

가변 상태궤환 이득을 이용한 CDMA 셀룰라 시스템의 제한된 분산전력제어

A Distributed Constrained Power Control with Variable State Feedback Gain in CDMA Cellular Systems

이 무 영*, 오 도 창, 권 우 현
(Mooyoung Lee, Dochang Oh and Woohyen Kwon)

Abstract : We present a power control with variable state feedback gain (VFPC) to improve outage convergence rate of distributed constrained power control. The variable state feedback gain includes the information of the desired SIR changes and must be a decreasing sequence for the convergence. The proof of the convergence is given. The proposed algorithm can improve the outage convergence rate and SIR (Signal to Interference Ratio) response at transient as well as at steady state. The simulation results are given to demonstrate the feasibility of the proposed scheme.

Keywords : CDMA power control, distributed constrained power control, SIR, outage

I. 서론

CDMA (Code Division Multiple Access) 시스템에서는 모든 이동국이 같은 주파수대역의 신호를 동시에 사용하므로 서로간의 간섭을 피할 수 없다. 만일 각 이동국이 모두 같은 전송 전력을 사용한다면 이동국의 위치에 따라서 각 기지국에 전송되는 신호의 크기가 다르므로 서로의 통화품질을 보장할 수 없게 된다. 따라서 각 이동국이 전송하는 신호의 크기를 기지국의 상황에 맞게 제어해 줌으로써 기지국에 균등하게 수신되게 하기 위해 전력제어를 사용한다. 전력제어의 목적은 모든 이동국이 통화에 필요한 최소한의 전력만을 사용하여 원하는 SIR (Signal to Interference Ratio)을 얻을 수 있게 하여 다른 이동국에 주는 간섭을 최소화함으로써 통화의 품질을 보장하는데 있다.

Yates [1]는 CDMA 시스템에서의 역방향 전력제어 (uplink power control)의 구조를 형상화하였으며, Foshini와 Miljanic [2]은 좀 더 일반화된 모델을 기반으로 각 이동국이 스스로 통화에 지장이 없는 적절한 SIR을 갖도록 하는 전송전력을 계산하는 분산전력제어 (Distributed Power Control, DPC) 알고리즘에 대해서 소개하였다. 이동국의 송신전력에 제한이 없는 경우, 분산전력제어 (DPC)의 수렴속도가 가장 빠른 것으로 나타나고 있으나, 실용상 이동국의 송신전력에 제한이 있는 것이 일반적이므로, Grandhi등[3], [6]은 송신전력의 최대치를 갖는 제한된 분산전력제어 (Distributed Constrained Power Control, DCPC)을 제안하였다. 송신전력의 제한이 있는 경우에는 제한된 분산전력제어 (DCPC)의 수렴속도가 현격히 느려지는 단점이 있어 이후 연구의 비교대상으로 널리 사용되

고 있다. Jantti와 Kim [4]은 송신전력의 제한이 있는 상태에서 현재 송신전력과 이전의 송신전력을 이용하여 다음 송신전력을 계산하는 제한된 2차 분산전력제어 (Constrained Second-Order Power Control, CSOPC) 알고리즘을 제안하였으며, CSOPC는 DCPC 알고리즘에 비해 Outage 확률의 수렴속도가 빠름을 확인하였다. 그러나 CSOPC는 [4]의 모의실험결과에서도 볼 수 있듯이, 현재의 송신전력뿐만 아니라 이전의 송신전력을 다음의 송신전력의 계산에 사용하므로 전체적인 수렴속도는 DCPC에 비해서 빠르지만 초기의 수렴에 있어서 Outage 확률이 DCPC보다 현격히 높아지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이동국의 전력제한이 있는 경우에, 초기의 Outage 확률이 높은 CSOPC의 문제점을 개선하면서도 수렴속도를 더 빨리 할 수 있는 가변이득 상태 궤환 제어기 (Variable state Feedback gain Power Control, VFPC)를 제안한다. 제안된 상태 궤환 제어기는 SIR 명령의 변화 성분을 포함하도록 설계되었으므로 초기에 SIR의 수렴속도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 정상상태에서 명령 SIR이 변화하는 경우에 대한 응답특성 또한 개선시킬 수 있다. 또한 제안된 상태 궤환 제어기의 수렴성을 증명하기 위해 가변 상태 궤환 이득이 송신전력의 갱신 회수가 증가함에 따라 감소하는 특성을 가짐을 증명하였다. 모의실험을 통해 DCPC, CSOPC에 비해 outage 수렴속도가 향상되고, SIR 명령이 변화하는 경우, VFPC가 가장 안정된 outage 응답특성을 보임을 확인한다.

II. 시스템 모델

본 시스템 모델은 CDMA 시스템의 역방향 링크에 대한 것이며 1개의 셀 안에 Q개의 이동국이 있고, 인접 셀에는 서로 영향을 미치지 않는다고 가정한다. 또한 이동국 i 의 SIR은 기지국에서 정확히 측정할 수 있다고 가정하고, 측정된 SIR이 명령 SIR, γ^* , 보다 크면 통화가능 한 것으로 판단한다.

CDMA 전력제어 시스템에서 이동국 i 의 다음 번 송신전력 $p_i(n+1)$ 의 계산은 (1)과 같이 현재의 송신전력 $p_i(n)$ 과

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 7. 4., 채택확정 : 2003. 11. 14.

이무영 : 두원공과대학 디지털전자과(myilee@doowon.ac.kr)

오도창 : 건양대학교 정보전자공학과(docoh@konyang.ac.kr)

권우현 : 경북대학교 전자전기공학부(whkwon@ee.knu.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-01216-0)의 지원으로 수행되었음.

제어입력 $u_i(n)$ 의 합으로 정의한다.

$$p_i(n+1) = p_i(n) + u_i(n), \quad n = 0, 1, \dots \quad (1)$$

제어입력 $u_i(n)$ 은 (2)로 정의된다.

$$u_i(n) = k_i(n)e_i(n) \quad (2)$$

여기서, $k_i(n)$ 은 가변 상태궤환 제어이득이며, $e_i(n)$ 은 명령 SIR과 현재 SIR, $s_i(n)$ 의 차이를 전력 값의 차원으로 변환한 것으로 (3)으로 정의된다.

$$e_i(n) = (\gamma^* - s_i(n))I_i(n) / g_{ki} \\ = (\gamma^* - s_i(n))p_i(n) / s_i(n) \quad (3)$$

여기서 현재의 SIR은 수신전력에 대한 간섭전력의 비로 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$s_i(n) = \frac{g_{ki}p_i(n)}{\sum_{j=1, j \neq i}^Q g_{kj}p_j(n) + n_k} = \frac{g_{ki}p_i(n)}{I_i(n)} \quad (4)$$

이때, g_{ki} 와 g_{kj} 는 각각 이동국 i, j 와 기지국 k 사이의 채널에 있어서의 링크 이득들이고, n_k 는 기지국 k 에서의 수신 잡음이며, $I_i(n)$ 은 (4)에서 보는 바와 같이 수신 잡음 n_k 를 포함한 다른 이동국들에 의한 간섭전력의 합이다.

따라서 (3)을 (2)에 대입해서 다시 쓰면 (5)와 같이 정리된다.

$$u_i(n) = k_i(n) \left(\frac{\gamma^*}{s_i(n)} - 1 \right) p_i(n) \quad (5)$$

따라서 (5)를 (1)에 대입하여 다시 정리하면 다음 번 송신전력계산식은 (6)과 같이 정리된다.

$$p_i(n+1) = p_i(n) + k_i(n) \left(\frac{\gamma^*}{s_i(n)} - 1 \right) p_i(n) \quad n = 0, 1, \dots \quad (6)$$

(6)에서 $k_i(n) = 1$ 이면, (6)의 송신전력계산식은 DPC [2]의 계산식과 같아짐을 볼 수 있다. 따라서 (6)의 CDMA 전력제어 시스템의 블록도는 그림 1과 같이 그릴 수 있다.

그림 1에서 현재 송신된 전력 $p_i(n)$ 은 무선통신 채널을 통과하여 기지국에 도달하게 되고, 명령 SIR $\gamma^*(n)$ 과 비교되어 그 차이와 가변 상태궤환 이득 $k_i(n)$ 을 곱한 값과 현재의 값을 더해서 다음의 송신전력 값을 계산하는데 사용된다.

이동국의 송신 전력이 (7)과 같이 제한된다고 가정하자. 여기서 \bar{p}_i 는 이동국 i 의 최대허용 송신전력이다.

$$0 \leq p_i \leq \bar{p}_i \quad (7)$$

(7)의 조건이 (6)에 적용되면 (8)로 정리된다.

$$p_i(n+1) = \min \left\{ \bar{p}_i, p_i(n) + k_i(n) \left(\frac{\gamma^*}{s_i(n)} - 1 \right) p_i(n) \right\}, n = 0, 1, \dots \quad (8)$$

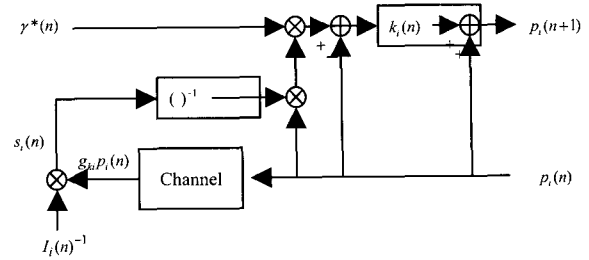


그림 1. CDMA 전력제어 시스템의 블록도.
Fig. 1. Block diagram of CDMA power control system.

III. 가변이득 상태궤환 제어

Jantti 와 Kim은 [4]에서 송신전력이 제한되는 경우에 있어서 CSOPC의 수렴속도가 DCPC의 수렴속도보다 빠름을 확인하였다. CSOPC는 반복횟수에 따라서 감소하는 이완계수(relaxation factor)를 사용하므로 초기의 시스템 이득을 크게 하여 SIR의 변화량에 대하여 빠르게 추종할 수 있도록 하고, 수렴 후에는 2차항의 이득을 0으로 만들어 DCPC의 특성과 같게 동작하도록 설계되었다. 그러나 초기 수렴하는 과정에서는 오히려 DCPC보다 훨씬 큰 Outage 확률을 나타내다가 어느 정도의 반복횟수가 지나야지만 DCPC보다 Outage가 낮아지는 특성을 보이고 있다[4]. 또한 CSOPC의 이완계수(relaxation factor)는 시스템의 상황변화에 관계없이 전송전력 갱신의 반복횟수 n 의 증가에 따라 정해진 순서에 의해서 결정되므로 전력제어시 발생하는 루프의 변동사항, 즉 명령 SIR의 변화등에 대해서 적절히 대응할 수 없는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 초기의 명령 SIR에 대한 수렴속도를 CSOPC보다 빠르게 함과 동시에 명령 SIR의 변화시에도 특성을 유지할 수 있는 가변궤환이득 제어기를 제안한다. 우선 명령 SIR의 변화분, $\gamma_{diff}^*(n)$ 을 (9)와 같이 정의하자.

$$\gamma_{diff}^*(n) = \gamma^*(n) - \gamma^*(n-1), \quad n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

(8)의 상태궤환이득 $k_i(n)$ 을 (10)과 (11)과 같이 명령 SIR의 변화분을 포함하도록 정의한다.

$$k_i(n) = 1 + K_1 \gamma_{diff}^*(n) + K_2 f_i(n), \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

$$f_i(n) = \left(\sum_{j=0}^{n-1} \gamma_{diff}^*(j) T^{n-j} + \gamma_{diff}^*(n) \right) T \\ = \sum_{j=0}^n \gamma_{diff}^*(j) T^{n+1-j} \quad (11)$$

여기서 K_1 은 SIR 변화분인 $\gamma_{diff}^*(n)$ 에 대한 이득, K_2 는 SIR 변화의 반복횟수 n 에 따른 감소분인 $f_i(n)$ 에 대한 이득이고, T 는 (11)이 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하도록 $0 < T < 1$ 의 조건을 만족하는 상수이다.

전력제어시스템의 수렴성을 위해 $k_i(n)$ 은 반드시 $k_i(n) > 1$ 의 조건을 만족하고, 반복횟수 n 에 따라 감소해야한다. $k_i(n)$ 의 값은 처음에 (12)와 같이 $k_i(0)$ 로부터 시작해서 점점 감소하게 된다.

$$k_i(0) = 1 + K_1 \gamma_{diff}^*(0) + K_2 f_i(0). \quad (12)$$

여기서 $\gamma_{diff}^*(n)$ 은 (9)의 정의에 의해 변화하는 순간에만 변화분에 해당하는 값을 가지고, 명령 SIR의 변화가 없는 경우는 0이 된다. 따라서 정상상태에서의 $k_i(n)$ 은 $f_i(n)$ 이 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소한다면 (13)과 같이 1로 수렴한다.

$$k_i(n) \geq 1. \quad (13)$$

또한 정상상태에서 $k_i(n)$ 이 1로 수렴한 후, 명령 SIR이 변화하면, $k_i(n)$ 은 그 시점에서 변화분에 해당하는 값을 가지게 되고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 (13)과 같이 역시 1로 수렴하는 과정을 반복하게 된다. 본 논문에서 제안한 VFPC는 정상상태에서 명령 SIR이 변화하는 경우에 있어서도 초기와 마찬가지로 수렴속도가 빠른 장점이 있다. 이 경우에 있어서 DCPC 알고리즘은 수렴속도가 현저히 떨어지며, CSOPC의 알고리즘도 이 시점에서 이완계수를 다시 초기화하지 않으면 수렴속도가 DCPC와 유사하게 저하된다. VFPC의 블록도는 그림 2와 같다.

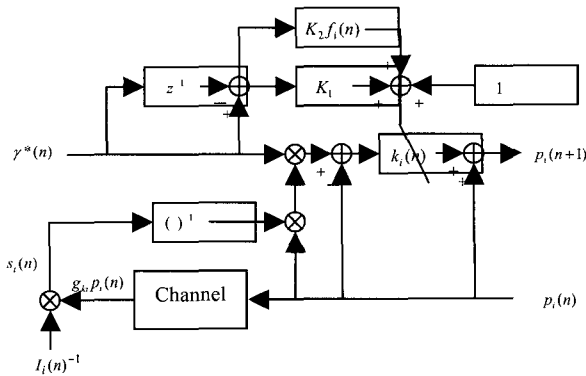


그림 2. VFPC의 블록도.
Fig. 2. Block diagram of VFPC.

그림 2는 VFPC가 그림 1의 가변 상태체환 이득 $k_i(n)$ 을 가지는 CDMA 전력제어와 같은 구조를 가지면서 명령 SIR $\gamma^*(n)$ 의 변화분 $\gamma_{diff}^*(n)$ 과 SIR 변화의 반복횟수 n 에 따른 감소분 $f_i(n)$ 을 이용하여 가변 상태체환 이득 $k_i(n)$ 이 결정됨을 보여준다.

IV. 수렴성

CSOPC의 경우, 송신전력이 제한된 상태에서 이완계수가 1보다 크고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하는 경우, 수렴성과 수렴속도에 대한 증명은 Jantti와 Kim [4]의 proposition 3과 4에서 수행되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 VFPC의 송신전력 계산식 (8)의 수렴성에 대한 증명은 $k_i(n)$ 이 $k_i(n) > 1$ 인 조건을 만족하고, 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하는 조건을 만족하면 Jantti와 Kim [4]의 proposition 3과 4가 역시 유효하다. 따라서 다음의 proposition 1에서 $k_i(n)$ 이 $k_i(n) > 1$ 인 조건을 만족하고, 반복횟수 n 이 증가

함에 따라서 감소하는 조건을 만족하는지에 대해서 조사한다.

Proposition 1: (8)의 가변상태체환이득 $k_i(n)$ 은 $T < 1$ 이고 $K_1 < K_2 T(1 - T)$ 인 조건에서 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고, 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 1로 수렴한다.

Proof: 명령 SIR의 변화 형태에는 증가와 감소, 2가지의 형태가 있다.

① 명령 SIR이 증가하는 경우:

명령 SIR의 변화분, $\gamma_{diff}^*(n) > 0$ 이므로 $f_i(n)$ 은

$$f_i(n) = \sum_{j=0}^n \gamma_{diff}^*(j) T^{n-j+1}. \quad (14)$$

따라서 이 경우 항상 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고, (15)를 만족하면 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

$$k_i(n) - k_i(n+1) = K_1 \gamma_{diff}^*(n) - K_1 \gamma_{diff}^*(n+1) + K_2 f_i(n) - K_2 f_i(n+1) > 0 \quad (15)$$

명령 SIR 이 $n=0$ 에서 변화했다고 가정하면, $\gamma_{diff}^*(0) \neq 0$ 이고 그 외는 모두 0이 된다. 따라서 (14)는 (16)으로 정리된다.

$$f_i(n) = \sum_{j=0}^n \gamma_{diff}^*(j) T^{n-j+1} = \gamma_{diff}^*(0) T^{n+1}. \quad (16)$$

(a) $n=0$ 일 때, (15)는 다음과 같이 정리된다.

$$k_i(0) - k_i(1) = K_1 \gamma_{diff}^*(0) + K_2 \gamma_{diff}^*(0) T(1 - T) > 0, \quad \text{for } T < 1. \quad (17)$$

단, K_1 과 K_2 는 양의 상수라고 가정하면, $T < 1$ 인 경우, (17)은 항상 성립한다.

(b) $n > 0$ 일 때, (15)는 (18)과 같이 정리된다.

$$k_i(n) - k_i(n+1) = K_1 \gamma_{diff}^*(n) - K_1 \gamma_{diff}^*(n+1) + K_2 f_i(n) - K_2 f_i(n+1) > 0 \quad (18)$$

(18)에서 $\gamma_{diff}^*(n) = \gamma_{diff}^*(n+1) = 0$ 이므로 (19)로 정의된다.

$$k_i(n) - k_i(n+1) = K_2 \{f_i(n) - f_i(n+1)\} = K_2 \gamma_{diff}^*(0) T^{n+1} (1 - T) > 0, \quad \text{for } T < 1. \quad (19)$$

$T < 1$ 인 경우, (19)는 항상 성립한다. 따라서 (17)과 (19)에서와 같이 명령 SIR이 증가할 때 $T < 1$ 인 경우에 대해서 $k_i(n)$ 은 항상 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 1로 수렴한다.

② 명령 SIR이 감소하는 경우:

명령 SIR의 변화분, $\gamma_{diff}^*(n) < 0$ 이므로 $f_i(n)$ 은

$$f_i(n) = - \sum_{j=0}^n \gamma_{diff}^*(j) T^{n-j+1} = - \gamma_{diff}^*(0) T^{n+1}. \quad (20)$$

(a) $n=0$ 일 때, (15)는 (21)로 정리된다.

$$\begin{aligned}
 &k_i(0) - k_i(1) \\
 &= K_1 \gamma_{diff}^*(0) - K_2 \gamma_{diff}^*(0)T + K_2 \gamma_{diff}^*(0)T^2 \quad (21) \\
 &= K_1 \gamma_{diff}^*(0) - K_2 \gamma_{diff}^*(0)T(1-T) > 0 \quad \text{for } T < 1.
 \end{aligned}$$

(21)이 성립하기 위해서는 K_1 과 K_2 사이에 (22)의 조건을 만족하면 된다.

$$K_1 < K_2 T(1-T). \quad (22)$$

(b) $n > 0$ 일 때, (15)는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned}
 &k_i(n) - k_i(n+1) \\
 &= K_2 \left(-\gamma_{diff}^*(0)T^{n+1} + \gamma_{diff}^*(0)T^{n+2} \right) \quad (23) \\
 &= -K_2 \gamma_{diff}^*(0)T^{n+1}(1-T) > 0, \quad \text{for } T < 1.
 \end{aligned}$$

$T < 1$ 인 경우, (23)은 항상 성립한다. 따라서 (21)과 (23)에서와 같이 명령 SIR이 감소할 때 $T < 1$ 인 경우에 대해서 $K_1 < K_2 T(1-T)$ 의 조건을 만족하면 $k_i(n)$ 은 항상 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 1로 수렴한다.

따라서 $T < 1$ 인 경우에 대해서 $K_1 < K_2 T(1-T)$ 의 조건을 만족하면 $k_i(n)$ 은 명령 SIR의 변화가 증가, 감소에 관계없이 항상 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 1로 수렴한다. ■

Proposition 1을 통해 가변상태 레환이득 $k_i(n)$ 이 항상 $k_i(n) > 1$ 을 만족하고 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소하여 1로 수렴하므로 VFPC의 수렴성과 수렴속도에 대한 증명은 Janti와 Kim [4]의 proposition 3과 4를 이용하면 증명된다.

V. 모의실험

1. 모의실험환경과 계수

CDMA 분산전력제어의 모의실험은 IS-95 시스템 [8]을 기초로 수행하였으며, 7 개의 셀 모델을 기본으로 사용하였다 [5]. 각 이동국의 배치는 [4], [5]와 동일한 방법을 사용하여 이동국의 숫자는 셀당 10개로 고정하였고, 위치는 임의로 발생시켰으며, 전달이득 g_{ki} 는 d^{-4} (meter)로 통일하여 사용하였으며, d 는 이동국과 기지국사이의 거리이고, 채널의 페이딩등은 고려하지 않는다. 한 셀의 모든 이동국에 대한 명령 SIR은 동일한 조건에서 모의실험을 수행하였으며, 초기의 수렴속도를 비교하기 위해서 [4]에서와 같이 명령 SIR을 8dB로 사용하였고, 정상상태에서 명령 SIR의 변화에 대한 비교를 위해 5dB~8dB 사이에서 반복횟수별로 다음과 같이 변화하도록 설정하였다. (0-20 step: 6dB, 21 step: 7dB, 22-40 step: 8dB, 41 step: 7dB, 42 step: 6dB, 43-50: 5dB)

또한 IS-95 시스템에서 통신 비트율, R_b 는 9600 bps, 무선 통신채널의 대역폭, B_c 는 1.2288 MHz, 기지국에서의 수신 잡음은 $n_i = n = 10^{-12}$ 로 정의되며 최대전송전력은 1W로 제한하였다.

2. 모의실험 결과

모의실험은 앞에서 설명한 모의실험 환경에서 각 전력제

어 알고리즘을 적용했을 때, 목표 Outage 확률에 얼마나 빠르게 도달하는가를 기준으로 삼았다. 모의실험에서 사용되는 목표 Outage 확률(5×10^{-4})은 이동국이 10000번 기지국과의 개통을 시도했을 때, 10000번 중 5번 개통 실패하고 나머지는 모두 개통됨을 의미한다. 따라서 수렴성의 의미는 얼마나 빨리 이 목표 Outage 확률(5×10^{-4})에 도달할 수 있는가 하는 것으로, 목표 Outage 확률에 도달했을 때, 전력제어의 반복횟수가 적으면 적을수록 수렴속도가 빠른 것이며, 수렴속도가 빠른 알고리즘을 사용하면 빠른 시간에 더 많은 이동국이 기지국과 개통할 수 있다는 의미를 담고있다.

그림 3은 반복횟수에 따른 Outage 확률에 대한 모의실험 결과를 보인 것이다. DCPC의 경우, 목표 Outage 확률(5×10^{-4})로 수렴하는데 15번의 반복이 필요하다. 그러나 CSOPC의 경우는 10번의 반복만으로 수렴하므로 DCPC보다 훨씬 빨리 수렴함을 알 수 있다. 그러나 초기의 경우, 6-8번의 반복에서는 오히려 CSOPC의 Outage 확률이 DCPC보다 현저히 높게 나타남을 볼 수 있다. 그러나 VFPC의 경우는 6~7번 반복으로 수렴이 가능함을 보여주고 있는데, 초기의 Outage 확률도 CSOPC에 비해 상당히 개선된 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 CSOPC와 VFPC의 수렴의 방법차이에 기인한 결과로서, 그림 4에서 보면 CSOPC의 경우 명령 SIR 근처에 수렴할 경우 대부분의 수렴성향이 명령 SIR 아래에서 명령 SIR 쪽으로 올라가면서 수렴하는 특성이 있음을 알 수 있다. 이때 명령 SIR과의 차이가 1dB 이상 나면 Outage로 인식되므로 Outage가 연결로 바뀌는데 좀 더 시간이 필요하다.

그러나 VFPC의 경우에는 명령 SIR 근처에서의 수렴성이 대부분의 경우 명령 SIR보다 큰 쪽에서 아래쪽으로 수렴해감을 알 수 있다. 따라서 연결과 Outage를 판단할 때 명령 SIR보다 현재의 SIR이 1dB 이상 작을 경우에 Outage로 판단하므로 큰 경우는 모두 연결로 판단된다. 따라서 VFPC의 경우 명령 SIR보다 큰 곳에서 명령 SIR로 수렴해가므로 명령 SIR의 근처에서 수렴이 시작되면서부터 이미 연결로 판단되어 Outage의 수렴속도를 DCPC 및 CSOPC에 비해 현저히 개선할 수 있다.

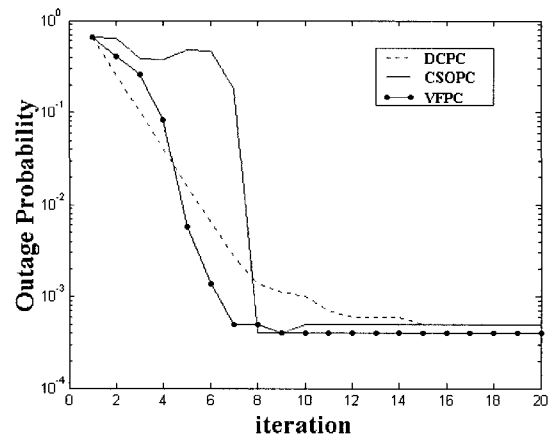


그림 3. Outage 확률.

Fig. 3. Outage probability.

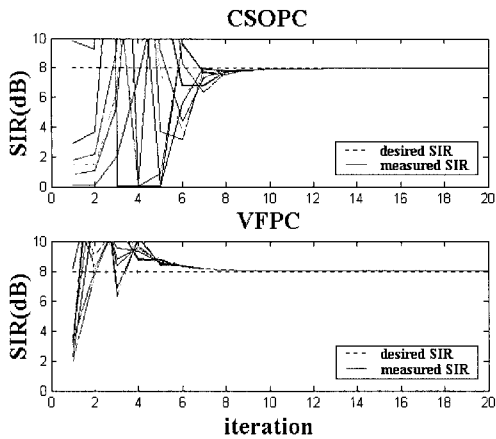
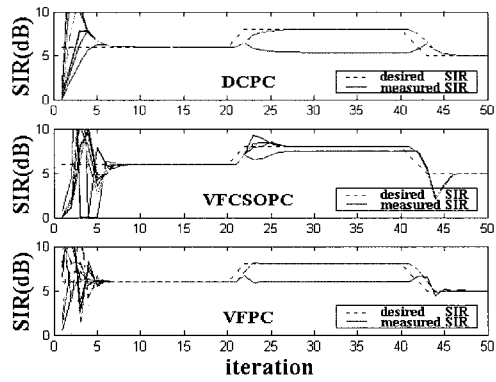
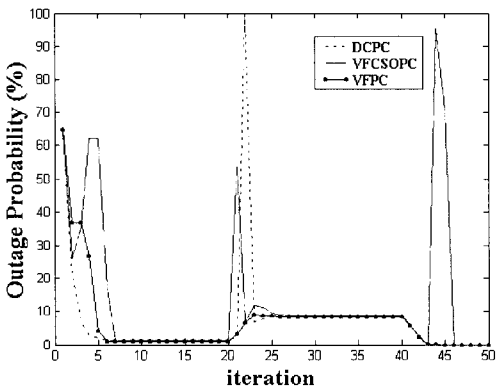


그림 4. SIR 명령에 대한 수렴성향.
Fig. 4. Convergence types to the desired SIR.



(a) SIR 응답특성



(b) Outage 확률

그림 5. SIR 응답특성과 Outage 확률.
Fig. 5. SIR response and outage probability.

그림 5는 명령 SIR이 변화할 때의 모의실험결과를 나타낸 것이다. 여기서는 DCPC, VFCSOPC 및 VFPC 알고리즘들을 비교하였다. VFCSOPC는 CSOPC 알고리즘에 본 논문에서 제안한 가변 상태케환이득, $k_i(n)$ 을 적용한 것으로 VFPC와의 비교를 위해 같은 조건을 만들기 위해 도입되었다. 명령 SIR이 상승일 경우, 즉 반복횟수 $n = 21 \sim 22$ 사이에서 DCPC는 수렴속도가 느려서 큰 Outage 확률이 갑자기 발생하는 것

을 볼 수 있다.

VFCSOPC의 경우도 갑작스러운 Outage 확률의 증가가 발생하는데, 이는 VFCSOPC의 높은 초기 이득 때문에 발생하는 것으로 갑자기 송신전력들이 한꺼번에 증가하여 그림 5a에서 보는 것처럼 SIR 응답에 있어서 Overshoot가 발생하게 되는데 이때 시스템의 용량초과 발생확률이 높아지게 되어 Outage의 발생확률이 일시적으로 증가하는 현상이 나타난다. 그러나 VFPC의 경우는 명령 SIR의 증가로 인한 시스템의 용량감소로 인한 Outage 증가가 존재할 뿐, 일시적인 Outage 증가 현상이 발생하지 않는다.

명령 SIR이 감소하는 경우, 즉 반복횟수 $n = 41 \sim 43$ 사이에서 DCPC는 감소하는 경우의 응답도 느리지만 명령 SIR보다 위에서부터 내려오므로 연결된 상태의 것들은 연결된 상태 그대로 유지된다. 그리고 명령 SIR이 감소하여 상대적으로 시스템의 용량이 증가하므로 이전까지 Outage 상태의 이동국들이 연결되는 경우도 발생하게 된다. 따라서 이 경우는 안정된 Outage 특성을 보이고 있다. 그러나 CSOPC의 경우는 명령 SIR이 감소하는 것을 추종하기 위해 커진 이득에 의해 역 Overshoot가 발생하게 되고, 이 경우 대부분의 이동국이 일시적인 Outage 상태로 빠지는 결과가 초래되어 전력제어 루프의 성능에 악영향을 미칠 수 있다. 그러나 VFPC의 경우는 수렴속도가 빠르면서도 Overshoot도 전혀 발생하지 않고 안정적인 응답 특성을 보이고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 CDMA 전력제어 시스템에서 초기 명령 SIR에 대한 응답 특성을 개선하여 통화연결 시간을 단축시키고, 정상상태에서의 명령 SIR 변화에 대해서도 빠른 응답 특성을 가지고 있는 VFPC를 제안하였다. VFPC는 명령 SIR의 변화에 따라서 상태케환 이득이 달라져 시스템의 수렴 특성을 빠르게 할 수 있도록 설계되었다. 따라서 초기의 연결에 대한 수렴 특성뿐만 아니라 정상상태에서의 명령 SIR이 변화하는 상황에서도 적절한 제어가 가능하다. 가변 상태케환 이득이 반복횟수 n 이 증가함에 따라서 감소함을 확인하여 시스템의 수렴성을 증명하였다. 모의실험을 통해 DCPC와 CSOPC와의 비교를 수행하였으며, 초기 응답 특성과 정상상태에서의 명령 SIR의 변화에 대한 수렴 특성이 우수함을 보였다.

참고문헌

- [1] R. D. Yates, "A framework for uplink power control in cellular radio systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 1341-1347, 1995.
- [2] G. J. Foschini and Z. Miljanic, "A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 42, no. 4, pp. 641-646, 1993.
- [3] S. A. Grandhi, J. Zander, and R. D. Yates, "Constrained power control," *Wireless Personal Communication*, vol. 1, pp. 257-270, 1995.
- [4] R. Jantti and S.-L. Kim, "Second-order power control with asymptotically fast convergence," *IEEE Journal on Selected*

- Areas in Communications*, vol. 13, no. 3, pp. 447-457, 2000.
- [5] A. El-Osery and C. Abdallah, "Distributed power control in CDMA cellular systems," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 42, no. 4, pp. 152-159, 2000.
- [6] S. A. Grandhi and J. Zander, "Constrained power control in cellular radio systems," *Proceedings of the IEEE 44th Vehicular Technology Conference*, vol. 2, pp. 824-828, 1994.
- [7] F. Berggren, R. Jantti, and S. L. Kim, "A generalized algorithm for constrained power control with capability of temporary removal," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 50, no. 6, pp. 1604-1612, Nov. 2001.
- [8] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*. New York: Addison-Wesley, 1995.
- [9] R. S. Varga, *Matrix iterative analysis*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- [10] D. M. Young, *Iterative solution of large linear systems*, New York, Academic, 1971.
- [11] 권옥현, 김형석, "유무선 통신에서의 제어이론 적용에 대한 연구 개관," *제어 · 자동화 · 시스템공학논문지*, 제 6 권, 제 8 호, 2000년 8월.
- [12] 박홍성, 정명순, 김형욱, "CDMA 망에서의 전력제어 방법," *제어 · 자동화 · 시스템공학회지*, 제 7 권, 제 1 호, pp. 27-35, 2001.
- [13] 이상근, 방효창, *IMT-2000 CDMA 기술*, 도서출판 세화, 2001.



이 무 영

1991년 경북대 전자공학과 (학사). 1993년 경북대 전자공학과 (석사). 1998년 경북대 전자공학과(박사수료). 1993.12-1996.3 LG 전자 종합기술원 주임연구원. 1998.3-현재 두원공과대학 조교수. 관심분야 컴퓨터 응용제어, 전력전자, CDMA 전력제어 시스템.



오 도 창

1991년 경북대 전자공학과 (학사). 1993년 경북대 전자공학과 (석사). 1997년 경북대 전자공학과 (박사). 1997.3-1997.8 창원대학교 국책초빙교수. 1997.8-현재 건양대학교 조교수. 관심분야 H^∞ 제어, 시간지연제어, 모델 및 제어기 차수축소, 대규모시스템제어, CDMA 전력제어 시스템.



권 우 현

1977년 서강대 전자공학과 (학사). 1979년 한국과학기술원 (석사). 1993년 한국과학기술원 (박사). 1979년-현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수. 관심분야 컴퓨터응용제어, 전력전자, 제어계측.