버퍼 지연을 고려한 ATM 망의 적응적 UPC 알고리즘의 기법

안 옥 정† · 채 기 준††

요 약

ATM 망의 트래픽 흐름을 조절하고 망 자원의 사용을 최적화하기 위해서는 폭주로 인한 성능 저하를 막거나 폭주 발생 시 대처할 수 있는 적절한 제어가 필요하다. 기존의 UPC 알고리즘이 망의 상황과는 관계없이 매우 불안정한 예방적 기능만을 제공하고 버퍼로 인해 셀 지연을 가중시키는 문제점이 있다. 그래서 본 논문에서는 OAM 셀이 주는 정보를 바탕으로 망 내의 상황을 판단한 다음, 사용자가 요구한 서비스의 질을 고려하여 리키율을 제어하고 버퍼에 임계값을 두어 조절함으로써 망 내의 혼잡을 피하기 위한 적응적 UPC 알고리즘을 제안하였다. 트래픽의 종류가 다양해지고 망 내의 전송 속도가 증가함에 따라 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘은 그 활용 범위를 넓혀가는 ATM 망에 매우 유용하게 사용될 수 있다. 본 논문에서는 제안한 알고리즘의 효율성을 음성과 고속 데이타를 중심으로 시뮬레이션을 통하여 입증하고, 시뮬레이션 결과를 기존의 UPC 알고리즘과 비교 분석하여, 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘을 이용하면 다양한 트래픽에 따라 사용자가 요구하는 서비스의 질을 유지하면서, 동시에 망의 자원을 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 보인다.

Strategy for An Adaptive UPC Algorithm with Buffer Threshold in ATM Network

Ock Jung Ahn† · Ki Joon Chae††

ABSTRACT

In order to control the flow of traffic in ATM networks and optimize the usage of network resources, an appropriate control mechanism is necessary to cope with congestion or prevent degradation of network performance caused by congestion. While the conventional UPC algorithm provides only unstable preventive function unrelated with the state of networks and is unable to recover congestion, the proposed adaptive UPC algorithm supervises the situation of ATM networks using the information from OAM cell. Then the monitor of the proposed adaptive UPC algorithm controls leaky rate and buffer threshold value according to QOS. Therefore, the proposed algorithm can cope with congestion as well as prevent and react sensitively to buffer delay. In proportion to the diversity of traffic and the increase of transmission rate in networks, the adaptive UPC-BT algorithm proposed in this paper can be effectively used in ATM networks with wide applications. This paper shows that the proposed algorithm efficiently uses network resources and provides QOS to users for various kinds of traffics by comparing with the conventional UPC algorithms.

† 정 회 원:동양 SHL 기술연구소 연구원
†† 정 회 원:이화여자대학교 전자계산학과
논문접수:1996년 3월 28일, 심사완료:1996년 10월 21일

1. 서 론

비동기식 전송 방식(Asynchronous Transfer Mode: ATM)은 광대역 정보 통신망(Broadband Integrated Service Digital Networks: B-ISDN)의 구현을 위한 전송 모드에 대한 해결책으로 ITU-TS(Telecommunication Standardization sector of International Telecommunication Union)에 의해 제안된 교환 메카니즘이다[1]. 광대역 정보 통신망은 ATM 전송 방식의 망을 공유하여 음성, 저속 또는 고속 데이타, 이미지, 비디오 등, 여러가지 다양한 서비스를 제공한다. 원래 ISDN의 개념은 음성과 64 kb/s의 전송 속도를 갖는 비음성 트래픽에 대한 서비스로 국한된 것이었다. 이것이 현재 협대역 정보 통신망(Narrowband ISDN: N-ISDN)이라고 지칭되고 있는 것이다. 협대역 정보 통신망과 관계되는 데이타 전송률은 흥미있고 다양한 응용 서비스를 위해서는 부적합하다. 그래서 협대역 정보 통신망의 한계점을 극복하는 광대역 정보 통신망은 더 높은 전송률을 갖는 서비스를 제공함으로써 최근에 각광받게 되었다.

광대역 정보 통신망에서의 서비스들은 광범위한 트래픽 성질과 성능, 서비스 품질을 요구하기 때문에 ATM은 가상 접속 선상에 53 바이트의 고정된 크기의 셀(Cell)을 지정하여 다양한 요구를 갖는 각양각색의 서비스를 종합적으로 전송할 수 있는 융통성을 갖고 있다. 또한 ATM 방식은 가변 비트율(Variable Bit Rate: VBR)의 성질을 을 갖는 트래픽, 군집성(Bursty) 트래픽 등을 통계적 멀티프렉싱(Statistical Multiplexing)을 통해 전송함으로써 대역폭(Bandwidth)의 효율성을 높이고 망에 더 많은 셀들을 허락하도록 한다[2, 3].

통계적 멀티플렉싱 방식은 위에서 언급한 여러가지 장점이 있는 반면, 망 내의 트래픽이 폭주(Congestion)하여 셀 손실과 지연을 초래하는 단점이 있다. ATM 망에서 폭주란 스위치, 집중기, 상호 접속기(Cross-connections), 전송 회선(Transmission links) 등과 같은 망 구성 요소가 이미 설정된 접속이나 새로운 접속 요구에 대해 협정한 성능 목적을 만족할 수 없는 상태를 의미한다[4]. 이러한 폭주 상태는 망의 성능을 급격히 저하시키므로 이를 방지하고 발생 시에 신속히 해결하는 적절한 제어가 필요하다.

트래픽 제어 방식에는 폭주가 발생하기 전에 행하는 예방적 제어(Preventive control)와 발생한 후에 행하는 반응적 제어(Reactive control)가 있다. ATM 망은 고속의 회선을 사용하므로 폭주가 발생한 후, 제어가 행해질 때까지 이미 대량의 셀이 유입되어 폐기(Drop)되기 때문에 반응적 제어 보다는 예방적 제어가 더 효율적이다. 그러나 예방적 제어는 망의 상황을 전혀 고려하지 않으므로 이것만으로는 불안전한 제어라고 볼 수 있다. 반응적 제어와 예방적 제어가 둘 다 완전하지 못하기 때문에 이들 각각의 단점을 보완하는 알고리즘을 본 논문에서 제안하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 1장의 서론에 이어, 2장에서 기존의 UPC 알고리즘과 문제점에 관해 언급하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적응적 UPC-BT(Usage Parameter Control with Buffer Threshold) 알고리즘의 설계에 대해 기술하고, 4장에서 성능 분석을 위한 시뮬레이션 모델의 설명과 시뮬레이션 결과에 대하여 다루고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 UPC 알고리즘

UPC 알고리즘은 사용자의 악의에 의한 행동 또는 잘못된 행동으로부터 망 자원을 보호하기 위해 필요하다. UPC 알고리즘의 종류와 내용은 크게 리키버킷(Leaky Bucket) 방식과 윈도우 방식으로 나누어 진다. 이들은 셀 레벨에서 한계치를 초과하는 셀을 폐기시켜 셀의 버스트 특성을 완화시키고 망 내의 혼잡을 미리 방지하는 역할을 한다. 대역폭과 전송률 제어 측면에서는 윈도우 방식이 좋지만 융통성 측면에서 보면, 리키버킷 방식이 가상 리키버킷 알고리즘등 다양한 리키버킷 알고리즘에 의해 짧은 기간동안 회선의 이용률을 높일 수 있는 융통성이 있다. 실제 구현 시에도 리키버킷 알고리즘이 더 효율적이다[5, 6]. 따라서 본 논문에서는 셀 레벨에서의 UPC 알고리즘 중 가장 대표적이고 효율적인 리키버킷 알고리즘에 대해 고려하였다.

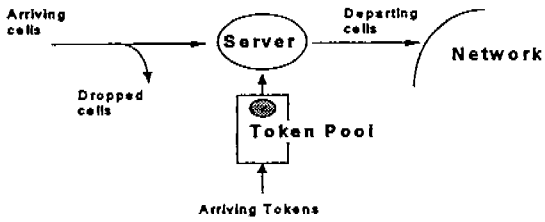
2.1 리키버킷 알고리즘

리키버킷 알고리즘은 셀 발생 시 카운터 값이 토큰 풀(Token Pool) 크기보다 크면 셀을 폐기시키고 작으면 셀을 통과시키는 알고리즘으로 일정한 시간 간격

(리키율)마다 카운터 값을 1씩 감소시킨다. 토큰 풀 크기와 리키율 값은 호 접속 시 사용자가 신고한 트래픽에 따라 결정되어진다. 이 알고리즘은 하드웨어 구현이 간단하다는 장점을 갖고 있으며, 1986년 Turner[7]가 제안한 이후 다양한 리키버킷 알고리즘들이 제안되었다. 리키버킷 알고리즘의 매개변수에는 리키율과 토큰 풀 크기가 있다. 리키율 값은 기본적으로 망에서의 평균 허용 속도를 기준으로 정하지만 보통 이 값보다 크게 정해야 효율성이 있다[8]. 그리고 토큰 풀 크기는 최대 허용 가능한 버스트 길이를 기준으로 한다.

리키버킷 알고리즘의 단점은 토큰 풀 크기와 리키율 값 지정의 어려움에 있다. 토큰 풀 크기와 리키율이 증가하게 되면 셀 손실율은 줄어들지만 망 내의 전송량이 증가하고 버스트 특성이 증가한다. 또 토큰 풀 크기와 리키율 값을 감소시키면 버스트 특성은 줄어 들지만 셀 손실율이 증가하여 망 회선의 이용률이 떨어지는 경향이 있다. 그러므로 토큰 풀의 크기와 리키율 값에 대한 결정을 트래픽과 망 상태를 고려하여 잘 정해야 한다.

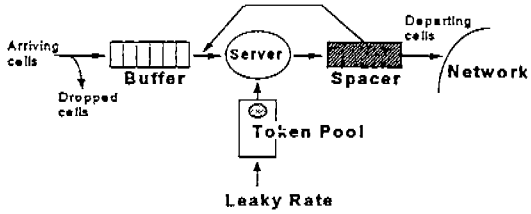
리키버킷 방식은 가장 기본적으로 그림 1과 같은 구조를 갖는다. 셀이 도착했을 때 토큰 풀에 토큰이 있으면 토큰을 받아서 망으로 들어가고 토큰이 없으면 폐기되는 방식이다.



(그림 1) 리키버킷 알고리즘의 구조
(Fig. 1) Structure of Leaky Bucket Algorithm

이 구조를 원형으로 하는 다양한 알고리즘이 변형되어 소개되고 있다. 특히 변형된 알고리즘 중에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 스페이서(Spacer)를 갖는 리키버킷 알고리즘은 그림 2와 같다.

그림 2는 기본적인 리키버킷 알고리즘에 버퍼와 스페이서를 첨가하여 스페이서에 의해 제어를 받는 알



(그림 2) 스페이서를 갖는 리키버킷 알고리즘
(Fig. 2) Leaky Bucket Algorithm with Spacer

고리즘의 구조를 나타낸다. 광대역 정보 통신망은 다양한 서비스를 제공하므로 셀의 도착 간격이 트래픽마다 일정하지 않고 트래픽의 버스트 특성에 따라 제각기 다르다. 특히 군집성의 트래픽일 경우, CDV(Cell Delay Variation)가 매우 커지게 되어 그대로 통과시키면 망에서 폭주를 발생시킬 위험이 있다. 따라서 일정한 시간 간격으로 셀을 통과시키는 스페이서를 첨가함으로써 망 내에 유입되는 셀 간격을 일정하게 조절하도록 한다.

스페이서를 갖는 리키버킷 알고리즘의 장점은 CDV를 최소화시켜 버스트 특성을 감소시키고 이 영향으로 망 성능이 증가하는데 있지만 버스트 트래픽에 대한 융통성이 감소한다는 단점이 있다.

이 외에도 버퍼를 갖는 리키버킷[9], 리키버킷을 두 개 두어서 한 개는 최대 비트율을 제어하고 다른 한 개는 평균 비트율을 제어하는 알고리즘 등이 있다[10, 11]. 그리고 윈도우를 이용하여 트래픽을 감시하는 리키버킷 알고리즘[12]이나 트래픽 감시를 통계학적 추정 인식 알고리즘(Stochastic Estimator Learning algorithm)을 이용한 알고리즘[13] 등도 소개되고 있다.

2.2 윈도우 알고리즘

윈도우 방식의 UPC 알고리즘도 매우 다양하다. 점핑 윈도우 알고리즘[5], 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 알고리즘[5], EWMA(Exponentially Weighted Moving Average) 알고리즘[5], 최대 카운터(Peak Counters) 알고리즘[14], 스페이서-제어기(Spacer-Controller)[15]방법 등이 있다.

2.3 문제점

기존의 UPC 알고리즘은 망 상황을 전혀 고려하지 않기 때문에 발생하는 문제점들을 갖고 있다. 본 논

문에서는 크게 문제점을 세 가지로 나누어 보았다.

첫번째 문제점은 망 자원의 효율적인 사용에 있다. 기존의 UPC 알고리즘은 사용자에게 최소한의 서비스 품질을 제공한다. 이것은 망의 폭주를 막기 위한 것이지만 망 자원이 분주할 때나 휴지 상태일 때도 제공되는 서비스는 일정하므로 상대적으로 자원의 효율은 저하된다. 그러므로 단지 최대 비트율을 제어한다고 하더라도 UPC 알고리즘이 갖는 폭주 예방으로서의 역할을 제대로 수행할 수 없다.

두번째 문제점은 폭주가 발생했을 때 기존의 UPC 알고리즘에서는 전혀 대응 방안이 없다는 것이다. 일반적으로 사용자에게 최소한의 서비스 품질을 제공하기 위해 망은 폭주가 발생하지 않은 상태일 때만 접속을 설정하지만 사용자가 협정 규약을 준수했다고 하더라도 하드웨어적인 에러나 망 관리자의 잘못으로 폭주가 발생할 수 있다. 그러므로 폭주가 발생했을 때 즉각 대처할 수 있는 기능이 필요하다.

세번째 문제점은 기존의 버퍼를 갖는 UPC 알고리즘에서는 버퍼 지연을 전혀 고려하지 않는다는 점이다. 왜냐하면 기존의 리키버킷 알고리즘은 그 버퍼를 모든 트래픽이 동일하게 같은 크기로 사용하기 때문이다. 여기서 발생하는 문제점은 다양한 서비스 품질을 요구하는 서로 다른 성질을 갖는 트래픽들에게 적절하게 대응하지 못한다는 데 있다. 예를 들어, 음성 트래픽일 경우에는 셀 손실에는 민감하지 않지만 전송 지연에는 매우 민감한 편이다. 반면 고속 데이타의 경우에는 전송 지연에는 덜 민감하지만 셀 손실에 있어서는 매우 민감하다.

이와 같이 성질이 다른 트래픽들이 버퍼를 같은 크기로 사용하게 되면 원하는 서비스를 사용자에게 제공하기 어렵게 된다. 음성이나 대화형 영상과 같이 지연에 민감한 트래픽은 버퍼를 있는 그대로 사용하게 되면 지연이 증가해서 사용자가 요구하는 서비스 품질을 만족할 수 없게 된다. 그러므로 트래픽에 따라 버퍼의 크기를 조절함으로써 사용자의 서비스 품질을 만족할 수 있도록 버퍼에 임계값을 줄 필요가 있는 것이다.

따라서 본 논문에서는 망 상황에 적응적으로 대응하여 망 자원의 효율성을 높이고 트래픽에 따라 버퍼에 적절한 임계값을 두어 버퍼 크기를 조절함으로써 사용자의 서비스 품질을 효과적으로 보장하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

3. 적응적 UPC-BT 알고리즘의 설계

2장에서 살펴본대로 리키버킷 알고리즘을 기본으로 하여 다양한 UPC 알고리즘들이 개발되었고 아직도 연구 중에 있다. 그러나 각각의 알고리즘은 여전히 그 한계점을 드러내고 있다. 따라서 본 논문에서는 OAM 셀을 이용하여 망 상태를 판단하여 상황에 능동적으로 작동하고 버퍼에 임계값를 지정함으로써 사용자의 서비스 품질을 보장하는 새로운 적응적 UPC-BT 알고리즘을 제안한다.

3.1 적응적 UPC-BT 알고리즘의 구조

적응적 UPC-BT 알고리즘의 장점은 버퍼를 갖는 리키버킷 알고리즘이 갖는 셀 지연을 감소시키고 토큰 풀 크기와 리키율을 가장 적절하게 사용하여 망 회선의 효율성을 높이는 동시에 폭주 제어에 대한 신뢰성을 높혀준다.

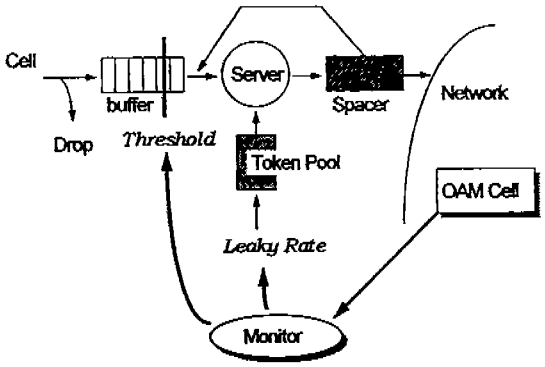
먼저 사용자가 접속을 요청하고자 하면 그 트래픽에 대한 특징을 신고하게 된다. 그 후 망 관리자는 그 특징에 따라 UPC 알고리즘에 필요한 매개변수를 계산한다. 접속이 성립되면 계산된 매개변수에 따라 UPC 알고리즘이 작동하게 된다. 이 때 본 논문에서 제안한 버퍼의 임계값도 다른 매개변수와 같이 계산되어 사용된다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 경험적 방법으로 버퍼의 임계값을 구하여 사용하였다.

그림 3은 본 논문에서 제시하는 적응적 UPC-BT 알고리즘이다. 이 알고리즘의 구조는 기존의 스페이서와 버퍼를 갖는 리키버킷 알고리즘에 망의 상태를 감시하는 모니터가 리키율과 버퍼 임계값을 제어하는 구조이다. 모니터는 망으로부터 일정한 간격으로 OAM 셀을 받아 OAM 셀의 필드 정보를 보고 망 상태를 판단한 후에 트래픽의 서비스 품질을 보장할 수 있도록 셀 손실율을 유지하는 범위 내에서 버퍼 지연을 고려하여 버퍼의 임계값를 수정한다.

망 상태가 휴지 상태일 경우에는 리키율을 증가시켜 트래픽을 빠르게 보내도록 하고 망 상태가 분주할 경우는 리키율을 감소시켜서 망으로 유입되는 트래픽 전송량을 줄인다. 망이 정상적인 상태 즉, 초기 협정시 예상했던 상태이면 리키율은 초기에 협정한 값

으로 작동한다. 폭주가 발생 가능한 위험 상태가 되거나 폭주가 발생한 상태일 때는 리키율을 대폭 줄여서 망으로 유입되는 셀의 양을 감소시키고 사용자에게 알려서 트래픽의 전송량을 줄이도록 하여 자원의 낭비를 막는다.

버퍼의 크기는 트래픽에 따른 서비스 품질의 버퍼 지연과 셀 손실율을 고려하여 결정되어진다. 셀 손실율에 민감한 트래픽은 버퍼 임계값을 늘려서 셀의 손실을 줄이고 지연에 민감한 트래픽은 버퍼 크기를 줄여서 버퍼 지연을 감소시킨다. 그리고 망 상태에 따라 리키율이 증가하면 버퍼 지연을 고려해서 버퍼 크기를 줄이고 리키율이 감소할 때는 셀 손실율을 고려하여 버퍼 크기를 늘려준다. 이와 같이 버퍼 크기를 조절하고 망 상태에 따라 리키율 값을 조절함으로써 망으로 유입되는 트래픽의 양을 제어하여 망 자원을 효율적으로 사용하고 나아가 폭주를 더욱 철저하게 예방하는 역할까지 수행한다.



(그림 3) 적응적 UPC-BT 알고리즘의 구조
(Fig. 3) Structure of Adaptive UPC-BT Algorithm

3.2 OAM셀

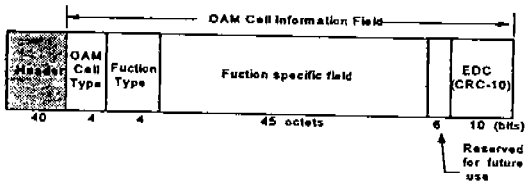
OAM은 현재 표준화 작업이 진행 중에 있으며 이 분야에 대한 많은 연구가 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 ITU-T 권고안[16]에 규정되어 있는 내용을 중심으로 설명하겠다. OAM 셀은 광대역 정보 통신망의 다양한 노드들 사이에서 작동 정보의 교환을 위해 셀 형태로 존재하는 것이다. 다양한 레벨에서 OAM 셀을 필요로 하지만 특히 가상 경로 접속(Virtual Path Connection : VPC)이나 가상 채널 접속(Virtual Channel Connection : VCC)의 효율적인 소통을 위해서 매우 중요하다. OAM은 VCC 단위의 세그먼트내에서 작동하기도 하고 종단간 VCC 전체에서도 작동한다. OAM이 제공하는 기능은 성능 감시(Performance Monitoring), 손상과 실패 감지(Defect and Failure Detection), 시스템 보호(System Protection), 실패나 성능 정보, 실패의 국부화(Fault Localization) 등 다섯 가지로 ITU-T 권고안에 규정되어 있다.

본 논문에서는 성능 감시 기능을 이용하고자 한다. 성능 감시 기능을 하는 성능 관리 OAM 셀은 망의 상황을 몇 가지 매개변수 값을 갖는 각 셀의 필드를 통해 종점 노드나 혹은 원하는 노드에 알려서 그 상황에 즉각 대처할 수 있도록 함으로써 망 상의 실패와 폭주를 방지 또는 예방할 수 있도록 하며 더 나아가 망의 성능을 높히는 역할을 한다. 작동은 ATM 망의 가상 접속(또는 접속 세그먼트) 상태를 측정한 노드에서 OAM 셀을 처리, 생성함으로써 이뤄진다. 여기서 측정되는 것은 망 내에서 발생할 수 있는 프로토콜의 잘못이나 소프트웨어 상의 오류에서부터 전송링크의 손상같은 하드웨어 문제 등으로 인한 폭주 상태에 이르기까지 발생 가능한 모든 실패와 손상을 감시한다.

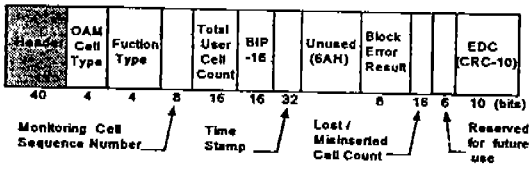
일반적인 OAM 셀의 구성과 성능 감시에 사용되는 성능 관리 OAM 셀의 구성은 그림 4과 같다. 그림 4의 (a)는 OAM 셀 구성의 공통 부분이다. 40 비트의 헤더와 손상 관리, 성능 관리, 활성/비활성(Activation/Deactivation) 중 하나를 나타내는 4 비트의 OAM 유형(Type) 필드와 OAM 유형에 따라 각각의 기능을 나타내는 4 비트의 기능 유형(Function Type) 필드가 있다. 그리고 OAM 유형마다 갖는 고유의 기능을 위해 45 옥텟을 사용한다. 마지막 10 비트는 에러 감지 코드를 위한 것이다. 여기서는 CRC-10 생성 다항식(Generating Polynomial)이 오류 검사에 사용된다. 그리고 예약(Reserved) 필드는 기본적으로 모두 0으로 설정된다.

그림 4의 (b)는 성능 관리 OAM 셀의 구성을 나타낸다. Monitoring Cell Sequence Number 필드는 8 비트로서 감시 기능과 보고 기능에 사용되는 OAM 셀들의 순서 번호를 나타내고 Total User Cell Number 필드는 사용자가 전송한 셀의 총수를 나타낸다. 그리고 BIP-16은 마지막 감시용 셀 전송 후에 사용자가 전송한

셀 블럭에 대해 계산한 값인 짝수 패리티 BIP-16에 대한 에러 감지 코드이다. 또 Time Stamp 필드는 OAM이 삽입되었을 때의 시간을 나타낸다. Block Error Result 필드는 후진 보고 기능(Backward Reporting)으로서 감시가 끝나고 들어오는 셀의 BIP-16 코드에 있는 잘못된 패리티 비트의 수를 나타낸다. 마지막으로 Lost/Inserted Cell Count 필드는 잃어버렸거나 잘못 삽입된 셀의 수를 나타낸다.



(a)일반적인 OAM 셀 구성



(b)성능관리 OAM셀 구성

(그림 4) OAM 셀 구성
(Fig. 4) OAM Cell Format

3.3 OAM 셀을 이용한 망 상태 진단

망의 상황을 판단하는 방법으로서 기존 알고리즘에서는 망 상태를 알리기 위한 특별한 패킷을 두었으나 본 논문에서 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘에서는 트래픽을 추가할 필요가 없는 OAM 셀을 이용하였다.

OAM셀에서 얻을 수 있는 세 가지 필드 정보 중에서 첫째는 기존의 OAM 셀에서 Monitoring Cell Sequence Number 필드를 조사하여 전송한 셀들의 순서를 파악함으로써 망의 상태를 진단할 수 있다. 셀 순서가 정상이면 망의 상태는 양호한 편이라는 것을 알 수 있으며 순서가 맞지 않는 셀이 도착하면 흐름이 원활하지 않다는 의미이므로 망이 폭주 상태로 갈 위험이 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 셀이 도착하지 않으면 폭주가 이미 발생해서 접속이 정지된 상태로 예측할 수 있다. 이 경우에는 전송지연을 계산할 수 없으므로 표 1에서 ×로 표시하였다.

〈표 1〉 망 상태 진단 표
〈Table 1〉 Table for estimating network status

필드 정보 / 상태 진단	셀 순서	전송 지연	셀 손실율
정 상	정 상	정 상	0
휴 지	정 상	기준치 이하	0
분 주	정 상	기준치 이상	0
위 험	이 상	×	기준치 이상
폭 주	×	×	×

둘째로는 Time Stamp 필드를 보아 현재 시각과 비교하여 전송 지연을 측정할 수 있다. 이 측정된 전송 지연 값이 예상한대로 기준치일 경우는 망이 정상 상태임을 의미하므로 협정한 초기 전송 속도로 계속 전송하도록 하고 기준치보다 낮은 값이면 예상했던 시간보다 덜 걸린 셈이므로 망 내의 전송량이 적다는 뜻이 된다. 즉, 휴지 상태로 진단할 수 있다. 따라서 더 빠른 속도로 셀을 보내도록 하여 망 자원의 효율을 높힌다. 만약 전송 지연이 기준치 이상이면 예상보다 늦게 도착한 것이므로 망 내의 전송량이 많은 상태를 의미한다. 따라서 망이 분주 상태라고 진단할 수 있으므로 셀을 느린 속도로 보내게 하여 폭주가 발생하지 않도록 한다. 만약 셀이 순서대로 도착하지 않으면 전송 지연을 계산할 수 없으므로 폭주 상태로 간주한다.

마지막으로 Loss/Misinserted cell count 필드를 통하여 Total User Cell Number 필드와 계산하여 셀 손실율을 구할 수 있다. 셀 손실율 측면에서는 폭주가 발생할 위험이 없는한 셀이 손실되어서는 안된다. 그러므로 셀이 기준치 이상으로 손실 되었을 경우는 폭주가 발생할 수 있는 위험 상태로 간주하고 셀 전송 속도를 급격히 줄여서 망의 전송량에 부담을 주지 않도록 한다. 셀이 도착하지 않은 경우는 폭주가 이미 발생한 상태가 되므로 사용자에게 알려 셀의 전송을 중단하도록 하고 망으로 유입되는 전송량을 최대한 줄인다.

이상과 같이 OAM 셀이 주는 정보를 바탕으로 망

상태를 판단한 다음 모니터는 망 상황에 적응적으로 대처하기 위해 사용자가 요구하는 서비스 품질을 보장하는 범위 내에서 표 2와 같이 리키율과 버퍼 임계값을 조절한다.

〈표 2〉 망 상태에 따라 모니터가 조절하는 변수 값
〈Table 2〉 Variables controlled by monitor according to network Status

조절 변수 / 망 상태	리키율	버퍼 임계값
정 상	초기값	초기값
휴 지	증 가	감 소
분 주	감 소	증 가
위 험	크게 감소	크게 증가
폭 주	급격히 감소	급격히 증가

표 2에서와 같이 망 상태가 정상으로 판단되면 UPC-BT 알고리즘의 모니터는 협정 속도로 셀을 보내기 위해 버퍼 크기와 리키율을 초기에 협정한 값으로 두고 셀을 전송한다. 만약 망의 상태가 휴지 상태로 간주되면 더 많은 셀이 빠르게 유입될 수 있도록 버퍼를 줄이고 리키율을 증가시킨다. 망이 분주 상태이면 버퍼는 늘리고 리키율을 줄여서 셀의 전송 속도를 늦춘다. 또한 위험 상태가 되면 폭주를 막기 위해 셀의 리키율을 크게 감소시켜 망 내로 셀의 유입을 최대한 막는다. 이러한 예방 조치에도 불구하고 폭주가 발생하게 되면 사용자에게 알려 셀의 전송을 중단하게 하고 UPC-BT 알고리즘의 모니터는 리키율을 급격히 감소시켜 폭주 정보가 사용자에게 전달되는 동안 발생하는 셀의 유입을 통제한다. 그리고 리키율의 조절에 따라 손실되는 셀을 줄이기 위해 버퍼 지연을 고려한 범위 내에서 버퍼 크기를 증가 또는 감소시킨다.

OAM 셀의 작동은 루프백 방식을 통해 UPC 알고리즘을 수행하는 지점에서 OAM 셀을 받아 망 상태를 파악할 수 있게 하였으며 다른 노드로 정보를 알리기 위해 OAM 셀을 발생할 수 있게 하였다.

적응적 UPC-BT 알고리즘을 다시 간단하게 요약하면 접속이 설정된 후 사용자가 트래픽을 보내는 동안 "모니터"라는 제어기가 망의 상황을 알리는 OAM 셀을 통해 망 상태에 관한 정보를 얻어 상황에 따라 리키버킷의 토큰 발생 속도를 조절하고 망 상황과 트래픽의 서비스 품질에 따라 버퍼의 임계값도 조절하는 적응적 구조를 갖는 알고리즘이다.

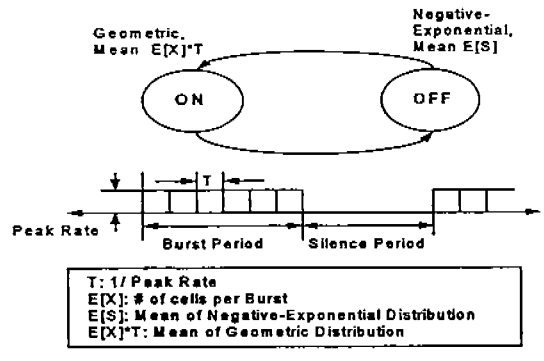
4. 성능 분석

본 논문에서는 변형된 리키버킷 알고리즘 중 CDV를 최소화하는 기능을 가진 스페이서가 있는 리키버킷 알고리즘을 기본으로 모델링하였으며 모니터를 사용하여 OAM 셀에 따라 상황을 바꿔가면서 두 가지 성능 평가 변수인 셀 손실율과 버퍼 지연 측면에서 성능을 분석하였다. 기존의 연구에서는 셀 손실율에 대해서만 다루었으나 본 논문에서는 버퍼 지연까지 고려하고자 한다.

4.1 시뮬레이션 모델

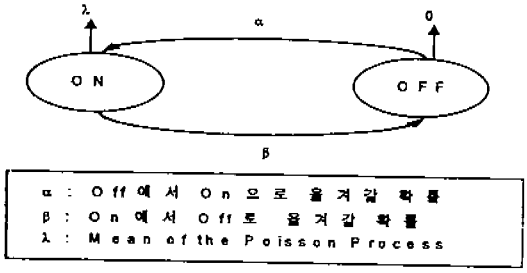
본 논문에서는 시뮬레이션에 사용한 패킷형의 음성 트래픽이나 고속 데이타가 갖는 버스트 특성을 가장 잘 표현해 주기 위해 ON-OFF 모델을 기본으로하는 IPP(Interrupted Poisson Process) 모델[19]을 모델링하여 시뮬레이션 하였다.

ON-OFF 소스 트래픽 모델은 그림 5와 같이 ON 기간 동안 최대 비트율로 셀이 발생하고 OFF 기간 동안은 셀을 발생시키지 않는다. ON 기간에 발생하는 셀의 시간 간격을 T라고 하고 이 기간 동안 발생하는 셀의 총 수를 E[X]라고 한다면 ON 기간은 E[X]와 T의 곱을 평균으로 하는 기하분포를 이룬다. 또한, OFF 기간은 트래픽의 평균 침묵기간을 E[S]라고 했



(그림 5) ON-OFF 모델
(Fig. 5) ON-OFF Model

을때 E[S]값을 평균값으로 하는 음의 지수분포를 이룬다.



(그림 6) IPP 모델
(Fig. 6) IPP Model

IPP(Interrupted Poisson Process) 모델은 IBP 모델의 연속시간 버전으로 그림 6과 같이 표현된다. 여기서 α와 β는 전이율로 해석된다. 즉, OFF 및 ON 기간에 머무는 시간은 각각 α와 β의 지수 분포를 따른다.

본 논문에서는 버스트 트래픽의 특성을 표현한 ON-OFF 모델을 기본으로 ON 기간 동안에만 최대 비트율로 전송되고 OFF 기간에는 셀을 전혀 발생하지 않는 IPP 모델을 주로 모델링하여 시뮬레이션하였다. 이것은 시뮬레이션에 사용한 패킷형의 음성 트래픽이나 고속 데이타가 갖는 버스트 특성을 가장 잘 표현해 주기 때문이다. 이들 트래픽들은 PP 모델과 같이 연속적으로 셀을 발생시키지 않고 버스트 기간과 침묵 기간을 갖고 있으며 버스트 기간에만 트래픽을 전송하는 성질이 있다. 따라서 IPP 모델이 가장 적합하다고 볼 수 있다.

서비스 품질은 일반적으로 음성 트래픽과 고속 데이타 트래픽에 대해 사용자가 요구하는 서비스를 이용하였다. 음성 트래픽과 고속 데이타 트래픽은 최대 비트율, 버스트 기간이나 서비스 품질 등에서도 상반된 성질을 갖고 있다. 특히 서비스 품질에서 음성 트래픽은 10^{-3}으로 셀 손실율이 높지만 버퍼 지연은 30ms으로 매우 낮으므로 셀 손실율보다는 지연에 매우 민감하다는 것을 알 수 있다. 반면에 고속 데이타 트래픽은 10^{-9}으로 매우 낮은 셀 손실율을 요구하지만 버퍼 지연은 600ms이므로 지연에는 민감하지 않고 셀 손실율에 민감하다는 것을 알 수 있다.

시뮬레이션에 사용한 입력 변수 값은 IPP 모델링에 필요한 최대 비트율, 버스트 기간 등이고 특히 리키버킷 알고리즘에 필요한 변수인 리키율과 토큰 풀 크기는 아래와 같이 구하였다.

리키율 = ε * 최대 비트율 [18]
토큰 풀 크기 = 평균 버스트 길이/(48*8) 비트

리키율은 최대 비트율을 감시하는 것이므로 최대 비트율보다 크거나 같은 값이 된다. 본 논문에서는 협정시 리키율을 최대 비트율로 두고 ε 값을 변화시켜 가면서 결과를 측정하였다. 즉, ε 값의 초기값은 1.0에서 시작하여 부과적재량(Offered Load)이 0.2증가 또는 감소시마다 0.1씩 증가 또는 감소시켰다. 그리고 토큰 풀의 크기는 트래픽의 버스트 특성을 고려하여 최소한 평균 버스트 길이는 수용해야 한다는 입장에서 위와 같은 방법으로 구하였다.

IPP 모델에서 ON 기간에 최대 비트율로 셀을 발생시키기 위해 셀 발생 간격은 트래픽의 정보부분 즉, 53 바이트 중 헤더 부분(5 바이트)을 제외한 셀 페이로드 부분인 48 바이트에 해당하는 384 비트에 최대 비트율을 나누어 구하였다. 그리고 ON 기간과 OFF 기간과의 간격은 버스트 기간과 침묵 기간 값을 평균으로 하는 지수분포에 의해 동작하도록 하였다.

시뮬레이션 프로그램은 C 언어를 이용하여 사건 스케줄링(Event Scheduling) 방식으로 작성하였고 시뮬레이션 실행 시스템은 DEC ALPHA 워크스테이션(OSF/1)에서 행하였다.

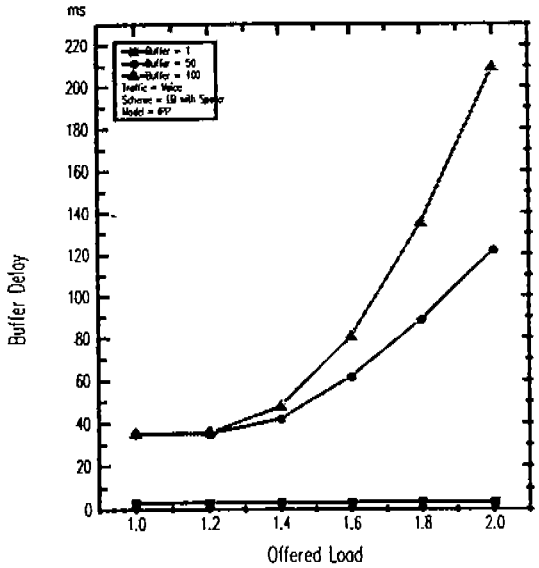
4.2 시뮬레이션 결과 분석

셀 손실율과 버퍼 지연을 성능 평가 변수로 두어 각 트래픽마다 두 가지 결과값을 비교 분석하였다. 여기서 셀 손실율이란 총 발생한 셀 중 폐기된 셀의 비율을 의미한다. 그리고 버퍼 지연이란 토큰을 받기 위해 또는 스페이서에 의해 버퍼에서 기다릴 경우 지연되는 평균 시간을 의미한다. 셀 손실율과 버퍼 지연을 줄임으로써 단위 시간 당 전달되는 데이타량을 늘리고 정확도를 높일 수 있다. 위의 평가 변수를 부과 적재량(Offered Load)에 따라 측정하였다. 부과 적재량은 본 논문에서 다음과 같이 정의하였다.

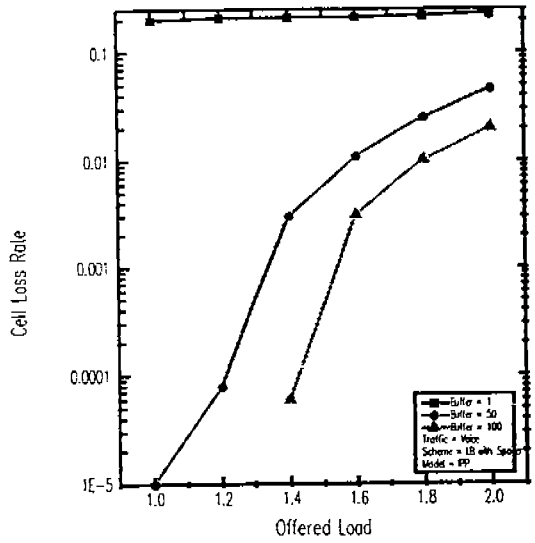
$$\text{부과 적재량} = \frac{\text{현재 셀 전송률}}{\text{최대 셀 전송률}}$$

그림 7과 그림 8은 음성 트래픽을 스페이서를 갖는 알고리즘에 적용하였을 경우 버퍼 크기에 따른 버퍼 지연과 셀 손실율을 나타낸 그래프들이다. 그림 7의 버퍼 지연을 보면 버퍼가 1일 때와 버퍼가 50일 때 큰 차이를 보인다. 반면 버퍼가 50일 때와 100일때는 전송량이 적으면 버퍼 지연이 거의 같고 전송량이 많아질수록 차이가 커짐을 알 수 있다. 그러므로 지연에 민감한 음성 트래픽은 서비스 품질을 보장하기 위해 버퍼 크기를 1에서 50 사이로 그 범위를 제한하여 전송량이 적을 때는 버퍼 크기를 늘려서 셀 손실율을 줄이고 전송량이 많을 때는 버퍼 크기를 줄여서 버퍼 지연의 증가를 막을 수 있도록 해야 한다.

그림 8의 음성 트래픽의 버퍼에 따른 셀 손실율을 보면 버퍼가 너무 작은 경우는 전송량에 관계없이 매우 큰 셀 손실율을 보여주고 있다. 그리고 버퍼를 크게할 수록 셀 손실율은 급격히 줄어든다. 그러나 음성 트래픽일 경우는 셀 손실율 보다는 버퍼 지연에 더 민감하기 때문에 버퍼 크기를 있는 그대로 사용하면 셀 손실율은 줄어들지만 버퍼 대기열이 증가하여 버퍼 지연이 서비스 품질 이상으로 크게 증가하므로 버퍼 지연을 고려하여 버퍼 크기를 줄이는 것이 더 우선적이다. 따라서 버퍼 지연을 보장하는 범위 내에서 일정한 셀 손실율을 보장할 수 있도록 버퍼 크기를 1과 50사이로 범위를 제한하여 상황에 따라 조절하는 것이 합리적이라 할 수 있다.



(그림 7) 음성 트래픽의 버퍼 크기에 따른 버퍼 지연 비교
(Fig. 7) Offered Load vs. Buffer Delay(Voice Traffic)

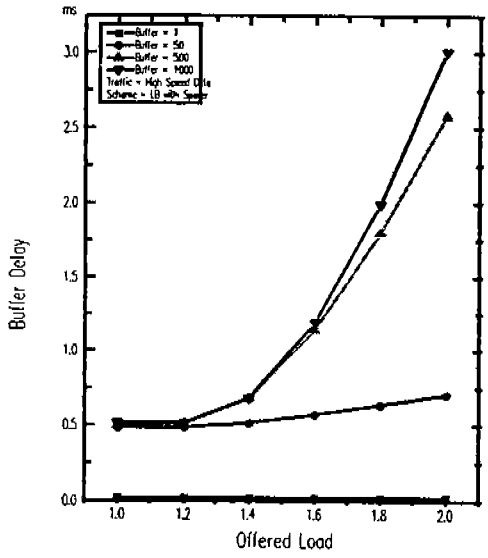


(그림 8) 음성 트래픽의 버퍼 크기에 따른 셀 손실율 비교
(Fig. 8) Offered Load vs. Cell Loss Rate(Voice Traffic)

그림 9와 그림 10은 트래픽이 고속 데이타일 경우 버퍼에 따른 버퍼 지연과 셀 손실율에 대한 그래프이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 버퍼 지연에 있어서 고속 데이타는 버퍼 크기에 따라 약간의 차이는 있지만 전체적으로 볼 때 매우 작은 버퍼 지연을 나타낸다. 이것은 음성 트래픽 보다 버스트 특성에 있어 버스트 기간이 침묵 기간보다 아주 작으므로 긴 침묵 기간동안 셀의 전송이 거의 이루어져서 트래픽의 정체가 그다지 크지 않기 때문이다. 따라서 고속 데이타 트래픽은 지연보다는 셀 손실율에 민감하므로 버퍼를 최대로 사용하는 것이 바람직하다.

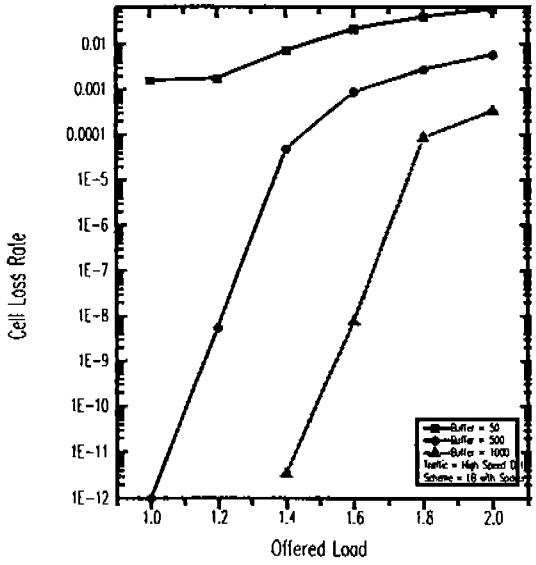
또한 그림 10의 셀 손실율을 보아도 버퍼를 최대로 해야 한다는 것을 알 수 있다. 셀 손실율에 있어서 버퍼에 따라 급격한 차이를 보여주고 있으므로 셀 손실율에 민감한 고속 데이타의 경우는 전송하는 트래픽의 정확도를 높이기 위해 버퍼 크기를 최대로 사용해야 원하는 서비스 품질을 얻을 수 있다는 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 따라서 고속 데이타 트래픽일 경우에는 버퍼 임계값을 최대 크기로 하고 망 상황에

따라 리키율만을 조절하도록 하였다.



(그림 9) 고속 데이타 트래픽의 버퍼 크기에 따른 버퍼 지연 비교

(Fig. 9) Offered Load vs. Buffer Delay(High Speed Data Traffic)

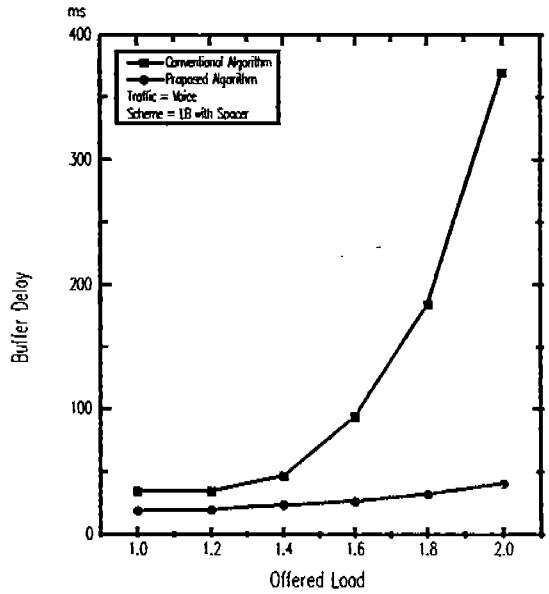


(그림 10) 고속 데이타 트래픽의 버퍼 크기에 따른 셀 손실율 비교

(Fig. 10) Offered Load vs. Cell Loss Rate(High Speed Data Traffic)

마지막으로 그림 11부터 그림 14까지는 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 먼저 그림 11은 음성 트래픽일 경우 버퍼 지연을 나타낸 그래프이다. 기존의 알고리즘은 전송량이 작을 때는 큰 차이가 없었지만 전송량이 많아질수록 급격히 버퍼 지연이 증가하였다. 그러나 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘에서는 버퍼 크기를 1에서부터 50 이하로 제한하여 임계값을 조절하였으므로 매우 낮은 버퍼 지연을 나타내고 상황에 따라 리키율을 적절하게 제어하였으므로 전송량이 증가하더라도 큰 변화를 보이지 않음을 볼 수 있다.

기존 알고리즘의 곡선이 높은 증가율을 보이는 것은 전송량이 증가하면 망에서 폭주가 발생하기 쉽게 되고 만약 폭주가 발생한 경우에도 기존 알고리즘은 이에 적절한 조치를 취할 수 없으므로 계속 정체 현상이 가중된다. 이러한 이유로 지연이 급격히 증가하는 현상이 나타나게 되는 것이다. 반면에 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘은 망의 상태에 따라 리키율과 버퍼를 적절하게 조절하기 때문에 전송량이 증가하더라도 망 내의 상태가 악화되는 것을 막을 수 있

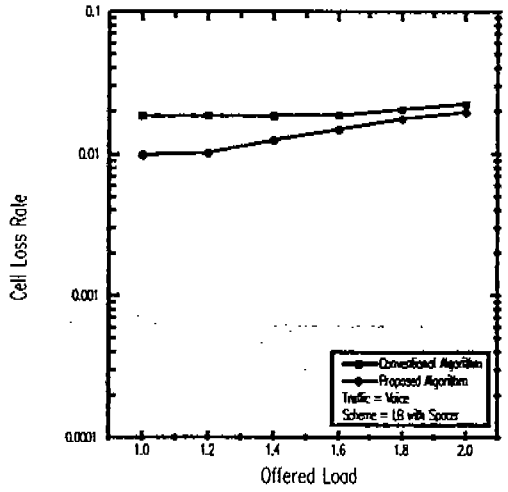


(그림 11) 음성의 버퍼 지연에 대한 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 비교

(Fig. 11) Comparison between Conventional and Proposed Algorithms for Buffer Delay of Voice Traffic

고 악화 되더라도 적응적으로 대처하여 버퍼 지연이 크게 증가하지 않음을 볼 수 있다.

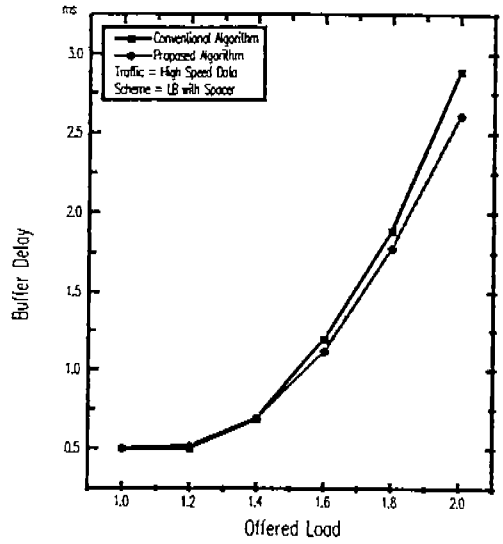
그림 12의 셀 손실율에 있어서는 두 알고리즘에 있어 큰 차이가 없지만 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘이 기존 알고리즘보다 셀 손실율이 더 낮으므로 개선된 결과를 얻었다고 볼 수 있다. 특히 전송량이 작을 경우 더 효율적으로 사용되었음을 알 수 있다. 전체적으로 볼 때 서비스 품질보다 셀 손실율이 큰 이유는 성능의 정확한 비교를 위하여 시뮬레이션 동안 망 내에서 폭주 시에 손실되는 셀의 수도 포함하였기 때문이다.



(그림 12) 음성의 셀 손실율에 대한 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 비교

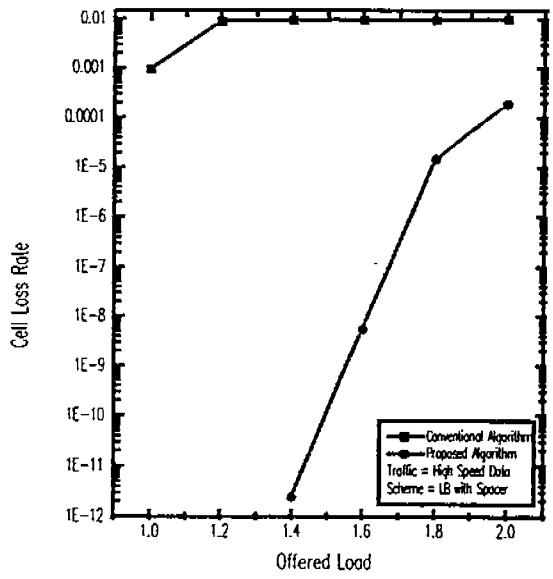
(Fig. 12) Comparison between Conventional and Proposed Algorithms for Cell Loss Rate of Voice Traffic

그림 13은 트래픽이 고속 데이타일 경우의 그래프로서 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 버퍼 지연을 보여 준다. 두 알고리즘의 버퍼 지연이 거의 비슷하게 나타나는 것은 제안한 알고리즘에서도 트래픽이 혼잡한 경우를 제외하고는 버퍼 크기를 최대로 이용하였기 때문이다. 전송량이 많은 경우에는 제안한 알고리즘의 버퍼 지연이 기존 알고리즘보다 약간 낮게 나오는 것으로 보아 제안한 알고리즘이 어느 정도 융통성을 발휘하였음을 알 수 있다.



(그림 13) 고속 데이타의 버퍼 지연에 대한 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 비교

(Fig. 13) Comparison between Conventional and Proposed Algorithms for Buffer Delay of High Speed Data Traffic



(그림 14) 고속 데이타의 셀 손실율에 대한 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 비교

(Fig. 14) Comparison between Conventional and Proposed Algorithms for Cell Loss Rate of High Speed Data Traffic

그림 14는 고속 데이타 트래픽의 셀 손실율에 있어서 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능 비교를 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 제안한 알고리즘의 셀 손실율과 기존 알고리즘의 셀 손실율은 매우 큰 차이를 보인다. 기존 알고리즘은 고속 데이타 트래픽의 서비스 품질을 만족시키지 못하지만 제안한 알고리즘은 리키율과 버퍼 임계값을 적절하게 조절하였으므로 전송량이 1.6이상 즉 아주 많을 때를 제외하고는 사용자가 원하는 서비스 품질을 만족 시킨다는 것을 그래프를 통해 알 수 있다.

이상과 같이 시뮬레이션의 결과를 종합하여 볼 때 제안한 적응적 UPC-BT 알고리즘은 서로 다른 성질을 갖는 각 트래픽에 따라 효율적으로 작동하였음을 알 수 있었다. 지연에 민감한 음성 트래픽일 경우는 버퍼 지연을 크게 줄일 수 있었고 정확성을 요구하는 고속 트래픽일 경우는 셀 손실율을 크게 줄여서 사용자가 원하는 서비스 품질을 보장할 수 있었다.

5. 결 론

ATM 망의 트래픽의 흐름을 조절하고 자원의 사용을 최적화하기 위해서는 폭주로 인한 성능 저하를 막기 위한 적절한 제어가 필요하다. 기존의 UPC 알고리즘은 망의 상황과는 관계없이 매우 불안정한 예방적 기능만을 수행하였고, 버퍼로 인해 셀 지연을 가중시키는 한계점을 갖고 있었다.

본 논문에서는 OAM 셀을 이용하여 망의 상태에 따라 능동적으로 반응하는 적응적 UPC 알고리즘을 제안하고, 버퍼로 인한 지연을 고려하여 서비스의 질을 한층 더 높일 수 있게 하였다. 제시한 UPC 알고리즘은 OAM 셀이 주는 정보를 바탕으로 망 내의 상황을 판단하여 사용자가 요구한 서비스의 질을 고려할 수 있도록 리키율과 버퍼의 임계값를 조정하였다. 망이 분주 시에는 리키율을 낮추고 버퍼를 늘려서 망 내에 유입되는 셀을 막는 역할을 하고 망이 한가할 때는 리키율을 높이고 버퍼를 줄여서 빠르게 망 내로 셀이 유입될 수 있도록 하였다. 폭주 발생 시에는 셀의 유입을 막고 폭주 상태가 해결될 때까지 리키율을 감소시켜 트래픽을 통제한다. 따라서 적응적 UPC-BT 알고리즘은 망의 효율적 사용을 도모하고 폭주 방지 차원에서 반응 차원까지 그 활용 범위를 확장시켜 가장 합리적으로 작동한다.

본 논문에서 제시한 적응적 UPC-BT 알고리즘의 트래픽 소스 모델은 IPP 모델로 모델링하였고 사용한 트래픽은 서로 다른 서비스 품질을 갖는 음성과 고속 데이타를 중심으로 시뮬레이션하였다. 음성과 고속 데이타 각각의 경우에 시뮬레이션한 결과를 기존의 알고리즘과 비교 분석한 결과, 지연에 민감한 음성에서는 버퍼 지연이 대폭 줄었고 정확성을 요구하는 고속 데이타인 경우는 셀 손실율이 크게 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제시한 적응적 UPC-BT 알고리즘은 사용자가 요구하는 서비스의 질을 유지하면서 동시에 망의 자원을 효율적으로 사용하였음을 알 수 있었다.

적응적 UPC-BT 알고리즘은 본 논문에서 사용한 두 가지 트래픽 외의 여러가지 성질을 갖는 다양한 트래픽에도 적용이 가능하다. 트래픽의 종류가 다양해지고 망의 전송 속도가 증가함에 따라 본 논문에서 제시하는 적응적 UPC-BT 알고리즘은 그 활용 범위를 넓혀가는 ATM 망에 매우 유용하게 사용할 수 있다.

본 논문에서는 하나의 채널 상에 UPC 알고리즘을 구현하였지만 여러 채널과 망을 연결하여 더 큰 범위에서 보다 정확한 성능의 비교를 위한 성능 평가 변수로서 버퍼 지연과 셀 손실율 외에 실제 망 내의 회선 이용률까지 측정하는 작업에 관해서는 향후 연구가 더 필요하다. 그리고 제안한 알고리즘에 대한 정확한 수학적 모델에 대한 연구도 향후 과제라 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T, Rec. I.121: "Broadband Aspects of ISDN", Blue Book, Vol. III. 7, Geneva, Switzerland, 1989.

[2] Sykas, E. D., Paschalidis, I. C., Mourtzinou, G. K. and Vlakos, K. M., "Congestion Avoidance ATM Networks", IEEE INFOCOM'92, pp. 7A. 2.1-7A.2.10, 1992.

[3] Gilbert, H., Aboul-Magd, O. and Phung, V., "Developing a Cohesive Traffic Management Strategy for ATM Networks", *IEEE Commun. Mag.*, pp. 36-45, Oct., 1991.

[4] ITU-T Rec. I.371: "Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN", 1994.

[5] Rathgeb, E., "Modelling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks", *IEEE JSAC.*, Vol. 9, No. 3, pp. 325-334, Apr., 1991.

[6] Jalali, A. and Mason, L. G., "Open Loop Scheme for Network Congestion Control", IEEE ICC, pp. 199-203, 1991.

[7] Turner, J. S., "New Directions in Communications (or Which Way to the Information Age?)", *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 24, No. 10, pp. 8-15, Oct., 1986.

[8] Hong, D. and Suda, T., "Congestion Control and Prevention in ATM Networks", *IEEE Network Mag.*, pp. 10-16, Jul., 1991.

[9] Berger, A. W., "Performance Analysis of a Rate Control Throttle Where Tokens and Jobs Queue", IEEE INFOCOM'90, pp. 30-38, 1990.

[10] Bala, K., Cidon, I. and Sohraby, K., "Congestion Control for High Speed Packet Switched Networks", IEEE INFOCOM'90, pp. 520-526, 1990.

[11] Yamanaka, N., Sato, Y. and Sato, K., "Performance Limitation of Leaky Bucket Algorithm for Usage Parameter Control and Bandwidth Alloction Methods", IEICE Trans. Com., Vol. E75-B, No. 2, pp. 82-86, Feb., 1992.

[12] CEC, COST 224 *Performance Evaluation and Design of Multiservice Networks*, Commission of The European Communities, Final Report, pp. 49-50, Oct., 1991.

[13] Vasilakos, A. V. and Atlasis, A. F. "LB-SELA: Rate-Based Acess Protocol for ATM Networks", IEEE INFOCOM'94, pp. 5c.2.1-5c.2.8, 1994.

[14] Monterio, J. A. S., Gerla, M. and Fratta, L., "Input Rate Control for ATM Networks", ITC 13, pp. 117-122, 1991.

[15] Guillemin, F., Boyer, P. and Romoeuf, L., "The Spacer-Controller: Architecture and First Assesments", IFIP Workshop, pp. 294-304, 1992.

[16] ITU-T Rec. I.610: "B-ISDN Operation and Maintenance Principles and Functions", Mar., 1993.

[17] ITU-T Annex 12, Modification to Rec. I.610, Geneva, Mar., 1994.

[18] Butto, M., Cavallero, E. and Tonietti, A., "Effectiveness of the Leaky Bucket Policing Mechanism in ATM Networks", IEEE JSAC., Vol. 9, No. 3, Apr., 1991.

[19] H. Yamada, S. Sumita, "A Traffic Measurement Method and Its Application for Cell Loss Probability Estimation in ATM Networks", IEEE JSAC., Vol. 9, No. 3, Apr., 1991.

안 옥 정

1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사
1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사
1995년~현재 동양 SHL 기술연구소 연구원
관심분야: 망관리 및 설계, 고속통신망, 성능평가

채 기 준

1982년 연세대학교 수학과 학사
1984년 미국 Syracuse Univ. 전자계산학과 석사
1990년 미국 North Carolina State Univ. 컴퓨터 공학과 박사
1990년~1992년 미국 해군사관학교 전자계산학과 조교수
1992년~현재 이화여자대학교 전자계산학과 부교수
1996년~현재 이화여자대학교 정보전산원 원장
관심분야: 고속통신망, LAN, 망관리, 성능평가, 암호학 응용