

IMT-2000 외부회로 전력제어의 최적변수 및 성능 분석

이 재 성, *장 영 민, 전 기 준, **임 순 용
 경북대학교 전자전기공학부, *덕성여자대학교 컴퓨터과학부, **한국전자통신연구원
 전화 : 053-940-8624 / 핸드폰 : 016-582-8661

Optimum Parameter and Performance Analysis of Outer Loop Power Control in IMT-2000

Jea Sung Lee, Yeong Min Jang, Gi Joon Jeon, Soon Yong Lim
 School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University
 E-mail : stepan@palgong.knu.ac.kr

Abstract

In IMT-2000 systems, the outer loop dynamically adjusts the target SIR so that adequate performance in terms of the frame error rate(FER) and the true quality measure is achieved. This paper utilizes an analytic model for outer loop power control(OLPC) adjusting the target SIR in IMT-2000. The analytic model is based on the discrete-time Markov chain as voice traffic SIR. It is described that the model can be used to find the optimum step size in voice traffic for fast fading environments. The optimum step size influences the performance of OLPC: As the step size decreases, the average target SIR increases and average FER decreases.

I. 서론

IMT-2000에서 보다 높은 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위해 고속 폐쇄회로 전력제어(fast closed loop power control)가 필요하다. 폐쇄회로 전력제어의 한 부분인 외부회로 전력제어(outer loop power control)는 일반적으로 각각의 무선 링크의 필요성과 FER(frame error rate)로 정의 되어 있는 일정한 통화품질을 유지할 목적으로 기지국에서 원하는 E_b/I_o 를 조정하게 된다. 기지국에서 전송 목적에 따라 미리 정해진 원하는 FER

을 유지하기 위해 적응적으로 원하는 E_b/I_o , 즉 E_b/I_{oT} 를 제어하는 알고리즘들이 여러 논문에서 논의되었다[1,2]. 이 논문에서는 Sampath등[1]이 제안한 알고리즘을 바탕으로 IMT-2000 환경에서의 외부회로 전력제어를 위한 최적의 전력증감치를 수학적 모델링을 통해 구하고자 한다. 이 수학적 모델링은 이동국의 움직이는 속도를 고려하므로 이를 통해 얻어진 전력증감치는 이동국 속도를 고정시켜서 구하던[1] 이전의 전력증감치에 비해 신뢰성을 가질수 있을 것으로 기대된다.

II. 외부회로 전력제어의 이론적 분석

2.1 외부회로 전력제어 알고리즘

폐쇄회로 전력제어의 한 부분인 외부회로 전력제어는 일반적으로 BSC(base station controller)에서 무선 링크의 필요성과 FER(frame error rate)로 정의되어 있는 일정한 통화품질을 유지할 목적으로 목표 SIR을 조정하게 된다. 외부회로 전력제어로 다양한 알고리즘이 존재하지만 대표적으로 다음과 같은 방법을 사용하게 된다[1].

- i) CRC(cyclic redundancy check) 조사 결과로 현재(k -th)의 프레임의 품질 판단
- ii) 만약 프레임 에러 발생시,

$$E_b/I_{oT}(k+1) = E_b/I_{oT}(k) + K\Delta \quad (1)$$

iii) 프레임 에러가 없을 때,

$$E_b/I_{oT}(k+1) = E_b/I_{oT}(k) - \Delta \quad (2)$$

여기서 $E_b/I_{oT}(k)$ 는 목표 비트당 에너지 대 간섭의 스펙트럼 밀도의 비로서 $E_b/I_o = \zeta SIR$ 을 만족한다. 여기에 ζ 는 상수이다. Δ 는 전력증감크기이고 K 는 1보다 크거나 같다. 이러한 외부회로 전력제어에서 만약 무선전파 환경이 많이 변화하지 않고 (k-1)번째 프레임에서 에러가 발생할 경우 K 개의 에러가 없는 프레임을 얻기 위해 k번째 프레임에서 E_b/I_{oT} 를 전력증감크기의 K 배만큼 증가시키게 된다. 그러므로, FER은 식 (3)과 같이 정의될 수 있다.

$$S_f \approx \frac{1}{K+1} \quad \text{or} \quad K \approx \frac{1}{S_f} - 1 \quad (3)$$

여기서 S_f 는 시스템의 FER 목표치이다. 그러나 변화하는 페이딩 환경, 예를들어 고속 페이딩의 경우, FER은 기지국에서 식 (3)에서 계산된 것보다 더욱 커질 것이다.

2.2 분석 모델

변화하는 이동속도를 고려한 알고리즘은 이산시간 마코프체인으로 모델링된다. 식 (4)에서 변화 가능한 E_b/I_{oT} 값의 집합은 E 로써 표현된다.

$$E = \{ E_{\min} + j\Delta, j=0, 1, 2, \dots, J \} \quad (4)$$

여기서 E_{\min} 은 E_b/I_{oT} 의 최소값이고 j 는 최소값 0, 최대값 J 인 정수이다.

변화 가능한 이동국 이동속도는 식 (5)에서 정의된다.

$$S = \{ S_{\min} + i\Delta_s, i=0, 1, 2, \dots, I \} \quad (5)$$

S_{\min} 은 이동국 속도의 최소값을 나타내고, Δ_s 는 이동국 속도 변화량이다. i 는 정수이고 최소값이 0이며 최대값은 I 이다.

식 (4), (5)에서 표현된 정수집합 (i, j) 는 시스템의 상태를 나타낸다. 이동국의 속도 변화를 표현하기 위해 속도가 증가할 확률을 λ 라 정의하자. 이때 속도가 감소할 확률 또한 λ 라 하면 식 (5)에서 속도의 최대, 최소상태에서 이동국의 속도가 변화하지 않을 확률은 $(1-\lambda)$ 이고, 그 외의 속도상태라면 $(1-2\lambda)$ 이다. 왜냐하면 최대,

최소상태의 속도는 한 방향으로만 상태이동이 가능하기 때문이다. 다음으로, 시스템 상태가 (i, j) 일 때 프레임에 에러가 발생할 확률을 $q_{i,j}$ 로 정의한다. λ 와 $q_{i,j}$ 는 서로 독립적이다. 이것은 FER은 E_b/I_{oT} 와 이동속도에 서로 독립이 아니지만 이동속도 변화확률과는 그 관계가 독립이기 때문이다. 그러므로 시스템 상태가 (i, j) 에서 $(i, \min(j+K, J))$ 로 변화될 확률은 $(1-x\lambda) \cdot q_{i,j}$ 이며 이때 변수 x 는 $i=0$ 또는 $i=I$ 인 경우 1이고 나머지는 2인 상수이다. 만약 시스템 상태가 (i, j) 에서 $(i, \max(j-1, 0))$ 으로 변화한다면 그 확률은 $(1-x\lambda) \cdot p_{i,j}$ 이다. $p_{i,j}$ 는 $p_{i,j} + q_{i,j} = 1$ 을 만족한다. 식 (6)은 전체 시스템 상태에서 변화 가능한 영역에서의 변화확률을 나타낸 것이다[3].

$$\begin{aligned} P_{(i,j),(i,\max(j-1,0))} &= (1-x\lambda) p_{i,j} \\ P_{(i,j),(i,\min(j+K,J))} &= (1-x\lambda) q_{i,j} \\ P_{(i,j),(i-1,\max(j-1,0))} &= \lambda p_{i,j} \\ P_{(i,j),(i-1,\min(j+K,J))} &= \lambda q_{i,j} \\ P_{(i,j),(i+1,\max(j-1,0))} &= \lambda p_{i,j} \\ P_{(i,j),(i+1,\min(j+K,J))} &= \lambda q_{i,j} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $P_{(i_1,j_1),(i_2,j_2)}$ 는 상태 (i_1, j_1) 에서 상태 (i_2, j_2) 의 변화확률을 나타낸다.

식 (6)로부터 상태함수로 구성되는 시스템의 천이행렬을 구하고 다음의 정상상태확률을 얻는다.

$$\begin{aligned} \pi_{i,0} &= (1-x\lambda)p_{i,0}\pi_{i,0} + (1-x\lambda)p_{i,1}\pi_{i,1} \\ &\quad + y\lambda p_{i-1,0}\pi_{i-1,0} + y\lambda p_{i-1,1}\pi_{i-1,1} \\ &\quad + z\lambda p_{i+1,0}\pi_{i+1,0} + z\lambda p_{i+1,1}\pi_{i+1,1} \\ \pi_{i,j} &= (1-x\lambda)p_{i,j+1}\pi_{i,j+1} + y\lambda p_{i-1,j+1}\pi_{i-1,j+1} \\ &\quad + z\lambda p_{i+1,j+1}\pi_{i+1,j+1} \quad \text{for } j < K \\ \pi_{i,j} &= (1-x\lambda)p_{i,j+1}\pi_{i,j+1} \\ &\quad + (1-x\lambda)q_{i,j-K}\pi_{i,j-K} + y\lambda p_{i-1,j+1}\pi_{i-1,j+1} \\ &\quad + y\lambda q_{i-1,j-K}\pi_{i-1,j-K} + z\lambda p_{i+1,j+1}\pi_{i+1,j+1} \\ &\quad + z\lambda q_{i+1,j-K}\pi_{i+1,j-K} \quad \text{for } j \geq K \\ \pi_{i,j} &= (1-x\lambda) \sum_{j'=j-K}^j q_{i,j'}\pi_{i,j'} + y\lambda \sum_{j'=j-K}^j q_{i-1,j'}\pi_{i-1,j'} \\ &\quad + z\lambda \sum_{j'=j-K}^j q_{i+1,j'}\pi_{i+1,j'} \\ \sum_i \sum_j \pi_{i,j} &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j \pi_{i,j} = 1 \quad (8)$$

식 (7)에서 x 는 앞서 말한 바와같이 $i=0$ 또는 $i=I$ 인 경우 1이고 그 이외에는 2인 상수이다. 또한 y, z 는 상수로써 $i=0$ 일 때 (0,1), $i=I$ 일 때 (1,0), 그 이외에는 (1,1)인 상수이다.

마지막으로, 각 전력증감크기에 따른 평균 FER과 평균 E_b/I_{OT} 를 다음과 같은 수식에 의해 정상상태 확률에서 구할 수 있다.

$$E[q] = \sum_{(i,j) \in \text{state space}} q_{i,j} \pi_{i,j} \quad (9)$$

$$E[T] = \sum_{(i,j) \in \text{state space}} T_{i,j} \pi_{i,j} \quad (10)$$

여기서 $q_{i,j}$ 와 $T_{i,j}$ 는 (i,j)상태의 시스템에서 FER와 E_b/I_{OT} 를 나타낸다. π 는 상태 확률 벡터로서 식 (11)로 정의된다.

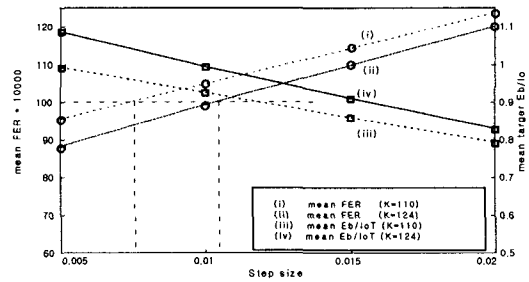
$$\vec{\pi} = \{\pi_{0,0}, \dots, \pi_{0,j}, \pi_{1,0}, \dots, \pi_{I,0}, \dots, \pi_{I,j}\} \quad (11)$$

III. 모의실험

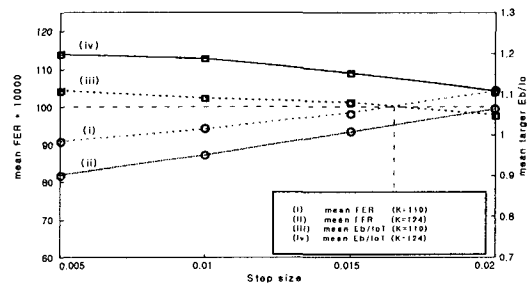
이 장에서는 수학적 모델을 이용한 외부회로 전력제어의 성능분석 및 최적 변수를 구하는 모의실험을 수행하였으며, 외부회로 최적 변수에 따른 가입자 용량을 계산하였다. 각 시스템 상태에서의 FER은 5MHz 대역폭, 3.6864Mcps의 칩레이트, QPSK변조, 10msec의 frame 길이를 가지고 2개의 안테나를 사용한 시스템의 컴퓨터 모의실험을 통해 구하였다. 또한 성능개선을 위하여 RAKE 수신기, 길쌈부호기, 인터리버등을 사용하였다. 모의실험에서 사용된 내부회로 전력제어는 0.625 msec의 주기와 같은 크기의 시간지연을 가지고 동작하며, 내부회로 전력제어 증감크기는 0.5dB로 증가 또는 감소한다. 또한 내부회로 전력제어 명령비트의 오류는 10%로 설정한다[4]. 그리고 모의실험의 모든 E_b/I_o 는 안테나당 E_b/I_o 이다. 수학적 분석을 위한 파라미터로 E_{min} 은 각각 -1dB와 -0.5dB, E_{max} 는 2dB와 2.5dB로 하였다. S 는 10Km/hr에서 100Km/h로 10Km/h/frame간격으로 변한다. 속도 변화확률 λ 는 0.0105로 정의하였다. 트래픽 전력 대비 파일럿 전력 비는 각각 4dB와 5dB로 파일럿 신호가 트래픽 신호에 미치는 영향에 따라 전력제어증감크기의 변화를 보였다. 이 논문에서 구하고자 하는 음성 트래픽에 대해서 FER 목표치 S_f 는 0.01($K=99$)을 만족해야 한다. 그러나 식 (3)은 채널환경의 변화가 없는 경

우에 따른 것이므로 이 논문에서는 S_f 가 0.009($K=110$), 0.008($K=124$)인 경우로 모의실험 하였다.

그림 1은 트래픽 전력 대비 파일럿 전력 비가 4dB인 경우 전력증감치에 따른 평균 FER과 평균 E_b/I_{OT} 의 이론적 분석결과이다. 그림 1의 (a), (b) 모두 전력증감크기가 감소할수록 평균 FER이 줄어들어 통화품질이 좋아짐을 알 수 있다. 그러나 통화품질의 향상에 따라 평균 E_b/I_{OT} 가 동시에 커지므로 전체 시스템 용량의 크기는 감소한다. 이러한 결과는 트래픽 전력 대비 파일럿 전력의 비가 5dB인 그림 2의 경우에서도 같은 결과가 나타난다. 이것은 통화품질과 시스템 용량이 서로 반비례함을 알려준다. 그림 1(a)에서 (i)과 (iii)는 S_f 가 0.009일 때, (ii)과 (iv)는 S_f 가 0.008인 경우 평균 FER의 곡선이다. 표 1은 평균 FER이 0.01을 만족하는 경우 전력증감크기(Δ)와 평균 E_b/I_{OT} 의 결과이다. 이 결과에서 K 가 110에서 124로 커지면 최적 Δ 값과 평균 E_b/I_{OT} 가 증가함을 볼 수 있다.

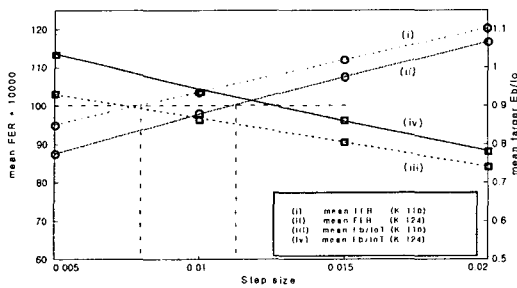


(a) 전력제어 제한값(-1dB~2dB)

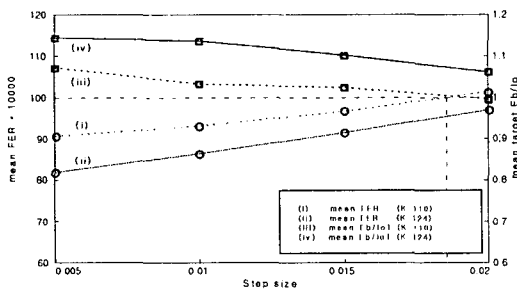


(b) 전력제어 제한값(-0.5dB~2.5dB)

그림 1. 전력증감치에 따른 평균 FER과 평균 E_b/I_{OT} (트래픽 전력 대비 파일럿 전력 비 : 4dB)



(a) 전력제어 제한값(-1dB~2dB)



(b) 전력제어 제한값(-0.5dB~2.5dB)

그림 2. 전력증감치에 따른 평균 FER과 평균 E_b/I_{oT} (트래픽 전력 대비 파일럿 전력 비 : 5dB)

표 1. 시스템 파라미터에 따른 분석결과

E_t/E_p (dB)	K	Dynamic Limit (dB)	Δ (dB)	mean E_b/I_{oT} (dB)
4	110	-1.0~2.0	0.00740	0.95973
		-0.5~2.5	0.01628	1.07173
	124	-1.0~2.0	0.01038	0.98794
		-0.5~2.5	0.02040	1.10557
5	110	-1.0~2.0	0.00791	0.89314
		-0.5~2.5	0.01853	1.00497
	124	-1.0~2.0	0.01140	0.92400
		-0.5~2.5	0.02291	1.03755

K의 증가는 프레임이 에러가 발생했을 경우 전력의 증가가 더욱 커짐을 의미한다. 이때 FER 0.01을 만족시켜주기 위해서는 100번의 프레임중 1번의 에러가 발생해야 한다. 그러므로 감소 속도 또한 빨라져야 함을 알 수 있다. 비록 증가폭이 크지만 기준 전력까지 99번의

감소가 필요하므로 최적 Δ 값이 커져야 하며 이에 따라 평균 E_b/I_{oT} 의 크기증가는 불가피하다. 트래픽 전력 대비 파일럿 전력의 비가 증가함에 따라 평균 E_b/I_{oT} 가 감소한다. 이것은 파일럿 전력의 크기가 감소하면 그만큼 트래픽 전력에 미치는 간섭의 양이 감소하게 된다. 그러므로 기준 FER를 만족시켜주기 위한 트래픽 전력의 크기는 그만큼 줄어들게 된다. 그러나 파일럿 신호의 과도한 감소는 역방향 링크의 코히런트 복조시 필요로 하는 충분한 파일럿 전력을 공급하지 못하는 경우가 발생하게 된다.

IV. 결론

이 논문은 이론적 모델링을 통하여 원하는 FER을 만족시켜 주기 위한 IMT-2000 외부회로 전력제어의 최적 전력증감크기를 보여주었다. 전력증감크기가 감소할수록 시스템의 평균 FER이 줄어들어 통화품질이 좋아짐을 알 수 있었다. 그러나 그에 비하여 시스템의 가입자 용량을 결정하는 목표 SIR의 크기가 동시에 커지므로써 지속적인 전력증감크기의 감소는 불가능함을 알 수 있었다. 또한, IMT-2000에서도 최적 전력증감크기를 이론적 모델을 통하여 구할수 있음을 알 수 있었다. 이 논문의 결과는 IMT-2000시스템 외부회로 전력제어에 기초 자료로 사용되어질 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] A. Sampath, P. S. Kumar, and J. M. Holtzma, "On setting reverse link target SIR in a CDMA system," *IEEE VTC'97*, pp. 929-933, May 1997.
- [2] S. Niida, T. Suzuki, and Y. Takeuchi, "Experimental results of outer-loop transmission power control using Wideband-CDMA for IMT-2000," *IEEE VTC'2000* Spring, 2000.
- [3] S. H. Won, W. W. Kim, and I. M. Jeong, "Performance improvement of CDMA power control in variable fading environments," *IEEE Seco'n'97, Virginia Tech, VA*, pp. 241-243, April 1997.
- [4] B. J. Kang, "Performance evaluation of reverse link for speech and data traffic in CDMA based IMT-2000," *IEEE ICC'99*, pp. 1409-1413, June 1999.