

Multicast 패킷의 QoS 스위칭을 위한 스케줄링 방법

정회원 이형섭*, 김환우**

A Scheduling Method for QoS Switching of Multicast Packet

Heyung Sub Lee*, Whan Woo Kim** *Regular Members*

요 약

서비스의 다양화와 함께 multicast 패킷의 비율이 증가하고 이를 전달하는 네트워크 시스템에서는 multicast 패킷의 스위칭으로 인하여 스위칭 효율이 감소하게 되어 시스템의 처리율 및 패킷의 서비스가 지연된다. 본 논문에서는 multicast 패킷의 스위칭 효율을 높여 패킷의 서비스 지연을 줄이기 위한 스위치 시스템 구조 및 패킷 버퍼링 구조, iSLIP을 이용한 새로운 패킷 스케줄링(Scheduling)방법을 제안하였다. 제안된 스위치 시스템의 구조 및 스케줄링 방법은 패킷의 스위칭 지연 관점에서 지금까지 제안된 multicast 패킷의 스위칭 방법들과 비교 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a sound multicast packet-switching method which can less affect QoS(Quality of Service) degradation. The method includes a switch fabric with extra switching paths dedicated for multicast packets. Presented also are both a buffering structure and a scheduling algorithm for the proposed method. Simulation analysis for the method shows that the switching delay of unicast packets is decreased even though arrival rate of multicast packets is increased.

I. 서 론

인터넷의 활성화와 함께 네트워크의 사용자들이 늘어나고 네트워크를 이용한 멀티미디어 어플리케이션들이 점점 더 많은 대역폭을 요구함에 따라 네트워크 시스템의 대역폭 역시 증가하고 네트워크 시스템들(브리지, 라우터) QoS의 보장 및 대역폭의 확장을 위하여 패킷의 전달 방법을 공유형태의 스위칭 방식에서 스위치형태의 스위칭으로 발전시켰다. 또한 요구되는 대역폭을 제공하기 위하여 고속의 패킷 스위칭이 요구된다. 패킷을 고속으로 스위칭하기 위한 스위치 구조로서 고속의 네트워크 시스템에서는 고속의 패킷처리가 용이한 크로스바(Crossbar) 형태의 입력버퍼링 구조의 스위치가 적용된다. 그러나 크로스바 형태의 입력버퍼링 스위치는 입력포트 블로킹, HOL(Head of Line)블로킹, 출

력포트 블로킹등의 문제가 발생한다. 이와 같은 블로킹 문제로 인하여 IP패킷을 위한 패킷스위치로서는 실시간 서비스에 대한 QoS를 음성서비스에서 사용하는 회선교환 스위치처럼 보장하지는 못한다. 특히 서비스의 다양화와 통합화 과정에서 multicast 패킷에 대한 처리가 증가하는 경우 QoS를 보장하기가 더욱 어렵게 된다. 네트워크 시스템에서 multicast 패킷의 스위칭은 시스템의 스위칭 효율을 감소시키게 되고 시스템의 처리율 및 패킷 서비스 지연의 주요 원인이 된다. 더불어 차세대 네트워크에서는 다양한 서비스의 확산과 함께 multicast 패킷의 서비스 지원이 증가할 것이고 multicast 패킷 스위칭을 위한 효율적인 스위칭 방안이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 지금까지 제안된 multicast 패킷의 스위칭방법 및 스케줄링 방법을 살펴보고, 이를 바탕으로 multicast 패킷 스위칭 시스템(라우

* 한국전자통신연구원 라우터접속팀 (leehs@etri.re.kr)
논문번호 : 010230-0831, 접수일자 : 2001년 8월 31일

** 충남대학교 전자공학과 (wwkim@comsun.chungnam.ac.kr)

터)에서의 QoS 저하를 개선할 수 있는 스위치 구조를 제안하였다. 제안된 스위치 구조는 스위치 패브릭의 출력포트에 multicast 패킷 스위칭을 위한 별도의 스위칭 경로를 두어 한 스위칭 슬롯 동안 unicast와 multicast 패킷의 스위칭을 동시에 수행한다. 또한 본 논문에서는 제안된 multicast 패킷 스위칭 시스템의 스위칭 효율 향상 및 서비스 지연을 줄이기 위한 버퍼링 구조의 설계 및 iSLIP 방법을 이용한 패킷 스케줄링 방법을 설계하였다. 그리고, 본 논문에서 제안한 스케줄링 방법의 스위치 시스템 적용 가능성 파악하기 위하여 기존에 제시된 multicast 패킷의 스위칭 방법들과의 스위칭 지연 성능을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

II. Multicast 패킷 스위칭 기술

1. 패킷 스위칭 효율 향상 방안

패킷 스위치 시스템에서 패킷 스위칭의 처리속도, QoS 보장과 같이 시스템의 성능에 직접적으로 관련된 핵심기능은 패킷 분류 기능 및 어드레스 룩업 기능, 스위치 스케줄링 기능이라고 할 수 있다. 패킷 분류기능은 어드레스 룩업 전에 수행되는데, 패킷 헤더의 발신지 및 목적지 주소, 발신지 및 목적지 포트, 프로토콜 필드등을 보고 미리 설정된 패킷 구분 규칙에 따라 패킷을 클래스 별, 또는 흐름 별로 구분한다. 이렇게 구분된 패킷은 패킷에 따라 클래스 별, 또는 흐름 별로 스위칭을 위한 버퍼에 저장되면, 구분된 종류에 따라 스위칭 경로를 파악하는 어드레스 룩업 기능이 수행된다. 버퍼에 저장된 패킷은 스위치 스케줄링 기능에 의하여 각각의 클래스나 흐름의 QoS를 보장 받으면서 패킷이 출력될 수 있도록 출력 순서를 조절한다. 이와 같은 핵심기능들에 의하여 패킷을 스위칭 하는 고속의 패킷스위칭 시스템에 있어서 시스템의 성능에 대한 bottleneck 은 어드레스 룩업기능과, 스위치 및 패킷 버퍼링 구조, 그리고 스케줄링 방법등이다.

고속의 패킷스위치 시스템에서는 패킷의 처리속도 문제로 인하여 입력버퍼링 구조의 크로스바 스위치가 주로 적용되지만 입력포트 블록킹, HOL블록킹, 출력포트 블록킹등의 블록킹 문제로 인하여 시스템의 스위칭 효율이 저하된다. 따라서 패킷스위치 시스템에서는 이와 같은 블록킹 문제를 극복하고 스위칭 효율을 증대시키는 다양한 방법의 연구가 진행되어 왔으며, 그 제시된 방법들은 크게 버퍼링 구조를 개선하는 방법과 스위치 패브릭의 용

량을 개선하는 방법으로 구분되어 된다^{[1][2][3][4]}.

크로스바 패브릭과 입력버퍼링 구조를 갖는 스위치 시스템에서 스위칭 효율을 개선시키는 방법들을 (그림-1)에 정리하였다. (그림-1)에서 알 수 있듯이 버퍼링 구조를 확장하여 스위칭 효율을 향상시키는 주요 방법들은 입력포트에서 스케줄링에 참여하는 패킷의 수를 증가시키는 방법이다. 스위치 패브릭을 이용하여 스위칭 효율을 개선하는 방법으로는 스위치 패브릭에서 입력단이나 출력단의 포트의 수를 $YN(Y=2,3) \times N$, 또는 $N \times YN(Y=2,3)$ 형태로 스위치 패브릭을 확장하는 구조이다. 스위칭 효율을 높이기 위하여 실제 시스템에 가장 많이 적용되는 방법은 버퍼링 구조를 개선하는 방법으로 입력포트에 출력포트 별로 논리적 버퍼링 구조를 갖는 VOQ (Virtual Output Queuing) 방법이다. 그러나 스위치 패브릭의 용량을 개선하는 방법은 이론적으로는 단순하지만 실제 시스템의 하드웨어 구현에 있어서는 대단히 복잡하게 구현되고 비경제적이라 잘 적용되지 않는다.

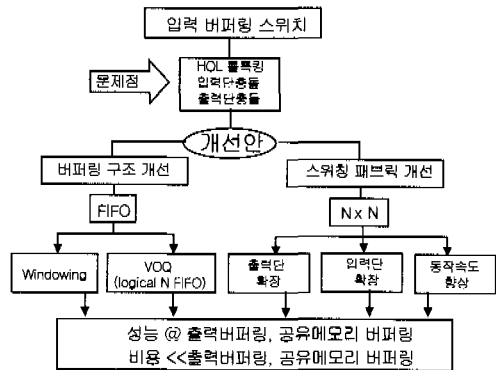


그림 1. 입력버퍼링 시스템의 스위치 효율 향상 방법

그러나 이와 같은 버퍼링 구조개선과 스위치 패브릭 확장에 의한 스위칭 효율 개선방법들은 각자가 독립적인 차원에서 구조가 제안되었고 효율성이 연구되어 왔다. 따라서 본 논문에서는 두 방향으로 진행되어 온 패킷스위치 시스템의 스위칭 효율 방법을 조합하여 실제 시스템에 적용하여 스위칭 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 특히 증가하고 있는 multicast 패킷 데이터에 대한 스위칭 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 검토하였다.

2. Multicast 패킷 스케줄링 방법

QoS서비스 제공의 필요성과 함께 라우터와 같은 네트워크 시스템에서 multicast 패킷의 스위칭에 대

한 연구가 활발히 진행되었으며, 결과로써 제안된 스위칭 방법은 크게 동시 스위칭에 의한 방법과 점대점 스위칭에 의한 방법으로 구분할 수 있다. 동시 스위칭 방식은 multicast 패킷이 입력되는 경우에 multicast 패킷이 스위칭 되어야 하는 한 슬롯시간 동안 전부 스위칭이 가능할 때 해당 출력포트로 multicast 패킷을 동시에 스위칭하는 방법이다. 점대점 방식은 좀 더 효율적인 multicast 패킷 스위칭 방식으로 입력포트로 multicast 패킷이 입력되는 경우 입력포트에서 multicast 패킷을 저장하면서 출력포트로 스위칭이 가능할 경우 스위칭이 가능한 각 출력포트들로 패킷을 스위칭하는 방법이다.^{[6][7][8]}

점대점 방식의 스위칭 방법에 대한 예를 (그림-2)에 보였다. 그림의 스위칭 상태는 입력포트 1번에서 일부 출력포트로 스위칭 되어야 하는 multicast 패킷이 있고, 입력포트 3번이나 N번 같이 일부 입력포트에서 출력포트로 스위칭 되고자 하는 unicast 패킷이 있는 경우의 스위치 연결상태를 표시한다.

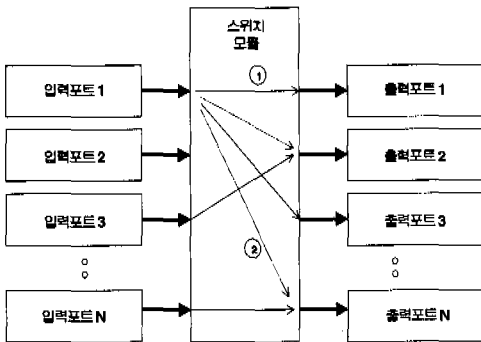


그림 2. 점대점 방식에 의한 Multicast 패킷 스위칭

(그림-2)에서 점선으로 표시된 부분은 입력포트 1번의 multicast 패킷이 다른 입력포트의 unicast 패킷 스위칭으로 인하여 첫 번째 스위칭 슬롯동안 스위칭 되지 못하고 다음 번 스위칭 슬롯동안에 스위칭 되는 경로를 표시한다.

점대점 multicast 패킷 스위칭 방식 중 크로스바 스위치 구조에서는 입력된 패킷을 해당되는 VOQ로 복사하는 방식을 주로 이용하며, 공유 메모리 구조의 스위치 시스템에서는 패킷의 복사와 같은 개념으로 하나의 queue에서 스위칭이 가능할 경우 스위칭하고 카운터 방식에 의하여 스위칭 된 패킷의 수를 파악하는 스위칭 방식이 적용된다. 크로스바 스위치에서 VOQ 구조로 점대점 스위칭 방식을 개선하여 multicast 패킷을 스위칭 하는 대표적인 스케

줄링 방법으로는 ESLIP (modified version of iSLIP) 알고리즘이 있다.^[9] ESLIP 알고리즘은 패킷 스위칭에 있어서 unicast 와 multicast 패킷을 독립적으로 스케줄링하여 스위칭 할 패킷을 결정한다. 즉, 한 스위치 슬롯시간 동안 각 입력포트의 unicast 패킷들만을 스케줄링하여 unicast 패킷을 스위칭하거나, multicast 패킷을 스위칭하기 위해서 각 입력포트의 multicast 패킷들만을 스케줄링 하여 스위칭 하는 방식이다.

III. 전용 스위치 경로에 의한 Multicast 패킷 스위칭

Multicast 패킷 스위칭과 관련하여 본 논문에서는 스위칭 효율을 향상시키는 방법으로 VOQ를 적용한 버퍼링 구조개선 방법과 출력단의 스위치 패브릭 확장 방법을 변형하여 조합한 스위치 구조를 제안하였다. 또한 스위칭효율을 높이기 위하여 multicast 패킷과 unicast 패킷을 동시에 스케줄링 하여 스케줄링 시간을 줄이는 스케줄링 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 multicast 스위칭 방법은 서비스 지연 관점에서 ESLIP 알고리즘을 이용한 multicast 패킷 스위칭 방법과 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교하였다.

1. 전용 경로를 이용한 Multicast 스위치 구조

Multicast 패킷의 스위칭 효율을 높이기 위하여 제안된 스위치 구조는 NxN의 크로스바 구조의 스위치 패브릭을 Nx(N+Y)의 변형한 형태로 출력단을 확장한 EOPSF(Extended Output Port Switch Fabric)스위치 패브릭 구조이다. 변형된 Nx(N+Y)의 EOPSF 스위치 패브릭 구조는 NxN의 unicast 패킷 스위칭 경로와 NxY의 multicast 패킷의 스위칭 경로를 갖는 구조로서 N개의 입력포트에 입력되는 모든 multicast 패킷들은 Y 개의 multicast 스위칭 경로를 이용하여 출력포트로 스위칭하는 형태이다. (그림-3)에 Y가 1인 경우의 스위치 패브릭을 이용한 스위치 시스템 구조를 보였다.^[10]

일반적으로 NxN의 스위치 패브릭 구조에서는 출력단의 스위칭 용량을 높이기 위하여 스위치 패브릭 수를 확장한다. 하지만 EOPSF 스위치 패브릭 구조는 출력단의 스위치 확장에 의한 스위칭 효율을 높이는 방법일지라도 하나의 스위치 패브릭을 이용한다. 따라서 EOPSF 스위치 패브릭 구조는 스위치시스템 구현에 있어서 스위칭 구조를 간단하게

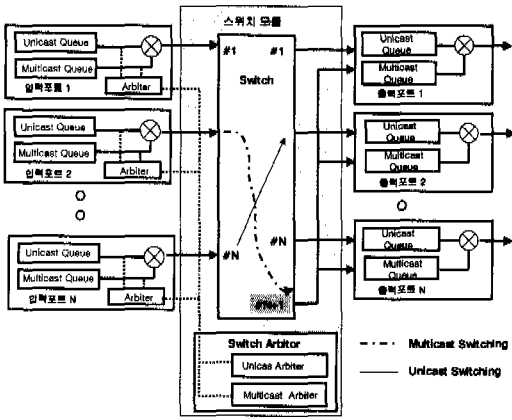


그림 3. Multicast용 전용 스위칭 경로를 가지는 EOPSF 스위치 시스템 구조

구현한다는 장점이 있다. 또한 패킷 스위칭 시 unicast 패킷과 multicast 패킷이 별도의 스위칭 경로로 구성되므로 인하여 2개의 스위치 패브릭으로 구성된 것과 유사한 스위칭 효율을 얻을 수 있다.

그러나 multicast 스위칭 경로가 하나인(Y=1) 경우를 고려할 경우 모든 입력포트의 multicast 패킷이 하나의 출력포트로만 스위칭 되기 때문에 multicast 패킷을 위한 스위칭 경로에서는 출력포트의 충돌이 발생할수 있다. 이와같은 출력포트의 multicast 패킷 충돌은 unicast 패킷의 스위칭과 관련해서는 커다란 영향을 미치지 않지만 스위치 시스템 전체의 스위칭 효율 측면에서는 영향을 미치게 되므로 이와 관련된 스위칭 효율을 분석하는 것이 필요하다.

2. EOPSF스위치 시스템의 Multicast 스위칭을 위한 패킷 Buffering 구조

본 논문에서 제안된 $N_x(N+Y)$ 의 EOPSF 스위치 시스템 구조는 스위치 패브릭 측면에서 보면 출력 포트수가 Y개 증가함으로 인하여 N_xN 스위치에 비하여 Y/N 만큼의 스위칭 효율이 좋을 것이라는 것을 예상할 수 있다. 그러나 확장된 출력포트가 multicast 패킷의 스위칭을 위한 전용 경로이므로 단순히 스위칭 효율이 Y/N 만큼 증가하는 것이 아니라 스위칭 되어야 하는 multicast 패킷 그룹의 크기에 따라 달라지게 된다. 따라서 제안된 스위치 구조는 multicast 패킷이 unicast 패킷과 동시에 출력 포트에 스위칭 됨으로써 스위칭 효율을 최대한 높이기 위한 효과적인 버퍼링 구조가 요구된다. 본 논문에서는 제안된 EOPSF 스위치 구조에서 패킷의 스위칭 효율을 높이기 위한 버퍼링 구조를 (그림-4)에 보였다.

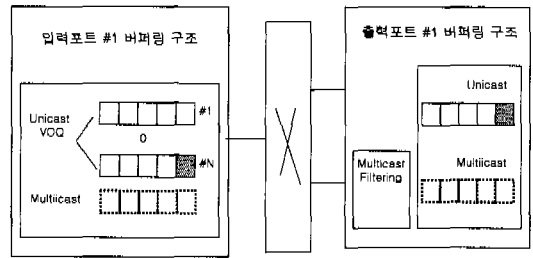


그림 4. Multicast 스위칭을 위한 Buffering 구조

제안된 형태의 multicast 패킷 버퍼링 및 스위칭 방법은 한 패킷이 여러개의 출력포트로 스위칭 된다는 점에서 multicast 패킷 스위칭 후 공유버스 형태로 패킷을 전달하는 구조로 설계하였다. 스위치 패브릭의 전용스위칭 경로를 통하여 스위칭 된 Multicast 패킷은 N개의 출력포트로 Ethernet 이나 HDLC등의 공유버스 형태의 전송기술을 이용하여 패킷을 전달한다.

설계된 버퍼링 구조는 multicast 패킷과 unicast 패킷이 동일 스위치 패브릭을 통하여 동시에 스위칭 되는 구조이므로 모든 입력포트와 출력포트에서 unicast와 multicast 패킷을 분리하여 저장하는 구조이다. 입력포트의 unicast패킷들의 버퍼링 구조는 도착하는 패킷들이 N개의 스위치 포트 스위칭 되어야 하므로 출력포트별로 구분하여 저장되는 N개의 VOQ를 가지며, multicast 패킷은 패브릭의 출력 포트에서 버스형태 이므로 단일 queue를 가지는 구조이다. 이와 같은 입력버퍼링 구조는 unicast패킷이 VOQ 구조로 ESLIP 알고리즘에서 제안된 버퍼구조와 유사한 형태이지만 multicast 패킷의 버퍼링에서는 VOQ의 구조가 아닌 단순 FIFO(First Input First Out)형태로 구성된다. 출력포트에서의 버퍼링 구조는 입력포트와 마찬가지로 unicast 버퍼와 multicast 버퍼가 별도로 존재하나 입력포트와는 달리 unicast 버퍼와 multicast 버퍼 모두 단일 queue 구조를 갖는다. 또한 출력단에서는 스위칭된 multicast 패킷이 버스형태로 모든 출력단에 전달되므로 multicast 패킷을 저장하기 전에 필터링 기능을 수행하여 자신의 출력포트로 전달되는 패킷인지를 확인하여야 한다. 필터링 기능을 위하여 입력포트에서는 N개 출력포트에 대응하는 비트정보 필드를 두고 출력포트에서는 자신의 출력포트 정보와 수신된 multicast 비트정보 필드와 비교한다. 비교결과 비트정보와 출력포트 정보가 동일한 경우 수신 패킷이 multicast 버퍼에 저장되고 아닌 경우 폐기 처분된다.

출력포트에서 unicast 버퍼와 multicast 버퍼에 대한 서비스 순서는 WRR(Weighted Round Robin)과 같은 별도의 스케줄링 방법에 의하여 결정되며, 이와 함께 queue 내에 우선순위등을 고려하여 queue 들을 논리적으로 세분화하여 분리시킬 수 있다. 이와 같은 스위칭 동작 및 필터링 동작은 스위치 패브릭 외부에서 수행되지만 스위치 패브릭 내에서도 처리가 가능하다.

3. EOPSF 스위치 시스템의 스케줄링 방법

QoS서비스 제공의 필요성과 함께 라우터와 같은 네트워크 시스템에서 multicast 패킷의 스위칭을 위한 스케줄링 방법은 다양하지만 제안된 많은 스케줄링 방법 중 실제적으로 시스템에 적용되어 구현할 수 있는 알고리즘은 그리 많지 않다. VOQ 구조에서 가장 현실성 있게 구현할 수 있는 스케줄링 방법은 round robin 스케줄링 방법을 변형한 iSLIP 방법이다. 따라서 본 논문에서도 iSLIP을 이용하는 스케줄링 방법을 이용하여 multicast 패킷과 unicast 패킷이 최대의 스위칭 효율을 가질 수 방법을 제안하였다. iSLIP의 스케줄링 알고리즘 동작은 요청(Request), 승인(Grant), 수락(Accept)이라는 3단계 절차에 의하여 이루어지며, (그림-5)에 iSLIP 스케줄링 알고리즘의 동작 절차를 보였다^{[11][12]}.

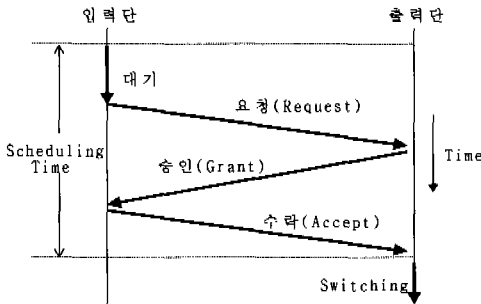


그림 5. iSLIP 스케줄링 알고리즘 절차

각 입력포트의 VOQ 내에 패킷이 존재하는 경우 VOQ별로 스위칭을 요청하고, 패킷 스위칭을 요청 받은 스위치 모듈에서는 각 출력포트별로 현재의 우선순위를 고려하여 스위칭을 요청한 입력포트중 하나를 선택한 후 입력포트로 스위칭이 가능하다는 승인신호를 보낸다. 승인신호를 받은 입력포트에서는 두 개 이상의 승인신호를 받을 수 있으므로 다시 정해진 우선순위 순서에 의하여 수락신호를 출력포트로 보낸다. 이와 같은 절차는 패킷을 스위칭하는 단위 슬롯시간 안에 이루어지며, 단위 슬롯시

간 동안 3단계의 동작을 반복적으로 수행하여 입력 포트와 출력포트의 스위칭 연결이 최대가 되도록 한다.

제안된 EOPSF 스위치 시스템 구조에서 multicast 패킷과 unicast 패킷의 스위칭 시 최대의 효율을 가질 수 있는 방법으로 (그림-6)과 같은 스케줄러를 설계하였다.

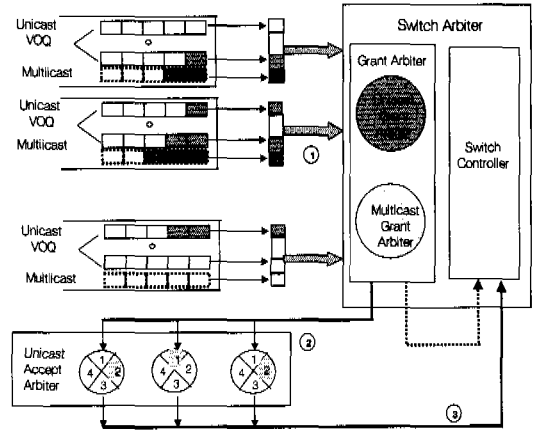


그림 6. EOPSF 스위치 시스템의 PSLIP 스케줄러

설계된 스케줄러는 iSLIP 알고리즘을 변형한 것으로 한 슬롯시간 동안 모든 반복동작에서 unicast와 multicast 패킷의 스케줄링이 동시에 진행되는 스케줄링 방법이며, 본 논문에서는 이 방법을 PSLIP (Parallel iSLIP) 이라고 하였다. 제안된 스케줄러 구성은 크게 스위치 모듈에 있는 SA(Switch Arbiter) arbiter 와 각 입력포트에 위치하는 VOQ 패킷 중 스위칭 되어야 할 패킷을 결정하는 UAA (Unicast Accept Arbiter)arbiter로 이루어진다. 스위치의 각 출력포트에 대하여 패킷의 스위칭 가능여부를 결정하는 SA는 multicast 패킷과 unicast 패킷의 스위칭 승인을 결정하는 GA(Grant Arbiter)와, multicast와 unicast의 승인된 패킷을 제어하고 우선순위를 제어하는 SC (Switch Controller)로 구성된다. (그림-6)의 PSLIP 스케줄러 구조의 스케줄링 방법은 SC에서 승인신호 선택 시 multicast 패킷이 unicast 패킷을 우선한다. 따라서 multicast 에 의하여 선택된 입력포트는 UAA 로 부터 승인신호가 있더라도 무시된다. SC에서는 승인 된 unicast 패킷들을 UAA 에 보내 최종적으로 스위칭되는 패킷을 결정하고, 입력포트에서 출력포트로 선택된 스위칭 경로에 대하여 스위치 패브릭을 제어하는 기능을 수행한다. 승인신호를 받은 UAA 에서는 스위칭

이 가능한 출력포트들 중 가장 우선순위가 높은 출력포트를 결정하는 기능을 수행한다. 제안된 스케줄러의 PSLIP 스케줄링 알고리즘에 대한 동작상태도를 (그림-7)에 보였다.

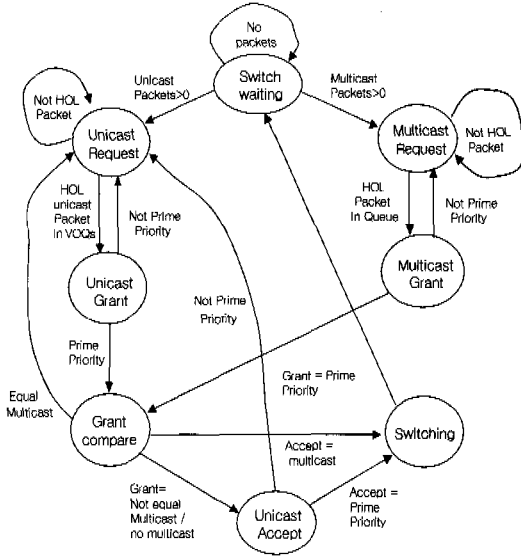
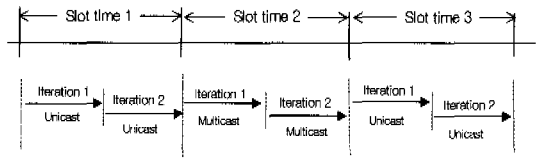


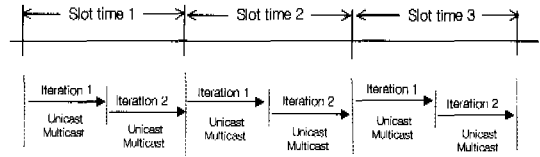
그림 7. PSLIP 스케줄링 알고리즘의 동작상태도

(그림-7)의 PSLIP 스케줄링에 대한 동작 상태를 살펴보면 각 입력포트에 패킷들이 도착하면 switch waiting 상태가 되며, SA(Switch Arbiter)로 unicast 와 multicast 패킷에 대한 스위칭을 요구한다. 각 패킷들은 요청상태(Unicast request, Multicast request)에서 패킷이 HOL(Head Of Line)상에 존재하면 각 패킷에 대한 스위칭 가능여부를 확인하는 승인상태(Unicast grant, Multicast grant)로 진행되고, 그렇지 않은 경우 요청상태에 머물러 있게 된다. Unicast Grant Arbiter는 스위칭이 요청된 unicast 패킷의 출력포트에 대하여 iSLIP 스케줄링 동작에 의하여 unicast에 대한 스위칭 패킷을 결정하고 결과를 SC(Switch Controller)로 보낸다. 마찬가지로 Multicast Arbiter에서는 우선순위에 의하여 스위칭 되어야 할 패킷의 입력포트를 SC(Switch Controller)로 알려준다. SC(Switch Controller)에서는 승인 된 multicast와 unicast 패킷이 동일 입력포트에 존재하는지를 파악하는 grant compare 상태의 동작을 수행한다. Grant compare 상태에서는 multicast 패킷이 존재하는 경우 unicast 패킷은 다시 unicast 요청상태로 되돌려 보내고 multicast 패킷은 스위칭을 위한 수락신호를 발생시켜 switching 상태로 보낸다. Multicast 패킷이 없는 경우는 우선순위에 따라 승

인신호를 보낼 패킷을 결정하는 unicast accept 상태로 진행한다. unicast accept 상태에서는 승인신호를 받은 unicast 패킷 중 최종적으로 스위칭 될 unicast 패킷을 우선순위에 의하여 선택한 후 스위칭을 위한 수락신호를 발생시켜 switching 상태가 된다. 이 경우 선택되지 않은 승인신호는 다시 unicast 요청의 동작 상태로 되돌아간다. (그림-8)은 스위치 시간슬롯 당 2번의 반복(Iteration)스케줄링을 하는 경우에 대하여 제안된 PSLIP 스케줄링 방법과 ESLIP 알고리즘의 스케줄링 시의 반복 스케줄링 동작을 표시한다.



(a) ESLIP Algorithm 에 의한 패킷 Scheduling



(b) PSLIP Algorithm 에 의한 패킷 Scheduling

그림 8. Multicast 패킷 Scheduler의 반복 스케줄링 동작비교

제안된 PSLIP 스케줄링 방법은 모든 스위치 시간슬롯에 대하여 unicast 패킷과 multicast 패킷이 동시에 스케줄링 되므로 지금까지 제안된 iSLIP를 이용한 multicast 패킷 스케줄링 방법들에 비하여 고속으로 패킷 스위칭이 가능하다는 장점이 있다. 제안된 PSLIP 스케줄링 방법이 고속의 스위칭에 적합하다는 것은 (그림-8)에 보인 ESLIP 방법과의 반복 스케줄링 동작 비교를 통해 예측할 수 있으나, 다음 장에서는 시뮬레이션을 이용하여 제안된 PSLIP 방법의 성능을 분석하였다.

IV. 시뮬레이션에 의한 성능분석

1. 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 별도의 스위치 경로를 이용한 EOPSF 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘에 대한 성능을 파악하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션은 unicast 패킷과 multicast 패킷에 대한

여 서비스 지연, fairness, throughput 관점에서 수행되었다. PSLIP의 시뮬레이션 결과는 multicast 패킷의 스위칭을 위하여 unicast 패킷의 VoQ로 패킷을 복사하는 iSLIP 방법 및 동시 스위칭방법이 발전한 ESLIP 알고리즘의 스케줄링 결과를 비교하였다. PSLIP 알고리즘의 시뮬레이션을 위하여 적용된 스위치 시스템은 입력포트의 unicast 패킷 버퍼링이 VOQ(Virtual Output Queuing)구조로 N 개의 출력스위치 포트 수와 같고 입력포트로 입력되는 패킷의 도착율은 poisson 분포를 갖는다. 그리고 스위치에서 스위칭되는 서비스율은 매 스위칭 슬롯 단위로 한 패킷을 전달하는 deterministic 한 형태로서 M/D/1의 Queuing 모델이 적용되었다. 시뮬레이션은 각 입력포트에 입력되는 패킷들은 random 하게 스위칭되어 모든 입력포트의 모든 VOQ에는 스위칭을 요구하는 패킷들이 존재한다. VOQ에 존재하는 모든 패킷은 한 슬롯시간 동안에 스위칭된다고 가정하였으며, 스케줄링과 관련하여 한 슬롯당 반복 스케줄링 동작은 2번 수행하는 것으로 하였다. 여기서 한 슬롯의 간격은 0.1 로 하였으며, 시뮬레이션은 총 1000 슬롯 시간동안 실시하였다. 적용된 스위치 패브릭의 입출력 포트는 8x9 (N=8, Y=1)이며, 시뮬레이션은 Awesim을 사용하여 Pentium-III PC에서 수행하였다. 이와같이 본 논문의 시뮬레이션 과정에서 적용된 일반적인 시뮬레이션 조건들을 (표-1)에 정리 하였다.

표 1. 시뮬레이션 변수 및 설정조건

시뮬레이션 변수	설정 조건
비교 시뮬레이션 알고리즘	PSLIP, ESLIP, iSLIP
스위치 크기	8 x 9 (N=8, Y=1)
시뮬레이션 소프트웨어	Awesim II (SLAM 상위 version)
스케줄링 반복횟수	2회 반복
Queuing 모델	M/D/1
도착 패킷 분포	Poisson 분포
스위칭포트 결정	랜덤(Random) 변수
단위 슬롯 시간	0.1 sec
총 시뮬레이션 시간	1,000 슬롯

2. 시뮬레이션 결과

2.1. Multicast 패킷 비율에 따른 서비스 지연

Multicast 패킷이 입력단 버퍼에 저장된 후 스위칭 되어 원하는 출력포트로 전달될 시점까지를 표

시하는 패킷 서비스 지연에 대하여 입력단에 도착하는 multicast 패킷의 비율을 변수로 하여 시뮬레이션 하였다. 모든 입력단에 도달하는 패킷의 도착율이 동일하고, 도착되는 unicast 와 multicast 패킷 중 multicast 패킷의 비율을 multicast 비율로 표시하였다. 각 입력포트로 입력된 multicast 패킷이 각 출력포트로 스위칭 되어야 하는 스위칭 출력포트의 수를 나타내는 multicast 그룹의 크기를 4로 가정하였으며, 10% ~ 40%까지 multicast 패킷 비율에 대하여 시뮬레이션 하였다. 제안된 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘에 대한 서비스 지연을 비교하기 위하여 NxN의 스위치 패브릭 구조를 가지고 unicast 패킷의 VOQ로 multicast 패킷을 복사한 후 iSLIP 알고리즘을 이용하여 multicast 패킷을 스위칭하는 방법과, multicast 패킷에 우선순위를 두고 multicast 패킷과 unicast 패킷별로 스케줄링 하여 스위칭하는 ESLIP 방법에 대하여 같은 조건으로 시뮬레이션 하였으며 비교 결과를 (그림-9)에 보였다.

NxN의 스위치 패브릭 구조에서 multicast 패킷을 해당 unicast 패킷의 VOQ로 복사하는 방법의 시뮬레이션 결과들을(iSlip(Unicast), iSlip(Multicast)) 살펴보면 입력포트에 입력되는 multicast 패킷의 비율이 증가하면서 multicast 패킷의 비율에 비례하여 multicast 패킷과 unicast 패킷의 서비스 지연이 동시에 증가하는 경향을 보인다. NxN의 스위치 패브릭 구조에서 ESLIP를 적용한 경우의 시뮬레이션 결과들을(ESlip(Unicast), ESlip(Multicast)) 살펴보면 unicast 패킷의 서비스 지연은 다른 방법들에 비하여 가장 높은 지연을 보이며, 입력포트의 multicast 패킷 비율이 증가하면서 unicast 패킷의 서비스 지연이 급격하게 증가하게 된다.

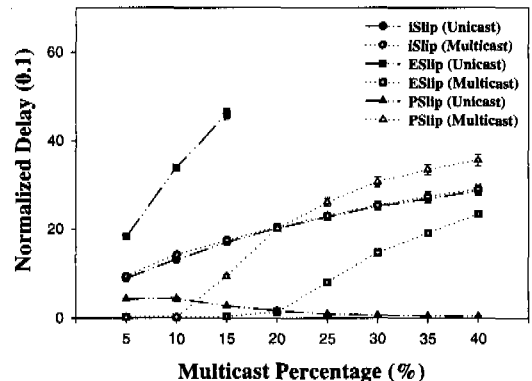


그림 9. Multicast 패킷 비율에 따른 서비스 지연 시뮬레이션 결과

따라서 multicast 패킷이 20% 이상이 되는 경우 unicast 패킷의 서비스 지연을 표시하지 못하였다. 이와 같은 unicast 패킷의 급격한 서비스 지연 증가는 multicast 패킷을 우선적으로 처리함으로써 인하여 발생하는 현상으로 판단된다. 반대로 multicast 패킷의 경우는 다른 방법들에 비하여 가장 낮은 서비스 지연을 보인다. 결과에서 20% 이상의 multicast 패킷이 입력되는 경우 서비스 지연이 증가하게 되고, multicast 패킷의 입력 비율이 증가하면서 unicast의 VOQ에 복사하여 스위칭 하는 iSLIP 방법의 서비스 지연에 가까워 진다.

그러나 본 논문에서 제안한 EOPSF 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘에 의한 multicast 스위칭 방법의 시뮬레이션 결과는 (PSlip(Unicast), PSlip(Multicast)) 입력포트에 입력되는 multicast 패킷의 비율이 증가하면서 unicast 패킷의 서비스 지연은 감소하고 multicast 패킷의 서비스 지연은 증가한다. 그러나 입력포트에 입력되는 multicast 패킷의 비율이 10%를 넘어서 부터는 패킷의 서비스 지연이 높아지고 급격하게 증가하고, multicast 패킷의 비율이 20%를 넘는 경우에는 multicast 패킷을 unicast 패킷처럼 복사하여 스위칭 하는 iSLIP 방법에 비하여 multicast 패킷의 서비스 지연이 커지는 현상을 보인다. 이러한 현상은 각 입력포트에서 입력되는 multicast 패킷 수가 증가 하지만 스위칭되는 multicast 패킷의 출력포트 Y는 하나임으로 이로 인해 발생하는 출력단의 패킷충돌이 원인이라고 할 수 있다. 제안된 EOPSF 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘은 다른 방법과는 달리 multicast 패킷의 비율이 증가하면서 unicast 패킷의 서비스 지연이 줄어들고, multicast 패킷의 경우는 multicast 패킷의 도착 비율이 20% 이하까지는 multicast 패킷을 unicast의 VOQ에 복사하여 스위칭 하는 iSLIP 방법보다 패킷의 서비스 지연이 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 20% 이하의 multicast 패킷이 입력되는 경우에 PSLIP 알고리즘은 네트워크시스템의 QoS를 보장하는 효율적인 패킷 스위칭 방법이라는 것을 알 수 있다.

4.2.2 Multicast 패킷 크기에 따른 서비스 지연

입력단에 도착하는 패킷의 도착율이 동일하고 전체 패킷 중 multicast 패킷의 비율이 10%인 경우 하나의 입력포트에서 임의의 출력단으로 스위칭 되어야 하는 Multicast 패킷의 그룹크기에 따른 패킷 서비스 지연 시뮬레이션을 수행하였다. Multicast

패킷의 크기에 따른 서비스 지연에 대한 성능을 비교하기 위하여 multicast 패킷 비율을 변수로 한 시뮬레이션 조건과 동일하게 multicast 패킷들을 unicast 패킷의 VOQ로 복사하여 스위칭하는 multicast 패킷 스위칭 방식과, ESLIP 에 의한 multicast 패킷 스위칭 방법에 대해서도 시뮬레이션 하였다. Multicast 패킷의 크기에 따른 서비스 지연의 시뮬레이션 결과를 (그림-10)에 보였다.

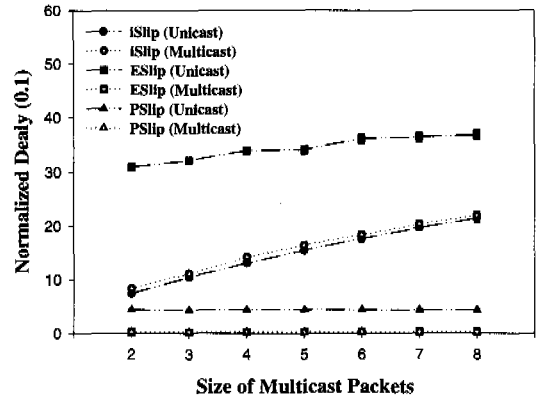


그림 10. Multicast 패킷 그룹 크기에 따른 서비스 지연 시뮬레이션 결과

결과에서 보면 unicast 로 multicast 패킷을 복사하여 스위칭 하는 방법의 결과는 (iSLIP Unicast, iSLIP Multicast) multicast 패킷의 크기가 증가하면서 multicast 패킷 및 unicast 패킷의 서비스 지연이 비례하여 증가한다. ESLIP의 시뮬레이션 결과는(ESLIP Unicast, ESLIP Multicast) multicast 패킷의 스위칭이 가장 우선적으로 수행되므로 multicast 패킷의 크기에 따라서 multicast 패킷의 서비스 지연이 발생하지 않는다는 것을 보인다. 그러나 unicast 패킷의 서비스 지연은 multicast 패킷의 스위칭 크기가 증가하면서 증가함을 보인다.

본 논문에서 설계된 스위칭 및 스케줄링 방법의 결과(PSlip Unicast, PSlip Multicast)에서는 multicast 패킷이 스위칭이 되는 포트에서만 입력 충돌이 발생하기 때문에 multicast 패킷의 크기가 증가하는 것과는 무관하게 multicast 패킷 및 unicast 패킷의 서비스 지연이 일정한 결과를 보인다. 따라서 제안된 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘이 적용될 경우 multicast 패킷 서비스 지연은 입력단에 도착하는 multicast 패킷의 비율에 영향을 받지만, 스위칭 되어야 하는 출력포트의 수인 multicast 패킷의 스위칭 그룹의 크기에는 영향을 받지 않는다는 것

을 알 수 있다.

3. 서비스 균등성에 대한 시뮬레이션

제안된 스위치 구조 및 스케줄링 알고리즘에 대한 multicast 패킷의 서비스 지연에 대한 균등성 (Fairness) 영향을 파악하기 위하여 각 출력단으로 스위칭되는 unicast 패킷의 서비스 지연을 시뮬레이션 하였다. 여기서 multicast 패킷이 각 출력포트로 스위칭 되어야 하는 출력포트의 수를 나타내는 그룹의 크기는 4로 가정하였으며, 스위칭 되어야 하는 출력포트는 랜덤(random)한 변수로 하였다. 제안된 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘에 대한 서비스 지연 균등성을 알기 위하여 이전의 시뮬레이션 조건과 마찬가지로 unicast 패킷의 VOQ로 multicast 패킷을 복사하고 iSLIP 알고리즘을 이용하여 스위칭하는 방법과, 동시 스위칭 방법의 일종인 ESLIP에 대하여 비교 시뮬레이션 하였다. 각 출력포트에서 시뮬레이션 한 unicast 패킷들의 평균 서비스 지연에 대한 결과는 (그림-11)에 나타내었다. 그러나 iSLIP 알고리즘을 이용하는 경우는 multicast 패킷이 존재하지 않고 unicast 패킷만을 스위칭 하는 순수 iSLIP의 경우와(iSLIP(Unicast)), multicast 패킷의 비율이 10% 존재하는 (iSLIP(Multicast)) 두가지 경우에 있어서 unicast 패킷에 대한 지연을 시뮬레이션 하였다.

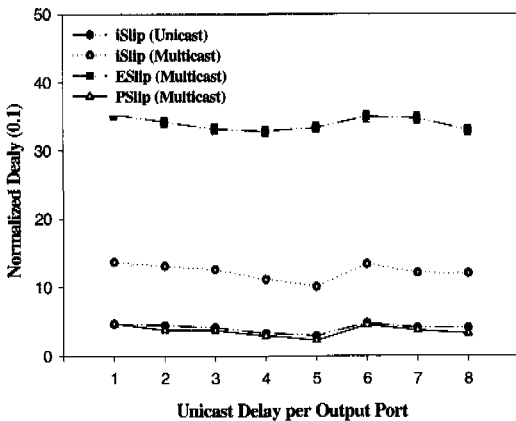


그림 11. Multicast 패킷 Switching 방법에 따른 unicast 패킷의 서비스 지연

(그림-11)의 결과에서 multicast 로 표시된 결과들은 입력포트에 도착하는 패킷 중 10% 가 multicast 패킷임을 말한다. 주어진 조건의 시뮬레이션 결과에서는 5번 출력포트로 서비스되는 패킷의 지연이 가장 작고 6번 출력포트의 패킷 지연이 가장 크게 나

타난다. 랜덤변수에 의한 이 두 출력포트간의 서비스 지연편차를 논문에서는 균등성을 나타내는 척도로서 사용하였다. (그림-11)의 결과로서 도착하는 패킷 중 multicast 패킷이 있는 경우에 unicast 패킷 서비스 지연이 가장 큰 것은 ESLIP (ESLIP (Multicast))이라는 것을 알 수 있다. 그리고 PSLIP의 경우 두 포트간의 unicast 패킷의 서비스 지연편차 (PSLIP(Multicast))가 다른 알고리즘들에 비하여 작다. 또한 본 논문에서 제안한 EOPSF 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘에 의한 multicast 스위칭 방법의 unicast 패킷 서비스 지연편차는 multicast 패킷이 존재하지 않고 unicast 패킷을 스위칭하는 경우와 거의 동일하다는 것을 알 수 있다.

따라서 제안된 EOPSF 스위치 구조의 PSLIP 알고리즘은 multicast 패킷의 비율이 20%보다 작은 경우에 multicast 패킷의 서비스 지연을 줄이면서도 unicast 패킷의 서비스 지연 및 서비스 지연편차를 multicast 패킷이 없는 unicast 패킷의 iSLIP 스케줄링 수준으로 유지한다는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 네트워크 시스템에서 multicast 패킷 스위칭 시 시스템의 패킷의 스위칭 효율을 높이기 위한 방법으로 스위치 패브릭에 multicast 패킷의 스위칭을 위하여 별도의 스위칭 경로를 만드는 방안을 제시하였다. 또한 그와 관련하여 요구되는 입출력포트의 패킷 버퍼링 구조를 제안하였으며, iSLIP의 스케줄링 방법을 기본으로 하는 PSLIP 스케줄링 구조를 설계하였다. 설계된 PSLIP 스케줄링 방법을 시뮬레이션 한 결과 도착하는 패킷의 multicast 패킷 도착율이 20%보다 작을 경우 제안된 구조가 multicast 패킷과 unicast 패킷의 서비스 지연을 효과적으로 줄일 수 있다는 것을 알았다. 그러나 입력포트에 입력되는 multicast 패킷 비율이 20% 이상 증가하는 경우 제안된 PSLIP 스케줄링 방법은 multicast 패킷의 서비스 지연이 다른 방법보다 크다는 단점이 있다. 반면 unicast 패킷의 경우에는 multicast 패킷의 비율과는 관계없이 단지 unicast 패킷만 존재하는 경우의 iSLIP 스케줄링 방법과 같은 수준의 서비스 지연 및 균등성을 갖는다. 본 논문에 제안된 별도의 스위칭 경로를 통하여 multicast 패킷을 스위칭하는 방법은 burst 한 패킷이 입력될 경우의 서비스 지연 및 균등성에 대한 연구가 추가로 요구된다. 그러나 기존의 multicast

패킷 스위칭 방법과 비교하여 multicast 패킷의 비율이 높지않은 경우 multicast 패킷 및 unicast 패킷의 스위칭 지연 및 균등성 특성이 월등히 우수하므로 QoS 서비스 제공을 위한 스케줄링 방법으로 라우터 시스템등에서 간단한 하드웨어 구조로 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Peter Newman et.al., "IP Switching and Gigabit Routers" *IEEE Communication Magazine*, Vol.35, No.1, Jan. 1997, pp.64-9.

[2] Jeane S. -C. Chen and Thomas E. Stern "Throughput Analysis, Optimal Buffer Allocation, and Traffic Imbalance Study of a Generic Non blocking Packet Switch" *IEEE JSAC*, Vol.9, No.3, April 1991, pp.439-49.

[3] Hui Zhang "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet Switching Networks" *Proceedings of the IEEE*, Vol.83, No.10, Oct. 1995, pp.1374-96.

[4] Dye-Jyun Ma, "Performance analysis of A Nonblocking Space-devision PacketSwitch with Window Policy" *ICICS'97*, Singapore, 3F1.2, September, 1997.

[5] H. Jonathan Chao et.al., "Design of Packet-Fair Queuing schedulers using a RAM-Based searching Engine" *IEEE JSAC Trans.*, Vol.17, No.6, June 1999, pp.1105-26.

[6] Ali, M., Youssefi, M., "Performance analysis of a random packet selection policy for multicast switching" *IEEE Trans. Commun*, Vol.44, No.3, Mar 1996. pp.388-98.

[7] Ali, M., Youssefi, M., "Performance analysis of a multicast switch" *IEEE Trans. Commun*, Vol.39, No.4, April 1991, pp.581-7.

[8] N. H. Liu and Kwan L. Yeung, "A New Packet scheduling Algorithm for Input-buffered Multicast Packet Switches" *GLOBECOM '97*, Part Vol.3, 1997, pp.1695-9.

[9] N. McKeown, "Fast Switched Backplane for a Gigabit Switched Router" *Business Communications Review*, December 1997(URL:<http://www.bcr.com/bcrrmag/1997/12/mckeown.asp>)

[10] Heyung Sub Lee et.al., "Deign of the Packet Forwarding Chipset with Feedback Blocking" *ITC-CSCC*, Vol.2, July 1999, pp.824-7.

[11] N. McKeown, "The iSLIP scheduling Algorithm for Input-Queued Switches" *IEEE/ACM Trans.* Vol.7, No.2, April 1999, pp.188-201.

[12] McKeown N et.al., "Achieving 100% throughput in an input-queued switch" *IEEE Trans. Commun*, Vol.47, No.8, Aug. 1999, pp.1260-7.

이 형 섭(Heyung Sub Lee)

정희원



1985년 2월 : 충남대학교
전자공학과 (학사)
1994년 8월 : 충남대학교
전자공학과 석사
2000년 2월 : 충남대학교
전자공학과 박사과정
수료

1990년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<주관심 분야> 라우터 및 Ethernet 스위치 시스템,
통신망 프로토콜, IP 포워딩

김 환 우(Whan Woo Kim)

정희원



1977년 2월 : 서울대학교
전자공학과 (학사)
1979년 2월 : 한국과학기술원
전기 및 전자공학과(석사)
1988년 6월 : University of Utah
전자공학과 (공학박사)

1980년 6월~현재 : 충남대학교 전자공학과 교수
<주관심 분야> 디지털 무선통신, HomePNA 전송기
술, 디지털 신호처리