

무선 셀룰라 시스템의 통합된 서비스를 수용하기 위한 적응 및 고정 스텝 크기 전력제어 방법의 성능분석

정회원 김 정 호*

Performance Of Adaptive and Fixed Step Size Power Control Schemes Accommodating Integrated Voice/Video/Data in Wireless Cellular Systems

Jeong-Ho Kim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 음성, 비디오, 데이터를 수용하는 적응 및 고정 스텝 크기 전력제어(PC; Power control) 방법을 각각 두 가지 (기존 IS-95와 W-CDMA방법) 전력제어 명령 갱신율에 따른 성능을 평가하고, 통합된 음성/비디오/데이터 트래픽들 사이에 상호 미치는 영향을 분석하기 위하여 요구되는 최소 전력제어 문턱값을 유도하고, 전력제어 에러가 채널 품질에 미치는 영향에 대해서 살펴보았다. 고속의 낮은 에러율을 갖는 서비스는 타 트래픽의 무선 링크 품질에 상당한 영향을 미칠 수 있으므로 음성/비디오/데이터 트래픽에 적응적 스텝 크기 전력제어 방법을 적용하면 고정 스텝 크기 전력제어 방법에 비해 증가된 용량을 얻을 수 있다. 또한 주어진 무선 링크 outage 확률을 만족시키기 위하여 고정 스텝 크기 방법보다 적은 전력의 증가가 요구되기 때문에 타 트래픽의 무선 채널에 보다 낮은 간섭전력을 발생시키게 된다.

Key Words : W-CDMA, Power Control, Adaptive Step Size

ABSTRACT

Adaptive and fixed step size PC (power control) schemes for accommodating voice, video, and data are evaluated according to the different PC command rates and their effects on integrated Voice/Video/Data are investigated. The required minimum power levels are derived as PC thresholds and the effects of PC errors on channel quality and radio link capacity are investigated. The services with high bit rates and low bit error rates can cause a significant effect on the radio link qualities of the other types of traffic. The results show that the adaptive step size PC scheme for voice/video/data services can achieve more capacity and cause less interference to the radio channels because less minimum PIL(Power Increment Level) is required for the specified radio link outage probability.

* 이화여자대학교 공과대학 정보통신학과 MMC Lab (jho@ewha.ac.kr)
논문번호 : 030429-1006, 접수일자: 2003년 10월 6일

I. 서론

미래의 무선 통신 시스템은 음성, 이미지, 비디오, 파일전송, 트랜잭션 처리, 인터넷 접속 등 다양한 서비스를 수용해야 한다. 무선 응용 서비스의 증가에 따라 대용량, 통합된 다중 접속 방법들을 요구되고 있다. 그 중 DS (Direct Sequence)-CDMA (Code Division Multiple Access) 방법은 주파수 재사용 효율을 증가시키고 열악한 무선 전파 환경에서 신뢰성 있는 통신방법을 제공하며 변형된 Multi-code DS-SS-CDMA 시스템은 비디오, 고속 데이터, 파일 전송 등의 다양한 응용 서비스에서 2 Mbps (Mega bit per second) 정도까지 고속 서비스를 제공할 수 있다 [1,2]. 또한 전통적인 다중 접속 방법인 FDMA (Frequency Division Multiple Access) TDMA (Time Division Multiple Access)와 대조적으로 CDMA 시스템은 다양한 장점을 갖고 있는데, 다경로 페이딩(fading)에 강하고, 높은 주파수 효율, 주파수 자원 관리가 필요 없다는 점, 점진적 링크 품질 저하로 나타나는 유연한 용량 등이다. 그러나 한가지 중요한 제한 사항은 각 서비스 계층의 모든 수신 신호 전력 레벨이 최대 시스템 용량을 보장하기 위해서 적절히 제어되어야 한다는 것이다. 무선 채널에서 사용자 단말기(MS : Mobile Station)로부터 수신된 신호는 페이딩, 섀도잉(shadowing), 경로 손실 등을 포함한 다양한 감쇠를 겪는다. 신호 감쇠는 링크 품질 저하와 링크 용량 감소를 유발하므로 신호 감쇠를 보상하기 위하여 사용자 단말기의 송신 전력이 무선 채널의 상태 변화에 따라 조정되어야 한다. 다양한 서비스들이 동일한 주파수 대역에 수용되기 때문에 특히 고속 서비스는 보다 저속 데이터 유틸리티 서비스의 품질에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 기존의 다중 접속 방법에서 전력제어는 기지국 (BS : Base Station)에 거리상 가까운 사용자 단말기의 신호가 인접한 채널에 간섭을 미치지 않도록 단말기의 송신전력을 제어하는 것이었다. 그렇지만, 통합된 서비스를 지원하는 다중 접속 시스템에서는 두 가지를 만족 시켜야 한다. 첫째는 자신의 신호전력을 제어하여 타 트래픽에 최소의 간섭을 미치도록 하는 것이고, 두 번째는 각 사용자 단말기가 페

이딩이나 섀도잉 환경 하에서도 요구되는 최소의 링크 품질을 보장하도록 전력제어(PC; Power Control)를 하는 것이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 적응 및 고정 스텝 크기 전력제어 방법을 소개하고, 전력제어를 위한 문턱 값을 유도하며 전력제어 오류가 미치는 영향을 살펴본다. 3절에서는 두 전력제어 방법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 평가하고, 마지막으로 4절에서는 결론을 맺고자 한다.

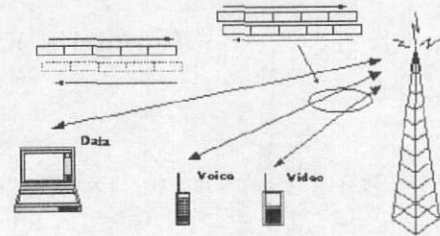
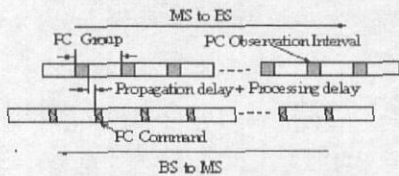


그림 1. 상향링크 음성 데이터 비디오를 위한 전력제어 채널

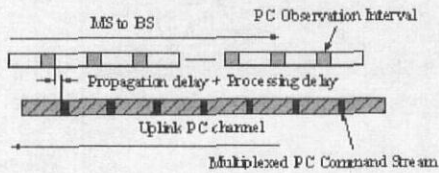
II. 시스템 소개 및 전력제어 채널

음성, 비디오, 데이터의 통합을 위해서는 전력제어 명령에 따라 해당하는 사용자 단말기의 송신 전력을 갱신하고 각 사용자 단말기별 기준 전력 문턱값을 적절히 조정하기 위한 전력제어 메커니즘이 요구된다. 음성, 데이터, 비디오를 위한 전력제어 채널 개념도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 음성, 비디오와 같은 대칭적 트래픽에 대해서는 사용자 단말기와 기지국 사이에 대칭적으로 통신 링크가 설정되므로 상향링크 전력제어 되먹임 교환 정보가 하향 링크를 통해 교환될 수 있다. 반면에 데이터 서비스 경우는 단방향의 트래픽 특성을 가지므로 사용자 단말기에 데이터 패킷이 존재할 때 채널 할당 단계에서 하향링크에 전용 전력제어 채널을 할당하여 상향링크 전력제어 정보를 교환하는 것이 요구된다. 일정 주기로 발생하는 전력제어 명령은 하향링크의 다중화된 전력제어 채널을 통하여 해당하는 사용자 단말기에 최소의 지연을 갖도록 전달되어야 한다. 음성과 비디오 서비스의 경우 상향 링크

전력제어 채널 구조는 그림 2 a)에서와 같이 하향링크 트래픽 채널에 다중화 하여 전력제어 명령을 전달할 수 있다. 단말기의 신호가 기지국에 수신되면 해당 신호의 크기를 기지국 처리기가 추출하여 전력제어 명령을 발생시키며, 이 명령은 하향 전력제어 채널로 전달되게 된다. 상향링크의 데이터 서비스를 위해서 그림 2 b)에서 보는 바와 같이 전용 상향링크용 전력제어 채널이 채널할당 시 하향 링크 전력제어 채널에 설정되어야 한다. 이러한 다중 사용자의 전력제어 명령이 하향링크 전용 전력제어 채널로 다중화 되어야 하고 각 데이터 서비스 단말기에 전달되어 오류정정등과 같은 지연을 유발하는 처리 없이 디코딩되어 송신전력을 변경하는데 사용되게 된다.



(a) 음성/비디오 서비스의 전력제어 채널 구조



(b) 데이터 서비스의 전력제어 채널 구조

그림 2. 음성 데이터 비디오 서비스를 위한 전력 제어 채널 구조

II.1 전력제어 문턱 값의 유도

전력제어는 크게 전력제어 문턱값을 채널상태와 트래픽 볼륨에 따라 변화시키는 외부 루프 전력제어(Outer loop PC)와 설정된 문턱 값과 비교하여 수신 신호레벨이 이 문턱 값에 근접하도록 제어하는 내부 루프 전력제어(Inner loop PC)로 나뉘어 진다. 여기서는 세 가지 유형의 트래픽을 고려하여 전력제어를 위한 기준 전력레벨을 유도한다. 신호전력 대 잡음비를 기준으로 하는 전력제어 방법의 성능이 신호 크기 기준의 전력제어 방법보다 성능이 우수하므로 신호전력 대 잡음비 기반의 전력제어 방법을 가정한다. 본 논문에서 고려된 세 가지 트래픽 유형은 음성, 비디오, 데이터 서비스이다. 고

려되는 시스템 파라미터는 PN (Pseudo Random) 칩 율(chip rate) W , 음성 처리이득 (processing gain) G_{vo} , 비디오 처리이득 G_{vi} , 데이터 처리이득 G_{da} 이다. 또한 음성 비디오 데이터 서비스에 대해 요구되는 비트 에너지를 각각 $E_{b,vo}$, $E_{b,vi}$, $E_{b,da}$ 라고 하고, 간섭 및 배경잡음 전력 스펙트럼밀도(Interference plus background noise power spectral density)를 I_0 라고 가정할 때, 음성 서비스에 요구되는 $E_{b,vo} / I_0$ 는 γ_{vo} 라고 하고, 비디오 서비스에 요구되는 $E_{b,vi}$ 는 γ_{vi} , 데이터 서비스에 요구되는 $E_{b,da}$ 는 γ_{da} 이고, 음성 서비스 사용자의 수는 K_{vo} , 비디오 서비스 사용자의 수는 K_{vi} , 데이터 사용자의 수는 K_{da} 이고, $I_{inter-cell}$ 은 인접셀로부터 수신되는 간섭전력으로 표현한다. 그리고, 중요한 성능지수인 각 서비스에 대한 비트 오류 확률(BEP : Bit error probability)의 Gaussian 근사값은 다음의 사실로부터 얻을 수 있다. 즉, 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN : Additive white Gaussian noise)에서 BPSK(Binary phase shift keying) 코히런트 (Coherent) 수신기의 BEP는

$BEP = Q(\sqrt{2E_b / I_0})$ 이다. 여기서,

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \text{ 이다.}$$

비트 오류 확률이 중요한 성능 지수이므로 이를 결정하는 비트 에너지 대비 간섭 및 배경잡음 전력 스펙트럼 밀도를 음성, 비디오, 데이터에 대하여 정의하고 이를 품질(Quality of Service) 척도(measure)로 정의하고자 한다. 그러면 위에서 언급한 세 가지 트래픽에 대하여 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$E_{b,vo} / I_0 = \left[\left(\frac{P_{vo}}{R_{vo} N_0} \right)^{-1} + \frac{2}{\psi G_{vo}} (K_{vo} - 1 + \frac{K_{vi} P_{vi}}{P_{vo}} + \frac{K_{da} P_{da}}{P_{vo}} + \frac{I_{inter-cell}}{P_{vo}}) \right]^{-1} \quad (1)$$

$$E_{b,vi} / I_0 = \left[\left(\frac{P_{vi}}{R_{vi} N_0} \right)^{-1} + \frac{2}{\psi G_{vi}} (K_{vi} - 1 + \frac{K_{vo} P_{vo}}{P_{vi}} + \frac{K_{da} P_{da}}{P_{vi}} + \frac{I_{inter-cell}}{P_{vi}}) \right]^{-1} \quad (2)$$

$$E_{b,da} / I_0 = \left[\left(\frac{P_{da}}{R_{da} N_0} \right)^{-1} + \frac{2}{\psi G_{da}} (K_{da} - 1 + \frac{K_{vo} P_{vo}}{P_{da}} + \frac{K_{vi} P_{vi}}{P_{da}} + \frac{I_{inter-cell}}{P_{da}}) \right]^{-1} \quad (3)$$

여기서 P_{vo} , P_{vi} , P_{da} 는 각각 음성, 비디오, 데이터 호의 전력레벨을 나타내고, Ψ 는 동기 시스템에서는 2의 값을 갖고, 비동기 시스템에서는 3의 값을 갖으며 [5], N_0 는 가산성 백색잡음 채널의 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 음성 비디오 데이터의 요구되는 QoS가 각각 γ_{vo} , γ_{vi} , γ_{da} 로 주어지면 위의 방정식(1), (2), (3) 은 다음과 같이 매트릭스 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 1 + \frac{\Psi G_{vo}}{2\gamma_{vo}} - K_{vo} & -K_{vi} & -K_{da} \\ -K_{vo} & 1 + \frac{\Psi G_{vi}}{2\gamma_{vi}} - K_{vi} & -K_{da} \\ -K_{vo} & -K_{vi} & 1 + \frac{\Psi G_{da}}{2\gamma_{da}} - K_{da} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{vo} \\ P_{vi} \\ P_{da} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\Psi \eta}{2} + I_{inter-cell} \\ \frac{\Psi \eta}{2} + I_{inter-cell} \\ \frac{\Psi \eta}{2} + I_{inter-cell} \end{pmatrix}$$

여기서 η 는 배경 잡음을 나타내고 $N_0 W$ 이다. 위의 식을 적합하게 정리하기 위하여 부하 요소(Load factor)를 음성, 비디오, 데이터 서비스에 대하여 각각 L_{vo} , L_{vi} , L_{da} 라 하고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{vo} = \left(\frac{\Psi \eta}{2} - I_{inter-cell} \right) \left(1 + \frac{\Psi G_{vo}}{2} \right)^{-1},$$

$$L_{vi} = \left(\frac{\Psi \eta}{2} - I_{inter-cell} \right) \left(1 + \frac{\Psi G_{vi}}{2} \right)^{-1},$$

$$L_{da} = \left(\frac{\Psi \eta}{2} - I_{inter-cell} \right) \left(1 + \frac{\Psi G_{da}}{2} \right)^{-1}.$$

그리고, 제한 요소 $\Delta(K_{vo}, K_{vi}, K_{da}, \Psi, G_{vo}, G_{vi}, G_{da})$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다. 즉,

$$\Delta(K_{vo}, K_{vi}, K_{da}, \Psi, G_{vo}, G_{vi}, G_{da}) = 1 - K_{vo} \left(1 + \frac{\Psi G_{vo}}{2} \right)^{-1} - K_{vi} \left(1 + \frac{\Psi G_{vi}}{2} \right)^{-1} - K_{da} \left(1 + \frac{\Psi G_{da}}{2} \right)^{-1}$$

. 이 제한 요소의 값이 0보다 커야만 서비스 품질을 만족하는 전력 문턱값이 존재한다. 그러면, Cramer의 법칙에 의해 음성, 비디오, 데이터의 전력 문턱값은 다음과 같이 주어진다. 즉,

$$P_{vo} = \frac{L_{vo}}{\Delta(K_{vo}, K_{vi}, K_{da}, \Psi, G_{vo}, G_{vi}, G_{da})}, \quad (4)$$

$$P_{vi} = \frac{L_{vi}}{\Delta(K_{vo}, K_{vi}, K_{da}, \Psi, G_{vo}, G_{vi}, G_{da})}, \quad (5)$$

$$P_{da} = \frac{L_{da}}{\Delta(K_{vo}, K_{vi}, K_{da}, \Psi, G_{vo}, G_{vi}, G_{da})}. \quad (6)$$

이 전력 문턱값은 내부 루프 전력제어를 위한 기준값으로 사용될 수 있고, 주변상황의 변화와

트래픽의 변동에 따른 전력제어 문턱값의 갱신에 사용될 수 있다.

II.2 타 트래픽 채널에 전력제어 오류가 미치는 영향

위 2.1절에서 유도한 식(4), (5), (6)을 이용하여 각 트래픽의 전력제어 오류가 음성 트래픽 전력제어 오류에 비하여 상대적으로 얼마나 큰 영향을 미치는지 정량적으로 비교/분석하고자 한다. 이를 위해 각 서비스 트래픽의 전력제어 문턱값을 음성 트래픽 신호 전력제어 문턱값에 비교하여 표현하여야 한다. 다시 말하면 음성 대비 비디오의 상대적인 간섭비는 다음과 같이 주어진다. 즉,

$$\zeta_{vi,vo} = \frac{1 + \frac{\Psi G_{vo}}{2\gamma_{vo}}}{1 + \frac{\Psi G_{vi}}{2\gamma_{vi}}}$$

이 비율은 ($2\gamma_{vi} \gg 1$ 일 경우) 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$\zeta_{vi,vo} = \frac{\gamma_{vi} R_{vi}}{\gamma_{vo} R_{vo}}$$

또한 음성 신호 전력 대비 데이터 서비스의 상대적인 간섭비는 다음과 같이 주어진다.

즉,

$$\zeta_{da,vo} = \frac{1 + \frac{\Psi G_{vo}}{2\gamma_{vo}}}{1 + \frac{\Psi G_{da}}{2\gamma_{da}}}$$

이 비율은 ($2\gamma_{da} \gg 1$ 일 경우) 위와 마찬가지로 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\zeta_{da,vo} = \frac{\gamma_{da} R_{da}}{\gamma_{vo} R_{vo}}$$

무선채널에서 상대적인 간섭비는 음성, 비디오, 데이터서비스에 대하여 주어진 표 1의 파라미터 [6]를 사용하여 표 2에 정리하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 비디오 트래픽은 주어진 조건과 $\gamma_{vo} = 7$ dB 와 $\gamma_{vi} = 1.5$ dB하에서 음성 트래픽 신호대비 약 3배의 간섭전력을 유발한다. 따라서 비디오 트래픽의 전력제어 오류는 음성 트래픽의 경우보다 채널에 3배 이상의 영향을 미치는 것이다. 주어진 조건 하에서 데이

터 트래픽은 비디오 트래픽보다 채널에 더욱 큰 영향을 미쳐서 음성 트래픽 신호대비 약 8 배나 더 큰 간섭 전력을 야기한다. 요구되는 데이터 서비스나 비디오 서비스 품질의 향상을 위하여 전력이 1 dB 증가할 때, 즉, $\gamma_{vi}=2.5$ dB와 $\gamma_{da}=2.0$ dB일 때, 해당하는 간섭전력 레벨도 $\zeta_{vi,vo}$ 와 $\zeta_{da,vo}$ 가 각각 1 dB씩 증가함을 표 2를 통하여 알 수 있다. 각 트래픽의 전력제어 오류는 그 종류에 따라 채널의 용량감소 효과가 다름을 예측할 수 있다. 즉, 고속을 유지하려면 전력레벨이 커져야 하고 또한 보다 나은 QoS를 유지하려면 더 높은 전력을 사용해야 하므로 이에 따른 전력 레벨이 높아져서 전력제어 오류에 따른 영향이 더욱 커지게 된다.

II.3 전력제어 성능지수

전력제어가 정확히 수행되더라도 채널환경의 변화에 따라서 수신신호가 요구되는 크기 보다 낮은 Outage는 발생할 수 있으므로 요구되는 링크 품질을 만족시키기 위해서는 이러한 Outage 확률을 낮게 유지시켜야 한다. Outage 확률을 개선하기 위해서 외부루프 전력제어가 적용되는데, 무선 링크 전력제어 목표 문턱값 상향 조정하여 수신신호의 전력을 증가시킨다. Outage 확률은 다음과 같이 주어진다.

$P_{out} = \Pr[U \leq P_x]$, $x = vo(\text{voice}), vi(\text{video}), \text{ and } da(\text{data})$
 여기서 U 는 수신된 신호의 전력을 의미하고, P_x 는 최저 요구되는 수신 전력을 의미한다. 그리고 ζ_F 는 고정 스텝 크기 전력제어 방법에서 $\Pr[U \leq P_x] = P_{out,x}$ 를 만족시키는 최소 전력 증가 레벨 ζ (PIL : Power increment level)을 의미한다. 마찬가지로 ζ_A 는 적응적 스텝 크기 전력제어 방법 [7]에서 $\Pr[U \leq P_x] = P_{out,x}$ 를 만족시키는 최소 전력 증가 레벨 ζ (PIL)을 의미한다. 전력 증가 레벨 이득 (PILG : Power increment level gain)은 ζ_F 와 ζ_A 의 차이이고 dB 단위로 표현된다. 이 PILG는 적응적 스텝 크기와 고정 스텝 크기 전력제어 방법의 성능을 비교하는 성능지수로 사용하고자 한다. 또한 전력제어 성능을 조사하기 위해 신호의 상관함수를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R(\tau) = E[S(t)S(t+\tau)] \tag{9}$$

여기서, $S(t)$ 값은 수신신호의 표준편차로 정규화한 수신 신호(dB값)를 나타낸다. 이 상관함수로부터 인접한 심볼간 상관값의 변화를 관찰해 볼 수 있다. 또한 추가적인 성능을 알아보기 위해 전력제어된 신호의 RMSE(root mean square error)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$RMSE = \sqrt{E[S(t) - d(t)]^2} \tag{10}$$

여기서, $d(t)$ 는 수신신호의 표준편차로 정규화한 수신 신호의 평균값(dB값)을 나타낸다.

III. 성능 분석

III.1 시뮬레이션 환경

적용 및 고정 스텝 전력제어 방법의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션은 Jakes' method[8-9]를 이용하여 발생시킨 신호를 이용한다. 이때 요구되는 파라미터는 최대 도플러 주파수(f_D), 반송파 파장(λ), 그리고 단말기 속도(V)이다. 잘 알려져 있듯이 $f_D = V / \lambda$ 식이 성립한다. 기존의 고정 스텝 크기 전력제어 방법 [10]은 각 전력제어 구간동안, 고정된 스텝크기에 의해 단말기의 전송 전력 레벨을 갱신한다.

표 1 시스템 파라미터

W	3.84 Mcps
R_{vo}	12.2 Kbps
R_{vi}	144 Kbps
R_{da}	384 Kbps
N_0	1.3×10^{-20} Watt/Hz
η	4.99×10^{-13} Watt
G_{vo}	314
G_{vi}	27
G_{da}	10
γ_{vo}	7
γ_{vi}	1.5
γ_{da}	1
ψ	3

Relative interference/ (γ_{vi}, γ_{da}) in dB	(1.5 dB, 1.0 dB)	(2.5 dB, 2.0 dB)
$\zeta_{vi,vo}$	3.32	4.19
$\zeta_{da,vo}$	7.85	9.93

기지국은 관측 구간 동안 단말기로부터 신호를 수신하고 처리하여 구한 신호전력과 문턱값과 비교하여 '증가' 또는 '감소'의 전력제어 명령을 발생시킨다. 만일 채널 상태가 급격하게 변하면 전력제어 구간 동안 전력레벨의 고정된 양이 변할 수 있기 때문에, 이 전력제어 방법은 채널 변화를 효과적으로 보상하는데 어려움이 있다. 이러한 영향을 줄이고 전력제어의 성능의 개선을 위해 적응 스텝 크기 전력제어 방법을 적용할 수 있다. 여러 전력제어 구간 동안에 걸쳐 상관된 깊은 페이딩이 발생할 때, 이러한 페이딩을 보상하기 위해 전력제어 스텝 크기를 빠르게 증가시킬 수 있다. 즉, 이 방법에서의 스텝 크기는 다음과 같이 결정된다.

$$\Delta[n] = \begin{cases} \Delta[n-1]K, & \text{if } cmd[n] == \\ & cmd[n-1], \\ \Delta[n-1]/L, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기에서의 $\Delta[n]$ 와 $cmd[n]$ 은 각각 dB단위의 스텝 크기와 n번째 전력제어 구간에서의 한 비트의 명령이다. 그리고 K와 L은 $1 < K < 2$, $1 < L < 2$ 의 범위를 갖는 전력제어 상수들이다. $\Delta[n]$ 값은 만약 $\Delta[n] < \Delta_l$ 또는 $\Delta[n] > \Delta_u$ 인 경우 각각 $\Delta[n] = \Delta_l$ 과 $\Delta[n] = \Delta_u$ 와 같은 하한값과 상한값을 갖는다. Δ_l 값(일반적으로 0.5dB)은 시스템 calibration이 허용하는 만큼 낮은 값을 갖을 수 있고, Δ_u 값(여기에서는 10dB라 가정)은 전력제어 구간동안 보상을 할 수 있는 최대의 값이다. 따라서 n번째 전력제어 구간에 대한 단말기의 전송 전력은 $P[n] = P[n-1] + cmd[n]\Delta[n]$ 와 같이 주어지고, 전력제어 명령은 'up'이나 'down'일 때 $cmd[n]$ 값이 각각 +1이나 -1이 된다. 만약 'up' 또는 'down'인 명령들이 연속적으로 수신된다면, 스텝 크기는 지속적으로 증가한다. 그러므로 스텝 크기가 큰 경우 신호의 큰 변화들을 짧은 시간 내에 따라 잡을 수 있다. 만약 'up'과 'down'명령이 교대로 연속적

으로 수신된다면 이 상황은 채널 상태가 서서히 변하는 경우이고, 스텝 크기는 하한값으로 지속적으로 감소하므로 전력제어 스텝 크기가 작아져서 보다 정밀한 전력제어가 이루어지게 된다.

III.2 시뮬레이션 결과와 고찰

두 전력제어 방법의 비교 성능평가를 위한 시뮬레이션을 위해서 다음과 같은 시스템 파라미터들을 가정한다

- * 반송파 주파수 : 2000MHz
- * 적응 스텝 크기 전력제어를 위한 초기의 스텝 크기 : 0.5 dB
- * 고정 스텝 크기 : 1dB
- * 전력제어구간 : 음성 - 1.25ms (IS-95와 동일한 전력제어 주기),
비디오/데이터 - 0.667ms(W-CDMA시스템과 동일한 전력제어 주기)

전력제어 구간을 음성과 비디오/데이터의 두 그룹으로 나누어 시뮬레이션을 수행한 것은 전력제어 속도에 따른 영향을 분석해 보기 위한 것이다. 여기서 K와 L의 전력제어 상수값은 Heuristic하게 구한 1.36으로 선정하였다. 전력제어 성능의 양상을 살펴보기 위해 전력제어 된 신호의 상관관계를 살펴보고자 한다. 인접하는 심볼간에 상관값이 크다면 연속적인 심볼들은 높은 상관성을 가지게 되어 하나의 심볼이 에러상태에 있을 때 인접 심볼들이 에러 상태에 있을 확률이 매우 높아지게 된다. 그러한 채널환경 하에서는 채널 디코더가 적절하게 에러를 정정할 수 없게 된다. 음성, 비디오/데이터에 대해 수신한 신호의 정규화된 상관 관계는 V가 30km/h, 40km/h, 50km/h, 60km/h 각각에 대해 그림 3, 4에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 단말기의 속도가 증가할수록 상관값은 빠르게 감소한다. 더구나 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 사용될 때 상관값은 더욱 빠르게 감소한다. 시뮬레이션을 위한 가정에서와 같이 전력제어 간격이 상대적으로 짧은 비디오/데이터 서비스에 대하여, 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 사용되는 경우 상관성이 특히 빠르게 감소한다. 따라서 상관된 심볼 에러들의 상관성이 더욱 감소되어 채널 디코더의 오류정정 성능이 개선될 수 있다. 다른 한 가지 성능적도로 단말기 속도가 증가함에 따라 전력제어 레벨들의 RMSE값이 커져서 전력제어의 성능이 열화 된다.

이에 대해서 단말기의 속도가 30~60 Km/h로 변할 때 두 가지 전력제어 방법에 대하여 시뮬레이션을 행한 결과의 전력제어 신호의 RMSE값이 표 3에 나타나 있는데 표에서 보는 바와 같이 적응 스텝 크기 방법을 적용했을 때 보다 적은 RMSE값을 가지므로 이때 보다 개선된 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

	Voice	Video/Data
고정형의 RMSE값	4.47	2.96
적용형의 RMSE값	3.89	2.16

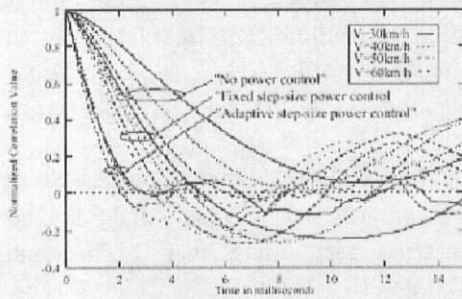


그림 3. 정규화된 음성 신호의 상관함수

기지국에서의 수신된 신호의 통계적 분포는 시뮬레이션을 통해 구해지며, 단말기의 속도가 30km/h에서 60km/h까지 균일한 분포로 변할 때, 음성에 대한 통계는 그림5에, 비디오/데이터에 대한 통계는 그림6에 나타나있다. 이러한 수신 신호 통계의 중요한 양상은 확률 분포 함수의 끝부분에서 관찰할 수 있다. 그림 5와 그림 6의 곡선으로부터, 전력 제어 방법으로 보상될 수 없는, 빠른 페이딩을 보상하기 위한 PIL을 결정할 수 있다. 즉 그림 5와 6으로부터 표 4와 같은 PIL을 얻을 수 있고, 이는 고정 스텝 크기 전력제어 방법에 대비하여 전력 증가 레벨 이득(PILG)을 얻을 수 있는데, 이는 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 고정 스텝 크기 전력제어 방법보다 적응 전력 증가 레벨 (PIL)을 요구하는 것을 의미한다.

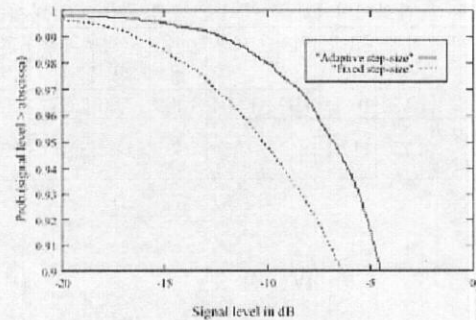


그림 5. 적응 및 고정 스텝크기 전력제어 방법의 음성 수신 신호 특성

표4에서 알 수 있는 바와 같이 outage 확률이 낮아질수록, 더 높은 전력증가 레벨 이득 (PILG)을 얻을 수 있다. 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 고정 스텝 크기 전력제어 방법보다 낮은PIL값을 요구한다. 따라서 이 전력제어 방법을 통해서 보다 낮은 전력레벨 증가로 무선 링크 품질이 개선 될 수 있고, 다른 사용자들의 신호들에 보다 적은 간섭을 주게 된다.

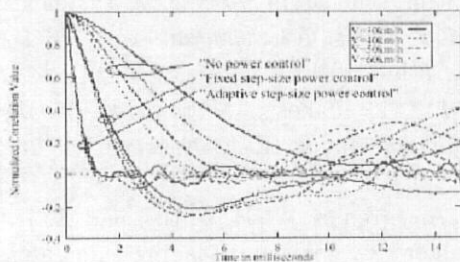


그림 4. 정규화된 비디오/데이터 신호의 상관함수

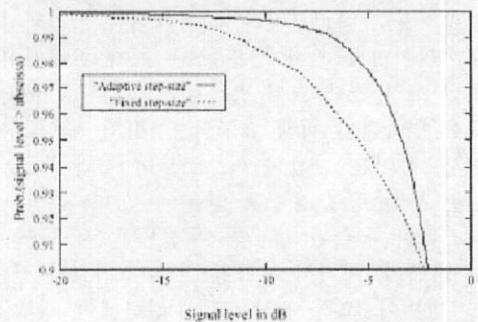


그림 6. 적응 및 고정 스텝크기 전력제어 방법의 비디오/데이터 수신 신호 특성

데이터 트래픽의 경우에도 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 사용되었을 때 증진된 링크 성능을 얻을 수 있고, 상향링크 데이터 패킷 전송에 대해 보다 낮은 전송전력을 사용함으로써 배터리의 사용시간을 연장하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

표 4 : 30 Km/h에서 60Km/h까지의 단말기 속도에 대한 PIL

고정과 적응 스텝 크기 전력제어 방법의 PIL의 dB 값									
Outage 확률	0.01		0.02		0.03		0.04		
	전력제어	고정	전력제어	고정	전력제어	고정	전력제어	고정	
트래픽 종류	적용형	고정형	적용형	고정형	적용형	고정형	적용형	고정형	
음성	12.24	16.47	9.99	14.04	8.46	12.56	7.65	11.25	
비디오/데이터	6.75	11.61	5.40	9.27	4.50	7.65	3.87	6.57	

IV. 결론

본 논문에서는 적응 및 고정 스텝 크기 전력제어 방법을 음성, 비디오/데이터 서비스에 적용함에 따른 성능 및 특성들을 살펴보았다. 동일한 주파수 채널에서 신호의 전송이 이루어지므로, 무선 채널 상에서 상호 다른 트래픽에 상당한 영향을 줄 수 있다. 따라서 음성과 데이터/비디오의 서비스에 고정 및 적응 스텝의 전력제어 방법을 적용하였을 때의 전력제어 성능과 트래픽 상호간에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. 또한 요구되는 최소 전력레벨의 전력제어 문턱값을 유도하고, 이 유도된 문턱값을 이용하여 각 트래픽간의 미치는 전력제어 에러들의 영향을 정량적으로 살펴보았다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있는 바와 같이 적응 스텝 크기 전력제어 방법이 고정 스텝 크기 방식보다 정해진 Outage 확률을 만족하기 위해 요구되는 PIL을 줄일 수 있어서, 줄어든 간섭 전력으로부터 결과적으로 개선된 무선 링크 용량을 얻을 수 있다. 다양한 서비스들이 통합된 셀룰러 무선통신 시스템의 환경 하에서, 여기서 평가된 적응 스텝크기 전력제어 방법이 고정 스텝 크기 전력제어 방법보다 효과적인 적용이 가능함을 알 수 있다. 또한 채널 특성의 변화가 역동적인 환경 하에서 시뮬레이션 결과와 같이 보다 나은 성능을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 채널이 정상상태에 있을 때에도 최소의 스텝 크기로 전력을 제어함으로 인해, 위의 예에서의 1dB 고정 스텝 크기보다 작은 스텝 크기로 전력제어를 하기 때문에 보다 나은 전력제어 성능을 기대할 수 있다.

참고 문헌

- [1] C. L. I and R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks," *ICC '95*, pp. 1060-1064, 1995.
- [2] M. H. Fong, V. K. Bhargava, and Q. Wang, "Concatenated orthogonal/PN spreading sequences and their application to cellular CDMA systems with integrated traffic", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol 14. pp. 547-558, April 1996.
- [3] P. Jung, P. W. Baier, and A. Steil, "Advantages of CDMA and spread spectrum techniques over FDMA and TDMA in cellular mobile radio applications." *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, vol. 42, no. 3. pp. 357-364, Aug. 1993.
- [4] A. M. Viterbi A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 11, no. 6. pp. 892-900, Aug. 1993.
- [5] E. Geraniotis and B. Gaffari, "Performance of binary quaternary direct-sequence spread-spectrum multiple-access systems with random signature sequences," *IEEE Trans Comm.*, vol. 39, pp. 713-724, May 1991.
- [6] H. Holma and A. Toskala, *W-CDMA for UMTS*, Wiley 2002.
- [7] J. H. Kim, S. J. Lee, Y. W. Kim, M. Y. Chung, and D. K. Sung, "Performance of single-bit adaptive step-size power control scheme in DS-SS-CDMA systems," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E81-B, No. 7 July 1998.
- [8] W. C. Jakes, *Microwave mobile communications*, IEEE Press, pp. 65-76, 1993.
- [9] G. A. Arrendo, W. H. Chriss and E. H. Walker, "A multipath fading simulator for mobile radio," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, Vol. VT-22, No. 4, Nov. 1973, pp. 241-244.
- [10] A. Salmasi and K. S. Gilhousen, "On

the system design aspects of code division multiple access(CDMA) applied to digital cellular and personal communications networks," in *Proc. IEEE VTC '91*, pp. 57-62, 1991

김 정 호 (Jeong-Ho Kim)

정회원



1991년 2월 : 한국 과학기술원

전기 및 전자공학과 학사

1993년 2월 : 한국 과학기술원

전기 및 전자공학과 석사

1999년 2월 한국 과학기술원

전기 및 전자공학과 공학박사

1993년 1월~1995년 7월 : LG전자

멀티미디어 연구소

1999년 3월 ~ 2000년 2월 : LG정보통신

중앙연구소 선임연구원

2000년 3월 ~ 2001년 6월 : Virginia Tech.

MPRG(Mobile Radio Research Group)

Visiting Scholar

2001년 7월 ~ 2002년 8월 : LG전자

UMTS시스템 연구소 책임연구원

2002년 9월 ~ 현재 : 이화여자대학교 공과대학

정보통신학과 전임강사

<주관심분야> 스마트 안테나 시스템, 무선 디지털 통신, 무선 네트워크, 확산 대역통신, 이동통신 네트워크, 3G W-CDMA 시스템