

OFDMA 시스템에서 이종 트래픽의 QoS를 보장하기 위한 자원 할당 기법

정희원 곽용수*, 고정하*, 종신회원 김영용*

Resource Allocation Scheme for Ensuring QoS of Heterogeneous Traffic in OFDMA System

Yongsu Gwak*, Chung Ha Koh* *Regular Members*, Young Yong Kim* *Lifelong Member*

요약

본 논문은 OFDMA 시스템에서 이종 트래픽의 QoS를 보장하기 위한 자원할당 기법을 제안하였다. OFDMA 시스템에서 NRT(non-real time), RT(real time), 멀티캐스트 패킷이 송신 단에 동시에 도달할 경우, 각트래픽이 요구하는 QoS를 각각 반영하는 OFDMA 자원할당 기법이 필요하다. 본 논문에서는 BMPA (balanced multimedia packet allocation)기법을 바탕으로, 채널용량이 가장 높은 서브캐리어를 멀티캐스트 패킷을 전송하기 위한 멀티캐스트 채널로 설정하는 advanced BMPA 기법을 제안하였다. 본 기법은 RT 패킷과 멀티캐스트 패킷에 NRT 패킷보다 더 큰 가중치를 부여하여 각 사용자의 패킷 가중치 합에 따라서 서브 캐리어를 할당한다. 시뮬레이션 결과를 통해 advanced BMPA 기법이 기존의 멀티캐스트를 고려한 멀티유저 워터필링과 BMPA 기법에 비해 장기적으로 시스템의 전송 속도를 높이고 멀티미디어 패킷 지연을 줄인다는 사실을 증명했다.

Key Words : OFDMA, Resource allocation, Multimedia service, Heterogeneous traffic

ABSTRACT

We propose an advanced BMPA (balanced multimedia packet allocation) scheme. The proposed scheme considers the optimal resource allocation problem in OFDMA system. When NRT (non-real time), RT (real time), multicast packets arrive at the same time in OFDMA system, the advanced BMPA chooses the best sub-carrier as a multicast channel for multicast packets, gives more weight to RT packets and multicast packets than NRT packets and allocates sub-carriers according to the total weight sum of packets in each user. With simulation results, this paper shows that the advanced BMPA scheme ensures QoS (long-term system throughput and multimedia packet delay) in heterogeneous traffic compared with multicast MU-WF (multi-user water-filling) and BMPA schemes.

I. 서론

스마트폰 출시와 더불어 무선 통신 환경에서 신뢰성 있는 멀티미디어 서비스를 제공받으려는 요구가 증가하고 있고, 차세대 무선 통신 규격인 4G가 상용

화될 시점에는 이러한 요구가 극대화될 것으로 예측된다. 4G의 대표적인 기술로서 ISI(inter-symbol interference)와 주파수 선택 페이딩에 강한 특성을 보이는 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 시스템의 성능 향상을 위한 다양한 연구가 진

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C1090-1011-0006))

* 연세대학교 전기전자공학부 무선 및 인터넷 연구실(onlimono@gmail.com, ski244@yonsei.ac.kr, y2k@yonsei.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-01-038, 접수일자 : 2010년 1월 26일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 19일

행 중이고, 그 중 서브 캐리어 할당 기법으로서 멀티 유저 워터필링 알고리즘이 제시됐다^[11-13].

멀티유저 워터필링 기법은 채널 용량에 따라 서브 캐리어를 할당하기 때문에 장기적으로 전송 속도를 보장할 수 없고 이는 멀티미디어 패킷의 지터를 증가시킨다. 기존 BMPA 기법^[4]은 큐 가중치에 따른 backlog 관리를 통해 장기적으로 전송 속도를 향상시키고 멀티미디어 패킷 지연을 최소화한다. 그러나 멀티미디어 패킷에는 인터넷 스트리밍 방송 서비스와 같은 멀티캐스트 가능한 패킷이 존재하고^[5], 이러한 멀티캐스트 패킷을 멀티캐스트함으로써 기존 BMPA 기법의 성능을 향상시킬 수 있다는 점에 주목했다. 본 논문에서는 세 종류의 이중 트래픽을 정의하고 symmetric on-off channel model 상황에서 QoS를 만족시키기 위한 advanced BMPA 기법을 제안했다. Advanced BMPA 기법은 우선적으로 멀티캐스트 패킷 전송을 고려하고, 큐 가중치에 따라 서브 캐리어를 할당하여 패킷 스케줄링과 서브 캐리어 할당 기법을 동시에 수행함으로써 장기적으로 전송 속도를 향상시키고 멀티미디어 패킷 지연을 줄인다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 시스템 모델 및 advanced BMPA 기법에 관한 자세한 사항은 섹션 II에서 다룰 것이다. 섹션 III는 Multicast MU-WF, BMPA, advanced BMPA 기법을 비교하여 제안된 기법의 우수성을 입증하고, 마지막으로 제시된 기법에 대한 평가와 다음 연구는 섹션 IV에서 다룰 예정이다.

II. 시스템 모델 및 advanced BMPA 기법

우리는 하나의 BS(base station)와 하나의 셀로 구성된 단일 홉 OFDMA 다운링크 시스템을 고려했다. N 명의 사용자가 K 개의 서브 캐리어를 공유한다. BS에 도착하는 패킷 도달과 무선 채널은 symmetric on-off channel model^[6,7]을 가정했다.

2.1 Symmetric on-off channel model

Symmetric on-off channel model은 사용자에게 전송할 패킷들의 확률적 도달과 BS와 사용자 사이의 무선 채널 환경을 간략하게 정의한다.

1) BS에서 각각의 사용자에게 전송할 패킷들은 특정 확률 분포에 의해 발생되고, 각각의 확률 분포는 사용자마다 독립적이다.

2) 모든 시스템은 동일한 변조 기법과 채널 코딩 기법을 이용한다.

3) s_T 는 T 라운드에서의 채널 상황 정보(channel state information (CSI))를 표시하는 행렬이다. $s_T(n^*, k^*) \equiv 1$ 이면 T 라운드에 서브 캐리어 k^* 는 사용자 n^* 에게 할당 가능하다.

4) w_T 는 T 라운드에서의 채널 할당 정보(channel allocation information (CAI))를 표시하는 행렬이다. $w_T(n^*, k^*) \equiv 1$ 이면 T 라운드에 서브 캐리어 k^* 는 사용자 n^* 에게 할당된다.

2.2 System model

Symmetric on-off channel model을 바탕으로 각 라운드마다 서브 캐리어의 채널 용량이 바뀌고 모든 과정은 한 라운드동안 진행된다. BS는 모든 사용자와 채널의 정보를 완벽하게 알고 있고, 시스템의 전송 속도를 높이기 위해 CSI에 따라 적절하게 서브 캐리어를 할당해야 한다. 이 문제는 멀티 서버 큐잉 시스템(그림 1)으로 모델링 가능하다^[6].

그림 1의 멀티 서버 큐잉 시스템에서 각 라운드마다 확률적으로 세 가지 종류의 패킷이 도달한다. NRT(non-real time) 패킷은 패킷 지연에 민감하지 않은 일반 트래픽이다. RT(real time) 패킷은 패킷 지연에 민감한 멀티미디어 트래픽으로서 사용자에게 따라 고유하다. 즉, 멀티캐스트를 할 수 없다. 멀티캐스트 패킷은 패킷 지연에 민감한 멀티미디어 트래픽으로서 인터넷 스트리밍 방송 서비스와 같이 사용자 군에 따라 멀티캐스트 가능하다.

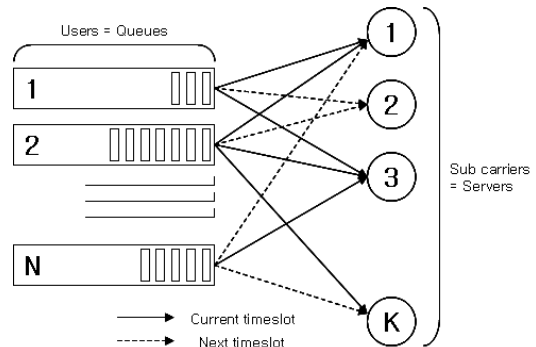


그림 1. 멀티 서버 큐잉 시스템
Fig. 1. Multi server queuing system

2.3 Advanced BMPA 기법

Advanced BMPA 기법의 상세 과정은 그림 2와 같다. 트래픽 분석(traffic analysis) 단계는 현재 T 라운드에 도달한 패킷 중 즉시 할당 가능한 멀티캐스트 패킷들을 검색하고 검색된 패킷들이 속한 큐들의 집합

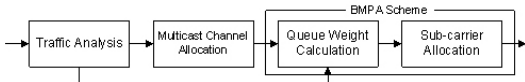


그림 2. Advanced BMAPA 기법의 블록 다이어그램
Fig. 2. Block diagram of advanced BMAPA

(Q)을 만들어 낸다. Q 가 공집합일 경우에는 큐 가중치 계산 단계로 넘어간다.

멀티캐스트 채널 할당(multicast channel allocation) 단계는 Q 에게 할당 가능한 서브 캐리어 중 채널 용량이 가장 좋은 서브 캐리어(k^*)를 멀티캐스트 채널로 할당한 후, 멀티캐스트 패킷들을 전송한다.

$$k^* = \arg \max_k \sum_{n \in Q} s_T(n, k) \quad (1)$$

큐 가중치 계산(queue weight calculation) 단계는 멀티미디어 패킷(RT 패킷, 멀티캐스트 패킷)과 NRT 패킷에 서로 다른 가중치($W_{media} > W_{NRT}$)를 부여하고 큐(n)에 따른 큐 가중치($W_T(n)$)를 계산한다.

$$W_T(n) = \left(\sum_{i=1}^{q_T(n)} 1_i \right) * W_{media} + \left(q_T(n) - \sum_{i=1}^{q_T(n)} 1_i \right) * W_{NRT} \quad (2)$$

$q_T(n)$ 은 T 라운드에서 큐 n 에 쌓여있는 패킷(backlog)의 개수이고, 1_i 는 멀티미디어 패킷의 인디케이터 함수이다. 큐 n 의 i 번째 패킷이 멀티미디어 패킷이면 1_i 는 1이고 그렇지 않으면 0이다.

[6]은 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시키기 위해서 모든 큐의 backlog 개수를 일치시켜야 한다는 것을 증명했다. Advanced BMAPA 기법은 서브 캐리어 할당(sub-carrier allocation) 단계에서 큐 가중치가 높은 큐에 서버를 우선적으로 할당함으로써 모든 큐의 큐 가중치를 동일하게 유지한다. 본 논문에서 $W_{media} > W_{NRT}$ 이기 때문에 많은 멀티미디어 패킷을 갖는 큐가 우선적으로 서버를 할당받게 되고, 이와 같은 과정은 패킷 스케줄링과 서브 캐리어 할당 기법을 동시에 수행함으로써 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시키고 멀티미디어 패킷 지연을 줄인다.

III. 시뮬레이션 결과

하나의 BS, 64명의 사용자, 128개의 서브 캐리어가

존재하는 OFDMA 다운링크 시스템을 고려했다. Symmetric on-off channel model을 가정했고 패킷이 도달하는 매 라운드마다 무선 채널 상황은 유동적으로 변경된다. BS에서 각각의 사용자에게 전송할 패킷들은 포이즌, 로그노말 확률 분포에 의해 발생되고, 매 라운드마다 패킷이 발생하면 특정 확률 값에 의해 패킷의 종류를 구분한다. 본 실험에서는 NRT 패킷, RT 패킷, 멀티미디어 패킷의 구분 확률을 0.5, 0.25, 0.25로 가정했다. BMAPA^[4]와 advanced BMAPA 기법에서 RT 패킷과 멀티캐스트 패킷의 가중치는 NRT 패킷 가중치의 두 배로 설정했고, 패킷 도달률마다 1000 라운드에 걸쳐서 시뮬레이션을 수행했다.

우리는 사용자 당 평균 큐 길이와 평균 멀티미디어 패킷 지연 측면에서 Multicast MU-WF, BMAPA, advanced BMAPA 기법을 비교했다. Multicast MU-WF^[8]는 서브 캐리어를 할당하기 전에 가장 좋은 채널을 멀티캐스트 채널로 설정해서 멀티캐스트 패킷을 전송한다.

그림 3은 패킷 도달률을 1.5부터 1.9까지 변화시키며 사용자마다 평균 큐 길이를 비교한 그래프이다. 일반적으로 패킷 도달률이 증가할수록 평균 큐 길이가 증가하고 패킷이 다소 규칙적으로 도달하는 포이즌 확률 분포가 로그 노말 확률 분포에 비해 짧은 큐 길이를 갖는다. 짧은 큐 길이를 갖는 시스템이 단위 시간 동안 더 많은 패킷을 전송할 수 있기 때문에 Advanced BMAPA 기법이 큐의 backlog를 효율적으로 관리하고 멀티캐스트 패킷을 고려하기 때문에 장기적으로 높은 전송 효율을 갖는다. Multicast MU-WF 기법이 BMAPA 기법에 비해 좋은 성능을 보이는 것으로부터 장기적으로 전송 속도를 높이기 위해서 backlog

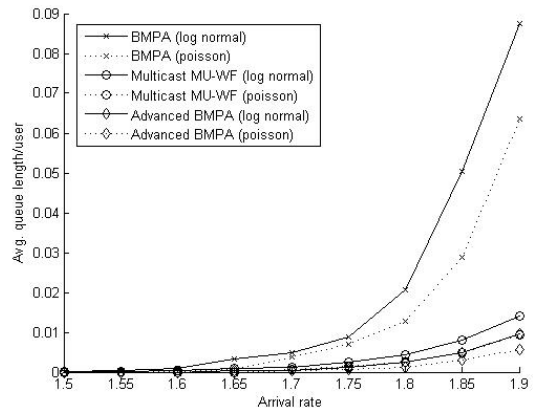


그림 3. Avg. queue length/user vs. Arrival rate
Fig. 3. Avg. queue length/user vs. Arrival rate

관리보다 멀티캐스트가 중요하다는 사실을 알 수 있고, 현 시뮬레이션 상황보다 멀티캐스트 패킷의 양이 늘어나면 이 차이는 더 커진다.

그림 4는 패킷 도달률을 1.5부터 1.9까지 변화시키며 사용자마다 평균 멀티미디어 패킷 지연을 비교한 그래프이다. 이 그래프의 멀티미디어 패킷 지연은 RT 패킷과 멀티캐스트 패킷을 모두 고려했고, 멀티미디어 패킷 지연 상황을 관찰함으로써 제안된 기법의 안정적인 멀티미디어 서비스 수행 능력을 평가할 수 있다. 일반적으로 패킷 도달률이 증가할수록 평균 멀티미디어 패킷 지연이 더 증가하고 포아즌 확률 분포가 로그 노말 확률 분포에 비해 짧은 멀티미디어 패킷 딜레이를 갖는다. 패킷 가중치가 높은 사용자에게 많은 채널을 할당하고 멀티캐스트 패킷을 동시 전송하는 advanced BMPA 기법이 가장 좋은 성능을 보인다. BMPA 기법이 Multicast MU-WF 기법에 비해 좋은 성능을 보이는 것으로부터 안정적인 멀티미디어 서비스를 수행하기 위해서 멀티미디어 패킷 관리가 중요하다는 사실을 알 수 있다.

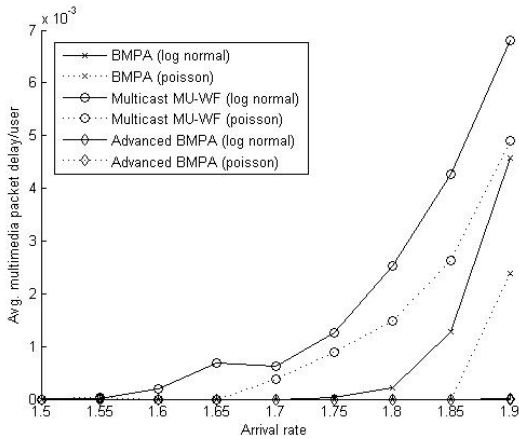


그림 4. Avg. multimedia packet delay/user vs. Arrival rate
 Fig. 4. Avg. multimedia packet delay/user vs. Arrival rate

IV. 결 론

이 논문에서 우리는 advanced BMPA 기법을 제안했다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 기법이 기존의 기법에 비해 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시키고 멀티미디어 패킷 지연 측면에서 큰 효율을 보인다는 사실을 증명했다. 또한, 장기적인 전송 속도를 향상시키기 위해서 패킷을 멀티캐스트하여 무선 자원을 효율적으로 관리하는 것이 중요하고 멀티미디어

패킷 지연을 최소화하기 위해서 멀티미디어 패킷 관리가 중요하다는 사실을 증명함으로써 실제 시스템의 목적에 따른 맞춤형 기법을 개발하는데 큰 기여를 할 것으로 예측된다.

Advanced BMPA 기법의 현실 적용을 위해서 symmetric on-off channel보다 현실적인 채널 모델에서 제안된 기법을 분석하고, 네트워크 상황에 따라 시스템 내에서 멀티미디어 패킷 가중치를 조절하여 최적의 QoS를 만족하는 기법에 관한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Ergen, S. Coleri and P. Varaiya, "QoS aware adaptive resource allocation techniques for fair scheduling in OFDMA based broadband wireless access systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol.49, No.4, Dec. 2003.
- [2] W. Rhee and J.M. Cioffi, "Increase in capacity of multiuser OFDM system using dynamic subchannel allocation," *Proc. of Vehicular Tech. Conf. (VTC)*, 2000, Vol.2, pp.1085-1089, May 2000.
- [3] C. Yih and E. Geraniotis, "Adaptive modulation, power allocation and control for OFDM wireless networks", *proc. IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor, Mob. Radio Communication*, Vol.2, pp.819-813, 2000.
- [4] 광용수, 김영용, "OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 신뢰성 있는 멀티미디어 서비스를 보장하기 위한 패킷 및 서브 캐리어 할당 기법", *전자공학회논문지-TC*, 46(4), pp.8-12, 2009 4월.
- [5] S. Parkvall, E. Englund, M. Lundevall, J. Torsner, and others, "Evolving 3G mobile systems: broadband and broadcast services in WCDMA," *IEEE Communications Magazine*, pp.30-36, Vol.44, 2006.
- [6] S. Kittipiyakul and T. Javidi, "Subcarrier allocation in OFDMA systems: beyond water-filling," in *Proc. 2004 Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Nov. 2004.
- [7] S. Kittipiyakul and T. Javidi, "A Fresh

Look at Optimal Subcarrier Allocation in OFDMA Systems,” *IEEE CDC 2004*, Dec. 2004.

- [8] J. Liu, W. Chen, Z. Cao, and K.B. Letaief, “Dynamic power and sub-carrier allocation for OFDMA-based wireless multicast systems,” *Proc. IEEE Int. Conf. Communications (ICC, 2008)*, pp.2607-2611.

김 영 용 (Young Yong Kim)

중신회원



1991년 서울대학교 전자공학과 학사
1993년 서울대학교 전자공학과 석사
2000년 University of Texas at Austin 전기 컴퓨터공학과 박사

1998년~2000년 Telcordia Technologies 연구원
2000년~2005년 연세대학교 전기전자공학부 조교수
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교수
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷

곽 용 수 (Yongsu Gwak)

정회원



2007년 연세대학교 전기전자공학부 학사
2007년~현재 연세대학교 전기전자공학부 통합 과정
<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷

고 정 하 (Chung Ha Koh)

정회원



2004년 연세대학교 전기전자공학부 학사
2006년 연세대학교 전기전자공학부 석사
2010년 연세대학교 전기전자공학부 박사
2010년~현재 Hong Kong University of Science and

Technology 박사후 연구원

<관심분야> 무선자원관리, Self-Organizing Network