

# 클라이언트-서버 트래픽 환경에서 분산-큐 이중-버스의 동적 대역폭 조절 방식

김 정 홍<sup>†</sup> · 권 오 석<sup>††</sup>

## 요 약

지금까지 분산-큐 이중-버스(DQDB)에서 공정성 제어 연구는 대부분 평형 부하 형태나 대칭형 부하 형태와 같은 특정 부하 형태를 대상으로 수행하였다. 웹 기반의 인터넷 환경에서 클라이언트-서버 부하 형태는 특정 부하 형태 보다 더 실질적인 트래픽 패턴이다. 본 논문에서는 클라이언트-서버 부하를 가한 DQDB 네트워크에서 대역폭을 모든 스테이션에 공평하게 분배 할 수 있는 공정성 제어 방식을 제안한다. 제안한 방식은 과부하시 공평한 대역폭 분배가 되도록 하는 동적 대역폭 조절 기능을 구현하기 위하여 두 개의 매개변수를 사용한다. 이 두 개의 매개변수는 스테이션의 패킷 전송을 조절하기 위한 접근 임계값과 하단 스테이션으로 양보하여야 할 빈 슬롯 수를 각각 나타낸다. 중간 패턴과 적용함수를 사용하는 BTM(Bandwidth Tuning Mechanism)에 비해 이 방식은 구현하기가 쉽고 간편하다. 시뮬레이션을 통하여 다른 방식보다 제안한 방식의 우수함을 확인하였다.

## A Dynamic Bandwidth Tuning Mechanism for DQDB in Client-Server Traffic Environments

Jeong-Hong Kim<sup>†</sup> · Oh-Seok Kwon<sup>††</sup>

### ABSTRACT

Most of the study on fairness control method for Distributed-Queue Dual-Bus(DQDB) have been performed under specific load types such as equal probability load types or symmetric load types. On Web-based internet environments client-server load types are more practical traffic patterns than specific load types. In this paper, an effective fairness control method to distribute DQDB network bandwidth fairly to all stations under a client-server load is proposed. In order to implement a dynamic bandwidth tuning capability needed to distribute the bandwidth fairly at heavy loads, the proposed method uses two parameters; one is an access limit to regulate each station's packet transmission and the other is the number of extra empty slots that are yielded to downstream stations. In point of implementation, this mechanism is simpler and easier than Bandwidth Tuning Mechanism(BTM) that uses an intermediate pattern and an adaptation function. Simulation results show that it outperforms other mechanisms.

### 1. 서 론

DQDB는 분산-큐 기반의 이중-버스 구조로 되어 있으며, 네트워크 대역폭을 스테이션에게 나누어주기 위

하여 단순한 접근 방식을 사용하지만 버스의 길이와 매체의 전송 속도에 상관 없이 전송 대역폭을 충분히 이용할 수 있는 장점을 지니고 있다. IEEE 802.6에서도 DQDB를 도시 망에 적합한 공유매체 기반의 고속 통신망으로 권고하고 있다[1, 2]. 초고속통신 기술의 발달로 현재 근거리 통신망에서 도입되고 있는 ATM

<sup>†</sup> 정 회 원 : 상주대학 교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 충남대학교 정보통신공학부 교수

논문접수 : 2000년 9월 8일, 심사완료 : 2000년 10월 23일

(Asynchronous Transfer Mode)망이 고속 도시망과 광대역 종합통신망으로 발전하겠지만, DQDB는 경제성과 편리성으로 인해 여전히 고속 LAN/MAN 이나 가입자 액세스 망에서 중요한 역할을 담당할 것으로 기대되고 있다. 그러나 DQDB는 버스구조를 갖는 망의 특성으로 인해 버스에 접속된 스테이션들의 위치에 따라 대역폭 사용과 패킷 전달지연에 있어 불공정성이 발생되며 이를 해결하기 위해서 많은 연구가 수행되었다[3-7]. 이러한 불공정성은 버스의 양끝간의 패킷 전송지연이 버스 접근지연 시간보다 클 경우 더욱 심각하게 나타난다. 불공정성 문제를 해결하기 위해서 기본 DQDB를 수정한 여러 가지 방식들이 제안되었으며, 그 중에서도 여분의 빈 슬롯을 사용하여 스테이션들간에 균등한 전송기회를 보장하는 BWB(BandWidth Balancing mechanism)가 IEEE 802.6 표준에 반영되었다[8,9]. 또 스테이션의 요구 대역폭에 따라 대역폭을 할당하는 PA(Proportional Assignment scheme)[4], 스테이션들의 위치와 대역폭 요구량에 따라 접근 보호 임계값을 구하여 이를 기준으로 하여 대역폭 할당을 보장하는 APS(Access Protection Scheme)[5, 6, 10-12], APS가 공정성을 보장하기 어려운 사용자의 요구 대역폭에 대하여 공정하게 대역폭을 제공할 수 있는  $\alpha$ -tuning(Alpha Tuning Mechanism)[7, 13-16] 등이 제안되었다.

지금까지 DQDB에서 대역폭 제어 연구는 대부분이 특정 부하 형태인 대칭형 부하 형태, 평형 부하 형태, 역 대칭형 부하 형태만을 대상으로 하였다[5, 6, 16]. 그러나 멀티미디어 웹 서비스가 급속히 확산함에 따라 DQDB에 가해지는 부하 형태는 특정 부하 형태가 아닌 클라이언트-서버 트래픽을 갖는 부하 형태가 될 것이다. 최근에 클라이언트-서버 트래픽을 가진 DQDB에서 공정한 대역폭 할당을 위한 BTM(Bandwidth Tuning Mechanism) 방식이 제안되었다[17]. 이 방식은 사용자 요구 대역폭에 대하여 네트워크가 제공하는 대역폭을 구하기 위하여 중간 패턴과 적응함수를 사용한다. 그러나 중간 패턴과 적응함수를 구하는데 어려움이 있으며, 최적의 중간 패턴과 적응함수를 구하기 위해서는 시뮬레이션에 의존해야 하는 단점 때문에 실제 구현이 어렵다.

본 논문에서는 클라이언트-서버 트래픽을 가진 DQDB에서 대역폭 할당을 제어하기 위해 중간 패턴을

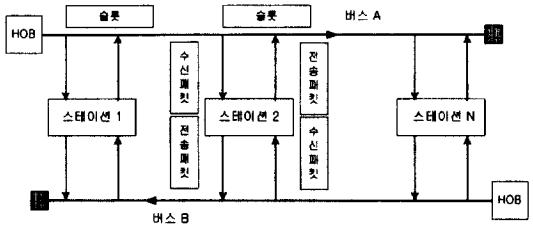
사용하지 않고 사용자 요구 대역폭으로부터 직접 접근 임계값을 구하여, 이 값을 기준으로 하여 하단 스테이션으로부터의 빈 슬롯 요청 계수 값에 따라 대역폭 먼저 사용과 양보를 통하여 대역폭을 동적으로 할당하는 방식을 제안한다. 제안한 방식이 간단하고 과부하시 클라이언트-서버 트래픽을 가진 DQDB에서 다른 방식들 보다 공정성 제어가 우수하다는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DQDB의 동작과 공정성 제어 방식에 대하여 설명하고 3장에서는 제안한 동적 대역폭 조절 방식에 대하여 기술한다. 4장에서는 제안한 방식의 성능을 평가하기 위하여 다른 공정성 제어 방식들과 함께 시뮬레이션한 결과를 제시하고, 마지막 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. DQDB 개요

2.1 DQDB 동작 개요

DQDB의 기본 구조는 (그림 1)과 같으며, 각 버스의 HOB(Head Of Bus)는 빈 슬롯을 버스에 연결된 스테이션들에게 제공하며, 각 스테이션들은 지나가는 빈 슬롯에 자신이 발생한 패킷을 실어 목적으로 전송한다. 이중 버스(버스 A, 버스 B)는 동일하게 동작하므로 본 논문에서는 한쪽 방향 버스만을 고려하기로 한다.



(그림 1) DQDB의 기본구조

패킷 전송을 위하여 버스에 연결된 각 스테이션들은 카운트 다운(count down) 상태와 휴지(idle) 상태의 두 가지 상태를 가진다. 카운트 다운 상태는 스테이션이 패킷을 전송하기 위하여 버스에 연결된 상단 스테이션들에게 빈 슬롯을 요구한 후 빈 슬롯이 도착하기를 기다리는 상태이며, 휴지 상태는 전송할 패킷이 없어 버스에 접근할 필요가 없는 상태이다. 분산 큐의 동작을 위해 각 스테이션들은 RQ(ReQuest counter)와 CD

(Count Down counter)를 갖는다. RQ는 버스에 연결된 하단 스테이션들이 패킷을 전송하기 위하여 요청한 빈 슬롯 수인 요청 계수를 나타내며, CD는 자신이 전송할 패킷 앞에서 대기하고 있는 하단 스테이션들의 전송대기 패킷 수인 카운트 다운 계수이다. 한 스테이션이 패킷을 전송하기 위해서는 상단 스테이션에게 자신이 사용할 빈 슬롯을 역 방향 버스의 슬롯을 통하여 예약하여야 한다. RQ 값은 역 방향 버스로 슬롯 요구 비트가 1로 설정된 슬롯이 지나갈 때마다 증가한다. 각 스테이션은 카운트 다운 상태일 경우 빈 슬롯이 지나가면 CD값을 1씩 감소시키고, 휴지 상태일 경우 CD값 대신 RQ값이 0보다 크면 RQ값을 1씩 감소시킨다. 스테이션이 휴지 상태에서 카운트 다운 상태로 바뀔 때 IEEE 802.6 프로토콜에서 정의한 스테이션에서의 버스 접근루틴은 다음과 같다.

```

if (CDi == 0) {
    CDi ← RQi and RQi ← 0
    카운트 다운 상태로 천이
}

```

DQDB에서는 단 방향 버스의 고유특성과 가해지는 부하 형태의 특성 때문에 대역폭 사용과 패킷 전달 지연에 있어 불공정성이 발생한다. 정상 부하에서는 대역폭 사용 보다도 요청 신호 전달에 있어 불공정성이 나타날 수 있지만, 대부분의 패킷들이 슬롯 예약보다는 랜덤 액세스에 의해 전달되므로 불공정성은 문제가 안 된다. 대역폭이 부족한 과부하 상태에서는 대역폭 사용과 전달지연에 있어서 심각한 불공정성이 발생하는데 이의 원인과 현상은 다음과 같다.

- (1) 요청 신호의 쇄도 : 하단 스테이션들이 빈 슬롯을 요구하면 상단 스테이션은 하단 스테이션이 요구한 수 만큼의 빈 슬롯을 하단으로 넘겨야 한다. 하단 스테이션들의 빈 슬롯 요청 신호가 쇄도하게 되면 상단 스테이션들의 대역폭 사용이 어려워지고, 패킷 전달지연 시간이 길어진다 [5-7].
- (2) 요청 신호의 전달지연 : 빈 슬롯 요청 신호를 전달하는데 있어 상단 스테이션보다 하단 스테이션에서 더 오래 걸리기 때문에, 하단 스테이션이 빈 슬롯을 사용하는데 어려움을 겪는다 [5-7].

- (3) 초기상태 : 네트워크 전체가 과부하일 때 주로 발생한다. 과부하가 시작되는 시점의 네트워크 내부 상태에 따라 각 스테이션의 대역폭 사용이 결정된다[3].

## 2.2 DQDB의 공정성 제어 방식

DQDB에서 발생하는 고질적인 위치종속 불공정성 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 수행되었으며, 이의 결과로 여러 가지 공정성 제어 방식이 개발되었다. 여기에서 중요한 공정성 제어 방식에 대해 기본적인 동작원리를 기술하고 문제점을 살펴본다. 공정성 문제를 다루기 위해 본 논문에서는 두 가지 대역폭 패턴인 요구 패턴과 서비스 패턴이란 용어를 사용한다. 요구 패턴은 스테이션이 버스에서 요구하는 대역폭이며, 서비스 패턴은 버스가 스테이션에게 할당해주는 대역폭이다. 공정성에 대하여 단정적으로 정의 할 수는 없지만[18], 네트워크의 공정성 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 본 논문에서는 각 스테이션이 요구하는 대역폭의 비율대로 네트워크가 서비스를 하도록 하는 것을 공정성의 가장 중요한 목표로 정하였다. 각 스테이션이 요구한 대역폭의 비율은 그 스테이션이 서비스 받기를 원하는 대역폭의 양이 되며, 이는 네트워크 관리자가 설정한 요구 패턴과 그 스테이션의 위치 정보에 의해 미리 정해진다. 요구 패턴과 서비스 패턴이 일치 될 때 모든 스테이션에서 패킷 전송 성공률과 평균 패킷 전달지연 값은 균등해진다.

### 2.2.1 BWB

모든 스테이션에게 똑 같은 대역폭을 나누어주기 위한 방식이며, IEEE 802.6에 반영 되었다. 이 방식은 각 스테이션이 매  $\beta$  (BWB 계수) 번 성공적으로 패킷을 전송 후에 다음 빈 슬롯을 하단 스테이션에게 넘겨준다. 그리하여 이 방식은 평형 부하 형태에서는 잘 동작하지만, 다른 부하 형태에서는 공정성 제어에 문제가 있다. 또한 사용할 수 있는 빈 슬롯을 강제로 하단 스테이션으로 넘겨 줌으로써 대역폭의 손실이 발생한다.

### 2.2.2 APS

접근 보호 임계값을 도입하여 각 스테이션에게 원하는 대역폭을 보장하는 방식이다. IEEE 802.6 접근제어 방식을 변경하여 RQ 값을 CD에 기록할 때 RQ가 접근 보호 임계값 보다 크면 RQ값 대신 접근 보호 임계

값을 기록함으로써 과부하시 대칭형 부하에서 스테이션이 원하는 대역폭을 점유 할 수 있도록 보장한다. APS 방식에서 스테이션  $i$ 가 버스에 접근하기위한 루틴은 다음과 같다.

```

if ( $CD_i > 0$ ) {
     $CD_i \leftarrow \min(RQ_i, L_i)$ 
     $RQ_i \leftarrow RQ_i - CD_i$ 
    카운트 다운 상태로 천이
}
    
```

위의 접근방식으로부터  $RQ_i$ 값이 접근 보호 임계값보다 작은 정상부하에서 APS 에서는 항상  $RQ_i$ 값이  $CD_i$ 에 기록되므로 기본 DQDB와 동일하게 동작하고, 단지  $RQ_i$ 값이 접근 보호 임계값 보다 큰 과부하 상태에서만 달리 동작됨을 알 수 있다. 과부하시 대칭형 부하서는 스테이션들이 원하는 대역폭을 보장 받을 수 있지만, 평형 부하나 역 대칭 부하에서는 상단 스테이션들이 대역폭을 많이 사용함으로 인하여 하단 스테이션들이 원하는 대역폭을 사용 할 수 없게 된다.

2.2.3  $\alpha$ -tuning

APS의 단점을 보완하여 평형 부하나 역 대칭형 부하에서 하단 스테이션이 원하는 대역폭을 보장 받을 수 있도록 상단 스테이션이 점유하는 대역폭의 일부를 하단 스테이션으로 양보하는 방식이다.  $\alpha$ -tuning은 요구 패턴과 서비스 패턴의 일치율을 위해 먼저 대칭형 서비스 패턴을 만들고 이 패턴을 조절하여 요구 패턴과 일치시킨다.  $\alpha$ -tuning에서 IEEE 802.6 접근루틴은 다음과 같이 변경된다.

```

if ( $RQ_i > 0$ ) {
     $CD_i \leftarrow RQ_i^{ATM}$ ;
    단,  $RQ_i^{ATM} = \min\{RQ_i, P_i^A\} + \lceil \alpha P_i^A \rceil$ 
     $RQ_i \leftarrow RQ_i - CD_i$ 
    카운트 다운 상태로 천이
} else {
     $CD_i \leftarrow 0$ 
    카운트 다운 상태로 천이
}
    
```

여기서  $P_i^A$ 는 스테이션  $i$ 의 접근 보호 임계값이며,  $\alpha P_i^A$

는 하단 스테이션의 요구 패턴과 서비스 패턴을 일치시키기 위해서 하단으로 양보하는 빈 슬롯 수를 나타낸다.

2.2.4 BTM

$\alpha$ -tuning에서 모든 스테이션은 양의  $\alpha$ 값을 사용하므로, 대칭형 패턴을 사용하여 대역폭 양보를 통하여 공정성을 제어할 수 있는 요구 패턴에만 적용할 수 있다. 또한 시스템의 위치에 따른  $\alpha$ 값을 허용하지 않기 때문에 각 스테이션에 적합한  $\alpha$ 값의 사용이 어렵다. 그리하여 일반적인 클라이언트-서버 트래픽 환경하에서 요구 패턴과 서비스 패턴의 일치가 어렵다. BTM은 클라이언트-서버 트래픽을 갖는 요구 패턴으로부터 중간 패턴을 먼저 구하고, 하단 스테이션에게 대역폭을 양보하거나 대역폭을 빌려옴으로써 중간 패턴이 요구 패턴과 일치하도록 조절한다. BTM에서 스테이션  $i$ 가 버스에 접근하기위한 접근루틴은 다음과 같다.

```

if (( $RQ_i > 0$ ) and ( $CD_i == 0$ )) {
     $CD_i \leftarrow RQ_i^{BTM}$ ; 단,  $RQ_i^{BTM}$ 
    =  $\min\{RQ_i, P_i^A\} + \beta(RQ_i, L_i)\alpha_i L_i$ 
     $RQ_i \leftarrow RQ_i - CD_i$ 
    카운트 다운 상태로 천이
} else if (( $RQ_i \leq 0$ ) and ( $CD_i == 0$ )) {
    카운트 다운 상태로 천이
}
    
```

여기서  $\alpha_i$ 값이 양인 경우에는 스테이션  $i$ 가 하단 스테이션으로 양보하는 빈 슬롯 수를, 음인 경우에는 하단 스테이션으로부터 빌려오는 빈 슬롯 수를 나타내는 파라미터이다. 적용함수  $\beta(RQ_i, L_i)$ 는 여분의 빈 슬롯 수를 줄이기 위한 함수이며,  $L_i$ 는 접근 임계값이다.

이 방식은 접근 임계값을 중간 패턴으로부터 구하였다. 그러나 적합한 중간 패턴과 적용함수를 구하기 어려우며, 이를 구하기 위해서는 시뮬레이션에 의존해야 하는 어려움이 있다. 더구나 과부하시 RQ 값이 중간 패턴의 접근 임계값 보다 작을 때는 빈 슬롯을 먼저 사용하지만, 다음 전송 시 하단 스테이션에게 빈 슬롯을 양보하지 않음으로 인해 하단 스테이션이 대역폭 사용에 있어 상단 스테이션 보다 어려움을 겪는다.

### 3. 동적 대역폭 조절 방식

BTM의 문제점은 중간 패턴과 적응함수를 구하기가 어려워 실시간 구현이 어렵고, 과부하시 하단 스테이션은 대역폭을 사용하는데 있어서 상단 스테이션 보다 어려움을 겪는다. 이를 해결하기 위해 대역폭 요구 패턴으로부터 직접 접근 임계값을 구하여 RQ값에 따라 동적으로 대역폭을 할당하는 동적 대역폭 조절 방식(DBTM: Dynamic Bandwidth Tuning Mechanism)을 제안한다.

#### 3.1 동적 대역폭 조절 방식의 동작

이 방식은 클라이언트-서버 트래픽을 갖는 DQDB에서 서비스 패턴이 요구 패턴에 일치할 수 있도록 접근 임계값을 구하고 이를 기준으로 하여 하단 스테이션의 빈 슬롯 요청 계수인 RQ값에 따라 CD 값을 동적으로 변화시켜 대역폭 할당을 제한한다. 스테이션 i에서 동적 대역폭 조절 방식을 사용한 버스 접근은  $CD_i$ 가 0일 때만 가능하며 버스 접근 제어 루틴은 다음과 같다

```

if ( $CD_i = 0$ )
   $CD_i \leftarrow RQ_i^{DBTM}$ ;
  단,  $RQ_i^{DBTM} = \min\{RQ_i, P_i^A\} + BR_i$ ;
   $RQ_i \leftarrow RQ_i - CD_i + BR_i$ ;
  카운트 다운 상태로 천이
}

```

여기서  $L_i$ 는 요구 패턴을 만족하기 위한 스테이션 i의 접근 임계값이며,  $BR_i$ 는  $RQ_i$ 가  $L_i$ 보다 작을 경우 스테이션 i가 빈 슬롯을 먼저 사용했기 때문에 다음에 하단 스테이션으로 양보하여야 할 빈 슬롯의 개수를 나타낸다. 각 스테이션은 카운트 다운 값이 0일 때 도착하는 빈 슬롯을 사용하여 패킷을 전송한다.

#### 3.2 동적 대역폭 조절 방식에서 대역폭 조절

중간 패턴으로부터 접근 임계값을 구하지 않고 요구 패턴으로부터 직접 접근 임계값을 구하기 위해서 다음과 같은 변수를 정의한다.

$P^{occ}_i$  : 스테이션 i가 빈 슬롯을 점유할 확률  
 $P^{emp}_i$  : 스테이션 i에 도착하는 슬롯이 비어 있을 확률  
 $L_i$  : 스테이션 i의 접근 임계값

$P^{ser}_i$  : DQDB 네트워크가 전체 대역폭에 대하여 스테이션 i에게 제공하는 대역폭의 비율

대역폭 사용관점에서 보면  $P^{occ}_i$ 는 스테이션 i가 요구하는 대역폭,  $P^{emp}_i$ 는 스테이션 i에서 사용 가능한 대역폭,  $P^{ser}_i$ 는 DQDB 네트워크가 스테이션 i에게 제공하는 대역폭의 크기이다.  $RQ_i > L_i$ 인 과부하 상황에서 동적 대역폭 조절 방식의 버스 접근 제어 루틴에 따르면 서비스 대역폭은 다음과 같다.

$$P^{ser}_i = P^{emp}_i / (L_i + 1) \quad (1)$$

여기서 스테이션 i에서 가용 대역폭인  $P^{emp}_i$ 는 DQDB 네트워크에서 첫 번째 스테이션부터 i-1번째 스테이션까지 사용한 대역폭을 제외하고 남은 대역폭을 의미하며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P^{emp}_i = 1 - \sum_{j=1}^{i-1} P^{occ}_j \quad (2)$$

따라서 식 (1)과 식 (2)로부터 과부하시의 스테이션 i가 요구하는 대역폭을 점유할 수 있도록 보장하기 위해 필요한 접근 임계값은 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

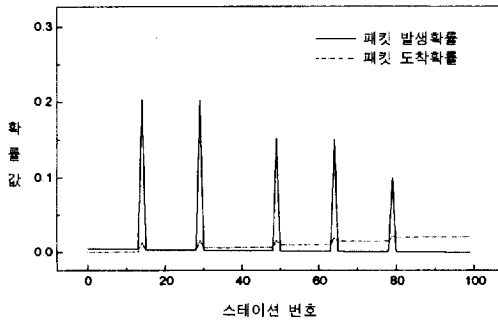
$$L_i = (1 - \sum_{j=1}^{i-1} P^{occ}_j) / P^{occ}_i - 1 \quad (3)$$

$BR_i$ 는 버스 접근시 스테이션 i가 하단 스테이션으로 양보하여야 할 빈 슬롯의 개수를 나타내며,  $BR_i$ 는 식 (4)와 같이 쉽게 구할 수 있다. 스테이션 i에서  $BR_i$ 의 크기는  $0 \leq BR_i \leq L_i$ 이며,  $CD_i$ 의 크기는  $BR_i$ 에 따라 최고  $2 * L_i$ 의 값을 가질 수 있다.

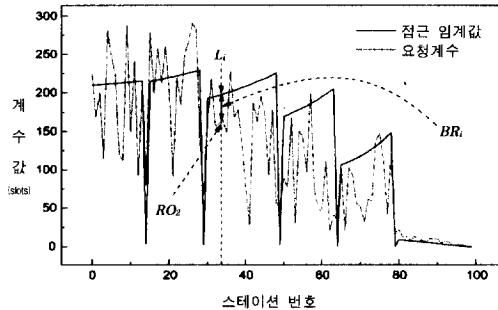
$$BR_i = L_i - RQ_i \quad (4)$$

(그림 2)의 클라이언트-서버 트래픽을 가진 요구 패턴에 대하여 (그림 3)은 동적 대역폭 조절 방식을 적용할 때 접근 임계값과, 임의 시간에서 RQ 값과의 관계를 나타내고 있다.

(그림 3)에서  $L_i$ 는 스테이션 i의 접근 임계값을 나타내며,  $RQ_i$ 는 스테이션 i가 카운트 다운 상태로 들어가기 위한 시점에서 RQ 값이라고 가정한다.



(그림 2) 클라이언트-서버 트래픽 패턴



(그림 3) 접근 임계값과 요청 계수

만약 과부하 상태에서도  $RQ_i < L_i$ 인 스테이션  $i$ 가 카운트 다운 상태로 들어가기 위해  $CD_i$ 값을  $RQ_i$ 값으로 설정하게 되면 스테이션  $i$ 는 자신의 접근 임계값 보다 적은 수의 빈 슬롯을 하단 스테이션으로 보낸 후 자신의 패킷을 전송하려고 시도 할 것이다. 이 경우 스테이션  $i$ 는 대역폭을 사용하는데 있어 접근 임계값  $L_i$ 보다  $L_i - RQ_i$ 만큼 먼저 빈 슬롯을 사용하게 되므로 이 양을 다음 전송시점에서 반영하여 하단 스테이션으로 빈 슬롯을 양보하여야 대역폭 사용에 공정성을 이룰 수 있다. 동적 대역폭 조절 방식은 하단으로 양보하여야 할 빈 슬롯 개수를  $BR_i$ 값으로 저장하여 패킷 전송시 항상 반영하게 함으로써 다른 방식들 보다는 동적으로 변화하는  $RQ_i$ 값에 대하여 공평하게 대역폭을 제어 할 수 있다.

### 3.3 BTM과 동적 대역폭 조절 방식의 비교

클라이언트-서버 환경에서 가해지는 클라이언트-서버 부하 형태는 특정한 부하 패턴으로 고정되지 않고

네트워크 이용자의 습성에 따라 시간적으로 변할 수 있다. 부하 패턴이 변할 때 마다 BTM에서는 그 부하 패턴에 적합한 새로운 중간 패턴과 적응함수를 구해야 하고, 스테이션이 패킷을 전송하기 위해서 버스에 접근할 때마다 적응함수를 계산하여야 한다. 따라서 요구 패턴에 적합한 중간 패턴과 적응함수를 구하기 어렵기 때문에 BTM을 실제 구현하기 힘들며, 또한 적응함수의 복잡성으로 인해 실시간 처리가 어려워진다.

그러나 동적 대역폭 조절 방식은 요구 패턴으로부터 직접 접근 임계값을 구할 수 있고, 식 (4)를 이용하여 쉽게 하단 스테이션으로 양보해야 할 빈 슬롯 수를 계산할 수 있기 때문에 구현이 간편하고 실시간 처리가 가능하다. 또한 먼저 사용한 빈 슬롯을 하단으로 양보함으로 인해 과부하시 BTM보다 하단 스테이션이 안정적으로 대역폭을 사용하게 될 것으로 기대된다.

## 4. 시뮬레이션

### 4.1 시뮬레이션 환경 기술

시뮬레이션을 위한 DQDB 네트워크 환경은 다음과 같이 가정한다.

- (1) 클라이언트-서버 트래픽 패턴은 (그림 2)와 같다.
- (2) DQDB 네트워크는 (그림 2)에 나타난 바와 같이 5개의 서버를 포함하여 100개의 스테이션을 가지고 있다. 각 스테이션의 위치는 0번부터 99번까지 버스방향을 따라 DQDB 네트워크에 연결되어 있으며, 5개의 서버는 14, 29, 49, 64, 79번째에 위치한다.
- (3) 대역폭 사용에 있어 5개의 서버가 전체 대역폭의 대부분인 80% 이상을 사용한다.
- (4) 각 스테이션 간의 거리는 동일하며, 한 슬롯 시간 동안 슬롯이 이동한 거리이다.
- (5) 각 스테이션은 무한대의 전송 버퍼를 가지며, 각 스테이션에서 발생하는 메시지는 패킷 크기의 정수 배이고 모든 패킷의 크기는 48byte이다.
- (6) 각 스테이션에서의 패킷 발생 확률은 포아송 확률분포를 따른다.

패킷 발생확률은 각 스테이션이 요구하는 대역폭의 크기이며, 패킷 도착확률은 각 스테이션에서 수신하는 패킷의 양을 의미한다. (그림 2)에 나타난 클라이언트-

서버 트래픽을 가진 DQDB네트워크에 과부하시 공정성 제어를 평가하기 위해서 300,000 슬롯 시간 동안 시뮬레이션을 수행하였다.

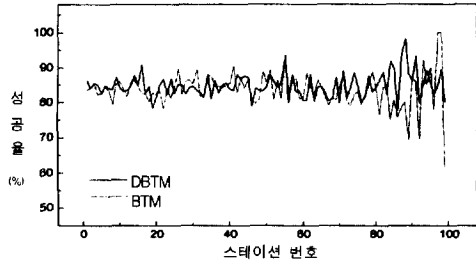
#### 4.2 시뮬레이션 결과 분석

네트워크의 공정성을 정확하게 분석하기 위해서는 많은 고려가 필요하지만, DQDB네트워크의 공정성 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 본 논문에서는 각 스테이션이 요구하는 대역폭의 비율대로 DQDB네트워크가 서비스를 제공하도록 하는 것을 공정성 제어의 가장 중요한 목표로 정하였다. 따라서 제안한 방식의 공정성 성능을 평가하기 위해 DQDB 네트워크에서 다음과 같은 두 가지 성능을 측정하였다.

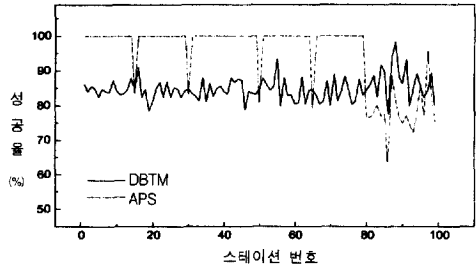
- (1) 전송 성공률 : 스테이션이 요구한 대역폭의 비율대로 네트워크가 대역폭을 제공하는지를 평가하기 위한 성능 지표이다. 성공률은 시뮬레이션 기간 동안 한 스테이션에 발생한 전체 패킷 수와 그 스테이션에서 성공적으로 전송한 패킷 수의 비율로서 정의한다
- (2) 평균 패킷 전달지연 : 스테이션에서 패킷이 발생된 후 목적지 스테이션에 도착할 때까지의 평균 시간을 의미한다. 평균 패킷 전달지연 계산은 단지 전송 성공한 패킷의 지연만 고려하기 위해 시뮬레이션의 마지막에 성공적으로 전송한 패킷에 대하여 평균 패킷 전달지연을 계산하였다.

각 스테이션이 요구하는 대역폭의 비율대로 DQDB네트워크가 서비스를 제공한다면 모든 스테이션은 균등한 전송 성공률과 평균 패킷 전달지연을 가지게 된다. 동적 대역폭 조절 방식의 성능과 다른 제어 방식의 성능을 비교하기 위해서 두 가지 성능척도에 대하여 시뮬레이션한 결과가 (그림 4), (그림 5), (그림 6)에 나타나 있다. 제안한 동적 대역폭 조절 방식의 성능은 실선으로, 비교할 다른 제어 방식들은 점선으로 표시하였다. 과부하시 스테이션이 요구한 대역폭의 비율대로 네트워크가 서비스를 제공하는지를 나타내는 전송 성공률을 측정하기 위하여 DQDB 네트워크에 120%와 200%의 부하를 가하였다. 또한 평균 패킷 전달지연 성능을 측정하기 위해서 DQDB 네트워크에 120%의 부하를 가하였다. 시뮬레이션 결과로부터 동적 대역폭 조절 방식과 다른 제어 방식에 대하여 다음과 같은 사실들을 알 수 있다.

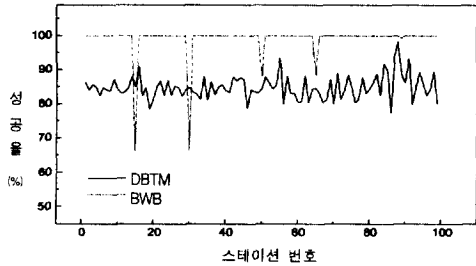
- (1) 동적 대역폭 조절 방식(DBTM) : (그림 4a)와 (그림 5a)는 동적 대역폭 조절 방식의 전송 성공률이 다른 방식에 비해 모든 스테이션에서 균등함을 나타낸다. 평균 패킷 전달지연 값도 (그림 6)에 나타난 바와 같이 다른 방식에 비해 모든 스테이션에서 균등함을 알 수 있다. 따라서 과부하시 제안한 동적 대역폭 조절 방식이 클라이언트-서버 트래픽을 가진 요구 패턴에 대하여 다른방식보다 공정성 제어에 있어 우수하다는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다.
- (2) BTM : 클라이언트-서버 트래픽을 가진 요구 패턴과 DQDB네트워크에서 제공하는 서비스 패턴이 비교적 일치하지만 RQ 값이 접근 임계값보다 작을 때 상단 스테이션이 미리 사용한 빈 슬롯을 하단 스테이션에게 갇지 않음으로 인해 하단 스테이션이 대역폭을 사용하는데 동적 대역폭 조절 방식 보다 어려움을 겪고 있다. (그림 4a)와 (그림 5a)에 나타난 바와 같이 하단 스테이션의 전송 성공률은 동적 대역폭 조절 방식 보다 BTM에서 작아지게 된다. DQDB네트워크에 가해지는 부하가 증가하게 되면, 하단 스테이션의 빈 슬롯 요청이 쇄도하게 되어 상단 스테이션이 패킷을 전송하기 위하여 버스를 접근할 때면 RQ 값은 대부분 접근 임계값 보다 커지게 된다. DQDB네트워크에 과부하가 심하게 걸릴 경우 상단 스테이션이 빈 슬롯을 미리 사용하는 경우가 줄어들게 되므로 하단 스테이션은 점차 안정적으로 대역폭을 사용하게 될 것이다. 그러므로 BTM에서는 DQDB네트워크에 가해진 부하가 더 큰 (그림 5a) 경우가 부하가 적은 (그림 4a) 경우 보다 하단 스테이션의 전송 성공률이 더 균등함을 알 수 있다.
- (3) APS : 상단 스테이션들은 하단 스테이션으로부터 빈 슬롯 요청을 과도하게 받더라도 접근 보호 임계값 때문에 대역폭 할당을 보장 받을 수 있다. 따라서 (그림 4b)와 (그림 5b)에 나타난 바와 같이 상단 스테이션은 요구한 대역폭의 비율 이상을 사용할 수 있지만 하단 스테이션은 대역폭 사용에 어려움을 겪으며, (그림 6b)와 같이 평균 패킷 전달지연 시간도 길어진다.
- (4) BWB : BWB의 계수 값으로 DQDB 표준에서 권고하는 기본값인 8을 사용하였다. BWB는 대



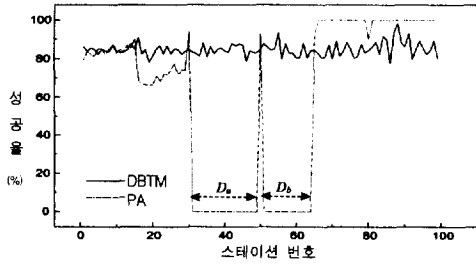
(a) DBTM과 BTM



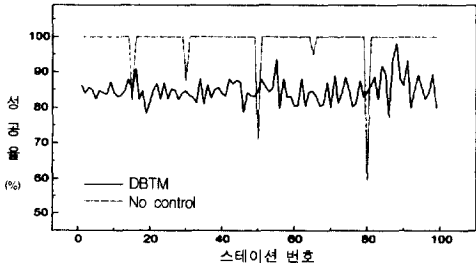
(b) DBTM과 APS



(c) DBTM과 BWB

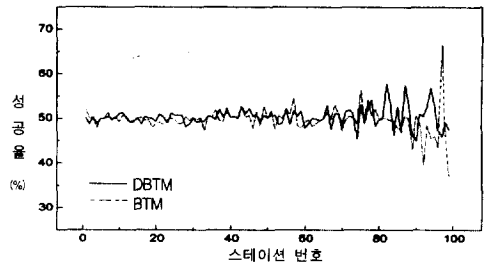


(d) DBTM과 PA

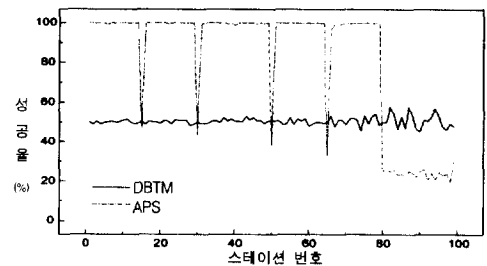


(e) DBTM과 No control

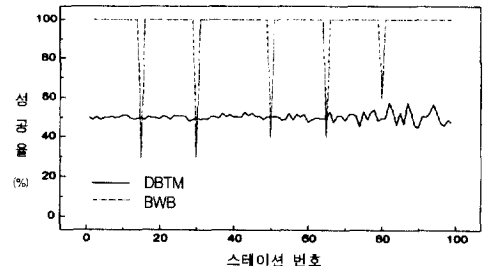
(그림 4) 120% 과부하시 전송 성공률



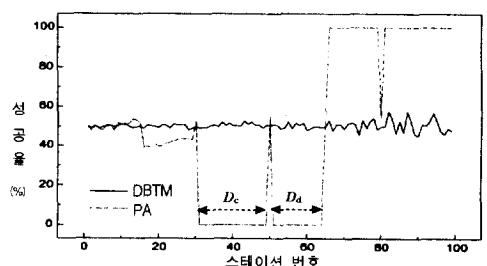
(a) DBTM과 BTM



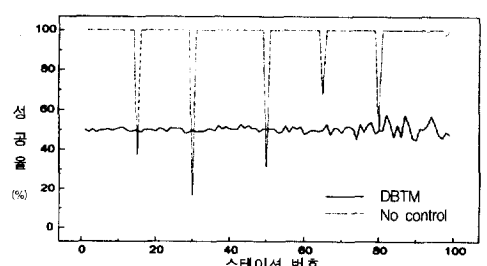
(b) DBTM과 APS



(c) DBTM과 BWB



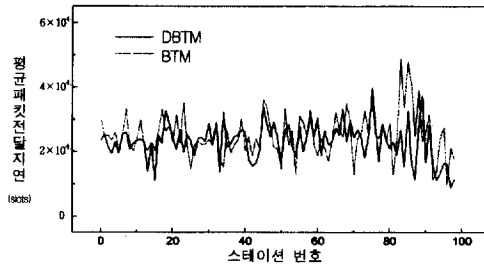
(d) DBTM과 PA



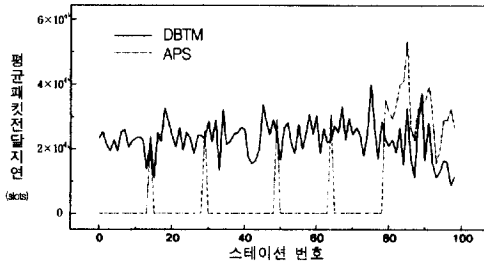
(e) DBTM과 No control

(그림 5) 200% 과부하시 전송 성공률

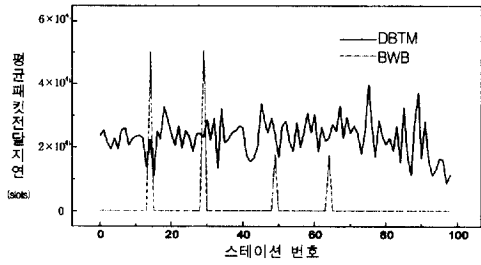




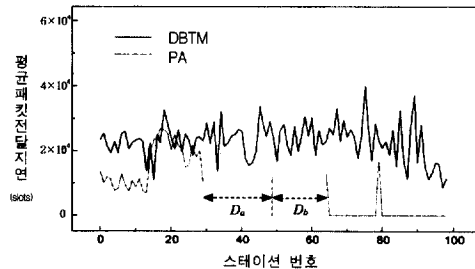
(a) DBTM과 BTM



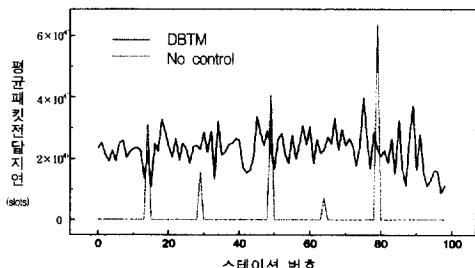
(b) DBTM과 APS



(c) DBTM과 BWB



(d) DBTM과 PA



(e) DBTM과 No control

(그림 6) 120% 과부하시 평균 패킷 전달 지연

역폭을 모든 스테이션에게 균등하게 분배하기 때문에 전송할 패킷이 많은 서버는 상대적으로 전송할 패킷이 적은 클라이언트보다 대역폭 사용에 있어 어려움을 겪게 된다. 또한 (그림 6c)와 같이 서버에서 평균 패킷 전달 지연 시간도 길어진다.

- (5) PA : 대역폭 요구량이 많은 서버는 대역폭 사용에 어려움이 없지만 대역폭 요구량이 적은 클라이언트는 대역폭 사용에 있어 어려움을 겪는다. 특히 서버 사이에 있는 클라이언트들 중 일부는 전혀 대역폭을 사용할 수 없는 경우가 발생한다. (그림 4d)에 표시된 구간  $D_a$ 와  $D_b$ , (그림 5d)에 표시된 구간  $D_c$ 와  $D_d$ 는 클라이언트에서 전송할 패킷은 있지만 전송을 하지 못하는 경우를 나타낸다. 전송을 하지 못하는 경우 평균 패킷 전달 지연 값을 계산할 수 없으므로 (그림 6d)에 표시된 구간  $D_a$ 와  $D_b$ 에서는 평균 패킷 전달 지연 값이 표시되지 않는다.
- (6) No control : 공정성 제어기능이 없는 기본 DQDB기능을 나타낸다. 대역폭 사용량이 많은 서버들은 (그림 4e)와 (그림 5e)에 나타난 바와 같이 대역폭 사용에 어려움을 겪게 된다.

과부하시 제안한 동적 대역폭 조절 방식은 요구와 서비스 패턴을 일치시키는데 다른 방식들에 비해 우수하며 시뮬레이션 결과도 이를 증명하고 있다. 또한 클라이언트-서버 트래픽을 갖는 DQDB네트워크에서 과부하시 공정성 제어가 효율적이지 못하게 되면 대부분 서버들이 대역폭 사용에 어려움을 겪게 되므로 과부하시 클라이언트-서버 트래픽 환경에서의 공정성 제어는 매우 중요하게 여겨진다.

## 5. 결 론

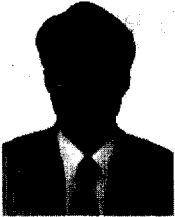
본 논문에서는 클라이언트-서버 트래픽을 제어하기 위해 중간 패턴을 사용하지 않고 요구 패턴으로부터 직접 접근 임계값을 구하고 이를 기준으로 하여 하단 스테이션으로부터 빈 슬롯 요청 계수에 따라 대역폭을 사용하기 위한 계수 값을 동적으로 변화시켜 대역폭 할당을 제어하는 동적 대역폭 조절 방식을 제안하였다. 동적 대역폭 조절 방식을 구현하기 위해 클라이언트-서버 부하를 가한 DQDB 네트워크에서 접근 임계

값을 요구 패턴으로부터 직접 구하는 방식을 제안하였고 DQDB의 버스 접근 방식을 수정하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 동적 대역폭 조절 방식이 기존 방식인 BTM보다 우수한 성능 특성, 특히 하단 스테이션에서 좋은 성능 특성을 보임을 확인하였다. 그리고 본 방식은 중간 패턴과 적응함수를 이용하는 복잡한 BTM과 달리 하단 스테이션으로 양보하여야 할 빈 슬롯 수만을 이용하므로 부하 패턴이 실시간적으로 변하는 네트워크 환경에서 BTM보다 유리한 장점이 있다.

폭주성이 강한 인터넷 통신 환경을 가진 DQDB에서 과부하시 네트워크 자원의 공평한 사용과 서비스 품질을 개선하기 위해 제안한 방식을 효율적으로 사용할 수 있으리라 기대하며, 슬롯 재사용 분산-큐 이중-버스(DQDB with Slot Reuse)에서 클라이언트-서버 트래픽 제어를 위해 제안한 방식의 적용은 향후 연구 과제로 남겨둔다.

## 참 고 문 헌

- [1] IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks : Distributed Queue Dual Bus (DQDB) Subnetwork of a Metropolitan Area Network (MAN), IEEE Standard 802.6-1990, Jul., 1991.
- [2] Newman, R. M., Budrikis, Z. L. and Hullet, J. L., "The QPSX MAN," IEEE Commun. Mag., Vol.26, No.4, pp.20-28, Apr. 1988.
- [3] Conti, M., Gregori, E. and Lenzi, L., "A Methodological Approach to an Extensive Analysis of DQDB Performance and Fairness," IEEE J. Selected Areas Commun., Vol.9, No.1, pp.76-87, Jan. 1991.
- [4] Mukherjee, B., Banerjee, S., "Alternative Strategies for Improving the Fairness in and an Analytical Model of the DQDB Network," IEEE Trans. on computers, Vol.42, No.2, pp.151-167, Feb. 1993.
- [5] Kumar, L. N. and Bovopoulos, A. D., "Access Protection Solution for Heavy Load Unfairness in DQDB," Computer Commun., Vol.18, No.12, pp.869-910, Dec. 1995.
- [6] Kim, T. J., Shin, B. C., "Improving the Performance of Distributed Queue Dual Bus with Slot Reuse at Overload Conditions," Computer Commun. 22, pp. 470-482, 1999.
- [7] Kumar, L. N., Douligieris, C., "The Dynamic Three-Tier Protocol : an Access Remedial Scheme for DQDB Metropolitan Area Networks," Computer Commun. 21, pp.624-643, 1998.
- [8] Hahne, E. L., Choudhury, A. K. and Maxemchuk, N. F., "Improving the Fairness of DQDB Networks," in Proc. IEEE INFORCOM'90, pp.175-184, 1990.
- [9] Hahe, E. L., Choudhury, A. K. and Maxemchuk, N.F., "DQDB Networks with and without Bandwidth Balancing," IEEE Trans. on Commun., Vol.40, No.7, pp.1192-1204, Jul. 1992.
- [10] Filipiak, J., "Access Protection for Fairness in a Distributed Queue Dual Bus Metropolitan Area Network," in Proc. IEEE ICC, pp.635-639, Jun. 1989.
- [11] Kumar, L. N. and Bovopoulos, A. D., "An access Protection Scheme for Heavy Load Unfairness in DQDB," in Proc. INFOCOM'92, pp.190-199, 1992.
- [12] Kumar, L. N. and Bovopoulos, A. D., "The 3-tier Structured Access Protocol for DQDB MANs," in Proc. IEEE SOUTHEASTCON'94, pp.73-77, Apr. 1994.
- [13] Kumar, L. N. and Douligieris, C., "An Enhanced Assessment Protocol for DQDB Metropolitan Area Networks," in Proc. IEEE SOUTHEASTCON'94, pp.202-208, Apr. 1994.
- [14] Kumar, L. N., Douligieris, C., "The Dynamic Three-Tier Protocol: an Access Remedial Scheme for DQDB MANs," in Proc. IEEE 19th Conference on Local Computer Networks, pp.92-101, 1994..
- [15] Kumar, L. N. and Douligieris, C., "Fairness by Demand and Service Pattern Match : the Alpha Tuning Mechanism for DQDB MAN's," in Proc. IEEE INFOCOM'95, pp.1172-1179, Apr. 1995.
- [16] Kumar, L. N. and Douligieris, C., "Demand and Service Matching at Heavy Loads : A Dynamic Bandwidth Control Mechanism for DQDB MAN's," IEEE Trans. on Commun., Vol.44, No.11, pp.1485-1495, Nov. 1996.
- [17] T. J. Kim, D. H. Cho, "Bandwidth Tuning for Fairness of DQDB in Client-Server Traffic Environments," IEEE Commun. Letters, Vol.4, No. 6, pp.208-210, Jun. 2000.
- [18] Douligieris, C., Kumar, L. N., "Fairness issue in the Networking Environment," Computer Commun., Vol.18, No.4, pp.288-299, Apr. 1995.



### 김 정 홍

e-mail : jhkim@sangju.ac.kr

1986년 경북대학교 전자공학과  
졸업 (공학사)

1988년 경북대학교 전자공학과  
졸업 (공학석사)

1993년 충남대학교 컴퓨터공학과  
박사과정

1988년 ~ 1996년 한국전자통신연구원 선임연구원

1996년 ~ 현재 상주대학 조교수

관심분야 : 정보통신, 멀티미디어 통신, 컴퓨터 네트워크,  
멀티미디어



### 권 오 석

e-mail : oskwon@cnu.ac.kr

1977년 서울대 전자공학과 졸업  
(공학사)

1980년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 졸업  
(공학석사)

1992년 ~ 현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정

1980년 ~ 현재 충남대학교 공과대학 정보통신공학부  
교수

관심분야 : 신경회로망, 퍼지이론 및 응용, 패턴인식,  
정보통신