

DS/CDMA 시스템의 적응형 폐쇄루프 전력제어 알고리즘

정희원 감 두 열*, 박 상 규**

Adaptive Closed-Loop Power Control Algorithm in DS/CDMA System

Doo Yoel Kam*, Sang Kyu Park** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 DS/CDMA 시스템에서의 새로운 전력제어 알고리즘을 제시한다. 현재 사용되고 있는 IS(Interim Standard)-95의 송수신기와 이동통신 환경에 맞는 채널을 모델링 하고, 이러한 시스템의 모델링을 바탕으로 모의실험을 통하여 전력제어의 성능을 분석한다. 성능 분석을 위한 파라미터들은 수신된 신호대 간섭비(signal to interference ratio)의 분포와 비트 오류확률이다. 그리고 전력제어 명령의 오류가 위의 파라미터들에 끼치는 영향에 대해서도 알아본다. IS-95 전력제어의 성능 분석과 함께 무선채널의 연집(burst) 오류가 일어나는 특성을 이용하여 새로운 전력제어 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 신호대 잡음비 측면에서 현재의 알고리즘보다 좀더 개선된 성능을 제공하여 서비스의 품질과 시스템의 용량을 증대시킨다.

ABSTRACT

In this paper, an adaptive power control algorithm in the DS/CDMA system is proposed. The currently used transmitter/receiver based on IS-95 and the radio propagation channel under mobile communication environments are modeled. These are the key features for the simulation to analyze the performance of power control. The distribution of the received SIR(Signal to Interference Ratio) and the bit error probability are the required parameters for the performance analysis. Furthermore the influence of the power control command errors on the above parameters are analyzed. By using the performance analysis of IS-95 and the occurrence of burst errors that is characteristic for wireless channels, the new power control algorithm is proposed. The proposed power control algorithm increases the SIR which results in a better service quality and an enhancement in the system capacity.

I. 서 론

DS/CDMA 시스템을 포함한 모든 이동 통신 시스템에 있어서 셀 내의 모든 이동국은 항상 이동하고 있으므로 어떤 이동국은 기지국에 가까이 근접

해 가고, 어떤 이동국은 반대로 먼거리에 위치하게 된다. 이때 기지국은 근접해 가는 이동국의 강한 수신신호를 제어하지 않으면 역방향 링크의 다른 이동국들의 신호들에게 심한 간섭을 일으키게 된다. 이 현상을 원근문제(near-far problem)라 한다¹⁾. 그러므로 이동국의 송신 출력은 기지국에 적절한 강

* 삼성전자 정보통신총괄

** 한양대학교 전자전기공학부(skpark@email.hanyang.ac.kr)
논문번호: 99272-0713, 접수일자: 1999년 7월 13일

도로 수신되어야 하고, 양질의 음성을 유지하고 간섭을 최소화하기 위해 제어되어야만 한다. 시스템의 최대 용량은 모든 이동국들의 평균적인 SIR(Signal to Interference Ratio) 값이 채널 기능을 유지할 수 있는 최소 허용가능 수준일 때 얻게 된다. 이동 통신 환경에서 이 조건은 기지국과 이동국의 출력을 동적으로 제어함으로써 성취할 수 있다. 이러한 것을 CDMA 시스템의 전력제어라 한다.

무선 채널을 통과하는 이동국의 송신신호는 기지국에 수신되어질 때 원근문제 이외에도 다중 경로로 인한 도플러 효과에 의해 발생하는 빠른 페이딩과, 건물동에 의한 shadowing으로 인한 느린 페이딩의 영향을 받는다^[2]. 실제로 다중경로로 인한 수신신호의 세기 변화는 50-60dB 정도로 매우 빠르게 일어나기 때문에 이러한 변화에 정확히 적응할 수 있는 전력제어를 구현하기는 불가능하다.

현재 IS-95 시스템에서는 이러한 페이딩에 의한 신호품질의 저하를 막기 위해 폐환(feedback) 루프를 이용한 전력제어를 하고 있다^[3]. 이 방식은 기지국이 일정한 간격동안 역방향 링크에서 수신된 신호의 SIR을 측정하여 기지국이 명령을 보내어 이동국의 전력을 제어하는 방식이다. 그러나 전력의 보상은 +1 또는 -1dB의 일정한 간격으로 이루어지기 때문에 급격한 페이딩의 변화에 대처하지 못한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 폐환 루프의 주기를 빨리 하거나 전력제어의 보상 정도를 좀더 세분화하는 방법이 있다. 그러나 전력제어의 명령은 통화채널을 통해 이루어지므로 이러한 경우에는 순방향 링크의 용량을 감소시키는 측면이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 순방향 링크의 용량은 감소시키지 않으면서 좀더 효율적으로 전력제어 수행이 가능한 방법을 소개하고자 한다. 이것은 전력의 증감을 고정된 양만큼 하는 것이 아니라 가변적으로 하는 방법이다. 실제 시스템에 쓰일 수 있도록 하기 위해 무선채널이 고려된 IS-95 시스템에 바탕을 둔 방법으로 모의 실험하였다^{[4][5]}.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 IS-95 역방향 링크의 송·수신 시스템과 무선채널을 모델링하고, 3장에서는 새로운 전력제어 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 2장과 3장에서 소개한 시스템 모델링을 바탕으로 한 모의실험을 통해 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 끝으로 5장에서는 분석된 성능 비교를 바탕으로 결론을 도출한다.

II. 시스템 모델링

2.1 송신 시스템 모델링

본 논문에서는 전력제어 알고리즘에 초점을 맞추기 위해서 이동국 k에 대한 송신 모델을 IS-95를 바탕으로 하여 그림 1에 나타내었다.

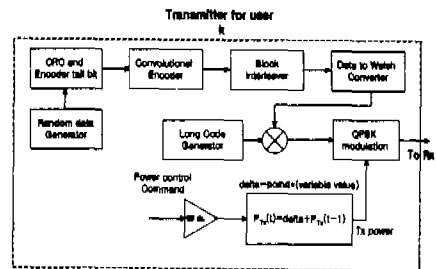


그림 1. k번째 이동국에 대한 송신기 모델

정확한 전력제어의 성능을 분석하기 위해서 음성 활동률(voice activity)은 고려하지 않았으며, 데이터율을 9600bps로 하여 모든 프레임은 16개의 전력제어 그룹이 활성화되어 있다고 가정하였다.

먼저 랜덤한 데이터 비트들을 발생시키고, 여기에 프레임의 오류를 검사하기 위한 CRC 비트를 삽입한다. 데이터율이 9600bps일 경우 CRC와 생성다항식은 식 (2.1)과 같다^[3].

$$g(x) = 1 + x + x^4 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12}. \quad (2.1)$$

CRC를 거친 데이터들은 길쌈 부호화시 레지스터를 초기화하기 위해 각각의 프레임마다 8개의 tail 비트를 더해준다.

위의 과정을 거친 데이터들은 길쌈 부호화기에 의해 부호화된다. 길쌈 부호화기의 생성 다항식은 식 (2.2)와 같다^[3].

$$\begin{cases} g_1^{(1)} = (557) = x^8 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1 \\ g_1^{(2)} = (663) = x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x + 1 \\ g_1^{(3)} = (711) = x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

길쌈 부호화기에 의해 부호화된 데이터 비트들은 인터리빙을 거친 후, 길이가 64인 Walsh 부호로 변환된다. 6개의 데이터 비트가 십진수로 변환되며 그 수에 해당하는 Walsh 부호를 대응시킨다.

신호를 전송하기 위해 정보 데이터들은 PN 부호

를 곱해 확산하는데 이 PN 부호는 사용자들 구분하기 위한 long PN code로써 식 (2.3)과 같은 생성 다항식에 의해 발생된다^[3].

$$g(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6 + x^7 + x^{10} + x^{16} + x^{17} + x^{18} + x^{19} + x^{21} + x^{22} + x^{25} + x^{26} + x^{27} + x^{31} + x^{33} + x^{35} + x^{42} \quad (2.3)$$

확산된 디지털 신호는 QPSK 변조되어 수신단으로 보내지며, 이러한 송신시스템은 모의실험 시행시 각 이동국에 대해 똑같이 독립적으로 적용하여 구성한다.

2.2 채널 모델링

모의 실험에 적용한 채널 모델을 그림 2와 같은 Tapped-delay-line 모델로 구성하였다. 그림 2에서 W는 신호의 대역폭으로 $1/T_c$ 와 같으며, attenuation 블록은 전력 지연 프로파일에 의해서 발생하는 감쇄상수이다^[4]. Long-term fading 블록에서는 log-normal 분포를 각각의 경로에 대해서 서로 독립적으로 발생시킨다.

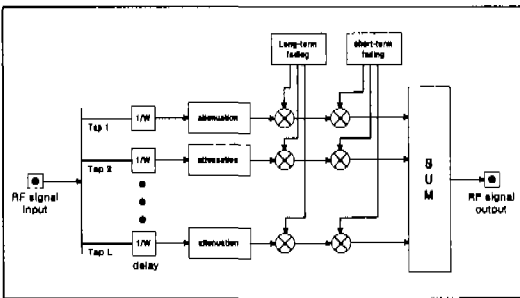


그림 2. 채널 불려도

Short-term fading 불려는 빠른 페이딩을 발생시키는 역할을 하는데 기지국과 이동국의 상대적인 속도에 의해 생기는 도플러 주파수를 고려하여 발생시킨다. 도심 지역에서는 가시경로 성분이 존재하지 않는 레일레이 페이딩을, 부도심 지역에서는 가시 경로 성분을 고려한 라이시안 페이딩을 발생시킨다. Short-term fading도 long-term fading 불려와 마찬가지로 각각의 경로에 대해 독립적으로 발생시킨다^[5].

실제적으로 다른 이동국으로부터 수신되는 간섭 신호에 대한 것도 채널의 한 부분을 구성한다고 볼 수 있기 때문에 채널 구성시 이러한 점을 고려하였다. 전체적인 채널 모델은 각각의 이동국에 대하여 서로 독립적인 송신 모델과 채널 모델들이 모두 더

해져서 얻어진다.

2.3 수신 시스템 모델링

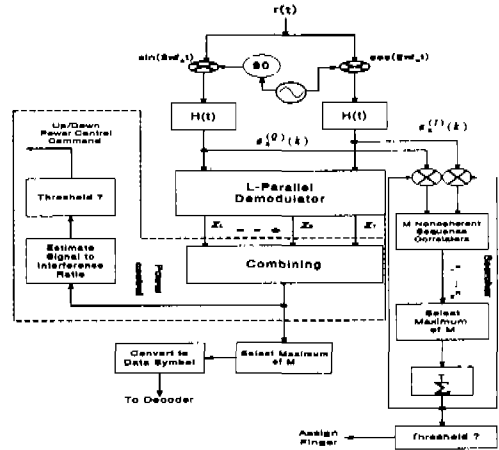


그림 3. 모의실험 역방향 수신기

그림 3은 모의실험에 쓰인 역방향 링크로 수신되는 L개의 서로 다른 경로 신호에 대해 복조를 행하는 불려도이다^[6]. 각각의 경로에 대한 복조는 finger가 수행하는데 finger로 수신된 경로 신호는 역확산 과정을 거친 뒤, 길이 M인 왈시 부호와 상관과정을 거친다. Finger에서는 각각의 수신된 경로 신호에 대해 원하는 경로 신호의 상관값 s_{li} 을 식 (2.4)와 같은 방법으로 구분해낸다. 여기서 z_{li} 는 왈시 부호 W_l 와 l번째 경로로 분해되어 역확산된 신호와의 상관값이다.

$$s_l = \max(z_{l1}, z_{l2}, \dots, z_{lM}) \quad (2.4)$$

그림 3의 점선으로 표시된 전력제어 불려는 각 경로에 대해 복조된 후 다이버시티 기법에 의해 합성된 신호들을 이용하여 SIR을 구하고, 이 SIR을 정해진 임계치와 비교하여 전력제어 명령을 생성하는 불려이다.

l번째 경로에 대한 신호대 간섭비 (SIR) $_l$ 은 왈시 부호의 직교성질을 이용하여 식 (2.5)와 같이 놓을 수 있다.

$$(SIR) _l = \frac{s_l}{\sum_{i=1, i \neq l}^L z_{li}} \quad (2.5)$$

IS-95 시스템은 다이버시티 합성 기법으로 최대

비 합성을 사용하므로, 각 할당된 finger에 의해 생성되어 최대비 합성된 전체 SIR은 식 (2.6)과 같다.

$$(SIR)_{tot} = \sum_{i=1}^N a_i * (SIR)_i \quad (2.6)$$

여기서, N은 복조에 사용되고 있는 finger의 개수이며, a_i 은 최대비 합성을 위한 가중치로써 식 (2.7)에 의해 얻어진다.

$$a_i = \frac{(SIR)_i}{\sum_{j=1}^N (SIR)_j^2} \quad (2.7)$$

전력제어 명령은 이렇게 얻어진 수신신호의 $(SIR)_{tot}$ 값을 전력제어 그룹의 주기동안 평균을 취해서 임계치와 비교하여 얻어진다.

III. 적응형 전력제어 알고리즘

원근문제를 해결하기 위해서 IS-95에서는 기지국이 수신신호의 SIR을 측정한 후, 순방향 통화채널 중 한 비트를 전력제어 비트로 할당하여 1.25ms의 주기로 이동국에게 전력제어 명령을 보낸다. 이러한 전력제어는 이동국의 송신출력을 +1dB 또는 -1dB의 간격으로 제어하기 때문에 급격한 채널의 변화에 취약한 단점을 지닌다. 본 논문에 제시된 알고리즘을 이용하면 IS-95의 경우와 동일한 한 비트의 전력제어 비트를 사용하면서도 급격한 페이딩에 대해 좀 더 효과적으로 대응할 수 있다는 장점을 가진다. 이것은 이동국의 송신출력을 채널의 특성을 고려하여 +1 또는 -1dB의 간격이 아닌 다른 값으로 정의하는 것이다.

일반적으로 이동 통신의 채널은 상관성이 존재한다. 즉 어느 한 시점에서 채널이 깊은 페이딩을 겪게 되면 인접 시점의 채널 환경이 갑자기 좋아지는 것이 아니라 어느 정도의 시점 후에 변화가 따른다는 점이다. 만약 채널의 환경이 나빠서 전력증가 명령이 계속된다면, 이 상황에 맞도록 좀 더 빠른 전력의 증가가 필요하다. 또한 채널의 변화는 한쪽으로만 치우치는 것이 아니라 수렴하는 특성이 있다. 즉 채널 환경이 한없이 개선되거나 악화되지 않고 어느 이상의 수준이 되면 채널은 반대의 변화를 따르게 된다. 이 경우 전력제어의 지연을 고려하면 전력제어를 하지 않는 것이 좋다. 위와 같은 사실을 바탕으로 식 (3.1)과 같은 적응형 전력제어 알고리즘을 제안한다.

$$P_{Tx}(t) = \begin{cases} P_{Tx}(t-1) + C * P_C(t), & P_C(t) = P_C(t-1) \\ P_{Tx}(t-1) + 1/C * P_C(t), & P_C(t) \neq P_C(t-1) \\ P_{Tx}(t-1), & |SIR(t-1) - T_b| > L \end{cases} \quad (3.1)$$

여기서 $P_{Tx}(t)$ 는 t 시점에서의 이동국 송신전력이고, C와 L은 시스템 내에서의 임의의 상수이다. T_b 는 기지국에서 요구되어지는 수신신호의 SIR값의 임계치이고, $P_C(t)$ 는 t 시점에서의 전력제어 명령이다. 적응형 전력제어 알고리즘을 정의한 식 (3.1)에서 상수 $C=1dB$ 인 경우가 이동국의 송신 출력이 1.25ms 전의 송신 출력에 비해 1dB의 증감을 가지게되는 IS-95의 전력제어이다. 하지만 채널의 특성을 고려하여 적절한 C 값을 취하면 IS-95보다 효과적인 전력제어의 수행이 가능하게 된다. 본 논문의 모의실험에서 적응 알고리즘을 적용하는 모든 경우에 있어서 $C=1.32dB$, $T_b=7dB$, $L=6dB$ 로 두었다. $C=1.32dB$ 는 이동국의 속도가 각각 10, 50, 100km/h 일 때의 최적의 C 값들을 구해 이들을 평균하여 얻은 값이다.

이 적응 알고리즘을 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다. 음영으로 표시된 블록은 이동국을 나타내는 것이며, T_p 는 전력제어 주기인 1.25ms이다.

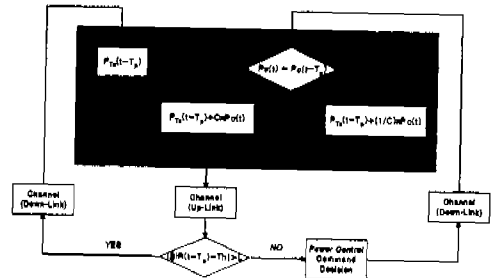


그림 4. 적응 알고리즘 전력제어 흐름도

IV. 모의실험 결과

이 장에서는 전력제어에 관한 성능 분석에 앞서 모의실험으로 얻어진 수신신호에 대해 알아본다. 먼저 우리가 원하는 수신신호의 신호 대 잡음비의 임계치를 7dB로 두었다. 이 임계치는 음성 통신(평균 오류율이 10^{-3} 이하)이 원활히 이루어지게 하는데 필요한 최소의 신호 대 잡음비이다^[9]. 그리고 배경 잡음은 실제의 간섭 잡음에 비해 훨씬 작으므로 무시하였다.

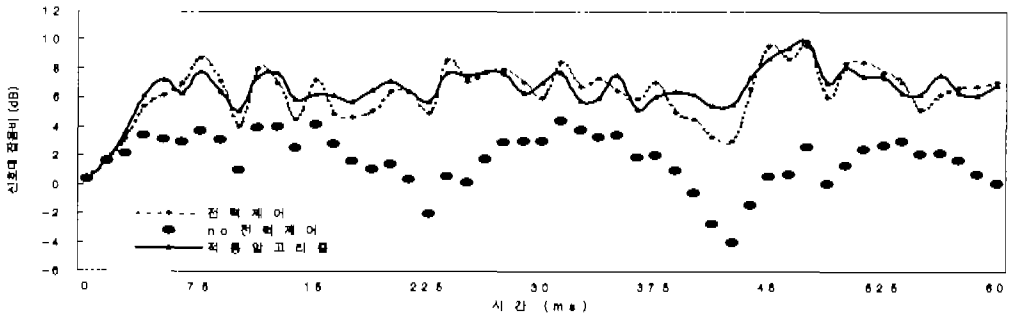


그림 5. 신호대 잡음비 변화 비교도

그림 5는 이동국의 속도가 50km/h일 때 1)적용 알고리즘을 적용한 전력제어, 2)1dB 증감에 의한 전력제어, 3)전력제어를 적용하지 않았을 경우에 대한 신호대 잡음비의 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 전력제어 명령의 지연 시간은 2.5ms(2개의 전력제어 그룹)이다. 그림 5에서 보듯이 적용 알고리즘을 적용하였을 경우 일반적인 전력제어의 경우보다 임계치에서의 변동폭이 작음을 알 수 있다. 그림 5에서 전력제어 명령의 오류는 없다고 가정하였다.

그림 6과 7은 전력제어의 정도에 따른 신호대 잡음비의 분포와 전력제어 오류의 정도에 대해 표현한 것이다. 우선 그림 6을 보면 적용 알고리즘을 적용한 것이 일반 전력제어에 비해 수신 신호의 신호대 잡음비 분포가 임계치 주변에 더 밀도 있게 분포되어 있다. 다시 말하면 적용 알고리즘을 적용한 경우의 수신신호가 일반 전력제어의 경우보다 임계치에 근접하여 분포한다

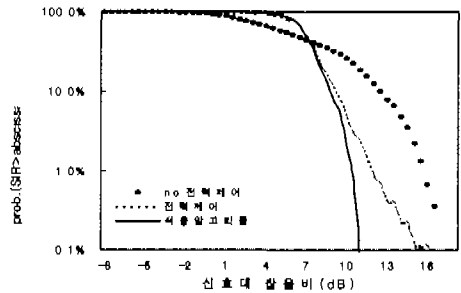


그림 6. 전력제어에 따른 신호대 잡음비 오류 분포

식 (3.1)에서 적응형 전력제어 알고리즘의 시스템 내의 상수값 C 에 따른 수신 신호의 분산은 그림 8에 나타나있다. 그림 8은 이동국의 속도가 10, 50, 100km/h일 때, C 값에 따른 수신 신호의 분산을 평균하여 나타낸 것으로 적응형 전력제어 적용시 상수값 C 는 1.2에서 1.4사이의 값이 가장 적당한 것으로 나와 있다.

표 1은 C 의 값이 1.32일 때 전력제어의 성능비교를 나타낸 것이다. 여기서 1.32라는 값은 그림 8에서 구한 값으로써 분산이 최소가 되는 C 값이다.

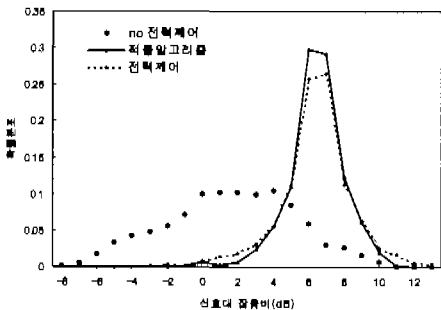


그림 6. 전력제어에 따른 수신 신호의 신호대 잡음비 분포도

그림 7을 살펴보면 적용 알고리즘을 적용한 전력제어는 일반 전력제어에 비해 곡선의 경사가 임계치 주변에서 급하다. 즉, 수신 신호의 세기가 임계치 주변에 근접하여 분포한다. 따라서 전력제어 오류의 정도가 약함을 알 수 있다.

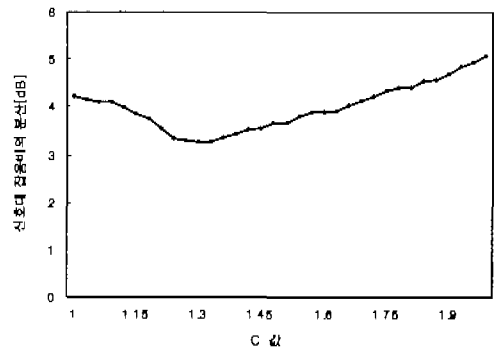


그림 8. C 값에 따른 신호대 잡음비의 분산 변화

그림 9는 전력제어의 지연을 2.5ms로 가정하고 전력제어 명령의 오류율에 따른 RMS(Root Mean Square)값을 나타낸 그림이다. 그림 9를 살펴보면 전력제어 명령의 오류확률이 작을 경우는 적응 알고리즘을 사용하는 것이 더욱 효과적이다. 그러나 오류확률이 커지면 적응 알고리즘을 이용한 전력제어가 기존의 전력제어보다 성능저하가 심함을 알 수 있다.

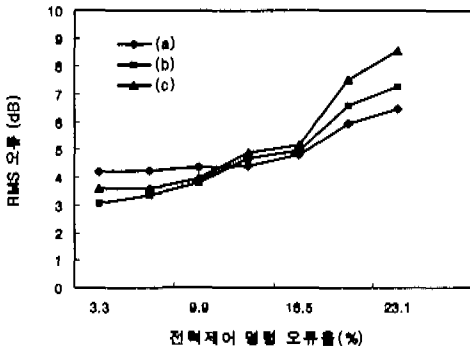


그림 9. 전력제어 명령의 오류율에 따른 RMS 오류
(a) C=1 (b) C=1.32 (c) C=1.79

이동국의 속도에 따른 전력제어의 성능은 그림 10, 표 2와 표 3에 나타나 있다. 전력제어 명령의 처리 지연시간은 2.5 ms이며 전력제어 명령의 오류는 없다고 가정하였다.

일반적으로 이동국의 속도가 느린 경우는 페이딩의 변화가 작다. 그림 10을 살펴보면 이동국의 속도가 10km/h일 때, 즉 페이딩의 변화가 급격하지 않을 경우에는 비교적 전력제어가 잘 수행된다고 볼 수 있다. 그러나 페이딩의 변화가 심한 50km/h와 100km/h에서는 전력제어를 수행하지 않은 경우에 비해 성능 향상은 이루어지지 않지만, 10km/h에 비하면 신호대 잡음비의 분산이 2~3dB 정도 크다.

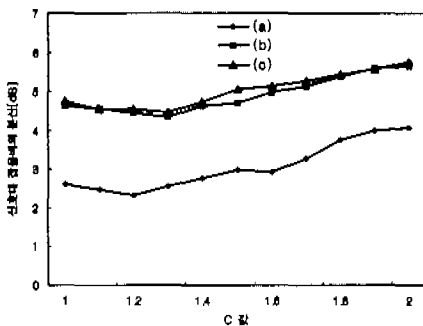


그림 10. C값에 따른 신호대 잡음비의 분산 변화
(a) 10km/h (b) 50km/h (c) 100km/h

표 2는 각각의 적응 알고리즘의 단계값에 따른 신호대 잡음비의 특성을 나타낸 것이다. 표 2에서 C값이 1인 경우는 현재 사용되고 있는 전력제어와 같은 경우이고, RMS는 전력제어 오류의 평균 자승 오류의 근(root)값을 나타낸다. 표 2를 보면 C의 값이 1.32일 때 다른 값들에 비해 성능이 더 좋아지는 것이 나왔다. 그리고 C값이 커지면 일반적인 전력제어보다 성능이 더 나빠진다. 이러한 것은 전력제어 명령의 처리 지연이 존재하고, 변하는 채널에 적응하지 못하여 발생하는 오류의 영향이다. 예를 들면, 이동국 측에서 보면 전파지연이 존재하는 채널 하에서 수신한 전력제어 명령이 증가인데, 현재의 채널상태가 감소인 경우나, 그 반대의 경우이다. 이럴 경우 전력증감의 폭이 크면, 잘못된 명령 수행으로 인한 더 큰 전력제어 오류를 겪게된다.

표 3은 속도에 따른 C의 최적값을 나타낸 것이다. 이동국의 속도가 10km/h에서 100km/h 사이에서 변화할 때, C의 최적값은 수신한 신호대 잡음비가 최소인 경우로써 1.2에서 1.4사이의 값이 가장 적절한 값으로 나타났다.

표 1. 전력제어에 따른 수신 신호의 신호대 잡음비 특성

전력제어	지연시간	최소값 [dB]	최대값 [dB]	분산 [dB]	평균 [dB]
No 전력제어	-	-7.4244	18.1083	12.854	2.2142
일반적인 전력제어	2.5ms	-2.5657	17.0844	4.2163	6.9192
적응 알고리즘	2.5ms	-2.3957	11.0017	3.2685	6.9408

표 2. 적응 알고리즘 적용시 단계값에 따른 신호대 잡음비 특성

단계값	(km/h)	최소값 [dB]	최대값 [dB]	분산 [dB]	RMS [dB]
C=1	10	0.0535	10.741	2.6541	1.512
	50	-2.1473	15.0884	4.6209	2.5749
	100	-2.5657	17.0844	4.7738	2.7408
C=1.32	10	0.1045	9.4583	2.3547	1.4706
	50	-1.9107	15.3020	4.2543	2.3590
	100	-2.2527	16.2511	4.3721	2.5606
C=1.79	10	0.0576	9.9230	3.6811	1.8023
	50	-2.0904	14.4050	5.0954	2.8904
	100	-2.8003	16.1679	5.3819	3.0013
Without Power control	10	-3.5654	16.9863	7.8359	3.7993
	50	-7.2036	18.1083	12.9802	4.6028
	100	-7.4244	17.0844	13.4945	4.8735

표 3. 속도에 따른 C의 최적값과 신호대 잡음비 성능

이동국의 속도	C의 최적값	분산 [dB]	RMS [dB]
10(km/h)	1.21	2.3123	1.3902
50(km/h)	1.35	4.3402	2.2570
100(km/h)	1.28	4.552	2.8747

V. 결론

본 논문에서는 IS-95 DS/CDMA 시스템의 역방향 통화채널과 전력제어의 성능에 대한 분석을 하였다. 또 역방향 전력제어 루프의 성능을 개선시킬 수 있는 적응 알고리즘을 제시하였다. 제시된 알고리즘은 현재의 시스템용 크게 변화시키지 않으면서 전력제어의 성능 향상을 가져올 수 있는 알고리즘이다. 역방향 수신신호의 신호대 간섭비율 기저국이 계산하여 이동국의 출력신호세기를 제어하는 명령을 순방향 통화채널로 보내게 되는데, 이 때 추가적인 전력제어 비트 없이도 가변적으로 이동국의 출력신호 세기를 제어할 수 있는 장점을 가진다.

우리가 살펴본 바와 같이 수신신호의 신호대 잡음비 관점에서 IS-95의 전력제어와 적응 알고리즘을 이용한 전력제어를 비교해보면 적응 알고리즘을 적용한 것이 기존의 시스템보다 성능 향상이 두드러진다는 것을 알 수 있다. 이것은 IS-95처럼 1dB라는 고정된 간격으로 이동국의 전력을 조절하는 것이 아니라 적응 알고리즘 적용시 무선채널의 특성을 고려하여 최적의 C 값을 제시함으로써 전력제어의 간격을 가변적으로 줄 수 있기 때문이다. 따라서 시스템 특성에 맞는 최적의 C 값은 전력제어의 성능을 보다 개선하여 서비스 품질과 시스템의 용량을 증대시킬 수 있다.

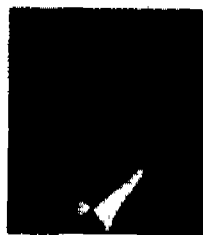
참고 문헌

[1] R. Cameron and B. Woerner, "Performance analysis of CDMA with imperfect power control", *IEEE Trans. on Comm.*, vol.44, no. 7, pp. 777-781, July 1996.
 [2] S. Ariyavitakul and L. F. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control", *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, vol. 41, no. 11, pp. 1626-1634, November 1993.

[3] TIA/EIA/IS-95, *Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*, July 1993.
 [4] F. Hansen and F. Meno, "Mobile fading-Rayleigh and lognormal superimposed", *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, vol. VT-26, no. 4, pp. 332-335, November 1977.
 [5] M. Pätzold, U. Killat, and F. Laue, "A deterministic digital simulation model for Suzuki processes with application to a shadowed Rayleigh land mobile radio channel", *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 318-331, May 1996.
 [6] M. Pätzold, U. Killat, and F. Laue, "A deterministic digital simulation model for Suzuki processes with application to a shadowed Rayleigh land mobile radio channel", *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 318-331, May 1996.
 [7] Man Young Rhee, *CDMA Cellular Mobile Communications and Network Security*, Prentice Hall, 1998.
 [8] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communications*, Addison-Wesley, 1995.
 [9] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed., McGraw-Hill, 1995
 [10] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley-Interscience, 1974.
 [11] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, 1982.

감 두 열(Doo Yoel Kam)

정회원



1997년 2월 : 한양대학교
전자공학 (공학사)
2000년 2월 : 한양대학교
전자통신공학(공학석사)
1997년 2월~1998년 1월 :
현대전자 정보통신연구소
연구원

2000년 1월~현재 : 삼성전자 정보통신총괄
<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, IMT-2000

박 상 규(Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월: 서울대학교 전기
공학(공학사)

1980년 5월: Duke University
통신공학(공학석사)

1987년 5월: University of
Michigan 통신공학
(공학박사)

1976년 7월~1978년 10월: 국방과학연구소

1990년 8월~1991년 8월: University of Southern
California 재원교수

1987년 3월~현재: 한양대학교 공과대학 전자전기
공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000

e-mail:skpark@email.hanyang.ac.kr