
위성탑재 CICQ Crossbar Switch에서 COS 지원을 위한 프리미엄기반 우선순위 Scheduler 기법

공남수* · 류근호* · 이규호**

A Scheduling Scheme based on Premium to Support COS(Class of Service) for Satellite On-Board CICQ(Combined Input-Crosspoint Queueing) Crossbar Switch

Nam-Soo Kong* · Keun Ho Ryu* · Kyou-Ho Lee**

요 약

위성을 통한 통신 서비스는 음성 통신 서비스와 같은 실시간 응용 서비스와 데이터 통신과 같은 비실시간 응용 서비스가 함께 제공되는 것이 일반적이다. 위성을 통하여 특성을 달리하는 여러 개의 응용 서비스를 함께 제공하기 위해서는 서비스의 클래스(COS: Class of Service)에 따라 우선순위를 달리하는 우선순위 스케줄링이 필요하다. 그러나 기존의 우선순위 스케줄링 기법은 우선순위가 낮을 경우, 서비스를 받지 못하는 굶주림(Starvation) 현상이 발생하는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 COS에 따라 각기 다른 프리미엄을 주고, 스케줄링을 받지 못한 패킷은 Age를 증가시켜 가면서, Age와 프리미엄의 합이 가장 큰 패킷을 선택하는 프리미엄 기반 우선순위 스케줄링 기법을 제안한다. 제안한 스케줄링 기법은 고정 우선순위 스케줄링 기법에 비하여 우선순위가 낮은 서비스에 있어서 평균지연시간이 개선되었고, 지연시간에 대한 표준편차에 있어서도 기존의 고정 우선순위 기법에 비하여 개선되었음을 보여 주었다. 제안한 프리미엄 기반 우선순위 스케줄링 기법에서는 기존의 고정 우선순위 스케줄링 기법에서와 같은 무한정 굶주림 상태가 되지 않는다.

ABSTRACT

Satellite application services can be divided into realtime services like voice communications and non-real time services like traditional data communications. To support both types of services on the same On-Board Switching(OBS), a scheduler which depends on their service classes is required. A fixed priority scheduling policy has a starvation problem. In this paper we propose a scheduling scheme based on premium and age. Premium is a fixed value which is given to a certain class of services. Age is another parameter of the scheduling policy and it will be increased by one for every scheduling cycle. The scheme we propose chooses a packet which has the largest sum of its age and premium. Simulation results indicate that the proposed approach shows better performance in both average cell delay and std-dev of cell delay for the lower class of service. There is no staying in infinite starvation state.

키워드

Scheduler, Priority Scheduler, On-Board Switch, CICQ Switch Scheduler, Class of Service

* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부
** 인제대학교 정보통신공학과(교신저자)

접수일자 2009. 03. 27
심사완료일자 2009. 05. 12

I. 서 론

급증하는 인터넷 통신의 확산과 함께 위성을 통한 패킷통신의 중요성도 함께 증대하고 있다. 위성망은 지상망과 보완 관계로 항공통신, 해상통신과 같은 지상망이 미치지 않는 지역을 위한 통신이나, 위성이 갖는 고유 기능인 방송 및 멀티캐스트 특성을 활용한 응용 서비스 제공에 매우 중요한 역할을 한다. 또한, 위성을 통한 효율적인 패킷통신을 위해서는 위성 탑재 스위칭(OBS: On-Board Switching)이 필요하며, 링크 마진의 향상 및 다른 스팟빔 내의 사용자들과의 융통성 있는 상호 연결 등이 가능한 장점이 있다.

지금까지의 패킷스위치 구조는 대부분 점대점 통신 기반으로 유니캐스트에 적합하도록 되어 있었다. 하지만 위성통신의 최대 장점인 멀티캐스팅과 같은 방송 서비스인 점을 감안할 때, 위성 탑재 스위치는 유니캐스트는 물론 멀티캐스트 트래픽도 효과적으로 처리할 수 있어야 한다. 따라서 위성 탑재 스위칭 스케줄러는 유니캐스트 및 멀티캐스트 트래픽을 동시에 처리할 수 있으면서, COS (Class of Service)에 따라 각기 다르게 부여되는 우선순위에 의해 스케줄링하는 방식이 요구된다.

고정 우선순위 스케줄링에 기반한 방식은 레벨이 낮은 서비스에 대한 굶주림(Starvation) 현상이 발생하는 문제점이 있어, 이에 대한 개선이 필요하다[1]. 본 논문에서는 COS를 고려한 프리미엄 기반 우선순위 스케줄링 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 검증한다.

본 논문의 제2장에서는 본 연구와 관련된 위성 탑재 스위칭 기술에 대하여 분석하고, 제3장에서는 COS를 효과적으로 지원할 수 있는 우선순위 스케줄링 기법을 제안한다. 그리고 제4장에서는 성능분석을 통하여 기존 연구들과의 성능을 비교하고, 제5장에서 결론을 맺는다.

II. 위성탑재 스위칭 기술

2.1 위성망 구조

고속 위성 패킷통신망을 구축하기 위한 위성망 구조는 그림 1과 같은 망구조를 가지며, 응용서비스별로 대역폭과 COS는 MF-TDMA (MultiFrequency Time Domain Multiple Access)와 같은 위성 Access Protocol 설정 과정

에 의해 동적으로 정해지는 스팟 다중빔 구조의 위성망을 가정한다. 또한, 스케줄링과 같은 지연에 민감한 기능은 위성 탑재 스위치에서 수행하고, 호수락 제어와 자원 할당과 같은 기능은 지상의 위성망제어국(NCS: Network Control System)에 두는 것으로 가정한다.

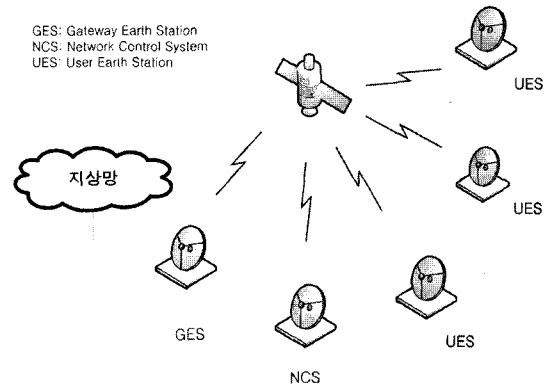


그림 1. 위성망 구조
Fig. 1. Satellite Network Architecture

2.2. 위성 가상 패킷

위성 자원을 효율적으로 활용하기 위해서는 패킷을 전송할 때 호실정시 할당된 타임 슬롯에 낭비가 없이 전송되어야 한다. 음성 패킷 등 실시간 패킷은 패킷의 길이가 짧으면, 패킷전송에 따른 지연이 적어 유리하나, 패킷의 길이가 너무 짧으면 오버헤드가 크고 타임 슬롯의 낭비가 많다. 또한, 반대로 패킷의 길이가 길면, 타임 슬롯을 채워서 전송할 수 있어 효율적이거나, 지연시간이 길다는 단점이 있다[2,3].

지구국에서는 응용 서비스별로 패킷을 고정 길이 패킷으로 잘라서 가상 위성 패킷을 만들고, 전송할 상대 스팟빔의 빔번호를 지정하여 전송하며, 위성에서 스위칭이 용이하도록 출력포트가 같고, COS가 같은 서비스끼리 묶어 고정 길이 위성 가상 패킷을 만들어 전송한다. 그림 2는 위성 가상 패킷 헤더 구성을 보여 주는 것으로, 위성 가상 패킷의 헤더 정보에는 멀티캐스트인지 유니캐스트 패킷인지를 나타내는 PT(Packet Type) 필드와 출력포트 정보를 비트 단위로 나타내는 RT (Routing Tag) 필드와 막힘 상태에서 패킷 버림 우선순위를 나타내는 CLP(Cell Loss Priority) 필드와 서비스의 클래스를 나타내는 COS 필드 등을 가진다.

PT: Packet Type
 RT: Routing Tag
 CLP: Cell Loss Priority
 COS: Class of Service
 SN: Sequence Number
 SZ: Size
 FEC: Forward Error Correction

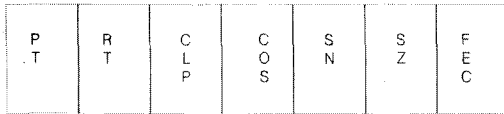


그림 2. 위성 가상 패킷 헤더 구성
 Fig. 2. Satellite Virtual Packet Header

2.3 크로스바 스위치 구조

크로스바 스위치는 버퍼의 위치에 따라 크게 입력 버퍼형 스위치와 출력 버퍼형 스위치로 나눈다. 입력 버퍼형 스위치는 메모리의 고속화가 불필요한 장점이 있으나, HOL(Head of Line)로 인해, 수율이 58.6%를 넘을 수 없다는 단점이 있다[4]. 출력 버퍼형 스위치는 100%의 수율을 낼 수 있다는 장점이 있으나, Hot Spot 현상이 발생하므로, 메모리 속도가 N배로 요구된다는 한계점이 있다(여기서 N은 입력출력포수).

입력 버퍼형 스위치에서의 HOL막힘을 방지하기 위해 입력단에 VOQ(Virtual-Output Queues) [5]를 두는 구조가 제안되었으며, 입력 큐에 VOQ를 사용한다 하더라도 같은 출력포트에 여러 개의 입력포트가 충돌하게 되며, 이러한 충돌을 해결하기 위하여, CICQ (Combined Input-Crosspoint Queuing) Buffered Crossbar 스위치가 제안되었다[6].

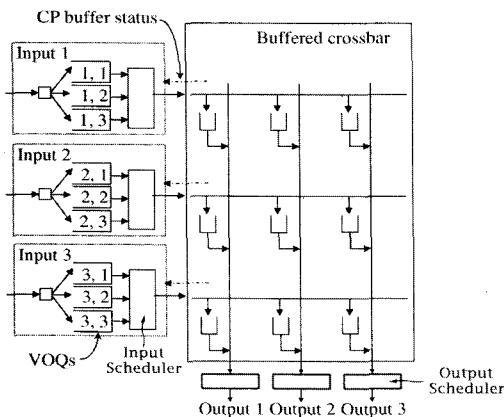


그림 3. CICQ Buffered Crossbar 스위치
 Fig. 3. CICQ Buffered Crossbar Switch

그림 3은 CICQ Buffered 크로스바 스위치의 기본 구조를 나타낸 것으로, 본 논문에서 제안한 스케줄러는 CICQ Buffered Crossbar 스위치를 기반으로 한다. CICQ Buffered Crossbar 스위치는 다수 개의 입력포트가 하나의 출력포트를 두고 경합하지 않고, 단지 해당 크로스포인트 메모리에 쓰기만 하면 되므로, 입력포트와 출력포트에서의 스케줄링은 독립적이면서 비동기적인 분산 스케줄링이 가능하다.

2.4. CICQ 크로스바 스위치 스케줄러

위성 가상 패킷 헤더의 COS에 따라 입력포트에서는 VOQ를 다시 COS에 따라 패킷을 분리하여 각기 다른 큐에 저장한다. 멀티캐스트 패킷은 유니캐스트 패킷과 구분하지 않고, COS에 따라 분리된 큐에 함께 저장한다.

전통적으로 각기 다른 서비스 요구 조건을 갖는 패킷을 지원하기 위해서는 각각의 우선순위에 따라 스케줄링하는 우선순위 스케줄링 방식이 사용되어 왔다[7]. 그러나 우선순위 스케줄링에서는 굼주림 현상이 발생하는 문제점이 있어 이에 대한 개선이 필요하다.

CICQ Buffered Crossbar 스위치의 최대 장점은 간단하고, 분산된 스케줄링이다. CICQ Buffered Crossbar 스위치의 스케줄링은 크게 입력단 스케줄링과 출력단 스케줄링과, 흐름 제로 나눌 수 있다. 입력포트는 입력포트마다 하나의 독립적인 스케줄러를 가지며, 각각 병렬적으로 수행된다. 입력단 스케줄러는 입력포트 VOQ의 HOL에 있는 패킷을 선택하여 입력단과 같은 행의 크로스포인트 버퍼로 패킷을 전송한다. 마찬가지로 모든 출력포트에도 출력포트마다 하나의 독립적인 스케줄러를 가지며, 출력단과 같은 열의 크로스포인트 버퍼에 있는 패킷을 선택하여 출력포트로 출력한다. 크로스포인트 메모리는 소규모이므로, 오버플로를 막기위하여 크로스포인트 버퍼의 상태를 입력단 스케줄러에 알려 주는 흐름 제어가 필요하다.

CICQ Buffered Crossbar 스위치를 모델로 제안된 기존 연구로는 입력단과 출력단에 각각 OCF(Oldest Cell First) 정책에 기반한 스케줄러를 두는 모델[8]과 입력단은 LQF(Longest Queue First) 정책에 기반하고, 출력단은 RR(Round Robin) 정책에 기반한 모델[9]이 제안된 바 있다. 또한, [10]에서는 큐일 트래픽 하에서 입력단과 출력단에 각각 RR 스케줄링 정책에 기반한 스케줄링으로

100% 수율을 얻었다고 보고된 바 있다. 그러나 [8~10]에서 제안된 스케줄링 정책은 모두 우선순위에 기반한 스케줄링 정책이 아니고, Best Effort를 추구하는 스케줄링 정책이므로, 위성 탑재 On-Board 스위치에는 적용할 수 없다는 문제점이 있다.

III. 프리미엄과 Age에 기반한 우선순위 스케줄링 기법

본 연구에서 제안하는 프리미엄과 Age에 기반한 우선순위 스케줄링 기법은 우선순위 개념을 적용하면서도 굼주림을 막기 위하여 우선순위에 따라 고정 값으로 주어지는 프리미엄과 스케줄링을 받지 못하는 패킷에 대하여 스케줄링 사이클마다 1을 증가시키는 Age 개념을 도입하여, 프리미엄과 Age를 합한 값이 가장 높은 패킷을 스케줄링 하는 정책이다. 각각의 패킷은 우선순위에 따라 각기 다른 고정된 값의 프리미엄을 부여 받으며, 패킷이 스케줄링을 받지 못할 때마다, Age 값을 증가시켜감으로써, COS가 낮은 서비스의 경우에도 Age 값이 크면 우선순위가 높아져, 스케줄링을 받을 수 있게 되어 굼주림을 막을 수 있다.

멀티캐스트 패킷과 유니캐스트 패킷의 구분은 패킷 헤더에 패킷타입(PT) 필드로 구분하며, RT 필드로 출력포트를 지정한다. 각각의 출력포트는 각각 하나의 스왑빔에 해당한다. 멀티캐스트의 경우, 크로스포인터 스위치의 특성상 해당 출력포트에 대응되는 크로스포인터 버스 스위치를 On시켜 동시에 각각의 메모리에 쓰기 동작을 하면 되므로, 별도의 복사를 위한 회로는 필요 없다. 유니캐스트의 경우와 마찬가지로, 멀티캐스트의 경우에도 해당 출력포트의 크로스포인터 메모리가 Full이 되면 쓰기 동작을 할 수 없다. 그러나, COS가 서로 다른 패킷은 FOS(Fan Out Set)도 서로 다를 확률이 높으므로, 우선순위가 낮은 다음 COS를 선택하게 한다.

입출력단 스케줄러는 각각의 입출력포트마다 독립적인 스케줄러를 두며, 크로스포인터 메모리의 상태는 흐름 제어를 통하여 입력단에 전달된다. 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽의 차이는 단지 동시에 쓰기 동작을 하는 수의 차이만 있으므로, Unified Scheduling이 가능하다.

본 연구에서 제안한 입출력단 스케줄링 알고리즘은 다음과 같다.

```

입력단 스케줄링
For each Input Port i
{
While(True)
{
Start from Highest COS Queue
Read HOL of Each COS for Every VOQ(i,j)
Read Age and Premium of HOL
Calculate Sum = Age + Premium
Select a Cell which has Largest Sum
Read PT and RT of the Head of the cell
If Multicast then
Send Multiple CP Queue(i,j)
Else
Send Single CP Queue(i,j)
Increase Age of not Selected HOL by 1
}
}
출력단 스케줄링
For each Output Port j
{
While(True)
{
Start from Highest COS Queue
Read HOL of Each COS for CP Queue(i,j)
Read Age and Premium of HOL
Calculate Sum = Age + Premium
Select a Cell which has Largest Sum
Send CP Queue(i,j) to Output(j)
Increase Age of not Selected HOL by 1
}
}
    
```

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문에서 적용한 시뮬레이션 모델은 N 개의 입출력포트와 N 개의 출력포트를 갖고, 각각 VOQ와 크로

스포인트 버퍼에 COS에 따른 분리된 큐를 가진다. 시뮬레이션을 위하여 본 연구에서는 N=4로 하고 프리미엄값을 0, 1, 2, 3으로 하였다. 입력 트래픽은 랜덤 번호 생성기에서 생성되는 균일 분포를 갖는 베르누이 트래픽을 사용하였으며, CSIM19++을 시뮬레이션 환경으로 사용하였다. 하나의 패킷을 입력단 VOQ에서 크로스포인트 버퍼로 단위 패킷을 전송 하는데 소요되는 지연시간을 1 타임 유니트로 설정하고, 크로스포인트 버퍼에서 단위 패킷을 읽어 출력단으로 출력하는 데 1 타임 유니트가 소요되는 것으로, 그리고 매 타임 유니트마다 1 회의 스케줄링이 일어나는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션은 각각 1,000,000 타임 유니트동안 수행되었으며, 초기 과도기 상태의 영향을 배제하기 위하여 처음 50,000 타임 유니트가 경과한 이후부터 관찰하였다. 또한, COS에 따른 각각의 트래픽은 랜덤 번호 생성기로 균일하게 생성하였으므로, 각각의 트래픽 밀도는 동일하다.

그림 4는 우선순위가 제일 높은 트래픽에서 고정 우선순위 기법(그림에서 PR로 표시)과 프리미엄 및 Age기법(그림에서 PM-AG로 표시)으로 스케줄링 했을 때, 트래픽의 변화에 따른 평균 지연 시간의 변화를 나타낸 것으로 지연시간의 변화가 별로 없음을 관찰할 수 있다.

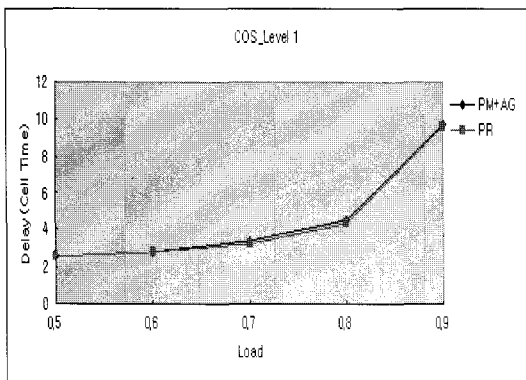


그림 4. COS Level-1 (가장 우선순위가 높은 레벨)에서의 평균 지연시간
Fig. 4. Average Delay for COS Level-1 (Highest Priority Level)

또한, 그림 5는 지연 시간에 대한 표준 편차로, 지연에 대한 표준 편차에 있어서도 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

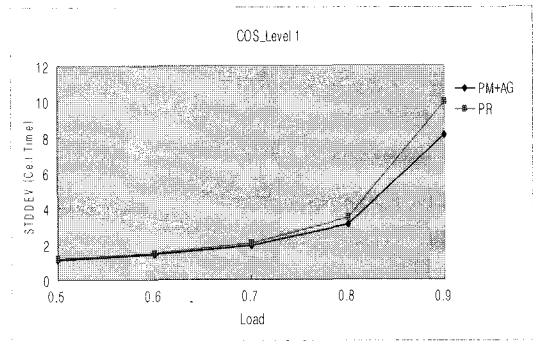


그림 5. COS Level-1 (가장 우선순위가 높은 레벨)에서의 지연시간에 대한 표준편차
Fig. 5. Standard Deviation for COS Level-1 (Highest Priority Level)

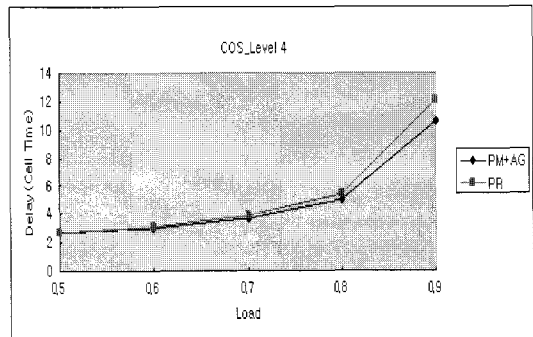


그림 6. COS Level-4 (가장 우선순위가 낮은 레벨)에서의 평균 지연시간
Fig. 6. Average Delay for COS Level-4 (Lowest Priority Level)

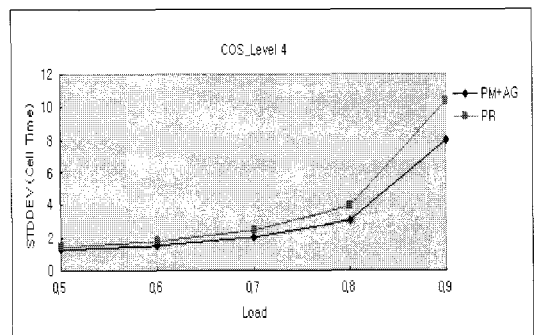


그림 7. COS Level-4 (가장 우선순위가 낮은 레벨)에서의 지연시간에 대한 표준편차
Fig. 7. Standard Deviation for COS Level-4 (Lowest Priority Level)

그림 6은 우선순위가 제일 낮은 트래픽에서 고정 우선순위 기법과 프리미엄 및 Age 기법으로 스케줄링 했을 때, 트래픽의 변화에 따른 평균 지연 시간 변화를 나타낸 것으로, 평균 지연 시간이 많이 개선되었음을 알 수 있다. 또한, 그림 7은 지연 시간에 대한 표준 편차로, 프리미엄과 Aging에 기반한 스케줄링 정책이 고정 우선순위 정책에 비하여 지연 시간에 대한 표준 편차도 많이 개선되었음을 관찰할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 위성 탑재 CICQ 스위치를 위한 프리미엄과 Aging에 기반한 우선순위 스케줄링 기법을 제안하였다. 예측하였던 바와 같이, 우선순위가 높은 트래픽은 우선순위가 낮은 트래픽을 Aging에 의해 우선순위를 높이더라도 별로 큰 영향을 받지 않았는데 비해, 우선순위가 낮은 트래픽에서는 트래픽의 변화에 따른 평균 지연 시간과 지연 시간에 대한 표준편차가 많이 개선되었음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 우선순위가 낮은 트래픽이 스케줄링을 받지 못하고, 굼주림 상태에 빠져 있는 현상이 Aging으로 인해 방지되었기 때문으로 분석된다. 이상 본 논문에서 제안한 프리미엄 기반 우선순위 스케줄링 기법이 기존의 고정 우선순위 스케줄링 기법에 비해 굼주림 현상이 개선되었음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

그러나 수학적 모델링을 통한 본 논문에서 제안한 스케줄링 기법의 효과에 대한 해석적 분석과 아울러, 시뮬레이션 모델의 다양한 구조와 조건의 적용, 그리고 다른 성능 파라메타들에 대한 풍부한 시뮬레이션 데이터를 확보한다면 보다 정확한 결론이 도출될 것이다.

참고문헌

- [1] Y. Jiang, C. Tham, and C. Ko, "A Probabilistic Priority Scheduling Discipline for Multi-Service Networks," *IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing*, 2001.
- [2] Daniel Minoli. "Issues in Packet Voice Communications," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineer* 126(8): 729-740 August 1979.
- [3] Daniel Minoli. "Optimal Packet Length for Packet Voice Communication," *IEEE Transactions on Communications* COM-27(3): 607-611 March 1979.
- [4] M. Karol, M. Hluchyj, and S. Morgan, "Input Versus Output Queuing on a Space-Division Packet Switch," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 35, no. 09, pp. 1347-1356, December 1987.
- [5] McKeown, N., Mekkittikul, A., Anantharam, v., and Walrand, J. "Achieving 100% throughput in an input-queued switch," *IEEE Transactions on Communications*, 47-8 1260-1272. Aug. 1999.
- [6] M. Nabeshima, "Performance Evaluation of Combined Input-and Crosspoint-Queued Switch," *IEICE Transactions On Communications*, vol. B83-B, no. 3, March. 2000.
- [7] K. Nichols, V. Jacobson, and L. Zhang. "A two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet," *In IETF Internet Draft*, April 1999.
- [8] M. Nabeshima, "Performance Evaluation of Combined Input-and Crosspoint-Queued Switch," *IEICE Transactions On Communications*, vol. B83-B, no. 3, March. 2000.
- [9] T. Javadi, R. Magill, and T. Hrabik, "A High-Throughput Algorithm for Buffered Crossbar Switch Fabric," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1581-1591, June 2001.
- [10] R. R. Cessa, E. Oki, and H. J. Chao, "On the Combined Input Crosspoint Buffered Packet Switch with Round-Robin Arbitration," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 53, no. 11, p. 1945-1951, November 2005.

저자소개



공남수 (Nam-Soo Kong)

1980년 경북대전자공학과공학사
1979년 부산대학교 전기공학사
1990년 충북대학교
전자계산기공학과 석사

1999년 충북대학교 전자계산학 박사 수료
1980~1998 한국전자통신연구원 책임연구원
1999~2001 (주)제니텔정보통신 대표이사
2002~2005 국립안동대학교 객원교수
2006~현재 이원섭특허법률사무소 부장

※관심분야: 패킷 스위칭, 위성통신, 시뮬레이션,
지능망



류근호 (Keun Ho Ryu)

1976년 숭실대학교 전산학과
(이학사)
1980년 연세대학교 대학원 전산전공
(공학석사)

1988년 연세대학교 대학원 전산전공 (공학박사)
1976~1986 육군군수 지원사 전산실 (ROTC 장교), 한국전자통신연구원(연구원), 한국방송통신대학교 전산학과(조교수) 근무
1989~1991 Univ. of Arizona, Research Staff (TempIS 연구원, Temporal DB)
1986~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

※관심분야: 시간 데이터베이스, 시공간 데이터베이스, Temporal GIS, 지식기반 정보검색 시스템, 유비쿼터스컴퓨팅 및 스트림데이터처리, 데이터 마이닝, 데이터베이스 보안

이규호 (Kyou-Ho Lee)

한국해양정보통신학회 논문지
제13권 1호 참조
2005~현재 인제대학교 정보통신공학과 부교수