

WiMAX 시스템에서 QoS에 기반한 Multi-Class 스케줄러

논문

59-4-25

QoS aware Multi-class scheduler in WiMAX System

이주현* · 박형근†

(Juhyeon Lee · Hyung-Kun Park)

Abstract - Mobile WiMAX system provides various classes of traffic such as real-time and non-realtime services. These services have different QoS requirements and the QoS aware scheduling has been an important issue. Although many of scheduling algorithms for various services in OFDMA system have been proposed, it is needed to be modified to be applied to Mobile WiMAX system. Since Mobile WiMAX supports five kinds of service classes, it is important to take QoS characteristics of each class into consideration. In this paper, we propose an efficient packet scheduling algorithm to support QoS of each class. Proposed scheme selects a service class first considering QoS Characteristics of each class and choose an appropriate user in the selected class. Simulation results show that the proposed algorithm has better performance than the other algorithm.

Key Words : WiMAX, Scheduling, QoS, Service class

1. 서론

Mobile WiMAX는 IEEE 802.16 표준을 기반으로 하는 원거리 무선 접속을 제공하는 통신 기술로써, 데이터, 음성 및 비디오 등 다양한 실시간 및 비실시간 서비스를 지원하고 있다. 이러한 WiMAX 시스템의 효율적인 서비스 지원을 위해서는 각 클래스별 QoS(Quality of Service)를 고려하여 자원을 할당하는 것이 중요하다. 한편 IEEE 표준에서는 QoS를 보장할 수 있는 스케줄러의 세부적인 디자인이 정의되어 있지 않고 설계자나 서비스 제공자의 몫으로 남아있다[1].

지금까지 OFDMA 시스템에서 QoS를 제공하는 패킷 스케줄링 기법이 많이 제안되었다. [2]에서 소개된 UEPS의 경우 time utility function을 urgency factor로 사용하였다. 이 방식에서는 실시간 패킷의 utility function이 deadline에 근접하지 않을 경우 비실시간 또는 BE 패킷이 더 높은 우선권을 가지게 되는데 이는 항상 효율적이지는 않다. [3]에서 제안한 방식은 delay factor로써 큐에 있는 모든 패킷의 대기시간의 합을 고려하고, 패킷 대기시간을 프레임 주기가 아닌 부채널 할당 시 마다 갱신함으로써 대기시간 계산의 정확도를 높였으나, 대기시간의 계산량 증가로 스케줄러의 계산량이 많아져 펄세임안에 빠르게 동작해야 하는 WiMAX 스케줄러에 비효율적이다. 또한 앞서 말한 2가지 방식에서는 실시간과 비실시간의 2가지 종류의 서비스만을 고려함으로써 5가지 종류의 서비스 클래스를 지원하는 WiMAX 시스

템에는 적합하지 않다. [4]에서는 OFDMA 시스템에서 다중 서비스 지원을 위한 스케줄러 구조를 제안하였다. 여기서 제안한 구조에 따르면 상위 클래스 큐에 항상 패킷이 있을 경우 하위 클래스에는 자원 할당의 기회가 거의 없게 된다는 문제점이 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 joint 알고리즘을 함께 제시하였지만, 이 경우에도 각 클래스별 QoS 특징을 고려하지는 않았다.

따라서 본 논문에서는 Mobile WiMAX 시스템에서 제공하는 각 서비스들의 QoS 조건을 고려하여 다양한 서비스들을 효율적으로 제공하는 스케줄링 기법을 제안하고 시뮬레이션 결과를 통해 성능을 분석하였다.

2. 서비스 클래스

WiMAX 시스템에서는 아래와 같이 5가지 서비스 클래스들을 제공한다. 각 서비스 클래스별 특징은 아래와 같다.[1]

- UGS(The unsolicited grant service): 주기적으로 발생하는 고정된 크기의 데이터 패킷의 형태를 가진 실시간 서비스 플로우를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.
- rtPS(The real-time polling services): 주기적으로 발생하는 가변적인 크기의 데이터 패킷의 형태를 가진 실시간 서비스 플로우를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.
- ertPS(The extended real-time polling service): UGS 및 rtPS의 효율성을 증대하기 위해 IEEE 802.16e에서 추가된 클래스로, 이 경우 해당 MS(Mobile station)에 주기적으로 UL 슬롯이 할당되고, MS에서는 이를 데이터 전송 혹은 추가적인 대역폭 요구를 위해 사용할 수 있다.
- nrtPS(The non-real-time polling services): 최소 요구 데이터율을 가진 가변적인 크기의 패킷을 생성하고, 지연시

* 정회원 : 한국기술교육대학 전기전자공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 한국기술교육대학 전기전자공학과 부교수

E-mail : hkpark@kut.ac.kr

접수일자 : 2010년 1월 14일

최종완료 : 2010년 3월 15일

간에 민감하지 않은 비실시간 서비스를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.

- BE(The best-effort service): QoS 제공이 거의 없는 클래스로써, 다른 스케줄링 서비스 클래스에서 사용하지 않는 잉여 자원이 있을 경우에 자원이 할당되는 서비스 클래스이다.

3. QoS기반 멀티클래스 스케줄러

본 논문에서는 WiMAX 시스템의 QoS 특성에 부합하는 멀티클래스 스케줄러를 제안하고자 한다. 제안된 스케줄링 기법은 가장 먼저 각 클래스별 QoS 요구사항을 고려하여 서비스 클래스를 선택한 후, 선택한 클래스 내의 사용자 중 채널 및 QoS 요소를 고려하여 가장 우선순위가 높은 사용자를 최종적으로 선택한다.

3.1 서비스 클래스 선택

첫 번째 단계로 스케줄러는 매 스케줄링 구간마다 스케줄링 할 서비스 클래스를 선택한다. 이때 각 서비스 클래스별로 다른 QoS 요구사항을 고려하여 결정하기 위해, 각 클래스별 파라미터를 참조하여 특정 조건을 만족하는 클래스를 선택한다.

먼저 실시간 클래스에 속하는 UGS, rtPS, ertPS에 대하여 긴급도 정도를 나타내는 U 를 클래스 파라미터로 정의하였다. 각 클래스의 U 값은 클래스별 최대 허용 대기시간 및 각 클래스 내 HOL(Head-of-line) 패킷 중 최대 대기시간 값을 가지는 패킷의 대기시간 값으로 결정되며 아래와 같다.

$$U_{UGS} = MD_{UGS} - \max(WT(j \in UGS)) \quad (1)$$

$$U_{rtPS} = MD_{rtPS} - \max(WT(j \in rtPS)) \quad (2)$$

$$U_{ertPS} = MD_{ertPS} - \max(WT(j \in ertPS)) \quad (3)$$

$$U = \min(U_{UGS}, U_{rtPS}, U_{ertPS}) \quad (4)$$

여기서 클래스별 MD_{class} 는 해당 클래스의 최대 허용 대기시간을 나타내며, $WT(j \in class)$ 는 해당 클래스 내 사용자 j 의 HOL 패킷 대기시간을 나타낸다. 예를 들면 MD_{UGS} 는 UGS 클래스의 최대 허용 대기시간을 나타내며, $\max(WT(j \in rtPS))$ 는 rtPS 클래스 큐에 있는 각 사용자들의 패킷 중 가장 HOL 패킷 대기시간이 큰 사용자 j 의 HOL 대기시간 값을 의미한다.

비실시간 클래스인 nrtPS는 지연시간에 민감하지 않은 대신 QoS 요구사항으로 최소 요구 데이터율(Minimum Reserved Rate) 조건이 있다. 따라서 nrtPS의 클래스 파라미터 R 은 최소 요구 데이터율에 대한 평균 전송 데이터율의 비율로 결정되며 아래와 같다.

$$R = \max(AR(j \in nrtPS)/MR) \quad (5)$$

여기서 MR 는 nrtPS 클래스의 최소 요구 데이터율을 의미하며, $AR(j)$ 는 사용자 j 의 평균 전송 데이터율을 의미한다.

마지막으로 BE 클래스의 경우 QoS 요구사항은 없지만, 큐의 길이 제한을 감안하여 현재 큐의 상태를 나타내는 Q 를 클래스 파라미터로 사용하였다.

$$Q = \max(QL(j \in BE)/MQL) \quad (6)$$

여기서 MQL 은 전체 큐 길이, $QL(j)$ 는 BE 클래스 사용자 j 의 현재 큐 길이를 나타낸다.

제안한 알고리즘에서는 추가적으로 실시간 클래스들의 긴급도에 대한 임계값 x 를 정의하였다. 여기서 비실시간 클래스 및 BE 클래스는 실시간 클래스들의 긴급도 U 가 임계값 x 보다 클 경우에만 선택이 가능하다. 제안한 클래스 선택 알고리즘을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

```

At each scheduling instance {
  while (number of subchannel > 0) {
    for every user j {
      update U, R, Q, QL(j)

      if ( QL(j ∈ UGS, rtPS, ertPS, nrtPS) <= 0 )
        selected_class = BE class
      else if ( R < 1 && U > x )
        selected_class = nrtPS class
      else if ( Q = 1 && U > x )
        selected_class = BE class
      else
        selected_class = class of U

    user selection
    subchannel allocation }
  }

```

그림 1 클래스 선택 알고리즘

Fig. 1 Class selection algorithm

3.2 최종 사용자 선택

첫 번째 단계에서 적절한 클래스를 선택한 후, 선택된 서비스 클래스에서 그림 2와 같은 과정을 통해 최종 사용자를 선택한다.

```

At each user selection {
  for every user j {
    update C(j), AC(j), AR(j), WT(j)

  switch( selected_class )
  case UGS
    for j ∈ UGS {
      selected_user = arg max_j(C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_UGS)
    }
  case rtPS
    for j ∈ rtPS {
      selected_user = arg max_j(C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_rtPS)
    }
  case ertPS
    for j ∈ ertPS {
      selected_user = arg max_j(C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_ertPS)
    }
  case nrtPS
    for j ∈ nrtPS {
      selected_user = arg max_j(C(j)/AC(j)*MR/AR(j))
    }
  case BE
    for j ∈ BE {
      selected_user = arg max_j(C(j)/AR(j))
    }

  subchannel allocation }
}

```

그림 2 사용자 선택 과정

Fig. 2 User selection procedure

여기서 j 를 사용자라고 할 때, $C(j)$ 는 사용자 j 의 현재 채널 상태(bits), $AC(j)$ 는 사용자 j 의 평균 채널 상태(bits)를 의미한다.

먼저 UGS, rtPS 및 ertPS의 경우 실시간 서비스 클래스로써 최대 허용 지연 시간 제한이 있다. 따라서 제안하는 기법에서는 기존의 방식 중 지연시간 및 채널상태를 동시에 고려하여 효율적으로 QoS를 제공하는 MLWDF[5] 방식을 변형하여 사용하였다. nrtPS의 경우 비실시간 서비스 클래스로서 최소 요구 데이터율 제한이 있으므로, 채널 상태 및 평균 전송 데이터율에 대한 최소 요구 데이터율을 바탕으로 우선순위를 결정하였다. 마지막으로 Be 클래스인 BE 클래스의 경우 QoS 요구조건은 까다롭지 않은 반면 사용자간의 공평한 자원 할당이 중요하므로 기존의 스케줄링 방식인 PF[6] 방식으로 우선순위를 결정하였다.

4. 성능분석 및 결과

시뮬레이션을 위해 하나의 hexagonal cells 안에서 균등하게 분포된 모바일 사용자들을 가정하였다. 채널 모델은 mobility 60km/h, path loss exponent 4의 Rayleigh fading 채널을 가정하고, 대역폭 10MHz, 부반송파수 1024개의 IEEE 802.16e 시스템 모델을 바탕으로 하였다. 해당 시스템의 프레임 길이는 5ms, 하향 링크를 위해 심볼 개수는 총 24개로 한 프레임은 인접한 부반송파로 구성된 24개의 AMC 부채널로 이루어져 있으며 총 10,000개 프레임 구간을 시뮬레이션 하였다. 실시간 발생 트래픽으로는 Interactive Gaming, Streaming Media, VoIP 등이며, 각 트래픽의 최대 지연시간은 25ms, 150ms, 40ms 이다. 비실시간 발생 트래픽은 WWW를 사용하였으며, 최소 요구 데이터율은 250kbps이다. BE 패킷은 e-mail 트래픽을 사용하였으며 최대 30 패킷까지 큐에 대기할 수 있다.

그림 3은 각 클래스별 사용자 수를 5에서 50까지 같은 비율로 증가시켰을 때의 전체 시스템의 평균 수율을 기존에 제안한 방식중의 하나인 Multiclass MLWDF 방식과 비교해본 것이다. 그림을 봤을 때 처음에는 두 가지 방식의 성능에 큰 차이가 없으나 사용자 수가 20을 넘어서기 시작하면 제안한 방식이 기존의 방식에 비해 최대 1mbps정도 더 높은 시스템 수율을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 사용자 수가 증가할수록 우선도 높은 클래스 순서로 자원 할당이 이루어지는 기존의 방식에서는 비트수가 적은 실시간 클래스에 대한 자원 할당이 더 많이 이루어지기 때문이다. 반면 제안한 방식은 특정한 선택조건이 충족되었을 경우, 실시간 클래스의 큐에 데이터가 있더라도 해당 클래스에 자원 할당이 이루어지므로 비교적 높은 성능을 나타내게 된다.

그림에서 실시간 클래스의 긴급도 수준을 나타내는 임계값 x 값에 따른 변화도 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 임계값 x 가 증가할수록 전체 시스템 수율이 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 제안한 알고리즘에서 임계값 x 가 클수록 비실시간 및 BE 클래스에 대한 자원할당 비율이 줄어들게 되기 때문이다. 이를 통해 임계값 x 가 사실상 실시간 클래스들의 weighting factor로 작용한다는 것을 알 수 있다. 전반적인 시스템 수율은 임계값 x 가 5ms를 넘어갈 경우 거의 비슷한 값을 나타내었다.

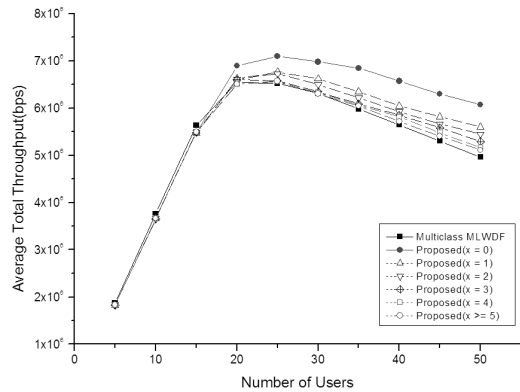


그림 3 사용자수 증가에 따른 전체 시스템 수율의 변화
Fig. 3 System throughput vs. the number of users

5. 결 론

본 논문에서는 WiMAX 시스템에서 제공하는 5가지 서비스 클래스들의 QoS 제한조건을 고려하여 다양한 서비스들을 효율적으로 제공하는 스케줄링 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법에서는 먼저 실시간 클래스들의 여러 가지 QoS 요구조건을 고려하여 서비스 클래스를 선택한 뒤 선택된 클래스 안에서 채널 및 기타 QoS 조건을 고려하여 최종 사용자를 선택하였다. 성능분석을 위해 시뮬레이션을 했을 때 제안한 방식이 전반적인 시스템 성능을 향상시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [2] S. Ryu, B. Ryu, H. Seo, and M. Shi, "Urgency and efficiency based wireless downlink packet scheduling algorithm in OFDMA system," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp.1456-1462. June 2005.
- [3] Jun Shen, Na Yi, An Liu, Haige Xiang, "Opportunistic Scheduling for Heterogeneous Services in Downlink OFDMA System," Proc. 2009 WRI International Conference on Communications and Mobile Compunce, vol. 1, pp.260-264, Jan. 2009.
- [4] W. Park, S. Cho, and S. Bahk, "Scheduler Design for Multiple Traffic Classes in OFDMA Networks," Proc. IEEE International Conference on Communications, vol. 2, pp. 790-795, June 2006.
- [5] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R.Vijayakumar, "Providing quality of service over a shared wireless link," IEEE Communication Magazine, vol. 39, pp. 150-154, Feb. 2001.
- [6] P. Bender et al., "CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," IEEE Communication Magazine, vol. 38, pp.70-77, Jul. 2000.