

ABR 흐름 제어를 위한 효율적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘

정회원 김병철*, 김동호**, 조유제*

An Efficient Explicit Rate Feedback Switch Algorithm for the ABR Flow Control

Byung-Chul Kim*, Dong-Ho Kim**, You-Ze Cho* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 기존의 폭주 회피형 명시율 피드백 (Explicit Rate feedback) 스위치 알고리즘의 단점을 개선하여 버퍼의 수위와 변화율에 따라 동적으로 목표 이용률을 조정하여 링크 이용 효율을 향상시킨 효율적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘을 제안하였다. 그리고, 시뮬레이션을 통하여 기존의 대표적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘인 ERICA 스위치와 NIST 스위치의 성능을 분석하고, 제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘과 비교하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 ER 피드백 스위치는 동적인 목표 이용률의 조정을 통하여 가용 대역폭의 변화에 따라 빠른 전송률의 변화를 보였으며, 스위치의 최대 큐 길이를 줄여 버퍼 범람을 방지하면서도 매우 높은 링크 이용 효율을 보여 성능이 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient explicit rate (ER) feedback switch algorithm for available bit rate (ABR) flow control. In order to improve the disadvantages of existing ER feedback switch algorithms with congestion avoidance, the proposed scheme adjusts the target utilization dynamically according to the queue length and its growth rate. also, we investigate the performance of the proposed switch algorithm and compare it with ERICA and NIST switches using simulation. Simulation results show that the proposed switch algorithm can control the cell emission rate of a source rapidly according to variations of available link bandwidth by using dynamic adaptation of target utilization. It also exhibits a better performance than the existing ER feedback switches in terms of queue length and link utilization.

1. 서론

CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate)과 같은 대역폭 예약형 서비스가 사용하고 남는 링크의 가용 대역폭을 최대한 활용하여 고속 대

이타를 효율적으로 전송하기 위한 ABR (Available Bit Rate) 서비스에 대한 연구가 ATM 포럼을 중심으로 활발히 연구되고 있다^{1,2)}. ABR 서비스는 피드백에 의한 흐름 제어를 사용하여 최소 셀 전송률에 대한 보장만하고 망의 상태에 따라 최대 셀 전송률까지 동적으로 가용 대역폭을 활용하여 트래픽을

* 경북대학교 전자전기공학부(bckim@palgong.kyungpook.ac.kr, yzcho@ee.kyungpook.ac.kr)
 ** 한국전자통신연구원 네트워크장비시험센터(dhkim@netc.etri.re.kr)
 논문번호 : 98361-0608, 접수일자 : 1998년 6월 8일

전송하는 방식이므로 셀 손실을 줄이기 위해서는 피드백에 의한 흐름 제어가 필수적으로 요구된다.

ATM 망에서 ABR 서비스를 위한 전송률 기반의 흐름 제어 스위치는 크게 명시율 피드백 (Explicit Rate feedback) 스위치와 이진 피드백 (binary feedback) 스위치로 나눌 수 있다. 이진 피드백 스위치는 ATM 셀 헤더에 있는 EFCI (Explicit Forward Congestion Indication) 비트를 이용하여 망이 폭주인지 아닌지를 구분하는 두 가지의 상태만을 수신원에 알리게 된다. 수신원은 도착하는 데이터 셀의 EFCI 비트를 조사하여 해당 VC의 EFCI 상태를 테이블에 저장한 후, 해당 VC (Virtual Connection)의 순방향 RM (Resource Management) 셀을 수신하면 테이블의 상태에 따라 역방향 RM 셀의 CI (Congestion Indication) 비트를 이용하여 송신원에 폭주의 발생과 해제를 알리게 된다. 송신원에서는 전달되어온 폭주 상태의 유무에 대한 정보에 따라서만 전송률의 증감을 결정하게 된다. 이에 반해 명시율 피드백 스위치는 VC간의 공평한 몫인 fair share와 입력 부하의 정도에 따라 망에서 허용할 수 있는 전송률을 결정하여 이를 RM 셀의 ER (Explicit Rate) 필드에 실어 송신원에 알리고 송신원은 이 값을 이용하여 전송률을 조정하게 된다.

현재까지 ATM 포럼을 통하여 제안된 대표적인 ER 피드백 스위치의 예는 EPRCA (Enhanced Proportional Rate Control Algorithm) 스위치와 폭주 회피 방식을 사용하는 ERICA (Explicit Rate Indication for Congestion Avoidance) 스위치, CAPC (Congestion Avoidance using Proportional Control) 스위치, 미국 NIST 연구소에서 개발한 NIST 스위치 알고리즘 등이 있다³⁻⁶⁾. 폭주 회피 방식은 폭주를 미연에 방지하기 위해 평형 상태에서 스위치를 약간 저부하 상태로 제어하여 버퍼에 셀이 거의 쌓이지 않게 조절한다.

지금까지 제안된 대부분의 폭주 회피형 스위치들은 폭주 회피를 위해 목표 링크 이용률을 0.85 ~ 0.95 정도의 고정된 값으로 설정한다. 따라서, 평형 상태에서 버퍼에 셀이 거의 쌓이지 않기 때문에 VBR 트래픽의 순간적인 변화에 의해 발생하는 가용 대역폭을 채워 전송할 셀이 버퍼에 충분히 없으므로 본래의 목표 이용률 보다 링크 이용 효율이 저하되는 문제가 발생한다⁷⁾. 그리고 고정된 목표 이용률을 사용하면 망에 과도한 트래픽의 유입으로 급격하게 버퍼의 수위가 높아지는 경우에도 버퍼

수위를 신속하게 낮추지 못하여 셀 손실이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 입력되는 셀의 큐잉 지연을 고려하여 큐잉 지연이 일정하게 유지되도록 목표 이용률을 조정하는 ERICA+ 스위치 알고리즘이 제안되었다. 그러나, ERICA+ 스위치에서는 fair share의 계산 시에 VC 단위로 CCR (Current Cell Rate)을 기억하여야 하고 입력되는 셀의 큐잉 지연을 계산하는 등의 스위치 구현 복잡도가 증가하는 문제점이 발생한다⁷⁾.

본 논문에서는 버퍼 수위와 변화율에 따라 동적으로 목표 이용률을 조정하여 링크 이용 효율을 개선하고 셀 손실률을 감소시킬 수 있는 명시율 피드백 스위치 알고리즘을 제안한다. 이때 fair share의 계산은 송신원 전송률의 지수 가중 평균인 MACR (Mean Allowed Cell Rate)을 이용하여 구현상의 복잡성은 크게 증가시키지 않도록 하였다. 그리고 시뮬레이션을 통하여 기존의 명시율 피드백 스위치 알고리즘의 성능을 분석하고 제안된 스위치 알고리즘과 성능을 비교한다.

논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 기존에 제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘들의 동작을 살펴본다. 그리고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 명시율 피드백 스위치 알고리즘의 동작을 살펴본다. IV장에서 명시율 피드백 스위치 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위해 사용된 시뮬레이션 환경을 설명한다. V장에서는 시뮬레이션 결과로 나타난 송신원 전송률의 상한값인 ACR (Allowed Cell Rate)의 변화, 각 송신원 전송률의 공평성을 비교하기 위한 공평성 지수 (fairness index)⁸⁾, 스위치의 큐 길이, 링크의 이용 효율 등의 관점에서 기존의 명시율 피드백 스위치 알고리즘과 제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 명시율 피드백 스위치 알고리즘

명시율 피드백 스위치는 VC간의 공평한 몫인 fair share와 입력 부하의 정도에 따라 망에서 허용할 수 있는 전송률인 ER 값을 결정하여 역방향 RM 셀의 ER 필드에 실어 송신원에 알려준다. 명시율 피드백 스위치는 fair share와 이를 이용한 ER 값의 계산 알고리즘에 따라 다양하게 구현될 수 있다. ATM 포럼을 통하여 제안된 대표적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘으로는 EPRCA 스위치와 폭주 회피 방식을 사용하는 ERICA 스위치,

CAPC2 스위치, 미국 NIST 연구소에서 개발한 NIST 스위치 알고리즘 등이 있다.

EPRCA는 Roberts에 의해 1994년 9월 ATM 포럼에 소개된 전송률 기반 흐름제어 방법으로, 기존의 PRCA (Proportional Rate Control Algorithm) 방법에 fair share 계산을 통한 ER 개념을 처음 도입하여 VC간의 불공평성을 크게 개선한 방식이다^[3]. EPRCA 스위치에서는 RM 셀의 CCR 값을 사용한 지수 가중 평균 (exponential weighted averaging) 계산 방법을 이용하여 MACR를 구하고, 구해진 MACR를 이용하여 다음과 같이 fair share를 계산한다. 이때, MACR의 계산에 이용되는 CCR값은 스위치가 폭주 상태일 경우에는 현재의 MACR보다 작은 값만을 반영하여 MACR이 감소하도록 하고, 폭주 상태가 아닐 경우에는 MACR의 7/8보다 큰 CCR 값만을 MACR의 계산에 반영하여 MACR이 증가하도록 한다.

$$MACR = (1-AVF) \cdot MACR + AVF \cdot CCR \quad (1)$$

여기서 AVF (Averaging Factor)는 지수 가중 평균치를 위한 계수로서 1/16로 설정된다. 그리고, 큐 길이를 이용한 두 개의 임계치를 사용하여 경미한 폭주 상태와 심각한 폭주 상태를 판단하고, 상태에 따라 다른 값으로 역방향 RM셀의 ER값을 설정한다. 먼저 심각한 폭주 상태이면 모든 VC에 대하여 ER을 (1/4)*MACR 이하로 감소시키고, 경미한 폭주 상태이면 CCR이 MACR의 7/8보다 큰 VC에 대해서만 선택적으로 ER을 (15/16)*MACR 이하로 감소시킨다.

폭주 회피 방식은 폭주를 미연에 방지하기 위해 평형 상태에서 스위치를 약간 저부하 상태로 제어하여 버퍼에 셀이 거의 쌓이지 않게 조절한다. 이를 위해 목표 이용률을 1보다 약간 낮은 값으로 설정하고, 정해진 측정기간마다 실측을 통하여 실제 입력률과 가용 대역폭에 목표 이용률을 고려한 목표 전송률의 비인 부하 지수를 다음과 같이 계산하여 ER 값의 계산에 이용하는 방식이다.

$$Load\ Factor = \frac{Input\ Rate}{Target\ Cell\ Rate} \quad (2)$$

CAPC 스위치 알고리즘은 Hughes System의 Barnhart 등이 제안한 방법으로 계산된 부하 지수의 범위에 따라 fair share의 계산을 다르게 한다. 즉, 부하 지수가 1 이하인 저부하 상태일 경우에는 fair

share에 $min(ERU, 1+(1-z) \cdot Rup)$ 를 곱하여 증가시키고, 부하 지수가 1 이상인 과부하 상태일 경우에는 fair share에 $max(ERF, 1-(z-1) \cdot Rdn)$ 를 곱하여 감소시킨다. 여기서, z는 목표 전송률에 대한 실제 입력률의 비인 부하 지수를 나타낸다. 그리고, Rup는 fair share를 증가시킬 경우 부하 지수를 얼마나 반영할 것인가를 결정하는 변수로써 0.025에서 0.1사이의 값을 가지며, ERU는 fair share의 최대 증가치를 결정하는 값으로 1.5로 설정된다. 또한, Rdn은 fair share를 감소시킬 경우 부하 지수를 얼마나 반영할 것인가를 결정하는 변수로써 0.2에서 0.8사이의 값을 가지고, ERF는 fair share의 최소 감소량을 결정하는 값으로 0.5로 설정된다. CAPC 스위치 알고리즘은 이후에 MACR을 이용하여 빠른 폭주 해소를 가능하게 개선한 CAPC2 (Congestion Avoidance with Proportional Control Level 2) 스위치 알고리즘으로 발전되었다^[4].

NIST 스위치 알고리즘은 NIST의 Chang 등이 제안한 폭주 회피 기술을 사용하는 스위치 알고리즘이다^[5]. NIST 스위치 알고리즘에서는 EPRCA 스위치 알고리즘과 같이 계산된 MACR을 사용하여 ER 값을 계산하지만, 계산된 부하 지수가 1보다 작을 경우에 스위치를 저부하 상태로 판단하여 잉여 대역폭을 재 할당한다. 즉, 다음 식과 같이 MACR을 일정한 값만큼 증가시켜 링크 이용 효율을 개선시켰다. 여기서, MAIR (MACR Additive Increase Rate)은 가산 증가율로 0.5 Mbps로 설정된다.

$$MACR = MACR + MAIR \quad (3)$$

그리고, 큐 길이의 증감을 이용하여 빠르게 폭주 상황을 파악할 수 있는 조기 폭주 검출 방식을 사용하였다. 즉, 스위치의 큐 길이가 임계치 Q_T 를 넘고 변화율이 양이면 폭주 상태로 판단하고, 다음과 같이 ER 값을 결정한다.

$$ER = MACR \cdot MRF \quad (4)$$

여기서, MRF (Major Reduction Factor)는 폭주 시에 MACR을 감소시키는 데 사용되는 상수로서 일반적으로 0.95로 설정된다. 그리고, 스위치가 폭주 상태가 아닐 경우는 ER 값은 다음과 같이 설정된다.

$$ER = MACR \quad (5)$$

ERICA 스위치 알고리즘은 원래 OSU (Ohio State University)의 Jain 등에 의해 제안된 전송률 기반 흐름제어 방식의 하나인 OSU 스위치에서 발전한 폭주 회피형 스위치 알고리즘이다⁶⁾. ERICA 스위치 알고리즘은 순방향 RM 셀을 전송 받았을 때 VC 단위로 CCR 값을 저장하고, 부하 지수와 저장된 CCR 값을 이용하여 다음과 같이 부하에 근거한 ER 값을 다음과 같이 계산한다.

$$ER \text{ based on load} = ER1 = \frac{CCR}{Load \text{ Factor}} \quad (6)$$

그리고, VC들간의 공평성을 보장하기 위해서 다음과 같이 fair share를 계산하고, fair share와 스위치에 인가된 부하에 근거하여 계산된 ER을 함께 고려하여 ER 값을 계산한다.

$$Fair \text{ Share} = \frac{Target \text{ Cell Rate}}{N\text{umber of Active VCs}} \quad (7)$$

$$ER = \max(Fair \text{ Share}, ER1) \quad (8)$$

ERICA 스위치 알고리즘은 폭주의 회피성, 빠른 응답성, 파라미터 설정의 용이성 등의 특징을 만족하게 설계되었다. 이후 ERICA 스위치 알고리즘은 성능의 개선을 위하여 알고리즘이 대폭 수정되어 ERICA+ 알고리즘으로 제안되었다⁷⁾. 특히 폭주 회피 방식에서 문제점으로 지적되는 링크 이용 효율의 저하를 개선하기 위해 스위치에서 셀의 큐잉 지연을 계산하고 이를 일정하게 유지하기 위해 목표 이용률을 조정하는 알고리즘이 첨가되었다. 그리고, 이전까지 지적되던 RM 셀 내의 CCR 필드의 부정확성으로 나타날 수 있는 전송률 계산의 오류를 개선하기 위해 VC단위로 CCR을 측정하여 사용하도록 하였다. 또한, 망 상황의 변화에 너무 민감하게 전송률을 변화시키는 특성을 개선하기 위해 부하 지수 및 VC수의 지수 가중 평균 및 측정기간을 셀

수와 시간의 두 가지 방식을 병행하여 사용하는 등 기본적인 ERICA 알고리즘에서 11가지의 구현 사양이 추가되었다. 따라서, ERICA+ 알고리즘은 모든 구현 사양이 한꺼번에 구현되어 사용되기에는 구현상의 복잡성이 너무 크기 때문에 선택적으로 몇 가지 구현 사양만이 선택되어 사용될 것으로 보인다.

지금까지 살펴본 기존의 명시율 피드백 스위치 알고리즘을 CCR/MACR 사용 유무, 스위치에서의 망 상태의 판단 기준 및 부하 지수를 이용할 경우 목표 이용률의 선택 방법 등의 기준에 따라 정리하면 표 1과 같다. 우선 VC 단위로 전송률을 고려하기 위해 CCR을 사용하는 ERICA 스위치 알고리즘을 제외한 대부분의 스위치 알고리즘에서는 출력 포트 단위로 송신된 전송률의 평균값인 MACR을 계산하여 ER 값의 계산에 이용한다. 그리고, 망의 폭주 상황을 판단하기 위하여 EPRCA 스위치 알고리즘은 큐 길이만을 이용하고, 폭주 회피 스위치인 CAPC, NIST, ERICA 스위치 알고리즘들은 부하 지수를 이용한다. 또한 추가적으로 CAPC 스위치 알고리즘의 경우에는 큐 길이를 사용하며, NIST 스위치 알고리즘의 경우에는 큐 길이와 함께 큐 길이의 증가 추세도 반영한다. 폭주 회피 스위치들의 경우 부하 지수의 계산 시에 목표 이용률을 결정하여야 하는데 ERICA+ 스위치만이 스위치에서의 셀 큐잉 지연을 고려하여 목표 이용률을 동적으로 조정하고, 나머지 다른 스위치 알고리즘들은 링크의 길이에 따라 미리 정해진 정적인 값을 사용한다.

III. 제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘

본 논문에서는 스위치의 구현의 복잡성은 크게 증가시키지 않으면서도 버퍼 수위와 버퍼 수위의 변화율에 따라 동적으로 목표 이용률을 제어하여 링크 이용 효율을 개선하고, 셀 손실률을 감소시킬 수 있는 새로운 명시율 피드백 스위치 알고리즘을 제안한다. 제안된 ER 피드백 스위치 알고리즘은 그

표 1. 기존 명시율 피드백 스위치 알고리즘의 비교

	EPRCA	CAPC(CAPC2)	NIST	ERICA(ERICA+)
포트/VC단위의 고려 (MACR/CCR 사용 유무)	- 포트 단위 - MACR 사용	- 포트 단위 - MACR 사용	- 포트 단위 - MACR 사용	- VC 단위 - CCR 측정
폭주 상태 검출 방법	- 큐 길이	- 큐 길이 - 부하 지수	- 큐 길이와 증가율 - 부하 지수	- 부하 지수
부하 지수 계산 시 목표 이용률 설정		- 정적 설정	- 정적 설정	- 정적 설정 (동적 설정)

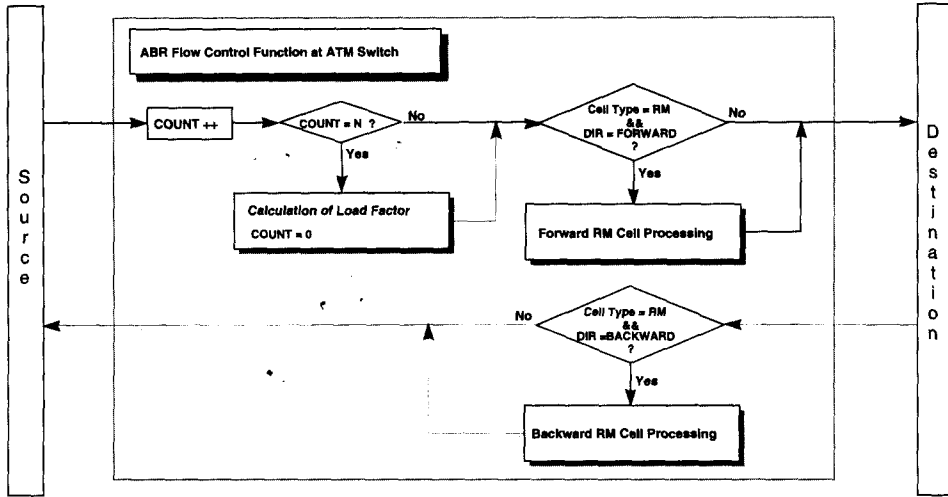


그림 1. 제안된 ER 스위치 알고리즘의 흐름도

림 1에 나타난 것과 같이 부하 지수의 계산, 순방향 RM 셀의 처리, 역방향 RM 셀의 처리의 세 부분으로 나눌 수 있다.

과 같이 버퍼 수위와 이에 대한 증감률을 반영하여 먼저 목표 이용률을 조정하고, 이를 이용하여 부하 지수 (load factor)를 계산한다.

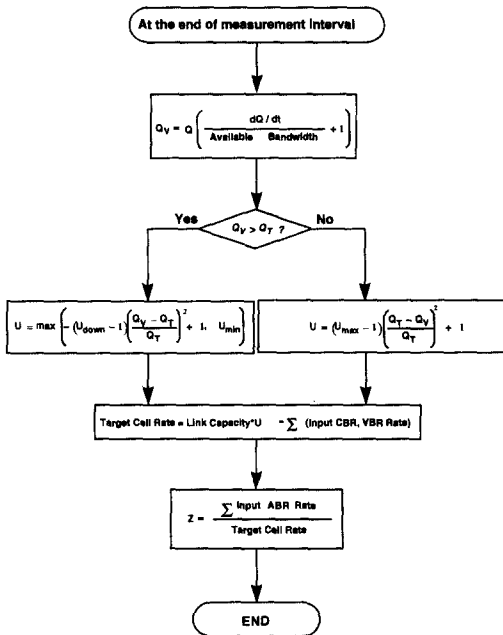


그림 2. 부하 지수 계산 루틴

1. 부하 지수의 계산

제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서는 일정한 수의 셀이 도착될 때마다 그림 2에 나타난 것

1) 동적인 목표 이용률의 조정

일반적인 폭주 회피 스위치에서 고정된 목표 이용률을 사용함으로써 과도기에서의 버퍼 고갈이나 버퍼 범람이 발생할 수 있다. 즉, 목표 이용률을 높게 설정할수록 링크 이용 효율 측면에서는 유리하지만 버퍼의 범람의 가능성이 커지고, 목표 이용률을 낮게 설정할수록 순간적인 트래픽의 변동에 의한 폭주를 신속하게 해소할 수 있지만 평형 상태에서 링크 이용 효율이 낮아지게 된다. 따라서, 버퍼 상태에 따라 목표 이용률을 동적으로 조정하여 평형 상태에서 버퍼 수위를 목표 수위가 되도록 유지함으로써 가용 대역폭의 증가 시에 버퍼 고갈을 방지하고, 가용 대역폭의 감소 시에 목표 이용률을 낮게 설정하여 빠르게 전송률을 감소시킴으로써 버퍼 범람을 방지할 수 있다. 이때 버퍼 수위뿐만 아니라 버퍼 수위의 변화율을 반영하여 보다 신속하게 목표 수위가 되도록 조정할 수 있다.

제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서는 버퍼 수위에 변화율을 반영하기 위하여 다음 식과 같은 가상 버퍼 수위를 이용한다.

$$Q_v = Q \cdot \left(\frac{dQ/dt}{\text{Available Bandwidth}} + 1 \right) \quad (9)$$

식 (9)에서 Q는 실제의 버퍼 수위를 나타내고,

Q_V 는 버퍼 수위의 증감률을 반영한 가상 버퍼 수위를 나타낸다. 가상 버퍼 수위는 버퍼 수위가 증가 추세에 있을 때에는 실제의 버퍼 수위보다 큰 값이 되고, 버퍼 수위가 감소 추세에 있다면 작은 값이 되어 적절히 버퍼 수위의 증감률을 반영하게 된다. 식 (9)에 의해 계산된 가상 버퍼 수위를 이용하여 동적으로 목표 이용률을 계산하게 된다. 버퍼 수위의 변화율을 반영한 동적인 목표 이용률의 계산을 위해서는 여러 형태의 조정 함수를 사용할 수 있으나, 본 논문에서는 보다 빠른 목표 큐 길이의 수렴을 위해서 그림 3에 나타난 것과 같이 비선형적인 목표 이용률 조정 함수를 사용하였다^[7].

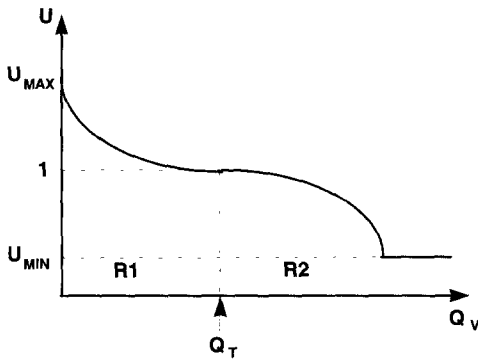


그림 3. 목표 이용률 조정 함수

버퍼 수위가 고갈될 위험이 있는 R1 영역에 있으면 목표 이용률을 1 이상으로 설정하여 버퍼 수위를 빠르게 증가시키고, 버퍼 수위가 범람될 위험이 있는 R2 영역에 있으면 목표 이용률을 1 이하로 설정하여 버퍼 수위가 신속하게 감소하도록 하였다. 이때 각 영역에서 동적인 목표 이용률 계산을 위해 사용된 조정 함수는 다음의 식과 같다.

R1 영역:

$$U = (U_{MAX}-1) \left(\frac{Q_T - Q_V}{Q_T} \right)^2 + 1 \quad (10)$$

R2 영역:

$$U = \max[-(U_{DOWN}-1) \left(\frac{Q_T - Q_V}{Q_T} \right)^2 + 1, U_{MIN}] \quad (11)$$

여기서 U_{MAX} 는 버퍼 수위가 0인 경우 버퍼 수위를 목표 수위로 올리기 위하여 실제 가용 대역폭보다 얼마나 초과하여 할당할 것인가를 결정하고, 동

시에 버퍼 수위가 목표 수위 이하일 때 목표 이용률 조정 함수의 증가율을 결정하는 상수이다. 그리고, U_{MIN} 은 버퍼 수위가 증가할 때 목표 이용률을 감소시킬 수 있는 하한치이고, U_{DOWN} 은 버퍼 수위가 목표 수위를 초과하였을 경우에 목표 이용률의 감소율을 결정하는 상수이다. 따라서, 목표 이용률 조정 함수의 증가율 및 감소율을 결정하는 U_{MAX} 와 U_{DOWN} 을 크게 설정 경우 망 상황의 변화에 따라 빠르게 전송률이 변화되지만 과도 상태에서 전송률의 진동이 크게 나타날 수 있고, 작게 설정할 경우에는 망 상황의 변화에 대한 대처가 늦어져 큐 길이의 증가나 링크 이용 효율의 감소가 나타날 수 있으나 과도 상태에서 전송률의 진동은 줄어든다. 목표 큐 길이 Q_T 는 순간적인 저부하 시에 링크 이용 효율의 저하를 막기 위해서 링크의 길이에 따라 미리 일정한 값으로 정하게 된다.

KNU 스위치 알고리즘은 ERICA+ 스위치 알고리즘과 같이 목표 이용률을 동적으로 조정하지만 구현의 목적에 있어서 다음과 같은 차이가 있다. ERICA+ 스위치 알고리즘의 경우 스위치에서의 큐잉 지연을 일정하게 유지하기 위해서 동적 목표 이용률 조정이 이루어진다. 따라서, 가용 대역폭의 변화에 따라 유지하여야 할 목표 큐 길이가 비례하여 동적으로 설정된다. 이에 반해 KNU 스위치 알고리즘에서는 가용 대역폭의 변화에 따라 큐 길이의 급격한 증가로 인한 버퍼 범람이나 버퍼 고갈로 인한 링크 이용 효율의 저하를 막기 위해 큐 길이를 일정한 값으로 유지시키는 것을 목적으로 하고 있다.

· 2) 부하 지수의 계산

제한된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서도 기존의 다른 폭주 회피형 스위치들과 같이 측정을 통하여 부하 지수를 계산한다. 부하 지수는 일정한 측정기간 동안 입력된 ABR 트래픽의 양과 가용 대역폭을 비교하여 스위치의 부하 정도를 나타내게 된다. 가용 대역폭은 실제 링크 용량에서 CBR과 VBR이 사용한 대역폭을 제외한 잉여 대역폭에 스위치가 사용하기를 원하는 비율인 목표 이용률을 사용하여 아래 식과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} & \text{Target Cell Rate} \\ & = \text{Link Capacity} \cdot U - \Sigma(\text{CBR, VBR Rate}) \quad (12) \end{aligned}$$

제한된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서는 버퍼의 수위와 증감률을 이용하여 동적으로 목표 이

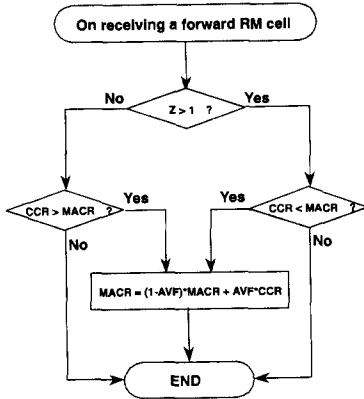


그림 4. 순방향 RM 셀 처리 루틴

용률을 조정하여 부하 지수의 계산에 이용한다. 부하 지수 z 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{\sum \text{Input ABR Rate}}{\text{Target Cell Rate}} \quad (13)$$

2. 순방향 RM 셀의 처리: fair share의 계산

제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서 fair share의 계산은 순방향 RM 셀의 수신 시에 CCR값을 이용하여 계산되는 지수 가중 평균 MACR을 이용하게 된다. 이때 MACR의 계산에 이용되는 CCR은 그림 4에 나타난 것과 같이 부하의 상태에 따라 선택적으로 사용함으로써 max-min 공평 할당을 이룰 수 있도록 한다. 기존의 MACR을 사용하는 명시율 피드백 스위치들은 큐 길이를 기준으로 폭주 상태를 판단하여 MACR의 계산에 적용될 VC의 CCR 값을 선택하기 때문에 망 상태의 변화에 신속히 대처하지 못하는 문제점이 있다. 그러나, 제안된 ER 피드백 스위치에서는 부하 지수를 기준으로 사용함으로써 보다 신속한 대처가 가능하도록 한다.

부하 지수가 1 이하 일 경우에는 저부하 상태이므로 스위치에서 fair share 값으로 유지하는 MACR의 값을 증가시켜야 한다. 따라서, 현재의 MACR 보다 큰 CCR 값만을 MACR의 계산에 반영하게 된다. 그리고, 부하 지수가 1 이상이 되면 과부하 상태로 MACR 값을 감소시켜야 하므로, 현재의 MACR보다 작은 CCR 값만을 MACR의 계산에 포함시킨다.

3. 역방향 RM 셀의 처리: ER의 설정

ER의 설정은 스위치가 송신원에서 허용할 수 있

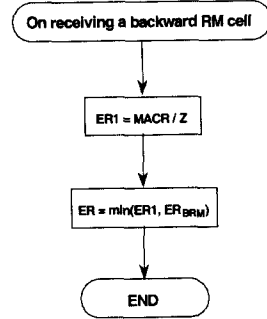


그림 5. 역방향 RM 셀의 처리 루틴

는 전송률을 계산하는 부분이다. 제안된 명시율 피드백 스위치 알고리즘에서는 순방향 RM 셀을 수신 하였을 때 선택적으로 CCR을 적용하여 계산한 MACR 값을 기준으로 직전 측정기간에 계산된 부하 지수를 나누어 그림 5와 같이 ER 값을 계산한다. 이 값은 스위치의 현재 부하 정도를 반영하여 fair share 값을 증가시키거나 감소시킨 것이 된다. 이후에 원래 RM 셀에 저장된 ER 값보다 스위치에서 계산된 ER 값이 작을 경우 RM 셀의 ER 값을 갱신한다.

IV. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 ER 피드백 스위치 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 사용된 시뮬레이션 모델은 그림 6과 같은 세 개의 스위치를 가진 주차장 (parking lot) 모델이다. 송신원과 스위치 사이의 거리는 1km로 구성하였고, 스위치 사이의 거리는 WAN 환경을 고려하여 1000 km로 가정하였다. 그리고, 링크 전송 속도는 150 Mbps로 설정하였으며, 전파 지연 시간은 1km당 5μ sec로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 송신원 동작은 ATM 포럼의 TM 규격을 따랐다^[1]. 스위치의 성능 비교를 위해서 ATM 포럼에서 명시율 피드백 스위치의 예로 제시한 ERICA 스위치, NIST 스위치와 본 논문에서 제

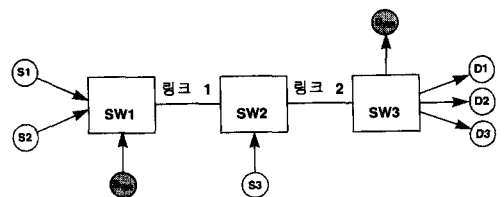


그림 6. 3개의 스위치를 가진 주차장 모델

표 2. ABR 서비스 파라미터

PCR	ICR	MCR	Nrm	RIF	RDF	Trm	ADTF
150 Mbps	2 Mbps	1 Mbps	32	1	1/32768	100 msec	0.5 sec

표 3. 각 ER 스위치들의 파라미터 값

(a) ERICA 스위치

Measurement Interval
100 cells

(b) NIST 스위치

Q _{th}	Measurement Interval	MAIR	MRF	AVF
10 cells	100 cells	0.5 Mbps	0.95	1/16

(c) KNU 스위치

U _{MAX}	U _{DOWN}	U _{MIN}	Measurement Interval	Q _r	AVF
0.05 (Case I)	0.7	0.7	100 cells	500 cells	1/16
0.005 (Case II)					

안한 스위치를 사용하였다. 그리고, 편의상 본 논문에서 제안한 스위치를 KNU 스위치로 부른다.

시뮬레이션 시에 ABR 송신원 1과 3은 처음부터 전송을 시작하여 1.5 sec까지 전송을 하고, 송신원 2는 0.5 sec에 전송을 시작하여 2 sec 까지 전송하는 것으로 가정하였다. 3개의 ABR 송신원은 항상 전송할 데이터 셀을 가지는 greedy source로 가정하였다. 시뮬레이션에서 사용된 ABR 파라미터는 표 2와 같으며, 고려된 ER 피드백 스위치들의 파라미터는 표 3과 같다¹⁾⁹⁾.

각 명시를 피드백 스위치에서 목표 이용률을 각각 0.9, 0.95와 1로 설정하여 목표 이용률 설정에 따른 각 스위치 알고리즘의 특성을 살펴보고, 버퍼의 상태에 따라 동적으로 목표 이용률을 조정하는 KNU 스위치의 경우 목표 이용률 조정 함수의 파라미터 U_{MAX}와 U_{DOWN}을 각각 1.05와 1.005로 변화시켜 파라미터에 따른 성능을 비교하였다. 시뮬레이션 시에 VBR 트래픽으로 ON기간과 OFF 기간이 각각 200 msec이고 ON 기간의 전송률이 100 Mbps인 ON-OFF 트래픽을 사용하여 망 상황이 동적으로 변화하는 상황을 가정하였다.

V. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

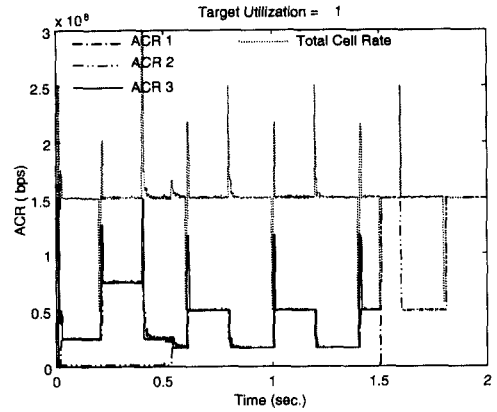
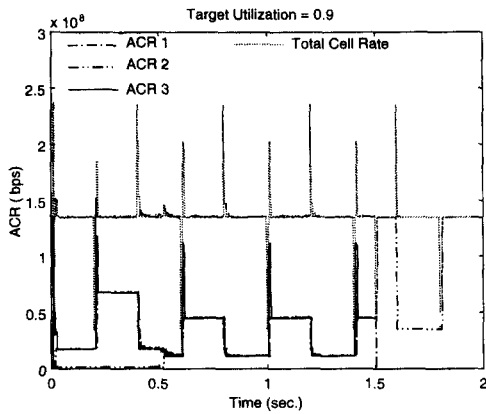
본 장에서는 ER 피드백 스위치의 성능 분석을 위한 시뮬레이션 결과를 송신원 전송률의 상한값인 ACR의 변화, 송신원 전송률의 공평성을 비교하기 위한 공평성 지수, 각 스위치 큐 길이의 변화, 링크의 이용 효율 면에서 비교 분석한다.

1. ACR의 변화

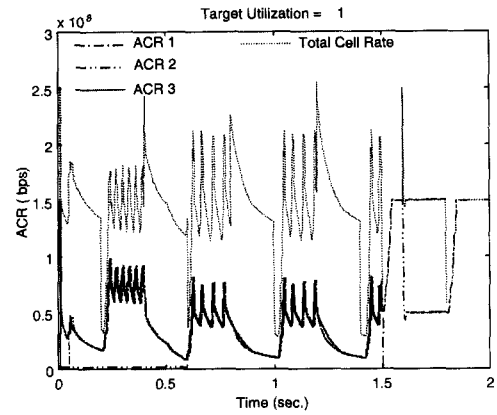
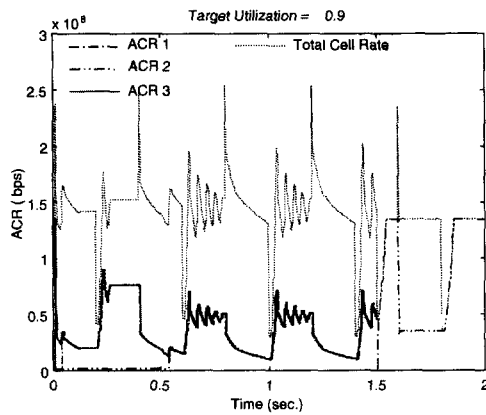
그림 7은 시뮬레이션 기간 동안 각 송신원의 ACR 변화 및 송신원과 VBR 전송률의 합을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 시작 시간에서 0.5 sec까지는 전체 대역폭에서 VBR 트래픽의 대역폭을 제외한 가용 대역폭을 송신원 1과 송신원 3이 양분하여 전송하게 되고, 0.5 sec에서 1.5 sec까지의 기간에는 각 송신원이 가용 대역폭을 삼분하여 전송한다. 그리고, 1.5 sec 이후에서 송신원 1과 송신원 3이 전송을 중단하므로 송신원 2가 가용 대역폭 전체를 할당받아 전송하게 된다.

각 스위치 알고리즘의 특징을 살펴보면 다음과 같다. 우선 ERICA 스위치는 VC 단위로 CCR을 저장하여 ER 값의 계산에 이용하기 때문에 MACR을 이용하는 NIST 스위치를 사용할 경우에 비해 가용 대역폭 변화에 따른 송신원의 ACR 변화가 빠르게 조정된다. 그러나, VC 수가 늘어남에 따라 구현상의 복잡성이 증가하게 되는 문제점이 있다. 그리고, 가용 대역폭의 증가 시에 폭주 지점으로부터 거리가 가까운 송신원이 거리가 먼 송신원에 비해 ACR의 증가가 빠르게 되는 순간적인 불공평성이 다른 스위치 알고리즘을 사용할 경우에 비해 크게 나타난다. 따라서, 평형 상태에서 공평성이 다른 스위치 알고리즘에 비해 우수하지만 전체적인 공평성은 비슷하게 나타난다. 이는 송신원 전송률의 공평성을 비교한 표 4에서 확인할 수 있다. 그리고, 거리가 먼 송신원의 전송률 감소가 늦게 일어나기 때문에 목표 이용률을 1로 설정한 경우에는 큐 길이가 길어질 것을 예상할 수 있다.

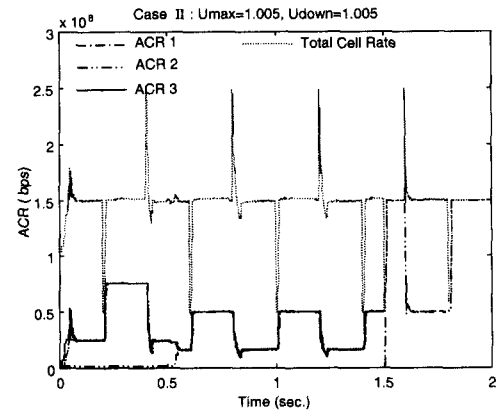
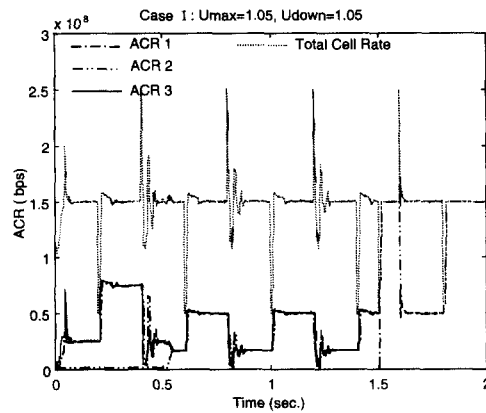
NIST 스위치를 사용한 결과에서는 송신원 ACR의 감소 시에 스위치의 과부하 정도에 관계없이 고정된 상수인 MRF를 MACR에 곱하여 감소시키기 때문에 다른 스위치에 비해 감소 시간이 크게 나타남을 살펴 볼 수 있다. 이는 링크 이용 효율 면에서 성능의 개선을 가져올 수 있으나, 스위치의 큐 길이가 지나치게 커질 수 있다. 그리고, 큐 길이가 증가할 때 폭주로 판단하는 조기 폭주 검출 방식을 사용하여 목표 이용률을 1로 설정한 경우에는 평형 상태에서도 ACR을 감소시키는 경우가 발생하여



(a) ERICA 스위치



(b) NIST 스위치



(c) KNU 스위치

그림 7. 스위치 알고리즘에 따른 ACR 변화 비교

ACR의 진동이 크게 나타난다.

KNU 스위치를 사용한 결과에서는 ER 값의 계산에 NIST 스위치와 같이 MACR을 이용하지만 가

용 대역폭의 변화에 빠르게 대처하여 ACR의 조정이 이루어짐을 알 수 있다. 다른 스위치들이 MACR 계산에 반영할 VC의 CCR을 큐 길이를 이

표 4. 스위치 알고리즘에 따른 공평성 지수

목표 이용률	ERICA 스위치	NIST 스위치	KNU 스위치
0.9	0.9864	0.9857	0.9841 (Case I)
0.95	0.9871	0.9799	
1	0.9852	0.9746	0.9892 (Case II)

용한 폭주 상황의 판단에 따라 선택하지만, KNU 스위치에서는 부하 지수를 이용하여 CCR을 반영할 VC를 선택하고 버퍼 수위에 따라 동적으로 목표 이용률을 조정하므로 신속한 ACR의 조정이 이루어진다. 목표 이용률 조정 함수에서 목표 이용률의 증가 및 감소율을 결정하는 파라미터에 따른 성능을 살펴보면 파라미터 값들을 크게 설정한 Case I의 경우 전송률의 감소시에 전송률의 진동이 나타나지만 파라미터들이 보다 작은 값으로 설정된 Case II의 경우에는 전송률의 진동이 보다 줄어들음을 알 수 있다. 그러나, Case II의 경우에 망 상황의 변화에 Case I만큼 빠르게 대처하지 못하여 큐 길이의 증가나 링크 이용 효율의 저하가 나타날 수도 있다.

표 4에서는 스위치 알고리즘에 따른 송신원 전송률의 공평성 지수를 비교하였다. 모든 스위치 알고리즘이 0.97 이상의 공평성 지수를 보여 우수한 성능을 보였다. 그러나, NIST 스위치의 경우에 목표 이용률을 증가시켰을 때 평형 상태에서 ACR의 진동이 증가하여 다른 스위치 알고리즘에 비해 공평성의 저하가 다소 크게 나타남을 알 수 있다. KNU 스위치의 경우에 목표 이용률의 증가 및 감소율을 결정하는 파라미터를 보다 작은 값으로 설정한 Case II의 경우 전송률의 진동이 줄어들어 가장 우수한 공평성 지수를 보임을 알 수 있다.

2. 큐 길이의 변화

시뮬레이션 기간 동안의 각 스위치의 큐 길이 변화를 그림 8에서 나타내었다. 목표 이용률을 0.9로 설정한 경우에 ERICA 스위치는 가용 대역폭이 감소하는 순간에 약간의 큐 길이의 증가를 제외하면 거의 큐에 셀이 쌓이지 않음을 볼 수 있다. 그러나, 이 경우에 가용 대역폭이 증가하더라도 큐에서 전송할 셀이 없기 때문에 링크 이용 효율의 저하가 발생할 수 있다. 이에 비해 NIST 스위치는 앞에서 살펴 본 ACR의 변화 결과에서 ACR을 감소시킬 때 걸리는 시간이 다른 스위치에 비해서 크게 나타

표 5. 링크 2의 평균 이용 효율

목표 이용률	ERICA 스위치	NIST 스위치	KNU 스위치
0.9	0.8923	0.9133	0.9802 (Case I)
0.95	0.9434	0.9330	
1	0.9858	0.9433	0.9799 (Case II)

나기 때문에 목표 이용률을 0.9로 설정하더라도 가용 대역폭이 줄어드는 과도기간에 큐 길이가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

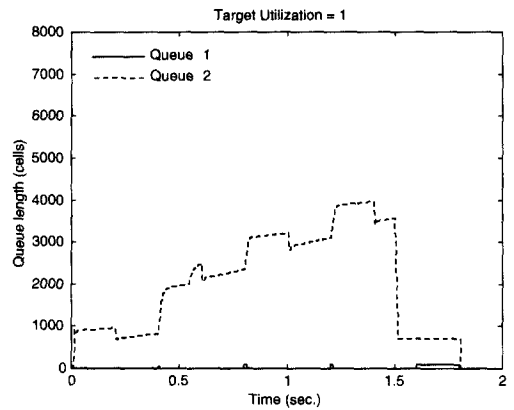
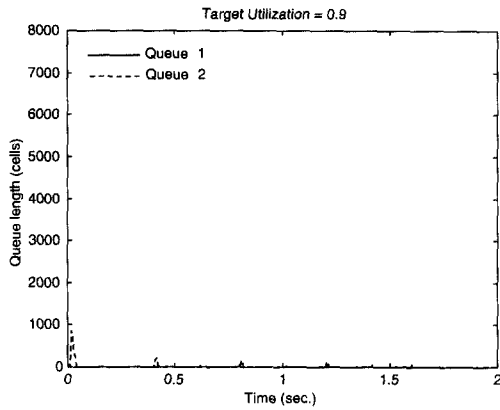
링크 이용 효율의 감소를 막기 위해 목표 이용률을 증가시키면 가용 대역폭이 감소하거나 전송 중인 VC의 수가 늘어날 경우에 신속한 전송률의 감소가 이루어질 수 없으므로 ERICA 스위치와 NIST 스위치는 큐 길이가 크게 증가됨을 알 수 있다.

KNU 스위치의 경우에는 가용 대역폭이 줄어들 때 큐 길이가 초기에 설정한 목표 수위 이상으로 증가하지만, 목표 이용률을 1 미만으로 감소시켜 빠르게 목표 수위에 수렴하도록 한다. 그리고, 가용 대역폭이 증가할 경우에 큐에 쌓인 셀들이 이를 채워 전송하기 때문에 목표 수위 이하로 큐 길이가 감소하지만, 목표 이용률을 증가시켜 빠르게 목표 수위에서 큐 길이가 유지되도록 한다. 목표 이용률 조정 함수에서 목표 이용률의 증가 및 감소율을 결정하는 파라미터에 따른 성능을 살펴보면 파라미터 값들을 크게 설정한 Case I의 경우 망 상황의 변화에 빠르게 대처하여 목표 큐 길이 부근에서 유지됨을 알 수 있다. 그러나, 파라미터들이 보다 작은 값으로 설정된 Case II의 경우에는 다소 큐 길이의 증가가 Case I에 비해 크게 나타남을 볼 수 있다.

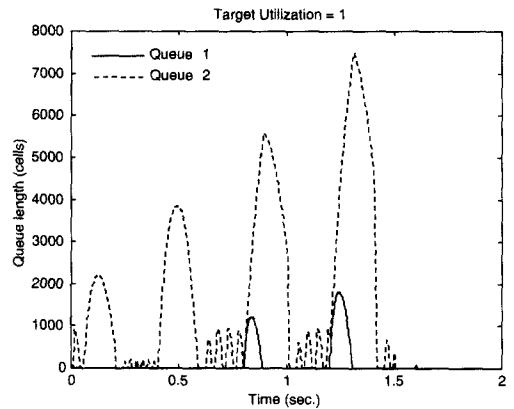
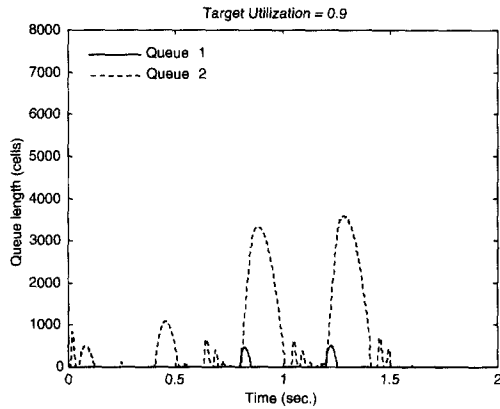
3. 링크 이용 효율

시뮬레이션 기간 동안 링크 2의 평균 이용 효율을 표 5에서 비교하였다. ERICA 스위치는 VC 단위로 CCR값을 저장하여 비교적 빠르게 전송률 조정함으로써 초기에 설정한 목표 이용률과 거의 유사한 링크 이용 효율을 보임을 알 수 있다.

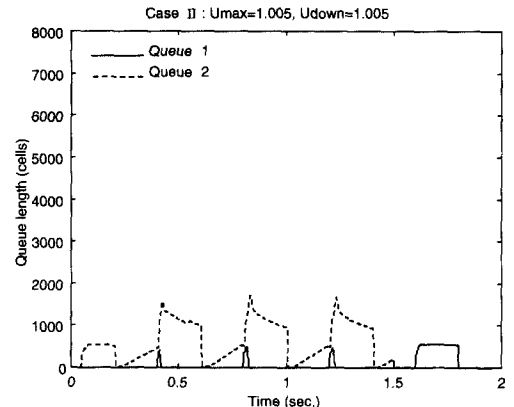
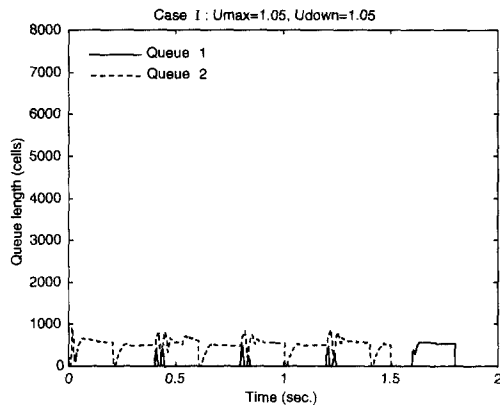
NIST 스위치는 계산된 부하 지수가 1 이하인 저부하 상태에서는 MACR을 일정한 값 만큼의 증가시키므로 목표 이용률을 0.9로 설정한 경우 ERICA 스위치에 비해 높은 링크 이용 효율을 보임을 알 수 있다. 그러나, 목표 이용률을 0.95 또는 1로 설정한 경우에는 큐 길이가 증가하는 빈도가 높아지



(a) ERICA 스위치



(b) NIST 스위치



(c) KNU 스위치

그림 8. 스위치 알고리즘에 따른 큐 길이 변화 비교

고 이는 조기 폭주 검출 방식에 적용되어 전송률을 감소시키므로 링크 이용 효율의 증가가 나타나지 않음을 알 수 있다.

KNU 스위치의 경우에는 앞에서 살펴 본 큐 길이의 변화에서 알 수 있듯이 초기에 설정한 목표 수위 부근에서 큐 길이를 유지하여 가용 대역폭의

증가 시에 언제나 전송할 셀을 가지고 있기 때문에 98 % 이상의 높은 링크 이용 효율을 보여 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 버퍼의 수위와 변화율에 따라 목표 이용률을 동적으로 제어하여 버퍼 고갈을 방지함으로써 가용 대역폭의 발생 시에 링크 이용 효율의 저하를 막고, 급격한 트래픽의 유입 시에 신속히 버퍼 수위를 낮추어 주는 효율적인 명시율 피드백 스위치 알고리즘을 제안하였다. 제안된 ER 피드백 스위치는 MACR을 사용하여 ER 값을 계산함으로써 VC 단위로 저장한 CCR 값을 이용하는 ERICA 스위치에 비해 구현상의 복잡도를 줄였다. 그리고 MACR의 계산에 반영되는 VC의 CCR 값을 부하지수를 기준으로 선택하여 큐 길이를 폭주 판단의 기준으로 사용하는 NIST 스위치에 비해 신속한 전송률 변화를 보였다. 또한, 동적인 목표 이용률의 조정을 통하여 기존 명시율 피드백 스위치들이 폭주 회피를 위해 링크 전송률을 100 % 활용하지 못하는 문제점을 개선하여 버퍼 범람을 방지하면서도 100 %에 가까운 링크 이용 효율을 보여 성능이 크게 개선됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] The ATM Forum Technical Committee, "ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0," *ATM Forum af-tm-95-0056.000*, Mar. 1996.

[2] R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and Survey," *Computer Networks and ISDN Systems*, Oct. 1996.

[3] L. Roberts, "Enhanced PRCA (Proportional Rate Control Algorithm)," *ATM Forum/94-0735RI*, Aug. 1994.

[4] A. W. Barnhart, "Example Switch Algorithm for Section 5.4 of TM Spec.," *ATM Forum/95-0195*, Feb. 1995.

[5] N. Golmie, Y. Chang and D. Su, "NIST ER Switch Mechanism (An Example)," *ATM Forum/95-0695*, June 1995.

[6] R. Jain, S. Kalayanaraman and R. Viswanathan, "A Sample Switch Algorithm," *ATM Forum/95-0178*, Feb. 1995.

[7] R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal and R. Viswanathan, "ERICA Switch Algorithm: A Complete Description," *ATM Forum/96-1172*, Aug. 1996.

[8] R. Jain, "Fairness: How to Measure Quantitatively?," *ATM Forum/94-0881*, Sept. 1994.

[9] The ATM Forum Technical Committee, Addendum to Traffic Management V4.0 for ABR parameter negotiation, *ATM Forum af-tm-077.000*, Jan. 1997.

김 병 철(Byung-chul Kim)

정회원



1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1997년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정 수료

<주관심 분야> ATM 트래픽 제어, 차세대 인터넷 통신

김 동 호(Dong-ho Kim)

정회원



1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1994년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1999년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1999년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 네트워크장비시험센터

<주관심 분야> B-ISDN/ATM, 이동통신망, 인터넷

조 유 제(You-ze Cho) 정회원

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: 경북대학교 전자전기공학부 부
교수

1992년 8월~1994년 1월: Univ. of Toronto 객원
교수

<주관심 분야> ATM 트래픽 제어, 차세대 이동통
신망, 멀티미디어 통신

한국통신학회논문지 제23권 제5호 참조