

IMT-2000 시스템 셀 용량 분석

정회원 황기환*, 홍인기*, 유인태*, 서덕영*

Cell capacity analysis for IMT-2000 system

Ki-Hwan Hwang*, Een-Kee Hong*, Ihn-Tae Yoo*, Duk-Young Suh* *Regular Members*

요 약

멀티 미디어 서비스를 지원하는 IMT-2000 시스템에서는 각각의 서비스는 서로 다른 데이터율, 비트 에러율, 지연 시간 등을 요구하고, 여러 가지 서비스가 혼재하는 경우에는 각 서비스 간의 간섭 양을 고려하여 주파수 효율과 커버리지를 구해야 한다. 따라서, 각 서비스 간의 전력비를 산출해내고, 사용자 분포에 따른 간섭 양을 구함으로써 주파수 효율과 커버리지를 구하였다. 여러 가지 데이터가 혼재할 경우, 데이터 종류가 많을수록, 각 서비스 사용자 분포가 균일하지 못할수록 또한 서비스간의 데이터율의 차이가 커질수록 주파수 효율이 떨어지고, 따라서 커버리지 역시 크게 줄어드는 것으로 나타났다. 계층 셀 구조를 고려할 때 각각의 셀이 제공하는 서비스를 분리하는 것이 모든 셀이 모든 서비스를 제공하는 것보다 용량이 향상되는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

In the IMT-2000 system that supports multimedia services, each service requires different QoS such as data rates, bit error rates and delay constraints. The inter-service interference should be considered in the analysis of system capacity that is evaluated in terms of the frequency efficiency and cell coverage.

In this paper, the power ratio between services, inter-service interference and outage probability are derived for the several user distributions and it determines the frequency efficiency and coverage.

The results show that frequency efficiency decreases as the number of services and the difference between data rates increase. In addition, the disparity of distribution of services reduces the system capacity. In the layered cell structure, it is better to restrict the supported services for the capacity than every service is provided in a cell.

I. 서 론

2000년대 초부터 서비스가 이루어지는 IMT-2000 시스템에서는 이동 통신 환경에서도 다양한 QoS (Quality of Service)를 요구하는 멀티미디어 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 음성 및 데이터에 대해서는 각각 10^3 과 10^6 의 비트 오율 (BER; Bit Error Rate)이 되도록 요구하고 있으며, 차량 144kbps, 저속 보행시 384kbps, 실내 2Mbps의 전송속도를 보장할 수 있어야 하며, 음성·영상·패킷 데이터의 통합 서비스 제공을 목표로 하고 있다.^[1]

이러한 여러 가지 데이터 율이 존재하는 시스템에서 용량을 평가하는 것은 IMT-2000 시스템 셀 설계나 주파수 이용 계획에 있어서 아주 중요한 사항이다. 기존 대부분 논문들의 용량 분석 방식들은 음성 서비스와 같은 하나의 데이터율을 가지는 서비스에 관한 것이 주류를 이루고 있고 여러 가지 데이터율이 혼재하는 상황에 대한 용량이나 커버리지 분석은 수행되지 못하였다. 기존의 방식을 바탕으로 하는 대략적인 용량 산출 방식으로는 각각의 데이터율이 지원하는 용량과 그 데이터율을 나타내는 서비스 발생빈도의 곱에 의한 단순한 산출 평균에 의한 접근방식이 있을 수 있으나, 각각의 서비스간

* 경희대학교 전자정보학부
논문번호: 00299-0729, 접수일자: 2000년 7월 29일

의 간섭 효과를 고려할 수 없어 정확한 용량을 산출할 수 없다. 즉 각각의 서비스는 요구하는 비트 당 에너지나 대역 확산 이득 등이 서로 상이하고, 따라서 송신 전력이 서로 다르므로 이들 서비스간의 간섭 양을 고려할 수 있는 용량 계산이 필요하다. 또한 다양한 데이터율을 가지는 서비스들이 혼재하는 경우에는 서비스간 간섭 양의 분산 값은 커지는 결과가 발생하며, 이는 곧 단일 서비스에 의한 경우보다 상호 간섭이 크다는 것을 의미하므로 단순한 산출 평균에 의한 용량 추출로는 이러한 점을 고려할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 다양한 서비스들이 혼재하는 경우에 관하여 각 서비스 사용자 분포에 따른 용량 분석 산출 방식을 유도하고 각각의 서비스에 대한 최소 수신 비트 당 에너지 값을 ARIB, ETSI, TR45 등의 표준화 기구에서 수행한 시뮬레이션 값을 ITU-R에 제출한 평가 결과 보고서에서 인용하여, 주파수 효율을 분석해 본다. 또한, 위의 분석된 값을 이용해 ITU-R M.1225에서 제시한 경로 손실 산출 방식을 적용하여 기지국의 커버리지를 산출한다.^{[2][3][4]}

아울러 다층 셀 구조(Hierarchical Cell Structure)에 의한 셀 배치에서의 용량 평가를 위하여 동일 주파수 대역에 여러 데이터 서비스가 혼재할 경우와 서비스에 따라 주파수 대역을 나누어 줄 때 스펙트럼 효율과 기지국 반경을 비교 분석해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 논문에서 평가되는 서비스 종류와 각 서비스에 대한 사용자 분포에 대한 모델링을 제시하였고, 3절에서는 셀 간의 간섭 양과 Outage 확률을 구하고 그에 만족하는 스펙트럼 효율을 도출했으며, 4절에서는 기지국 반경을 구하기 위해서 ITU-R M.1225에서 제시한 경로 손실 산출 방식을 이용하였다. 마지막으로 5절에서는 여러 가지 서비스 종류나 분포에 따른 용량 및 커버리지에 대한 결과를 제시하였으며, 각 경우들에 대해 비교 분석하였다. 끝으로, 본 논문에 대한 전체적인 결론을 도출하였다.

II. 시스템 모델

1. 트래픽 모델

용량 평가를 위해 고려되는 서비스 종류와 특성들은 ITU-R에서 제공하는 권고 안을 인용하였다. ITU-R M.1225에서는 각 서비스별 명시된 데이터율은 8kbps, 16kbps, 32kbps, 64kbps, 144kbps, 384kbps,

512kbps, 1024kbps, 2048kbps의 다양한 서비스를 제시하였고 본 논문에서는 ARIB/ETSI의 평가 보고서를 참고하여 표 1에 각 서비스에 대한 비트 윌과 비트 오율 값을 나타내었다. 표 2에서는 ITU-R M.1225 에서 시뮬레이션을 위하여 제시한 각 서비스 환경에 따른 트래픽 채널당 평균 전송 전력을 제시하고 있다.

표 1. 각 서비스에 대한 비트윌과 비트 오율

	실 내(A) 3km/h	보행자(A) 3km/h	차 량(A) 120km/h
Speech BER=10 ⁻³	8kbps	8 kbps	8 kbps
LCD BER=10 ⁻⁶	64 kbps 2048 kbps	64 kbps 384 kbps	64 kbps 144 kbps 384 kbps
UDD BER=10 ⁻⁶	64 kbps 2048 kbps	64 kbps 384 kbps	64 kbps 144 kbps 384 kbps

*UDD:Unconstrained Delay Data, Packet
*LCD:Long Constrained Delay Data
*LDD:Low Delay Data

표 2. 트래픽 채널당 평균 전송 전력

	순방향 링크	역방향 링크
Average Transmitter Power per traffic Channel	30 dBm vehicular 20 dBm pedestrian 10 dBm indoor	24 dBm vehicular 14 dBm pedestrian 4 dBm indoor

멀티 미디어 서비스에 의한 전체 간섭양은 각 서비스 사용자 수의 분포에 따라 달라지므로 이들 분포를 정하는 것은 매우 중요하다. 그러나, 아직 IMT-2000의 서비스가 도입되지 않아 서비스에 따른 수요량을 예측한 자료가 불충분하여 식 (1)과 (2)와 같이 모델링 하였다. 식 (1)에서는 각 사용자 분포를 임의로 지정 할 수 있도록 하였다. 즉 셀 내에서 제공하고 있는 서비스 종류가 m가지 종류가 있다고 할 때 각 데이터 윌의 사용자 수는 식 (1)에서와 같이 임의의 비를 가지는 분포로 나타내거나 식 (2)와 같이 기본 데이터 윌 사용자에 대한 대수적인 비로 모델링 할 수 있다.

$$[K_1, K_2, K_3, \dots, K_i, \dots, K_m] \quad (1)$$

$$K_i = K_1 e^{-\beta(i-1)} \quad (2)$$

위의 수식에서 K_i는 i 데이터 윌 사용자의 수이며,

K_i 은 기본 데이터율의 사용자를 나타낸다. 식 (2)를 통하여 δ 값의 크기와 부호에 따라 사용자 분포를 정의 할 수 있다. 예를 들면, δ 값이 매우 클 경우는 기본 데이터율의 트래픽이 주를 이룬다고 할 수 있고 δ 값이 0일 경우 각각의 서비스에 대한 사용자 수가 같다고 할 수 있다.

식 (1)과 (2)의 사용자 분포 모델링에 따른 셀 내의 전체 사용자 수는 각각 식 (3)과 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$N = \sum_{i=1}^m K_i \quad (3)$$

$$N = \sum_{i=0}^m K_i = \frac{1 - e^{-m\delta}}{1 - e^{-\delta}} K_1 \quad (4)$$

III. 주파수 효율 및 커버리지

주파수 효율이란, 주어진 주파수 대역폭을 통해서 전달할 수 있는 정보의 양으로 정의된다. 하지만, 무선 스펙트럼은 일반적으로 국가나 국제적인 규약에 의해 제약 받기 때문에 가입자 증가와 서비스 요구에 여분의 케이블을 이용해 대응할 수 있는 유선 통신과는 달리 무선에서는 스펙트럼 혹은 전송 전력을 임의대로 확장할 수 없다. 이 문제는 셀룰러 주 서비스 지역을 각 기지국 별로 서비스하는 셀로 나누어 주는 기술에 의해 일부 해결될 수 있으나, 주파수 재사용에 의해 발생하는 셀간의 간섭 문제는 서비스의 품질을 저하시킬 뿐만 아니라, 시스템 용량을 감소시키는 결과를 초래하게 된다. 따라서, 주파수 효율 고려시에 셀간 간섭 문제는 중요한 요소가 되며, 결국 셀 내의 간섭과 셀간 간섭을 모두 고려하여 용량을 산출하여야 한다.^[5]

1. 전력비와 사용자비

여러 개의 서비스 종류 중 임의의 하나의 서비스를 기본 서비스로 선택하고 기본 서비스에 대한 데이터율과 전력을 각각 기본 데이터율 및 전력이라 정의할 때 각각의 서비스가 요구하는 비트당 에너지 값을 기본 데이터 전력에 대한 비로써 구하여 서비스간의 전력비를 산출한다. 전력비에 따라 각 데이터율 사용자가 기본 데이터율의 사용자에게 미치는 간섭 양을 구한다. 기본데이터 사용자의 전력을 P_1 이라 하고 i-rate 사용자의 수신 전력을 P_i 라 할 때 이들간의 전력비 a_i 는 다음과 같이 계산되어진다.

$$\begin{aligned} E_b &= E_b/N_0 * N_0 \\ P_i &= E_b * \text{Information Rate} \\ a_i &= P_i / P_1 \end{aligned} \quad (5)$$

위식에서 E_b/N_0 는 i-rate 사용자가 요구하는 비트당 에너지 값으로 ITU-R에 제출한 평가 보고서에 의한 시뮬레이션 결과값이고, N_0 는 Link budget에 사용된 값으로 -174dBm을 적용, 두 가지 값 모두 ITU-R 평가 보고서에서 인용하였다.^{[1][2]}

수신기의 최대 허용 수신 전력과 전체 전송 데이터율을 아래의 식(6)과 식 (7)에서와 같이 정의하였다.

$$N_e = \frac{1}{P_1} \sum_{i=1}^m K_i P_i = \sum_{i=1}^m K_i a_i \quad (6)$$

$$N_c = \sum_{i=0}^m i * K_i \quad (7)$$

2. 셀간 간섭

용량을 산출하고자 하는 A기지국에서 j번째 인접 셀의 중심까지의 거리를 D_j 라 하고, j번째 인접 셀의 사용자와 A기지국과의 거리를 r, 그리고 기지국 간 중심을 연결하는 직선과 사용자와 A기지국을 연결하는 직선사이의 각을 θ 라고 하면, j번째 인접 셀의 i-rate 사용자 한명으로부터 A기지국에 미치는 간섭양은 다음과 같이 구해진다. 단, 이 값은 P_1 으로 정규화 된 간섭 값이다.^[6]

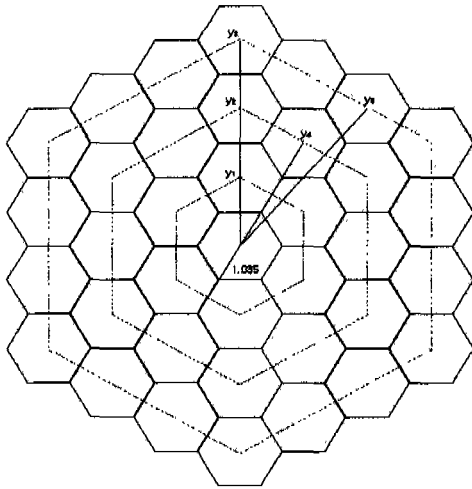
$$I_j(r, \theta) = \frac{r^\beta \cdot a_i}{(D_j^2 + r^2 - 2D_j r \cos \theta)^{\beta/2}} \quad (8)$$

위 식에서 β 는 경로손실을 나타낸다.

그림 1에는 본 논문에 사용되어진 셀룰러 모델로써 3 tier까지 고려한 거리를 나타내고있다. 기지국 반경을 1.035로 놓고, 인접 셀의 중심까지의 거리를 구한 것이다.^[7]

식(8)의 간섭 값에 대한 n차 moment는 아래와 같이 나타낼 수 있다.^{[6][8]}

$$\begin{aligned} E[I_j^n(r, \theta)] &= \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \int_0^{2\pi} I_j^n(r, \theta) r dr d\theta \\ &= \frac{a_i^n}{2^{1-n} R^2} \sum_{k=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} \frac{(-1)^k (2l-2k)!}{k!(l-k)!(l-2k)!} \int_0^R \frac{(D_j^2 + r^2)^{l-2k}}{(D_j^2 - r^2)^{2l-2k+1}} r^{2l+3} dr \\ &= \frac{a_i^n}{2^{1-n}} \sum_{k=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} \frac{(-1)^k (2l-2k)!}{k!(l-k)!(l-2k)!} \sum_{h=0}^{2k} \binom{2k}{h} \frac{1}{\mu} \left(\frac{R}{D_j}\right)^{2(l-h)} {}_2F_1\left(\nu, \mu; \mu+1, \frac{R^2}{D_j^2}\right) \end{aligned} \quad (9)$$



여기서, $y_1 = \sqrt{3} * 1.035$ $y_2 = 2\sqrt{3} * 1.035$
 $y_3 = 3\sqrt{3} * 1.035$ $y_4 = 3 * 1.035$ $y_5 = 4.74$

그림 1. 셀룰러 모델과 기지국간 거리

위식에서 $l = \frac{\beta n}{2} - 1$ 이고, $[x]$ 는 x 의 정수 부분이 다. 그리고, $\mu = h + l + 2$, $v = 2l - 2k + 1$ 이며 ${}_2F_1(\bullet)$ 는 Gauss hypergeometric 함수로 아래와 같이 정의 되어진다.

$${}_2F_1(a, b; c; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a)_k (b)_k}{(c)_k k!} z^k$$

여기서 $(a)_k = a(a+1) \dots (a+k-1)$ (10)

3. Outage 확률과 주파수 효율

열 잡음을 무시하고, 셀간 간섭을 가우시안 랜덤 변수로 가정하였을 때, 수신 E_b/N_0 가 서비스를 제공 하기 위하여 필요한 최소 값(threshold) ϵ 보다 작을 확률을 Outage 확률이라 정의할 때, 그 값은 다음과 같이 주어진다.^[9]

$$P_{outage} = P\left(\frac{GP}{N_e P_1 (1 + \xi)} < \epsilon\right) = P(\xi > \delta) = Q\left(\frac{\delta - m_\xi}{\sigma_\xi}\right) \quad (11)$$

위식에서 $\xi = \frac{I_{oc}}{N_e P_1} = \frac{1}{N_e} \sum_{j \neq i} \sum_{v=1}^m K_i I_v(r, \theta)$, $\delta = \frac{G}{\epsilon N_e} - 1$

이고, $Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$ 이다. 위 식에서 J는 간섭을 주고 있는 인접 셀 들의 집합을 나타낸다.

$\eta_{spectral}$ 로 표기되는 주파수 효율은 주어진 대역폭

안에서 어떠한 링크도 Outage 확률을 초과하지 않고 송수신 할 수 있는 총 비트율로 정의되며, 그 값은 다음과 같이 주어진다.^[10]

$$\eta_{spectral} = \frac{N_{e,max} \Gamma}{2G} \quad [\text{bps/Hz}]$$

여기서 $\Gamma = \sum_{i=1}^m i K_i / \sum_{i=1}^m K_i a_i$, (12)

위식에서 $N_{e,max}$ 는 명시된 Outage 확률을 만족하는 최대 N_e 이며, Γ 는 셀 안의 N_e 와 전체 전송 대역폭의 비이다.

4. 커버리지 (Coverage)

셀룰러 시스템의 커버리지 계획시 전계 강도 예측은 주로 컴퓨터 시뮬레이션 과정을 통하여 행해지며, 이것은 매우 효과적이고 또한 비교적 정확히 예측할 수 있다. 이 방법은 추정 경로 손실에 첨가되는 회절 손실을 각 픽셀에 대한 수신 전계 강도를 계산함으로써 구해진다.^[11]

본 논문에서는 ITU-R M.1225에서 제시한 각 서비스 환경에 따른 경로 손실 모델을 사용하였다. 아래의 수식에서 나타내고 있는 경로 손실 L은 실내 환경, 보행자 환경, 차량 이동 환경에서의 경로 손실을 각각 식(13), (14), (15)식에 나타내고 있다.

$$L = 37 + 30\log(R) + 18.3n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} \quad (13)$$

위의 수식에서 R은 meter단위를 가지는 기지국과 이동국 사이의 거리이며, n은 전파 경로상에 나타나는 층(floor)수를 나타낸다. 시뮬레이션에서는 같은 층 내에서 송수신 하는 것으로 가정하여 n값을 0으로 계산하였다.

$$L = 40\log(R) + 30\log(f) + 49 \quad (14)$$

위의 수식에서 R은 Km 단위를 가지는 기지국과 이동국 사이의 거리이며, f는 MHz단위를 가지는 캐리어 주파수이다. IMT-2000서비스 적용을 위하여 f를 2000MHz로 주었다.

$$L = 40(1 - 4 * 10^{-3} \Delta h_b) \log(R) - 18 \log(\Delta h_b) + 21 \log(f) + 80 \quad (15)$$

위의 수식에서 R은 Km 단위를 가지는 이동국과 기지국 사이의 거리이며, f는 캐리어 주파수 2000

MHz, Δh_b 는 기지국 안테나 높이이며 각 SRTT (Sets of Radio Transmission Technology)를 평가하기 위해 15m로 고정하였다.

커버리지 R은 L값이 정의되면 (13), (14), (15) 식으로부터 구할 수 있는데, L값은 (16)식으로부터 구할 수 있다. 위의 수식들을 이용하기 위해서 ITU-R M.1225에 정의된 경로 손실 항과 수신 감도의 정의를 이용하여 커버리지를 구해보았다. ITU-R M.1225에서 경로 손실이란 셀 경계에서 SRTT의 최소 성능을 만족 시켜 주기 위한 최대 손실로 정의되며 아래의 각 성분들로 구성 되어있다.

$$\begin{aligned} \text{최대 경로 손실(L)} = & \text{트래픽 채널당 실효 방사 전송 전력} \\ & - \text{수신 감도} + \text{수신 안테나 이득} \\ & - \text{케이블 커넥터 손실} + \text{핸드오프 이득} \\ & - \text{lognormal fade margin} \end{aligned} \quad (16)$$

각 항목에 대한 값은 ITU에서 제시한 값을 따르며, 각각의 값은 아래와 같다. 트래픽 채널당 실효 방사 전송 전력은 표 2에서 명시된 값이며, 수신 감도는 수신기 입력에 필요한 전력으로 표시되는 신호 레벨이고 식 (17)에 관계식이 정의 되어져 있다. 수신 안테나 이득은 수평면에서의 수신 안테나의 최대 이득 값으로 실내 2dB, 보행자 10dB, 차량 13dB값으로 주어진다.^[2] 케이블 커넥터 손실은 수신하는 안테나의 출력 부분과 수신기의 입력 사이의 모든 전송 시스템 소자들 사이의 결합 손실 값으로 2dB로 주어진다.^[2] 핸드오프 이득은 이동국이 핸드오프 수행시 얻어지는 이득 및 손실 값으로 환경에 따라 6.1dB나 5dB로 주어진다.^[2] 그리고, (17) 식의 잡음 지수는 5dB로 주어지며, 열 잡음 밀도는 수신기 입력에서 주파수당 잡음 전력으로 정의되며, 이 값은 -174 dBm/Hz로 주어진다.^[2]

$$\begin{aligned} \text{수신감도} = & \text{잡음 지수} + \text{열 잡음 밀도} + \text{수신 간섭 밀도} \\ & + \text{정보 전송율} + E_b/N_0 \end{aligned} \quad (17)$$

이렇게 구해진 경로 손실 값들을 앞서 언급한 (13), (14), (15)의 환경에 따른 경로 손실 수식에 넣어 커버리지 R값을 구할 수 있다.

IV. 결 과

사용자 분포나 제공하고 있는 서비스 종류 각각의 경우에 따른 주파수 효율의 차이를 III절에서 구

한 해석 방법을 통하여 구해 보고자 한다. 결과 도출을 위하여 사용된 가정들을 살펴보면, 먼저 트래픽 채널당 평균 전송 전력의 값은 표 2에 주어진 ITU-R M.1225에 명시된 값을 사용했으며, 요구되는 E_b/N_0 의 값은 각 표준화 기구에서 제공하는 평가 보고서에서 인용하였다. 각각의 서비스에서 요구하는 역방향(Uplink) E_b/N_0 값을 표3에 나타내었다. 표 3의 값들은 ARIB 에서 제시한 값이다.

표 3. 역방향 최소 비트 당 에너지 (Channel A)

	실 내	차 량
Speech 8k	4.8	6.8
UDD 64k	1.4	3.6
UDD 144k	-	2.9
UDD 384k	-	2.3
UDD 2048k	0.2	-
LCD 144k	-	2.9
LCD 64k	2.1	3.8
LCD 2048	0.25	-

단일 서비스만을 지원하는 경우의 주파수 효율을 구해 보면 표 4와 같다.

표 4. 단일 서비스에 대한 주파수 효율

환 경	데이터율	주파수 효율 [kbps/MHz]
실 내	Speech 8k	54.9[kbps/MHz]
	UDD 64k	120.2[kbps/MHz]
	UDD 2048k	158.5[kbps/MHz]
	LCD 64k	102.3[kbps/MHz]
	LCD 2048k	156.6[kbps/MHz]
차 량	Speech 8k	34.7[kbps/MHz]
	UDD 64k	72.4[kbps/MHz]
	UDD 144k	85.1[kbps/MHz]
	UDD 384k	97.7[kbps/MHz]
	LCD 144k	85.1[kbps/MHz]
	LCD 64k	69.2[kbps/MHz]

표 4에서 보면, 실내 환경이 차량 환경에 비하여 요구하는 비트 당 에너지 값이 적기 때문에 주파수 효율이 더 높은 것으로 나타났으며, 또한, 높은 데이터 율에 의한 서비스가 낮은 데이터 율의 서비스보다 요구하는 비트 당 에너지 값이 적어서 주파수 효율이 높은 것으로 나타났다. 비트 당 에너지 값은 높은 데이터 율의 서비스가 적게 요구하고 있지만, 실제 전송 전력은 낮은 데이터 율에 의한 전송 전력 보다 큰 값을 나타내고 있다.

표 5. 다양한 경우에 대한 서비스 환경

	제공하는 서비스	사용자 비	비고
Case-1 (차량환경)	Speech 8k UDD 64k, 144k, 384k LCD 144k	0.6 0.1, 0.1, 0.1 0.1	차량 환경에서 음성 사용자의 비가 높음을 가정
Case-2 (실내환경)	Speech 8k UDD 64k, 2048k LCD 64k, 2048k	0.6 0.1, 0.1 0.1, 0.1	실내 환경이 차량 환경의 경우보다 높은 데이터율의 서비스를 가정
Case-3 (실내환경)	Speech 8k UDD 64k, 2048k LCD 64k, 2048k	0.1 0.2, 0.3 0.1, 0.3	경우 2보다 높은 데이터율의 사용자가 더 많음을 가정
Case-4 (차량환경)	Speech 8k UDD 64k, 144k, 384k LCD 144k	0.2 0.2, 0.2, 0.2 0.2	각 데이터율의 사용자비가 동등함을 가정
Case-5 (실내환경)	Speech 8k UDD 64k, 2048k LCD 64k, 2048k	0.2 0.2, 0.2 0.2, 0.2	각 데이터율의 사용자비가 동등함을 가정
Case-6 (차량환경)	Speech 8k UDD 64k	0.5 0.5	2가지의 서비스만 존재할 경우를 가정
Case-7 (실내환경)	Speech 8k UDD 2048k	0.5 0.5	2가지의 서비스만 존재할 경우를 가정
Case-8 (실내환경)	Speech 8k UDD 64k	0.5 0.5	경우 7보다 데이터율의 차이가 작은 경우를 가정

여러 가지 서비스가 혼재하는 멀티미디어 서비스에 대한 주파수 효율을 다음과 같은 다양한 조건에 대하여 구하여 보았다. 아직 IMT-2000 서비스가 상용화 되지 않아, 서비스 환경과 사용자비는 임의로 지정하였으며, 실내 환경이 차량 환경보다 높은 데이터율이 존재한다고 가정하였다. 각각의 경우들을 비교하기 위해 사용자비를 균일하게 주었을 때와 불균일 하게 주었을 때, 서비스 가지수가 동일하더라도 데이터율의 차가 많은 것과 작은 것에 대해 비교 분석해보았으며, 분석에 고려한 서비스 환경은 표 5에 제시하였다.

표 5에 제시된 다양한 환경에 대하여 서비스간 N_e 로 정규화 된 간섭 양의 평균과 분산 값, 그리고 주파수 효율 값을 표 6에 나타내었다.

표 6. 서비스 종류 및 사용자수 분포에 따른 간섭 양의 평균과 분산 값 및 주파수 효율

	간섭양의 평균	간섭양의 분산	주파수 효율 [kbps/MHz]
Case-1	0.1804	1.085	1.2
Case-2	0.1575	7.8067	0.0645
Case-3	0.1535	8.0057	0.019
Case-4	0.1645	1.1116	0.6351
Case-5	0.1544	7.8569	0.0325
Case-6	0.3403	0.6590	5.7
Case-7	0.3067	16.0812	0.0239
Case-8	0.3417	0.6298	9.7

Case-2의 경우는 Case-1에 비하여 실내 환경 임을 고려하여 데이터율이 더 높은 사용자가 있을 때에 대한 결과이다. Case-1과 Case-2를 비교하면 데이터율 차이가 클수록 간섭의 분산 값이 커져 용량이 떨어지는 것을 볼 수 있다. Case-3은 Case-2에 비해 높은 데이터율의 사용자가 더 많을 경우인데 Case-3이 Case-2보다 높은 데이터율의 사용자로 인해 간섭 양의 분산 값이 커 주파수 효율이 낮은 것을 알 수 있다. Case-1과 4의 경우는 같은 차량 환경에서 $m=5$ 인 경우인데, 사용자 분포가 불균일한 경우와 균일한 분포일 때의 주파수 효율이다. 한가지 데이터가 다수를 점하고 있는 Case-1의 경우가 간섭 양의 분산이 적게 나타나므로 Case-4에 비하여 주파수 효율이 높게 나타났으며, Case-2와 5의 경우도 마찬가지로 결과를 나타내었다. Case-6, Case-7, Case-8은 제공하는 서비스가 두 가지로 제한되었을 때의 효과를 나타낸다. 같은 실내 환경인 Case-7과 8을 비교하면, 두 가지 서비스 만을 제공함에 있어 Case-7은 8kbps와 2048kbps, Case-8은 8kbps와 64kbps로 Case-7의 경우가 제공 데이터 속도 차가 커서 간섭 양의 분산 값 또한 증가하게 되므로 주파수 효율이 떨어지고 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 표 4와 표 6를 비교할 때, 여러 가지 데이터가 혼재하는 경우의 주파수 효율이 많이 떨어지는 것으로 나타났고 이는 여러 가지 데이터가

존재함으로 인하여 간섭 양의 분산 값이 증가함에 따른 현상이다. 또한 m=5인 Case-1,2,3의 경우가 m=2인 case-6,8의 경우 보다 주파수 효율이 적게 나타난 것으로 확인 할 수 있다.

이렇게 구해진 값들을 식 (18)에서와 같이 서비스간의 간섭을 고려하지 않고, 각각의 데이터율이 지원하는 용량과 그 데이터율을 나타내는 서비스 발생 빈도의 곱에 의한 단순한 산술 평균에 의한 접근 방식으로 구했을 때와 비교한 결과를 표 7에 나타내었다.

$$\eta_{spectral} = \sum_{i=1}^m \eta_i \cdot P_i \quad (18)$$

여기서 η_i 는 i-rate 사용자만의 주파수 효율이고 P_i 는 i-rate 서비스 발생 확률이다.

표 7. 단순 산술 평균에 의한 주파수 효율

	주파수 효율	
	전체 사용자 같이 고려	단순산술방식에 따른 때
Case-1	1.2 [kbps/MHz]	54.85 [kbps/MHz]
Case-2	0.0645 [kbps/MHz]	86.7 [kbps/MHz]
Case-3	0.019 [kbps/MHz]	134.29 [kbps/MHz]
Case-4	0.6351 [kbps/MHz]	75 [kbps/MHz]
Case-5	0.0325 [kbps/MHz]	118.5 [kbps/MHz]
Case-6	5.7 [kbps/MHz]	53.55 [kbps/MHz]
Case-7	0.0239 [kbps/MHz]	106.7 [kbps/MHz]
Case-8	9.7 [kbps/MHz]	87.55 [kbps/MHz]

표 7에서 알 수 있듯이 단순한 산술 평균에 의한 용량 산출은 서비스간의 간섭 요소를 고려하지 않아 전체 사용자를 같이 고려한 것보다 높은 용량을 보이는 것으로 나타나고 있다.

위의 각 경우에서 구한 간섭의 평균값을 이용하여 III-4절에서 소개한 커버리지 구하는 방식을 이용하여 각 경우에 따라 커버리지(R)를 구해보았다. 수식에 정의된 여러 다른 값들은 ARIB평가 보고서의 Link budget에서 인용하였다.

첫번째의 경우(Case-1)에 대해서 R값을 구해보면 532.5m로 구해진다. 이 값은 간섭이 전혀 고려되지 않은 차량 환경의 speech 8k 하나만 고려한 최대 반경 4285m에 비해 다른 데이터율 사용자의 간섭으로 인해 많이 줄어든 것을 볼 수 있다. 각 경우에 대한 기지국 반경을 표 8에 나타내었다.

결국 표 8의 커버리지는 표 6의 주파수 효율을 바탕으로 하고 있으므로 지원 데이터 종류가 많을

표 8. 각 경우에 따른 최대 반경 R

	커버리지(R)
Case-1	532.545m
Case-2	25.511m
Case-3	17.997m
Case-4	458.256m
Case-5	20.427m
Case-6	615.162m
Case-7	19.24m
Case-8	60.145m

수록, 사용자 분포 차가 클수록 커버리지가 줄어든다는 것을 알 수 있다.

이번에는 IMT-2000환경에서 고려하고 있는 계층 셀 구조(Hierarchical Cell Structure)에 대한 설계를 위하여 제공하는 서비스 종류가 5가지이고, 전체 대역이 10MHz로 주어졌다고 가정할 때 각각의 셀이 10MHz 전체에 대하여 5가지 서비스를 모두 제공할 때와 대역을 5MHz씩 나누고 각각 3가지 2가지의 서비스를 분리하여 서비스할 경우의 스펙트럼 효율과 기지국 반경을 계산해 보았다. 서로간의 정확한 비교를 위하여 K_n 값을 비로써 할당하여 계산해보았다.

먼저, Vehicular환경에서 Speech 8k, UDD 64k, 144k, 384k와 LCD 144k의 혼합 환경의 사용자비를 $K_n=[0.3, 0.1, 0.1, 0.15, 0.35]$ 로 두고, 전체 10MHz에 대해서 용량을 산출해보고, 두 번째는 5MHz를 Speech 8k, UDD 64k, 144k의 서비스에 각 사용자비를 $K_n=[0.6, 0.2, 0.2]$ 로 할당하여 용량을 산출하고, 남은 5MHz를 UDD 384k, LCD 144k의 서비스에 각 사용자 비를 $K_n=[0.3, 0.7]$ 로 할당하여 구해진 용량을 위의 5MHz와 산술적으로 더한 평균 값을 표 9에 나타내었다.

표 9. 혼합 시와 서비스에 대해 나누어 줄 때의 용량 비교

	10MHz를 혼용 사용시	5MHz씩 각각 나누어 사용시	
		16[kbps/5MHz]	1228 [kbps/10MHz]
주파수 효율	7.4941 [kbps/10MHz]	1212 [kbps/5MHz]	1228 [kbps/10MHz]
커버리지 (R)	471.936m	589.6m	739.95m
		890.3m	

표 9에서 알 수 있듯이 전체 10MHz를 같이 혼용할 때 보다 단 2개의 대역으로 나누어만 주어도 간섭의 영향이 많이 줄어들어 용량이 향상 되는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

앞으로 서비스 될 IMT-2000의 멀티미디어 무선 채널 환경에서 각 서비스 사용자간의 간섭을 고려하여, 용량을 분석해 보았다.

여러 가지 데이터가 혼재하는 경우에 각 데이터율에 의한 간섭 양의 분산 값이 증가함에 따라 주파수 효율이 크게 떨어지는 것으로 나타났으며, 서비스 가지 수를 제한하더라도 데이터율의 차이가 많이 나는 서비스를 제공할 경우에도 간섭의 분산 값이 증가하여 주파수 효율이 크게 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 동시에 기지국 반경도 크게 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

그와 달리 동일 주파수 대역에서 제공하는 서비스 가지 수를 제한하고, 데이터율의 차이를 작게 할 경우 각 사용자의 간섭양이 그만큼 줄어들기 때문에 스펙트럼 효율과 기지국 반경이 크게 향상되는 것을 볼 수 있었다.

따라서, IMT-2000 서비스에 있어서는 사용자가 적을 때는 다양한 데이터율을 지원하더라도, 사용자가 늘어나게 되면 제공하는 서비스 데이터율을 제한하는 등의 기술이 필요한 것으로 보인다. 또한 여러 주파수 대역을 사용하는 계층 셀 구조에서는 각각의 대역에 제공하는 서비스 종류를 제한하는 것이 용량 향상에 도움이 되는 것으로 나타났다.

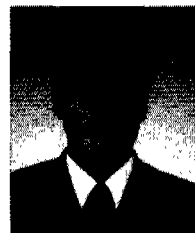
참고 문헌

- [1] ITU-R Recommendation M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000"(1997)
- [2] Evaluation Group, ARIB IMT-2000, Study Committee, "Self evaluation report on Japan's proposal for candidate radio transmission technology on IMT-2000 : W-CDMA"
- [3] Evaluation Group, ETSI IMT-2000, Study Committee, "The ETSI UMTS terrestrial radio access(UTRA) ITU-R RTT candidate submission"
- [4] Evaluation Group, TIA TR45.5, Study Committee, "The cdma2000 ITU-R RTT candidate submission"
- [5] Sami Tabbane, Handbook of mobile radio networks, Artech House, 2000.
- [6] Dong-Hee Kim, Woong Sun and Keum-Chan

Whang, "Reverse Link Spectral Efficiency in CDMA Cellular Systems Supporting Multiple Data Rates," IEICE Tr. On Comm. Vol E 83-8, No 5, pp1144-1147, May 2000.

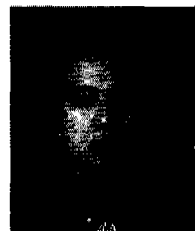
- [7] J. Wang and L. B. Milstein, "Approximate interference of a microcellular spread spectrum," IEE Electronics Letters, vol.31, no.20, pp.1782-1783, 1995.
- [8] I. S. Gradshteyn and I. W. Ryzhik, Table of integrals, series, and products, New York: Academic, 4th ed., 1965.
- [9] K. S. Gilhousen and I. M. Jacobe and R. Padovani and A. J. Viterbi and L. A. Weaver, Jr. and C. E. Wheatley III, "On the capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. Veh. Tech., vol.40, no.2, pp303-312, May, 1991.
- [10] J. H. Gass Jr., D. L. Noneaker, and M. B. Pursley, "Spectral efficiency of a power-controlled CDMA mobile personal communication system," IEEE J. Selet. Areas Commun., vol. 14, no. 3, pp.559-569, April, 1996.
- [11] Riccardo Pattuelli, V. Zingarelli, Omnitel, "Precision of the Estimation of area coverage by planning tools in cellular systems," IEEE Personal Communications, pp50-53, June, 2000.

황 기 환(Ki Hwan Hwang)



2000년: 경희대학교
전자공학과 학사
2000년~현재: 경희대학교
전파공학과 석사과정
<주관심 분야>
CDMA, IMT-2000

홍 인 기(Een Kee Hong)



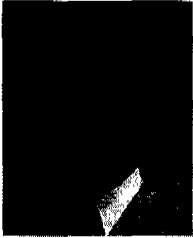
1985년~1989년: 연세대
전기공학과 학사
1989년~1991년: 연세대
전기공학과 공학석사
1991년~1995년: 연세대
전기공학과 공학박사

1995년~1999년: SK Telecom 중앙연구원 선임연구원

1997년~1998년: NTT DoCoMo 교환 연구원

1999년~현재: 경희대학교 전자정보학부 전임강사
<주관심 분야> CDMA, 이동통신

서 덕 영(Doug Young Suh)



1980년 2월: 서울대 핵공학과
(공학사)

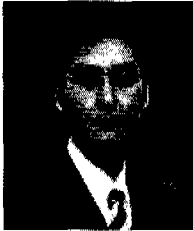
1986년 2월: 미국 Georgia
Tech. 핵공학(공학석사)

1990년 6월: Georgia Tech.
전기공학과(공학박사)

1990년~1992년: 상공부 생산기술 연구원, HDTV
연구개발단 선임연구원

1992년 3월~현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수
<주관심 분야> 멀티미디어 통신, 인터넷, ATM.

유 인 태(Intae Ryoo)



1987년: 연세대학교
전자공학과 학사

1989년: 연세대학교 대학원
전자공학과 석사

1994년: 연세대학교 대학원
전자공학과 박사

1997년: 동경대학 대학원
정보통신전공 박사

1999년~ 현재: 경희대학교 전자정보학부 조교수
<주관심 분야> 컴퓨터 네트워크, ATM, 초고속 정보
통신 이론, 차세대 인터넷, 네트워크 QoS,
멀티미디어 통신 시스템