

멀티미디어 이동통신 시스템에서 통신 속도별 음성-데이터 상호 용량계산

*권 영 수

*주성대학

*yskwon@jsc.ac.kr

Voice-Data Capacity in a multimedia mobile System with Multi-rate Data Traffic.

*Young Soo Kwon,

*Juseong College

Abstract

In this paper, a scheme to evaluate the number of users in a WCDMA supporting multi-rate traffic is presented through the calculations of Erlang capacity from a derived blocking probability. It is observed that voice-data Erlang capacities have an inverse linear relationship. When the E_b/N_o decreases from 4 dB to 3 dB within the outage probability of 2 % and at the voice rate of 8 kbps, the results show an increase of 8 Erlang at the data rates of 15 kbps, 4 Erlang at 30 kbps, 2 Erlang at 60 kbps, and 1 Erlang at 120 kbps respectively and an increase of the Erlang capacities through a gradual decrease of the data rates from 960 kbps to 15 kbps. So this is useful for optimizing as a reference of design for the capacity in a WCDMA system.

1. 서 론

디지털 CDMA 기술을 채택한 이동통신 시장은 현재의 음성 위주의 서비스를 제공하는 시스템에서 벗어나 저속의 음성과 고속의 데이터를 함께 멀티미디어 데이터 서비스를 목표로 하는 차세대 이동통신, 와이브로, DMB, 방송통신 융합시장으로 변해가고 있다.

DS/CDMA 시스템에서 성능을 평가하는 척도로 셀 최대 용량, 서비스의 품질(Quality of Service, QoS), 셀 커버리지, 차단확률 등을 적용하고, CDMA 시스템은 다중 셀 간섭 양에 상당히 제약받는 시스템이므로 채널의 수는 매우 유동적이라 할 수 있다. 차단확률을 구할 때도 명확한 차단 조건은 없지만, 사용자 수가 증가할 수록 간섭레벨이 증가하여 서비스 품질을 떨어뜨리는 결과를 초래하고 모든 사용자는 동일 무선주파수를 공유하기 때문에 FER 또는 호 차단율을 증가시킨다. 만일 서비스 제공자가 높은 간섭과 어느 정도 임계값에서 서비스 품질을 허용한다면 연 차단(soft blocking)으로 차단확률을 구한다. 포아슨 분포와 가우시안 근사를 이용하여 차단의 기준으로 최대 허용 가능 간섭 값 η 를 사용하여 시스템에서 간섭에 의해 과부하가 걸릴 때 차단(blocking)으로 간주하고 여기서 열량용량을 구하는 것이다^[1].

참고문헌 [2] 등 여러 연구에서는 사용자 수에서 셀 최대 용량을 열 잡음(또는 배경 잡음)을 무시하고 완벽한 전력제어를 전제로 대체로 이상적인 조건에서 용량을 구하였지만, 이는 불완전 전력제어, 페이딩, 간섭 등의 영향이 반영된 현실적인 조건에는 미흡해, 본 연구에서는 이런 문제점을 개선하고자 불완전 전력제어, 호 트래픽(call traffic), 인접한 다중

셀에 의한 간섭의 영향 등에 의한 차단확률을 근거로 Erlang 용량을 계산한다. 특히 음성과 데이터 서비스를 여러 속도로 가변시켜 고속으로 함께 전송하는 WCDMA 역방향 링크에서 사용자 수의 분포에 따라 가우시안(Gaussian) 및 로그노멀(log-normal) 분포에 의해 차단확률을 유도하고, 여기서 음성과 데이터 서비스에 대한 열량 용량을 계산함으로써 WCDMA 시스템에서 셀 설계 시 최적의 셀 용량을 구할 수 있을 것이다.

2. 차단확률에 의한 음성과 데이터 열량 용량

WCDMA 시스템의 역방향 링크모델은 일반적으로 음성과 데이터에 대한 사용자 수 N 과 M 의 평균이 λ/μ 인 포아슨 분포를 이루고 있고, 음성과 데이터 활동을 ν 는 사용자의 활동상태의 유무를 나타내고 있으며, 수신된 SIR 값 E 는 불완전 전력제어로 인하여 모든 사용자가 서로 다른 값을 갖는 분포를 이루고 있는 상황이라면, 음성과 데이터 사용자에 대해 아래 첨자 v 와 d 를 사용해서 동일 셀과 다른 셀에 속한 모든 이동체에 의해 발생하는 지국에서 총 간섭 양은 배경잡음 N_o 와 함께 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$I_o = \sum_{n=2}^N \nu_{v,n} \frac{E_{v,n}}{PG_v} + \sum_{m=2}^M \nu_{d,m} \frac{E_{d,m}}{PG_d} + \sum_{i=1}^{other-cells} \left(\sum_{n=1}^N \nu_{v,n} \frac{E_{v,in}}{PG_v} + \sum_{m=1}^M \nu_{d,m} \frac{E_{d,im}}{PG_d} \right) + N_o(1)$$

여기서 E_{bi} 는 i 번째 사용자에 대한 수신된 비트

에너지, v_v, v_d 는 음성과 데이터 신호의 활동율, PG_v, PG_d 는 음성과 데이터 신호 속도와 칩률에 의한 처리이득($W/R_v, W/R_d$), n 는 다중 셀 간섭 보정계수, N_o 는 배경(열) 잡음을 각각 나타낸다.

앞서 언급된 사용자 수, 활동율, 사용자에 대한 수신된 비트 에너지가 모두 랜덤변수이므로 이를 하나의 랜덤변수 Z 로 묶어서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \sum_{n=2}^N v_{v,n} \frac{\epsilon_{v,n}}{PG_v} + \sum_{m=2}^M v_{d,m} \frac{\epsilon_{d,m}}{PG_d} + \sum_{i=1}^{other-cells} \left(\sum_{n=1}^N v_{v,n} \frac{\epsilon_{v,in}}{PG_v} + \sum_{m=1}^M v_{d,m} \frac{\epsilon_{d,im}}{PG_d} \right) \quad (2)$$

N, v, ϵ_i 는 서로 독립관계인 가우시안 랜덤변수라하면, 참고문헌 [3]에서 음성서비스만 하는 경우 구한 결과를 이용해서, WCDMA 시스템의 단일 셀에서 랜덤변수 Z 에 대한 평균과 분산을 유도하면 다음과 같다.

$$E[Z] = \frac{\alpha_v \rho_v}{PG_v} e^{\beta m_v} e^{(\beta \sigma_v)^2/2} + \frac{\alpha_d \rho_d}{PG_d} e^{\beta m_d} e^{(\beta \sigma_d)^2/2} \quad (3)$$

$$var[Z] = \frac{\alpha_v^2 \rho_v}{PG_v^2} e^{2\beta m_v} e^{2(\beta \sigma_v)^2} + \frac{\alpha_d^2 \rho_d}{PG_d^2} e^{2\beta m_d} e^{2(\beta \sigma_d)^2} \quad (4)$$

여기서 m_v, m_d 는 음성과 데이터 신호에 대해 시스템에서 필요한 E_b/N_o 값, σ_v, σ_d 는 음성과 데이터 신호에 대한 SIR 표준편차, $\rho_v, \rho_d (= \lambda/\mu)$ 는 음성과 데이터에 대한 평균 사용자 수, α_v, α_d 는 음성과 데이터 신호에 대한 평균 활동율, β 는 $\ln 10/10$ 을 각각 나타낸다.

다른 셀의 사용자들에 의해 간섭의 영향을 받는 다중 셀에서 평균과 분산에 대한 계산은 음성과 데이터 신호에 대한 각각의 다중 셀 간섭 보정계수 ξ 값 차이가 거의 없는 것으로 가정한다면 $(1+\xi)$ 배씩 단순히 증가한다.

셀 용량을 구하기 위해서 차단확률을 구할 때 일반적으로 사용자 수가 작은 경우에는 로그노멀 분포를 사용하지만, 반면에 사용자 수가 많은 경우에는 대체로 가우시안 분포를 사용해서 구하는 것이 타당하다^[3]. 먼저 사용자 수 분포가 높은 WCDMA 시스템에서 가우시안 분포에 의해 구하고자 한다. Z 는 랜덤변수들의 합이고 집중극한

(central limit) 정리를 적용함으로써 가우시안 랜덤 변수가 되고 $Z = m_M + \sigma_M G$ 로 표현할 수 있다. 만약 n 값이 0.1(또는 10 dB)보다 작으면 시스템이 간섭으로 과부하가 걸리게 되어 차단이 발생된다고 할 수 있다^[3]. 따라서 식 (3), (4)를 이용해서 차단확률을 구하면 다음과 같다.

$$P_{out} = Pr[Z > K] = Pr[m_M + \sigma_M G > K] = Q\left[\frac{K - E[Z]}{\sqrt{Var(Z)}}\right] \quad (5)$$

여기서 $Q(t)$ 는 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_t^\infty e^{-t^2/2} dt$ 이고, 차단 임계치 $n (= N_o/I_o)$ 에 의해 차단 기준 $K = 1 - n$ 을 적용하였다.

다음은 사용자 수 분포가 매우 낮은 WCDMA 시스템에서 로그노멀 분포에 의해 차단확률을 구한다^[4]. 로그노멀 랜덤변수는 $Z' = e^{m' + \sigma' G}$ 으로 표현되고, 로그노멀 랜덤변수 Y 에 대한 평균과 분산은 가우시안 랜덤변수 X 에 대한 $Y = \ln X$ 관계로부터 참고문헌 [4]에서 제시한 다음과 같은 표현식을 이용해 계산 할 수 있다.

$$m' = E[Z'] = \ln E[Z] - \frac{1}{2} \sigma'^2 \quad (6)$$

$$\sigma'^2 = var[Z'] = \ln\left[\frac{Var[Z]}{(E[Z])^2} + 1\right] \quad (7)$$

따라서 식 (6), (7)를 이용해서 차단확률을 구하면 다음과 같다.

$$P_{out} = Pr[Z' > \ln K] = Pr[e^{m' + \sigma' G} > \ln K] = Q\left[\frac{\ln K - m'}{\sqrt{\sigma'^2}}\right] \quad (8)$$

WCDMA 시스템의 열량용량 계산은 3 섹터로 구성된 셀 구조에서 섹터당 음성과 데이터에 대한 평균 사용자 수로 열량용량 ρ_v 와 $\rho_d (= \lambda/\mu)$ 는 주어진 차단확률 P_{out} 과 음성 열량용량에 대한 데이터 열량용량은 다음과 같이 나타낸다.

$$(\lambda/\mu)_{d,3sectors} = (\lambda/\mu)_d | P_{out,(\lambda/\mu)_v} \cdot \delta \quad (11)$$

여기서 δ 는 3 섹터 셀 구조에서 섹터 이득을 나타낸다.

3. 결과 분석

차단확률을 구하는 데 표 1에 표시한 WCDMA 시스템 파라미터 값을 각각 적용하였고, 차단확률 값은 역방향 링크에서 서비스 품질을 위해서 2 % 로 정하고, 불완전 전력제어된 경우를 고려해 표준편차를 1.5 dB 로 정하였고, 음성과 데이터를 함께 서비스하므로 저속의 음성을 8 kbps 서비스하고 저속에서 고속에까지 데이터 서비스를 하는 WCDMA 역방향 링크에서 음성 대 데이터 트래픽을 일량용량으로 계산한다.

표 1. WCDMA 역방향 링크에서 전력 및 전파손실 파라미터

파라미터	기호	값	
대역 폭	B	5 MHz	
칩율	W	3.84 MHz	
속도	음성	R_v	8 kbps
	데이터	R_d	15, 30, 60, 120 kbps
전파손실 계수	μ	4	
SIR 평균	음성	E_b/N_{ov}	5 dB
	데이터	E_b/N_{od}	3, 4, 5, 6 dB
SIR 표준편차	음성	σ_v	1.5 dB
	데이터	σ_d	
활동율	음성	v_v	0.4
	데이터	v_d	1
다중선택접합보정계수	ζ	0.77	
차단 확률	P_{out}	2 %	
차단 임계치	n	0.1(10 dB)	

그림 1은 가변 확장요소(Variable Spreading Factor) 256, 128, 64, 32 에 해당하는 데이터 속도 15, 30, 60, 120 kbps일 때 음성 대 데이터 일량을 $E_b/N_o=3$ dB, 4 dB에서 가우시안 또는 로그노멀 분포로 나누어 각각 나타내었다. 음성 대 데이터 트래픽은 서로 역 선형 (inverse linear)관계를 이루고 있다는 것으로 확인되었고, 사용자 수가 가우시안 분포일 때가 로그노멀 분포인 경우에 비해 0.5 일량에서 1 일량 더 많은 것으로 나타나 차단확률 2 %에서 차이가 별로 없었다. 음성 50 일량으로 서비스할 때 $E_b/N_o=4$ dB에서 3 dB로 낮아지는 경우 데이터 속도 15, 30, 60, 120 kbps일 때 각각 8 일량, 4 일량, 2 일량, 1 일량씩 증가하였다. 데이터 속도가 2 배씩 증가 할 때마다 처리이득이 2 배씩 감소하므로 일량용량이 절반씩 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

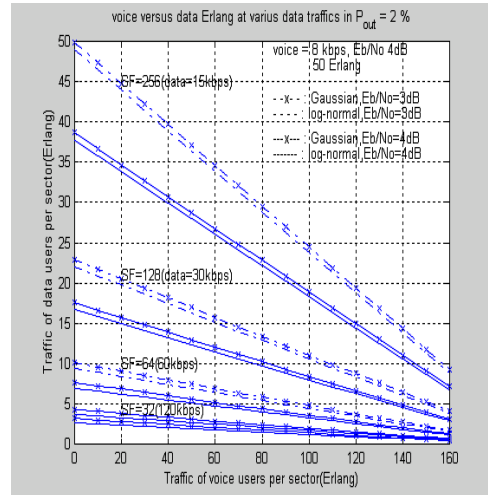


그림 1. $E_b/N_o=3$ dB, 4 dB에서 15, 30, 60, 120 kbps일 때 음성 일량 대 데이터 일량 용량

그림 2와 3은 $E_b/N_o=5$ dB일 때 WCDMA UTRA-FDD 시스템에서 사용하는 VSF 값 4 에서 256 사이에 음성 대 데이터 일량용량 관계를 나타내었다. 8 kbps 음성 서비스에서 50 일량인 경우, 데이터 서비스속도가 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 kbps일 때 가우시안 분포에서 각각 23 일량, 8.6 일량, 3.5 일량, 2.4 일량, 0.92 일량, 0.3 일량, 0.16 일량으로 데이터 속도가 2 배씩 증가할 때마다 처리이득이 감소함으로서 저속에서 고속의 데이터 서비스까지 일량용량이 절반씩 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

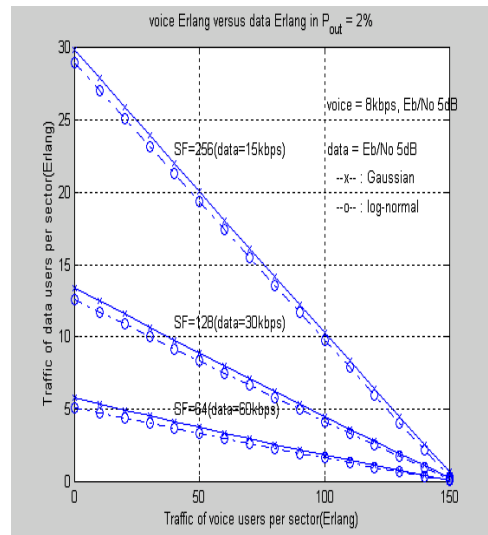


그림 2. $E_b/N_o=5$ dB에서 15, 30, 60 kbps일 때 음성 일량 대 데이터 일량용량

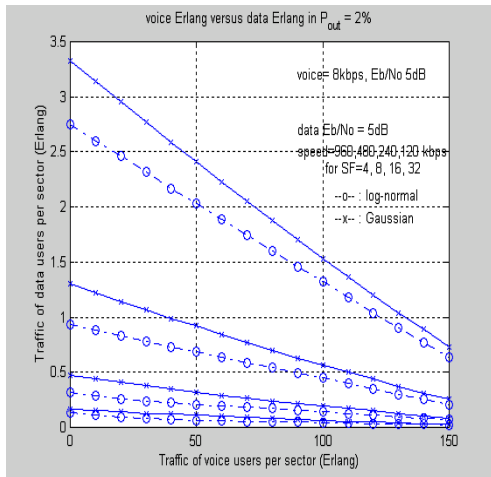


그림 3. $E_b/N_o=5$ dB에서 120, 240, 480, 960 kbps일 때 음성 얼랑 대 데이터 얼랑 용량

그림 4는 8 kbps 음성 서비스에서 $E_b/N_o=5$ dB에서 15 kbps일 때 다중 셀 간섭 보정 계수에 따른 음성 얼랑 대 데이터 얼랑 용량 관계를 나타내었다. WCDMA 시스템은 인접한 다중 셀로부터 간섭의 영향을 받고 이에 의해 셀 용량이 결정된다고 볼 수 있다. 참고문헌 [5]에서 음성과 데이터 서비스에 대한 간섭 보정 계수를 각각 계산하였으나 큰 차이가 없는 것으로 확인되었으므로 본고에서는 구분없이 적용하였다. 음성 서비스에서 50 얼랑인 경우, 핸드오프를 하지 않는 경우 즉 단일 셀일 때는 43 얼랑, 하드 핸드오프할 때는 4 얼랑, 두 셀 간 소프트 핸드오프할 때는 20 얼랑 이었다.

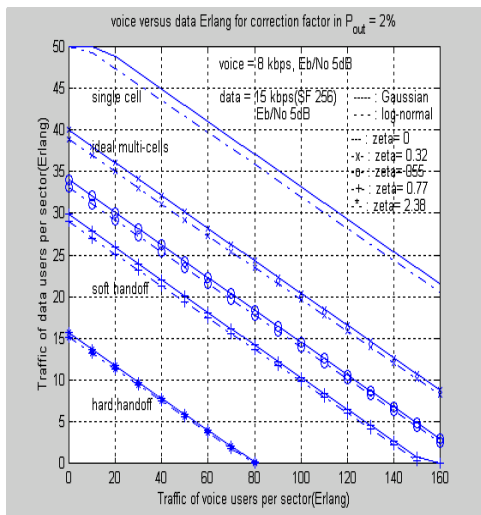


그림 4. $E_b/N_o=5$ dB에서 15 kbps일 때 다중 셀

간섭 보정 계수에 따른 음성 얼랑 대 데이터 얼랑용량 따라서 똑 같은 조건에서 소프트 핸드오프하는 경우가 하드 핸드오프에 비해서 얼랑용량은 16 얼랑, 증가하고 있어 소프트 핸드오프 이득이 발생한다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 저속의 음성과 고속의 데이터가 함께 서비스되는 WCDMA 시스템의 불완전 전력제어된 역방향 링크에서 사용자 수의 분포가 높고 낮음에 따라 가우시안 또는 로그노멀 분포에 근거로 차단 확률을 유도하였다. 여기서 차단확률이 2 % 인 상태에서 여러 데이터 속도에 따른 VSF 값에 따라 음성 대 데이터 트래픽 분석을 위해 얼랑용량을 계산하였다. 시뮬레이션 결과 음성 대 데이터 트래픽은 서로 역 선형 관계를 이루고 있다는 것으로 확인되었고, 시스템에서 필요하는 E_b/N_o , 음성 및 데이터의 활동률, 전력제어 오차, 다중 셀 간섭보정 계수, 차단확률 값 등의 파라미터가 음성 대 데이터 얼랑 용량에 증대한 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 이의 결과로 VSF 값의 선택에 따라 여러 처리이득에 의해 저속에서 고속에 이르는 데이터 서비스를 하는 WCDMA 시스템에서 음성과 데이터에 대한 현실적인 셀 얼랑용량을 계산하는 새로운 방식이 될 수 있으며, 셀의 최적 설계를 위한 이론적 근거로 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] A. Golaup and H. Aghvami, "Reverse link Erlang capacity of a W-CDMA system supporting voice and WWW users," *IEEE VTC'01*, vol. 2, pp. 605-609, Oct. 2001.
- [2] A. J. Viterbi, et al.; "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increase reverse link capacity", *IEEE J. on Sel. Areas Comm.*, vol. 12 no. 8, pp. 892-900, Oct. 1994.
- [3] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.
- [4] S. C. Schwartz and Y. S. Yeh, "On the distribution function and moments of power sums with log-normal components," *Bell System Tech. J.*, vol. 61, no.7, pp. 1441-1462, Sept. 1992.
- [5] Y. S. Kwon and N. Kim, "Capacity and cell coverage based on calculation of the Erlang capacity in a WCDMA system with multirate traffic," *IEICE Trans. communication*, vol. E87-B, no. 8, 2004.