

## IEEE 802.16 SS에서의 효과적인 Uplink Scheduling을 위한 알고리즘 제안 및 성능 분석

백주영<sup>0†</sup>, 김우재<sup>†</sup>, 서영주<sup>†</sup>, 박정훈<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 포항공과대학교 컴퓨터공학과, <sup>‡</sup> 삼성전자 Telecommunication R&D Center  
{nalsunia<sup>0</sup>, hades15, yjsuh}@postech.ac.kr, veteran@samsung.com

### Propose and Performance Evaluation of the Uplink Scheduling Algorithm for the SS in the IEEE 802.16 systems

Joo-Young Baek<sup>0†</sup>, Woo-Jae Kim<sup>†</sup>, Young-Joo Suh<sup>†</sup>, and Jeong-Hoon Park<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

<sup>‡</sup> Samsung Electronics Co. Ltd., Telecommunication R&D Center

#### 요 약

IEEE 802.16은 BWA (Broadband Wireless Access) 시스템의 표준으로 현재 많은 연구와 함께 상용 제품을 위한 연구가 진행중인 분야이다. IEEE 802.16에서는 QoS를 제공하기 위하여 BS (Base Station)와 SS (Subscriber Station)간의 QoS 협상 과정을 정의하고 있으며, BS 및 SS에서의 효율적인 QoS 보장을 위해 4가지의 서비스 클래스를 정의하고 있다. 이러한 서비스 클래스는 UGS, rtPS, nrtPS, 그리고 BE 이다. 하지만 표준에서는 이러한 서비스 클래스를 어떻게 이용할 것인지에 대한 언급이 없으며, 이에 따라 효율적인 packet scheduling에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 기존 연구에서는 주로 BS에서의 효율적인 scheduling에 초점을 맞추어 연구가 진행되었으며, SS에서의 scheduling에 대한 연구는 거의 되어 있지 않다. 하지만 BS에서 SS에게 대역폭을 할당할 때 GPSS (Grants per subscriber station) mode로 대역폭을 할당한다면 SS에서는 할당 받은 대역폭을 효율적으로 사용하기 위하여 scheduling이 필요하다. 본 논문에서는 SS에서 효율적인 대역폭 사용을 가능하도록 하기 위한 scheduling 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 SS의 상황에 맞추어서 주어진 대역폭을 보다 더 효과적으로 이용하는데 초점을 맞추고 있다. 성능 평가를 통하여 제안하는 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해서 보다 더 효율적으로 대역폭을 사용할 수 있다.

#### 1. 서 론

최근 광대역 무선 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 IEEE 802.16 [1] 시스템에 대한 표준이 많은 관심을 받고 있다. 광대역 무선 네트워크는 기존 이동통신망에서의 낮은 대역폭과 무선랜 시스템의 작은 전송영역을 보완하는 네트워크로서, 이동통신 네트워크보다는 높은 대역폭을 제공하고 무선랜 시스템보다 넓은 전송영역을 가지고 있다. 현재 국내에서는 WiBro라는 시스템의 상용화에 대한 연구가 진행 중이며, 이 시스템은 IEEE 802.16 시스템에서 이동성 관리 기법을 추가한 것이다. 이렇듯 IEEE 802.16으로 대표되는 광대역 무선 네트워크가 많은 관심을 받는 이유 중의 하나는 바로 QoS 제공 능력이다.

광대역 무선 네트워크는 사용자에게 보다 많은 대역폭을 제공함으로써 향후 무선 네트워크의 핵심 응용프로그램인 멀티미디어 서비스에 적합하도록 설계되었다. 특히 응용프로그램마다 서비스 클래스를 다르게 할당함으로써 BS 및 SS에서 차별화된 scheduling이 가능하도록 하였고

이를 위하여 IEEE 802.16 표준에서는 UGS, rtPS, nrtPS, 그리고 BE의 네 가지 서비스 클래스를 정의하고 있으며 각각에 대한 차별화된 정책을 적용하도록 하고 있다. 이중 UGS는 일정한 시간마다 일정한 양의 대역폭이 필요한 응용 프로그램으로써 VoIP를 예로 들 수 있다. rtPS는 실시간 서비스를 위한 것으로 그 응용프로그램은 지연시간에 대한 제약조건과 함께 할당되는 대역폭에 대한 제약조건을 같이 가지고 있게 된다. nrtPS는 rtPS와 비슷하나 지연시간에 대한 제약 조건은 없고, 단지 할당되는 대역폭에 대한 제약조건만 존재한다. 마지막으로 BE는 일반적인 인터넷 응용 프로그램으로써 아무런 제약 조건이 없는 응용 프로그램을 의미한다.

IEEE 802.16 시스템은 이러한 네 가지의 서비스 클래스를 정의함으로써 BS 및 SS에서의 차별화된 scheduling이 가능하도록 하고 있다. 하지만 네 가지 서비스 클래스에 대한 정의 이외에는 구체적인 알고리즘이나 scheduling 구조에 대한 정의가 없기 때문에, 이에 대한

많은 연구가 진행되고 있다.

BS에서의 scheduling 알고리즘에 대해서는 기존의 이동통신망에서도 많은 연구가 되었으며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 IEEE 802.16에서의 BS에 적합한 scheduling 알고리즘 및 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [2-3]. 하지만 IEEE 802.16에서 제시된 대역폭 할당 방법 중 하나인 GPSS (Grants per subscriber station)로 대역폭을 할당하는 경우 BS에서만 뿐만 아니라 SS에서도 scheduling 기법이 필요하다. BS가 GPSS로 대역폭을 할당하는 경우, BS는 SS에서의 connection 종류나 개수에 상관없이 SS가 필요로 하는 전체 대역폭을 할당하므로 SS는 할당 받은 대역폭을 효과적으로 사용하기 위하여 각 connection간에 전송 순서를 결정 할 필요가 있다. 이렇게 SS에서의 scheduling 기법이 필요하지만 아직 관련 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 SS에서 효과적인 scheduling을 위한 알고리즘을 제안하고 성능 분석을 통해 기존 scheduling 알고리즘과 함께 성능을 비교하고자 한다.

2. SS에서의 Scheduling 알고리즘

2.1 Scheduling 알고리즘 고려사항

먼저 scheduling 알고리즘을 제안하기 전에 SS에서의 scheduling 알고리즘을 디자인할 때 고려해야 할 사항에 대해서 살펴보도록 한다. SS에서의 scheduling은 기존 BS에서의 scheduling과는 다른 점이 존재한다. BS에서의 scheduling 기법은 point-to-multipoint 통신 방식으로 인하여 발생하는 여러 상황을 보다 효율적으로 통제함으로써 scheduling을 통해서 이득을 얻고자 하지만 이러한 기법은 SS에는 적용되지 않는다. 즉, BS에서 어떤 순간에 어떠한 SS에게 데이터를 전송하느냐에 따라 성능이 변하지만, SS에서는 오직 BS와 통신하므로 여러 connection에 대해서 어떠한 connection을 먼저 전송함으로써 얻게 되는 이득은 없다. 따라서 기존 무선 네트워크에서의 scheduling 알고리즘에서 고려하였던 이러한 사항들에 대해서는 본 논문에서는 고려하지 않도록 한다. 이에 따라 본 논문에서는 다음에 제시하는 scheduler 구조에서 사용 가능한 scheduling 알고리즘으로 fair queueing 알고리즘인 SCFQ와 delay bound 개념을 이용한 EDF를 고려하도록 한다. 그리고 새로운 scheduling 알고리즘을 제안하도록 한다.

2.2 Scheduler 구조

본 논문에서는 크게 두 가지의 scheduler 구조를 사용한다. One-level scheduler와 two-level scheduler가 그것인데, one-level scheduler는 하나의 scheduler가 모든 connection에 대한 scheduling을 수행하는 것으로서 SS는 하나의 scheduler만 있으면 된다. 반면 two-level scheduler는 2단계의 scheduler를 가지는 것으로 먼저 각각의 서비스 클래스에 대해서 하나의 scheduler를 두어서 scheduling을 수행하고, 이들 각각의 packet들을 aggregate scheduler가 우선 순위를 정하여 전송하게 된다. Two-level scheduler는 QoS 요구 조건이 다른 각각의 서비스 class에 대해서 다른 scheduler를 사용하게 되

므로 보다 성능이 좋을 것으로 예상된다. 이러한 scheduler 구조에서 본 논문에서는 one-level scheduler에서 SCFQ와 EDF를 사용한 경우, 그리고 two-level에서는 rtPS를 위한 EDF와 nrtPS를 위한 SCFQ를 사용한 세 가지 경우의 성능을 비교한다. 또한 one-level queue에서 각 서비스 클래스에 해당하는 connection들이 자신의 queue를 가지는 flow-queue와 서비스 클래스당 하나의 queue가 존재하는 class queue의 구조로 나뉘어서 성능을 분석하도록 한다.

2.3 제안 scheduling 알고리즘

제안하는 알고리즘은 rtPS와 nrtPS flow간의 서비스 저하는 공평하면서도 효율적인 대역폭 공유 기법을 제안한다. 먼저 기존의 SCFQ 등의 알고리즘에서는 start time과 finish time을 계산하게 되는데, 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서도 다음과 같은 식을 이용하여 finish time을 계산하게 된다.

$$(1) D_k^i = S(p_k^i) + T_i \quad (2) D_k^i = S(p_k^i) + \frac{1}{g_i} L_k^i$$

위 식은 i번째 flow의 k번째 packet에 대한 finish time을 구하는 방법이다. 이 때 start time은 알고 있다고 가정한다. 위 식 (1)은 finish time을 구하고자 하는 packet이 delay bound를 가지고 있는 flow인 경우에 사용한다. 이 때  $T_i$ 는 flow가 가지고 있는 delay bound가 된다. 반면 (2)식에서는 delay bound에 대한 요구 사항은 없지만 보장 전송 속도 조건을 가지는 flow인 경우이다. 이 경우 finish time은 현재 start time에서 보장 전송 속도로 그 packet을 전송하는데 소요되는 시간을 더한 값이 finish time이 된다. 이렇게 결정된 finish time을 이용하여 scheduling 알고리즘을 제안하면 다음 그림 1에 표현된 순서도와 같다.

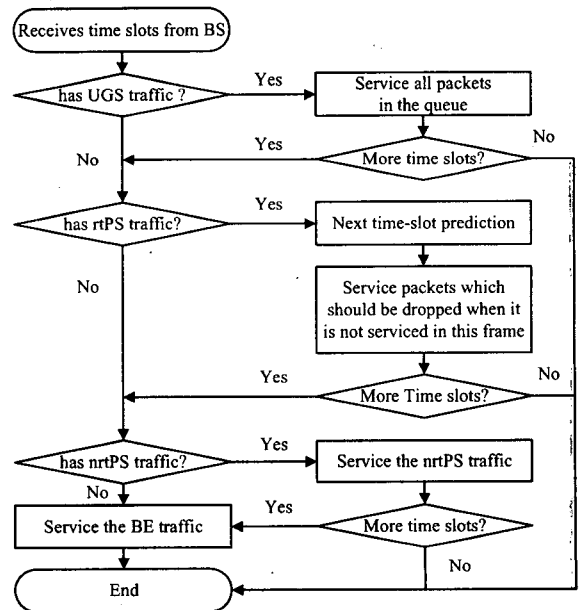


그림 1. 제안 알고리즘 순서도

제안 알고리즘은 BS로부터 대역폭을 할당 받은 후 먼저 UGS traffic이 있는지 살펴본 후 UGS traffic에 대해서는 모두 서비스를 제공해 주게 된다. 그 후 rtPS와 nrtPS traffic에 대해서는 rtPS traffic 중에서 BS로부터 다음 번 대역폭을 할당 받는 interval내에 전송되지 않으면 지연 시간에 대한 제약조건으로 drop되는 packet들을 우선적으로 서비스하게 된다. 이후 대역폭이 남아 있는 경우 nrtPS traffic과 BE traffic에 대한 서비스를 제공해 주게 된다. 이러한 scheduling 알고리즘의 장점은 rtPS traffic에 대해서 지연 시간에 대한 제약 조건을 고려하였을 경우 굳이 지금 보내지 않고 다음 번 대역폭을 할당 받았을 경우 전송하여도 상관없는 traffic을 전송함으로써 상대적으로 nrtPS traffic이 전송되는 기회를 잡지 못함을 방지하는 것이다. 따라서 주어진 대역폭을 보다 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 rtPS와 nrtPS traffic간의 공평한 대역폭 사용에 대해서도 어느 정도 보장해 줄 수 있다.

3. 성능 평가

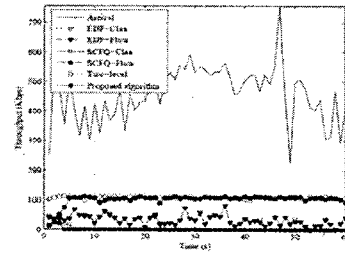
본 논문에서 제시한 scheduler 구조에서의 SCFQ, EDF 알고리즘 적용시의 성능과 함께 새롭게 제안한 scheduling 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이터는 C를 이용하여 구현하였으며, 네트워크에는 하나의 BS와 10개의 SS가 존재한다고 가정하였다. 그리고 각각의 SS에는 각 서비스 클래스에 속한 flow가 두 개씩 존재한다고 가정하였다. 따라서 하나의 SS에는 총 8개의 flow가 존재하게 된다. 총 60초 동안 시뮬레이션을 수행하였으며, rtPS traffic과 nrtPS traffic의 성능을 비교하였다.

다음, 그림 2는 rtPS와 nrtPS traffic의 average throughput과 effective throughput을 보여주고 있다. Average throughput은 매 초당 throughput을 비교하고 있으며, effective throughput은 실제 전송은 되었지만 delay bound가 초과됨으로 인하여 destination에서 drop되는 packet을 제외한 throughput이다. 그림에서 X축은 시뮬레이션 시간을 나타내며, Y축은 throughput을 나타낸다.

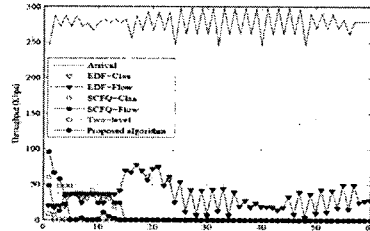
먼저 그림 2(a)와 (b)에서 볼 수 있는 것은 two-level 구조를 사용한 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능이 one-level에 비해서 훨씬 좋을 수 있다. 이는 rtPS traffic에 대해서 traffic 특성에 적합한 scheduling 알고리즘을 사용함으로써 얻어지는 결과이다. 하지만 effective throughput을 보면 nrtPS traffic에 대해서 제안 알고리즘은 어느 정도 서비스를 제공하고 있지만 two-level은 서비스가 거의 제공되고 있지 않다. 이는 two-level에서 aggregate scheduler의 알고리즘과 관련된 것으로 제안하는 알고리즘이 rtPS traffic에 대한 QoS 저하 없이 nrtPS traffic에 대한 적절한 서비스를 제공해 주고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

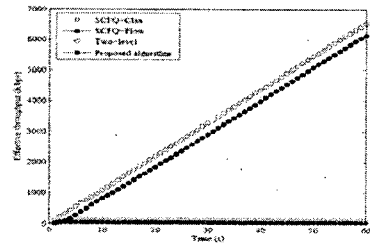
본 논문에서는 IEEE 802.16 SS에서의 scheduling 구조



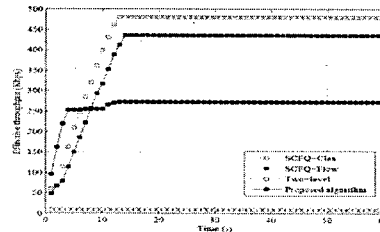
(a) rtPS traffic average throughput



(b) nrtPS traffic average throughput



(c) rtPS traffic effective throughput



(d) nrtPS traffic effective throughput

그림 2. 성능 평가 결과

및 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 성능 분석을 수행하였다. 제안하는 알고리즘은 rtPS와 nrtPS traffic간의 적절한 대역폭 공유로 인하여 전체적인 성능 향상을 가능하도록 하고 있음을 확인할 수 있다.

참고문헌

[1] IEEE 802.16-2004, *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*.  
 [2] Mohammed Hawa and David W.Petr, *Quality of Service Scheduling in Cable and Broadband Wireless Access System*, IEEE International Workshop on Quality of Service, pp. 247-255, 2002.  
 [3] G.Nair, J.Chou, T.Madejski, K.Perycz, D.Putzolu and J.Sydir, *IEEE 802.16 medium access control and service provisioning*, Intel Technology Journal, vol. 8, no. 3, pp. 213-228, 2004