

3GPP시스템의 용량과 셀 커버리지 분석

정희원 양 하 영*, 김 주 응*, 정 현 민**, 홍 대 식*, 강 창 언*

Analysis on the Cell Capacity and Coverage of 3GPP systems

Ha-young Yang*, Joo-eung Kim*, Hyun-meen Jung**, Dae-sik Hong*, Chang-eon Kang*

Regular Members

요 약

이동 통신 가입자의 수가 폭발적으로 증가하는 상황에서 좋은 품질을 갖는 서비스를 제공하기 위해서는 새로운 Cell Planning 기법이 필요하다. 따라서 차세대 이동통신 시스템인 IMT-2000 망에서 적절한 Cell Planning 기법을 이용하여 계층 셀 구조를 구성하여야만 정상적인 IMT-2000 서비스 제공이 가능할 것이다.

본 논문에서는 향후 서비스 될 제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000 (3GPP)의 권고안을 분석하여 셀 설계에 필요한 여러 파라미터를 살펴본다. 또한 IMT-2000 무선링크 분석을 위한 모델을 설정하고 수식적으로 유도함으로써 순방향과 역방향 링크 버짓, 시스템의 용량, Call Blocking 확률, Erlang Capacity, 셀 커버리지를 분석한다. 분석을 수행하는데 있어서 계층 셀의 구조와 사용자 수, 서비스의 종류, 지역 등 여러 가지 환경의 변화에 따른 설계의 방향을 제시하였다. 본 논문을 통해 IMT-2000 상용화 시 효율적인 Cell Planning 기법 제시 및 용량 극대화를 이룰 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Recently, the mobile users seem to be rapidly increasing and then the capacity limit will be reached at close hand. In these situations, to provide them with good quality of service in the coming future, newly planned cell design is needed. In the next generation mobile communication systems, namely IMT-2000, good quality services will be possible only by designing the cell structure hierarchically with the help of appropriate cell planning.

In the research process, the standardization reports on the future mobile cellular IMT-2000 system (3GPP) are investigated and the parameters, that are essential to cell planning, are also researched. Modeling of IMT-2000 radio link and the numerical analysis on that make it possible to calculate the forward/reverse link budget, system capacity, call blocking probability, Erlang capacity, and cell coverage. In planning the cell of IMT-2000 system, various parameters are considered, such as hierarchical cell structure, number of users, data service forms and propagation area environments. From the results, efficient cell planning methods are proposed. Through this thesis, efficient cell planning and maximum capacity will be achieved in the beginning of commercial IMT-2000 service.

I. 서 론

향후 서비스 될 제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000은 음성 위주의 개인 휴대 통신이 현재의

유선 통신 시스템과 결합하여 자유롭게 고속의 트래픽을 전송할 수 있도록 대역 확산에 기초를 둔 코드 분할 다중 접속 (Code Division Multiple Access : CDMA) 방식의 다원 접속 방식을 채택하였다.

* 연세대학교 전기컴퓨터공학과 정보통신연구실(hayoung@sunlight.yonsei.ac.kr),

** 한국통신 가입자망 연구소

논문번호 : 00002-0107, 접수일자 : 2000년 1월 7일

* 본 논문은 1999년도 한국통신 가입자망 연구소의 지원과제로 2000년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 수행되었습니다

CDMA와 같이 동일 주파수를 여러 셀이 공유하여 사용하는 경우 단일 셀 내의 채널에 의한 영향뿐만 아니라 인접한 주변 셀로부터의 영향과 전파 환경에 따른 영향을 받게 된다. 따라서 CDMA를 기반으로 한 이동통신 시스템의 운용 효율을 극대화하기 위해서는, 다양한 지리적 환경 및 각 셀 간에 미치는 영향을 고려하여 이동통신망의 특성을 최적화하여야 한다. 이를 위해서는 이론적으로 이동통신망의 무선링크를 분석할 수 있는 CDMA 이동통신 시스템의 이론적인 모델링이 필요하다.

향후 서비스 될 IMT-2000 시스템은 매크로 셀뿐만 아니라 마이크로 셀, 피코 셀 등 여러 계층 구조의 셀 구조를 채택할 것이 유력시 되고 있다. 따라서 IMT-2000 시스템에 적합한 셀 설계 기법 및 기존의 이동통신 서비스의 망에 대한 파라미터들과는 다른 파라미터들을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 IMT-2000 시스템 중 유럽 방식(3GPP)을 기초로 하여 망을 설계하는데 있어서 필요한 파라미터들을 분석하도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다.

제 2장에서는 IMT-2000 시스템에서의 링크 버짓과 셀 용량을 분석하고 이로부터 두 링크의 밸런스에 대해서 알아본다. 다음으로 제 3장에서 순방향과 역방향 링크의 커버리지를 산출해내고 Call Blocking 확률 및 Erlang Capacity를 구한다. 이를 토대로 제 4장에서는 적합한 시나리오를 가정하고 이에 따라 각종 파라미터의 최적화 및 효율적인 셀 설계 방안에 대해서 다룬다. 마지막으로 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 순방향과 역방향 링크 버짓

본 장에서는 3GPP 시스템을 기준으로 하여 순방향 링크 및 역방향 링크에서 링크 버짓 분석을 하도록 한다. 분석을 위해서 각 사용자 신호간의 간섭을 동일 셀 간섭과 다른 셀 간섭에 대해서 순방향 및 역방향에 대해 각각 계산하도록 하며 두 링크의 밸런스를 맞추는 방법에 대해서 다루도록 한다. 다음의 표 1에 본 논문 전개에 사용될 파라미터들을 나타내었고, 이 값들은 3GPP 규격안에 근거하여 설정하였다.

1. 순방향 링크 버짓

3GPP 시스템을 기준으로 하여 순방향 링크에서 각 채널에 따라 전력을 배분하는 방법에 대해서 분

석한다. 이를 위해서 수신 비트 에너지 대 잡음비 (Eb/No)에 관해 정의를 내리고 동일 셀 간섭 및 다른 셀 간섭을 도입한다.

표 1. IMT-2000 링크 버짓 분석에 가정된 파라미터

파라미터	Reverse Link	Forward Link
Propagation parameters		
전파모델	Urban	COST231(Walfisch-Ikegami)
	Suburban	Hata, CCIR
안테나이득(loss포함)	11dBi MS:0dBi, BS:11dBi	
Lognormal Fade마진	10dB	
전력제어	Perfect	
Target Eb/No 마진	0	
Noise parameters		
Noise Figure	5dB	9dB
Receiving bandwidth	4.096MHz	4.096MHz
Noise Power	-103dBm	-99dBm
Tx Power		
Maximum Tx Power	21dBm	43dBm macro 33dBm micro
User Distribution	Random, Uniform	Random, Uniform
Orthogonality Factor	.	Macro:0.4/ Micro:0.06

1) 순방향 링크의 전송 전력

순방향 링크에서 전송되는 신호의 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{total} = P_{CPICH} + P_{PCCPCH} + P_{SCH} + N_s P_{SCCPCH} + P_{AICH} + P_{PICH} + P_{DPCH}_{total}$$

여기서 N_s 는 SCCPCH의 개수이다. 3GPP의 순방향 링크의 채널 중 SCH는 다른 채널들과 직교성이 성립하지 않으며 한 슬롯의 1/10의 구간동안 전송된다. 따라서 본 절의 수식 유도에 있어서 SCH의 특성에 따라 SCH는 고려하지 않도록 하며 PCCPCH가 전 구간에 걸쳐 전송되는 것으로 가정하여 순방향 링크 전력을 계산하도록 한다. 또한 AICH나 PICH의 경우 각각 Acquisition과 Paging Indication을 주 목적으로 하며 특성상 요구되는 많은 전력을 소비하지 않을 것이므로 역시 고려하지 않도록 한다. 따라서 분석에 사용될 전체 송신 전력에 대한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{total} = P_{CPICH} + P_{PCCPCH} + N_s P_{SCCPCH} + P_{DPCH_total} \quad (1)$$

2) 순방향 링크의 채널별 요구 Eb/No

순방향 링크에서 수신 비트 에너지대 잡음비 (Eb/No) 를 고려할 Physical 채널로는 CPICH, PCCPCH, SCCPCH, DPCH가 있다. 앞 장에서 설명하였듯이 PCCPCH에는 Transport 계층의 BCH 채널이 사상되며 SCCPCH에는 PCH 채널, FACH 채널, DPCH에는 DCH 채널이 사상된다^[1].

먼저 CPICH의 수신 신호에 대한 Eb/No는 다음과 같이 나타낸다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CPICH} = \frac{S_{CPICH} \times T_b}{N_0 + I_{0,T}} = \frac{S_{CPICH}}{(N_0 + I_{0,T})R_b} \cdot \frac{W}{W} = \frac{P_{CPICH} / L_T(R)}{N_m + I_T} \left(\frac{W}{R_b}\right)_{CPICH}$$

S_{CPICH} : CPICH에 대한 이동국의 수신 전력

P_{CPICH} : CPICH에 대한 기지국의 전송 전력

$L_T(R)$: 전송 손실

N_0 : 잡음 스펙트럼 밀도,

N_m : 이동국에서의 잡음 전력

$I_{0,T}$: 간섭 밀도,

I_T : 간섭 전력

R_b : 비트 전송률,

W : 전송 대역폭

BCH, PCH, FACH, DCH의 경우에 Eb/No를 유도하는데 있어서 각종 제어 정보 및 채널 코딩 등은 보내고자 하는 데이터를 위한 Overhead로 간주하도록 한다. 그리고 PCH와 FACH는 모두 SCCPCH에 사상되어 전송되어 지는데 두 채널이 하나의 SCCPCH에 사상 될 수도 있고 따로 사상될 수도 있다. 여기서는 두 채널이 다른 SCCPCH에 사상된다고 가정하였으며 각각 SCCPCH1(PCH), SCCPCH2(FACH)로 나타내도록 한다.

BCH, PCH, FACH, DCH에 대한 각각의 Eb/No는 CPICH와 동일한 방법으로 나타낼 수 있다.

3) 순방향 링크의 간섭

순방향 링크에서 전체 간섭 전력 I_T 는 순방향 링크의 모든 채널에 공통된 요소로서, 동일 셀 간섭 (Same-Cell Interference, I_{SC})과 다른 셀 간섭 (Other-Cell Interference, I_{OC})으로 나눌 수 있다. 각 셀의 출력 전력이 모두 같다고 가정할 때 전체 간섭 전력 I_T 는 다음과 같다.

$$I_T = I_{SC} + I_{OC} = (K_{same} + K_{other})S = K_f S$$

K_{same} 와 K_{other} 는 각각 동일 셀과 다른 셀 간섭을 나타내는 Factor이며 분석에서는 K_{other} 를 2.5 dB로

두도록 한다^[7,10]. 이 경우 K_f 값은 다음과 같다.

$$\text{Macro Cell} : 0.4 + 1.778(2.5 \text{ dB}) = 2.1778$$

$$\text{Micro Cell} : 0.06 + 1.778(2.5 \text{ dB}) = 1.838$$

4) 순방향 링크의 전력 분배

기지국에서 이동국으로 전송되는 전체 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{total} = P_{CPICH} + P_{PCCPCH} + P_{SCCPCH1} + P_{SCCPCH2} + K_{DPCH} M \alpha_f P_{DPCH} \quad (2)$$

셀 내의 모든 사용자가 셀의 경계에 있지는 않기 때문에 순방향 링크 전력 제어를 통해서 기지국에 가까운 사용자에 대한 전력은 줄일 수 있다. K_{DPCH} 는 이러한 전력 제어를 고려하기 위한 Factor이다. 사용자가 셀 전체에 걸쳐 골고루 분포되어 있고 경로 감쇄 지수가 3 혹은 4라고 가정할 때 K_{DPCH} 의 값은 대략 0.3-0.4 사이의 값을 가지며 약간의 마진을 고려하여 0.5-0.6 정도로 둘 수 있다.

먼저 CPICH에 대한 식을 보면 다음과 같다.

위의 Eb/No식에 간섭에 관한 식을 대입하면 다음과 같은 수신 신호의 Eb/No식을 얻을 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CPICH} = \frac{P_{CPICH}}{N_m L_T(R) + K_f P_{total}} \cdot PG_{CPICH} \geq \rho_{CPICH} \quad (3)$$

여기서 ρ 항은 각 채널에 따라 요구되는 수신 Eb/No를 의미하며 PG는 전체 대역폭을 각 Transport 채널의 정보 데이터 율로 나눈 것으로 처리이득(Processing Gain)을 나타낸다.

식 (3)을 식 (2)에 대입하여 정리하면 CPICH에 대한 식은 다음과 같이 된다.

$$P_{CPICH} \left(\frac{PG_{CPICH}}{K_f \rho_{CPICH}} - 1 \right) - (P_{PCCPCH} + P_{SCCPCH1} + P_{SCCPCH2} + K_{DPCH} M \alpha_f P_{DPCH}) \geq \frac{N_m L_T(R)}{K_f}$$

위의 부등식은 요구 Eb/No에 대해서 실제 수신되는 신호가 마진을 가지고 있다고 가정한 것이다. 마진을 0으로 두면 위의 부등식은 등식으로 바뀌게 된다. CPICH의 경우와 마찬가지로 PCCPCH, SCCPCH1, SCCPCH2, DPCH 각각에 대해 정리하면 유사한 결과들을 얻을 수 있다. 이때, 이들 방정식들을 행렬 형태로 전개하여 각각의 채널 별로 정리하면, 요구되는 전력에 대해 다음과 같은 최종 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned}
 P_{CPICH} &= \frac{N_m \rho_{CPICH} L_T(R) / PG_{CPICH}}{1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right)} \\
 P_{PCCPCH} &= \frac{N_m \rho_{BCH} L_T(R) / PG_{BCH}}{1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right)} \\
 P_{SCCPCH1} &= \frac{N_m \rho_{PCH} L_T(R) / PG_{PCH}}{1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right)} \\
 P_{SCCPCH2} &= \frac{N_m \rho_{FACH} L_T(R) / PG_{FACH}}{1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right)} \\
 P_{DPCH} &= \frac{N_m \rho_{DCH} L_T(R) / PG_{DCH}}{1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right)}
 \end{aligned} \tag{4}$$

순방향 링크에서 사용된 파라미터는 다음 표 2와 같다.

표 2. 순방향 링크 버짓의 채널 별 파라미터

파라미터		값
CPICH 정보율		30kbps
BCH		15kbps
PCH		48kbps
FACH		48kbps
DCH	Voice/Data	12.2kbps/144kbps
요구 Eb/No ρ_{CPICH}	Macro/Micro	7dB/6dB
ρ_{BCH}	Macro/Micro	7dB/6dB
ρ_{PCH}	Macro/Micro	4dB/3dB
ρ_{FACH}	Macro/Micro	4dB/3dB
ρ_{DCH}	Macro	Voice: 9dB/Data: 5dB
	Micro	Voice: 8dB/Data: 4dB
N_m		-99dBm
α_f	Voice/Data	0.4/1
K_{DPCH}		0.5
k_f	Macro/Micro	2.178/1.838

논문에서 매크로 셀과 마이크로 셀은 서로 다른 주파수를 사용하고 있다고 가정한다. 이 경우 각 계층간에 주는 간섭량은 다른 셀 간섭이나 동일 셀 간섭에 비해서 매우 작을 것이기 때문에 고려하지 않는다.

그림 1은 매크로 셀에서 전송 손실이 $L_T(R) = 130$ dB일 때 음성 서비스 사용자 수에 따라서 CPICH, PCCPCH, SCCPCH1, SCCPCH2, DPCH

및 전체 전력이 어떻게 변화하는 지를 보여주고 있다. 사용자의 증가에 따라 발생하는 비선형성은 모든 채널에서 나타나고 있다. 즉 사용자의 수가 증가할수록 상대적으로 더 많은 전송 전력을 필요로 하게 된다.

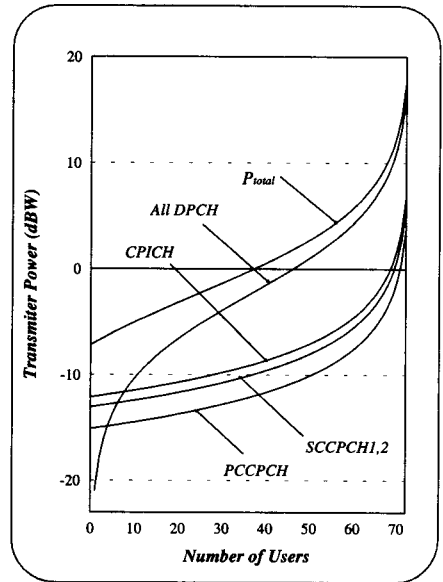


그림 1. 사용자 수에 따른 각 채널의 전력 변화

5) 순방향 링크의 용량 분석

(1) 점근적인(Asymptotic) 순방향 링크 용량

앞 절의 결과에서 살펴본 것처럼 순방향 링크의 전송 전력은 사용자 수 M 이 어느 순간을 지나면 갑자기 증가해 버리는 것을 알 수 있다. 이것은 순방향 링크의 용량의 한계점으로 볼 수 있다. 따라서 이번 절에서는 전력이 제한이 없다고 가정할 때 순방향 링크 용량의 상한계를 구해보도록 한다.

각 채널들의 전력이 양의 값을 갖고 무한대가 아닌 값을 가지려면 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$1 - k_f \left(\frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} + \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} + \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} + \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} + K_{DPCH} M \alpha_f \frac{\rho_{DCH}}{PG_{DCH}} \right) > 0$$

즉, 식 (4)의 분모들의 값이 0보다 커야 한다. 위의 부등식을 사용자 수 M 에 관해 정리하고 상한계를 등호가 성립할 때로 놓으면 점근적인 순방향 링크 용량(M_∞)을 얻을 수 있다.

$$M_\infty = \frac{PG_{DCH}}{K_{DPCH} \alpha_f \rho_{DCH}} \left[\frac{1}{k_f} - \frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} - \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} - \frac{\rho_{PCH}}{PG_{PCH}} - \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} \right]$$

(2) 전력제한된 순방향 링크 용량

일반적으로는 기지국의 최대 전송 전력(P_{max})은 어느 값 이하로 제한되어 있으므로 이러한 경우의 순방향 링크의 용량을 유도해 보자.

앞서 구한 전력 식들을 이용하여 식 (2)의 P_{total} 값을 P_{max} 로 설정하여 나타내고 M에 관해서 정리를 하면 전력 제한된 순방향 링크 용량 $M(P_{max})$ 를 구할 수 있다.

$$M(P_{max}) = \frac{PG_{DCH}}{K_{DCH} \alpha_f \rho_{DCH}} \left[\frac{P_{max}}{N_m L_T(R) + K_f P_{max}} \frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}} \frac{\rho_{BCH}}{PG_{BCH}} \frac{\rho_{FCH}}{PG_{FCH}} \frac{\rho_{FACH}}{PG_{FACH}} \right]$$

그림 2에는 음성 서비스 (12.2 kbps)에 대해서 전력이 제한된 경우의 사용자 용량과 용량의 상한계를 나타내었다. 간섭은 매크로 셀을 기준으로 하였다. 그림을 보면 전송 손실이 약 120 dB 정도까지는 최대 전송 전력이 어떤 값을 갖든지 거의 같은 용량을 가지고 있음을 알 수 있다. 전송 손실을 적정선으로 유지하도록 셀의 크기를 정하는 경우 작은 출력 전력으로 용량을 유지할 수 있다.

그림 3은 데이터 서비스(144 kbps)에 대해서 전력이 제한된 경우의 사용자 용량과 용량의 상한계를 나타낸다. 이 경우에는 마이크로 셀을 기준으로 하였으며 전송 전력은 1W로 고정하였다. 전체적으로 음성 서비스의 경우와 같은 경향을 보인다. 단 고속 데이터 서비스의 경우 전체 용량이 음성에 비해서 줄어들었음을 알 수 있다.

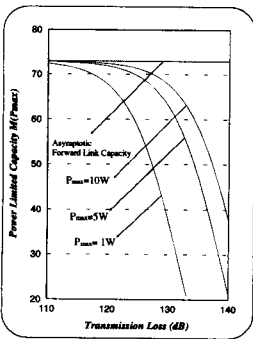


그림 2. 전송손실과 전송전력에 따른 시스템 용량

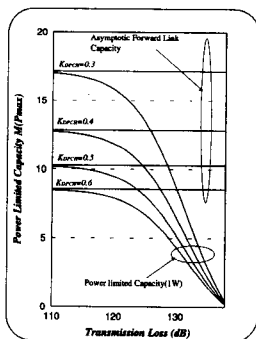


그림 3. 순방향 전력제어 factor와 전송손실에 따른 시스템 용량

2. 역방향 링크 버짓

역방향 링크에서는 일반적으로 트래픽에 관련된 채널에 대해서 고려하므로 순방향 링크와는 달리

채널별 전력 분배에 대해서는 고려하지 않아도 된다. CDMA에서 모든 이동국의 신호들은 같은 대역을 같은 시간에 차지하게 된다. 또한 사용자의 위치가 서로 다르기 때문에 기지국에 수신되는 신호는 서로 다른 특성을 갖는 다중 경로 환경을 겪게 된다. 이로 인해 각 사용자의 신호의 직교성은 왜곡되게 된다. 따라서, 역방향에서 간섭 성분은 대역 제한된 백색 잡음으로 모델링된다^[7,9,10].

역방향 링크의 전체 평균 간섭 전력은 다음과 같다.

$$I_T = I_{sc} + I_{oc} \tag{5}$$

여기서, $I_{sc} = (M - 1) \cdot S \cdot \alpha_r$ 는 같은 셀의 간섭 전력이며, $I_{oc} = \xi \cdot M \cdot \alpha_r \cdot S$ 는 다른 셀에 의한 간섭 전력이다. 완벽한 전력 제어가 이루어져서 이동국으로부터 기지국으로 모두 같은 전력 S로 수신된다고 가정한다. 여기서 M은 셀 내의 사용자의 수이고 α_r 는 Voice Activity Factor이다. 그리고 Reuse

Fraction $\xi = \frac{\text{total other - cell received power}}{\text{total same - cell received power}}$ 이다. 따라서, 역방향 링크에서 자기 셀 간섭과 다른 셀 간섭을 더한 총 간섭 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_T = [(1 + \xi)M - 1] \alpha_r S = \left(\frac{M}{F_e} - 1 \right) \alpha_r S \tag{6}$$

여기서 F_e 는 Reuse Efficiency라고 부른다.

이와 같은 Reuse Efficiency를 이용하여 기지국 수신기에서 역방향 링크 DCH(이하 RDCH)의 E_b/N_0 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이때 수신기에서 요구 E_b/N_0 값을 ρ_{RDCH} 로 유지하도록 전력 제어 된다고 가정한다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{RDCH} = \frac{S \cdot PG_{RDCH}}{\sigma^2 + I_T} = \frac{P_{RDCH} \cdot PG_{RDCH} / L_T(R)}{(N_0 W)_c + (M/F_e - 1) \alpha_r \cdot P_{RDCH} / L_T(R)} = \rho_{RDCH}$$

위의 수식을 사용자 수 M에 대해 나타내면 다음과 같다.

$$M = F_e \left(1 + \frac{PG_{RDCH}}{\rho_{RDCH} \alpha_r} - \frac{(N_0 W)_c \cdot L_T(R)}{\alpha_r P_{RDCH}} \right) \tag{7}$$

M값은 식 (7)에서 잡음이 0이라고 둘 때 최대값을 갖는다. 즉,

$$M_{\max} \Delta M \Big|_{\sigma^2=0} = F_c \left(1 + \frac{PG_{RDCH}}{\rho_{RDCH} \alpha_r} \right) \quad (8)$$

이다. 이 값은 역방향 링크에서의 시스템 용량의 상한계로 볼 수 있으며 전력값을 아무리 증가시키더라도 식 (8)에 의해 제한된 시스템 용량 이상으로는 증가하지 않는다.

역방향 링크의 분석에 쓰인 파라미터들의 값은 다음 표 3과 같다.

표 3. 역방향 링크 버짓의 파라미터

파라미터		값
DCH 정보율	Voice	12.2 kbps
	Data	144 kbps
요구 Eb/No (ρ_{DCH})	Macro	voice: 8dB/data: 4dB
	Micro	voice: 4dB/data: 3dB
N_m		-103dBm
α_f	Voice	0.4
	Data	1
F_c		0.65
ξ		0.55

그림 4는 사용자 수에 따른 이동국의 전송 전력을 나타낸 것이다. 사용자의 수가 증가함에 따라 전송 전력이 증가하게 되는데 사용자의 수가 포화상태에 이를수록 전송 전력은 급격히 증가하게 된다.

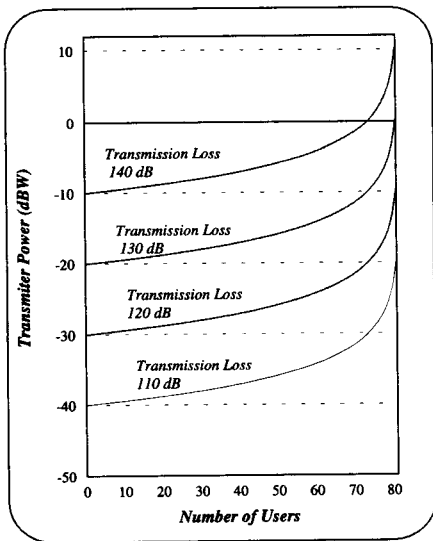


그림 4. 사용자 수에 따른 이동국의 전송전력

3. 링크 밸런스

앞에서 살펴본 바와 같이 CDMA에서는 전송전력을 증가시키더라도 어느 한계점에 이르면 사용자 용량은 더 이상 증가하지 않는다. 이는 간섭 전력 또한 같이 증가하기 때문이다. 또한 CDMA 순방향 커버리지와 역방향 커버리지 면적간의 균형을 유지하기 위해서는 적절한 양의 전송전력을 사용해야 한다.

순방향 링크와 역방향 링크의 경로 손실이 같을 경우 두 링크의 커버리지 영역은 균형을 이룬다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 안테나 이득 및 각종 손실에 대한 값이 같다고 가정할 경우 링크 밸런스 파라미터는 다음과 같이 둘 수 있다.

$$B = L_{reverse} - L_{forward} (dB) \quad (9)$$

이제 역방향 링크와 순방향 링크의 밸런스가 정확히 맞다고 가정하고, 이를 위해 $B=0$ 으로 둔다. 각 링크의 링크 버짓으로부터 전송 손실에 관한 수식을 유도하여 대입하면 다음과 같다.

$$B = L_{reverse} - L_{forward} (dB) = \left\{ P_{RDCH} (dBm) - N_c (dBm) + 10 \log_{10} \left[\frac{PG_{RDCH}}{\rho_{RDCH}} \cdot \left(\frac{M}{F_c} - 1 \right) \alpha_r \right] \right\} - \left\{ P_{total} (dBm) - N_m (dBm) + 10 \log_{10} \left(\frac{\xi_{CPICH} \cdot PG_{CPICH}}{\rho_{CPICH}} - K_f \right) \right\} = 0$$

여기서 ξ_{CPICH} 는 전체 전력에서 CPICH가 차지하는 전력의 비를 나타낸다. 위 식을 선형으로 변환하여 P_{total} 에 대해서 정리하고 $P_{CPICH} = \xi_{CPICH} \cdot P_{total}$ 을 대입하면

$$P_{CPICH} = P_{RDCH} \cdot \xi_{CPICH} \cdot \frac{N_m \cdot \rho_{CPICH}}{N_c \cdot \rho_{RDCH}} \cdot \frac{PG_{RDCH}}{PG_{CPICH}} \cdot \frac{1 - \left(\frac{M}{F_c} - 1 \right) \alpha_r \cdot \frac{\rho_{RDCH}}{PG_{RDCH}}}{\xi_{CPICH} - K_f \cdot \frac{\rho_{CPICH}}{PG_{CPICH}}}$$

이 된다. 위의 식을 통해서 순방향 링크의 파워로전력과 역방향 링크의 이동국의 전송 전력의 비를 알 수 있다.

그림 5는 순방향 링크와 역방향 링크의 밸런스가 이루어질 때 순방향 링크의 CPICH의 전력과 역방향 링크의 전력의 비를 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 것처럼 순방향 링크의 전력 제어 Factor에 따라서 전력 비의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 이것은 전력 제어의 중요성을 보여주고 있다. 그림 6은 마이크로 셀 환경에서 데이터에 대해서 나타낸 경우

로서 그림 5와 거의 비슷한 형태를 보인다.

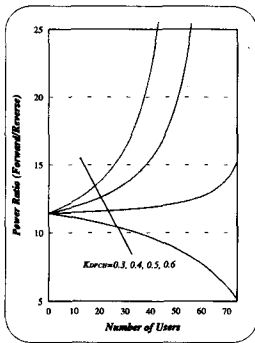


그림 5. 순방향-역방향의 전력비(음성)

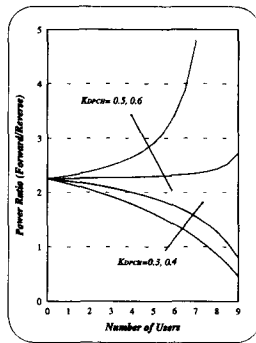


그림 6. 순방향-역방향의 전력비(데이터)

III. 순방향과 역방향 커버리지

1. 순방향 커버리지

이번 절에서는 셀의 종류 및 이에 따른 전파 모델 등의 각종 파라미터를 기준으로 하여 최적화된 셀의 크기를 결정하는 방법을 알아보도록 한다.

도심 환경의 전파 모델은 COST-231 (Walfisch-Ikegami)의 Non Line of Sight 모델^[5,10]을 이용하고 도심 근교 지역은 HATA 모델의 Suburban 모델^[4]을 사용하도록 한다.

1) 매크로 셀

그림 7은 도심지역에서 기지국 안테나와 사용자 사이의 거리가 d(Km) 일 때의 사용자 용량의 변화를 나타낸 것으로 순방향 링크를 기준으로 하였으며 음성 서비스를 기준으로 한다. 기지국의 최대 출력 전력은 43 dBm으로 두도록 한다. 전파 모델에 사용한 변수 값은 다음과 같다.

표 4. COST-231 (Walfisch-Ikegami)모델의 파라미터

파라미터	값
건물에서 도로까지 거리, W	20m
건물 간 거리, B	40m
이동국 안테나 높이, hm	1.5m
Street에 대한 전파 각도, ϕ	90°

매크로 셀 분석에 있어서 기지국의 안테나는 건물의 옥상 위에 있다고 가정하며 그 높이는 각각 건물 위 5m와 10m로 둔다. 그림에서 볼 수 있듯이

평균적인 건물들의 높이가 낮을수록 같은 거리에서 더 많은 사용자를 포함할 수 있다. 또한 안테나의 높이가 높을수록 사용자의 용량이 증가함을 알 수 있다.

그림 8은 교외 지역에서의 매크로 셀에 대해서 거리와 용량의 관계를 나타낸 것이다 (음성 서비스 기준). 교외 지역에서는 밀집된 건물들에 의한 전파의 감쇄 현상이 도심 지역보다는 적게 나타나기 때문에 셀의 반경이 확장되고 있는 것을 알 수 있다.

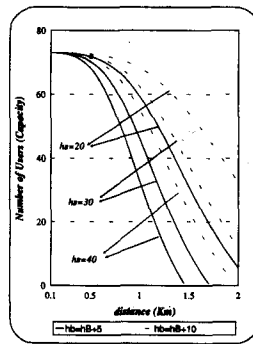


그림 7. 거리에 따른 용량 변화(도심,음성)

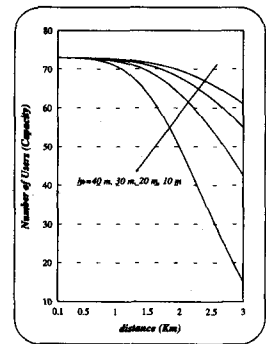


그림 8. 거리에 따른 용량 변화(교외,음성)

2) 마이크로 셀

마이크로 셀은 매크로 셀이 커버하지 못하는 음영지역을 보완하거나 사용자가 많이 분포하는 곳의 용량을 증가시키기 위해서 사용된다. 또한 매크로 셀과 중첩되어 보행자 혹은 고속 데이터 서비스를 위해서 사용될 수 있다. 일반적으로 마이크로 셀은 안테나의 높이가 매크로 셀보다 낮으며 이에 따라서 전파의 감쇄가 빨리 일어나게 된다. 그림 9와 그림 10은 도심지역에서 기지국 안테나와 사용자 사이의 거리가 d(Km)일 때의 사용자 용량의 변화를

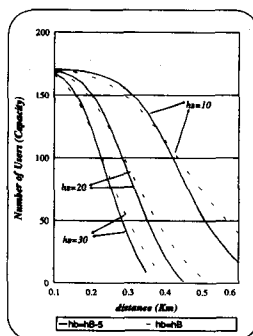


그림 9. 거리에 따른 용량 변화(도심,음성)

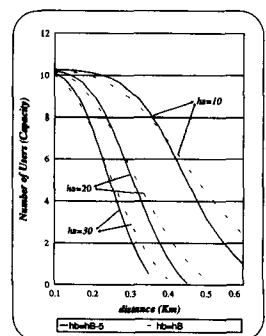


그림 10. 거리에 따른 용량 변화(도심,데이터)

나타낸 것으로 마이크로 셀의 순방향 링크를 기준으로 하였다. 사용자에게 제공되는 서비스는 각각 음성(12.2kbps)과 데이터(144kbps)이며 기지국의 최대 출력 전력은 33 dBm이다. 그림을 보면 마이크로 셀에서는 매크로 셀에 비해서 경로 감쇄가 급격히 일어나는 것을 알 수 있다.

2. Call Blocking 확률 및 Erlang Capacity
이 절에서는 IMT-2000 CDMA 시스템의 Erlang 용량을 구한다. 이는 IMT-2000 시스템에 대한 Erlang 트래픽을 구하기 위해 분석되며, 영역 커버리지와 전체 지역 용량의 관점에서 시스템 설계의 기초로 활용될 수 있다. 여기서 Call Access에 대한 Call Blocking 확률을 얻어낼 수 있다.

논문에서는 전체 사용자 간섭 전력을 가우시안 분포라고 가정하고 CDMA Erlang 용량을 분석한다. 우선, M 명의 통화중인 사용자를 가지는 하나의 독립적인 CDMA 셀을 고려하자. 정규화된 간섭을 나타내는 랜덤 변수 Z가 어떤 경계치 이상을 초과하면 M+1번째 사용자에게 대한 채널은 사용 불가능하게 된다^[13].

가우시안 가정 하에서 Z의 평균과 분산을 구하고 간섭 파라미터를 셀 부하 임계치 X_0 로 표현하면 최종적인 Blocking 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$B_{CDMA} = Q \left[\frac{\frac{w}{R_b} X_0 - \overline{M} \overline{\alpha_r} \rho_{med} e^{\frac{1}{2} \beta^2 \rho_{an}^2} (1 + \xi)}{\sqrt{M \overline{\alpha_r}^2 \rho_{med}^2 e^{2\beta^2 \rho_{an}^2} (1 + \xi')}} \right] \quad (10)$$

여기서 $Q_z(\cdot)$ 는 랜덤변수 Z의 표준화된(평균 0, 분산 1) 누적분포 함수이고, \overline{M} 가 Erlang-용량이다. 이제 단일 셀과 다중 셀에서 Erlang 용량과 Blocking 확률의 관계를 그래프로 그려보자. 분석에 사용된 파라미터를 정리하면 표 5와 같다.

그림 11과 그림 12에는 90%의 셀 부하를 고려했을 때, 요구되는 Eb/No를 변화시켜가며 평균 사용자 수에 대한 Blocking 확률을 매크로 셀과 마이크로 셀에 대해 분석한 그래프이다.

3GPP에서 데이터비트에 요구되는 Eb/No는 매크로 셀에서는 8dB, 마이크로 셀에서는 3dB이며 그 주변 값을 대상으로 분석하였으며, 이 값이 주어진 Blocking 레벨에서 평균 사용자 수에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 다중 셀의 간섭을 고려했을 때의 결과를 단일 셀의 자기 셀 내 간섭만을 고려했을 때와 비교하였다.

표 5. Erlang용량과 Blocking 확률에 대한 시스템 파라미터

시스템 파라미터	매크로셀	마이크로셀	단위
데이터율 R_b	12.2	144	kbps
대역폭 W	4.096	4.096	MHz
전력제어시 수신 신호 분산 σ_{AB}	2.5	2.5	dB
Reuse Fraction	$\xi = 0.55$ $\xi' = 0.086$	$\xi = 0.55$ $\xi' = 0.086$	
셀 부하 임계치 X_0	0.9	0.9	
활동율	$\overline{\alpha_r} = 0.4$ $\overline{\alpha_r}^2 = 0.31$	$\overline{\alpha_r} = 1$ $\overline{\alpha_r}^2 = 1$	
요구 평균 m_{dB}	6, 7, 8	2, 3, 4	dB

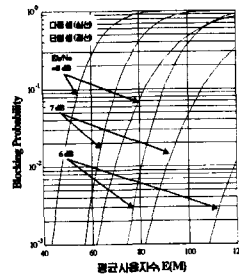


그림 11. Blocking 확률 곡선 (매크로셀, $X_0=0.9$)

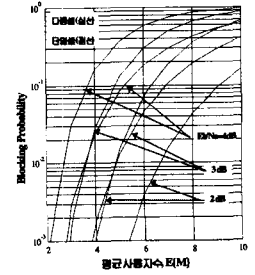


그림 12. Blocking 확률 곡선 (마이크로셀, $X_0=0.9$)

3. 역방향 커버리지

이동통신 환경에서 기지국 섹터의 영역 커버리지 분석을 통해 기지국 수신기에서 충분한 신호 크기를 가지면서 기지국과 통신하는 사용자 단말기에 대한 지역적 커버리지를 정할 수 있다. 본 절에서는 요구되는 수신 신호 크기를 계산하고 전파 손실 모델을 사용하여 최소 신호에 대한 셀 반경과 영역을 구하여 CDMA 셀룰러 시스템에서의 용량과 커버리지의 관계를 보인다. 셀 반경은 전파 손실을 통해 수신 신호 레벨이 요구되는 값과 일치되는 거리를 구함으로써 계산되어진다.

기지국 수신기에서의 신호 전력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_S (dBm) = \text{transmitter power} + \text{gains} - \text{losses} - L_{\max} = P_R (dBm) \Big|_{no\ loss} - L_{\max} \quad (11)$$

전파손실을 고려하여 셀 반경에 대해 셀 부하의 함수로 나타내면 다음 식과 같다.

$$R_{km} (dBkm) = \frac{L_{max} - L_1}{\gamma}$$

$$= \frac{P_R (dBm)_{no\ loss} - L_1 - P'_G (dBm) - M_{dB} + 10\log_{10}(1 - M / M_{max})}{\gamma}$$

여기서 L_1 은 1km의 거리에 대한 손실 값이고 γ 는 Propagation Power Law이다. 이 거리 함수를 통해 이동국의 전송 전력에 대해 얻어질 수 있는 최대 셀 반경을 구할 수 있다. 가능한 3GPP의 링크 버짓 파라미터의 값은 표 1을 참조한다.

그림 13과 그림 14는 COST231에서 설정한 Walfisch-Ikegami 전파 모델 (WIM) 에 대해서 요구 E_b/N_0 를 변화시키면서, 사용자 수에 따른 셀 반경 곡선을 그린 것이다. 전파 모델에 사용된 설정 파라미터는 표 6에 정리하였다. 결과그래프로부터 역방향 링크에서 E_b/N_0 요구치는 셀 크기와 임의의 사용자에 대한 셀 크기 감소율에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

표 6. COST-231(Walfisch-Ikegami)전파 모델의 파라미터

파라미터	매크로셀	마이크로셀	단위
BS 안테나 높이 h_b	30	15	m
MS 안테나 높이 h_m	1.5	1.5	m
평균 건물의 높이 h_B	20	20	m
건물간 거리 b	40	40	m
거리의 폭 w	20	20	m
거리에 대한 전파 각도 ψ	90°	90°	도

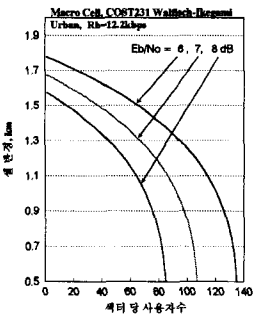


그림 13. 사용자 수에 따른 셀 반경 곡선 ($P_{rel}=0.8$)

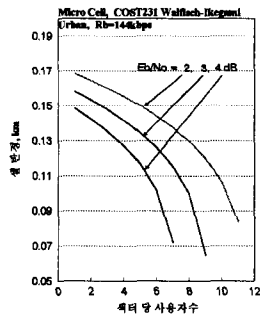


그림 14. 사용자 수에 따른 셀 반경 곡선 ($P_{rel}=0.8$)

IV. 효율적인 셀 설계 방향

본 장에서는 제공되는 서비스 및 각종 파라미터

를 이용하여 순방향과 역방향 링크의 셀 커버리지에 대해 분석하고 셀의 설계방향에 대해서 알아본다.

1. 도심환경 시나리오

도심 환경에서 여러 서비스를 이용하는 사용자들이 고루 분포되어 있다고 가정하고, 이들을 매크로 셀과 마이크로 셀에서 수용할 때 최대 용량과 셀 커버리지와의 관계를 구하여 본다. 표 7은 시나리오에서 설정된 여러 파라미터들을 나타낸 것이다.

표에서 보듯이 음성과 저속 데이터는 매크로 셀과 마이크로 셀에 모두 수용한다고 가정하고, 384 kbps의 고속 데이터의 경우는 마이크로 셀에만 할당한다고 가정한다.

표 7. 시나리오에서 설정된 파라미터

파라미터	값		
	음성	저속data	고속data
매크로 셀에서의 서비스별 비율	12.2kbps 90%	144kbps 10%	
마이크로 셀에서의 서비스별 비율	12.2kbps 70%	144kbps 20%	344kbps 10%
Fade margin	10dB		
	매크로셀	마이크로 셀	
BS 안테나 높이 h_b	30 m	10 m	
MS 안테나 높이 h_m	1.5 m	1.5 m	
평균 건물의 높이 h_B	20 m	20 m	
건물간 거리 b	40 m	40 m	
거리의 폭 w	20 m	20 m	
거리에 대한 전파 각도 ψ	90°	90°	

2. 계층셀 구조에서의 순방향과 역방향 커버리지

1) 순방향 링크의 커버리지

그림 15는 도심지역을 가정할 때 매크로 셀에서 셀 반경에 따른 용량을 나타낸 것이다. 반경을 약 1km정도 두 경우 음성 사용자는 29명, 데이터 사용자는 3명 정도를 포함할 수 있는 것을 알 수 있다. 전체적으로 데이터 서비스가 제공되면 그에 따라 음성 사용자의 용량이 많이 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 16은 마이크로 셀에서 셀 반경에 따른 사용자 용량을 나타낸 경우로 데이터 서비스는 144

kbps의 저속 데이터 서비스와 384 kbps의 고속 데이터 서비스를 모두 고려한 경우이다. 그림을 보면 반경 0.2km에서 음성 서비스는 14명, 저속 데이터 서비스는 4명, 고속 데이터 서비스는 2명 정도가 동시에 서비스를 받을 수 있게 된다. 마이크로 셀에서의 경우도 데이터 사용자가 발생하면 음성 사용자의 용량은 많이 감소하는 것을 알 수 있다.

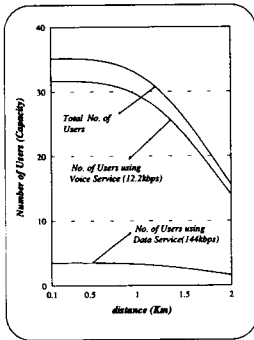


그림 15. 다양한 서비스에 대한 매크로 셀에서의 용량

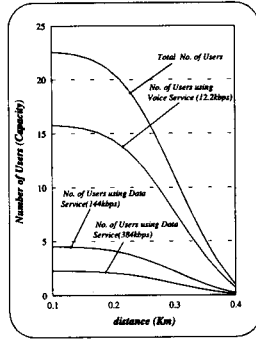


그림 16. 다양한 서비스에 대한 마이크로 셀에서의 용량

2) 역방향 링크의 커버리지

그림 17은 도심지역을 가정할 경우 매크로 셀에서 셀 반경에 따른 용량을 역방향 링크에 대해 나타낸 것이다. 데이터(144 kbps) 서비스를 이용하는 사용자 0명부터 7명까지 증가시켜가며 그로 인한 음성 서비스 사용자의 감소를 나타내었다. 반경 약 1km 지점에서 데이터 서비스와 음성 서비스의 비율이 9:1 정도가 되는 곡선은, 데이터 4명, 음성 32명인 경우와 데이터 3명, 음성 42명인 경우이다. 순방향 링크에서보다 같은 반경 안에서 좀더 많은 사용자를 수용할 수 있음을 알 수 있다.

그림 18은 마이크로 셀에서 셀 반경에 따른 사용자 용량을 나타낸 경우로 데이터 서비스는 144 kbps의 저속 데이터 서비스와 384 kbps의 고속 데이터 서비스를 모두 고려한 경우이다. 반경 0.2km 되는 지점에서 음성, 저속데이터, 고속데이터 사용자의 비율이 7:2:1 정도 되는 용량은 고속 데이터 2명, 저속 데이터 4명, 음성 22명이 되는 경우다.

3. 효율적인 셀 설계 방향

이상과 같이 임의의 서비스별 사용자 분포를 정하고 셀의 반경에 따른 사용자 용량을 구하여 보았다. 이 경우 매크로 셀 하나에 대략 25개의 마이크로 셀이 들어가게 된다. 다시 말해, 3.14 km²의 지

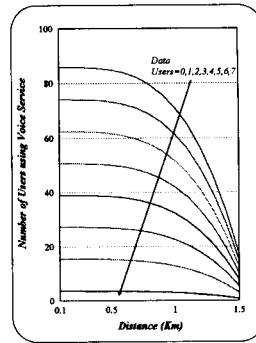


그림 17. 다양한 서비스에 대한 매크로 셀에서의 용량

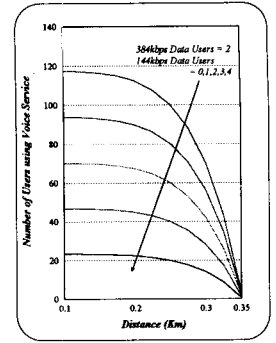


그림 18. 다양한 서비스에 대한 마이크로 셀에서의 용량

역 안에 하나의 매크로 셀 기지국과 25개의 마이크로 셀 기지국이 설치되어야 하며, 384kbps의 고속 데이터 서비스에 대해 50명의 사용자, 144kbps의 저속 데이터 서비스에 대해 103명의 사용자, 그리고 음성 서비스에 대해 379명의 사용자를 수용할 수 있게 된다. 이는 순방향과 역방향 링크 밸런스를 고려한 값이다. 이러한 수치는 서비스별 사용자 분포 비율을 어떻게 설정하나에 따라 많이 달라진다.

본 논문을 통해 효율적인 셀 설계를 위해 고려되어야 할 몇 가지의 방향을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 데이터 사용자는 높은 비트율과 통화 점유 시간으로 인해 음성 서비스 사용자의 용량에 막대한 영향을 끼치게 된다. 따라서 셀 설계 측면에서 보면 이동성이 강한 사용자나 음성 사용자는 되도록 매크로 셀로 할당하고 데이터 서비스, 특히 고속 데이터 서비스의 경우에는 마이크로 셀로 할당하는 것이 바람직하다.

둘째, 매크로 셀 영역 전부를 마이크로 셀로 커버할 경우 많은 기지국 수를 필요로 하게 된다. 따라서 사용자 분포를 정확히 파악하여 데이터 서비스율이 높은 지역에 마이크로 셀을 집중적으로 설계하는 것이 효율적인 배치가 될 것이다.

셋째, 셀 커버리지와 사용자 용량을 증가시키기 위한 또 하나의 방법으로써 요구되는 SNR을 낮추는 방안을 생각할 수 있다. 이는 결국 시스템 성능이 좌우하게 되는데 여러 기법을 통해 향상을 가져올 수 있다. 예를 들어 IMT-2000 시스템에서 채택된 전송 다이버시티 기법 등이 유력시 되는 기법이라 할 수 있다. 전송 다이버시티를 사용하는 경우 페이딩 현상을 잘 극복할 수 있기 때문에 전체적으로 요구되는 수신 Eb/No의 값이 낮아지게 된다. 또

하나의 기법으로 채널 추정 기법으로 인한 성능 향상을 들 수 있겠다. 이미 사용하고 있는 소프트 핸드오프 기법도 이러한 요구 수신 전력 감소면에서 크게 기여하고 있다고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 우선, IMT-2000 환경에 대해 권고안을 중심으로 적합한 모델을 설정하였다. 그리고 3GPP 에 제시된 채널 구조 및 UMTS 환경에 적합한 파라미터들을 설정하여 셀 설계를 수행하였다.

또한 IMT-2000 시스템에서의 순방향/역방향 링크 버짓을 구하여 사용자의 용량 증가에 따른 전력 및 셀 크기의 변화를 살펴보았으며, 이를 셀 구조에서는 매크로 셀과 마이크로 셀, 서비스의 종류에서는 음성 서비스(12.2 kbps)와 데이터 서비스(144 kbps), 지역적으로는 도심지역과 근교 지역으로 나누어서 살펴보았다. 여러 환경에서의 분석 결과를 보면 일반적으로 도심 지역 및 사용자가 많은 지역에서는 셀의 크기가 상대적으로 줄어든다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 다양한 환경에서의 분석 결과 뿐 아니라 각 서비스에 따른 사용자 용량의 이론적인 한계치를 제시하였으며 전송 손실에 따른 사용자 용량의 변화를 알아보았다. 또한 무선 전파 환경으로 인해 발생하는 채널 변화를 보상하기 위해 링크 마진과 페이딩 마진, 그리고 Call Blocking율을 고려하였으며 이로부터 CDMA 시스템의 Erlang Capacity를 유도해 낼 수 있었다.

또한 본 논문의 분석결과를 통하여 IMT-2000 시뮬레이터 구성시 필요한 모델링 방법 및 각종 파라미터들을 제시하였으며, IMT-2000 서비스 상용화 시 요구될 효율적인 셀 설계 기법 및 용량 극대화 방안을 제시하였다.

본 연구 결과를 바탕으로 이루어져야 할 향후 연구 과제로 셀 설계시 3GPP 시스템이 지원하는 다양한 서비스에 맞추어서 분석을 해야 할 것이다. 향후 제공될 서비스의 종류 및 이에 대한 사용자의 분포를 예측하고 이를 토대로 분석 모델이 좀 더 현실성을 갖도록 하여야 한다.

참고 문헌

[1] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Technical Specification, 2000

[2] Almgren, M. et al, "Channel Allocation and Power Settings in a Cellular System with Macro and Micro Cells Using the Same Frequency Spectrum," VTC'96, USA, pp.1150-1154, April/May 1996.

[3] R. Coombs and R. Steele, "Introducing Microcells into Macrocellular Networks : Case Study," IEEE Trans. Commun., Vol. 47, No. 4, Apr. 1999, pp 568-576.

[4] M. Hata, "Empirical Formular for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Trans. on VT, vol. VT-29, pp.317-325, Aug. 1980.

[5] F. Ikegami, S. Yoshida, T. Takeuchi and M. Umehira, "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets," IEEE Trans. on AP, vol. AP-32, pp. 822-829, 1984.

[6] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technology for IMT-2000

[7] Klein S. Gilhousen, Irwin M. Jacobs, Roberto Padovani, Andrew J. Viterbi, Lindsay A. Weaver, and Charles E. Wheatly III, "On the Capacity of a cellular CDMA system," IEEE Trans. On VT., Vol. 40, No.2, pp.303-311, May 1991.

[8] Xavier Lagrange, "Multitier Cell Design," IEEE Comm. Mag., Aug, 1997.

[9] W. C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. Vehicle. Technol., vol. 40, No. 2, pp.291-302, 1991.

[10] J.S.Lee, CDMA System Engineering Handbook, Artech House Publishers, 1998.

[11] Chin-Lin, Larry J. Greenstein, and Richard D. Gitlin, "A Microcell/Macrocell Cellular Architecture for Low- and High-Mobility Wireless Users," IEEE Journal on Selected Areas in Comm. Vol. 11, No.6, pp.885-891, Aug. 1993.

[12] Qualcomm., CDMA System Engineering, Qualcomm, 1993.

[13] Viterbi, A.M., and A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA Systems," IEEE JSAC, Vol. 11, pp. 892-900, Aug. 1993.

양 하 영(Ha-young Yang) 정회원
한국통신학회논문지, 제 23 권, 제 10 호,
1998년 10월호 pp.2710-2718 참조

김 주 응(Joo-eung Kim) 정회원
1996년 2월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 졸업
1998년 2월 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과
졸업(공학석사)
1998년 3월~현재 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터
공학과 박사과정
<주관심 분야> 이동통신시스템, CDMA, 셀플래닝

정 현 민(Hyun-meen Jung) 정회원
한국통신학회논문지, 제 23 권, 제 10 호,
1998년 10월호 pp.2719-2729 참조

홍 대 식(Dae-sik Hong) 정회원
한국통신학회논문지, 제 21 권, 제 8 호,
1996년 8월호 pp.2109-2117 참조

강 창 언(Dae-sik Hong) 정회원
한국통신학회 논문지 제 21 권, 제 10 호,
1996년 10월호 pp.2660-2669 참조