

論文97-34S-10-1

DS-CDMA 셀룰라 시스템에서 외부셀 간섭 및 multi-rate traffic을 고려한 호 제어

(Call control considering other cell interference and multi-rate traffic in DS-CDMA cellular systems)

全炯九*, 權洙根*, 康昌彦**

(Hyoung-Goo Jeon, Soo-Kun Kwon, and Chang-Eon Kang)

요 약

본 논문에서는 실제 환경의 DS-CDMA 셀룰라 시스템에서 기지국의 트래픽 제어에 사용될 수 있는 호 수락 제어 방식을 제시하였다. 제안된 방식은 기지국에서 전력제어를 위하여 측정되는 수신 신호 세기와 총 수신 간섭량으로부터 외부셀 간섭량의 평균과 분산을 추정한다. 기지국은 추정된 외부셀 간섭량의 평균과 분산을 이용하여 역방향 링크 용량을 구한다. 기지국은 사용자 수가 역방향 링크 용량 보다 작은 경우에 한해서 호를 허용할 수 있다. 또한 본 논문에서는 multi-rate 트래픽 환경에서 역방향 링크 용량을 구하였다. 그 결과를 이용하여 비음성 호 당 등가 음성 호 수를 구하였으며 multi-rate 트래픽 환경에서 간단한 호 제어 방법을 제시하였다.

Abstract

In this paper, we propose a call admission control scheme which can be used in real environment for the traffic control of a base station of DS-CDMA cellular systems. The proposed scheme estimates the mean and variance of other cell interference by using the values used for the closed loop power control. The reverse link capacity of the base station can be calculated by using the estimated mean and variance of other cell interference. The base station admits a call only if the number of users is less than the calculated reverse link capacity. In addition, we propose a simple method to obtain the equivalent number of voice call users per one data call user in multi-rate traffic environment. The method can be applied to call admission control in multi-rate traffic environment.

I. 서 론

DS-CDMA 셀룰라 시스템에서 기지국의 무선 링크 용량은 정방향(forward)에 대한 링크 용량과 역방향(reverse)에 대한 링크 용량이 있으며 주로 역방향

링크 용량에 의해서 제한된다^[1]. 기지국에서 역방향 링크의 용량은 주변 셀로부터 수신되는 간섭량에 의해서 결정되며 주변 셀의 부하 상태와 밀접한 관계가 있다. 외부 셀에서 트래픽 부하가 높아서 통화중인 이동국의 수가 많다면 관심 기지국에 미치는 간섭량은 증가하고 역방향 링크 용량이 감소한다. 반대로 외부 셀에서 트래픽 부하가 낮다면 관심 기지국의 역방향 무선 링크 용량이 증가한다. 기지국은 새로운 호가 발생하였을 때 통화중인 이동국 수가 역방향 링크 용량을 초과하지 않도록 해야 한다. 만약 역방향 링크 용량을 초과하여 호를 할당할 경우 특히 셀 경계지역에 있는

* 正會員, 韓國電子通信研究院

(Electronics and Telecom. Research Institute)

** 正會員, 延世大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Yonsei Univ.)

接受日字: 1997年4月3日, 수정완료일: 1997年8月13日

이동국은 전파환경에 따라서 호가 강제로 중단 (outage)될 수 있다. 그러므로 CDMA 셀룰라 방식에서 기지국은 외부 셀의 트래픽 부하에 따라서 적응적으로 자신의 역방향 링크 용량을 계산하여 사용자 수가 역방향 링크 용량의 한계를 넘지않도록 호를 제어할 수 있는 호제어 방식이 필요하다.

최근 발표된 논문에서 Liu^[2], Shin^[3] 및 Dziong^[4]은 외부 셀의 트래픽 환경에 적응적인 호 제어 방식들을 제안하였다. Liu는 Signal to Interference Ratio (SIR)를 측정하여 외부 셀의 트래픽 부하에 따라서 적응적으로 호를 제어할 수 있는 호 수락제어 알고리즘을 제시하였다. 그러나 실제 시스템에서 SIR은 전력제어에 의해서 일정하게 유지된다^[3]. 뿐만아니라 Liu 방식은 음성활동율을 고려하지 않았으며 전력제어가 완벽하다고 가정하였다. 따라서 Liu가 제시한 방식은 실제 환경에 적용하기 어렵다. Shin은 기지국의 RF 수신단에 하드웨어 장치를 추가하여 총 수신 전력을 주기적으로 측정하고 잔여 역방향 링크 용량을 계산할 수 있는 적응 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. 그러나 기지국의 RF 수신단에서 측정된 총 수신 전력은 관심 셀과 외부 셀의 사용자들의 음성 활동률, 전력제어의 불완전성, 외부 셀에 있는 이동국 들의 위치변화 및 shadowing 등에 의한 랜덤 변수로 볼 수 있다^{[1] [5] [6]}. 랜덤 변수인 총 수신 전력은 동일한 외부 환경일지라도 측정할 때마다 값이 변화될 수 있다. 따라서 가변적인 순시값을 기본으로 계산된 잔여 역방향 링크 용량을 실제 기지국 환경의 호 제어에 사용하기에는 어려운 점이 있다. Dziong은 외부셀의 트래픽 환경을 고려한 호 수락 제어 방식을 제안하였으나 그 방식은 외부셀의 트래픽 상태 정보 및 채널 상태에 대한 메시지 교환을 가정하고 있으므로 알고리즘이 복잡해진다.

본 논문에서는 앞에서의 문제점에 대한 해결 방법으로서 별도의 하드웨어 장치가 필요하지 않으며 음성활동율과 전력제어의 불완전성을 고려하고 외부셀로부터 트래픽 상태나 채널 상태에 대한 메시지가 필요하지 않은 호 수락 제어 방식을 제안하였다. 또한 본 논문에서는 앞으로 서비스될 무선 multi-rate 트래픽 환경을 고려하여 무선 multi-rate 트래픽 환경에서 역방향 링크 용량을 계산하였으며 그 결과를 이용하여 무선 multi-rate 트래픽 환경에서 호제어를 수행할 수 있는 간단한 방식을 제안하였다.

II. 외부셀 간섭량의 분포 추정 (estimation)

여기에서는 전력제어^{[7] [8]}에 사용되는 데이터 값을 이용하여 외부셀로부터 수신되는 간섭량을 추정하는 것에 대하여 논의한다. DS-CDMA 셀룰라 시스템에서 기지국은 각 사용자 별로 역방향 전력제어를 수행한다. 역방향 전력제어에는 개방루프(open loop) 전력제어와 폐루프(closed loop) 전력제어가 있다^{[7] [8]}. 폐루프 전력제어는 기지국의 rake receiver에서 Walsh 심벌당 에너지 E_s 와 Walsh 심벌당 간섭 I_s 를 측정하고 그 값을 근거로 전력제어를 수행한다. Rake receiver에서 E_s 와 I_s 는 식(1) 및 식(2)로 주어진다^[4].

$$E_s = \frac{1}{n_s} \sum_{j=1}^{n_s} \max_k \{d_{j,k}\} - \frac{I_s}{M-1} \tag{1}$$

$$I_s = \frac{1}{n_s} \sum_{j=1}^{n_s} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq k_{max}}}^M d_{j,k} \tag{2}$$

여기서 k_{max} 는 주어진 Walsh 심벌 기간 동안 최대 판정값을 가지는 인덱스이며, n_s 는 전력제어 구간인 1.25 mS동안의 Walsh 심벌 수, $d_{j,k}$ 는 j 번째 Walsh 심벌 기간 동안 다이버시티 컴바인너의 출력에서 k 번째 판정값, M 은 Walsh심벌로 나타내는 신호의 갯수를 나타낸다. 본 논문에서 E_s 와 I_s 는 전력제어에 사용되는 값이므로 항상 데이터를 수집하여 그 분포를 구할 수 있다고 가정한다.

기지국에서 사용자 수가 n 명일 때 얻은 E_s 와 I_s 의 데이터의 갯수가 L 이라고 하면, E_s 와 I_s 의 평균과 분산은 식(3)과 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$E[E_s] = \frac{\sum E_s}{L}, \quad E[I_s] = \frac{\sum I_s}{L} \tag{3}$$

$$Var[E_s] = \frac{\sum E_s^2}{L} - \left(\frac{\sum E_s}{L}\right)^2, \quad Var[I_s] = \frac{\sum I_s^2}{L} - \left(\frac{\sum I_s}{L}\right)^2 \tag{4}$$

E_s 와 I_s 를 랜덤 변수로 놓았을 때 I_s 는 자기 신호를 제외한 셀내의 다른 사용자와 외부셀로부터 수신된 간섭량의 합이므로 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_s = \sum_{i=1}^{n-1} v_i \cdot E_{s,i} + I_{s,other} \tag{5}$$

여기서 (ν)는 음성 활동률을 나타내며 식(6)의 확률 분포에 따라서 0 또는 1의 값을 갖는 랜덤 변수이다.

$$P(\nu = 1) = \alpha \tag{6}$$

$I_{s,other}$ 는 외부셀로부터 수신되는 Walsh 심벌당 외부셀 간섭량이며 외부셀들의 모든 사용자들로부터 수신되는 간섭의 합이므로 Gaussian 분포를 갖는다고 가정할 수 있다. $E_{s,i}$ 는 i 번째 사용자로부터 수신되는 Walsh 심벌당 에너지로서 전력제어에 의하여 모두 동일한 확률분포를 갖는다고 가정할 수 있다. 식(5)로부터 Walsh 심벌당 간섭량 I_s 의 평균과 분산을 구하면 식(7)과 식(8)로 나타낼 수 있다.

$$E[I_s] = E\left[\sum_{i=1}^{n-1} \nu_i \cdot E_{s,i}\right] + E[I_{s,other}] \tag{7}$$

$$Var[I_s] = Var\left[\sum_{i=1}^{n-1} \nu_i \cdot E_{s,i}\right] + Var[I_{s,other}] \tag{8}$$

식(7)과 식(8)로부터 $I_{s,other}$ 의 분포를 구하면 식(9)과 식(10)과 같다.

$$E[I_{s,other}] = E[I_s] - E\left[\sum_{i=1}^{n-1} \nu_i \cdot E_{s,i}\right] = E[I_s] - (n-1) \cdot \alpha \cdot E[E_{s,i}] \tag{9}$$

$$Var[I_{s,other}] = Var[I_s] - Var\left[\sum_{i=1}^{n-1} \nu_i \cdot E_{s,i}\right] = Var[I_s] - (n-1) \cdot (\alpha \cdot E[E_{s,i}^2] - \alpha^2 \cdot E^2[E_{s,i}]) \tag{10}$$

기지국은 식(9)와 식(10)에 식(3) 및 식(4)를 대입하여 외부셀로부터 수신되는 Walsh 심벌당 간섭량 $I_{s,other}$ 의 평균과 분산을 추정(estimation)할 수 있다. 기지국은 추정된 $I_{s,other}$ 의 평균과 분산을 이용하여 외부셀 환경에 적응적으로 역방향 링크 용량을 구할 수 있다.

III. 외부셀 간섭량을 고려한 역방향 링크 용량

DS-CDMA 시스템의 링크 용량은 기존의 FDMA 나 TDMA 시스템과는 달리 주파수 채널이나 타임슬롯이 정해지지 않았기 때문에 호 수락 제어 방식에 따라서 결정된다. 본 논문에서는 참고문헌 [5]의 nonblocking 조건을 만족하지 못할 때 outage가 발생한다고 정의하고 호 수락 제어 방식은 그 outage 확률이 0.01보다 작을 때까지 새로운 호를 수용할 수 있다고 가정한다. 이때 기지국에서 역방향 링크 용량은 outage 발생 확률 P_{outage} 이 0.01이하가 되는 최대 사용자 수 k 라고 할 수 있다. 참고문헌 [5]의 nonblocking 조건은 식(11)과 같이 변형될 수 있다.

$$\sum_{i=1}^k \nu_i E_{b,i} R + I_{other} + N_{th} \cdot W \leq I_{accept} \cdot W \tag{11}$$

여기서 R 는 비트율, $E_{b,i}$ 는 i 번째 사용자의 비트당 에너지, I_{accept} 는 기지국 총 허용 잡음 전력밀도, W 는 주파수 대역폭, k 는 관심 기지국에서 사용자 수, I_{other} 는 외부셀로부터 수신되는 간섭량을 각각 나타낸다. N_{th} 는 열잡음 전력밀도로서 I_{accept} 와의 비는 식(12)로 주어진다 [5].

$$\eta = \frac{N_{th}}{I_{accept}} = 0.1 \text{ (nominally)} \tag{12}$$

1 Walsh 심벌은 2 비트에 해당한다^[7]. 따라서 식(11)을 Walsh 심벌단위로 나타내기 위하여 양변을 $R/2$ 로 나누면 식(13)을 구할 수 있다.

$$Z = \sum_{i=1}^k \nu_i E_{s,i} + I_{s,other} \leq \frac{2 \cdot I_{accept} (1 - \eta) \cdot W}{R} = A \tag{13}$$

식(13)에서 outage 확률은 Z 가 A 보다 클 확률을 나타내므로 식(14)와 같다.

$$P_{outage} = \text{Prob}(Z > A) \tag{14}$$

Z 는 central limit theory를 이용하여 정규분포를 갖는다고 가정할 수 있다. 그러므로 식(14)는 식(15)로 나타낼 수 있다.

$$P_{outage} = Q\left(\frac{A - E[Z]}{\sqrt{Var[Z]}}\right) \tag{15}$$

여기서 $Q(\cdot)$ function은 식(16)으로 정의되는 Gaussian error function 이다.

$$Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty e^{-u^2/2} du \quad (16)$$

역방향 링크 용량은 식(17)을 만족하는 최대 정수 k 라고 정의할 수 있다 [11].

$$P_{outage} = \text{Prob}(Z > A) < 0.01 \quad (17)$$

식(15)에서 P_{outage} 을 구하기 위해서는 먼저 $E[Z]$ 와 $\text{Var}[Z]$ 를 구해야 한다. Z 의 평균과 분산을 구하면 식(18), 식(19)과 같다.

$$E[Z] = E\left[\sum_{i=1}^k v_i E_{s,i}\right] + E[I_{s,other}] = k \cdot \alpha \cdot E[E_{s,i}] + E[I_{s,other}] \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[Z] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^k v_i E_{s,i}\right] + \text{Var}[I_{s,other}] \\ &= k \cdot \alpha \cdot E[E_{s,i}^2] - k \cdot \alpha^2 \cdot E^2[E_{s,i}] + \text{Var}[I_{s,other}] \end{aligned} \quad (19)$$

기지국에서 수신되는 Walsh 심벌당 에너지 E_s 는 셀 내의 사용자가 많을수록, 외부셀로부터 수신되는 외부셀 간섭량이 많을수록 전력제어에 의해서 큰 값이 요구된다. 셀내의 사용자 수가 k 일 때를 full load상태라고 가정하자. Full load에서 E_s 의 분포는 참고문헌 [5]의 실측 자료를 토대로 구할 수 있다. 도심환경의 full load 상태에서 측정된 비트 에너지 대 최대 허용 간섭 밀도의 비 E_b/I_{accept} 는 평균이 7dB이고 표준편차가 2.5dB인 로그 노말 분포를 보인다[5]. 따라서 E_b/I_{accept} 는 식(20)으로 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{I_{accept}}\right) = 10^{X/10} \quad (20)$$

여기서 X 는 평균이 7이고 표준편차가 2.5인 정규분포를 갖는 랜덤 변수이다. I_{accept} 는 식(12)에 의해서 주어지므로 full load 상태에서 기지국에서 수신한 Walsh 심벌당 에너지 분포는 식(21)로 나타낼 수 있다.

$$E_s = 2E_b = 2I_{accept} \cdot 10^{X/10} = 10^{Y/10} = e^{\beta Y} \quad (21)$$

여기서 $\beta = \frac{\ln 10}{10}$ 이고 랜덤변수 Y 는 평균 m_Y 가 이고 표준편차 σ_Y 가 2.5인 정규분포를 갖는다. 식(21)으로

부터 E_s 의 평균과 제곱 평균을 구하면 식(22) 및 식(23)과 같다.

$$E[E_s] = E[e^{\beta Y}] = \exp\left[\frac{(\beta\sigma_Y)^2}{2}\right] \cdot \exp(\beta \cdot m_Y) \quad (22)$$

$$E[E_s^2] = E[e^{2\beta Y}] = \exp\left[2 \cdot (\beta\sigma_Y)^2\right] \cdot \exp(2\beta \cdot m_Y) \quad (23)$$

Z 의 평균과 분산은 식(22)와 식(23)을 식(18) 및 식(19)에 대입하여 구할 수 있다. 기지국의 역방향 링크 용량 k 는 주어진 외부셀 간섭 $I_{s,other}$ 에서 ($P_{outage} < 0.01$)인 조건을 만족하는 최대정수이다. 역방향 링크용량 k 는 식(15), 식(18) 및 식(19)를 이용하고 k 를 0부터 1씩 증가시켜 가면서 iteration 방식으로 구할 수 있다. 식(18)과 식(19)로부터 알 수 있듯이 $E[Z]$ 와 $\text{Var}[Z]$ 는 k 의 함수이다. 따라서 k 는 직접구할 수도 있다. k 를 직접 구하기 위하여 식(15)를 역으로 풀어 정리하면 식(24)을 얻을 수 있다.

$$A^2 - 2AE[Z] + E^2[Z] = \left[Q^{-1}(P_{outage})\right]^2 \cdot \text{Var}[Z] \quad (24)$$

식(24)에 식(18)과 식(19)를 대입하고 k 에 대해서 정리하면 식(25)를 얻을 수 있다.

$$B \cdot k^2 + C \cdot k + D = 0 \quad (25)$$

여기서 B , C 및 D 는 식(26), 식(27) 및 식(28)로 정의된다.

$$B = \alpha^2 \cdot E^2[E_{s,i}] \quad (26)$$

$$\begin{aligned} C &= 2\alpha \cdot E[E_{s,i}] \cdot E[I_{s,other}] - 2A \cdot \alpha \cdot E[E_{s,i}] \\ &\quad - \left[Q^{-1}(P_{outage})\right]^2 \alpha \cdot E[E_{s,i}^2] + \left[Q^{-1}(P_{outage})\right]^2 \cdot \alpha^2 \cdot E^2[E_{s,i}] \end{aligned} \quad (27)$$

$$D = E^2[I_{s,other}] + A^2 - 2A \cdot E[I_{s,other}] - \left[Q^{-1}(P_{outage})\right]^2 \cdot \text{Var}[I_{s,other}] \quad (28)$$

식(25)로부터 링크 용량을 구하면 식(29)과 같다.

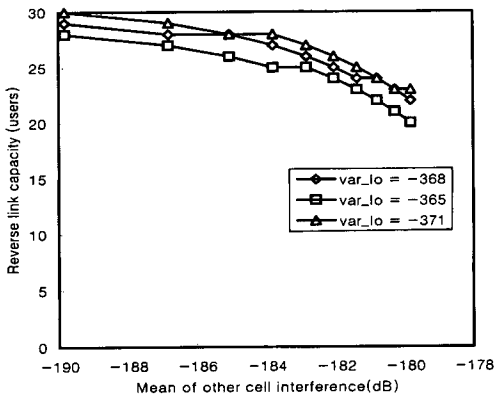
$$k = \left\lceil \frac{-C - \sqrt{C^2 - 4B \cdot D}}{2B} \right\rceil \quad (29)$$

여기서 $\lceil X \rceil$ 는 X 보다 작은 최대 정수를 나타낸다.

본 논문에서 제시한 호 수락제어 방식은 다음과 같이 요약할 수 있다. 기지국은 rake 수신기로부터 수집한 E_s 와 I_s 의 데이터로부터 $I_{s,other}$ 의 평균과 분산을

추정한다. 추정된 $I_{s,other}$ 의 평균과 분산을 이용하여 역방향 링크 용량 k 를 구한다. k 는 외부셀의 트래픽 부하 환경을 충분히 고려한 역방향 링크 용량이다. 기지국은 사용자 수 n 이 k 를 넘게 되면 P_{outage} 가 0.01보다 커질 수 있으므로 k 를 넘지않도록 호 수락 제어를 수행 한다.

[그림1]은 $W=1.2288\text{MHz}$, $R=9.6\text{Kbps}$, voice activity $\alpha = 0.38$, $N_{th} = -168 \text{ dBm/Hz}$ 인 조건에서 $I_{s,other}$ 의 분산이 -368 dB , -365 dB , -371 dB 라고 가정할 때 $I_{s,other}$ 의 평균을 -190 dB 로부터 -180dB 까지 10 dB 변화시켜 가면서 구한 역방향 링크 용량의 변화를 보여준다. 기지국은 자신이 계산한 역방향 링크 용량 내에서만 호를 수용해야 한다. 예를 들어, 제 2 절에서 제시한 방법으로 기지국에서 추정된 $I_{s,other}$ 의 평균이 -180dB 이고 분산이 -371dB 라면 그 기지국에서 동시에 수용할 수 있는 호의 사용자 수는 20이된다.



$W=1.2288\text{MHz}$, $R=9.6\text{Kbps}$, voice activity $\alpha = 0.38$, $N_0 = -168 \text{ dBm/Hz}$

그림 1. 외부셀 간섭에 따른 기지국에서 역방향 링크 용량

Fig. 1. The reverse link capacity of a base station according to other cell interference.

IV. Multi-rate 트래픽 환경에서 역방향 링크 용량 및 호 제어

Multi-rate 트래픽 환경에서 호 형태(call type)는 그 호의 비트 전송율 및 요구되는 전송품질에 의해서 정의될 수 있다. 셀룰라 시스템에서 역방향 링크 용량은 주로 높은 비트 전송율과 높은 전송 품질을 요구하는 호에 의해서 제한된다. 기지국에서 사용자 수가 역

방향 링크를 초과할 경우 기지국 내에서 서로 다른 형태의 호는 서로 간섭을 일으키고 요구하는 통화품질을 만족시킬 수 없게 된다. 따라서 기지국은 호 형태마다 사용자 수들을 제어해서 진행 중인 전체 호의 수가 역방향 링크 용량을 초과하지 않도록 해야 한다. 본 절에서는 Multi-rate 트래픽 환경에서 역방향 링크 용량을 구하고 그 결과를 이용하여 호 제어를 수행하는 것에 관하여 논의하도록 한다.

본 논문에서는 음성 호와 t 가지 형태의 데이터 호를 고려하며, 음성 호의 수신 신호 전력을 기준으로 정하여 역방향 링크 용량을 분석한다. DS-CDMA 셀룰라 시스템에서 전력제어가 이상적으로 이루어진다고 가정하면, 음성 호에 대한 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도 비 E_b/N_0 는 일정한 값으로 유지되며 양질의 통화품질을 유지하기 위해서 설정된 값 γ_v 와 동일한 값으로 유지된다. 따라서 음성 호에 대한 E_b/N_0 는 식(30)으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{S_v / R_v}{(P_t - S_v) / W} = \frac{S_v}{(P_t - S_v)} \cdot PG_v = \gamma_v \quad (30)$$

여기서 P_t , S_v , PG_v , R_v , 및 W 는 기지국에서 수신된 총 수신전력, 음성 호의 수신전력, 음성 호의 확산이득, 음성 호의 비트 전송율, 주파수 대역폭을 각각 나타낸다. 식(30)을 S_v 에 대해서 정리하면 식(31)을 얻을 수 있다.

$$S_v = P_t \cdot \gamma_v / (PG_v + \gamma_v) \quad (31)$$

비슷한 방법으로, i 번째 형태의 데이터 호의 수신 신호 전력 $S_{d,i}$ 는 식(32)로 나타낼 수 있다.

$$S_{d,i} = P_t \cdot \gamma_{d,i} / (PG_{d,i} + \gamma_{d,i}) \quad (32)$$

여기서 $\gamma_{d,i}$ 와 $PG_{d,i}$ 는 i 번째 형태의 데이터 호에서 요구되는 비트 에너지 대 잡음 밀도 값과 확산이득을 나타낸다. C_i 를 i 번째 형태의 데이터 호의 수신 신호 전력 대 음성 호의 수신 신호 전력의 비라고 정의하자. 이때 C_i 는 식(33)으로 나타낼 수 있다.

$$C_i = \frac{S_{d,i}}{S_v} = \frac{\gamma_{d,i} \cdot (PG_v + \gamma_v)}{\gamma_v \cdot (PG_{d,i} + \gamma_{d,i})} \quad (33)$$

음성 호와 t 개 형태의 데이터 호가 섞여있는 경우,

임의의 음성 호에 대한 총 간섭량 $I_{t,v}$ 은 식(34)으로 나타낼 수 있다.

$$I_{t,v} = \sum_{i=1}^{N_v-1} \nu_i \cdot S_v + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_{d,j}} \omega_{i,j} \cdot S_{d,j} + I_o + N_{th} \cdot W$$

$$= \sum_{i=1}^{N_v-1} \nu_i \cdot S_v + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_{d,j}} \omega_{i,j} \cdot C_j \cdot S_v + I_o + N_{th} \cdot W, \quad (34)$$

여기서 I_o , N_{th} , N_v 및 $N_{d,j}$ 는 인접셀로부터 수신되는 간섭, 열잡음 전력밀도, 음성 호 사용자 수, j번째 형태의 데이터 호 사용자 수를 각각 나타낸다. ν_i 는 i번째 사용자의 음성 활동율을 나타내며 $\omega_{i,j}$ 는 j번째 형태의 데이터 호의 i번째 사용자 데이터 전송 활동율을 나타낸다. ν_i 와 $\omega_{i,j}$ 는 0 또는 1의 값을 식(35)에 따라서 갖게 되는 2진 랜덤변수이다.

$$\Pr(\nu = 1) = \alpha \text{ and } \Pr(\omega = 1) = \zeta \quad (35)$$

음성 호의 적당한 성능 ($BER < 10^{-3}$)은 역방향 링크 상에서 $(E_b/N_o)_v$ ($v = 5$ (7dB) 인 경우에 언어진다^[1]). 그러므로, 음성 호에서 BER이 10^{-3} 이하가 되려면 식(36)을 만족해야 한다.

$$\gamma_v \leq \frac{S_v}{I_{t,v}} \cdot PG_v = \frac{S_v}{\sum_{i=1}^{N_v-1} \nu_i \cdot S_v + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_{d,j}} \omega_{i,j} \cdot C_j \cdot S_v + I_o + N_{th} \cdot W} \cdot PG_v \quad (36)$$

식(36)이 만족되지 않을 때 outage가 발생한다고 하자. 이때 outage 확률 P_{outage} 은 식(37)로 나타낼 수 있다.

$$P_{outage} = \Pr(BER > 10^{-3}) = \Pr\left(\sum_{i=1}^{N_v-1} \nu_i + \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^{N_{d,j}} \omega_{i,j} \cdot C_j + I_o / S_v > \delta\right) \quad (37)$$

여기서 δ 는

$$\delta = \frac{W}{R_v} / \gamma_v - N_{th} \cdot W / S_v, \quad \gamma_v = 5(7dB) \quad (38)$$

ν 와 ω 는 확률 값에 따라서 1또는 0의 값을 갖는 랜덤 변수이므로 조건확율을 이용하여 식(37)로부터 P_{outage} 을 구할 수 있다. 예를들어 음성 호와 1가지 형태의 데이터 호만을 고려하면, P_{outage} 은 식(39)로 나타낼 수 있다.

$$P_{outage} = \sum_{h=0}^{N_v-1} \sum_{m=0}^{N_d} \Pr\left(I_o / S_v > \delta - h - C_l \cdot \prod_{i=1}^{N_v-1} \nu_i = h, \sum_{i=1}^{N_d} \omega_i = m\right) \cdot \Pr\left(\sum_{i=1}^{N_v-1} \nu_i = h\right) \cdot \Pr\left(\sum_{i=1}^{N_d} \omega_i = m\right) \quad (39)$$

I_o/S_o 는 Gaussian 분포를 갖는 랜덤변수로 볼 수 있다^[1]. 따라서 식(39)를 $Q(\cdot)$ 함수를 사용하여 나타내면 식(40)과 같다.

$$P_{outage} = \sum_{h=0}^{N_v-1} \sum_{m=0}^{N_d} \binom{N_v-1}{h} \alpha^h (1-\alpha)^{N_v-1-h} \binom{N_d}{m} \zeta^m (1-\zeta)^{N_d-m} \cdot Q\left(\frac{\delta - h - C_l \cdot m - E(I_o / S_v)}{\sqrt{\text{Var}(I_o / S_v)}}\right) \quad (40)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 식(41)과 같다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-u^2/2} du \quad (41)$$

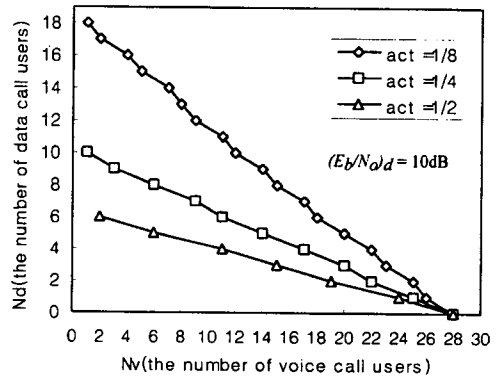


그림 2. 음성 호 사용자 수 대 데이터 호의 사용자 수 ($R_d = 14.4Kbps$)

Fig. 2. The number of voice call users versus the number of data call users ($R_d = 14.4Kbps$).

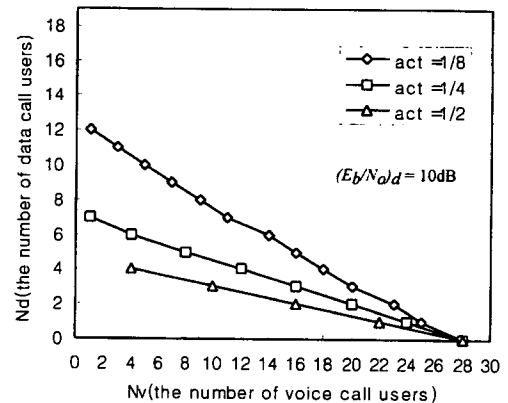


그림 3. 음성 호 사용자 수 대 데이터 호의 사용자 수 ($R_d = 19.2Kbps$)

Fig. 3. The number of voice call users versus the number of data call users ($R_d = 19.2Kbps$).

음성 호에 대한 역방향 링크 용량은 N_d 가 주어졌을 때 $P_{outage} \leq 0.01$ 을 만족하는 최대 N_v 로서 정의할 수 있다. 그 반대로 N_v 가 주어졌을 때 데이터 호에 대한 역방향 링크 용량은 ($P_{outage} \leq 0.01$)을 만족하는 최대 N_d 로서 정의할 수 있다. [그림 2] 와 [그림3] 에 N_v 와 N_d 와의 관계를 나타내었다. [그림2] 와 [그림3] 은 다음과 같은 조건에서 구하였다. 즉, 인접셀이 full load 상태이고 I_o/S_o 는 가우시안 분포를 보이며 평균과 분산은 $E(I_o/S_o) = 0.247N_v$ 과 $Var(I_o/S_o) = 0.078N_v$ 이다 [1]. 음성활동율 α , 대역폭 W , 전송율 R_v , 음성신호대 열잡음 전력비 $S_v/N_{th}W$, 및 데이터 호에 대해서 요구되는 γ_d 는 각각 3/8, 1.2288MHz, 9.6Kbps, -1 dB 및 10 dB 이다. 또한 3가지의 데이터 전송 활동율($\zeta = 1/8, 1/4$ 및 $1/2$)과 2 가지의 데이터 비트 전송율($R_d = 14.4Kbps$ 및 $19.2Kbps$)을 고려하였다. [그림2] 와 [그림 3] 에서 act는 데이터 전송 활동율 ζ 을 나타낸다. [그림2] 와 [그림3] 으로부터 알 수 있듯이 N_d 가 증가함에 따라서 N_v 는 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 음성 호의 역방향 링크 용량은 데이터 호의 비트 전송율이 19.2Kbps일 때가 14.4Kbps일 때에 비해서 급격히 줄어듦을 알 수 있다. 이는 데이터 호의 비트 전송율이 높아지면 데이터 호의 확산이득이 작아지므로 식(33)에서 C_i 가 커지므로 데이터 호 하나가 차지하는 역방향 링크용량이 커지기 때문이다.

만약 i 번째 형태의 데이터 호의 $(E_b/N_o)_{d,i}, R_{d,i}$ 및 ζ 가 주어졌다면, 식(40)을 이용하여 N_d 대 N_v 의 관계를 구할 수 있다. 그 결과를 이용하여 $N_v = 0$ 일때 N_d 와 $N_d = 0$ 일때 N_v 와의 관계는 식(42)로 나타낼 수 있게 된다.

$$N_{d,i}|_{N_v=0} = \frac{I}{g_i} \cdot (N_v|_{N_{d,i}=0}) \quad (42)$$

여기서 g_i 는 i 번째 형태의 데이터 호에 해당하는 비례상수 이다. 즉 1 명의 i 번째 형태의 데이터 호는 g_i 명의 음성 호에 해당한다는 것을 의미한다. 식(42)의 관계는 멀티미디어 환경의 호 제어에 사용될 수 있다. 예를 들어, i 번째 형태의 데이터 호의 $\gamma_{d,i}, R_{d,i}$ 및 ζ 가 각각 10dB, 14.4Kbps 및 1/8이라면 [그림2] 로부터 g_i 는 약 1.47임을 알 수 있다. 이미 셀내에 27 명의 음성 호의 사용자가 있다면 새로 도착하는 i 번째

형태의 데이터 호는 수용될 수 없다.

V. 결 론

본 논문에서는 실제 환경에서 호 수락 제어에 필수적으로 요구되는 외부셀 간섭량의 평균과 분산을 추정할 수 있는 방식을 제시하였다. 제안된 외부셀 간섭량의 추정 방식은 페루프 전력제어에 사용되는 데이터 값을 이용하여 외부셀로부터 수신되는 간섭량의 평균과 분산을 추정한다. 추정된 외부셀 간섭량의 분포를 근거로하여 기지국의 역방향 무선 링크 용량을 구할 수 있는 방법을 제안하였다. 기지국에서는 계산된 역방향 무선링크 용량에 따라서 호 수락 여부를 결정할 수 있다. 본 논문에서 제안된 호제어 방식은 별도의 하드웨어 장치가 필요없고 음성 활동율과 전력제어의 불완전성을 고려하고 있으며 외부셀 환경에 적응적인 역방향 링크 용량을 구하기 위하여 별도의 외부셀의 트래픽 부하에 대한 정보를 필요로 하지않는 장점이 있다. 또한 앞으로의 무선 멀티미디어 환경을 고려하여 음성 호와 데이터 호가 혼합되어 있는 환경에서 역방향 링크 용량을 구하였으며 그 결과를 이용하여 데이터 호 당 등가 음성 호 수를 구하여 호 제어에 사용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제시한 호 제어 방식은 실제 환경에서 외부셀 환경에 적응하여 호제어를 수행하는데 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] K.S. Gilhousen, I.M. Jacobs, R. Padovani, A.J. Viterbi, L.A. Weaver and C.E. Wheatley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, VT-40, No. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [2] Zhao Liu and Magda El Zarki, "SIR-Based call admission control for DS-SS cellular system", *IEEE Journal on Selected Areas in Commun*, VOL-12, No 4, pp. 638-644, May 1994.
- [3] S.M. Shin and D.K. Sung, "CS-CDMA reverse link channel assignment based on interference measurements," *IEE Electronics Letters*, 26th Oct., 1995, Vol. 31

- (22), pp. 1897-1899.
- [4] Zbigniew Dziong, Ming Jia, and Paul Mermelstein, "Adaptive traffic admission for integrated services in CDMA wireless-access network," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, VOL-14, No 9, pp. 1737-1747, Dec. 1996.
- [5] Audrey M. Viterbi and Andrew J. Viterbi "Erlang capacity of a power controlled CDMA system", *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, Vol-11, No. 6, pp. 892-899, Aug. 1993.
- [6] A.J. Viterbi, A.M. Viterbi, and E. Zehavi, "Other-cell interference in cellular power-controlled CDMA," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 42, No. 4, pp. 1501-1504, April 1994.
- [7] TIA/EIA Interim Standard (IS-95), Mobile station - base station compatibility standards for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems, July 1993.
- [8] Qualcomm, *The CDMA Network Engineering Handbook*, Volume 1, November 23, 1992.

— 저 자 소 개 —



全炯九(正會員)

1961년 12월 27일생. 1987년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사). 1992년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1996년 9월 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 박사과정. 1987년 2월 ~ 현재 한국 전자통신

연구원 이동통신 연구단. 관심분야는 이동통신 시스템, 트래픽 제어 및 시뮬레이션, 채널할당 알고리즘, 핸드오프 모델링.



權洙根(正會員)

1958년 12월 10일생. 1982년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사). 1984년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사). 1984년 3월 ~ 현재 한국 전자통신 연구원 이동통신 연구단. 관심분야는 이동통신 시스템,

트래픽 제어, 핸드오프 방식.

康昌彦(正會員)

1938년 8월 26일생. 1960년 연세대학교 전기공학과(공학사). 1965년 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1969년 미국 미시간주립대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1973년 미국 미시간주립대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1973년 ~ 1981년 미국 노던 일리노이 대학교 전기공학과 조교수, 부교수. 1982년 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 교수. 1987년 ~ 1988년 통신학회 회장 역임.