

다중코드 DS-CDMA 시스템에서의 상향링크 접근 프로토콜

정희원 박장연*, 최양희*

Uplink Access Protocol in Multi-Code DS-CDMA Systems

Jangyeon Park* and Yanghee Choi* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 다중코드 DS-CDMA 시스템에서 동작하는 상향링크 접근 프로토콜을 제안하였다. 제안한 프로토콜은 요구할당 방식으로 동작하기 때문에 데이터를 전송하기 전에 기지국으로부터 전송 허가를 요구하는 짧은 길이의 요구패킷 전송을 필요로 한다. 이전의 연구에서는 요구패킷의 전송과 데이터패킷의 전송을 분리하였으나, 본 논문에서 제안된 방법에서는 서로 다른 처리이득으로 확산된 두 종류의 패킷을 동시에 전송한다. 제안된 방법을 이용하여 시스템의 서비스 용량을 늘릴 수 있으며 트래픽 상황에 따라 효율적인 서비스를 제공할 수 있게 된다. 요구패킷과 데이터패킷이 동시에 전송되기 때문에 발생하는 데이터패킷 전송 품질의 보장은 신호세기 제어 및 요구패킷 전송제어에 의해 제공된다. 제안한 프로토콜의 성능은 시뮬레이션을 통하여 평가되었다.

ABSTRACT

We propose an uplink access protocol for Multi-Code Direct-Sequence Code Division Multiple Access (MC-CDMA) packet radio systems. The proposed protocol transmits a request packet and an uplink data packet simultaneously during an entire slot, where both types of packet transmissions occupy the same bandwidth but with different spread spectrum processing gains. Under this scheme, the total system capacity can be efficiently distributed among mobiles for request and uplink packet transmissions. The quality of service for uplink packet transmissions in the presence of the request packet transmissions is provided by the power control and adaptive permission probability control. The performance of the proposed protocol is evaluated through simulation, which shows that the proposed protocol satisfies its design goal.

I. 서론

최근 CDMA(Code Division Multiple Access)는 셀룰러 이동통신망 및 무선패킷 통신망에 유력한 기술로써 적용되었다^[1]. 이와 같은 CDMA 시스템에서는 시간 흐름에 따라서 다양한 전송률을 요구하는 서비스가 필요로 하게 되었다. DS-CDMA 시스템에서 다양한 전송률을 제공하기 위해서 FDM/CDMA, TDM/CDMA, 다중변조 CDMA (multi-modulation CDMA), 가변 확산이득 CDMA

(variable spreading gain CDMA), 다중코드 CDMA (multi-code CDMA) 등과 같은 다양한 방법들이 제안되었다. MC-CDMA (multi-code CDMA) 기법에서는 서로 다른 전송률을 갖는 트래픽 스트림을 쉽게 수용할 수 있고 동일한 사용자에서 sub-code concatenation^[2]을 이용해 생성한 코드들을 이용해 전송한 신호 사이에는 간섭이 발생하지 않는다는 잇점이 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 상향링크 제어 프로토콜은 MC-CDMA 기법에 기반한다.

다중코드 DS-CDMA 시스템에서 다양한 속도의

* 서울대학교 컴퓨터공학부

논문번호: 99483-1203, 접수일자: 1999년 12월 3일

※ 본 논문은 한국과학재단 핵심전문연구과제 971-0905-034-2와 2001년도 두뇌한국21, 국가지정연구실 프로젝트 지원을 받아 수행되었음.

패킷 전송 서비스를 제공하기 위해서 요구할당 방식의 다중접근 프로토콜이 제안되었다^[3]. 이 프로토콜에서 시간 축은 동일한 길이를 갖는 슬롯으로 나뉘며 슬롯은 다시 짧은 길이의 요구패킷을 전송하는 부분과 메시지 정보를 담은 데이터패킷을 전송하는 부분으로 구성된다. 요구패킷과 데이터패킷의 전송 시점을 분리함으로써 데이터 전송 품질을 보장함과 동시에 요구패킷 전송에서의 코드 충돌 및 신호 간섭에 의한 에러로 인한 손실을 최소화한다. 그러나 이러한 방식의 단점은 다음과 같다. (1) 시스템의 전체 서비스용량 가운데서 요구패킷 전송을 위해서 할당된 비율이 트래픽 상황이나 서비스 전략 같은 중요한 요소 대신에 요구패킷과 데이터패킷 길이의 비에 의해서 결정된다; (2) 한 슬롯 내에서 요구패킷과 데이터패킷의 전송을 위해서 두 번의 액세스(access) 과정이 필요로 한다. 각각의 액세스를 위해서 단말기들간에 두 번의 동기화(synchronization) 과정이 요구되기 때문에 오버헤드가 증가한다.

이와 같은 단점을 해결하기 위해서 제안된 프로토콜에서는 요구패킷과 데이터패킷을 동시에 전송한다. 길이가 서로 다른 두 패킷을 동일한 대역폭으로 확산하여 전송하기 때문에 요구패킷의 처리이득은 데이터패킷의 처리이득보다 크다. 요구패킷의 처리이득이 크기 때문에 요구패킷과 데이터패킷 전송에 요구된 서비스품질이 동일할 경우 데이터패킷에 비해 작은 신호세기를 이용하여 요구패킷을 전송할 수 있다. 두 종류의 패킷을 동시에 전송함으로써 얻을 수 있는 잇점은 다음과 같다. (1) 요구패킷 전송을 위해 사용되는 시스템의 용량을 시스템 설계자의 판단에 의해 자유롭게 결정할 수 있다; (2) 트래픽 환경에 따라 가장 적합한 시스템 용량을 요구패킷에게 동적으로 결정할 수 있다; (3) 두 종류의 패킷이 동시에 전송되기 때문에 한 슬롯에서 한 번의 동기화 과정만 필요하다. 제안된 방법에서는 요구패킷과 데이터패킷이 동시에 전송되기 때문에 시스템 처리용량의 극대화 및 데이터 전송에 요구된 서비스 품질 보장 등과 같은 서비스 목적을 달성하기 위해서 신호세기 제어 및 요구패킷 전송제어 등의 기능을 필요로 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 제안된 프로토콜이 적용될 다중코드 DS-CDMA 시스템에 대한 모델 및 가정을 설명하였고, 3장에서는 제안된 프로토콜의 동작과 프로토콜이 효과적으로 동작하는데 있어 필요한 신호세기 제어, 요구패킷

전송제어, 패킷 스케줄링 정책 등을 기술하였다. 4장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통하여 평가한 결과를 제시하였고, 끝으로 5장에서 본 논문의 결론을 담았다.

II. 시스템 모델 및 가정

MC-CDMA 시스템에서 단말기(mobile station)는 고유한 PN (pseudo noise) 코드를 이용하여 데이터를 대역확산(spread spectrum)한 후에 기지국(base station)으로 전송한다. 본 연구에서 제안한 프로토콜은 단말기와 기지국간에 물리적인 연결 설정과 관련된 작업은 고려하지 않는다. 단지 단말기와 기지국간에 물리적인 연결이 설정되어 있다는 가정하에 CDMA 특성에 맞게 어떻게 효과적으로 단말기들이 데이터를 전송할 수 있는 지를 MAC (Multiple Access Control) 레벨에서 다룬다.

2.1 MC-CDMA 시스템 모델

MC-CDMA 시스템에서 m-rate 단말기는 각각 R_s 의 속도로 생성되는 m 개의 데이터 스트림을 전송할 수 있는 송신기(transmitter)를 갖고 있다. m-rate 단말기의 송신기는 단말기마다 할당된 고유한 코드와 sub-code concatenation^[2] 방법에 의해서 생성된 코드를 이용하여 m 개의 데이터 스트림을 대역확산한 후에 확산된 신호를 합쳐서 전송한다. sub-code concatenation 방법에 의해서 생성된 코드는 서로 직교(orthogonal)하는 성질을 갖기 때문에 동일한 단말기에서 전송되는 m 개의 데이터 스트림 간에는 간섭이 발생하지 않는다. 기지국은 m-rate 단말기의 송신기에서 전송된 데이터를 수신하기 위해서 m-rate 수신기(receiver)를 할당한다. 수신기는 송신기에서 행한 작업을 역으로 수행하여 전송된 m 개의 데이터 스트림을 구별한다. 그림 1과 2는 m-rate MC-CDMA 송신기와 수신기의 구성도를 보여준다^[2].

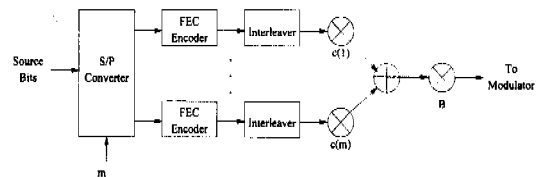


그림 1. MC-CDMA 송신기(transmitter)의 구조

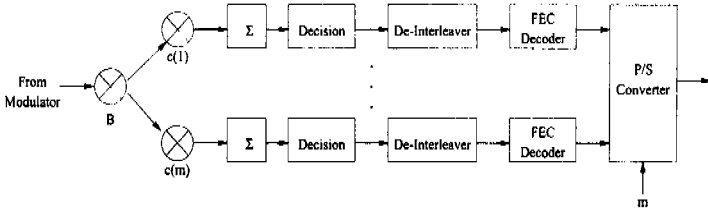


그림 2. MC-CDMA 수신기(receiver)의 구조

2.2 DS-CDMA 채널 모델

DS-CDMA 시스템에서 전송된 패킷이 수신기에 도착했을 때, 동시에 전송된 다른 패킷 및 잡음으로 인한 간섭이 일정한 한도가 넘으면 에러가 발생한다. 따라서 DS-CDMA 시스템의 성능은 채널에서 수신하고자 하는 패킷의 신호세기와 간섭 신호세기의 비인 신호대간섭비(SIR)에 의해 구해지는 비트에러율에 따라 큰 영향을 받는다. 수신하고자 하는 패킷이 경험한 SIR의 값이 γ 라고 할 때의 비트에러율 $P_e(\gamma)$ 는 표준 가우스 근사에 의해서 다음과 같은 식에서 구할 수 있다^[5].

$$P_e(\gamma) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad (1)$$

패킷의 길이가 L 비트이고 에러를 정정할 수 있는 코딩방법에 의해서 t 비트까지의 에러를 복구할 수 있을 때, 전송된 패킷에서 에러가 발생할 확률은 다음과 같다.

$$P_g(\gamma) = 1 - \sum_{i=0}^{L-1} \binom{L}{i} [P_e(\gamma)]^i [1 - P_e(\gamma)]^{L-i} \quad (2)$$

2.3 트래픽 모델

제안된 프로토콜은 다양한 종류의 트래픽을 지원할 수 있으나 본 논문에서는 제안된 프로토콜의 효율성과 적합성을 보이기 위한 것이므로 비실시간적인 데이터 트래픽만을 대상으로 하였다. 단말기에서 데이터 트래픽의 발생은 베루누이 프로세스에 의해 모델링된다. 매 슬롯에서 데이터 패킷이 발생할 사건이 일어날 확률은 P_o 이며, 각 사건에서 발생하는 데이터 패킷의 수는 1에서 L_{max} 까지 균등하게 분포한다.

III. 프로토콜

CDMA 시스템은 TDMA나 FDMA와는 달리 여

러 개의 데이터패킷이 동시에 같은 주파수대에서 전송된다. 이와 같은 환경에서 데이터패킷 전송 신호의 세기와 동시에 전송되는 데이터패킷의 수는 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 본 장에서는 시스템 성능의 큰 영향을 미치는 이러한 두 가지 요인을 효과적으로 제어하기 위한 상향링크 제어 프로토콜을 설명하였다.

제안한 프로토콜에서는 모든 데이터패킷의 전송을 기지국에서 통제, 제어함으로써 위의 목적을 달성한다. 기지국이 단말기로부터의 데이터패킷 전송을 효과적으로 제어하기 위해서는 단말기의 상태에 관한 정보를 필요로 한다. 이를 위해 기존의 연구^[3]에서는 데이터패킷의 전송시점과 단말기의 상태 정보를 짧은 시간에 전달하는 요구패킷의 전송 시점을 분리하였다. 이런 방법에서는 데이터패킷의 길이에 대한 요구패킷의 길이의 비율만큼 항상 요구패킷 트래픽을 위해 할당되며, 한 슬롯 내에서 요구패킷의 전송과 데이터패킷의 전송을 위해서 두 번의 시간 동기화가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 요구패킷을 데이터패킷과 동시에 전송하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서 데이터패킷에 비해 데이터의 양이 적은 요구패킷은 데이터패킷을 전송하는데 필요한 시간과 동일한 시간 동안 동일한 대역폭을 이용하여 전송된다. 따라서 요구패킷의 처리이득(processing gain)은 데이터패킷의 처리이득에 비해 크며, 동일한 SIR을 얻기 위해서 더 작은 신호세기로 전송될 수 있다.

단말기마다 임의로 전송이 결정되는 요구패킷과 기지국에 의해 전송이 제어되는 데이터패킷이 동시에 일어나는 상황에서 데이터패킷에 대한 서비스 품질을 유지하기 위해서는 요구패킷 전송에 관한 제어, 데이터패킷 전송에 대한 스케줄링 및 전송되는 패킷에 대한 신호세기 제어가 필요하다. 본 장에서는 제안한 프로토콜에 대한 설명과 더불어 제안된 프로토콜의 동작에 필요한 제어 기법에 대해서 기술하였다.

본 연구에서 제안된 프로토콜은 그림 3에서와 같이 시간축을 동일한 길이를 갖는 슬롯으로 나누어 동작한다. 단말기의 상태를 담은 요구패킷과 단말기에서 전달하고자 하는 정보를 담은 데이터패킷의 전송은 한 슬롯 동안에 이루어진다. 본 연구에서는 상향링크 접근 프로토콜의 초점을 맞추기 때문에 그림 3에서 제시한 하향링크의 구조는 이해를 돕기

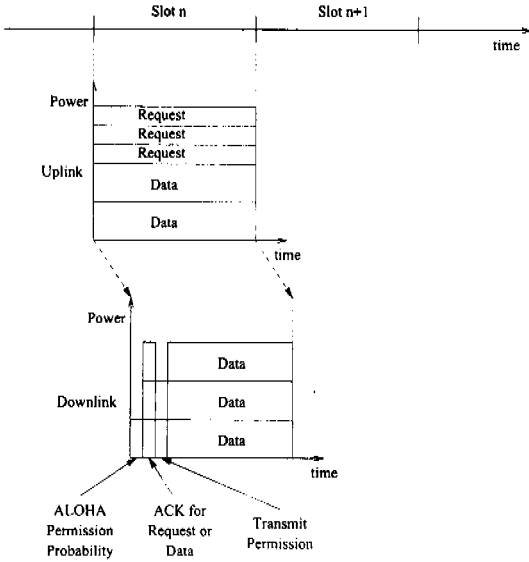


그림 3. 상향링크에 대한 프로토콜의 타이밍도

위해 나타냈다. 따라서 실제 하향링크는 본 연구에서 제시한 상향링크의 동작을 지원하는데 필요한 방식으로 다르게 설계될 수 있다. 그림 3에서 보이 고자 한 것은 단말기는 n 번째 슬롯에서 전송한 패킷에 대한 결과는 n+1 번째 슬롯에서 알 수 있다는 것과 n 번째 슬롯에서 기지국으로부터 받은 정보에 근거하여 n+1 번째 슬롯에서 요구패킷 또는 데이터 패킷의 전송을 결정할 수 있다는 것이다.

단말기에서 전송할 새로운 패킷이 생성되면, 단말기는 ALOHA 프로토콜을 이용하여 기지국에 대하여 데이터 패킷 전송의 허가를 요구하는 요구패킷 (REQ)을 전송한다. 단말기에서 기지국으로의 요구 패킷 전송은 3.2절에서 설명한 방법에 의해서 제어 된다. 요구 패킷은 단말기에서 전송을 요구하는 데이터 패킷의 수를 저장한다. 요구패킷은 전송 중에 다른 단말기에서 전송되는 패킷 신호에 의한 간섭 현상(interference) 때문에 에러가 발생할 수도 있다. 요구패킷 전송에 실패한 단말기는 전송이 성공할 때까지 재전송을 시도한다.

기지국으로부터 데이터패킷의 전송을 허가 받은 단말기는 전송하는 데이터패킷 내에 저장된 피기백 필드(piggyback field)^[3]를 이용하여 단말기의 버퍼 상태에 관한 새로운 정보를 기지국에 전달한다. 데이터패킷을 이용한 피기백필드의 전송은 다른 패킷과의 코드 충돌없이 일정한 품질의 서비스가 유지 되기 때문에 요구패킷을 전송하는 경우에서와 같은 불확실성을 제거함과 동시에 요구패킷 전송에 필요

한 트래픽 요구량을 감소시키는 역할을 한다.

위에서 설명한 두 가지 방법에 의해서 단말기의 버퍼 상태에 관한 정보를 받은 기지국은 매 슬롯마다 각각의 단말기에 대한 전송요구 정보를 갱신하고, 갱신된 정보와 스케줄링 정책에 의해 단말기에서의 데이터패킷 전송에 대한 허가 여부를 결정한다. 스케줄링이 끝난 후에 기지국은 하향링크를 통하여 전송허가를 단말기들에 전달한다. 전송허가는 단말기에서 동시에 전송할 데이터패킷의 수와 데이터패킷을 전송할 때 이용될 신호세기의 크기에 관한 정보를 저장한다.

전송허가를 수신한 단말기는 다음 번 슬롯에서 허가된 수만큼의 데이터패킷을 할당된 신호세기로 전송을 시작한다. 전송에 실패한 데이터패킷은 다음 번 전송허가를 받은 후에 재전송된다. n 번째 슬롯에서 전송이 시도된 데이터패킷에 대한 성공 여부는 n+1 번째 슬롯에서 단말기에서 인지되며, 기지국에 의해 전송허가에 의해서 빠르면 n+2 번째 슬롯에서 재전송된다.

3.1 전송세기 할당

DS-CDMA 시스템에서 단말기로부터 상향링크를 통해 전송되는 데이터패킷에 대해서 요구되는 전송 서비스 품질은 상향링크에서 데이터패킷을 전송하는데 있어서 발생하는 에러율에 의해 기술된다. 패킷 에러율은 식 (2)에서와 같이 SIR 값에 의해서 결정 되기 때문에, 동일한 품질의 서비스를 요구하는 단말기들은 동일한 목표 SIR 값을 갖는다. 각각의 단말기에서 요구하는 목표 SIR 값이 주어졌을 때, 각각의 서비스 품질을 만족시키는 것과 동시에 시스템의 처리용량을 극대화하기 위한 최적의 패킷 전송세기를 구할 수 있다.

본 절에서는 최적의 전송세기 값을 구하기 위해서 [3]에서 구한 결과를 본 연구에서 제안한 프로토콜에 맞게 수정하였다. 단말기가 동시에 전송할 수 있는 데이터패킷의 최대 수를 m이라고 한다. 기지국에서의 스케줄링에 의해 $n (1 \leq n \leq m)$ 개의 데이터패킷 전송을 허가 받은 단말기의 수는 N_n 으로 표시된다. 요구패킷을 전송한 단말기의 수는 N_R 이라고 가정한다(요구패킷은 기지국의 통제 없이 단말기에서의 판단에 따라 전송되기 때문에 기지국은 실제로 N_R 의 값을 정확히 알 수는 없다). 동시에 전송된 n 개의 데이터패킷 중에서 하나의 패킷 전송신호에 대해서 수신기의 입력단에서 받은 확산된 신호와 역확산(despread)된 후에 수신기의 출력단에

서 나오는 신호의 세기를 각각 S_n^i 와 S_n^o 라고 한다. 마찬가지로 요구패킷을 받은 수신기의 입력단과 출력단에서의 신호세기를 각각 S_R^i 및 S_R^o 라 한다. 데이터패킷과 요구패킷의 처리이득은 각각 G 와 G_R 이다. 여기서 G/G_R 은 요구패킷의 길이와 데이터패킷 길이의 비율이다. N_0 는 백색 가우스 잡음의 단면 세기 밀도이고 W 는 전체 대역폭이다. γ_n^o 는 한 단말기에서 전송된 n 개의 패킷을 받은 수신기에서 한 패킷의 수신에 대해 구한 SIR 값이다. 다른 셀로부터의 간섭을 무시하고 하나의 셀 만을 고려할 때, γ_n^o 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma_n^o &= \frac{S_n^o}{I_n^o} \\ &= \frac{S_n^i}{\sum_{k=1}^m \frac{kN_k S_k^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{n(N_n-1)S_n^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{N_R S_R^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{N_0 W}{G}} \\ &= \frac{\beta_n^i}{\sum_{k=1}^m \frac{kN_k \beta_k^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{n(N_n-1)\beta_n^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{N_R \beta_R^i}{\frac{3}{2}G} + \frac{N_0 W}{S_1^i G}} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\beta_n^i = \frac{S_n^i}{S_1^i}$, $\beta_R^i = \frac{S_R^i}{S_1^i}$ 으로 정의되며, I_n^o 는 한 단말기에서 전송된 n 개의 데이터패킷 중에서 한 패킷에 대하여 수신기의 출력단에서 구한 간섭의 값으로 열잡음과 셀 내에서 발생한 간섭들의 합이다. 요구패킷을 수신한 수신기의 출력단에서 간섭의 총합이 I_R^o 일 때, 이 신호의 SIR은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \gamma_R^o &= \frac{S_R^o}{I_R^o} \\ &= \frac{S_R^i}{\sum_{k=1}^m \frac{kN_k S_k^i}{\frac{3}{2}G_R} + \frac{(N_R-1)S_R^i}{\frac{3}{2}G_R} + \frac{N_0 W}{G_R}} \\ &= \frac{\beta_R^i}{\sum_{k=1}^m \frac{kN_k \beta_k^i}{\frac{3}{2}G_R} + \frac{(N_R-1)\beta_R^i}{\frac{3}{2}G_R} + \frac{N_0 W}{S_1^i G_R}} \end{aligned} \quad (3)$$

데이터패킷 및 요구패킷의 전송에 대해서 수신기의 출력단에 요구된 목표 SIR 값들이 각각 γ 과 γ_R 이라고 주어진 경우에, 패킷 전송에 대한 서비스 요구를 만족시키기 위해서는 다음과 같은 조건이 만족되어야만 한다.

$$\gamma_n^o \geq \gamma, \quad 1 \leq n \leq m \quad (5)$$

$$\gamma_R^o \geq \gamma_R. \quad (6)$$

이와 같은 환경에서 시스템의 처리용량을 최대화 하기 위해서는 식 (5)와 (6)에서 등식이 성립해야 한다^[6]. 그러므로 임의의 $n(1 \leq n \leq m)$ 에 대해서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{k=1}^m kN_k \beta_k^i + \left(nN_n - n - \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma} \right) \beta_n^i = -\frac{\frac{3}{2}N_0 W}{S_1^i} - N_R \beta_R^i. \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^m kN_k \beta_k^i + \left(N_R - 1 - \frac{\frac{3}{2}G_R}{\gamma_R} \right) \beta_R^i = -\frac{\frac{3}{2}N_0 W}{S_1^i}. \quad (8)$$

(7)과 (8)의 방정식을 풀면,

$$\beta_n^i = \frac{\gamma + \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma}}{n\gamma + \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma}}, \quad 1 \leq n \leq m, \quad (9)$$

$$\beta_R^i = \frac{\gamma_R}{\gamma} \cdot \frac{\gamma + \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma}}{\gamma_R + \frac{\frac{3}{2}G_R}{\gamma}}.$$

식 (9)에서 얻은 결과를 식 (7)에서 $n=m$ 인 경우에 삽입하면, S_1^i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_1^i = \frac{\frac{\frac{3}{2}N_0 W}{\gamma}}{\gamma + \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma} - \sum_{k=1}^m kN_k \beta_k^i - N_R \beta_R^i}. \quad (10)$$

β_n^i 와 β_R^i 의 정의에서 S_n^i 와 S_R^i 의 값은 다음과 같다.

$$S_n^i = \beta_n^i S_1^i, \quad 2 \leq n \leq m, \quad (11)$$

$$S_R^i = \beta_R^i S_1^i. \quad (12)$$

신호세기의 최대값에 대한 제한조건이 없는 경우에, 식 (10)의 분모값이 양이 되면 식 (10)-(12)에 대한 해가 존재한다. 따라서 신호세기에 할당을 위한 최적의 값이 존재하기 위해서는 다음과 같은 식이 만족되어야 한다.

$$\sum_{k=1}^m kN_k \beta_k^i + N_R \beta_R^i < \frac{\gamma + \frac{\frac{3}{2}G}{\gamma}}{\gamma}. \quad (13)$$

앞에서도 기술하였지만 실제 환경에서는 기지국이 다음 슬롯에서 요구패킷을 전송할 단말기의 수를 정확히 예측할 수 없기 때문에, 기지국에서 단말기들의 신호세기를 결정하는 시점에서 식 (10)의 N_R 은 정확한 값이 아니라 예측한 값이다. 본 연구에서는 식 (10)에서 $N_R\beta_R^i$ 의 값을 임의의 상수값 Δ_R 로 대체한다. Δ_R 의 값과 실제 환경에서 $N_R\beta_R^i$ 의 차가 크면 데이터패킷의 전송 품질이 훼손되거나, 간섭의 증가로 인해 이웃한 셀들에 대한 간섭이 증가하고 시스템 처리용량의 감소를 일으킨다. 따라서 적절한 Δ_R 의 선정과 요구패킷 전송의 제어는 매우 중요하며 이에 대한 설명은 3.2 절에 기술하였다. 따라서 신호세기를 결정하는 과정에서 식 (10) 대신에 식 (14)에서와 같이 Δ_R 를 이용하여 S_i^j 를 구할 수 있다.

$$S_i^j = \frac{\frac{3}{2} N_0 W}{\frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} - \sum_{k=1}^n k N_k \beta_k^i - \Delta_R} \quad (14)$$

기지국의 수신기에서의 동적 영역 제한(dynamic range limitation) 때문에, 단말기에서 전송되는 신호의 세기는 제한받는다. CDMA 시스템에서 outage는 간섭신호의 합과 배경 잡음에 비가 특정 값보다 커질 때 발생한다. 따라서 n-rate 전송에 대하여 다음과 같은 조건이 만족해야만 한다.

$$\frac{\sum_{k=1}^n k N_k S_k^i - n S_n^i + N_R S_R^i + N_0 W}{N_0 W} < \frac{1}{\eta} \quad (15)$$

여기서 η 는 상수로써 일반적으로 0.1에서 0.25 사이의 값을 갖는다. 식 (15)의 부등식은 다음과 같은 부등식이 만족되면 항상 만족된다.

$$\frac{\sum_{k=1}^n k N_k S_k^i + N_R S_R^i + N_0 W}{N_0 W} < \frac{1}{\eta} \quad (16)$$

식 (16)의 조건이 만족되면 시스템에서는 outage가 발생하지 않는다. 식 (16)에서 S_k^i 와 S_R^i 의 값을 식 (10)-(12)를 이용하여 치환하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{k=1}^n k N_k \beta_k^i + N_R \beta_R^i \leq \frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} \left(\frac{2-2\eta}{2+\eta} \right) \quad (17)$$

식 (13)과 (17)을 보면 식 (17)의 outage 조건이

만족하면 식 (13)의 신호세기의 해가 존재할 조건은 항상 만족한다. 따라서 식 (17)에서 DS-CDMA 시스템에서 상향링크의 전체 용량을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C = \frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} \left(\frac{2-2\eta}{2+\eta} \right) \quad (18)$$

DS-CDMA 시스템에서 상향링크는 본 연구에 초점이 되는 데이터를 전달하는 것 이외에 각종 제어 정보를 전달하기 위해서도 사용된다. 이와 같은 트래픽에 대해 전체 용량 중에서 Δ 만큼을 할당해 주면 상향링크에서 데이터패킷과 요구패킷 전송을 위해 할당된 시스템의 처리용량은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$C = \frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} \left(\frac{2-2\eta}{2+\eta} \right) - \Delta \quad (19)$$

식 (19)에서 얻은 시스템의 용량 C는 3.3 절에서 기술한 것과 같이 기지국에서 스케줄링을 하는데 이용된다.

3.2 요구패킷 전송제어

제안된 프로토콜에서는 단말기에서 전송을 임의로 결정하는 요구패킷과 기지국에 의해 전송이 제어되는 데이터패킷과 동시에 전송되기 때문에, 데이터패킷 전달에 대한 서비스 품질이 보장되기 위해서는 트래픽 환경에 따른 요구패킷 전송의 적절한 제어가 필요하다. 요구패킷 전송제어에서는 3.1 절에서 설명한 신호세기를 결정할 때 요구패킷의 전송을 위해서 할당되는 Δ_R 과 단말기에서 요구패킷 전송을 결정할 확률 P 의 결정이 중요한 문제이다. 본 연구에서 제안한 요구패킷 전송제어 기법은 n 번째 슬롯에서 측정된 요구패킷의 전송량과 n 번째 슬롯에서 요구패킷 전송을 위해 할당된 $\Delta_R(n)$ 을 비교하여 n+1 번째 슬롯에서의 $\Delta_R(n+1)$ 과 $P(n+1)$ 을 결정한다. 시스템 처리용량 중에서 요구패킷 전송을 위해 할당된 비율을 $a(n)$ ($a_{\min} \leq a(n) \leq a_{\max}$, $0 < a_{\min} < a_{\max} < 1$)이라고 하면, 요구패킷 전송을 위해 사용되는 $\Delta_R(n)$ 은 다음과 같이 결정된다.

$$\Delta_R(n) = a(n) \cdot C = a(n) \cdot \left(\frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} \left(\frac{2-2\eta}{2+\eta} \right) - \Delta \right) \quad (20)$$

데이터패킷 전송에 요구된 서비스 품질을 만족시키기 위해서는 요구패킷의 전송 용량은 다음과 같이 $\Delta_R(n)$ 을 초과하지 않아야 한다. 따라서 다음을 만족해야 한다.

$$N_R \beta_R = N_R \frac{\gamma_R}{\gamma} \left(\frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma_R + \frac{3}{2} G_R} \right) \leq \Delta_R(n), \quad (21)$$

식 (21)로부터 n 번째 슬롯에서 데이터패킷의 전송 품질을 만족시키면서 동시에 전송 가능한 요구패킷의 최대 수 $K_R(n)$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$K_R(n) = \left\lfloor \frac{\Delta_R(n)}{\beta_R} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\gamma}{\gamma_R} \left(\frac{\gamma_R + \frac{3}{2} G_R}{\gamma + \frac{3}{2} G} \right) \Delta_R(n) \right\rfloor. \quad (22)$$

n 번째 슬롯에서 전송이 허가된 데이터패킷들에 대한 전송 신호세기의 합을 $Z_{UP}(n)$ 이라 하고 $Z_R(n)$ 이 $K_R(n)S_R^i$ 에 의해 주어진다고 하면, 요구패킷 전송확률 제어를 하는데 사용되는 신호세기의 임계값 $Z_{TH}(n)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$Z_{TH}(n) = Z_{UP}(n) + Z_R(n) + N_0 W, \quad (23)$$

n 번째 슬롯에서 기지국에서 측정된 수신된 모든 신호의 합이 $Z_s(n)$ 라고 하면, n+1 번째 슬롯에서 요구패킷 전송에 할당되는 $\Delta_R(n+1)$ 을 결정짓는데 사용되는 $\alpha(n)$ 과 단말기들의 요구패킷 전송확률 $P(n+1)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha(n+1) = \begin{cases} \min(\alpha(n) + a, \alpha_{\max}), & \text{if } Z_s(n) < Z_{TH}(n) \text{ and } P(n) = 1, \\ \max(\alpha(n) - a, \alpha_{\min}), & \text{if } Z_s(n) \geq Z_{TH}(n) \text{ and } P(n) = 1, \\ \alpha_{\max}, & \text{if } P(n) < 1. \end{cases} \quad (24)$$

$$P(n+1) = \begin{cases} \min(1, P(n) + b), & \text{if } Z_s(n) < Z_{TH}(n) \text{ and } \alpha(n) = \alpha_{\max}, \\ \max(0, P(n) - b), & \text{if } Z_s(n) \geq Z_{TH}(n) \text{ and } \alpha(n) = \alpha_{\max}, \\ 1, & \text{if } \alpha(n) < \alpha_{\max}. \end{cases} \quad (25)$$

여기서 a와 b는 0과 1사이의 상수값이고, 초기에는 $\alpha(0) = \alpha_{\min}$ 이고 $P(0) = 1$ 이다.

3.3 패킷 스케줄링

sub-code concatenation을 이용한 MC-CDMA 시스템에서는 단말기에서 동시에 전송된 패킷 간에는 간섭이 발생하지 않기 때문에 모든 간섭의 합이 최소화되어 시스템의 처리용량이 극대화된다. 본 연

구에서 제안한 프로토콜은 요구패킷이나 데이터패킷 내의 피기백필드를 이용하여 전송 허가를 요구한 단말기들에 대하여 라운드-로빈 방식으로 패킷 스케줄링 서비스를 제공한다. 라운드-로빈에 의하여 단말기에 대한 서비스 차례가 왔을 때, 시스템 처리용량을 극대화하기 위해서 단말기가 전송할 수 있는 최대 수만큼의 데이터패킷 전송을 허가한다.

기지국은 단말기들로부터의 데이터패킷 전송을 스케줄링하기 위해서 단말기의 상태를표를 유지한다. 이 표는 셀 안에 있는 각각의 단말기 n에 대해서 전송을 요구한 패킷의 수 $REQ(n)$, 동시에 전송할 수 있는 패킷의 최대 수 $m(n)$ 등을 저장한다. 이러한 정보를 이용하여 기지국은 매 슬롯마다 다음과 같은 과정을 통하여 데이터 전송을 요구한 단말기들에게 전송을 허가한다.

- (1) t 번째 슬롯에서 데이터패킷 전송을 위한 서비스 용량의 초기값은

$$C_a = C - \Delta_R(t) - \Delta_G(t) \quad (26)$$

이다. 여기서 $\Delta_G(t)$ 은 요구패킷의 변화에 따른 데이터패킷의 서비스 품질 훼손을 막기 위해 도입된 값으로 $\Delta_R(t)$ 의 일정한 비율로 결정된다.

- (2) 데이터패킷 전송을 허가할 단말기를 라운드-로빈 방식에 의해서 선택한다.
- (3) 선택된 단말기가 n이라고 할 때, 단말기 n이 전송할 수 있는 패킷의 최대 수 m_c 는 다음과 같이 구해진다.

$$m_c = \left\lfloor \frac{\frac{3}{2} G \frac{C_a}{\gamma}}{\frac{\gamma + \frac{3}{2} G}{\gamma} - C_a} \right\rfloor. \quad (27)$$

- (4) 단말기 n에 대해서 전송이 허가된 패킷의 수 $m_p(n)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$m_p(n) = \min(m(n), REQ(n), m_c). \quad (28)$$

- (5) $REQ(n)$ 와 C_a 의 값은 다음과 같이 변경된다.

$$REQ(n) = REQ(n) - m_p(n), \quad (29)$$

$$C_a = C_a - m_p(n) \beta_{m_p(n)}. \quad (30)$$

C_a 의 값이 0 보다 크면 과정 (2)부터 다시 수행

하고, 0 보다 작으면 과정 (6)으로 간다.
 (6) 3.1절에서 기술한 것과 같이 각각의 전송허가에 대한 최적의 신호세기를 계산한다.

IV. 시뮬레이션

본 장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 이용하여 평가한 결과를 기술하였다. 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 인자의 값은 다음과 같다. 슬롯의 길이는 10ms이다. 단말기는 500 개까지의 패킷을 버퍼에 저장할 수 있고, 동시에 전송할 수 있는 패킷의 최대 수 m 은 8, 한 번의 패킷 발생 사건에서 동시에 발생하는 패킷의 최대 수 L_{max} 는 10이다. 요구패킷의 에러정정을 위해서 (31, 11, 5) BCH 코드가 사용되었다. 따라서 요구패킷의 길이는 31 비트, 이 가운데서 정보를 담은 메시지의 길이는 11 비트이고, 5 비트까지의 에러를 수정할 수 있다. 데이터패킷을 위해서는 (255, 87, 26) BCH 코드를 이용하였다. 데이터패킷과 요구패킷을 확산하기 위한 처리이득 G 와 G_R 은 각각 127과 1023이다. N_0W 는 10, η 는 0.1, Δ 와 Δ_c 는 0과 $0.2\Delta_R$ 로 가정하였다. 요구패킷과 데이터패킷 전송에 대한 목표 SIR 값은 처리율이 최대가 되도록 잡아야 하나 본 실험에서는 간결하게 하기 위해서 패킷에러율이 1% 미만인 되도록 하였다.

4장에서 시뮬레이션을 통하여 보이교자 하는 것은 다음의 두 가지이다. 하나는 제안된 프로토콜은 상향링크에 대한 시스템 서비스 용량을 극대화한다는 것이고, 다른 하나는 트래픽 환경에 맞게 요구패킷 전송에 할당되는 서비스 용량을 조정함으로써 가장 효율적인 서비스를 제공한다는 것이다.

4장의 시뮬레이션 실험은 요구패킷 전송에 할당된 서비스 용량을 고정하였을 때와 3.2절에서 설명한 것과 같이 조정하였을 때 얻은 결과를 보여준다. 실험에서 n 번째 슬롯에서 $\alpha(n)$ 을 결정하기 위해 사용된 α_{min} 과 α_{max} 의 값은 각각 0.01과 0.1로 하였고, 상수 a 의 값은 다음과 같이 결정하였다.

$$a = \frac{\alpha_{max} - \alpha_{min}}{step}, \quad (31)$$

여기서 $step$ 은 상수로서 $\alpha(n)$ 이 가질 수 있는 값의 수를 나타낸다. 실험에서 $step$ 의 값은 10으로 하였고, $F(n)$ 을 결정하는데 사용되는 b 의 값은 0.05로 하였다.

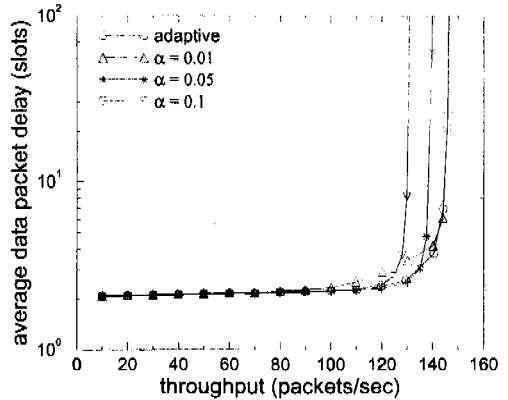


그림 4. 처리율 변화에 따른 패킷전달지연 ($C=144.14$, $C_i=142.56$, $C_o=148.5$)

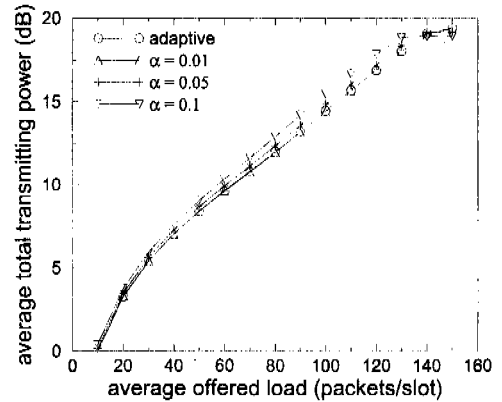


그림 5. 입력 트래픽 변화에 따른 전송된 신호세기의 합

그림 4와 5는 단말기의 수가 200개 일 때, 각각 단말기에서 발생하는 패킷 수가 증가함에 따라서 구한 결과이다. 그림 4는 처리율(한 슬롯에서 전송에 성공한 패킷의 수)과 패킷전달지연(패킷에 발생부터 기지국에 성공적으로 전달될 때까지 소요된 시간)의 관계를 보여준다. 위에서와 같이 시뮬레이션 인자의 값이 결정되었을 때, 시스템 용량 C 는 식 (19)를 이용하여 144.14라는 것을 구할 수 있다. 이러한 시스템에서 모든 시스템 용량을 데이터패킷을 전송하는데 사용된다면 처리율의 하한값 C_i 은 모든 단말기가 한 개씩의 패킷을 전송할 때이고, 상한값 C_o 는 단말기가 자신의 최대전송률로 전송할 때이다. 각각의 경우에 대해서 구한 C_i 과 C_o 는 142.6과 148.5이다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 프로토콜을 이용하여 얻을 수 있는 처리율의 최대값은 a 를 3.2절에서 제안한 것과 같이 조정할 때와 0.01로 고정할 때

가 146.8이고, $\alpha=0.05$ 일 때는 140.4, $\alpha=0.1$ 일 때는 131.7이다. 이는 α 를 동적으로 조정할 때와 0.01로 고정할 때가 처리율의 상한인 C_u 의 98.9%, $\alpha=0.05$ 일 때는 94.6%, $\alpha=0.1$ 일 때는 88.7%에 이르는 처리율을 보인다는 것을 알 수 있다. 실험과 같은 환경에서 슬롯을 [3,4]에서와 같이 두 부분으로 나눌 경우에는 이론적으로 얻을 수 있는 처리율의 최대값은 $\frac{255}{255+31} = 0.892$, 즉 89.2%가 된다. 만약에 데이터패킷의 길이를 511 비트로 늘리면 94.3%가 된다. 그러나 슬롯의 길이가 증가하면 패킷의 전달 지연도 증가하게 된다. 그림 4에서 3.2절에서 제안된 α 를 동적으로 조정하는 방법이 최대처리율 측면과 패킷전달지연 측면에서 가장 효과적인 서비스를 제공한다는 사실을 확인할 수 있다.

그림 5는 시스템에서 한 슬롯에서 발생한 패킷 수의 평균값과 상향링크에서 패킷의 전송을 위해서 사용된 모든 신호세기의 합에 대한 평균값의 관계를 보여준다. 그림 4에서 동일한 결과를 얻기 위해서 더 많은 신호세기의 합이 필요하다면 프로토콜의 효율성은 감소하게 된다. 그림 4와 5에서 입력 트래픽의 양이 성능의 병목점에 도달하기까지는 α 의 값이 클수록 전파지연은 감소하나, 사용된 신호세기의 측면에서 보면 비효율적이라는 사실을 알 수 있다. 본 연구에서 제안된 방법은 트래픽환경에 따라서 가장 적합한 α 의 값을 찾기 때문에 α 의 값이 고정된 다른 방법에 비해서 처리율, 패킷전달지연, 사용된 신호세기의 합 등의 측면에서 가장 바람직한 동작 결과를 보인다는 사실도 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중코드 DS-CDMA 시스템에 효과적으로 적용될 수 있는 상향링크 접근제어 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜에서는 서로 다른 처리이득으로 확산된 요구패킷과 데이터패킷을 동시에 전송함으로써 요구패킷에 할당되는 시스템 용량을 트래픽 조건이나 시스템 설계자의 정책에 따라 동적으로 결정할 수 있으며 동기화 과정에 필요한 오버헤드가 작은 이점이 있다. 제안된 방법은 신호세기 제어, 요구패킷 전송제어, 패킷 스케줄링 등을 통하여 시스템 처리 용량의 극대화과 데이터 전송 품질 보장 등을 제공한다는 사실을 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 통하여 확인하였다.

참고 문헌

- [1] R. Prasad and T. Ojanpara, "An Overview of CDMA Evolution toward Wideband CDMA," *IEEE Commun. Surveys*, vol. 1, no. 1, pp. 2-29, 4th Quarter 1998.
- [2] C.-L. I and R. D. Gitlin, "Multi-Code CDMA Wireless Personal Communications Networks," *ICC '95*, pp. 1060-1064, 1995.
- [3] Z. Liu, M. J. Karol, M. El Zarki, and K. Y. Eng, "Channel Access and Interference Issues in Multi-Code DS-CDMA Wireless Packet (ATM) Networks," *Wireless Networks*, vol. 2, no. 3, pp. 173-193, Aug. 1996.
- [4] S.-H. Choi and K.-G. Shin, "Uplink CDMA Systems with Diverse QoS Guarantees for Heterogeneous Traffic," *MobiCom '97*, pp. 120-130, 1997.
- [5] M. B. Pursley, "The Role of Spread Spectrum in Packet Radio Networks," *Proc. IEEE*, vol. 75, no. 1, pp. 116-134, Jan. 1987.
- [6] A. Sampath, P. S. Kumar, and J. M. Holzman, "Power Control and Resource Management for a Multimedia CDMA Wireless System," *PIMRC '95*, pp. 21-25, 1995.
- [7] L. C. Yun and D. G. Messerschmitt, "Variable Quality of Service in CDMA Systems by Statistical Power Control," *ICC '95*, pp. 713-719, 1995.
- [8] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.

박 장 연(Jangyeon Park)

1992년: 서울대 컴퓨터공학과 학사

1994년: 서울대 컴퓨터공학과 석사

1994년~현재: 서울대 컴퓨터공학과 박사과정

최 양 희(Yanghee Choi)

한국통신학회논문지 제25권 8A호 참조

현재: 서울대학교 컴퓨터공학부 교수