

CDMA 이동 통신 시스템에서 음성과 데이터의 동시 서비스를 위한 역방향 트래픽 채널 할당 방법과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 용량 분석

정회원 최 우 용*

Performance Analysis of Reverse Traffic Channels for Mixed Voice and Data Services Using Computer Simulation in CDMA Cellular Systems

Woo-Yong Choi* *Regular Member*

요 약

본 연구에서는 CDMA 이동 통신 시스템에서 음성 호와 데이터 호가 동시에 서비스될 때 기지국의 역방향 트래픽 채널에 대한 용량 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석 방법을 제안하고자 한다. 특히 음성 호는 호 당 하나의 트래픽 채널을 할당 받지만 데이터 호의 효율적인 서비스를 위해 데이터 호는 호 당 서비스를 위해 필요한 최소 트래픽 채널 개수가 있고 트래픽 채널의 용량이 허용하는 한 어떤 최대 트래픽 채널 개수까지 할당 가능하다고 가정한다. 제안된 시뮬레이션 분석 방법에 따른 계산 결과도 제시될 것이다.

ABSTRACT

In this paper, a computer simulation approach is proposed to analyze the performance of reverse traffic channels in a base station serving voice and data calls in CDMA cellular systems. It is assumed that multiple traffic channels simultaneously serve a data call and a voice call is served by one traffic channel in a base station. The numerical examples will be presented to derive the capacity of traffic channels from the parameters such as the arrival rates and mean durations of voice and data calls, the soft handoff area ratio, etc..

I. 서 론

이동 통신망은 단말기와 기지국간의 인터페이스를 제공하는 무선 망과 단말기로부터 기지국에 전달된 데이터 패킷을 해당되는 목적지의 기지국으로 전달하기 위한 유선 망으로 구성된다고 할 수 있다. 따라서 이동 통신망의 용량은 무선 망과 유선 망의 용량을 기초로 하여 산출되어야 하며 유선 망의 용량을 산출하기 위해서는 유선 망을 이루는 기지국

과 기지국을 연결하는 스위치의 용량에 대한 분석이 필요하다. 단말기와 기지국간의 인터페이스를 위하여 CDMA (Code Division Multiple Access) 를 이용할 경우 무선 망에 대한 용량은 많은 저자에 의하여 분석되어 왔다. ([1] - [5]) 특히 음성 호뿐만 아니라 데이터 호 등의 다양한 서비스를 통합적으로 서비스할 경우 무선 망에 대한 용량은 [3], [4], [5]에서 분석되었다. 유선 망에서 스위치에 대한 성능 분석 또한 많은 저자에 의하여 이루어져 왔는데 음성 호에 적합한 TDM (Time Division Multi-

* 현대전자통신연구소(wychoi@hei.co.kr),
논문번호 : 99365-0908, 접수일자 : 1999년 9월 8일

plexing)을 이용하는 스위치에 대한 용량 분석은 [6], [7] 에서 이루어졌으며 다양한 종류의 서비스를 위한 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 다중화기와 스위치에 대한 용량 분석은 [8]-[12] 에서 이루어졌다. 하지만 음성이나 그 밖의 데이터 서비스가 동시에 제공될 때 기지국의 트래픽 채널에 대한 용량 분석은 아직까지 연구가 미진하여 계속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 기지국의 역방향 트래픽 채널 할당을 위한 새로운 방법을 제안하고 이에 따라 음성 호와 데이터 호가 동시에 서비스될 때 트래픽 채널에 대한 용량 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션 분석 방법을 제안하고자 한다. 특히 음성 호는 호 당 하나의 트래픽 채널을 할당받지만 데이터 호의 효율적인 서비스를 위해 데이터 호는 호 당 서비스를 위해 필요한 최소 트래픽 채널 개수가 있고 트래픽 채널의 용량이 허용하는 한 어떤 최대 트래픽 채널 개수까지 할당 가능하다고 가정한다. 따라서 각 데이터 호는 호 유지 시간 동안 일정한 개수의 트래픽 채널을 계속적으로 할당받지 않고 기지국에 입력되는 트래픽 상태와 기지국에 있는 트래픽 채널의 할당 상태에 따라서 서로 다른 개수의 트래픽 채널을 할당받게 된다.

다음 장에서는 음성 호와 데이터 호의 동시 서비스를 위한 역방향 트래픽 채널 할당 방법을 설명할 것이다. 그리고 제 3장에서는 제안된 트래픽 채널 할당 방법에 따른 트래픽 채널 용량 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석 방법을 제안하고 제 4장에서는 제 3장의 분석 방법의 계산 결과를 제시하고자 한다. 끝으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 트래픽 채널 할당 방법

임의의 시간에 기지국에서 서비스 중인 음성 호와 데이터 호의 개수를 각각 N_V 와 N_D 라 하고 N_D 개의 데이터 호에 할당되어 서비스 중인 트래픽 채널 개수를 각각 $M_i, i = 1, 2, \dots, N_D$ 라 한다. 음성 호는 호 당 하나의 트래픽 채널을 통하여 서비스가 이루어지며 데이터 호는 서비스를 위해서 호 당 최소한 L_{min} 개의 트래픽 채널이 필요하고 최대한 L_{max} 개의 트래픽 채널까지 할당 가능하다고 가정한다. 그리고 각 데이터 호는 트래픽 채널 용량이 허용하는 한 가능한 많은 트래픽 채널을 할당 받으려 한다고 가정한다. 따라서 $M_i, i = 1, 2, \dots, N_D$ 는 L_{min} 보다 크거나 같고 L_{max} 보다 작거나 같은 값을 가지

게 된다. 인터넷을 통하여 이동 단말로부터 어떤 파일을 전송하는 경우를 생각해 보자. 이러한 파일 전송 서비스를 제공하기 위해서 전송 속도를 감안할 때 필요한 최소한의 트래픽 채널 개수가 L_{min} 이고 트래픽 채널의 여유 용량이 충분할 때 최대 할당할 필요가 있는 트래픽 채널 개수는 L_{max} 이다. 일반적으로 한 번의 인터넷 서비스는 여러 번의 파일 전송과 수신으로 이루어진다고 생각할 수 있을 것이다. 음성 호의 경우 호 당 하나의 트래픽 채널이 호 유지 시간동안 계속적으로 할당되지만 데이터 호의 경우 트래픽 채널 할당은 파일 전송 시 즉 버스트 구간에만 할당되고 파일 전송이 이루어지지 않는 구간에서는 트래픽 채널이 할당되지 않는다고 가정한다. 여기서는 편의상 개개의 파일 전송을 모두 하나의 데이터 호라고 생각하고자 한다.

음성 호만이 서비스될 경우 동시에 서비스 가능한 최대 음성 호의 개수를 C 라 하자. [14]에 따르면 소프트 핸드오프에 의하여 무선 구간의 트래픽 채널 용량은 약 2배 증가하므로 C 를 계산할 때 서비스 중인 음성 호를 소프트 핸드오프 중인 호와 그렇지 않은 호로 구분할 필요가 있다. 음성 호가 기지국의 서비스 영역에 고르게 분포한다고 가정할 경우 소프트 핸드오프 중인 음성 호의 개수는 전체 음성 호 중에서 항상 일정한 비율로 유지된다고 가정할 수 있을 것이다. 이러한 가정으로부터 QoS를 감안할 때 동시에 서비스 가능한 최대 음성 호의 개수 C 를 구할 수 있다. 마찬가지로 방법으로 데이터 호만이 서비스될 경우 데이터 서비스를 위해 동시에 할당 가능한 최대 트래픽 채널의 개수 C_D 를 구할 수 있다. (C 와 C_D 를 계산할 때 음성의 활성화율과 데이터 활성화율, 소프트 핸드오프 중인 음성 호와 데이터 호의 BER (Bit Error Rate), 그 이외의 음성 호와 데이터 호의 BER, 소프트 핸드오프 영역의 비율 등을 고려해야 한다. 데이터 서비스의 경우 버스트 구간에서만 트래픽 채널이 할당되고 할당된 트래픽 채널을 이용하여 최대 전송률로 데이터가 전송된다고 가정한다.) 음성 호와 데이터 호가 동시에 서비스될 때 호 수락 제어는 어떤 단순 증가 함수 f 와 어떤 상수 E (0) 에 대하여 다음의 식을 사용하여 이루어질 수 있다.

$$f\left(N_V, \sum_{i=1}^{N_D} M_i\right) \leq E \tag{1}$$

즉, 새로운 호가 입력되었을 때 변화된 채널 할당

상태 $(N_v, M_i, i = 1, 2, \dots, N_D)$ 가 위의 식을 만족하는 경우 새로운 호를 수락할 수 있고 그렇지 않을 경우 새로운 호를 수락할 수 없다. 식 (1)을 만족하는 트래픽 채널 할당 상태 $(N_v, M_i, i = 1, 2, \dots, N_D)$ 의 집합을 F 라 하자. 이제 이러한 호 수락 제어 공식에 기초하여 음성 호와 데이터 호에 트래픽 채널을 할당하는 방법을 좀 더 자세히 설명하고자 한다. (본 연구에서는 호 수락 제어를 위해 호가 발생한 기지국의 채널 할당 상태만을 고려하였다. 일반적으로 호 수락 제어는 호가 발생한 기지국뿐만 아니라 인접한 기지국의 채널 할당 상태 또한 고려되어야 하는데 이 것에 관해서는 앞으로 계속적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다.)

트래픽 채널 할당 상태는 다음의 두 가지 사건이 발생할 때 변화한다. 첫 째, 새로운 음성 혹은 데이터 호가 발생하여 해당되는 기지국에 트래픽 채널 할당을 요청하거나 다른 기지국의 서비스 영역에서 발생한 음성 호 혹은 데이터 호가 해당되는 기지국으로 이동할 때 핸드오프를 위하여 트래픽 채널 할당을 요청하는 경우이다. 둘째, 서비스 중인 음성 혹은 데이터 호가 해당되는 기지국의 서비스 영역에서 서비스를 완료하여 할당된 트래픽 채널에 대해서 할당 해제를 요청하거나 다른 기지국의 서비스 영역으로 이동하여 해당되는 기지국에서 할당된 트래픽 채널에 대해 할당 해제를 요청하는 경우이다. 첫 번째 경우는 기지국에 입력된 호에 트래픽 채널을 새로 할당해야 하는 경우이고 두 번째 경우는 할당된 채널을 해제해야 하는 경우이다. 각각의 경우에 따른 트래픽 채널 할당 상태 변화를 설명하면 다음과 같다. (첫 번째 혹은 두 번째 경우의 사건이 발생하기 직전의 트래픽 채널 할당 상태를 $(N_v = n_v, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, N_D = n_D)$ 라 한다.)

첫 번째 경우 중에서 음성 호가 트래픽 채널 할당을 요청하는 경우를 생각해 보자. 만약 $(N_v = n_{v+1}, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D) \in F$ 이면 기존의 서비스 중인 데이터 호에 대해 채널 할당 상태를 바꾸지 않고 입력된 음성 호에 트래픽 채널을 추가로 할당할 수 있다. 그런데 $(N_v = n_{v+1}, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D) \notin F$ 이고 $(N_v = n_{v+1}, M_i = L_{\min}, i = 1, 2, \dots, n_D) \in F$ 이면 입력된 음성 호에 트래픽 채널을 하나 할당하기 위해서는 기존의 서비스 중인 데이터 호의 채널 할당 상태를 바꾸어야 한다. 이 때 우선 기존의 서비스 중인 데이터 호 중에서 최대 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호의 트

래픽 채널을 하나 할당 해제하고자 한다. 그리고 이렇게 하여 변화된 트래픽 채널 할당 상태 하에서 다시 최대 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호의 트래픽 채널을 하나 할당 해제하는 방법으로 $N_v = n_{v+1}$ 와 변화된 데이터 호의 채널 할당 상태가 식 (1)을 만족할 때까지 데이터 호의 채널 할당 상태를 변화시킴으로써 새로운 음성 호를 기지국에서 수용하고자 한다. 만약 $(N_v = n_{v+1}, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D) \notin F$ 이고 $(N_v = n_{v+1}, M_i = L_{\min}, i = 1, 2, \dots, n_D) \notin F$ 이면 입력된 음성 호는 트래픽 채널의 용량 부족으로 인해 트래픽 채널을 할당받지 못하고 손실된다.

이제 첫 번째 경우 중에서 데이터 호가 기지국에 트래픽 채널 할당을 요청하는 경우를 생각해 보자. 만약 $(N_v = n_v, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D, M_{n_{d+1}} = L_{\min}) \in F$ 이면 기존의 서비스 중인 데이터 호의 트래픽 채널 할당 상태를 변화시키지 않고 적어도 L_{\min} 개의 트래픽 채널을 입력된 데이터 호에 할당할 수 있다. 그리고 여분의 용량이 허용하는 한 최대 L_{\max} 개의 트래픽 채널을 입력된 데이터 호에 할당한다. 그런데 $(N_v = n_v, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D, M_{n_{d+1}} = L_{\min}) \notin F$ 이고 $(N_v = n_v, M_i = L_{\min}, i = 1, 2, \dots, n_{D+1}) \in F$ 이면 입력된 데이터 호에 서비스를 제공하기 위해 필요한 L_{\min} 개의 트래픽 채널을 새로 할당하기 위해서는 기존의 서비스 중인 데이터 호의 채널 할당 상태를 바꾸어야 한다. 이 때 우선 기존의 서비스 중인 데이터 호 중에서 최대 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호의 트래픽 채널을 하나 할당 해제하고자 한다. 그리고 이렇게 하여 변화된 트래픽 채널 할당 상태 하에서 다시 최대 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호의 트래픽 채널을 하나 할당 해제하는 방법으로 $N_v = n_v$ 이고 $M_{n_{d+1}} = L_{\min}$ 일 때 변화된 데이터 호의 채널 할당 상태가 식 (1)을 만족할 때까지 데이터 호의 채널 할당 상태를 변화시킴으로써 새로운 데이터 호를 기지국에서 수용하고자 한다. 이렇게 하여 L_{\min} 개의 트래픽 채널을 새로 입력된 데이터 호에 할당할 수 있다. $(N_v = n_v, M_i = m_i, i = 1, 2, \dots, n_D, M_{n_{d+1}} = L_{\min}) \notin F$ 이고 $(N_v = n_v, M_i = L_{\min}, i = 1, 2, \dots, n_{D+1}) \notin F$ 이면 입력된 데이터 호는 트래픽 채널의 용량 부족으로 인하여 서비스에 필요한 L_{\min} 개의 트래픽 채널을 할당받지 못하고 손실된다. 이상으로 트래픽 채널 할당 상태를 변화시키는 첫 번째 경우에 따른 트래픽 채널

할당 방법에 대해 설명하였다.

트래픽 채널 할당 상태를 변화 시키는 두 번째 경우 중에서 기존의 서비스 중인 음성 호가 트래픽 채널 할당 해제를 요청하는 경우를 생각해 보자. 기존의 음성 호에 대해 트래픽 채널을 하나 할당 해

제하면 ($N_v = n_v - 1, \sum_{i=1}^{N_D} M_i = \sum_{i=1}^{n_D} m_i + 1$)이 식 (1)을 만족할 경우 기존의 서비스 중인 데이터 호 중에서 L_{max} 보다 작은 개수의 트래픽 채널을 할당받은 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 추가로 할당 할 수 있다. 이 때 우선 기존의 서비스 중인 데이터 호 중에서 최소 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 하나 추가로 할당하고자 한다. 그리고 이렇게 하여 변화된 채널 할당 상태 하에서 다시 최소 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 하나 추가로 할당하는 방법으로 $N_v = n_v - 1$ 일 때 변화된 데이터 호의 채널 할당 상태가 식 (1)을 계속적으로 만족하는 범위에서 데이터 호의 채널 할당 상태를 변화시키고자 한

다. (만약 ($N_v = n_v - 1, \sum_{i=1}^{N_D} M_i = \sum_{i=1}^{n_D} m_i + 1$)이 식 (1)을 만족하지 않으면 데이터 호의 채널 할당 상태는 변하지 않는다.)

두 번째 경우 중에서 기존의 서비스 중인 데이터 호가 트래픽 채널 할당 해제를 요청하는 경우를 생각해 보자. 만약 이 데이터 호가 m 개의 트래픽 채널을 할당받고 있었다면 이 데이터 호의 트래픽 채널을 할당 해제하면 여유 용량이 m 개 더 증가하므로 기존의 서비스 중인 데이터 호 중에서 L_{max} 보다 작은 개수의 트래픽 채널을 할당받은 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 m 개 추가로 할당할 수 있다. 먼저 최소 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 하나 추가로 할당하고 변화된 트래픽 채널 할당 상태 하에서 다시 최소 개수의 트래픽 채널이 할당된 데이터 호에 대해 트래픽 채널을 하나 추가로 할당하는 방법으로 총 m 개의 트래픽 채널을 기존의 데이터 호에 추가로 할당하고자 한다. 그런데 이러한 추가 할당 과정에서 모든 서비스 중인 데이터 호가 L_{max} 개의 트래픽 채널을 할당받은 경우가 발생하면 더 이상의 추가 할당은 필요 없다.

앞의 할당 방법에서 새로 입력된 호에 트래픽 채널을 할당하기 위해 기존의 서비스 중인 데이터 호의 트래픽 채널을 할당 해제할 때 최대 개수의 트래픽 채널을 할당받은 데이터 호를 우선적으로 고

려한 것은 데이터 호간에 공평한 서비스를 보장하기 위한 것이며 마찬가지로 이유로 기존의 서비스 중인 데이터 호에 트래픽 채널을 추가 할당 할 때 최소 개수의 트래픽 채널을 할당받은 데이터 호를 우선적으로 고려하였다. 다음 장에서는 이러한 채널 할당 방법에 따른 트래픽 채널의 용량 분석을 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 분석 방법을 제안할 것이다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 용량 분석

1. 이론적 모델링

그림 1에서 정 육각형은 하나의 기지국으로부터 수신되는 전파의 세기가 다른 기지국으로부터의 전파의 세기보다 큰 영역으로써 서로 겹치지 않는다. 하지만 기지국으로부터 서비스 반기에 충분한 세기의 전파를 수신할 수 있는 영역을 반경이 r 인 원으로 한다면 그림 1에서와 같이 기지국간에 서비스 영역이 서로 겹치는 핸드오프 영역이 존재한다. 각 기지국에서의 음성 호와 데이터 호의 발생율을 각각 λ_v 와 λ_D 라 하고 음성 호의 지속 시간 (X_v)과 데이터 호의 지속 시간 (X_D)은 평균이 각각 $1/\mu_v$ 와 $1/\mu_D$ 인 지수 분포를 따른다고 하자. 이 때 데이터 호의 평균 지속 시간은 한 개의 트래픽 채널을 통하여 데이터 서비스를 계속 제공했을 때를 기준으로 구해진 것이다. 일반적으로 데이터 호가 M 개의 트래픽 채널을 통해 계속적으로 서비스가 이루어 질 경우 데이터 호 유지 시간은 평균이 $1/(M\mu_D)$ 인 지수 분포를 따른다고 가정한다. 제 2장의 트래픽 채널 할당 방법에 따르면 데이터 호는 L_{min} 보다 커지거나 같은 개수의 트래픽 채널을 이용하여 서비스가 이루어 질 수 있으므로 실제 데이터 호의 평균 지속 시간은 $1/(L_{min}\mu_D)$ 보다 작거나 같을 것이다. 이동 단말의 평균 이동 속도가 V 이고 이동 단말이 기지국의 서비스 영역에 균일하게 분포한다고 가정하자. 그러면 이동 단말이 하나의 기지국의 서비스 영역에 연속적으로 머무르는 체류 시간 (Y)이 지수 분포를 따른다고 가정할 때 이동 단말이 기지국의 서비스 영역에 머무르는 평균 체류 시간 $1/\eta$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다. [15]

$$1/\eta = \frac{\pi r}{2V} \tag{2}$$

2개의 기지국의 서비스 영역이 서로 겹치는 2-way 핸드오프 영역과 3개의 기지국의 서비스 영역이 서로

접치는 3-way 핸드오프 영역이 전체 서비스 영역에서 차지하는 면적의 비율을 각각 u_2, u_3 라 한다.

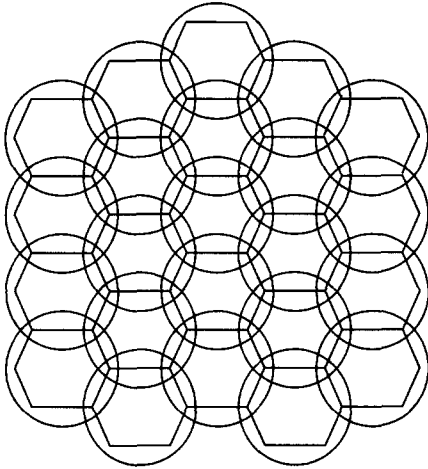


그림 1. 여러 개의 기지국에 의해 서비스를 받는 전체 서비스 영역

단말기가 기지국의 서비스 영역에 균일하게 분포하고 호가 손실되거나 통화 중에 절단될 확률이 충분히 작을 때 음성 호의 서비스를 위해 할당 중이어야 하는 트래픽 채널의 평균 개수 L_v 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A_v = \frac{\lambda_v}{\mu_v} (1 + u_2 + 2u_3)$$

앞의 식에서 u_2 와 u_3 는 각각 이동 단말이 2-way와 3-way 소프트 핸드오프 영역에 있을 확률로써 통화 중인 이동 단말이 핸드오프 영역에 위치하면 소프트 핸드오프를 위하여 인접한 2개 혹은 3개의 기지국으로부터 트래픽 채널을 할당 받는다. 그런데 기지국의 서비스 영역에 입력된 음성 호가 호 유지 시간 동안 계속적으로 기지국의 서비스 영역에 머무르는 체류 시간 (Z)은 X_v 와 Y_v 의 최소값으로써 X_v 와 Y_v 의 분포가 서로 독립이라고 가정할 경우 Z 는 지수 분포를 따르며 Z 의 평균은 $1/\delta_v = 1/(\mu_v + \eta)$ 이다. 따라서 Little's law를 이용하여 기지국의 서비스 영역에 입력되는 음성 호의 총 도착률 a_v 는 다음과 같이 계산될 수 있다. (a_v 에는 기지국의 서비스 영역에서 새로 발생한 호와 핸드오프를 통하여 기지국의 서비스 영역에 입력된 호가 포함된다.)

$$\alpha_v = \lambda_v \delta_v = \frac{\lambda_v (\mu_v + \eta) (1 + u_2 + 2u_3)}{\mu_v}$$

2장의 채널 할당 방법에 따르면 데이터 호는 기지국의 채널 할당 상태에 따라 서로 다른 개수의 트래픽 채널을 할당받고 따라서 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에 머무르는 시간도 기지국의 채널 할당 상태에 따라 달라진다. 일반적으로 기지국에 가해지는 트래픽 부하가 증가하면 데이터 호는 작은 개수의 트래픽 채널을 할당받게 되고 따라서 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에 머무르는 시간은 커진다. 기지국의 서비스 영역에 입력되는 총 데이터 호의 도착률 a_d 는 음성 호의 경우와 같이 이론적으로 유도되기 힘들기 때문에 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이 값을 구하고 최종적으로 트래픽 채널 용량을 분석하고자 한다.

2. 시뮬레이션 수행 방법

여기서는 기지국의 서비스 영역에 입력되는 총 데이터 도착률 a_d 가 주어져 있다고 가정하고 이를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하기 위한 효과적인 방법을 설명한다. 그리고 a_d 를 구하는 방법은 본 논문의 다음 절에서 자세히 설명할 것이다.

효과적인 시뮬레이션을 위하여 기지국의 서비스 영역에서 서비스 받고 있는 데이터 호의 트래픽 채널 할당 상태를 γ_j (j 개의 트래픽 채널을 할당받고 있는 데이터 호의 개수), $j = L_{min}, L_{min}+1, \dots, L_{max}$ 로 나타내고자 한다. 어떤 임의의 시간에 기지국의 채널 할당 상태를 ($N_v, \gamma_j, j = L_{min}, L_{min}+1, \dots, L_{max}$)라고 하고 시뮬레이션 수행 시 발생하는 사건을 다음과 같이 나누어 보자.

- 사건 A: 음성 호가 기지국의 서비스 영역에 도착하는 사건
- 사건 B: 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에 도착하는 사건
- 사건 C: 음성 호가 기지국의 서비스 영역에서 서비스 완료하거나 다른 기지국의 서비스 영역으로 이동하는 사건
- 사건 D(j): j 개의 트래픽 채널을 할당 받은 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에서 서비스 완료하거나 다른 기지국의 서비스 영역으로 이동하는 사건 ($j = L_{min}, L_{min}+1, \dots, L_{max}$)

음성 호와 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에 도착하여 기지국에 채널 할당을 요청하는 사건의 발생률은 각각 a_v 와 a_d 이다. 그리고 서비스 중인 N_v 개의 음성 호가 기지국의 서비스 영역에서 서비스 완

료하거나 다른 기지국의 서비스 영역으로 이동하여 기지국에 채널 할당 해제를 요청하는 사건의 발생률은 $N_V \delta_V$ 이다. 일반적으로 데이터 호가 j ($= L_{min}, L_{min+1}, \dots, L_{max}$) 개의 트래픽 채널에 의해 계속적으로 서비스를 받으면 3장 1절의 가정에 따라서 데이터 호의 평균 지속 시간은 $1/(j\mu_D)$ 이고 따라서 데이터 호가 서비스 종료 시까지 기지국의 서비스 영역에 계속적으로 머무르는 평균 체류 시간은 $1/\delta_{D(j)} = 1/(j\mu_D + \eta)$ 이다. 따라서 j 개의 트래픽 채널을 할당 받아 서비스 중인 γ_j 개의 데이터 호가 기지국의 서비스 영역에서 서비스 완료되거나 다른 기지국의 서비스 영역으로 이동하여 트래픽 채널 할당 해제를 요청하는 사건의 발생률은 $\gamma_j \delta_{D(j)}$ 이다.

그러면 사건 A, 사건 B, 사건 C, 사건 D(j)가 각각 다른 사건보다 먼저 발생할 확률 $P_A, P_B, P_C, P_{D(j)}$ 는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_A &= \frac{\alpha_V}{\alpha_V + \alpha_D + N_V \delta_V + \sum_{j=L_{min}}^{L_{max}} \gamma_j \delta_{D(j)}} \\
 P_B &= \frac{\alpha_D}{\alpha_V + \alpha_D + N_V \delta_V + \sum_{j=L_{min}}^{L_{max}} \gamma_j \delta_{D(j)}} \\
 P_C &= \frac{N_V \delta_V}{\alpha_V + \alpha_D + N_V \delta_V + \sum_{j=L_{min}}^{L_{max}} \gamma_j \delta_{D(j)}} \\
 P_{D(j)} &= \frac{\gamma_j \delta_{D(j)}}{\alpha_V + \alpha_D + N_V \delta_V + \sum_{j=L_{min}}^{L_{max}} \gamma_j \delta_{D(j)}} \quad (3)
 \end{aligned}$$

0과 1사이의 난수 (random number)를 이용하여 (3)의 주어진 확률에 따라 각 사건을 발생시키고 2장의 채널 할당 방법에 따라서 채널 할당 상태를 변화시킴으로써 컴퓨터 시뮬레이션을 효율적으로 수행할 수 있다.

3. 데이터 호의 총 도착률 계산

기지국의 서비스 영역에 도착하는 데이터 호의 총 도착률 (λ_D)은 서비스 영역에서 발생하는 새로운 데이터 호의 발생률 (θ_D)과 다른 기지국의 서비스 영역으로부터 도착하는 데이터 호의 발생률 (φ_D)의 합으로 생각할 수 있다. 그림 1에서 새로운 호가 서비스 영역에서 고르게 발생한다고 할 때 기지국의 서비스 영역에서의 새로운 데이터 호의 발생률 θ_D 는 다음과 같다. (그림 1에서 원과 정 육각형의 면적의 비가 $(1+u_2+2u_3)$ 이다.)

$$\theta_D = \lambda_D (1 + u_2 + 2u_3)$$

따라서 데이터 호의 총 도착률 (λ_D)을 구하기 위해서는 φ_D 를 구해야 하는데 φ_D 의 정확한 값을 구하기 위하여 본 연구에서는 여러 번의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 최초의 컴퓨터 시뮬레이션에서는 φ_D 의 값으로 0을 두고, 즉 $\lambda_D = \theta_D$ 라고 하고 3장 2절의 방법에 따라서 시뮬레이션을 수행한다. 그러면 시뮬레이션 수행 결과로부터 기지국의 서비스 반경을 벗어나는 데이터 호의 발생률 (ω_D)을 구할 수 있을 것이다. 그런데 기지국의 서비스 영역을 벗어나는 데이터 호의 발생률과 φ_D 는 같은 값을 가져야 한다. 이러한 성질을 이용하여 앞의 시뮬레이션 수행 결과로부터 얻어진 ω_D 를 이용하여 φ_D 의 값으로 ω_D 를 두고, 즉 $\lambda_D = \omega_D + \theta_D$ 라고 하고 다시 3장 2절의 방법에 따라서 시뮬레이션을 수행하여 ω_D 의 새로운 값을 구한다. 그리고 다시 새로이 얻어진 ω_D 의 값을 이용하여 시뮬레이션을 반복적으로 수행해 나가면 ω_D 의 정확한 값을 얻을 수 있고 따라서 데이터 호의 총 도착률 (λ_D)를 구할 수 있다.

IV. 계산 결과

2장의 채널 할당 방법 하에서의 채널 용량 분석 결과를 유도하기 위하여 식 (1)의 호 수락 제어 공식을 구하기 위한 간단한 방법을 소개한다. (호 수락 제어 공식을 유도하기 위한 좀 더 정확한 방법은 [5]에 있다.) 핸드오프 영역에 있지 않은 음성 호만 고려할 때 하나의 기지국의 서비스 영역에서 동시에 서비스 가능한 음성호의 개수 C^* 는 다음의 식으로 근사화할 수 있다. (여기서는 기지국 당 한 개의 섹터를 가정한다.)

$$C^* = \frac{(W/R) F}{(E_b/N_o)_{Req} \cdot \beta}$$

앞의 식에서 W 는 CDMA의 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 를 위한 대역폭이고, R 은 음성데이터의 최대 전송률이며, F 는 다른 인접한 셀로부터의 간섭이나 background noise 등을 감안한 실제 frequency reuse factor이며 β 는 음성의 활성률이다. 그리고 $(E_b/N_o)_{Req}$ 는 BER의 함수로써 다음과 같은 관계를 가진다. [5]

$$BER = \int_{x=\sqrt{2(E_b/N_o)_{Req}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx$$

[14]의 결과에 의하면 소프트 핸드오프 영역에 있는 호의 경우 인접한 셀로부터의 간섭이 약 절반으로 줄어들기 때문에 동시에 서비스 가능한 소프트 핸드오프 중인 음성 호의 수는 C^* 의 2배라고 할 수 있을 것이다. 따라서 기지국의 서비스 영역에서 동시에 서비스 가능한 음성 호의 개수 C 는 호가 기지국의 서비스 영역에 균일하게 분포한다는 가정을 이용하여 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$C = 2 \cdot S \cdot C^* + (1 - S)C^*$$

앞의 식에서 S 는 기지국의 서비스 영역 (반경 r 인 원) 내에서 핸드오프 영역의 비율로써 그림 1로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = \frac{2u_2 + 3u_3}{1 + u_2 + 2u_3}$$

$W = 1.25$ MHz, $R = 9.6$ Kbps, $F = 0.65$, $\beta = 0.4$, $(E_b/N_0)_{Req.} = 6.5$ dB, $u_2 = 0.3$, $u_3 = 0.15$ 일 때 이러한 방법을 이용하면 $C = 78$ 이다. 여기서 $(E_b/N_0)_{Req.} = 6.5$ dB 은 BER = 0.001일 때의 값이다.

유사한 방법을 사용하면 기지국의 서비스 영역에서 데이터 호만을 고려할 경우 데이터 호의 서비스를 위해 동시에 할당 가능한 트래픽 채널의 개수 $C_D = 15$ 이다. (단, 이 때 사용한 데이터 할당률은 2장에서 언급한 바와 같이 1이라 하였고 요구되는 BER = 0.00001이라 하였다.) 식 (1)의 합수 f 를 1차식으로 근사화할 경우 호 수락 제어 공식은 C 와 C_D 의 값을 이용하여 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$N_V + \left(\frac{C}{C_D} \right) \sum_{i=1}^{N_D} M_i \leq C$$

앞의 식은 음성 호 혹은 데이터 호만을 고려했을 때, 즉 $N_V = 0$ 혹은 $N_D = 0$ 일 때 각각 다음의 식을 만족하도록 유도되었다.

$$N_V \leq C, \sum_{i=1}^{N_D} M_i \leq C_D$$

트래픽 채널의 용량은 음성과 데이터 호가 호 수락 제어 공식에 따라서 채널 용량의 부족에 의해 손실될 확률이 주어지 OnS보다 더 좋은 번위에 해당되는 음성과 데이터 호의 발생률 λ_V 와 λ_D 의 한계치 λ_{V^*} 와 λ_{D^*} 로 표현할 수 있다. λ_{V^*} 와 λ_{D^*} 는 주어진 QoS에서 각각 고정된 값이 아니고 λ_{V^*} 가 크질수록 λ_{D^*} 는 작아지는 상관성을 가진다. 2장

의 트래픽 채널 할당 방법 하에서의 트래픽 채널의 용량 λ_{V^*} 와 λ_{D^*} 를 구하기 위하여 L_{min} (데이터 호 당 서비스를 위해 할당되어야 할 최소 트래픽 채널 개수), L_{max} (데이터 호 당 할당될 수 있는 최대 트래픽 채널 개수), $1/\mu_V$ (평균 음성 호 유지 시간), $1/\mu_D$ (하나의 트래픽 채널로 서비스될 때의 평균 데이터 호 유지 시간), $1/\eta$ (이동 단말이 기지국의 서비스 영역에 연속적으로 머무르는 평균 체류 시간)의 값이 표 1과 같이 주어진다고 가정하자.

표 1. 파라미터에 대해 가정한 값들

파라미터	파라미터의 값
L_{min}, L_{max}	1, 15
$1/\mu_V$	60 초
$1/\mu_D$	104초
$1/\eta$	323초

표 1의 각 값은 다음과 같은 가정 하에서 유도되었다. [16]에 의하면 데이터 호의 최대 전송률은 144 Kbps이고 트래픽 채널 당 전송률을 9.6 Kbps라고 할 경우 데이터 호에 할당 가능한 트래픽 채널의 최대 개수는 $L_{max} = 15$ 이고 데이터 호에 최소한 개의 트래픽 채널이 할당 가능하므로 $L_{min} = 1$ 이다. 음성 호의 평균 호 유지 시간은 통계적으로 약 60초이므로 $1/\mu_V = 60$ 초라고 하였고 $1/\mu_D$ 는 역방향 트래픽 채널을 이용하여 전송할 평균 파일 크기를 1 Mbits로 보고 채널 당 전송률이 9.6 Kbps일 때 $1/\mu_D = 1 \text{ Mbits} / 9.6 \text{ Kbps} (= 104\text{초})$ 와 같이 유도 하였다. 그리고 표 1의 $1/\eta$ 는 이동 단말의 평균 이동 속도 $V = 35 \text{ Km/h}$ 이고 기지국의 서비스 반경 $r = 2 \text{ Km}$ 일 때 식 (2)를 이용하여 구한 값이다.

그림 2는 표 1과 같이 각 파라미터의 값이 주어지고 음성 호와 데이터 호의 요구되는 호 차단 확률이 0.1%일 때 λ_{V^*} 와 λ_{D^*} (음성 호와 데이터 호의 초 당 발생률)의 실험 결과를 나타낸다. (3장 3절의 방법에 따라서 데이터의 총 도착률을 구하기 위하여 여러 번의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였는데 이 때 각 시뮬레이션은 음성 호와 데이터 호가 모두 합해서 500,000개가 발생할 때까지 계속되었다.)

그림 2의 결과는 각각 $\lambda_{V^*} : \lambda_{D^*} = 2 ; 8, 4 : 6, 5 : 5, 6 : 4, 8 : 2$ 가 되도록 용량을 산출하였으며 그림 2에서 알 수 있듯이 λ_{V^*} 가 크질 수록 λ_{D^*} 는 작아지는 상관성을 가진다.

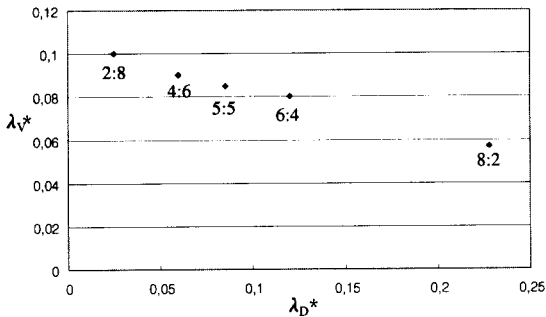


그림 2. λ_v^* 와 λ_D^* 의 실험 결과

V. 결론

본 연구에서는 호 당 한 개의 트래픽 채널을 이용하는 음성 호와 여러 개의 트래픽 채널을 이용하는 데이터 호를 동시에 서비스하기 위한 기지국에서의 트래픽 채널 할당 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 할당 방법 하에서의 트래픽 채널 용량 분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 분석 방법을 제시하였다. 이 때 각 데이터 호는 호 당 서비스를 위해 필요한 최소 트래픽 채널 개수가 있으며 트래픽 채널의 용량이 허용하는 한 어떤 최대 트래픽 채널 개수까지 할당 가능하다고 가정하였다. 그리고 제안된 시뮬레이션 분석 방법에 따른 계산 결과도 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Z. Liu and M. E. Zarki, "SIR-Based Call Admission Control for DS-CDMA Cellular Systems", IEEE J.S.A.C., vol. 12, pp. 638-644, 1994.

[2] C. Y. Huang and R. D. Yates, "Call Admission in Power Controlled CDMA Systems", Proc. VTC '96, pp. 1665-1669, 1996.

[3] W.-B. Yang and E. Geraniotis, "Admission Policies for Integrated Voice and Data Traffic in CDMA Packet Radio Networks", IEEE J.S.A.C., vol. 12, pp. 654-664, 1994.

[4] J. Evans and D. Everitt, "Call Admission Control in Multiple Service DS-CDMA Cellular Networks", Proc. VTC '96, pp. 227-231, 1996.

[5] S. J. Lee, "Call Admission and Handoff

Management in Wireless Broadband Communication Systems", Ph.D. Dissertation, KAIST, 1998.

[6] C. Rose and M. G. Hluchyj, "The Performance of Random and Optimal Scheduling in a Time-Multiplex Switch", IEEE Trans. Commun., vol. 35, pp. 813-817, 1987.

[7] H. A. H. A. Steit and D. G. Smith, "Application of Some Rearrangement Algorithms to a T-S-T Network, IEEE Trans. Commun., vol. 31, pp. 309-314, 1983.

[8] W.-Y. Choi and C.-H. Jun, "Analysis of a Discrete-Time Queueing System with a Markov Modulated Input Process and Constant Service Rate", Prob. In Eng. and Inform. Sci., vol. 10, pp. 429-441, 1996.

[9] W.-Y. Choi and C.-H. Jun, "A Bernoulli Process Approximation with Buffer Size Adjustment for the Analysis of an ATM Multiplexer", IEEE Commun. Letters, vol. 1, 149-151, 1997.

[10] W.-Y. Choi, C.-H. Jun and J. J. Suh, "An Exact Queueing Analysis for an ATM Multiplexer with Mixed Correlated and Uncorrelated Traffic Sources", IEICE Trans. Commun., vol. E81-B, pp. 929-936, 1998.

[11] H. Bruneel and S. Wittevrongel, "An Approximate Analytical Technique for the performance Evaluation of ATM Elements with Burst Routing", Computer Networks and ISDN Systems, vol. 28, pp. 325-343, 1996.

[12] H. Bruneel and B. Steyaert, "Buffer Requirements for ATM Switches with Multiserver Output Queues", Electronics Letters, vol. 27, pp. 671-672, 1991.

[13] R. W. Wolff, "Stochastic Modeling and the Theory of Queues", Prentice Hall, 1989.

[14] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen and E. Zehavi, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity", IEEE J. S. A. C., vol. 12, pp. 1281-1288, 1994.

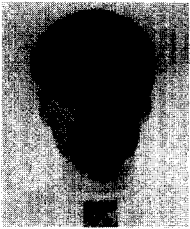
[15] B. Jabbari, "Teletraffic Aspects of Evolving and Next-generation Wireless Communication Networks", IEEE Pers. Commun., pp. 4-9,

December, 1996.

- [16] TIA TR45.5, "Medium Access Control (MAC) Standard for cdma 2000 Spread Spectrum System", July 1999.

최 우 용(Woo-Yong Choi)

정회원



1992년 2월 : 포항공과대학교 산업공학과 졸업 (공학사)

1994년 2월 : 포항공과대학교 산업공학과 대학원 졸업 (공학석사)

1997년 8월 : 포항공과대학교 산업공학과 대학원 졸업 (공학박사)

1997년 8월~1997년 10월 : 포항공과대학교 산업공학과 위촉연구원

1997년 11월~현재 : 현대전자 통신연구소 선임연구원