

# 실시간 멀티미디어 응용을 위한 대표자 기반의 멀티캐스트 혼잡 제어

## (A Representative-based Multicast Congestion Control for Real-time Multimedia Applications)

송명준<sup>†</sup> 차호정<sup>\*\*</sup> 이동호<sup>\*\*</sup>

(Myungjoon Song) (Hojung Cha) (Dongho Lee)

**요약** 본 논문에서는 실시간 멀티미디어 데이터의 멀티캐스트 혼잡 제어를 위한 대표자 기반의 피드백 수렴 방법과 전송율 조정 방법을 제안한다. 멀티캐스트 혼잡 제어에서는 다수의 수신자들이 하나의 송신자에게 피드백을 전송하므로 피드백 폭주 문제가 발생하는데 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 대표자를 사용한다. 본 논문에서 제안하는 방법에서 수신자는 패킷 손실률을 담은 주기적인 피드백을 생성하고 송신자는 대표자의 계층구조를 이용해 이러한 피드백을 수렴하여 전송률을 조정한다. 대표자는 지역 단위로 선정되고 필터의 역할을 하여 피드백을 억제한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 방법이 피드백 폭주 문제를 해결하면서 혼잡 상황에 대처하여 전송률을 조절할 수 있음을 볼 수 있었다.

**Abstract** The paper presents a representative-based feedback mechanism and rate adaptation policy for congestion control in multicast traffic for multimedia applications. In multicast congestion control, feedback implosion occurs as many receivers send feedback to a sender. We propose to use representatives to avoid the feedback implosion. In our scheme, receivers feedback packet loss information periodically and a sender adapts the sending rate based on the information collected through a hierarchy of representatives. A representative is selected in each region and roles as a filter to decrease the number of feedbacks. The simulation results show that the proposed scheme solves the feedback implosion problem and well adapts in a congested situation.

### 1. 서론

최근 화상회의나 인터넷 방송과 같은 인터넷상의 멀티캐스트 트래픽이 급증하고 있다. 멀티캐스트 트래픽은 대부분 오디오 또는 비디오 등 멀티미디어 데이터로서 실시간 전송이 요구되며 UDP를 바탕으로 하여 흐름제어가 없고 높은 대역폭과 오랜 지속 시간을 가지므로 혼잡 제어가 필수적이다[1]. 일반적으로 라우터의 버퍼 용량이나 패킷 처리 속도 또는 링크의 대역폭에 비해

트래픽이 초과하여 패킷이 대량으로 손실되는 상태를 혼잡 또는 정체라고 한다. 혼잡 제어를 위해서는 송신자가 혼잡을 감지하고 망으로 전송하는 패킷 수 즉 전송률을 줄여야 한다. 기존의 인터넷 트래픽은 실시간 전송이 요구되지 않으며 재전송을 통해 신뢰성을 보장하는 유니캐스트 트래픽이 주를 이루었으며 이러한 유니캐스트 환경에서는 타임 아웃 또는 ACK의 중복 수신을 통해 혼잡을 감지하고 혼잡 발견시 전송률을 패킷 1개에서부터 다시 시작하는 TCP의 슬로우 스타트 방식의 혼잡 제어를 사용한다. 이러한 혼잡 감지와 제어 방식은 실시간 비신뢰성의 특징을 가지는 멀티미디어 트래픽에 적합하지 않으며 수신자가 다수인 상황도 전혀 고려하지 않고 있다. 따라서 새로운 혼잡 제어 방법이 필요한데 일반적으로 멀티캐스트에서는 송신자가 수신자들로부터 패킷 손실률 등의 피드백을 받아 혼잡을 감지하고 즉시 전송률을 줄이는 방식을 사용하고 있다. 이러한 멀티

· 이 논문은 한국과학재단(97-01-00-12-01-5)에 의해 연구비를 지원 받았습

† 비 회 원 : (주)로커스 정보통신연구소 연구원  
mjsong@locus.co.kr

\*\* 종 신 회 원 : 광운대학교 컴퓨터학과 교수  
hojunc@cs.kwangwoon.ac.kr  
dhlee@cs.kwangwoon.ac.kr

논문접수 : 1998년 10월 2일

심사완료 : 1999년 11월 15일

터캐스트 혼잡 제어에서는 다수의 수신자로 인해 새로운 문제가 발생한다. 수신자가 증가함에 따라 다수의 수신자로부터 송신자로 피드백이 집중됨으로써 발생하는 피드백 폭주 문제와, 수신자들의 다양한 혼잡상태에 대해 어떤 기준으로 전송률을 조정할 것인가 하는 문제 등이다[2].

현재 멀티캐스트 혼잡 제어에서 피드백 폭주를 해결하기 위한 방법으로 수신자의 일부로부터 피드백을 받거나 수신자의 수가 증가할수록 피드백 간격을 늘리는 등의 방법이 사용되고 있다. 이러한 방법들에서는 수신자의 수가 증가할수록 송신자는 혼잡 상태에 대한 정확한 정보를 얻기가 어렵다. 반면에 대표자를 이용하면 수신자의 수에 관계없이 혼잡 상태에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 대표자를 이용하는 방법은 주로 신뢰성 멀티캐스트 분야에서 많은 연구가 이루어졌다. 신뢰성 멀티캐스트란 패킷 손실시 재전송을 통해 모든 수신자가 전체 데이터를 안전하게 받을 수 있도록 보장하는 것을 말한다. 계층 구조 기반이라고도 불리는 신뢰성 멀티캐스트의 대표자 방법에서는 대표자가 재전송을 지역적으로 해결함으로써 ACK 또는 NACK 폭주를 막고 재전송에 의한 망 부하를 줄이며 송신자의 재전송 처리 부담을 분산시키기 위한 것이다.

본 연구에서는 오디오나 비디오 스트림과 같은 실시간 비선형성 멀티캐스트의 혼잡 제어에서 피드백 폭주를 막기 위해 대표자를 사용하는 방법을 제안하였다. 수신자는 주기적인 피드백으로 패킷 손실률을 전달하며, 송신자는 대표자의 계층 구조를 통해 전체 수신자의 손실률을 수렴하고 주기적으로 평가하여 이에 따라 전송률을 조정한다. 여기에서 대표자는 지역 단위로 선정되며 필터의 역할을 하여 피드백 수를 감소시킨다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구를 소개하고, 3장에서 대표자 계층 구조, 4장에서 피드백 수렴과 전송률 조정에 대해 기술하며, 5장에서는 시뮬레이션을 통한 실험 결과를 제시하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

수신자의 피드백을 바탕으로 하는 멀티캐스트 혼잡 제어에서는 피드백 폭주가 중요한 문제가 되고 있으며 이를 해결하기 위해 임의 지연 및 피드백 간격 조정(scale down), 확률적 요청, 계층적 인코딩 방식 등의 다양한 연구가 이루어졌다. RTCP(Real-Time Transport Control Protocol)에서는 수신자들이 임의 지연을 통해 시차를 두어 피드백을 분산시키고 수신자 수가 증가할수록 피드백 간격을 증가시켜 전체 피드백 대역폭

을 일정하게 유지한다[3]. 또한 Youseff 등은 여기에 피드백의 멀티캐스트를 바탕으로 수신자가 더 열악한 다른 수신자의 피드백을 수신하면 자신의 피드백을 억제하며 양호한 상태일수록 피드백 지연 시간이 길어지는 독자적인 임의 지연 시간을 적용하였다[4]. 이러한 방법들은 수신자의 수가 증가하더라도 피드백 대역폭을 일정하게 유지하는 것을 목적으로 하므로 수신자 수가 많을 경우 피드백이 다수 억제 또는 지연되지만 본 논문에서 제안하는 방법에서는 수신자의 수에 관계없이 모든 수신자가 피드백에 참여하고 대표자의 처리를 통해 폭주를 해결하므로 수신자의 수가 많을 경우에도 지연없이 피드백 정보를 수집할 수 있다.

확률적 요청은 모든 수신자 대신 임의의 일부 수신자들로부터 피드백을 받음으로써 피드백 폭주를 막는 방법으로 송신자와 수신자는 16비트 길이의 임의의 키 값을 생성하고 송신자가 키 값과 함께 유효 자리수(significant digit)를 지정하여 피드백을 요청하면 유효 자리수 내에서 키값이 일치하는 수신자가 피드백을 보낸다[5]. 수신자 일부로부터 피드백을 수집하는 또 다른 방법으로 Dante 등은 서브 트리의 혼잡 상태를 대표하는 소수의 대표 수신자를 지정하는 방법을 사용한다[6]. 이러한 방법들은 혼잡 발생시 다수의 수신자가 영향을 받게 되므로 그 중 일부만의 피드백을 통해서도 혼잡을 감지할 수 있다는 것을 가정하고 있다. 그러나 결국은 송신자가 수신자의 피드백을 직접 처리하기 때문에 정확한 정보를 위해 피드백 수를 증가시키면 폭주가 발생할 수 있고 폭주를 막기 위해 피드백을 줄이면 그만큼 피드백 정보가 부정확할 수 있다. 이와는 달리 본 논문의 방법은 전송한 바와 같이 모든 수신자가 피드백에 참여하고 송신자 대신 대표자가 피드백을 처리함으로써 전체 수신자의 피드백을 폭주 없이 수렴할 수 있다.

계층적 인코딩은 송신자가 스트림을 대역폭에 따라 몇 개의 계층적 스트림으로 인코딩하여 전송하고 수신자들은 각각 수용 가능한 대역폭에 따라 스트림을 수신하여 재구성하는 방법이다[8]. 계층적 스트림은 누적적으로 구성되므로 수신자는 하위 계층 스트림을 모두 받아서 같이 결합하여 디코딩해야 한다. 이 방법은 수신자들의 피드백이 필요없으므로 피드백 폭주 문제를 해결하는 동시에 수신자의 다양한 혼잡 상태에 적용하는 문제를 동시에 해결할 수 있으나 현실적으로 계층적 인코딩과 디코딩의 구현이 어려워 더 많은 연구가 필요할 실정이다.

이와 같이 기존의 방법들은 수신자 수가 증가할수록 정확한 정보를 수집하기가 어려운 확장성 문제가 발생

하거나 현실적으로 구현이 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 피드백 폭주 문제에 대해 기존의 방법과는 다른 접근 방법으로 대표자를 사용하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 대표자 방법의 개념은 대표자를 이용하여 수신자의 피드백을 지역적 병렬적으로 처리하여 피드백 폭주 문제를 해결한다는 것이다.

한편, 다양한 수신자의 혼잡 상태에 대해 어떤 기준으로 전송률을 조정할 것인가하는 전송률 조정 정책은 멀티캐스트 혼잡 제어에서 또 하나의 중요한 쟁점이며 일반적으로 가장 열악한 수신자를 기준으로 하는 방법과 전체 수신자 중 혼잡 수신자의 비율에 따라 전송률을 조정하는 방법이 있다. 가장 열악한 수신자를 기준으로 하는 방법은 전송 지연 시간 또는 패킷 손실률을 기준으로 현재 가장 열악한 상태의 수신자를 찾아서 이를 기준으로 전송률을 조정하는 방법으로 기법이 단순하면서 모든 수신자를 만족시킬 수 있으나 소수의 열악한 수신자로 인해 낮은 수준의 전송률을 유지하는 단점이 있다.

혼잡 수신자의 비율을 기준으로 하는 방법의 하나로 Busse 등은 수신자의 혼잡 상태를 UNLOADED, LOADED, CONGESTED로 분류하고 전체 수신자 중 CONGESTED인 수신자의 비율이 10% 이상이면 전송률을 1/4로 감소시키고 UNLOADED 인 수신자의 비율이 80% 이상일 때만 전송률을 50 kbps 증가하는 방법을 사용하였다[7]. 또한 IVS(Irina Video conference System)에서는 CONGESTED인 수신자의 비율이 1.4% 이상이면 전송률을 절반으로 감소시키고 모든 수신자가 UNLOADED 상태일 때만 전송률을 10 kbps를 증가시킨다[5]. 이러한 방법들은 가장 열악한 상태를 기준으로 하는 방법의 대안으로서 전체 수신자의 상태를 반영하기는 하지만 결과적으로 혼잡 상태를 해소하지도 못하고 전송률만 감소시키는 결과를 가져올 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기본적으로 혼잡 해소에 중점을 두기 위해 비교적 열악한 수신자를 기준으로 전송률을 조정하는 방법으로서 대표자를 통해 각 지역에서 평균 이상의 패킷 손실률을 수집하고 그 평균에 따라 전송률을 조정하는 정책을 사용하였다. 이것은 높은 패킷 손실률을 기준으로 하는 방법과 유사하지만 혼잡 수신자의 수에 따라 그 정도가 결정된다는 점에서 가장 열악한 상태를 기준으로 하는 방법과 차이가 있다. 예를 들어 본 논문의 방법에서는 혼잡 수신자의 수가 많으면 전송률 감소 폭이 크지만 혼잡 수신자의 수가 적으면 감소 폭이 미미할 것이다. 그러나 가장 열악한 수신자를 기준으로 하는 방법에서는 단 하나의 수신자에 의해서

도 전송률이 크게 감소될 수 있다.

본 논문에서 사용하는 대표자 방법은 신뢰성 멀티캐스트에서 효율적인 재전송을 위해 사용되는 대표자 방법을 비신뢰성 멀티캐스트의 피드백 폭주에 응용한 것으로 대표자의 선정 및 관리를 위해 기존의 방법들을 바탕으로 개발한 것이다. 먼저 본 논문에서는 TMTP[9]의 도메인과 유사한 개념인 '지역'을 정의하고 지역 단위로 대표자를 선정한다. 또한 대표자 방법에서는 대표자를 발견하고 선택하는 방법이 제공되어야 하는데, 대표자를 발견하는 방법으로는 수신자가 차츰 범위를 넓혀 가면서 대표자의 응답을 요청하는 Expanding Ring Search(ERS)와 같은 응답 요청 방식[9, 10]과 대표자가 주기적으로 광고 메시지를 전송하고 수신자가 이를 수집하는 대표자 광고 방식[11, 12]이 있다. 대표자 광고 방식은 광고 메시지로 인해 망 부하가 증가하는 단점이 있지만 수신자의 참가와 탈퇴에 동적으로 적용하는데 유리하다. 본 연구에서는 수신자가 지역 내에서 대표자를 발견할 때에는 응답 요청 방식을 사용하고 대표자가 다른 대표자를 부모로 선택하는 과정에는 대표자 광고 방식을 사용한다. 지역 내에서는 지역이라는 범위의 제한이 있으므로 간단한 응답 요청 방식을 사용하였고 대표자간의 부모 선택에 있어서는 지역의 제한이 없고 대표자의 생성과 탈퇴에 동적으로 적용해야 하기 때문에 이에 유리한 대표자 광고 방식을 사용하였다. 또한 대표자의 계층 구조 형성시 순환 구조를 방지하기 위해 메시지 패킷의 출처를 치환하는 방법을 사용하였다. 대표자를 선택하는 기준으로는 홑 수[9, 12], 전송 지연[10] 등을 사용할 수 있는데 대표자의 선택 기준으로 전송 지연을 사용할 경우 망 상황에 따라 대표자가 자주 변경되어 계층 구조가 불안정해질 수 있고 동기화를 위해 NTP(Network Time Protocol)와 같은 별도의 프로토콜이 필요한 단점이 있으므로 본 논문에서는 대표자 선택 기준으로 홑 수를 사용하였다.

### 3. 대표자 계층구조

다음에는 지역 내의 대표자의 선정과 대표자 간의 계층 구조의 형성 및 재구성 방법에 대해 기술한다.

#### 3.1 지역 망의 대표자 선정 및 유지

본 연구에서는 하나의 멀티캐스트 라우터에 연결된 호스트의 집합을 지역으로 정의한다. 그림 1은 호스트 상에서 구성된 피드백 트리의 예를 보여준다. 지역 단위로 대표자가 선정되고 지역 내의 수신자들은 대표자에 연결되며 대표자는 부모 대표자를 선택함으로써 대표자 간에 계층 구조가 형성된다. 대표자는 지역 내 수신자들

과 지식 대표자의 피드백을 수렴하여 부모 대표자에게 전달한다. 대표자는 지역망에서 수신자가 멀티캐스트 그룹에 참가 또는 탈퇴함에 따라 생성, 변경, 소멸될 수 있다.

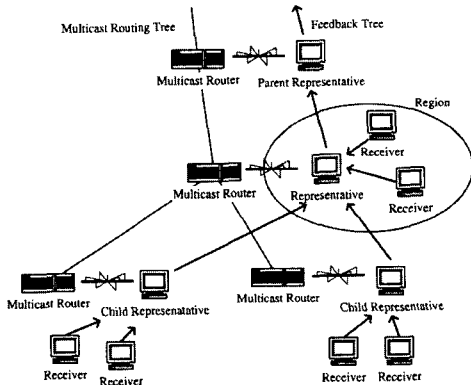


그림 1 대표자 계층 구조

지역에서 새로운 대표자가 생성되는 것은 그 지역에서 첫번째 수신자가 발생하는 경우이다. 새로 참가하는 수신자는 지역 내에 대표자 응답 요청 메시지를 멀티캐스트하고 일정한 시간 동안 대표자의 응답을 기다린 후 응답이 없으면 자신이 대표자가 되고 응답을 받으면 일반 수신자로 남는다. 지역 내에서 대표자가 변경되는 것은 기존의 대표자가 멀티캐스트 그룹을 탈퇴함에 따라 지역 내 수신자 중 하나가 새 대표자가 되는 경우이다. 대표자는 지역 내 수신자들 중 하나를 대표자 후보로 선정해 두었다가 탈퇴 시에 대표자 선정 메시지를 통해 그 수신자에게 통보하여 대표자로 전환할 수 있도록 한다. 대표자 후보의 선정 기준으로는 피드백에 포함된 IP 주소 또는 호스트의 성능이나 위치 등을 사용할 수 있다. 대표자는 수신자들의 주기적인 피드백을 통해 우선 순위가 더 높은 수신자를 발견하거나 대표자 후보로 선정된 수신자의 탈퇴 메시지를 받으면 대표자 후보를 갱신한다. 이를 위해 수신자는 탈퇴 시에 수신자 탈퇴 메시지를 대표자에게 전송한다. 또한 대표자는 탈퇴 시에 지식 대표자들이 부모 대표자를 새 대표자로 변경할 수 있도록 대표자 후보의 주소를 담은 대표자 변경 메시지를 멀티캐스트한다. 지역에서 대표자가 소멸되는 것은 대표자 자신이 그 지역의 마지막 수신자인 상황에서 멀티캐스트 그룹을 탈퇴함으로써 그 지역에 더 이상 수신자가 존재하지 않는 경우이다. 이런 경우 대표자는 지식 대표자들이 새 부모 대표자를 선정하도록 대표자 소멸

메시지를 멀티캐스트한다.

### 3.2 계층 구조의 형성과 동적 재구성

계층 구조의 형성은 대표자가 송신자 또는 다른 대표자를 부모 대표자를 선택함으로써 이루어진다. 멀티캐스트 그룹에 수신자가 참가함에 따라 각 지역에 대표자가 생성되고 생성된 대표자는 송신자 또는 다른 대표자를 홉 수에 따라 부모로 선택함에 따라 계층 구조가 형성된다. 예를 들어 초기에 송신자가 송신을 시작한 후 수신자 A가 첫번째로 멀티캐스트 그룹에 참가했을 때 송신자와 같은 지역이라면 단순히 송신자에게 피드백을 전송하며 만약 다른 지역이라면 수신자 A는 그 지역의 대표자가 됨과 동시에 현재 유일한 대표자인 송신자를 부모 대표자로 선택한다. 두번째로 수신자 B가 참가했을 때 송신자 또는 수신자 A와 같은 지역이라면 일반 수신자로서 지역 내 대표자인 송신자 또는 수신자 A에게 피드백을 전송하며 만약 송신자나 수신자 A와는 또 다른 지역이라면 수신자 B도 대표자가 되고 홉 수에 따라 기존 대표자들(송신자 또는 수신자 A) 중 하나를 부모 대표자로 선택하여 피드백을 전송한다. 이러한 방식으로 수신자가 참가함에 따라 계층 구조가 성장한다.

대표자는 부모 대표자를 선택하는데 있어서 주기적인 대표자 확인 메시지를 사용한다. 대표자는 자신의 존재를 알리는 대표자 확인 메시지를 주기적으로 멀티캐스트하는 한편 다른 대표자로부터 수신한 대표자 확인 메시지를 통해 홉 수를 기준으로 가장 가까운 대표자를 부모 대표자로 선택한다. 패킷은 라우터를 지날때마다 TTL이 감소하므로 모든 대표자 확인 메시지 패킷의 TTL을 동일하게 설정함으로써 자신과 다른 대표자 사이의 홉 수를 계산할 수 있다.

대표자는 대표자 확인 메시지를 멀티캐스트할 때 메시지 패킷의 출처 부분을 자신의 주소가 아닌 스트림 송신자의 주소로 설정하여 멀티캐스트 라우팅 트리에서 하위 대표자로만 전달되도록 한다. 따라서 모든 대표자는 동일한 멀티캐스트 라우팅 트리에서 상위 대표자들의 확인 메시지만을 수신하며 부모 대표자 선택 시 상위 대표자들만 그 대상이 된다. 이것은 멀티캐스트 라우팅 트리를 이용해서 대표자 간의 관계에 일정한 방향을 설정함으로써 계층 구조의 재구성 과정에서 대표자가 하위 대표자를 부모로 선택하여 순환 구조가 발생하거나 비효율적인 피드백 트리가 형성되는 것을 방지한다. 이것이 가능한 것은 각 멀티캐스트 라우터에서 스트림 송신자를 정점으로 하는 멀티캐스트 라우팅 테이블이 형성된 후에 패킷의 출처와 멀티캐스트 그룹을 기준으로 라우팅이 이루어지기 때문이다. 따라서 패킷의 출처

부분을 스트림 송신자의 것으로 교체하면 라우터는 이 패킷을 스트림 송신자로부터 온 것으로 인식하므로 모든 대표자 확인 메시지 패킷은 스트림 송신자를 정점으로 하는 동일한 멀티캐스트 라우팅 트리를 통해 하위 방향으로 전송된다. 따라서 각 대표자는 이러한 멀티캐스트 라우팅 트리상의 위치에 따라 상위 대표자들의 대표자 확인 메시지를 수신하게 된다.

계층 구조는 대표자의 생성과 탈퇴에 따라 동적으로 재구성된다. 이러한 계층 구조의 재구성은 대표자 확인, 변경, 소멸 메시지에 의해 이루어진다. 대표자는 주기적인 대표자 확인 메시지를 통해 새로 생성된 더 가까운 대표자를 발견하면 부모 대표자를 변경한다. 또한 대표자는 부모 대표자로부터 대표자 변경 메시지를 받으면 부모 대표자를 메시지에 지시된 대표자 후보로 변경하며 대표자 소멸 메시지를 받으면 대표자 생성 시와 같이

대표자 확인 메시지를 통해 가장 가까운 대표자를 새 부모 대표자로 선정한다.

일반 수신자와 대표자의 동작을 알고리즘 1과 알고리즘 2에 제시하였다. 새로 멀티캐스트 그룹에 참가하는 수신자는 일반 수신자로 시작하며 참가 직후 대표자 응답 요청 메시지를 멀티캐스트 한 후 일정한 시간 동안 대표자 응답 메시지를 받지 못하면 대표자로 전환한다. 또한 일반 수신자는 탈퇴하려는 대표자로부터 대표자 선정 메시지를 받았을 경우 대표자로 전환한다.

#### 4. 피드백 수렴과 전송률 조정

다음에는 대표자 계층 구조를 이용한 피드백 수렴과 이에 따른 전송률 조정 방법에 대해 기술한다.

##### 4.1 피드백 수렴

본 연구에서는 피드백 수를 감소시키고 신속한 피드백 전달을 위해 대표자가 필터의 역할을 하여 일정한 한계값 이상의 손실률만을 부모 대표자에게 전달하는 방법을 제안한다. 단 이러한 한계값은 망 상황에 따라 동적으로 결정된다.

대표자는 두 가지 종류의 피드백을 처리해야 하는데 지역 내 수신자의 피드백과 자식 대표자의 피드백이 그것이다. 따라서 대표자의 필터 기능은 기본적으로 지역 내 수신자의 피드백을 처리하기 위한 지역 필터(local-filter)와 자식 대표자의 피드백을 처리하기 위한 계층 필터(child-filter)로 구성된다. 그림 2는 지역 필터와 지역 필터 초과 횟수 검사 그리고 계층 필터로 구성된 대표자의 피드백 수렴 과정을 나타낸 것이다. 지역 내 수신자의 피드백이 지역 필터와 지역 필터 초과 횟수 검사에 의해 처리된 후 자식 대표자의 피드백과 함께 계층 필터에 의해 처리되어 부모 대표자로 전달된다.

```

알고리즘 1: 일반 수신자
멀티캐스트 그룹 참가
대표자 응답 요청 메시지를 지역내에 멀티캐스트 타이머를 설정하고 일전 시간 기다림
If(대표자 응답 메시지 수신)
    주기적으로 지역내에 피드백 멀티캐스트
    If ( 대표자 선정 메시지 수신 ) 대표자로 전환
Else
    대표자 확인 메시지 수신
    부모 대표자 선택
    대표자로 전환
    
```

```

알고리즘 2: 대표자
주기적으로 대표자 확인 메시지 멀티캐스트
While( true ) {
    Case: 지역 수신자 피드백 수신
        If( 우선 순위가 더 높은 수신자 발견 )
            대표자 후보 변경
            피드백 수렴
    Case: 자식 대표자 피드백 수신
        피드백 수렴
    Case: 대표자 응답 요청 메시지 수신
        대표자 응답 메시지 지역 내에 멀티캐스트
    Case: 수신자 탈퇴 메시지 수신
        If( 탈퇴 수신자가 대표자 후보 )
            새 대표자 후보 선정
    Case: 대표자 확인 메시지 수신
        If(TTL이 더 큰 대표자 발견)
            부모 대표자 변경
    Case: 대표자 변경 메시지 수신
        메시지에 지시된 대표자로 부모 대표자 변경
    Case: 대표자 소멸 메시지 수신
        대표자 확인 메시지를 수신
        새 부모 대표자 선정
    }
    
```

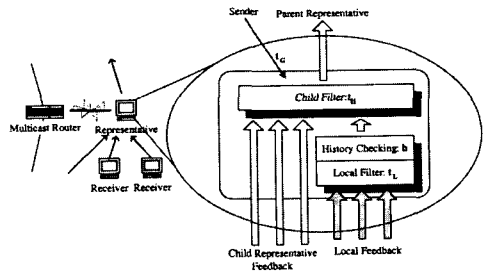


그림 2 대표자의 피드백 수렴 과정

지역 필터는 일정한 한계값 이상의 패킷 손실률을 가진 피드백만을 통과시킨다. 지역 필터는 지역 내 수신자

의 피드백을 위한 일정한 크기의 윈도우를 가지며 지역 필터의 한계값  $t_L$ 은 이러한 지역 필터 윈도우의 평균 패킷 손실률로 설정된다. 지역 필터를 통과한 피드백은 계층 필터로 들어가기 전에 지역 필터 초과횟수 검사(history checking) 과정을 거치는데 이것은 같은 혼잡 상황을 나타내는 다수의 피드백을 억제하는 동시에 일시적으로 발생하는 높은 손실률의 피드백을 배제하기 위한 것이다. 초과횟수 검사에서는 예를 들어  $h = 3$  이면, 현재 피드백이 지역 필터를 연속적으로 통과하는 3 번째 피드백일 때만 계층 필터로 가게 된다. 지역 필터와 초과횟수 검사를 통과한 피드백은 계층 필터에 의해 자식 대표자의 피드백과 동등하게 처리된다.

계층 필터에서도 자식 대표자 피드백의 손실률이 일정한 한계값  $t_H$ 를 초과하는 경우에만 부모 대표자로 전달되는데  $t_H$ 는 다음과 같이 설정된다.

$$t_H = t_{CHILD} + w \times (t_G - t_{CHILD})$$

계층 필터는 자식 대표자 피드백을 위한 일정한 크기의 윈도우를 가진다.  $t_{CHILD}$ 는 이러한 계층 필터 윈도우의 평균 패킷 손실률(자식 대표자가 보고한 패킷 손실률 중에서 현재 계층 필터 윈도우 내에 있는 패킷 손실률의 평균을 말함)이고  $t_G$ 는 송신자가 주기적으로 멀티캐스트 하는 패킷 손실률의 전역 한계값이다.  $w$ 는  $t_G$ 와  $t_{CHILD}$ 의 차이를  $t_H$ 에 반영하는 비율로서 0 과 1사이의 값을 가진다( $0 \leq w \leq 1$ ).  $t_H$ 에  $t_G$ 를 반영하는 것은 전체 대표자의  $t_H$ 를 하나의 기준에 근접하게 하기 위한 것이다. 대표자는 피드백 생성시  $t_H$ 값을 피드백에 포함시켜 전송한다.  $t_G$ 는 송신자가 피드백 평가 주기 동안 수집한 피드백의  $t_H$ 의 평균으로 설정되며 따라서 매 피드백 평가 주기마다  $t_G$ 가 갱신되어 전체 대표자에게 멀티캐스트된다. 대표자의 피드백 수렴 동작의 의사 코드를 알고리즘 3에 제시하였다.

이러한 방식의 결과로 상위로 갈수록 평균 패킷 손실률을 반영하는 피드백 정보가 송신자에게 전달되는 것이 아니라 비교적 높은 패킷 손실률 정보가 송신자에게 전달된다. 이것은 2장 관련 연구에서도 언급한 바와 같이 높은 패킷 손실률을 보이는 수신자를 중심으로 전송률을 조정하기 위한 것이다. 평균 패킷 손실률을 기준으로 전송률을 조정하면 혼잡을 해소하지도 못하고 전송률만 감소시키는 결과가 될 수 있기 때문이다.

이러한 관점에서 본다면 본 논문의 방법은 망에서 비교적 높은 패킷 손실률 정보를 얻는 효과적인 방법임을 알 수 있다. 송신자가 모든 수신자의 패킷 손실률 정보를 받아서 비교하는 방법은 피드백 폭주를 일으키고, 대

```

알고리즘 3: 대표자의 피드백 수렴
While( true ) {
  Case: 지역 수신자 피드백 수신(패킷 손실률 L)
  If ( local_filter(L) == YES )
    If ( child_filter(L) == YES )
      부모 대표자에게 피드백 전송
  Case: 자식 대표자 피드백 수신(패킷 손실률 L)
  If ( child_filter(L) == YES )
    부모 대표자에게 피드백 전송
}

binary_type local_filter( L )
{
  binary_type pass = NO
  If ( L > t_L )
    n = n + 1
    If ( n ≥ h ) pass = YES
  지역 필터 윈도우 전진
  t_L 갱신
  Return pass
}

binary_type child_filter( L )
{
  binary_type pass = NO
  If ( L > t_H ) pass = YES
  계층 필터 윈도우 전진
  t_CHILD 과 t_H 갱신
  Return pass
}
    
```

표자가 지역내 수신자의 패킷 손실률을 수집한 후 비교하여 높은 패킷 손실률만 상위로 전달하는 방법은 수신자의 피드백을 기다려야 하는 피드백 동기화 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

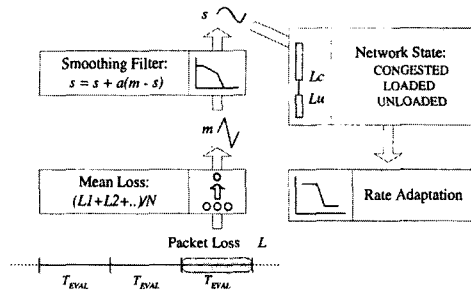


그림 3 전송률 조정 과정

#### 4.2 전송률 조정

그림 3은 송신자가 피드백을 수렴하여 전송률을 조정하는 과정을 보여준다. 송신자는 자신의 계층 필터를 통과한 피드백을 수집하고 일정한 주기  $T_{EVAL}$ 마다 전송률

을 조정한다. 먼저 송신자는  $T_{EVAL}$  동안 수집한 패킷 손실률의 평균  $m$ 을 구하고 완화 필터(smoothing filter)를 통해 변화폭이 완화된 패킷 손실률  $s$ 를 구한다. 완화 필터는 이전 값을 현재의 값을 구하는 과정에 일부분 반영하여 급격한 변화를 완화하는 과정이다. 완화된 패킷 손실률을  $s'$ 이라 하면 현재의 완화된 패킷 손실률  $s$ 는 다음과 같다.

$$s \leftarrow s' + a \times (m - s')$$

여기에서  $a$ 는  $m$ 의 변화폭 반영 비율을 결정하는 계수로서 0에서 1사이의 값을 가진다( $0 \leq a \leq 1$ ).  $a$ 가 클수록  $m$ 의 변화가  $s$ 에 많이 반영된다. 완화 필터는 패킷 손실률의 변화를 완화하여 QoS의 진동을 조절하기 위한 것이다. 완화된 평균 패킷 손실률  $s$ 에 따라 망 상태를 UNLOADED, LOADED, CONGESTED로 구분하여 CONGESTED이면  $s$ 에 비례하여 전송률을 급격히 감소하고 LOADED이면 전송을 그대로 유지하며 UNLOADED이면 전송률을  $k$  만큼 증가한다. 송신자는 세션을 시작할 때 사용 가능한 최대 전송률  $r_{max}$ 와 최소한의 전송 품질 보장을 위한 최저 전송률  $r_{min}$ 을 설정하여 전송률 조정 범위를 제한한다. 전송률 조정 알고리즘은 다음과 같다.  $L_u$ 와  $L_c$ 는 망 상태 구분을 위한 손실률 기준이다.

$$\begin{aligned} \text{if } (s \geq L_c) & \quad r \leftarrow \max\{r \times (1 - s), r_{min}\} \\ \text{else if } (s \geq L_u) & \quad r \leftarrow r \\ \text{else} & \quad r \leftarrow \min\{r + k, r_{max}\} \end{aligned}$$

대표자가 필터의 역할을 하여 일정한 손실률 이상의 피드백만 통과시키므로 송신자가  $T_{EVAL}$  동안 피드백을 받지 않는 경우가 발생할 수 있다. 특히 혼잡이 발생하면 지역 필터 및 계층 필터의 한계값이 높아져 더 큰 혼잡이 발생하지 않는 이상 한동안 송신자가 피드백을 받지 못하게 된다. 이것은 혼잡이 사라졌을 때 전송률 회복을 느리게 한다. 따라서 이처럼  $T_{EVAL}$  동안 피드백을 받지 못하면 송신자는 전송률을 그대로 유지하고 전역 한계값을 0으로 설정하여 지역 및 계층 필터 한계값을 하향 조정하여 피드백을 계속 수신할 수 있도록 한다.

### 5. 시뮬레이션

본 연구에서는 제안한 피드백 수렴과 전송률 조정 기법을 검증하기 위해 Ultra Sparc 워크스테이션에서 프로세스로 구성된 그림 4과 같은 가상 멀티캐스트 라우팅 트리 상에서 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4에서 숫자가 표시된 원은 각 지역을 나타낸다.

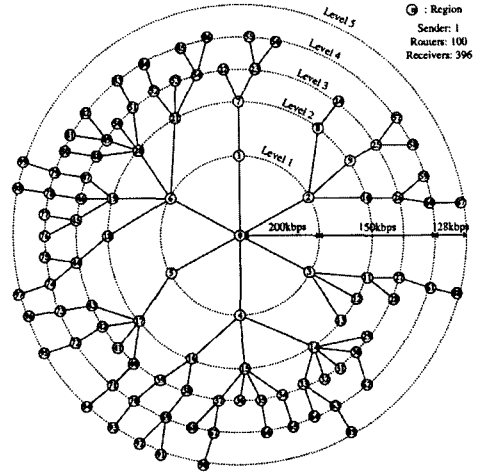


그림 4 시뮬레이션 토폴로지

송신자는 0번 지역에 위치하며 각 지역에는 하나의 라우터와 4개의 수신자가 존재한다. 따라서 모두 100개의 라우터와 396 개의 수신자가 존재하며 각 지역에서 수신자 중 하나는 대표자의 역할을 수행한다. 멀티캐스트 라우팅 트리의 링크는 송신자로부터의 거리에 따라 레벨 1,2,3,4,5로 구분되어 있으며 각 링크의 대역폭은 레벨 1은 200kbps, 레벨 2,3,4는 150kbps, 레벨 5는 128kbps로 설정되어 있다. 혼잡이 발생하지 않을 경우 평균 손실률을 7%로 설정하였으며 혼잡이 발생하면 20%~40%의 손실률이 발생한다. 송신자로부터 멀수록 보다 높은 손실률을 보이는 점과 한 링크에서 혼잡이 발생하면 서브 트리에 영향을 미치는 점을 반영하였고 4번 지역과 15번 지역을 연결하는 링크에 혼잡이 발생하는 상황을 가정하였다. 이하의 그래프에서 가용 대역폭 변화는 혼잡이 발생하는 이 링크의 가용 대역폭 변화를 나타낸 것이며 수신자의 손실률 변화는 혼잡의 영향을 받는 90번 지역의 한 수신자의 손실률 변화를 나타낸 것이다.

먼저 적절한 파라미터 설정하에 본 연구에서 제안한 피드백 수렴과 전송률 조정 정책의 타당성을 검증하기 위한 실험 결과를 보이고 이어서 각 파라미터의 영향을 보여주는 실험 결과를 제시한다. 본 실험에서 사용된 파라미터는 다음과 같다. 시뮬레이션에서  $w$ 의 값은 0.5로 설정하였다.

- $L_u, L_c$ : 망 상태 구분을 위한 손실률 기준
- $h$ : 지역필터 초과횟수검사의 한계값

- a: 완화 필터 계수
- T<sub>EVAL</sub>: 송신자의 피드백 평가 주기
- k: 전송률 증가폭

5.1 제안한 방법에 대한 평가

그림 5는 본 연구에서 제안한 방법에 의해 피드백 폭주를 해결하면서 혼잡 상황에 대처할 수 있는지를 알아보기 위한 실험 결과이다. 그림 5의 좌측 상단 그래프는 제안된 피드백 수렴 방법이 피드백 폭주 문제를 해결할 수 있음을 보여주고 있다. 비대표자 방법에서는 모든 수신자가 송신자에게 피드백을 보내므로 수신자 수의 증가에 비례하여 단위 시간에 송신자가 받는 피드백 수가 큰 폭으로 증가하지만 제안한 대표자 방법에서는 매우 완만한 증가를 보인다. 수신자의 수를 N<sub>R</sub>이라고 하면 비대표자 방법에서 T<sub>EVAL</sub> 동안 송신자가 받는 피드백 수 N<sub>F</sub>는 다음과 같다.

$$N_F = N_R \times \frac{T_{FEED}}{T_{EVAL}}$$

대표자 방법에서 T<sub>EVAL</sub> 동안 송신자가 받는 피드백 수는 대표자의 지역 필터 및 계층 필터의 한계값 등 수시로 변동되는 값에 의존하고 있으므로 정확한 분석은 어려우나 실험 결과로 볼 때 수신자의 수에 비례하여 매우 완만하게 증가하는 것으로 추정할 수 있다. 그래프에서 그 기울기는 약 0.04 이다. 즉 수신자 100개가 증가할 때마다 T<sub>EVAL</sub> 동안 송신자가 받는 피드백 수는 약 4개 증가한다. 수신자 수가 2000개에 이른다 할지라도 T<sub>EVAL</sub>당 피드백 수는 80개 정도로 추정할 수 있으며 따라서 피드백 폭주 문제를 일으키지 않는다고 볼 수 있다.

그림 5의 우측 상단 그래프는 혼잡이 발생하는 링크의 가용 대역폭의 변화와 이에 따른 송신자의 전송률 조정 과정을 보여주고 있다. 혼잡은 15-40, 65-82 Time Unit에서 발생하는 것으로 가정하였으며 집선은 고정 전송률 정책에 의한 일정한 전송률을 나타낸다. 그래프에서 송신자가 혼잡에 대처하여 전송률을 적절하게 조정하는 것을 볼 수 있다. 혼잡이 발생하면 송신자는 전송률을 급격히 줄이고 혼잡이 해소되면 서서히 전송률을 증가시킨다. 그림 5의 좌측 하단 그래프는 고정 전송률 정책과 제안된 전송률 조정 정책에서의 수신자의 손실률 변화를 나타낸 것이다. 고정 전송률의 경우 혼잡이 지속되는 동안 큰 패킷 손실률을 보이지만 제안한 전송률 조정 정책에서는 일정한 기준 이상의 손실률을 감지하는 즉시 전송률을 감소하여 혼잡 기간 동안 훨씬

낮은 손실률을 보인다. 혼잡 초기에 일시적으로 높은 손실률을 보이는 것은 송신자가 이러한 높은 손실률에 의해 혼잡을 감지하므로 불가피한 현상이며 또한 송신자는 혼잡 해소에 대비하여 지속적으로 전송률 증가를 시도하는데 이것은 혼잡 기간 중에 다소 높은 손실률을 보이는 원인이 된다.

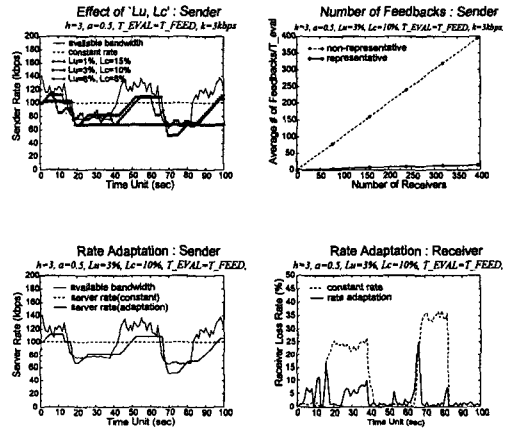


그림 5 타당성 검증과 Lu, Lc의 영향

제안한 대표자 방법에서 송신자의 전송률 조정, 수신자의 손실률 변화, 단위 시간 동안 송신자가 받는 피드백 수 등은 각 파라미터에 의해 영향을 받는다. 이하의 실험에서는 이러한 파라미터의 영향을 알아보고 적절한 파라미터 값을 설정하기 위한 실험 결과를 제시한다.

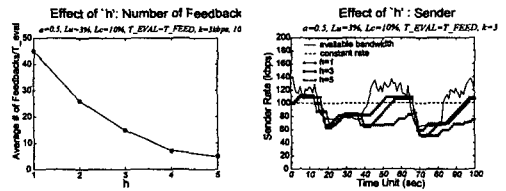


그림 6 파라미터 h의 영향

5.2 파라미터의 영향

L<sub>u</sub>와 L<sub>c</sub>는 전송률 조정에 결정적인 영향을 미치는 것으로 가장 중요한 파라미터라고 할 수 있다. 그림 5의 우측 하단 그래프는 파라미터 L<sub>u</sub>, L<sub>c</sub>가 전송률 조정에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다. 파라미터 L<sub>u</sub>와 L<sub>c</sub>를 1%와 15%, 3%와 10%, 6%와 8%로 변화시키면서 전송률 조정의 변화를 관찰하였다. L<sub>u</sub>=1%,



$L_c=15\%$ 와 같이  $L_u$ 와  $L_c$ 의 간격이 크거나  $L_u$ 가 너무 낮으면 가용 대역폭이 증가한 후에도 대부분의 손실률 변화가  $L_u$ 와  $L_c$  사이에 포함되어 한번 낮아진 전송률이 계속 유지된다. 또한  $L_u=6\%$ ,  $L_c=8\%$ 와 같이  $L_u$ 와  $L_c$ 의 폭이 너무 좁은 경우는 작은 패킷 손실률 변화에도 전송률이 증가하거나 감소하여 전송률 진동이 발생한다.  $L_u$ 와  $L_c$ 는 그 사이에 평균 손실률을 포함해야 하며 그렇지 않으면 전송률이 최대값 또는 최소값에 이를 때까지 계속 증가하거나 감소하게 된다.  $L_c$ 는 혼잡을 정의하는 파라미터로서 송신자는  $L_c$  이하의 손실률 발생은 혼잡으로 인식하지 않는다.

그림 6은 파라미터  $h$ 가 전송률 조정과 피드백 수에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다.  $h$ 가 클수록 계층 필터로 가는 피드백이 억제되므로  $h$ 가 클수록 피드백 수는 줄어들고 이에 따라 전송률 조정은 둔화되는 것을 볼 수 있다.  $h$ 가 너무 작으면 전송률 조정에는 별다른 변화가 없는 반면 피드백 수가 크게 증가하게 된다.

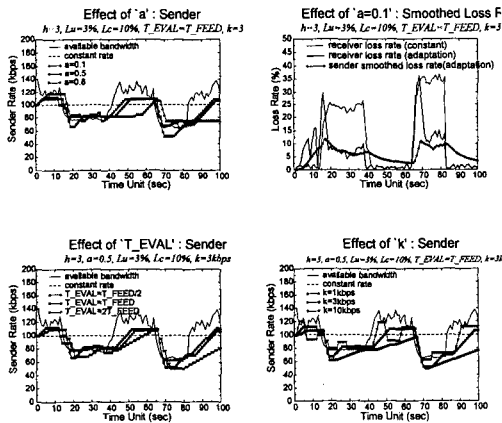


그림 7 파라미터  $a$ ,  $T_{EVAL}$ ,  $k$ 의 영향

그림 7의 좌측 상단 그래프는 파라미터  $a$ 가 전송률 조정에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다.  $a$ 를 0.1, 0.5, 0.8로 변화시키면서 송신자의 전송률 조정을 관찰하였다.  $a=0.1$ 처럼  $a$ 가 너무 작으면 수신자의 손실률의 변화가 전송률 조정에 충분히 반영되지 못해 혼잡 발생시 전송률 조정이 늦게 이루어지거나 제대로 이루어지지 않는 것을 볼 수 있다. 반대로  $a=0.8$ 과 같이  $a$ 가 너무 크면 전송률 조정이 수신자의 손실률 변화에 민감하게 반응하여 전송률 진동이 발생한다. 그림 7의 우측 상단 그래프는 각각  $a$ 가 0.1일 때의 수신자의 손실률과 송신자의 완화 필터를 거친 손실률을 나타낸

것이다. 즉 수신자의 손실률과 송신자가 인식하는 손실률의 차이를 보여준다.  $a$ 가 작으므로 수신자의 손실률 변화가 송신자가 감지한 손실률에 제대로 반영되지 않는 것을 볼 수 있다. 그림 7의 좌측 하단 그래프는 파라미터  $T_{EVAL}$ 이 전송률 조정에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다.  $T_{EVAL}$ 을  $T_{FEED}/2$ ,  $T_{FEED}$ ,  $2T_{FEED}$ 로 변화시키면서 전송률 조정 변화를 관찰하였다.  $T_{EVAL} = T_{FEED}/2$ 와 같이 피드백 평가 주기가 피드백 생성 주기 보다 짧으면 전송률이 변동이 잦아지고, 잦은 피드백 평가와 전송률 조정으로 송신자의 처리 부담이 증가한다.  $T_{EVAL} = 2T_{FEED}$ 처럼 피드백 평가 주기가 피드백 생성 주기보다 길면 보다 신중한 전송률 조정을 하게 된다. 그러나 이 경우 혼잡이 해소되었을 때 전송률 회복이 느려지는 것을 볼 수 있다. 그림 7의 우측 하단 그래프는 파라미터  $k$ 가 전송률 조정에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다. 전송률 증가폭  $k$ 를 1kbps, 3kbps, 10kbps로 변화시키면서 전송률 조정과 수신자의 손실률 변화를 살펴보았다.  $k=1$ kbps와 같이  $k$ 가 너무 작으면 혼잡 해소 시에 전송률을 빨리 회복하지 못하는 것을 볼 수 있다. 반대로  $k=10$ kbps와 같이  $k$ 가 너무 크면 혼잡 해소 시에 전송률 회복이 빠르나 불필요한 전송률 변동이 심해진다.

## 6. 결론

본 논문에서는 실시간 비신뢰성 멀티캐스트의 피드백 폭주 문제 해결에 있어서 기존의 방법과는 다른 접근 방법의 하나로 대표자를 사용하는 기법을 제안하였다. 이러한 대표자 방법의 구성 요소를 대표자의 선정 및 관리 방법과 대표자의 피드백 처리 방법 그리고 전송률 조정 방법으로 나누어 본다면, 본 논문의 대표자의 선정 및 관리 방법은 기존 신뢰성 멀티캐스트에서 제안된 방법을 응용한 것이며 대표자의 역할 즉 대표자의 피드백 처리 방법은 본 논문에서 새롭게 제안한 방법이고 전송률 조정 방법은 기존의 실시간 멀티캐스트 전송률 조정 방법을 대표자 방법에 적합하도록 수정한 것이다. 따라서 본 논문에서 제안하는 내용의 핵심은 피드백 폭주 문제 해결에 대표자 방법을 적용한 점과 그 중에서도 대표자의 피드백 처리 방법을 제공했다는 점이라고 할 수 있다.

실시간 멀티캐스트에서 대표자의 역할은, 효율적인 계전송을 주목적으로 하는 신뢰성 멀티캐스트의 대표자의 역할과는 달리 수신자들의 피드백을 폭주 없이 송신자에게 전달하여야 한다. 본 논문에서는 지역 단위로 선

정된 대표자가 일종의 필터와 같은 역할을 하여 일정한 기준 이상의 피드백만을 송신자에게 전달하는 방식을 사용함으로써 피드백 수를 대폭 줄일 수 있었다. 시뮬레이션 결과 적절한 파라미터 설정 하에 제안한 방법에 의해 피드백 폭주 문제를 해결하면서 송신자가 혼잡에 대처하여 적절히 전송률을 조정할 수 있음을 볼 수 있었다. 단 파라미터에 따라 전송률 조정이 둔화되거나 전송률 진동이 발생할 수 있으므로 망 상황에 따라 적절한 파라미터의 설정이 중요하다.

본 논문에서는 제안한 방법의 문제 해결 가능성을 시뮬레이션을 통해 검증하였으며, 앞으로 멀티캐스트 망에 적용하여 검증하는 과정과 실제 트래픽 상황을 처리하기 위한 알고리즘의 개선이 필요하다. 또한 피드백 수와 전송률 조정 결과 면에서 기존의 피드백 폭주 문제 해결 방법과 구체적인 성능 비교가 요구된다.

**참 고 문 헌**

[1] Ajit S. Thyagarajan, S. Casner, and S. Dcering, 'Making the Mbone Real,' *Proceedings of INET '95*, June 1995, pp.98-112.

[2] C. Lefelhocz, B. Lyles, S. Schenker, 'Congestion Control for Best-Effort Service: Why We Need a New Paradigm,' *IEEE Network*, Febuary 1996, Volume 10, Number 1, pp. 65-69.

[3] Stephen A. Thomas, *IPng and the TCP/IP Protocols*, Wiley Computer Publishing, 1996, pp. 356-370.

[4] Alaa Youseff, Hussien Abdel-Wahab, and Kurt Maly, 'A Scalable and Robust Feedback Mechanism for Adaptive Multimedia Multicast Systems,' *Proceedings of IFIP Conference on High Performance Networking (HPN'98)*, Vienna, Austria, September 1998, pp.127-133.

[5] Jean-Chrysostome Bolot, Thierry Turletti and Ian Wakeman, 'Scalable Feedback Control for Multicast Video Distribution in the Internet,' *ACM SIGCOMM '94*, August 1994, pp.58-67.

[6] Dante De Lucia, Katia Obraczka, 'A Multicast Congestion Control Mechanism Using Representatives,' Computer Science Department, University of Southern California, Technical Report 97-651, May 1997.

[7] Ingo Busse, Bernd Deffner and Henning Schulzrinne, 'Dynamic QoS Control of Multimedia Application based on RTP,' *Computer Communi- cations*, January 1996, pp.71-76.

[8] McCanne, S., Jacobson, V., and Vetterli, M., 'Receiver-driven Layered Multicast,' *ACM SIG-COM '96*, August 1996, pp.117-130.

[9] R. Yavatkar, J. Griffioen, and M. Sudan, 'A Reliable Dissemination Protocol for Interactive Collaborative Applications,' In the *Proceedings of the ACM Multimedia '95 Conference*, November 1995, pp.219-225.

[10] X. Rex Xu, Andrew C. Myers, Hui Zhang, Raj Yavatkar, 'Resilient Multicast Support for Continuous-Media Applications,' *Proceedings of NOSSDAV '97*, August 1997, pp.114-120.

[11] Markus Hofmann, 'Adding Scalability to Transport Level Multicast,' *Third International COST 237 Workshop*, November 1996, pp.382-390.

[12] John C. Lin, Sanjoy Paul, 'A Reliable Multicast Transport Protocol,' *Proceedings of 1996 IEEE INFOCOMM*, March 1996, pp.1414-1424.

**송 명 준**



1997년 광운대학교 컴퓨터과학과 학사.  
1999년 광운대학교 컴퓨터과학과 석사.  
1999년 ~ 현재 로커스 정보통신 연구소 연구원. 관심분야는 인터넷 프로토콜, 멀티캐스트, 혼잡제어.

**차 호 정**



교수. 관심분야는 분산 컴퓨팅

1985년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사.  
1987년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사.  
1991년 영국 University of Manchester 컴퓨터 공학박사. 1991년 ~ 1993년 University of Manchester 연구원. 1993년 ~ 현재 광운대학교 컴퓨터과학과 부

**이 동 호**



1979년 서울대학교 전자공학과 졸업.  
1983년 ~ 1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사, 박사학위 취득. 1984년 9월 ~ 현재 광운대학교 컴퓨터과학과 교수로 재직중. 관심분야는 컴퓨터네트워크, 인터넷프로토콜 등임