\triangle p$=1	$\triangle p$=1.5	$\triangle p$=2
10 [km/h]	1.7611	1.8571	2.5500	3.2148
30	3.0998	3.2250	3.7314	4.0923
60	3.4842	3.9397	4.4550	5.0483
100	3.5264	3.9496	4.4222	5.1303

표 5. 지연과 에러가 있고 다이버시티가 없는 경우 전력 제어 조절양에 따른 전력 제어 오차(CMD_ERR=10, kT_p=2, L_p=1)

V_m	$\triangle p$=0.5	$\triangle p$=1	$\triangle p$=1.5
10	3.4368	3.2179	3.5213
20	4.6683	4.4612	4.5580
30	5.1287	5.2220	5.5534
60	5.5350	5.8768	6.3301
100	5.6512	5.9240	6.3780

이상의 시뮬레이션에서 채널을 고려할 때 장기 페이딩(Long-term fading)의 존재를 무시하고 시뮬레이션을 수행하였다. 실제로 장기 페이딩은 대개 대수 정규 분포(Log-normal distribution)로 모델링 할 수 있으며 전력 제어 알고리즘에 의해 거의 전부 보상될 수 있는 것으로 알려져 있다. 그림 13에서는 섀도우잉의 표준편차 c가 각각 0, 4, 6, 그리고 8 [dB] 일때 전력 제어 오차를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 섀도우잉에 의한 영향은 거의 무시할 수 있다. 이는 폐쇄 회로 전력 제어는 장기 페이딩인 섀도우잉을 충분히 보상할 수 있기 때문이다.

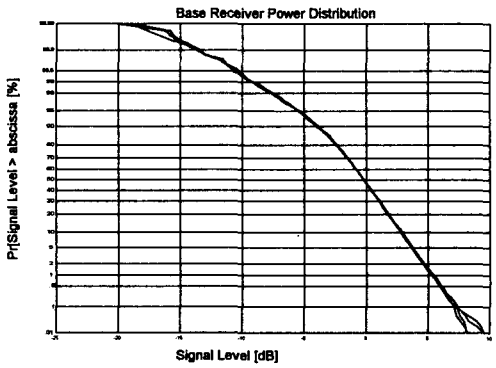


그림 13. 섀도우잉의 양에 따른 전력 제어 오차 분포(f_DT_p=0.1, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0)

표 6. 새도우잉의 양에 따른 전력 제어 오차
(f_DT_p=0.1, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0)

f_DT_p	ς=0	ς=4	ς=6	ς=8
0.1	2.8211	2.8289	2.8428	2.8498

지금까지 전력 제어 알고리즘의 성능을 검토하기 위해 단일 셀 환경하에서 하나의 기지국과 단일 사용자 링크에 대해 각종 파라메터를 변화시켜 가면서 여러가지 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 시뮬레이션을 통해서 전력 제어 알고리즘이 시스템의 파라메터 또는 채널 환경에 의해 어떤 영향을 받는지를 검토하여 보았다. 그러나 다른 사용자에 의해 어떤 영향을 받고 성능이 어느정도 인지 검토하기 위해서는 한 서비스 영역내에 여러 셀과 다중 사용자가 존재하는 환경 하에서 또다른 시뮬레이션을 수행하여야 한다. [7][8]

또한 이전의 시뮬레이션에서는 이동국의 수신 신호 전력만을 측정하여 기준 수신전력과 비교하여 전력 제어를 하였으나, 실제로 가우스 잡음 및 다른 이동국의 간섭이 공존하는 경우 어떤 특정 이동국의 신호 전력만을 측정한다는 것은 거의 불가능하다. 본 연구에서는 수신 신호의 전력을 측정하는 것이 아니라 신호 전력 대 간섭 및 가우스 잡음 전력의 비 즉, SIR을 추정하여 기준 SIR과 비교한 후, 컴맨드를 내리는 SIR에 의한 폐쇄 회로 전력 제어 방법을 이용한다.

다중 셀 환경에서 시뮬레이션을 수행하기 위해 모든 셀은 크기가 같은 정육각형 이고, 각 셀내에서 이동국들은 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 우리는 이러한 시뮬레이션을 효율적으로 수행하기 위해 먼저 앞의 시뮬레이션으로부터 폐쇄 회로 전력 제어에 의한 기지국에서의 수신 전력 분포 및 이동국에서의 송신 전력 분포를 얻어 다중 셀, 다중 이동국의 환경에 적용하여 자기 셀(intracell) 및 타셀(intercell)로 부터 오는 간섭양을 계산한다. 그림 14는 이동국의 송신 전력에 대한 PDF를 가지고 다중셀에 적용하여 얻은 자기셀, 타셀 및 총 간섭양을 보여 준 전형적인 그림이다.

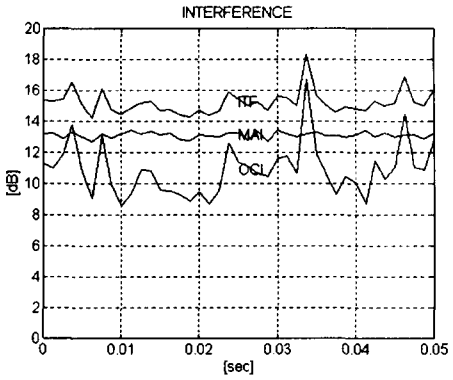
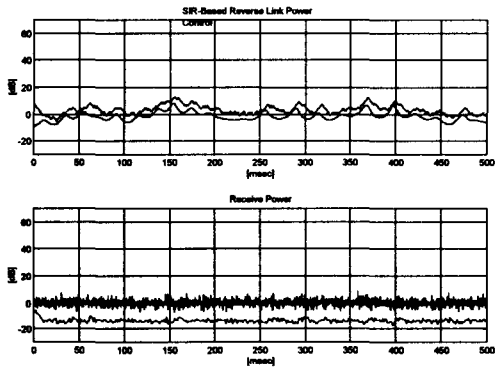
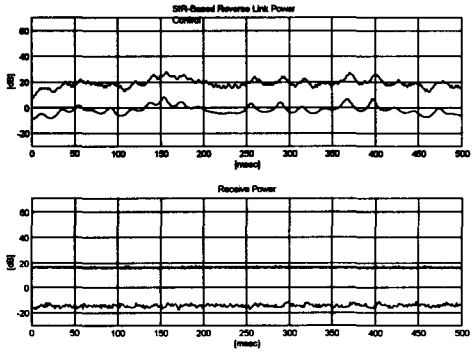


그림 14. 자기 셀 및 타셀로 부터의 간섭양



(a) N_m=1, N_{tier}=0



(b) N_m=30, N_{tier}=1

그림 15. SIR 측정에 근거를 둔 폐쇄 회로 전력 제어($\triangle p$=1, P_{max}=inf, δ=-14.07, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0, V_m=30[km/h])

그림 15는 전력 제어 지연이나 콤맨드 에러가 없

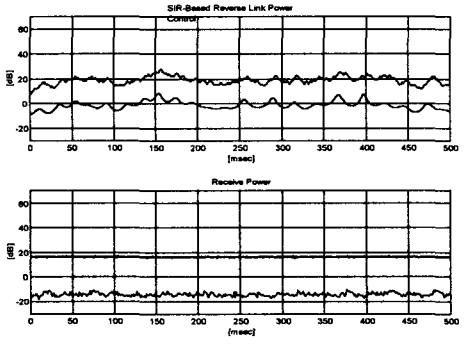
으며(kT_p=0, CMD_ERR=0), 전력 조절 레벨, 다이버시티 차수 그리고 기준 전력 레벨은 각각 $\triangle p$=1, L_p=2, SIR_THRE = -14.07 [dB]로 설정되어 있을때 이동국의 송신 전력과 기지국에서의 수신 전력을 나타낸 것이다. 또한 다른 이동국의 간섭 신호 및 가우스 잡음이 합해져 이루어진 총 간섭 신호의 모양도 나타내었다. 최대 송신 전력에는 제한이 없으며($P_{\max}=\infty$), 이동국의 속도는 V_m=30 [km/h]이다. 그림 (a)의 경우는 기준 셀에 하나의 다른 이동국이 있는 상황이며(N_m=1, N_{tier}=0), 그림 (b)의 경우에는 각 셀의 이동국의 수가 N_m= 30인 상황인데 이동국의 송신 전력 증가가 두드러짐을 볼 수 있다. 표 7에는 여러 경우에 대한 수신 SIR의 표준 편차 즉 전력 제어 오차를 보여주는 표이다. 이 표로 부터 우리는 각 셀당 이동국의 수가 증가할수록, 속도가 증가할수록 전력 제어 오차는 커진다는 것을 알 수 있다. 그림 16은 전력 제어 커맨드 에러 및 지연이 있는 경우(kT_p=2, CMD_ERR=10) 이동국의 송, 수신 신호를 나타낸 것이다.

표 7. 수신 SIR 의 표준 편차

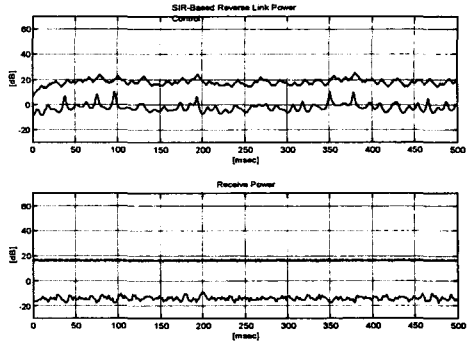
($\triangle p$=1, $P_{\max}$=inf, δ=-14.07, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0, N_{tier}=1)

V_m	N_m=10	N_m=20	N_m=30
10[km/h]	1.2815	1.5998	2.0297
20	1.9050	2.4260	3.0353
60	3.5952	3.6248	3.7020

그림 17의 (a), (b), (c) 그리고 (d)는 각각 차량의 속도가 10, 20, 30 그리고 60 [km/h]일때 이동국 수에 따른 수신 신호의 단기 SIR을 나타낸 것이다. SIR의 측정을 바탕으로 하는 전력 제어의 경우, 이동국 갯수의 증가에 따른 간섭양 변화의 증가는 즉, 간섭 신호에 있어서 표준 편차의 증가는 단기 SIR의 표준 편차에 있어서도 약간의 증가를 야기시킨다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 차량의 속도가 느린 경우 즉, 페이딩율이 낮은 경우, 이동국의 갯수가 어떤 한계치가 될때 까지는 단기 SIR의 분포가 거의 변하지 않다가 이 값을 넘어가면 이동국의 수가 증가할수록 수신 SIR의 값이 매우 작아진다. 그러나 상대적으로 높은 속도에서는 단기 SIR의 분포는 이동국의 갯수의 변화에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 전력 조절 레벨이 고정된 전력 제어 방법으로는 다중 경로 페이딩 채널을 거의 보상하지 못하므로 페이딩의 표준 편차만큼 많은 표준 편차를 단기 SIR이 갖기 때문이다. 그림 18의 (a), (b)는 이동국의 갯수가 각각 10, 30일때 속도의 변화에 따른 수신 SIR의 변화를 본 것이다.

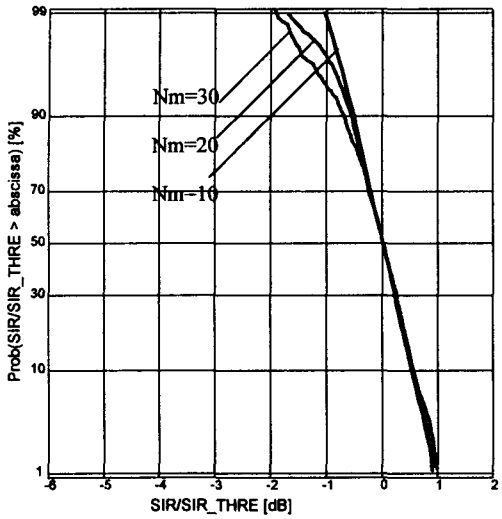


(a) $\triangle p$=1, P_{max}=inf, δ=-14.07, L_p=2, kT_p=2, CMD_ERR=10, V_m=30[km/h], N_m=30, N_{tier}=1

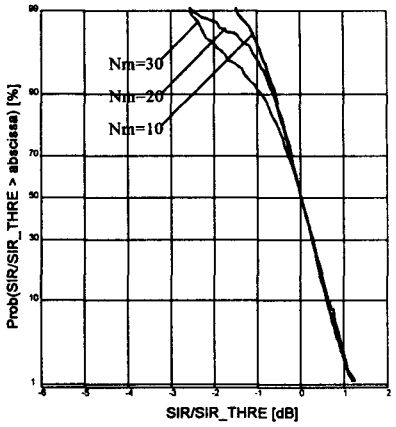


(b) $\triangle p$=1, P_{max}=inf, δ=-14.07, L_p=2, kT_p=0, CMD_ERR=0, V_m=60[km/h], N_m=30, N_{tier}=1

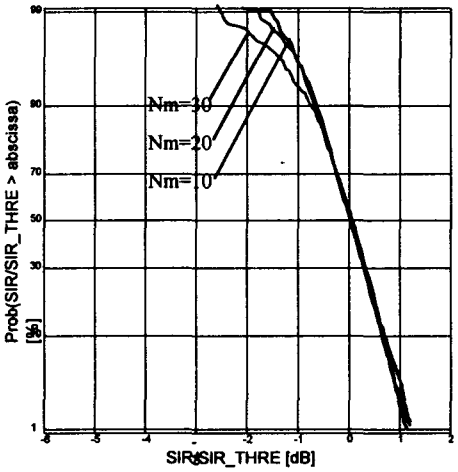
그림 16. SIR 측정에 근거를 둔 폐쇄 회로 전력 제어



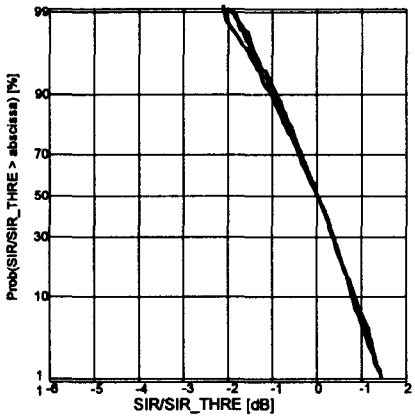
(a) V_m=10 [km/h]



(b) V_m=20 [km/h]



(c) V_m=30 [km/h]



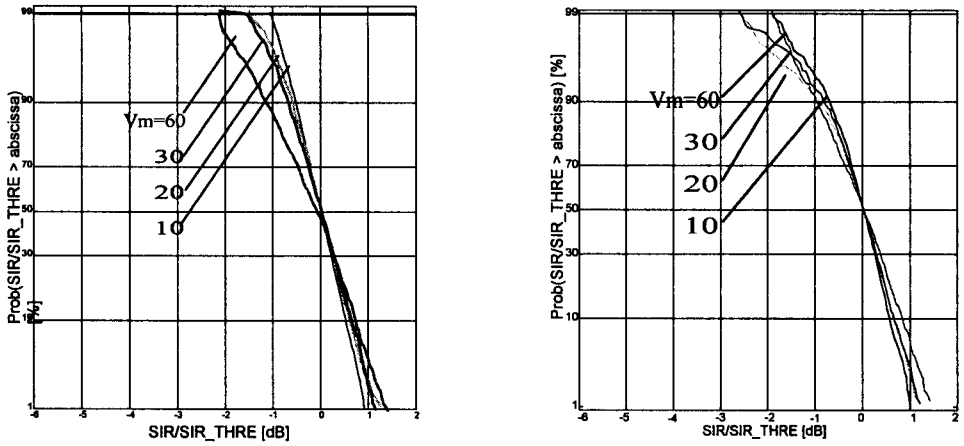
(d) V_m=60 [km/h]

그림 17. 속도 및 이동국의 수에 따른 SIR의 분포

4. 결 론

CDMA 이동통신 시스템의 성능을 극대화하기 위해서는 실제 환경에 적합한 시스템 모델을 정립하는 것이 매우 중요하며, 시스템 모델에 의한 전력제어 시뮬레이션을 통하여 전력제어 파라미터를 최적화함으로써 이동통신망의 효율을 극대화할 수 있다.

본 연구에서는 CDMA 이동통신 시스템에 가장 근접한 SIR에 근거한 역방향 폐루프 전력제어 메카니즘을 적용하여 역 방향 링크에서의 개방 회로, 폐쇄 회로 전력 제어 알고리듬을 시뮬레이터로 구현하였다. 이때 역방향 전력제어 성능 평가 파라메터는 전력 제어 주기 T_p, 전력 제어 지연시간 kT_p 그리고 기지국으로부터 전송되는 전력 제어 명령이 채널을 통과할 때 발생할 오류 확률 CMD_ERR와 이동국이 기지국으로부터 명령을 받아 수행하는 전력의 증가 및 감소량을 나타내는 PWR_STEP등이다.



V_m=10, 20, 30, 60 [km/h]

(a) Nu=10 (b) Nu=30

그림 18. 속도 및 이동국의 수에 따른 SIR의 분포

이들 파라메터들의 평가 결과는 Tp에 대하여 단말기의 이동 속도가 빠를수록 수신 신호 전력 레벨은 기준 레벨에서 심하게 변하는 잔류 변화(잔류 페이딩)를 볼 수 있으며, 전력 제어 오차의 중요 원인이 된다. 전력제어의 지연 시간에 의한 영향은 단말기의 이동 속도가 60km/h 일때, 전력제어 지연 시간이 없는 경우와 2Tp인 경우에 각각의 전력 제어 오차는 2.4343과 3.9353으로 나타났다. 콤맨드 에러에 의한 영향은 단말기가 100km/h 로 이동할 때, CMD_ERR이 0%인 경우와 10%인 경우를 측정하여 각각의 전력 제어 오차가 2.9240과 3.1306으로 나타났다. 이 시뮬레이션 결과에서 전력 제어 오차는 콤맨드 에러에 의한 영향 보다 지연에 의한 영향이 더 크다는 사실을 알 수 있었다. 그리고 단말기의 이동 속도가 약 96km/h 이며 전력 제어 지연 시간이나 콤맨드 에러가 없을 경우, PWR_STEP의 변화에 따른 전력제어 오차는 PWR_STEP이 변화량(약 2dB) 커질수록 오차가 작아짐을 보였다.

또한 다중 셀, 다중 사용자 모델에서의 성능 평가를 수행하기 위해 단일 셀 환경에서의 역방향 폐쇄 회로 전력 제어에 의해 얻은 기지국에서의 수신 전력 분포 와 이동국에서의 송신 전력 분포를 가지고 자기 셀(Intercell) 및 타셀(Othercell)로부터 오는 간섭(MAI)의 양을 계산했다. 그리고 MAI 및 AWGN을 합하여 총 간섭 신호를 구성하였다. 다중 셀, 다중 사용자 모델에서는 셀과 이동국의 수 그리고 이동국의 이동 속도를 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였는데 각 셀당 이동국의 수가 증가할수록 그리고 이동국의 속도가 증가할수록 전력 제어 오차가 커짐을 알았다.

본 연구에서 수행된 시스템 모델링과 역방향 전력 제어 파라미터 최적화 방법은, 현장 시험 결과에 의해 검증하고, 이를 보완함으로써 여러 시스템 변수들을 종합적으로 고려할 수 있는 시뮬레이터 구축이 가능할 것으로 사료된다. 이러한 시뮬레이터는 이동통신 네트워크의 성능 분석과 예측을 위하여 매우 유용한 것이며 개인 이동 통신 시스템 및 IMT-2000과 같은 차세대 이동통신 시스템에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] W. C. Y. Lee, *Mobile communications design fundamentals*, 2nd Ed. Wiley, 1993.

[2] W. C. Jakes, et al., *Microwave Mobile Communication*. New York: Wiley, 1974.

[3] *CDMA Cellular Land Network Power*

Management, Revision X1, Qualcomm, 1994.

[4] *TIA/EIA Interim Standard 95*

[5] S. Soliman, C. Wheatley, and R. Padovani, "CDMA Reverse Link Open Loop Power Control," *Proc. IEEE GlobeCom* '92, pp. 69-73, Mon. 1992.

[6] S. Ariyavisitakul and L.F. Chang, "Signal and Interference Statistics of a CDMA System with Feedback Power Control," *Proc. IEEE Globecom* '91, pp. 1490-1495, 1991.

[7] S. Ariyavisitakul, "SIR-Based Power Control in a CDMA System," *Proc. IEEE Globecom* '92, vol. 2, pp. 868-873, 1992.

[8] L.F. Chang and S. Ariyavisitakul, "Performance of Power Control Method for CDMA Radio Communication System," *IEE Electron. Lett.*, vol. 27, pp.920-922, May 1991.

[9] A.J. Viterbi, A.M. Viterbi, and E. Zehavi, "Performance of Power-Controled Wideband Terrestrial Digital Communication," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-41, no. 4, pp. 559-569, Apr. 1993.

[10] A.M. Viterbi and A.J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.

정 영 지(Yeong-Jee Chung)

1978년 3월 ~ 1982년 2월 : 연세대학교 전기공학과(학사)

1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 연세대학교 전기공학과(석사)

1984년 3월 ~ 1993년 2월 : 연세대학교 전기공학과(박사)

1984년 1월 ~ 1987년 7월 : 금성계전(주) 연구소(주임연구원)

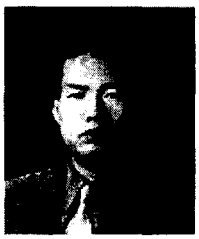
1987년 7월 ~ 1993년 2월 : 삼성종합기술원 소재부품연구소(선임연구원)

1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 무선제어연구실(선임연구원)

1997년 12월 ~ 1999년 2월 : Visiting Professor at MPRG, Virginia Tech.

1995년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터및정보통신공학부 조교수

* 주관심 분야 : 탄성표면파 필터 설계, 디지털 신호처리, 이동통신 및 위성통신시스템 등



박 형 윤(Hyoung-Yun Park)

1992년 3월 ~ 1997년 2월 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터공학과 학사

1997년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 공과대학 컴퓨터공학과 석사과정

* 주관심 분야 : 디지털 신호처리, 이동통신 시스템 등