

SHP 알고리즘을 사용한 서비스 품질의 인지도 향상

정희원 정대인*, 최병석**, 지인호***, 이봉영****

Enhancement of Service Perceptibility via Sorted Head-of-line Pushout

Daein Jeong*, Byeongseog Choe**, Innho Jee***, Bongyoung Lee**** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 구현방식을 응용한, 새로운 버퍼 관리 방안을 제안하였다. 버퍼에서 대기중인 패킷들이, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 구현 원리에 따라 재구성된 논리적 정렬에서, 데이터의 폭주 시 head-of-line 패킷들을 순차적으로 폐기하는, SHP(Sorted Head-of-line Pushout) 방식이라는 단순한 형태의 버퍼 관리 방안을 제안하였다. 이를 통하여, 세션간의 양적 공평한 서비스의 제공 뿐만 아니라, 폭주 시 유발되는 데이터 손실률도 공평하게 분산되는 효과를 확인하였다. 더 나아가, 동일한 세션 내의 데이터 손실의 발생 간격이 통계적으로 넓게 분포하므로써, 데이터 손실의 버스트 특성을 완화함을 확인하였다. 이는, 음성과 같이 데이터의 손실에 민감하지 않은 트래픽을 패킷망에서 수용할 때, 데이터 손실의 발생을 분산시킴으로써 음성 품질의 인지도를 향상시키는 목적에 적용될 수 있는 방안으로 적절하다. 허용된 데이터 손실률 내에서 서비스 품질의 인지도 향상을 제공하는 새로운 버퍼 관리 방안인 것이다. 시뮬레이션을 통하여, 제안된 버퍼 관리 방안이 제공하는, 공평한 데이터 손실률과 완화된 손실의 버스트 특성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a buffer management scheme that makes use of the fair queueing paradigm. The proposed, so-called SHP(Sorted Head-of-line Pushout) scheme makes room for new arrived packet which sees no available buffer space by selectively discarding a backlogged packet from the head-of-line of the queue. The head-of-line packet implies the first packet to be served according to the logical service order formed by the fair queueing server. This simple buffer control scheme provides us with a couple of desirable properties: the fair loss distribution among competing sessions, and the lowering the occurrence of the bursty packet loss from each session. A metric, inter-loss distance, is defined to address the feature of the latter one. Given an allowable packet loss ratio, the statistics of the inter-loss distance determine the perceptibility of the service quality. The packetized voice service is a crucial example in applying the notion of perceptibility. With those desirable properties, the SHP scheme is adoptable in voice over IP services towards the enhancement of QoS perceptibility. With lots of simulation results, we validate the asserted properties of the SHP scheme.

I. 서론

통신망의 고속화와 통신 서비스 요구의 급증은, 상호간에 상승효과를 부여해 가면서, 규모와 성능 면에서 나날이 지속되고 있다. 특히 통신 서비스는 그 양적인 증가 뿐 만 아니라, 질적인 다양성을 요

구하는 추세에 있다. 이러한 요구 들에 대한 대응으로서, 단지 망 자원의 단순한 확장을 통한 대응에는 한계가 예상되며, 망의 기능적 개선을 통한 효율적인 수용을 이루기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다^[1]. 이러한 연구의 핵심은, 망 자원 및 트래픽의 적절한 관리를 통하여 차동적 관리구조를 확보함으

* 한국의국어대학교, ** 동국대학교, *** 홍익대학교, **** 한국통신
 논문번호: 00445-1128, 접수일자: 2000년 11월 28일
 * 본 연구는 한국통신의 2000년도 HAN/B-ISDN NTB 위탁연구 과제로 수행되었습니다.

로써, 이에 기반하여 다양한 서비스 품질의 보장을 지원하는 것이다.

본 논문은, 그러한 노력의 한 부분인 공평성 기반 서비스 품질 제어에 관한, 독창적 해석에 기반한 연구 내용을 제시하고자 한다. 공평성 기반 스케줄링 알고리즘은 이미 인터넷에서의 QoS 제공 방안으로서 가장 광범위하게 고려 또는 적용되고 있는, 패킷의 지연 제어를 위한 트래픽 관리 알고리즘이다. 주목할 점은, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘은, 데이터의 손실이 없는 환경, 즉 무한대의 버퍼 용량을 전제하고, 단지 세션(본 논문에서는 임의의 발신자로부터 임의의 수신자로의 일련의 데이터의 흐름을 세션으로 정의한다.) 별로 제공되는 서비스의 양적 공평성을 달성하는 것에 그 목표가 설정되어 있다는 점이다. 이러한 양적 공평성을 이루기 위하여 세션 별로 최소한의 대역폭이 보장되게 되며, 이는 곧 패킷의 지연 성능을 결정짓는 요인이 된다. 특히, 최대 지연 값이 성능 지표로 요구되어 질 때, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘은 그러한 요구의 수용을 위한 적절한 호 제어 방안으로 평가된다.

본 논문이 관심을 갖는 부분은, 위의 일반적인 전제와는 달리, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 데이터의 손실을 피할 수 없는 환경, 즉 유한한 버퍼 용량을 갖는 실질적인 통신시스템에서 구현 되는 경우를 연구하고자 한다. 제한된 버퍼의 용량에 따라 발생하는 데이터 손실 현상이, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 운용과 결부됨으로써 연구될 수 있는 분야는 크게 다음의 두가지로 나눌 수 있다. 첫째는, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 유지코자 하는 공평성 지표 (fairness index)에 데이터의 손실이 미치는 영향에 대한 분석이다. 둘째는 제공된 서비스의 양적인 공평성과 더불어 데이터 손실의 공평성도 동시에 요구되어질 때, 이를 지원하는 버퍼 관리 방안의 모색 이라고 할 수 있다. 본 논문은 두 번째, 즉 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 구현을 전제로, 데이터 손실의 공평성을 제공할 수 있는 새로운 버퍼 관리 방식의 제시에 그 초점을 맞추고자 한다. 여기서 주목할 점은, 데이터 손실의 공평성이 제공될 때 위의 첫 번째 이슈, 즉 공평성 지표에 미치는 영향도 최소화 할 수 있다는 점이다. 손실이 공평하게 이루어질 때, 서비스 양의 공평성도 기대할 수 있는 것이다. 따라서, 본 연구의 내용은 결과적으로 위의 두가지 문제점을 동시에 해결하는 방안이라고 볼 수 있다. 다만, 첫째 이슈인 공평성 지표에 대하여 본 논문에서 제안된 버퍼 관리 방식이

미치는 영향에 대한 해석적 분석은 다음 연구로 미루기로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘에 대하여 간략하게 소개하며, 3장에서는, 본 연구에서 제안하고자 하는 버퍼관리방안, 즉 sorted head-of-line pushout(SHP)을 설명한다. 손실률 뿐만 아니라 서비스 인지도 측면의 특성을 논의한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여, 본 제안의 타당성을 검증하고, 연구에 대한 토의 내용 및 결론은 5장에서 제시한다.

II. 공평성 기반 스케줄링 알고리즘

공평성 기반 스케줄링 알고리즘은, 견고한 QoS 보장을 위한 방안으로서 뿐만 아니라, 인터넷과 같이 모든 트래픽을 best-effort 서비스로 동일하게 취급하는 서비스 구조에서, 서비스의 공평성을 제공하기 위해 활용되어 질 수 있는, 그 구조상 매우 일반적인 특성을 갖는다. 전자를 위해서는, 결정적 형태의 트래픽 모델링과 적절하게 정의된 호접속 제어 메커니즘이 동반되어야 하며, 반면에 후자를 위해서는 관련 트래픽 모델링에 필요한 특성 파라미터들의 정의를 제외하고는 구현의 복잡성이 요구되지 않는다. 이러한 공평성 기반 개념의 일반성에 대한 이론적 해석은 참고문헌[2,3]에 의해서 완결되었다고 볼 수 있으며, 여기서 GPS(Generalized Processor Sharing) 라는 개념으로 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 해석적 틀이 정립되었다.

GPS 서버는, 각 세션에 할당되는 가중치 값들을 파라미터로 하여 정의된다. n 개의 세션을 가정하고, s_i 는 i 번째 세션을 나타내며, 각각의 세션에 할당된 가중치 값을 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ 으로 정의하도록 하자. $W_i(\tau_1, \tau_2)$ 를 s_i 에게 시간구간 $[\tau_1, \tau_2]$ 동안 GPS 서버가 제공한 서비스의 양이라고 하면, 이 시간구간 동안 계속 서비스를 받은 특정 세션 s_i 를 가정하였을 때, 임의의 s_j 에 대하여 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{W_i(\tau_1, \tau_2)}{\phi_i} \geq \frac{W_j(\tau_1, \tau_2)}{\phi_j}$$

만일 s_j 도 동일 시간구간 동안 지속적인 서비스를 받았다면, 위 관계식은 등호로써 정의된다. 이는 곧, GPS 서버는 각각의 세션에게 상대적으로 고유 가중치에 비례한 만큼의 서비스를 제공함을 의미한

다. 즉, 가중치를 파라미터로 하는 공평성 개념의 서버인 것이다. 이러한 개념은, 그 해석적 분석이 용이한 가상적인 fluid-flow 트래픽 모델에서 정의되었다. 이와 같이 가상적 모델링에 기초하여 정의된 GPS 서버의 성능에 가능한 한 근사적으로 접근 하면서, 트래픽이 패킷 단위로 처리되는 현실적인 시스템에서의 GPS 유사 서버 구현을 위한 많은 연구가 이루어 졌으며, 현재도 매우 흥미있는 연구분야로서 관심을 끌고 있다^{4,5,6}. 본 논문에서는, 시뮬레이션 수행의 편의를 위하여, GPS 유사 서버 구현방안 중 구현의 복잡성이 가장 적은 Self-Clocked Fair Queuing(SCFQ)⁶ 방식을 적용하기로 한다. SCFQ 알고리즘은 다음과 같이 간략하게 설명되어질 수 있다. 먼저, 다음과 같이 필요 변수를 정의한다. P_i^k 는 s_i 의 k 번째 패킷, L_i^k 는 P_i^k 의 길이, t_i^k 는 P_i^k 의 도착시간, F_i^k 는 P_i^k 에게 부여되는 태그 값으로 정의하자. 이들 변수를 활용하여 SCFQ는 다음과 같이 동작한다.

- 시스템 초기시 모든 i 에 대하여, $F_i^0=0$ 로 초기화한다.
- P_i^k 가 시스템에 도착하면 다음과 같이 F_i^k 를 계산한다.

$$F_i^k = \frac{L_i^k}{\phi_i} + \max\{F_i^{k-1}, \alpha(t_i^k)\}$$

- 여기서, $\alpha(t)$ 는 시간 t 시점에서 서비스 받고 있는 패킷의 태그 값을 나타낸다.
- SCFQ 서버는 F 값이 작은 패킷의 순서로 선택하여 전송한다.

버퍼에 저장된 P_i^k 는 버퍼 내에서 태그 값의 오름차순에 따른 논리적 재정렬에 의해 서비스 순서가 정해진다. 이로부터, GPS 서버와는 달리 SCFQ 서버는 패킷 모드 기반으로 동작됨을 알 수 있다. 이와 같은, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 실질적인 시스템에 구현될 때, 버퍼 용량의 제한성으로 인하여, 폭주 발생 시 데이터의 손실 현상을 피할 수 없으며, 이는 공평성의 척도인 공평성 지표에 영향을 미치게 된다. 따라서, 이러한 공평성 지표에 최소한의 영향을 미칠 수 있는 성격의 버퍼 관리 방식이 수반되어야 할 것이다. 데이터의 손실과 결부되어, 태깅 방식이 변경될 수도 있고, 이러한 변경은 적용된 버퍼 관리 방안과 밀접한 관계를 갖는다. 본 논문에서는, 분석적 복잡성을 내포하고

있는 이러한 관계들 간에 매우 단순한 형태의 버퍼 관리 방식을 적용 하므로써, 실질적으로 구현 가능한 공평성 기반 트래픽 관리 기능을 제안하고자 한다. 이러한 버퍼 관리 방식을 그 성격상 Sorted Head-of-line Pushout (SHP)로 부르기로 하며, 자세한 내용은 III장에서 제시한다.

III. Sorted Head-of-line Pushout (SHP)

도착된 모든 패킷은, SCFQ에 의해 고유의 태그 값을 지정받게 되고, 서버가 휴지상태가 아닌 경우 이 태그 값의 크기에 따라 sorting된 형태로 버퍼에 저장된다. 세션별 버퍼 할당 구조에서는 해당 세션의 큐 끝단에 저장되며, 전체 버퍼가 공유되는 구조에서는 저장된 모든 데이터를 대상으로 sorting되어 적정한 자리에 저장된다. 버퍼의 운용 방식에 상관없이 서버는 대기중인 패킷 중 가장 작은 태그 값을 가진 패킷을 선택하여 전송한다. 이러한 서버 운용의 환경에서, 폭주 발생 시 버퍼에 빈 공간이 없는 상태에서 데이터가 도착하게 될 때 가동될 SHP의 동작은 다음과 같이 정의된다.

정의 : Sorted Head-of-line Pushout

버퍼에 여유 공간이 없는 상태에서 도착한 패킷은, 고유의 태그 값을 할당받은 후, 도착 시점 이후 최초로 서비스될 패킷, 즉 head-of-line 패킷의 버퍼 영역에 대체되며, 태그 값에 따른 sorting 결과에 의해 논리적으로 정렬, 저장된다.

그림1 에서 SHP 방식의 동작 개념을 도시하였다. 비교를 위하여 블로킹 방식, 즉 버퍼에 여유 공간이 없을 때 도착한 패킷은 즉시 폐기하는 방식을 함께 도시하였다. SHP 방식에 따르면, 시스템에서의 데이터 처리는, 서비스 또는 폐기에 관계없이 공평성 기반 스케줄링 알고리즘에서의 데이터 처리 순서를 따른다는 점이 특징이다.

1. 손실의 공평성 제공

위에서 정의한 SHP 방식이 공평한 손실률을 얻고자 하는 버퍼 관리 방안으로서 적용될 수 있는 이론적 근거는 다음과 같다. 공평성 기반 스케줄링 알고리즘에서의 공평성의 개념은 가상적인 fluid-flow 모델에서 다음과 같이 정의되었다. 즉, 어떠한 길이의 시간 구간을 고려하더라도, 활성화된 세션

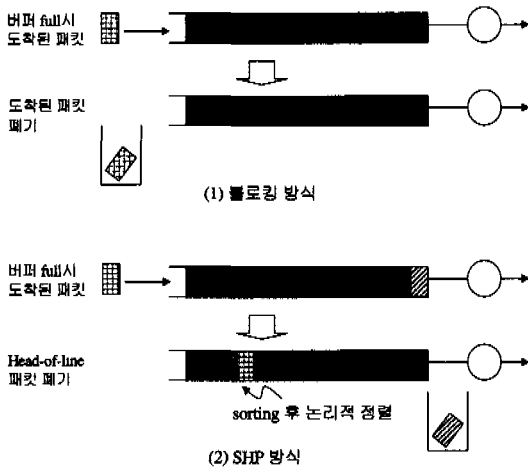


그림 1. 버퍼관리 방식별 데이터 손실 예.
(1) 블로킹방식, (2) SHP방식

간에 제공된 서비스의 양은 가중치에 비례한다는, 엄격한 의미의 공평성에 기반을 둔다. 그러나, 이는 가상적인 fluid-flow 모델에서만 가능한 것이지, 패킷 모드로 서비스가 이루어지는 현실적인 시스템에서는 구현될 수 없는 정의이다. 하나의 패킷이 전송되는 시간구간을 고려했을 때, 이 구간 동안에는 명백히 오직 하나의 세션만이 서비스를 받을 뿐이지, 다른 세션들은 자신의 가중치에 무관하게 서비스를 제공받지 못하는 것이다. 이러한, 이론적 공평성과의 차이점으로 인해 공평성 지표라는 기준이 정의되었으며, 패킷 모드 기반의 다양한 공평성 기반 스케줄링 알고리즘의 공평성 평가 기준으로 활용되고 있는 것이다. 이와 같이, 이론과의 차이를 최소화하고자 하는 노력이 서비스의 제공 측면에서 지속되어 오듯이, 동일한 논의가 우리가 제시한 버퍼 관리 방안에도 다음과 같이 적용될 수 있다. 예를 들어, 버퍼에 여유 공간이 없는 상태에서 많은 양의 데이터가 시스템에 도착된 경우를 가정하자. SHP에 의하면, 도착된 데이터와 동일한 양 만큼의 데이터가 논리적 큐의 head-of-line 으로 부터 순차적으로 폐기될 것이다. 폐기된 데이터는 정상상태라면 동일한 순서로 서비스를 받았을 것이며, 공평성의 개념에 의해 그 양은 근사적으로라도 가중치에 비례하는 만큼씩 각각의 세션으로부터 생성된 데이터로 구성되어 있다. 이 양이 서비스 되면 공평성을 갖춘 서비스 제공이며, 반면에 폐기되면 공평성을 갖는 데이터의 손실이 되는 것이다. 참고문헌[7]에서, SHP 방식에 의하면, 이러한 버스트 손실의 경우, 세션간 손실되는 데이터 양의 차이가 제한성을 가

짐을 증명하였다. 즉, 임의의 폭주 발생시 버퍼에 대기중인 세션 s_i 로부터 손실되는 패킷 개수를 N_i 라 하면, 총 손실되는 패킷 개수에 관련된 변수 M 에 대하여, 다음과 같은 관계식을 만족함을 유도하였다.

$$\max\left\{0, \left\lfloor \sum \frac{\phi_i}{\phi_j} M \right\rfloor - 1\right\} \leq N_i \leq \left\lfloor \sum \frac{\phi_i}{\phi_j} M \right\rfloor + 1$$

이는, 동일한 폭주의 요인으로 인하여 데이터의 손실을 감수해야 하는 세션간에 손실되는 패킷의 개수는 근사적으로 각 세션의 가중치에 비례하며, 패킷 모드이기 때문에 발생하는 오차는 폐기되는 총 패킷 개수의 크기에 무관하게 2개의 패킷으로 제한됨을 보인 것이다. 이와 같이, 총 폐기되는 패킷 개수에 무관하게 오차를 제한하는 특성은 손실의 공평성 측면에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 비교를 위하여 단순한 블로킹 방식의 버퍼 관리 방식을 생각해 보자. 버퍼에 여유 공간이 없을 때 도착하는 데이터는 폐기되는 방식이다. 이러한 방식에서 각 세션이 갖는 데이터 손실은, 폭주시 데이터의 발생 패턴에 관계되며, 다분히 버스트 특성을 갖는 각각의 세션은, 아무런 파라미터에 의해 제한되어질 수 없는 데이터의 손실을 감수하게 된다. 데이터 손실의 제한은 고도의 복잡성을 수반하는 버퍼 관리 방안에 의해서만 성립될 수 있다. 반면에 본 연구에서 제안하는 방안은, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 전제되었을 때, 아무런 복잡성의 추가 없이 공평한 데이터 손실이 지원된다는 장점을 갖는다.

위의, 손실에 대한 공평성 분석은 하나의 버스트 손실에 대한 것으로서, 임의의 세션의 존재 시간 전반에 걸쳐 확대 적용하기 위해서는 또다른 논의가 필요하다고 본다. 그러나, 이러한 확대 적용을 가능케 하는 요소로서 다음과 같은, 폭주에 관련된 특성을 열거할 수 있다. 첫째, 망의 폭주에 의한 데이터의 손실은 일반적으로 버스트하게, 즉 많은 양이 동시에 발생하는 패턴을 보인다는 점이며, 둘째, SHP는 head-of-line 으로 부터 데이터를 폐기한다는 점에서, 연속적인 버스트 손실을 이루는 데이터의 내용 간에 상호 독립성을 가정할 수 있다는 점이다. 전자에 의해, 각각의 손실 버스트에 대해 보다 많은 세션으로의 손실 분포를 기대할 수 있고, 서로 독립적 구성 분포를 갖는 손실 버스트의 연속적 발생에 의해 이러한 공평적 손실 분포가 누적된다는 사실을 후자는 뒷받침한다. 위 관측의 정당성은 4장에서

의 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있다.

2. 손실의 분산성 제공

SHP 방식이 갖고 있는, 동일 세션 내 데이터 손실 발생의 분산성을 향상시키는 특성은 다음과 같은 논의에 근거를 두고 있다. 공평성 기반 스케줄링 알고리즘에서는, 그 특성상 버퍼에 저장된 데이터의 논리적 정렬이 각각의 태그 값의 작은 순서대로 관리되고 있어, 그 서비스 순서가 결정 지워진다. 연결된 모든 세션이 서버 용량과 버퍼 용량을 이와 같은 방식으로 공유하면서, 동일 세션의 패킷간에는 그 순서가 도착순서대로 유지되고, 상이한 세션들로부터의 패킷은 논리적 연결에 의해 혼합되어 있는 구조를 갖는다. 이를 앞의 버스트 손실의 예에 적용시키면, 일정한 양의 버스트 손실 내부에는 여러 세션들로부터의 패킷들이 그 도착순서 뿐만 아니라 태그 값에 의한 sorting 결과에 따라 뒤섞여 있게 된다. 즉, 동일 세션으로부터의 이웃한 패킷들 사이에는 다른 세션으로부터의 패킷들이 인위적인 재정렬에 의해 다수 위치하고 있게 되므로, 동일 세션으로부터의 이웃한 패킷들이 하나의 버스트 손실에 포함될 확률을 낮추는 효과가 있는 것이다. 실제 동일 세션 내의 이웃한 패킷간의 간격은 해당 세션의 가중치에 관련된 것으로서, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘은 공유 버퍼 내에서 더욱 더 인위적으로 패킷들을 혼재시키는 결과를 가져온다. 이러한 특성을 토대로 우리가 기대할 수 있는 것은, SHP 방식에 의하면 임의의 세션으로부터의 데이터 손실 패턴이 국부적인 집중성을 크게 면할 수 있으리라는 점이다. 앞의 블로킹 방식의 예에서는, 임의의 세션으로부터의 버스트 데이터의 생성은 폭주 시 곧 버스트 손실로 이어지며, 이는 집중적인 손실의 발생으로 인한 서비스 품질의 저하를 초래하게 된다. 이러한 논의는 음성서비스의 경우에 명확해진다. 음성 서비스는 손실에 민감하지 않은 서비스로서, 손실이 어느 정도 허용된다. 그러나, 그 허용된 손실이 발생하는 패턴에 따라 동일한 손실률에 대해서도 서비스의 인지도는 크게 다를 수 있다. 즉, 음성데이터의 손실이 국부적으로 집중되어 발생하는 것 보다는 분산되어 발생하는 것이 서비스 품질의 인지도 향상에 바람직한 방안이다. 위의 버스트 손실에 대한 논의에 따르면, SHP 방식이 이러한 서비스에 적합하게 적용될 수 있는 버퍼 관리 방안임을 알 수 있다. 주목할 점은, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 구현되어 있을 때, SHP 방식은 별도의 복잡

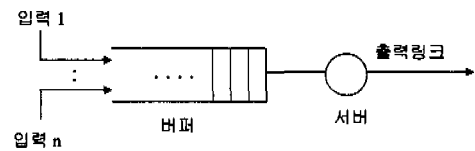
성의 추가 없이 구현될 수 있다는 것이다.

이상을 정리해보면, 본 논문에서 제안하는 SHP 방식은 첫째, 공평한 데이터의 손실을 지원하고 둘째, 허용된 데이터 손실률 범위 내에서 데이터 손실의 발생을 분산시킴으로써, 서비스 품질의 인지도를 향상시키는 특성을 갖고 있음을 논하였다. 이러한 논의가 정당함을 보이기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과에 대해 4장에서 기술하였다.

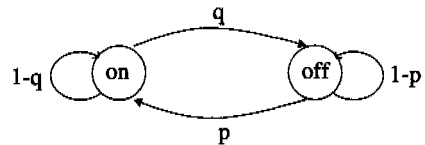
IV. 시뮬레이션 결과 및 논의

1. 시스템 모델링

공평성 기반 스케줄링 알고리즘이 구현된 시스템을 가정한다. 출력버퍼 구조의 패킷 스위치에서 하나의 출력 포트는 그림2 와 같이 버퍼를 갖춘 큐잉 시스템으로 모델링 할 수 있다. 서버는 SCFQ 서버이며, 우선 입력 트래픽의 모델링이 필요하다. 본 시뮬레이션에서는 각각의 세션 트래픽을 two-state Markov chain, 즉 on-off 트래픽 모델로 정의하였다. 이러한 모델링은 일반적으로 음성 데이터가 갖는 속성을 잘 표현해주는 모델링 방식이다^[8]. On-off 트래픽 모델은 두가지 상태변이 파라미터, p와 q로 정의된다. p는 off 상태에서 on 상태로, q는 on 상태에서 off 상태로의 변이 확률을 각각 나타낸다. 각각의 상태에서의 체류기간은 메모리 특성이 없는 geometric 확률 분포를 가진다고 할 때, on-off 트래픽의 평균 부하 γ 와 평균 버스트 길이 σ 는 다음과 같이 주어진다.



(1) 스위치 출력포트



(2) 입력 트래픽 모델: on-off 모델

그림 2. 시스템

$$\gamma = \frac{p}{p + q(1 - p)}, \quad \sigma = \frac{1}{q}$$

시뮬레이션은 크게 두가지 이슈, 즉 세션간 데이터 손실률의 공평성 확인과, 동일 세션내의 데이터 손실 발생 패턴의 분산성 확인으로 나누어 수행하였다. 비교를 위하여, 잘 알려진 버퍼 관리 방안으로서 블로킹 방식과, 가장 긴 큐로부터의 pushout 방식^[9] 등도 병행하여 시뮬레이션 하였다. 가장 긴 큐로부터의 pushout 방식이란, 버퍼에 여유공간이 없을 때 도착한 패킷은, 도착 당시 버퍼에 가장 많은 패킷을 저장하고 있는 세션의 패킷을 강제적으로 폐기시키고 생긴 여유공간에 저장되는 방식을 말한다. 도표에서는 편의상 블로킹 방식을 BL, 가장 긴 큐로부터의 pushout 방식을 LP, 그리고 SHP 방식을 SHP로 명기하고자 한다. 본 논문에서의 모든 시뮬레이션에서는 ATM 방식에서와 같이 모든 패킷의 길이가 일정한 것으로 가정하였으며, 그 각각을 셀로 명기하였다. 이는 시뮬레이션의 결과가 ATM 기반의 망에 직접 적용되어질 수 있음을 의미하며, 패킷 길이를 변수에서 제외함으로써 SHP 방식의 특성을 보다 명확히 확인하고자 하였다.

2. 데이터 손실의 공평성 시뮬레이션

공평성 기반 스케줄링방식 아래 SHP 버퍼관리 방식이 제공하는, 세션간의 손실의 공평성을 확인하기 위한 시뮬레이션이다. 버퍼의 크기를 192개의 셀을 저장할 수 있는 용량으로 가정하였으며, 16개의 입력을 설정하였다. 출력링크의 용량을 1로 두었을 때, 0.01의 부하를 갖는 입력 14개와 부하가 매우 큰 2개의 입력을 설정하였다. 시스템에의 총 부하를 변수로 시뮬레이션 하기 위해, 위의 2개 입력의 부하를 변경 가능토록 하였으며, 시스템 전체 부하 값이 0.6 에서부터 1.0 에 이르도록 하였다. 그림3 은, 이와 같은 시스템 전체부하의 변경범위 내에서 임의의 2개의 저부하 입력 간에 보이는 데이터 손실률을 비교, 도시하고 있다. 두 개의 저부하 입력은 평균 버스트 길이를 각각 5와 50을 갖도록 하였다. 이는 시스템 부하의 변경에 따라, 공통적으로 저부하 특성을 갖지만 버스트 특성은 매우 다른 두 개의 입력간에 나타나는 데이터 손실의 공평성 정도를 확인하고자 한 것이다. 평균 버스트 길이 5를 갖는 입력을 I_1 , 평균 버스트 길이가 50인 입력을 I_2 로 나타내고, 각각의 데이터 손실률을 $P_{loss,1}$, $P_{loss,2}$ 로 표시하기로 한다. 그림3 의 수평축은 시스템 전체 부하를 나타내며, 수직축은 $\left| \log \left(\frac{P_{loss,2}}{P_{loss,1}} \right) \right|$ 값을 도시한다. 두 개의 입력이 동일한 데이터 손실

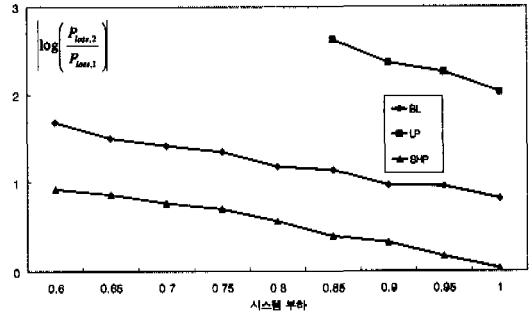


그림 3. 시스템 부하의 변화에 따른 데이터 손실의 공평성: 버스트 특성이 다른 두 입력

률을 가질 때, 이 값은 0 이며, 그 외의 경우에 이 값은 데이터 손실률의 차이를 log 값으로 보여준다. LP의 경우, 부하 0.80 이하에서 해당 값이 없는 이유는 I_1 의 데이터 손실이 발생하지 않았기 때문이다. 그림3 에서 볼 수 있듯이 SHP 방식이 가장 우수한 데이터 손실의 공평성 제공 특성을 가짐을 알 수 있다. 특히, 시스템 부하가 증가될수록 데이터 손실의 공평성은 더욱 개선되고 있음을 볼 수 있다. 이는, 폭주시의 데이터 손실의 특성에 대해 3장 1절에서 기술한 2가지 측면을 고려했을 때, SHP 방식이 데이터 손실의 공평성 제공을 위해 유용한 방식이라는 논의에 대해 그 정당함을 입증하는 결과로 해석할 수 있다. 즉, 시스템 부하가 증가할수록 데이터 손실은 더욱 더 버스트한 특성을 가지며, 적당한 버퍼 용량이 제공되면 각각의 손실 버스트 내용은 서로 독립적일 수 있다는 점이 확인되었던 것이다. BL의 경우, 버퍼에 여유 공간이 없을 때 도착되는 데이터는 폐기되며, 이는 곧 데이터의 도착 패턴이 해당 세션의 손실률에 큰 영향을 미침을 설명한다. 즉, 버스트 특성이 강한 트래픽은, 버퍼에 여유 공간이 없을 때 도 여전히 버스트한 도착 패턴을 유지함으로써, 버스트 특성이 작은 세션에 비해 많은 양의 데이터 손실을 겪게 되는 경향이 큰 것이다. 이에 따라 그림3 에서 보듯이, BL 방식이 갖는 데이터 손실률의 공평성은 SHP 방식의 그것에 비해 크게 저하될 수 밖에 없다. 그림3 에서 한가지 더 주목할 점은, LP는 그 목적이 공평성 기반 스케줄링 알고리즘과 유사한 특성, 즉 망 자원을 고르게 공유시키고자 하는 목적으로 디자인 된 버퍼 관리 방식이라는 점에 비추어, 데이터 손실의 공평성 측면에서는 매우 낙후된 결과를 보여주고 있다는 점이다. 이는, LP 라는 버퍼 관리 방식 자체가 트래픽의 버스트 특성과 매우 밀접한 관련을 가지며, 따

라서 데이터의 손실률도 트래픽의 버스트 특성에 의존할 수밖에 없기 때문이다. 급격한 버스트 특성은 해당 세션의 큐 길이를 급격하게 증가시키며, 이에 따라 상대적으로 손실을 많이 겪게 될 확률이 증가하는 것이다.

그림4에서는, I_1 과 버스트 특성은 같지만(평균 버스트 길이가 5) 부하가 매우 큰 값(0.35)을 갖는 또다른 입력(I_3 로 표기)을 설정하고, 시스템 부하를 변수로 하여 수직축에 $\left| \log\left(\frac{P_{loss,2}}{P_{loss,1}}\right) \right|$ 값을 도시하였다. 두 입력의 부하는 크게 다르지만, 버스트 특성이 통계적으로 차이가 없을 경우 두 입력의 데이터 손실률은 매우 공평함을 알 수 있고, 특히 SHP 방식에서 가장 좋은 특성을 가짐을 확인하였다. LP의 경우에도 그림3에 비해 매우 개선된 결과를 보여주고 있다. 이로부터, 데이터 손실률은 트래픽의 버스트 특성에 매우 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수 있으며, SHP 방식은 그러한 의존성을 감소시키는데 많은 효과가 있음을 확인하였다.

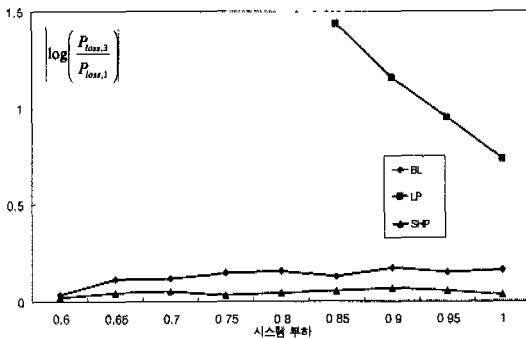


그림 4. 시스템 부하의 변화에 따른 데이터 손실의 공평성: 부하 특성이 다른 두 입력

버퍼의 용량이 데이터 손실의 공평성에 미치는 영향은 그림5의 시뮬레이션 결과에 도시하였다. 시스템의 부하는 0.98로 유지하였고, 버퍼의 용량은 64셀로부터 512셀까지로 변화하였다. 그림5의 수직축은 $\left| \log\left(\frac{P_{loss,2}}{P_{loss,1}}\right) \right|$ 값을 나타낸다. 그림5에서 보듯이, 버퍼의 크기가 증가될수록 SHP방식의 경우에만 데이터 손실의 공평성 제공 특성이 더욱 개선됨을 확인할 수 있다. 반면에 BL과 LP는 그 반대의 특성을 보여주고 있다. 이는 다음과 같이 설명되어질 수 있다. 버퍼의 용량이 클수록 폭주시 버퍼에 저장되는 데이터의 양이 많아지며, 태그 값에 의해 논리적으로 재정렬되는 과정에서 데이터의 양이 많

을수록 보다 많은 세션으로부터의 데이터의 섞임 정도가 증가될 개연성을 갖는다. 따라서, 임의의 길이의 버스트 손실 내용 속에는 각 세션으로부터의 데이터의 양이 보다 공평한 분배에 가까울 수 있는 것이다. BL 방식의 경우에는, 버퍼의 용량이 증가될수록 폭주현상은 보다 버스트한 트래픽의 영향으로 발생하는 비중이 많아지며, 이는 곧 BL의 매커니즘에 의해 버스트한 트래픽의 손실 증가로 이어짐을 확인할 수 있다. LP의 경우, 버퍼 용량의 증가는 버스트한 트래픽의 큐 길이를 증가시키게 되고, 이에 따라 버스트한 트래픽의 상대적 손실이 더욱 증가될 수 밖에 없음이 그림5를 통해 확인되어질 수 있다.

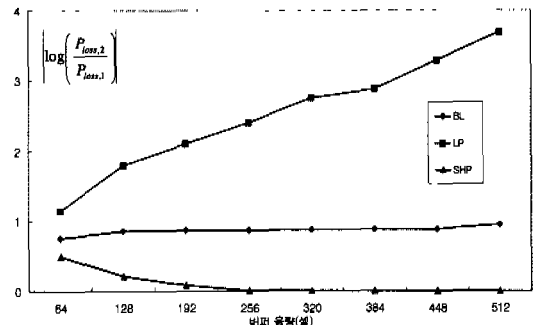


그림 5. 버퍼 용량의 변화에 따른 데이터 손실의 공평성: 버스트 특성이 다른 두 입력

3. 데이터 손실 패턴의 분산성

SHP 방식은 동일 세션내에서, 데이터 손실의 발생 패턴을 분산시킴으로써, 서비스 품질의 인지도 향상을 제공한다는 점을 3장 2절에서 논의하였다. 그러한 논의의 검증에 위한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 입력은 16개를 설정하였으며, 각각의 트래픽 특성은 4장 2절에서의 설정과 유사하게 두었다. 즉 I_1 은 부하가 0.01, 평균 버스트 길이가 5, I_2 는 부하가 0.01, 평균 버스트 길이가 50, I_3 는 부하가 0.42, 평균 버스트 길이가 5인 특성을 갖는다. I_4 는 평균 버스트 길이를 50으로 가지며 부하는 시뮬레이션 환경에 따라 가변적이다. 나머지 12개의 입력은 모두 그 특성이 I_1 과 같도록 설정하였다.

I_1 의 데이터 손실의 발생 패턴을 그림6에 도시하였다. 가로축은 손실된 셀 간의 간격을 나타낸다. 즉 임의의 셀이 손실되었을 때 동일한 세션내의 바로 전의 손실된 셀과의 사이에, 손실되지 않은 상태로 전송된 동일 세션 내의 셀 개수를 나타낸다. 이

를 ‘손실간격’으로 부르기로 한다. 모든 손실된 셀은 임의의 손실간격 값을 갖는다. 그림6의 세로축은 각 손실간격의 발생 확률 값을 나타낸다. 서비스 품질의 인지도에 영향을 미치는 경우는 작은 손실간격 값을 고려하여 손실간격은 0부터 19까지만 도시하였다. 손실간격이 20 이상이 되는 경우의 총 발생 확률은, 그림6에서 손실간격 20의 확률 값으로 나타내었다. 손실간격이 클수록 서비스 품질에 대한 인지도가 향상될 수 있으므로, 그림6으로부터 SHP 방식이 가장 바람직한 버퍼관리방식임을 확인할 수 있다. 특히 손실간격 값이 0인 경우, 즉 연속적인 손실의 경우는 상대적으로 매우 작은 발생분포를 보여주고 있는 점은, SHP 방식을 통한 서비스품질의 인지도 향상을 기대하게 하는 중요한 특성이다.

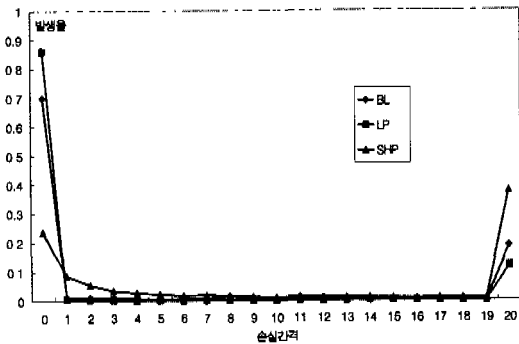


그림 6. 손실간격의 발생분포도

그림7에서는 버퍼용량의 변화에 따른 데이터 손실 발생 분포의 변화를 보여주고 있다. 지속적인 데이터 손실 환경의 설정을 위하여 시스템 전체부하를 1.0으로 유지하고 버퍼의 크기를 변화시키면서, I_1 과 I_2 세션의 손실간격 값이 0(연속적인 손실)인 경우의 발생 확률값을 그림7에 도시하였다. 그림6에서 SHP 방식의 우수성이 확인되었으므로, 그림7에서는 SHP 방식에 대해서만 그 결과를 도시하였다. 앞 절에서 논의하였듯이, SHP 방식에서의 버퍼용량의 증대는 곧, 보다 많은 세션에 대해 공평한 손실 분배를 갖도록 하는 효과를 가져온다. 따라서, 그림7에서 볼 수 있듯이, 버퍼용량이 증가함에 따라 연속적 데이터 손실의 발생 분포가 감소하게 되는 것이다. 또한, 버스트 특성이 강한 I_2 의 집중적 손실 발생 패턴이 I_1 에 비해 보다 급격히 개선되고 있는 점은, 버퍼 용량이 증가될수록 데이터 손실의 분산성과 트래픽의 버스트 특성이 갖는 연관성이 점차 감소함을 보여준다.

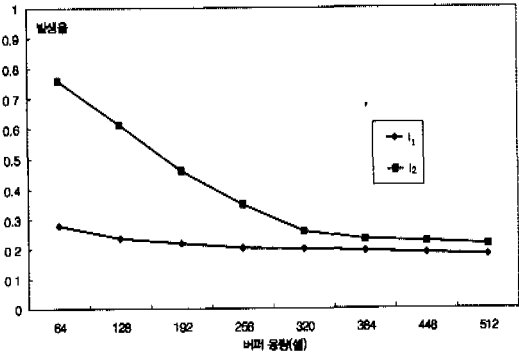


그림 7. 버퍼 용량의 변화에 따른 연속적 데이터 손실 발생 비율

그림8에서는 시스템 전체 부하의 변화에 따르는 데이터 손실 발생 분포의 변화를 보여주고 있다. 시스템 부하를 0.6부터 1.0까지 변화시키면서, 입력 I_1 의 손실 셀중 손실간격이 0인 경우의 발생 확률의 변화 추이를 SHP, BL, 그리고 LP 각 경우에 대해 도시하였다. 또한, 그림9에서는 비교를 위하여, I_1 과 부하는 같지만 평균 버스트 길이가 50인 I_2 의 손실 셀중 손실간격이 0인 경우의 발생 확률의 변화추이도 각 방식에 대해 비교 도시하였다. 이 두 그림에서 보듯이, SHP 방식의 경우 손실간격 0의 발생 비율이 가장 양호하게 나타났으며, 주목할 점은 세가지 방식 중 유일하게 시스템 부하가 증가할수록 손실간격 0의 발생비율이 감소한다는 점이다. 특히 버스트 특성이 강한 트래픽의 경우 손실의 집중성은 보다 급격히 감소함을 볼 수 있다. 이는, I_2 는 I_1 에 비해 보다 빈번한 버스트 손실의 발생 잠재성을 갖고 있는 반면, 부하의 증가와 더불어 버퍼내의 셀의 뒤섞임 정도가 커짐으로써 이에 따른 영향을 보다 많이 받음을 확인할 수 있다.

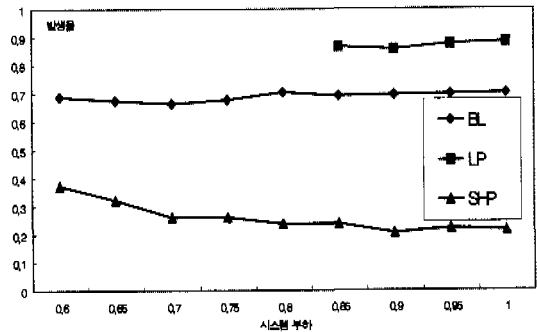


그림 8. 시스템 부하의 변화에 따른 연속적 데이터 손실 발생 비율(I1)

위의 일련의 시뮬레이션을 통해 SHP 방식의 특성을 확인한 반면, LP 방식이 갖는 근본적 문제점을 재차 확인할 수 있었다. 즉, LP 방식은 앞 절에서 확인된 데이터 손실의 공평성 측면에서의 문제점과 더불어, 데이터 손실에 따른 서비스품질의 인지도 측면에서도 바람직하지 않은 특성을 내포하고 있는 것이다. 이는 트래픽의 버스트 특성에 매우 밀접히 관련된 성격의 손실 성능을 낳을 수 밖에 없는, LP 방식의 기본 개념에 기인한다고 이해 된다. 급격한 버스트 특성은 해당 세션의 큐 길이를 급격하게 증가시키며, 이에 따라 상대적으로 손실을 많이 겪게 될 확률이 클 수 밖에 없고, 큐 길이가 평준화 되기까지는 데이터의 손실이 연속적으로 발생하게 된다. 이는, LP 방식의 기본 목적인 버퍼 자원의 단순한 균등 분배는 서비스 품질 측면에서는 부정적일 수도 있다는 한 예이다. 이러한 결과로부터, 트래픽의 버스트 특성을 효과적으로 수용하지 못하는 버퍼 관리 방식은, 서비스 품질의 인지도 관점에서는 바람직하지 못함을 확인할 수 있었다.

V. 결론 및 토의

본 논문에서는, 데이터 손실이 발생하는 실질적 환경에서의 공평성 기반 스케줄링 알고리즘에 대한 논의와, 이러한 환경에서, 제공된 서비스의 양적인 공평성 뿐만 아니라 데이터 손실의 공평성까지도 지원할 수 있는 새로운 버퍼 관리 방안, 즉 sorted head-of-line pushout(SHP) 방안을 제안하였다. 공평성 기반 스케줄링 알고리즘과 결부되어 운용되는 SHP의 성능 분석은 시뮬레이션 결과를 통하여 입증하였다. 첫째, 다른 버퍼 관리방식과의 비교를 통하여, SHP 방식이 갖는 데이터 손실의 공평성 제공 특성을 확인하였다. 둘째, 동일 세션 내의 데이터 손실 발생의 버스트한 특성이 감소됨을 확인할 수 있었다. 즉, 동일한 세션 내에서 데이터 손실 발생의 간격이 증가됨으로써, 손실 발생 패턴의 고른 분포를 갖게 하며, 이는 서비스 품질의 인지도 측면에서 매우 바람직한 손실 패턴이라고 볼 수 있다. 음성데이터와 같이 실시간성을 요구하면서, 데이터의 손실에 민감하지 않은 응용에 대해서는 데이터 손실을 분산시킴으로써, 허용된 데이터 손실률 내에서 음성서비스품질의 인지도도를 향상시킬 수 있는, SHP와 같은 버퍼 관리 방안의 구현이 바람직하다.

좀더 관심의 폭을 넓히면, 인터넷에서의 음성서비스의 수용이 점차 증가하면서 강조되고 있는 QoS

의 제공을 위하여, SHP 방식은 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다. FEC(Forwarding Equivalence Class) 단위의 트래픽 관리가 운용되어지는 MPLS(Multi Protocol Label Switching) 망에서, 하나의 FEC에 멀티플렉스된 여러 세션간에 동일한 수준의 서비스 품질을 제공하기 위해서는 공평성 기반의 스케줄링 알고리즘과 더불어 SHP 방식의 적용을 기대할 수 있는 것이다. 세션 단위의 QoS 관리가 확장성의 문제로 인해 구현이 어려워지면서, 세션 레벨의 QoS 지표는 요구가 어려워지고 있다. 트래픽 클래스 혹은 FEC 단위의 QoS 지표만이 구현 가능한 상황에서, 공평성 기반 스케줄링 알고리즘과 더불어 SHP 방식을 적용함으로써, 트래픽 클래스 혹은 FEC 내의 세션간에 세션 레벨의 공평한 QoS 지표까지도 구현한 결과를 가져올 수 있는 것이다.

VI. 참고 문헌

- [1] P. Ferguson and G. Huston, "Quality of Service : Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks," John Wiley & Sons, 1998.
- [2] A. K. Parekh and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Single Node Case," ACM/IEEE Trans. Networking, vol. 1, no.3, pp. 344-357, June 1993.
- [3] A. K. Parekh and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Multiple Node Case," ACM/IEEE Trans. Networking, vol. 2, no. 2, pp. 137-150, Apr. 1994.
- [4] J. Bennet and H. Zhang, "WF²Q: Worst-case fair weighted fair queueing," in Proc. IEEE INFOCOM'96, pp. 120-128, April 1996.
- [5] S. J. Golestani, "A self-clocked fair queuing scheme for broadband applications," in Proc. IEEE INFOCOM'94, Toronto, Canada, June 1994.
- [6] D. Stiliadis and A. Varma, "Latency-rate servers: A general model for analysis of traffic scheduling algorithms," in Proc. IEEE INFOCOM'96, pp. 111-119, April 1996.

[7] H. J. Chao, H. Cheng, Y. Jenq and D. Jeong, "Design of a Generalized Priority Queue Manager for ATM Switches," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 5, pp. 867-880, June 1997.

[8] R. C. F. Turcker, "Accurate method for analysis of a packet speech multiplexer with limited delay," IEEE Trans. Communications, COM-36, pp. 479-483, 1988.

[9] A. K. Choudhury and E. L. Hahne, "Space Priority Management in a Shared Memory ATM Switch," in Proc. IEEE GLOBECOM'93, Houston, Texas, Dec. 1993.

이 봉 영(Bong Young Lee)

1985년 2월 : 고려대학교 물리학과 졸업
 1989년 3월 : 일본 오사카대학교 전기공학분야 물리계 석사
 1992년 3월 : 일본 오사카대학교 전기공학분야 물리계 박사
 1992년 9월~현재 : 한국통신 통신망연구소 선임연구원(실장)
 <주관심 분야> 광통신 기술(TDM, WDM, Coherent 광통신 등), 네트워크 엔지니어링(IP/WDM, VoIP, Voice and Telephony over ATM)

정 대 인(Daein Jeong)

정회원

1984년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업
 1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 석사
 1987년 5월~1999년 8월 : 한국통신 선임연구원
 1998년 1월 : Polytechnic Univ. 박사(E.E)
 2000년 9월~현재 : 한국외국어대학교 정보산업공과대학 조교수
 <주관심 분야> IP와 ATM 에서의 QoS, 차세대인터넷, 초고속 라우터, 멀티미디어통신

최 별 석(Byeong Seog Choe)

1985년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1987년 9월 : Fairleigh Dickinson Univ. 석사
 1994년 1월 : Polytechnic Univ. 박사(E.E)
 1994년 3월~1997년 2월 : 명지대학교 공과대학 조교수
 1997년 3월~현재 : 동국대학교 정보산업대학 부교수
 <주관심 분야> 초고속 위성망, 위성 ATM 교환기, 광대역 접속방식, 초고속 라우터

지 인 호(Innho Jee)

정회원

1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
 1983년 8월 : 서울대학교 전자공학과 석사
 1982년 8월~1988년 6월 : 국방과학연구소 연구원
 1995년 6월 : Polytechnic Univ. 박사(E.E)
 1995년 8월~현재 : 홍익대학교 과학기술대학 조교수
 <주관심 분야> 통신 및 신호처리, 멀티미디어통신 및 네트워크