

CDMA 망에서의 음성 및 데이터 통합 서비스를 위한 우선권 기반의 패킷 예약 접속 프로토콜

(Prioritized Packet Reservation CDMA Protocol for Integrated Voice and Data Services)

金鏞鎮*, 姜忠求**

(Yong Jin Kim and Chung Gu Kang)

요약

본 논문에서는 패킷 방식 CDMA 망에서 기존에 제시되었던 음성과 데이터 통합 서비스를 위한 매체 접근 제어(Medium Access Control: MAC) 프로토콜들이 갖는 문제점들을 고찰하고 이를 극복할 수 있는 새로운 접근 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 동기식 다중코드 CDMA 시스템에서 중앙의 기지국이 모든 단말의 트래픽 상태를 우선권(priority)에 의해 파악하고 이에 따라 패킷 단위로 채널을 할당함으로써 음성과 데이터 서비스를 효율적으로 통합할 수 있는 Prioritized Packet Reservation CDMA (P^2R -CDMA) 프로토콜을 제안하고, 모의 실험을 통해 음성과 데이터 트래픽이 요구하는 서비스 품질을 보장하면서 다중화 이득을 극대화함으로써 전송 허가 확률의 제어를 기반으로 하는 기존의 방식보다 시스템 용량을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we investigate the existing medium access control (MAC) protocols to integrate the voice and data services in packet-based CDMA networks and furthermore, propose a new approach to circumvent the operational limits inherent in them. We propose the P^2R -CDMA (Prioritized Packet Reservation Code Division Multiple Access) protocol for the uplink in the synchronous multi-code CDMA system, which employs the centralized frame-based slot reservation along with the dynamic slot assignment in the base station using the QoS-oriented dynamic priority of individual terminal. The simulation results show that, as compared with the existing scheme based on the adaptive permission probability control (APC), the proposed approach can significantly improve the system capacity while guaranteeing the real-time requirement of voice service.

I. 서론

최근 이동 통신망은 저속 및 고속 이동환경에서 음

* 正會員, 대우 高等技術研究院

(Daewoo Institute for Advanced Engineering)

** 正會員, 高麗大學校 電氣電子電波工學部

(School of Electrical Engineering, Korea University)

接受日字: 1999年3月12日, 수정완료일: 1999年11月5日

성 위주의 서비스를 지원하는 이동 전화망과 개인 휴대 통신망에서 다양한 전송속도와 품질을 요구하는 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있는 새로운 시스템의 출현이 예상된다. 현재 ITU-T를 중심으로 표준화가 진행되고 있는 IMT-2000 시스템의 경우에는 기존의 회선 방식뿐 아니라, 패킷 방식을 기반으로 다양한 형태의 데이터 서비스를 지원하는 것을 목표로 하고 있다. 예를 들어, 북미의 cdma2000 RTT 제안 규격에서는 일반화된 멀티미디어 서비스 모델을 지원함으로써 음성, 패킷 데이터,

그리고 고속의 회선 모드 데이터 서비스를 동시에 제공하며, 나아가 B-ISDN 또는 RSVP QoS 보장 기능과 같이 멀티미디어 서비스에서 요구하는 다양한 품질 요구 사항을 보장할 수 있는 QoS 제어 기능을 포함하고 있다^[1]. 또한, cdma2000의 RTT에서는 향후 유성 서비스의 진화에 따른 유연성을 제공하기 위해 음성 부호화된 데이터를 패킷 데이터 또는 회선 데이터 트래픽의 형태로 전송하기 위한 틀을 제시하고 있다. 이와 같은 패킷 CDMA 기반의 무선접속 방식에서 음성과 데이터 서비스를 효과적으로 통합하기 위해서는 음성과 데이터의 트래픽 특성을 고려하여 다중 사용자 접속(multiple access)에서 발생하는 간섭을 적절히 제어함으로써 각 서비스가 요구하는 품질을 만족시키면서 채널의 효율성을 극대화할 수 있는 매체 접근 제어 기법의 구현이 필수적이다.

본 논문에서는 기존에 제시되었던 음성과 데이터 통합 서비스를 위한 패킷 접속 프로토콜들이 가지고 있는 문제점을 분석하고 이를 개선할 수 있는 새로운 접근 방법을 제시하였다. 특히, 기존의 CDMA/TDMA 방식의 다중접속 구조에서 제안된 기존 프로토콜의 단점을 극복하고 성능을 향상시킨 형태로서 중앙의 기지국이 모든 단말기의 트래픽 상태를 파악해서 서비스 우선권(priority)을 기반으로 채널을 할당해줌으로써 음성과 데이터 서비스를 효율적으로 통합할 수 있는 프로토콜을 제시했다. 본 논문의 2장에서는 CDMA 망에서 음성과 데이터 패킷 통합 서비스를 위한 기존의 방식에 대해 살펴 보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 Prioritized Packet Reservation CDMA (P²R-CDMA) 프로토콜에 대해서 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜의 성능 분석 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 내렸다.

II. CDMA망에서 음성 및 데이터 통합 서비스

1. 매체 접근 제어 요구 사항

일반적으로 CDMA 망에서 음성과 데이터 서비스를 효과적으로 통합하기 위해서는 음성 및 데이터 트래픽이 요구하는 서비스 품질을 만족시키면서 채널 효율성을 극대화할 수 있는 매체 접근 제어 방식이 요구된다. 이러한 매체 접근 방식은 크게, 혼합된 트래픽을 다중화

시키는 서비스 다중화 기법과 다중 접속시 발생되는 간섭(multiple access interference: MAI)을 제한하기 위한 전송 제어 기법으로 구분된다.

한편, 서비스 다중화 방안은 각 서비스 별로 지정된 전송 허가 확률에 따라 패킷을 전송하는 경쟁 기반의 방식과 전송할 모든 패킷들에 대해 개별적인 채널 예약을 통해 전송하는 요구형 할당 방식으로 구분할 수 있다. 한편, 다중 접속시 동시에 전송할 수 있는 패킷의 수는 임의의 패킷 전송 구간에서 발생하는 간섭량과 할당된 코드의 수, 그리고 트래픽의 부하에 의해 결정되는 것으로서 각 전송 구간에서 패킷 전송을 제어하는 기법은 채널의 효율 및 용량과 서비스 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이와 같은 다양한 접근 방식의 구현에 있어서 효과적인 다중화를 위해서는 다음과 같은 사항들이 우선적으로 고려되어야 한다.

- (1) 데이터 트래픽에 비해 자연시간에 민감한 음성 트래픽을 우선적으로 서비스할 수 있어야 한다.
- (2) 음성 서비스의 품질이 데이터 트래픽의 부하 변동으로 인해 크게 영향을 받지 않아야 한다.
- (3) 다중 접속시 발생하는 간섭량을 효과적으로 제어해서 전체 채널의 효율성을 극대화할 수 있어야 한다.
- (4) 주어진 채널 용량에서 요구되는 음성 서비스의 품질을 유지하면서 음성 및 데이터 트래픽의 처리율을 최대한으로 유지해서 적정 수준의 시스템 용량을 확보할 수 있어야 한다.

2. 기존의 통합 방안에 대한 고찰

음성/데이터 통합 서비스를 위해 기존에 제안된 접속 방식은 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 첫째는 회선 방식과 패킷 방식이 혼합된 형태로서 음성 트래픽은 회선 방식으로 호 설정단계에서 전송코드를 할당하고, 데이터 트래픽은 패킷 방식으로 ALOHA 프로토콜과 같은 단순 경쟁방식으로 서비스하는 방식이다^[2,3,4]. 따라서, 각 서비스들의 품질을 보장하기 위해 음성의 경우에는 호 설정 단계에서 전체 시스템의 간섭량을 고려한 호 수락기법(call admission policy)을 적용하며, 데이터의 경우에는 회선 방식으로 할당되고 남은 전송 코드들을 이용해 데이터 패킷을 경쟁 방식으로 전송하는 한편, 간섭량을 제어하기 위해 채널의 부하 정보를 토대로 전송 허가 확률(transmission permission probability)을 제어한다. 그러나 이러한 방식에서는 음성의 활성도(voice activity)에 따라 음성 채널에 할당되는 전력량이 달라지

므로 전체 채널의 간섭량을 제어하면서 용량을 극대화하기 위해서 매우 복잡한 알고리즘이 요구된다. 현재 ITU-R의 IMT-2000 RTT (Radio Transmission Technology)로 제안되고 있는 대부분의 시스템 구조에서는 대역 확산 수열(spreading sequence)에 의해 이와 같은 회선 모드 채널과 패킷 모드 채널을 구분하고 있으며(예를 들어, dedicated channel과 common channel), 이와 같은 복잡도를 고려하여 최대 발생 가능한 간섭의 범위 내에서 각 채널의 수를 제한하게 될 것이다. 그러나, 이와 같이 최악의 상황을 고려하여 채널의 수를 제한할 경우 채널의 효율성을 극대화한다는 관점에서 멀티미디어 트래픽의 특성을 최대한 반영할 수 없는 단점이 있다.

두번째 통합 방식은 음성과 데이터 트래픽을 모두 패킷 방식으로 서비스하는 형태로서 주로 기존의 TDMA 방식에서 적용했던 패킷 전송 프로토콜을 CDMA 방식으로 확장한 것들이다^[5,6,7,8]. 대표적인 예로서 CDMA와 TDMA 방식이 결합된 채널상에서 기존의 PRMA (Packet Reservation Multiple Access) 프로토콜을 통해 패킷을 전송하는 CDMA/PRMA 방식이 있다^[5,6]. 이 방식의 경우 음성 서비스는 예약방식으로 채널을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 예약을 위한 음성의 최초 활성 패킷과 데이터 패킷은 전송 허가 확률을 기반으로 경쟁 방식에 의해 전송하도록 한다. 또한, 예약을 위한 채널과 실제 트래픽 패킷 전송을 위한 채널간의 구분이 없이 같은 시분할 슬롯들을 공유해서 패킷을 전송하고 있다. 특히, 참조 문헌 [5]의 경우에는 전송 허가 확률의 설정에 있어서 음성 서비스의 실시간 요구사항을 만족하기 위해 음성 트래픽이 우선적으로 예약을 하고 남은 채널에 대해서 데이터 단말들이 경쟁을 하도록 함으로써 음성 단말이 데이터 단말보다 우선적으로 채널에 접속할 수 있도록 하며, 예약 상태의 음성 단말들이 전송하는 패킷들을 경쟁 방식으로 전송하는 데이터 서비스 패킷으로 인해 발생하는 간섭으로부터 보호하게 된다. 다음에서는 참고문헌 [5]에서 제안된 적응적 전송 허가 확률 제어(Adaptive Permission Probability Control: APC) 방식에 대해서 구체적으로 살펴보고, 이에 따른 문제점을 고찰하도록 한다.

APC 방식에서 음성 단말은 활성 상태에서 최초로 발생한 패킷에 대해 경쟁 방식으로 전송을 수행하여 채널을 예약하며, 이때 음성 단말의 전송 허가 확률 P_v 를

다음과 같이 설정한다.

$$P_v = \frac{K_{sp}}{\hat{K}_{cont}} \quad (1)$$

(1)식에서 K_{sp} 는 임의의 시분할 슬롯에서 예약 상태의 단말들에게 할당되지 않은 채널의 수로서 사용 가능한 전체 K_{ch} 채널 중에서 예약된 채널의 수 K_{res} 를 뺀 값이다 (즉, $K_{sp} = K_{ch} - K_{res}$). 한편, \hat{K}_{cont} 는 예약을 위한 경쟁 상태에 있을 음성 단말의 수에 대한 추정값으로서 다음과 같이 설정된다.

$$\hat{K}_{cont} = \alpha N_v + \hat{C}_n - N_{res} \quad (2)$$

(2)식에서 α 와 N_v 는 각각 음성 단말의 활성비(voice activity ratio)와 전체 음성 단말의 수를 나타내며, N_{res} 는 이미 채널을 예약 받은 단말의 수를 나타낸다. 또한, (2)식에서 \hat{C}_n 은 채널상에서의 전송 결과와 예약 상태에 있는 단말의 수에 따라 기지국에 의해 동적으로 설정되는 값을 나타낸다. 즉, 예약된 슬롯에 패킷이 도착되지 않으면 간섭 때문에 전송한 패킷에 오류가 발생한 것으로 간주하여 \hat{C}_n 을 높임으로써 전송 허가 확률을 낮추어 동시에 전송되는 패킷의 수를 감소시킨다. 한편, 예약 상태에 있는 음성 단말의 수 N_{res} 가 증가하지 않을 경우에는 전송 허가 확률값이 작아서 각 단말들의 전송이 지연되는 것으로 간주하고, 전송 허가확률 값을 증가 시켜 보다 많은 단말들이 전송을 시도하도록 하기 위해 \hat{C}_n 값을 감소 시킨다. 기지국에서의 \hat{C}_n 값의 개선 방안으로 참고문헌 [5]에서는 다음과 같은 과정을 제시하고 있다.

- ① N_{res} 이 증가할 경우: $\hat{C}_n = \hat{C}_{n-1} + \Delta N_{res}$
- ② N_{res} 이 증가하지 않을 경우: $\hat{C}_n = \hat{C}_{n-1} - \gamma_1$
- ③ 음성 단말이 예약 받은 채널에서 패킷을 수신하는데 실패했을 경우:

$$\hat{C}_n = \hat{C}_{n-1} + \gamma_2 \quad (\text{단, } \hat{C}_{n-1} \text{이 } 0 \text{보다 작을 경우에 } \hat{C}_n = 0)$$
- ④ 그 밖의 경우: $\hat{C}_n = \hat{C}_{n-1}$

여기서 ΔN_{res} 는 예약 상태에 있는 음성 단말 수의 변

화량을 나타내며, γ_1 및 γ_2 는 각각 임의의 상수로 주어지는 설계 파라미터이다.

네이터 단말은 대체로 음성에 비해 낮은 서비스 우선권을 가진다고 보며, 따라서 음성 단말에게 우선적으로 할당하고 남은 채널을 가지고 경쟁 방식으로 패킷을 전송한다. 이때 사용되는 전송 허가화률을 다음과 같이 설정한다.

$$P_d = \frac{K_d}{N_d} \quad (4)$$

(4)식에서 K_d 는 데이터 단말이 전송할 수 있는 채널의 수로 전송 가능한 전체 채널의 수 K_{sp} 에서 경쟁 상태에 있는 음성 단말의 수 K_{com} 를 뺀 값이 되며, N_d 는 전체 데이터 단말의 수이다. 즉, 전송 가능한 채널 중에서 음성이 전송할 것으로 예상되는 채널의 수를 빼고 남는 채널과 전체 데이터 단말 수의 비율로 전송 허가화률을 결정하게 된다. 따라서, 음성 단말이 모든 채널에 대해 예약을 했거나 전송을 시도한다면 데이터 단말의 전송 허가화률이 0이 되므로 패킷을 전송할 수 없는 상황이 된다.

APC 방식에서는 예약 상태의 단말에 의해 전송되는 패킷들은 경쟁 방식으로 전송되는 패킷들로 인해 허용되는 제한 간섭량을 초과해 전송되는 패킷에 대해 오류가 발생할 가능성이 커지며, 특히 데이터 패킷의 발생빈도가 커질수록 음성의 패킷 전송 성능의 열화가 예상된다. 또한, 채널의 부하에 따라 단순히 확률적으로 패킷 전송을 제어하는 방법은 전송 효율성을 저하시키는 원인이 될 수 있다. 즉, 트래픽 부하가 적고 사용 가능한 채널의 수가 많은 경우에도 패킷을 전송할 수 없는

상황이 발생할 수 있으며, 트래픽의 부하가 높은 경우에는 허용할 수 있는 간섭량의 정확한 제어가 어려워져 서비스 품질을 보장할 수 없게 된다. 따라서, APC 방식의 전송 제어 기법만으로는 실시간 트래픽의 요구 사항을 만족시키기 어려운 것으로 판단되며, PRMA/CDMA 방식에 의해 다양한 형태의 멀티미디어 서비스를 통합 수용하기 위해서는 품질 지향적인 새로운 제어 기법이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 기존 방식들이 갖는 문제점을 개선할 수 있는 새로운 접근 방식으로서 P²R-CDMA (Prioritized Packet Reservation Code Division Multiple Access) 프로토콜을 제안한다.

III. P²R-CDMA 프로토콜

1. 프레임 구조

P²R-CDMA 프로토콜에서는 그림 1과 같이 상향링크와 하향링크를 주파수 분할 이중화(Frequency Division Duplexing: FDD)에 의해 구현하고, CDMA와 TDMA방식이 결합된 형태의 프레임 구조를 가정한다. 따라서, 상하향 시분할 슬롯의 할당은 이와 같은 프레임 단위로 수행된다. 하향 프레임은 상하향 프레임을 구성하는 시분할 슬롯과 코드에 대해서 해당 채널의 종류, 송신 및 수신 단말 번호(ID), 그리고 수신된 패킷들에 대한 확인응답(ACK)을 통보하는 브로드캐스트(broadcast) 채널과 하향 트래픽(payload) 채널로 구성된다.

상향 프레임은 상향 트래픽 채널의 예약을 위한 예약요청채널(Random Access Channel: RACH)과 트래픽 패킷 전송을 위한 상향 트래픽 채널로 구성된다. 한편, 예약 패킷의 정보량이 상대적으로 적은 점을 고려해서

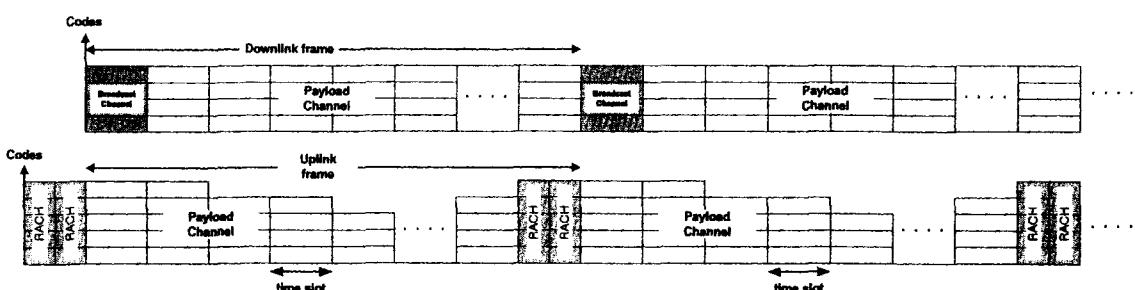


그림 1. P²R-CDMA 프로토콜에서의 다중 코드 방식 프레임 구성도

Fig. 1. Multicode-based Frame Structure of the P²R-CDMA Protocol.

경쟁 방식으로 예약 패킷을 전송할 때 발생하는 충돌을 개선시키기 위해 한 개의 슬롯을 두 개 이상의 부슬롯으로 분할된 형태의 예약 요청 채널을 적용한다.

2. 예약 과정

음성과 데이터 단말들은 휴지 상태(idle state)에서 활성 상태(active state)로 천이할 때(버퍼가 빈 상태에서 전송해야 할 새로운 패킷이 발생했을 때) 예약 요청 채널을 통해 자신의 우선권값(priority) 정보를 포함하는 예약 요청 패킷을 전송한다. 여기서 우선권값(priority)은 각 단말에서 트래픽 종류와 채널 할당 상태에 따라 동적으로 설정되는 값으로, 이 값은 기지국이 단말들에게 채널을 예약하는 기준이 된다. 각 단말의 상태는 그림 2와 같이 휴지 상태, 초기 활성 상태, 대기 상태 그리고 예약 상태로 구분한다. 패킷 발생이 일어나지 않고 버퍼에 대기 중인 패킷이 없는 휴지상태에서 단말은 우선권값을 0으로 설정한다($P \leftarrow 0$).

초기 활성 상태에 있는 단말들이 예약 요청에서 실패할 경우 일반적으로 임의의 시간동안 backoff를 한 후에 재전송하게 되나, 제안된 P'R-CDMA 프로토콜에서는 랜덤 접속에 성공한 단말의 경우라도 기지국에서의 우선권을 기반으로 한 슬롯 할당 절차에 따라 우선권이 낮은 경우에는 예약 요청에 성공하더라도 슬롯 할당을 받지 못하고 결과적으로 지연이 발생할 수 있으므로 랜덤 접속 채널상에서의 수율을 극대화하고 실시간 서비스에 대한 지연 시간을 보장하기 위해 예약 요청을 시도할 수 있는 단말의 수를 미리 제한하고자 한다. 즉, 기지국은 트래픽 채널의 부하에 따라 불필요한 예약으로 인해 발생하는 충돌을 최소화하기 위해 예약 가능 최저 우선권값($P_{cut-off}$): $P_{cut-off}$)을 설정하여 브로드캐스트 채널(broadcast channel)을 통해 통보한다.

초기 활성 상태에 있는 단말 중에서 i 번째 단말의 우선권값(priority)을 P_i 라 할 때, 각 단말은 이를 $P_{cut-off}$

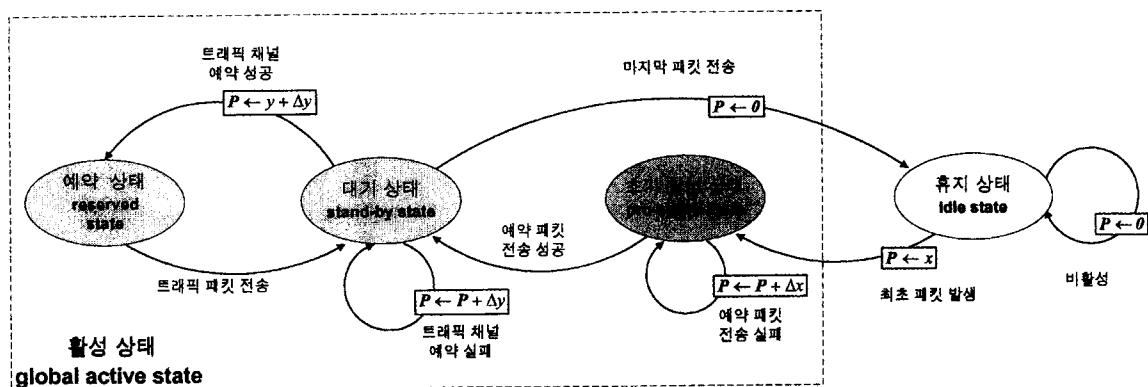


그림 2. 상태 천이에 따른 단말의 우선권값 설정 모델
Fig. 2. Priority Assignment Model for Terminal State.

휴지상태에서 새로운 패킷이 발생하면 단말기는 초기 활성 상태로 천이하면서 우선권값을 x 로 설정하고 ($P \leftarrow x$), 예약 요청 패킷을 RACH 채널을 통해 전송한다. 예약 요청 패킷의 전송에 실패한 단말은 초기 활성 상태에 머물면서, 예약 요청을 위한 랜덤 접속에 실패할 때마다 자신의 버퍼 상태에 따라 증가분 Δy 를 가산하여 우선권값을 상향 조정한다($P \leftarrow P + \Delta y$). 이는 예약 요청의 실패에 따라 실시간 서비스의 경우에는 잔여 수명(residual lifetime)이 감소할 뿐만 아니라, 모든 서비스의 경우에는 버퍼에서의 대기 행렬이 증가하게 되므로 랜덤 접속시의 우선권을 높이기 위한 것이다. 이 때

와 비교하여 이 값보다 큰 우선권값을 갖는 ($P_i > P_{cut-off}$) 단말들만이 예약을 시도하도록 한다. 설명의 편의상 그림 3에서 보는 바와 같이 기지국에서 단말의 인덱스를 우선권값의 내림차순으로 지정하면(즉, $P_1 \leq P_2 \leq P_3 \leq \dots$), 사용 가능한 상향 링크 트래픽 채널의 수를 N 이라 가정할 때 우선권값 P_N 보다 n_c 번째 아래 단계에 위치한 단말의 우선권값 P_{N+n_c} 을 예약 가능 최저 우선권값($P_{cut-off}$)으로 설정한다(즉, $P_{cut-off} = P_{N+n_c}$). 즉, 총 사용 가능한 N 개의 채널 중에서 예약 성공 후 다음 프레임에서 일부 단말이 활성 상태에

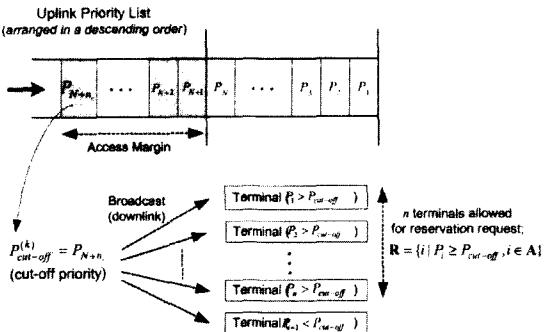


그림 3. 예약 가능 최저 우선권값 설정 모델
Fig. 3. Cutoff-priority Model for Prioritized Reservation.

서 비활성 상태로 천이할 가능성을 고려하여 n_c 개의 단말을 접속 여유치(Access Margin)로 설정하여 추가로 시스템에 허용하고자 하는 것이다. 이때 n_c 는 설계 파라미터가 된다. 따라서, 초기 활성 상태에 있는 단말의 집합을 **A**라고 하면, 매 프레임의 RACH 채널을 통해 예약 가능한 단말들의 집합을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = \{i \mid P_i \geq P_{N+n}, i \in A\}$$

이와 같은 예약 가능 최저 우선권값을 적용함으로써 확률적인 기반의 랜덤 backoff 알고리즘에 의존하지 않고, 실시간 처리를 고려한 안정적인 랜덤 접속이 가능한 것이 특징이다.

예약 요청 패킷의 전송에 성공한 단말들은 대기 상태로 천이하게 되며, 이 상태에 있는 단말들은 향후 채널 할당의 대상이 된다. 예약 상태에서 트래픽 채널을 할당 받지 못한 단말은 대기 지연 시간에 따라 우선권값을 Δy 만큼 증가시킨다($P \leftarrow P + \Delta y$). 트래픽 채널을 할당 받아 예약 상태로 천이하는 단말의 우선권은 예약 상태의 기본 우선권값 y 와 단말의 대기 지연 시간에 따라 설정하는 증가분 Δy 의 합으로 주어진다. 단말의 상태 천이에 따른 우선권 설정 개념을 요약하면 그림 2와 같다.

본 논문에서는 각 단말의 버퍼에서 대기하는 지연 시간을 기준으로 우선권값을 설정한다. 이때, 버퍼에 있는 선두 패킷의 대기 시간을 고려하며, 각 패킷의 대기 시간을 프레임 길이 단위로 확인해서 우선권값으로 변환 시킨다 (즉, $\Delta x = \Delta y = [\text{패킷 대기시간}/\text{프레임 길이}]$).

또한, 음성 단말의 기준 우선권값 x 및 y 를 각각 P_1 과 P_2 로 설정하였으며, 데이터의 경우에는 각각 P_3 와 P_4 로 설정하였다. 음성 단말이 데이터 단말보다 높은 서비스 우선권을 가지고 예약 상태의 음성 단말이 초기 활성 상태에서 대기 상태로 천이하는 음성 단말보다 높은 서비스 우선권을 갖도록 해야 한다. 버퍼에 대기하는 패킷이 없는 상태에서 다음 패킷이 발생할 때까지 대기하는 단말은 버퍼에 전송할 패킷이 있는 단말보다 서비스 순위가 낮아야 한다. 따라서, 이를 기본 우선권값들은 단말의 상태에 따라 결정되며, $P_2 > P_1 > P_3 = P_4 \gg y' > 0$ 을 만족할 수 있도록 설정한다. 이와 같이 각 단말이 자신의 우선권값을 직접 결정해 기지국으로 통보함으로써 기지국에서의 상향 링크 채널 할당에 필요한 스케줄링 기능을 단순화 시키게 된다. 또한, 우선값을 동적 파라미터로 채택함으로써 채널 할당을 위해 단말이 기지국에 전송해야 할 상태 정보량을 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다.

3. 전송 과정

기지국은 프레임 단위마다 예약 요청 채널 및 상향 트래픽 채널에서의 piggy-backing을 통해 수집한 우선권값 정보에 대해서 내림차순으로 해당 단말에게 채널을 할당하고, 하향링크의 브로드캐스트(broadcast) 채널을 통해 그 할당 결과를 통보한다. 각 단말은 이를 토대로 해당 트래픽 채널에 트래픽 패킷들을 전송하게 된다. 각 단말의 우선권값에 따라 채널을 할당하게 되므로 음성의 최대 허용 가능 지연 시간을 기준으로 잔여 수명이 낮은 순으로 단말이 우선적으로 처리된다. 그 이후에 남은 채널에 대해 대기 지연시간이 긴 데이터 단말들이 순서대로 할당 받게 된다. 여기서 채널 할당 단위는 시분할 슬롯 및 각 슬롯당 다중 코드로서, 다중코드 시스템의 경우에는 우선권에 따라 한 개의 단말이 동시에 다수의 시분할 슬롯에 걸쳐 다수의 코드를 동시 할당 받을 수 있으며, 단일 코드 시스템의 경우에는 다수의 시분할 슬롯에서 할당된 고유의 코드로 전송하게 된다.

본 논문에서는 음성 및 데이터가 동일한 BER을 요구하는 것으로 가정하고 동시에 전송할 수 있는 최대 패킷의 수를 계산한다. 실제 CDMA 방식 다중 접속 채널에서의 송수신 환경을 모델링하여 가우시안 근사법(Gaussian approximation)에 의해 비트 오류율(BER)을 계산할 수 있다^[9]. 즉, 다중 사용자 간섭(MAI)이 가우시안 분포를 가지며 상관 수신기를 가정할 때, 비트 오류

확률 함수 P_e 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e \approx Q(\overline{SNR}) \quad (5)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2} du \quad (6)$$

확산 이득(processing gain)^{o)} G 가 되는 랜덤 확산 시퀀스(random sequence)를 고려할 때, 동시에 전송되는 N 개의 패킷에 대해 평균 신호 대 잡음비 \overline{SNR} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[6,9].

$$\overline{SNR} \approx \sqrt{\frac{P_{r,i}}{\frac{1}{3G} \cdot \sum_{k=1}^N P_{r,k} + \eta_0 W}} \quad (7)$$

(7)식에서 $P_{r,i}$ 는 i 번째 패킷에 해당하는 수신전력이며 $\eta_0/2$ 는 배경 잡음 전력 밀도를 나타낸다. 데이터 비트의 한 구간이 T 이면 대역폭 W 은 $1/2T$ 가 된다. 각 사용자 패킷의 수신전력이 전력제어에 의해 동일하며 인접 셀에 의한 간섭과 배경 잡음이 없다고 가정하면 (7)식은 $\overline{SNR} = \sqrt{\frac{3G}{N-1}}$ 로 간단히 정리되며, 비트 오류 확률은 다음과 같이 주어진다^[9].

$$P_b(N) = Q\left(\sqrt{\frac{3G}{N-1}}\right)$$

따라서, 한 패킷의 길이를 L 이라 할 때 패킷에 오류가 발생하지 않고 전송에 성공하는 확률은 $P_s(x) = [1 - P_b(N)]^L$ 이 된다. 이를 토대로 서비스 요구 BER과 확산 이득 G 에 의해 동시에 전송할 수 있는 최대 패킷의 수 N_{max} 가 정해진다. 본 논문에서는 프로토콜의 성능을 평가에 초점을 맞추기 위해 참고 문헌 [1]에서와 동일한 방법으로 패킷 전송시 성공 여부를 다음과 같은 간단한 함수에 의해 결정하기로 한다.

$$P_s(N) = \begin{cases} 1, & 1 \leq N \leq N_{max} \\ 0, & N > N_{max} \end{cases} \quad (8)$$

(8)식에서 최대 패킷의 수 N_{max} 는 $[1 - P_b(N)]^L \geq 0.9P$ 를 만족시키는 가장 큰 값이 된다.

P²R-CDMA 프로토콜에 의한 단말기와 기지국간의 동작을 단계별로 요약하면 다음과 같다.

STEP 1: 음성 및 데이터 단말중에서 휴지 상태에서 새로운 패킷이 발생하여 초기 활성 상태로 천이하게

되면, 상향링크의 예약 요청 채널을 통해 경쟁 방식으로 예약 패킷을 전송한다. 이 때 예약 패킷에는 단말의 우선권값 정보가 포함된다. 단, 기지국이 브로드캐스트 채널로 통보한 예약 가능 최저 우선권값(cut-off priority)보다 큰 단말들만 예약을 시도할 수 있다.

STEP 2: 기지국은 예약 요청 채널상에서 예약 패킷 전송에 성공한 초기 활성 상태의 단말들과 대기 상태에 있는 단말들의 우선권값들을 내림차순으로 정렬한 뒤 우선권이 높은 순서부터 채널을 할당해준다.

STEP 3: 기지국이 브로드캐스트 채널로 채널 예약 정보를 통보하면 각 단말들은 해당 상향링크 트래픽 채널에 패킷을 전송한다. 이때 단말은 우선권값 정보를 패킷에 piggy-backing해서 전송한다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

1. 시뮬레이션 모델 및 파라미터

제안된 음성 데이터 통합 프로토콜의 성능을 비교 분석하기 위해 P²R-CDMA 프로토콜과 기존의 논문 [5]에서 제안된 APC (Adaptive Permission Probability Control) 프로토콜을 SLAM-II를 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 수행되는 시뮬레이션은 한 셀 내에 단일 기지국과 다수의 이동 단말기들이 있는 상황을 가정했으며, 모든 음성 및 데이터 단말들이 이미 호접속 단계를 거친 상태이며 음성과 데이터 단말에서의 버퍼의 길이는 충분히 길어서 buffer overflow에 따른 손실은 없는 것으로 가정한다.

음성과 데이터 단말을 각기 다른 파라미터를 갖는 독립적인 ON/OFF Source로 모델링하였다. ON/OFF 소스는 활성 상태와 비활성 상태를 반복하여 천이하며, 활성 상태와 비활성 상태에 머무는 시간을 지수 분포를 갖는 확률 변수로 설정하였다. 이때 음성(데이터) 단말이 활성 및 비활성 상태에 머무는 시간의 평균을 각각 1000ms (100ms)과 1350ms (1900ms)으로 가정하였다. 또한, 데이터 단말의 경우에는 활성 상태가 종료된 후에 다시 비활성 상태로 천이할 확률 p 를 설정하여, 데이터 단말의 버스트 발생 특성을 제어할 수 있도록 하였다. 한편, 제안하는 P²R-CDMA 프로토콜의 성능 비교를 위

표 1. 시스템 및 시뮬레이션 파라미터 값

Table 1. System and simulation parameter values.

파라미터	표기	설정값	비고
음성/데이터 단말의 수	N_v/N_d	가변	
채널 비트율	R	230 Kbps	
음성 비트 발생률	R_v	32 Kbps	
데이터 비트 발생률	R_d	160 Kbps	
프레임 길이	T_f	5 ms	
프레임 당 슬롯의 수	N_s	5	
패킷당 정보비트	$R_v T_f$	160 bits	
패킷당 오버헤드	H	70 bits	
PN 칩 전송률	R_c	3,680 Kbps	
초기활성 상태에서의 음성 단말의 기준 우선권값	P_1	4000	
예약 상태에서의 음성 단말의 기준 우선권값	P_2	8000	
초기활성 상태에서의 데이터 단말의 기준 우선권값	P_3	100	
예약 상태에서의 데이터 단말의 기준 우선권값	P_4	100	
슬롯당 할당 코드의 수	$N_{ch}(=N_{max})$	6	확신 이득 $G = 16$ 일 때 $P_b(N_{ch}) < 10^{-3}$ 을 만족하는 최대 채널의 수
RACH 부슬롯의 수	N_m	1 or 2	
최대 허용가능 음성 지연시간	D_{max}	20 ms	20ms 이상의 지연시간이 발생하는 경우에는 음성 패킷을 폐기함
평균 음성 활성 구간	α_v	1000 ms	On-off Source 모델
평균 음성 비활성 구간	β_v	1350 ms	
평균 데이터 활성 구간	α_d	100 ms	
평균 데이터 비활성 구간	β_d	1900 ms	
데이터 버스트 제어 확률	p	0.15 or 0.25	활성 구간의 종료 후에 다시 비활성 구간으로 천이할 확률로 정의함
접속 여유치(access margin)	n_c	3	PR-CDMA 프로토콜의 동작 파라미터
초기활성 상태에서의 음성 단말의 기준 우선권값	P_1	4000	
예약 상태에서의 음성 단말의 기준 우선권값	P_2	8000	
초기활성 상태에서의 데이터 단말의 기준 우선권값	P_3	100	
예약 상태에서의 데이터 단말의 기준 우선권값	P_4	100	APC 프로토콜의 동작 파라미터
음성 경쟁 단말 예측 상수 1	r_1	0.5	
음성 경쟁 단말 예측 상수 2	r_2	$N_v \times 0.1$	

해 구현된 APC (Adaptive Permission probability Control) 알고리즘에서 예약 상태에 있는 음성 단말의 수를 추정하는데 적용되는 상수 γ_1 와 γ_2 를 각각 0.5와 전체 음성 단말수의 10%로 설정하였다^[5]. 표 1은 본 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 값을 요약 정리한 것이다.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 토대로 제안하는 P²R-CDMA 프로토콜과 APC (Adaptive Permission probability Control) 프로토콜의 성능을 비교 분석하였다. 각 프로토콜에 따라 처리된 음성과 데이터 트래픽의 서비스 품질을 분석하기 위해 다음과 같은 항목들을 비교하였다.

- 음성 패킷 손실률(voice packet loss ratio)
- 평균 데이터 패킷 지연 시간(data packet delay)
- 데이터 트래픽 처리율(data throughput)
- 전체 트래픽 처리율(throughput)

음성 패킷 손실률은 각 음성 단말에서 최대 허용 지연 시간을 초과해서 폐기된 음성 패킷의 수와 발생한 전체 음성 패킷 수의 비를 백분율로 나타낸 것이다. 평균 데이터 패킷 지연 시간은 각 단말의 데이터 패킷이 발생해서 기지국에서 수신되어 처리될 때까지 걸린 시간을 평균한 값이며, 데이터 트래픽 처리율은 전송에 성공한 데이터 패킷 수와 발생한 데이터 패킷 수의 비를 백분율로 나타낸 것이다. 한편, 전체 트래픽 처리율은 전송에 성공한 음성 및 데이터 패킷 수와 발생한 모든 패킷 수의 비를 백분율로 나타낸 것이다.

그림 4부터 그림 11까지는 예약 요청 채널의 수가 12개이며 상향 트래픽 채널이 24개인 경우에 대한 서비스 품질을 나타내고 있다. 그림 4는 음성 단말만 수용했을 경우에 음성 서비스의 품질을 보여주는 것이다. 그림 4로부터 수용 단말의 수가 대략 50개 이하일 때에는 제안하는 프로토콜이 APC보다 우수하며, 반면 50개 이상일 경우에는 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 한 프레임 안에서 구성되는 각 시분할 슬롯을 APC에서는 예약을 통해 전부 음성 트래픽 패킷을 전송할 수 있지만, 제안하는 프로토콜은 전체 시분할 슬롯 중에서 한 슬롯은 반드시 예약 패킷 전송만을 위해 사용하기 때문에 시스템이 과부하 상태에 도달하면 사용할 수 있는 트래픽 채널의 수가 APC에 비해 상대적으로 적기 때문에 나타나는 현상이다. 그러나 0.1%의 최대 패킷 손실

률을 품질 목표로 할 때, 음성 서비스만을 고려하더라도 여전히 제안하는 프로토콜이 기존의 APC 방식보다 용량이 높은 것을 알 수 있다.

그림 5부터 그림 8까지는 음성과 데이터 단말의 수가 동일한 비율(1:1)로 통합되었을 경우에 대한 서비스 품질을 보여준다. 여기서 데이터 단말의 버스트 제어 확률을 각각 $P_1 = 0.15$ 및 $P_2 = 0.25$ 로 설정하여 데이터 트래픽의 발생 특성에 따른 성능을 비교하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 동일한 통합 환경에서 제안하는 프로토콜의 경우가 APC의 경우보다 항상 우수한 품질을 나타내며, 데이터 트래픽의 발생 특성에 관계없이 음성 패킷 손실률을 항상 일정하게 유지함을 알 수 있다. 이는 별도의 예약 요청 채널을 통해 예약 상태에 있는 음성 단말에게 요구 품질 수준에 따라 서비스 우선권을 보장하기 때문이며, 경쟁 방식 및 예약 방식으로 전송되는 패킷의 전송 채널을 분리시켜 구성한 결과이다. 한편, 그림 6에서는 음성 단말의 수와 데이터 단말의 부하가 평균 데이터 패킷 지연 시간에 미치는 영향이 APC에 의해 적은 것을 알 수 있으며, 이는 그림 7에서 제안하는 프로토콜이 보여주는 데이터 처리 성능에 의해 설명될 수 있다. 시스템의 전체 트래픽 처리 능력면에서도 그림 8과 같이 제안하는 프로토콜이 월등히 우수함을 알 수 있다. 즉, 단말들의 서비스 상태를 반영하고 있는 우선권값에 따라 채널을 할당하게 되므로 각 단말의 서비스 품질을 만족시킬 뿐만 아니라 임의의 부하 상태에서도 집중되는 부하를 효과적으로 분산시켜 처리하므로 채널의 효율을 높일 수 있는 것이다.

그림 9부터 그림 11은 음성과 데이터 단말의 비율을 변화시킬 때 음성 및 데이터의 서비스 품질을 나타낸다. 데이터 단말의 수를 10개 단위씩 60부터 80까지 단계별로 고정시키고 음성 단말의 수를 증가 시키면서 각 서비스 품질의 상태를 분석한 것으로, 앞서 얻은 결과에서와 마찬가지로 제안하는 프로토콜이 모든 경우에서 우수한 성능을 보인다. 이를 통해 음성과 데이터를 효과적으로 통합하기 위해서는 경쟁 방식 위주의 접근보다는 각 서비스의 QoS 요구사항을 직접적으로 반영할 수 있는 중앙 집중 방식의 예약 기법이 보다 적합하다는 것을 알 수 있다.

한편, 그림 12는 예약 과정에서 경쟁 방식으로 예약 패킷을 전송할 때 적용되는 예약 가능 최저 우선권값(cut-off priority)의 설정에 따른 음성 패킷의 손실률을 보여주는 것으로 채널의 수와 부슬롯의 수를 달리 설정

해서 얻은 결과들로서, 적절한 범위의 예약 가능 최저 우선권값을 설정함으로써 성능을 보다 향상시킬 수 있음을 알 수 있다. 즉, 예약 가능 최저 우선권값으로 설정할 단말의 순위 n_c 에 따라 손실 정도가 달라진다. 예를 들어 이 값이 너무 커지게 되면 채널 할당 가능성이 낮은 패킷에 의한 불필요한 예약 시도가 발생하여 우선권 설정의 이득이 상대적으로 상쇄되는 한편, 이 값이 너무 작을 경우에는 새로운 패킷이 예약을 시도할 기회가 감소된다. 따라서, 일반적으로 가장 낮은 패킷 손실률을 나타내는 최적의 n_c 가 존재할 수 있음을 그림 12의 예를 통해 알 수 있다. 또한, 예약 가능 최저 우선권값의 설정은 예약 요청 채널의 부슬롯 수가 작을수록 큰 효과를 나타내는 것을 알 수 있다. 결국, 예약 가능 최저 우선권값은 예약 패킷을 전송할 때 발생할 수 있는 다양한 경쟁 상황에서 예약 지연시간을 줄이면서 음성과 데이터가 요구하는 서비스 우선순위를 효과적으로 반영한다고 판단된다.

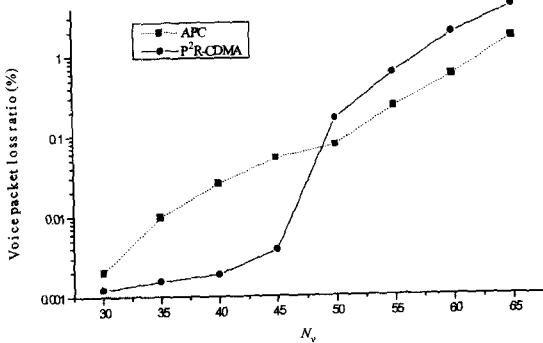


그림 4. 음성 서비스 단말만 수용했을 경우의 음성 패킷 손실률

Fig. 4. Voice packet loss ratio for only voice service.

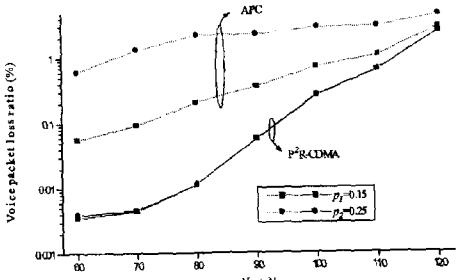


그림 5. 음성 패킷 손실률($N_v : N_d = 1:1$)

Fig. 5. Voice packet loss ratio ($N_v : N_d = 1:1$).

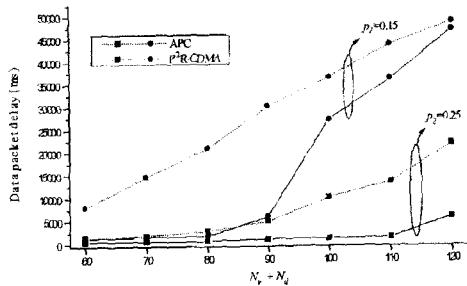


그림 6. 평균 데이터 패킷 지연 시간($N_v : N_d = 1:1$)

Fig. 6. Mean delay of data traffic packet ($N_v : N_d = 1:1$).

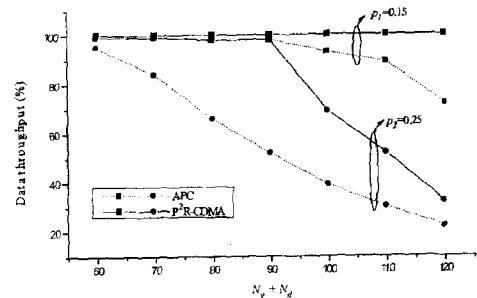


그림 7. 데이터 트래픽 처리율($N_v : N_d = 1:1$)

Fig. 7. Data traffic throughput ($N_v : N_d = 1:1$).

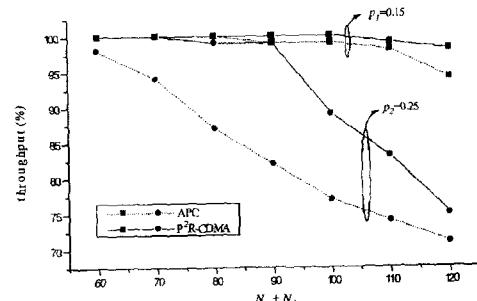


그림 8. 전체 트래픽 처리율($N_v : N_d = 1:1$)

Fig. 8. Total traffic throughput ($N_v : N_d = 1:1$).

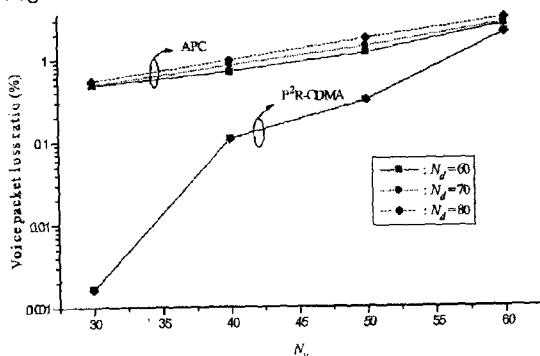


그림 9. 음성 패킷 손실률(데이터 단말의 수: 60, 70, 80)

Fig. 9. Voice packet loss ratio (number of data terminals : 60, 70, 80).

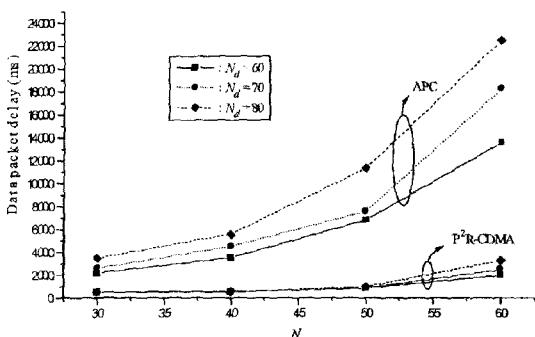


그림 10. 평균 데이터 패킷 지연 시간(데이터 단말의 수: 60, 70, 80)

Fig. 10. Mean delay of data traffic packet (number of data terminals : 60, 70, 80).

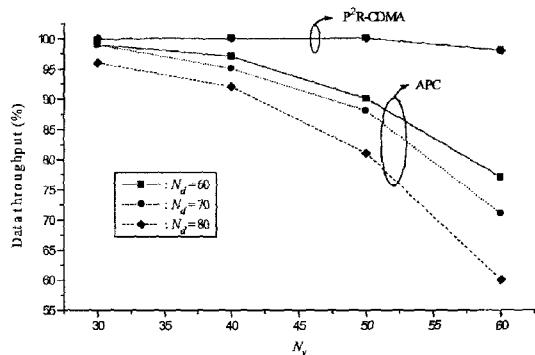


그림 11. 데이터 트래픽 처리율(데이터 단말의 수: 60, 70, 80)

Fig. 11. Data traffic throughput (number of data terminals : 60, 70, 80).

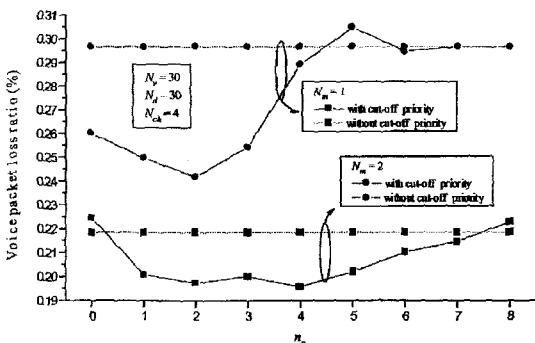


그림 12. 예약 가능 최저 우선권값 설정에 따른 음성 패킷 손실률

Fig. 12. Voice packet loss ratio according to the cut-off priority value.

V. 결론

본 논문에서는 패킷 CDMA 망에서 기지국이 음성 및 데이터 단말들에게 서비스 품질 상태에 따라 변동하는 단말의 우선권값에 따라 중앙 집중 방식으로 상향 링크 트래픽 채널을 할당함으로써 음성/데이터 통합 서비스를 위한 새로운 매체접근제어 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜에서 예약 가능 최저 우선권 설정 방식의 예약과정과 각 단말기의 서비스 우선순위에 따른 채널 할당 방식을 통해 불필요한 채널의 낭비를 줄이면 서도 음성과 데이터의 서비스 품질을 효과적으로 보장해 줄 수 있음을 확인하였다. 즉, 음성과 데이터를 효과적으로 통합하기 위해서는 기존의 경쟁방식 위주의 통합 방안보다는 각 단말의 서비스 상태를 반영하는 중앙 집중방식의 예약 기법이 적합하다고 볼 수 있다.

본 논문이 제안하는 프로토콜은 현재 표준화가 진행되고 있는 IMT-2000 시스템에서 음성과 데이터 서비스를 통합하는데 필요한 매체 접근 제어 기능의 구체적인 구현 형태로서 고려될 수 있다. 또한, 향후 출현하는 멀티미디어 서비스 환경에서는 보다 다양한 형태의 트래픽을 수용할 수 있는 매체 접근 제어 기법이 요구될 것으로 예상된다. 따라서, 본 논문이 제안하는 프로토콜을 근간으로 다양한 전송률 및 서비스 품질을 요구하는 서비스를 통합 지원할 수 있는 방안에 대한 연구가 기대된다. 또한, 경쟁 방식을 근간으로 하는 기존 전송 프로토콜의 성능 향상을 위해 본 논문이 제안하는 예약 가능 최저 우선권 개념을 다양하게 적용할 수 있을 것으로 보이며, 예약 가능 최저 우선권값을 설정하는 부분에서 최적의 설정 방안 및 다양한 전송률과 품질을 요구하는 멀티미디어 서비스 통합 방안을 위해 좀더 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] MAC Ad Hoc, cdma2000 RTT MAC Stage 3 Text, September, 1998.
- [2] Wen-Bin Yang et al., "Admission Policies for Integrated Voice and Data Traffic in CDMA Packet Radio Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, No. 4, pp. 654-664, May. 1994.
- [3] Mohsen Soroushnejad et al., "Multi-Access Strategies for an Integrated Voice/Data CDMA

- Packet Radio Network," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 43, No. 2/3/4, Feb./Mar./Apr., 1995.
- [4] E. Geraniotis et al., "Multi-Media Integration in CDMA Networks", *Proceedings of IEEE ISSTA '94*, pp. 88-97, 1994.
- [5] Kazuo MORI and Koji OGURA, "An Investigation of Permission Probability Control in Reserved/Random CDMA Packet Radio Communications," *Proceedings of PIMRC '97*, pp. 933-937, May, 1997.
- [6] Alex E. Brand et al., "Performance of a Joint CDMA/PRMA Protocol for Mixed Voice/Data Transmission for Third Generation Mobile Communication," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, No. 9, pp. 1698-1707, Dec. 1996.
- [7] Yibin Yang et al., "A Medium Access Control Protocol for Voice and Data Integration in Receiver-Oriented DS-CDMA PCNs," *Proceedings of ICUPC '97*, pp. 38-42, Aug. 1997.
- [8] Mohammad Ali et al., "A Generalized Processor Sharing Approach to Time Scheduling in Hybrid CDMA/TDMA," *Proceedings of IEEE INFOCOM '98*, pp. 1164-1171, Feb., 1998.
- [9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple-access communication-Part I: System analysis," *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.

저자 소개



金鑄鎮(正會員)

1997년 2월 고려대학교 전파공학과 학사. 1999년 2월 고려대학교 전파공학과 석사. 1999년 3월~현재 대우고등기술연구원 연구원. 관심분야 : IMT-2000 시스템, 무선통신모뎀 및 프로토콜



姜忠求(正會員)

1962년 12월 12일생. 1987년 6월 Univ. of California(San Diego), 전자 공학과 학사. 1989년 9월 Univ. of California(Irvine), 전자 및 컴퓨터 공학과 석사. 1993년 3월 Univ. of California(Irvine), 전자 및 컴퓨터 공학과 박사. 1991년 7월~1992년 5월 Aerospace Corp. 연구원. 1993년 4월~2월 Rockwell International 연구원. 1994년 3월~현재 : 고려대학교 전기, 전자, 전파공학부 조교수/부교수. 관심분야 : 광대역 무선 전송 기술 및 매체접근제어 프로토콜 설계/구현, IMT-2000 및 광대역 무선 통신 시스템(무선 ATM, 광대역 무선 LAN, B-WLL)