

# DS-CDMA 역방향 링크에서의 Zone-based 전력제어 방식

정회원 윤승윤\*, 임재성\*\*

## Zone-based Power Control Scheme for DS-CDMA Reverse Link Systems

Sung-yun Yun<sup>1</sup>, Jae-sung Lim<sup>2</sup> *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 멀티미디어 트래픽을 효율적으로 서비스하기 위해 CDMA 순방향 링크에 제안되었던 Zone-based 전력제어 방식[1]의 역방향 링크 적용 타당성을 검증 및 분석하였다. Zone-based 전력제어 방식을 운용하기 위해서는 각 트래픽 채널에 할당되는 최대 전력량이 결정되어야 한다. 순방향 링크에서는 기지국의 전력 자원을 다수의 트래픽 채널이 공유하기 때문에 각 트래픽 채널에 할당 가능한 최대 전력 자원을 결정하는 메커니즘이 요구되지만, 역방향 링크에서는 서비스 단말별로 전송되는 트래픽 채널에 할당 가능한 최대 전력 자원이 결정되어져 있는 특성으로 인해 Zone-based 전력제어 방식이 쉽게 구현될 수 있으나 실험 결과는 Zone-based 전력제어 방식이 기존의 전력제어 방식에 비해 전력 소비량과 이동국의 트래픽 성능에 있어서 향상된 결과를 보여주었다. 결국 Zone-based 전력제어 방식은 멀티미디어 트래픽 환경에서 고속 데이터호의 서비스 빈경을 셀의 전체 서비스 빈경으로 확보할 수 있게 하고, 시스템 내에 생성되는 간섭 량을 억제하여 저속 음성호의 QoS도 적절히 보장해줄 수 있는 방안을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyse feasibility of Zone-based Power Control (ZPC) scheme introduced for CDMA forward link[1] in the reverse link. To operate ZPC scheme in the CDMA systems the maximum power level that can be allocated to each traffic channel should be determined. Because all the service channels share the whole power resource in the forward link, a specific mechanism that determines maximum power resource to each traffic channel is required to operate ZPC scheme in the forward link. However, ZPC scheme can be easily adopted to the reverse link, because of the fact that the whole power resource of service terminal is only confined to its traffic channel. In other words, we need not to determine the maximum power resource to be allocated in the reverse traffic channel. Simulation results show that ZPC scheme adopted to the reverse link yields a significant performance improvement compared with the conventional TPC (IS-95 TPC) scheme in terms of the power consumption and the traffic capacity of portables, especially with the increasing number of high-rate data traffics. With the proposed scheme, not only be extended the service coverage of high-rate data traffic to the entire cell service coverage, but also the QoS of low-rate traffic can keep going through the service time, especially, in the situation that the incoming interference is much larger.

### I 서론

CDMA 시스템은 순방향 링크에 직교성을 가지

는 Walsh 확신코드를 사용하기 때문에 간섭 량 생성이 근원적으로 억제되는 특성을 지니는 반면, PN(Pseudo Noise) 코드를 사용하는 역방향 링크에

\* 아주대학교 정보통신공학과 (sungyun@ajou.ac.kr), \*\* 아주대학교 정보통신공학과 (jaslim@ajou.ac.kr)  
논문번호: 020506-1127, 접수일자: 2002년 11월 27일

서는 각기 다른 코드를 사용하는 채널의 전력량이 인접 채널에 직접적인 간섭 량으로 작용하는 특성을 지닌다 따라서 역방향 링크에서는 무선 채널의 영향으로부터 QoS를 유지하기 위해 해당 트래픽 채널에 적절한 전력 할당이 이루어져야함은 물론 채널에 필요 이상의 전력 할당이 이루어지지 않도록 제어해야 한다 이러한 특성 때문에 CDMA 시스템의 전력제어 연구는 역방향 링크에 초점이 맞추어져 왔다[2-13] [2,3]은 SIR 기반의 전력제어 방식에 대한 연구 결과를 담았고 [4,6,9]에서는 멀티미디어 트래픽을 고려한 전력 지원 할당의 최적화 방안이 논의되었다 기존의 전력제어 연구 동향이 단순히 채널의 전력량만을 조절하는 것에 반하여 최근에는 다중 전송률 트래픽을 수용하는 시스템의 성능 개선을 위하여 채널 환경에 따라 전력량과 전송률을 동시에 조절하는 방안의 연구가 진행되고 있다[7,8] [2-11]이 서킷호 트래픽 채널에 해당되는 폐회로 전력제어 방안을 다루었다면 [12,13]에서는 개방형 전력제어에 기초하여 초기 호 생성시 접근 채널 및 패킷 호에 대한 전력 할당을 다루고 있다

지세대 CDMA 시스템은 음성 트래픽 뿐만 아니라 고속의 데이터 트래픽을 수용해야 하는 특성을 지니게 된다 데이터 트래픽은 음성 트래픽에 비해 높은 QoS를 요구하기 때문에 해당 전송 채널에 할당되는 전력량 또한 트래픽의 전송률과 QoS에 따라 높게 할당된다 이러한 혼합 트래픽 상황에서는 전송률과 QoS가 다른 채널간의 송신 및 수신 전력 차가 크기 때문에 적절한 전력제어 없이는 시스템 성능을 확보할 수 없게 된다 [14,15]에서는 혼합 트래픽이 존재하는 환경에서 얻어질 수 있는 시스템 성능을 분석하였다 해당 채널에 할당하는 전력량이 직접적으로 간섭 량으로 작용하는 역방향 링크에서의 이러한 분석 결과들은 멀티미디어 트래픽 환경에서의 전력제어의 중요성을 부각시킨다

CDMA 시스템의 역방향 링크 빠른 폐회로 전력 제어 방식은 자기 셀내의 간섭 량을 억제하는 효과를 갖는 반면 인접 셀에서 유입되는 간섭 량까지 제어하지는 못한다 또한 기존 시스템에 적용되었던 역방향 링크의 빠른 폐회로 전력제어 방식은 해당 채널의 QoS는 보장하지만 인접셀에 미치는 간섭 영향은 제어하지 못하는 특성을 가지게 된다 시스템 내에 고속 데이터호가 상당 부분 생성되는 경우에 증가하는 간섭 량으로 인해 데이터 호의 서비스 반경이 셀 전체의 반경을 확보하지 못하는 결과를 빚게되고 저속 음성 호 또한 QoS에 심각한

영향을 받게된다 따라서 멀티미디어 트래픽을 수용할 때 시스템 성능을 개선시킬 수 있는 새로운 전력제어 방식의 도입이 필요하다

본 논문에서는 고속 데이터 트래픽 호에 한해서 기지국과의 거리에 근거한 존에 기반 하여 전력 및 전송률 자원을 적응적으로 할당하는 ZPC 전력제어 방식의 CDMA 역방향 링크 적용 타당성을 검증하였다 ZPC 방식은 시스템 내에 생성된 이동국의 위치 분포에 따라 해당 데이터 트래픽 채널의 전력량과 전송률을 동시에 제어한다 즉 ZPC 전력제어 방식은 기존의 빠른 폐회로 전력제어 방식을 기반으로 하고 존기반 전송률 제어를 수행한다 각 이동국의 트래픽 채널에 할당할 수 있는 최대 전력량 (Effective Radiated Power)으로 서비스 가능한 존 반경은 기지국의 중심으로부터 특정 서비스 반경을 이루게 된다 따라서 ZPC 전력제어 방식은 단순히 전송률을 적응적으로 조절하는 방식과는 달리 시스템(이동국)의 전력자원에 의해 제한되는 존 반경에 따라 서비스의 전송률을 제어하여 생기는 전력의 이득 량을 취하는 결과를 낳게 된다 결국 ZPC 방식은 기존의 전력제어 방식에 비교하여 해당 호에 할당되는 소비 전력량을 절감할 수 있으며 시스템 내에 생성되는 간섭 량을 어느 정도 억제할 수 있는 방식이다

실험 결과 ZPC 전력제어 방식이 기존의 전력제어 방식에 비해 전력 소비량과 이동국의 트래픽 성능에 있어서 향상된 결과를 보여주었다 ZPC 전력제어 방식의 목적은 간섭 량의 생성을 억제하는 결과를 유도하는데 있다. ZPC 전력제어 방식은 동일한 멀티미디어 트래픽 환경에서 기존 전력제어 방식에 비해 고속 데이터호의 서비스 반경을 셀의 전체 서비스 반경으로 확보할 수 있게 되고 시스템 내에 생성되는 간섭 량을 억제하여 저속 음성호의 QoS도 적절히 보장해주는 결과를 보여주었다

서론에 이어 2장에서는 존기반 전력제어를 위한 시스템 모델과 ZPC 전력제어 방식을 기술한다 3장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 위해 성능 평가 모델과 시뮬레이션 환경을 제시한 뒤 평가된 결과를 분석한다 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다

## II. Zone-based 전력제어 메커니즘

### 1 시스템 모델

시스템은 다중 셀 이동기 DS-CDMA 시스템으로 구성되며 역방향 링크의 모든 사용자 트래픽은 고정 대역폭  $W$ 를 할당 받는다. 시스템이 수용 가능한 전체 호 수를  $N$  이라고 하면, 생성되는 호는 크게  $N_v$  음성 호와  $N_d$  데이터 호로 나누어질 수 있다. 데이터 호는 다시 각 호의 서비스 요구수준에 따라 여러 개의 클래스로 구분할 수 있는데 같은 클래스  $i$  에 속하는 데이터 호들은 동일한 전송률  $R_i$ 와 에러율  $BER_i$ , 그리고 동일한  $SIR_i$ 을 가지게 된다. 따라서 클래스  $i$  의 데이터호가 가지는 처리이득은  $G_i = WR_i$  가 되고, 전송률  $R_i (R_1 < R_2 < \dots < R_M)$  에 따라 처리이득(processing gain)  $G_i (G_1 > G_2 > \dots > G_M)$ 이 결정된다. 클래스  $i$  에 속한 호  $k$  의 최종 송신 신호  $s_{i,k}(t)$  는 식(1)로 표현된다

$$s_{i,k}(t) = \sqrt{2p_{i,k}} b_{i,k}(t) a_{i,k}(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_{i,k}) \quad (1)$$

여기에서  $p_{i,k}$  는 각 호에 할당되는 송신 전력량을 나타내고  $b_{i,k}, a_{i,k}, \theta_{i,k}$  는 각각 전송 정보 비트, 확산코드 그리고 반송파 위상을 나타낸다. 각 단말이 식(1)에 따라 트래픽을 전송하게 되면 이러한 신호들은 기지국에 도달하기까지 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 뿐만 아니라 기지국과의 거리에 준하는 경로손실(path-loss), 다중경로 페이딩(multipath fading), 수신 신호의 음영현상(shadowing)등에 의해 영향을 받기 때문에 수신 신호의 왜곡현상이 생긴다. 따라서 결국 기지국에 수신된 모든 트래픽 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다

$$r(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{K_i} s_{i,k}(t - \tau_{i,k}) a_{i,k} e^{\beta_{i,k} d_{i,k}^{-\gamma}} d_{i,k}^{-\eta/2} + n(t) \quad (2)$$

각 트래픽은  $M$  개의 클래스 중에서 자신의 서비스 요구사항을 만족시킬 수 있는 클래스에 포함된다.  $K_i$  는 클래스  $i$  에서 수용할 수 있는 최대 호의 수를 의미하며 각각의 호는 모두 동일한 서비스 요구사항을 가진다.  $\tau_{i,k}$  는 송신 신호에 대한 수신 신호의 상대적 지연이고  $a_{i,k}, \beta_{i,k}, d_{i,k}^{-\gamma/2}$  는 각각 라이레이 페이딩, 음영 현상, 그리고 경로

손실을 나타내며  $n(t)$  는  $N_o/2$ 의 PSD(Power Spectral Density)를 갖는 AWGN을 의미한다.  $\gamma$  은 경로 손실 지수로 채널 환경에 따라 결정된다.

채널 추정이 완벽하다는 가정하에서 MF를 통과한 수신 신호 성분에서 해당 채널의 SINR(또는 SIR)을 측정할 수 있으며 전력제어 오류가 없다는 가정 하에서 식(3)으로 표현될 수 있다. 식(3)은  $k$  번째 사용자에게 대한 SINR 성분이며  $i$  는 전송률이 달라지는 서비스 클래스를 구분하기 위한 것이다. 즉 동일한 전송률과 QoS를 요구하는 트래픽은 동일한 클래스에 속하게 된다.

$$\begin{aligned} SINR_{i,k} &= \frac{W}{R_i} \frac{P_{i,k}}{\sum_{j \neq i} \sum_{l \neq k} \rho_{jk} P_{j,l} + n_o W} \quad (3) \\ &= \frac{W}{R_i} \frac{p_{i,k} \Gamma_{i,k}}{\sum_{j \neq i} \sum_{l \neq k} \rho_{jk} p_{j,l} \Gamma_{j,l} + n_o W} \end{aligned}$$

여기에서  $p_{i,k}$  는  $i$  번째 클래스의  $k$  번째 사용자의 수신신호 크기이고  $\rho_{jk}$  는 해당 사용자  $k$  와 간섭 사용자  $l$  간의 PN 코드간 교차상관 특성을 나타낸다.  $\Gamma_{i,k}$  는 경로 손실에 기인하여 발생하는 해당 사용자의 전파 손실 성분을 나타내며 기지국과의 거리  $d$  와 전파 경로 손실 지수  $\gamma$  을 고려했을 때  $d_{i,k}^{-\gamma}$  에 비례하는 값을 가지게 된다.

## 2 Zone-based 전력제어 메카니즘

데이터 호는 시스템 내에  $N_v$ 개의 음성호가 있는 상황에서 데이터 호의 채널 환경 즉, 다른 호들에서 발생하는 간섭 량을 고려하여 최대 지원될 수 있는 전송률을 가지고 생성된다. 그러나, 이미 생성된 호가 많아서 간섭 량이 크거나 채널 환경이 나빠서 데이터 호가 요구하는 서비스 요구 사항을 모두 만족시키지 못할 경우에는 해당 호에 할당될 수 있는 최대 전력으로 지원 가능한 전송률을 가지게 된다.

식(3)에 준하여 경로 손실과 음영 현상을 고려하여  $i$  번째 클래스의 특정 호  $k$  의 PA(Power Amplifier)가 할당될 수 있는 최대 소비 전력  $p_{k,max}$  에 의해 결정되는  $c$  번째 존의 최대 서비스 반경  $Z_{i,k}^c$  이 식(4)로 표현된다. 식에서  $c$  번째 존에서 지원되는  $k$  번째 호에 대한 전송률

은  $r_{i,k}^c$  가 된다. 결국 특정 데이터 호  $k$  는  $c$  번째 존에서 송신 전력이 최대 값에 다다를 때까지 전송률  $r_{i,k}^c$  을 유지하게 된다.

$$Z_{i,k}^c = \left[ \frac{W}{r_{i,k}^c} \frac{p_{k,max}}{\sum_{j \neq i} \sum_{m,k} \rho_{nb} d_{j,i} + n_o W} \frac{1}{(SIR_i^{required} + \delta_k)} \right]^{-\gamma} \quad (4)$$

$Z_{i,k}^c$  은 데이터 호  $k$  가  $c$  번째 존에서 지원하는 전송률로 서비스 요구수준  $SIR_i^{required}$  를 만족시키는 최대 존 반경을 나타낸다. 이때 존에 따르는 전송률  $r_{i,k}^c$  은 데이터 호가 속해있는 클래스  $i$   $\{R_i \supset r_{i,k}^1, r_{i,k}^2, \dots, r_{i,k}^C\}$  의 요구 수준을 충족시켜야 된다. 그리고  $SIR_i^{required} + \delta_k$  은 신호의 음영 현상을 고려한 초과 서비스 요구 수준으로  $\delta_k$  (lognormal shadowing의 표준편차)는 4-12dB의 값을 가질 수 있다. 식(4)에서 서비스 존의 결정에 가장 큰 영향을 주는 요소는 해당 호의 전송률, 해당 호의 할당 전력 그리고 해당 셀은 물론 외부 셀에서 미치는 간섭 량을 들 수 있다. 해당 호의 전송률이 낮을수록 또한 할당된 전력량이 높을수록 존의 서비스 영역은 커지게 된다. 이와는 반대의 상황으로 해당 호의 전송률이 높은 고속 트래픽의 경우나 다른 호들이 가지는 간섭 량이 커지는 상황이 되면 해당 호의 서비스 영역은 줄어들게 된다. 따라서 식(4)에 의해 거리의 증가에 따라 데이터호가 소속하게 되는 존은 그림 1과 같이 나타날 수 있게 된다.

그림 1과 그림 2에서 보듯이 임의의 존에서 임의의 전송률을 가진 데이터 호가 자신의 서비스 요구 사항을 충족시키기 위해 최대 전력을 필요로 하는 존의 경계를 벗어나서 외부 존으로 진입할 때 전송

률을 변화시킴으로써 생기는 전력량의 이득은 식(5)로 계산될 수 있고, 이와는 반대로 외부 존에서 내부 존의 경계를 지나면서 전송률의 증가에 따라 발생하는 초과 전력량은 식(6)으로 계산된다.

$$P_{margin}^{c+1} = \frac{r_{i,k}^c}{r_{i,k}^{c+1}} P^c, \quad c=1 \dots C-1 \quad (5)$$

$$P_{excess}^{c-1} = \frac{r_{i,k}^c}{r_{i,k}^{c-1}} P^c, \quad c=2 \dots C \quad (6)$$

서비스 클래스  $i$  에 속하는 이동국  $k$  가 지원할 수 있는 전송률의 종류를  $C$  라 하면,  $Z_{ik}^c$  는 이동국  $k$  가 최대로 지원할 수 있는 최대 전송률  $R_{max}$  에 따라 전송률  $R = R_{max} / 2^c$  로 서비스 되는 존 반경을 나타낸다. 해당 호의 전송률을 낮추게 되면 처리이득이 커지게 되고 결과적으로는 다른 호들에서 오는 간섭 량을 처리할 수 있는 능력이 커지게 되기 때문에, 더 낮은 전력량으로도 간섭 량을 극복할 수 있게 되고 결과적으로 해당 호에 대한 서비스 영역이 커지게 된다.  $P^c$  은 현재 서비스 클래스(전송률)  $c$  로 서비스하고 있는 존에서 할당된 전력량을 나타내고  $P_{margin}$  과  $P_{excess}$  는 존의 경계를 지나게 되면서 앞으로 할당될 전력의 이득 또는 초과량을 나타낸다.  $P_{excess}$  의 경우는 현재 할당되어 있는 전력량에 비한 초과 전력 소비를 감소하고서 전송률을 높여주기 때문에 트래픽의 전송률이 증가하게 된다. 그림 1에서 짙은 실선 부분이 존과 존의 경계에서 이동시에 전송률을 조절함으로써 발생하는 전력량의 이득 또는 초과량을 나타낸다.

채널 환경이 같은 조건 하에서는 이동국의 위치에 상관없이 동일한 전송률과 서비스 품질을 가정

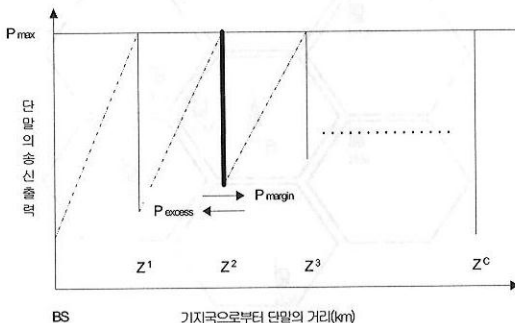


그림 1. 거리의 증가에 따른 Zone 구분

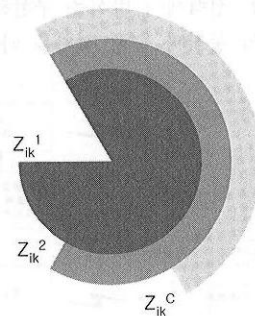


그림 2. 동심원 존



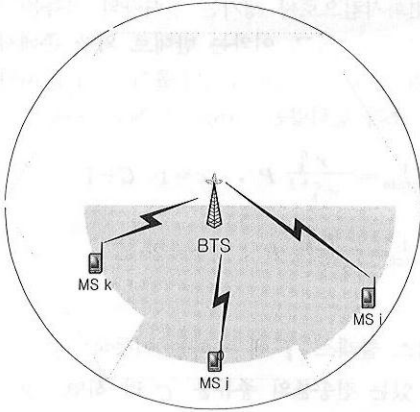


그림 3. 다계층 구조의 존 구조

한 존 반경은 동일하다. 그러나 서로 다른 이동성을 가지는 이동국은 서로 다른 채널 환경을 가지게 되므로 동일한 서비스 조건 하에서도 존 반경이 서로 달라진다. 이러한 이유는 이동국의 이동성에 따라 경로 손실, 음영 현상, 그리고 각각의 이동국이 겪게되는 간섭 량의 양이 달라지는데서 기인한다. 따라서 ZPC 전력제어 방식에서 각각의 이동국이 가지게 되는 존은 그림 3에서처럼 다계층 존구조 (Multi-layered Zone Architecture)를 가지게 된다.

### III. 실험 및 결과

#### 1. 성능 평가 모델

ZPC 전력제어 방식은 기존 시스템의 빠른 폐회로 전력제어 메커니즘을 그대로 적용하고 이동국의 위치에 기반한 존에 따라 전송률을 제어하는 동작을 취한다. 따라서 기존의 폐회로 전력제어 방식을 위해 기지국과 이동국의 전력제어 수행 절차에 존 결정 알고리즘 블록이 추가된 형태를 취한다. 그림 4는 존기반 전력제어 방식을 구현하기 위한 이동국 및 기지국의 동작과 수행 절차를 나타내었다.

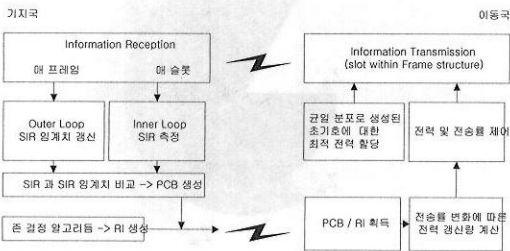


그림 4. 기지국 및 이동국의 존기반 전력제어 수행도

기지국은 기존의 빠른 폐회로 전력제어 방식을 그대로 수행하며 동시에 내부회로에서 측정된 SIR 값으로 존 결정 알고리즘 블록을 수행한다. 존 결정 알고리즘 블록에서는 이동국의 현재 위치 분포에 기반 하여 해당 트래픽 채널의 QoS를 보장할 수 있는 전송률 정보(Rate Information)를 존에 따라 결정하여 이동국에 PCB와 함께 전송하게 된다. 기지국은 매 슬롯 주기마다 이동국에서 전송된 신호에서 SIR을 측정하여 외부회로에서 매 프레임 주기마다 측정된 SIR 임계치와 비교한 뒤 전력제어 갱신 정보(Power Control Bit)를 생성한다. 또한 전력제어 알고리즘 블록에서는 매회 측정된 SIR 정보를 이용하여 데이터 트래픽 전송 이동국의 전송률을 조절하는 정보를 생성한다. 매 슬롯 주기마다 생성된 PCB 및 RI 정보는 이동국으로 전송되며 이동국은 해당 전력 및 전송률 갱신 정보에 따라 송신 정보 및 출력을 조절하게 된다. 전력제어 외부 회로에서는 매 프레임 주기마다 해당 채널의 수신 정보인 FER을 보면서 무선 채널의 변화에 적응할 수 있을 정도의 채널 QoS를 측정한다. 외부 회로에서 조절될 수 있는 SIR 임계치는 3.5-8.5dB의 값을 갖는다.

#### 2. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 ZPC 전력제어 방식의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 내부셀 및 외부셀 간섭 량을 고려하기 위해 성능 평가를 고려한 해당 셀과 이에 인접한 첫 번째 수준의 외부 셀 6개를 추가한 다중 셀 환경을 설정하였다.

각 셀은 그림 5에서 보듯이 육각형 형태를 가지며 반경은 1km로 정한다. 7개의 셀 내에는  $N_v$  음성 다. 초기 생성된 호는 해당 트래픽 채널의 QoS

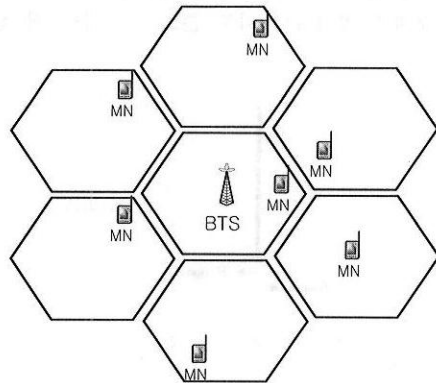


그림 5. 다중셀 시스템

를 호와  $N_d$  데이터 호가 균일 분포로 셀 내에 생성된 만족시키기 위해 최적의 전력을 할당받는다[4]. 생성된 호들은 이동성을 가지고 셀 내를 움직이게 되는데 본 논문에서는 핸드오프 상황을 고려하지 않았기 때문에 만약 호가 셀의 경계에 다다르게 되면 방향을 선회하여 이동성을 계속 갖게 된다. 음성 호에 대한 이동성은 정지 및 보행자 그리고 차량 이동 환경을 모두 고려하였고, 데이터 호에 대한 이동성은 정지 및 차량 이동 환경을 고려하였다. 아울러 모든 호에 대한 방향성은 동일한 확률을 가지도록 하는 네 가지 방향성(상, 하, 좌, 우)을 고려하였다. 그림 6은 실험 초기 생성된 시스템 내 이동국의 위치를 나타내는 분포도이다. 육각형 셀의 셀 반경은 1km로 가정하였지만 핸드오프 지역에서의 이동국 생성을 억제하기 위해 육각셀을 내부 인접하는 원형셀 내에서 이동국이 균일하게 생성된다.

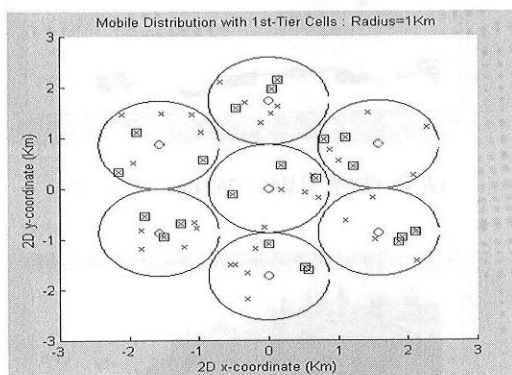


그림 6. 초기 호 생성 분포도

존기반 전송률/전력 제어 방식에 따라 이동성을 가진 데이터 호가 셀 내를 움직일 때 존의 경계를 벗어나게 될 경우에는 현재 위치하고 있는 존에 따라서 전송률과 전력을 할당한다. 본 논문에서 존기반 전력제어 방식의 성능은 기존 음성 호에 최소의 간섭 영향을 주고 동시에 데이터 트래픽의 처리율을 향상시키는데 있기 때문에 시뮬레이션 시간을 데이터 호의 트래픽 전송시간으로 설정하였다. 표 1은 시스템의 성능 분석시 사용한 주요 시뮬레이션 변수를 나타냈다. 각 셀에 할당되는 트래픽은 셀이 수용 가능한 트래픽 용량을 고려하였으며 역방향 링크에서 이러한 시스템 가능 수용량은 MAI에 의해서 주요하게 결정된다.

음성 호와 데이터 호를 포함하는 트래픽 용량은 182.4kbps를 요구하며 각 셀 마다 동일한 트래픽

용량을 설정하였다. VBR 서비스가 가능한 데이터 호는 FCH에 부가적인 트래픽 특성을 지니도록 SCH에 할당한다. 본 논문에서는 FCH와 SCH를 동시에 제어하는 복잡성을 피하기 위해 데이터호의 경우에도 하나의 채널(SCH)을 할당받도록 하였다. 따라서 음성 호는 고정 칩 길이의 확산 방식을 사용하는 FCH를 할당받고 데이터 호는 다양한 칩 길이의 확산 방식을 사용하는 SCH를 할당받는다.

음성 및 데이터 호의 수는 모든 셀에 동일하게 생성된다고 가정하였고 음성 및 데이터 이동국의 최대 송신 전력은 0.6W와 1W로 가정하였다. 이동국의 분포는 균일 분포를 따르고 무선 채널 환경을 고려한 경로 손실 지수는 4로 실험하였다. 또한 존 결정 알고리즘에서 간섭 량의 유입 량에 따라 변하게 되는 존 반경에 따른 잦은 존 변경을 방지하기 위해 음영현상에 대한 표준 편차의 마진을 두고 존을 결정하게 된다. 표 2는 실험에서 사용된 음성 및 데이터 트래픽의 특성을 나타내고 있다. 본 논문에서는 실험의 단순화를 위해 가변 전송이 가능한 SCH에 대한 하나의 서킷호 채널을 고려하였다.

표 1. 주요 실험 변수

시뮬레이션 변수		설정
트래픽	음성	9.6 kbps (각 셀 마다 5개)
	데이터	19.2/38.4/76.8 kbps
셀 (반경 : 1km)		7개 (내부셀 1, 외부셀 6)
이동국 최대 송신전력		음 성 : 0.6W(약 28dBm) 데이터 : 1W(30dBm)
이동국의 분포		균일 분포
이동성		0, 2-4, 50-100km/h
경로 손실 지수		4
음영현상 편차		8dB (4-12dB)

데이터 트래픽의 경우 최소 존 결정 단위는 9600bps를 구성하기 때문에 9600bps 이상의 데이터 전송률에 따라 갖게되는 존의 개수는 19200, 38400, 76800bps 각각에 따라 최대 2, 3, 4개의 존 형성이 가능하도록 하였다. 음성호의 이동성은 정지, 보행자 및 도심 내에서의 차량 이동자의 속도에 해당하는 경우를 선택하였고 데이터 호는 정지 및 차량 이동 속도에 해당하는 두 가지 경우를 선택하여 실험하였다. 무선 환경을 고려한 채널은 Jake's Model에 의한 다중경로 페이딩 채널을 적용하였다.



표 2. 실험에서 사용된 트래픽의 특성

트래픽	특성
음성	FCH : 9600 bps 이동성 : 0, 2-4, 20-50 km/h 방향성 : 초기에 임의의 방향성을 가지며 셀의 경계에서 셀 내부로의 새로운 방향성 부여
데이터	FCH + SCH(0 또는 1) -1개의 서킷호로 고려 -19200, 38400, 76800 bps VBR 서비스 이동성 : 0, 20-50 km/h 방향성 : 음성 호와 같은 조건

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 ZPC 전력제어 방식의 성능 평가는 다음과 같이 이루어진다. 본 논문에서는 CDMA 순방향 링크에 적용되어진 ZPC 전력제어 방식[1,16]의 결과를 토대로 하여 역방향 링크에서의 적용 가능성을 검증하였다. 먼저 ZPC 전력제어 방식을 채택함으로써 인해 생성되는 간섭 량을 내부셀 및 외부셀 관점에서 측정하였다. 존기반 전력제어 방식은 채널 환경이 나빠지는 셀의 외부 지역에서는 채널 간의 트래픽 채널 용량 차이가 적게 유지할 수 있기 때문에 내부셀 및 외부셀에 유입되는 간섭 량을 억제할 수 있는 특징을 가지게 된다.

그림 7과 그림 8은 각각 내부셀에 위치한 특정 음성 호와 76.8kbps의 전송률을 데이터호가 겪게되는 내부셀 간섭 량을 도식화한 것이다. 모든 호들은 이동성을 가지기 때문에 현재 이동국의 위치에서 겪게되는 간섭 량의 크기는 다를 수 있다. 결과에서 보듯이 기존의 전력제어 방식에 비해 ZPC 방식의 성능이 평균적으로 4-5dB 정도의 내부셀 간섭 량 억제 이득이 발생하였다. ZPC 전력제어 방식의 채널 환경이 나쁜 셀의 경계지역(외부존)에서 Outage를 겪고있는 고속 데이터 호의 전송률을 조절함으로써 직접적으로 간섭 량 생성이 적게 발생하는 채널 환경을 유도하기 때문에 기존의 전력제어 방식에 비해 음성 및 데이터 채널이 겪는 간섭 량이 적게 형성된다. 결국 해당 채널은 물론 인접 채널의 QoS가 확보되는 결과를 낳게 된다.

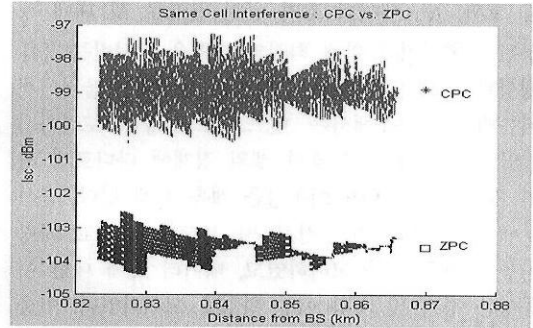


그림 7. 내부셀 간섭량 : 음성 호

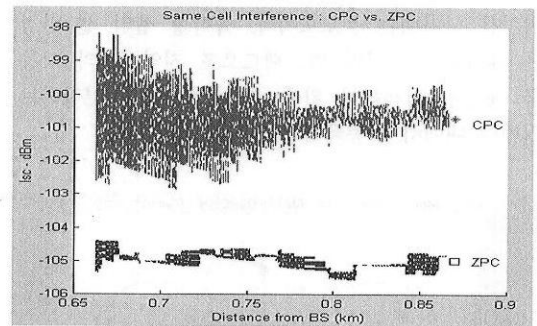


그림 8. 내부셀 간섭량 : 76.8kbps 데이터 호

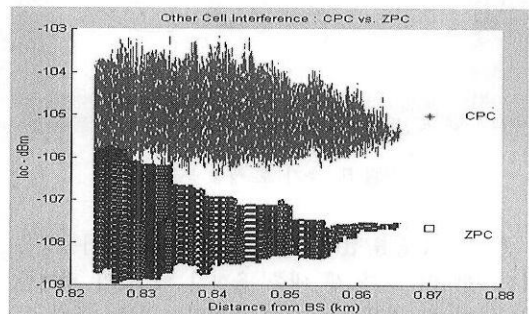


그림 9. 외부셀 간섭량 : 음성 호

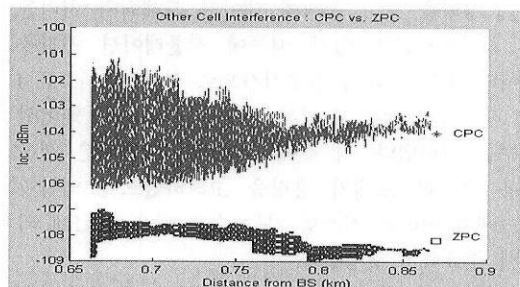


그림 10. 외부셀 간섭 : 76.8kbps 데이터 호



그림 9와 10은 각각의 전력제어 방식에 따라 측정되는 외부셀 간섭 량을 저속 음성 호와 고속 데이터호의 관점에서 고찰한 결과이다. 내부셀 유입 간섭 량의 결과와 마찬가지로 외부셀 유입 간섭 량 측면에서도 ZPC 전력제어 방식이 4-5dB 정도의 이득을 취하였다.

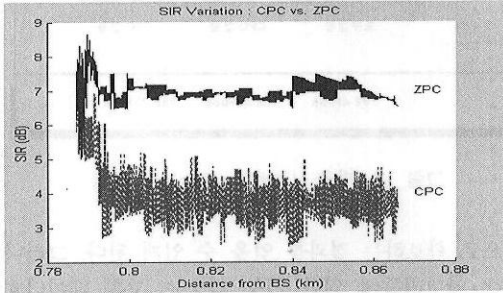


그림 11. 음성호의 SIR 변화

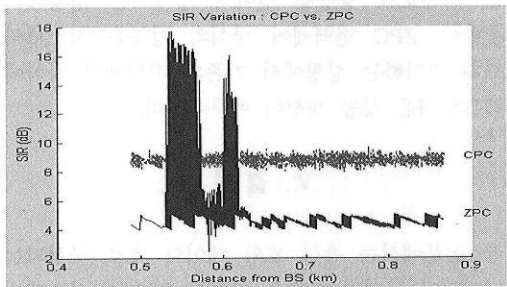


그림 12. 76.8kbps 데이터호의 SIR 변화

그림 11과 12는 실험 시간 동안에 매 슬롯 주기마다 측정된 해당 트래픽 채널의 SIR 값을 이동국의 이동경로에 따른 거리에 따라 도식화한 것이다. 음성호의 경우 셀의 경계 지역으로 진입함에 따라 내부셀 및 외부셀의 간섭 량을 크게 받기 때문에 기존 방식으로는 QoS를 보장하지 못하는 결과를 보여주고 있다. 데이터호의 경우 ZPC 전력제어 방식에서는 전송률을 제어함으로써 상당한 SIR 이득을 획득할 수 있다. 전체 시스템에서 생성되는 간섭 량을 줄임으로써 좋은 채널 환경이 유지되고 결과적으로는 낮은 SIR 임계치를 유지하는 결과를 볼 수 있다. ZPC 방식은 기존 방식에 비해 생성되는 간섭 량을 억제하는 역할을 하기 때문에 간섭량이 적게 생성되는 채널 환경을 만들게 되고 결국은 해당 트래픽 채널의 낮은 SIR 임계치 유지를 통해 전력 소비량을 축소한다.

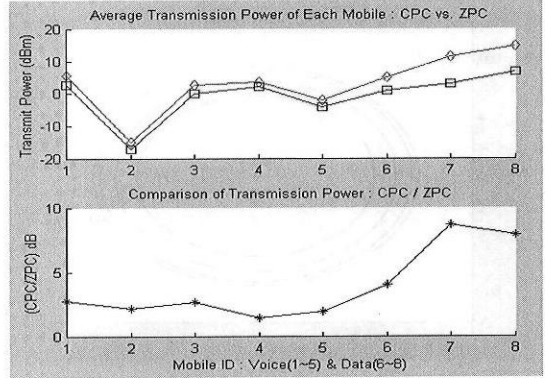


그림 13. 평균 송신 전력량: CPC vs. ZPC

그림 13은 CPC 및 ZPC 방식을 통해 전체 이동국이 할당하게 되는 평균 송신 전력량을 비교한 것이다. ZPC 방식에 의한 제어의 결과로 기존의 전력 제어 방식에 비해 간섭 량 생성을 억제할 수 있기 때문에 이를 극복하기 위해 필요한 해당 채널의 할당 전력량도 이득을 취할 수 있게된다. 그림 14는 해당 채널에서 측정된 SIR이 임계치를 만족하지 못할 때 겪게되는 Outage 확률을 나타낸 결과이다. 시스템의 적정 확률이 5% 이내에서 만족되어야 하는 상황에서 CPC에 의한 제어는 전체 호에 대한 성능 감소가 이루어지고 있다. 그러나 ZPC 방식에서는 대부분의 트래픽이 시스템 요구 성능을 만족시키는 상황을 전개하고 있다.

그림 15는 존기반 전력제어 방식에서 고속 데이터호가 특정 전송률을 서비스할 수 있는 존 반경을 실험 결과를 통해 도출한 것이다. ZPC 방식에서의 존 반경은 해당 채널에 유입되는 간섭 량이 달라지는 매 SIR 측정 주기마다 갱신되지만 큰 변화는 보

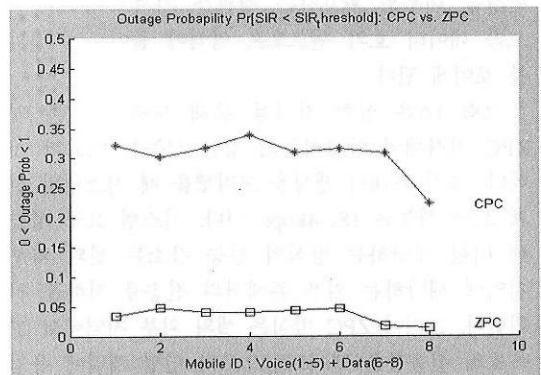


그림 14. Outage 확률 : CPC vs. ZPC



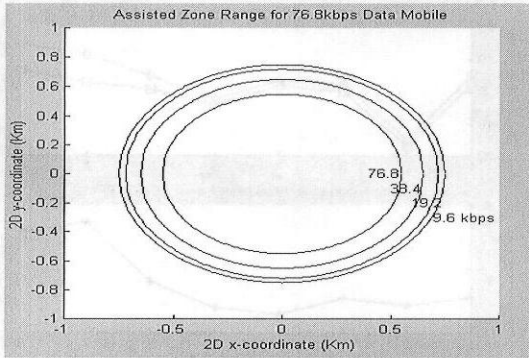


그림 15. 존결정 알고리즘에 따른 데이터호의 생성 존

이지 않음을 확인하였다. 또한 해당 채널의 최대 전송률을 서비스하는 존 반경이 셀의 대부분 지역을 확보함을 고찰하였다. 실제 시스템에서 핸드오프 영역이 차지하는 비율이 전체 셀 영역의 약 30% 정도임을 감안한다면 해당 존기반 전력제어 방식으로 인해 얻어지는 최대 전송률의 서비스 반경 존을 제외한 외부 존들은 대부분 핸드오프 영역에 포함될 수 있다. 핸드오프 영역에서는 셀의 중심부와는 달리 다이버시티 이득을 얻을 수 있기 때문에 해당 채널의 성능을 어느 정도 확보할 수 있는 여지가 생기게 된다. 핸드오프 영역에서는 셀의 중심부와는 달리 다이버시티 이득을 얻을 수 있기 때문에 해당 채널의 성능을 어느 정도 확보할 수 있는 여지가 생기게 된다. 이러한 결과에 근거하여 ZPC는 방식에서 확보할 수 있는 존은 크게 중심 존과 핸드오프 영역을 포함하는 외부 존으로의 구분이 가능하게 된다. 데이터 호는 최소 9.6kbps까지 전송률을 조절하여 서비스 반경을 확장시킬 수 있으며 이러한 최소 전송률 서비스 반경은 셀의 전체 서비스 반경을 대부분 확보하는 결과를 가져오기 때문에 고속 데이터 호의 핸드오프 영역이 줄어드는 결과를 보이게 된다.

그림 16은 실험 결과를 통해 도출된 기존 및 ZPC 전력제어 알고리즘의 평균 성능을 비교한 것이다. 초기 트래픽 생성을 고려했을 때 시스템의 전체 요구 성능은 182.4kbps이다. 시스템 요구 성능에 비한 제안하는 방식의 성능 감소는 셀의 외부 지역에 해당하는 외부 존에서의 전송률 저하를 의미한다. 그러나 ZPC 방식은 셀의 외부 지역에서 고속호의 전송률을 떨어뜨림으로써 인접 채널에 유입되는 간섭량을 줄임으로써 시스템의 성능 개선을 유도하고 해당 채널의 서비스 반경을 셀의 전체 지

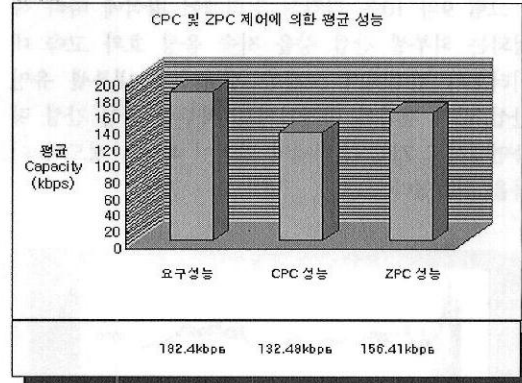


그림 16. 평균 성능비교 : CPC vs. ZPC

역으로 확보하는 결과를 얻을 수 있게 된다. 그러나 기존 알고리즘에 의한 성능 감소는 고속 데이터호가 셀 전체의 서비스 반경을 확보하지 못하고 또한 인접 채널에 유입하는 간섭량을 억제하지 못함으로써 저속호가 영향을 받아서 발생하는 상황에서 비롯한다. ZPC 전력제어 방식의 성능은 시스템의 로드가 증가하는 상황에서 기존의 전력제어 방식에 비해 더 나은 성능 개선이 이루어진다.

## V. 결론

본 논문에서는 음성 호와 데이터 호로 구성되는 멀티미디어 트래픽 환경을 고려한 CDMA 시스템에서 Zone-based 전력제어 방식의 역방향 링크 적응성을 분석하였다. Zone-based 전력제어 방식은 기존의 역방향 빠른 폐회로 전력제어 방식을 기반으로 하며 존 결정 알고리즘에 따라 계산된 전송률에 따라 전력량의 이득을 취하는 방식이다.

기존의 빠른 폐회로 전력제어 방식은 느린 폐회로 방식에 비해 생성되는 간섭량을 억제하는 효과를 가지기 때문에 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 반면, 시스템에 트래픽의 로드가 증가하는 상황에서 인접 채널에 간섭 영향을 주게되는 현상이 발생하게 된다. 증가하는 간섭량으로 인해 고속 데이터 트래픽은 셀의 전체 서비스 영역을 확보하지 못하는 결과를 나타내고 저속 음성 트래픽 또한 QoS에 상당한 영향을 받게 된다. 그러나 Zone-based 전력제어 방식은 사용자의 위치 분포에 따라 채널 환경이 좋지 않은 셀의 외부 지역에서의 간섭량 생성을 억제할 수 있도록 전송률 및 전력을 동시에 제어하기 때문에 모든 트래픽의 서비스 영역을 셀의

전체 영역으로 확장하기 때문에 시스템의 평균 성능이 개선되는 효과를 가져온다

시뮬레이션 결과 ZPC 전력제어 방식이 단말의 전력 할당 및 소비량과 트래픽의 처리율에 있어서 기존 IS-95 전력제어 방식에서 보다 많은 성능 개선을 보여주었다. ZPC 전력제어 방식은 특히 시스템 내에 트래픽의 양이 많은 환경에서 기존의 전력제어 방식보다 나은 성능을 보여주었다. 많은 멀티미디어 트래픽 유형중 파일 전송이나 인터넷 트래픽과 같은 VBR 서비스기 시스템 트래픽의 많은 부분을 차지하게 되는 상황에서는 서비스의 품질은 물론 트래픽에 대한 처리율이 가장 큰 관건이 될 수 있는데, 이러한 관점에서 볼 때, 존기반 전력제어 방식은 시스템 내에 트래픽이 증가하는 상황에서도 기존 음성 호를 적절히 보호함은 물론 해당 데이터호의 트래픽 처리율도 시스템이 요구하는 수준으로 유지할 수 있기 때문에 기존의 전력제어 방식에 비해 상당한 성능 개선을 보여 준다

참 고 문 헌

[1] 윤승윤, 임재성, "고속 무선 데이터 서비스를 위한 CDMA 순방향 링크에서의 Zone-based 전력제어 방식," 한국통신학회논문지 제27권 7B호, pp 673-685

[2] S Ariyavisitakul, "SIR-based Power Control in a CDMA System," in *Proc IEEE Globecom*, Vol 2, pp 868-873, 1992

[3] Y Takeuchi, "Results of Multiple Cell Simulation of a CDMA Cellular System Focusing on SIR based Power Control," in *Proc IEEE ICC*, Vol 1, pp 63-67, June 1998

[4] A Sampath, P Sarath, and J. Holtzman, "Power Control and Resource Management for a Multimedia CDMA Wireless System," in *Proc PIMRC*, Vol 1, pp 21-25, Sept 1995

[5] Q Wu, "Performance of Optimum Transmitter Power Control in CDMA Cellular Mobile System," *IEEE Trans on Vehicular Technology*, Vol 48, No 3, pp 571-575, Mar 1999

[6] J Zou and V Bhaigava, "Design Issues in a CDMA Cellular System with Heterogeneous Traffic Types," *IEEE Trans on Vehicular Technology*, Vol 47, No 3, pp 871-883, Aug

1998

[7] S Abeta, S Sampet, and N Mornaga, "Adaptive Coding Rate and Processing Gain Control for Cellular DS-CDMA Systems," *IEICE Trans on Comm*, Vol E80-B, No 4, pp 581-588, April 1997

[8] S Oh and K Wasserman, "Adaptive Resource Allocation in Power Constrained CDMA Mobile Networks," in *Proc WCNC*, Vol 1, pp 510-514, Sept 1999

[9] J Su, A Annamalai, and W Lu, "Optimization of Power Allocation in a Multicell DS-CDMA System with Heterogeneous Traffic," in *Proc ICC*, Vol 2, pp 1136-1140, June 1999

[10] Q Wu, W Wu, and J Zhou, "Centralized Power Control in CDMA Cellular Mobile Systems," *Electronics Letters*, Vol 33, No 2, pp 115-116, Jan 1997

[11] M Nishino and S Sato, "An Up-Link Transmission Power Control Method Considering Medium Priorities in CDMA Mobile Radio Communications," in *Proc ICUPC*, Vol 1, pp 229-233, Oct 1998

[12] A Chockalingam and L Milstein, "Capacity of DS-CDMA Networks on Frequency Selective Fading Channels with Open-loop Power Control," in *Proc ICC*, Vol 2, pp 703-707, June 1995

[13] K Mori, "Adaptive Transmission Power Control in CDMA Slotted-ALOHA Radio Communications," in *Proc ICUPC*, Vol 2, pp 1137-1141, Oct 1998

[14] D Ayyagari and A. Ephremides, "Cellular Multicode CDMA Capacity for Integrated (Voice and Data) Services," *IEEE JSAC*, Vol 17, No 5, pp 928-938, May 1999

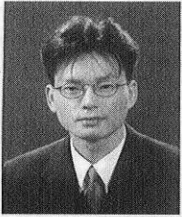
[15] V Paulrajan and J Roberts, "Capacity of a CDMA Cellular System with Variable User Data Rates," in *Proc IEEE Globecom*, Vol 3, pp 1458-1462, 1996

[16] S Yun and J Lim, "An Efficient Power and Rate Control Mechanism of CDMA Forward Link for High-speed Data Services," in *Proc VTC*, Vol 2, pp 607-610, May 2002



윤 승 윤(Sung-yun Yun)

정회원



1999년 2월 : 아주대학교

정보 및 컴퓨터공학부 졸업

2001년 2월 : 아주대학교

정보통신공학과 석사

2001년 3월~현재 : 아주대학교

정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 이동통신, 전력제어, 무선 자원관리

임 재 성(Jae-sung Lim)

정회원



1983년 2월 : 아주대학교

전자공학과 졸업

1985년 2월 : 한국과학기술원

전기및전자공학과 석사

1994년 8월 : 한국과학기술원

전기및전자공학과 박사

1985년~1988년 : 대우통신종합

연구소 전임연구원

1988년~1995년 : 디지콤정보통신연구소 책임연구원

1995년~1998년 : SK 텔레콤 중앙연구원 책임연구원

1998년~현재 : 아주대학교 정보통신전문대학원

부교수

<관심분야> 이동통신, 디지털 통신, 신호처리