

신호전파 특성과 트래픽의 지리적 특성을 반영한 CDMA 시스템의 용량분석모형

Capacity analysis incorporating the radio propagation characteristics and geographical traffic distributions in CDMA mobile communication systems

백 천 현*

* 동의대학교 산업경영공학과 E-mail:chpaik@deu.ac.kr

Tel:051-890-1660

Fax:051-890-1619

요약문

본 연구에서는 3G CDMA 이동통신시스템의 소프트블록킹 확률을 구할 수 있는 새로운 해석적인 모형을 제안한다. 제안된 모형은 트래픽의 지리적 분포에 따른 신호감쇄특성을 매크로화 하여, 트래픽 양(volume)의 변동성을 반영한 CDMA 트래픽 엔지니어링 모델개발에 효과적으로 이용될 수 있다. 제안된 모형은 현실시스템 상황을 반영한 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다.

1. 서론

CDMA시스템에서 링크 (또는 채널)용량은 크게 상향링크(uplink)와 하향링크(downlink) 용량으로 구분된다. 상향 및 하향에 대해 대칭(symmetry)적인 특성을 가진 음성서비스가 위주였던 2G 시스템에서는 상향링크의 용량이 하향링크 용량에 비해 보다 엄격하였다. 그러나 최근에는 하향링크 자원을 요구하는 다양한 비대칭형(asymmetry) 멀티미디어 데이터 서비스의 등장으로 하향링크 용량이 상향링크에 비해 보다 엄격한 요소로 인정되고 있다 [1].

본 연구에서는 3G CDMA 이동통신시스템의 하향링크

크의 소프트블록킹 확률을 구하기 위한 방법론을 제시한다. 트래픽 양, 위치와 분포 등 주어진 트래픽 특성치를 바탕으로 해석적인(analytical) 소프트블록킹 확률을 유도하여, 3G CDMA의 시스템 용량산출 및 트래픽 엔지니어링을 위한 기반을 제공한다. 현재, WCDMA를 포함한 3G시스템의 하향링크 용량에 대한 많은 연구가 진행되고 있다 [1]-[7]. 기존 연구들은 시스템구축 초기에 요구되는 근사적인 시스템용량 산출을 위해 시스템 환경을 단순화하거나, 오히려 반대로 트래픽 엔지니어링 목적에 부합되지 않게 너무 세세한 트래픽 정보를 요구하여 해석적 결과가 아닌 시뮬레이션(simulation) 의존하는 경우가 대부분이다. 아래에서는 비교적 최신에 수행된 연구이면서 해석적 분석에 충실한 연구들에 국한하여 소개하기로 한다. 연구 [1]과 [2]는 저서 [8]에서와 유사하게, 인접셀 간섭을 단일 파라메타로 단순화하고 균등한(uniform)한 트래픽 분포를 전제로 단일 셀에서 수용 가능한 이동국의 수(용량)를 산출하였다. 연구 [5]에서는 앞선 연구의 용량산출 방법을 기반으로, 이동국의 도착(또는 발생)을 확률변수화 하여 다양한 데이터속도를 가진 서비스가 존재하는 시스템에서의 소프트블록킹 확률을 구하였다. 그러나 이상의 연구들은 동태적 특성을 가진 전파감쇄 특성을 고려하고 있지 않고 균등한 트

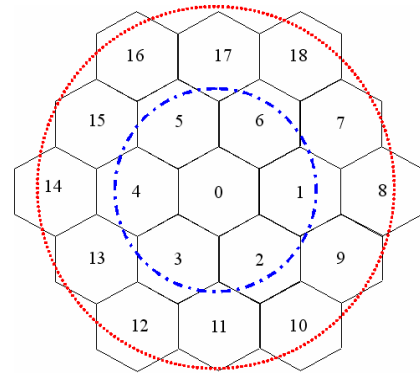
래픽 분포를 전제하고 있다는 한계를 지니고 있다. 한편, 연구 [3]에서는 전파감쇄 특성을 고려하고, 이동국과 기지국간 거리에 따른 인접셀 간섭의 상한(upper bound)를 구하였다. 그러나 이 연구에서도 이동국 분포의 불균등성은 고려하고 있지 않다. 연구 [6]은 거리에 따른 경로손실만을 고려하여 확정적인 형태의 하향링크 용량을 유도하였다. 그리고 문헌 [7]은 서비스특성이 다른 이동국들이 존재하는 환경에서, 인접셀들의 송신전력세기의 변동성을 경로손실만을 반영한 기지국의 하향전력 세기를 구하기 위한 해석적 분석을 수행하였다.

2. 시스템모형

본 연구는 CDMA시스템의 하향링크(downlink)만을 대상으로 한다. 따라서 특별한 언급 없이 소개되는 모든 용어 및 개념은 하향링크에 관련된 것으로 국한한다. CDMA시스템은 기지국 또는 이동국이 받는 간섭(interference)의 양에 의해 시스템용량이 좌우되는 interference-limited 시스템이다. CDMA 이동통신시스템에서 특정 셀에 소속된 이동국(MS: Mobile Station)의 전파채널(radio channel)환경에 영향을 미치는 간섭요소는 크게 셀 내 간섭(intra-cell interference)과 셀 간 간섭(inter-cell interference)으로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 <그림 1>에서와 같이 19개의 육각형(hexagonal) 셀로 구성된 셀룰러시스템에서, 가장 중심에 위치한 셀 0를 대상으로 분석을 수행한다. 셀 1에서 셀 6까지는 셀 0의 일차 tier를 구성하고, 셀 7에서 셀 18은 셀 0의 2차 tier를 구성한다. 3차 이상의 tier에 속한 셀로부터 셀 0에 미치는 영향은 무시할 수 있으므로[8], 셀 0의 전파채널 환경에 영향을 미치는 범위는 2차 tier로 국한하기로 한다. 모든 육각형 셀의 크기는 동일하다고 가정한다.

모든 셀의 기지국(Base Station)은 셀 중심에 위치하며, 셀 k 의 기지국을 BS_k 로 나타내기로 한다. 중심셀 셀 0에 소속되어 있는 MS j 와 기지국 BS_0 사이의 거리 r_{oj} 와 BS_0 와 BS_1 을 연결한 기준축과 MS j 사이의 각도 θ_{1j} 가 주어졌다고 하자. 그러면 MS j 와 인접셀 k 의

기지국 BS_k 간의 거리(r_{kj})는 기하학적 분석을 통해 다음과 같이 구할 수 있다.



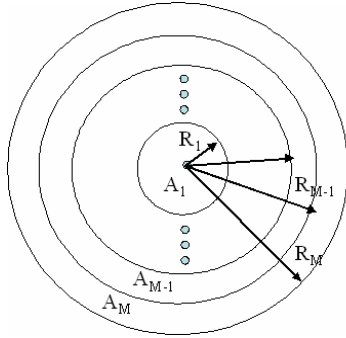
<그림 1> 셀룰러시스템

$$r_{kj} = \sqrt{r_{oj}^2 + (\sqrt{3}R)^2 - 2r_{oj}\sqrt{3}R \cos \theta_{kj}}, \quad k=1, \dots, 18 \quad (1)$$

위 식 (1)에서, θ_{kj} ($k=2, \dots, 18$)는 BS_0 와 BS_k 를 연결한 기준축과 MS j 사이의 각도를 나타내고, R 은 육각형 셀을 외접 하는 원의 반지름을 나타낸다 (<그림 2> (a)). 그런데, θ_{kj} ($k=2, \dots, 18$)는 θ_{1j} 을 기준으로 표현될 수 있기 때문에, r_{oj} 와 θ_{1j} 만 주어지면, MS j 와 인접셀 사이의 거리는 구할 수 있다. 표기의 편의를 위해 θ_{1j} 을 단순히 θ_j 표시하기로 한다.

해석적분석을 용이하게 하기 위해 중심셀 셀 0는 육각형 셀을 외접 하는 원으로 근사화하고, 원으로 근사화된 셀 0의 전체영역은 다시 M 개의 하위영역(subarea)으로 나누어 졌다고 하자. 각 하위영역은 <그림 2>에서와 같이 기지국 BS_0 를 중심으로 하고 반지름이 길이가 서로 상이한 원으로 표현된다. 하위영역 A_i 는 반지름이 R_i 인 원과 반지름이 R_{i-1} 인 원 사이에 있는 영역을 나타내고, $R_M = R$ 이다. $R_0 = 0$ 으로 놓으면, 하위영역

$A_i (i=1, \dots, M)$ 의 면적은 $\pi(R_i - R_{i-1})^2$ 이 된다. 영역 A_M 은 셀 0의 경계지역으로, 이 영역에 있는 MS는 소프트 핸드오프 과정에 있다고 가정한다.



<그림 2> 셀 geometry와 영역분할

무선전파환경에서 신호감쇠(signal attenuation)는 크게 경로손실(path loss), 음영손실(shadowing loss) 그리고 다중경로페이딩(multipath fading) 등 세가지로 구분된다 [8]. 본 연구에서는 다양한 다이버시티(diversity) 기법을 이용해 효과적으로 대처할 수 있는 다중경로페이딩을 제외하고, 경로손실과 음영손실만이 포함된 전파채널 모형을 가정한다. 이 같은 전파채널 모형 하에서 거리가 d 이고 음영손실이 ζ (dB)인 경우 신호감쇠($L(d, \zeta)$)는 다음과 같다 [9,10].

$$L(d, \zeta) = d^{-\alpha} \mathfrak{g} 10^{\zeta/10}. \quad (2)$$

여기서, α 는 거리급수로, 통상적으로 $\alpha = 4$ 로 설정한다. 식 (2)에 주어진 전파채널 모형에 따르면, 하향채널의 신호 감쇠 정도는 거리와 음영손실 정도에 따라 달라지게 되는데, 두 MS가 특정 기지국으로부터 동일한 거리에 위치하더라도 전파환경 특성에 따라 두 MS의 음영손실은 달라질 수 있다. 이러한 음영손실의 동태적 특성을 반영하기 위해 음영손실 ζ 는 평균이 0이고 표준편차가 σ (통상적으로, 5-12dB 값을 가짐)인 가우스 분포(Gaussian distribution)를 따르는 확률변수로 일반적으로 표현된다 [10,11]. 한편, 인접한 기지국간 음영손실 상관관계는 셀 i 의 음영손실 (ζ_i)을 다음과 같이 설정하여 반영할 수 있다 [12,13].

$$\zeta_i = a\xi + b\xi_i, \quad i = 0, \dots, 19, \quad (3)$$

여기서, 식 (3)의 $a\xi$ 은 모든 셀에 공통적인 요소이고, $b\xi_i$ 는 셀 i 의 음영손실 특성을 반영한 요소로 ξ_i 는 셀별로 독립적이다. 이들은 아래에서 주어진 조건을 만족한다.

$$E(\zeta_i) = E(\xi) = E(\xi_i), \quad \text{var}(\zeta_i) = \text{var}(\xi) = \text{var}(\xi_i) = \sigma^2,$$

$$E(\xi_i \xi_j) = 0, \quad i = 0, \dots, 19,$$

$$E(\xi_i \xi_j) = 0, \quad i (\neq j) = 0, \dots, 19.$$

일반적으로 $a^2 = b^2 = 1/2$ 가 사용된다 [12].

그 외 본 연구에서 도입된 기호는 다음과 같다.

W : 시스템 chip rate (Mcps)

N_0 : 열잡음(thermal noise) (dBm)

φ : 하향링크 직교계수 (orthogonal factor)

R_j : 셀 0의 j 번째 MS의 데이터 전송율 (kbps)

$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j^T$: 셀 0의 j 번째 MS의 목표(target) E_b / N_0

(dB)

ν_j : 셀 0의 j 번째 MS의 활동계수(activity factor)

K : 셀 0의 인접셀의 수 ($K = 18$)

N : 셀 0에 소속된 MS의 수

G_{SH} : 소프트 핸드오프이득 (soft handoff gain)

L_{kj} : k 번째 기지국 BS_k 에서 셀 0의 j 번째 MS로의 신호감쇠, 즉,

$$L_{kj} = L(r_{kj}, \zeta_k) = r_{kj}^{-\alpha} \mathfrak{g} 10^{\zeta_k/10}$$

$$k = 0, 1, \dots, K, \quad j = 1, \dots, N.$$

P_k : k 번째 기지국 BS_k 의 하향링크 송신전력의 양 (watts)

P_{\max} : 기지국 BS_0 의 최대 송신전력의 양 (watts)

P_{control} : 기지국 BS_0 의 제어채널 (파일럿 포함) 송신전력의 합 (watts)

p_j : 셀 0에 소속된 j 번째 MS에게 할당된 하향 송신전력의 양 (watts)

$$\Lambda_j = \begin{cases} \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j^T \cdot \frac{1}{G_{SH}}, & \text{만약 MS } j \text{가 소프트핸드오프 영역에 있으면,} \\ \left(\frac{E_b}{N_o} \right)_j^T, & \text{그렇지 않으면.} \end{cases}$$

3. 간섭모형과 소프트블록킹 확률

본 장에서는 2장에서 도입된 가정하에서, MS들의 서비스특성과 지리적 특성을 반영한 전파채널 모형을 수립하고, 이를 통해 트래픽 엔지니어링에 유용하게 활용될 수 있는 해석적 소프트블록킹 확률을 유도한다. 아래에서는 논문전개의 편의를 위해, 상대적 값(dB 또는 dBm)을 단위로 하는 개념 및 기호들을 구분하기 위해 별도의 기호를 도입하지 않고, 모두 절대값 (또는 선형값(linear value))으로 되어 있다고 가정한다.

셀 0에 소속된 j 번째 MS의 비트당 신호에너지 (E_b)와 단위 Hz당 잡음강도 (noise power spectral density: N_o)의 비율인 E_b/N_o 는 다음과 같이 계산될 수 있다 [14,15].

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right) = \frac{W}{v_j g R_j} \frac{p_j L_{oj}}{(P_0 - p_j) \varphi \cdot L_{oj} + \sum_{k=1}^K P_k L_{kj} + N_o W}. \quad (4)$$

각 MS의 서비스 특성에 따라 요구되는 목표 E_b/N_o 가 보장되도록 전력자원이 할당되어야 하므로 셀 0에 소속된 j 번째 MS에게 할당되어야 할 하향 송신전력의 양은 다음과 같이 결정된다.

$$p_j = \frac{v_j \Lambda_j R_j}{W + v_j \Lambda_j \cdot R_j \varphi} \left[P_0 \varphi + \sum_{k=1}^K P_k \cdot \frac{L_{kj}}{L_{oj}} + W \cdot N_o \cdot \frac{1}{L_{oj}} \right]. \quad (5)$$

여기서,

식 (5)를 단순화하기 위해, 아래와 같은 기호를 도입하자.

$j = 1, \dots, N$ 에 대해,

$$\omega_j = \frac{v_j \Lambda_j R_j}{W + v_j \Lambda_j \cdot R_j \varphi},$$

$$v_{kj} = \frac{L_{kj}}{L_{oj}} = \left(\frac{r_{kj}}{r_{oj}} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_k - \zeta_o)/10}, \quad k = 1, \dots, K, \quad \text{그리고}$$

$$v_{oj} = \frac{1}{L_{oj}}.$$

도입된 기호를 이용하면, 식 (5)는 다음과 같이 요약된다.

$$p_j = \omega_j \left[P_0 \varphi + \sum_{k=1}^K P_k \cdot v_{kj} + W \cdot N_o \cdot v_{oj} \right] \quad (6)$$

$$P_0 = \sum_{j=1}^N p_j + P_{\text{control}} = \sum_{j=1}^N \omega_j \left[P_0 \varphi + \sum_{k=1}^K P_k \cdot v_{kj} + W \cdot N_o \cdot v_{oj} \right] + P_{\text{control}}. \quad (7)$$

식 (7)을 P_0 에 대하여 정리하면,

$$P_0 = \frac{1}{1 - \varphi \sum_{j=1}^N \omega_j} \left[\sum_{j=1}^N \left(\sum_{k=1}^K P_k \cdot v_{kj} + W \cdot N_o \cdot v_{oj} \right) + P_{\text{control}} \right]. \quad (8)$$

식 (8)에서 보면, 열잡음 간섭과 일반적으로 일정한 전력량이 할당되는 제어신호요인을 제외하면, 셀 0의 송신 전력 P_0 는 신호감쇄요인(v_{kj} 또는 v_{oj})과 인접셀의 송신 전력세기(P_k)의 변동성(variability)에 의해 영향을 주로 받는다. 이 같은 송신전력 P_0 의 변동성을 확률적으로 모형화하기 위해, [7]에서는 확정적인(deterministic) 신호감쇄

환경을 가정하고, 인접 셀의 송신전력세기(P_k)를 확률변수로 설정하였다. 이것은 인접셀 간섭의 변동성을 인접셀의 트래픽 양(volume)의 변화에 그 주된 원인을 두는 것이다. 그러나, 이 가정은 셀 내에서 MS들이 균등하게 분포되어 있어 위치에 따른 변동성이 인접셀들의 송신전력 변동성에 비해 그 영향이 적을 때 성립될 수 있는 가정이다. 시스템 엔지니어링 목적으로 활용되는 트래픽은 대부분 최빈시간(busy hour) 등과 같이 특정 시간대 일정한 트래픽 양을 전제하는 경우가 대부분이다. 이 경우 최빈시간 트래픽에 적합한 인접셀 송신전력(P_k)는 일정한 값을 가지는 것이 보통이다. 본 연구에서는 인접셀의 송신전력세기는 확정적인 값을 가진다고 가정한다. 물론, 모든 인접 기지국의 송신전력량이 동일할 필요는 없다. 이제 식 (8)에서 P_0 의 변동성을 야기하는 요인으로는 신호감쇄요인(v_{kj} 또는 v_{oj})만 남게 된다.

CDMA시스템에서 이루어지는 호접속제어(call admission control)하에서는 셀 0의 기지국 BS_0 의 송신전력(P_0)은 기지국의 최대송신전력(P_{max})보다 작아야 한다. 즉, $P_0 < P_{max}$ 이 만족되어야 한다. 따라서,

$$P_0 < P_{max} \Rightarrow \sum_{j=1}^N \omega_j \left[P_{max} \phi + \sum_{k=1}^K P_k \cdot v_{kj} + W \cdot N_o \cdot v_{oj} \right] < P_{max} - P_{control}$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^N \omega_j Z_j < P_{max} - P_{control}, \quad \text{여기서}$$

$$Z_j = \left[P_{max} \phi + \sum_{k=1}^K P_k \cdot v_{kj} + W \cdot N_o \cdot v_{oj} \right]. \quad (9)$$

만약 식 (9)에서 주어진 조건이 만족되지 않을 때, 즉 $\sum_{j=1}^N \omega_j Z_j \geq P_{max} - P_{control}$ 일 때, 소위 “소프트블로킹(soft blocking)”이 발생된다. $Q = \sum_{j=1}^N \omega_j Z_j$ 라고 하자. 그런데 v_{kj} 와 v_{oj} 가 확률변수이므로 Q 역시 확률변수가 된다. 본 연구에서는 확률변수 Q 는 근사적으로 로그정규분포

(lognormal distribution)을 따른다고 가정한다 [7,18]. 확률변수 Q 의 일차 및 이차모멘트(first and second moments)는 다음과 같다.

$$E(Q) = E\left(\sum_{j=1}^N \omega_j Z_j\right) = \sum_{j=1}^N \omega_j E(Z_j) \quad (10)$$

$$E(Q^2) = E\left[\left(\sum_{j=1}^N \omega_j Z_j\right)^2\right] = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1, k \neq j}^N \omega_j \omega_k E(Z_j Z_k) + \sum_{j=1}^N \omega_j^2 E[Z_j^2] \quad (11)$$

확률변수 Q 의 모멘트를 구하기 위해 필요한 확률변수 Z_j 의 모멘트는 아래와 같다.

MS j ($=1, \dots, N$) 에 대해,

$$E(Z_j) = \sum_{k=1}^M P_k \cdot E(v_{kj}) + WN_o E(v_{oj}) + \phi P_{max}, \quad (12)$$

$$E(Z_j^2) = \phi^2 P_{max}^2 + (WN_o)^2 E(v_{oj}^2) + 2\phi P_{max} WN_o E(v_{oj}) + 2\phi P_{max} \sum_{k=1}^K P_k E[v_{kj}] + 2WN_o \sum_{k=1}^K P_k E[v_{kj} v_{oj}] + \sum_{k_1 \neq k_2} \sum P_{k_1} P_{k_2} E[v_{k_1 j} v_{k_2 j}] + \sum_{k=1}^K P_k^2 E[v_{kj}^2]. \quad (13)$$

두 MS j 와 l ($j \neq l$)에 대해,

$$E(Z_j Z_l) = (\phi P_{max})^2 + \phi P_{max} WN_o (E(v_{oj}) + E(v_{ol})) + (WN_o)^2 E(v_{oj} v_{ol}) + \phi P_{max} \left[\sum_{k=1}^K P_k E(v_{kj}) + \sum_{k=1}^K P_k E(v_{kl}) \right] + WN_o \left[\sum_{k=1}^K P_k E(v_{kj} v_{ol}) + \sum_{k=1}^K P_k E(v_{kl} v_{oj}) \right] + \sum_{k_1 \neq k_2} \sum P_{k_1} P_{k_2} E(v_{k_1 j} v_{k_2 l}). \quad (14)$$

본 연구에서는 특정 하위영역에 위치한 모든 MS의 신호감쇄는 동일하다고 가정하자. 이러한 가정은 셀 전체 영역을 충분한 수의 하위영역으로 분할하여 구분하면, MS가 위치한 지리적 특성으로 인한 신호감쇄요인을 간직하면서도, 시스템 성능 및 용량분석을 위한 시스템 상태를 개별 MS들의 상세한 위치 대신에 하위영역이라는 대단위(매크로)로 설정할 수 있다는 장점이 있다. $n_i (i=1, \dots, M)$ 를 하위영역 A_i 에 위치한 MS의 수라고 하자. 그리고 $\sum_{i=1}^M n_i = N$ 이다. $n = (n_1, \dots, n_M)$ 은 셀 0의 하위영역 각각에 위치한 MS의 수를 나타낸다. 벡터 $n = (n_1, \dots, n_M)$ 를 셀 0의 '상태(state)'로 정의한다. 셀 0의 특정 하위영역에 위치한 MS들의 신호감쇄가 동일하므로 $E(Z_j)$ 값은 MS별로 정의될 필요 없이 하위영역별로 정의하면 된다. 하위영역 $A_i (i=1, \dots, M)$ 에 대응되는 값을 $E(Z_{[i]})$ 이라고 하자. $l(j) (j=1, \dots, N)$ 는 MS j 가 위치한 하위영역을 표시한다고 하자. 따라서 만약 MS j 의 위치가 하위영역 A_i 라면 $E(Z_{l(j)}) = E(Z_{[i]})$. 이차모멘트 $E(Z_{[i]}^2)$ 와 $E(Z_{[i]}Z_{[t]}) (i, t=1, \dots, M (i \neq t))$ 역시 비슷하게 정의된다.

셀 0의 특정 MS j 위치는 r_{oj} 와 θ_j 에 의해 결정되는데, 이 들은 서로 독립이므로, 하위영역 A_i 에 있는 MS j 의 위치 r_{oj} 와 θ_j 의 결합확률밀도함수(joint pdf(probability distribution density))는 아래 식 (15)와 같다.

$$f_{(r_{oj}, \theta_j)}(r, \theta) = \begin{cases} \frac{2r}{R_i^2 - R_{i-1}^2} \frac{1}{2\pi}, & R_{i-1} < r \leq R_i, 0 < \theta \leq 2\pi. \end{cases} \quad (15)$$

$$E(Z_{[i]}) \quad , \quad E(Z_{[i]}^2) \quad (i=1, \dots, M) \quad \text{그리고}$$

$E(Z_{[i]}Z_{[t]}) (i, t=1, \dots, M (i \neq t))$ 를 구하기 위해 필요한 $v_{kj}, v_{kl}v_{oj} (k \neq 0)$ 등에 대한 확률밀도 함수에 대한 유도 과정에 대한 소개는 지면의 제약으로 생략한다.

셀 0의 상태가 $n = (n_1, \dots, n_M)$ 일 때 확률변수 Q 를 $Q(n)$ 으로 표기하자. 확률변수 $Q(n)$ 의 일차 및 이차 모멘트를 구하면, 확률변수 $Q(n)$ 이 로그정규분포를 따른다는 가정으로부터, 셀 0의 상태가 $n = (n_1, \dots, n_M)$ 인 경우의 소프트블록 확률(soft blocking probability)($B(n)$)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B(n) = 1 - \Pr(Q(n) \leq P_{\max} - P_{\text{control}}) = 1 - \Phi_{\mu(n), \varepsilon(n)}(\ln(P_{\max} - P_{\text{control}})) \quad (16)$$

여기서, $\Phi_{\mu(n), \varepsilon(n)}(\vartheta)$ 은 평균이 $\mu(n)$ 이고 표준편차가 $\varepsilon(n)$ 인 정규분포(normal distribution)의 누적분포함수(cumulative distribution function)이고,

$$\mu(n) = \ln(E(Q(n))) - 1/2 \ln(1 + (\text{var}(Q(n)) / E^2(Q(n))))$$

$$\varepsilon(n) = \sqrt{\ln(1 + (\text{var}(Q(n)) / E^2(Q(n))))} .$$

4. 실험

본 연구에서는 제시된 소프트 블로킹 확률을 구하기 위한 해석적 접근법의 유용성을 현실적인 가정을 통한 실험을 통해 확인하였다. 자세한 실험 결과는 지면제약으로 생략하기로 한다.

5. 결론

본 연구에서는 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하는 3G CDMA 이동통신시스템의 용량분석과 트래픽 엔지니어링에 효과적으로 활용될 수 있는 해석적인 소프트블록

킹을 구할 수 있는 방법론을 제시하였다. 그러나 해석적인 연구결과가 너무 복잡해 수치해석으로 계산하는데 문제점이 발견되었는바, 이를 극복할 수 있는 새로운 정교한 근사화방법이 장래에 연구되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구결과를 이용해 시스템 최적 설계 및 운용전략 수립을 위한 성능분석 및 최적화 모형에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] De-Hoz A. C. Cordier, W-CDMA downlink performance analysis, Proc. of IEEE 50th VTC 1999-Fall, vol.2, pp. 968-972, 1999.
- [2] C. Balzanelli, A. Munna, and R. Verdone, WCDMA downlink capacity-Part 1, Proc of the 14th IEEE International Symposium on PIMC, pp. 1775-1781, 2003.
- [3] S-E. Elayoubi, T. Chahed, and G. Hebuterne, On the capacity of multi-cell UMTS, Proc. of IEEE Globecom 2003, vol.1, pp. 487-491, 2003.
- [4] S-J. Eva Reguera and J.V. Fernando, Tele-traffic engineering for enhanced UMTS multi-rate applications, Proc. of EPMCC'2003 - 5th European Personal Mobile Communications Conference, Glasgow, Scotland, Apr. 2003.
- [5] V.B. Iversen, V. Benetis, N.T. Ha, S. Stepanov, Evaluation of multi-service CDMA networks with soft blocking, Proc. of ICT 16th Specialist Seminar on Performance Evaluation of Mobile and Wireless and mobile Systems, Antwerp, Belgium, pp. 212-216, 2004.
- [6] J. Marc Kelif and E. Altman, Downlink fluid model of CDMA Network, Proc. of IEEE 61st VTC Spring, 29th May - 1st June, Stockholm, Sweden, 2005.
- [7] D. Staehle and A. Mäder, An analytic modeling for deriving the node-B transmit power in heterogeneous UMTS networks, Proc. of IEEE VTC, Spring, Milano, Italy, pp. 2399-2403, 2004.
- [8] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications, 2nd Edition, Wiley, 2002.
- [9] J.B. Anderson, T.S. Rappaport and S. Yoshida, Propagation measurements for wireless communication channels, IEEE Communication Magazine, vol.33, pp.42-44, 1995.
- [10] J. Cho and D. Hong, Statistical model of downlink interference for the performance evaluation of CDMA systems, IEEE Communication Letters, vol.16, pp. 494-496, 2002
- [11] K. Zayana and B. Guisnet, Measurements and modelization of shadowing cross-correlations between two base stations, Proc. of ICUPC, Florence, Italy, pp. 101-105, 1998.
- [12] A. Viterbi, CDMA Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley, 1996.
- [13] C. Mihailescu, X.Lagrange, and Ph. Godlewski, Radio resource management for packet transmission in UMTS WCDMA system, Proc. of IEEE 51th VTC Fall, vol. 1, pp.573-577, 1999.
- [14] K. Gilhousen, I. Jacobs, R.Padovani, A. Viterbi, L.Weaver, and C. Wheatley, On the capacity of a cellular CDMA system, IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 40, pp. 303-311, 1991.
- [15] W. Jeon and D. Jeong, Call admission control for CDMA mobile communication systems supporting multimedia services, IEEE Transaction on Wireless Communications, vol. 1, no.4, pp. 649-659, 2002.
- [16] S. Hämäläinen et al., Analysis of CDMA downlink capacity enhancements, Proc. of PIMRC, Helsinki, Finland, pp. 241-245, 1997.
- [17] W.-U. Pisdelli and R. Verdone, Power allocation strategies for the downlink in a W-CDMA system with soft and softer handover: The impact on capacity, Proc. of the 13th IEEE International Symposium on PIMC, vol. 1, pp. 5-10, 2002.
- [18] B. Schröder and A. Weller, Prediction of the connection stability of UMTS-services in the downlink-an analytical approach, Proc of IEEE 56th VTC-Fall, vol.2, pp. 1105-1109, 2002.