

이동국 가변증감량 조정방법에 의한 역방향 폐쇄회로 전력제어 성능개선 연구

원석근 정寅明 임덕배 김환우
正會員 元石鎬*, 鄭寅明*, 任德彬*, 金煥宇**

Performance Analysis of the Improved Reverse link Closed loop power Control with the Variable step size for the Mobile Transmit power

S. H. Won*, I. M. Jeong*, D. B. Im*, W. W. Kim** *Regular Members*

요 약

본 논문은 CDMA 이동통신 시스템에서 역방향 이동 무선 채널의 단구간 페이딩을 보상하는 새로운 전력 제어 기법을 제안한다. 현재 IS-95에서 채택하고 있는 고정 증감량 폐쇄회로 전력제어는 구조가 간단한 반면 채널 변화가 작을때는 필요없이 전력증감 조정량이 크고 채널변화가 클때는 전력증감 조정량이 너무작다. 본 논문에서 제안하는 방식은 이러한 장점을 유지하고 그 단점을 보완할 수 있는 새 모델로서 고정증감량 방식과 적응증감량 방식을 혼합한 새 모델을 제시하였으며, 기본적인 채널모델로써 그 성능을 평가하였다.

ABSTRACT

This paper presents a new power control method for compensating the short term fading of the reverse link channel in the CDMA mobile telephone system. The fixed step closed loop power control which is now adopted in IS-95, is very simple in structure. However, the step size in the closed loop power control is too big for the channel with a small variation or too small for the channel with a large variation. The method presented in this paper has a simple structure and shows a new model employing the combination of the fixed step size method and variable step size method which results in compensating the disadvantages mentioned above. This paper also evaluates the performance in the fundamental channel model.

* 한국전자통신연구소 시스템기술연구실
Electronics and Telecommunication Research Institute, System Integration and Test Section

** 충남대학교 전자공학과
Department of Elec. Eng., Chungnam National University

論文番號: 96085-0307

接受日字: 1996年 3月 7日

I. 서 론

CDMA 시스템은 간섭에 의해 그 성능이 제한된다. CDMA 전력제어는 이동무선 채널환경하에서 간섭을 최소화하여 시스템의 성능을 향상시키기 위한 기법이다. 특히 역방향 전력제어는 기지국에서 수신되는 각 채널의 신호가 동일한 크기로 수신되고 또한 시간에 따라 일정하게 수신되도록 이동국의 송신 전력을 조절함으로써 간섭을 최소화 한다. 이동국 송신전력 조절절차의 매개변수중 가장 중요한 전력제어 증감량은 그 최적치가 이동국 속도에 따라 변화한다[1][2][8]. 그러나 현재 IS-95에는 1dB로 고정되어 있다. 이 값은 이동국 속도가 저속일때는 필요없이 크고, 속도가 증가하면 작으므로 전력제어오차는 그만큼 커지게 된다[2][8][12]. 따라서 가변 전력증감으로써 이동국 속도에 따른 페이딩을 좀더 효율적으로 극복하고 전력제어 오차를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다[3][4][5]. 그러나 이러한 연구들은 계산량의 크기 및 실시간 처리능력, 시스템의 복잡도 등의 단점을 갖고 있다. 본 논문은 이러한 제약사항을 고려하여 전력제어 증감 명령의 통계적 특성을 이용하여 페이딩을 효과적으로 보상할 수 있는 모델을 제시한다.

II. CDMA 전력제어

이동국의 송신전력을 결정하는 절차는 개방회로 전력제어와 폐쇄회로 전력제어로 구분된다. 개방회로 전력제어란 이동국이 수신한 순방향 전력을 근거로 역방향에 대한 송신전력을 결정하는 절차이다. 이렇게 함으로써 개방회로 전력제어는 이동국의 송신전력을 폐쇄회로 전력제어에 의해 조절할 수 있는 범위로 좁히며, 폐쇄회로 전력제어(이하 전력제어)는 순방향과 역방향 채널간의 추정전력의 불일치를 보상한다. 이는 이동국의 송신신호를 기지국이 수신하여 기준값과 비교, 전력제어 증감명령을 발생시키고 이동국에서는 그림 1과 같이 명령을 수신하여 자신의 송신전력을 조절한다.

현재 IS-95 방식의 전력제어는 1.25 msec. 동안 이동국 송신전력을 1dB씩 증감한다. 이것은 이동국 시속 0Km~16Km이하까지의 저속 페이딩은 충분히 보상한다[7]. 그러나 시속 16Km이상이 되면 전력제어는

더이상 페이딩을 쫓지 못하고, 페이딩이 깊은 구간이 길어져서 길이가 긴 burst error의 발생확률이 커진다. 따라서 인터리버가 에러를 분산시키기 어려우므로 비터비 디코더에 의한 성능개선을 기대할 수 없게 된다. 이동국 시속이 약 32Km 이상이 되면 페이딩 구간(fading duration)이 짧기 때문에 인터리버의 동작으로 비터비 디코더의 성능을 회복하게 한다. 그러나 이때에도 전력제어는 여전히 페이딩을 쫓지 못한다. 따라서 현재 IS-95방식의 전력제어 성능은 이동국 시속 0Km~16Km 이하의 저속에서만 제 기능을 충분히 발휘한다[7][8].

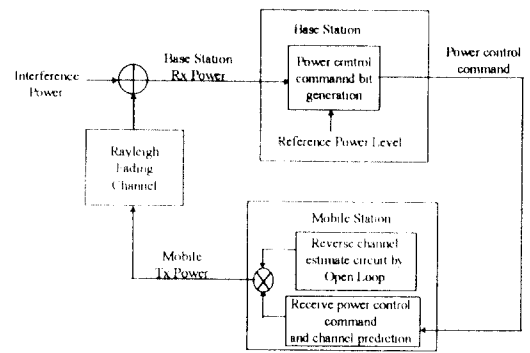


그림 1. CDMA System의 전력제어 Loop 구조
Fig. 1 Power control loop structure of the CDMA system

III. 개선된 가변 전력 증감량 폐쇄회로 전력제어 모델

이동국의 송신전력은 다음 식 (1)에 의해 결정된다[7].

$$P_{tx}^m(t) = k - P_{rx}^m(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + Tx_Gain_Adj \quad (1)$$

- k 는 상수, P_{rx}^m 은 이동국 수신전력,
- P_{tx}^m 은 이동국 송신전력,
- τ 는 개방회로 전력제어 시정수,
- Tx_Gain_Adj 는 전력증감명령에 의한 교정값

기지국에서 i 번째 송신한 전력제어 증감명령을 C_i 라 하면, 고정방식에서 Tx_Gain_Adj 로 결정되는 이동국의 i 번째 송신전력은 식 (2)로 표현된다.

$$P_i = P_o + \sum_{j=1}^i (C_j \cdot step) \text{ [dB]} \quad (2)$$

$C_j = \pm 1$, $step = 1$ [dB], P_o 는 초기전력

이러한 절차로써 채널변화에 따른 이동국 송신전력의 변화를 그림 2에 도시하였다. 증감량이 1dB일때는 1~30샘플구간에서 이동국 송신신호가 채널변화의 기울기를 따라가지 못하므로 slope underload distortion이 발생함을 볼 수 있다.

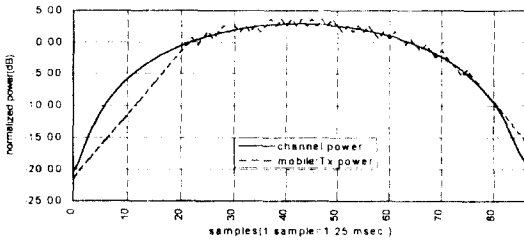


그림 2. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
(이동국 시속 10 Km, fixed step, step size = 1 dB)
Fig. 2 Mobile transmit power with channel variation
(Vmobile = 10Km/hr, fixed step, step size = 1 dB)

증감량을 2 또는 3dB로 하면 그림 3과 같이 slope underload distortion은 개선되지만, 이동국 송신전력이 채널신호의 마루부분(30~60샘플구간)에서 2 또는 3dB로 진동하기때문에 granular noise가 발생한다.

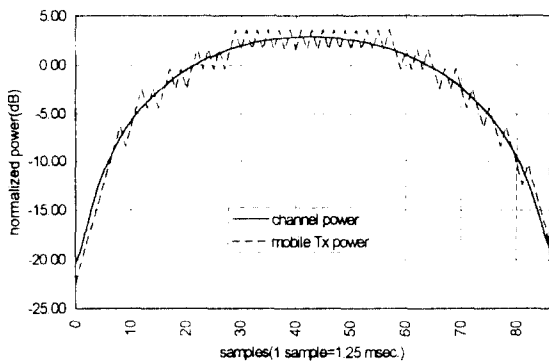


그림 3. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
(이동국 시속 10Km, fixed step, step size = 2 dB)
Fig. 3 Mobile transmit power with channel variation
(Vmobile = 10Km/hr, fixed step, step size = 2 dB)

Slope underload distortion과 granular noise를 개선하기 위한 일반적인 방법중에서 ADM(Adaptive Delta Modulation)에서 적용할 수 있는 방식이 Jayant에 의해 제안되었다[9]. 따라서 식 (3)과 같이 Jayant의 수식을 그림 2 및 그림 3과 동일한 채널변화에 적용한 결과를 표 1에 나타내었으며, 가장 최적화한 K값(K=1.2)을 적용하여 그 결과를 그림 4에 도시하였다.

$$P_i = P_o + \sum_{j=1}^i (D_j) D_j = D_{j-1} K^{C_j \cdot C_{j-1}} \quad (3)$$

D_j 는 j번째 전력제어 증감량, K는 상수

표 1. Jayant의 수식(3) 적용시 K값에 따른 전력제어오차
(이동국 시속 10Km, 20dB deep fading 채널 구간, 85 samples)

Table 1. Power control error using equation (3)(Vmobile = 10Km/hr)

| K값 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 |
|--------|------|-----|------|------|------|------|
| 전력제어오차 | 1.26 | 1.1 | 0.91 | 0.96 | 0.96 | 0.97 |

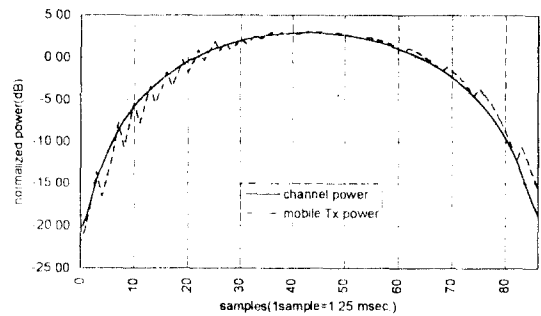


그림 4. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
(variable step, step size = Jayant의 수식 (3) 적용, K = 1.2)

Fig. 4 Mobile transmit power with channel variation
(Variable step, using eq (3), K = 1.2)

여기서 채널의 변화특성에 따라 slope underload distortion은 오히려 증가되고 granular noise만이 개선되는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안하는 방식에서는 그림 5와 같이 채널신호의 기울기가 급한 부분에서는 고정 증

감량 전력제어 방식과 유사하게 동작하여 slope underload distortion를 개선하며, 채널신호의 마루부분과 같이 기울기가 완만한 부분에서는 Jayant의 수식 (3)을 적용하여 granular noise를 개선한다(식 (4)).

$$P_i = P_o + \sum_{j=1}^i (D_j) \tag{4}$$

$$D_j = \begin{cases} L \cdot K^{C_j - C_{j-1}}; C_j + C_{j-1} + C_{j-2} = 3 \text{ 일때} \\ D_{j-1} \cdot K^{C_j - C_{j-1}}; C_j + C_{j-1} + C_{j-2} \neq 3 \text{ 일때} \end{cases}$$

L은 상수,

$$K \text{는 } \begin{cases} K1; C_{j-1} \cdot C_j = 1 \text{ 일때} \\ K2; C_{j-1} \cdot C_j = -1 \text{ 일때} \end{cases}$$

식 (4)에서 K1을 1에 가까운 값을 갖도록 하여 채널신호의 기울기가 급한 부분에서 고정 증감량 방식과 유사한 동작을 하게한다. K2값은 K1보다 큰 값을 적용한다.

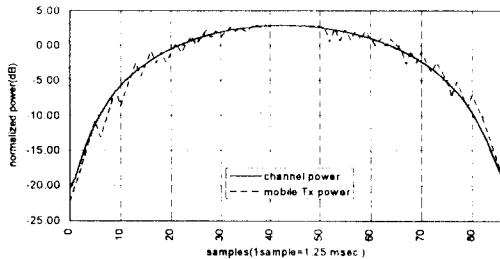


그림 5. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화 (variable step, step size = 제한된 수식 (4) 적용, K1 = 1.05, K2 = 1.15, L = 2)

Fig. 5 Mobile transmit power with channel variation (variable step, using eq. (4), K1=1.05, K2=1.15, L=2)

IV. 모의실험 및 결과

분석의 용이함을 위하여 본 모의실험은 다음과 같은 가정하에 실시한다.

- 모델의 단순화를 위하여 기저국의 수신신호의 측정오차는 무시한다.

- 레이크 수신기(Rake Receiver) 및 다이버시티에 의한 효과를 고려치 않는다.
 - 테이타의 신뢰구간 99%이상을 확보하기 위하여 시계열 시료갯수(sample point)를 10,000개 이상으로 한다.
 - 다른 이동국에 의한 간섭 및 잡음은 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN)으로 가정한다.
 - 전력제어 측정구간과 주기는 1.25 msec.로 한다.
 - 전력제어의 루프지연(loop delay)은 1.25 msec.로 한다.
 - 섹터셀 및 음성활성화 검출기법(voice activity detection) 등과 같은 간섭제거기법은 사용하지 않는다.
- 전력제어의 성능은 무선채널의 통계적 특성, 페이딩 등에 의해 영향을 받는다. 본 전력제어 성능을 평가하기 위한 채널은 레일리 분포의 채널을 사용하였으며(그림 1) 페이딩율은 이동국 시속이 최소 5Km에서 최대 40Km일때의 경우를 고려하였다[10]. 채널신호의 발생은 Jakes 모델을 사용하여 C코드로써 발생시켰다[11]. 이 채널의 ADF(Average Duration of Fade), LCR(Level Crossing Rate), CPD(Cumulative Probability Distribution)을 그림 6~그림 8에 각각 도시하였다.

모델의 검증을 위해 단구간 페이딩이 없고 가산성 백색 가우시안잡음(AWGN)만 존재하는 상태에서 모델의 동작을 관찰한다. 관찰된 데이터를 표 2에 나타

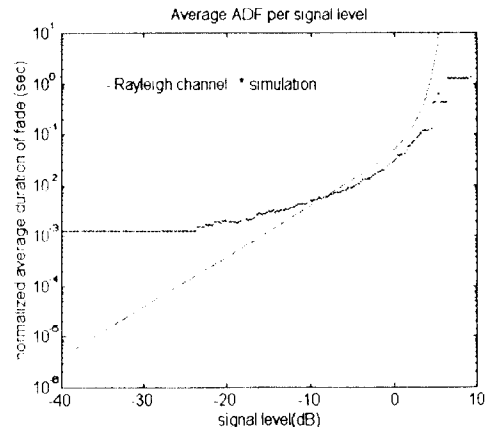


그림 6. Rayleigh Channel Model의 ADF 특성
Fig. 6 ADF characteristics of the Rayleigh channel model

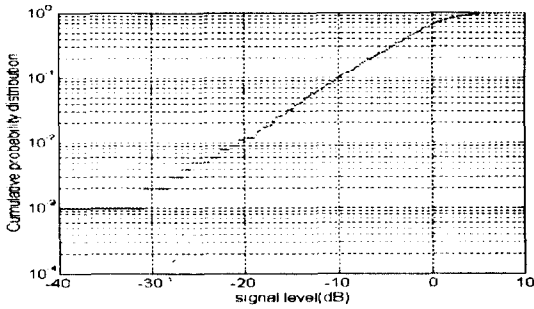


그림 7. Rayleigh Channel Model의 CPD 특성
Fig. 7 CPD characteristics of the Rayleigh channel model

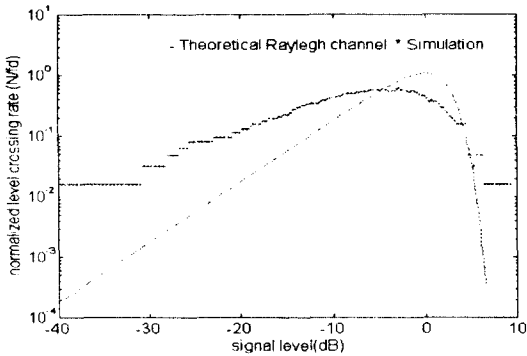


그림 8. Rayleigh Channel Model의 LCR 특성
Fig. 8 LCR characteristics of the Rayleigh channel model

표 2. 페이딩이 없는 상황하에서의 전력제어 오차

Table 2. Power control error in non-fading channel

| 구분 | 고정전력제어 | | | 제안된 방식 |
|--------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 1 dB step | 2 dB step | 3 dB step | |
| 전력제어오차 | 0.52 dB | 1.01 dB | 1.54 dB | 0.048 dB |

내었으며, 전력제어오차가 증감량의 반으로서 작은 범위내에 오는 것을 확인하였다. 특히 본 논문에서 제안된 방식은 오차가 매우 작음을 알 수 있다.

채널변화에 따른 고정전력제어와 제안된 새 방식의 성능비교를 위한 모의실험결과를 그림 9~그림 11에 도시하였다. 그림 9에서 증감량이 1dB인 경우 채널신호가 -10dB이상의 깊은 페이딩은 이동국 송신전력 신호가 쫓지 못함을 알 수 있다. 반면 증감량이 2dB 일때는 그림 10와 같이 -15dB이하의 깊은 페이딩이 발생했을 경우 이동국 송신전력신호가 약 -15dB까지 쫓아가지만 채널의 마루부분에서 2dB의 진폭으로 진동함을 알 수 있다. 제안된 방식의 결과인 그림 11에서는 그림 10의 증감량이 2dB일 때와 동일하게 채널 전력신호를 -15dB 이하까지 쫓고 있다. 또한 마루부분에서는 2dB 진폭의 진동이 점차 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있다. 이를 자세히 보기 위하여 마루부분의 일부를 확대하여 그림 12에 도시하였다.

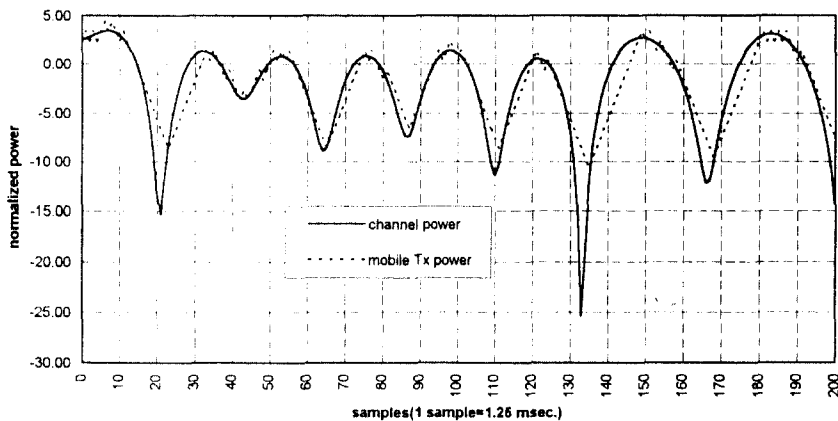


그림 9. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
(이동국 시속 30Km, fixed step, step size = 1 dB, Interference = 0 dB)

Fig. 9 Mobile transmit power with channel variation
(Vmbile = 30Km/hr, fixed step, step size = 1 dB, Interference = 0 dB)

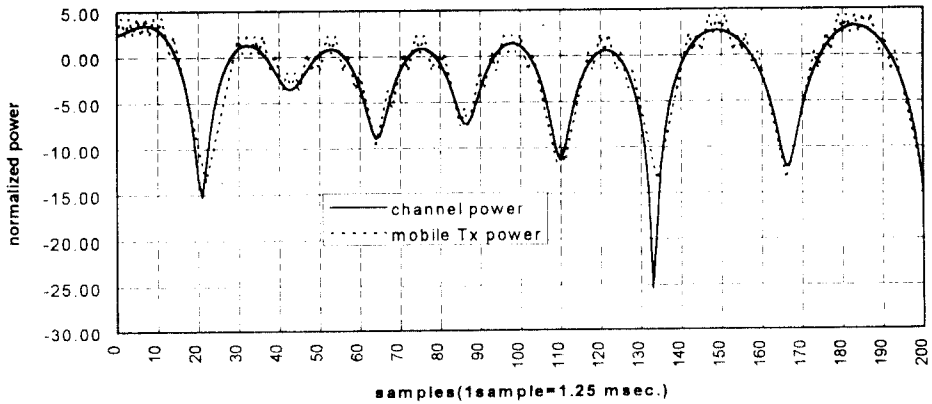


그림 10. 채널의 변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
 (이동국 시속 30Km, fixed step, step size = 2 dB, Interference = 0 dB)
 Fig. 10 Mobile transmit power with channel variation
 ($V_{\text{mobile}} = 30\text{Km/hr}$, fixed step, step size = 2 dB, Interference = 0 dB)

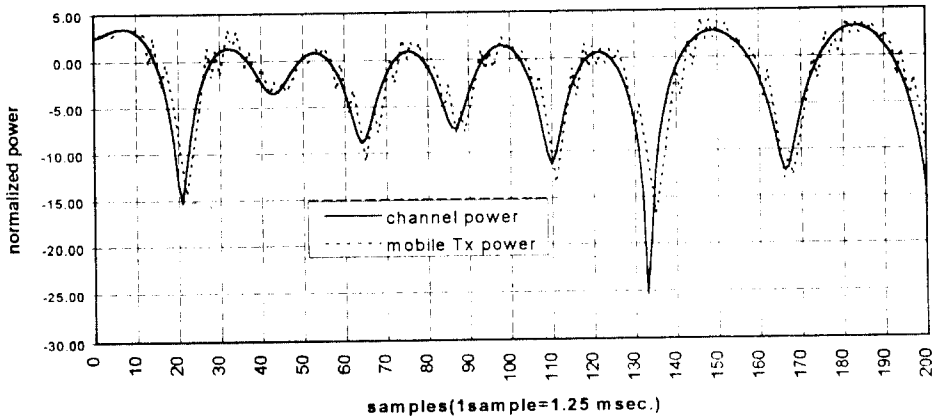


그림 11. 채널변화에 따른 이동국 송신전력의 변화
 (이동국 시속 30Km, 제한된 방식, Interference = 0 dB, $K_1 = 1.05$, $K_2 = 1.15$, $L = 3$)
 Fig. 11 Mobile transmit power with channel variation
 ($V_{\text{mobile}} = 30\text{Km/hr}$, using eq. (4), Interference = 0 dB)

전력제어 성능을 유지하는 범위를 확인하기 위하여 이동국이 5Km~40Km까지 각각 일정한 시속을 유지할 때와 10Km에서 30Km로 가변될때의 채널변화에 대하여 전력제어오차를 표 3와 표 4에 각각 표시하였다. 표 3에서 증감량이 1dB 일때는 2dB미만의 전력제어오차를 갖는 범위가 이동국 시속 약 20Km까

지로 볼 수 있고, 증감량이 2dB일 때는 약 30Km이하 까지이다. 또한 제한된 새 방식은 35Km까지가 된다. 더구나 모든 채널변화에 대하여 전력제어 오차가 0.5dB이상 개선된 결과를 얻었으며, 특히 이동국이 연속적으로 10Km~30Km의 시속으로 변화할 때는 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 최고 1dB이상이 개선됨을

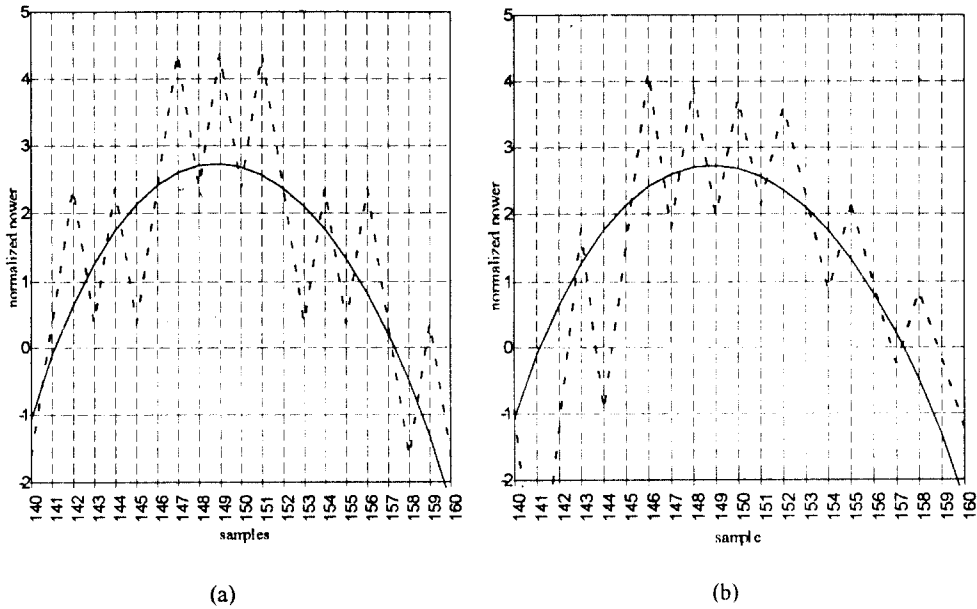


그림 12. 채널변화에 따른 이동국 송신전력의 변화 마무리부분 비교
 (그림 10, 11의 140~160 sample구간, (a)는 그림 10, (b)는 그림 11)
 Fig. 12 A comparison of extrima for mobile transmit power
 ((a)extrima for fig 10, (b)extrima for fig 11)

표 3. 채널변화에 따른 고정전력제어와 제안된 세 방식의 성능비교(전력제어 오차, dB)

Table 3. A comparison of the performance analysis with 3 power control methods

| 이동국 시속 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 전력증감 | Km | Km | Km | Km | Km | Km | Km | Km |
| 1dB(고정) | 0.81 | 1.15 | 1.59 | 2.04 | 2.38 | 2.68 | 2.95 | 3.20 |
| 2dB(고정) | 1.22 | 1.33 | 1.49 | 1.67 | 1.91 | 2.08 | 2.39 | 2.54 |
| 제안된 방식 | 0.86 | 1.04 | 1.30 | 1.54 | 1.73 | 1.91 | 2.09 | 2.38 |

표 4. 이동국 속도변화에 따른 고정전력제어와 제안된 세 방식의 성능 비교

(이동국 시속의 변화: 10Km → 20Km → 30Km 각각 5000 samples, 총 15,000 samples)

Table 4. A comparison of the performance analysis with 3 power control methods

| 전력제어 증감량 | 전력제어 오차 |
|----------|---------|
| 1dB(고정) | 2.47dB |
| 2dB(고정) | 1.74dB |
| 제안된 방식 | 1.45dB |

알 수 있다.

간섭상황하에서 전력제어 성능을 분석하기 위하여 10dB의 간섭신호가 존재하는 상황하에서 SIR(Signal to Interference Ratio)이 -15dB 이하가 되는 확률을 그림 13과 표 5에 나타내었다. 이동국 시속이 10Km로 저속일 경우 모두 1% 미만의 outage 확률을 갖고, 30Km일 경우 고정 1dB의 증감량은 4.8%까지 발생된 반면, 제안된 방식은 1.35%로 우수한 결과를 나타내었다.

표 5. 간섭상황하에서 각 방식별 outage 확률(%)의 비교

Table 5. A comparison of the outage probability with 3 power control methods

| 이동국 시속 | 10Km | 20Km | 30Km |
|---------|------|------|------|
| 전력증감 | | | |
| 1dB(고정) | 0.44 | 2.01 | 4.80 |
| 2dB(고정) | 0.64 | 0.70 | 1.96 |
| 제안된 방식 | 0.10 | 0.50 | 1.35 |

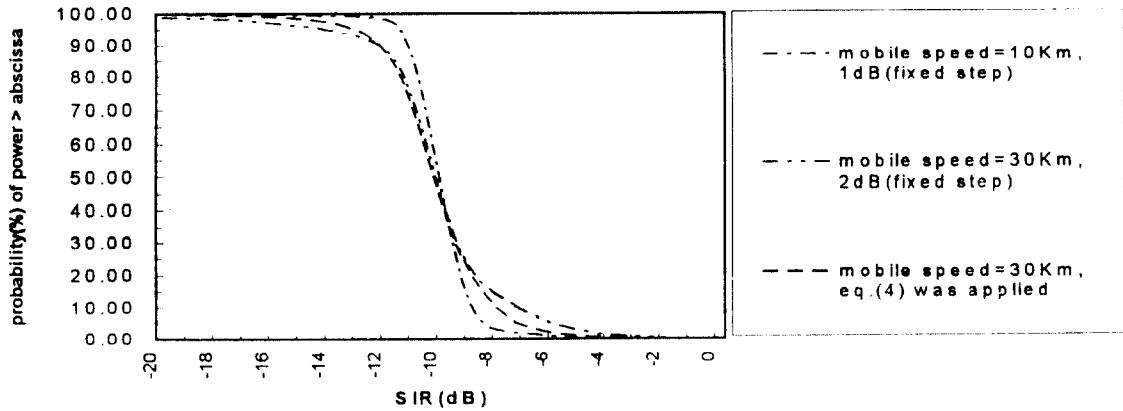


그림 13. 간섭상황하에서 각 방식별 Outage 확률의 비교
 Fig. 13 Outage probability with 3 power control methods

V. 결 론

본 논문은 CDMA 역방향 폐쇄회로 전력제어의 성능을 개선시키는 새로운 기법을 제안하였다. 또한 레일레이 채널모델상에서 모의실험을 수행하여 우수한 성능을 확인하였다. 현재 전자파의 진화환경, 이동국의 분포, 핸드오버 등을 고려하여 전력제어의 성능에 따른 전체 시스템의 용량 개선 효과에 대한 연구도 추진중에 있다. 또한 충분한 turn around delay를 고려한 전력제어 예측기법도 연구중에 있다. 특히 구현상의 측면에서 이동국의 전력 증폭기 조절 능력 등 하드웨어의 능력을 고려하여 본 논문에서 제안한 알고리즘의 출력을 양자화 하여 적용할 수 있다. 이러한 방법들을 적용하였을 때의 시스템 성능의 변화 등도 계속 연구중에 있다.

참 고 문 헌

1. TIA/EIA, "Recommended Minimum Performance Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Mobile Stations," PN-3121, Feb. 18, pp. 10.9-10.15, 1994.
2. 한국 전자통신 연구소, "디지털 이동통신망의 데이터 통신 연구 1차년도 최종연구보고서," pp. 83-122, 1993.

3. Donald L. Schilling, Gary R. Lomp and Joseph Garodnick, "Broadband-CDMA Overlay," PIMRC '93, pp. 99-103, 1993.
4. Jarno, M. A. Tanskanen, Aiping Huang, "Prediction of Received Signal Power in CDMA Cellular Systems," VTC '95, pp. 922-926, 1995.
5. N.R. Sripada, D.G. Fisher, A. J. Morris, "AI application for process regulation and servo control setting," IEE Proceedings, vol. 134, Pt. D, no. 4., pp. 251-259, 1987.
6. Po-Rong Chang and Bor-Chin Wang, "Adaptive Fuzzy Power Control for Mobile Radio Systems," VTC '95, pp. 927-931, 1995.
7. Qualcomm, "The CDMA Network Engineering Handbook," Nov. 23, pp. 1.54-1.60, 5.1-5.22, 1992.
8. Daeyhoung Hong, et al., "Effect of the Power Control Performance on the CDMA Cellular System Capacity," APCC '94, pp. 713-719, 1994.
9. N.S. Jayant and Peter Noll, "Digital Coding of Waveforms: Principle and Application to Speech and Video," Printice-Hall, 1984.
10. K. Pahlavan and A. H. Levesque, "Wireless Information Networks," John Wiley and Sons, pp. 48-55, 1995.
11. W. C. Jakes, "Microwave Mobile Communications,"

John Wiley and Sons, pp. 65-76, 1974.

12. 정재욱, 홍대형, "CDMA 이동통신 시스템의 용량개선을 위한 전력제어 적용기법 연구," JCCI '94, pp. 631-635, 1994.



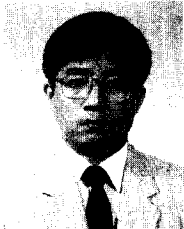
元石鎬(S. H. Won) 正會員

1990년 2월: 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 석사과정 중

1990년 3월~현재: 한국전자통신연구소 시스템기술연구실 연구원

※주관심분야: 이동통신, CDMA시스템 성능분석



鄭寅明(I. M. Jeong) 正會員

1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1984년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 3월~현재: 한국전자통신연구소 시스템기술연구실 CDMA 시스템 시험평가 과제책임자

※주관심분야: 이동통신, CDMA시스템 성능분석



任德彬(D. B. Im) 正會員

1975년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 졸업(공학사)

1991년 7월: 전북대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1980년~현재: 한국전자통신연구소 시스템기술연구실장

※주관심분야: 이동통신, CDMA시스템 성능분석, 무선 멀티미디어, 무선접속 프로토콜



金煥宇(W. W. Kim) 正會員

1977년 2월: 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1979년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1988년 6월: 미국 University of Utah(공학박사)

1979년 4월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수

※주관심분야: 신호처리, 이동통신, 디지털 통신