

논문 2009-46TC-4-2

OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 신뢰성 있는 멀티미디어 서비스를 보장하기 위한 패킷 및 서브 캐리어 할당 기법

(Joint Packet and Sub-carrier Allocation Scheme to Ensure Reliable Multimedia Service in OFDMA Multicast System)

곽 용 수*, 김 영 용**

(Yongsu Gwak and Yong Young Kim)

요 약

우리는 BMPA(balanced multimedia packet allocation) 기법을 제안했다. 이 기법은 OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 서브 캐리어의 최적 할당 문제를 고려했다. RT(real time) 패킷과 NRT(non-real time) 패킷이 송신 단계에 동시에 도달했을 경우, BMPA 기법은 RT 패킷에 NRT 패킷보다 더 큰 가중치를 부여한다. 그리고 각 유저의 패킷 가중치 합에 따라서 서브 캐리어를 할당한다. 이 과정이 패킷 스케줄링과 서브 캐리어 할당 과정을 동시에 수행하게 되고 각 유저는 멀티미디어 패킷을 안정적으로 전송받을 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해 BMPA 기법이 기존의 멀티유저 워터필링 알고리즘에 비해 장기적으로 시스템의 전송 속도를 높이고 RT 패킷의 지연을 크게 줄인다는 것을 증명했다.

Abstract

We propose BMPA(balanced multimedia packet allocation) scheme. This scheme considers the issue of optimal sub-carrier allocation in OFDMA multicast system. When RT(real time) packets and NRT(non-real time) packets arrive at the same time, BMPA scheme gives higher weight to RT packets than NRT packets and then, it allocates sub-carriers according to the total weight sum of packets in each user. This process acts as both packet scheduler and sub-carrier allocation. Therefore, each user receives multimedia packets with reliability. With simulation results, it shows that BMPA scheme ensures long-term system throughput and, in average RT packet delay, BMPA scheme greatly outperforms multi-user water-filling algorithm.

Keywords: OFDMA multicast system, Packet and sub-carrier allocation, Multimedia service

I. 서 론

차세대 통신 시스템으로서 ISI(inter-symbol interference)와 주파수 선택 페이딩에 강한 특성을 보이는 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 멀티캐스트 시스템이 많은 주목을 받고 있다.

현재 OFDMA 멀티캐스트 시스템의 성능을 향상시키는 방법들에 관한 논의가 활발히 진행 중이고, 그 중에서도 서브 캐리어 할당 기법에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.

OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 서브 캐리어를 효율적으로 할당하기 위한 방법으로 멀티유저 워터필링 알고리즘이 제시됐다^[1~3]. 그러나 RT(real time) 패킷과 NRT(non-real time) 패킷이 동시에 전송되는 멀티미디어 서비스에서 멀티유저 워터필링 기법만으로는 신뢰성 있는 서비스를 보장할 수 없기 때문에 시스템 내에서 RT 패킷 지연에 관한 고려가 필요하다. 최근의 연구들은 RT 패킷 지연을 최소화하기 위한 다양한 방안을 제

* 학생회원, ** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학부 (Yonsei University, School of Electrical and Electronic Engineering)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0038)

접수일자: 2009년2월9일, 수정완료일: 2008년4월15일

시켰다^[5-7]. [5]와 [6]에서는 패킷 어드미션 컨트롤러와 패킷 스케줄러를 도입했다. 송신 단에서 네트워크가 혼잡하다고 판단할 경우, 패킷 어드미션 컨트롤러는 새로운 패킷의 진입을 막고 패킷 스케줄러는 RT 패킷에 NRT 패킷보다 큰 가중치를 부여한 후, 더 큰 가중치를 가진 RT 패킷이 서버 캐리어를 먼저 할당받게 된다. 그 외, [7]에서는 서버 캐리어 할당 시점에서 RT 패킷 손실을 경험한 사용자에게 더 많은 서버 캐리어를 할당함으로써 RT 패킷 지연을 줄인다.

그러나 선행 기법들은 몇 가지 단점을 갖는다. 첫째, 많은 기법들이 다단계로 이루어져 있기 때문에 긴 처리 시간과 복잡한 처리 과정을 갖는다. 둘째, 제시된 연구들은 멀티유저 워터필링 기법을 사용한다. dynamic programming^[8]에서 알 수 있듯이 단계적인 전송 속도 향상에 주력한 멀티유저 워터필링 기법은 BS에서 각각의 유저들에게 보낼 패킷 관리에 취약하기 때문에 장기적으로 전송 속도를 보장할 수 없다^[4].

그래서 OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 신뢰성 있는 멀티미디어 서비스를 보장하기 위한 새로운 기법은 다음과 같은 목표를 달성해야 한다.

- 1) 새로운 기법은 단순해야 한다. 우리는 한 단계만으로 패킷 스케줄링과 서버 캐리어 할당 기법의 효과를 얻어야 한다.
- 2) 새로운 기법은 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시키고 RT 패킷 지연을 최소화해야 한다.

두 목표를 달성하기 위해 우리는 BMPA 기법을 제시했다. BMPA 기법에 관한 자세한 사항은 섹션 II에서 다룰 것이다. 섹션 III는 시뮬레이션 결과에 대해 기술 하겠다. 마지막으로 제시된 기법에 관한 평가와 결론은 섹션 IV에서 다룰 예정이다.

II. BMPA 기법

우리는 하나의 BS(base station)와 하나의 셀로 구성된 단일 홉 OFDMA 멀티캐스트 시스템을 가정했다. N명의 유저가 존재하고 모든 유저들이 K 개의 서버 캐리어를 공유한다. 모든 과정은 타임 슬롯화 되어 있어서 각각의 타임 슬롯마다 서버 캐리어의 채널 용량이 바뀌고 모든 과정은 한 타임 슬롯 동안 진행된다.

BS와 유저 사이의 무선 채널은 symmetric on-off

channel을 가정했다. BS는 가장 나쁜 채널 환경을 가진 유저에 맞춰서 전송 파워를 결정하고, Rayleigh fading과 AWGN이 고려되었다. 채널 용량이 임계점보다 높으면 CSI(channel state information)는 1이고, 그렇지 않을 경우는 0이다. CSI가 1이면 BS는 해당 서버 캐리어를 통해 한 타임 슬롯동안 하나의 패킷을 전송할 수 있다.

예를 들어 $s_t(n, k)$ 는 타임 슬롯 t에서 CSI를 표시하는 행렬이다. $s_t(n^*, k^*) \equiv 1$ 이면 BS는 단위 시간 동안 서버 캐리어 k^* 를 통해 유저 n^* 에게 하나의 패킷을 전송할 수 있고, $s_t(n^*, k^*) \equiv 0$ 일 경우에는 해당 서버 캐리어를 이용할 수 없다.

$w_t(n, k)$ 는 타임 슬롯 t에서 유저 n에게 서버 캐리어 k의 할당 여부를 표시하는 행렬이다. 임의의 채널 할당 기법을 수행한 후, $w_t(n^*, k^*) \equiv 1$ 이면 서버 캐리어 k^* 는 유저 n^* 에게 할당된 것이다. 또한 임의의 채널 할당 기법을 통해 각각의 타임 슬롯 동안 임의의 유저는 복수의 서버 캐리어를 할당받을 수 있지만, 한 서버 캐리어는 복수의 유저에게 할당될 수 없다.

$$\sum_{n=1}^N w_t(n, k) \leq 1, \forall k = 1, \dots, K \quad (1)$$

위의 가정을 바탕으로 모든 유저와 채널의 정보를 완벽하게 알고 있는 BS가 각각의 유저에게 데이터를 전송하려 한다. 각각의 유저에게 전송될 패킷은 확률적으로 도달하고, 시스템의 전송 속도를 높이기 위해서 BS는 서버 캐리어를 적절하게 할당해야 한다. 이것이 OFDMA 멀티캐스트 시스템에서 서버 캐리어 할당 문제이다. 이 문제는 최적의 해결책이 없는 NP hard 문제이지만 BS가 모든 유저와 채널의 정보를 완벽하게 알고 있기 때문에 멀티 서버 큐잉 시스템으로 해석 가능하다. 즉, BS에서 각각의 유저로 전송될 패킷의 대기열은 큐와 같고, 채널을 형성하는 서버 캐리어는 다수의 서버와 같다.

그림 1과 같이 다수의 큐와 서버가 존재하는 상황에서 CSI에 따라 서버와 큐의 연결이 각각의 타임 슬롯마다 달라진다. 이와 같은 멀티 서버 큐잉 시스템에서 장기적으로 시스템의 전송 속도를 높이고 RT 패킷의 딜레이를 줄이기 위한 효율적인 해결책으로 BMPA 기법을 제시했다.

BMPA 기법이 어떻게 동작하는지 설명하기에 앞서

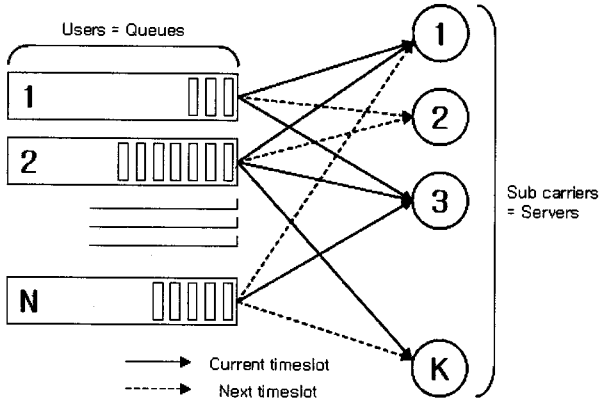


그림 1. 멀티 서버 큐잉 시스템
Fig. 1. Multi server queueing system.

패킷 가중치와 큐 가중치라는 개념을 도입했다. RT 패킷 가중치(W_{RT})와 NRT 패킷 가중치(W_{NRT})는 어플리케이션에 따른 RT 패킷의 중요도에 의해 다르게 설정된다. 예를 들어 RT 패킷의 중요도가 높은 VoIP 서비스에서는 RT 패킷 가중치는 NRT 패킷 가중치의 수배에 해당하는 값을 갖게 되고, RT 패킷의 중요도가 상대적으로 낮은 서비스에서는 RT 패킷 가중치와 NRT 패킷 가중치 값의 차이가 미비할 것이다.

큐 가중치는 BS에서 각각의 유저들에게 전송될 패킷 가중치의 합이다. 시스템 환경에 의해 BS에서 각각의 유저들에게 전송될 큐에 쌓여있는 패킷(backlog)의 총 개수와 RT 패킷과 NRT 패킷 간의 비율이 다르기 때문에 유저마다 고유의 큐 가중치(W_t)가 존재한다.

$$W_t(n) = \left(\sum_{i=1}^{q_t(n)} 1_i\right) * W_{RT} + (q_t(n) - \sum_{i=1}^{q_t(n)} 1_i) * W_{NRT} \quad (2)$$

$q_t(n)$ 는 타임 슬롯 t에서 큐 n에 쌓여있는 패킷(backlog)의 개수이고, 1_i 는 RT 패킷의 인디케이터 함수이다. 큐 n의 i번째 패킷이 RT 패킷이면 1_i 는 1이고 반대의 경우는 0이다.

[4]는 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시키기 위해서 모든 큐의 backlog 개수를 똑같이 만들어야 된다는 것을 증명했다. 장기적인 전송 속도 향상뿐만 아니라 RT 패킷 지연을 최소화하기 위해서 BMPA 기법은 모든 큐의 큐 가중치를 동일하게 유지하려 한다. 멀티미디어 어플리케이션에서 RT 패킷 가중치가 NRT 패킷 가중치에 비해 크기 때문에 RT 패킷을 많이 가지고 있는 큐는 상대적으로 더 큰 큐 가중치 값을 갖게

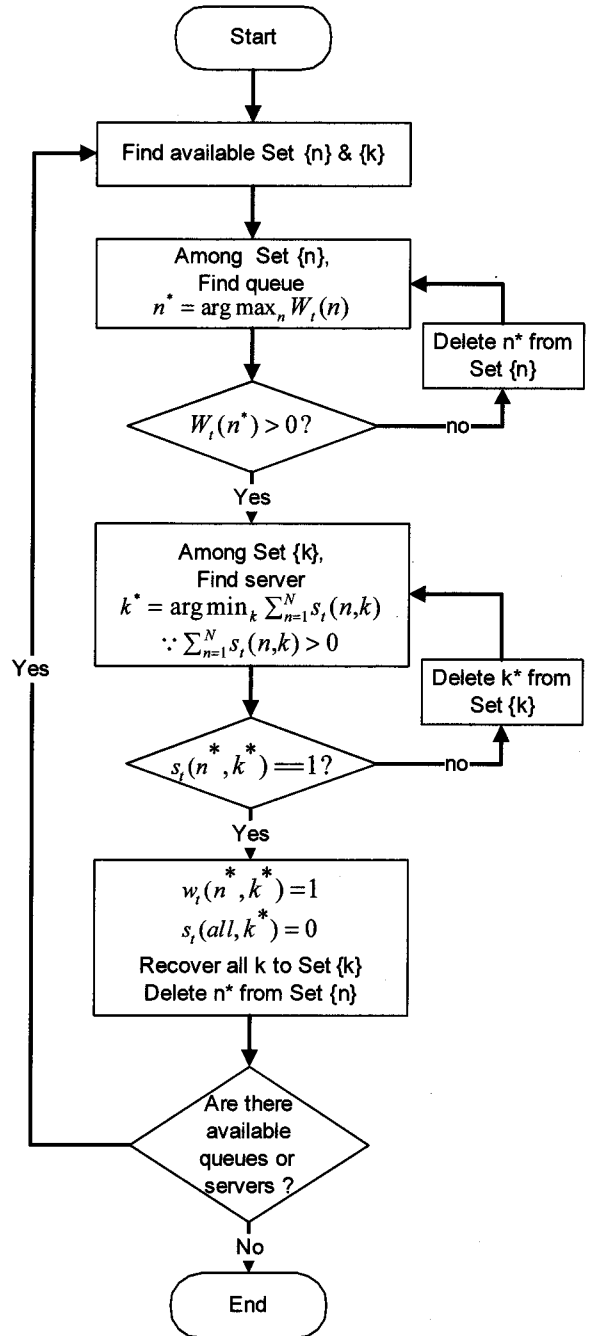


그림 2. BMPA 기법의 순서도
Fig. 2. The flowchart of BMPA scheme.

되고 BMPA 기법의 특징에 의해 우선 서버를 할당받게 된다. 이와 같은 과정을 통해 BMPA 기법은 패킷 스케줄링과 서브 캐리어 할당 기법을 동시에 행하는 효과를 얻게 된다.

모든 유저(큐)의 큐 가중치를 동일하게 유지하기 위해서 BMPA 기법은 다음과 같은 과정을 수행한다.

- 1) 현 단계에서 전송해야 할 패킷이 쌓여있는 큐 집합($\{n\}$)과 아직 큐에 할당되지 않은 서버의 집합($\{k\}$)

을 찾는다.

2) 1)에서 찾은 큐의 집합 중, $W_t(n^*)$ 이 가장 큰 큐 n^* 을 찾는다.

3) 1)에서 찾은 서버의 집합 중, $\sum_{n=1}^N s_t(n, k)$ 가 가장 작은 서버 k^* 를 찾는다. 채널을 효율적으로 사용하기 위해서 채널 환경이 좋지 않은 서브 캐리어부터 할당해야 하기 때문이다.

4) $s_t(n^*, k^*)$ 이 1인지 확인한다. $s_t(n^*, k^*)$ 이 0일 경우, 서버 k^* 을 집합 $\{k\}$ 에서 제거한 후, 3)의 과정을 반복한다.

5) 서버 k^* 를 큐 n^* 에게 할당하고 k^* 를 집합 $\{k\}$ 에서 제거한다.

6) 집합 $\{n\}$ 또는 $\{k\}$ 가 공집합이 될 때까지 1) - 5)의 과정을 반복한다.

BMPA 기법은 각각의 타임 슬롯동안 위의 과정을 반복해서 수행한다. 그림 2는 BMPA 기법의 순서도이다.

III. 시뮬레이션 결과

하나의 BS, 64명의 유저, 128개의 서브 캐리어가 존재하는 단일 셀에서의 OFDMA 멀티캐스트 시스템을 고려했다. symmetric on-off channel이 설정되었고 CSI는 path loss, rayleigh fading, AWGN에 의해 결정된다. BS에서 각각의 유저에게 전송할 패킷들은 포아존 확률 분포와 로그노말 확률 분포에 의해 도달한다. 패킷이 도달할 때마다 특정 확률 값 $p(0 \leq p \leq 1)$ 에 의해 RT 패킷 발생 여부를 결정하고, 본 실험에서는 p 를 0.2로 설정했다.

우리는 평균 큐 길이와 평균 RT 패킷 지연 측면에서 멀티유저 워터필링 기법과 BMPA 기법을 비교했다.

그림 3은 패킷 도달률을 1.5부터 1.95까지 변화시키며 유저마다 평균 큐 길이를 비교한 그래프이다. 일반적으로 패킷 도달률이 증가할수록 평균 큐 길이가 증가하고 포아존 분포에 비해 패킷 도달이 폭발적인 로그노말 분포에서 평균 큐 길이가 더 길다. 장기적인 전송속도를 고려했을 때, 특정 시스템이 짧은 큐 길이를 갖는다는 것은 단위 시간 동안 더 많은 패킷을 전송했다는 사실과 일치한다. 그러므로 큐의 backlog를 효율적으로 관리하는 BMPA 기법이 멀티유저 워터필링 기법에 비해 장기적으로 시스템의 전송 속도를 향상시킨다는 사실을

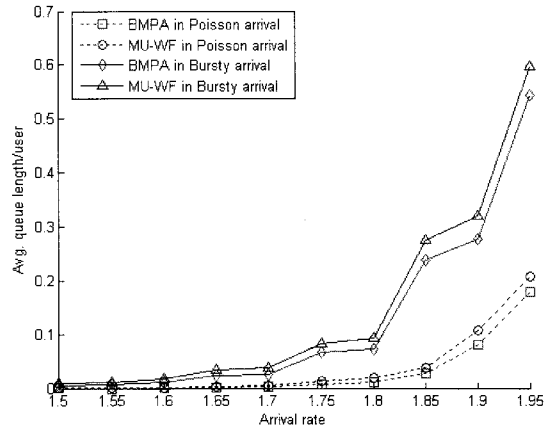


그림 3. Avg. queue length per user vs. Arrival rate for BMPA and MU-WF.

Fig. 3. Avg. queue length per user vs. arrival rate for BMPA and MU-WF.

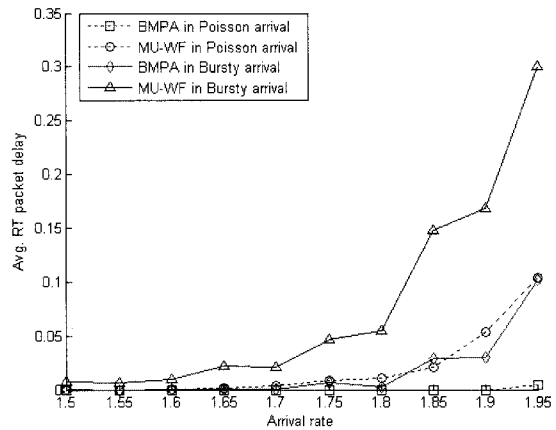


그림 4. Avg. RT packet delay vs. Arrival rate for BMPA and MU-WF.

Fig. 4. Avg. RT packet delay vs. arrival rate for BMPA and MU-WF.

알 수 있다.

그림 4는 패킷 도달률을 1.5부터 1.95까지 변화시키며 평균 RT 패킷 지연을 비교한 그래프이다. 시뮬레이션 동안 RT 패킷 가중치는 NRT 패킷 가중치에 비해 두 배의 값을 갖는다고 가정했다. 그림 2와 같이 패킷 도달률이 증가할수록 평균 RT 패킷 지연이 증가하고 포아존 분포에 비해 패킷 도달이 폭발적인 로그노말 분포에서 평균 RT 패킷 지연이 더 길다. RT 패킷 지연을 고려하여 큐 가중치에 따라 서브 캐리어를 할당하는 BMPA 기법이 멀티유저 워터필링 기법에 비해 좋은 성능을 보이고, 특히 패킷 도착이 폭발적인 환경에서 멀티유저 워터필링 기법에 비해 3배 정도 적은 RT 패킷 지연을 갖는다는 사실을 확인할 수 있다. 그리고 RT

패킷 가중치가 NRT 패킷 가중치에 비해 크면 클수록 이 차이는 더 커진다.

IV. 결 론

이 논문에서 우리는 BMPA 기법을 제안했다. 시뮬레이션 결과를 통해 BMPA 기법이 멀티유저 워터필링 기법에 비해 장기적으로 시스템의 전송 속도 향상과 RT 패킷 지연 측면에서 큰 효율을 보인다는 사실을 증명했다. 특히, 실제 네트워크 환경과 같이 패킷이 폭발적으로 도달하는 로그노말 확률 분포에서 BMPA 기법이 멀티유저 워터필링 기법에 비해 큰 성능 향상을 보이기 때문에 BMPA 기법을 현실적으로 적용하더라도 큰 효과를 발휘할 것이라고 예측된다.

BMPA 기법의 현실적인 적용을 위해서 우리는 0과 1의 값만을 갖는 symmetric on-off channel 대신 다단계의 값을 갖는 multi-level channel에서도 좋은 성능을 보이도록 BMPA 기법을 보완하겠다. 그리고 네트워크 상황에 따라 시스템 내에서 RT 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] J. Jang, K.B. Lee, and Y.H. Lee, "Transmit Power and Bit Allocations for OFDM Systems in a Fading Channel," *Proc. IEEE GLOBECOM 2003*, Dec. 2003.

[3] S. Pfletschinger, G. Munz, J. Speidel, "An efficient water-filling algorithm for multiple access OFDM," *IEEE Globecom '02*, Taipei, Taiwan, November 2002.

[4] 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.

[5] W. S. Jeon and D. G. Jeong, "Combined connection admission control and packet transmission scheduling for mobile Internet services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, in press.

[6] S. S. Jeong, D. G. Jeong, and W. S. Jeon,

"Cross-layer Design of Packet Scheduling and Resource Allocation in OFDMA Wireless Multimedia Networks," *IEEE VTC 2006*, May. 2006.

[7] Ahmed K. F. Khattab and Khaled M. F. Elsayed, "Opportunistic Scheduling of Delay Sensitive Traffic in OFDMA-based Wireless Multimedia Networks," in *Proc. 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, June. 2006.

[8] S. Kittipiyakul and T. Javidi, "A Fresh Look at Optimal Subcarrier Allocation in OFDMA Systems," *IEEE CDC 2004*, Dec. 2004.

[9] A. Khattab, "Channel-aware scheduling of delay-bounded multimedia traffic in wireless networks beyond 3G," *M.Sc. Thesis, Cairo University, Egypt*, 2004.

저 자 소 개



광 용 수(학생회원)
2007년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업.
2007년 연세대학교 전기전자공학부 통합 과정.
<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷, 애드혹 및 센서 네트워크>



김 영 용(평생회원)
1991년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1993년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
2000년 University of Texas at Austin 전기·컴퓨터공학과 박사 졸업.

1998년~2000년 Telcordia Technologies 연구원
2000년~2005년 연세대학교 전기전자공학부 조교수
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학부 부교수
<주관심분야 : 차세대 이동통신 시스템, 차세대 인터넷, 애드혹 및 센서 네트워크>