동적 TDMA/TDD 프레임과 활성 단말의 개수 예측을 이용한 무선 멀티미디어 매체접근제어 프로토콜

박준호, 조영종
아주대학교 정보및컴퓨터공학부

A New MAC Protocol for Multimedia Wireless Networks Using Dynamic TDMA/TDD Frame and Eestimation of the Number of Active Mobiles

Joon-Ho Park, Young-Jong Cho
Division of Information and Computer Engineering, Ajou University

요 약

본 논문에서 제안하는 매체접근제어 프로토콜은 활성 단말의 개수를 통계적 특성에 의하여 예측하고 이를 상향 요구 슬롯의 액세스 확률에 적용하여 요구슬롯의 수율(Throughput)을 높이도록 하였으며, 단말에게 슬롯을 할당하는 방식으로 고정 할당법과 동적 할당법을 동시에 사용하였다. 고정 할당법은 모든 단말에게 최소한 제공될 수 있는 서비스 품질(QoS Quality of Service)을 보장하는 방식이며 동적 할당법은 음성 단말에 대하여 버퍼의 상태에 따라 지정된 서비스품질을 제공하기 위하여 각 단말에게 동적으로 슬롯을 할당하는 방법이다. 제안된 프로토콜에 대해 시뮬레이션을 통하여 음성 및 데이터 단말의 수율과 패킷 전송 지연을 구하고 음성 단말의 패킷 손실률을 분석하여 동적할당법의 효율에 대하여 알아본다.

1. 서 론

멀티미디어 무선 데이터망을 위한 매체접근제어 프로토콜은 하향 링크에서 각 단말로의 통계적 다중화를 제공하며 상향링크에서 각 단말들의 다중 액세스를 제공한다. 따라서 매체접근제어 프로토콜은 시스템의 효율성을 결정 짓는 중요한 변수로 작용한다[1].

본 논문에서 제안하는 매체접근제어 프로토콜은 멀티플렉싱의 용이성과 단말 구조의 단순화를 위하여 TDMA/TDD(Time Division Multiple Access/Time Division Duplexing) 방식을 이용한 프레임 구조를 채택하였다[1][2]. 본 논문에서 제안하는 매체접근제어 프로토콜은 활성 단말의 개수를 통계적 특성에 의하여 예측하고 이를 상향 요구슬롯의 액세스 확률에 적용하여 상향 요구 슬롯의 수율을 높이도록 하였으며, 단말에게 슬롯을 할당함에 있어서는 고정 슬롯 할당법과 동적 슬롯 할당법을 동시에 사용하였다. 고정 슬롯 할당법은 모든 단말에게 최소한의 서비스 품질을 보장하는 방식이며, 동적 슬롯 할당법은 음성 단말에 대하여 버퍼의 상태에 따라 지정된 서비스 품질을 보장하기 위하여 각 단말에게 동적으로 슬롯을 할당하는 방법이다. 본 논문의 순서는 다음과 같다.

2장에서는 동적 자원 할당에 근거한 TDMA/TDD 프레임의 구조와 활성 단말 예측 알고리즘, 프로토콜의 동작에 대하여 설명하고 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안하는 프로토콜의 성능을 분석하며 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 제안된 무선멀티미디어 매체접근제어 프로토콜

2.1 동적 TDMA/TDD 프레임의 구조

* 본 논문은 한국과학재단 지원(과제번호: 97-0100-1401-5)에 의해 수행되었음

무선 멀티미디어 서비스를 위한 매체접근제어 프로토콜은 무선 링크 사용의 효율성을 위하여 상향으로의 높은 수율을 제공하여야 하며 음성 서비스나 지연에 민감한 응용 서비스를 위하여 낮은 지연 요구사항을 만족하여야 한다.

매체접근제어 프로토콜에서 사용하는 프레임의 구조는 하향 링크에서 효율적인 통계적 다중화가 가능하여야 하며 동시에 상향 링크에서는 수율과 지연 측면에서 효율적인 데이터 전송이 가능하여야 한다. 따라서 단말의 구조를 간단히 할 수 있으면서 효율적인 매체접근제어 알고리즘을 설계하기 위한 프레임의 구조로서 TDMA/TDD를 고려할 수 있다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 프레임의 구조를 나타낸 것이다.

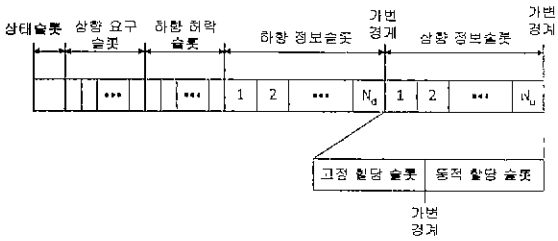

그림 1 TDMA/TDD 프레임의 구조

TDMA/TDD 프레임은 가변 주기를 가지며 하나의 주기동안 상·하향 제어정보의 전송과 상·하향 데이터의 전송이 이루어진다. 각 프레임은 프레임의 상태정보를 나타내는 상태 슬롯으로 시작하여 하향 데이터 전송을 마치고 한 주기를 끝낸다. 다음은 각 필드의 설명을 나타낸 것이다.

상태 슬롯은 기지국에서 모든 단말에게 제어정보를 방송하기 위하여 하나의 슬롯으로 이루어진 채널로서 상향 요구 슬롯을 위한 데이터 단말의 액세스 확률 정보와 프레임 동기를 위하여 상·하향 정보 슬롯의 개수 정보를 담고 있다. 또한 상·하향 정보 슬롯은 가변 크기를 가지므로 단말이 이전 프레임에서 예약하여 사용하던 슬롯의 위치가 변경될 수 있다. 따라서 이전 프레임에서 변경된 슬롯의 비트맵을 전송함으로써 단말들에게 사용할 슬롯을 변경할 수 있도록 한다. 그림 2는 상태 슬롯을 통하여 전송되는 비트맵의 생성 방식을 나타낸 것이다. 그림 2에서 N번째 상향 정보 슬롯에서 사용하던 슬롯 중에서 3번째와 6번째 슬롯을 사용하던 단말이 예약을 해제하였으므로 4번째 이후의 슬롯을 사용하는 단말들은 사용할 슬롯을 바꾸어야 한다. 기지국에서는 비트맵(00100100)을 전송하면 4번째와 5번째 슬롯을 사용하던 단말은 각각 3번째와 4번째를 사용하게 되고 7번째와 8번째 슬롯을 사용하던 단말들은 각각 5번째와 6번째 슬롯을 사용하여 슬롯 동기를 맞출 수 있다.

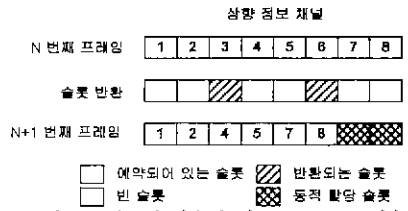

그림 2 비트맵 전송의 예 : 00100100 전송

상향 요구 슬롯은 패킷을 전송하고자 하는 모든 단말이 슬롯예약을 위해서 사용하는 채널로서 slotted ALOHA방식[3]으로 동작한다. 이때 각 단말은 상태 슬롯으로부터 얻은 액세스 확률에 근거하여 전송을 하며, 단말의 고유 식별자(MID.Mobile Identifier)를 전송하여 예약을 한다.

하향 허락 슬롯은 예약을 마치고 정보슬롯을 이용하여 데이터 또는 음성 패킷을 전송하기 위하여 기지국에서 해당 단말에게 전송 허락 정보를 전송하기 위해 사용되는 채널이다. 또한 기지국에서 단말에게 전송되는 패킷을 해당 단말이 올바르게 수신할 수 있도록 슬롯 정보를 전송하는 채널이다. 음성 단말의 경우 자원 예약이 된 후 첫 번째 패킷에 대해서만 폴링을 하고 데이터 패킷에 함께 전송되는 (piggyback) 단말의 버퍼 상태 정보에 따라 동적 슬롯 할당에 의한 부가적인 슬롯 할당을 위하여 폴링 될 수도 있다.

하향 정보 슬롯은 기지국에서 각 단말에게 패킷을 전송하기 위하여 사용되는 채널이다.

상향 정보 슬롯은 전송허가를 얻은 단말 또는 예약되어 있는 음성 단말이 패킷을 전송하기 위하여 사용하는 채널이다. 슬롯을 예약하여 사용하고 있는 단말들은 단말의 전송 버퍼를 체크하여 버퍼 상태 정보를 데이터와 함께 전송한다. 즉, 버퍼가 비어 있을 경우 예약을 해제하도록 하는 정보를 전송하고 버퍼가 비어 있지 않을 경우 계속해서 슬롯을 사용할 것이라는 정보를 함께 전송한다.

2.2 활성 단말의 개수 예측

무선 데이터망과 위성통신을 위하여 고전적으로 사용되어 온 slotted ALOHA의 최고 수율은 e^{-1}이고 부하가 높거나 낮을 경우 이보다 낮은 수율을 갖는다. 그러나 이전 프레임에서 단말이 액세스하는 통계적 자료를 이용하여 활성 단말의 개수를 예측하고 이에 따라 각 단말의 액세스 확률을 제어함으로서 항상 최고의 수율인 e^{-1}을 유지 할 수 있다[4] 만약 n개의 활성 단말이 있을 때 하나의 슬롯에서 패킷 전송에 성공할 확률, $p_s(n,p)$는 식 (1)과 같다.

$$p_s(n,p) = np(1-p)^{n-1}. \quad (1)$$

단말의 액세스 확률, p가 $1/n$이고 n이 무한히 클 경우 $p_s(n,p)$값은 최대값을 기진다 식 (1)을 이용하여 n은 p_s를 조건부로하여 첫 번째 전송에 성공할 확률, p_{fts}에 대한 식으로 나타내고, p_{fts}는 통계적으로 측정하면 활성 단말의 개수, n을 구할 수 있다[5]. 그림 3은 단말의 개수를 예측하는 알고리즘이다. p_s^{est}와 p_f^{est}는 각각 이전 프레임에서 전송에 성공할 확률과 첫 번째 전송에 성공할 확률을 통계적으로 얻어 낸 값이다. p_{fts}^{est}는 p_s^{est}와 p_f^{est}를 통하여 계산한 조건부 확률이며, $p_{s,\min}$은 패킷을 전송할 때 성공할 최소 기대 확률이고, $p_{fts,sup}(n)$은 p_{fts}의 최소값이다.

Given current estimate n(k)
/ Compute p_s, p_f, and p_{fts} estimates for this cycle * /*

$$p_s^{est} = \frac{1}{w}\sum_{j=1}^{w} p_{s\,sample}(j)$$

$$p_f^{est} = \frac{1}{w}\sum_{j=1}^{w} p_{f,sample}(j)$$

if $(p_s^{est} > 0)$
then $p_{fts}^{est} = p_f^{est} / p_s^{est}$
else $p_{fts}^{est} = 0$

/ Update estimate, n(k+1) * /*
if $(p_s^{est} < p_{s,\min}(n(k)))$ *then* {
if $(p_{fts}^{est} < p_{fts\,sup}(n(k)))$
then $n(k+1) = n(k)+1$
else $n(k+1) = n(k) - 1$
}

그림 3. 예측 알고리즘을 위한 pseudo-code

2.3 프로토콜의 동작

기지국은 매 프레임이 시작할 때, 각 단말이 상향 요구 슬롯에서 사용할 액세스 확률과 상·하향 정보슬롯에 관한 정보를 전송하기 위하여 상태 슬롯을 생성한다.

데이터 단말은 패킷을 전송할 때마다 상향 요구 슬롯을 이용하여 슬롯 요구 패킷을 전송하고 하향 허락 슬롯으로부터 기지국의 응답이 있을 경우 실제 데이터 패킷을 지정된 상향 정보 슬롯으로 전송한다

음성 단말은 발성구간(talkspurt)동안 슬롯의 예약을 위하여 상향 요구 슬롯을 통하여 슬롯 요구 패킷을 전송하고 기지국으로부터 응답이 있을 경우 실제 데이터 패킷을 지정된 상향 정보 슬롯으로 전송한다. 또한 데이터를 전송할 때에는 하나의 비트로 단말의 버퍼 상태를 나타내는 정보를 함께 전송하여 다음 주기에서도 예약을 하여 슬롯요구 없이 채널을 사용할 수 있도록 한다. 기지국에서는 상향 요구 슬롯의 통계적 수치를 이용하여 다음 프레임에서 액세스하려는 활성 단말의 개수를 예측한다. 상향 요구 슬롯을 통하여 전송에 성공한 단말의 개수는 예약된 단말의 개수와 함께 식 (2)와 같이 상향 정보 슬롯의 개수, 즉 N_u를 결정하는데 사용된다

$$N_u = \max\{\min\{N_{u\,max}, N_c + N_r\}, N_r\}. \quad (2)$$

$N_{u,max}$는 프레임 주기를 결정하기 때문에 지연 요구사항에 영향을 주지 않는 범위 내에서 결정해야 한다. N_c와 N_r은 각각 현재 프레임에서 상향 요구 슬롯을 통하여 패킷전송에 성공한 데이터 또는 음성 단말의 개수와 이미 예약되어 있는 단말의 개수를 의미한다. 기지국에서는 하향 허락 슬롯을 이용하여 상향 정보 슬롯을 사용할 단말들에게 허가 패킷들을 방송한다. 이와 마찬가지로 하향 정보 슬롯의 개수, N_d는 식 (3) 과 같이 결정한다.

$$N_d = \min\{N_{d\,max},\ \text{전송할 패킷의 개수}\}. \quad (3)$$

최대 하향 정보 슬롯의 개수, $N_{d,max}$는 프레임 주기를 결정하기 때문에 $N_{u,max}$와 같은 방법으로 식 (3)과 같이 정의한다. 또한 하향 데이터를 전송하는 경우 지연에 민감한 음성 단말에게 높은 우선 순위를 부여하여 먼저 전송 되도록 한다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 프로토콜의 시뮬레이션은 음성 단말과 데이터 단말의 가능한 모든 비율에 대하여 평균을 취하였으며, 상향 채널의 용량은 2 Mbps, 데이터 단말과 음성 단말은 각각 10 kbps, 32 kbps를 사용한다고 가정하였다. 그림 4는 고정 슬롯 할당과 동적 슬롯 할당을 수율면에서 비교한 그림이다. 단말의 개수가 많을 경우에는 비슷한 수율을 가지지만 적을 경우에서는 동적할당을 사용하는 것이 더 효율적이다. 그림 5는 단말의 패킷 전송지연 평균을 측정한 결과이다. 마찬가지로 동적할당을 사용하는 것이 단말의 개수의 증가에 대해 안정적이다. 그림 6은 데이터 단말과 음성 단말이 혼합되어 있는 시스템에서 음성 단말의 패킷 손실률을 측정한 결과이다. 시뮬레이션에서 사용한 음성 패킷의 최대 지연 시간은 20 ms으로 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 무선 멀티미디어 시스템을 위한 효율적인 매체접근제어 프로토콜을 제안하였으며, 단말에게 슬롯을 할당하는 방법으로서 고정 슬롯 할당법과 동적 슬롯 할당법을 가변 경계 프레임 구조에 도입하였다. 또한 기지국에서 방송되는 전송 허락 슬롯의 소형화를 이용하여 각 단말이 자율적으로 슬롯 동기를 맞출 수 있도록 상태 슬롯에서 비트맵을 사용하였다.

시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 매체접근제어 프로토콜의 성능을 수율과 접속 지연 그리고 음성 단말의 패킷 손실률 측면에서 살펴보았다. 또한, 가변 경계 프레임 구조에서는 동적 슬롯 할당법과 고정 슬롯 할당법을 병행하여 사용하는 것이 보다 나은 성능을 보임을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

[1] Dipankar Raychaudhuri, Newman D. Wilson, "ATM-based Transport Architecture for multiservices Wireless personal communications networks", *IEEE JSAC*, Vol.12, No.8, October 1992.

[2] Kayama H, et al, "A Multi-slot Access Protocol for TDMA-TDD Packet Radio Channel-Application to PHS Packet Data System", *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E81-B No 5, May 1998.

[3] D.G.Jeong and W.S.Jeon, "Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-AlOHA protocoal in Local Wireless Environment", *IEEE Transactions on Vehicular Technology* ,Vol. 44 No. 3, August 1995.

[4] Dimitri Bertsekas, Robert Gallager, *Data Networks*, Prentice-hall, pp217-219, 1987.

[5] Richard O. Lamaire and Arvind Krishna, "On the Use of Feedback Information to Increase Throughput in Multiple Access Radio Systems", *in Proc IEEE ICUPC'97*

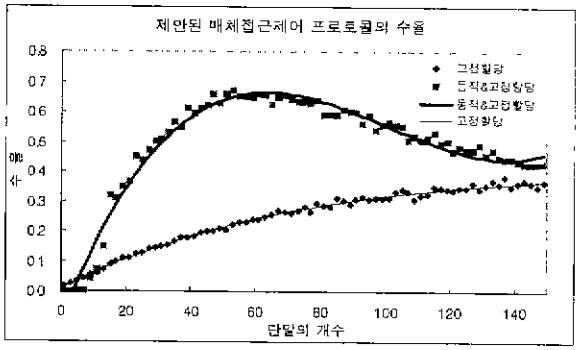

그림 4. 제안된 매체접근제어 프로토콜의 수율

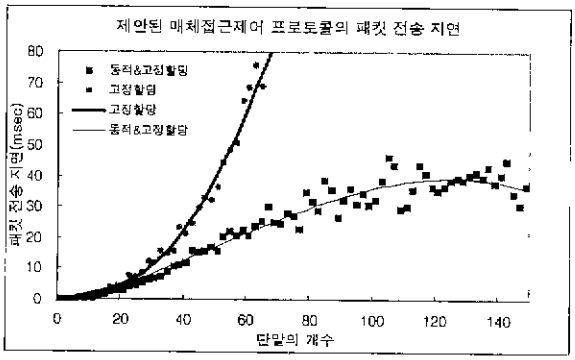

그림 5. 제안된 매체접근제어 프로토콜의 패킷 전송 지연

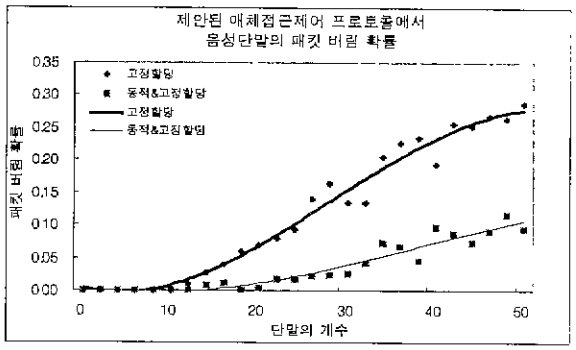

그림 6 제안된 매체접근제어 프로토콜에서
음성 단말의 패킷 버림 확률