

CDMA 시스템의 역방향 폐쇄루프 전력제어 성능해석

正會員 鄭 宰 旭*, 洪 大 亨*

Performance Analysis of the Reverse Closed Loop Power Control Technique for the CDMA Systems

Jae Wook Chung* Dae Hyoung Hong* Regular Members

본 연구는 한국전자통신연구소의 연구비 지원에 의한 연구결과임

要 約

CDMA 이동통신 시스템에 적용되는 전력제어 기법을 방식별로 분류하고 성능을 분석하였다. 이를 위하여 다중경로 채널을 포함하는 역방향의 CDMA 링크의 모의실험을 구현하고 수행하였다. 전력제어 기법의 성능에 영향을 미치는 변수들로 전력제어 조절레벨의 크기, 전력제어 시간지연, 측정구간 등을 선정하였다. 이러한 변수들의 변화에 따른 전력제어오류의 정도를 도출하고 전력제어 알고리즘의 성능으로 분석하였다.

또한, 모의실험의 결과로 도출된 전력제어 오류의 통계적 특성을 CDMA 시스템의 용량으로 해석하였다. 이를 위하여 CDMA 시스템 용량 해석 모의실험을 구현하고 수행하였다. 결과적으로 CDMA 시스템 용량이 전력제어 오류에 민감하게 영향을 받는 것과 그 정도를 확인하였다.

ABSTRACT

The performances of various power control techniques are analyzed and the results are presented in this paper. For the analysis, the simulation of the faded CDMA link was configured and performed. The simulation results are presented for various values of power control parameters including step size, delay, and the measurement time interval.

The statistical results of the power control error are applied to the CDMA system capacity simulations and analyzed as the system capacity reduction. For the analysis, simulations of CDMA systems were configured and performed. The simulation results show that the CDMA system capacity is very sensitive to the power control errors.

* 西江大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.
論文番號 : 94240-0905
接受日字 : 1994年 9月 5日

I. 서 론

CDMA(Code Division Multiple Access) 디지털 이동통신 시스템에서는 동일한 주파수 대역을 여러 명의 가입자가 동시에 사용하여 주파수 사용효율을 높일 수 있으리라고 기대되고 있다.^{(1),(2)} 그러나, 실제로 사용되는 코드의 상호상관값(Cross Correlation)이 0이 아니므로 다원접속(Multiple Access) 환경에서 여러 다른 가입자들로부터 수신되는 전체 수신전력이 간섭으로 작용하게 된다. 간섭을 최소화하기 위해서는 통화중인 각 가입자들로부터 수신되는 전력을 최소로 유지하는 완벽한 전력제어를 해 주어야 한다. 그러나 실제로는 전력제어가 완벽하게 이루어지지 못하며 그 결과는 전체 시스템 용량의 감소로 나타난다.

전력제어 방식은 송신하는 출력을 제어하는 주체에 따라 순방향과 역방향 전력제어로 나누어진다. 순방향 전력제어는 기지국에서의 송신출력을 조절하여 인접 셀에 주는 간섭을 줄여 준다. 이동국에서의 역방향 전력제어는 동일한 셀 안의 이동국의 위치에 따른 수신신호 세기의 차이를 상쇄시켜 원근문제(Near-Far Problem)를 해결하는 기법이다.

그러나 완벽한 전력제어를 할 수 없게 하는 요인들이 여전히 존재한다. 예를 들면 수신기에서 수신신호를 측정하는 단계에서의 측정오차, 실제 전파환경의 변화로부터 이 환경의 변화를 보상시키는 전력제어가 행해질 때까지의 시간적 지연 등이다. 이러한 요인들 이외에도 실제 셀룰라 이동통신에서의 전자파 전파는 shadowing, doppler, 그리고 다중경로 등의 영향으로 인하여 수신신호 세기의 변화가 50 - 60 dB 정도로 매우 빠르게 일어나기 때문에 이러한 변화에 충분히 빠른 속도로 정확히 적응하는 전력 제어는 실제로 구현하기가 매우 어렵다.

따라서 실제 환경이 고려된 전력제어 기법의 도출이 필요하고 또 도출된 기법으로 구현할 수 있는 성능이 분석되어야 한다. 또 그 분석 결과가 시스템 전체의 성능으로 해석될 필요가 있다.

본 논문에서는 2장에서 전력제어 기법의 종류를 분류하였다. 역방향 폐쇄회로 전력제어를 구현하고 해석하기 위하여 구성된 전체링크 모의실험을 3장에 기술하였다. 그리고 4장에서는 SIR 예측기를 설계하고 이의 성능을 분석하였다. 또한, 여러 채널환경에서 전력제어의 성능

에 영향을 미치는 요소들을 변화시켜가며 발생하는 전력 제어 오류의 통계적 특성을 도출하였다. 또 도출된 결과를 시스템 용량 해석 시뮬레이터에 적용하여 전력제어의 오류를 전체 시스템 용량에 미치는 영향으로 해석하고 그 결과를 고찰하였다. 전체적인 결론을 5장에 맺었다.

II. 전력제어 방식의 분류

기지국 또는 단말기에서 통화품질을 동일하게 유지하며 수신신호의 세기를 최소화 하기 위한 여러 가지 전송 출력제어 기법들이 제안되어 왔다.^{(3)-(5), (7), (8)-(11)} 이 장에서는 전력제어 기법들을 분류한다.

2.1 평균 전력제어와 고속 전력제어

기지국 또는 단말기에서 수신되는 수신신호의 단구간(Short-Term) 평균값은 단말기의 이동에 따라 비교적 서서히 변한다. 이 변동은 기지국과 단말기 사이의 거리의 변화에 따른 경로손실(Path Loss)의 변동과 또 전파의 전파경로에서 발생하는 shadowing에 의해 발생한다.

평균전력제어(APC, Average Power Control)는 이러한 평균 수신신호의 세기의 변동을 보상하여 주는 방법이다. 이 단구간 평균 수신신호전력은 보통 도플러 주파수의 파장 λ 의 10배 - 100배의 거리를 이동하는 동안 측정되는 순간 수신전력의 평균값으로 측정된다. 평균전력제어가 수행된 경우에도 빠르게 변화하는 빠른 페이딩(Fast Fading)에 의한 수신신호의 변동은 여전히 남게된다.

고속전력제어(FPC, Fast Power Control)는 이러한 빠른 페이딩에 의한 수신신호 세기의 변동까지를 보상해 주는 방식이다. 이를 위해서는 채널의 변화를 빨리 감지하고 적응하여야 하므로, 수신신호전력의 빠른 측정과 보상기법이 요구된다.⁽¹⁵⁾

2.2 개방루프와 폐쇄루프 전력제어

개방루프 전력제어(Open Loop Power Control)에서는 수신신호 세기의 변화로부터 송수신 안테나 사이의 신호감쇄를 예측하여 송신신호의 출력을 조절한다. 그러나 송신신호와 수신신호의 주파수 또는 전자파전파 경로가 일치하지 않는 경우 이들 송수신 채널들의 특성은 일치하지 않게 되고 이를 이용하는 개방루프 전력제어방식

의 정확도가 떨어지게 된다.

폐쇄루프 전력제어(Closed Loop Power Control)에서는 실제로 측정된 수신신호 세기의 변화를 이동국에게 계속적으로 알려주어 이에 따라 이동국 송신기의 출력을 조절한다. 따라서 채널의 변화에 정확하고 빠르게 적용하는 전력제어가 가능하다. 반면 폐쇄루프 전력제어 방식은 채널용량의 일부를 수신신호의 상태를 전달하기 위하여 사용하기 때문에 결과적으로 시스템의 주파수 사용효율이 나빠진다. 또한 이 정보를 전달하는데 걸리는 시간 때문에 시간지연이 일어나고 결과적으로 전송출력 제어의 정확도가 떨어지게 된다.

개방루프 전력제어는 shadowing이나 평균 전과경로 손실, 지형적인 영향에 따른 채널의 변화를 보상하여 준다. 송신 및 수신채널의 상관관계(Correlation)가 높은 경우에는 큰 dynamic range에서 빠른 제어를 해야 하는 폐쇄루프 전력제어 없이 개방루프만으로도 채널의 변화에 충분히 적용할 수 있다. 즉 빠른 개방루프 전력제어(Fast Open Loop)만 필요하다. 두 링크의 상관관계가 적은 경우는 보통 느린 개방루프(Slow Open Loop)전력제어와 빠른 폐쇄루프(Fast Closed Loop) 전력제어가 함께 필요하다.⁽⁸⁾

2.3 순방향 전력제어와 역방향 전력제어

순방향 전력제어는 기지국에서 송신되는 전력의 양을 조절하여 줌으로써 인접 셀에서 주는 간섭의 영향을 줄여 준다. 즉 셀 외부로 주는 간섭을 줄여서 인접 셀에서의 신호대 간섭비(SIR)를 개선한다. 이동국의 위치가 셀의 경계에 있는 경우 연결된 셀 가까이에 있을 때보다 신호의 크기는 작고 인접 셀로부터의 간섭은 더 크다. 따라서, 기지국에서 송신하는 송신전력을 제어하여 이동국에 수신되는 SIR이 필요로 하는 값 이상이 되도록 한다.⁽¹²⁾ 기지국에서 먼 이동국에게 전송하는 채널의 송신전력은 상대적으로 크게 하고, 가까운 경우에는 송신전력을 상대적으로 작게 해준다.

순방향 전력제어와는 달리 이동국으로부터 기지국으로의 역방향 전력제어는 셀 내의 원근문제를 해결하기 위해 수행된다. 역방향 링크 상에서 기지국과 통화하고 있는 이동국의 위치가 셀의 경계부분에 있고 다른 이동국의 위치가 셀 중심에 있는 경우에 셀 중심에 있는 이동국으로부터 기지국에 수신되는 수신전력은 상대적으로 매우 커지게 되며 결과적으로 셀 경계에 있는 이동국에

게 큰 간섭을 준다. 두 이동국으로부터 수신되는 전력레벨의 차이는 80 dB 또는 그 이상이 될 수 있으며, 역방향 전력제어를 통하여 이를 보정해 주어야 한다. 역방향 전력제어에는 셀 중심에 있는 이동국의 송신전력 레벨을 줄여 주어 기지국에 수신되는 신호전력레벨이 필요한 값보다 크지 않도록 해 준다.

Ⅲ. 모의실험 모델

이 장에서는 전력제어 기법의 성능을 분석하기 위하여 구성된 모의실험의 구성을 위한 모델은 기술한다. 전체 CDMA 링크와 채널 그리고 전력제어 기법에 사용되는 기본 요소들을 구성하였다. 특히 역방향 폐쇄루프 전력제어를 위주로 한 성능분석을 목표로 하였다.

3.1 전체 시스템 모델

전력제어 기법을 적용하고 해석하는 모의실험(Simulation)을 위한 시스템의 구성은 IS-95를 기준으로 하였다.⁽¹⁴⁾ 구성된 CDMA 시스템의 링크를 그림 1에 나타내었다.

이동통신 채널은 일반적으로 path loss, shadowing, 그리고 fast fading에 의하여 특성지어 진다. Path loss는 송수신기 사이의 거리에 따른 송수신기 사이의 신호감쇄를 나타내고 shadowing은 지형, 건물 등에 의한 수신 신호 세기의 변화를 나타낸다. Fast fading은 송수신기 사이의 전자파 전파 경로가 다중경로로 형성되어 이에 따라 수신신호의 세기가 빠르게 변하는 현상이다. Fast fading에 비하여 path loss나 shadowing의 영향은 상대적으로 느리게 나타난다. 본 논문에서는 이러한 이동통신 채널에서의 신호 변화를 전력제어 기법으로 얼마나 효율적으로 상쇄할 수 있는가하는 문제를 다룬다. 특히 시간에 따라 빠르게 변하는 다중경로 페이딩 채널에서 역방향 폐쇄회로 전력제어가 얼마나 효율적으로 수행될 수 있는가를 분석한다. 따라서 상대적으로 느리게 변하는 path loss나 shadowing 효과는 개방회로 전력제어에 의하여 쉽게 해결될 수 있다고 판단하였다. 따라서 그림 1의 채널 시뮬레이터(Channel Simulator)는 다중경로 페이딩만 포함시켰다. 여러 환경에서의 전력제어 성능을 분석하기 위하여 flat fading과 2-ray 모델을 적용한 주파수 선택적 페이딩 채널의 경우를 채널 시뮬레이터에 구현하고 실험하

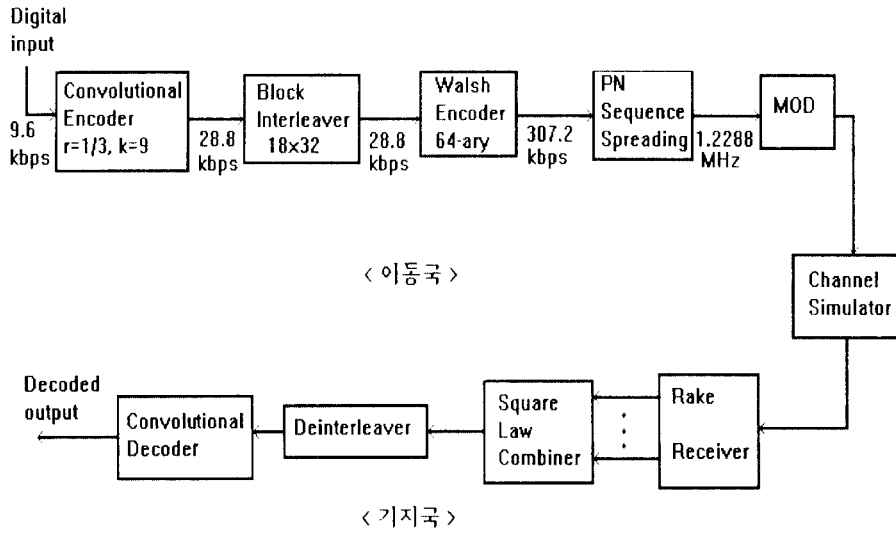


그림 1. 역방향 링크의 구성
Fig. 1. CDMA reverse link.

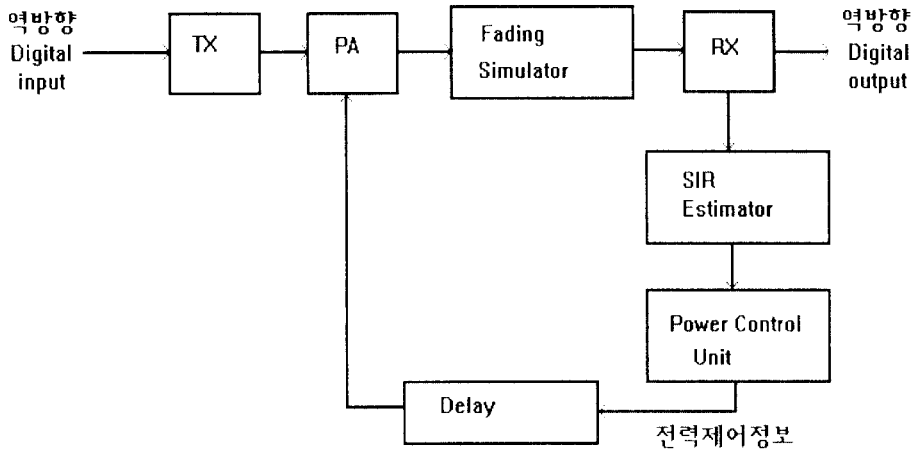


그림 2 역방향 폐쇄루프 전력제어 블록 다이어그램
Fig. 2. The block diagram of reverse link closed power control.

었다. 발생하는 페이딩은 이동국의 속도 등의 계수에 따라 결정되도록 하였다.

구성된 역방향 폐쇄루프 전력제어에 관련된 블록들을 그림 2에 보였다. 주요 블록은 SIR 예측기, 전력제어 unit를 연결시켜 주는 폐쇄루프(Feedback Loop)등이다.

3.2 역방향 폐쇄루프 전력제어 기법

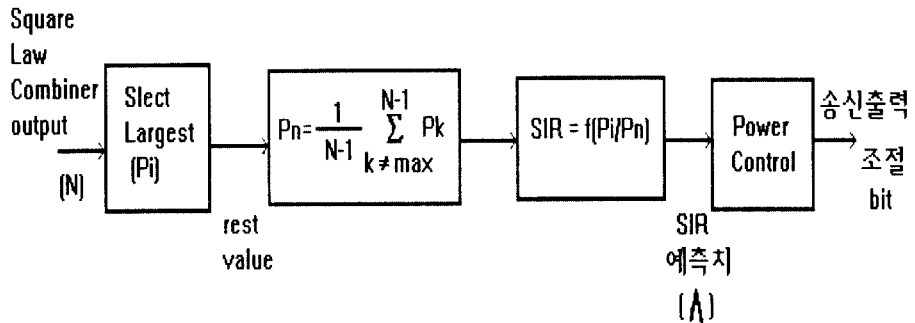
역방향 폐쇄루프 전력제어에서는 기지국에서 순방향 링크를 통해서 수신되는 신호대 간섭비(SIR)를 예측하여 일정값을 유지하도록 이동국에게 전력증감을 요구한다. SIR을 기준으로 전력제어가 수행되므로 신호대 간섭비의 예측이 정확한 전력제어를 위한 중요한 요소가 된다. 역방향 링크에서 전력제어를 위해 사용되는 SIR 예측기는 기지국 수신기의 square law combiner의 출력을 이용하여 구성하였다. SIR 예측기의 전체적인

구성은 그림 3과 같다.

SIR 예측방법을 다음과 같이 구성하였다. 기지국 수신기의 복조기에서의 square law combiner의 출력 64개로부터 가장 큰 값을 추출하면 이 값은 신호전력 성분을 나타낸다. 그 외의 나머지 값들은 우리가 원하는 신호전력 성분 이외에 잡음과 간섭전력 성분을 나타낸다. 만약, 잡음과 간섭이 존재하지 않는 이상적인 경우라고 하면 최대값은 8192(I 채널과 Q 채널에서 64²×2)값을 가지며 나머지 값들은 모두 0이 된다. 그러나 실제의 경우 채널의 페이딩, 잡음 그리고 간섭의 값들이 달라진다. 따라서 아래와 같은 식으로 정의되고 구해지는 SIR 예측기의 출력값(λ)은 신호전력 성분과 간섭전력 성분의 비를 나타낸다.

$$\lambda = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\max(W_{j,1}, \dots, W_{j,n})}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1(n \neq \max)}^{n-1} W_{j,i}} \quad (1)$$

여기서, $W_j(i=1, \dots, 64)$ 는 j번째 정보비트구간(1 Walsh Code) 동안의 square law combiner의 출력을 나타낸다. m은 측정구간(Measurement Interval)으로써, 6 개의 Walsh 코드(1.25 ms) 구간을 하나의 unit로 한다. 측정구간 m unit동안 측정된 값들의 평균으로부터 λ 를 계산하였다. 측정구간 m의 설정에 따른 SIR 예측기의 성능을 도출하고 분석하였다. 단구간 평균 SIR 값 λ 를 구하기 위해 SIR 예측기의 출력값 λ 와의 대응함수 $\lambda = f(\lambda)$ 를 실험을 통하여 도출하였다.



N : Square law combiner의 출력(실수값)
 Pi : 최대값(신호성분)
 Pn : 최대값을 제외한 나머지 값들의 평균(간섭 및 잡음성분)

그림 3. SIR 예측기의 구성
 Fig. 3. The block diagram of SIR estimator.

3.3 전력제어 Unit

전력제어 unit는 이동국의 송신 출력을 증감시키기 위한 정보를 발생시키는 블럭이다. 이 블럭은 예측된 SIR값과 설정된 임계치를 매주기마다 비교하여 전력제어 조절비트를 결정한다. 예측된 SIR이 임계치보다 작으면 이동국이 송신전력을 설정된 전력레벨만큼 증가시키도록 하고 임계치보다 크면 감소시키도록 한다.

전력제어 정보비트가 기지국으로부터 이동국으로 전달되기까지 어느 정도의 시간지연(Delay)을 포함한다. 이 시간지연은 전력제어를 하기까지의 궤환루프지연(Feedback Loop Delay)을 말하며, 전파지연(Propagation Delay)과 실제 전력제어를 위해 전력제어 정보비트를 발생시키고 전송하여 전력제어가 수행되기까지의 시간 등을 포함한다.

전력제어 지연(Power Control Delay), 전력조절레벨의 크기, 전력제어주기, 전력제어 측정구간 등은 전체 전력제어의 성능에 영향을 주는 대표적인 전력제어변수(Power Control Parameter)들이다.

전력레벨 조절기는 전력제어 unit의 출력에 따라 실제로 이동국의 송신 전력을 정해진 전력레벨의 크기만큼 조절한다.

IV. 모의실험 결과 및 고찰

4.1 SIR 예측기의 성능

SIR 예측기의 출력과 단구간 평균 SIR 값으로 표현되는 E_b/N_0 값과의 관계를 구하기 위해 기지국 수신기와 이동국 송신기사이의 역방향 링크에 static chan-

nel(Addictive White Gaussian Noise Channel)을 연결하여 채널에서의 잡음의 크기를 변화시켜가며 예측값들의 평균과 분산을 도출하였다. 도출된 결과를 표 1에 보였다.

표 1에서 전력제어 측정구간과 전력제어 정보 갱신구간(Power Control Updating Interval)을 같게 해준 경우(A)와 moving average 기법을 사용하여 다르게 해준 경우(B)에 대하여 E_b/N_0 값에 따른 SIR 예측

표 1. E_b/N_0 에 따른 SIR 예측기 출력의 비교
Table 1. SIR estimator output vs. E_b/N_0 .

Eb/No (dB)		mean (dB)	(Linear)	max (dB)	min (dB)	Variance σ^2 (dB)
4	A	15.38	35.19	17.39	13.89	0.70
	B	14.88	30.83	15.56	14.39	0.093
7	A	18.27	68.40	20.18	16.90	0.67
	B	17.84	60.85	18.32	17.48	0.046
10	A	20.75	121.27	22.63	19.30	0.71
	B	20.78	119.71	21.14	20.48	0.031
13	A	23.13	211.02	25.14	23.13	0.77
	B	23.73	236.31	24.05	23.50	0.024

비고 : A(측정구간 : 1.25 ms, 전력제어 정보 갱신구간 : 1.25 ms)
 B : (측정구간 : 2.5 ms, 전력제어 정보 갱신구간 : 1.25 ms)
 Legend : A(Measurement interval: 1.25 ms Power control updating interval : 12.5 ms)
 B(Measurement interval: 2.5 ms, Power control updating interval : 12.5 ms).

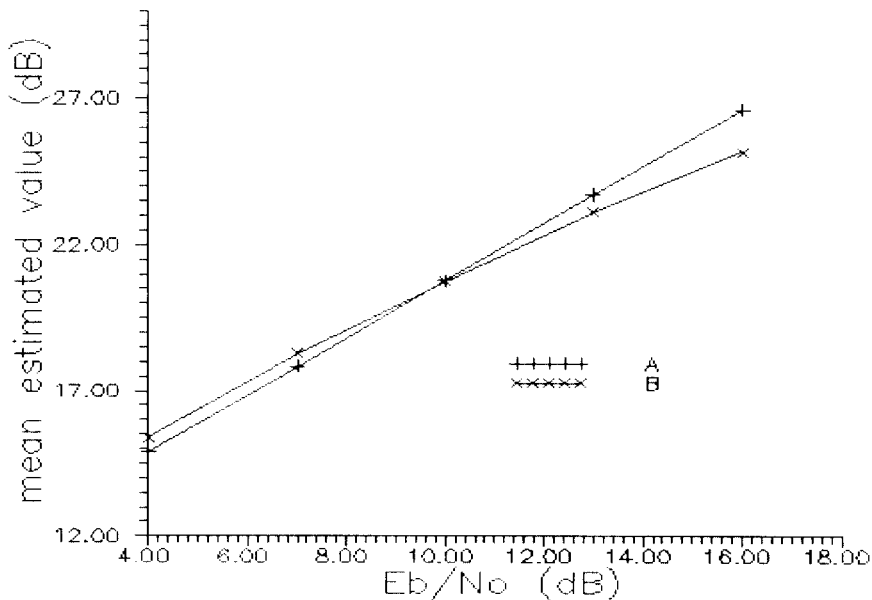


그림 4 SIR 예측기의 성능결과
Fig. 4. The results of SIR estimator performance.

표 2. SIR 예측기의 E_b/N_0 (dB)
Table 2. The results of SIR estimator E_b/N_0 (dB).

측정구간 (Measurement interval) [dB]	Min [dB]	Max [dB]	Mean [dB]	Variance σ^2 [dB]
1 unit (1.25ms)	5.17	9.44	7.02	0.87
2 unit (2.5ms)	5.65	8.76	7.05	0.45
3 unit (3.75ms)	5.70	8.54	7.05	0.42

기의 출력특성을 비교하였다. Moving average 기법을 사용하여 전력제어 측정구간과 전력제어 정보 갱신구간을 서로 달리해 준 경우의 분산이 현저히 작아져 보다 정확한 SIR 예측이 가능함을 확인하였다.

채널의 E_b/N_0 [dB] 값과 예측기의 출력값 [dB]을 그림 4에 그래프로 나타내었다. 이 그림으로 표현되는 대응함수 $A = f(\lambda)$ 는 단조증가(Monotonic Non-Decreasing)함수로서 E_b/N_0 [dB] 값과 예측기의 출력값 [dB]이 서로 일대일 대응관계에 있음을 알 수 있다.

식(1)에서의 m 구간을 1 unit(1.25 ms), 2 unit(2.5 ms), 3 unit(3.75 ms)로 다르게 하여 SIR 예측기의 성능을 측정하고 결과를 표 2에 보였다. 결과는 측정구간을 길게 할수록 분산값이 점점 줄어드는 것을 보인다. 그러나 측정구간을 2 unit에서 3 unit으

로 증가시킨 경우는 결과의 개선이 미미하다. 즉 측정구간 m 은 2 unit이 적절한 것을 알 수 있다.

4.2 여러 채널환경에서의 전력제어 성능

여러 가지 전파 환경에서 적용된 전력제어의 성능을 전력제어 파라메타들을 변화시켜가며 도출하고 분석하였다.

4.2.1 Flat 페이딩 환경

아래와 같은 조건에서 모의실험을 수행하였다. 송신 주파수는 900 MHz로 이동국 속도는 10 km/h(최대 도플러 주파수가 30 Hz)로 설정하였다. 전력제어 측정구간과 전력제어주기기는 1.25 ms로 동일하게 하고 전력 조절레벨은 2 dB, 전력제어 시간지연은 없다고 가정하였다. 전력제어 정보비트의 오류는 발생하지 않는 것으로 가정하였다.

도출된 시간에 따른 수신 E_b/N_0 의 변화를 그림 5에 보였다. 또한 전력제어가 수행된 경우와 아닌 경우의 수신 E_b/N_0 의 평균과 분산값을 표 3에 그리고 분포를 그림 6에 각각 나타내었다. 표에서 전력제어오류(Power Control Error)는 수신 E_b/N_0 값과 설정된 임계치(예를 들면 7 dB)와의 차이의 RMS(Root Mean Square) 값이다.

그림 6은 전력제어가 적용된 경우와 적용되지 않은 경우의 수신 E_b/N_0 분포를 보인다. 또 해석적 분석을 위

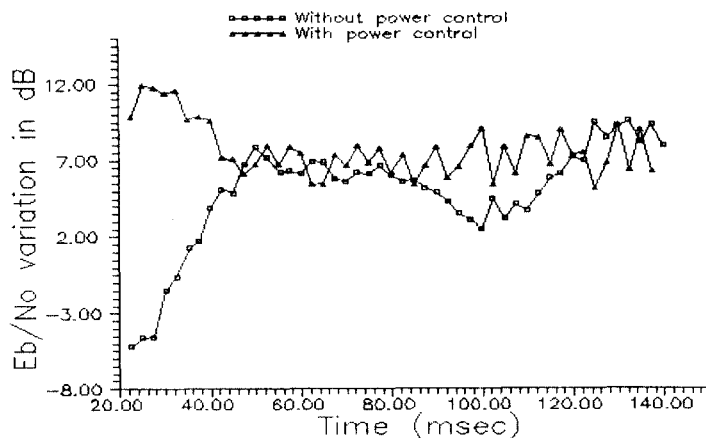
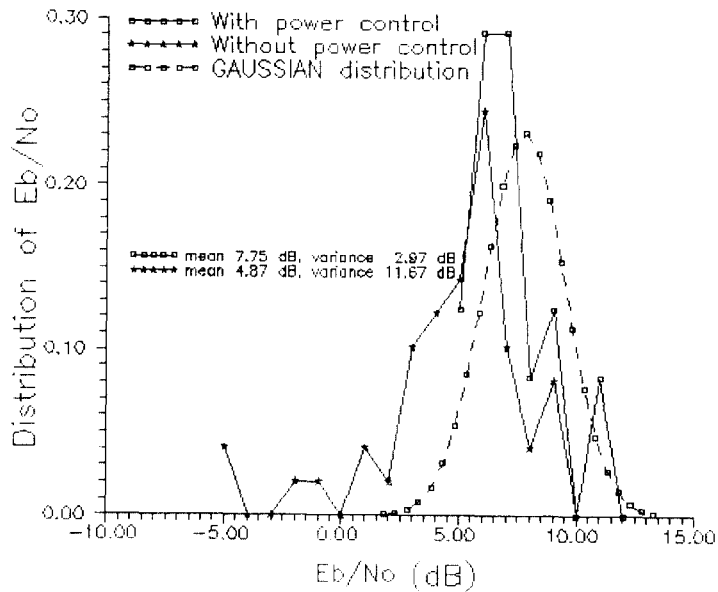


그림 5. 시간에 따른 수신 E_b/N_0 의 변화
Fig. 5. Received E_b/N_0 variation in time

표 3. 수신신호의 E_b/N_0 (dB)Table 3. The results of received E_b/N_0

W/WO Power Control	min (dB)	max (dB)	mean (dB)	variance(σ^2) (dB)	Power control error(RMS) (dB)
Without Power Control	-4.60	9.57	5.08	11.67	4.03
With Power Control	5.19	11.85	7.75	2.97	1.90

그림 6. Flat 페이딩 환경 하에서의 수신 E_b/N_0 의 분포Fig. 6. The Distribution of received E_b/N_0 in the flat fading channel.

하여 종종 가정되는 가우시안(Gaussian) 분포도 보였다.

전력제어 측정구간, 전력조절레벨의 크기, 그리고 시간지연에 따른 전력제어 오류의 통계적 특성을 도출하고 결과를 표 4에 보였다. 또 도출된 전력제어 오류의 분포를 그림 7과 8에 도시하였다. 전력제어 측정구간을 1.25 ms와 2.5 ms로 한 경우를 비교하면 2.5 ms인 경우의 전력제어 오류가 전체적으로 적다. 이는 SIR 예측기의 성능이 좋아진 결과로 생각된다. 측정구간이 2.5 ms인 경우는 1.25 ms인 경우와 비교하여 전력조절레벨에 따른 성능의 변화가 적다. 전체적인 성능에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 시간지연임을 알 수 있다.

4.2.2 다중경로 페이딩 환경

다음으로 다중경로 채널(Multipath Channel) 환경에서 모의실험을 수행하였다. 다중경로 채널은 서로 다른 시간지연을 갖는 두개의 fader로 구성된 이중경로모델(Two Ray Model)을 사용하였다. 다른 모든 조건은 앞절의 경우와 동일하다. 이 경우는 rake 수신기를 사용하는 디버시티에 의해서도 페이딩에 의한 수신신호의 변화가 감쇄될 것으로 예상된다.⁽¹³⁾ 디버시티에 의한 개선을 예측하기 위하여 서로 독립적인 두개의 수신 경로에 동일이득결합 디버시티(Equal Gain Combining Diversity)가 적용된 경우를 해석하였다. 결과를 표 5에 보였다. 디버시티가 적용된 경우가 그렇지 않은 경우보다 RMS 전력제어 오류에서 약 1 dB 정도의 개선된

표 4. 전력제어변수에 따른 수신기 E_b/N_0 (10 km/h)
 Table 4. The results of received E_b/N_0 in the variation of the power control parameter (10 km/h)

Measurement time interval (ms)	Step Size (dB)	Delay (dB)	Mean (dB)	Min (dB)	Max (dB)	Variance σ^2 (dB)	Power Control Error(RMS) [dB]
1.25	2	0	7.51	3.52	11.50	3.08	1.82
2.50	2	0	7.75	5.19	11.85	2.97	1.90
1.25	2	1.25	7.63	2.05	12.76	7.24	2.79
2.50	2	1.25	7.99	3.36	12.83	5.67	2.63
1.25	1	0	8.67	3.57	16.25	5.24	2.83
2.50	1	0	8.06	4.74	11.51	2.37	1.87

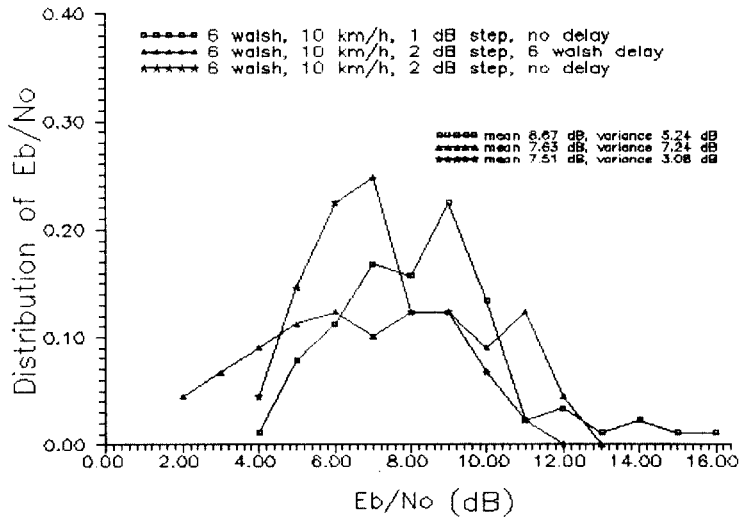


그림 7. 수신 E_b/N_0 의 분포 (1.25 ms의 측정구간)
 Fig. 7. The distribution of received E_b/N_0 (measurement interval 1.25 ms).

결과를 보인다.

이제까지의 결과는 주로 이동국의 속도가 10km/h인 경우이다. 이동국의 속도가 더 빠른 경우 적용된 전력제어 기법의 성능을 마찬가지로 해석하였으며 결과를 표 6에 보였다. 이동국의 속도가 빠른 경우 전력제어의 성능은 저하되는 것을 알 수 있다. 또 이동국의 속도가 10km/h인 경우는 전력조절레벨을 1dB로 한 경우가 전력제어 오류가 적었으나 속도가 50km/h인 경우는 전력조절레벨을 2dB로 한 경우가 성능이 가장 개선된 것을 알 수 있다. 따라서 이동국의 속도에 따라 효율

적인 전력조절레벨 값이 변하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 추후 개선된 전력제어 기법의 도출을 위한 연구에 응용될 예정이다.

4.3. 전력제어오류에 따른 CDMA 시스템 용량 해석
 전력제어가 완벽하게 수행되지 않는 경우 수신신호의 세기는 시간축에서 연속적으로 변화한다. 전력제어가 잘 이루어지는 경우는 변화의 폭이 적고, 채널의 변화에 빠르게 적응한다. 그렇지 않은 경우는 변화되는 폭이 크고 채널의 변화에 적응하는데 더 시간이 걸린다.

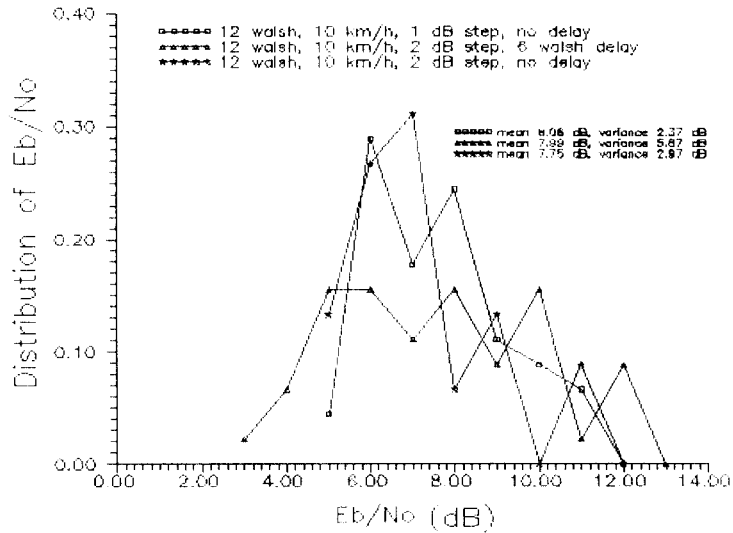


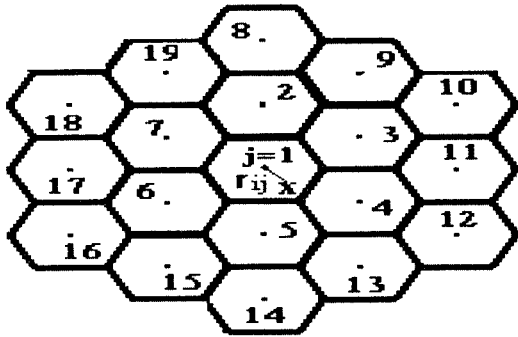
그림 8. 수신 E_b/N_0 의 분포 (2.5 ms의 측정구간)
 Fig. 8. The distribution of received E_b/N_0 (measurement interval 2.5 ms).

표 5. 다중경로 채널환경하에서 diversity에 따른 전력제어 영향(10 km/h)
 Table 5. The effect of the power control with diversity on the multi-path channel (10 km/h).

W/O Power Control (& W/O diversity)	min (dB)	max (dB)	mean (dB)	variance (σ^2) (dB)	Power control error (RMS)(dB)
W/O Power Control (With diversity)	-4.54	11.20	7.05	19.80	4.45
With Power Control (W/O diversity)	3.56	14.01	7.81	3.59	2.06
With Power Control (With diversity)	5.87	10.03	7.59	1.03	1.17

표 6. 다중경로 채널환경하에서의 전력제어 영향
 Table 6. The effect of the power control on the multipath fading channel

Mobile speed (km/h)	Step size (dB)	Min (dB)	Max (dB)	Mean (dB)	variance (σ^2) (dB)	Power control error (RMS)(dB)
10	1	6.10	9.02	7.34	0.53	0.80
	2	5.87	10.03	7.59	1.03	1.17
50	1	-2.46	10.50	7.14	4.82	2.20
	2	-0.68	10.31	7.05	3.01	1.73
100	1	0.74	10.22	6.95	3.49	1.88
	2	0.59	10.57	6.98	3.34	1.83



rij: j번째 기지국과 임의의 i번째 이동국 사이의 거리
x: i번째 이동국의 위치

그림 9. CDMA 시스템 lay out 모델
Fig. 9. CDMA system lay out model.

여러 가지 전력제어 알고리즘을 적용할 때 그 결과로 나타나는 전력제어 오차는 전체 시스템의 용량에 영향을 미친다. 전력제어 오류의 통계적 특성이 시스템 용량에 미치는 영향을 해석하기 위해 다음과 같이 시스템 용량 시뮬레이터를 구성하였다.

먼저 여러 개의 동일한 크기의 기지국과 많은 수의 이

동국을 포함하는 CDMA 셀룰라 시스템을 그림 9와 같이 구성하였다. 한 기지국당 통화중인 가입자의 수를 N 으로 하고 여러 가지로 설정된 가입자의 분포에 따라 이 가입자들의 위치를 랜덤하게 발생시켰다. 이 이동국들과 기지국들 사이의 전파경로와 shadowing을 계산하여 연결된 기지국에서 수신되는 신호전력과 간섭전력의 단구간 평균을 계산하였다. 또 여기에 전력제어의 오차를 적용하여 각 이동국 신호의 수신 E_b/N_0 를 계산하였다. 전체 시스템 사용지역 내에서 계속적으로 이동국의 위치를 변경시켜 각 이동국 신호의 수신 E_b/N_0 를 계산하고 이 값의 분포를 구하였다. 이 분포로부터 특정 N 과 특정 전력제어가 적용된 경우에 아래의 식을 만족시키는 확률을 구하였다.

$$\text{Average } E_b/N_0 \geq \frac{W}{R} \cdot SIR_{req} \quad (2)$$

여기서 W/R 은 처리이득(Processing Gain)이고 R 은 전송데이터의 전송속도(Bit Rate)이고 W 는 확산대역폭을 나타내며, SIR_{req} 은 요구되어지는 신호 대 간섭비이다. 위의 식(2)를 만족시키는 값이 특정값(예를 들면 99%) 이상이 되는 기지국당 통화 채널의 수 N 을

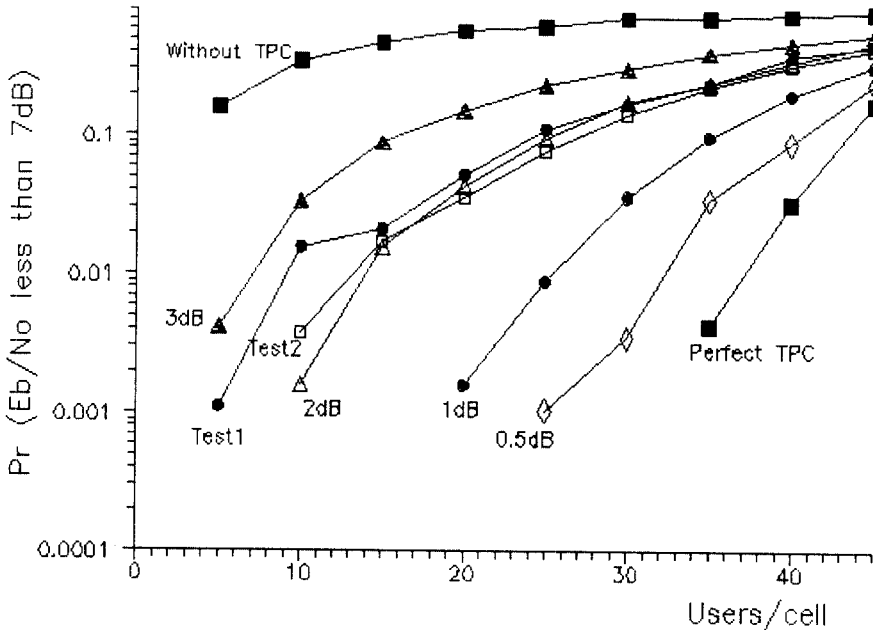


그림 10. 역방향 링크에서의 시스템 용량
Fig. 10. CDMA system capacity in the reverse link.

구할 수 있으며 이 값을 시스템 용량으로 해석하였다.

전력제어 오류의 분포가 정규분포인 경우와 모의실험 결과에서 도출된 통계적 분포를 적용한 경우의 시스템 용량의 변화를 도출하였다.

4.3.1 정규분포의 경우

시스템 성능의 이론적인 해석을 위하여 전력제어 오류를 고려하는 경우 일반적으로 전력제어 오류의 정도가 정규분포를 따른다고 가정한다.⁽⁷⁾ 또한 Qualcomm에서 실시한 field test 결과를 근거로 해서 이러한 가정을 도출하기도 한다.⁽⁹⁾ 따라서 본 논문에서는 추후 이러한 가정을 하지 않은 경우와 비교를 위하여 이러한 가정을 적용한 경우의 시스템 용량의 변화를 도출했으며 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 전력제어 오류의 표준편차가 클수록 시스템 용량이 적은 것을 알 수 있다. 서비스 지역의 99%에서 만족할 만한 서비스 품질을 제공하는 기준이 적용되는 경우, 즉 $P_r = 0.01$ 을 기준으로 하였을 때, 전력제어가 완벽하게 수행된 경우와 비교하여 시스템의 용량이 $\sigma = 1$ dB인 경우는 약 70%로 $\sigma = 2$ dB인 경우는 40%로 $\sigma = 3$ dB인 경우는 약 20%로 감소하는 것을 보인다. 전력제어가 적용되지 않은 경우는 용량이 약 5% 이하가 되어 역방향 링크에서의 전력제어가

필수적인 것임을 확인할 수 있다.

4.3.2 모의실험 결과 분포의 경우

모의실험에서 도출된 전력제어 오류의 결과를 CDMA 시스템 용량 시뮬레이터에 적용시켜 시스템 용량에 미치는 영향을 도출하였다. 도출된 결과를 그림 11에 보였다. 앞의 그림 6의 전력제어 오류가 적용된 경우 시스템 용량이 전력제어가 완벽하게 수행된 경우의 37.8%로 약 60% 정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 경우 전력제어 오류가 1.9 dB 인데 동일한 크기의 가우시안 분포($\sigma = 2$ dB)의 경우와 비교하면 비슷한 결과가 도출된다. 즉 전력제어 오류의 분포를 가우시안으로 가정하는 것이 타당함을 확인하였다.

도출된 전력제어 측정구간, 전력조절레벨의 크기, 그리고 시간지연에 따른 전력제어 오류(그림 7과 8)가 적용된 경우의 결과를 그림 12와 13에 보였다. 시간지연이 있는 경우 약 20% 정도 용량이 추가적으로 감소하는 것을 확인하였다. 즉 시간지연에 따른 전력제어의 오류가 시스템 용량에 민감하게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또 전력조절레벨의 크기가 결과적으로 시스템 용량에 미치는 영향도 확인하였다. 즉 전력제어 오류를 줄이기 위해 전력조절레벨을 적절히 결정하여 주어야 함을

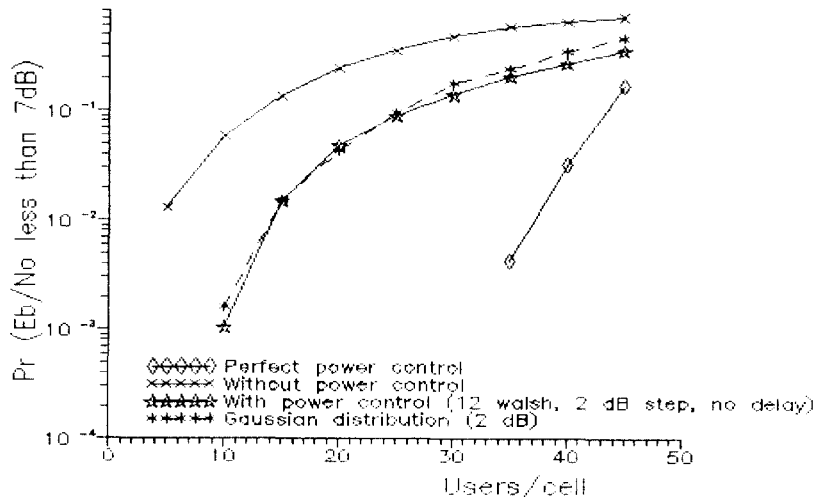


그림 11. 역방향 링크 시스템 용량의 전력제어 오류에 의한 영향

Fig. 11. The effect of power control on the reverse link CDMA system capacity.

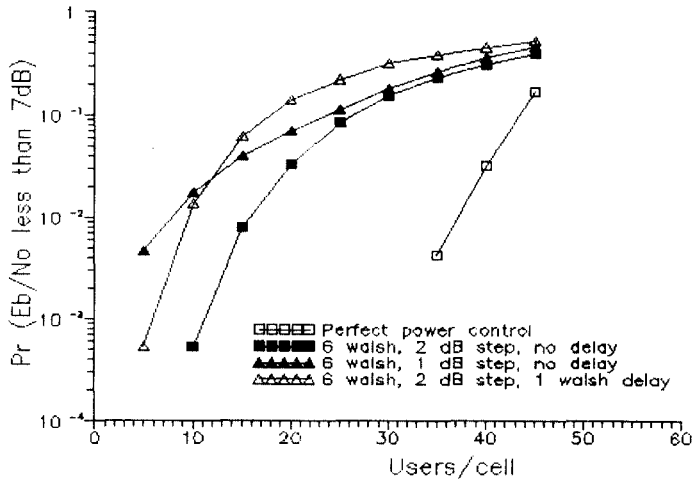


그림 12. 역방향 링크 시스템 용량의 전력제어 파라메타에 의한 영향(1.25 ms의 측정구간)
 Fig. 12. The effect of power control on the reverse link CDMA system capacity (measurement interval 1.25 ms).

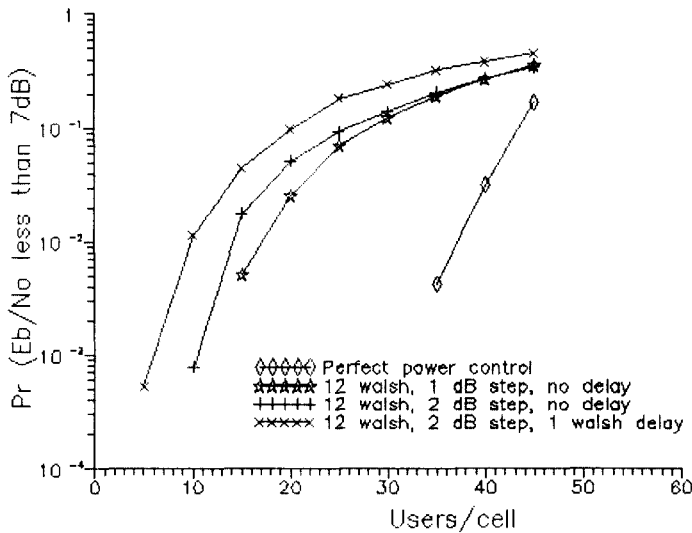


그림 13. 역방향 링크 시스템 용량의 전력제어 파라메타에 의한 영향(2.5 ms의 측정구간)
 Fig. 13. The effect of power control on the reverse link CDMA system capacity (measurement interval 2.5 ms).

알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 CDMA 이동통신 시스템에 적용되는 전력제어 기법을 방식별로 분류하고, 채널과 역방향 CDMA 링크의 모의실험을 구성하여 전력제어 기법의 성능을 분석하였다. SIR 예측기의 성능을 분석하였으며 수신 Eb/No를 측정할 수 있음을 확인하였다. 전력제어 측정구간과 전력제어 정보 갱신 구간을 같게 해준 경우보다 moving average 기법을 사용하는 경우가 더 정확한 예측이 가능함을 확인하였다.

전력제어의 성능에 미치는 전력조절레벨의 크기와 시간지연의 영향을 해석하였다. 측정구간과 페이딩 환경에 따라 전력조절레벨의 크기를 적절히 정해야 한다. 특히 시간지연이 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이 시간지연을 줄일 수 있는 시스템 설계가 필요하다.

CDMA 시스템 용량 시뮬레이터를 이용하여 전력제어 오류에 따른 시스템 용량의 변화를 해석하였다. 역방향 링크에서 전력제어 오류에 의해 시스템 용량이 민감하게 변화함을 확인하고 정량적으로 분석하였다. 기대되는 CDMA 시스템 용량을 실현하기 위해서는 전력제어 기법의 각 부분들이 주의 깊게 설계되어야 함을 확인하였다.

본 연구의 결과는 CDMA 시스템 용량을 극대화하기 위하여 필요한 파라메타를 설정하는데 유용하게 적용될 수 있으리라 기대된다. 더욱 다양한 채널에서의 성능분석과 개선된 전력제어 기법 및 수신기의 설계를 위한 연구가 필요하다.

參考文獻

1. K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. E. Wheatley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, VT-40, pp.303-312, May, 1991.
2. W. C. Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, VT-40, pp.291-302, May, 1990.
3. R. Esmailzadeh, M. Nakagawa, A. Kajiwara, "Power Control in Packet Switched Time Division Duplex Direct Sequences Spread Spectrum Communications," *IEEE VTC '92*, Denver, CO., pp.989-992, May, 1992.
4. S. Ariyavisitakul and L. F. Chang, "Simulation of CDMA System performance with feed-back power control," *IEE Electronics Letter*, Vol. 27, pp.2127-2128, Nov. 1991.
5. R. Prasad, A. Kegel and M. G. Jansen, "Effect of imperfect power control on Cellular Code Division Multiple Access System," *IEE Electronics Letter*, Vol. 28, pp.848-849, Apr. 1992.
6. W. C. Jakes, Jr., Ed., *Microwave Mobile Communications*, New York: Wiley, 1974.
7. Richard Cameron and Brian D. Woerner, "An analysis of CDMA with imperfect power control," *IEEE VTC '92*, Denver, CO., pp.67-70, May, 1992.
8. R. R. Gejji, "Forward-Link-Power Control in CDMA Cellular Systems," *IEEE VTC '92*, Denver, CO., pp. 981-984, May, 1992.
9. Samir Soliman, Charles Wheatley, and Roberto Padovani, "CDMA reverse link open loop power control," *IEEE GLOBECOM '92*, Orlando, Florida, pp.69-73, Dec. 1992.
10. L. F. Chang and S. Ariyavistitakul, "Performance of a CDMA radio communications system with feed-back power control and multipath dispersion," *IEEE GLOBECOM '91*, Phoenix, AZ, pp.1017-1021, Dec. 1991.
11. S. Ariyavisitakul and L. F. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control," *IEEE GLOBECOM '91*, Phoenix, AZ, pp.1490-1495, Dec. 1991.
12. Sirikiat Ariyavisitakul, "SIR-based power control in a CDMA system," *SUPERCOMM/ICC '92*, Chicago, pp.868-873, Jun. 1992.
13. Dae Hyoung Hong, Jae Wook Joeng and Chang Yeun Kim, "Effect of the Power Control

Performance on the CDMA Cellular System Capacity," APCC '93, Taejon, Korea, pp.713-719. Aug. 1993.

- 14. TIA/EIA/IS-95, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*,

Jul. 1993.

- 15. P. Diaz and R. Aquisti, "Analysis of a fast CDMA power control scheme in an indoor environment," *IEEE VTC '92*, Denver, CO, pp.67-70. May 1992.



鄭宰旭(Jae Wook Chung)정희원

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과(학사)
 1994년 2월 : 서강대학교 전자공학과(석사)
 1994년 2월~현재 : 한국전자통신연구소 연구원

※주관심 분야 : 디지털 이동통신 시스템

洪大亨(Dae Hyoung Hong)

정희원

한국통신학회 논문지 1995년 제20권 제3호 참조