

효율적인 ATM 다중 경로 라우팅 기법에 관한 연구

고 장 혁[†] · 이 동 호^{††}

요 약

ATM은 안정성과 서비스 응용의 유연성 등으로 이미 그 우수성이 입증되었지만 다양한 특성을 가진 트래픽과 그에 따른 사용자 요구 QoS 때문에 트래픽 관리 방법 등에 관해 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이에 반해 실제로 트래픽 관리에 많은 영향을 주는 라우팅에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 셀들을 여러 경로를 통해서 전송하는 다중 경로 라우팅 기법에 대해 알아보고, 기존의 단일 경로 라우팅 기법과 비교를 하며 다중 경로 라우팅 기법을 간단한 수식을 통해 크게 3가지 부분으로 나누어 생각해 보았으며, 각 부분들에서 성능을 개선할 수 있는 방법들을 제안하였으며, 이를 시뮬레이션을 통해 그 성능을 알아보았다.

A Study on Effective ATM Multi-Path Routing Method

Jang-Hyuk Kauh[†] · Dong-Ho Lee^{††}

ABSTRACT

It was already proved that ATM has stability and flexibility of service application, but because of the various characteristics of traffics and the QoS on user demand caused by them, there are a lot of researches for traffic management method. However, there are a few of researches for ATM routing method acting on traffic management practically.

In this paper, we focus on multi-path routing method transporting cells with multiple paths and compare this method with existing single path routing method and analyze multi-path routing method into three elements with simple formula and propose new methods improving the performance of ATM routing and simulate these methods.

1. 서 론

ATM 전송 기술을 기반으로 하는 B-ISDN의 중요한 특성은 망 접속의 유연성이 높고 대역폭 할당을 미세하게 동적으로 할 수 있으며, 베어러 용량 할당을 유연하게 하고 물리층에서의 전송 매체의 독립성이 있다는 것등이다. 그러나 다양한 형태의 트래픽과 그것에서 야기되는 서로 다른 서비스 품질 때문에 ATM을

기반으로 하는 B-ISDN에서는 트래픽 제어가 어렵다. 특히 ATM 네트워크에서는 통계적 다중화와 서로 다른 트래픽 특성을 가진 다양한 다중 속도 서비스를 지원하는 종단 처리를 이용해서 높은 전송 유연성과 대역폭 효율성을 얻게 한다. 그러나 각 소스가 자신의 속도로 ATM 네트워크를 통해서 셀을 전송하면서 통계적 다중화 요구의 변동에 의해 폭주가 발생하여 셀 손실이 일어난다.

ATM에서는 전송 대역폭을 효율적으로 사용하기 위하여 비동기 시분할 다중화 방식을 사용하여 프로토크를 단순화하였다. 일반적인 트래픽에 대한 분류 및 특징으로는 고정 비트율(CBR : Constant Bit Rate) 트

※ 본 논문은 한국과학재단 핵심전문연구비(951-0905-0661-1) 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : 국방과학연구소 연구원

†† 정 회 원 : 광운대학교 전자계산학과 교수

논문접수 : 1998년 1월 31일, 심사완료 : 1998년 8월 27일

래픽과 가변 비트율(VBR : Variable Bit Rate) 트래픽으로 나누어지는데 CBR 트래픽은 주기적으로 셀이 발생하는 것으로 셀들간의 간격은 송신측의 트래픽 발생 속도에 따라 결정된다. VBR 트래픽은 버스티한 특성을 가지며 소스 모델링으로 여러 모델들이 제안되고 있는데 비교적 수학적 해석이 용이한 ON-OFF 모델과 MMPP(Markov Modulated Poisson Process) 모델이 주로 사용되고 있다[1]. 또 VBR 트래픽을 수용할 수 있는 라우팅 방법은 ATM 망에서의 중요한 성공 요소로 대두되고 있다. 따라서 통합 네트워크 환경에서 각 트래픽의 형태에 따른 경로를 만드는 라우팅 방법이 필요하다. 다중 경로 라우팅 기법은 이웃하는 두 개의 노드 사이에 존재하는 경로 중 하나를 선택하는 것이 아니라 트래픽을 전송시킬 수 있는 여러 개의 경로를 선택하여 병렬적으로 동시에 셀들을 전송하는 것이다 [4]. Gbps(bit per seconds) 이상의 전송 속도를 요구하는 광대역 응용 서비스가 지원된다면, 다중 경로, 링크의 사용은 필수적이다. 광대역 응용 서비스에서 생성되는 많은 양의 트래픽은 유용한 망 자원 링크를 포화 상태로 만든다. 그러므로, 기존의 virtual circuit 라우팅 기법보다 좀더 효과적으로 트래픽 부하를 균형 있게 유지시키는 라우팅 기법이 고성능 네트워크 환경에서는 바람직하다[2].

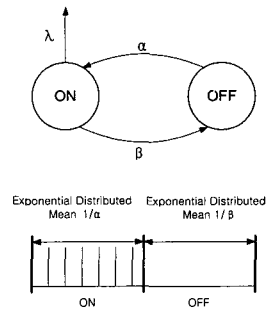
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 사용하고 있는 입력 트래픽의 모델링과 ATM 라우팅에 대해 설명하고, 3장에서는 다중경로 라우팅 기법의 장점과 성능 향상을 위해 분석하여 새로운 방법을 제안하고 4장에서는 이 기법에 대한 시뮬레이션 및 고찰을 한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후과제에 대해 알아본다.

2. ATM 트래픽 모델링과 라우팅 기법

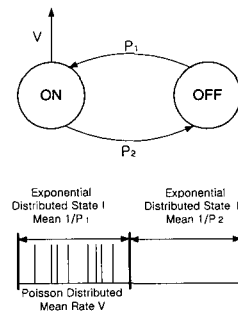
2.1 트래픽 모델링

본 논문에서는 음성 트래픽은 ON-OFF 프로세스로 모델링하였고, 비디오 트래픽은 이산 Birth-Death 프로세스로 모델링했다.[10] 또 두 종류의 소스에 대한 통합 트래픽은 이산 2차원 마코프 체인(Discrete-time two-dimension Markov chain)으로 모델링하였다.[11] (그림 1)은 ON-OFF 모델을 나타낸다. 단일 ON-OFF 모델에서 두 상태는 ON상태와 OFF상태를 나타낸다. ON상태에 있는 시간을 $1/\alpha$ 이라고 하여 이 기간동안에

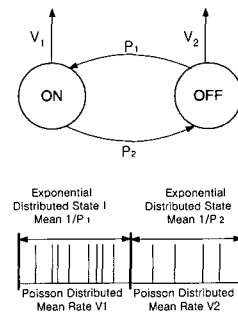
는 고정된 시간 간격을 사이에 두고 피크 전송률 λ 로 패킷을 발생한다. OFF상태기간 $1/\beta$ 에서는 패킷의 발생이 없다. N상태 ON-OFF모델은 서로 독립적이고 동등한 N개의 소스에서 발생하는 트래픽을 모델링한 것으로 각각의 상태는 ON상태에 있는 소스의 개수를 나타낸다. 비디오 트래픽을 모델링한 Birth-Death 프로세스는 (그림 2)처럼 ON-OFF 프로세스와 유사한 형태를 이룬다.



(그림 1) ON-OFF 모델
(Fig. 1) ON-OFF Model



(그림 2) Birth-Death 모델
(Fig. 2) Birth-Death Model



(그림 3) 2상태 MMPP 모델
(Fig. 3) 2-State MMPP Model

2상태 MMPP(Markov-Modulated Poisson Process) 모델[6]은 포아송(Poisson)트래픽과 여러 소스에서 발생한 트래픽이 중첩된 복합 트래픽을 모델링한다. (그림 3)은 2상태 MMPP 모델을 나타낸다. 2상태 MMPP는 서로 다른 전송률을 갖는 상태 I, II로 나눌 수 있다. 상태 I, II에서의 각각의 상태 평균 도착률은 V_1 과 V_2 이고 상태 전이율은 각각 P_1, P_2 이다.

(그림 3)의 분포 모델에 대한 근사식은 Q 와 Λ 로 나타낼 수 있다.[6],[10],[11],[12],[13]

$$Q = \begin{pmatrix} -P_1 & P_1 \\ P_2 & -P_2 \end{pmatrix} \quad \Lambda = \begin{pmatrix} V_1 & 0 \\ 0 & V_2 \end{pmatrix}$$

Q 의 안정(stationary) 확률 벡터 $\vec{\psi}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{\psi}Q &= 0 \\ \vec{\psi}e &= 1 \quad e = (1, 1)^T \end{aligned}$$

그러므로

$$\vec{\psi} = \frac{1}{P_1 + P_2} [V_2, V_1]^T \text{ 이 된다.}$$

여기서 전체 평균 셀 도착률 V^* 는 다음과 같다.

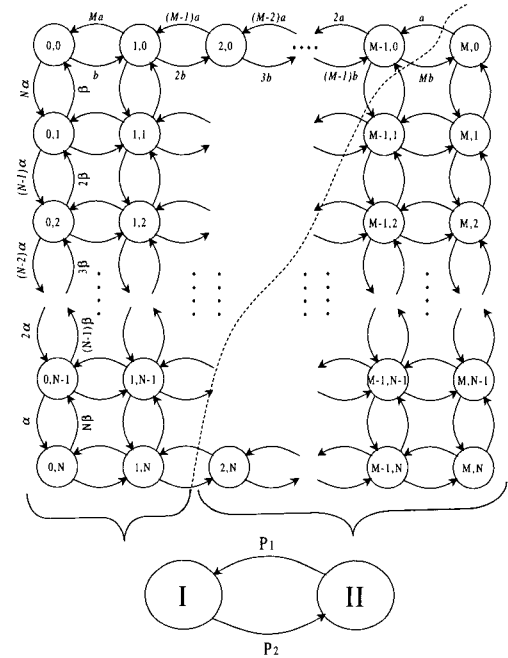
$$V^* = \vec{\psi} \Lambda e = \frac{P_1 V_2 + P_2 V_1}{P_1 + P_2}$$

(그림 4)와 같이 비디오와 음성 소스의 통합 모델에서 각 상태는 비디오 소스와 음성 소스의 개수에 대한 도착률의 기대값으로 구분된다. 단, 비디오 소스에 대한 $M+1$ 단계의 전체 개수와 N 개의 음성 소스의 상태 전이는 같은 타임 슬롯내에서 동시에 일어나지 않는다고 가정한다. 2차원 마코프체인의 상태분포 π_{ij} 는 (1)과 같은 식으로 나타내며, 이 식은 N 개의 음성 소스들과 M 개의 비디오 소스들 중 상태 (i, j) 가 ON 상태에 있을 안정(steady) 상태확률을 나타낸다.

$$\pi_{ij} = \binom{N}{j} \binom{M}{i} \left(\frac{a}{a+b}\right)^i \left(\frac{b}{a+b}\right)^{M-i} \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^j \left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{N-j} \quad (1)$$

여기서 ON에서 OFF로의 전이 확률(Transition Probability)은 β 이고, OFF에서 ON으로서는 α 이며, 비디오 소스에서의 전이 확률은 a, b 이다. 그리고 각각의 상태 (i, j) 에 대해 먼저 2상태 MMPP 매핑과정으로 언

더로드(Underload)인 상태와 오버로드(Overload)인 상태로 구분할 수 있다.[11],[14]



(그림 4) 통합된 비디오와 음성 소스를 위한 전이 확률 다이어그램

(Fig. 4) Transition Diagram for Mixed Data

만일 $(\eta_i + \omega_j) > 1 - \mu \bar{s}$ 이면 상태 (i, j) 는 오버로드에 있고, 그렇지 않으면 언더로드에 있다. 여기서 비디오와 음성의 셀도착 확률이 각각 η 와 ω 이고, \bar{s} 는 데이터 패킷이 k 개의 셀로 구성될 확률의 합계이다. 이산 2상태 MMPP 근사값으로의 매핑은 다음과 같이 각 상태 상호간의 전이 확률로 나타낼 수 있다.[6][10][11][12]

$$P_2 = \frac{1}{T} = \left(\sum_{k=0}^M (\sigma_k + 1) / \sum_{k=0}^M (N - \sigma_k) \right) (\beta + b)$$

$$P_1 = P_2 \frac{(\omega \varphi_1 + \eta \varphi_2) - V_1}{V_2 - (\omega \varphi_1 + \eta \varphi_2)}$$

$$\psi_1 = N \frac{\alpha}{(\alpha + \beta)}$$

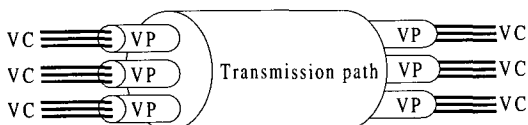
$$\psi_2 = M \frac{a}{(a + b)}$$

2.2 라우팅 기법

ATM 셀 헤더에서 가상 경로 식별자(VPI: Virtual

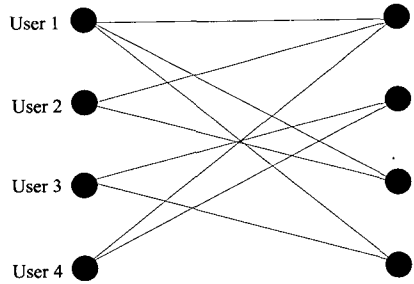
Path Identifier)와 가상 채널 식별자(VCI : Virtual Channel Identifier)는 STM에서 채널 인식을 위해 사용되는 타임 슬롯 위치와 유사한 기능을 수행하는 레이블로써 ATM에서는 STM의 타임 슬롯 인터체인지와 유사하게 각 셀들의 VPI, VCI 값들이 변경되면서 정보가 전달된다. VP는 STM망에서는 디지털 경로에 대응되는 개념으로 STM망에서의 경로는 125 μ s TDM (Time Division Multiplexing) 프레임의 시간 위치에 따라 구분되고 전송 시스템 계층에 따른 계층적 구조를 갖는 반면에 ATM망에서는 VP가 각 셀 헤더에 있는 VPI에 따라 구분된다. 이 메카니즘은 경로의 논리적 관점을 전송 시스템의 물리적 인터페이스 구조와 분리시켜 주는 역할을 하므로 서비스 요구를 만족시키기 위해 VP의 용량을 조정할 수 있다.

VP와 VC의 관계는 (그림 5)와 같다. 네트워크의 각각의 물리적 링크는 여러 개의 VC를 포함한다. 사용자 포트(User Port)는 VP에 의해 서로 연결되며, 송수신지 쌍들로 구분되는 VP들은 같은 물리적 링크를 공유할 수 있다. 만일 같은 송신자와 수신자간 VP들의 우선순위가 없다면, 호 설정시 VP는 송신자와 수신자 노드간에 설정된다. (그림 6)에서 보는 것처럼, 각 사용자 포트는 여러 개의 다른 사용자 포트의 각각에 대해 VP들이 완전히 연결(fully connected)되지 않는다. 즉, 사용자들에 의해 설정되는 VP들의 개수는 ATM셀에 있는 VPI에 할당되는 데이터의 양에 의해 제한된다. VC는 두 사용자간에 동시에 설정되는 여러 virtual circuit을 구분하고 같은 VP로 다중화된다. VP와 유사하게 VP로 다중화하는 VC의 개수는 ATM 셀 헤더내의 VCI에 의해 결정된다. 할당할 수 있는 가상 회로보다 더 많은 VC를 지원하기 위해서는 주어진 사용자 포트에 네트워크의 다른 부분을 사용하는 VPI와 VCI를 재정의 해야한다. B-ISDN에서의 일반적인 다중화 기법은 크게 3가지의 중요한 특징이 있다.



VC Virtual channel
VP Virtual path

(그림 5) Virtual Channel, Virtual Path
(Fig. 5) Virtual Channel, Virtual Path



(그림 6) 사용자간 연결 가능한 Path
(Fig. 6) Path connectable between users

첫째, 하나의 공통 링크로 다중화되는 모든 가상 회로의 최대 비트율(Peak Bit Rate)의 합이 그 링크의 최대 전송률을 초과하도록 하여야 한다. 단, 가상 회로들의 평균 전송률의 합은 반드시 링크의 최대 전송률보다 작아야 한다. 이 경우 통계적 다중화의 최대 효율을 얻을 수 있다. 둘째로 VC가 VP로 다중화되고 VP의 대역폭이 제한되게 한다. 그러면, 하나의 링크를 공유하는 VP들의 대역폭의 합은 그 링크의 대역폭을 초과하지 못하게 된다. 단, VC의 수는 VP의 대역폭 및 VC의 서비스질에 의해 결정되며 통계적 다중화는 동일 VP에 대해서만 발생한다. 셋째로, 각 VP는 할당된 대역폭을 갖고, VP의 대역폭의 합은 공유 링크의 대역폭을 초과할 수 없으며, 통계적 다중화는 공통의 VP를 갖는 VC들에 대해서만 발생하게 한다. 그리고 새로운 VC 요구시 해당 VP에 추가 대역폭을 할당한다. ATM망에서는 사용 가능한 용량이 어떠한 비트율에서도 VP로 할당 가능하며 VP로 할당된 비트율은 전송 링크의 전체적인 사용 가능 용량을 이용하기 위해 다중화되고 이로 인해 더 큰 효과를 얻을 수 있다. STM망에서는 비트율의 계층에 따라 다중화가 계속 반복되기 때문에 서로 다른 다중화 계층으로 이동되면서 전송 링크 사용의 효율성이 떨어진다.

3. 다중 경로 라우팅 기법

기존 ATM 망에서의 virtual circuit 라우팅 기법은 소스의 모든 셀들이 같은 경로를 따라서 전송되며 셀들의 순서가 유지되어 수신측에 전달된다. 따라서 셀 순서를 재배열할 필요가 없으며 고정 비트율 데이터 트래픽에 알맞다. 그러나 호 처리 레벨(call level)에서의 호 설정 기능은 셀 라우팅 처리동안에는 기능을 발

회하기 어려우므로 네트워크 부하가 균등하게 되지 않는다. 특히 VBR 트래픽을 가진 ATM 네트워크에서는 위와 같은 현상이 두드러지게 나타난다. 따라서 virtual circuit 라우팅 기법 이외에 여러 경로를 통해 트래픽이 전송되는 다중 경로 라우팅 기법을 제안한다. 다중 경로 라우팅 기법은 이웃하는 두 개의 노드 사이에 존재하는 경로 중 하나를 선택하는 것이 아니라 트래픽을 전송시킬 수 있는 여러 개의 경로를 선택하여 병렬적으로 동시에 셀들을 전송하는 것이다. VBR 트래픽 소스를 수용할 수 있는 라우팅 기법은 ATM 망에서의 중요한 성공 요소로 대두되고 있다. 따라서 통합 네트워크 환경에서 각 트래픽의 형태에 따른 경로를 만드는 라우팅 기법이 필요하다. 예를 들면, 지연에 덜 민감한 고속 처리 트래픽은 대역폭에 여유가 있는 좀더 긴 경로를 따라 전송시키는 기법이 필요하다. 또한 Gbps이상의 전송 속도를 요구하는 광대역 응용 서비스가 지원된다면, 다중 경로, 링크의 사용은 필수적이다. 광대역 응용 서비스에서 생성되는 많은 양의 트래픽은 유용한 망 자원 링크를 포화 상태로 만든다. 그러므로, 기존의 virtual circuit 라우팅 기법보다 좀더 효과적으로 트래픽 부하를 균형 있게 유지시키는 라우팅 기법이 고성능 네트워크 환경에서는 바람직하다.

3.1 다중 경로 라우팅의 특징

다중 경로 라우팅 기법의 가장 큰 장점으로서는 super rate service와 burstiness의 감소를 말할 수 있다. Super rate service는 기존의 ATM 트래픽에서 지원하는 PCR(Peak Cell Rate)이상의 전송속도를 지원하는 것을 말한다. 이것은 앞서 설명한 것처럼 여러 개의 virtual circuit을 통해 병렬로 전송함으로써 가능하며 많은 대역폭이 필요한 CBR 서비스 등에 매우 유용한 기능이다[4]. 두 번째로는 burstiness의 감소를 말할 수 있다. 이것은 CBR 서비스가 일반적으로 burstiness가 큰 멀티 미디어 트래픽을 다룬다는 점에서 매우 중요한 장점이라 할 수 있다. (그림 7)은 기존 단일 경로 라우팅 기법으로 2개의 연결에서 각각 트래픽을 전송하는 경우이다. 입력 트래픽이 앞서 설명한 것과 같이 ON-OFF의 특성을 가진다고 할 때 burstiness는 매우 큼을 알 수 있다. 이에 반해 (그림 8)은 다중경로 라우팅 기법으로 2개의 연결을 전송할 경우를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 burstiness가 매우 감소함을 알 수 있다. 이러한 burstiness는 셀 손실을

(Cell Loss Rate)과 직접적인 관계를 가지고 있다. 또한 트래픽 제어 및 관리(Traffic Control & Management)에 매우 중요한 요소이기도 하다.



(그림 7) 단일 경로 라우팅 기법
(Fig. 7) Single Path Routing Method



(그림 8) 다중 경로 라우팅 기법
(Fig. 8) Multi-Path Routing Method

기존의 단일 경로 라우팅 기법과 다중 경로 라우팅 기법으로 셀들을 전송할 때 걸리는 시간을 비교한다면 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있을 것이다.

- 단일 경로 라우팅 기법

$$f(n) = n \cdot A(1)$$

- 다중 경로 라우팅 기법

$$f(n) = \frac{n \cdot A(1)}{m} + n \cdot D(1) + \frac{n}{k} R(k)$$

n = 셀수, m = VP 개수, k = 버퍼의 크기,
 $A(1)$ = 셀 하나가 목적지까지 도착하는데 걸리는 시간,
 $D(1)$ = 셀을 분배하는데 걸리는 시간,
 $R(k)$ = 셀 k 개를 재정렬하는데 걸리는 시간

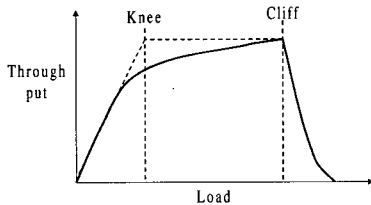
윗 식에서 볼 수 있는 것과 같이 다중 경로 라우팅 기법의 성능을 향상시키기 위해서는 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 $\frac{n \cdot A(1)}{m}$ 로서 이것은 보다 많은 경로를 통해서 전송하면 보다 높은 효율을 보일 수 있음을 알 수 있고, 두 번째는 $n \cdot D(1)$ 로서 분배를 하는 방법과 걸리는 시간에 따라 성능이 향상될 수 있음을 알 수 있다. 마지막으로 $\frac{n}{k} R(k)$ 는 목적지에서 셀들을 재정렬하는 데 걸리는 시간을 의미하는 것으로서 버퍼의 크기와 재정렬하는 시간을 줄임으로써 성능을 향상시킬 수 있음을 나타낸다. 물론 이 세 가지요소가 각각 분리되어서 영향을 주는 것은 아니다. 이는 서로 연관이 있으며, 단순히 한 요소에서 걸

리는 시간을 단축함으로써 전체적인 성능의 향상을 꾀할 수는 없다는 것을 보여 준다.

본 논문에서는 첫째 요소와 마지막 요소에 중점을 두고 있다. 두 번째 요소는 단순한 라운드-로빈 방식으로 간주하고 있다. 그 이유는 두 번째 요소에 대한 방법은 현재의 노드에서 셀들이 전송되는 다음 노드들의 상태를 감지해야만 하기 때문이다. 즉, 셀들을 분배하는 load balancing 기능이 있어야 한다. 현재까지는 제안된 방법이 없으며 ATM 포럼에서 ABR 서비스에 대해서만 사용하고 있는 RM셀을 이용한 피드백 방법을 생각해 볼 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 두 가지에 중점을 두고 있다.

첫째는 노드에서 전송할 셀들을 여러 경로들을 통하여 보다 효율적으로 전송하는 방법이며 둘째는 Destination에 도달한 셀들을 재정렬하는데 소비되는 시간을 줄이는 방법이다.

3.2 다중 경로를 통한 효율적인 전송



(그림 9) 네트워크 성능
(Fig. 9) Network Performance

네트워크의 성능은 일반적으로 (그림 9)와 같은 곡선을 이룬다. 이것은 부하가 적은 초기, 즉 knee 지점에 도달하기 전까지는 서버가 충분히 서비스를 할 수 있으나 부하가 점점 증가함에 따라 서버는 입력 트래픽을 처리

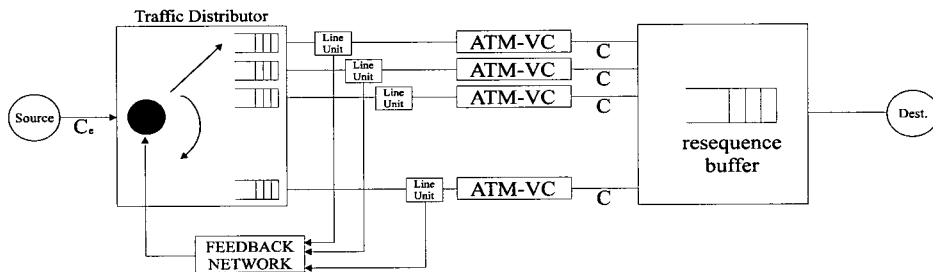
하지 못하고 이러한 트래픽들은 버퍼에 쌓이기 시작한다. 이러한 지점을 knee 지점이라고 부르며 버퍼에 쌓이기 시작하여 버퍼가 full이 되면 그 때부터 loss가 발생하게 되는데 이 지점을 cliff라고 하며 처리율이 급격히 감소됨을 알 수 있다. 따라서 ATM 망에서 효과적인 과잉 밀집 제어를 수행하기 위해서는 멀티플렉서의 부하를 예측하여 망 부하 특성에 따른 능력 함수를 계산하고 능력 함수를 이용하여 knee 지점과 cliff 지점의 부하 측정치를 구한다. 부하 측정치에 따라 트래픽 분배 및 호 설정 가능 확률을 예측할 수 있다. 멀티플렉서가 knee 지점과 cliff 지점에서의 입력률이 결정되면 트래픽 분배기에서 멀티플렉서의 각 경로마다의 입력률 조절하여 knee~cliff 사이의 트래픽 부하를 유지하도록 제어함으로써 효율적으로 과잉밀집을 방지할 수 있다.

제안된 과잉 밀집 방지 기법을 위한 다중 경로 전송 기법의 수행 절차는 다음의 알고리즘과 같다.

Algorithm MCTG-routing

1. recognize knee point, and calculate NDP
2. compare normalization point with 0
3. determine input rate in cliff point
4. if $NDP \leq 0$ then increase input rate else adjust admissible input rate
5. transfer determined input rate information with feedback
6. determine call admission and select multipath link

종단간의 평균 지연 시간이 최단 경로 알고리즘에서 사용되는 전송 비용 측정의 가장 일반적인 단위이다. 그러나 호 설정 거절 확률, 대역폭 할당의 정당성, 종단간의 지연 시간의 변이와 같은 성능 측정 요소들이 기가비트 서비스에서는 좀더 중요하고 적절한 것이다. (그림 10)은 다중 경로 전송 기법을 수행하는 전체 망 구조를 보여주고 있다. 망 구조에는 기존의 멀티플렉서에는 없



(그림 10) 다중 경로 라우팅 기법의 구조
(Fig. 10) The Structure of Multi-Path Routing

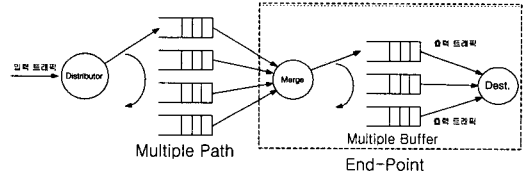
는 트래픽 분배기와 과잉 밀집 제어에 관련된 정보를 전송해 줄 피드백 네트워크를 가지고 있는 멀티플렉서와 수신되는 셀의 순서를 재배열 시켜줄 목적의 버퍼가 추가되어 있다. 또한 각 virtual circuit의 대역폭은 일정한 양으로 되어 있다. 호 설정 기간동안 발생하는 셀들을 미리 결정된 규칙에 따라 다중 경로 집합에 round-robin 방식으로 할당하는 라우팅 기법을 사용한다. 좀더 작은 할당 단위일수록 좋은 제어 기능을 발휘하고 따라서 모든 셀들이 같은 경로로 전송되는 기존 라우팅 기법보다는 좋은 성능을 나타낸다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 버스티한 트래픽에서 더욱 좋은 성능을 보인다.

3.3 resequencing delay를 감소시키기 위한 방법

최근의 연구에서 다중 경로를 이용할 경우 다중 경로들의 hop 길이가 같은 경우에는 단일 경로를 사용하는 라우팅 기법보다 추가로 필요한 셀들의 재정렬에 걸리는 시간이 그다지 크지 않다는 논문이 나오고 있으나 이러한 재정렬에 걸리는 시간을 무시할 수는 없다[5]. 이러한 재정렬을 위해 걸리는 시간 $R(k)$ 는 크게 두 가지 점에 좌우되는데 첫째는 재정렬을 하기 위한 버퍼의 크기에 비례한다. 즉 버퍼가 커서 버퍼안의 셀들이 많을수록 재정렬에 걸리는 시간이 증가한다. 물론 앞서 설명한 두 번째요소 $\frac{R}{k} R(k)$ 에서 알 수 있듯이 버퍼 k 가 커질수록 전체시간이 줄어들지만 $R(k)$ 는 증가하게 된다. 둘째는 버퍼의 마지막 셀이 도착하는 시간에 의해 좌우된다. 이는 버퍼에 모든 셀들이 도착한 후에만이 정렬을 할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 재정렬에 걸리는 시간을 최소화함으로써 성능의 향상을 꾀하려고 한다. 이러한 방법으로 2가지 방법을 제시하였는데, 첫 번째 방법은 버퍼의 크기를 줄여서 성능을 향상시키는 다중 버퍼를 이용한 방법을 생각할 수 있다. 이는 큰 버퍼를 두는 대신 작은 버퍼를 여러 개 사용함으로써 큰 버퍼에 셀들이 다 도착해야만 재정렬을 할 수 있다는 단점을 보완, 그대신 여러 개의 버퍼를 둬으로써 성능을 향상시켰다. 둘째 방법은 재정렬을 하기 위해서는 버퍼에 셀들이 다 쌓여야만 재정렬을 할 수 있다는 단점을 보완한 방법으로 버퍼에 들어오는 셀들을 정렬하고, 순서가 아닌 셀들은 다시 입력부로 보내어 새로 도착한 셀처럼 다시 받아들여 그 순서를 다시 검사하면서 재정렬을 시키는 방법이다.

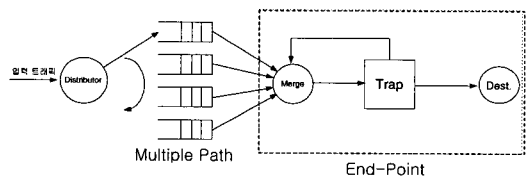
3.3.1 다중 버퍼를 이용한 방법



(그림 11) 다중 버퍼를 이용한 방법
(Fig. 11) Multi-Path Routing Method with Multi-Buffer

다중 경로 라우팅 기법은 end-point 시스템에 추가적으로 재정렬을 위한 버퍼가 필요하게 된다. end-point 시스템에서는 버퍼에 쌓여 있는 일정크기의 셀들을 재정렬하는 동안 셀은 버퍼에 들어 올 수 없다. 이것은 셀 전송에 지연을 초래하게 된다. 따라서 다중 버퍼를 이용하여 셀들을 재정렬하는 동안 다른 버퍼를 통해 셀들을 계속 받아 여기서 발생하는 지연을 막는다. 이렇게 함으로써 다중 버퍼중 처음 버퍼가 쌓일 때까지는 똑같은 지연을 초래하겠지만 그 이후는 지연이 없어진다. 이것은 실시간 서비스를 위한 기술인 Play Back의 개념과 유사한 방법이다. 이러한 방법은 기존의 버퍼를 이용한 방법들이 그러하듯이 버퍼의 크기가 증가함에 따라 비용이 증가한다는 단점이 있을 수 있다. 또한 이것은 기존의 단일 버퍼에 비하면 지연이 많이 감소되었지만 완전히 해소된 것은 아니다.

3.3.2 Trap 장치를 이용한 방법



(그림 12) Trap 장치를 이용한 방법
(Fig. 12) Multi-Path Routing Method with Trap Equipment

앞서 설명한 다중 버퍼 방법은 Play Back과 같이 일단 어느 정도의 셀이 버퍼가 쌓여야지만 그 성능의 향상을 보이며 또한 앞서 설명한 것과 같이 버퍼안의 모든 셀이 도착해야만이 정렬을 할 수 있다는 단점을 여전히 가지고 있다. 이러한 방법을 보완하기 위한 방법으로는 Trap 장치를 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 ATM Switch 설계 방법중의 하나인 Trap 네트워크

크를 이용한 방법을 응용한 방법으로 Trap 장치에서는 도착한 셀들의 순서를 검사하여 순서가 맞는 셀들은 다음 단계로 보내고, 순서가 아닌 셀들은 다시 입력부로 보내어 새로 도착한 셀처럼 다시 받아들여 그 순서를 다시 검사하면서 재정렬을 시키는 방법이다. 이렇게 함으로써 기존의 방법이나 다중 버퍼를 이용하는 방법에 비해 작은 크기의 버퍼로 보다 우수한 성능을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 방법은 앞서 설명한 다중 버퍼 방법보다 제어가 복잡하여 overload가 심하다는 단점이 있다.

4. 시뮬레이션 및 고찰

트래픽 모델에 따른 파라미터 값은 다음과 같다. 성능 분석시 각 소스의 도착률은 음성과 비디오 소스가 각각 11.2kbps, 87kbps인 평균 비트율로 특성화했다.

<표 1> 시뮬레이션에 사용된 트래픽 파라미터
<Table 1> Traffic Parameter Used in Simulation

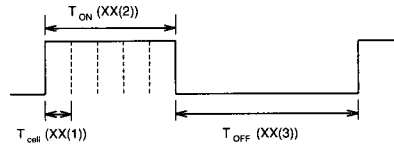
사용 파라미터	음성 소스	비디오 소스
Peak Rate	32Kbps	2Mbps
Mean Rate	11.2Kbps	87kbps
Mean Burst Duration	352msec	500msec
Mean Silence Duration	650msec	11000msec

각각의 트래픽에 대한 발생 환경은 다음과 같다. 음성소스는 ON-OFF 모델을 따르며 버스트 구간과 침묵 구간에 대해 각각 지수 분포로 발생시켰고, 비디오 소스는 Birth-Death 모델을 따르며 포아송 분포로 셀을 발생시켰다. 시뮬레이션은 SunOS 4.1.3 워크스테이션에서 사건 중심(Event-oriented) 혹은 프로세스 중심(Process-oriented) 방식의 시뮬레이션 언어인 SLAM II[1]를 사용하여 관측, 비교하였다. 여기서 성능 비교 대상은 ATM망의 특성을 고려하여 셀 손실률과 지연 지터 그리고 τ 를 기준으로 보았다.

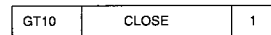
4.1 트래픽 발생 장치

(그림 13)은 ON-OFF 트래픽을 모델링하기 위한 파라미터(=변수)설정을 나타내는 것이다. (그림 14)는 GATE 블록으로 셀을 발생하는 ON구간에는 GATE를 열고, 셀이 발생하지 않는 OFF구간에는 GATE를 닫는 기능을 하는 명령어로 셀 발생에 해당하는 SLAM

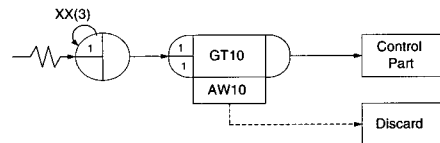
구조도는 (그림 15)와 같다.



(그림 13) ON-OFF 모델
(Fig. 13) ON-OFF model

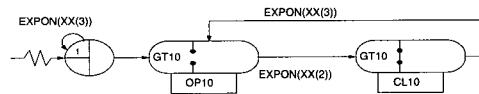


(그림 14) GATE 심볼
(Fig. 14) Gate symbol

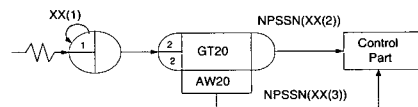


(그림 15) T_{cell} 발생기 SLAM II 네트워크 모델
(Fig. 15) SLAM II network model of T_{cell} generator

(그림 16)은 ON-OFF모델, 즉 음성 트래픽을 발생시키는 SLAM의 구조도이다. 비디오 트래픽도 이와 유사한 구조도에서 발생된다. 단지 파라미터의 값들이 다르다. 그리고 이 두 트래픽 모델을 통합한 2상태 MMPP모델의 SLAM 구조도는 (그림 17)과 같다. 앞서 설명한 모델과 다른 점은 기본적으로는 전송속도 V₁으로 전송을 하며 셀이 많아지면 V₂로 전송함으로써 2상태 MMPP를 구현하였다. (그림 17)에 나오는 NPSSN()은 포아송 분포를 발생시키는 SLAM에서 지원하는 함수이다.

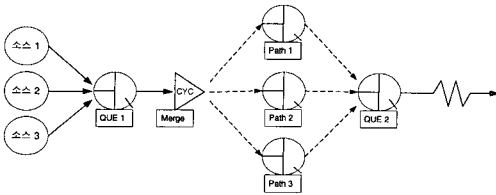


(그림 16) T_{ON}과 T_{OFF}의 SLAM II 네트워크 모델
(Fig. 16) SLAM II network model of T_{ON} & T_{OFF}

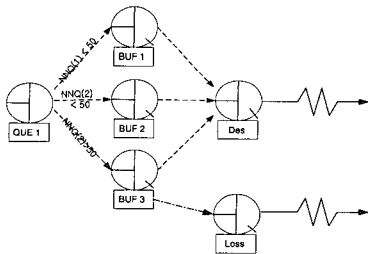


(그림 17) 2 상태 MMPP 모델
(Fig. 17) 2 State MMPP model

각 경로들은 같은 시간의 전송 시간이 걸리는 것으로 가정하였다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 같은 hop을 가지는 경로들 사이에서 다중 경로 라우팅 기법의 장점을 설명하는 것이기 때문이다. (그림 18)에서 Merge의 CYC는 Cyclic을 의미하는 것으로서 앞서 기술한 바와 같이 단순 Round-Robin 방식을 모의한 것이다.



(그림 18) 다중 경로의 SLAM II 네트워크 모델
(Fig. 18) SLAM II network model of multi-path

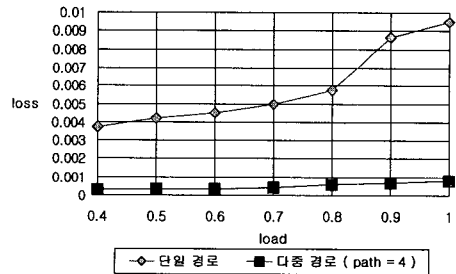


(그림 19) 다중버퍼의 SLAM II 네트워크 모델
(Fig. 19) SLAM II network model of multi-buffer

NNQ()는 큐(=버퍼)에 남아 있는 객체의 수를 알아내는 SLAM에서 지원하는 함수이며 다중버퍼의 시뮬레이션은 이 함수를 통해 각 버퍼의 상태를 근거로 처리된다. Trap에 의한 방법은 큐에서의 지연, 셀을 정렬하는데 걸리는 시간을 간단한 C 프로그램으로 측정하여 이 시간을 큐 노드를 통해 다시 시뮬레이션에 반영시켰다.

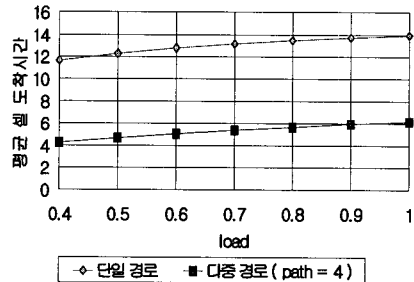
(그림 20)과 (그림 21)은 단일 경로 라우팅 기법과 다중 경로 라우팅 기법의 성능 비교이다. (그림 20)은 경로가 4개인 다중 경로 라우팅 기법과 단일 경로 라우팅 기법의 셀 손실율을 비교한 것이다. 이 그래프에서 볼 수 있듯이 매우 큰 차이를 보인다. 이것은 앞서 설명한 다중 경로 라우팅 기법의 장점인 burstiness가 감소하여 그 만큼 손실도 줄어들었기 때문이다. 물론 이 그래프에서 다중 경로 라우팅 기법은 각 경로의 load가 없다고 가정하였으므로 실제 각 경로의 load를 생각하면 이 그래프와 같이 큰 차이는 보이지 않을 것이다. 하지만 앞서 설명한 것과 같이 셀을 분배하는

분배기에서 각 경로의 load를 조사해서 load balancing을 한다면 이와 같은 좋은 결과를 보일 것이다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 이러한 분배 방식을 단순한 라운드-로빈으로 가정하였다. (그림 21)은 평균 셀 도착 시간을 나타낸 것으로 각 경로가 같은 전송 시간을 걸러 전송을 한다고 가정하였을 때의 성능 비교이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 여러 경로를 통해 셀들을 전송하는 다중 경로 라우팅 기법이 end-system에서 셀들을 재정렬해야 하는 단점에도 불구하고 매우 우수한 성능을 보였다. 이것은 기존의 연구결과에서 입증된 것처럼 같은 hop 수를 가지는 경로를 통과한 셀들을 재정렬하는데 소비되는 시간이 그다지 큰 성능의 저하를 주지 못하고 이러한 단점을 다중 경로 라우팅 기법이 충분히 극복할 수 있다는 것을 나타낸다고 하겠다.



(그림 20) 셀 손실율

(Fig. 20) Cell Loss Rate for Single-Path and Multi-Path Method

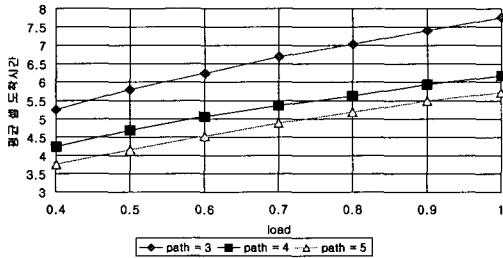


(그림 21) 평균 셀 도착시간

(Fig. 21) Mean Cell Arrival Time for Single-Path and Multi-Path Method

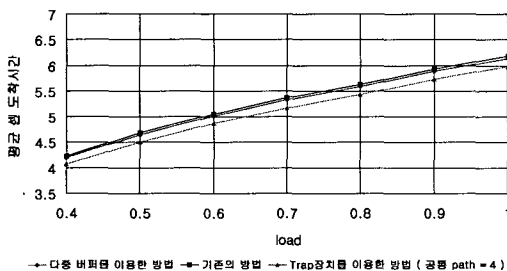
(그림 22)는 다중 경로 라우팅 기법에서 경로의 수가 증가함에 따라 성능의 변화를 나타낸 그래프이다. 경로가 3개, 4개, 5개일 경우의 성능으로써 평균 셀 도착시간이 경로의 수가 많아질수록 좋아진다는 것을 알 수 있다. 여기서도 각 경로에서 걸리는 시간은 동일하

다는 가정을 하였다. 이러한 것들이 실제 성능에는 영향을 미칠 것으로 생각된다.



(그림 22) 경로수 증가에 따른 평균 셀 도착시간
(Fig. 22) Mean Cell Arrival Rate as the number of Path increase

(그림 23)은 재정렬 지연을 감소시키는 방법으로 제안하였던 다중 버퍼를 이용한 방법과 Trap 장치를 이용한 방법을 기존의 방법과 비교한 그래프이다. 역시 경로가 4개일 경우로서 기존의 방법보다는 다중 버퍼가 우수한 성능을 보였고 다중 버퍼보다는 Trap 장치를 이용한 방법이 더 좋은 성능을 보였다. 다중 버퍼 방법은 버퍼의 추가와 간단한 제어기만 첨가하면 성능의 향상을 가져 올 수 있다는 장점이 있으나 버퍼의 추가에 따른 비용의 상승이라는 단점이 있으며 Trap 장치는 버퍼가 그다지 추가되지 않지만 제어부분이 복잡해짐에 따라 overload가 커진다는 단점이 있다. 그러나 VLSI 기술등의 발전으로 하드웨어가 고속화되어간다는 점에서 이러한 단점은 가까운 미래에는 그다지 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.



(그림 23) 평균 셀 도착시간
(Fig. 23) Mean Cell Arrival Time

5. 결 론

본 논문에서는 ATM 라우팅 기법으로써 다중 경로

를 이용한 기법의 성능을 향상시키는데 중점을 두었다. 다중 경로 라우팅 기법은 앞서 설명한 바와 같이 burstiness의 감소와 super rate 서비스라는 장점을 가지고 있으며, 여러 성능면에서 기존의 단일 경로 라우팅 기법에 비해 우수한 성능을 보였다. 본 논문에서는 이러한 장점들을 가지는 다중 경로 라우팅 기법에서 셀을 전송하는데 걸리는 시간을 간단한 수식으로 나타내었고, 이를 바탕으로 성능 향상이 가능한 부분을 크게 3가지로 나누어 설명하였으며, 각 부분에서 성능 향상을 위해 새로운 방법들을 제안하였고, 이러한 방법들을 시뮬레이션을 통해 성능 향상이 되었음을 보였다. 향후 과제로는 보다 향상된 성능을 얻기 위해서는 성능 향상에 영향을 미치는 요소, 버퍼의 크기와 같은 요소들 사이의 관계에 관한 연구가 필요하며, 앞서 설명한 부분 중 두 번째 요소인 셀 분배 방식에 대한 연구가 선행되어야 하겠다. 즉 현재의 노드에서 다음 노드의 load 상태를 파악해서 이에 입각한 분배, 즉 load balancing 기능이 있어야 하겠으며 이러한 셀 분배의 결정도 보다 빠른 시간 안에 행해져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Bonomi, J.Meyer, Montagna, R.Paglinoi, Minimal ON/OFF Source Models for ATM Traffic, Proc. Teletraffic Science and Engineering '94, pp.387-400.
- [2] Ram Krishnan, John A. Silvester, The Effective of Multipath Routing on the Loss Performance of Multiplexed ON-OFF Sources, Proc. Teletraffic Science and Engineering '94, pp.941-950.
- [3] R. Krishnan and J.A. Silvester. Choice of Allocation Granularity in Multipath Source Routing Schem, In Proc. of IEEE INFOCOM '93, pp.322-329, April 1993.
- [4] N.T. Plotkin and P.P.Varaiya, Performance Analysis of Parallel ATM Connections for Gigabit Speed Applications, In Proc. of IEEE INFOCOM '93, pp.1186-1193, April 1993.
- [5] TAK-SHING P.YUM,TIN-YEE NGAI, Resequencing of Messages in Communication Networks, IEEE TRANSACTIONS ON COMMU-

NICATIONS, Vol.COM-34, No.2, pp.143-149, February 1986.

[6] H.Heffes and D.M.Lucantoni, "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance," IEEE JSAC, Vol.4, No.6, pp.856-868, Sep., 1986.

[7] ATM Forum Technical Committee, Traffic Management Specification Version 4.0, af-tm-0056.000, April 1996.

[8] A.Alan,C.Elliot Signal and R.D.Jack Hammesfah, SLAM II;Network models for Decision support, Prentice-Hall Inc., 1989.

[9] H.Suzuki, T.Murase, S.Sato, T.Takeuchi, "A Burst Traffic Control Strategy for ATM Network." IEEE GLOBECOM 1990, pp.874-878.

[10] Basil. Maglaris, Dimiris Anastassion, Prodip and john D. Robbins, "Performance Model of Statistical Multiplexing in Packet Video Communication," IEEE Trans. on Commun., Vol.36, No.7, July 1988.

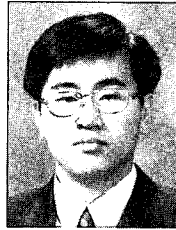
[11] 임주환, 성단근, 한치문, 김영선 공저, "ATM 교환", 홍릉과학출판사, 1996.

[12] 이동호, "ATM 멀티플렉서의 통합 서비스에 대한 트래픽 제어에 관한 연구", 94 통신학술 연구과제 결과 보고서, 통신 학술 연구 지원국, 1994.

[13] 최석규, 이동호 "ATM 트래픽 특성에 따른 통합동적 우선순위 기법에 관한 연구", 한국통신학회 논문지 제21권, 제6호, 1996, pp.1470-1479.

[14] Micha Schwartz, "Broadband Integrated Networks," Prentice Hall PTR, 1996.

[15] 고장혁, 이동호, "피드백 스킴을 이용한 동적 이중셰이핑 기법에 관한 연구", 한국통신학회논문지 제23권, 제11호, 1998.



고 장 혁

e-mail : jhkauh@sunam.kreonet.nm.kr
 1996년 광운대학교 전자계산학과 졸업(학사)
 1998년 광운대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
 1998년 3월~1998년 12월 국방정보체계연구소 지휘체계연구부 연구원

1999년 1월~현재 국방과학연구소 제5연구개발본부 연구원
 관심분야 : 컴퓨터통신, 고속통신망, ATM 트래픽 제어, ATM 라우팅, 시뮬레이션 등



이 동 호

e-mail : dhlee@cs.kwangwoon.ac.kr
 1979년 서울대학교 전자공학 학사
 1983년 서울대학교 컴퓨터공학 석사
 1984년 9월~현재 광운대학교 전자계산학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 구조, 운영체제론, 컴퓨터 네트워크