

스트림 모드 CLS에서 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘

정희원 차 현 철*, 강 상 길**, 한 기 준***

A Priority Control Algorithm Using Hop Count for Streamming Mode CLS

Hyun-Chul Cha*, Sang-Gil Kang**, Ki-Jun Han*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 공중 광역 ATM망 환경에서 비연결형 서비스 제공에 사용되는 스트림 모드 CLS에 적용될 수 있는 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 임의의 CLS에서 폭주 현상 발생 시 패킷이 지금 까지 누적시켜온 홉 카운터를 우선 순위로 이용하여 많은 홉을 거친 패킷을 과부하로부터 보호하도록 하였다. 본 논문에서 제시한 우선 순위 알고리즘이 적용되었을 경우와 우선 순위를 적용하지 않았을 경우의 패킷 손실률을 분석하였으며 시뮬레이션 결과 제안한 우선 순위 제어 알고리즘은 망 자원 낭비의 최소화 와 중단간 경로상의 홉 수에 따라 발생하는 패킷 손실률의 불공정성 해소 등의 장점을 가짐을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a priority control algorithm using hop count, called HC-PC(Priority Control Algorithm using Hop-Count) for streaming mode CLS, in wide area ATM networks. In our HC-PC algorithm, hop count of packet is increased by one as traverse CLS hop and is used as loss priority when a CLS buffer is congested. That guards packets with higher priority form congestion. The average packet loss probabilities are evaluated via mathematical analysis for HC-PC algorithm case and no priority control case. The simulation results indicate that our algorithm may offer better performance in terms of loss fairness for path length and yield high utilization of network resource.

I. 서 론

최근 초고속 데이터 유통에 대한 사회적 욕구가 폭발적으로 증가하고 있는 상황에서 ATM 기술이 한계에 와 있는 컴퓨터 통신망의 트래픽 처리 능력 문제를 해결할 수 있는 최선의 방안으로 기대되고 있다. 또한, ATM의 예상 발전 단계 측면에서 볼 때 초기 ATM의 트래픽 수요는 당분간 LAN/MAN들의 연동

* 동양대학교 컴퓨터공학부

** 경북대학교 통계학과

*** 경북대학교 컴퓨터공학과

論文番號 : 98133-0324

接受日字 : 1998年 3月 24日

을 포함하는 고속 데이터 통신이 주 대상이 될 것으로 보인다. 현재 ATM 망에서 비연결형 서비스를 제공하기 위한 표준화가 여러 단체에서 진행되고 있으며 ATM Forum에서는 LAN 에뮬레이션과 MPOA(MultiProtocol Over ATM) 그룹이 결성되어 AALS에 LAN 에뮬레이션을, IETF에서는 IP over ATM을 고려하고 있다. 즉, ATM Forum 및 IETF는 브릿지나 라우터와 같은 연결 장비를 사용하여 LAN 환경에서 ATM 비연결형 서비스를 제공하는데 초점을 맞추고 있다[1-3].

한편, 공중 광역망 환경에서 비연결형 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서는 몇 가지 사항들이 고려되어야 한다. 공중 광역망 환경은 긴 종단간 지연을 가지며 일반적으로 근원지(source)에서 목적지(destination)까지 사이에 많은 수의 홉(hop)을 거쳐야 한다. 또한, 망의 사용 비용 또한 중요한 요소가 되는 특성을 지닌다. 그러므로 광역망 상의 비연결형 서비스는 과도한 연결 설립 오버헤드와 패킷 라우팅 지연을 피하는 동시에 망 자원도 적절히 유지될 수 있어야 한다. ITU-T에서는 비연결형 LAN과 MAN들을 공중 광역망을 통해 연동 시키는 수단으로 비연결형 서비스의 직접 제공 방식(direct provision)을 제안하고 있다. 직접 제공 방식에서는 비연결형 서버(Connectionless Server:CLS)와 IWU(Interworking Unit)를 사용하여 비연결형 서비스 기능(Connectionless Service Function:CLSF)이 구현된다. 이 방법은 연결형인 ATM 망 상에 오버레이 가상 비연결형 망(overlay virtual connectionless network)을 구성하는 CLS의 개발에 기초하고 있으며 CLS는 패킷이 목적지에 도달할 때까지 또 다른 CLS로 패킷을 라우팅 하는 패킷 라우터처럼 동작한다[4, 5]. 그러나, 비연결형 트래픽들은 예측할 수 없는 변화 특성을 가지며 CLS를 사용하는 직접제공 방식에서는 비연결형 트래픽들이 CLS들 사이의 연결 상으로 집중되므로 서버 간에 망 혼잡이 증가하게 된다. 그러므로 CLS들 사이에 망 자원을 적절히 사용하고 폭주(congestion)를 방지하며 다양한 서비스 품질을 보장하기 위한 트래픽 제어 메커니즘들이 필요하게 된다. 그러나 현실적으로는 어떠한 방법을 사용하더라도 폭주 현상을 근본적으로 제거할 수는 없다. 그러므로 CLS는 불가피하게 폭주가 발생할 경우 적절히 폭주 상황에 대처하여 폭주 상황이 해소될 때까지 망 자원의 낭비를 최소화 할 수 있어야 한다. 이를 위해 폭주 상황 발생 시 통상 각 셀

혹은 패킷에 우선 순위를 두며 적용되는 우선 순위에 따라 셀 혹은 패킷을 폐기하는 우선 순위 정책을 적용하게 된다. 본 논문에서는 공중 광역망 환경에서 CLS에 적용될 수 있는 우선순위 제어 알고리즘을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 CLS의 성능에 영향을 미치는 요소들을 공중 광역망 환경을 위주로 고찰한 후 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘을 제시하고 패킷 손실률을 분석하였다. 3장에서는 제시한 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 결과를 분석하였으며 마지막으로 4장에서 결론을 다루었다.

II. 홉 카운터를 이용한 우선순위 제어 알고리즘

2.1 공중 광역망에서의 비연결형 서비스 제공

ITU-T에서는 비연결형 서비스의 제공을 위해 직접 제공 방식을 채택하고 있는데 이는 연결형인 ATM 망 상에 가상 패킷 교환망을 구성하는 CLS의 오버레이 망을 구성한다. CLS에서 패킷들은 분해 된 후 셀 스트림으로 다음 CLS 홉으로 전달되어야 하므로 패킷을 전진시키는 방법에는 셀 단위로 전진시키는 스트림(streaming) 모드와 패킷 단위로 전진시키는 리어셈블리(reassembly) 모드의 두 가지 방법이 있을 수 있으며 두 방식의 특성에 따라 CLS는 많은 성능의 차이를 보인다[4][6].

리어셈블리 모드는, 각 CLS에서 입력 셀들을 패킷으로 재조립한다. 재조립된 패킷에 대해 다음 CLS로 가는 출력 연결을 결정한 후 패킷을 셀로 재분해 한 후 적당한 연결과 패킷 식별자를 이용하여 다음 홉으로 전달한다. 스트림 모드는, 패킷들을 CLS에서 재조립하는 대신 패킷의 연속되는 셀들을 CLS에서 수신하는 즉시 한번에 하나씩 다음 홉으로 전진시킨다. 리어셈블리 모드는 각 CLS 홉에서 전송하기 전에 패킷을 재조립해야 하므로 긴 종단간 패킷 지연을 가진다. 이런 지연을 각 서버 홉마다 겪게되므로 홉수가 늘어날 수록 비례하여 긴 지연이 발생한다. 스트림 모드 또한 지연은 홉수에 의존적이며 셀들을 인터리브 하여야 하므로 방해 트래픽에 의해 패킷들의 셀들이 지연될 수 있다. 그러므로 한 패킷의 처음과 마지막 셀간의 출발 시간의 간격이 증가된다 이 효과는

중단간 지연을 증가시킬 뿐 아니라 목적지 IWU에서 큰 재조립 버퍼를 요구하게 된다. 그러므로 망 상태에 따라 중단간 지연은 리어셈블리 모드가 낮을 수도 있고 혹은 그 반대일 수도 있다.

전진모드와 더불어, CLS의 출력 포트에서 사용되는 인터리빙 방안도 CLS의 성능에 영향을 미친다. 인터리빙 방안이란 둘 혹은 그 이상의 패킷들로부터의 셀들을 단일 연결 상에 다중화 시키는 방법을 말한다. 패킷 인터리빙 방법은 한 패킷의 모든 셀들이 다른 패킷의 셀들이 보내지기 전에 연속적으로 보내지는 방법을 말한다. 셀 인터리빙에서는 서로 다른 패킷들로부터의 셀들이 섞여서 보내진다. 패킷 인터리빙은 AAL5를 사용할 수 있으나 셀 인터리빙은 AAL3/4의 10비트 MID 필드가 사용되어야 한다. 셀 인터리빙은 망의 버스트성을 감소시킬 수 있는 장점을 가지며 패킷 인터리빙은 버퍼 범람의 결과로 연속적인 셀 분실이 발생할 때 작은 영향을 받게되는 장점이 있다. 스트림 모드 CLS는 셀들을 패킷으로 재조립하지 않으므로 셀 인터리빙 방안만 사용할 수 있으며 리어셈블리 모드 CLS는 두 가지 인터리빙 방안 중 한가지를 선택하여 사용할 수 있다. 결론적으로, 스트림 모드 CLS는 트래픽의 흐름을 유지하기 위해 고속의 병렬 디지털 회로로 구성되어야 하는 반면, 리어셈블리 모드 CLS에서는 패킷들이 한번에 하나씩 처리되기 때문에 다중화 식별자가 없는 AAL 5를 사용할 수 있다. AAL 5가 사용 가능하므로 ATM LAN을 연동하는 데에는 리어셈블리 모드가 더 적합하다. 아울러 리어셈블리 모드는 스트림 모드 CLS에서 문제가 되는 시간 제약이 완화되며, 패킷 수준의 제어를 할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만, 리어셈블리 모드는 각 CLS 홉에서 전송을 하기 전에 패킷으로 재조립해야 하므로 상대적으로 큰 버퍼를 요구하며 긴 중단간 패킷 지연을 가진다[6, 7].

리어셈블리 모드 CLS에 적용할 수 있는 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘이 [8]와 [9]에서 제안되었다. 그러므로, 본 논문에서는 스트림 모드 CLS에 적용할 수 있는 홉 카운터를 사용한 우선 순위 제어 알고리즘을 제안하고 패킷 손실률을 분석한다.

2.2 HC-PC 알고리즘

LAN 환경과는 달리 공중 WAN 환경에서 비연결

형 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서는 몇 가지 사항들이 고려되어야 한다. 첫째, 공중 WAN 환경에서는 일반적으로 중단간 지연이 상당히 커지게 되므로 광역망 상의 비연결형 서비스는 과도한 연결 설립 오버헤드와 패킷 라우팅 지연을 피할 수 있는 방법이 고려되어야 한다. 둘째, 공중 WAN 환경에서는 근원지에서 목적지까지 경로 상에 많은 수의 홉을 거치는 패킷과 작은 수의 홉을 거치는 패킷이 공존하게 되며 이때 패킷들의 손실률 사이에 불공정성(unfairness)이 발생하게 된다. 그러므로 긴 경로를 갖는 패킷과 짧은 경로를 갖는 패킷이 비슷한 데이터 손실률을 유지할 수 있어야만 한다. 세 번째, 공중망에서는 망자원의 효율적 사용과 자원 사용에 따른 비용이 중요한 요소가 되므로 망 자원이 적절히 유지될 수 있어야 하며 효율적으로 사용되어야 한다[4][8].

본 논문에서는 경로상의 중단간 홉 수에 따른 패킷 손실률의 불공정성을 해소하고 망 자원의 손실을 방지하기 위해 패킷이 거치는 홉 수가 많아질수록 우선 순위를 높여 많은 홉을 거친 패킷을 과부하 상태로부터 보호하는 방법을 제안한다. 제한한 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘을 HC-PC(Priority Control algorithm using Hop Count) 알고리즘이라 부르기로 한다. HC-PC 알고리즘의 기본 개념을 달성하기 위해 패킷들은 근원지에서 출발하여 목적지에 도달할 때까지 각 CLS를 통과할 때마다 홉 수를 1씩 높여 간다. 그러므로 홉 수가 i 이라면, 이것은 패킷이 이미 i 개의 CLS를 거쳐왔다는 의미가 되며 i 가 클수록 높은 우선 순위를 가진다. 만약 우선 순위 i 를 가진 패킷에 속한 임의의 한 셀이 도착하였을 때 버퍼에 여유 공간이 있다면 셀은 버퍼에 들어갈 수 있다. 반면 CLS가 폭주 상태에 있어 버퍼 범람이 발생했다면, HC-PC 알고리즘은 버퍼에서 재조립 혹은 전송을 위해 대기 중인 패킷들의 우선 순위를 검사하여 이들 중 가장 낮은 우선 순위를 가진 패킷을 찾는다. 즉, 현재까지 가장 작은 망 자원을 사용한 패킷을 찾게 된다. 현재 버퍼에 존재하는 패킷들의 우선 순위 중 가장 낮은 우선 순위가 j 라고 할 때, i 와 j 를 비교하여 i 가 j 보다 작거나 같다면 도착 셀이 폐기된다. 이때, 비연결형 서비스에서 한 개 이상의 셀 폐기는 패킷 전체를 쓸모 없게 만들게 되므로 도착 셀이 폐기될 때에는, 도착 셀이 소속된 패킷의 나머지 셀들도 버퍼에 존재한다면 같이 폐기하게 된다.

한편, i 가 j 보다 크다면 우선 순위 j 를 갖는 패킷을 희생자로 선택하여 버퍼에서 밀어내고(pushout) 도착 셀은 버퍼에 들어가게 된다. 아울러 도착 셀이 폐기되는 경우와 버퍼에서 희생자를 선택하여 밀어내기를 하는 경우 모두에 있어서, 같은 패킷에 속하지만 아직까지 CLS 버퍼에 도착하지 않은 셀들은 도착 즉시 폐기하게 된다. 그림 1에 HC-PC 알고리즘을 순서도로 표시하였다.

본 논문에서 제안한 홉 카운터를 이용한 우선 순위 알고리즘은 다음과 같은 장점들을 가진다. 첫째, 이미 많은 홉을 거쳐왔으므로 이미 많은 망 자원을 사용한 패킷에 우선 순위를 줌으로 재전송에 따른 망 자원의 낭비를 최소화 할 수 있다. 두 번째, 우선 순위 정책을 사용하지 않는 경우 각 패킷이 지나는 홉 수에 비례하여 패킷 손실률이 높아지는 불공정성이 발생할 수 있으나 지나는 홉 수에 비례하여 우선 순위가 높아지므로 이러한 불공정성이 해소된다.

한편, HC-PC 알고리즘은 장점과 아울러 다음과 같은 단점들을 생각해 볼 수 있다. 먼저, 각 CLS는 패킷들이 해당 CLS로 전송되어 와서 다음 CLS 홉으로 전송을 마칠 때까지 각 패킷의 우선 순위를 유지하고 있어야 하므로 별도의 기억 장소를 요구한다. 아울러, 버퍼 범람이 발생했을 경우에는 최저 우선 순위의 패킷을 찾기 위해 우선 순위들을 검색해야 하므로 처리 시간의 지연을 생각해 볼 수 있다. 그러나, LAN/MAN에서 발생하는 비연결형 데이터 트래픽들은 일반적으로 데이터의 손실에는 민감하나 지연에는 상대적으로 덜 민감한 특성을 가지고 있으며 아울러, ATM과 같은 고속망에서는 노드에서의 처리 지연보다는 전파 지연이 차지하는 비중이 훨씬 크므로 HC-PC를 수행하는 데 따르는 처리 지연은 성능에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 고려된다.

2.3 패킷 손실률 분석

스트림 모드 CLS에 대해 우선 순위가 적용되지 않는 경우와 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘이 적용된 경우의 패킷 손실률을 분석한다. 분석을 위해 기본적으로 다음과 같은 가정을 사용한다. CLS에서 셀 손실은 공통적으로 버퍼의 범람 시 발생한다고 가정하고 ATM 스위치 및 링크 상에서의 셀 손실은 고려하지 않는다. 한편, 우선 순위가 없을 경우 패킷 손실률을 구하기 위해 사용된 기호와 가정은

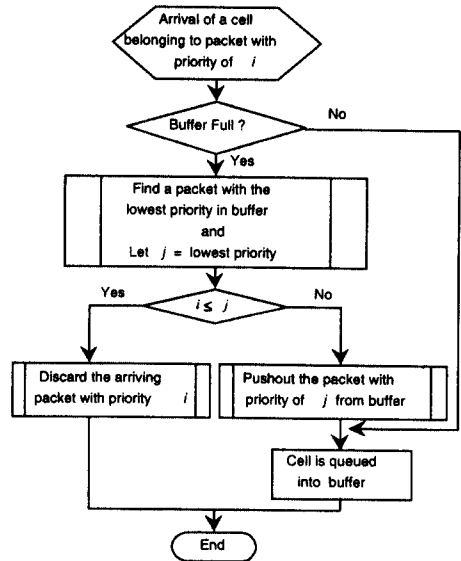


그림 1. 홉 수를 이용한 우선 순위 제어 알고리즘의 순서도
Fig. 1 Flow chart of priority control algorithm using hop count.

아래와 같다.

- 1) N : 패킷 길이를 나타내며 평균 L 셀 크기의 기하(geometric) 분포를 따른다고 가정한다.
- 2) M : 종단간 홉 수
- 3) P_0 : 우선 순위가 없을 경우 평균 셀 손실률로 모든 스트림 모드 CLS에서 동일 하다고 가정한다.
- 4) E_k : 임의의 k 번째 셀이 i 개의 스트림 모드 CLS 홉을 거칠 때, 셀 손실이 발생 하지 않는 사상
- 5) P_{NOY} : 가변길이 N 을 갖는 한 개의 패킷이 우선 순위가 없는 i 개의 스트림 모드 CLS 홉을 거쳤을 때 손실되지 않을 확률
- 6) P_{NO} : 임의의 한 패킷이 우선 순위가 없는 M 개의 스트림 모드 CLS 홉으로 구성된 종단간을 거쳤을 때의 패킷 손실률

먼저, E_k 가 임의의 k 번째 셀이 i 개의 스트림 모드 CLS 홉을 거칠 때, 셀 손실이 발생하지 않는 사상이라 하였으므로 $P(E_k)$ 는 식 (1)처럼 구해질 수 있다.

$$P(E_k) = (1 - P_0)^i \quad \text{단, } i \text{는 흡의 개수} \quad (1)$$

P_{NOY} 는 식 (2a)를 통해 구해질 수 있으며 식 (2a)에서 E_j 와 N 은 상호 독립이라 가정하고, E_a 와 E_b 는 상호 독립(단, $a \neq b$)이라 가정하면 $P(E_k)$ 가 식 (1)과 같으므로 식 (2a)는 식 (2b)로 유도할 수 있다.

$$P_{NOY} = \sum_{n=1}^{\infty} P(E_1, \dots, E_n | N=n) P(N=n) \quad (2a)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} (1 - P_0)^{i \cdot n} (1 - \frac{1}{L})^{n-1} \frac{1}{L} \quad (2b)$$

$$\approx \sum_{n=1}^{\infty} (1 - i \cdot n \cdot P_0) (1 - \frac{1}{L})^{n-1} \frac{1}{L} \quad (2c)$$

$$= 1 - i \cdot P_0 \cdot L \quad (2d)$$

식 (2b)에서 $(1 - P_0)^{i \cdot n}$ 항은 이항 정리에 의해 식 (3a)로 표현될 수 있다. 식 (3b)에서 P_0 가 충분히 작다면, 세 번째 항 $\sum_{j=2}^h \binom{h}{j} (-P_0)^j$ 은 무시할 수 있을 정도로 작게되므로, 식(2b)의 $(1 - P_0)^{i \cdot n}$ 항은 식 (3c)처럼 $(1 - i \cdot n \cdot P_0)$ 로 근사하게 된다[10]. 그러므로, 식 (2b)는 식 (2c)로 근사될 수 있으며 P_{NOY} 는 최종적으로 식 (2d)로 유도할 수 있다.

$$(1 - P_0)^h = \sum_{j=0}^h \binom{h}{j} (-P_0)^j \quad (3a)$$

$$= \binom{h}{0} (-P_0)^0 + \binom{h}{1} (-P_0)^1 + \sum_{j=2}^h \binom{h}{j} (-P_0)^j \quad (3b)$$

$$\approx (1 - h \cdot P_0) \quad \text{단, } h = i \cdot n \quad (3c)$$

식 (2d)는 가변길이 N 을 갖는 한 개의 패킷이 i 개의 스트림 모드 CLS 흡을 거쳤을 때 손실되지 않을 확률이므로 P_{NOX} 는 식 (4)로 구할 수 있다.

$$P_{NOX} = 1 - P_{NOY} = M \cdot P_0 \cdot L \quad (4)$$

스트림 모드 CLS의 종단간 패킷 손실률인 식 (4)의 결과로부터 평균 패킷 손실률에 영향을 미치는 요소로서 평균 셀 손실률 외에 종단간 흡 수(M)와 평균 패킷 길이(L)가 있으며 다음과 같은 사실들을 알 수 있다. 첫째, 패킷이 많은 흡을 거칠수록 작은 흡을

지나는 패킷에 비해 선형적으로 증가하는 높은 패킷 손실률을 가지게 된다. 두 번째, 일반적인 비연결형 서비스에서는 하나의 셀 분실 혹은 에러는 패킷 전체의 재전송을 초래하게 된다. 만약 임의의 패킷이 목적지에 도달하기 전에 폐기된다면 이것은 대역폭, 버퍼, 라우팅 테이블, VPI/VCI 등의 많은 망 자원들이 분실되는 시점까지 이미 사용되었음을 의미한다. 특히, 많은 CLS 노드로 구성되는 공중 광역망 환경에서는 패킷들이 많은 CLS 흡을 거쳐야 하며 많은 흡을 거칠수록 패킷 손실률이 높아지므로, 이미 많은 흡을 거친 패킷의 분실은 분실에 따른 망 자원의 낭비는 물론 및 재전송 과정의 망 자원의 낭비가 동반되게 되며 결국은 심각한 성능 저하를 초래할 것이다.

다음은 HC-PC 알고리즘이 적용될 때의 평균 패킷 손실률을 구한다. HC-PC 알고리즘이 적용되었을 때의 스트림 모드 CLS에서의 평균 패킷 손실률을 구하기 위해 필요한 가정은, 우선 순위가 없을 때의 가정들에서 평균 셀 손실률을 제외한 나머지를 그대로 동일하게 적용한다. HC-PC 알고리즘을 적용할 경우 패킷 손실률을 구하기 위해 사용한 기호는 아래와 같다.

- 1) N, M 및 E_k :앞에서와 동일
- 2) P_i :우선 순위 i (단, $i=1, 2, \dots, M$)를 갖는 패킷에 속하는 셀이 손실될 확률이며 $P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_M$ 의 관계가 성립한다.
- 3) P_{HCY} :가변길이 N 을 갖는 한 개의 패킷이 HC-PC가 적용되는 i 개의 CLS 흡을 거쳤을 때 손실되지 않을 확률
- 4) P_{HCX} :우선 순위를 가진 임의의 한 패킷이 HC-PC가 적용되는 M 개의 스트림 모드 CLS 흡으로 구성된 종단간을 거쳤을 때의 패킷 손실률

먼저, 스트림 모드 CLS에서 가변길이 N 을 갖는 한 개의 패킷이 HC-PC가 적용되는 i 개의 CLS 흡을 거쳤을 때 손실되지 않을 확률, P_{HCY} 는 식 (5a)를 통해 구해질 수 있다. 마찬가지로, P_i 가 충분히 작다면 식 (5a)는 식 (5b)로 근사되므로 P_{HCY} 는 식 (5c)처럼 구해진다.

$$P_{HCY} = \sum_{n=1}^{\infty} P(E_1, \dots, E_n | N=n)P(N=n) \quad (5a)$$

$$\approx \sum_{n=1}^{\infty} (1-nP_1) \dots (1-nP_i)(1-\frac{1}{L})^{n-1} \cdot \frac{1}{L} \quad (5b)$$

$$= 1 - (P_1 + \dots + P_i)m_1 + (P_1P_2 + \dots + P_{i-1}P_i)m_2 \dots + (-1)^i (P_1 \dots P_i)m_i \quad (5c)$$

여기서, $m_i = E\langle n^i \rangle =$ 기하 확률 변수의 i 차 모멘트

P_{HCY} 가 식 (5c)처럼 구해질 수 있으므로 우선 순위를 가진 임의의 한 패킷이 M 개의 스트림 모드 CLS 홉으로 구성된 종단간을 거쳤을 때의 패킷 손실률인 P_{HCX} 는 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$P_{HCX} = 1 - P_{HCY} \quad (6)$$

III. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서 제안한 홉 카운터를 이용한 우선 순위 제어(HC-PC) 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 SMPL[11]을 사용한 이산 사건(discrete event) 시뮬레이션을 수행하였다. 사용된 시뮬레이션 모델은 그림 2와 같이 $N \times N$ CLS로 구성된다.

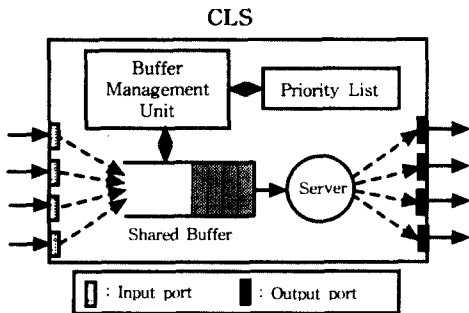


그림 2. 시뮬레이션 모델
Fig. 2 Simulation model.

시뮬레이션 모델의 입력 포트에는 패킷 인터리빙된(packet interleaving: PI) 셀들이 입력되고 서버는 리어셈블리 혹은 스트림 모드로 동작한다. CLS의 출력 포

트에서는 두 가지 전진 모드에 따라 약간의 차이를 가진다. 리어셈블리 모드 CLS의 출력 포트에서는 패킷 인터리빙과 셀 인터리빙(cell interleaving: CI)이 모두 사용 가능하나 리어셈블리 모드 CLS에서 일반적으로 사용되는 PI의 셀 스트림을 생성해 낸다고 가정하였다. 반면, 스트림 모드 CLS에서는 셀 인터리빙만이 가능하므로 CI의 출력을 만들어 낸다고 가정하였다. 버퍼 관리 요소(Buffer Management Unit)는 버퍼에 입력되는 패킷들의 우선 순위를 별도의 우선 순위 리스트(Priority List)에 관리하는 책임을 지며 우선 순위 리스트는 버퍼 범람 시 최저 우선 순위를 찾기 위해 검색된다.

각 입력 포트의 연결에 대해 트래픽 도착 프로세서는 IPP(Interrupted Poisson Process)로 모델링 하였다. 패킷의 크기는 평균 L 개 셀의 기하 분포를 가진다고 가정하였으며 CLS의 각 연결에서 한 패킷의 마지막 셀의 도착과 다음 패킷의 처음 셀의 도착 사이 시간은 평균 $1/\lambda_F$ 셀 슬롯의 기하 분포를 따른다고 가정한다. 유사하게 셀 도착 사이 시간은 평균 $1/\lambda_C$ 셀 슬롯의 기하 분포를 따른다고 가정한다. CLS에는 B셀 크기의 공유 버퍼가 있으며 입력 패킷의 목적지는 N 개의 출력 포트에 균등하게 분포된다고 가정한다. 또, 우선 순위는 1에서 R 사이에 균등하게 분포된다고 가정한다. 각 출력 포트는 간단한 개방-루프 방식의 고정 전송을 제어(constant rate control) 방안[12]을 사용하여 조절되어 셀 전송 간격 시간은 최소 $1/\mu$ 셀 슬롯으로 제한된다. 표 1에 시뮬레이션 파라메타와 그 값들을 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 파라메타
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value	Description
l	155.52Mbps	Link rate
N	4	Number of input/output ports at CLS
$1/\mu$	4 cell slots	Minimum cell interdeparture time at output ports
$1/\lambda_C$	4 cell slots	Average cell interarrival time
$1/\lambda_F$	variable	Average interpacket time
B	250/500/750 cells	Buffer size at CLS
L	15 cells	Mean packet size
R	1 to 5	Packet priority

3.2 시뮬레이션 결과

그림 3~5는 본 논문에서 적용한 HC-PC 우선 순위 알고리즘의 특성을 알아보기 위해 임의의 한 스트림 모드 CLS에서 트래픽 부하(ρ)가 0.9인 경우, 버퍼 크기를 변경하며 HC-PC 알고리즘을 적용하였을 때와 우선 순위 정책이 사용되지 않았을 때(No Priority Control: NO-PC)의 각 우선 순위별 셀 손실률, 패킷 손실률, 패킷 지연을 표시하였다.

그림 3에서 세로축은 CLS에서 발생하는 총 손실 셀 수를 총 도착 셀 수로 나눈 셀 손실률을 로그 단위로 표시하고 있다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 두 정책 모두 버퍼 크기가 커질수록 셀 손실률은 줄어듦을 알 수 있다. NO-PC는 버퍼가 범람되는 경우 우선 순위에 관계없이 도착 셀이 폐기되므로 각 우선 순위에 대해 거의 동일한 셀 손실률을 가진다. 반면, HC-PC 정책을 적용한 경우에는 패킷의 우선 순위가 높아질수록 셀 손실률은 급격히 낮아짐을 볼 수 있다. 특히 HC-PC 버퍼 크기 500셀의 우선 순위 4 이상과 버퍼 크기 750셀의 우선 순위 3 이상에서는 셀 손실이 전혀 발생되지 않음을 볼 수 있다.

비연결형 서비스에서는 패킷에 속한 한 개 이상의 셀 손실은 곧 전체 패킷의 손실을 의미하게 되며 손실된 패킷 전체를 재전송하여야 한다. 그러므로 CLS에서는 셀 손실률과 아울러 패킷 손실률도 성능 측정의 기준이 될 수 있다. 그림 4에서는 총 손실 패킷 수를 총 도착 패킷 수로 나눈 패킷 손실률을 보이고 있다. 패킷 손실률은 셀 손실률과 비교해 볼 때 절대 값에서만 차이를 보일 뿐 형태 면에서 거의 같은 변화를 보여주고 있다.

그림 5는 우선 순위별 패킷 지연을 보여준다. 여기서 패킷 지연은 패킷의 처음 셀이 도착해서 마지막 셀이 전송 될 때까지의 시간을 의미한다. 전체적으로, 버퍼가 커질 경우 손실률은 감소하지만 반대로 패킷이 버퍼에 머무르는 큐잉 지연이 증가하게 되므로 패킷 지연은 길어짐을 볼 수 있다. 한편, 손실률과 마찬가지로 NO-PC 정책인 경우는 우선 순위에 관계없이 거의 대등한 지연을 보이고 있다. 반면, HC-PC 정책은 버퍼 크기 250셀인 경우 우선 순위 1과 같이 상대적으로 낮은 우선 순위의 패킷들은 높은 손실을 겪게 되므로 손실되지 않은 패킷의 지연은 상대적으로 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 3~5를 종합하면, 스트림 모드 CLS에서 HC-PC

정책을 적용하면 망에 처음 진입한 패킷은 높은 손실률을 겪게되지만 이후 여러 CLS를 거칠수록 낮은 손실률을 가지게 됨을 알 수 있다. 한편, 망에 처음 진입한 패킷이 가지는 높은 패킷 손실률은 망이 폭주 상태에 있게될 때 패킷이 가상 비연결형 망으로 진입하는 것 자체를 막게 되므로 다른 CLS 노드의 폭주 상태 예방에 도움이 될 수 있다. 아울러, 망에 처음 진입한 패킷의 손실은 재전송을 통하여 쉽게 복구가능하다[10].

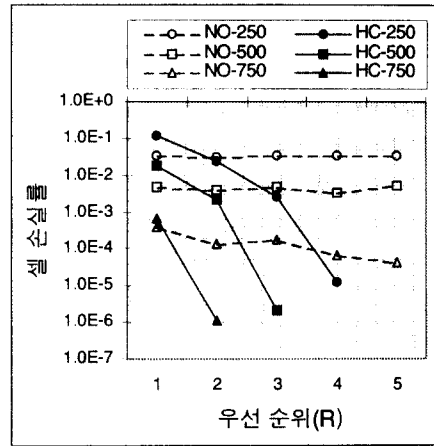


그림 3. 우선 순위별 셀 손실률
Fig. 3 Cell loss ratio with different values of priority.

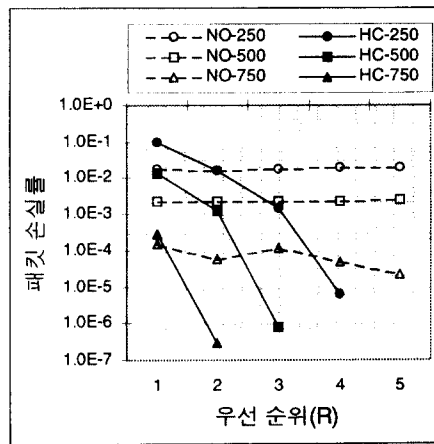


그림 4. 우선 순위별 패킷 손실률
Fig. 4 Packet loss ratio with different values of priority.

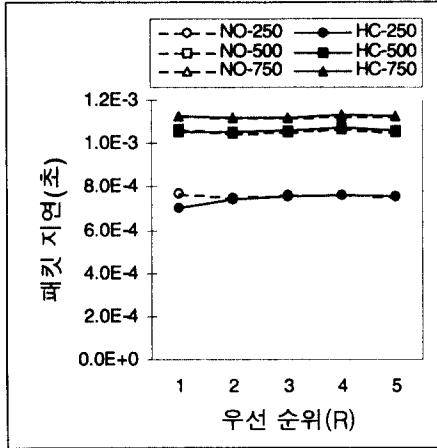


그림 5. 우선 순위별 패킷 손실률
Fig. 5 Packet loss ratio with different values of priority.

그림 6~8에서는 HC-PC와 NO-PC 정책이 적용되는 스트림 모드 CLS의 성능을 비교하기 위해 트래픽 부하가 0.6에서 1.0까지 변하는 동안 임의의 한 CLS 전체에서 발생하는 평균 셀 손실률, 평균 패킷 손실률 및 평균 패킷 지연을 나타내었다.

그림 6에서는 트래픽 부하별 평균 셀 손실률을 보여준다. 평균 셀 손실률은 우선 순위에 관계없이 CLS에서 손실된 전체 셀 수를 전체 도착 셀 수로 나눈 평균값을 의미한다. 이 그림에서 HC-PC의 평균 셀 손실률이 NO-PC의 평균 셀 손실률에 비해 전반적으로 낮게 유지되고 있음을 보여준다. 특히 버퍼 크기가 작은 경우의 차이가 버퍼 크기가 큰 경우의 차이에 비해 더 큼을 알 수 있다. 전체적으로는 HC-PC가 약 14% 정도 더 작은 셀 손실률을 보이고 있다. 이것은 HC-PC가 적용될 경우 우선 순위가 낮은 경우 대기되어 폐기될 수 있으며 이런 상황에서는 조기 패킷 폐기(early packet discarding)와 유사한 효과가 나타난다. 즉, 버퍼가 범람을 일으킬 때 셀 단위가 아니라 현재 버퍼에 존재하는 패킷 수준의 폐기를 하게 되면 폐기된 패킷에 해당하는 만큼 버퍼에 여유 공간이 생기게 되어 다른 셀들의 손실률을 낮출 수 있게 된다. 그러므로 그림 6에서도 보이는 것처럼 버퍼가 작을 경우 많은 셀 손실이 발생하므로 상대적으로 조기 패킷 폐기의 효과가 더욱 커짐을 알 수 있다.

그림 7에서는 트래픽 부하별 평균 패킷 손실률을 나타내었다. 이 그림에서 낮은 트래픽 부하에서는 HC-PC

가, 높은 트래픽 부하에서는 NO-PC가 약간 더 좋은 성능을 보이지만 전체적으로는 거의 같은 평균 패킷 손실률을 나타냄을 보여 준다. 그림 6에서 HC-PC의 평균 셀 손실률은 NO-PC에 비해 작게 나타나지만 평균 패킷 손실률은 거의 비슷하게 나타나는 현상은 HC-PC가 NO-PC에 비해 상대적으로 짧은 패킷이 여러 개 손실된다는 것을 의미한다. 그러나, 이러한 사실은 NO-PC에서는 단지 길이가 긴 패킷이 손실될 확률이 높음을 뜻하며 패킷 길이에 따른 불공정성이 발생함을 의미할 뿐이다.

그림 8에서는 트래픽 부하별 평균 패킷 지연을 보여준다. 평균 패킷 지연에서는 트래픽 부하가 낮은 경우에는 HC-PC와 NO-PC가 거의 같은 평균 패킷 지연을 보여주며 트래픽 부하가 높은 경우에는 HC-PC가 NO-PC에 비해 상대적으로 낮은 평균 패킷 지연을 가짐을 알 수 있다. 이것은 높은 패킷 손실률에 의해 손실된 패킷을 제외한 나머지 패킷들의 지연은 상대적으로 감소하게 됨을 의미한다. 하지만 그 상대적 차이는 4% 정도에 불과하다. 그림 6~8로부터 HC-PC가 NO-PC에 비해 손실률에서는 약간 더 좋은 성능을 가지며 지연 측면에서 거의 비슷한 성능을 가짐을 알 수 있다.

다음으로 HC-PC 알고리즘은 두 가지 전진 모드 중 어떤 전진 모드에서 더 효율적인지를 알아보기 위해 리어샘블리 모드 CLS와 스트림 모드 CLS의 성능

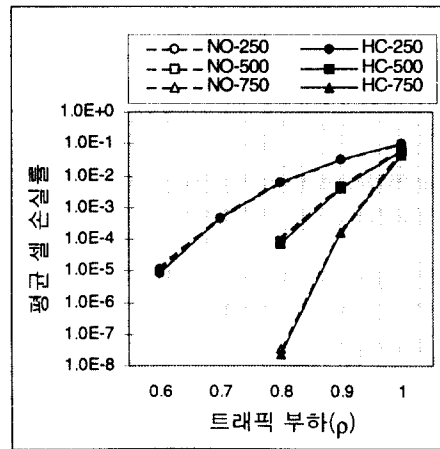


그림 6. 트래픽 부하별 평균 셀 손실률
Fig. 6 Average cell loss ratio with different values of traffic load.

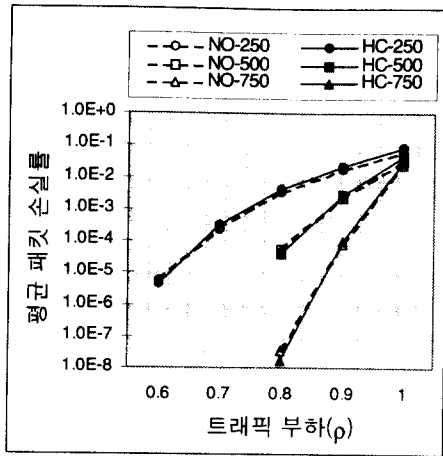


그림 7. 트래픽 부하별 평균 패킷 손실률
Fig. 7 Average packet loss ratio with different values of traffic load.

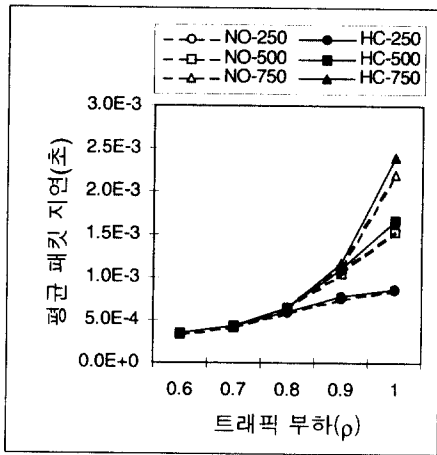


그림 8. 트래픽 부하별 패킷 지연
Fig. 8 Average packet delay with different values of traffic load.

을 비교 하였다. 그림 9와 그림 10에서 버퍼 크기 500 셀인 경우에 트래픽 부하를 변화 시켜 두 가지 모드의 트래픽 부하별 평균 셀 손실률 및 평균 패킷 지연의 결과를 비교하였다.

그림 9는 트래픽 부하별 평균 셀 손실률을 나타내고 있다. NO-PC의 경우 스트림 모드 CLS가 리어셈블리 모드 CLS에 비해 평균 56%정도 더 좋은 성능을 보이고 있으며, HC-PC의 경우 평균 41% 정도의

성능 차이를 보이고 있다. 그러나 트래픽 부하가 커질수록 그 차이는 현저히 줄어들음을 볼 수 있다. 리어셈블리 모드 CLS와 스트림 모드 CLS에서의 평균 셀 손실률의 차이는 스트림 모드의 경우 패킷으로 재조립하기 위해 버퍼에서 대기하지 않고 수신되는 즉시 다음 CLS 노드로 전송되므로 버퍼에 존재하는 셀의

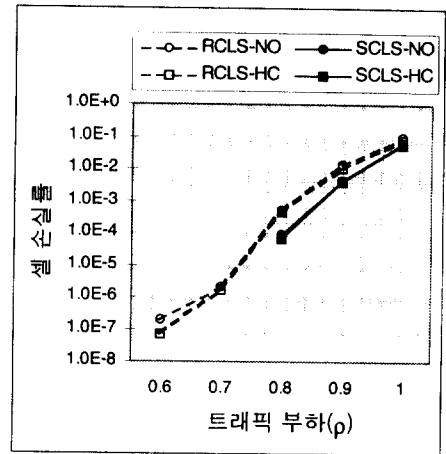


그림 9. 리어셈블리 모드 CLS와 스트림 모드 CLS의 평균 셀 손실률 비교
Fig. 9 Average cell loss ratio of reassembly mode CLS and streaming mode CLS.

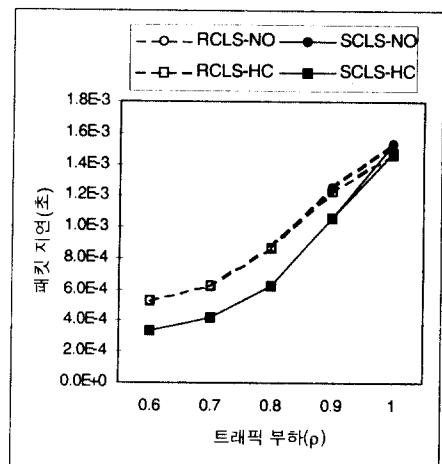


그림 10. 리어셈블리 모드 CLS와 스트림 모드 CLS의 평균 패킷 지연 비교
Fig. 10 Average packet delay of reassembly mode CLS and streaming mode CLS.

수가 작아지며 당연히 스트림 모드 CLS의 평균 셀 손실률이 리어셈블리 모드 CLS의 평균 셀 손실률에 비해 낮아지게 된다.

그림 10에서는 평균 패킷 지연을 보이고 있다. 평균 패킷 지연은 낮은 트래픽 부하인 경우에는 스트림 모드 CLS가 훨씬 더 좋은 성능을 보이게 되며 트래픽 부하가 높아질 경우 두 모드간에 성능 차가 차차 줄어들어 트래픽 부하 1.0인 경우에는 거의 같은 패킷 지연을 가짐을 알 수 있다. 이것은 스트림 모드 CLS의 경우 트래픽 부하가 증가하면 셀 인터리빙에 의한 방해 트래픽들에 의해 한 패킷의 처음 셀과 마지막 셀의 출발 시간 간격이 증가하게 되고 결국 평균 패킷 지연이 증가함을 알 수 있다. 전체적으로는 스트림 모드 CLS가 리어셈블리 모드 CLS에 비해 약 22% 정도 더 좋은 성능을 보이고 있다.

그림 9와 10을 종합하면, 스트림 모드 CLS가 리어셈블리 모드 CLS에 비해 셀 손실률 및 패킷 손실률 및 패킷 지연 등 모든 면에서 월등히 좋은 성능을 보여 주고 있다. 하지만 트래픽 부하가 증가함에 따라 그 차이가 줄어들음을 알 수 있다. 또한 HC-PC의 효과는 스트림 모드 CLS에서 보다는 리어셈블리 모드 CLS에서 약간 더 긍정적으로 작용한다.

결국, HC-PC는 NO-PC에 비해 임의의 한 CLS에서 손실률은 약간 더 낮은 수준을 유지하며 부가적으로 경로의 길이에 크게 영향을 받지 않는 공정성을 가짐을 알 수 있다. 또한, 이미 많은 망자원을 사용한 패킷을 우선 처리하여 줌으로써 망에서 낭비되는 자원을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 또, 망이 폭주 상태에 있을 때 망에 처음 진입하려는 패킷이 우선 폐기되므로 다른 CLS 노드의 폭주 예방에 도움이 될 수 있다. HC-PC의 이러한 특성은 종단간 경로가 많은 수의 CLS 홉으로 구성되며, 망자원의 효율적 사용과 자원 사용에 따른 비용이 중요한 요소가 되는 공중 광역망 환경에서 특히 유용한 성질이 될 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 공중 광역망 환경에서 CLS를 사용하는 직접제공 방식을 대상으로 폭주 현상 발생 시 망 자원의 낭비를 최소화하고 종단간 경로상의 홉 수에 따라 발생하는 패킷 손실률의 불공정성을 해소할 수 있도록 하기 위해, 홉 카운터를 이용한 우선 순위

제어 알고리즘인 HC-PC 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 이미 지나온 홉 수에 비례하여 패킷에 우선 순위를 높게 부여하여 폭주 현상 발생 시 많은 망 자원을 사용한 패킷들을 과부하로부터 보호함으로써 망 자원의 낭비를 최소화 할 수 있도록 한다.

HC-PC 우선 순위 정책과 우선 순위를 적용하지 않았을 경우의 평균 패킷 손실률을 식을 통해 구하였으며 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 SMPL을 사용한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 첫째, CLS에서 HC-PC 정책을 적용하면 망에 처음 진입한 패킷은 높은 손실률을 겪게 된다 하지만, 이후 CLS를 거칠수록 낮은 손실률을 가지게 됨을 알 수 있다. 그러므로 광역망 환경에서 여러 개의 CLS 홉을 거쳐야 하는 경우 HC-PC 우선 순위가 적용되면 각 패킷이 거쳐야 하는 종단간 경로 길이에 훨씬 작은 영향을 받게 되어 경로 길이에 따라 발생하는 손실률의 불공정성을 해소할 수 있게 된다. 두 번째, HC-PC의 효과는 스트림 모드 CLS에서 보다는 리어셈블리 모드 CLS에서 약간 더 긍정적으로 작용한다.

결국, HC-PC의 이러한 특성들은 종단간 경로가 많은 수의 CLS 홉으로 구성되며, 망 자원의 효율적 사용과 자원 사용에 따른 비용이 중요한 요소가 되는 공중 광역망 환경에서 특히 유용한 성질이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. M. Gerla, T. Y. Chales Tai and G. Gallassi, "Interneting LAN's and MAN's to B-ISDN's connectionless traffic support," *IEEE JSAC*, vol. 11, no. 8, pp. 1145-1159, Oct. 1993.
2. H. L. Truong and J. Wayne Pace, "LAN Emulation on ATM Network," *IEEE Comm. Magazine*, pp. 70-85, May 1995.
3. P. Newman, "ATM Local Area Networks," *IEEE Comm. Magazine*, pp. 86-98, Mar. 1994.
4. B. J. Vickers and T. Suda, "Connectionless Service for Public ATM Networks," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 32, no. 8, pp 34-42, Aug. 1994.
5. D. F. Box, D. P. Hong and T. Suda, "Architecture and Design of Connectionless Data Service for a Public ATM Network," *Proc. of IEEE INFOCOM '93*,

- pp. 722-731, San Francisco, CA, Apr. 1993.
6. D. P. Hong, B. J. Vickers and T. Suda, "Connectionless Data Server for Public ATM Networks : Design and Performance," *Technical Report #94-10*, Dept. of ICS, Univ. of California, Irvine, 1994.
 7. ITU-TS Draft Recommendation I.364 "Support of Broadband Connectionless Data Service on B-ISDN," 1992.
 8. 차현철, 이원열, 한기준 "리어셈블리 모드 CLS에서 홉 카운터를 사용한 우선 순위 제어 알고리즘", *정보과학회 논문지(A)*, 제 24권 11호, pp. 1191-1198, Nov. 1997.
 9. H. C. Cha, W. Y. Lee, S. Y. Park, J. S. Kim, S. Y. Heo, S. S. Jang, K. W. Jang and K. J. Han, "A Priority Control Algorithm in Reassembly mode CLS," *Proc. of ISCOM'97*, Hsinchu, Taiwan, Dec. 1997.
 10. A. Kolarov and G. Ramamurthy, "End-to-end Adaptive Rate Based Congestion Control Scheme for ABR Services in Wide Area ATM Networks," *Proc. of IEEE ICC'95*, pp. 138-143, Seattle, WA, June 1995.
 11. M. H. MacDagall, *Simulating Computer Systems : Techniques and Tools*, the MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1987.
 12. D. P. Hong and T. Suda, "A Simulation Study of Packet Forwarding Methods for ATM Data Services," *Proc. of IEEE ICC'95*, pp. 1918-1924, Seattle, June 1995.



차 현 철(Hyun-Chul Cha) 정회원
1963년 9월 23일생
1988년: 경북대학교 통계학과(이
학사)
1993년: 경북대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)
1998년: 경북대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)

1995년~현재: 동양대학교 컴퓨터공학부 조교수
※주관심분야: 전산망 프로토콜, B-ISDN/ATM, 이동
통신, 멀티미디어 통신 등

e-mail : hccha@phenix.dyu.ac.kr



강 상 길(Sang-Gil Kang) 정회원
1963년 12월 7일생
1986년: 경북대학교 통계학과(이
학사)
1989년: 경북대학교 통계학과(이
학석사)
1995년: 경북대학교 통계학과(이
학박사)

한 기 준(Ki-Jun Han)

통신학회 논문지 제 21권 9호 참조
현재: 경북대학교 컴퓨터공학과 교수

e-mail : kjhan@db.kyungpook.ac.kr