

論文2001-38TC-10-3

WCDMA 시스템을 위한 안정화된 매체접근제어 프로토콜

(Stabilized MAC Protocol for WCDMA System)

趙成賢 * , 朴成漢 **

(Sung-Hyun Cho and Sung-Han Park)

요약

본 논문에서는 경쟁채널에서 시스템 부하가 큰 경우 수율이 불안정해지는 slotted ALOHA의 문제점을 해결하기 위해 실시간 및 비실시간 서비스 클래스의 특성을 기준으로 액세스 패킷 전송률을 조절하는 안정화된 매체접근제어 프로토콜을 제안한다. 수학적 모델 및 시뮬레이션 결과는 제안하는 프로토콜이 랜덤 액세스 절차에서의 안정적인 수율을 보장함을 보인다.

Abstract

In this paper, we propose stabilized MAC protocol to resolve the bistable problem of the slotted ALOHA. The proposed protocol controls the random access rates according to the characteristics of traffic classes. The mathematical model and the experimental results show that the proposed protocol can guarantee the stable operation of random access procedure.

I. 서론

최근 음성 및 데이터 통합 서비스를 위해 제안되는 MAC 프로토콜들은 대부분 예약기반 자원확보 방식 및 경쟁기반 자원확보 방식을 혼용한다. 대표적인 예로 packet reservation multiple access(PRMA)^[1], dynamic reservation multiple access(DRMA)^[2] 및 hybrid adaptive MAC(HAMAC) 프로토콜^[3] 등을 들 수 있다. 최근에는 서비스 품질 및 수율 관리를 위해 액세스 패킷 재전송 횟수를 제한하는 optimum retransmission cut-off 프로토콜^[4]이 제안되었다. 이와 같은 프로토콜들은 각 서비스 클래스들에 우선 순위를 할당하고 우선 순위가 높은 서비스들에 대해서는 비 경쟁방식을 적용하고 우선 순위가 낮은 서비스들에 대해서는 slotted

ALOHA 기반의 경쟁방식을 적용하여 채널을 할당한다. 그러나 slotted ALOHA는 시스템 부하가 일정 수준 이상 커지면 수율이 급격하게 감소하는 문제점을 지니고 있다^[6]. 최근 발표된 3GPP의 MAC 표준안^[5]에서는 경쟁 채널의 효율을 높이기 위해 random access channel (RACH) 혹은 packet RACH(PRACH) 등과 같은 경쟁 채널에서 액세스 서비스 클래스(access service class : ASC)를 정의하고 있다. 액세스 서비스 클래스는 클래스 식별자 i와 그에 해당되는 전송률 P_i 로 정의되는데 사용자측에서는 P_i 값에 따라 액세스 패킷 전송 확률이 달라진다. 이러한 액세스 서비스 클래스 개념을 랜덤 액세스 절차에 적용함으로써 slotted ALOHA의 문제점을 해결할 수 있으나 3GPP의 표준안에는 액세스 서비스 클래스의 주요 파라메터인 전송률 P_i 값을 설정하는 구체적인 방안이 정의되어 있지 않다. 이에 본 논문에서는 slotted ALOHA의 수율 불안정 문제를 해결하기 위해 3GPP의 MAC 표준안을 바탕으로 액세스 서비스 클래스 별 전송률 P_i 를 설정하는 방안을 포함한 MAC 프로토콜을 제안하고자 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 먼저 2장에서 제안하는 MAC 프로토콜의 절차 및

* 正會員, 삼성綜合技術員

** 正會員, 漢陽大學校 電子 컴퓨터 工學部

※ 이 논문은 1999년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구 되었음.

接受日字: 2001年1月31日, 수정완료일: 2001年9月13日

수율 안정화 방안을 구체적으로 정의한다. 다음 3장에서 제안하는 프로토콜에 대한 수학적 모델에 대하여 해석 한다. 4장에서 모의실험을 통한 제안하는 모델의 성능분석 결과를 제시하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 MAC 프로토콜

제안하는 MAC 프로토콜에서는 먼저 전송 채널 획득 절차를 정의하고 채널 획득 절차의 성능을 좌우하는 랜덤 액세스 절차를 제안하고자 한다. 일반적으로 하향채널의 경우 대역폭이 충분하고 기지국에서 자원관리가 용이하므로 본 논문에서는 상향채널에서의 MAC 프로토콜에 주안을 둔다.

1. 채널 획득 절차

제안하는 프로토콜에서는 다양한 서비스 클래스들을 크게 실시간 서비스와 비실시간 서비스로 구분하고 각각의 서비스 특성에 맞도록 채널 획득 절차를 정의한다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 각 서비스 클래스 별 채널 획득 절차를 나타낸다.

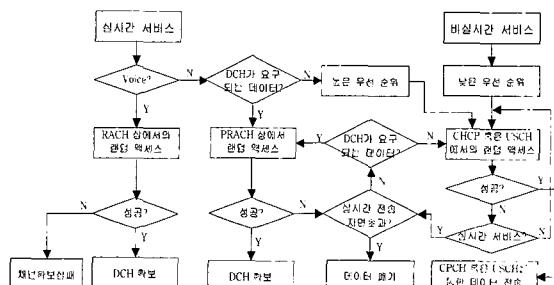
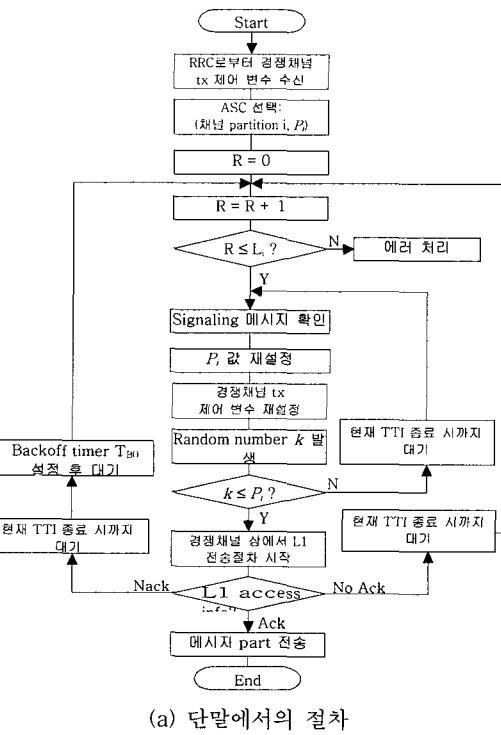


그림 1. 제안하는 채널 획득 절차

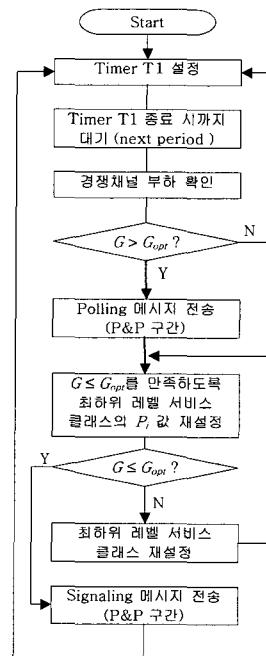
Fig. 1. The proposed channel acquisition procedure.

2. 랜덤 액세스 절차

채널 획득 절차의 성능을 좌우할 수 있는 중요한 요소 중 하나가 랜덤 액세스 절차이다. 특히 slotted ALOHA 프로토콜의 수율은 시스템 부하 G 에 크게 영향을 받으므로 제안하는 프로토콜에서는 G 를 적절한 범위 내로 유지시켜줌으로써 전체적인 시스템 수율을 안정화 시키고자 한다. 그림 2는 RACH, PRACH, common packet channel(CPCH) 혹은 uplink shared channel(USCH) 등과 같은 경쟁채널에서 제안하는 랜덤 액세스 절차를 나타내고 있다. 그림 2(a)와 같이 각 단말은 전송하고자 하는 데이터가 발생하면 기지국으로부터 가장 최근에 수신된 시그널링 정보를 기준으로 P_i 를 재설정하고 이를 기준으로 액세스 패킷의 전송 여부를



(a) 단말에서의 절차



(b) 기지국에서의 절차

그림 2. 제안하는 랜덤 액세스 절차

Fig. 2. The proposed random access procedure.

(365)

결정한다. 반면 기지국은 그림 2(b)와 같이 안정적인 수율을 유지하기 위해 주기적으로 경쟁채널의 G 를 확인한다. 이때 G 가 시스템 수율을 안정적으로 유지할 수 있는 최적의 값인 G_{opt} 를 초과하는 경우 polling 메시지를 보내 현재 해당 채널에 액세스 중인 ASC별 사용자 수를 확인하고 가장 우선 순위가 낮은 클래스들부터 액세스 패킷 전송확률 P_i 를 재설정한다. 액세스 패킷 전송확률 P_i 를 재설정하는 구체적인 방안은 다음과 같다.

하나의 타임 슬롯에서 ASC i에 속하는 사용자들의 새로운 액세스 패킷 생성률 및 액세스 패킷 전송 성공률을 각각 γ_i 와 $P_{success}$ 라 하고 시스템 상에 K개의 ASC가 존재한다고 가정하면 모든 사용자들로부터의 액세스 패킷 전송량의 합 G 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$G = \sum_{i=1}^K \frac{\gamma_i P_i [1 - (1 - P_{success})^{L_i}]}{P_{success}} \quad (1)$$

여기서 L_i 는 액세스 서비스 클래스 i에 속하는 사용자에게 허용되는 최대 액세스 패킷 재전송 수를 나타낸다. 제안하는 랜덤 액세스 절차에서는 G 가 G_{opt} 를 초과하는 경우 우선 순위가 가장 낮은 클래스의 액세스 패킷 전송률을 재설정 함으로써 G 를 원하는 수준으로 유지시킨다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$G = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{\gamma_i P_i [1 - (1 - P_{success})^{L_i}]}{P_{success}} + \frac{\gamma_K P_{K_new} [1 - (1 - P_{success})^{L_K}]}{P_{success}} \quad (2)$$

위 식에서 P_{K_new} 는 우선 순위가 가장 낮은 ASC K의 재설정된 액세스 패킷 전송 확률을 의미한다. 수율 안정화를 위해서는 G 가 G_{opt} 보다 작게 유지되어야 하므로 P_{K_new} 는 다음과 같이 정의된다.

$$P_{K_new} = P_{K_old} - \frac{(G - G_{opt}) P_{success}}{\gamma_K [1 - (1 - P_{success})^{L_K}]} \quad (3)$$

여기서 P_{K_old} 는 재설정 되기 전 ASC K의 액세스 패킷 전송 확률을 의미한다. 식 (3)에서 $G - G_{opt}$ 가 $(\gamma_K P_{K_old} [1 - (1 - P_{success})^{L_K}]) / P_{success}$ 에 비해 큰 경우 P_{K_new} 가 음수가 되므로 이러한 경우에는 P_{K_new} 를 0으로 설정하고 G 가 G_{opt} 보다 작게 될 때까지 다음 번 우선 순위가 낮은 ASC의 P_i 를 재설정하는 과정을 반복하게 된다.

III. 수학적 분석

1. 수학적 모델

수학적 모델에서는 시스템상에 실시간 액세스 서비스 클래스 및 비실시간 액세스 서비스 클래스가 존재한다고 가정한다. 실시간 서비스 사용자들 및 비실시간 서비스 사용자들의 새로운 액세스 패킷 전송률을 λ_n 와 λ_{nr} 라 하고 새로운 액세스 패킷 생성률과 재전송률은 포아송 분포를 따른다고 가정하면 시스템 부하 G 와 수율 S 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{\lambda_n [1 - (1 - P_{success})^{L_n}] + \lambda_{nr} [1 - (1 - P_{success})^{L_{nr}}]}{P_{success}} \quad (4)$$

$$S = G \cdot P_{success} = \lambda_n [1 - (1 - P_{success})^{L_n}] + \lambda_{nr} [1 - (1 - P_{success})^{L_{nr}}] \quad (5)$$

여기서 L_n 및 L_{nr} 는 실시간 및 비실시간 서비스에 허용된 액세스 패킷 최대 재전송 횟수를 의미한다. 제안하는 수학적 모델에서는 capture 효과를 고려하여 성능을 분석하고자 한다. 본 논문에서는 [4]와 동일하게 capture 효과를 정의하며 이때의 패킷 전송 성공 확률 $P_{c_success}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{c_success} = \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z}\right)^{N-1}, \quad 0 \leq n \leq N-1, 0 \leq G \leq N, N > 1 \quad (6)$$

여기서 z 는 capture ratio로써 1보다 크거나 같은 정수 값을 가지며 N 은 시스템 상의 총 사용자 수를 나타낸다. 식 (1)의 정의에 의해 λ_i 는 P_i 와 γ_i 의 곱으로 나타낼 수 있으므로 λ_i 와 G 의 관계를 수학적으로 정의함으로써 안정적인 G 값 유지를 위한 P_i 값을 구할 수 있다. 특히 우선권이 낮은 비실시간 사용자들의 새로운 액세스 패킷 생성률 λ_{nr_c} 는 식 (4)와 (6)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{nr_c} = \frac{G \cdot \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z}\right)^{N-1} - \lambda_{nr_c} \left[1 - \left\{1 - \left(1 - \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z}\right)^{N-1}\right)^{L_n}\right\}^{L_n}\right]}{\left[1 - \left\{1 - \left(1 - \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z}\right)^{N-1}\right)^{L_n}\right\}^{L_{nr}}\right]} \quad (7)$$

실시간 및 비실시간 사용자들이 액세스 패킷 전송에 성공할 때까지 재전송을 시도한다고 가정하면 식 (4), (5), (6), (7)에 의해 capture 효과 하에서의 수율 S_c 는 다음

과 같이 정의할 수 있다.

$$S_C = G \cdot \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z} \right)^{N-1} \quad (8)$$

S_C 를 최대화 시켜주는 최적의 시스템 부하 G_{opt_C} 는 식 (8)을 G 에 대해 미분하여 유도하면 다음과 같이 주어진다.

$$G_{opt_C} = 1 + \frac{1}{z} \quad (9)$$

Capture 효과 하에서의 실시간 데이터의 폐기 확률 R 은 최대 허용 재전송 수만큼의 전송시도 후에도 성공하지 못할 확률을 의미하므로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R_C = \{1 - P_{c_success}\}^{L_n} = \left\{ 1 - \left(1 - \frac{G}{N} \cdot \frac{z}{1+z} \right)^{N-1} \right\}^{L_n} \quad (10)$$

2. 수식에 의한 실험 결과

본 절에서는 앞서 유도한 수학적 모델을 이용한 실험 결과를 논한다. 그림 3은 식 (7)을 이용하여 시스템 부하 G 의 변화에 따른 λ_{nrt_C} 의 변화를 고찰한 실험 결과이다. 실험에서 시스템 상의 사용자 수 N 은 100으로 두며 L_n 과 L_m 는 [4]에 의해 최적의 값으로 알려진 8로 둔다. 또한 capture ratio z 는 10으로 두고 λ_{nrt_C} 의 값은 0.0에서 0.5까지 변화를 준다. 그림에도 잘 나타나 있듯 G 의 값이 10^{-1} 에서 10^1 까지 변화되는 동안 λ_{nrt_C} 의 값 역시 0에서 1.2까지 크게 변화된다. 이는 λ_{nrt_C} 값의 조

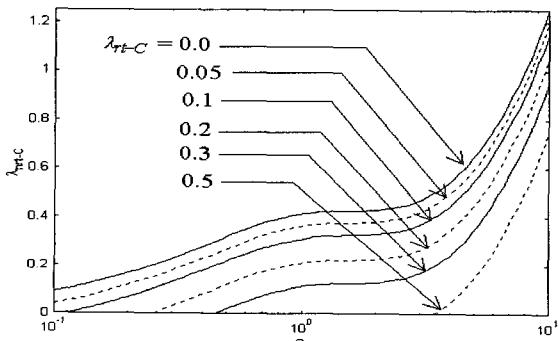


그림 3. G vs. λ_{nrt_C}
Fig. 3. G vs. λ_{nrt_C}

정을 통해 시스템 부하 G 값을 원하는 수준으로 조절할 수 있음을 나타내며 결과적으로 제안하는 수율 안정화 방안이 실제 시스템에서 구현 가능함을 의미한다. 그럼 4는 식 (8)을 통해 G 에 따른 S_C 의 변화를 고찰한 실험 결과이다. 실험에서 시스템 상의 사용자 수 N 은 100으로 설정하고 capture ratio z 는 1, 2, 5, 10, 1000으로 변화를 준다. 실험 결과를 통해 capture ratio z 와 S_C 는 반비례함을 알 수 있다. 또한 capture 효과 하에서의 수율 S_C 는 capture ratio z 값에 의존적이기는 하지만 대체적으로 G 값이 1에서 2 일 때 최대값을 가짐을 알 수 있으며 이는 식 (9)의 결과와도 일치한다.

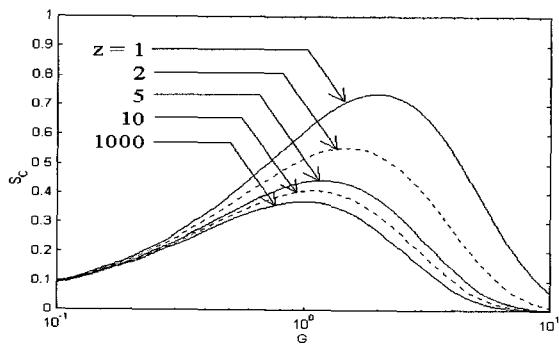


그림 4. G vs. S_C

Fig. 4. G vs. S_C

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 파라메터

본 장에서는 수식에 의존하지 않는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 MAC 프로토콜과 기존의 PRMA 프로토콜 [1] 및 optimum retransmission cut-off 프로토콜 [4]의 성능을 비교 평가한다. 시뮬레이션 도구는

표 1. 시뮬레이션 파라메터

Table 1. Simulation parameters.

Simulation Parameters	Nominal Values
Transmission Time Interval	10 msec
액세스 패킷 크기	1 msec
Access Service Class 종류	4 개
액세스 패킷 생성률 : ASC1, ASC3	25 packets/sec
액세스 패킷 생성률 : ASC2, ASC4	50 packets/sec
각 ASC의 P_i 초기값	1
G_{opt}	1
시스템 상의 사용자 수	2~35
시뮬레이션 시간	300000 msec

SimScript II.5를 사용하여 시뮬레이션을 위한 주요 파라메터 값들은 표 1과 같이 설정한다. 특히 PRMA 프로토콜에 대해서는 액세스 패킷의 최대 재전송 횟수에 제한을 두지 않는 반면 optimum retransmission cut-off 프로토콜과 제안하는 프로토콜에 대해서는 [4]에 의해 액세스 패킷의 최대 재전송 횟수를 8로 설정한다.

2. 시뮬레이션 결과

그림 5는 사용자 수의 변화에 따른 normalized offered load G 와 S 의 변화를 고찰한 시뮬레이션 결과이다. Normalized offered load G 는 액세스 패킷 전송률과 액세스 패킷 크기의 곱을 의미한다. 그림에서도 알 수 있듯 기존의 PRMA 및 optimum retransmission cut-off 프로토콜의 경우 사용자 수의 증가에 따라 G 의 값이 지속적으로 증가한다. Optimum retransmission cut-off 프로토콜은 최대 재전송 횟수를 제한함으로써 기존 PRMA 프로토콜에 비해 G 의 증가율을 어느 정도 감소시킬 수는 있으나 일정한 값 이하로 유지시켜줄 수는 없다. 반면 제안하는 프로토콜의 경우 G 가 G_{opt} 값보다 커지면 제안하는 안정화 방안을 통해 액세스 패킷 전송 확률 값을 변경함으로써 G 를 일정한 값 이하로 유지시켜 줄 수 있다. 시뮬레이션에서는 G_{opt} 를 1로 설정하였기 때문에 제안하는 프로토콜의 경우 사용자 수가 증가하더라도 G 값이 1을 크게 벗어나는 경우가 발생하지 않는다. 그림 5를 통해 G 의 변화에 따른 S 의 변화도 알 수 있다. PRMA 및 optimum retransmission cut-off 프로토콜의 경우 사용자 수가 9명일 때까지는 S 가 증가하지만 사용자 수가 10명이 넘으면 S 값이 감소하기 시작하며 사용자 수가 20명이 넘으면 S 가 0에 가까워진다. 이러한 결과를 보이는 이유는 PRMA 및 optimum retransmission cut-off 프로토콜의 경우 사용자 수가 9명 이하일 경우 G 가 G_{opt} 이하이지만 10명 이상인 경우 G 가 G_{opt} 보다 커지기 때문이다. 반면 제안하는 프로토콜의 경우 사용자 수가 9명 이하일 경우 G 가 G_{opt} 이하의 범위에서 지속적으로 증가하므로 S 도 점차 증가하게 되며 사용자 수가 10명 이상인 경우에도 G 가 G_{opt} 이하의 범위 내에서 유지되므로 S 도 일정한 값을 유지하는 안정적 특성을 보인다. 그림 6은 사용자 수의 변화에 따른 액세스 패킷 폐기율의 변화를 고찰한 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서 PRMA 프로토콜의 경우 최대 액세스 패킷 재전송 횟수에 제한을 두지 않았으므로 액세스 패킷 폐기율은 0이 된다. 반면

optimum retransmission cut-off 프로토콜과 제안하는 프로토콜에서는 ASC에 관계없이 모든 액세스 패킷의 최대 재전송 횟수를 8로 설정했으므로 액세스 패킷 폐기율은 G 값의 영향을 받게 된다. Optimum retransmission cut-off 프로토콜의 경우 G 가 G_{opt} 이하로 유지되는 범위인 사용자 수 9명까지는 액세스 패킷 폐기율이 10^{-2} 이하로 유지되지만 사용자 수가 10명이 넘는 경우 액세스 패킷 폐기율이 거의 1에 가까워 진다. 반면 제안하는 프로토콜의 경우 사용자 수에 관계없이 액세스 패킷 폐기율을 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ 이내로 유지시킬 수 있으므로 보다 안정적인 서비스가 가능함을 알 수 있다.

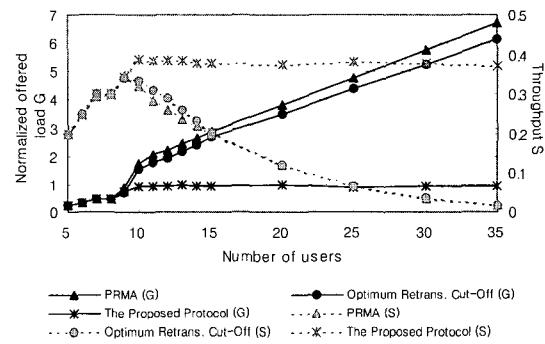


그림 5. N vs. G , S

Fig. 5. N vs. G , S .

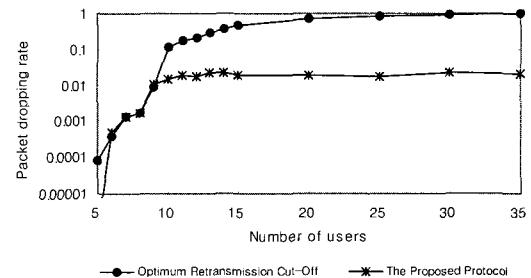


그림 6. N vs. 액세스 패킷 폐기율

Fig. 6. N vs. Access packet dropping rate.

V. 결 론

본 논문에서는 음성 및 데이터 서비스를 모두 지원하는 차세대 이동망에서 안정적인 수율을 보장할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜에서는 다양한 서비스들에 대해 차별화 된 우선권을 부여하고 시스템 부하가 기준치 이상으로 증가하는 경우 우선권

이 낮은 서비스의 액세스 패킷 전송률을 우선적으로 감소시킴으로써 수율을 안정적으로 유지시킨다. 수학적 모델 및 시뮬레이션 결과는 경쟁 채널에서의 랜덤 액세스 절차에 제안하는 프로토콜을 적용할 경우 안정적 수율 보장이 가능함을 보인다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 차세대 이동망의 MAC 계층에서 활용될 수 있으리라 기대되며 향후 다양한 데이터 서비스를 위한 패킷 스케줄러와 관련된 추가 연구가 요구된다.

참 고 문 현

- [1] D. Goodman, R. Valenzuela, K. Gayliard, and B. Ramamurthy, "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. on Communications*, vol. 37, no. 39, Aug. 1989, pp. 885~890.
- [2] X. Qiu and V. Li, "Dynamic Reservation Multiple Access(DRMA) : A New Multiple Access Scheme for Personal Communication

System (PCS)," *Wireless Networks*, vol. 2, 1996, pp. 117~128.

- [3] L. Wang and M. Hamdi, "A Hybrid Adaptive Wireless Channel Access Protocol for Multimedia Personal Communication Systems," *Wireless Personal Communications*, vol. 13, May, 2000, pp. 79~96.
- [4] J. Sarker and S. Halme, "An Optimum Retransmission Cut-Off Scheme for Slotted ALOHA," *Wireless Personal Communications*, vol. 13, pp. 185~202, May 2000.
- [5] 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group RAN, "MAC protocol specification," 3G TS 25.321 v3.4.0, June 2000.
- [6] A. Carleial and M. Hellman, "Bistable Behavior of ALOHA-Type Systems," *IEEE Trans. on Communications*, vol. COM-23, no. 4, 1975, pp. 401~410.

저 자 소 개



趙成賢(正會員)

1995. 2. : 한양대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1997. 2. : 한양대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학석사). 2001. 8. : 한양대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사). 2001. 9. ~ 현재 : 삼성종합기술원 I-Networking Lab. 전문연구원. <주관심분야> 4G 시스템, 무선 데이터 서비스, 멀티미디어 통신



朴成漢(正會員)

1970. 2. : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1973. 8. : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1984. 5. : 텍사스 주립대학 전기 및 전자공학과 졸업(Ph. D.). 1984. 8~1986. 2. : 금성사 중앙 연구소 수석 연구원. 1995. 3~1997. 2. : 한양대학교 공학대학 학장. 1986. 3~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수. <주관심분야> 멀티미디어 통신, 컴퓨터 비전