

# 스위칭 중계기를 사용한 이동통신 시스템의 채널용량

○ \* \* \* \*  
김장욱, 최 완, 오창현, 조성준

\* 한국통신프리텔  
\*\* 한국기술교육대학교  
\*\*\* 한국항공대학교 대학원

## Channel Capacity of Mobile Communication System Using Switching Repeater

○ \* \* \* \*  
Jang wook Kim, Wan Choi, Chang-Heon Oh , Sung Joon Cho

\* Korea Telecom Freetel  
\*\* Korea University of Tech. & Edu.  
\*\*\* Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

### 요 약

이동통신 시스템에서 지하 주차장, 지하상가, 터널, 빌딩내부등과 같이 기지국에 의한 신호의 커버리지가 충분하지 못한 지역들이 발생하게 된다. 이러한 영역의 경제적인 해결 방안으로 중계기가 널리 사용된다. 그러나, 중계기의 수가 증가할수록 역방향 링크의 기지국으로 유입되는 잡음 전력이 중계기의 숫자에 비례하여 증가하기 때문에 채널 용량이 감소하게 된다. 수십, 수백개의 중계기가 하나의 기지국에 연결되는 상황에서 이러한 채널 용량의 감소는 더 이상 무시할 수 없다. 본 논문에서는 커버리지 내에 통화중인 사용자가 없을 때에 자동적으로 동작하지 않는 스위칭 중계기를 제안하였다. 스위칭 중계기를 사용하면 중계기의 커버리지 내에 통화중인 사용자가 없을 때 불필요한 잡음 레벨을 줄일 수 있다. 스위칭 중계기를 사용한 이동통신 시스템의 역방향 링크 채널 용량을 수학적으로 분석하여 스위칭 중계기를 사용하지 않는 상황과 비교하였다. 그 결과 스위칭 중계기를 사용할 때 충분히 채널용량이 개선되었음을 알 수 있었다.

### I. 서론

최근들어 여러가지 장점을 가진 CDMA (code division multiple access) 기술을 셀룰라 이동통신에 사용하는 데 관심이 집중되어 왔다<sup>[1,2]</sup>.

한국에서는 CDMA 셀룰라 서비스 사업자들이 초기 단계에 자사의 가입자수를 늘이는 데 총력을 기울였다. 현재 가입자의 규모는 2 천만을 넘었고, 시장이 안정화된 상황에서 서비스의 질적인 향상을 위해 각각의 서비스 사업자들은 지하 주차장, 지하

상가, 터널, 빌딩내부등의 음영지역을 해소하여 커버리지를 효과적으로 확장하는데 전념하고 있다. 이러한 지역들에는 경제적으로 새로운 기지국을 세우기 부적합하기 때문에 중계기가 널리 사용된다. 중계기를 사용함으로써 경제적인 면만 아니라 다음과 같은 이득을 얻을 수 있다.

- 1) 기지국의 전송전력의 감소 - 중계기를 사용하지 않으면 음영지역을 해소하기 위해 기지국에서 더 높은 전력으로 전송해야 한다. 2) 핸드오프의 감소 - 이동국이 모체 기지국으로부터 중계기로 이동할 때는

핸드오프가 없다<sup>[3,4]</sup>. 순방향 링크에서 중계기는 모체 기지국으로부터 신호를 받고, 신호는 증폭되어 이동국으로 전송된다. 역방향 링크에서는 중계기가 이동국으로부터 신호를 받아 기지국으로 전송한다. 다수의 중계기를 도입하면 커버리지가 현저하게 확장된다. 그러나 배경잡음 전력은 기지국의 숫자에 비례하여 증가한다. 따라서 수십, 수백개의 중계기를 하나의 기지국에 연결할 때 발생하는 배경잡음의 증가는 역방향 링크의 채널 용량을 현저히 감소시키게 된다.

본 논문에서는 역방향 링크의 수신전력 레벨을 검출하여 통화중인 사용자가 없을 때 자동으로 전송 경로를 차단하는 스위칭 중계기를 제안한다. 일반적인 중계기를 사용한 경우와 스위칭 중계기를 사용한 경우의 이동통신 시스템의 역방향 링크 채널용량을 수학적으로 비교, 분석한다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2 장에서는 시스템 환경이 소개되었고, 성능 분석과 결과는 각각 3 장과 4 장에 나타나 있고, 마지막으로 결론을 맺었다.

## II. 시스템 환경

본 논문에서 고려한 시스템 환경은 그림 1 과 같다.

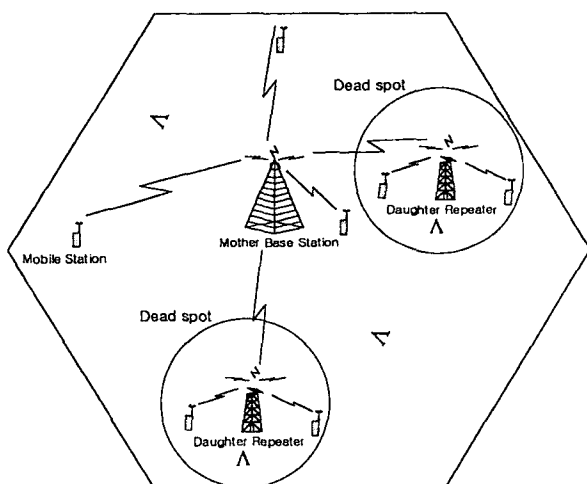


그림 1. 시스템 환경.

중계기를 포함한 기지국의 커버리지는 두 종류의 영역으로 분류될 수 있다. 1) 이동국이 중계기 없이 직접적으로 기지국과 통신할 수 있는 영역(기지국의 커버리지), 2) 이동국이 중계기를 통해 기지국과 통신할 수 있는 영역(중계기의 커버리지).

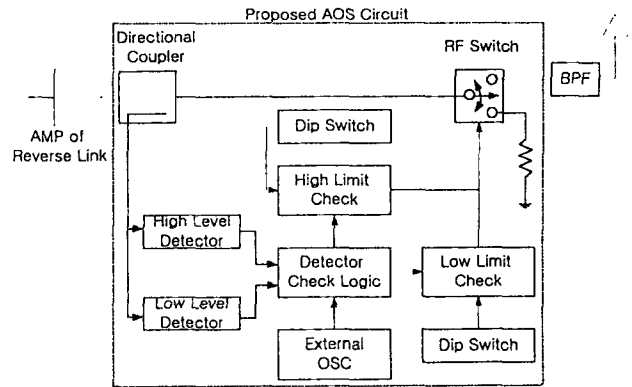


그림 2. 제안한 스위칭 회로의 블록도.

그림 2 는 본 논문에서 제안한 스위칭 회로의 블록도를 나타낸다. 커버리지 내에 통화중인 사용자가 없는 상황을 감지하기 위해 저전력 레벨 검출기와 저전력 제한 검출기가 사용되었다. 미리 정의된 임계치와 타이머를 이용하여 통화중인 사용자가 없는 상황을 판단할 수 있다. 커버리지 내에 통화중인 사용자가 없을 때 스위칭 중계기는 차단된다. 성능분석을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 역방향 링크시 완전한 전력제어가 이루어짐
- 육각셀 구조
- 균일한 이동국의 분포
- 중계기의 출력신호는 기지국의 안테나로 입력됨, 즉, RF 방식의 중계기를 사용.

표 1 은 시스템의 파라미터들을 나타낸다.

표 1. 시스템 파라미터

Parameters	Definitions
$W$	Spreading bandwidth
$N_b$	The number of mobile stations that is transmitting signal directly to a base station
$N_r$	The number of repeaters that are connected to a base station

$N_{rm}$	The number of mobile stations of which power is on within the coverage of a repeater
$L_{r_i,b}$	Path loss between repeater $i$ and base station
$F_b, F_r$	Noise figure of base station and repeater, respectively
$G_r^\alpha$	Receiver gain of repeater $i$
$G_r^\alpha$	Transmitter gain of repeater $i$ (transmit antenna gain+amplifier gain)
$G_b$	Receiver gain of base station
$N_{th}$	Power spectral density of thermal noise
$v$	Voice activity
$R_b$	Data rate
$S_{r_i}$	Received power at a repeater
$S$	Received power at a base station
$\beta$	Other cell interference factor
$\rho$	Mean reverse link activity factor in repeater's coverage $\rho = E(\rho_k), k = 1, 2, \dots, N_{rm}$ $\rho_k = \begin{cases} 1 & \text{for active users} \\ 0 & \text{for idle users} \end{cases}$
$\alpha$	Repeater activity factor $\alpha = E(\alpha_i), i = 1, 2, \dots, N_r$ where $\alpha_i = 1 - \prod_{k=1}^{N_r} (1 - \rho_k)$

$\rho$ 의 변수를 갖는  $E_b/I_t$ 의 기대값은 다음과 같이 주어진다.

$$E\left[\frac{E_b}{I_t}\right] = \frac{S/R_b}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} G_b G_r^\alpha L_{r_i,b} N_{th} F_r + \frac{(1+\beta)vS(N_b + N_{rm}\rho N_r - 1)}{W}} \quad (3)$$

중계기로부터 서비스를 제공받는 이동국의  $E_b/I_t$ 의 기대치는 식(4)과 같다.

$$E\left[\frac{E_b}{I_t}\right] = \frac{S/R_b}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} G_b G_r^\alpha L_{r_i,b} N_{th} F_r + \frac{(1+\beta)vS(N_b + \rho N_{rm} N_r - 1)}{W}} \quad (4)$$

스위칭을 사용하지 않는 일반적인 중계기는 항상 동작한다. 신호를 직접 또는 중계기를 통해 기지국으로 전송하는 사용자의 숫자는 역방향 링크의 채널 용량에 모두 영향을 준다. 그러므로, 역방향 링크의 채널용량은 (5)식과 같이 주어진다.

$$C \equiv N_b + N_r \cdot \rho N_{rm} = \frac{w}{1+\beta} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left\{ \frac{1}{R_b} \cdot \left( \frac{E_b}{I_t} \right)^{-1} - \frac{N_{th}F_b}{S} - \sum_{i=1}^{N_r} \frac{G_b G_r^\alpha L_{r_i,b} \cdot N_{th} \cdot F_r}{S} \right\} + 1 \quad (5)$$

### III. 역방향 링크의 채널용량

#### 1. 스위칭 없는 중계기의 경우

기지국에서 수신된 비트당 에너지  $E_b$ 는 다음과 같다.

$$E_b = \frac{S}{R_b} \quad (1)$$

기지국과 직접 통신하는 이동국으로부터 발생하는 기지국의 총 간섭전력  $I_t$ 는 다음과 같다<sup>[5,6]</sup>.

$$I_t = N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} G_b G_r^\alpha L_{r_i,b} N_{th} F_r + \sum_{j=1}^{N_b-1} \frac{(1+\beta)v_j S}{W} + \sum_{k=1}^{N_{rm}} \sum_{i=1}^{N_r} \frac{(1+\beta)G_b G_r^\alpha L_{r_i,b} G_r^\alpha \rho_k v_k S_{r_i,k}}{W} \quad (2)$$

완전한 전력제어를 가정하면  $S = G_b G_r^\alpha G_r^\alpha L_{r_i,b} \cdot S_{r_i,k}$ 이다.

(1)과 (2)로부터 기지국으로부터 직접 서비스되는 이동국의  $E_b/I_t$ 는 쉽게 구할 수 있다.  $v_k$ 와  $\rho_k$ 가 랜덤 변수이므로  $E_b/I_t$ 도 랜덤 변수이다. 그러나 일반적으로  $E_b/I_t$ 의 평균값이 용량분석에 사용된다<sup>[5,6]</sup>. 그리고  $v_k$ 와

#### 2. 스위칭을 갖는 중계기의 경우

스위칭을 갖는 중계기의 송신경로는 커버리지내에 신호를 전송하는 이동국이 없을 때 자동으로 차단된다. 그러므로 동작하는 중계기의 평균숫자는  $\alpha N_r$ 이다.  $\alpha$ 는 중계기 활성요소이고, 중계기의 커버리지내에 있는 사용자의 역방향 링크 활성요소( $\rho_k, k=1, 2, \dots, N_{rm}$ )에 의해 정해진다.

기지국과 직접 통신하는 이동국으로부터 기지국으로 전달되는  $E_b$ 는 (1)식과 같고, 같은 조건하에서 기지국의  $I_t$ 는 다음과 같다.

$$I_t = N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_b G_r^\alpha L_{r,b} N_{th} F_r + \sum_{j=1}^{N_b-1} \frac{(1+\beta)v_j S}{W} + \sum_{k=1}^{N_m} \sum_{i=1}^{N_r} \frac{(1+\beta)G_b G_r^\alpha L_{r,b} G_r^\alpha \alpha_i \rho_k v_k S_{r,k}}{W} \quad (6)$$

기지국으로부터 직접 서비스받는 이동국의  $E_b/I_t$ 의 기대치는 다음과 같다.

$$E\left[\frac{E_b}{I_t}\right] = \frac{S/R_b}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_b G_r^\alpha L_{r,b} N_{th} F_r + \frac{(1+\beta)vS(N_b + \rho N_{rm} \alpha N_r - 1)}{W}} \quad (7)$$

스위칭을 갖는 중계기에 의해 서비스를 받는 이동국의  $E_b/I_t$  기대치는 아래식과 같다.

$$E\left[\frac{E_b}{I_t}\right] = \frac{S/R_b}{N_{th}F_b + \sum_{i=1}^{N_r} \alpha G_b G_r^\alpha L_{r,b} N_{th} F_r + \frac{(1+\beta)vS(N_b + \alpha \rho N_{rm} N_r - 1)}{W}} \quad (8)$$

스위칭 중계기를 사용하는 셀의 역방향 링크 채널용량은 (9)식과 같이 계산된다.

$$C \equiv N_b + \alpha N_r \cdot \rho N_{rm} = \frac{w}{1+\beta} \cdot \frac{1}{v} \cdot \left\{ \frac{1}{R_b} \cdot \left(\frac{E_b}{I_t}\right)_{req}^{-1} - \frac{N_{th}F_b}{S} - \sum_{i=1}^{N_r} \frac{\alpha \cdot G_b G_r^\alpha L_{r,b} \cdot N_{th} \cdot F_r}{S} \right\} + 1 \quad (9)$$

#### IV. 성능 분석

중계기를 사용하는 이동통신 시스템의 역방향 링크 채널용량은 식(5)과 (9)에 의해 구할 수 있다. 표2에는 성능분석에서 적용한 파라미터 값을 나타내고 있다.

일반적으로 모체기지국과 중계기 사이의 거리는 랜덤 변수가 될 수 있다. 그러나 평균거리는 전체 채널용량을 계산하는데 충분하고 또한 경로손실을 계산하는데도 도입된다.

일반적으로 가입자 폭주시간대의 호 시도가 3이고 평균 유지시간이 2분이면  $\rho$ 의 전형적인 값은 0.1이다.

또한, 중계기의 활성요소  $\alpha$ 는 표1에 있는 수식을 통해 구해지는  $\rho$  값에 의해 얻어진다.

표 2. 시스템 파라미터 값

Parameters	Values
$W$	1.2288MHz
$F_b$	5dB
$G_r^\alpha$	73dB
$G_b$	17.5dBi
$N_{th}$	-174dBm/Hz
$v$	0.4
$R_b$	14.4kbps
$S$	· Minimum: -119dBm · Average: -80dBm · Maximum: -65dBm
$P_{ra}$	30dBm
$\beta$	0.8
$N_r$	Variable
$N_{rm}$	5 or variable
$N_{ra}$	0 or 1
$L_{r,b}$	86.3588dB ( $d=50m$ ) or variable where $L_{r,b} = 40 \log(d) + 18.4$ ( $d > 10m$ , NLOS)
$F_r$	10dB or variable
$\rho$	0.1 or variable
$\alpha$	0.40951

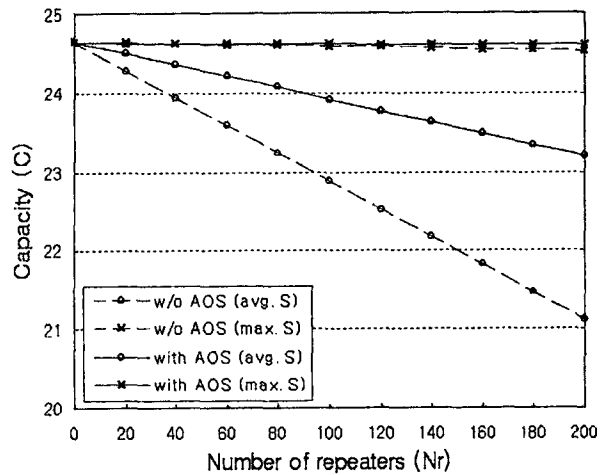


그림3. 중계기의 수( $N_r$ )에 따른 역방향 링크 채널용량

그림 3은 일반적인 중계기를 갖는 이동통신 시스템과 스위칭 중계기를 갖는 시스템의 두 가지 경우에 대해 중계기의 수와 역방향 링크 채널용량의 관계를 나타낸다. 기지국에서 수신된 전력  $S$ 는 -80dBm의

평균값과  $-65\text{dBm}$ 의 최대값을 갖는 경우를 가정하였다. 평균 S에 대해 두 경우의 용량은  $N_r$ 이 증가함에 따라 감소했는데, 이는 모체 기지국의 잡음레벨이 증가하기 때문이다. 스위칭 중계기의 채널용량은 일반적인 중계기의 경우보다 우수했는데, 이는 스위칭 중계기에 의해 유입되는 배경잡음 레벨이 기존 중계기에 의한 경우보다 상대적으로 낮기 때문이다. 최대 S에 대해서는 두 경우 모두 용량은 큰 차이가 없었다. 이는 이동국으로부터 모체 기지국으로 수신된 신호전력이 중계기에 의해 감소되는 잡음전력에 비해 매우 크기 때문이다.

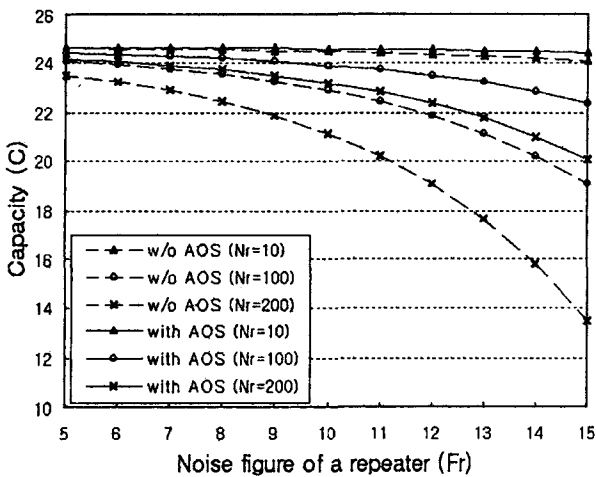


그림4. 중계기의 잡음지수( $F_r$ )에 따른 역방향 링크 채널 용량 ( $N_r=10, 100, 200$ )

그림 4는 중계기를 적게 사용하는 경우( $N_r=10$ ) 중계기의 잡음지수가 증가하여도 스위칭을 사용했을 때나 사용하지 않은 경우에도 용량의 열화가 거의 없으나 중계기를 많이 사용하는 경우 ( $N_r=100$  이상)에는 스위칭을 사용할 때 중계기의 잡음지수의 영향이 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

그림 5에서는 중계기내에 있는 이동국의 수에 따른 용량변화를 나타낸다. 중계기에 의해 서비스되는 이동국의 수가 증가 하더라도 중계기의 수에 대응하여 일정한 용량을 유지한다. 반면에 스위칭을 사용한 중계기에서는 이동국의 수가 증가하게 되면

비록  $N_r$ 이 10인 경우 이동국의 수가 증가하더라도 스위칭을 사용한 경우나 사용하지 않은 경우나 거의 비슷한 용량을 나타내지만 스위칭을 사용하지 않은 경우에 비해서 상대적으로 기지국용량이 큼을 알 수 있다.

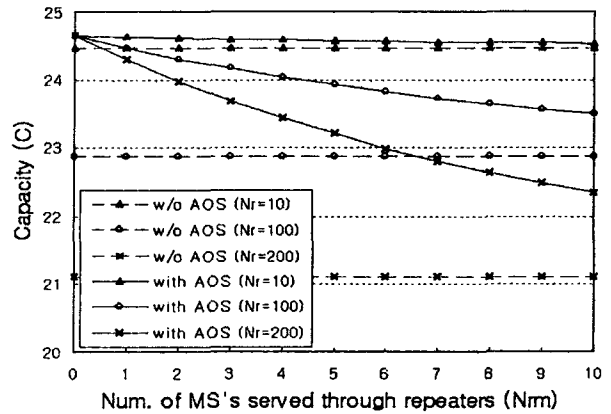


그림5. 중계기의 커버리지내에 있는 통화중인 이동국의 수( $N_{rm}$ )에 따른 역방향 링크 채널용량 ( $N_r=10, 100, 200$ )

### V. 결론

이동통신에서 음영지역을 해소하기 위해 여러 종류의 중계기를 사용하게 된다. 중계기를 사용하게 되면 음영지역 해소에는 효과가 있지만 반면에 다량의 중계기 설치로 인해 기지국의 용량을 감소시키는 효과를 나타내고 있다. 본 논문에서 제안한 스위칭 알고리즘을 이용할 경우 기지국 용량증대 효과를 얻을 수 있다. 중계기의 수, 중계기의 잡음지수, 중계기를 통해 서비스되는 단말기의수에 대한 용량 분석 결과를 통해 중계기의 수가 많은 경우 스위칭 중계기를 사용했을 때가 스위칭 중계기를 사용하지 않았을 때 보다 현저히 용량이 개선되는 것을 알 수 있었다. 이동국으로부터 모체 기지국으로 수신된 신호전력이 중계기에 의해 감소되는 잡음전력에 비해 매우 크기 때문에 스위칭을 사용하는 것이 잡음전력을 낮출 수 있어 우수함을 알 수 있다. 잡음전력을 낮출 수 있기

때문에 기지국의 용량을 증대하는데 바람직한 방법임을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Multiple Access Communication*. Addison-Wesley, New-York, 1995.
- [2] R. Prasad, *CDMA for Wireless Personal Communications*. Artech House Publisher, 1996.
- [3] William C.Y. Lee and David J.Y. Lee, "The impact of repeaters on CDMA system performance," *Proc. of IEEE VTC'2000 Spring*, pp. 1763-1767, Tokyo, Japan, May 15-18, 2000.
- [4] K.S. Jeong, J.M. Cheong, T.H. Park, T.G. Kim, and S. Park, "Performance analysis of DS-SS reverse link with fiber-optic repeaters," *Proc. of IEEE VTC'2000 Spring*, pp. 2439-2443, Tokyo, Japan, May 15-18, 2000.
- [5] Klein S. Gilhousen, et al, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [6] R. Padovani, "Reverse link performance of IS-95 based cellular systems," *IEEE Personal Commun. Mag.*, pp. 28-34, Third quarter 1994.