

# 계층구조 CDMA 셀룰러시스템에서 호손실율과 호차단율에 관한 연구<sup>1</sup>

정희원 허 선\*, 박유진\*, 김종수\*

## A Study on Call Loss and Call Blocking Probabilities in Hierarchical CDMA Cellular Systems

Sun Hur\*, You-Jin Park\*, Jong-Soo Kim\* *Regular Members*

### 요 약

이동통신 서비스 사용자가 통신 중에 다른 셀로 이동하면 핸드오버를 요구한다. 이동하려는 셀에 여유채널이 없을 경우 상위계층의 셀로 핸드오버시켜 계속 서비스를 제공하는 계층구조 CDMA 셀룰러시스템에서의 호손실율과 호차단율을 구한다.

본 논문에서는 CDMA 시스템 환경하에서 마이크로셀로 도착하는 핸드오버트래픽들의 수신신호강도를 일정한 시간간격으로 측정하고, 측정된 수신신호강도로 신호의 감쇄량과 핸드오버영역을 벗어나는 시간을 추정하여 시스템의 호손실율을 산출하는 방법을 제안한다. 한편, 마이크로셀에서 채널을 할당받지 못하고 상위셀인 매크로셀로 핸드오버되는 각각의 입력트래픽을 중단포아송과정으로 모델링하고 취합된 모든 핸드오버 트래픽들을 2-state 마코프변조 포아송과정으로 근사화시켜 Moment matching 을 통하여 파라미터 값들을 구해 매크로셀에서의 호차단율을 산출한다.

### I. 서 론

셀룰러시스템 (cellular system) 중심으로 한 이동통신 서비스에 대한 수요가 급격히 증가함으로 인해 통화량이 급증하여 호의 차단 (call blocking) 과 호의 손실 (call loss), 혼선 등과 같은 통화의 품질 저하현상이 나타나고 있다. 따라서 이동통신 서비스 사용자의 다양한 욕구를 충족시키고 더불어 급격히 증가하는 수요를 가능한 한 많이 수용하기 위해서 새로운 셀룰러시스템과 셀룰러시스템의 용량 증대에 관한 많은 연구와 노력이 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 셀룰러시스템의 용량을 증대시키기 위해 기존의 아날로그 셀룰러 이동통신 시스템에서 디지털 셀룰러 이동통신 시스템으로 전환이 이루어지고 있으며 단위면적당 채널의 용량을 증대시키기 위해 셀의 크기를 줄인 마이크로 셀룰러시스템을 사용하여 보다 많은 이동통신 서비스 가입자를 수용하고 좋은 통

화품질을 제공하고 있다<sup>[2]</sup>. 또한 셀룰러시스템 사용자들에게 제공하는 서비스를 향상시키기 위해 여러 가지 셀룰러시스템들이 제시되고 있는데 이 중 대표적인 것이 계층구조의 시스템이고 이것의 일반적인 형태는 그림 1과 같다<sup>[3]</sup>.

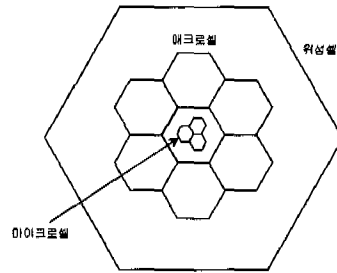


그림 1. 계층구조 셀룰러시스템

그림 1. 계층구조 셀룰러시스템

이동통신 시스템에서 핸드오버 처리과정은 시스

\* 한양대학교 산업공학과(hursun@email.hanyang.ac.kr)

논문번호 : 98206-0504, 접수일자 : 1998년 5월 4일

※ 본 논문은 일부 1997년도 대학기초연구사업에 의해 수행되었음

템 성능에 많은 영향을 미치므로 핸드오버 호손실율과 호차단율은 시스템 성능을 평가하는데 매우 중요한 요소이다. 기존 연구에서는, 채널할당 알고리즘을 제안하고 입력되는 트래픽만을 분석하여 호손실율과 호차단율을 산출하여 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였다.<sup>14)[5][6]</sup> 그러나 마이크로셀과 같이 전파전파특성이 매우 복잡한 상황에서는 수신신호강도의 감쇄를 고려하여 시스템의 성능평가지표인 호손실율과 호차단율을 결정해야 한다. 또한 기존 연구<sup>3)</sup>에서는 마이크로셀에서 매크로셀로 핸드오버되는 각각의 입력트래픽들을 중단포아송과정 (IPP : Interrupted Poisson Process) 으로 모델링하고 취합된 모든 핸드오버 트래픽들을 다시 중단포아송과정으로 근사화시켰다. 그러나 취합된 트래픽인 superposed IPP는 MMPP (Markov Modulated Poisson Process) 로 근사화시키는 것이 더 정확한 모델링이라 할 수 있다.<sup>17)</sup>

본 논문에서는 CDMA 시스템 환경하에서 실제와 근사한 수신신호강도의 감쇄모형을 제시하고 핸드오버 트래픽들의 수신신호강도를 이용하여 호손실율을 산출하는 방법과, 마이크로셀에서 채널을 할당 받지 못하고 상위 셀인 매크로셀로 핸드오버되는 입력트래픽을 2-state 마코프변조 포아송과정으로 모델링하여 호차단율을 산출하는 방법을 제시하고자 한다.

## II. 마이크로셀에서 수신신호의 감쇄를 고려한 호손실율 산출

본 절에서는 마이크로셀에서 시간에 따른 수신신호강도의 감쇄모형을 제시하고, 채널을 할당받아 통화를 하는 호 중에서 통화가 끝나기 전에 강제로 끊어지는 호의 비율인 호손실율을 산출하는 방법을 제시한다.

### 2.1 수신신호감쇄의 수학적 모형

수신신호감쇄모형을 만들기 전에 다음과 같이 모형에 대한 몇 가지 가정들을 제시한다.

- (1) 기지국이 핸드오버영역에 들어온 핸드오버 호에게 채널을 할당해 줄때까지의 시간  $SW\$$ 는 지수분포를 따른다. 이것은 한 사용자가 기지국의 채널을 사용하는 시간 즉, 통화시간이 일반적으로 지수분포를 따른다고 보기 때문이다.
- (2) 기지국에서 수신신호를 일정한 간격  $\Delta T$ 마다 측정하는데,  $T_k$ 를  $k$ 번째 측정시점이라고 할

때 측정간격  $[T_{k-1}, T_k]$ 의 길이  $\Delta T$ 는 매우 짧아서 이 시간간격 사이에 핸드오버영역을 통과하는 호는 없다. 즉, 기지국에서 모든 핸드오버 호의 수신신호를 체크할 수 있다.

- (3) 핸드오버를 요구하던 호의 수신신호가 핸드오버 영역의 수신신호레벨의 하한치를 벗어나면 바로 손실된다.

CDMA방식의 마이크로셀환경에서 기지국으로 수신되는 수신신호는 여러 가지의 복합적인 요소들에 의해 영향을 받기 때문에 신호의 감쇄는 매우 가변적이다. 즉, 수신신호의 감쇄가 일정하지 않으므로 신호감쇄함수의 정확한 수학적 모형을 만드는 것은 매우 어렵다. 그림 2는 임의의 핸드오버 호에 대하여 수신신호의 감쇄가 일정하지 않은 경우의 신호감쇄곡선을 나타내는 그림이다.

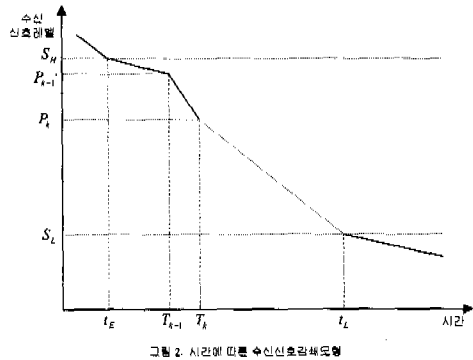


그림 2. 시간에 따른 수신신호감쇄모형

그림 2. 시간에 따른 수신신호감쇄모형

여기서  $t_E$ 는 임의의 핸드오버호가 핸드오버영역에 들어오는 시점,  $t_L$ 은 핸드오버 호가 핸드오버영역을 벗어나는 시점이고,  $S_H$ 는 호가 핸드오버영역에 들어올 때의 수신신호레벨 상한치,  $S_L$ 는 핸드오버영역을 벗어날 때의 수신신호레벨 하한치,  $P_k$ 는 시점  $T_k$ 에서 측정된 핸드오버호의 수신신호 레벨을 나타낸다. 편의상  $t_E = T_0$ 이라고 하자. 핸드오버호의 수신신호가 일정하게 감쇄하지 않으므로 호가 핸드오버영역을 벗어나는 정확한 시간을 구할 수 없다. 따라서 다음과 같은 방법으로 시스템의 호손실율을 산출한다.

### 2.2 호손실율의 계산

신호의 감쇄정도는 측정시간 간격  $[T_{k-1}, T_k]$ 이 매우 짧기 때문에 그 사이에서는 일정하다고 가정

하고 이 구간에서의 신호의 변화를 살펴보면 그림 3과 같다.

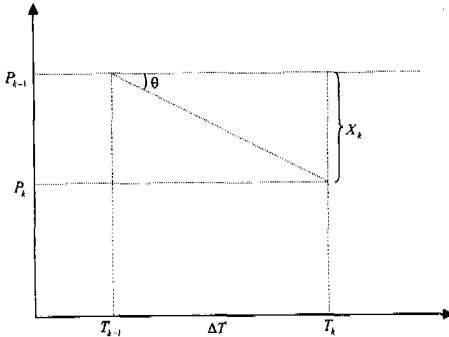


그림 3. 구간  $[T_{k-1}, T_k]$ 에서의 신호의 변화곡선

그림 3. 구간  $[T_{k-1}, T_k]$ 에서의 신호의 변화곡선

$T_{k-1}$  시점에서 측정된 신호가  $T_k$ 시점에서 측정이 되지 않았다면, 이 신호는  $T_k$ 시점 이전에 핸드오버 영역의 하한치를 벗어나 손실되었다고 판단할 수 있다. 즉,  $(T_{k-1}, P_{k-1})$ 점에서부터  $(T_k, P_k)$ 점으로 그은 직선의 기울기보다 신호변화의 기울기가 더 급하다는 것이다.

각 구간  $[T_{k-1}, T_k]$ ,  $(k=1, 2, \dots)$ 에서의 신호의 변화가 서로 독립이고 신호의 기울기  $\theta$ 는  $(0, -\pi/2)$ 에서 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 즉,  $\theta$ 는 Unif  $(0, -\pi/2)$ 를 따른다.

$X_k$ 를 구간  $[T_{k-1}, T_k]$ 에서의 신호의 감쇄량이라고 하자. 그러면  $X_1, X_2, \dots$ 는 서로 독립이고 다음과 같은 동일한 분포함수를 가지는 i.i.d. 확률변수라고 할 수 있다. (다음 식에서  $X$ 는  $X_1, X_2, \dots$ 들을 나타내는 generic 확률변수이다.)

$$\begin{aligned} F_{X(x)} &= \Pr(X \leq x) = \Pr(\Delta T \tan \theta \leq x) \\ &= \Pr(\theta \leq \tan^{-1}(x/\Delta T)) \\ &= (2/\pi) \tan^{-1}(x/\Delta T). \end{aligned} \quad (1)$$

$f_X$ 를  $X$ 의 확률밀도함수(p.d.f.)라고 하자.  $n$ 개의 측정구간  $[T_0, T_n]$ 동안의 총 감쇄량

$$Y_n = X_1 + \dots + X_n \quad (2)$$

의 확률분포함수  $F_{Y_n}$ 는 식 (1)의  $n$ 차 중첩(convolution)으로 구해진다.

총 신호감쇄량이  $S_H - S_L$ 을 넘어서는 순간 이 신호는 핸드오버영역의 하한치를 벗어난 것인데 이때까지의 총시간이 가용채널이 생길 때까지의 시간  $N$ 보다 크면 이 핸드오버호는 손실될 것이다. 여기서  $N$ 는 평균이  $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다. 총 신호감쇄량이  $S_H - S_L$ 을 넘어서 때까지의 시간과 같이 총 측정횟수로 표현한다. 즉,

$$X_1 + \dots + X_N < S_H - S_L, \quad X_1 + \dots + X_{N+1} \geq S_H - S_L \quad (3)$$

인  $N$ 이 총 신호감쇄량이  $S_H - S_L$ 을 넘어서 때까지의 총 측정횟수가 된다.  $N$ 동안의 총 측정구간의 개수인  $M$ 은 다음과 같다.

$$M = \left\lfloor \frac{W}{\Delta T} \right\rfloor$$

단,  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 와 같거나 작은 정수중 가장 큰 정수를 나타낸다.  $M=0$ , 즉  $W < \Delta T$ 인 경우는 제외하기로 가정하였다. 따라서  $M=m$  ( $m=1, 2, \dots$ )일 때  $m < W/\Delta T \leq m+1$ 이고  $W \geq \Delta T$ 이므로

$$\begin{aligned} \Pr(M=m) &= \Pr(m\Delta T < W \leq (m+1)\Delta T) \\ &= \int_{m\Delta T}^{(m+1)\Delta T} \mu e^{-\mu(t-\Delta T)} dt \\ &= (e^{-\mu\Delta T})^{m-1} (1 - e^{-\mu\Delta T}), \quad m=1, 2, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

즉,  $M$ 은 기하분포를 따른다. 두 확률변수  $M$ 과  $n$ 은 서로 독립임을 쉽게 알 수 있다.

호가 손실되는 경우는  $M = \left\lfloor \frac{W}{\Delta T} \right\rfloor \geq N$ 인 경우이므로 핸드오버호 손실률은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr(N \leq M) &= \sum_{m=1}^{\infty} \Pr(N \leq M | M=m) \Pr(M=m) \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \Pr(N \leq m) \Pr(M=m) \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} (e^{-\mu\Delta T})^{m-1} (1 - e^{-\mu\Delta T}), \sum_{i=1}^m \Pr(N=i). \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \Pr(N=i) &= \Pr(Y_i < S_H - S_L, Y_i + X_{i+1} \geq S_H - S_L) \\ &= \int_0^{\infty} \Pr(Y_i < S_H - S_L, Y_i + X_{i+1} \geq S_H - S_L | X_{i+1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= x)f_X(x)dx \\
 &= \int_0^\infty \Pr(S_H - S_L - x < Y_i < S_H - S_L) f_X(x) dx \\
 &= \int_0^\infty \{F_{Y_i}(S_H - S_L) - F_{Y_i}(S_H - S_L - x)\} f_X(x) dx \\
 &= F_{Y_i}(S_H - S_L) - \int_0^\infty F_{Y_i}(S_H - S_L - x) f_X(x) dx \quad (5)
 \end{aligned}$$

와 같이 구할 수 있다.

### Ⅲ. 매크로셀의 핸드오버 트래픽분석을 통한 호차단율 산출

매크로셀에서는 매크로셀 자체에서 발생하는 트래픽과, 마이크로셀로부터 매크로셀로 핸드오버되는 저속 사용자의 트래픽이 있다. 본 절에서는 마이크로셀에서 매크로셀로 핸드오버되는 각각의 트래픽을 중단포이송과정 (IPP : Interrupted Poisson Process) 으로 모델링하고 이들이 중첩된 트래픽을 2-state 마코프변조 포이송과정 (2-State MMPP : 2-State Markov Modulate Poisson Process) 으로 근사화시켜 매크로셀에서의 호차단율을 구하였다.

#### 3.1 시스템 가정

계층구조를 가진 셀룰러시스템에서 매크로셀에서의 호차단율을 구하기 위해 마이크로셀로부터 매크로셀로 핸드오버되는 트래픽의 분석이 필요하다. 호차단율이란 통화를 처음 시도하는 호가 셀에서 채널을 할당받지 못하고 통화에 실패하는 비율이다. 핸드오버되는 트래픽에 대한 정확한 분석에는 모수가 매우 많아 계산이 복잡해지므로 근사적으로 트래픽의 특성을 찾아내어 적용시키고자 한다. 시스템 특성에 대해 다음과 같이 가정한다.

- (1) 대상시스템 : 마이크로셀과 매크로셀이 모두 설치되어 있는 지역을 대상으로 한다.
- (2) 시스템 사용자와 특성 : 고속사용자는 빠른 이동성 때문에 마이크로셀에 의해서 서비스를 받지 못하고 매크로셀에 의해서만 서비스를 받는다. 저속사용자는 모든 계층의 셀에서 모두 서비스를 받을 수 있다.
- (3) 고속사용자의 셀 접속 방법 : 고속 사용자의 신규호는 매크로셀에 접속을 시도하여 채널 할당을 요구한다. 매크로셀에 사용가능한 여유채널이 없으면 그 통화요구는 차단되며 하

위계층의 셀로 채널할당요구를 할 수 없다고 가정한다.

- (4) 저속사용자의 셀 접속 방법 : 저속사용자인 경우는 우선적으로 마이크로셀에 접속을 시도한다. 그리고 일단 통화가 시작된 호가 이웃한 마이크로셀로 핸드오버를 요청할 경우, 만약 마이크로셀에 여유채널이 존재하지 않으면 매크로셀로 핸드오버된다. 핸드오버가 이루어진 매크로셀에도 사용가능한 채널이 없으면 호는 손실된다고 가정한다. 이렇게 핸드오버를 요구하는 호가 사용가능한 채널이 없을 경우 차단되는 호를 상위계층의 셀로 핸드오버 시켜줌으로써 시스템의 QoS(Quality of Service) 를 향상시킬 수 있다.
- (5) 신규호와 핸드오버 호의 발생은 포이송과정을 따른다.
- (6) 호의 채널 holding time 과 사용자가 셀에 머무르는 시간은 지수분포를 따른다.
- (7) 사용자의 이동방향은 모든 방향으로 균일하게 분포되어 있다.

#### 3.2 시스템 입력트래픽의 도착율

마이크로셀과 매크로셀로 도착하는 입력트래픽들의 도착률은 다음과 같이 나타낸다. 여기서 각 도착률의 첨자 중 첫째 첨자는 사용자의 속도(L : 저속, H : 고속)를 표시하고 둘째 첨자는 트래픽의 종류(n : 신규 호, h : 핸드오버호), 셋째 첨자는 셀의 종류(1 : 마이크로셀, 2 : 매크로셀)를 나타낸다.

##### (1) 마이크로셀

- ① 새로운 저속사용자 호의 발생율 :  $\lambda_{Ln1}$
- ② 이웃한 마이크로셀에서 핸드오버되는 저속 사용자 호의 발생율 :  $\lambda_{Lh1}$

##### (2) 매크로셀

- ① 새로운 고속사용자 호의 발생율 :  $\lambda_{Hn2}$
- ② 이웃한 매크로셀에 접속된 고속사용자가 핸드오버한 호의 발생율 :  $\lambda_{Hh2}$
- ③ 매크로셀 내에 마이크로셀이 설치되지 않은 지역에서 발생하는 새로운 저속사용자 호의 발생율 :  $\lambda_{Ln2}$
- ④ 마이크로셀에 접속된 저속사용자가 마이크로셀로 이동하면서 채널할당을 요구했으나 용량 부족으로 채널할당을 받지 못하고 다시 매크로셀로 핸드오버되어 채널할당을 요구하였으나 실패한 후, 이웃한 매크로셀로

핸드오버되는 호의 발생율:  $\lambda_{LR}$

특히 마이크로셀에서 신규로 발생하거나 핸드오버되는 호를 제외한, 매크로셀에서의 호의 발생율  $\lambda_M$ 은

$$\lambda_M = \lambda_{HR} + \lambda_{LR} + \lambda_{MR} + \lambda_{LK}$$

로 나타낼 수 있다.

### 3.3 MMPP와 IPP

$k$ -state MMPP는 도착과정과는 독립적으로 도착률이  $k$ -state 마코프과정을 따르는 포아송과정을 말한다.  $k$ -state MMPP를 특징짓는 파라미터들은 다음 식 (??)의 도착률 마코프과정의 전이율행렬  $Q$ 와 도착률행렬  $\Lambda$ 로 구성된다.

$$Q = \begin{bmatrix} -\sigma_1 & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1k} \\ \sigma_{21} & -\sigma_2 & \dots & \sigma_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{k1} & \sigma_{k2} & \dots & -\sigma_k \end{bmatrix}, \quad \Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_k) \quad (6)$$

즉, MMPP는 상태  $i$ 에서 도착률이  $\lambda_i$ 인 포아송 과정이고 상태는 전이율  $\sigma_{ij}$ 로  $i$ 에서  $j$ 로 변한다. 특히 2-state MMPP는 도착률이 각각  $\lambda_1, \lambda_2$ 인 두 개의 독립인 포아송도착과정  $PP(\lambda_1), PP(\lambda_2)$ 이 있고 도착과정과는 독립적으로 작동되는 스위치가 있어서 스위치의 상태가 1이면  $PP(\lambda_1)$ 과 연결되고 상태가 2이면  $PP(\lambda_2)$ 와 연결될 때의 결과과정이라고 해석할 수 있다. 이때 스위치가 각 상태에 머무는 시간은 각각 지수분포를 따른다. 2-state MMPP를 다음 그림과 같이 도식화할 수 있다.

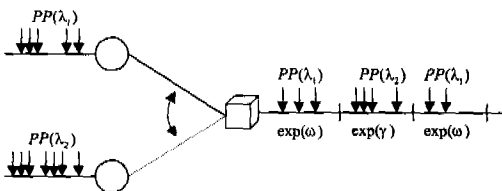


그림 4. 2State MMPP모형

2-state MMPP의 특수한 경우로,  $\lambda_2 = 0$ 이면 이를 IPP라고 한다.

### 3.4 매크로셀에서의 호차단율

매크로셀의 호차단율을 구하기 위해서는 매크로

셀로 들어오는 입력트래픽에 대한 분석이 필요하다. 매크로셀 내에는  $n$ 개의 마이크로셀이 설치되어 있다고 가정한다. 마이크로셀로부터 매크로셀로 넘어오는 입력트래픽은 버스티한 특성이 있으므로 중단 포아송과정(IPP)으로 모델링할 수 있다. 즉 마이크로셀의 채널이 충분해서 매크로셀로의 핸드오버가 불필요한 기간 (off 기간) 동안에는 매크로셀로의 입력트래픽이 없고 마이크로셀로부터 매크로셀로 핸드오버가 발생하는 기간(on 기간) 동안에는 포아송 과정으로 입력트래픽이 발생하는 모형이다. 그래서 각각의 마이크로셀로부터 핸드오버되는 트래픽을 IPP로 모델링한다.

이들  $n$ 개의 IPP들이 취합된 트래픽, 즉 superposed IPP은  $2^n$ 개의 상태를 가지는 MMPP이다. 그러나 이 경우  $2^{n+1}$ 개 모수를 구해야 하는 어려움이 있기 때문에 이를 단순히 2개의 상태만을 가지는 MMPP로 근사화시킨다. 여기서의 상태는 동가마이크로셀의 트래픽을 근사화시키기 위해 구분한 2개의 상태이다(그림 5 참조). 좀 더 정확히 근사화시키기 위해 상태를 여러 개로 구분하는 것이 필요하지만 그러면 구하는 식이 매우 복잡해지기 때문이다.

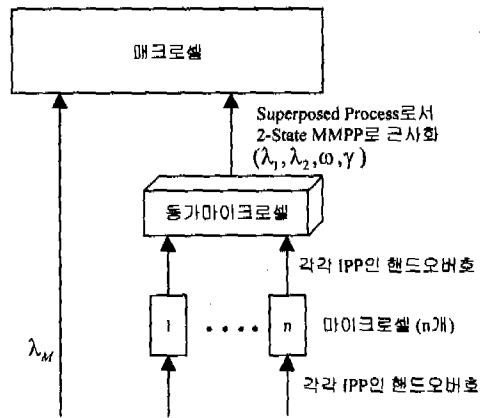


그림 5. 2-State MMPP로 근사화된 입력트래픽

확률변수  $N(t)$ 를 시간  $[0, t]$  사이에 하나의 마이크로셀에서 매크로셀로 핸드오버되는 트래픽의 수라고 하고 이것의  $r$ 차 모멘트를  $M^{(r)}(t) = E\{N^r(t)\}$ 라고 하자. 그리고 마이크로셀들로부터 매크로셀로 넘어오는 독립인  $n$ 개의 입력트래픽들이 중첩된 트래픽을  $N_S(t)$ 라고 한다. 즉,  $N_S(t)$ 는  $[0, t]$  동안 매크로셀로 핸드오버되는 트래픽(서로 독립인  $n$ 개의 IPP의 superposed 트래픽)의 수라 하고 이것의  $r$ 차

모멘트를  $M_s^{(n)}(t) = E[N_s^n(t)]$ 로 나타낸다.

[3]에서는 매크로셀로 입력되는 superposed 트래픽을 IPP모형으로 모델링하였으나 여기서는 [7]에서 제시된 moment matching방법을 사용하여  $N_s(t)$ 를 2-state MMPP 모형으로 근사화시켜 모수를 구한다. 2-state MMPP의 특성을 나타내는 파라미터들은 앞에서 지정한 바와 같이

$$Q = \begin{bmatrix} -\omega & \omega \\ \gamma & -\gamma \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

에 의해서  $\omega, \gamma, \lambda_1, \lambda_2$  등 4개이므로 이들을 구하기 위해 superposed 트래픽의 4가지 quantity들과 2-state MMPP 모형의 4가지 quantity들을 서로 match시킨다.

- (a) 평균도착률
- (b)  $[0, t_1]$  동안 도착수의 분산 대 평균비
- (c) 안정상태에서 도착수의 분산 대 평균비((b)에서  $t_1 \rightarrow \infty$ 인 경우)
- (d)  $[0, t_2]$  동안 도착수의 3차 모멘트

superposed 트래픽의 4가지 quantity들은 다음과 같다. 여기서  $X$ 는 매크로셀로 넘어오는 하나의 입력트래픽의 도착시간간격을 나타낸다.

$$M_s(t) = E[N_s(t)] = nM(t) \quad (7)$$

$$\frac{Var(N_s(t_1))}{E[N_s(t_1)]} = \frac{Var(N(t_1))}{E[N(t_1)]} \quad (8)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{Var(N_s(t))}{E[N_s(t)]} = \frac{Var(N(t))}{E[N(t)]} = \frac{Var(X)}{E^2[X]} \quad (9)$$

$$M_s^{(3)}(t_2) = n [M^{(3)}(t_2) - 3M^{(2)}(t_2)M^{(1)}(t_2) + 2(M^{(1)}(t_2))^3] \quad (10)$$

$\lambda_1, \lambda_2$ 를 각각 상태가 1과 2일 때 동가마이크로셀로부터의 도착률이라고 하고  $\omega, \gamma$ 를 상태 1과 2에 머무는 시간의 모수라고 하고  $\hat{N}(t)$ 를 superposed 트래픽을 근사시킬 2-state MMPP의  $[0, t]$ 사이의 입력트래픽의 수라고 하자. 즉,  $\hat{N}(t)$ 는 동가마이크로셀(그림 5)로부터 매크로셀로의 도착과정을 나타낸다.  $\hat{N}(t)$ 에 대하여 위에서 선정한 4가지 quantity들을 superposed 트래픽의 식 (??)-(??)와 match 시켜서 2-state MMPP의 4개의 파라미터  $\omega, \gamma, \lambda_1, \lambda_2$ 를 구한다. 계산을 용이하게 하기 위해

$$a = E[N_s(t)]/t$$

$$b_t = Var(N_s(t))/E[N_s(t)]$$

$$b_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} Var(N_s(t))/E[N_s(t)]$$

라고 두면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다 [7].

$$\omega = d/2(1 + 1/\sqrt{4e+1})$$

$$\gamma = d - \omega$$

$$\lambda_1 = K/(\omega - \gamma) + \lambda_2$$

$$\lambda_2 = (ad/\gamma - K/(\omega - \gamma))/(\gamma/(\omega + \gamma))$$

단,

$$a = (\lambda_1\gamma + \lambda_2\omega)/(\omega + \gamma)$$

$$d = 1/t_1(b_\infty - 1)/(b_\infty - b_{t_1})(1 - e^{-at_1})$$

$$K = (\lambda_1 - \lambda_2)(\omega - \gamma)$$

$$e = (b_\infty - 1)ad^2/(2K^2)$$

이다.

여기서 고려해야 할 것은  $t_1$ 과  $t_2$ 를 결정하는 문제이다. superposed process가 자동상관관계를 가지고 있으므로 좀 더 정도높은 근사화를 하기 위해 적절한  $t_1$ 과  $t_2$ 를 결정하는 것이 필요하다. 이는 variance-to-mean ratio curve를 그려서 2-state MMPP와 실제 프로세스의 값이 일치하는 시간을  $t_1$ 과  $t_2$ 로 놓는다 ([7] 참조).

이제 이러한 매크로셀에  $c$ 개의 채널이 존재하는 경우, 이는 도착과정이 2-state MMPP이고 서비스시간이 지수분포인 MMPP/M/c/c 대기모형으로 된다. 여기서 도착과정의 모수는  $\lambda_1, \lambda_2, \omega, \gamma$ 이다. 이 대기모형의 상태변화 행렬은 다음과 같다[7].

$$Q_M = \begin{bmatrix} Q - \Lambda' & \Lambda' & 0 & 0 & \dots \\ \mu I & Q - \Lambda' - \mu I & \Lambda' & 0 & \dots \\ 0 & 2\mu I & Q - \Lambda' - 2\mu I & \Lambda' & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서

$$Q = \begin{bmatrix} -\omega & \omega \\ \gamma & -\gamma \end{bmatrix}, \quad \Lambda' = \begin{bmatrix} \lambda' & 0 \\ 0 & \lambda'_2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \lambda_1 + \lambda_M & 0 \\ 0 & \lambda_2 + \lambda_M \end{bmatrix}$$

이며,  $\mu$ 는 서비스율이다. 안정상태에서 매크로셀의 상태확률벡터를  $\Pi = [\pi_1^0 \pi_1^1 \pi_1^2 \dots \pi_1^c \pi_2^0 \pi_2^1 \dots \pi_2^c]$ 라고 하자. 정상상태확률  $\pi_i^j$  ( $i=1, 2, j=0, 1, \dots, c$ )은 현재  $j$ 개의 채널이 사용중이고 2-State MMPP의 상태가  $i$ 임을 나타낸다. 따라서 안정상태에서

$$\Pi Q_M = 0, \quad e^T \Pi = 1$$

임을 이용해서 정상상태확률  $\Pi$ 를 구한다. 매크로셀에서 호의 차단은  $c$ 개의 채널 모두가 사용중일 때 발생하므로 호차단율은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Pr}(\text{매크로셀로의 overflow 호 차단}) = \frac{\sum_{i=1}^2 \lambda_i \pi_i^c}{\sum_{i=0}^c \sum_{i=1}^2 \lambda_i \pi_i^i} \quad (13)$$

#### IV. 결론

본 연구에서는 이동하려는 셀에 가용채널이 없을 경우 호가 손실되지 않고 상위의 계층 셀로 핸드오버되어 서비스를 계속 제공받는 계층구조의 CDMA 셀룰러 시스템을 대상으로 하였다.

CDMA 방식의 마이크로셀에서 측정된 핸드오버 트래픽의 수신신호강도를 시간에 따라 감소하는 함수라고 가정하고 측정시간당 신호의 감쇄를 고려해서 시스템의 호손실율 (call loss probability)을 구하였다.

매크로셀에서는 셀의 반경이 넓기 때문에 시스템의 트래픽량에 많은 영향을 받는다. 따라서 호차단율을 산출하기 위해 마이크로셀로부터 매크로셀로 핸드오버되는 트래픽을 분석하여 매크로셀에서의 호차단율을 산출하였다.

본 논문의 결과는 용량과 커버리지 특성이 다른 각 계층에서 좀 더 정확한 서비스 수준을 결정하고 이에 따른 채널의 할당과 분배를 통해 전체 시스템의 QoS를 향상시키는데 기여할 것이다.

추후 CDMA 셀룰러시스템에서 서비스 가입자의 실제 도착률과 통화시간, 이동패턴, 시스템의 수용용량 및 가용채널 등을 고려하여 정확한 신호감쇄 함수를 제시하게 되면 본 논문의 결과를 좀 더 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] K. I. Kim, "CDMA Cellular Engineering Issues", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 3, 1993, pp345-352.
- [2] Qualcomm, *The CDMA Network Engineering Handbook*, 1992.
- [3] 송봉용, 홍대형, "계층구조 셀룰러 시스템을 위한 셀 및 채널 분배 기법", *Telecommunication Review*, 제6권 제5호, 1996, pp554-564.
- [4] Y. B. Lin, S. Mohan and A. Moerpel, "PCS Channel Assignment Strategies for Hand-off and Initial Access," *IEEE Personal Communications*, Third Quarter, 1994.
- [5] D. Hong and Stephen S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 35, No. 3, 1986.
- [6] Y. B. Lin, A. Noerpel and D. A. Harasty, "Non-blocking Channel Assignment Strategy for hand-offs," *Proc. IEEE ICUPC*, 1994.
- [7] H. Heffes and D. M. Lucatoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. SAC-4, No. 6, 1986, pp856-860.
- [8] Raif O. Onvural, *Asynchronous Transfer Mode Networks : Performance Issues*, 2nd Ed., Boston & London, Artech House, 1994.

허 선(Sun Hur)

정회원

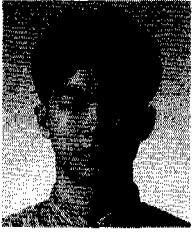


1961년 1월 23일생  
 1983년 2월 : 서울대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
 1985년 2월 : 서울대학원 산업공학과 졸업(공학석사)  
 1993년 12월 : Texas A&M University 산업공학과 졸업(공학박사)

1995년 3월~현재 : 한양대학교 산업공학과 조교수  
 <주관심 분야> 대기이론, 통신시스템 성능분석

박 유 진(You-Jin Park)

정회원



1973년 1월 26일생  
1996년 2월 : 한양대학교 산업  
공학과 졸업(공학사)  
1998년 2월 : 한양대학교 산업  
공학과 졸업(공학석사)  
<주관심 분야> 대기이론, 통신  
시스템 성능분석

김 종 수(Jong-Soo Kim)

정회원

1958년 4월 21일생

1984년 2월 : 한양대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
1986년 : UC Berkeley 산업공학과 졸업(공학석사)  
1989년 : UC Berkeley 산업공학과 졸업(공학박사)  
1990년 3월~현재 : 한양대학교 산업공학과 교수  
<주관심 분야> OR, 최적화이론