

ATM 상의 다중점 연결을 위한 폭주 제어 기법의 불공정성

최 원 정[†] · 이 미 정^{††}

요 약

망의 활용율을 높이고 서비스의 질을 최대한 만족시키기 위하여 피드백을 사용하여 적응적으로 가용한 대역폭을 제공하여 주는 방법과 그 효과에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이러한 연구는 점 대 점 연결에 적용하기 위한 것으로 시작하여 최근에는 멀티캐스트 서비스를 요구하는 트래픽 전송이 증가함에 따라 점 대 다중점에 적용하는 연구로 확장되고 있다. 피드백에 의해 트래픽을 제어하는 경우 전과 지연이 클수록 제어의 효율성이 떨어지게 되는데 특히 역방향 및 폭주 정도가 각각인 다수의 경로 및 수신원이 존재하는 점 대 다중점 연결의 경우는 송신원으로부터의 거리에 따라 수신원들이 송신원에 미칠 수 있는 영향력이 달라질 수 있어 폭주에 반응하는 제어 방법에 따라 공정성의 문제가 야기될 수 있다. 그런데 이와 같이 전과 지연 차이에 의하여 각 수신자가 겪는 서비스 불공정성에 영향을 미칠 수 있는 제어 방법 요인에 대하여서는 연구된 바가 미진하다. 이에 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 ATM(Asynchronous Transfer Mode)과 같은 고속망의 점 대 다중점 연결에서 폭주가 일어났을 경우 피드백 발생 간격과 스위치에서의 피드백 통합 시기 및 송신원의 출력을 감소폭 조정 정도가 송신원으로부터의 전과 지연차가 큰 경로상에 놓인 수신원에게 불공정성을 야기할 영향을 미치는지 살펴보았다. 시뮬레이션 결과, 피드백 통합 시기에 따라 불공정성 정도가 달라지는 것으로 보이며 특히 크기가 작은 때 피드백 통합 시기에 따른 불공정성 정도 차가 큼을 볼 수 있었다. 또한 폭주시 송신원 출력 감소 폭에 따라 불공정성 정도가 달라지는데 감소폭을 크게 해 주었을 경우 송신원의 평균 ACR(Allowed Cell Rate)은 낮아지고 불공정성은 더욱 심화되었다.

Unfairness of Congestion Control for Point-to-Multipoint Connections in ATM

Wonjung Choi and Miyoung Lee^{††}

The methods of providing available bandwidth to users and giving feedback to maximize the utilization of network as well as the quality of service have been the focus of recent researches in ATM(Asynchronous Transfer Mode). This study has been extended from the point-to-point connections to point-to-multipoint connections as the number of applications requiring multicast service increases. It is known that the efficiency of congestion control scheme diminishes as propagation delay increases. Therefore, for a multipoint connection, the congestion control schemes will have different performance and unfairness. Hence, the problem of unfairness of congestion control schemes due to propagation delays may occur. The degree of such unfairness may change depending on various parameters of congestion control schemes. There has been, however, relatively little study on these problems. In this paper, we present how various aspects of control schemes—length of the interval

* 이 논문은 1996년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 준 회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사과정

†† 정 회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 조교수

논문접수 : 1998년 1월 23일, 심사완료 : 1998년 4월 20일

between feedback generations, point of time to coalesce feedback calls from child paths, decreasing factor of source rate in case of congestion affect the degree of unfairness. Simulation results show that degree of unfairness changes according to when the feedback coalescing happens. Especially it is shown that the effect of feedback coalescing time to the degree of unfairness is more significant for the smaller feedback interval. It is also found that as the source rate decreasing factor becomes larger the average ACR(Allowed Cell Rate) at the source gets lower and the degree of unfairness grow larger.

1. 서 론

망상의 트래픽 제어는 망이 병목 상태가 되는 것을 막고 제어되는 망 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 필요하다[1]. 특히 사용가능한 자원 용량 이상의 연결이나 트래픽이 할당된다면 사용자들에게 제공되는 망의 성능이 저하되는 결과를 초래한다. 트래픽을 지원하지 못하면서 버퍼 오버플로우가 발생할 수 있고 패킷이 버려지며 손실된 패킷에 의한 데이터의 재전송으로 전송 시간에 있어서 급격한 지연을 가져오기 때문이다. 따라서 망 상의 폭주 발생과 이에 관한 제어 방식은 서비스의 질 구현 측면에서 중요 관심 분야로 많은 연구가 이루어져 왔다.

초기 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 방식은 적응적 폭주 제어의 피드백이 고속의 스위칭 능력과 대량의 대역폭을 제공하는 ATM망에서 충분히 기민하지 못하다고 판단하여 예방적인 폭주 제어를 채택하였다. 그러나, 데이터 트래픽의 경우 매우 버스티하고 지연에 덜 민감한 성격을 가지고 있어 예방적인 폭주 제어만으로는 대역폭을 효율적으로 활용할 수 없다는 문제점이 있다[2]. 이에 ATM 포럼은 기존의 예방적 폭주 제어 방식만으로는 한계가 있음을 지적하고 데이터 트래픽의 전송을 지원하기 위하여 ABR서비스 클래스를 도입하였다[2.3]. 또한 ABR 서비스 클래스를 위한 폭주 제어 방식으로서 피드백을 사용하는 율 기반(rate-based) 반응적 폭주 제어 방식인 EPRCA를 제안하였다[3]. 그런데 최근 데이터나 비디오 트래픽 전송을 요구하는 응용들 중 다중점 연결 전송을 요구하는 응용이 증가하고 있어 이를 효율적으로 지원할 수 있도록 확장 정의되었다. 점 대 점 연결의 경우 폭주 제어는 단일 경로의 폭주 정도를 반영하여 트래픽 수신원의 전송율을 제어하면 되는데 반해 멀티캐스트의 경우에는 하나의 수신원이 점 대 다중점 연결을 구성하고 있는 다양한 경로의 폭주 정도를 동시에 반영하여 지원해 줄 수 있어야 하기 때문이다.

이때 점 대 점 연결의 경우와 달리 다중점 연결에서

고려해 주어야 할 요소로서 하단의 증가에 따른 송신지로의 폭발적인 피드백 유입과 다중점 연결에 속하는 각 경로의 서로 다른 폭주 정도의 효과적인 반영 등이 있다. [4,5] 등에서는 이러한 문제를 종합적으로 다루기 위한 여러 가지 프로토콜들을 제시하고 있는데 이들 문헌은 공통적으로 위의 첫 번째 문제를 해결하기 위해서는 스위치에서의 피드백 병합을 제안하고 있다. 또한 두 번째 문제를 해결하기 위해서 비디오와 같은 손실 관용적(loss tolerant) 응용에는 다중 계층 인코딩 방식을 사용하고, 데이터 응용과 같은 지연에 덜 민감하고 손실에 민감한 트래픽은 가장 폭주를 경험하고 있는 하위 망이 요구하는 셀 전송율로 전송하는 방식을 사용한다[6,7].

그런데 다중점 연결의 경우에는 이 외에도 각 수신원이 피드백이 병합되는 교환기 혹은 송신원으로부터 각기 다른 전파 지연상에 존재한다는 점이 문제를 좀더 까다롭게 만든다[6]. 역량 및 폭주 정도가 각각인 다수의 경로 및 수신원이 존재하는 다중점 연결의 경우는 송신원으로부터의 거리에 따라 수신원들이 송신원에 미칠 수 있는 영향력이 달라질 수 있어 폭주에 반응하는 제어 방법에 따라 공정성에 영향을 끼칠 수 있다. 이때 말하는 공정성이란 하나의 다중점 연결에 속하는 서로 다른 경로들이 경로의 가용 대역폭과 수신원 시스템 용량이 동일한 경우 동등한 성능을 보이는 것, 즉 송신원이 경로와 수신원들의 폭주 정도를 자신의 출력율에 공정하게 반영한다는 것이다[7,8,9]. ABR 트래픽은 연결 설정 시 최소 보장 셀 율만을 설정하고 망 내부의 폭주 상황에 따라서 전송율을 조정하는 적응적 방법을 채택하는데 적응적 율 제어 방식의 효율성은 전파 지연에 영향을 받는 것으로 알려져 있으므로, 여러 경로가 하나의 수신원의 출력율을 함께 제어하려고 시도할 경우 경로별 전파 지연의 차이로 인하여 불공정성이 야기될 수 있다.

ATM 환경에서 전파 지연이 적응적 율 제어에 미치는 영향은 기존 연구를 통하여 이미 분석된 바 있다. [8]에서는 무시할 수 없는 전파 지연 가정 하에서 피드

백을 사용하는 폭주 제어 방식의 효과를 연구하였다. [8]은 수신원이 자신의 버퍼 상황을 고려하여 피드백을 생성하고 이에 따라 송신원이 출력율을 조정하는 적응적 율 제어하에서 손실율과 처리량을 전파 지연과 관련하여 구하였다. 그 결과에 의하면 단순한 피드백에 근거한 폭주 제어는 전파 지연과 전송 시간의 비율이 너무 크지 않을 경우에만 유용하다. [9]에서는 지리적으로 널리 분산되어 있는 ATM 망에서 현재 서로 다른 거리에 위치한 송신원들이 동일 망 노드에 접근할 경우 망 노드에서 발생할 수 있는 폭주로 인하여 송신원간 불공정성이 발생한다는 것을 연구하였다. [9]는 동일한 거리에 있는 송신원들에 적용하였을 경우 공정한 망 접근 노드의 버퍼 운용 방법이 원거리 송신원에 대해서는 불공정성을 보인다는 것을 수치적 결과를 통해서 보여 주고 있다. 동일한 전파 지연상에 위치한 연결들이 공평한 효과를 얻는 것에 비하여 원거리의 연결이 상대적으로 낮은 성능을 보였다. [10]에서는 분석적 연구를 통하여 수신원들이 서로 다른 전파 지연 경로상에 위치한 점 대 다중점 모델에서 이러한 불공정성이 발생할 수 있음을 입증하였다. 불공정성을 측정하기 위하여 각 수신원의 성능을 독자적으로 분석할 수 있도록 큐잉 모델을 개발하였다. 그러나 분석적 모델링의 복잡성을 피하기 위하여 단순한 피드백 제어 방식을 대상으로 하고 있어 구체적으로 피드백 제어 방식에서 다양한 파라미터의 변형이 어떠한 영향을 미치는지는 제시되지 않았다.

이에 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 피드백을 사용하는 적응적 율 제어 기법을 적용하였을 경우 폭주 제어 방식의 특징 요소들, 즉 송, 수신원이 사용하는 폭주 제어 파라미터 및 스위치의 동작이 다중점 연결의 전파 지연에 관련된 각 수신원간 성능과 공정성에 어떤 영향을 미치는지 파악하였다. 하나의 송신원으로부터 서로 다른 전파 지연 시간을 갖는 두 개의 수신원으로 이루어진 단순한 멀티캐스트 연결 모델을 가정하고 율 제어 방식은 피드백에 근거한 단순한 이진 율 제어를 사용하였으며 구성 시스템들의 동작은 EPRCA 알고리즘의 권고안을 참고하여 수행하였다. 폭주 제어 방식의 조정 요인 중 수신원에서의 피드백 발생 간격과 스위치에서의 피드백 통합 방법 및 폭주 감소시키는 송신원의 출력율 감소폭을 변화시켜보았으며 수집하는 결과로서 송신원에서의 평균 셀 출력율과 각 수신원 시스템의 셀 손실율 및 수신원 사이에서의 셀 손실율의

비율 얻었다. 이로서 근거리 및 원거리 수신원간 전파 지연의 차가 늘어남에 따라 위의 요인들이 송신원의 평균 셀 전송율(ACR: Allowed Cell Rate) 및 수신원 시스템에서의 성능과 불공정성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 1장의 서론에 이어서 2장에서는 본 시뮬레이션에서 가장한 폭주 제어 기법에 관대해 간략히 소개한다. 3장에서는 시뮬레이션에서 사용된 망 모델과 시뮬레이션 작동 과정을 설명하고, 제안된 시뮬레이션을 통하여 수집한 수치적 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. ABR 트래픽 제어 방법

본 논문의 폭주 제어 방식은 EPRCA 알고리즘에 근거하고 있다. 본 장에서는 이에 근거한 파라미터들과 각 구성 시스템의 동작에 관하여 기술한다.

2.1. 파라미터

망과의 연결 설정에서 사용되는 송신원 파라미터는 PCR (Peak Cell Rate), MCR (Minimum Cell Rate), ICR (Initial Cell Rate) 등의 세가지가 있다. PCR은 송신원이 전송 가능한 최대 전송율이고, MCR은 망으로부터 보장 받은 최소 전송율을 의미하며, ICR은 망 상황을 알 수 없는 초기 전송시나 비활성화 기간 후의 초기 셀 전송율을 나타낸다. 송신원은 최소 MCR 이상, 최고 PCR을 넘지 않는 범위내에서 자신의 현재 전송율인 ACR (Allowed Cell Rate)을 조정한다. 이를 위해 RIF (Rate Increase Factor)와 RDF (Rate Decrease Factor) 파라미터가 사용된다. ACR을 증가시킬 경우 $ACR * RIF$ 만큼 ACR을 증가시키고 반대로 ACR을 감소시키는 경우 $ACR * RDF$ 만큼 ACR을 줄여준다. 또한 망 상황에 따라 송신원의 전송율을 조정하기 위하여 RM 셀이라는 특별한 제어 셀 (RM: Resource Management)을 피드백 셀로 사용하는 때 CI (Congestion Indication) 비트 필드를 두어 망 상황을 표시한다. 망으로 투입하는 피드백 셀의 수를 제어, 피드백 루프의 크기를 제어하는 파라미터로써 Nrm (Number of cells/RM)을 사용한다. 이러한 파라미터들이 알고리즘에 적용되는 구체적인 방법에 대해서는 다음절에서 설명한다.

2.2 제어 시스템의 동작

점 대 다중점 연결에서의 ABR 트래픽 제어는 송신원과 수신원 그리고 중간 교환기 동작으로 구성된다. 본 시뮬레이션에서 사용된 각 구성 요소들의 동작은 다음과 같다.

송신원의 동작

송신원은 피드백에 근거하여 데이터 셀 출력을 (ACR)을 조정한다. 이때 ACR은 항상 PCR과 MCR 사이에서 조정된다. 전송을 시작하고 일정 시간이 지난 후부터는 피드백 정보로서 피드백 셀을 받게되는데 CI 비트 필드의 폭주 정보에 따라서 ACR을 조정한다. CI=1로 설정된 피드백 셀을 받을 경우 폭주로 간주하고 ACR을 $ACR * RDF$ 만큼 감소시킨다. 반대로 CI=0인 경우 ACR을 $ACR * RIF$ 만큼 증가시킨다.

수신원의 동작

수신원은 일정한 간격(Nrm)마다 피드백 셀을 생성, 피드백 정보를 보낸다. 피드백 정보로서 자신의 버퍼 상황에 따라 폭주 여부를 결정하고 이를 피드백 셀의 CI 비트 필드에 기록하여 송신원으로 되돌려 보낸다.

중간 스위치의 동작

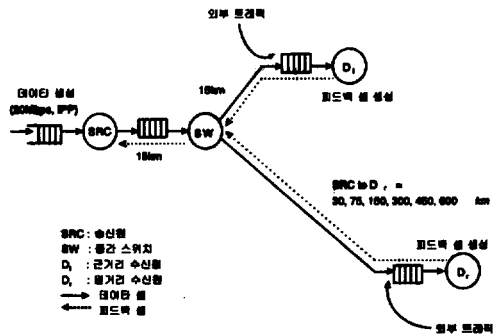
ATM 포럼에서 권고하고 있는 EPRCA 알고리즘에 의하면 폭주제어는 데이터 셀, 피드백 제어 셀 모두를 통하여 가능하다. 구현 방법에 따라 조금씩 달라지나 기본적으로 중간 스위치는 데이터 셀을 복사하고 피드백 정보를 통합하는 역할을 하도록 요청된다. 본 논문에서는 다음과 같은 동작을 한다. 중간 스위치는 송신원에서 일단 수신원까지 순방향으로 전송되는 데이터를 복사하고 데이터 셀을 전달하는 과정에서 셀의 EFCI 비트에 지역적 폭주 정보를 넣어 보낸다. 피드백 셀을 통하여 폭주 정보를 알릴때는 CI 비트를 사용한다. 하위 노드의 망에서 이미 폭주가 일어난 경우 망의 상태에 관한 정보는 피드백 셀을 통하여 중간 스위치에 전달되고 중간 스위치는 이를 송신원에 알린다. 이때 다중 하단의 수신원으로부터 전송된 피드백 셀들의 폭주 정보를 종합하여 통합하는데 통합 방법은 [6]에서 제안한 방법을 사용하였다. 즉, 하단의 수만큼 플레그 변수를 두고 새로운 피드백 셀이 들어올 때마다 해당 플레그 변수를 1로 설정함으로써 각 하단의 가장 최근의 폭주 정보를 기록한다. 피드백 셀이 폭주를 알리면 해당

플레그를 1로 설정한다. 각 하단으로부터 피드백 셀을 받아 모든 플레그가 기록되면 마지막으로 도착한 피드백 셀에 그 시점까지 누적된 폭주 정보를 종합하여 상위 노드로 전송한다. ATM 포럼에서 권고한 테로 하단 중 하나라도 폭주를 나타내었다면 상위 노드로 보내는 피드백 셀의 CI 필드를 1로 지정하여 폭주를 알린다[3].

3. 시뮬레이션 모델

3.1. 망 모델

본 시뮬레이션은 하나의 송신원과 그 송신원으로부터 서로 다른 전파 지연 경로 상에 위치한 두 개의 수신자 D₁, D₂ 그리고 하나의 중간 스위치로 구성된 망 모델을 사용하였다. 실제 상황과 유사하도록 송신원으로부터 오는 데이터 셀의 처리에 간섭 효과를 주기 위하여 수신원에 외부 트래픽이 유입되도록 설정하였다. 또한 시간이 흐름에 따라 동적으로 변하는 수신원의 폭주 상황을 모사하기 위하여 외부 트래픽 발생을 진동 상태로 구현하였다. 즉 일정 간격마다 과부하와 저부하의 외부 트래픽을 반복적으로 번갈아 발생시킨다. 외부 트래픽이 독립적으로 발생, 수신원에 유입되기 때문에 시간이 흐름에 따라 두 수신원의 버퍼 상태 역시 독립적으로 변화하게 한다. 수신원에서는 정기적으로 피드백 셀을 생성하여 송신원에 보낸다. 송신원에서 중간 스위치까지의 거리는 15Km, 중간 스위치에서 근거리 수신원(D₁)까지의 거리는 15Km로 설정한다. 중간 스위치에서 원거리 수신원(D₂)까지의 거리는 15Km, 60km.



(그림 1) 시뮬레이션 망 모델 (Fig. 1) Simulation network model

135km, 285km, 435km, 585km로 송신원에서 수신원까지는 대략 152.55 μs, 381.375 μs, 762.75 μs, 1525.5 μs, 2288.25 μs, 3051 μs의 전파 지연이 할당된다. 망 내의 모든 링크 용량은 155Mbps로 가정하였다.

3.2 입력 트래픽

송신원은 IPP(Interrupted Poission Process)에 의하여 입력 트래픽을 생성한다. IPP의 세가지 파라미터인 활동 상태에서의 셀 생성을 α, 평균 입력 부하 ρ, 평균 버스트 길이 C²가 주어졌을 때 식(1)에 의하여 활동 상태에서 활동 상태를 유지하는 p와 비활동 상태에서 비활동 상태를 유지하는 값 q를 구할 수 있다 [1]. 본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 IPP 파라미터 값은 각각 α = 0.9, ρ = 0.047(20Mbps), C² = 10 이며 이때 식(1)에 의하여 p = 0.849689, q = 0.991686 이 된다.

$$p = \frac{\alpha C^2 + 3\alpha\rho - 2\rho^2 - \alpha}{\alpha C^2 - \alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha}$$

$$q = \frac{\alpha C^2 - 3\alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha + 2\rho^2}{\alpha C^2 - \alpha\rho + 2\rho^2 - \alpha} \quad (1)$$

3.3 외부 트래픽

일정한 시간 간격으로 지속되며, 번갈아 가며 셀을 생성하는 두 개의 포아송 (Poisson) 프로세스에 의하여 외부 트래픽 셀들은 발생된다. 두 개의 포아송 프로세스의 도착율은 λ₁ = 3.29 × 10⁻⁷과 λ₂ = 1.83 × 10⁻⁷이다. 이는 가정한 링크의 최고 용량인 155Mbps의 90%와 50%에 해당하는 139.5Mbps와 77.5Mbps를 나타낸다. 이 두 프로세스가 지속되는 각각의 기간은 50ms 이다.

3.4 서비스 분포

송신원은 1/ACR을 서비스 시간으로 하는 고정 시간(deterministic) 서버에 의하여 버퍼의 셀들을 서비스한다. 중간 스위치와 두 수신원 역시 고정시간 서버에 의하여 서비스된다. 망 내의 모든 링크 용량을 155Mbps로 가정하였을 때 한 셀을 부가적 지연 없이 최대한 빠르게 처리한다고 가정하여 스위치에서의 셀

당 서비스 시간을 424bit/155Mbps = 2.7354 μs로 설정하였다.

3.5 송신원, 수신원, 스위치에서의 버퍼

송신원에서의 버퍼 용량은 무한으로 가정하였다. 두 수신원의 버퍼 크기는 모두 100셀로 동일하게 가정하고 버퍼 용량의 1/3 지점을 폭주 여부를 판단하는 임계치로 결정하였다. 모든 버퍼에서 서비스되는 스케줄링 방식은 선입선출(FCFB : First Come First Serve)이며 출력 버퍼링으로 구현하였다.

3.6 트래픽 제어 방법

송신원의 트래픽 제어를 위한 파라미터로서 최고 전송을 PCR은 링크의 최대 용량인 155Mbps, 최소 전송을 MCR은 1.55Mbps를 사용하였다. 초기 전송율인 ICR은 20Mbps로 설정하였다. 각 수신원은 일정한 간격마다 피드백 셀을 생성하여 송신원으로 전송하는데 생성 간격은 EPRCA알고리즘의 권고치에 근거하였다. 본 모델의 경우 EPRCA알고리즘에서 Nrm을 16,128로 지정한 것과 비슷한 효과를 내도록 피드백 셀의 발생 간격을 조정하였다.

3.7 시뮬레이션 수행

본 시뮬레이션에서 조정할 수 있는 제어 방식 파라미터 요소와 교환적 용량은 다음과 같다.

① 피드백 통합 방식

피드백을 근거로 수신원 Dr에서 발생시킨 피드백 셀이 도착했을 때 기존의 폭주 정보와 통합하는 방법과 원거리 수신원 Dr에서 발생시킨 피드백 셀이 도착했을 때 통합하는 방법을 비교하였다. 이때 수신원에서의 피드백 간격을 Nrm=16, 128로 변화시켰으며 RDF=1/2, RIF=1/8로 각각 고정하였다.

② ACR 감소폭(RDF) 조정

송신원에서 조절하는 ACR의 증가, 감소 폭은 RIF, RDF에 의하여 결정된다. 본 시뮬레이션은 RDF를 각각 1/2, 1/4, 1/8, 1/16로 변화시키면서 수행하였다. RIF는 1/8로 고정하였다. 이는 폭주가 일어났을 때 RDF를 조정함으로써 ACR의 감소폭에 따라 어떻게 망 상황에 영향을 미치는 지를 알아보기 위한 것이다. 이때 피드백 간격은 Nrm=16으로 고정하였고, 피드백 통합 방식

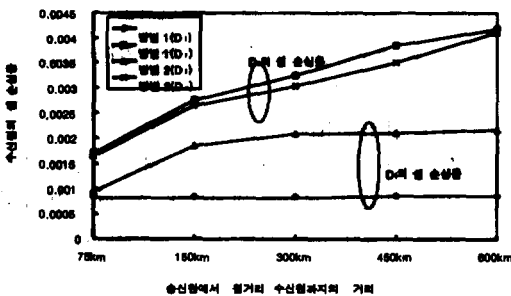
은 D_1 에서 발생시킨 피드백 셀이 도착했을 때 통합하는 방법을 채택하였다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

을 제어 방식의 파라미터 조정에 따른 성능 측정치로서 송신원에서 유지되는 평균적인 셀 전송율과 D_1 및 D_2 에서 발생하는 셀 손실율을 조사하였다. 또한 이에 근거하여 양 시스템의 성능에 어떤 형태의 불공정성이 발생할 수 있는지 알아보기 위하여 D_1 와 D_2 의 셀 손실율의 비율 구하였다. 그리고 이러한 결과들을 종합하여 성능과 불공정성의 연관을 분석하였다.

4.1 피드백 통합 방식에 따른 결과

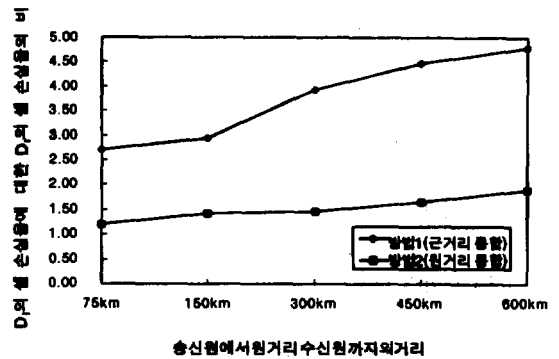
[그림 2]와 [그림 3]은 $N_{rm}=16$ 일 경우에 대하여 피드백 통합 방법을 비교해 주고 있다. D_1 로부터 피드백이 도착할 때 통합하는 방법을 방법1, D_2 에서 피드백이 도착할 때 통합하는 방법을 방법2로 표시하였다. [그림 2]는 각 피드백 통합 방식에 대하여 각 수신원에서의 셀 손실율을 보여준다. D_1 의 경우 방법1을 사용했을 때 셀 손실율이 거의 일정하게 낮고 방법2를 사용했을 때 셀 손실율이 높아진 것으로 나타났다. 이는 방법1의 경우 D_2 에서 발생시킨 피드백이 도착하였을 때 피드백을 통합하므로 근거리 피드백의 폭주 정보 반영 시기를 D_1 에 유리하게 앞당겨 주고 D_2 에 불리하게 해주기 때문이다. 반면에 D_2 의 경우 방법1을 사용했을 때 셀 손실율이 높고 방법2를 사용했을 때 셀 손실율이 낮아진 것으로 나타났다. 이는 방법2가 D_2 에서 발생시킨



(그림 2) $N_{rm}=16$ 인 경우 셀 손실율과 피드백 통합 방식간의 관계
(Fig. 2) Cell loss rate and feedback coalesce method when $N_{rm}=16$

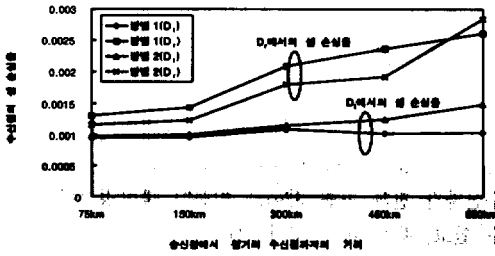
피드백이 도착했을 때 피드백을 통합시키기 때문에 원거리 피드백 반영시기를 D_2 에 유리하게 앞당겨 주기 때문이다. 그런데 D_2 의 경우 방법2를 사용하여 얻을 수 있는 셀 손실율의 향상폭과 D_1 의 경우 방법1을 사용하여 얻을 수 있는 셀 손실율의 악화폭을 비교하여 보면 D_1 의 경우 더 민감하게 피드백 통합 시기에 그 성능이 영향을 받음을 알 수 있다. 즉, 방법1을 사용한다면 방법2에 비하여 D_1 의 셀 손실율은 약간 높아지지만 D_1 의 셀 손실율은 많이 줄여주는 것으로 나타났다. 이는 피드백 적시성이 더 좋은 D_1 의 경우 방법1을 사용함으로써 피드백의 반영시기를 좀더 유리하게 해주면 피드백의 적시성이 떨어지는 D_2 에 비하여 더 효과적으로 성능의 향상을 가져온다는 것을 의미한다.

[그림 3]은 두가지의 피드백 통합 방법에 대하여 D_1 의 셀 손실율에 대한 D_2 의 셀 손실율의 비율 보여주고 있다. 두 방법 모두 D_2 의 셀 손실율이 D_1 보다 크므로 그 값이 1보다 크다. [그림 2]에서 살펴본 바와 같이 D_1 의 경우 피드백 적용 시기가 D_1 의 입장에서 앞당겨지는 방법1이 유리하고, D_2 의 경우 반대로 피드백 적용 시기가 D_2 의 입장에서 앞당겨지는 방법2가 유리하다. 방법2의 경우 방법1에 비하여 D_1 에서 높아지는 셀 손실을 양보다 D_2 에서 낮아지는 셀 손실을 양이 적으므로 전체적인 셀 손실을 측면에서는 불리하나 전파 지연 측면에서 좀더 유리한 D_1 측의 성능 저하를 대가로 좀더 불리한 D_2 측의 성능을 향상시킨다는 면에서 더 공평하다고 볼 수 있다. 따라서 D_1 과 D_2 의 셀 손실율의 비는 방법2의 경우 더 작아진다.

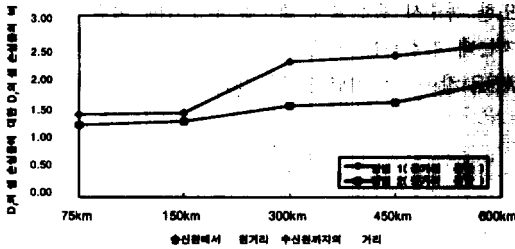


(그림 3) $N_{rm}=16$ 인 경우 불공정성과 피드백 통합 방식간의 관계
(Fig. 3) Unfairness and feed-back coalesce method when $N_{rm}=16$

[그림 4]와 [그림 5]는 $N_{rm}=128$ 로 피드백 간격 크기를 증가시켰을 때 두 피드백 통합 방식을 비교하였다. [그림 4]는 각 방법에 대한 각 수신원의 셀 손실율을 나타낸 것이다. D_1 의 경우 역시 방법1이 유리하고 D_r 의 경우 방법2가 유리하였다. 이 경우에도 방법1을 사용하였을 경우 방법2에 비하여 D_1 의 셀 손실율이 거의 일정하게 낮은 것으로 나타났다. 그러나 $N_{rm}=16$ 인 경우의 결과인 [그림 2]와 비교하여 보면 방법1을 사용함으로써 줄일 수 있는 D_1 의 셀 손실율과 방법2를 사용함으로써 줄일 수 있는 D_r 의 셀 손실율의 차가 크지 않음을 알 수 있다. 피드백 간격이 커지면서 D_1 의 성능이 피드백 통합 시기에 덜 민감하게 영향을 받는다는 것을 볼 수 있다. 따라서 피드백 간격의 크기가 클 때는 방법1에 의하여 피드백을 통합함으로써 방법2를 사용한 경우에 비하여 D_1 에서 저하되는 셀 손실율의 양과 D_r 에서 상승하는 셀 손실율의 양의 차이가 줄어들고 셀 손실율의 측면에서도 별 효과를 얻지 못하는 것을 볼 수 있었다.



(그림 4) $N_{rm}=128$ 인 경우 셀 손실율과 피드백 통합 방식간의 관계
(Fig. 4) Cell loss rate and feedback coalesce method when $N_{rm}=128$

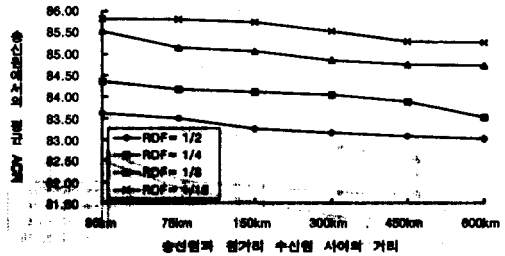


(그림 5) $N_{rm}=128$ 인 경우 불공정성과 피드백 통합 방식간의 관계
(Fig. 5) Unfairness and feedback coalesce method when $N_{rm}=128$

[그림 5]는 각 방법의 경우 양 수신원에서의 셀 손실율의 비로 [그림 3]과 유사한 결과를 얻었다. 그러나 [그림 3]과 비교하여 보면 피드백 간격의 크기가 커지면 전파 지연으로 인한 불공정성의 영향이 축소되고 두 통합 방식간 불공정성 정도의 차이도 적어짐을 알 수 있다.

5.2 RDF 조정 방법에 따른 결과

[그림 6]은 시뮬레이션이 수행되는 동안 송신원에서 유지되는 평균적인 ACR값을 나타낸 것이다. $RDF=1/2, 1/4, 1/8, 1/16$ 의 순으로 폭주시에 ACR을 감소시켜주는 폭이 감소하기 때문에 $RDF=1/2, 1/4, 1/8, 1/16$ 의 순으로 평균 ACR은 전체적으로 높아지게 된다. 각 RDF 값의 경우를 보면 송신원에서 D_r 까지의 전파 지연 시간이 증가함에 따라 ACR이 약간 감소해 나감을 볼 수 있다. 즉, 다중점 연결에 속하는 한 수신원의 전파 지연이 커질때도 송신원에서의 출력율 즉 ACR 값에 영향을 미침을 알 수 있다.

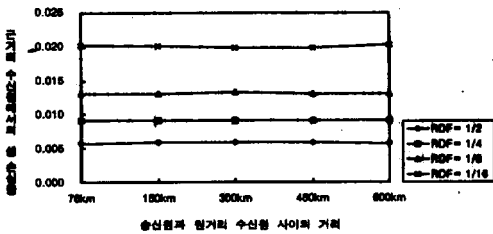


(그림 6) 전파 지연과 송신원의 평균 ACR
(Fig. 6) Propagation delay and avg. ACR of source

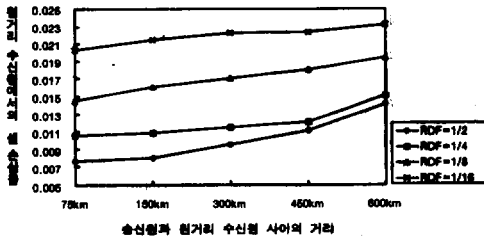
[그림 7]과 [그림 8]은 각각 D_1 과 D_r 의 셀 손실율을 나타낸 것이다. $RDF=1/2$ 로 감소폭이 가장 큰 방법이 D_1 . D_r 모두에서 셀 손실율이 가장 작은 것으로 측정되었다. 이는 RDF값이 클수록 폭주시 ACR을 감소시키는 폭이 크고 이는 다음 셀 유입 속도를 줄여줌으로써 망 내의 폭주 상황을 더 빨리 감소시키기 때문이다. 각 수신원에서는 $RDF=1/2$ 일 때의 셀 손실율이 $RDF=1/4, 1/8, 1/16$ 일 때에 비하여 훨씬 낮았다.

D_r 까지의 전파 지연 시간이 증가하면서 경험하는 셀 손실율을 보면, D_1 은 송신원과 D_r 과의 전파 지연에 거의 무관하게 일정한 셀 손실율을 유지한다. D_r 의 경우 피드백을 발생시킨 후 그 영향을 받아 바뀐 새로운

ACR에 의해 전송되는 셀이 들어오기까지의 시간이 D_r 까지의 전파 지연에 상관없이 고정되어 있기 때문이다. 반면에 D_r 의 경우 모든 RDF 값에 대하여 송신원으로 부터의 전파 지연이 증가함에 따라 셀 손실율은 점점 악화되었다. 이는 D_r 의 경우 송신원까지의 전파 지연 시간이 늘어남에 따라 자신의 정보를 정확히 알리기 힘들어지기 때문이다. 이 경우 피드백을 발생시키고 이에 대한 효과를 얻는 시간이 각각 $152.52\mu s$, $381.3\mu s$, $762.6\mu s$, $1525.2\mu s$, $2288.75\mu s$, $3045\mu s$ 으로 늘어난다. 즉, 피드백의 즉시성이 점차 떨어지게 된다.



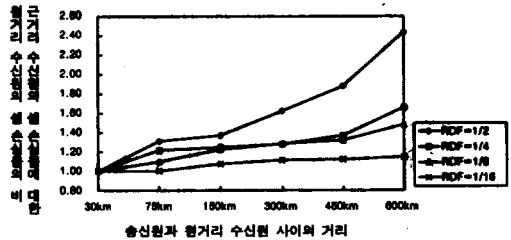
(그림 7) 전파 지연과 근거리 수신원의 셀 손실율
(Fig. 7) Propagation delay and cell loss rate at local destination



(그림 8) 전파 지연과 원거리 수신원의 셀 손실율
(Fig. 8) Propagation delay and cell loss rate at remote destination

[그림 9]는 각 방법에 대하여 D_r 의 셀 손실율에 대한 D_t 의 셀 손실율의 비율을 보여주고 있다. 각 방법의 차이를 살펴보면 $RDF=1/2$ 의 경우 셀 손실율의 비가 가장 큰 것으로 드러났다. D_r 에 비하여 D_t 의 경우 피드백의 영향을 더 민감하게 받아 RDF 값을 낮추어 줌으로써 D_r 보다 더욱 효과적으로 셀 손실율을 낮추어 줄 수 있다. $RDF=1/4$, $1/8$, $1/16$ 으로 조정하면 셀 손실율의 측면에서 효과는 $RDF=1/2$ 일 때 비해 조금 떨어지지만 불공정성은 감소하였다. 공통적으로 D_r 까지

의 거리가 30km일 때는 RDF값에 상관없이 비율이 1이 되는데 이는 두 수신원이 송신원에 대하여 같은 전파 지연 시간상에 위치하고 있고 피드백 정보에 대하여 같은 시간 내에 그 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 각 방법 내에서 점차 D_r 의 전파 지연 시간이 증가할수록 D_t 의 셀 손실율이 일정한 수준을 유지하는 것에 비해 D_r 의 셀 손실율은 지속적으로 증가하기 때문에 결과적으로 양 수신원에서의 셀 손실율에 대한 비는 점점 크게 나타나면서 수신원간의 불공정성이 심화된다.



(그림 9) 전파 지연과 셀 손실율의 불공정성
(Fig. 9) Propagation delay and unfairness of cell loss rate

5. 결 론

본 논문에서는 시뮬레이션을 사용하여, 다중점 연결에 피드백을 사용하는 적응적 폭주 제어를 적용할 경우 수신자간 전파 지연 차이로 인하여 불공정성이 발생할 수 있고, 특히 폭주 제어 파라미터 조정 및 구현 방식에 따라 이러한 불공정성의 정도가 달라질 수 있음을 제시하였다. 시뮬레이션 결과, D_r 의 경우 더욱 민감하게 피드백 통합 시기에 영향을 받아 그에 따른 성능차가 생기며, 피드백 간격 크기가 적을수록 피드백 통합 시기에 따른 불공정성 정도 차가 큼을 알 수 있었다. 또한 폭주시 송신원의 출력을 감소폭에 따라서도 달라지는데 감소폭을 크게 해 주었을 경우 송신원의 평균 ACR 값이 낮아지면서 불공정성이 더욱 심화되었다.

참 고 문 헌

[1] R. O. Onvural, "Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues," Artech House, 1995
 [2] The ATM Forum Technical Committee, "Traffic Management Specification Version 4.0," ATM

Forum af-tan-0056.000, April 1996.

- [3] K. K. Ramakrishnan and P. Newman, "Integration of Rate and Credit Schemes for ATM Flow Control," IEEE Network, pp 49056, March/April 1995.
- [4] H. T. Kung, "Flow Controlled Virtual Connections Proposal for ATM Traffic Management," ATM Forum Technical Meeting 94-0623R2, Sep. 1994.
- [5] W. Ren, K. Y. Siu and H. Suzuki, "On the Performance of Congestion Control And Multicast ABR Service in ATM," IEEE ATM Workshop, San Francisco, Aug.1996
- [6] K. Y. Sie and H. Y. Tzeng, "Intelligent Congestion Control for ABR Service in ATM Networks," ACM Sigcomm Computer Communication Review, Vol. 24, No. 5, pp 81-106, May 1995.
- [7] B.J.Vickers, M.J.Lee and T.Suda, "Feedback Control Mechanisms for Real-Time Multipoint Video Services," JSAC '97
- [8] Y. T. Wang and B. Sengupta, "Performance Analysis of a Feedback Congestion Control Policy Under Non-Negligible Propagation Delay," Proc. of the SIGCOM'91, 1991.
- [9] M. Abdelaziz and I. Stavrakakis, "Study of an Adaptive Rate Control Scheme under Unequal Propagation Delays," Proc. of the ICC, 1995
- [10] 이미정, "멀티캐스트 연결에 적용하는 피드백에 근거한 폭주 제어 기법의 공정성에 관한 성능 분석," 한국통신학회 논문지 제 21권 11호, 1996년 11월

최 원 정

1992년~1996년 이화여자대학교 컴퓨터학과 학사.
 1996년~1998년 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사.
 관심분야 : 컴퓨터 통신 및 네트워크 시스템, 정보통신

이 미 정

1987년 이화여자대학교 컴퓨터학과 학사
 1989년 Univ. of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학과 석사
 1994년 North Carolina State Univ. 컴퓨터 공학 박사
 1994년~현재 이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과 조교수
 관심분야 : 고속 통신 프로토콜 설계 및 성능 분석, 고속통신망을 통한 멀티미디어 트래픽 전송, ATM 연동 프로토콜, 멀티캐스트 전송과 QoS 지원 프로토콜