

WCDMA 역방향 링크에서 다중속도 트래픽에 따른 음성/데이터 얼랑용량 계산과 셀 커버리지

Cell Coverage Based on Calculation of the Voice-Data Erlang Capacity in a WCDMA Reverse Link with Multi-rate Traffic

권 영 수 · 한 태 영* · 김 남*

Young-Soo Kwon · Tae-Young Han* · Nam Kim*

요 약

음성과 데이터를 동시에 다양한 전송속도로 서비스하는 불완전 전력제어된 WCDMA 시스템의 역방향 링크에서 사용자 수 분포도에 따라 유도한 차단확률로부터 얼랑용량을 계산하고, COST231 WI(Walfisch-Ikegami) 모델로부터 전파손실을 계산해서 사용자 수와 셀 커버리지의 관계를 새롭게 제안하여 분석하였다. 데이터 전송속도 15 kbps에서 960 kbps 사이 음성과 데이터 사용자에게 대한 얼랑용량은 상호 역 선형관계로 나타났고, 음성 사용자를 8 kbps 속도에서 50 얼랑 기준으로 할 때 차단확률 2 %에서 E_b/N_o 가 4 dB에서 3 dB로 낮출 경우 15 kbps 저속에서는 데이터 용량이 8.5 얼랑 용량증가와 함께 도시 교외지역에서 셀 커버리지가 100 m 확장되었고, 960 kbps 고속에서는 0.11 얼랑 증가와 함께 셀 커버리지도 40 m 확장되었다. 여기서 차단확률을 조금 높였을 때 얼랑용량은 증가하지만 셀 커버리지에는 별 영향이 없었고, 셀 내 사용자 수의 증가에 따라 셀 커버리지는 감소하였다.

Abstract

A scheme to evaluate the number of users and cell coverage of a WCDMA supporting multi-rate traffic is newly presented through calculation of the realizable Erlang capacity from a derived blocking probability and the path loss from the COST231 Walfisch-Ikegami(WI) model. We evaluate the voice-data Erlang capacities at various data rates of 15 kbps to 960 kbps and it is shown that they have a linear relationship to each other. When the E_b/N_o is low from 4 dB to 3 dB in case of voice capacity of 50 Erlang at 8 kbps, the result shows the increase for the data capacity of 10 Erlang and the enlargement of 100 m for the cell coverage at low rate of 15 kbps, and the increase of 0.11 Erlang and the enlargement of 40 m at high rate of 960 kbps. The increase of the blocking probability results in the increase of the Erlang capacity, but not an effect on the cell coverage, and the increase of active users in a cell results in the decrease of the coverage.

Key words : WCDMA, Multi-Rate Traffic, Blocking Probability, Erlang Capacity, Cell Coverage

I. 서 론

디지털 CDMA 기술을 채택한 이동통신은 현재의 음성서비스를 위주로 하는 셀룰라 시스템과 PCS 시

스템에서 벗어나 멀티미디어 서비스를 목표로 하는 IMT-2000과 WCDMA 시스템의 차세대 이동 통신시장으로 변해가고 있다.

이동통신 환경에서는 양질의 서비스를 위해서 성

주성대학 디지털방송과(Dept. of Digital Broadcasting, Juseong College)

*충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer & Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논 문 번 호 : 20040105-001

· 수정완료일자 : 2004년 3월 3일

능을 평가, 개선하는 기술이 매우 중요하게 대두되었고, 사용자 관점에서 QoS(Quality of Service)의 성능척도로는 BER(Bit Error Rate), FER(Frame Error Rate), 셀 용량, 호 차단율, 셀 커버리지 등이 있다. 순·역방향 링크에서 대체로 QoS는 FER 관점에서 측정하며 E_b/I_n (비트 에너지 대 총 수신전력)와 상호관련이 있고, 이동체 속도, 전파환경의 조건, 타이동체의 분포도에 따라 결정된다. QoS 조건으로 FER의 전형적인 값은 0.2%~3%이고 연집(burst)에러의 최고 길이는 3~4 프레임으로 정하고 있다^[1].

CDMA 시스템에서 차단확률을 구할 때 명확한 차단조건은 없지만, 사용자 수가 증가할수록 간섭레벨이 증가하여 서비스품질을 저하하는 결과를 초래하고 모든 사용자는 동일 무선주파수를 공유하기 때문에 FER 또는 호 차단률을 증가시킨다. 만일 서비스 제공자가 높은 간섭과 어느 정도 임계값에서 서비스 품질을 허용한다면 연 차단(soft blocking)으로 차단확률을 구한다. 얼량용량(Erlang)은 채널 트래픽과 다중 셀의 간섭에 대한 확률분포를 고려해 동시에 발생하는 평균 사용자수를 계산하는 것이다^{[2],[3]}.

이와 더불어 각 시스템마다 특정속도의 지원을 위해서는 셀 커버리지의 축소 문제가 있어 전송속도 비교시 반드시 셀 커버리지에 대한 비교가 되어야 할 것이다. 셀 커버리지의 정확한 계산을 위해서는 여러 요인에 의한 전파 손실특성이 잘 반영된 전파모델의 선택적용이 필요하고^[4], 본 연구에서는 WCDMA 환경에 적합한 COST231 WI 모델을 적용하였다.

지금까지 사용자수와 셀 커버리지라는 관점에서 시스템 설계기준으로 셀 최대용량을 열 잡음을 무시하고 완벽한 전력제어를 전제로 한 이상적인 조건에서 음성 서비스에 대한 용량을 구하여 적용하였지만^{[4],[5]}, 이는 불완전 전력제어 오차, 페이딩, 간섭 등의 영향이 반영된 현실적인 이동 통신환경에는 미흡하고, 특히 저속에서 고속에 이르기까지 음성과 데이터를 함께 서비스하는 WCDMA 시스템에 대한 연구가 부족한 게 사실이었다. 본 연구에서는 이를 보완 개선하고자 불완전 전력제어, 호 트래픽, 다른 셀의 간섭 등을 고려해서 사용자 수의 분포에 따라 가우시안 및 로그노멀 분포로 차단확률을 유도하고 이를 근거로 전송속도별 얼량용량을 계산해서 셀 커버리

지와의 관계를 새롭게 제안하여 분석한다.

WCDMA FDD(Full Division Duplex) 역방향 링크에서 지정 데이터채널(Dedicated Physical Data Channel, DPDCH)을 한 개 사용하는 경우에 전송속도 구별을 위해 정의한^[1] 가변확산계수 VSF(Variable Spreading Factor) 4~256에 해당하는 15 kbps~960 kbps 속도에서 E_b/N_0 값에 따라 음성과 데이터 사용자에 대한 얼량용량 관계를 상호분석하고, 셀 커버리지 계산에서 셀 최대용량은 QoS를 고려해 차단확률 2%를 전제로 현실적인 채널 수를 구할 수 있는 얼량용량을 계산해서 적용하였고, 이것을 파라미터로 COST-WI 모델에 의해 전파손실을 구하여 도시·교외지역에서 사용자 수에 따른 셀 커버리지와의 관계를 보다 현실적인 관점에서 분석하였다. 따라서 다양한 전송속도별 얼량용량 계산에 의해 사용자 수와 셀 커버리지 관점에서 분석적 모델 제시로 WCDMA의 셀 설계시 이론적 근거와 현실적인 시스템 설계기준이 될 수 있을 것이다.

II. 차단확률에 의한 음성/데이터 얼량 용량

CDMA 시스템에서 셀 용량에 대한 수학적 분석은 완벽한 전력제어를 전제로 열 잡음이 전혀 존재하지 않는 셀 환경에서 이론적인 역방향 셀 최대용량을 나타내는 폴 용량(pole capacity) 산출방식과 호 차단률로부터의 통계적 산출방식인 얼량용량 산출방식이 있다^[2]. 차단확률을 근거로 셀당 용량을 구하는 방법이 대체로 두 가지가 있으나 중요한 차이가 있다. 이항분포와 로그노멀 근사에 의해 차단기준으로 미리 정한 에러율에 요구되는 SIR_{req} (Signal to Interference Ratio) 값을 사용해서 그 값 이하인 경우를 실패(failure)로 간주해서 여기서 셀 용량을 구하게 된다. 반면에 포아송 분포와 가우시안 근사에 의해 차단기준으로 최대 허용간섭 값 η 를 사용하여 간섭 때문에 시스템에 과부하가 걸릴 때 이를 차단(blocking)으로 간주하고 얼량용량을 구한다^{[1],[2]}.

CDMA 시스템에서 역방향 링크모델은 첫째 일반적으로 음성과 데이터에 대한 사용자 수 N 과 M 의 평균이 λ/μ 인 포아송 분포를 이루고 있고, 둘째 음성과 데이터 활동율 ν 는 사용자의 활동상태의 유무($\nu, 1-\nu$)를 나타내고 있으며, 셋째 수신된 SIR 값

$\epsilon (= E_b/I_o)$ 는 불완전 전력제어로 인하여 모든 사용자가 서로 다른 값을 갖는 분포를 이루고 있다고 볼 수 있다. 이동통신 사용자에게 보다 더 현실적이고 다중 액세스 시스템에 아주 근접하기 때문에 차단된 호를 성립될 때까지 재시도하는 LCH(lost call held) 열량 C 모델이 CDMA 시스템 모델에 더 적합하며^[2], 이를 적용시켜서 차단확률을 유도한다. 참고 문헌 [2], [6]에서 음성만 서비스하는 CDMA 시스템에 대한 표현식을 WCDMA 시스템으로 확장해서 음성과 데이터 사용자에게 아래 첨자 v 와 d 를 사용해서 동일 셀과 다른 셀에 속한 모든 이동체에 의해 발생하는 기지국에서 총 간섭 양은 배경잡음 N_o 와 함께 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 E_{vi} 와 E_{di} 는 i 번째 음성과 데이터 사용자에게 대한 수신된 비트 에너지이고, ν_v 와 ν_d 는 음성과 데이터 신호의 활동률이고, N_o 는 배경(열) 잡음을 나타낸다. PG_v 와 PG_d 는 음성과 데이터 신호 속도 R 와 칩률 W 에 의한 처리이득(WR_v , WR_d)이다. 첫째 항과 둘째 항은 동일 셀의 음성 및 데이터 사용자에게 대한 이동국 간섭이며, 세 번째 항은 다른 셀의 이동체들의 간섭을 나타낸다.

동일한 셀과 다른 셀에 속한 모든 이동체에 의한 간섭으로 차단확률을 구할 때 앞서 언급된 사용자 수, 활동율, 사용자에게 대한 수신된 비트 에너지는 모두 랜덤변수이므로 이를 하나의 랜덤변수 Z 로 묶어서 식 (1)을 I_o 로 나누고, $\epsilon = E_b/I_o$, $\eta = N_o/I_o$ 로 대체하여 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

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

N , ν , ϵ 는 서로 독립인 가우시안 랜덤변수라고 하면, 참고문헌 [2]에서 음성만 서비스하는 경우에 구한 평균과 분산을 이용해서 WCDMA 시스템의 단일

셀에서 랜덤변수 Z 에 대해 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 와 m_d 는 음성과 데이터 신호에 대해 시스템에서 필요한 E_b/N_o 값, σ_v 와 σ_d 는 음성과 데이터 신호에 대한 SIR 표준편차, ρ_v 와 $\rho_d (= \lambda/\mu)$ 는 음성과 데이터에 대한 평균 사용자 수, α_v 와 α_d 는 음성과 데이터 신호에 대한 평균 활동률, β 는 $\ln 10/10$ 을 각각 나타낸다.

다른 셀로부터 간섭 영향을 받는 다중 셀에서 음성과 데이터 신호에 대한 각각의 다중 셀 간섭 보정 계수 ξ 값은 참고문헌 [7]의 연구결과에서 차이가 거의 없는 것으로 확인되었고, 평균과 분산에 대한 계산은 단순히 $(1+\xi)$ 배씩 증가한다고 볼 수 있다^{[2],[8]}.

셀 용량을 구하기 위해서 차단확률을 구할 때 일반적으로 사용자 수가 작은 경우에는 로그노멀 분포를 사용하지만, 반면에 사용자 수가 많은 경우에는 가우시안 분포를 사용해서 구하는 것이 타당하다^[6]. 먼저 WCDMA 시스템에서 가우시안 분포에 의해 구하고자 한다. Z 는 랜덤변수들의 합이고 집중극한(central limit) 정리를 적용함으로써 가우시안 랜덤변수가 되고 $Z = m_M + \sigma_M G$ 로 표현할 수 있다. 만약 차단 임계치 η 가 0.1(또는 10 dB)보다 작으면 시스템이 간섭으로 과부하가 걸리게 되어 차단이 발생된다고 할 수 있다^[2]. 따라서 식 (3), (4)를 이용해서 가우시안 분포에 의한 차단확률을 구하면 다음과 같다.

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

여기서 차단 임계치 $\eta (= N_o/I_o)$ 에 의한 차단기준은 음성과 데이터가 함께 서비스되는 상황이므로 $K = 1 - \eta$ 이고, G 는 평균이 영인 단위 표준편차(unit-variance) 가우시안 랜덤변수이다. $Q(\tau)$ 함수는 다음과 같다.

$$Q(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\tau}^{\infty} e^{-t^2/2} dt \quad (6)$$

다음은 사용자 수 분포가 매우 낮은 WCDMA 시스템에서는 로그노멀 분포에 의해 차단확률을 구한다⁹⁾. 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 식 (3), (4)를 참고문헌 [9]에서 제시한 다음과 같은 표현식에 대입해서 계산할 수 있다.

$$m' = E[Z'] = \ln E[Z] - \frac{1}{2} \sigma'^2 \quad (7)$$

$$\sigma'^2 = \text{var}[Z'] = \ln \left[\frac{\text{Var}[Z]}{(E[Z])^2} + 1 \right] \quad (8)$$

따라서 식 (7), (8)을 이용해서 로그노멀 분포에 의한 차단확률은 다음 식을 이용해서 구할 수 있다.

$$P_{out} = \Pr[Z' > \ln K] = \Pr[e^{m + \sigma'G} > \ln K] \\ = Q \left[\frac{\ln K - m'}{\sigma'} \right] \quad (9)$$

위에서 유도한 차단확률로부터 음성과 데이터 사용자가 함께 서비스되는 WCDMA 시스템에서 열량용량 계산할 수 있고, 3 섹터로 구성된 셀 구조에서 섹터 당 음성과 데이터에 대한 평균 사용자 수로 열량용량 ρ_v 와 $\rho_d (= \lambda/\mu)$ 는 P_{out} 과 음성 열량용량이 미리 주어진 상황에서 데이터 열량용량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\lambda/\mu)_d \text{ 3sectors} = (\lambda/\mu)_d \cdot \delta, \\ (P_{out} \text{와 } (\lambda/\mu)_v \text{는 일정}) \quad (10)$$

여기서 δ 는 3 섹터 셀 구조에서 섹터 이득을 나타낸다.

III. WCDMA에서 셀 커버리지

전파손실을 구할 때 Hata/CCIR 전파모델은 셀이 비교적 넓은 시스템에서 850 MHz대의 셀룰러 CDMA에서 적합하였지만, 2 GHz 대역의 IMT-2000 또는 WCDMA 시스템에는 부적합하기 때문에 중심 주파수가 0.8 GHz에서 2 GHz까지, 링크 거리 0.02 km에서 5 km까지 적용 가능한 COST-231 WI 모델이 적합하다^{[11][10]}. 이는 자유공간 손실, 건물과 거리구조

에 의한 회절과 산란 손실, 다중 스크린 회절손실 성분을 포함하고 있기 때문에 타 모델에 비해 더 정확한 전파손실을 계산할 수 있다. 참고문헌 [10]에서 구한 전파손실에 대한 표현식을 본 연구에서 제안한 모델로 확장해서 링크거리 d 의 함수로 유도하면 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$PL = L_f + L_{rts} + L_{msd} \\ = \{ 32.45 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f \} \\ + \{ -16.9 - 10 \log_{10} w + 10 \log_{10} f \\ + 20 \log_{10} \Delta h_m + L_\theta \} \\ + \{ L_{sh} + k_a + k_d \log_{10} d + k_m \log_{10} f - 9 \log_{10} b \} \\ = A + B \log_{10}(d) = 134.4404 + 38 \log_{10}(d) \quad (11)$$

여기서 L_f 은 자유공간 손실을, L_{rts} 은 옥상-거리의 굴절 및 산란 손실을, L_{msd} 은 다중 스크린 굴절손실을 각각 나타낸다. 중심주파수 f 는 1.9 GHz이고, A 와 B 는 전파손실의 지수계수로 다음과 같이 구체적으로 계산하여 표현하였다. w 와 b 는 도시지역에서 거리 폭(20 m)과 빌딩과 빌딩 사이의 간격(40 m)이고 $\Delta h_m = h_{bd} - h_m$ 와 $\Delta h_b = h_b - h_{bd}$ 는 옥탑과 이동체 안테나 높이 h_m 사이 길이(20 m)와 옥탑 위에서 기지국 안테나 높이 h_b 사이 길이(10 m)를 나타낼 때, 방향손실 L_θ 는 90° 경우 0.01, 음영이득 $L_{sh} (= -18 \log_{10}(1 + \Delta h_b))$ 는 $\Delta h_b > 0$ 인 경우 18.7451, 도시 및 교외지역에서 다중 스크린 회절손실 k_d 와 k_a 는 $\Delta h_b > 0$ 경우 54와 18, $k_m (= -4 + 0.7(f/925 - 1))$ 은 -3.2622로 각각 계산될 수 있다.

최대 전파손실은 실제 셀 경계지점인 $d_{km} = R_{km}$ 에서 발생한다고 볼 수 있고, 불완전 전력제어된 역방향 링크에서 기지국 및 이동체 설치에서 기계적 구성에 의한 전파손실 및 전력예산 관점에서 데이터 사용자의 셀 부하(M/M_{max} : 사용자 수와 셀 최대용량 비^[11])를 함수로 최대 전파손실을 다시 구하면 다음과 같다.

$$PL_{max} = P_{R_{no loss}} - [P_{user} - 10 \log_{10}(1 - M/M_{max})] \quad (12)$$

여기서 두 번째 항은 기지국 수신기에서 필요한 최소전력이고, 전파손실이 없는 경우 기지국에서 수신되는 이동체의 송신전력과 한 명의 사용자에 대한

최소 필요 수신전력은 각각 다음과 같다^[4].

$$P_{R_{no-loss}} = P_m + G_m - L_m - L_p - L_b + G_c - L_c \quad (13)$$

$$P_{user} = E_b/N_{o_{req}} + N_o + W - PG \quad (14)$$

여기서 PG 는 WCDMA에서 칩 윗 3.84 MHz에 대해 VSF 값에 따른 데이터 속도 15 kbps에서 960 kbps 사이 처리이득으로 계산해야 하고, N_oW 는 기지국 수신기의 잡음지수가 5 dB일 때 1 FA 대역폭 내 열 잡음전력으로 수신감도는 규격에서 정한 값보다 더 좋은 -103 dBm을 적용하였다. 식 (13)은 역방향 링크에서 이동체의 송신전력 P_m 을 0.2 W로 출력하고, 기지국 선로손실 L_c 은 0.06 dB/m의 손실이 있는 7/8 인치 케이블 30 m 정도로 할 때 2 dB로 계산하였고, 이동체 선로 손실 L_m 은 없는 것으로 하였고, 기지국 및 이동국 안테나이득 G_c 와 G_m 은 14 dBi와 2 dBi 이고, 이동체 안테나 방향손실 L_p 와 빌딩 투과 허용치 L_b 는 3 dB와 10 dB로 전력 및 전파손실 파라메터는 대체로 많이 적용하는 값들로 선택하였다.

셀 커버리지와 전파손실과 관계를 위해서 셀 경계지점 $d_{km} = R_{km}$ 로 바꾸어 최대 전파손실을 링크 거리의 함수로 식 (12)를 이용해 식 (11)을 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$R(km) = \exp(\beta(PL_{max} - A)/3.8) \quad (15)$$

여기서 β 는 $\ln 10/10$ 이고, 전파손실 계수는 3.8로 표현되었다.

IV. 결과 분석

차단확률 식 (5)와 (9)를 이용해서 서비스 품질을 보장하도록 이 값을 2 % 또는 5 %로 미리 정해 놓고, WCDMA 역방향 링크에서 표 1에 표시한 파라메터 값을 적용하였다. 여기서 음성과 데이터를 함께 서비스하므로 상대적 비교를 위해 음성 사용자에게 대해서는 8 kbps 속도로 고정 설정하고, 식 (1)과 (14)에서 처리이득 PG 의 조절에 의해 다양한 속도로 데이터 전송이 가능하며, WCDMA UTRA-FDD 역방향 링크에서 통화채널인 DPDCH 채널의 데이터 전송속도를 구별하기 위해 정의한 VSF 4~256에 해당되는 15 kbps~960 kbps 속도까지 음성 대 데이터 트래픽

표 1. WCDMA 역방향 링크에서 시뮬레이션 파라메터
Table 1. Simulation parameters in WCDMA reverse link.

| 파라메터 | | 기호 | 값 |
|----------|-----|---------------|-------------------------------------|
| 대역폭 | | B | 5 MHz |
| 칩 레이트 | | W | 3.84 MHz |
| 전송속도 | 음성 | R_v | 8 kbps |
| | 데이터 | R_d | 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 kbps |
| SIR 평균 | 음성 | E_b/N_{o_v} | 4 dB |
| | 데이터 | E_b/N_{o_d} | 3, 4 dB |
| SIR 표준편차 | 음성 | σ_v | 1.5 dB |
| | 데이터 | σ_d | |
| 활동률 | 음성 | v_v | 0.4 |
| | 데이터 | v_d | 1 |
| 간섭보정계수 | | ξ | 0.77 |
| 차단확률 | | P_{out} | 2 %, 5 % |
| 차단 임계치 | | η | 0.1(10 dB) |

을 열량용량으로 각각 계산하여 셀 커버리지와의 관계를 분석한다.

그림 1과 2는 다양한 데이터 속도에서 차단확률 2 %와 5 %일 때 $E_b/N_o=3$ dB와 4 dB에 대한 4가지 경우에 대하여 음성 대 데이터 열량용량을 각각 표시하였다. 음성 대 데이터 사용자에게 대한 열량용량은 서로 역 선형(inverse linear) 관계로 확인되었고, $E_b/N_o=3$ dB 경우 사용자 수가 $P_{out}=5$ %일 때가 $P_{out}=2$ %인 경우에 비해 데이터 속도 15, 30, 60, 120, 240, 480 kbps일 때 각각 1.5 열량, 1 열량, 0.5 열량, 0.4 열량, 0.3 열량, 0.2 열량씩 더 많은 것으로 나타났고 이는 데이터 트래픽에서 서비스 품질의 기준이 다르기 때문이다. 상대적 비교를 쉽게 하기 위해 $P_{out}=2$ %인 경우 음성 사용자에게 대해서는 8 kbps 속도에서 50 열량 기준으로 $E_b/N_o=4$ dB에서 3 dB로 1 dB 낮출 경우 데이터 속도 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 kbps일 때 각각 29 열량에서 8.5 열량, 13 열량에서 4 열량, 5.5 열량에서 2 열량, 2.3 열량에서 0.8 열량, 0.9 열량에서 0.35 열량, 0.3 열량에서 0.15 열량, 0.11 열량에서 0.11 열량씩 증가하였다. 데이터 속도가 2 배씩 증가할 때마다 처리이득이 2 배

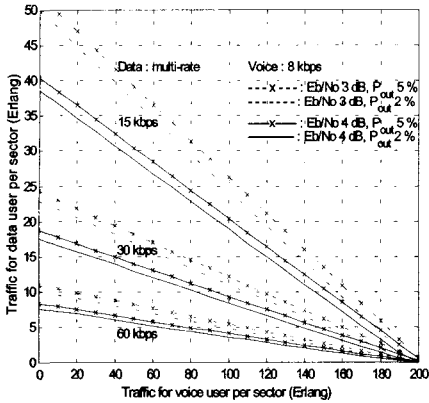


그림 1. $P_{out} = 2\%$, 5% 에서 음성 대 데이터 얼랑용량(15 kbps~60 kbps)

Fig. 1. Voice versus data Erlang capacity per sector at 15~60 kbps in $P_{out} = 2\%$ and 5% .

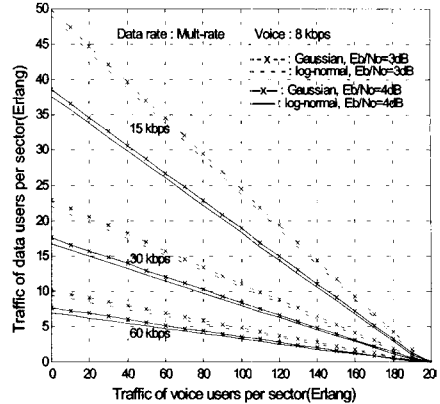


그림 3. 사용자 분포도에 따른 $P_{out} = 2\%$ 에서 음성 대 데이터 얼랑용량(15 kbps~60 kbps)

Fig. 3. Voice versus data Erlang capacity per sector at 15~60 kbps in $P_{out} = 2\%$.

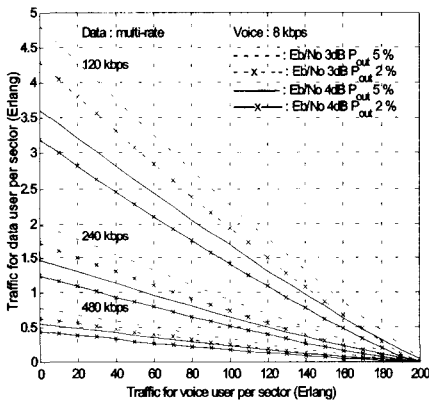


그림 2. $P_{out} = 2\%$, 5% 에서 음성 대 데이터 얼랑용량(data rate = 120 kbps~480 kbps)

Fig. 2. Voice versus data Erlang capacity per sector at 120~480 kbps in $P_{out} = 2\%$ and 5% .

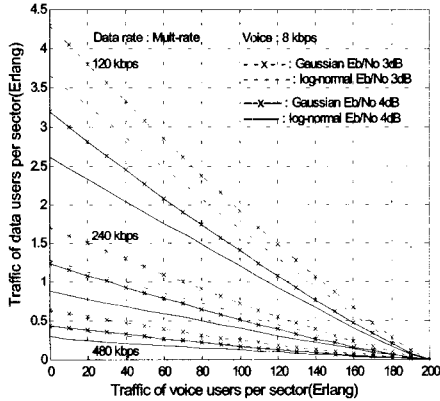


그림 4. 사용자 분포도에 따른 $P_{out} = 2\%$ 에서 음성 대 데이터 얼랑용량(120 kbps~480 kbps)

Fig. 4. Voice versus data Erlang capacity per sector at 120~480 kbps in $P_{out} = 2\%$.

씩 감소하므로 얼랑용량은 절반씩 또는 그 이상 감소한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 3과 4는 다양한 데이터 속도에서 $P_{out} = 2\%$ 일 때 사용자 수 분포에 따라 가우시안 또는 로그노멀 근사에 대해 $E_b/N_o = 3$ dB와 4 dB에 대한 4가지 경우에 대하여 음성 대 데이터 얼랑 용량을 각각 표시하였다. 사용자 수가 가우시안 분포일 때가 로그노멀 분포인 경우에 비해 데이터 속도 15, 60, 120, 480, 960 kbps일 때 0.5 얼랑에서 1 얼랑 더 많은 것으로 나타나 별 차이가 없었지만, $P_{out} = 2\%$ 에서

$E_b/N_o = 4$ dB에서 1 dB 감소시킬 경우 전송속도별로 위와 비슷한 얼랑용량이 증가된다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 WCDMA 시스템에서는 성능개선을 통해 데이터 신호가 잡음으로부터의 영향을 최소화 함으로서 시스템에서 요구되는 E_b/N_o 값을 하향 조절할 수 있고 그 만큼의 통화채널 당 할당전력을 줄일 수 있어 셀내에 분포하는 전체 잡음레벨을 낮추어 무선통화 용량을 증가시킬 수 있다는 것을 본 연구의 결과고찰을 통해 확인할 수 있었다.

그림 5와 6은 위의 그림 1과 2에서 얻은 얼랑용량

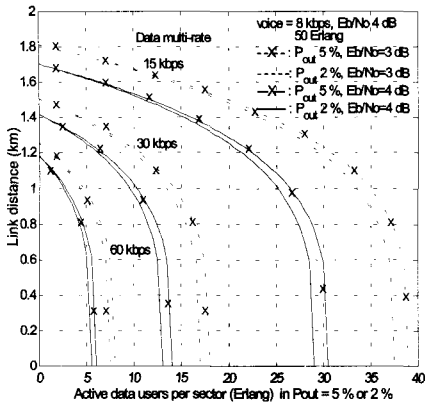


그림 5. $P_{out} = 2\%$, 5% 에서 얼랑용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지(15 kbps~60 kbps)
 Fig. 5. Cell coverage versus data users(Erlang) at 15~60 kbps in city and suburban area.

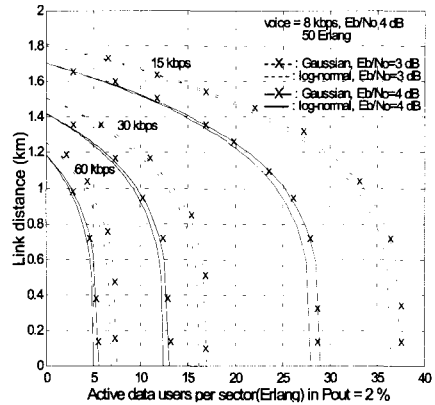


그림 7. 사용자 분포도에 따라 $P_{out} = 2\%$ 에서 얼랑 용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지(15 kbps~60 kbps)
 Fig. 7. Cell coverage versus data users(Erlang) at 15~60 kbps in city and suburban area.

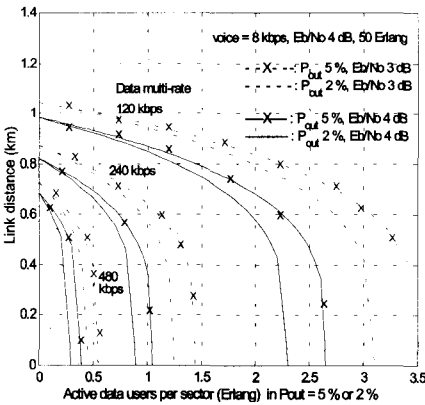


그림 6. $P_{out} = 2\%$, 5% 에서 얼랑용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지(120 kbps~480 kbps)
 Fig. 6. Cell coverage versus data users(Erlang) at 120~480 kbps in city and suburban area.

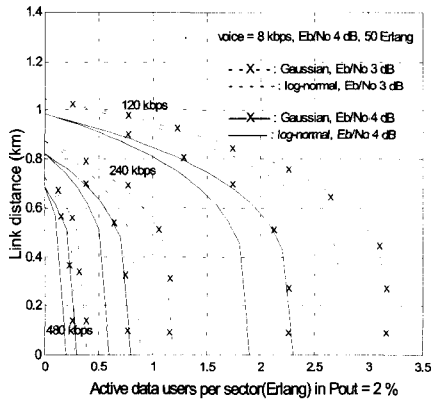


그림 8. 사용자 분포도에 따라 $P_{out} = 2\%$ 에서 얼랑 용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지(120 kbps~480 kbps)
 Fig. 8. Cell coverage versus data users(Erlang) at 120~480 kbps in city and suburban area.

계산결과에 근거해 $P_{out} = 2\%$ 와 5% 에서 $E_b/N_0 = 3$ dB와 4 dB에 대한 4가지 경우에 대하여 도시 및 교외지역에서 얼랑 용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지를 각각 표시한 것이다. $P_{out} = 5\%$ 와 2% 인 경우를 서로 비교하면 데이터 전송속도별 얼랑용량 변화에는 영향을 주었지만 셀 커버리지에는 사용자 수가 작아질수록 별 차이가 없는 것으로 확인되었다. 셀내에서 호 트래픽이 증가하여 사용자수가 점점 많아질수록 셀 커버리지는 점점 줄어들고 마침내 그 숫자가 셀 용량만큼 될 때는 기하급수적

으로 축소되어 통화불능 상태로 된다는 것을 알 수 있다. 이는 셀 내에서 셀 부하가 많이 걸려 통화가 차단되기 때문이다.

그림 7과 8은 위의 그림 3과 4에서 얻은 얼랑용량 계산결과에 근거해 가우시안과 로그노멀 근사에 따라서 $E_b/N_0 = 3$ dB와 4 dB에 대한 4가지 경우에 대하여 도시 및 교외지역에서 얼랑 용량에 따른 데이터 사용자 수 대 셀 커버리지를 각각 표시한 것이다. 사용자 수가 가우시안 분포일 때가 로그노멀 분포인

경우에 비해 전송속도별 0.5 얼랑에서 1 얼랑 정도 차이가 있었지만 셀 커버리지면에서는 사용자 수가 작아 질수록 거의 차이가 없는 것으로 확인되었다. 상대적 비교를 쉽게 하기 위해 $P_{out}=2\%$ 에서 음성 사용자에게 대해서는 8 kbps 속도에서 50 얼랑 기준으로 $E_b/N_o=4$ dB에서 1 dB 낮출 경우 데이터 전송속도 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 kbps일 때 각각 29 얼랑에서 8.5 얼랑, 13 얼랑에서 4.5 얼랑, 6 얼랑에서 1.6 얼랑, 2.3 얼랑에서 0.9 얼랑, 0.85 얼랑에서 0.35 얼랑, 0.3 얼랑에서 0.15얼랑, 0.11 얼랑에서 0.11 얼랑 용량증가와 더불어 1.7 km에서 100 m, 1.41 km에서 90 m, 1.18 km에서 80 m, 0.98 km에서 70 m, 0.81 km에서 60 m, 0.68 km에서 50 m, 0.58 km에서 40 m씩 각각 확장되었다.

960 kbps일 때 결과는 그래프 대신에 수치결과만 표시하였고, 이를 다중 속도별로 얼랑용량과 셀 커버리지에 대한 수치결과를 종합적으로 비교하도록 표 2에 별도로 나타내었다. 따라서 WCDMA 시스템에서는 음성과 데이터를 함께 VSF 값에 따라 저속

에서 고속에 이르기까지 서비스하므로 데이터 속도의 증가에 따라 얼랑용량이 줄어들게 되고 셀 커버리지도 함께 줄어든다는 것도 확인되었다.

DPDCH 채널을 한 개만 사용할 경우에 VSF 값은 전송속도에 따라 다르게 적용할 수 있지만, 복수개의 채널을 사용할 경우에는 모든 DPDCH 채널의 VSF 값은 4(960 kbps)로 고정시켜 최대 6 개의 병렬 구조로^[1] 수 Mbps까지 고속전송이 가능해진다. WCDMA에서 공통채널, 지정채널, 공용채널, 공통패킷 채널로 구분되어 패킷 스케줄링에 따라 요구되는 패킷의 특성 및 길이에 따라 한 개를 선택해서 전송채널로 사용하게 된다. 그러나 표 2의 결과에 의하면 전송속도의 증가는 사용자 수와 셀 커버리지의 감소를 초래하기 때문에 전송속도만의 절대적 기준은 적절하지 않은 것으로 나타났다. 다양한 전송속도 지원을 위한 VSF 값은 기지국과 이동체간에 협상을 통하여 설정되며, 주요 결정요소로 사용자의 요구조건, 통화 부하량에 의한 무선구간에서의 간섭량, 통화자원의 효율적 사용 등을 고려하여 결정해야 할 것이다.

표 2. 여러 다중속도에 따른 WCDMA 역방향 링크에서 얼랑용량과 셀 커버리지에 대한 수치결과
Table 2. Erlang capacity and cell coverage in WCDMA reverse link with multi-rate traffic.

| Data rate (kbps) | E_b/N_o (dB) | P_{out} (5% / 2% 경우) | | | |
|------------------|----------------|------------------------|------|--------------------|------|
| | | Data capacity (Erlang) | 증가 | Cell coverage (km) | 증가 |
| 15 | 3 | 39.0/ 37.5 | 8.5 | 1.80/ 1.80 | 0.1 |
| | 4 | 30.5/ 29.0 | | 1.70/ 1.70 | |
| 30 | 3 | 18.0/ 17.0 | 4 | 1.50/ 1.50 | 0.09 |
| | 4 | 14.0/ 13.0 | | 1.41/ 1.41 | |
| 60 | 3 | 8.0/ 7.50 | 2 | 1.26/ 1.26 | 0.08 |
| | 4 | 6.0/ 5.50 | | 1.18/ 1.18 | |
| 120 | 3 | 3.50/ 3.10 | 0.8 | 1.05/ 1.05 | 0.07 |
| | 4 | 2.65/ 2.30 | | 0.98/ 0.98 | |
| 240 | 3 | 1.45/ 1.15 | 0.35 | 0.87/ 0.87 | 0.06 |
| | 4 | 1.05/ 0.90 | | 0.81/ 0.81 | |
| 480 | 3 | 0.65/ 0.45 | 0.15 | 0.73/ 0.73 | 0.05 |
| | 4 | 0.5/ 0.30 | | 0.68/ 0.68 | |
| 960 | 3 | 0.32/ 0.22 | 0.11 | 0.62/ 0.62 | 0.04 |
| | 4 | 0.21/ 0.11 | | 0.58/ 0.58 | |

V. 결 론

본 연구에서는 저속의 음성과 고속의 데이터가 함께 서비스되는 WCDMA 시스템의 불완전 전력제어된 역방향 링크에서 차단확률을 유도하고, 전파모델에 의해 전파손실을 계산해서 얼랑용량을 기준으로 사용자 수와 셀 커버리지와의 관계를 새로운 관점에서 제안하여 분석하였다. 여기서 서비스품질을 고려한 차단확률, 요구되는 E_b/N_o , 사용자 분포도, VSF 값에 의한 15 kbps에서 960 kbps까지 데이터 전송속도 등을 파라미터로 적용하였다.

WCDMA 시스템에서는 음성과 데이터를 함께 서비스하므로 음성 대 데이터 트래픽은 서로 역 선형 관계로 확인되었고, 시스템 성능개선을 통해 데이터 신호가 잡음으로부터의 영향을 최소화시켜서 E_b/N_o 값을 하향 조정한 결과만큼의 통화채널 당 할당전력을 줄일 수 있어 셀 내에 분포하는 전체 잡음레벨을 낮추게 되어 무선통화에 대한 얼랑용량을 증가시키고 동시에 셀 커버리지도 증가하였고, 차단확률을 낮추게 되면 얼랑용량이 다소 줄어들지만 양질의 서

비스 품질을 얻을 수 있다는 것이 확인되었다. 데이터 속도의 증가에 따라 열량용량의 감소와 함께 특정 속도 지원을 위해서는 셀 커버리지도 줄어드는 결과를 가져와 전송속도 비교시 셀 용량뿐만 아니라 반드시 셀 커버리지도 함께 비교할 필요가 있다는 것을 확인하였다. COST231 WI 모델을 고속의 데이터를 전송하는 2 GHz 대역의 WCDMA 시스템에 적용하여 전파손실을 계산함으로써 더 정확한 셀 커버리지 계산 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 WCDMA 시스템의 역방향 링크에서 시스템 분석시 이상적인 셀 용량을 구하는 대신에, 다양한 전송속도별 열량용량을 계산해서 적용한다면 현실적인 셀의 채널 수 계산은 물론 사용자 수와 셀 커버리지라는 관점에서 보다 더 타당한 시스템 설계기준이 될 것이고, 셀의 최적설계를 위한 이론적 근거로 이용될 수 있을 것이다. 향후에는 복수개의 DP-DCH 채널을 병렬구조로 수 Mbps의 고속 데이터 전송과 각 채널별 데이터 트래픽에 따른 연구를 할 계획이다.

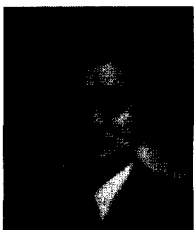
참 고 문 헌

[1] V. K. Garg, *IS-95 CDMA and cdma 2000 Cellular/PCS System Implementation*, Prentice-Hall, 2000.
 [2] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House, 1998.
 [3] A. Golaup, 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.

[4] K. Hiltunen, N. Binucci, "WCDMA downlink coverage: interference margin for users located at the cell coverage border", *IEEE VTC'02*, vol. 1, pp. 270-274, Spring 2002.
 [5] 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.
 [6] Q. Zhang, O. Yue, "UMTS air interface voice/data capacity - part 1: reverse link analysis", *IEEE VTC '01*, vol. 4, pp. 2725-2729, Spring 2001.
 [7] H. R. Kim, N. Kim, "Erlang capacity for reverse link of VSG-DS/CDMA cellular system", *Electronics Letters*, vol. 38, no. 23, pp. 1472-1474, Nov. 2002.
 [8] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system", *IEEE J. on Selected Area Communication*, vol. 11, no. 6, Aug. 1993.
 [9] S. C. Schwartz, 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, Sep. 1992.
 [10] H. C. Jeon, et al., "Analysis on coverage and capacity in adoption of repeater systems in CDMA 2000", *IEEE Int. Seminar on Broadband Comm.*, pp. 33-1-6, 2002.

권 영 수



1982년: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년: 충북대학교 정보통신공학과 박사수료
 1985년~1992년: LG 전자(주) 연구

소 선임연구원
 1992년~현재: 주성대학 디지털방송과 부교수
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 정보통신 시스템, 마이크로컴퓨터 응용설계

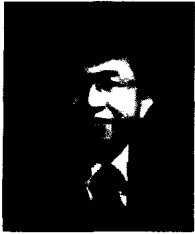
한 태 영



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년: 연세대학원 전자공학과 (공학석사)
 1985년~1992년: LG 정보통신(주)
 1992년~1998년: SK Telecom
 1999년~2001년: 주성대학 조교수

2002년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 이동통신, UWB 무선 통신, 시계열 예측 및 분석

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1983년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1988년: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1992년~1993년: 미 Stanford 대학

방문교수

2001년~2001년: 미 California Technology Institute(Caltech)

방문교수

1989년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자파해석, EMI/EMC, Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application