

음성 및 데이터 서비스를 지원하는 다중 반송파 코드 분할 다중 접속방식 시스템의 얼랑 용량 분석

구 인수^o, 양 정록, 김 태엽*, 김 기선

광주과학기술원 정보통신공학과

*SK텔레콤 생산전략본부 통합엔지니어링

전화 : (062) 970-2285 / 팩스 : (062) 970-2204

Analysis of Erlang Capacity for Multi-FA CDMA Systems Supporting Voice and Data Services

Insoo Koo, Jeongrok Yang, Tae Youp Kim* and Kiseon Kim

Communications Lab., Department of Infor. & Comm., KJIST

*Total Network Engineering Team, SK Telecom

E-mail : kiss@kjist.ac.kr

Abstract

As the number of CDMA subscribers increases, CDMA systems utilize more than one CDMA carrier in order to accommodate increasing capacity requirement. In this paper, we present a new analytical method for evaluating the Erlang capacity of CDMA systems with multiple CDMA carriers. In the case of the algorithm proposed in [5], the calculation complexity for evaluating the call blocking probability is increased proportionally to the sixth power of the number of used CDMA carriers when the CDMA system supports voice and data services. Consequently, it is impractical to calculate Erlang capacity with the algorithm of [5] especially when the number of used CDMA carriers is larger than 3. To resolve this problem, we propose a new analytical method for evaluating the Erlang capacity. The calculation complexity of the proposed method for evaluating call blocking probability is increased just proportionally to the second power of the number of used CDMA carriers when the CDMA systems support voice and data services.

1. 서론

최근 전 세계적으로 IS-95 기반 CDMA 시스템의 사용자들의 수가 급속도로 증가하고 있으며, 높은 용량 요구 조건이 요구되어지고 있다. 다중 반송파 CDMA는 현존하는 시스템들과 호환을 유지하면서 CDMA 시스템들의

용량을 증가시키기 위한 하나의 유용한 접근 방식이다. 다중 반송파 CDMA시스템의 경우, 주어진 주파수 대역을 몇몇의 구별된 대역들로 나누고 각 호 접속은 각각의 대역으로 할당되어 진다. 일반적으로 각각의 반송파들은 IS-95A 표준안과 호환성을 유지하기 위해 1.25Mhz대역을 갖는다.

기존의 FDMA나 TDMA와는 달리, 다중 반송파 CDMA시스템의 경우, 호 접속을 요구하는 호는 기지국에서 주어진 트래픽 채널에 대해 수신된 확산 대역 신호를 처리하는 채널 요소(Channel Element: CE)의 부족뿐만 아니라 특정 섹터에서 호가 일정 수준이상 몰린 경우 수신단의 잡음량이 높아져서 호의 접속이 차단 될 수 있다. 기지국에서 가용한 채널 요소의 부족으로 발생하는 호 차단을 "하드 블라킹(Hard Blocking)" 이라 하고, 수신단에서 초과 잡음에 기인한 호 차단을 "소프트 블라킹(Soft Blocking)"이라고 한다. 일반적으로 소프트 블라킹은 각 섹터에서 동시 사용자의 수가 최대 허용 가능한 동시 사용자 수를 초과 할 때 발생하며, 지금까지, 요구되어 지는 QoS(Quality of Service)조건들을 만족하면서, CDMA 시스템이 지원할 수 최대 허용 가능한 동시 사용자 수에 관하여 많은 연구들이 이루어 졌다[1-3]. 그러나 다중 사용자 시스템에서 경제적 유용성은 어느 한 시점에서 서비스될 수 최대 동시 사용자 수가 아니라 요구되어지는 품질 및 호 차단 확률을 만족하는 최대 부하, 즉 얼랑 용량이다[4].

음성 및 데이터 서비스를 지원하는 CDMA 시스템의 경우, 열량 용량은 음성 및 데이터 트래픽의 특성을 특징짓는 용량들을 포함하는 2차원 벡터형태로 표현된다. 열량 용량의 분석에 관해, [5]에서는 소프트 블라킹 및 하드 블라킹을 고려하여, 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 다중 반송파 CDMA 시스템의 갖는 열량 용량 분석을 위한 해석적 방식을 제안하였다. 그러나, [5]에서 제시된 해석방식의 경우, 각 호들이 겪는 호차단 확률을 계산하기 위해 요구되어지는 계산량은 사용되어 지는 반송파의 수의 6승에 비례하여 증가한다. 따라서, 반송파의 수가 3 이상으로 증가하면 기존 해석방식을 가지고 열량 용량을 계산하는 데는 많은 시간이 소요된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 열량 용량 분석을 위한 새로운 해석 방식을 제안한다. 제시된 해석방식의 경우, 각 호들이 겪는 호차단 확률을 계산하기 위해 요구되어지는 계산량은 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 다중 반송파 CDMA 시스템의 경우에 대해, 사용되는 반송파의 수의 2승에 비례해서만 증가한다.

2. 시스템 모델

시스템 성능 분석을 위해 다음과 같은 가정들을 고려한다.

- 음성 및 데이터 서비스를 지원하고 P 개의 CDMA 반송파를 사용하는 다중 반송파 CDMA 시스템을 고려한다.
- 3 섹터 셀을 고려한다.
- 섹터당 각각의 CDMA 반송파는 \widehat{C}_{etc} 개의 가용 트래픽 채널들을 제공하며, 하나의 데이터 호는 데이터 전송률 및 요구되어 지는 E_b/N_o 와 같은 QoS(Quality of Service) 요구 조건들 기반으로 하여 음성 호에 비해 A 배의 가용 트래픽 채널을 점유한다[2-3].
- 각각의 CDMA 반송파 사이에서의 채널 할당방식으로 결합 반송파 채널 할당방식(Combined Carrier Channel Assignment: CCCA)을 사용한다. 이 방식의 경우, 섹터당 P 개의 CDMA 반송파를 사용하는 경우 섹터당 $\widehat{C}_{etc} \cdot P$ 개의 가용 트래픽 채널들이 존재한다[7].
- 기지국당 N 개의 채널 요소들이 사용되어 지며, 특정 섹터에 관계없이 기지국에 존재하는 어느 사용자들에게나 할당되어 질 수 있다.
- 사용되어 지는 호 수용 정책은 각 호들이 모든 가용 트래픽 채널 및 채널 요소들을 완전 공유하는 방식이다.
- i -번째 섹터에서($i=1,2,3$) 발생하는 음성 호 및 데이터 호들은 평균 호 발생률이 각각 $\lambda_{(v,i)}$ 그리고 $\lambda_{(d,i)}$ 인 포아송 분포를 가지고 발생하고, 음성 호 및 데이터 호들의 채널 점유시간들은 평균이 $1/\mu_{(v,i)}$ 그리고 $1/\mu_{(d,i)}$ 인 지수 분포를 갖는다고 가정하였다. 따라서, i -번째 섹터의 음성 및 데이터의 부하량은 $\rho_{(v,i)} =$

$\lambda_{(v,i)}/\mu_{(v,i)}$ 그리고 $\rho_{(d,i)} = \lambda_{(d,i)}/\mu_{(d,i)}$ 로 주어진다. 또한 3섹터 CDMA 셀에 대하여, 섹터당 트래픽 밀도가 균등하게 분포되어졌다고 가정한다. 따라서, 각 섹터에서 발생하는 호들이 겪는 호 차단율은 특정 섹터와 관계없이 동일하며, 하나의 섹터에서 발생하는 호들만을 고려함으로써 시스템의 전체 성능을 평가할 수 있다.

3. 열량 용량 분석

본 절에서는 다 차원 M/M/m 손실 모델을 기반으로 음성 및 데이터 서비스를 지원하는 다중 반송파 CDMA 시스템의 열량 용량을 분석한다.

CDMA시스템의 경우, 호 접속을 요구하는 호가 서비스를 받기 위해서는, 우선 각 섹터에서 호가 소프트 블라킹이 되지 않고 나서 하드 블라킹이 되지 않아야 한다. 여기서 주의 할 점은 소프트 블라킹은 섹터의 무선 채널의 조건에서 발생하고, 하드 블라킹은 기지국의 가용 채널 요소의 수에 의해 결정된다는 것이다.

분석을 위해, $\mathbf{N}_i = (n_{(v,i)}, n_{(d,i)})$ 을 i -번째 섹터에서($i=1,2,3$) 각 서비스 그룹의 사용자들의 수로 주어지는 i -번째 섹터의 상태 벡터로 놓자. 그러면, 각 서비스의 트래픽의 량이 주어지는 경우, i -번째 섹터에서 평형 상태 확률은 곱셈형태로 표현 수 있음이 잘 알려져 있으며, 상태 벡터 \mathbf{N}_i 에 대한 상태 확률 $\pi_i(\mathbf{N}_i)$ 는 다음과 같이 주어진다[6].

$$\pi_i(\mathbf{N}_i) = \frac{1}{G_i(R)} \frac{\rho_{(v,i)}^{n_{(v,i)}}}{n_{(v,i)}!} \frac{\rho_{(d,i)}^{n_{(d,i)}}}{n_{(d,i)}!} \quad (1)$$

for $\mathbf{N}_i \in S_i(R)$

여기서 첨자 i 는 i -번째 섹터를 나타내며, $\rho_{(v,i)} = \lambda_{(v,i)}/\mu_{(v,i)}$ 과 $\rho_{(d,i)} = \lambda_{(d,i)}/\mu_{(d,i)}$ 는 각각 i -번째 섹터에서 음성 및 데이터 호의 입력 트래픽 부하량을 나타낸다. $G_i(R)$ 는 정규화 상수이며 다음과 같이 주어진다.

$$G_i(R) = \sum_{\mathbf{N}_i \in S_i(R)} \frac{\rho_{(v,i)}^{n_{(v,i)}}}{n_{(v,i)}!} \frac{\rho_{(d,i)}^{n_{(d,i)}}}{n_{(d,i)}!} \quad (2)$$

P 개의 반송파를 지원하는 다중 반송파 CDMA 시스템에 대하여 i -번째 섹터의 모든 가능한 상태의 집합 $S_i(R)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$S_i(R) = \{ \mathbf{N}_i: \mathbf{N}_i A^T \leq R \} \quad \text{for } i=1,2,3 \quad (3)$$

여기서 A 는 각 원소가 음성 및 데이터 사용자가 사용하는 무선자원의 량으로 주어지는 1행 2열의 행렬이고, R 는 i -번째 섹터의 자원을 나타내는 상수이며, 각각 다음과 같이 주어진다.

$$A = [1 \ A] \quad (4)$$

$$R = \widehat{C}_{etc} \cdot P \quad (5)$$

그러면, i -번째 섹터에서 음성 및 데이터 호들이 겪는

호차단 확률들은 각각 두 개의 정규화 상수들을 사용함으로써 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$b_{(soft,v,i)} = 1 - \frac{G_i(R - Ae_v)}{G_i(R)} \quad (6)$$

$$b_{(soft,d,i)} = 1 - \frac{G_i(R - Ae_d)}{G_i(R)} \quad (7)$$

여기서, $b_{(soft,v,i)}$ 과 $b_{(soft,d,i)}$ 은 각각 i -번째 섹터에서 음성 및 데이터 호의 소프트 블라킹 확률을 나타내며, e_v 과 e_d 는 $[1 \ 0]^T$ 과 $[0 \ 1]^T$ 로 주어지는 단위 벡터이다. $G_i(R)$ 는 i -번째 섹터의 모든 가능한 상태의 집합 $S_i(R)$ 에서 계산되는 정규화 상수이며, $G_i(R - Ae_v)$ 과 $G_i(R - Ae_d)$ 는 각각 상태 집합 $S_i(R - Ae_v)$ 과 $S_i(R - Ae_d)$ 에서 계산되는 정규화 상수들이다.

각 섹터에서 소프트 블라킹 되지 않는 호들이 서비스를 받기 위해서는 기지국에서 이 호들을 수용할 수 있는 충분한 채널 요소가 있어야만 한다. 만약, 충분한 채널 요소가 없는 경우 호들은 하드 블라킹 되어 진다. 또한, 기지국에서 가용한 전체 채널 요소들은 섹터에 관계없이 모든 호들에 의해 공유되어 짐으로, 기지국의 가용 채널 요소의 제한에 기인하여 각 서비스 그룹의 호들이 겪는 하드 블라킹 확률은 소프트 블라킹의 경우와 비슷하게 다음과 같이 계산되어 질 수 있다.

$$b_{(hard,v)} = 1 - \frac{G_b(R_b - Ae_v)}{G_b(R_b)} \quad (8)$$

$$b_{(hard,d)} = 1 - \frac{G_b(R_b - Ae_d)}{G_b(R_b)} \quad (9)$$

여기서

$$R_b = N, \quad G_b(*) = \sum_{N_b \in S_b(*)} \frac{\alpha_v^{n_v}}{n_v!} \frac{\alpha_d^{n_d}}{n_d!},$$

$$S_b(*) = \{ N_b \mid N_b A^T \leq * \}, \quad N_b = \{ (n_v, n_d) \},$$

$$\alpha_v = \sum_{i=1}^3 \rho_{(v,i)} \cdot (1 - b_{(soft,v,i)})$$

$$\text{그리고 } \alpha_d = \sum_{i=1}^3 \rho_{(d,i)} \cdot (1 - b_{(soft,d,i)}).$$

$b_{(hard,v)}$ 과 $b_{(hard,d)}$ 은 각각 기지국에서 음성 및 데이터 호들이 하드 블라킹될 확률들을 나타내며, N 은 기지국에서 가용한 채널 요소들의 수를 나타낸다. $G_b(R_b)$ 는 기지국에서 가능한 모든 상태의 집합 $S_b(R_b)$ 에서 계산되는 정규화 상수이며, $G_b(R_b - Ae_v)$ 과 $G_b(R_b - Ae_d)$ 는 각각 상태 집합 $S_b(R_b - Ae_v)$ 과 $S_b(R_b - Ae_d)$ 에서 계산되는 정규화 상수들이다. 또한, n_v 와 n_d 는 기지국에서 음성 및 데이터 호들의 수를 나타내며, α_v 와 α_d 는 각 섹터에서 소프트 블라킹 되지 않고 기지국으로 유입되어 지는 음성 및 데이터 호들의 섹터 트래픽 부하량의 합이다.

따라서, 각 섹터에서의 소프트 블라킹과 기지국에서의 하드 블라킹 확률이 고려된 음성 및 데이터 호들이 겪는 호 차단 확률들은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$P_{(blocking,voice)} = 1 - (1 - b_{(soft,v,i)}) \cdot (1 - b_{(hard,v)}) \\ = 1 - \frac{G(R - Ae_v)}{G(R)} \cdot \frac{G_b(R_b - Ae_v)^{(10)}}{G_b(R_b)}$$

$$P_{(blocking,data)} = 1 - (1 - b_{(soft,d,i)}) \cdot (1 - b_{(hard,d)}) \\ = 1 - \frac{G(R - Ae_d)}{G(R)} \cdot \frac{G_b(R_b - Ae_d)^{(11)}}{G_b(R_b)}$$

본 논문에서 제시된 계산방식의 경우, 식 (10)과 식 (11)에서 알 수 있듯이, 음성 및 데이터 호들이 겪는 호 차단 확률들은 각각 closed form 형태로 주어지며, 또한 각 호들이 겪는 호 차단 확률들을 구하기 위해서는 다음과 같은 계산량이 요구되어 진다.

$$2 \cdot \left(\left\lfloor \frac{\widehat{C}_{etc}}{A} \right\rfloor \cdot \widehat{C}_{etc} \cdot P^2 + \left\lfloor \frac{N}{A} \right\rfloor \cdot N \right) \quad (12)$$

식 (12)의 첫 항은 음성호에 대해 정규화 상수 $G(R)$ 과 $G(R - Ae_v)$ 을, 그리고 데이터 호에 대해, $G(R)$ 과 $G(R - Ae_d)$ 을 계산하기 위해 요구되어 지는 계산량이며, 두 번째 항은 음성호에 대해 정규화 상수 $G_b(R_b)$ 과 $G_b(R_b - Ae_v)$ 을, 데이터 호에 대해 정규화 상수 $G_b(R_b)$ 과 $G_b(R_b - Ae_d)$ 을 계산하기 위해 요구되어 지는 계산량이다. 또한, [5]에서 제시된 해석방식의 경우, 호 차단확률을 구하는데 요구되어 지는 계산량이, 사용되어 지는 반송파의 수의 6승에 비례하여 증가하는데 비해, 본 논문에서 제시된 해석 방식의 경우, 요구되어 지는 계산량은 단지 사용되어 지는 반송파의 수의 2승에 비례함을 식 (12)으로 부터 알 수 있다.

음성 및 데이터 서비스를 지원하는 CDMA 시스템인 경우, 음성만을 지원하는 시스템에 대응되어 지는 열량 용량은 동시적으로 두 개의 구별된 서비스 그룹들의 성능을 고려하기 위해, 2차원의 벡터 형태로 변경되어야 한다. 본 논문에서는, 음성 및 데이터를 지원하는 시스템의 열량 용량, C_{Erlang} 을 요구되어 지는 QoS 및 GoS 들을 만족하면서, 시스템에 의해 지원될 수 있는 각 서비스 그룹들의 입력 트래픽 부하량의 집합으로 정의한다. 대응되어 지는 섹터당 열량 용량은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$C_{Erlang} \equiv \{ (\widehat{\rho}_v, \widehat{\rho}_d) \} \\ = \{ (\rho_v, \rho_d) \mid P_{(blocking,voice)} \leq P_{(B,v)_{ns}}, \quad (13) \\ \text{and } P_{(blocking,data)} \leq P_{(B,d)_{ns}} \}$$

여기서 $P_{(B,v)_{ns}}$ 과 $P_{(B,d)_{ns}}$ 은 요구되어 지는 음성 및 데이터의 호 차단 확률들이며, GoS 요구사항으로 간주되어 질 수 있다.

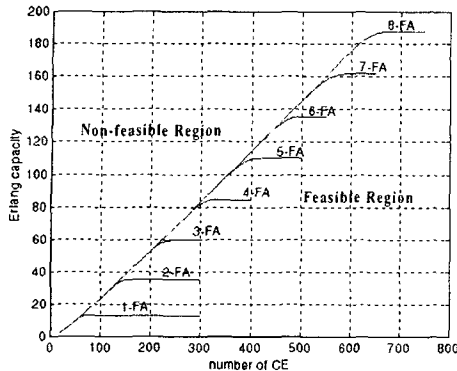


그림 1 데이터 트래픽에 대한 음성 트래픽의 비(p)가 1%로 주어진 경우, 사용되어 지는 반송파의 수에 따른 얼랑 용량의 변화

4. 수치적 예

수치적 예로서, 음성 및 데이터 서비스를 지원하고 P 개의 CDMA 반송파를 사용하는 전형적인 다중 반송파 CDMA 시스템을 고려하자. 각 섹터당 반송파당 최대 허용 가능한 동시 사용자 수 \widehat{C}_{enc} 은 29로 주어지고, 하나의 데이터 사용자가 음성 사용자에게 비해 6배만큼의 트래픽 채널을 더 많이 사용한다고 가정하자. 본 논문에서는 CDMA 반송파 사이의 채널 할당 방식으로 결합 반송파 채널 할당방식이 사용됨으로 P 개의 반송파를 사용하는 경우, 각 섹터당 최대 허용 가능한 동시 사용자 수는 $29 \cdot P$ 로 주어진다.

그림 1은 데이터 트래픽에 대한 음성 트래픽의 비(p)가 1%로 주어진 경우, 사용되어 지는 반송파의 수에 따른 얼랑 용량의 변화를 보여 준다. 사용되어 지는 반송파의 수가 증가함에 따라, 최대로 얻을 수 있는 얼랑 용량 역시 증가함을 알 수 있다. 또한 하나의 고정된 반송파의 수에 대하여, 얼랑 용량은 채널 요소의 증가와 함께 선형적으로 증가하다가 어느 값 이상에서는 얼랑 용량이 더 이상 증가하지 않고 수렴함을 알 수 있다. 수렴되는 영역에서의 호 차단율은 섹터당 동시 사용자 수의 제한에 의해 대부분 발생함으로 채널 요소가 더 증가하여도 더 이상 얼랑 용량은 증가하지 않는다. 또한 채널 요소의 증가와 더불어 얼랑 용량이 선형적으로 증가하는 영역에서는 기지국의 채널 요소의 제한에 의해 호 차단이 발생하기 때문에 채널 요소를 증가시킴에 따라 얼랑 용량도 선형적으로 증가한다. 마지막으로, 선형 영역과 포화 영역의 사이에서는 채널 요소 및 동시 사용자 수의 제한 요소가 결합되어 얼랑 용량이 결정됨을 알 수 있다. 특별히, 그림 1은 각 섹터당 주어지는 트래픽의 량을 수용하기 위해 요구되어지는 적정 반송파의 수 및 요구되어 지는 채널 요소의 수를 결정하는데 유용하게 사용될 수 있다. 즉, 시스템 운영자에게 각 섹터당 주어지는

성 및 데이터 트래픽 량을 수용하기 위해, 요구되어 지는 섹터당 반송파의 수 및 기지국에서 요구되어 지는 채널 요소의 량을 추정하는 것은 매우 중요한 일이다. 예를 들어, 섹터당 각각 100얼랑의 음성 트래픽과 1얼랑의 데이터 트래픽의 량이 존재하는 경우, 이를 수용하기 위해 기지국에서 요구되어 지는 적정 채널 요소의 량 및 섹터당 사용되어야만 하는 반송파의 수를 결정하여야 한다. 이 예의 경우, $p=1\%$ 에 해당되는 경우로, 그림 1을 이용하여, 주어진 트래픽의 량을 수용하기 위해 적어도 섹터당 5이상의 반송파를 사용하고, 기지국에서 370개 이상의 채널 요소를 사용할 것을 권고할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 음성 및 데이터 서비스들을 지원하고 하나 이상의 반송파를 사용하는 다중 반송파 CDMA 시스템이 갖는 얼랑 용량을 분석하기 위한 해석적 과정을 제안하였다. 본 논문에서 제시된 해석방식을 통하여 섹터당 가용 채널의 제한뿐만 아니라 기지국에서의 채널 요소의 제한 요소가 고려된, 3섹터 다중 반송파 CDMA 시스템이 갖는 얼랑 용량을 분석할 수 있다. 제시된 얼랑 용량 해석방법에서는 각 서비스 그룹들이 겪는 호 차단 확률을 계산하는데 필요한 계산량이 사용되는 반송파의 수에 2승에 비례하므로, 기존 해석방법 비해 계산량이 현저히 감소하였다.

또한 얼랑 용량 분석결과를 통하여 실제 무선망을 운영하는데 있어 주요 시스템 자원인 채널 요소 및 반송파의 수를 결정하기 위한 기준안을 제시할 수 있다.

Reference

- [1] A. Sampath, P. Kumar and J. Holtzman, "Power Control and Resource Management for a Multimedia CDMA Wireless System," IEEE Proc. of PIMRC, pp.21-25, 1995.
- [2] J. Yang, Y. Choi, J. Ahn and K. Kim, "A Capacity Plane of CDMA System for Multimedia Traffic," IEE Electronics Letters, Vol. 33, No. 17, pp.1432-1433, 1997.
- [3] I. Koo, H. Seo, A. Ahmad and K. Kim, "A Generalized Capacity Formula for the Multimedia DS-CDMA System," APCC'97, pp.46-50, 1997.
- [4] A. Viterbi and A. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 11, No. 6, pp.892-900, 1993.
- [5] I. Koo, J. Yang, Y. Yang and K. Kim, "Analysis of Erlang Capacity for Voice and Data DS-CDMA Systems with the Limited Number of Channel Elements," JCCI'00, pp.617-621, 2000.
- [6] F. Kelly, "Loss Networks," The Annals of Applied Probability, Vol.1, pp.319-378, 1991.
- [7] B. Song, J. C. Kim, S. Oh, "Performance Analysis of Channel Assignment Methods for Multiple Carrier CDMA Cellular Systems," IEEE Proc. of VTC'99 spring, pp.10-14, 1999.