

# IEEE 무선랜에서 부분적인 큐 정보를 이용한 적응적인 MAC 스케줄링 기법

정회원 신수영, 종신회원 장영민

## Adaptive MAC Scheduling Scheme using Partial Queue Length Information in IEEE Wireless LAN

Soo-Young Shin, Yeong Min Jang *Regular Members*

### 요 약

IEEE 802.11b에서는 기본서비스인 DCF와 QoS를 제공하기 위한 무경쟁 서비스인 PCF가 제공된다. DCF는 CSMA/CA(충돌을 회피하는 매체 접속 기법) 접속 프로토콜을 사용한다. 본 논문에서는 PCF를 수정하여 트래픽의 부하가 많아진 채널에 가중치를 두어 서비스 하는 기법을 제시하였다. 스테이션 측으로부터 부분적인 큐의 정보를 받아 가중치를 계산하였으며 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 PCF 기법을 수정한 기법의 우수성을 검증하였다.

Key Words : Wireless LAN, DCF, PCF, MAC Scheduling, Polling

### ABSTRACT

In the IEEE 802.11b, DCF provides contention based services and PCF provides contention free services for QoS support. DCF uses CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) as an access protocol. In this paper, an enhanced PCF, which gives weights to channels with heavy traffic load, was proposed. The weight is depending on the partial queue length information from STAs. NS-2 simulation results show that the proposed scheme is an promising approach for enhancing the PCF.

### 1. 서 론

무선랜은 다양한 정보와 자원을 공유할 수 있는 LAN(Local Area Network)의 장점과, 제약 없는 연결성 제공이라는 편리성을 동시에 제공하는 무선통신기술의 결합으로 무선 데이터 전송뿐 아니라 유선성과 설치의 용이성까지 지원한다.

무선랜에서 가장 핵심이 되는 문제는 전송속도의 향상이다. 이러한 점에서 접속의 문제를 담당하는 MAC 부계층의 역할이 중요시 되고 있다.<sup>[1]</sup> IEEE 802.11a, IEEE 802.11b 모두 IEEE 802.11의 MAC을 공통적으로 사용하고 IEEE 802.11e 또한

호환성(Backward Capability)을 제공한다는 점을 감안할 때 속도가 향상되더라도 채널 접속 상에서 충돌이 많이 일어난다면 전체적인 시스템의 성능이 저하될 수 있을 것이다. 따라서 무선랜에서 충돌 발생률의 감소와 충돌한 패킷에 대한 신속한 에러 복구는 전체 시스템 성능향상에 막대한 영향을 미친다. IEEE 802.11 Working Group에서 정의하고 있는 MAC 부계층에선 DCF는 필수로, PCF는 추가항목으로 하는 DCF와 PCF의 혼재 방식을 정의하고 있다.

본 논문에서는 특히 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 MAC 스케줄링 영역에서 QoS 보장을 위해

\* 국민대학교 BIT학부 (sy-shin@kookmin.ac.kr), \*\* 국민대학교 전자정보통신공학부 (yjang@kookmin.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-08-158, 접수일자 : 2004년 8월 일

\*본 연구는 2003년도 학술진흥재단의 지원(과제번호 : KRF-2003-003-D00282)을 받아 수행되었습니다.

사용되고 있는 기존의 PCF 기능을 추가, 변경하여 일반적인 경우에 네트워크가 처리해야 되는 불균형하고 변동이 많은 채널의 상태에 적응할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시하고자 한다.

본 논문의 순서는 아래와 다음과 같다. 2장에서 시뮬레이션 비교의 대상인 기존 802.11 MAC 방식인 DCF와 PCF 대해서 간략히 살펴보고, 3장에서는 버퍼에 쌓여있는 처리할 데이터의 큐 길이 정보를 참조하여 수정한 새로운 스케줄링 기법을 설명하였으며, 4장에서는 이 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 끝으로 5장에서 결론을 유도한다.

## II. 무선랜의 MAC <sup>(5)</sup>

무선매체에 접근하기 위해서는 CSMA/CA 방식이 DCF에 의해서 제공되며 이는 경쟁서비스이다. 무경쟁서비스를 위해서는 PCF가 사용되며 이는 인프라구조 네트워크에서 AP의 주도하에 이루어지게 된다.

### 1. DCF

데이터를 전송하기 전에 무선 링크의 상태를 검사하고 숨겨진 노드 문제(Hidden Node Problem)를 해결하기 위해 매체 접근 연기(NAV)를 사용하며 충돌을 피하기 위해 프레임의 종료 시점에서 백오프를 사용한다. 그림 1은 DCF의 CSMA/CA 기법의 예이다. DCF 방식은 무선랜의 MAC 에서 기본 접속 방법이며 이 방식은 경쟁기반의 서비스를 제공하게 되는데 접속 방법으로 백오프 알고리즘(Backoff Algorithm)을 사용한다. 백오프 알고리즘에서 슬롯 선택과정이 진행되면 경쟁 후반에 위치하는 슬롯들은 상대적으로 선택 확률이 낮아지게 된다. 이로 인해 전체적인 처리율의 저하와 패킷의 전송지연이 늘어났다.

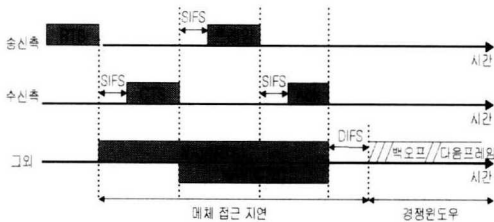


그림 1. DCF 동작 절차

### 2. PCF

PCF는 타임 슬롯을 예약해서 보낼 수 있도록 하

는 무경쟁 서비스를 제공하며 실시간 전송을 위해 제안되었다. 그러나 지금까지 제안된 방식은 Fairness 문제로 형평성의 보장이 확실적으로 이루어져 트래픽의 크기나 양이 변화될 때 적응적인 서비스를 제공할 수 없다는 단점이 있다. 예를 들면 실시간 트래픽인 음성과 동영상의 경우 요구되는 트래픽의 양과는 상관없이 동일한 만큼의 서비스를 제공할 수 있게 되는 것이다. 매체에 공정한 접근을 하도록 지원하며 DCF와 교대로 서비스되어 이런 무경쟁 기간에는 Near isochronous 한 서비스를 제공하도록 되어 있다. AP 또는 PC(Point Coordinator)에 의해 폴링이 수행되고 모든 전송은 확인과 응답 절차가 요구된다. 무경쟁 기간이 시작될 때, AP는 비콘 프레임을 전송한다. 비콘 프레임 내부에는 CFP\_Max\_Duration 값인 최대 지속시간이 포함되어 있고 이 정보를 수신한 모든 스테이션은 NAV를 설정하게 된다. 폴링의 리스트에 포함되어 있는 스테이션 중에서 동작상태에 있는 대상에게 CF-Poll로 전송을 허락하고 스테이션에서 AP로의 전송이 일어날 수 있게 되는 것이다.

그림 2는 PCF 사용의 예를 보여준다.

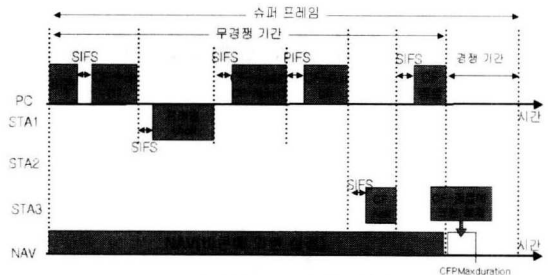


그림 2. PCF 동작 절차

## III. 제안된 PCF 알고리즘

PCF의 단점을 보완하기 위해서 현재 PCF에서 일반적으로 적용하고 있는 RR(Round Robin) 방식 외에 트래픽이 발생 빈도와 양에 따라 변동되는 기법의 연구가 요구된다. 본 연구에서는 각각의 단말에 쌓여있는 패킷의 수, 즉 버퍼에 쌓여 있는 데이터의 양을 측정하여 측정값의 부분 정보를 이용한 적응적인 폴링 알고리즘을 제시한다.

### 1. 부분정보의 저장과 전송

본 논문에서는 큐의 정보를 전송하기 위해 정의 되어 있지 않은 헤더에서 여유 공간의 일부분인 1

비트를 사용한 것을 가정하였다. 이는 현재의 프레임의 구조를 변경하지 않고 정보를 송수신 할 수 있는 방법이다. 물론 페이로드에 정보를 포함시켜 전송할 수 있다. 이럴 경우 패킷 당 1 비트의 오버헤드가 발생하게 되어 시스템의 성능에 다소간의 영향을 주게 된다. 또한 부분정보의 정확도를 높이기 위해서 2 비트 이상의 정보를 사용할 수도 있지만 무선 자원이 가지고 있는 특성상 AP의 프로세싱을 최적화하는 차원에서 1 비트만의 정보를 사용하였다. 실제로 시뮬레이션 검증에서 2 비트 이상을 사용하는 경우 시스템의 성능은 다소간의 상승을 가져오기도 하였으나 트래픽이 적은 다른 스테이션의 형평성과 스케줄러의 처리속도를 더 중요하게 고려하였다.

Sharing) 알고리즘

각 Uplink로 전송된 1 비트로 표시된 STA의 부분적인 큐 정보를 참조한 스케줄러는 STA의 전송 버퍼에 많은 양의 데이터를 쌓고 있는 STA에 상대적으로 많은 서비스의 기회를 부여함으로써 효율성을 높이게 된다. 폴링 리스트는 매 폴링리스트 수정 시간 간격(Polling List Update Time Interval)마다 수정하게 된다. 이때 각 정보를 통합하여 각 채널에 적절한 가중치를 부여하는 공정한 스케줄링(Fair Scheduling)이 요구되는데 본 논문에서는 이미 제시된 바 있는 GPS 알고리즘을 기반으로 WLAN 시스템에 맞는 모델을 제안하였다.

다음 식들은 수정된 GPS 알고리즘을 표현한 것이다.<sup>[6]</sup>

2. 수정된 GPS(Generalized Processor

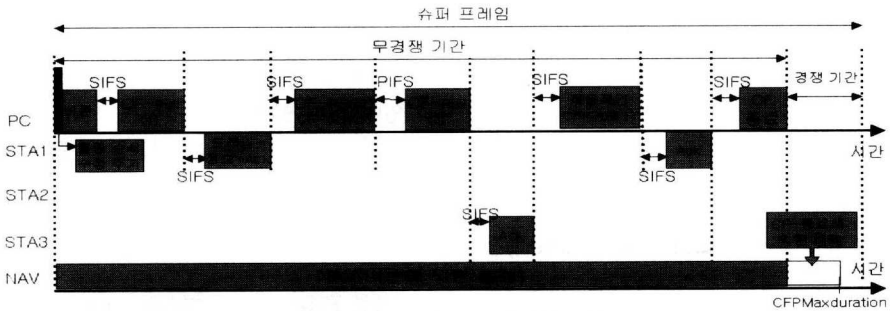


그림 3. 제안된 PCF의 실행 예

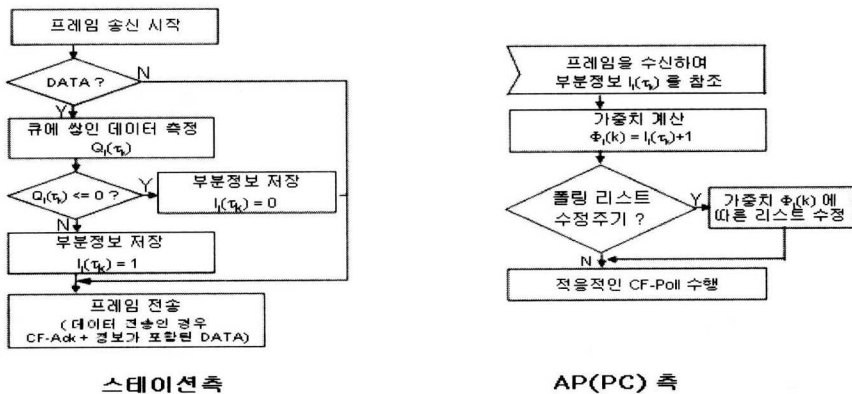


그림 4. 수정된 GPS 알고리즘

$(\tau, t)$  : 현재 서비스되고 있는 시간간격  
 $\tau_k$  :  $t_k$  와  $t_{k-1}$  사이의  $k$ 번째 시간간격  
 $Q_i(\tau_k)$  : 최근에 측정된  $i$  번째 채널에 쌓여있는 데이터의 양

$S_i$  : 서비스 받는 총 량  
 $I_i(\tau_k)$  :  $Q_i(\tau_k)$ 로부터 산출한 1비트 부분정보  
 $\Phi_i$  :  $i$  번째 채널이 가진 가중치  
 $W_{min}$  : 채널당 최소한 제공되어야 하는 서비스 량



C : 단위시간에 네트워크가 수용할 수 있는 최대 서비스 가능량

$$\frac{S_i(\tau, t)}{S_j(\tau, t)} \geq \frac{\Phi_i}{\Phi_j}, \quad \text{for } j=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

식 (1)에서 GPS 알고리즘은 전체 채널의 대역폭을 각각의 채널이 갖고 있는 가중치( $\Phi$ ) 이상을 비율적으로 나누어 사용하고 원하는 서비스(S)를 실시간으로 제공한다. 이상적인 개념으로 실제로 적용하기 위해 약간의 수정이 필요하게 된다. 큐에 쌓여있는 패킷의 수를 부분정보 1 비트로 산출하는 것은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} Q_i(\tau_k) = 0 & \quad \text{이면} \quad I_i(\tau_k) = 0 \\ Q_i(\tau_k) > 0 & \quad \text{이면} \quad I_i(\tau_k) = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\Phi_i(k) = I_i(\tau) + W_{min} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \Phi_i(k) \leq C \quad (4)$$

스케줄러는 제공받은 부분정보( $I_i(\tau_k)$ )로부터 가중치( $\Phi_i(k)$ )를 산출하게 되는데 식 (3)은 Polling List의 수정을 위해서 최소의 형평성을 보장하기 위한 최소값  $W_{min}$ 이 더해진 것이다. 본 논문에서는 그 값을 1 즉, 한번의 기회로 적용하였다. 식 (4)는 n개의 채널이 존재할 때 모든 채널이 동일한 k번째 시간 간격 안에서 가지는 가중치의 합은 전체 서비스 가능량인 C를 넘을 수 없다는 것을 표현한 것이다. 이러한 가중치에 의한 폴링리스트의 수정이 이루어지게 된다. 그림 4는 수식의 적용과정을 스테이션과 AP(PC) 측으로 나누어 흐름도로 표시한 것이다.

적절한 폴링 리스트 수정 간격을 결정하는 것도 중요한 부분이다. 본 논문에서는 비콘의 생성주기와 동일하게 폴링 수정 주기를 책정하였다. IEEE 802.11b에서 슈퍼 프레임의 사이즈는 유동적이고 데이터 프레임의 크기도 변화할 수 있으므로 비콘의 생성주기 또한 유동적이라 할 수 있다. 이 때 실시간으로 심하게 변동하는 데이터 트래픽 부하가 발생한 트래픽 환경이라면 최적의 간격을 유지하는 것이 성능에 영향을 더욱 미치게 된다.

그림 3은 수정된 PCF 기법을 설명하고 있다. 먼저 슈퍼프레임 시작 시점에서 폴링 리스트 수정 시간에 도달하여 채널의 버퍼 정보를 이용한 폴링리스트의 수정이 일어나고 비콘 신호 발생 이후 각 스테이션에 폴링을 시도하게 된다. 버퍼에 많은 양

의 데이터를 가진 STA1에게 추가적인 적응적인 폴링이 이루어지고 있는 모습을 보이고 있다.

### 3. 무선랜을 위한 새로운 스케줄링 알고리즘

수정된 기법은 AP 주도 하에서 Polling 순서 및 빈도를 재조정하게 된다. 인프라구조 모드에서 동작하게 되는 제안된 PCF 기법은 STA 측에서는 현재 송신 버퍼에 쌓여있는 패킷의 양을 측정하고, 일정한 기준에 의해 환산된 부분정보(1 비트)를 프레임의 내부에 포함시켜 전송하는 역할을 한다.

AP 측에서는 받은 데이터 프레임의 내부 정보를 참조하여 폴링 리스트의 수정 시간이 도달할 때까지 저장하고 있다가 도달하면 수정된 GPS 알고리즘에 따라 각각의 채널이 요구하는 가중치를 적용하여 리스트를 수정하고 폴링을 할 때는 최근에 수정된 리스트에 의거, 가중치가 적용된 적응적인 폴링 기법을 수행하게 된다. 그림 5와 6은 제안한 알고리즘을 스테이션과 AP측에서 수행되는 절차로 의사 코드화 한 것이다.

```

/* 스테이션에서 AP로의 전송 상황 */
IF (새로운 송신처리 = YES) THEN {
  IF (데이터 전송 = YES) THEN {
    버퍼에 쌓여있는 패킷의 개수 측정;
    /* 버퍼에 적재된 패킷의 개수를 1 비트의
    정보로 전환하는 과정 */
    IF (패킷의 개수 = 0) THEN 정보 = 0;
    IF (패킷의 개수 > 0) THEN 정보 = 1;
    프레임의 일부분에 1 비트의 정보를 저장;
    /* 정보가 포함된 Uplink 트래픽과
    CF-Ack를 Piggyback으로 전송*/
    프레임 전송;
  }
}
ELSE 프레임 전송;
    
```

그림 5. STA 측에서의 처리과정

```

/* 데이터를 수신한 경우 Polling List 정보 저장 */
IF (새로운 수신처리 = YES) THEN {
  IF (데이터 수신 = YES) THEN {
    프레임에 포함된 송신측 버퍼정보 참조;
    정보를 갖고 있는 배열에 저장;
  }
}
/* 폴링 리스트 수정시간인 경우 리스트의 수정 */
IF (폴링 리스트 수정 시간 = YES) THEN {
  수정된 GPS 알고리즘에 의한 값 설정;
  폴링 리스트의 수정;
}
/* CF-Poll 패킷 전송 시 */
IF (새로운 송신처리 = YES) THEN {
  IF (폴 패킷 = YES) THEN {
    폴링 리스트 참조;
    인덱스 ++;
    폴 패킷 전송;
  }
}
    
```

그림 6. AP 측에서의 처리과정

### IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위해 NS-2 (Network Simulator 2) 를 사용하였으며 비교의 대상으로 기존의 DCF와 PCF, 그리고 제안한 기법을 선정하여 각각 CBR(Constant Bit Rate) 트래픽을 발생시켜 13 단계로 나누어 트래픽 부하를 조정하였다. 또한 특정한 한 개의 채널에 대량의 트래픽(Voice의 5배)을 발생시켜 Video 데이터가 포함된 불균형한 채널환경을 형성하여 그렇지 않은 경우와의 비교를 수행하였다. UDP 프로토콜 위에서 동작하기 때문에 전송 실패한 패킷의 수를 측정하여 처리율과 성능의 향상을 검증하였다. 시뮬레이션 모델은 10개의 스테이션과 1개의 AP가 인프라 구조로 연결되고 DCF인 경우 모두가 CSMA/CA를 사용하는 MAC이 구성되고 PCF인 경우 7개의 스테이션은 PCF 모드로, 3개의 스테이션은 DCF로 동작하여 반복적으로 동작하는 슈퍼 프레임을 이루도록 하였으며 제안한 PCF의 경우 PCF와 동일한 환경과 변수에 수정된 폴링 기법을 적용 하였다. 다음 표 1은 시뮬레이션 시 파라미터 값들이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

항목	값	항목	값
Time	50 sec	CBR interval	0.00173 sec
STA	10	CBR size	210, 510
AP	1	Super Frame size	300 TU
Bandwidth	11Mbps	DSSS_CWMin	31
Buffer size	100	DSSS_CWMax	1,023
Slot size	20 $\mu$ s	ShortRetryLimit	7
MRLT	512 TU	RTSThreshold	3,000 bytes

TU : Time Units (1 TU = 1,024 $\mu$ s)

그림 7과 8은 각 기법의 처리율을 보여주고 있다. 제안한 New-PCF 기법은 균형을 경우와 불균형한 경우 모두에서 처리율 상승을 가지고 왔으며 특히 불균형한 경우 기존의 DCF, PCF 보다 향상된 처리율을 보였다. 특히 PCF와 비교하여 균형을 경우 최대 28%, 불균형한 경우 최대 34%정도 더 높은 처리율을 보였다. 전송 실패율은 트래픽의 부하가 커질 수록 늘어나 트래픽의 로드가 커지면서 급격하게 증가하는 양상을 보였으며 처리율과의 상대적인 비교에서는 반비례하는 양상을 보였고 표 2는

네트워크 전체 전송로에 부하가 최대가 되는 순간의 전송 실패율을 비트단위와 패킷단위로 환산하여 비교한 것이다.

표 2. 전송실패율 비교

	균형한 경우	불균형한 경우
DCF	2,858 Kb/sec	3,355 Kb/sec
	1,743 Packet/sec	2,045 Packet/sec
	71.45 %	74.55 %
PCF	2,193 Kb/sec	2,465 Kb/sec
	1,337 Packet/sec	1,502 Packet/sec
	54.82 %	57 %
N-PCF	1,017 Kb/sec	1,201 Kb/sec
	620 Packet/sec	732 Packet/sec
	25.67 %	26.29 %

트래픽 부하가 균형을 경우

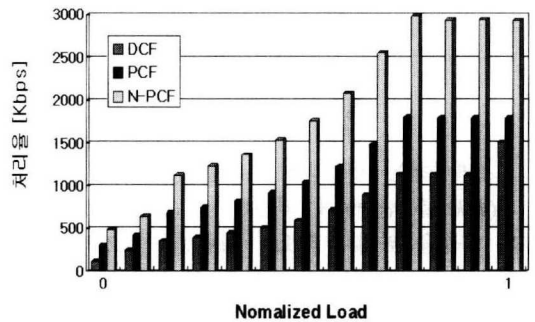


그림 7. 균형을 트래픽 상황 하에서의 처리율

트래픽 부하가 불균형을 경우

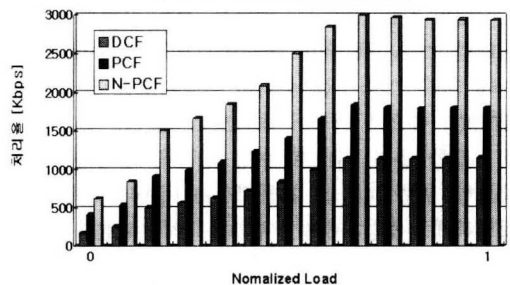


그림 8. 불균형을 트래픽 상황 하에서의 처리율

### V. 결론

IEEE 802.11b는 매체접속제어 부계층으로 경쟁 기반의 DCF와 QoS를 만족시키기 위한 PCF를 사용한다. 본 논문에서는 PCF가 현재 단순 라운드 로빈 방식으로 실시간으로 변하는 데이터의 흐름에 적응적으로 서비스 할 수 없는 부분을 개선하여 트



래픽의 부하가 큰 채널을 선택, 가중치를 주어 폴링 리스트를 수정된 적응적인 PCF 방식을 제안하였다. 그리고 기존의 DCF, PCF와 비교하여 시뮬레이션 결과를 통해 높은 성능의 시스템을 구축할 수 있는 방법을 검증했다. 이는 IEEE 802.11b 뿐 아니라 IEEE 802.11e(QoS MAC) 및 최근 활발하게 표준화를 중인 IEEE 802.11n 경우에도 제안된 기법을 적용하면 성능의 향상을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Z.Chen, and A. Khokhar, "Improved MAC protocols for DCF and PCF modes over fading channels in wireless LANs," IEEE Wireless Communications and Networking, Vol. 2, pp. 1297-1302, Mar. 2003
- [2] L. Xu, X. Shen, and W. Jon, "Dynamic Bandwidth Allocation with Fair Scheduling for WCDMA Systems," IEEE Wireless Communications, Vol. 9, pp. 26-32, Apr. 2002
- [3] S. Sharma, K. Gopalan, N. Zhu, P. De, G. Peng, and T. C. Chiueh. "Implementation Experiences of Bandwidth Guarantee on a Wireless LAN," In ACM/SPIE Multimedia Computing and Networking (MMCN 2002), Jan. 2002.
- [4] Z. H. Velkov and B. Spasenovski. "Capture Effect in IEEE 802.11 Basic Service Area Under Influence of Rayleigh Fading and Near/Far Effect," In The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Communications, 2002.
- [5] IEEE. "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," IEEE, Nov. 1999.
- [6] A. K. Parekh, and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Single-Node Case," IEEE/ACM Tran. on Networking, Vol. 1, pp. 344-357, Jun. 1993

신 수 영 (Soo-Young Shin)

정회원

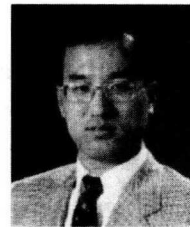


2002년 : 덕성여자대학교 정보통신 석사  
2004년 ~ 현재 : 국민대학교 BIT 대학원 박사과정

<관심분야> WLAN, WPAN, Sensor network, MAC Scheduling, IPv6

장 영 민 (Yeong Min Jang)

종신회원



1985년: 경북대학교 전자공학과 학사  
1987년: 경북대학교 전자공학과 석사  
1999년: University of Massachusetts 컴퓨터과학과 박사

1987년~2000년: 한국전자통신연구원 무선방송 기술 연구소 선임연구원  
2000년 9월~2002. 8월: 덕성여자대학교 컴퓨터과학부 교수  
2002년 9월~ 현재: 국민대학교 전자정보 통신공학부 교수  
2001년~현재: 정보통신부 IT 표준 전문가 (4세대 이동통신 분야)  
<관심분야> PHY, MAC, RRM, MIP, Cross-layer optimization, WLAN, UWB, 휴대인터넷, 위성망, 유무선 통합 네트워크(통신, 방송, 인터넷)