

論文99-36S-9-5

ATM 망에서 CT 서비스를 위한 개선된 동적 버퍼 할당 방식

(An Improved Dynamic Buffer Allocation Scheme for Controlled Transfer Service in ATM Networks)

金炳喆*, 金東호**, 趙有濟*, 權栗***

(Byung-Chul Kim, Dong-Ho Kim, You-Ze Cho, and Yul Kwon)

요 약

최근 ITU-T에서는 고속 데이터 응용을 위해 새로운 ATC (ATM Transfer Capability)로 크레딧 기반의 흐름 제어를 사용하는 CT (Controlled Transfer) 서비스가 고려되고 있다. 본 논문에서는 크레딧 기반 흐름 제어에서 단점으로 지적되는 버퍼 요구량을 줄이기 위해 적용되고 있는 동적 버퍼 할당 방식들의 성능을 분석하고, 새로운 동적 버퍼 할당 방식을 제안하였다. 그리고, 시뮬레이션을 통하여 기존의 대표적인 동적 버퍼 할당 방식인 FCVC (Flow Controlled Virtual Channels)의 동적 할당 방식과 ZQFC (Zero Queueing Flow Control) 방식 및 제안된 방식의 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 동적 버퍼 할당 방식은 망의 부하 정도에 따라 할당 버퍼량의 증감량을 조절하여 빠르게 망 상황의 변화에 대처하여 VC들 사이의 대역폭 사용의 공정성, 스위치의 큐 길이 및 링크 이용 효율면에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

Abstract

Controlled transfer (CT) service has been recently proposed as a new ATM transfer capability for high-speed data applications, which uses a credit-based flow control. This paper investigates buffer allocation schemes for CT service and proposes an improved dynamic buffer allocation scheme. In order to improve the responsiveness to a congestion, the proposed method is considered the load factor of a link when determining the amounts of virtual connection (VC)s buffer allocation. Also, in this paper we compare the performance of the proposed method with those of the existing buffer allocation methods such as flow controlled virtual channels (FCVC) and zero queueing flow control (ZQFC) through simulations. Simulation results show that the proposed scheme exhibits a better performance than the existing schemes in terms of throughput, fairness, queue length and link utilization.

I. 서 론

현재 ITU-T에서는 ATM 계층 전달 능력 (ATM

layer Transfer Capability: ATC)을 DBR (Deterministic Bit Rate), SBR (Statistical Bit Rate), ABR (Available Bit Rate) 및 ABT (ATM Block Transfer)로 분류하고 있다^[1]. 그리고, 새로운 ATC로 UBR (Unspecified Bit Rate), GFR (Guaranteed Frame Rate), 및 CT(Controlled Transfer)가 제안되어 논의되고 있다^[2]. 이 중에서 고속 데이터 응용을 위한 방식으로 고려되고 있는 CT 서비스는 이전에 ABR 서비스에서 고려되었던 크레딧 기반의 흐름 제어를 사용하는 서비스 방식이다.

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University)

** 正會員, 韓國電子通信研究院
(ETRI)

接受日字: 1999年3月22日, 수정완료일: 1999年7月24日

ATM 포럼에서 ABR 서비스를 위한 흐름 제어 방식

으로 크래딧 기반 방식을 지지하였던 그룹들은 QFC (Quantum Flow Control) 연합을 구성하고 ATM 포럼의 표준화와는 별도로 ABR 서비스를 지원하기 위한 크래딧 기반의 흐름 제어의 규격을 제정하였다^[3]. 이후에 QFC 연합은 QFC 규격을 ITU-T에서 새로운 ATC인 CDT (Controlled Dynamic Transfer) 서비스로 제안하였다^[4]. 그리고 이와는 별도로 Budriski 등에 의해 크래딧 기반의 흐름 제어를 사용하는 CCT (Controlled Cell Transfer) 서비스도 ITU-T에 제안되었다^[5]. CDT와 CCT는 ITU-T에서 별개의 서비스 방식으로 논의되던 중에 CT 라는 단일안으로 현재 통합되어 제안되고 있다^[6].

CT 서비스는 크래딧 기반의 흐름 제어를 사용함으로써 망에서 발생하는 폭주로 인한 셀 손실을 방지할 수 있는 서비스를 제공한다. 그러나, 크래딧 기반의 흐름 제어를 사용함으로써 VC 단위의 큐잉이 필요할 뿐 아니라 링크 효율의 향상을 위해서 각 VC 단위로 할당되어야 할 버퍼의 크기가 링크 대역폭과 거리에 따라 커지는 단점이 있다. 따라서, 이러한 문제점을 개선하여 망 상황에 따라 동적으로 VC에 할당되는 버퍼량을 조정하여 버퍼 요구량을 줄이기 위한 동적 버퍼 할당 방식들이 제안되고 있다^[7-10]. 그러나 제안되고 있는 동적 버퍼 할당 방식들은 망 상황에 따라 각기 수율의 저하, VC간의 공평성 저하 등의 문제점이 발생할 수 있다^[11].

본 논문에서는 우선 CT 서비스의 흐름 제어 방식 및 고정 할당 방식에서 필요한 버퍼 요구량을 살펴 보고, 다음으로 기존에 제안된 동적 버퍼 할당 방식들의 특징을 분석한다. 그리고 각 VC의 출력 링크의 부하 지수를 계산하고 이를 이용하여 버퍼 할당량을 조정함으로써 빠르게 변화하는 망 상황을 반영하는 새로운 동적 버퍼 할당 방식을 제안한다. 마지막으로 버퍼 할당 방식에 따른 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 CT 서비스의 흐름 제어 방식 및 스위치에서의 버퍼 요구량을 살펴 본다. 그리고 III장에서는 기존 크래딧 기반 흐름 제어에서 사용되고 있는 동적 버퍼 할당 방식들을 살펴 보고, CT 서비스에서 적용 가능하며 기존 방식의 성능을 개선한 방식을 제안한다. IV장에서 사용된 시뮬레이션 환경을 설명하고, 시뮬레이션 결과로 나타난 송신원의 전송률, 수신원에서 수신한 셀 수, 각 송신원 전송물

의 공평성을 비교하기 위한 공평성 지수 (fairness index)^[11], 스위치의 큐 길이, 링크의 이용 효율 등의 관점에서 고정 버퍼 할당 방식과 동적 버퍼 할당 방식들의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺는다.

II. CT 서비스의 흐름 제어 개요

CT 서비스는 홉 단위로 셀의 전송을 제어하는 크래딧 기반의 흐름 제어를 사용한다. CT 서비스의 흐름 제어에서 송신 노드는 피드백을 통하여 수신 노드에 셀을 저장할 버퍼가 있다는 통지를 받아야만 셀을 전송할 수 있다. 그리고 수신 노드는 다음 단으로 셀을 전송하고 BSU (Buffer State Update) RM 셀을 이용하여 송신 노드로 사용 가능한 버퍼 상태를 주기적으로 알려준다. 송신 노드에서는 링크 상에서의 오류로 발생하는 셀 손실에 의한 흐름 제어의 오류를 막기 위하여 주기적으로 데이터 셀 사이에 BSC (Buffer State Check) RM 셀을 삽입하여 전송한다. 이상의 흐름 제어 과정을 개략적으로 나타내면 그림 1과 같은 형태를 가진다.

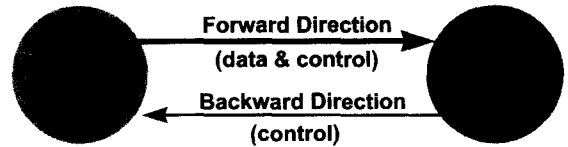


그림 1. CT 서비스의 흐름 제어 개요
Fig. 1. Flow control concept of the CT service.

CT 서비스의 흐름 제어는 크게 VP 레벨의 흐름 제어와 VC 레벨의 확장 흐름 제어로 나뉘어 진다. 현재 VP 레벨 흐름 제어를 기본적으로 사용하고 VC 레벨 확장 흐름 제어는 선택적으로 사용하도록 하고 있다. VC 레벨 확장 흐름 제어까지 적용할 경우에 송신 노드에서는 아래의 두 식이 만족하는 경우에만 셀 전송이 이루어지도록 하여 폭주로 인한 수신 노드에서의 셀 손실을 방지할 수 있다.

$$(Tx_Counter[VPI] - BSU_Fwd_Count[VPI]) \leq Limit_{vp}[VPI] \quad (1)$$

$$(Tx_Counter[VCI] - BSU_Fwd_Count[VCI]) \leq Limit_{vc}[VCI] \quad (2)$$

위 식에서 $Tx_Counter$ 는 송신 노드의 VP/VC 별 전송 셀 수의 카운터이고, BSU_Fwd_Count 는 가장 최근에 수신한 BSU RM 셀에 포함된 수신 노드에서 각 VP/VC 가 다음 단으로 전송할 셀 수를 저장하는 변수이다. 그리고 $Limit_{vp}$ 와 $Limit_{vc}$ 는 VP/VC 별로 할당된 초기 크레딧 값으로 수신 노드에서 수신하였으나 아직 다음 단으로 전송하지 않은 셀의 수와 링크 상에 전송 중인 셀 수의 합인 상한 값이 되며, 수신 노드에서 VP/VC 단위로 할당되어야 할 버퍼 크기이다. 이는 VC 의 연결 설정이나 전송 중에 BSL(Buffer State Limit) RM 셀을 전송하여 송수신 노드 간에 협상할 수 있다.

$Limit_{vc}$ 를 VC 레벨의 흐름 제어에서 송신 노드가 BSU RM셀을 수신하여 수신 노드의 전송 상태를 갱신하지 않고 전송할 수 있는 최대 데이터 셀 수를 나타내는 송신 노드의 초기 크레딧 값이라고 할 때 송신 노드의 전송률은 다음과 같이 제한된다. 즉, 송신 노드에서 셀 전송 시작 이후에 최소한 $RTT + (N2_{vc} \cdot N4)/BW$ 시간이 지나서야 BSU RM셀을 수신할 수 있으므로 송신 노드의 평균 전송률 R 은 다음 식과 같이 제한된다. 이때, $N2_{vc}$ 와 $N4$ 는 BSU RM 셀의 전송 주기를 결정하는 파라미터이고, RTT (Round Trip Time)는 링크의 왕복 전파 지연 시간이며, BW 는 링크의 대역폭이다.

$$R = \left(\frac{Limit_{vc}}{RTT + (N2_{vc} \cdot N4)/BW}, BW \right) \quad (3)$$

따라서, 충분한 크기의 버퍼를 할당해 주지 않을 경우 링크의 가용 대역폭을 충분히 활용하지 못하여 링크 이용 효율의 저하가 발생할 수 있으므로 링크의 대역폭을 최대한 활용할 수 있도록 고정 할당 방식의 경우에 $Limit_{vc}$ 는 다음과 같이 설정되어야 한다.

$$Limit_{vc} \geq BW \cdot RTT + N2_{vc} \cdot N4 \quad (4)$$

그리고 수신 노드에서도 셀 손실을 막기 위해 $Limit_{vc}$ 만큼의 버퍼가 할당되어야 한다. 따라서, 스위치에서 각 포트 당 필요한 버퍼의 양 B_{max} 는 VC 의 수 N_{vc} 에 비례하여 다음 식과 같이 나타나게 되며, 링크의 길이가 길고 지원하여야 될 VC 수가 크게 증가하는

WAN 환경에서는 버퍼 요구량이 상당히 증가하게 된다.

$$B_{max} = N_{vc} \cdot Limit_{vc} \quad (5)$$

CT 서비스에서는 VP 레벨 흐름 제어와 VC 레벨 확장 흐름 제어를 동시에 사용하여 버퍼 사용의 통계적 다중화를 이용함으로써, 기존 크레딧 기반 흐름 제어방식의 문제점으로 지적된 스위치에서의 과도한 버퍼 요구량을 줄이면서 폭주로 인한 셀 손실을 막을 수 있다. 즉, VP 에 할당되는 버퍼 크기인 $Limit_{vp}$ 를 동일한 버퍼 영역을 공유하는 VC 들의 $Limit_{vc}$ 의 합보다 작게 설정함으로써 비활성 VC 가 사용하지 않는 버퍼 공간을 효율적으로 재사용할 수 있다. 그리고, 동시에 많은 VC 가 활성 상태에 있을 경우에 발생할 수 있는 셀 손실은 VP 레벨의 흐름 제어를 사용하여 방지할 수 있다. 이때, 많은 VC 들이 같은 버퍼 영역을 공유하여 사용하고 트래픽이 매우 버스티한 경우에 버퍼 사용의 효율성을 더욱 높일 수 있다. 따라서, $Limit_{vp}$ 는 다음 식과 같이 설정할 수 있는데, A_i 는 각 VC 의 활성화 빈도를 나타내는 상수이다.

$$\sum_{i=1}^{N_{vc}} A_i \cdot Limit_{vc} \leq Limit_{vp} \leq N_{vc} \cdot Limit_{vc} \quad (6)$$

식 (6)에 나타난 것과 같이 트래픽이 매우 버스티하여 VC 의 활성화 정도가 작을 경우에 $Limit_{vp}$ 를 작게 설정하여 작은 버퍼 양으로 효율적인 흐름 제어를 수행할 수 있다. 그러나, $Limit_{vp}$ 를 작게 설정하여 VP 의 가용 버퍼가 RTT 에 해당하는 셀 수 이하로 줄어들 경우에 경우에 링크 효율의 저하와 함께 VC 들 사이의 대역폭 사용에 공평성 저하가 발생할 수 있다^[10].

III. CT 서비스의 흐름 제어를 위한 동적 버퍼 할당 방식

CT 서비스의 흐름 제어에서 스위치의 전체 버퍼 요구량을 줄이고 VP 에 할당되는 버퍼의 크기가 작을 경우에 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해서 VC 에 할당되는 버퍼 크기를 망 상황에 따라 동적으로 조정하는 동적 버퍼 할당 방식을 사용할 수 있다. 본 장에서는 크레딧 기반 흐름 제어에 적용되고 있는 기존의 대표적인 동적 버퍼 할당 방식과 이를 CT 서비스의

흐름 제어에 적용할 경우의 적용 방안에 대해서 살펴 본다. 그리고, 기존 방식들에서 나타날 수 있는 문제점을 분석하고 개선 방안을 제안한다.

1. FCVC의 동적 버퍼 할당 방식

Kung 등에 의해 제안되어 ATM 포럼에서 크래딧 기반 ABR 서비스의 흐름 제어 방식으로 논의되던 FCVC(Flow Controlled Virtual Channels) 방식에서는 정적으로 각 VC에 버퍼를 할당할 경우에 발생하는 버퍼 크기의 증가를 해결하기 위해 다음과 같은 동적 버퍼 할당 방안을 제안하였다^[7-9]. FCVC에 포함된 동적 버퍼 할당 방식의 기본적인 개념은 현재 전송률이 높은 VC에 많은 버퍼를 할당한다는 것이다. 즉, 크래딧 기반 흐름 제어에서 각 VC의 대역폭은 버퍼 할당량에 따라 식 (3)과 같이 제한을 받게 되므로, 현재 전송할 데이터가 많은 VC의 경우에 많은 버퍼를 할당하여 대역폭을 많이 할당하고, 전송할 데이터가 적은 VC의 경우에는 그에 따라서 할당된 버퍼량을 줄여 전체적인 버퍼 요구량을 줄일 수 있도록 하였다.

구체적인 버퍼의 동적 할당 방식을 살펴 보면 다음과 같다. 수신 노드에서는 식 (7)과 (8)에 나타난 것과 같이 링크의 매 RTT 시간마다 각 VC의 상대적 대역폭 사용량에 따라 버퍼 할당량 Buf_Alloc 과 RM 셀의 전송 주기인 $N2$ 값을 다음 식과 같이 계산하여 갱신한다.

$$Buf_Alloc = \left(\frac{M}{2} - TQ - N \right) \cdot \frac{VU}{TU} \quad (7)$$

$$N2 = Buf_Alloc / 4 \quad (8)$$

이때, 상대적 대역폭 사용량은 각 VC가 다음 노드로 전송한 셀 수인 VU 와 동일 버퍼 영역을 사용하는 VC들이 다음 노드로 전송한 셀 수인 TU 의 비를 계산함으로써 구한다. 그리고, 식 (7)과 (8)에서 M 은 할당된 전체 버퍼량이고, TQ 는 각 VC의 큐 길이의 합을 나타내며, N 은 VC의 수를 나타낸다.

한편 FCVC에서는 VP 레벨의 흐름 제어를 고려하지 않고 있기 때문에 셀 손실을 막기 위해 필요한 버퍼 요구량이 다른 동적 버퍼 할당 방식에 비해 크게 나타나게 된다. 따라서, 전체 버퍼량 M 과 현재 버퍼 점유량 TQ 가 다음 식을 만족하지 않을 경우에는 VC

의 평균 전송률이 fair share에 수렴하지 않는 문제점이 발생한다^[9].

$$M \geq 4 * RTT + 2 * N \quad (9)$$

$$TQ < 2 * RTT / 3 \quad (10)$$

FCVC의 동적 버퍼 할당 방식을 CT 서비스의 버퍼 할당 방식에 적용할 경우에 각 VC에 버퍼 할당량 $Limit_{vc}$ 를 식 (7)과 같이 설정하고, 할당된 전체 버퍼량 M 은 $Limit_{vp}$ 로 설정하여 사용하면 된다.

2. ZQFC 방식

ZQFC (Zero Queueing Flow Control) 방식은 Kung 등이 이전에 자신이 제안한 FCVC에 적용되었던 동적 버퍼 할당 방식의 단점을 개선하여 QFC에 적용할 수 있도록 최근에 제안한 방식이다^[10]. ZQFC를 이용할 경우에 정상 상태에서 수신 노드의 큐 길이는 거의 0으로 유지할 수 있다. 이에 따라 큐 길이의 증가로 나타날 수 있는 수율과 링크 이용 효율의 감소를 막을 수 있다.

QFC는 크래딧 기반의 흐름 제어를 수행하는데, 이때 VC 단위의 흐름 제어와 동일 버퍼 영역을 사용하는 VC들을 그룹으로 묶은 그룹 단위의 흐름 제어를 동시에 수행한다. 그룹 단위의 흐름 제어를 사용함으로써 전체 버퍼 요구량이 식 (9)와 같이 제한되지 않고도 셀 손실을 방지하면서 효율적으로 수신 노드의 버퍼 영역을 사용할 수 있지만, 각 VC가 필요한 버퍼 영역이 부족할 경우에는 VC들 사이의 대역폭 사용의 공평성이 저하될 수 있다. 그리고, 수신 노드의 그룹 단위로 할당되는 버퍼에서 가용 버퍼량이 RTT 와 대역폭의 곱만큼 남아있지 않을 경우에 모든 VC가 하부 링크에서 병목 현상으로 대역폭이 제한된 VC와 같은 양만큼의 셀을 전송하여 링크의 가용 대역폭을 모두 사용할 수 없는 Hot-Spot 문제가 발생하여 링크 이용 효율의 저하가 발생한다^[10]. 따라서, ZQFC는 Hot-spot 문제를 해결하기 위해서 정상 상태에서 큐 길이를 거의 0으로 유지시키도록 버퍼 할당량을 조절하여 가용 버퍼가 충분히 남도록 한다. ZQFC의 버퍼 할당량 조절은 주기적으로 버퍼 상태를 검사하여 다음과 같이 수행되며, 이에 대한 간단한 의사 코드는 그림 2에 나타난 것과 같다.

1. 공유 버퍼의 가용 버퍼량 B_{free} 가 RTT 와 대역폭의 곱 이하로 줄어들면 VC 의 큐 길이가 임계치 Q_H 를 초과한 VC 의 할당 버퍼량을 줄인다.
2. 어떤 VC 의 큐 길이가 감소하여 고갈되거나 미리 정한 임계치 Q_L 이하로 떨어지면 해당 VC 의 할당 버퍼량을 최대 RTT 와 링크 대역폭의 곱까지 증가시킨다.

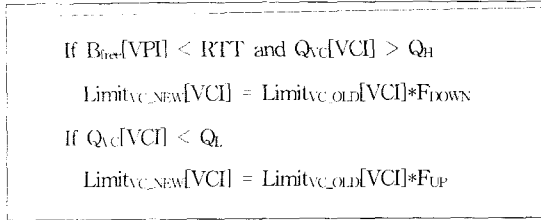


그림 2. ZQFC 알고리즘의 버퍼 할당량 조정 과정
 Fig. 2. Buffer allocation procedure of the ZQFC algorithm.

앞에서 설명된 버퍼 할당은 수신 노드측에서 링크 RTT 의 주기로 각 VC 의 큐 길이를 검사하여 수행하고 송신 노드 측으로 BSL RM 셀을 전달함으로써 이루어진다. 그리고, 버퍼 할당량의 증가 시에는 기존 할당량에 1.01을 곱하여 증가시키고, 감소 시에는 0.5에서 1사이의 값을 곱하여 감소시키도록 하고 있다. 그리고, 버퍼 할당량 조정에 사용되는 버퍼의 임계치 Q_H 와 Q_L 은 각각 20셀과 5셀 정도로 두고 있다.

ZQFC 방식을 CT 서비스의 버퍼 할당 방식에 적용할 경우에 각 VC 에 버퍼 할당량 $Limit_{VC}$ 를 앞에서 설명된 방식과 같이 버퍼 수위에 따라 조정하고, 그룹 단위의 전체 버퍼량은 $Limit_{VP}$ 로 설정하면 된다.

3. 제안된 동적 버퍼 할당 방식

1) 기존 동적 버퍼 할당 방식의 문제점

우선 FCVC에 적용된 동적 버퍼 할당 방식에서 나타날 수 있는 문제점은 다음과 같다. FCVC 방식은 각 VC 에 할당되는 버퍼량을 VC 의 대역폭 사용량에 비례하여 할당하는 방식이므로 전송률이 낮거나 idle한 VC 가 전송률을 증가시키고자 할 경우에 신속하게 ramp-up이 이루어지지 못하고 RTT 의 몇배에 해당하는 시간이 소요되는 문제점이 있다. 그리고, 전체 버퍼 영역의 크기에 관한 조건인 식 (9)와 식 (10)이 만족되지 않을 경우에는 VC 의 대역폭이 fair share에 접근

하지 않을 수 있으며, 버퍼 할당 과정에서 VC 대역폭 사용의 공평성 저하가 발생할 수 있다. 그리고, ZQFC가 제안되면서 지적된 Hot-Spot 문제가 발생할 수 있다. 다음으로 ZQFC 방식의 경우에 큐 길이를 이용하여 버퍼 할당량을 계산하기 때문에 각 VC 의 사용 대역폭을 측정하여야 하는 FCVC 방식에 비해 구현이 용이하다. 그리고, idle한 VC 의 경우 큐 길이가 0이 되어 큰 버퍼 크기를 할당받아 전송률을 빠르게 증가시킬 수 있으며, Hot-Spot 문제를 해결할 수 있는 등 FCVC 방식에서 발생할 수 있는 문제점을 대부분 해결할 수 있다. 그러나, ZQFC 방식에서는 VC 에 할당된 버퍼량을 증감시킬 때 버퍼 상태만을 보고 버퍼의 증감 여부를 결정하고 기존 할당량에 고정된 값을 곱하여 증감시키기 때문에 신속하게 망 상황에 대처하지 못하여 성능의 저하가 발생할 수 있다. 즉, VC 간의 링크 길이의 차이가 아주 커지는 WAN 환경에서는 망 상황의 변동에 대해 반응 시간이 길어져서 큐 길이의 증가가 매우 크게 발생하고 이로 인하여 성능의 저하가 발생할 수 있다.

2) 부하 지수 기반의 동적 버퍼 할당 방식 제안

우선 ZQFC에서 지적된 바와 같이 평형 상태에서 큐 길이의 증가가 크게 나타날 경우에 Hot-Spot 문제가 발생하기 때문에 이를 방지하여야 한다. 그러나, ZQFC 방식의 경우 ABR 서비스의 이전 피드백 스위치와 유사하게 버퍼 할당량의 증감 여부만을 결정하고 망의 폭주 정도에 관계없이 미리 설정된 파라미터에 따라 증감량이 결정되므로, 링크의 길이가 아주 긴 WAN 환경에서는 망 상황 변동에 대해 반응 속도가 느리고 이에 따라 성능의 저하가 발생할 수 있다. 따라서, 제안된 동적 버퍼 할당 방식에서는 큐 길이를 작게 유지하면서 망 상황의 변화에 빠르게 대응하도록 하기 위해 단순히 버퍼 할당량을 일정량 증가나 감소시키도록 결정하지 않고 망 상황을 반영하여 명시적으로 버퍼 할당량을 결정한다. 이를 위해 각 VC 의 출력 링크의 부하 정도를 반영하는 부하 지수 (load factor)를 주기적으로 계산하고 이를 반영하여 각 VC 에 할당되는 버퍼량을 이전 할당 버퍼량에서 나누어 부하 정도에 따라 증감 시킴으로써 망 상황의 변동에 신속하게 대처하도록 하였다. 제안된 버퍼 할당 방식의 구체적인 의사코드와 순서도는 그림 3과 그림 4에 나타난 것과 같다.

부하 지수는 주기적으로 출력 링크 단위로 이상적인 경우 CT 서비스가 전송할 수 있는 셀 수와 입력 받은

```

/* At each measure interval (calculation of load factor) */
/* LF[Output Port] : load factor calculated in this interval */
/* MLF[Output Port] : mean load factor */
/* α : weighted averaging factor */
LF[Output Link] = Total_CT_Cell_Rate[Output Port] / Available_Bandwidth[Output Port];
MLF[Output Link] = (1-α)*MLF[Output Port] + α*LF[Output Port];

/* At each update interval (dynamic buffer allocation) */
/* B_free[VPI] : free buffer space of VP */
/* Q_vc[VCI] : queue length of VC */
/* β : reduction factor */
Limit_vc_NEW[VCI] = Limit_vc_OLD[VCI]/MLF[Output Port];
If ((B_free[VPI] < RTT*BW) and (Q_vc[VCI] > Q_H))
    Limit_vc_NEW[VCI] = Limit_vc_OLD[VCI]*β;
Send BSL_RM Cell to Source Node;
    
```

그림 3. 제안된 동적 버퍼 할당 알고리즘의 의사 코드
 Fig. 3. Pseudo code of the proposed dynamic buffer allocation algorithm.

CT 서비스 셀 수를 측정하여 가용 대역폭과 실제 입력된 CT 셀 전송률의 비로 계산하였다. 따라서, 출력 링크가 과부하 상태가 되면 부하 지수는 1 이상의 값을 가지게 되고, 기존 버퍼 할당량에 부하 지수를 나누게 되면 버퍼 할당량을 망의 부하 정도에 따라 감소하게 된다. 이와 같이 버퍼 할당량을 감소시키면 식 (3)에서 나타난 버퍼 할당량과 평균 전송률의 관계에 의해 송신 노드쪽의 전송률을 줄이는 역할을 하게 되어 부하 지수가 다시 떨어지게 된다. 그리고, 부하 지수가 1 이하이면 이에 의해 계산된 버퍼 할당량은 증가하게 되고 결국 송신 노드의 전송률을 증가시키게 된다. 따라서, 부하 지수를 이용하여 송신 노드 쪽의 평균 전송률을 fair share가 되도록 조정함으로써 평형 상태에서 부하 지수는 1로 수렴시킨다.

크래딩 기반 흐름 제어의 경우 셀 전송 가능 유무에 따라 전송률이 최대 셀률과 0 사이에서 변동하게 되므로 버스티한 특성으로 인하여 부하 지수가 평형 상태에서도 순간적으로 크게 변동할 수 있으므로, 부하 지수는 지수 가중 평균치 (exponential weighted average) 를 계산하여 적용함으로써 평형 상태에서 변동을 최소화하였다. 의사 코드에서 α는 현재 구간에서 계산된 부하 지수 LF를 평균 값 MLF에 얼마나 반영시킬 것인가를 결정하는 파라미터로 0과 1 사이의 값으로 설

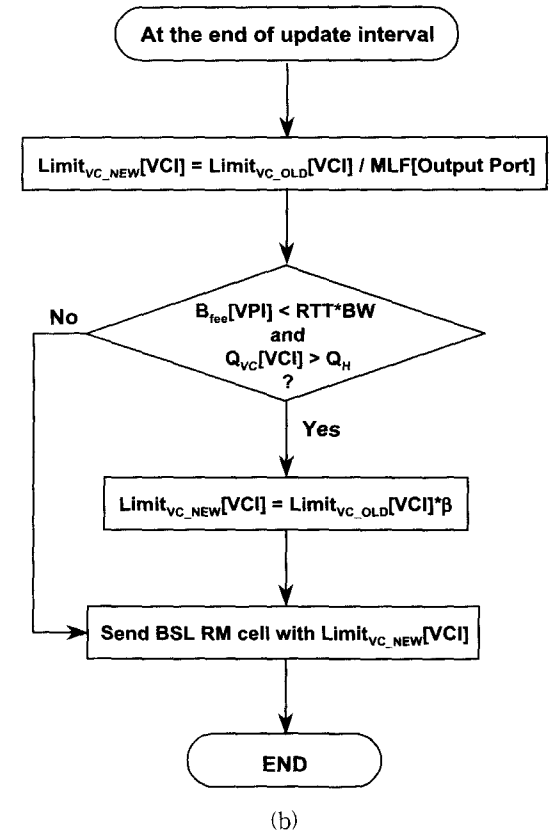
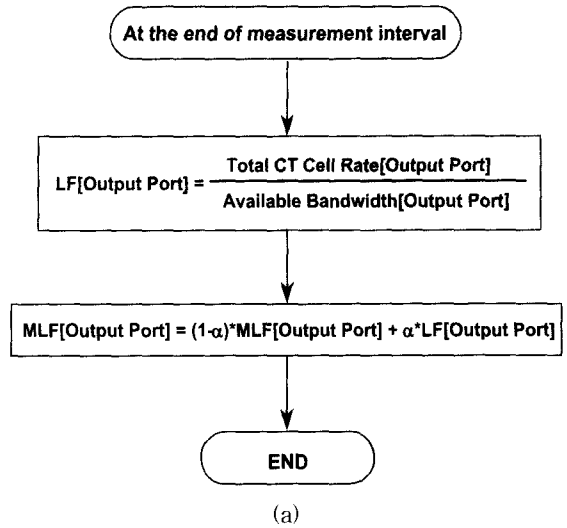


그림 4. 제안된 동적 버퍼 할당 알고리즘의 순서도
 (a) 부하지수의 계산
 (b) 부하지수를 이용한 버퍼 할당량 조정

Fig. 4. Flow chart of the proposed dynamic buffer allocation algorithm.
 (a) Calculation of the load factor.
 (b) Buffer allocation using the load factor.

정할 수 있는데 시뮬레이션 시에 0.25로 설정하였다. α 를 크게 설정할 경우에 현재의 측정 구간에서 측정된 부하 지수를 더욱 많이 반영하게 되어 망 상황의 변화 시에 보다 빠른 응답 속도를 보일 수 있으나 평형 상태에서 할당 버퍼량의 변화가 크게 나타나므로 평균 전송률의 진동이 크게 날 수 있다. 이에 반해 α 를 작게 설정하면 평형 상태에서 할당 버퍼량의 변화는 줄어들어 평균 전송률의 진동은 줄어들으나 망 상황의 변화에 보다 빨리 대응할 수 없게 된다.

그리고 부하 지수를 이용하여 버퍼 할당량을 조정할 이후에도 급격한 망 상황의 변동으로 인하여 큐 길이가 미리 설정한 임계치 이상으로 증가하여 Hot-Spot 문제가 발생할 수 있는 상황이 일어난 경우에는 추가적으로 일정량을 감소시켜 빠르게 큐 길이가 감소되도록 하였다. 의사 코드에서 β 는 Hot-Spot 문제가 발생할 가능성이 있을 경우 급격하게 버퍼 할당량을 감소시키기 위해 사용되는 파라미터로 시뮬레이션 시에 0.8로 설정하였다. β 를 크게 설정할 경우 Hot-Spot 문제를 보다 빠르게 해결할 수 있으나 너무 크게 설정할 경우에 진동으로 인하여 평형 상태에 들어가는 데 걸리는 시간이 증가할 수 있다. 반면 β 를 작게 설정할 경우에는 Hot-Spot 문제를 해결하는데 걸리는 시간이 길어질 수 있다.

IV. 시뮬레이션을 통한 성능 분석

본 장에서는 기존 동적 버퍼 할당 방식들과 문제점을 개선한 제안된 방식의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 우선 시뮬레이션에 사용된 망 환경을 설명하고, 각 VC간의 수율 및 공평성, 스위치의 큐 길이, 링크 이용 효율 등의 관점에서 성능을 분석한다.

1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 동적 버퍼 할당 방식의 성능을 분석하

표 1. 시뮬레이션에 사용된 CT 파라미터
Table 1. CT parameter values used in simulation.

N_4	N_{2VC}	N_{2VP}	Limit _{VC} for Static Allocation Scheme	Limit _{VP}
7	3	15	50 cells(1km) 3600 cells(1000km)	4000cells

기 위해 시뮬레이션에 사용된 망 모델은 그림 5에 나타난 것과 같다. 시뮬레이션에 사용된 모델에서 송수신원과 스위치 사이의 거리는 1km로 구성하였고, 각 스위치 사이의 거리는 WAN 환경을 고려하여 1000 km로 구성하였다. 그리고 링크의 전송 속도는 150 Mbps로 설정하였고 링크의 전파 지연 시간은 1km 당 5 μ sec로 가정하였다. 송신원은 크레딧을 가지면 언제나 전송할 셀을 가지는 infinite greedy source로 가정하였다.

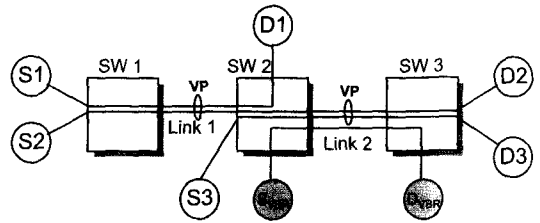


그림 5. 시뮬레이션 모델
Fig. 5. Simulation model.

ON/OFF VBR 트래픽을 background로 사용하여 링크의 대역폭이 동적으로 변화하는 상황에서의 성능을 분석하였다. 이때 사용된 ON/OFF 트래픽은 시뮬레이션 기간 동안 ON/OFF 기간을 각각 100msec하고 ON 기간 동안의 전송률은 100Mbps가 되도록 하였다. 그리고 CT의 흐름 제어에 사용되는 파라미터는 표 1과 같이 설정하였다. 이때 VP에 할당되는 버퍼 크기는 4000셀로 설정하여 전체 버퍼 크기가 작게 할당될 경우에 발생할 수 있는 문제점을 분석할 수 있도록 하였다.

동적 버퍼 할당 방식이 적용되는 주기는 각 링크의 RTT 시간마다 수행되도록 하였으며, ZQFC 방식에서 버퍼 할당량의 증감량을 결정하는 인자는 1.01과 0.8로 설정하였다. 그리고 제안된 방식에서 부하 지수의 지수 가중 평균치를 구하기 위해 사용되는 파라미터 α 는 0.25로 설정하였으며, Hot-Spot 문제가 발생할 수 있는 상황에서 급격하게 버퍼 할당량을 줄이기 위해 사용되는 파라미터 β 는 0.8로 설정하였다. 그리고 부하 지수를 계산하기 위한 측정 구간은 100 셀이 입력되는 시간으로 결정하였다.

성능 분석을 위해서 수신원에서 수신한 셀 수, 송신원의 평균 전송률 궤적, 공평성 지수, 스위치의 큐 길이, 링크 이용 효율 등을 비교하였다. 성능 분석에 사용된 송신원의 전송률 궤적은 그림 6에 나타난 바와 같은 특성을 지니며, 송신원 사이의 대역폭 사용의 공평

성 및 효율성을 동시에 살펴 볼 수 있다^[12]. 성능 분석을 위해서 사용된 시뮬레이션 망 모델에서 송신원 2의 전송률 Rate 2와 송신원 3의 전송률 Rate 3는 가용 대역폭을 공평하게 나누어 가져야 하므로, 공평한 대역 할당이 이루어질 경우에 두 송신원은 같은 전송률로 전송하게 되어 전송률의 궤적은 Fairness Line을 따라 움직이게 된다. 따라서, Rate 2과 Rate 3가 같은 크기로 증감될 경우에 Fairness Line과 평행하게 이동하게 된다. 그리고, 두 송신원이 망 자원을 최대한 이용하여 효율적으로 사용할 경우에는 두 송신원의 전송률의 합이 가용 대역폭이 되는 Efficiency Line을 따라 움직이게 된다. 따라서, 두 송신원이 가용 대역폭을 완전히 이용하면서 공평하게 대역폭을 사용할 경우에 Fairness Line과 Efficiency Line의 교차점에 송신원 전송률의 궤적이 나타나게 된다.

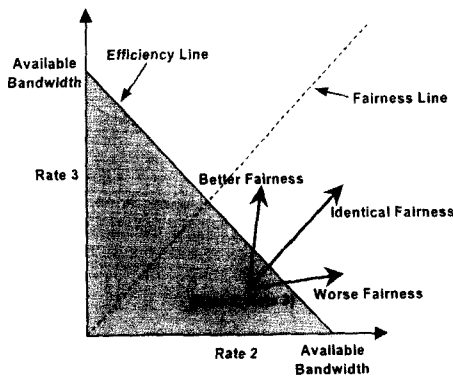


그림 6. 송신원 전송률의 궤적
Fig. 6. Trajectory of the source transmission rate.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 절에서는 시뮬레이션을 통해서 CT 흐름 제어를 위한 버퍼 할당 방식으로 고정 할당 방식, FCVC 방식, ZQFC 방식 및 제안된 방식의 성능을 비교 분석한다.

1) 송신원의 전송률 궤적 및 수신원에서 수신한 셀 수

그림 7에서는 시뮬레이션 시에 같은 대역폭을 사용 하여야 하는 VC2와 VC3의 송신원 평균 전송률의 궤적을 나타낸 것이다. 고정 할당 방식의 경우 서로 다른 거리의 링크를 경유하는 VC 사이에 공평성의 저하가 발생하고 있음을 볼 수 있다. FCVC 방식의 경우에는 스위치 2의 VP 버퍼가 충분히 할당되지 않은 상황이므로 VC2의 전송률이 fair share에 접근하지 못하여 공평성 면에서의 저하가 약간 발생하며, 효율성

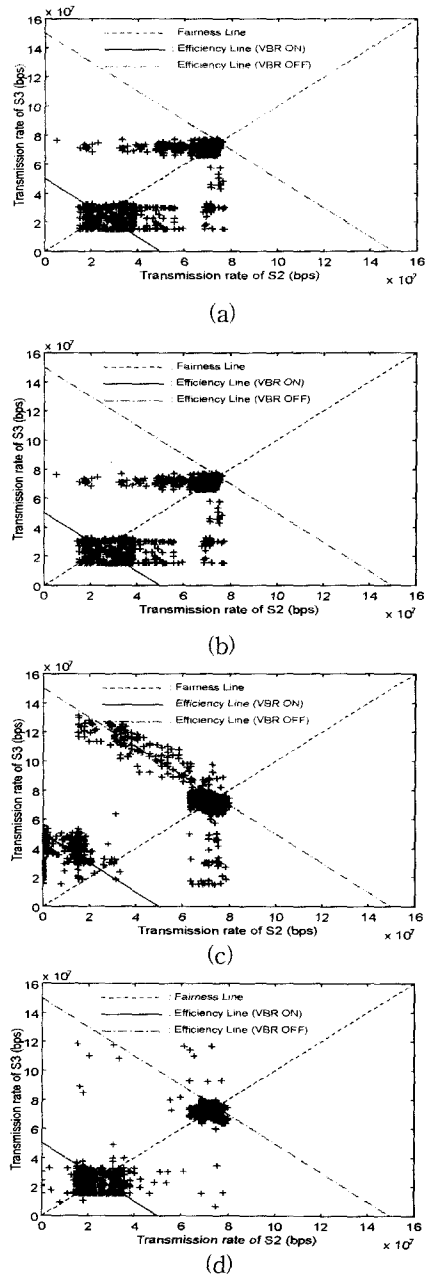


그림 7. 송신원 평균 전송률의 궤적 비교
(a) 고정 할당 방식
(b) FCVC 방식
(c) ZQFC 방식
(d) 제안된 방식

Fig. 7. Comparison of the source transmission rate trajectories.

- (a) static allocation scheme.
- (b) FCVC scheme.
- (c) ZQFC scheme.
- (d) Proposed scheme.

면에서 크게 저하되어 링크 2의 이용 효율의 저하가 발생할 것을 예상할 수 있다. 그리고 ZQFC 방식의 경우에는 VBR 트래픽이 OFF인 상태에서 VC2에 할당 버퍼량의 증가 속도가 VC3에 비해 늦어지게 되어 공평성 면에서 성능의 저하가 발생함을 볼 수 있다. 제안된 개선 방안을 사용한 경우에는 VC2와 VC3 사이의 공평성과 효율성은 부하 지수를 이용하여 빠르게 망 상황을 반영하여 조정되므로 다른 방식들에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 8에서는 버퍼 할당 방식에 따라 수신원에서 수신한 셀 수의 변화를 비교하였다. 이상적으로 동작하는 경우 시뮬레이션이 끝나는 0.5초에 VC2와 VC3의 수신원 이 수신한 셀 수는 53,000셀 정도가 되어야 하고, VC1의 수신원이 수신한 셀 수는 120,000셀 정도가 되어야 한다.

우선 고정 할당 방식을 사용한 경우에는 스위치 2의 버퍼에 링크 RTT와 링크 대역폭의 곱만큼의 가용 버퍼가 남아 있지 않기 때문에 VC1은 남아 있는 가용 대역폭을 이용하지 못하고 링크 2에서 전송률이 제한되는 VC2와 같은 평균 전송률로 전송률이 결정되어 수율의 저하되는 Hot-Spot 문제가 발생한다. 따라서, 시뮬레이션 결과에서 모든 VC의 수신원에서 수신한 셀 수가 동일하게 나타남을 볼 수 있다.

FCVC의 동적 버퍼 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서는 스위치 2의 VP 버퍼가 식 (9)와 식(10)을 만족할 만큼 확보되어 있지 않기 때문에 모든 VC의 전송률이 fair share로 수렴하지 못하여 전체적인 수율이 감소됨을 확인할 수 있다. 그리고 FCVC 방식을 사용한 경우에 링크의 거리가 긴 VC2가 VC3에 비해 낮은 수율을 보여 VC들 간에 공평성 저하가 발생함을 알 수 있다.

ZQFC 방식의 결과에서는 평형 상태인 경우 스위치에서 작은 큐 길이를 유지하여 Hot-Spot 문제의 영향을 크게 받지 않아 높은 수율을 보임을 알 수 있다. 그러나, VC2와 VC3 사이에 공평성의 저하가 아주 심하게 나타남을 볼 수 있다. 이는 버퍼 할당량의 증가 시에 폭주 정도에 무관하게 일정한 값 만큼을 증가시키기 때문에 망 상황을 반영한 조정까지의 시간이 길어지며, 링크의 거리가 긴 VC2의 경우 더 많은 시간이 소요되기 때문이다. 다음으로, 명시적으로 버퍼 할당량을 결정하여 망 상황의 변동에 빠르게 대처할 수 있도록 한 제안된 방식의 경우에 높은 수율을 보이면서

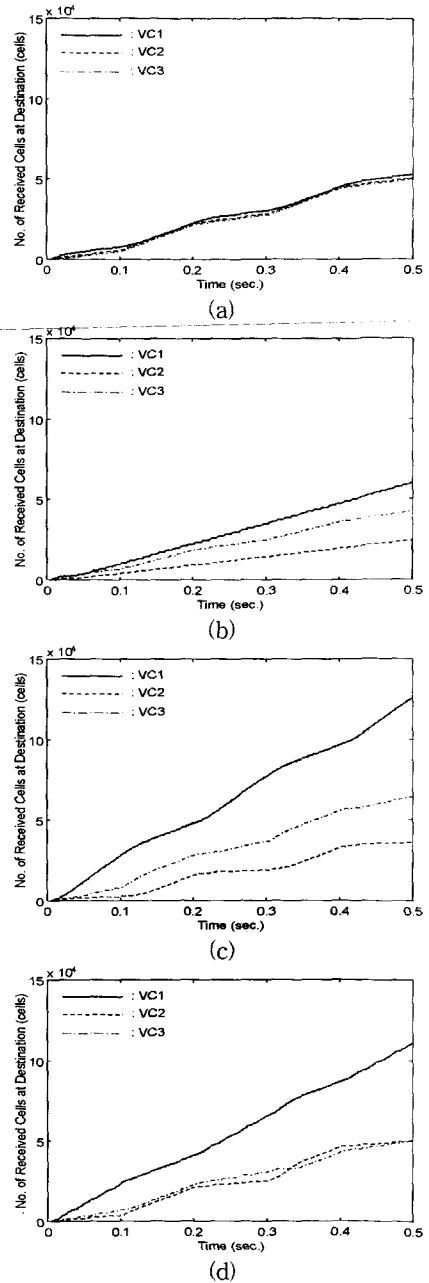


그림 8. 수신원에서 수신한 셀 수의 변화 비교
(a) 고정 할당 방식
(b) FCVC 방식
(c) ZQFC 방식
(d) 제안된 방식

Fig. 8. Comparison of the number of the received cells at the destinations.
(a) static allocation scheme.
(b) FCVC scheme.
(c) ZQFC scheme.
(d) Proposed scheme.

도 VC들간의 공평성을 크게 개선하여 이상적인 경우의 결과와 거의 일치한다.

표 2에서는 VC들 간의 대역 사용의 공평성을 비교하기 위하여 공평성 지수를 나타내었다. 표에서 고정 할당 방식, FCVC 방식 및 ZQFC 방식의 경우에 전체적으로 공평성의 저하가 나타남을 알 수 있다. 이에 비해 제안된 방식의 경우 공평성 지수면에서 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 2. 공평성 지수의 비교
Table 2. Comparison of the fairness indexes.

고정 할당 방식	FCVC 방식	ZQFC 방식	제안된 방식
0.9268	0.9780	0.8731	0.9955

2) 스위치의 큐 길이

그림 9에서는 시뮬레이션 망 환경에서 폭주 스위치가 될 수 있는 스위치 2의 큐 길이를 나타내었다. 이때 VP1은 스위치 1에서 스위치 2로 전송되는 VC1과 VC2의 큐 길이의 합이고, VP2는 송신원에서 스위치 2로 전송되는 VC3의 큐 길이이다. 고정 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서 링크의 거리가 긴 VP1의 큐 길이가 초기에 할당된 $Limit_{VC}$ 이하의 큐 길이를 유지하지만 동적 할당 방식을 사용한 경우들에 비해 크게 유지됨을 알 수 있다. 따라서, 고정 할당 방식을 사용할 경우에 Hop-Spot 문제의 영향을 가장 크게 받아 링크 1의 이용 효율이 크게 떨어질 것을 예상할 수 있다. 동적 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서는 정상 상태의 큐 길이가 작게 유지됨을 확인할 수 있다. 그러나, FCVC 방식의 경우에는 식 (9)를 만족할 만큼의 VP 버퍼가 할당되어 있지 않기 때문에 각 VC는 전송률을 fair share까지 증가시키지 못하여 큐 길이가 작게 유지된다.

3) 링크 이용 효율

그림 10과 표 3에서는 시뮬레이션 기간 동안의 링크 이용 효율의 변화와 평균 링크 이용 효율을 나타내었다. 우선 고정 할당 방식의 경우에 VBR 트래픽이 ON 상태가 될 때 Hot-Spot 문제가 발생하여 VC1이 가용 대역폭을 제대로 이용하지 못하기 때문에 링크 1의 링크 이용 효율이 크게 저하됨을 확인할 수 있다. FCVC 방식의 경우에는 VP에 할당되어야 할 버퍼가 충분하지

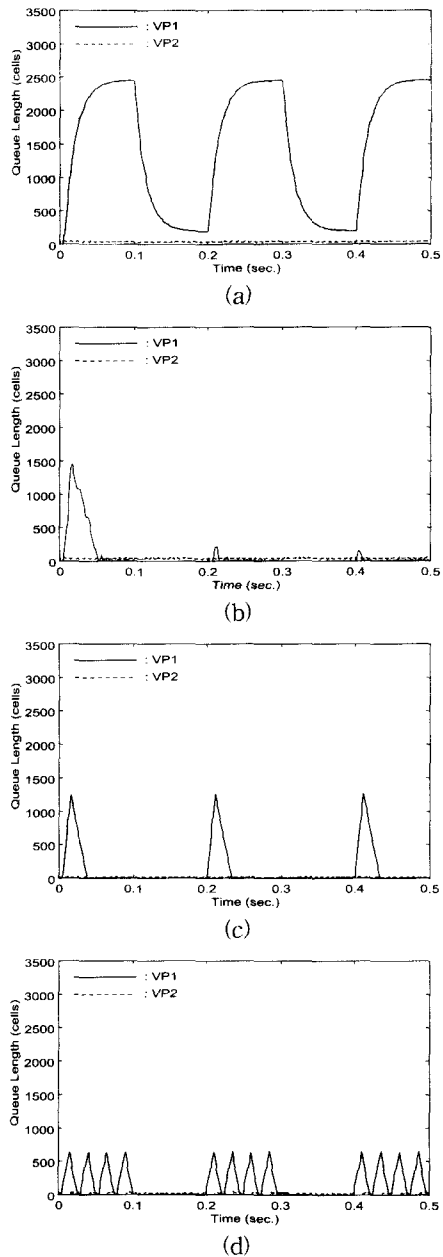
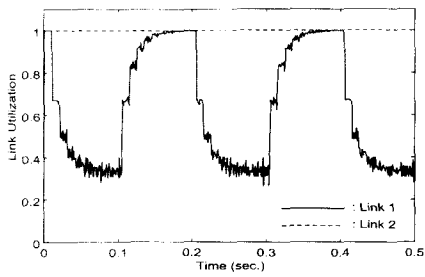


그림 9. 스위치 2의 큐 길이 변화 비교

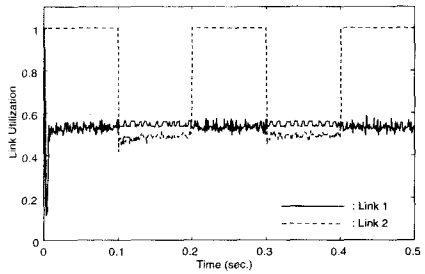
- (a) 고정 할당 방식
- (b) FCVC 방식
- (c) ZQFC 방식
- (d) 제안된 방식

Fig. 9. Comparison of the queue length variations of the switch 2.

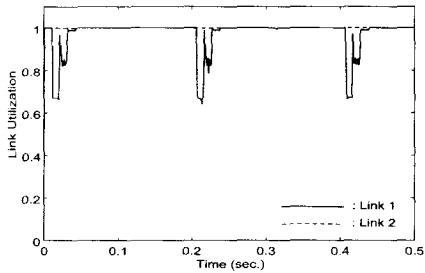
- (a) static allocation scheme.
- (b) FCVC scheme.
- (c) ZQFC scheme.
- (d) Proposed scheme.



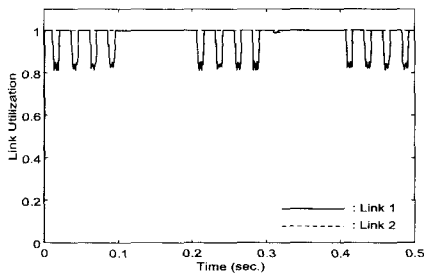
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. 링크 이용 효율의 변화 비교

- (a) 고정 할당 방식
- (b) FCVC 방식
- (c) ZQFC 방식
- (d) 제안된 방식

Fig. 10. Comparison of the link utilization variations.

- (a) static allocation scheme.
- (b) FCVC scheme.
- (c) ZQFC scheme.
- (d) Proposed scheme.

못하여 각 VC 가 fair share까지 평균 전송률을 증가시키지 못하여 링크 이용 효율의 저하가 크게 나타남을 알 수 있다. 마지막으로, ZQFC 방식과 제안된 방식의 경우에는 Hot-Spot 문제를 해결하면서, FCVC에서 나타날 수 있는 셀 손실을 방지하기 위한 요구 버퍼량의 제약으로 인한 전송률 제한이 없기 때문에 링크 이용 효율 면에서 아주 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 3. 평균 링크 이용 효율의 비교

Table 3. Comparison of the average link utilization

	고정 할당 방식	FCVC 방식	ZQFC 방식	제안된 방식
Link 1	0.6023	0.5340	0.9891	0.9840
Link 2	0.9980	0.7934	0.9958	0.9979

V. 결 론

본 논문에서는 크레딧 기반의 흐름 제어를 사용하는 CT 서비스에서 필요한 버퍼 요구량을 분석하고, 이를 줄이기 위해서 적용될 수 있는 기존의 동적 버퍼 할당 방식인 FCVC 방식과 ZQFC 방식을 살펴 보았다. 그리고, 부하 지수를 이용하여 망의 부하 정도에 따라 명시적으로 버퍼 할당량을 조절함으로써 Hot-Spot 문제로 인한 수율 및 공평성의 저하를 개선할 수 있는 방안을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 이들 방식간의 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과 스위치에서 VP 레벨의 버퍼가 충분히 할당되지 않았을 경우에 고정 할당 방식만을 이용하면 Hot-Spot 문제가 발생하여 수율의 저하가 발생함을 알 수 있었다. 그리고, FCVC 방식의 경우에는 충분한 VP 버퍼가 할당되지 않는다면 VC의 평균 전송률이 fair share로 접근하지 못하여 수율의 저하가 발생함을 알 수 있었다. ZQFC 방식의 경우에는 아주 작은 VP 버퍼만으로도 정상 상태에서 큐 길이를 작게 유지하여 Hot-Spot 문제를 해결할 수 있었으나, 서로 다른 거리를 가진 VC들 사이에 공평성이 크게 저하됨을 알 수 있었다. 마지막으로, 제안된 방식의 경우에 부하 지수를 이용하여 망 상황을 반영한 빠른 버퍼 할당량의 조정이 이루어져 전체적인 수율, 링크 이용 효율, VC들간의 공평성 면에서 가장 우수한 성능을 보임을

알 수 있었다.

앞으로 보다 다양한 환경 하에서 제안된 방식의 성능에 영향을 줄 수 있는 파라미터의 값의 변화에 따른 성능 분석이 이루어져야 할 것이다. 그리고 상위 계층으로 TCP 등을 사용한 경우 CT 서비스 및 동적 버퍼 할당에 따른 성능에 대한 연구도 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T Recommendation I.371, *Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN*, May 1996.
- [2] ITU-T I.371 Living List, *ITU-T COM13-Q8 Working document*, Sep. 1997.
- [3] Quantum Flow Control Alliance, *Quantum Flow Control Specification version 2.0.5*, Mar. 1997.
- [4] Ascom, "Updates to I.371 Living List Item 11 on Controlled Dynamic Transfer," *ITU-T COM13-Q8 Working document*, Feb. 1997.
- [5] Z. L. Budrikis, "Proposal of Controlled Cell Transfer Capability," *ITU-T COM13-Q8 Working document*, Nov. 1995.
- [6] Ascom, "I.371 Living List Item 11 on Controlled Transfer Capability," *ITU-T COM13-Q8 Working document*, Sep. 1997.
- [7] H. T. Kung, T. Blackwell, and A. Chapman, "Credit-Based Flow Control for ATM Networks: Credit Update Protocol, Adaptive Credit Allocation, and Statistical Multiplexing," *Proc. of the ACM SIGCOMM'94*, pp. 101-114, Sep. 1994.
- [8] H. T. Kung and K. Chang, "Receiver-Oriented Adaptive Buffer Allocation in Credit-Based Flow Control for ATM Networks," *Proc. of the INFOCOM'95*, pp. 239-252, Apr. 1995.
- [9] H. T. Kung and R. Morris, "Credit-Based Flow Control for ATM Networks," *IEEE Network Magazine*, Vol. 9, No. 2, pp. 40-48, Mar./Apr. 1995.
- [10] H. T. Kung and S. Y. Wang, "Zero Queueing Flow Control and Applications," *Proc. of the INFOCOM'98*, Apr. 1998.
- [11] R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and Survey," *ATM Forum/95-0177*, Jan. 1995.
- [12] D. M. Chiu and R. Jain, "Analysis of the Increase and Decrease Algorithm for Congestion Avoidance in Computer Networks," *Computer Networks and ISDN Systems* 17, pp. 1-14, 1989.

저 자 소 개



金炳喆(正會員)

1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료. 주 관심분야는 ATM 트래픽 제어,

차세대 인터넷 통신



金東号(正會員)

1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1999년 7월~현재 한국전자통신연구원 네트

워크장비시험센터 선임연구원. 주 관심분야는 B-ISDN/ATM, 이동통신망, 인터넷



趙有濟(正會員)

1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1989년 3월~현재 경북대

학교 전자전기공학부 부교수. 1992년 8월~1994년 1월 Univ. of Toronto 객원교수. 주관심분야는 ATM 트래픽 제어, 차세대 이동통신망, 멀티미디어 통신

權栗(正會員)

1978년 2월 서강대학교 전자공학과 졸업(학사). 1983년 2월 부산대학교 전자공학과 졸업(박사). 1978년 3월 ~ 1982년 2월 국방과학연구소 1983년 3월~1988년 8월 동의공업전문대학 1993년 5월~현재 한국전자통신연구원. 주관심분야는 ATM, 신경회로망 전자공학회논문지 제32권 제1호 B편 참조