

다중 사용자 MIMO-OFDM 시스템에서의 QoS 제공을 위한 스케줄링 기법

준희원 안 세 현*, 종신회원 유 명 식*

A QoS-aware Scheduling Algorithm for Multiuser Diversity MIMO-OFDM System

Sehyun An* Associate Member, Myungsik Yoo* Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템에서 물리 계층으로부터의 궤환(Feedback) 정보를 이용하여 MAC 계층에서의 전송 용량 극대화 및 공평성을 제공하는 FATM(Fairness Aware Throughput Maximizing) 스케줄링 방식 기반의 QoS 지원을 위한 우선순위 큐 기반의 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 우선순위 큐 스케줄링 기법은 서비스 클래스별 지연 요구 조건을 최대한 보장함과 동시에, 강한 버스트 특성을 갖는 서비스 클래스의 성능 저하를 효과적으로 방지할 수 있다. 제안된 스케줄링 기법의 QoS 지원을 위한 큐 스케줄링 기법은 SPQ(Strict Priority Queueing), DCBQ(Delay Constraint Based Queueing), HDCBQ(Hybrid Delay Constraint Based Queueing)로 나누어지고, 세 가지 방식에 대한 모의실험을 통해 성능을 비교 평가하였다.

Key Words : MIMO-OFDM, 공평성, QoS, 스케줄링

ABSTRACT

In order to maximize the throughput and provide the fairness between users in MIMO-OFDM system, FATM (fairness-aware throughput maximization) scheduling algorithm was proposed. In this paper, a QoS-aware scheduling algorithms for MINO-OFDM system are proposed, each of which is based on FATM. These scheduling algorithms aim to satisfy the different service requirements of various service classes. Three proposed QoS scheduling algorithms called SPQ (Strict Priority Queueing), DCBQ (Delay Constraint Based Queueing), HDCBQ (Hybrid Delay Constraint Based Queueing) are compared through computer simulations. It is shown that HDCBQ algorithm outperforms other algorithms in satisfying different requirements of various service classes.

I. 서 론

차세대 무선 LAN 기술은 유선망의 부분적 확장의 개념을 초월하여 공중망과 무선 홈 네트워크 등으로 영역을 확대하기 시작하였으며, 궁극적으로는 차세대 이동 통신망과의 연동 및 통합을 통해 광역의 커버리지를 갖는 무선 인터넷의 형태로 발전될

전망이다. 따라서 차세대 무선 통신과 관련한 응용 분야 및 이용자 수의 증대가 예상되며, 또한 협대역에서 광대역까지의 복합적인 멀티미디어 서비스의 제공을 위해 시스템의 용량 증대뿐 아니라 다양한 QoS(Quality of Service) 요구조건에 부합하는 기술적 해결 방안이 요구되어지는 시점이다.

현재 차세대 무선 전송 기술로 가장 주목받고 있

※ 본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음(KRF-2004-005-D00147).

* 숭실대학교 정보통신전자공학부 (myoo@ssu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-05-230, 접수일자 : 2006년 6월 29일, 최종게재논문통보일자 : 2006년 7월 24일

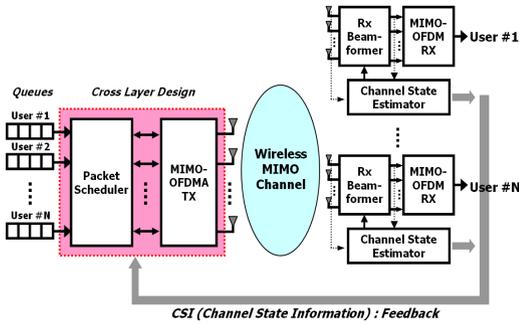


그림 1. MIMO-OFDM 다중 사용자 시스템 구조

는 MIMO(Multi-Input Multi-Output)^{[1], [2]}방식은 송수신단에 설치된 다중 안테나를 사용하여 대역폭의 증대 없이 전송 속도 및 용량 증가, 커버리지 증가 등의 장점을 가지고 있다. 이와 더불어 각종 다이버시티 요인(시간, 공간, 주파수 다이버시티)을 최대한 이용할 수 있는 다중 반송과 개념의 MIMO-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술이 차세대 무선 전송 방식으로 고려되고 있다^[3]. 그림 1은 MIMO-OFDM 시스템의 구조를 나타내고 있다. 이러한 MIMO-OFDM 시스템에서의 MAC (Media Access Control) 계층에서는 여러 사용자를 위한 시간-공간-주파수 무선 자원의 모니터링을 통한 적절한 자원 배분 및 전송 데이터양 조절을 위한 트래픽 스케줄링 기법에 대한 연구가 매우 중요하다^[4].

더불어 MIMO-OFDM 시스템에서는 무선 통신 시스템에의 물리적 전송 용량 증대 및 다양한 요구 조건을 갖는 멀티미디어 서비스 트래픽을 원활히 지원할 수 있는 QoS 기술 개발이 절실히 요구된다. 이에 따라 단순히 전송 속도의 증가를 위한 기술 개발 보다는 MAC 계층과 연계성을 갖는 다중 사용자 스케줄링 방식과 서비스 트래픽에 대한 QoS 지원 등을 동시에 고려한 효과적인 채널 할당 기술이 핵심 연구 주제로 떠오르고 있다.

한편, MIMO-OFDM 시스템을 위해 기존에 연구되었던 다중 사용자 스케줄링 기법은 무선 자원 용량 극대화를 위한 K&H (Knopp and Humblet) 기법^[5], 무선 자원 용량의 극대화 및 자원의 공평성 제공을 위한 RR (Round Robin), Joint RR/K&H, PF (Proportional Fair) 기법 등이 있다. 하지만 기존에 제안되었던 스케줄링 기법들은 효율성의 극대화나 공평성 지원에 있어서 향상된 성능을 보이고 있으나, 서비스 트래픽 특성에 적합한 QoS를 지원하기에는 많은 문제점을 안고 있다. 따라서 보다 효

율적인 자원 할당 및 안정적인 QoS 지원을 위해 본 논문에서는 FATM(Fairness-Aware Throughput Maximizing) 스케줄링 방식^[6] 기반의 QoS 지원을 위한 큐 스케줄링 알고리즘을 제안 한다. 본 논문에서 제안하는 QoS 지원을 위한 큐 스케줄링 알고리즘은 SPQ(Strict Priority Queuing), DCBQ(Delay Constraint Based Queuing), HDCBQ(Hybrid Delay Constraint Based Queuing)의 세 가지 QoS 스케줄링 방식을 고려한다. 제안된 세 가지 QoS 스케줄링 방식의 성능 평가를 통하여 각 방식에 대한 장단점을 비교 분석 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIMO-OFDM 시스템을 위한 기존의 다중 사용자 스케줄링 방식에 대한 장단점을 분석하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 FATM 스케줄링 방식 기반의 QoS 제공 방법 등을 설명한다. 이어 4장에서는 FATM 스케줄링 방식 기반의 QoS 제공 방법들의 성능 분석을 위한 모의실험 환경과 모의실험을 통해 도출된 결과를 바탕으로 FATM 방식의 QoS 지원을 위한 큐 스케줄링 방식의 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 다중 사용자 스케줄링 방식

본 장에서는 MIMO-OFDM 시스템 지원을 위한 RR, K&H, Joint RR/K&H, FATM 스케줄링 방식의 동작 방식과 장단점을 분석한다.

2.1 RR(Round Robin) 스케줄링 방식

RR 스케줄링 방식은 임의의 시간에 가용한 무선 채널의 용량을 모든 사용자에게 동등하게 할당하는 방식이다. 이러한 RR 스케줄링 방식은 사용자 모두에게 균등한 지연 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있지만, 가용한 무선 자원의 용량 극대화와 차별화된 서비스 지원이 어렵다.

2.2 K&H(Knopp & Humblet) 스케줄링 방식

RR 스케줄링 방식이 모든 사용자에게 동일한 자원을 할당해주는 반면, K&H 스케줄링 방식은 사용자로부터 수신된 CSI (Channel State Information)의 수신 이득을 측정하여 그 중 가장 큰 수신 이득을 갖는 사용자에게만 무선 자원을 할당하는 방식으로서, 특정 시간별로 최대 전송량을 지원할 수 있는 사용자를 선택하므로 한정된 무선자원 효율을 극대화 할 수 있는 반면, 지연에 민감한 실시간 서비스의 제공이 어려운 단점이 있다. 또한 짧은 기간

일지라도 일부 사용자가 전송용량을 독점하는 상황이 발생할 수 있다.

2.3 Joint RR/K&H 스케줄링 방식

Joint RR/K&H 스케줄링은 무선자원 용량 극대화 와 함께 자원의 공정한 공유를 동시에 제공하기 위한 방식으로 사용자별 자원 할당을 위하여 기지국으로 수신된 CSI의 신호 이득을 측정하여 이득이 가장 큰 사용자에게는 최대한 수용할 수 있는 무선 자원을 할당하고 나머지 사용자들에 대하여 잔여 무선 자원을 균등하게 할당한다. 따라서 Joint RR/K&H 방식은 K&H 방식으로 자원 효율 극대화를 도모하고 RR 방식으로 어느 정도 지연에 대한 품질을 향상 시킬 수 있다.

2.4 FATM 스케줄링 방식

FATM 스케줄링 방식^[6]은 MIMO-OFDM 시스템에서 물리 계층으로부터 채널 상태에 대한 cue한 정보를 이용하여 MAC 계층에서의 전송 용량 극대화 및 공평성을 제공한다. 이를 통해 같은 상태를 가진 무선 자원을 대상으로, 사용자간 중복이 적은 채널을 우선으로 할당하고, 동시에 전송 큐의 크기를 참조하여 차별적인 스케줄링을 수행한다. 이를 통해 전체 전송 효율을 최대한 고려함과 동시에 동등한 무선 자원을 분배할 수 있는 장점이 있다. 그림 2는 이러한 FATM 스케줄링의 개념도를 도시하고 있다.

III. FATM 스케줄링 방식 기반의 QoS 지원

FATM 스케줄링 방식은 전송 효율을 증가시키는 동시에 모든 사용자에게 공평한 자원 분배를 제공한다. 하지만 단순히 전송 효율의 향상과 공평한 자원 분배 능력 향상만으로는 사용자의 다양한 서비스 요구에 적절히 대응하지 못할 것이다. 따라서 사용자의 서비스 요구에 알맞은 큐 스케줄링 방식이 절실히 요구된다. 이에 따라 본 논문에서는 FATM 스케줄링 방식 기반 MIMO-OFDM 시스템에서 QoS 지원을 위한 큐 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

3.1 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식

일반적으로, 전송 지연을 기준으로 서비스 클래스별의 우선순위를 구분할 경우 실시간 음성 트래픽 특성의 EF (Expedited Forwarding) 클래스(P1), 실시간 멀티미디어 서비스의 특성의 AF (Assured Forwarding) 클래스(P2), 마지막으로 인터넷 데이터 서비스 특성의 BE (Best Effort) 클래스(P3) 순으로 우선순위를 결정한다. 따라서 SPQ (Strict Priority Queuing)를 이용한 큐 스케줄링 방식에서도 전송 대기 큐에 있는 패킷을 전송할 경우 우선순위에 따라 자원을 할당한다. 즉, 그림 3과 같이 EF 클래스의 전송 큐의 패킷을 완전히 전송한 후, AF 클래스를 전송하고, 마지막으로 BE 클래스를 전송한다. 이때 각 클래스에 대한 자원 할당량은 FATM 스케줄링 방식을 통해 결정된다.

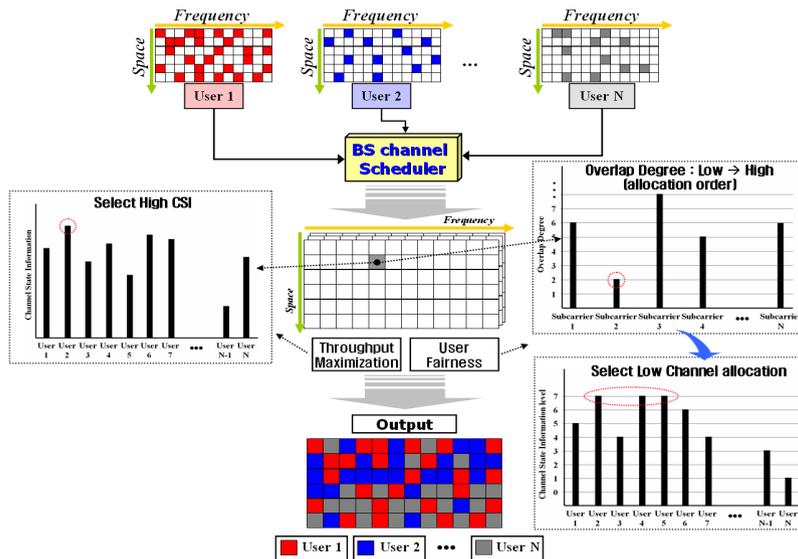


그림 2. FATM 스케줄링 개념도

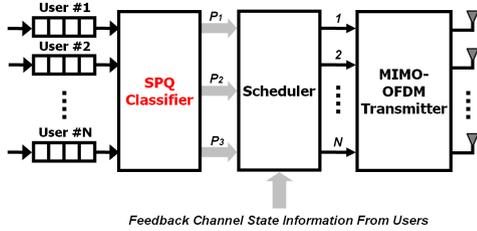


그림 3. SPQ 스케줄링 개념도

이러한 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식은 우선순위에 따라 자원을 할당 받고, 전송 기회가 주어지기 때문에 최상위 EF 클래스는 보장된 QoS 성능을 제공 받을 수 있으나, 하위 클래스인 AF 클래스와 BE 클래스는 상대적으로 열악한 QoS 성능을 제공 받게 된다.

3.2 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식

FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식은 SPQ의 단순한 서비스 지연 민감도 기준의 우선순위 결정으로 인하여 우선순위가 높은 클래스에 대해 과도한 자원 분배가 이루어질 수 있고, 과도한 자원 분배는 자칫 우선순위가 낮은 클래스에 대한 성능 저하를 야기시킬 수 있다. 따라서 단순히 지연 민감도 기반의 우선순위 전송이 아닌 서비스 지연 요구 조건을 반영하여 QoS 큐 스케줄링 방식을 사용할 필요가 있다. 이러한 필요성에 의해 본 논문에서는 DCBQ (Delay Constraint Based Queuing) 큐 스케줄링 방식을 제안한다.

DCBQ 알고리즘은 그림 4에서와 같이 송신단의 큐에 대기하고 있는 트래픽의 서비스 지연 요구조건에 대한 지연 임박도를 3단계로 나누어 가장 임박도가 높은 순으로 G_1, G_2, G_3 의 순서로 그룹을 형성한다. 이때 G_1, G_2, G_3 그룹에 대한 계산과정은 그림 5와 같이 U (Urgent) $(= \frac{t - T_i^E(k)}{D_i^Q})$ 값의 위치에 따라 정의 된다. U 값이 클수록 지연 임박도가 커짐을 의미한다.

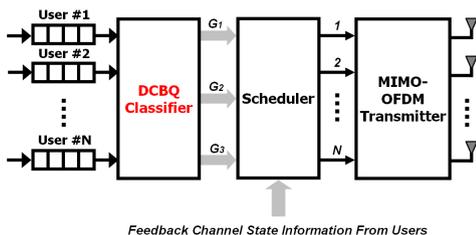


그림 4. DCBQ 스케줄링 개념도

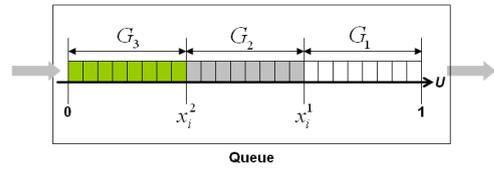


그림 5. 지연 임박도 3단계 (G_1, G_2, G_3)

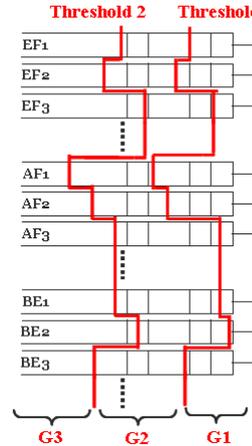


그림 6. DCBQ의 그룹 분류

U 값을 결정하는 인자들은 다음과 같이 정의 된다. 먼저, 우선순위 i 를 갖는 P_i 클래스의 큐잉 지연 요구 조건을 D_i^Q 라 하고, P_i 의 첫 번째 지연 임박도에 대한 임계치를 x_i^1 , 두 번째 지연 임박도에 대한 임계치를 x_i^2 ($x_i^2 > x_i^1$)라 한다. 이때 t 는 현재 시간을 의미하며, $T_i^E(k)$ 는 P_i 클래스의 k 번째 패킷이 큐잉 되는 시점을 의미한다. 이러한 DCBQ 큐 스케줄링 방식은 $G_1(x_i^1 \leq U)$, $G_2(x_i^2 \leq U < x_i^1)$, $G_3(U < x_i^2)$ 의 순서로 자원 분배 및 전송 기회가 주어진다. 그림 6은 이러한 DCBQ 큐 스케줄링 방식은 그룹 분류 방법을 도시하고 있다.

FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식은 단순한 지연 민감도 기반의 우선순위 스케줄링에 비하여 지연 임박도를 고려한 스케줄링 방식이기 때문에 SPQ와는 달리 보다 많은 서비스 클래스의 전송 지연 요구 조건을 보장할 수 있는 장점이 있다. 또한 FATM 이용하여 우수한 상태의 무선자원을 보다 급박한 지연 임박도 트래픽을 가진 사용자에게 할당하므로 에러발생으로 인한 재전송 확률을 최소화할 수 있는 장점도 있다.

3.3 FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식

FATM+DCBQ 방식은 FATM+SPQ에 비해, 보

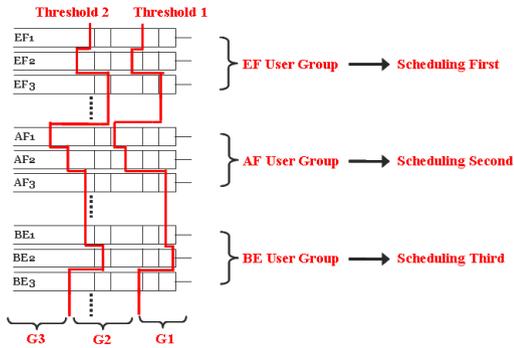


그림 7. HDCBQ의 그룹 분류

다 안정적으로 전송 지연에 대한 QoS를 보장할 수 있으나 Burstiness 특성을 갖는 트래픽에 의한 타 클래스의 성능 저하를 막기는 어렵다. 특히, Burstiness 특성이 강한 AF나 BE 클래스 트래픽이 EF 클래스의 성능을 저하 시킬 수 있다. 이러한 DCBQ의 단점을 보완하기 위하여 SPQ 큐 스케줄링 방식과 DCBQ 큐 스케줄링 방식을 결합한 Hybrid-DCBQ (HDCBQ) 큐 스케줄링 방식을 제안한다. 그림 6은 HDCBQ 큐 스케줄링 방식의 그룹 분류 방법을 도시하고 있다. 이때 HDCBQ 큐 스케줄링의 그룹 분류 방법은 DCBQ 큐 스케줄링 방식의 그룹 분류 방법과 동일하다.

FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식은 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식과 마찬가지로 송신단의 큐에 대기하고 있는 트래픽의 서비스 지연 요구 조건에 대한 지연 임박도를 3단계로 나누어 가장 임박도가 높은 순으로 G_1 , G_2 , G_3 의 순서로 그룹을 형성한다. 이어 그림 7과 같이 3단계로 형성된 그룹을 기반으로 대역을 할당하고, SPQ 큐 스케줄링 방식에서와 같이 EF 클래스, AF 클래스, BE 클래스의 순으로 데이터를 전송한다.

이러한 FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식은 각 클래스의 전송 지연 요구 조건을 만족함과 동시에 강한 Burstiness 특성을 갖는 AF 및 BE 클래스로부터 EF 클래스의 전송 지연 요구 조건 및 최소 대역폭을 보장한다는 장점을 갖는다.

IV. 모의실험

FATM 스케줄링 방식은 시스템 사용자간 공평성을 우선적으로 고려하여 큐 스케줄링을 수행하기 때문에 서비스 트래픽 클래스에 대한 QoS 지원 방안이 적절히 제공되지 않았다. 따라서 본 장에서는

FATM을 이용한 자원분배를 기반으로 서로 다른 특성과 요구조건을 갖는 트래픽을 서비스하기 위해 앞서 제안된 세 가지 QoS 스케줄링 기법에 대한 모의실험 방법과 이를 토대로 도출된 결과에 대한 성능 분석을 수행한다.

4.1 모의실험 시스템 모델

모의실험에 사용된 다중사용자 MIMO-OFDM 모델은 송수신 안테나 수가 동일한 MIMO-OFDM 무선 채널 모델을 사용하였으며, 변조 기법은 16QAM을 사용하였다. 또한 Flat Fading 무선 채널 환경에서 큐 스케줄링 방식의 QoS 성능을 평가하기 위해 RMS 지연 확산(Root-mean-square delay spread)은 $4ns$ 로 설정하였으며, 10개 경로로 구성된 주파수 선택적 레일리(Reyleigh) 페이딩 채널을 가정하였다. 또한 단말기의 이동속도가 중저속인 모의실험 환경을 구축하고자 도플러 주파수는 300Hz(약 55Km/s)를 가정하였으며, 이때 채널 추정과 시스템 동기는 완벽히 이루어진다고 가정한다. 한편 FATM 스케줄링 방식은 OFDM 부채널 s 의 케환 정보인 CSI 레벨을 사용하기 때문에 케환정보의 처리시간인 Processing 지연은 $23.2\mu s$ 로 설정하였다. 이러한 모의실험의 세부 파라미터는 표 1에 정리하였다.

본 모의실험에서 가정된 서비스 트래픽은 EF 클래스, AF 클래스, BE 클래스를 가정하였으며, EF 클래스 트래픽을 위하여 50 bytes의 패킷을 트래픽 부하(Traffic load)에 비례하여 일정 비율로 생성하였다. AF와 BE 클래스 트래픽은 50 bytes 크기의 패킷을 실제 인터넷 실시간 멀티미디어 트래픽의 특성인 자기유사성(Self-similarity)을 갖는 트래픽 생성을 위해 파레토(Pareto) 분포 기반의 ON/OFF 스위칭 패킷 생성 모델링을 사용하였으며, 이때 트래픽의 Burstiness 지수를 나타내는 H(Hurst parameter)

표 1. 모의실험 파라미터

| Parameter | Value |
|------------------------------------|--------------------|
| Number of Tx antennas | 4 |
| Number of Rx antennas | 4 |
| OFDM subcarriers | 1024 |
| Traffic load | 0.1 ~ 1.0 |
| Modulation | 16QAM |
| OFDM symbol duration | 115.2 [μs] |
| Guard interval | 14.4 [μs] |
| Processing delay | 23.2 [μs] |
| Number of receivers | 1 ~ 10 |
| CIR(Carrier to Interference Ratio) | 5,10,15,20,25 [dB] |
| Wireless Link Capacity | 100 [Mbps] |
| Hurst parameter (=H) | 0.8 |

값은 0.8로 고정하였다. 또한 MIMO-OFDM 무선 채널 모델의 사용자 수는 9명으로 가정하였으며, 각 사용자는 EF 클래스, AF 클래스, BE 클래스를 모두 발생시킨다.

4.2 QoS SPQ 알고리즘 모의실험 결과 및 분석

그림 8은 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 평균 패킷 전송 지연은 패킷을 전송하기 전까지의 평균적인 큐잉 지연을 나타내며, 이를 통해 지연에 민감한 트래픽 클래스에 대해 QoS 보장을 위한 스케줄링이 적절히 이루어지고 있는지 판단하는 기준이 된다. 그림에서 볼 수 있듯이 트래픽 부하의 변화에도 EF 클래스는 일정한 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 하지만, AF 클래스는 트래픽 부하가 증가함에 따라 평균 패킷 전송 지연이 증가하는 형태를 보이고 있고, BE 클래스의 경우 가장 낮은 우선순위를 가지고 있기 때문에 매우 불안정한 평균 패킷 지연을 나타내고 있다. 이러한 AF 클래스의 성능 저하 현상은 EF 클래스의 부하가 증가함에 따라 더욱 심화되며, BE클래스의 경우에도 AF 클래스의 부하가 증가함에 따라 성능 저하 현상이 더욱 심화된다.

결과적으로 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식을 통해 MIMO-OFDM 시스템의 QoS를 지원할 경우 EF 클래스에 대해서는 우수한 QoS 지원이 가능하다. 그러나 AF 클래스는 EF 클래스의 트래픽 부하 증가 여부에 따라 매우 민감하게 반응하기 때문에 EF 클래스의 요구량이 증가할수록 AF 클래스의 QoS 지원이 어려워지고, 이에 따라 지연도 급격하게 증가할 것이다. 또한 BE 클래스에 대해서도 지연값의

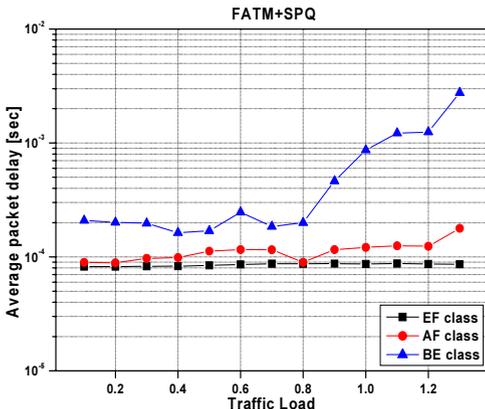


그림 8. FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연

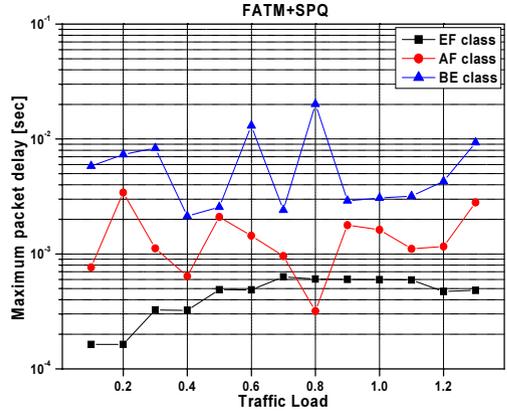


그림 9. FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연

증가로 이루어 볼 때 원활한 대역폭 보장이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 높은 Burstiness 특성을 가짐과 동시에 지연에 민감한 서비스를 제공하기 위해서는 SPQ 방식 보다 더 안정적인 큐 스케줄링 방식이 요구된다.

그림 9는 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 최대 패킷 전송 지연은 패킷을 전송하기 전까지의 패킷이 큐에 머무르는 최대 시간을 나타낸다. 앞서 그림 8에서 보았듯이 SPQ 큐 스케줄링 방식은 서비스 트래픽의 우선순위에 따라 QoS 지원 능력이 결정된다. 따라서 클래스 최대 패킷 전송 지연 측면에서도 우선순위에 따라 필요한 전송대역을 보장 받는 EF 클래스는 매우 일정하면서 안정적인 패킷 전송 지연 성능을 보이는 반면, 우선순위에 따른 EF 클래스의 전송대역 할당으로 인해, 필요한 전송대역을 보장 받지 못하는 AF 클래스와 BE 클래스는 트래픽 부하 변화에 따라 매우 불규칙한 패킷 전송 지연 특성을 보인다. 더욱이 BE 클래스의 경우 평균 패킷 전송 지연이 매우 불안정해 짐에 따라 원활한 대역폭 보장이 불가능할 것으로 예상된다.

그림 10은 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 EF 클래스의 경우 트래픽 부하가 높아질수록 지연도 따라서 증가하는 경향을 보이며 부하가 높아짐에 따라 전송지연이 크게 증가하여 지연 요구 조건을 넘어서게 된다. 반면에 AF 클래스의 경우 전 구간에서 매우 낮은 지연 결과를 보인다. 이러한 현상은 AF 트래픽의 높은 Burstiness에 기인하는 것으로 일정 순간 매우 많은 트래픽이 몰리게 되어 순간적으로 상당 부분의 전

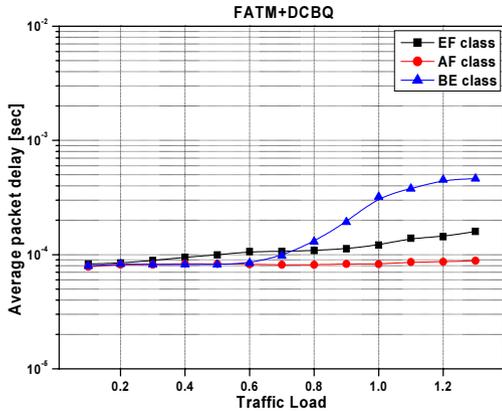


그림 10. FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연

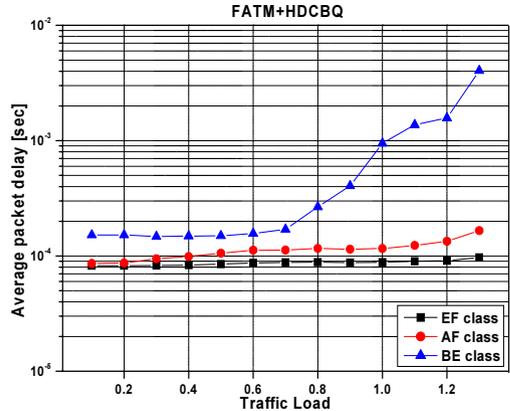


그림 12. FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연

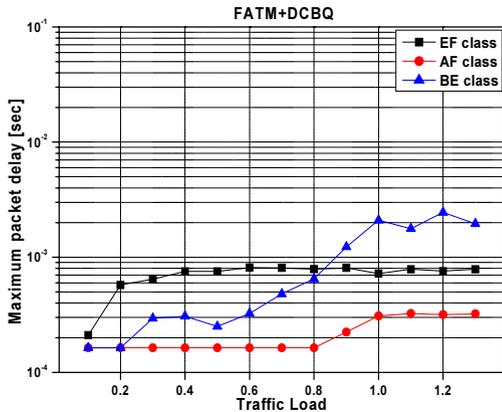


그림 11. FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연

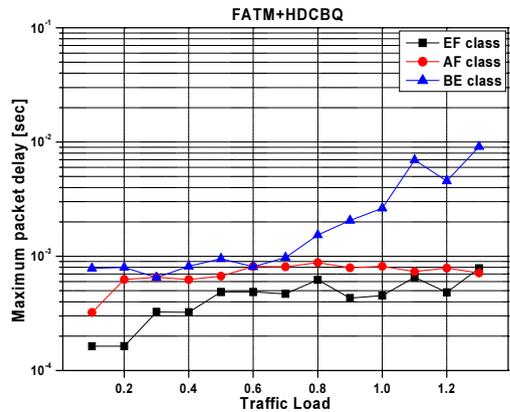


그림 13. FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연

송대역을 차지함을 의미한다. 이는 일정한 전송 속도로 유입되어지는 EF 클래스가 필요로 하는 전송대역을 차지하여, EF 클래스의 정상적인 서비스를 방해하는 요인으로 작용한다.

그림 11은 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식은 FATM+SPQ 방식과 달리 유입 트래픽 부하가 증가하더라도 EF 클래스 및 AF 클래스의 패킷 전송 지연을 제어가 가능함을 볼 수 있다. 또한 BE 클래스에 대한 패킷 전송 지연의 경우도 트래픽 부하에 따라 증가하기는 일정한 증가폭을 가지고 있는 것을 볼 수 있다.

그림 12는 FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 평균 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 트래픽 부하가 높아지더라도 EF 클래스와 AF 클래스는 타 방식에 비해 매우

안정적인 전송 지연을 보이고 있다. 또한 FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식에서 나타났던 AF 클래스에 의한 EF 클래스의 성능 저하 현상도 사라졌음을 확인할 수 있다.

그림 13은 FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식의 각 클래스별 최대 패킷 전송 지연을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 EF 클래스와 AF 클래스는 트래픽 부하가 증가하여도 일정 지연 범위 내에 존재하는 특성을 보인다. BE 클래스의 경우도 DCBQ 큐 스케줄링 방식과 비슷하게 트래픽 부하가 증가함에 따라 패킷 전송 지연이 증가하는 형태를 보이고 있다.

이와 같이 3가지 큐 스케줄링 방식의 패킷 전송 지연을 비교한 결과 음성 서비스나 실시간 멀티미디어 서비스에 대한 전송 지연 측면에서의 QoS 지원 능력은 FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식이 가장 우수한 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 MIMO-OFDM 다중 사용자 환경에서 FATM 스케줄링 방식을 기반으로 QoS 제공을 위해 FATM+SPQ, FATM+DCBQ, FATM+HDCBQ 큐 스케줄링 방식들을 제안하고 이에 대한 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과 FATM+SPQ 큐 스케줄링 방식은 트래픽 부하가 증가하더라도 우선순위가 높은 트래픽 클래스에 대해서는 매우 안정적인 전송 지연을 보였으나, 그에 반해 우선순위가 낮은 트래픽 클래스에 대해서는 지연에 민감한 서비스 제공이 불가능하며, 사용자 요구 조건을 만족시키지 못한다는 것을 확인하였다.

FATM+DCBQ 큐 스케줄링 방식의 경우 각 QoS 클래스의 지연 임계치를 조정함으로써 특정 지연 요구조건을 보장할 수 있으나, 트래픽 부하가 높아짐에 따라 강한 Burstiness 특성이 발생하는 클래스에 대해서는 성능 저하를 해결할 수 없었다. 또한 우선순위가 가장 높은 EF 클래스가 AF 클래스의 채널 독점 사용으로 인해 성능이 저하되는 현상을 볼 수 있었다. 이러한 DCBQ 방식의 문제점 해결을 위해 SPQ 방식과 DCBQ 방식을 결합한 HDCBQ를 제안하였는데, 모의실험 결과, 앞서 제안한 2가지 큐 스케줄링 방식보다 EF 클래스나 AF 클래스의 QoS 지원을 가장 원활히 제공할 수 있었으며, DCBQ 방식에서 보여 졌던 EF 클래스와 AF 클래스와의 문제점을 해결할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 물리 계층과 MAC 계층이 서로 밀접한 관계를 가지는 MIMO-OFDM 시스템에서 보다 원활한 QoS 제공 기술 개발을 위해 보다 정밀하고, 다양한 무선 채널 모델링 및 다각화된 QoS 성능 측정에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, "Introduction to Space-Time Wireless Communications," Cambridge University Press, 2003.
 [2] Z. G. Pan, K. K. Wong, and T. S. Ng, "MIMO antenna system for multi-user multi-stream orthogonal space division multiplexing," In proc. IEEE Intentional Conference on Communications (ICC2003), Vol. 5, pp. 3220-3224, Anchorage, USA, May 2003.

[3] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas," *Bell Labs Technical Journal*, pp. 41-59, Autumn 1996.
 [4] J. Chung, C. Hwang, K. Kim, and Y. Kim, "A random beamforming technique in MIMO systems exploiting multiuser diversity," *IEEE Journals on Selected Areas in Communications*, Vol. 21, No. 5, pp. 848-855, Jun. 2003.
 [5] R. Knopp and P. A. Humblet, "Information capacity and power control in single-cell multiuser communications," In proc. IEEE International Conference on Communications (ICC '95), Vol. 1, pp. 331-335, Seattle, USA, Jun. 1995.
 [6] 안세현, 유명식, 이원철, 신요안, "MIMO-OFDM 다중사용자 시스템 사용자간 공평성을 고려한 스케줄링 기법", *한국통신학회 논문지*, 제 30권, 6A호, pp. 474-480, 2005

안 세 현 (Sehyun An)

준회원



2003년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
 2005년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
 2006년 3월~현재 삼성전자 무선사업부 개발 1그룹
 <관심분야> MIMO-OFDM, QoS

scheduling

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사
 1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
 2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사
 2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수

<관심분야> Optical Network, Optical Access Network, OBS, Wireless MAC protocol, Ad-hoc routing protocol, MIMO-OFDMA