

# 신뢰성 있는 멀티캐스트 프로토콜에서 NAK 메시지의 기능 분리를 통한 지역적 오류 복구

(Local Recovery in Reliable Multicast Protocols by  
Separating NAK-suppression from Error Recovery Request)

정 충 일<sup>†</sup> 이 윤 희<sup>\*\*</sup> 박 창 윤<sup>\*\*\*</sup>

(Choong-Il Jung) (Yun-Hee Lee) (ChangYun Park)

**요약** 인터넷의 급속한 성장과 함께 멀티캐스트 프로토콜을 사용하는 어플리케이션들이 증가하고 있는 추세이다. 이러한 멀티캐스트 프로토콜에서 중요하게 요구되는 사항은 신뢰성과 확장성이다. 그 중 확장성을 향상시키기 위해서 여러 지역적 오류 복구 기법이 사용되고 있다. 본 논문에서는 기존의 지역적 오류 복구 기법에서 발생하는 제한점을 설명하고, 이 문제를 해결하기 위해서 보다 안정적이고 효과적인 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 다음과 같은 세 가지 특성을 가진다. 첫 번째는 NAK 메시지를 기능에 따라 오류 복구 요청과 NAK-suppression으로 분리하여 각각 전송함으로써, 각 기능에 대해 최적화를 시키는 것이다. 두 번째는 점진적, 분산적으로 선정된 지역 대표가 오류 복구를 보다 결정적으로 수행하도록 하는 것이다. 세 번째는 제어 메시지의 TTL값을 동적으로 조정함으로써, 오류 복구 영역을 최소화시키는 것이다. 제안된 프로토콜은 시뮬레이션 상에서 다른 프로토콜과의 비교 실험을 통해 성능평가를 하였다. 실험 결과, 제안된 프로토콜은 오류 복구 시간과 네트워크 오버헤드를 감소시킴으로써 확장성을 향상시킨다는 것을 확인하였다.

**Abstract** With the growth of the Internet, applications using the reliable multicast protocol are increasing. Two important requirements of reliable multicasting are reliability and scalability. To enhance scalability, many methods have been proposed. A typical method is a local recovery scheme. This paper proposes a new stable and effective protocol with the following features. The first is to apply the discipline of the separations of concerns to NAK message. By dividing the functions of the NAK message into the error recovery request and the NAK-suppression, each function can be optimized. Second, a local representative, which is selected gradually and distributively, executes error recovery in somewhat deterministic manner. Finally, by dynamically adjusting the TTL value of the control message, the error recovery domain can be optimized. The proposed scheme has been implemented and experimented on Network Simulator. Compared to the existing schemes, the performance results show that scalability has not only been enhanced but also error recovery time and network overhead have been reduced.

## 1. 서론

인터넷의 급속한 발전과 확산에 따라, 이를 통해 지리적으로 멀리 떨어진 여러 사람들이 동시에 참여할 수 있는 여러 다양한 어플리케이션들이 등장하고 있다. 이러한 어플리케이션들은 한 명의 송신자가 한 명의 수신자에게 전송하는 기존의 어플리케이션들과는 달리, 한 명의 혹은 여러 명의 송신자가 그룹 내의 모든 수신자에게 같은 데이터를 전송하는 멀티캐스팅을 요구하고 있다. 이러한 어플리케이션들은 그 특성상 신뢰성 있는 전송 서비스가 요구된다. 그러나, 멀티캐스트 프로토콜이 신뢰성이 보장되지 않는 IP 멀티캐스팅[1]을 기반으

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:2000-1-51200-001-3) 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : 여주대학 전산정보처리과 교수

cijung@yeojoo.ac.kr

\*\* 비 회 원 : SK Teletech 연구원

spika@skteletech.kr

\*\*\* 종신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수

cypark@net1.cse.cau.ac.kr

논문접수 : 2000년 12월 29일

심사완료 : 2001년 8월 24일

로 하고 있기 때문에 멀티캐스트 프로토콜에서 신뢰성을 보장해 주어야 할 필요가 있다. 이러한 신뢰성과 함께 요구되는 중요한 사항은 확장성이다. 즉, 멀티캐스트 그룹의 크기가 증가하더라도 효율이 유지되는 것을 말한다.

멀티캐스트 프로토콜에서는 이러한 확장성을 향상시키기 위해서 여러 가지 방법들이 사용되고 있다. 예를 들면, 수신자 기반 프로토콜에서 중복된 메시지들이 전송되는 것을 방지하기 위해서 사용되는 RINA(Receiver Initiated Nack Avoidance) 프로토콜이나, ACK 트리를 구성하여 구조적으로 제어 메시지들의 수를 줄여 보려는 트리 기반의 프로토콜[2], 그리고 지역적 오류 복구 기법 등을 들 수 있다.

지역적 오류 복구 기법은 오류가 발생했을 때 그룹 전체가 아니라 오류에 의해서 영향을 받는 지역으로만 부분적으로 제어 메시지를 멀티캐스팅 하여 오류 복구를 수행하는 방법이다. 현재의 지역적 오류 복구 기법으로는 TTL값을 조정하거나 다수의 멀티캐스트 그룹을 사용하는 등의 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 그러나, 기존의 방법들에서는 오류 복구가 지역적으로 이루어지도록 하면서, 동시에 그 범위 내에 오류를 복구해줄 수 있는 송신자나 다른 수신자가 항상 포함되도록 해야 하는 어려움이 있다.

본 논문에서는 지역적 오류 복구 기법에서 발생하는 제한점을 해결하고 더 나아가 확장성을 향상시키기 위해서 다음과 같은 세 가지 특성을 가지는 프로토콜을 제안하였다. 첫 번째는 NAK 메시지의 기능을 분리하는 것이다. 멀티캐스트 프로토콜에서 NAK 메시지는 두 가지 기능을 한다. 첫 번째는 발생한 오류에 대해서 복구를 요청하는 것이고, 두 번째는 중복된 NAK 메시지가 전송되는 것을 방지하는 것이다. 이러한 NAK 메시지를 기능에 따라 분리하여 따로 전송하면, 분리된 각각의 NAK 메시지는 자신이 수행할 한 가지 기능에 대해 최적화될 수 있다. 두 번째는 지역 대표를 사용하여 유니캐스팅으로 오류 복구를 수행하는 것이다. 지역 대표는 오류 발생 시 즉시 유니캐스팅으로 복구 요청 메시지를 전송함으로써, 오류 복구 시간을 단축시키고 오류 복구 부하를 감소시킨다. 마지막으로는 TTL값을 동적으로 결정하여 지역적 오류 복구를 수행하는 것이다. TTL값을 네트워크의 상황에 따라서 동적으로 결정하여 NAK-억제(NAK-suppression)를 수행하는데 있어서의 오버헤드를 감소시키고 오류 복구 영역을 최적화시킬 수 있다.

위와 같은 특성을 이용하여 제안된 프로토콜은 보다

안정적이고 효율적인 지역적 오류 복구 방법을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 NS(NBNL Network Simulator)상에서 SRM의 확장 형태로 구현하였으며, 확장성에 대한 성능 향상을 기존의 프로토콜과 비교 실험을 통하여 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 멀티캐스트 프로토콜인 SRM을 설명하고, SRM 프로토콜에서 멀티캐스트 그룹의 확장성을 위한 기존의 여러 방법을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 NAK 메시지를 통한 지역 복구의 특성 및 내부 기법을 소개한다. 4장에서는 본 논문에서 제안된 기법의 설계와 구현방법에 대해서 기술하고, 5장에서는 제안된 기법과 기존의 다른 지역 복구 방법과의 비교 실험을 통해서 성능을 평가하고, 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구에 대해서 설명한다.

## 2. 관련 연구

현재의 멀티캐스트 프로토콜은 크게 다음과 같이 분류될 수 있다[3][4]. 우선, 송신자가 그룹 내의 모든 수신자들을 ACK 메시지를 이용해 관리하는 송신자 기반 프로토콜과, 수신자가 오류를 검사하여 오류 검출 시 NAK 메시지를 전송하여 오류 복구를 하는 수신자 기반 프로토콜이 있다. 또한, 구조적으로 그룹 내의 멤버들을 ACK 트리로 구성하여 송신자의 역할을 중간 노드들에게 분담하는 트리 기반의 프로토콜과 링으로 구성하여 토큰 사이트로 하여금 오류 복구를 담당하게 하는 링 기반 프로토콜이 있다. 그러나, 이러한 프로토콜들은 ACK-과부하(implosion) 문제[5]나 NAK-과부하 문제 등이 발생하기 때문에 확장성에 있어서 문제가 된다. 또한, 트리 기반 프로토콜의 경우에는 초기 과정에 ACK 트리를 구성하는데 있어서의 오버헤드가 크고, 링 기반 프로토콜의 경우에는 그룹의 크기가 증가하면 토큰 사이트에서의 처리 부담이 증가하는 등의 문제점이 있다.

본 논문에서는 수신자 기반 멀티캐스트 프로토콜의 성능을 향상시키기 위한 여러 기법들을 제안하며, 이를 대표적인 수신자 기반 프로토콜의 하나인 SRM[6][7]에 적용하고 실험하여 타당성을 검증하였다. SRM에 적용한 기법들은 다른 수신자 기반 프로토콜에도 원칙적으로 적용이 가능하다고 예상된다.

SRM에서는 각 수신자들이 오류가 발생했는지를 검사하고, 오류 발생 시 NAK 메시지를 멀티캐스팅하여 오류 복구를 요청한다. 또한, 데이터 메시지를 비롯하여 모든 메시지들을 전체 네트워크로 멀티캐스팅 함으로써, 그룹 내의 모든 멤버들 사이에서 데이터나 정보를 공유

한다. SRM은 수신자 기반 프로토콜에서 흔히 발생하는 NAK-과부하 문제를 해결하기 위해서 slotting and damping 기법을 사용한다. 즉, 수신자는 오류가 발생했음을 감지했을 때 송신자에서 자신까지의 거리와 복구 요청(request) 타이머 인자 값에 의해서 정해지는 구간에서 선택된 임의의 시간동안 기다린다. 이 복구요청 타이머 시간 동안 다른 수신자들로부터 중복된 NAK 메시지를 받지 않은 경우에 비로소 NAK 메시지를 전송한다. Adaptive SRM[6][7]은 SRM에서 고정되어 있던 제어 메시지의 타이머 값을 이전의 오류 복구에서의 중복된 메시지의 수나 지연 정도에 따라 동적으로 조정하여, 네트워크나 토폴로지의 동적인 변화나 그룹 내의 멤버들의 변화와 혼잡 패턴의 변화에도 적절히 대응할 수 있도록 하였다.

SRM과 같은 수신자기반 프로토콜에서의 지역적 오류 복구 방법에는 대표적으로 TTL-based scoping[6][8]과 multiple multicast groups[6][8][9]의 두 가지 방법이 있다. TTL-based scoping은 멀티캐스팅되는 제어 메시지들의 TTL값을 조정하여 제어 메시지들이 필요한 영역으로만 전송되도록 하여 전체 네트워크에 대한 오버헤드를 줄이는 방법이다. Multiple multicast groups는 수신자들이 오류를 검출할 때마다 원래의 멀티캐스트 그룹 외의 오류 복구를 목적으로 한 새로운 멀티캐스트 그룹에 참여하여, 그룹 내에서 NAK 메시지나 복구(repair) 메시지를 전송하도록 하여 각 수신자들이 불필요한 제어 메시지를 처리하는데 드는 오버헤드를 줄인다. 그러나, 이 두 방법은 모두 오류 복구 영역을 최소화하면서 동시에 오류 복구를 해 줄 수 있는 송신자나 수신자가 오류 복구 영역에 항상 포함되도록 설정하는 것이 어렵다는 제한점을 가지고 있다.

### 3. 제안된 프로토콜의 특성 및 내부기법

#### 3.1 특성

##### 3.1.1 NAK 메시지의 기능 분리

수신자 기반 프로토콜에서 동일한 오류를 감지한 수신자의 수가 많은 경우에는 NAK-과부하 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 수신자 기반 프로토콜에서는 수신자가 오류를 검출해 내면, 바로 NAK 메시지를 전송하는 것이 아니라 임의로 선택된 시간 동안 기다린다. 그 동안 다른 수신자들로부터 NAK 메시지를 받지 못하면, 이 수신자가 NAK 메시지를 그룹 전체로 전송한다. 이렇게 함으로써, 동일한 오류에 의해서 영향을 받는 여러 수신자들이 중복된

NAK 메시지를 동시에 전송하지 않도록 하는 것이다.

따라서, 수신자 기반 프로토콜에서의 NAK 메시지는 다음의 두 가지 기능을 수행하게 된다. 첫 번째는 필수적인 기능으로서 검출된 오류에 대해서 오류 복구를 위해 복구 메시지를 요구하는 것이고, 두 번째는 NAK-과부하 문제를 해결하기 위해 중복적인 NAK 메시지가 전송되는 것을 방지하는 것이다(NAK-억제). 이렇게 하나의 NAK 메시지가 두 가지의 서로 다른 기능을 수행하고 있기 때문에 각 기능을 최적화하는데 있어서 융통성이 줄어들게 된다. 즉, 오류 복구에 있어서는 오류 복구에 걸리는 시간을 최소화하는 것이 요구되지만, NAK-과부하를 방지하기 위해서 임의의 시간동안 기다렸다가 전송하기 때문에 오류 복구 측면에서만 본다면 불필요한 시간이 더해지는 것이다. 또한, NAK-억제에 있어서는 지역적 오류 영역을 최소화하는 것이 요구되지만, 그 영역에 복구를 해 줄 수 있는 송신자를 포함시켜야 하기 때문에 불필요하게 영역이 커질 수 있다.

본 연구에서는 NAK 메시지를 그 기능에 따라 분리한다. 즉 오류가 발생하였을 때, 오류를 검출해낸 수신자는 NAK 메시지를 분리하여 기능에 따라, 하나는 오류 복구를 위해서 전송하고, 다른 하나는 NAK-억제를 위해서 전송한다. 이렇게 NAK 메시지를 그 기능에 따라서 분리하여 전송함으로써, 각각의 기능에 대해서 개별적인 해결책을 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 각각의 분리된 메시지가 자신이 수행할 기능만을 위해서 최적화되는 데 있어서 발생할 수 있는 제한점을 해결할 수 있다. 즉, 오류 복구를 위한 메시지는 오류 복구 시간의 최소화, NAK-억제를 위한 메시지는 오류 복구 영역의 최적화를 위해서 개별적인 해결책이 적용될 수 있다.

본 논문에서는 분리된 NAK 메시지를 각각 다음 표 1과 같이 다른 명칭으로 구분하여 사용할 것이다. Request 메시지는 오류 복구를 위해서 전송되는 메시지를 의미하며, NAK-S 메시지는 NAK-억제를 위해서 전송되는 메시지를 의미한다.

표 1 분리된 NAK 메시지의 명칭

기능 \ 프로토콜	기존의 프로토콜	제안된 프로토콜
오류 복구	NAK	Request
NAK-suppression		NAK-S

##### 3.1.2 지역 대표(representative)의 유니캐스팅에 의한 오류 복구

오류 복구를 수행하는데 있어서는 오류 복구에 걸리는 시간을 줄이는 것이 중요하다. 그러나, 기존의 프로토콜에서는 NAK-과부하를 막기 위해서 오류가 발생한 것을 감지하더라도 임의의 시간동안 기다리게 함으로써 오류 복구 시간을 증가시킨다. 이것은 여러 수신자가 동시에 NAK 메시지를 전송하는 것을 방지하기 위한 것이므로, 먼저 오류 복구를 시도하는 수신자를 설정해 놓는다면, 이렇게 불필요하게 소모되는 시간을 감소시킬 수 있다. 즉, 기존의 분산적이고 비결정적인 오류 제어 방식에 결정적인(deterministic) 기법을 도입하자는 것이다.

본 논문에서는 지역 대표에 의한 결정적 오류 제어를 통해 오류 복구 시간을 단축시킨다. 지역 대표는 동일한 오류에 의해서 영향을 받는 다른 수신자들을 대표하여 오류 복구를 시도하는 수신자이다. 즉, 다른 수신자들을 대표하여 오류 복구와 NAK-억제를 우선적으로 수행한다. 이러한 지역 대표는 반드시 존재할 필요는 없으며, 동적으로 선정된다. 상위 수신자는 지역 대표가 시도하는 오류 복구 요청에 응답하여 복구 메시지를 전송하는 또 다른 수신자를 의미한다. 상위 수신자도 지역 대표와 마찬가지로 지역 대표가 선정될 때 동적으로 선정된다. 이렇게 동적으로 선정된 지역 대표는 오류를 검출하면, 그 즉시 오류 복구를 위해서 복구요청 메시지를 상위 수신자에게 유니캐스팅한다.

지역 대표가 다른 수신자들을 대표하여 유니캐스팅으로 오류 복구를 수행함으로써 기대할 수 있는 효과는 오류 복구 시간의 감소와 오류 복구 부하의 감소이다. 지역 대표가 오류를 검출하면 임의의 시간동안 기다리지 않고 즉시 복구요청 메시지를 전송하고, 이를 수신한 상위 수신자도 마찬가지로 즉시 복구 메시지를 전송한다. 이와는 달리, 기존의 수신자 기반 프로토콜에서 오류를 검출해낸 수신자들은 NAK-과부하를 피하기 위해서 항상 임의의 시간동안 기다린 후에 NAK 메시지나 복구 메시지를 전송하게 된다. 따라서, 지역 대표를 이용하면 이러한 불필요한 시간을 줄일 수 있기 때문에 보다 효율적으로 오류 복구를 수행할 수 있다. 또한, 이러한 복구요청 메시지가 그룹 전체로 전달되는 것이 아니라 상위 수신자에게만 유니캐스팅으로 전송되기 때문에 오류 복구 시에 드는 부하를 감소시킬 수 있다.

만약, 지역 대표가 전송한 복구요청 메시지가 오류 복구에 실패하는 경우에는 NAK-S 메시지에 의해서 NAK-suppression되었던 수신자들 중의 하나가 오류 복구를 요청하게 된다. 즉, NAK-suppression되었던 수신자들 중에서 가장 먼저 복구요청 타이머가 종료되는 수신자가 NAK 메시지를 전송하여 복구 메시지를 요청

하게 되므로, 지역 대표가 실패하는 경우에도 오류 복구는 항상 이루어진다.

### 3.1.3 동적 TTL 결정을 통한 지역적 오류 복구

멀티캐스트 프로토콜에서는 모든 메시지가 멀티캐스트 그룹 전체로 멀티캐스팅된다. 따라서, 그룹의 한 부분에서 오류가 발생하면 그 오류에 대한 제어 메시지가 그룹 전체로 전달되고, 이로 인해 전체 네트워크의 오버헤드가 증가하게 된다. 이러한 현상은 멀티캐스트 그룹의 크기가 커질수록 증가하게 됨으로써, 확장성을 저하시킨다. 따라서, 멀티캐스트 프로토콜에서는 확장성을 향상시키기 위해서 지역적 오류 복구 기법이 사용된다. 즉, 제어 메시지를 오류가 발생한 부분에만 전송되도록 하여서 불필요한 오버헤드를 줄이자는 것이다.

기존의 지역적 오류 복구 기법에서 문제시되는 부분은 바로 NAK 메시지의 기본적인 기능인 오류 복구이다. 즉, NAK 메시지가 실제로 필요한 부분에만 전송되어 네트워크의 오버헤드를 줄이는 것은 바람직하지만, NAK 메시지가 오류를 복구해 줄 수 있는 수신자나 송신자에게까지 항상 전송되어야 한다는 것이 더 중요한 문제이기 때문이다. 즉, 지역적 오류 복구의 성능 향상을 위해서 이상적으로는 그룹 내에서 오류에 영향을 받는 멤버들만 NAK 메시지를 받도록 NAK 메시지가 전송되는 영역을 가능한 한 좁히는 것이 요구되지만, 이렇게 영역을 제한시키다 보면 그 오류에 대해서 복구를 해줄 수 있는 수신자가 포함되지 않을 수도 있다는 것이 문제가 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 지역 대표에 의한 NAK 메시지의 기능 분리를 통해 해결한다. 지역 대표는 오류가 발생했을 때, 즉시 복구요청 메시지를 유니캐스팅으로 상위수신자에게 전송한다. 이렇게 지역 대표에 의한 유니캐스팅에 의해서 오류 복구가 시도되기 때문에 NAK-억제를 수행할 때에는 오류 복구의 문제를 고려할 필요가 없다.

NAK-S 메시지를 전송할 때는 오류 복구의 제약이 없기 때문에 실제로 NAK-억제가 요구되는 영역으로만 멀티캐스팅 되도록 조정할 수 있다. 이러한 영역은 NAK-S 메시지의 TTL값을 조정하여 결정할 수 있다. 즉, TTL값은 상황에 따라서 동적으로 조정되기 때문에 NAK-S 메시지가 전송되는 범위를 최소한으로 축소시키며, 따라서, 지역적 오류 복구의 범위를 실제로 오류 복구가 필요한 부분으로만 최적화시키는 것이 가능하다. 이렇게 NAK-S 메시지의 TTL값을 동적으로 조정하여 지역적 오류 복구를 수행함으로써 전체 네트워크의 불필요한 오버헤드를 줄일 수 있고, 이로써 확장성을 향상

시킬 수 있다. 또한, 멀티캐스트 그룹의 멤버가 변경되거나 혼잡 패턴이 바뀌는 여러 동적인 변화를 수용할 수 있다.

이상의 개념들을 특성에 따라 정리하면 다음 표 2와 같다. Request 메시지는 오류 복구를 위해서 지역 대표의 유니캐스팅 전송으로 상위수신자에게 즉시 전달된다. 따라서, 오류 복구 시간과 복구 부하를 감소시킬 수 있다. NAK-S 메시지는 NAK-억제를 위해서 동적으로 조정된 TTL값으로 멀티캐스팅된다. 이를 통해서 지역적 오류 복구 영역을 최적화시킬 수 있고 전체 네트워크의 부하를 감소시킬 수 있다.

표 2 제안된 방법의 특성 정리

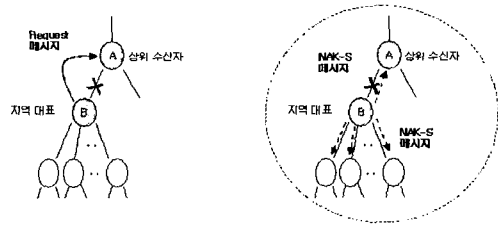
메시지 행위	Request	NAK-S
기능	오류 복구	NAK-억제
전송방법	유니캐스팅	멀티캐스팅
최적화방법	지역 대표와 상위 수신자를 선정하여 즉시 오류 복구를 수행	동적으로 TTL값을 조정하여 지역적 오류 복구를 수행
기대 효과	오류 복구 시간의 감소 오류 복구시의 부하를 감소	지역적 오류 복구 영역의 최적화를 통해 네트워크의 부하를 감소

### 3.2 오류 제어 기법 : 지역대표와 동적인 TTL값 변경을 이용한 지역적 복구

위에서 설명한 특성들을 모두 반영한 오류 제어 기법은 지역 대표의 선정으로부터 시작된다. 지역 대표는 처음부터 미리 결정되어 있는 것이 아니다. 혼잡 링크가 발생하여 혼잡 링크 너머의 수신자들이 메시지를 제대로 받지 못하게 되면, 오류 복구가 필요해진다. 이 때, 지역 대표는 오류 복구를 위하여 동적으로 선정된다. 따라서, 멀티캐스트 그룹 내의 어떤 수신자도 지역 대표가 될 수 있다. 지역 대표는 주로 혼잡 링크에서 가까운 수신자로 결정된다.

이렇게 지역 대표가 선정된 이후부터는 여기서 발생하는 오류에 대해서 이 지역 대표가 하위의 다른 수신자들을 대표하여 오류 복구와 NAK-억제를 수행하게 된다. 지역 대표를 통한 오류 복구 기법을 그림으로 설명하면 그림 1과 같다. 지역 대표가 오류 발생을 감지하면, 다음과 같은 두 가지의 동작을 수행한다. 첫 번째는 그림 1의 a)와 같이 상위 수신자에게 유니캐스팅으로 복구요청 메시지를 즉시 전송하여 오류 복구를 요청하는 것이다. 두 번째는 그림 1의 b)와 같이 제한된 TTL

값을 가지고 NAK-S 메시지를 멀티캐스팅하여 동일한 에러에 의해서 영향을 받는 모든 수신자들에 대해서 NAK-억제를 수행하는 것이다. 이 때 NAK-S 메시지의 TTL값은 오류를 복구해 줄 수 있는 수신자가 포함되는지 안 되는지에 관계없이 조정될 수 있다. 따라서 지역 대표는 자신이 수신한 NAK 메시지를 검사하여 동적으로 TTL값을 조정한다.



(a) 오류 복구를 위해 (b) NAK-suppression을 위해 수행

그림 1 오류 발생시 지역 대표가 수행하는 두 가지 동작

지역 대표로부터 복구요청 메시지를 유니캐스팅으로 전송받은 후, 상위 수신자가 취할 수 있는 동작에는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 상위 수신자가 다시 유니캐스팅으로 복구 메시지를 전송하면, 지역 대표가 이를 받아서 자신의 TTL값으로 멀티캐스팅하는 방법이다. 두 번째 방법은 유니캐스팅으로 전송된 복구요청 메시지를 받은 상위 수신자가 직접 멀티캐스팅하는 방법이다. 이 때, 상위 수신자는 지역 대표가 NAK 메시지를 멀티캐스팅했을 때 사용했던 TTL값에다가 자신과 지역 대표의 거리를 더한 값을 새로운 TTL값으로 설정하여 복구 메시지를 멀티캐스팅한다.

## 4. 프로토콜의 설계 및 구현

### 4.1 주요 설계 사항

#### 4.1.1 지역 대표의 선정 방법

오류를 검출해낸 수신자는 NAK-과부하를 피하기 위해서 임의의 시간동안 기다렸다가 NAK 메시지를 전송한다. 이 때, 임의로 결정되는 복구요청 타이머 값은 송신자로부터 해당 수신자의 거리에 의해서 크게 좌우되기 때문에 주로 혼잡 링크에서 가까운 멤버가 NAK 메시지를 전송할 가능성이 크다. 따라서, 수신자들 중에서 오류 발생 시에 자주 NAK 메시지를 전송하는 수신자를 하나로 수렴시켜서 지역 대표로 선정한다.

지역대표 선정을 위한 별도의 메시지 교환은 없으며,

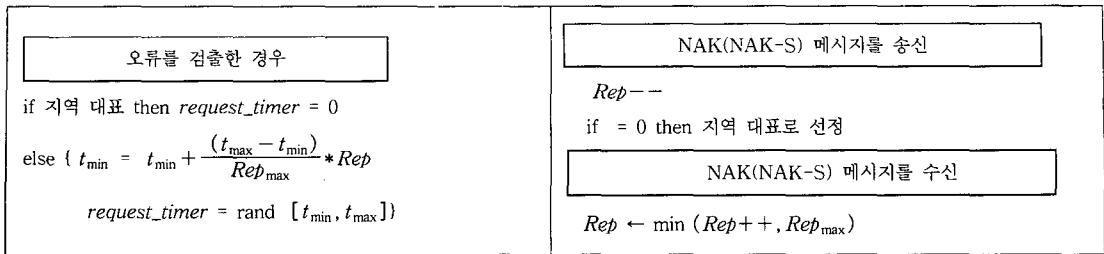


그림 2 지역 대표를 선정하는 알고리즘

기존의 SRM 동작을 이용해서 점진적이고 분산적으로 선정한다. 구체적인 방법은 다음과 같다. 처음에 모든 수신자는  $Rep$  라는 0보다 큰 상수 값을 가진다. 각 수신자들은 자신의 복구요청 타이머가 종료되어 NAK 메시지를 전송하게 되면  $Rep$ 의 값을 감소시킨다. 이와는 반대로 복구요청 타이머가 끝나갈 기다리는 동안 다른 수신자로부터 동일한 메시지에 대한 NAK 메시지를 받은 경우, 자신의  $Rep$  값이  $Rep$ 의 최대값보다 작으면 증가시킨다. 다음의 그림 2는 지역 대표를 선정하는 알고리즘이다.

그림 2의 알고리즘에서 지역 대표이외의 다른 수신자의 복구요청 타이머의 값은  $t_{min}$ 과  $t_{max}$ 사이에서 임의로 선정된다. 이 때,  $t_{min}$ 의 값은 각 수신자의  $Rep$ 의 값에 따라서 달라진다.  $Rep$ 의 값이 작은 수신자의 경우에는  $t_{min}$ 의 값이 작게 설정되고, 반대로  $Rep$ 의 값이 큰 경우에는  $t_{min}$ 의 값이 크게 설정된다. 따라서,  $Rep$ 의 값이 작은 수신자가 더 작은 복구요청 타이머의 값을 가질 확률이 높다. 따라서, 한번 NAK 메시지를 전송한 수신자가 계속해서 NAK 메시지를 전송할 가능성이 커지므로 빠른 시간 안에 지역 대표를 선정할 수 있다.

이러한 알고리즘으로 어떤 수신자가 계속해서 NAK 메시지를 전송하게 되고 그 때마다  $Rep$  값이 감소하여 마침내 수신자의  $Rep$  값이 0이 되면, 비로소 이 수신자는 지역 대표로서의 역할을 시작한다. 선정된 지역 대표는 오류를 검출한 경우 복구요청 타이머의 값이 0으로 설정되므로 즉시 NAK-S 메시지를 송신한다.

이렇게 지역 대표가 정해지고 난 후에도, NAK-억제되는 수신자들은 지역 대표로부터 NAK-S 메시지를 받으면  $Rep$ 의 최대값보다 작은 경우에는  $Rep$ 의 값을 증가시킨다. 이것은 다른 수신자들이 지역 대표보다 먼저 혹은 비슷한 시간에 NAK 메시지를 전송하는 확률을 줄여 나가 불필요한 중복 메시지가 멀티캐스팅 되는 것을 방지하기 위해서이다. 그러나, 복구요청 타이머 값이 가질 수 있는 최대값은 변경하지 않고 그대로 유지한다. 그

이유는 지역 대표에 의해서 오류 복구가 이루어지지 못하는 경우가 발생할 경우를 대비하기 위해서이다. 즉, 다른 수신자에 의해서 오류 복구가 이루어질 때 오류 복구에 걸리는 시간에 상한선을 두어서 기존의 방법에서의 복구 시간의 최대값을 넘지 않도록 하기 위해서이다.

멀티캐스트 트리가 안정적이면 지역대표도 안정적으로 유지된다. 만일 어떤 환경의 변화가 생겨서 지역대표가 NAK-억제되면, 지역대표는 보통의 노드로 환원된다. 지역대표가 없으면 SRM 방식으로 오류 복구를 시도하면서 다시 지역대표 선정을 시도한다. 이러한 경우에 대한 실험 결과는 그림 9에 나타내었다.

4.1.2 동적인 TTL값 결정 방법

지역 대표가 선정된 후부터는 이 지역 대표가 복구요청 메시지를 통해서 오류 복구를 시도하게 된다. 그러므로, 지역 대표가 NAK-S 메시지를 전송할 때에는 오류 복구의 기능은 고려할 필요 없이 NAK-억제 기능을 최적화시키는 것에 중점을 두면 된다. 지역 대표는 NAK-S 메시지를 전송할 때 적절한 TTL값을 설정하여 NAK-억제가 성공적으로 이루어지도록 해야 한다. TTL값이 너무 큰 경우에는 제어 메시지들이 오류 복구가 불필요한 부분으로 멀티캐스팅되기 때문에 네트워크의 오버헤드를 감소시켜야 한다는 면에서 비효율적이다. 또한, TTL값이 너무 작은 경우에는 NAK-억제에 실패하게 되므로, 하나의 오류에 대해서 여러 개의 중복된 NAK 메시지가 전송됨으로써 불필요한 오버헤드가 발생하게 된다.

TTL값을 결정하는 방법은 다음과 같다. 지역 대표가 선정된 후, 지역 대표가 처음 NAK-S 메시지를 전송할 때는 멀티캐스트 그룹의 모든 멤버들이 수신할 수 있는 최대의 TTL값으로 전송한다. 이 경우, 이 TTL값이 충분히 크기 때문에 오류 복구를 요구하는 다른 수신자들에게 NAK-S 메시지가 모두 전송된다. 따라서 NAK-억제가 성공적으로 이루어진다. 이렇게 NAK-S 메시지를 전송하여 NAK-억제에 성공하면, 지역 대표는 사용한 TTL값이 충분히 크다는 것을 알 수 있으므로, 이후

에 NAK-S 메시지를 전송할 때 TTL값의 감소를 시도한다. 그러나, 지역 대표가 NAK-S 메시지를 전송했는데도 불구하고 다른 수신자로부터 NAK 메시지를 수신하게 되면, 지역 대표는 그림 3에서처럼 다음의 두 가지 경우를 고려해야 한다.

우선, ①의 경우처럼, A나 B 노드가 R1과 같은 오류에 대해서 영향을 받는 하위 수신자임에도 불구하고 TTL값이 필요 이상으로 작아져서 A나 B 노드가 R1의 NAK-S 메시지를 수신하지 못할 때, 지역 대표는 A나 B로부터 NAK 메시지를 수신하게 된다. 또 다른 경우는 ②에서처럼 네트워크의 다른 부분에서 발생한 혼잡 링크에 의해서 영향을 받은 R2가 전송하는 NAK-S 메시지를 수신할 수 있다. ①의 경우에는 R1이 TTL값을 증가시켜야 할 필요가 있지만, ②의 경우에는 R1이 TTL값을 변경할 필요가 없다. 그러므로, 각 지역 대표는 자신이 전송한 NAK-S 메시지를 기억해 둘 필요가 있다. 지역 대표는 자신이 전송한 NAK-S 메시지에 대해서 중복적인 NAK 메시지를 받았을 때는 TTL값을 증가시키지만, 그렇지 않은 경우에는 TTL값을 변경하지 않는다.

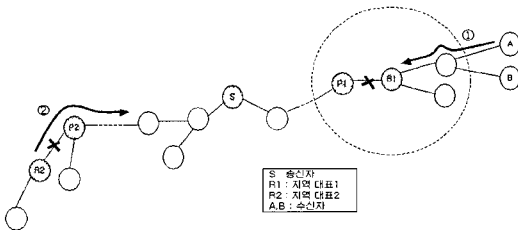


그림 3 지역 대표의 NAK 메시지 수신시 두 가지 가능성

지역 대표가 이렇게 자신이 수신하는 NAK 메시지에 따라 TTL값을 조정하다 보면, 어느 시점부터는 TTL값의 증가와 감소가 반복적으로 발생하게 된다. 그 이유는 지역 대표의 TTL값이 동일한 예리에 의해서 영향을 받는 수신자들에게만 NAK-S 메시지가 전달되도록 충분히 감소했기 때문이다. 그러므로, 이 시점에서 지역 대표는 TTL값을 더 이상 감소시키지 않는다.

**4.2 오류 복구 요청과 오류 복구 알고리즘**

지역 대표가 선정된 이후부터의 오류 복구 요청 알고리즘은 다음과 같다. 수신자들은 오류가 발생했을 때, 자신이 지역 대표인지를 검사한다. 자신이 지역 대표가 아닌 경우에는 기존의 SRM 프로토콜에서처럼 동작한다. 그러나, 지역 대표인 경우에는 NAK 메시지를 전송할 때, 다른 수신자들과는 달리 복구요청 타이머를 설정

하지 않는다. 지역 대표는 동일한 '오류에 대해서 영향을 받는 수신자들 중에서 가장 먼저 오류 복구를 시도하는 수신자이기 때문에 복구요청 타이머를 정할 필요가 없다. 그러므로 지역 대표는 오류를 검출하면 그 즉시 복구요청 메시지를 전송한다. 또한, 지역 대표는 NAK-S 메시지를 전송하기 전에 NAK-억제를 위한 TTL값을 조정한다. TTL값은 바로 이전의 오류 복구 과정에서 지역 대표가 중복된 NAK 메시지를 수신했는지를 검사하여 조정된다.

오류 복구는 NAK 메시지를 수신한 송신자나 수신자들에 의해서 이루어진다. 복구 메시지 전송방법은 지역 대표가 선정된 이후에는 오류 복구를 수행하는 수신자들이 상위 수신자인지 아닌지에 따라서 달라진다. 모든 수신자들은 복구 메시지를 전송 받을 때마다 자신에게 복구 메시지를 전송한 수신자의 주소를 저장해둔다. Rep 값에 의해서 지역 대표가 결정된 후부터 지역 대표는 자신이 저장한 오류 복구 수신자들 중에서 주로 복구 메시지를 전송한 수신자를 상위 수신자로 결정하고, 이 때부터 지역 대표는 결정된 상위 수신자와의 유니캐스팅으로 오류 복구를 수행하게 된다. 따라서, NAK 메시지를 수신했을 때, 자신이 상위 수신자가 아닌 경우에는 기존의 방법대로 복구 타이머를 설정하고, 이 타이머가 종료될 때까지 복구 메시지를 받지 못하면 복구 메시지를 전송한다. 그러나, 자신이 상위 수신자인 경우에는 수신한 NAK 메시지가 임의의 수신자에 의해 멀티캐스팅 전송된 것인지, 지역 대표에 의해 유니캐스팅 전송된 것인지에 따라서 전송방법이 달라진다. 전자의 경우에는 기존의 방법대로 복구 타이머를 설정하지만, 후자의 경우에는 복구 타이머를 설정하지 않고 바로 복구 메시지를 전송한다.

**4.3 구현 및 실험방법**

제안된 프로토콜의 성능 평가를 위해 NBNL Network Simulator(NS) 버전 2.1b6 상에서 실제 구현하여 동작을 실험하였다. NS는 Lawrence Berkeley National Laboratory의 Network Research Group에서 개발된 시뮬레이션 도구로써, SRM을 포함한 여러 프로토콜을 제공하고 있다.

개발된 프로토콜의 계층 구조는 다음의 그림 4와 같다. 본 논문에서는 수신자 기반 프로토콜의 대표적인 예인 SRM을 대상으로 하였다. 기존의 SRM에 지역 대표에서의 유니캐스팅 연결이나 TTL값의 동적인 결정 등을 위한 여러 기능을 추가하여 IP 위에서 동작하도록 하였다. 멀티캐스트 라우팅 프로토콜로는 Centralized Multicast 프로토콜을 사용하였다.

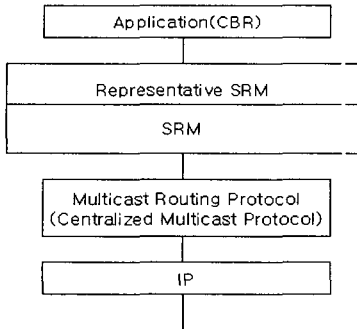


그림 4 개발된 프로토콜의 계층 구조

## 5. 실험 및 성능 평가

본 논문에서는 개발된 프로토콜에서의 확장성에 대한 향상 정도를 실험하고, 오류 복구에 걸리는 시간이 얼마나 감소되는지를 기존의 다른 프로토콜과 비교하여 실험하였다. 또한, 개발된 프로토콜의 동적인 변화에 대한 대응 방법을 실험하였다.

실험은 트리 토폴로지를 사용하였고, 데이터 송신자는 트리 구조의 루트에 위치하도록 하였으며, 단 하나의 송신자만을 사용하여 일대다 관계에서의 성능을 측정하였다. 패킷 손실은 주로 같은 곳에서 자주 발생한다고 가정하였다. 또한, Mbone에 대한 패킷 손실 패턴에 대한 연구 결과에서[10] 멀티캐스팅 트래픽에서의 패킷 손실은 백본에서가 아니라 주로 네트워크의 말단 부분에서 발생한다는 것을 감안하여 혼잡 링크의 위치는 네트워크의 말단 부분에 분포되도록 하였다.

### 5.1 확장성에 따른 복구 부하의 개선

개발된 프로토콜이 확장성을 향상시키는 정도를 측정하기 위해서 다음과 같은 환경에서 실험한다. 하나의 혼잡 링크가 있을 때, 각 멀티캐스트 그룹의 크기를 증가시키면서 전체 네트워크상의 트래픽을 측정한다. 이 때, 네트워크 상의 트래픽 중에서 송신자가 전송하는 데이터 패킷이나 세션 메시지의 수는 기존의 프로토콜과 동일하므로 측정 대상에서 제외시키고 제어 메시지의 수를 측정하여 기존의 프로토콜과 비교한다. 여기서 제어 메시지는 NAK 메시지와 복구 메시지만을 의미한다. 따라서 여기서는 네트워크상의 트래픽을 모든 수신자들이 받는 제어 메시지의 수의 합으로 측정한다.

지역 대표를 선정하여 이 지역 대표가 오류 복구와 동적인 TTL값에 의한 NAK-억제를 담당하게 했을 때의 성능을 기존의 다른 프로토콜과 비교한 것이 그림 5이다. 여기서는 각 멀티캐스트 그룹이 20, 40, 60, 80개

의 수신자를 가지도록 하여, 그룹의 크기를 증가시켰을 때의 제어 메시지의 수의 합에 대해서 비교하였다. 그림 5에서 보면, 멀티캐스트 그룹의 크기가 증가할수록 SRM과 Adaptive SRM은 일정하게 증가하는데 비해, 개발된 프로토콜은 서서히 증가하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 SRM과 Adaptive SRM에서는 slotting and damping을 사용하더라도 여러 노드가 NAK를 중복해서 NAK를 보내는 경우가 발생하지만, 제안하는 방법에서는 지역대표가 즉각적으로 NAK-S를 보내며 NAK-억제된 노드들은 타이머 값을 길게 조정하기 때문에 안정적인 상태가 되면 한번의 NAK-S만이 보내지게 되기 때문이다. 또한 제안된 프로토콜에서는 TTL값이 동적으로 변화하기 때문에 시간이 지날수록 TTL값이 감소하여 제어 메시지의 수가 감소하게 된다. 그룹의 수가 20만 되어도 지역대표에 의한 NAK-억제와 TTL 조정의 효과는 분명하였다. 실험 초기의 지역대표 선정과 TTL 조정까지의 부하는 전체 실험 결과에서의 상대적 비중 때문에 그림에는 크게 나타나지 않는다. (복구 시간에 관한 초기 부하에 관해서는 그림 9에서 설명)

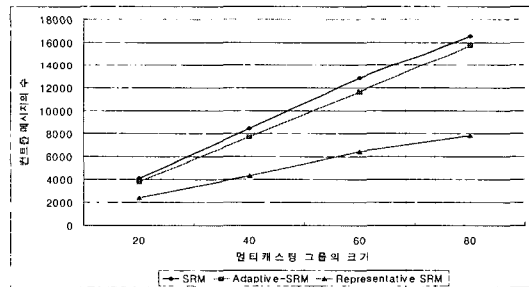


그림 5 지역 대표가 지역적 오류 복구를 수행한 경우

개발된 방법의 지역적 오류 복구의 효과를 비교하기 위해서 다음과 같은 실험을 수행하였다. 기존의 프로토콜이 다양한 TTL 값을 가지도록 하여 지역적 오류 복구를 수행하였을 때와 개발된 방법을 비교한 것이 그림 6이다.

이 실험에서 혼잡 링크는 트리의 말단 부분으로부터 세 번째에 위치하고 있다. 따라서, 안정적인 복구를 위한 최적의 TTL값은 4이다. 그림 6의 그래프에서 본 연구의 방법은 TTL값이 4일 때와 5일 때의 사이에 위치하고 있고, 이러한 결과로 볼 때, 개발된 방법은 기존의 프로토콜이 최적의 TTL값을 가질 때와 유사한 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 개발된 방법이 동적인 TTL값의 조정을 통해서, 마지 토폴로지를 알고 있는 것처럼 최적의 TTL값에 근접하게 수립되기 때문이다.



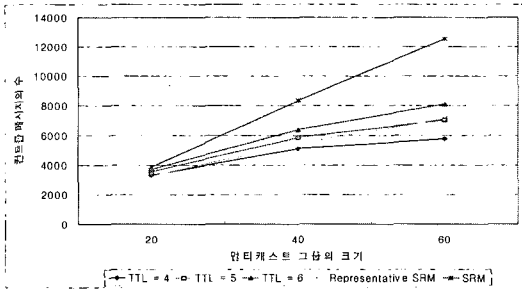


그림 6 제안된 방법과 TTL값의 조정에 따른 비교

5.2 오류 복구 시간의 감소 측정

개발된 방법에서 복구 메시지를 전송하는 데에는 두 가지 방법이 있다. 여기서는 상위 수신자가 직접 복구 메시지를 오류 복구 영역으로 전송하는 방법에 대해서 오류 복구 시간을 측정하였다. 개발된 방법에서는 각 지역대표가 NAK 메시지를 전송할 때와, 이에 대해 상위 수신자가 복구 메시지를 전송하는 두 가지 경우에 대해서 복구요청 타이머나 복구 타이머가 끝날 때까지 기다리지 않고 바로 해당 메시지를 전송한다. 따라서, NAK-과부하를 피하기 위해서, 복구요청 타이머나 복구 타이머가 끝날 때까지 기다린 후에야 전송이 가능한 SRM이나 Adaptive SRM과는 달리 제안된 프로토콜에서는 오류 복구에 걸리는 시간이 상당히 짧은 것을 그림 7에서 볼 수 있다.

그림 7의 A 구간에서 볼 수 있듯이, 처음에는 오류 복구 시간이 기존의 프로토콜에서나 개발된 방법에서 모두 비슷하다. 이것은 지역 대표가 선정되고 있는 과정이기 때문이다. 그러나, 지역 대표가 선정된 이후에는 B 구간에서 알 수 있듯이, 오류 복구에 걸리는 시간이 확연히 줄어든다. 선정된 지역 대표가 다른 수신자들보다 먼저 오류 복구를 시도하면서 TTL의 값을 줄여나가는 부분이 바로 B 구간이다.

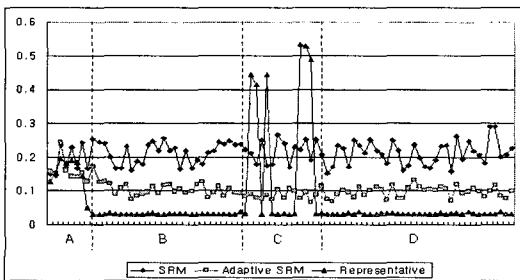


그림 7 각 프로토콜에서의 오류 복구 시간의 비교

그러다가, C 구간에 이르게 되면, 갑자기 오류 복구 시간이 기존의 프로토콜들을 넘어설 정도로 증가하게 된다. 이것은 B 구간에서 줄여나간 TTL값이 최적의 TTL값보다 작아졌기 때문에 이를 다시 조정하는 부분이다. 이 구간에서의 오류 복구 시간이 기존의 프로토콜보다 큰 이유는 지역 대표를 제외한 수신자들이 NAK 메시지를 전송하는 시점이 늦추어졌기 때문이다. 이것은 지역 대표가 먼저 오류 복구를 시도하므로, 다른 수신자들이 불필요하게 중복된 메시지를 전송하는 것을 방지하기 위해서이다. 이 구간을 지나면, TTL값이 최적에 가까운 값으로 수렴되어, 오류 복구를 필요로 하는 수신자들을 모두 포함하게 된다. 따라서, 이러한 수신자들은 더 이상 NAK 메시지를 전송하지 않게 된다. 그러므로, D 구간에서처럼 오류 복구 시간은 다시 줄어들게 되고, 새로운 멤버가 추가되거나 지역 대표가 실패하는 등의 새로운 변화가 없다면, 계속 이 값을 유지하게 된다.

5.3 동적인 변화에 대한 대응

기존의 프로토콜과 마찬가지로 개발된 프로토콜도 네트워크의 여러 동적인 변화를 수용할 수 있어야 한다. 즉, 새로운 멤버가 멀티캐스트 그룹에 참여하는 경우나 오류 복구를 수행하던 지역 대표가 갑자기 멀티캐스트 그룹에서 빠져나가는 경우 등, 발생 가능한 여러 상황에 대해서 기본적으로 항상 오류 복구가 이루어져야 하며, 효율적으로 이러한 변화에 대응해야 한다.

오류 복구와 NAK-억제를 수행하던 지역 대표가 갑자기 멀티캐스트 그룹에서 빠져나가게 되는 경우에도 오류 복구 작업은 항상 수행되어야 한다. 여기서는 개발된 방법이 이러한 변화에도 적절히 대응하는지를 실험하였다. 20개의 수신자가 멀티캐스트 그룹에 참여하였고, 지역 대표가 선정된 말단 부분의 구성은 다음 그림 8과 같다.

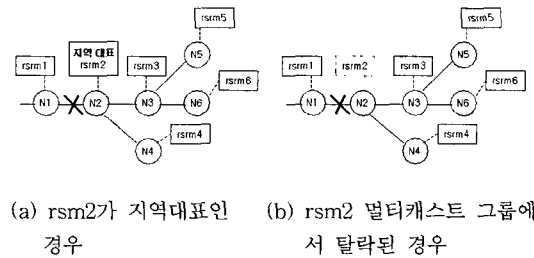


그림 8 지역 대표가 멀티캐스트 그룹에서 탈락되는 경우

위의 그림 8의 a)를 보면 rsrm2가 지역 대표로 선정되어 오류 복구를 수행하고 있다. 그러나, 이 지역 대표

가 그림 8의 b)에서와 같이 멀티캐스트 그룹에서 빠져 나가는 경우, 이 혼잡 링크에 대한 지역 대표가 갑자기 사라지게 된다. 이러한 경우, NAK-S 메시지를 전송하던 지역 대표가 없기 때문에, NAK-suppression되었던 다른 수신자들이 이제는 자신들의 NAK 메시지를 전송해 오류 복구를 요청하게 된다. 이러한 과정에서 혼잡 링크에 영향을 받는 수신자들(rsrm3, rsm4, rsm5, rsm6)은 다시 지역 대표를 선정하게 된다. 이들 중에서 새로운 지역 대표가 다시 선정되어 다시 오류 복구와 NAK-억제를 수행하게 된다.

아래의 그림 9는 지역 대표에 의해서 오류 복구를 받는 말단의 한 노드에서의 오류 복구 시간을 나타낸 그래프이다. 지역 대표가 선정된 이후 그림 9의 A 구간에서처럼 일정하게 유지되던 오류 복구 시간은 B 구간에서 지역 대표가 그룹에서 탈락되거나, 지역 대표에서의 장애가 발생함에 따라서 급격히 증가하게 된다. 이것은 지역 대표가 선정된 이후에는 다른 수신자들의 NAK 메시지 전송 시점을 지연시켰기 때문이다. 따라서, 지역 대표가 아닌 다른 수신자들이 오류 복구를 시도하면서 그래프의 값은 크게 증가한다. 그러나, B 구간을 거치면서 다시 새로운 지역 대표가 선정되기 때문에, C 구간에 이르면 다시 오류 복구 시간이 감소하게 된다. 그 이후에는 이전과 마찬가지로 D 구간에서 새로운 지역 대표에 의한 TTL 조정에 따른 오버헤드가 발생하게 된다. 그리고, TTL 값의 조정이 끝난 E 구간이 이르게 되면, 오류 복구 시간은 다시 줄어들게 된다.

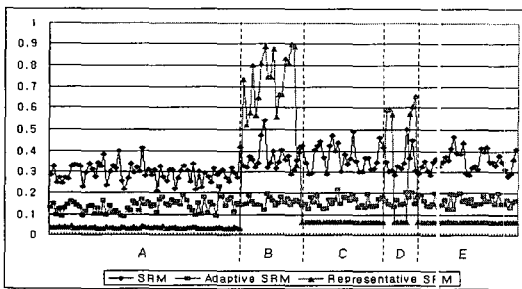


그림 9 지역 대표의 탈락/장애가 발생했을 때

지역 대표가 선정된 이후에 새로운 멤버가 멀티캐스트 그룹에 참여하는 경우도 생각해 볼 필요가 있다. 특히, 지역 대표가 동적으로 TTL값을 조정하여 적합한 TTL값을 가지게 된 후에 이러한 일이 발생한다면 더욱 고려해 보아야 한다. 그 이유는 새로운 멤버가 하위의 수신자로 들어온다면, 지역 대표는 이 새로운 멤버를 고

려하여 TTL값을 다시 조정해야 할 필요가 있기 때문이다. 가령 새로운 멤버가 TTL값이 미치지 않는 범위에서 그룹에 참여하게 된다면, 이 멤버는 제어 메시지를 받지 못하기 때문에 중복된 NAK 메시지를 전송하게 된다. 이를 감지한 지역 대표가 다시 TTL값을 조정하게 된다.

## 6. 결론 및 향후 연구

멀티캐스트 프로토콜에서는 중요시 요구되는 두 가지 사항은 신뢰성과 확장성이다. 이 중에서 확장성은 멀티캐스트 그룹의 크기에 상관없이 일정한 효율이 유지되도록 하는 것이다. 멀티캐스트 프로토콜에서는 이러한 확장성을 향상시키기 위해서 많은 방법들이 사용되고 있으며, 대표적인 방법으로 지역적 오류 복구 기법을 들 수 있다. 지역적 오류 복구는 제어 메시지들이 그룹 전체가 아니라 오류에 의해서 영향을 받은 부분으로만 전송되도록 하여 전체 네트워크의 부하를 감소시키는 방법이다. 그러나, 지역적 오류 복구 기법에는 제어 메시지들이 전송되는 영역을 가능한 한 최소화시키면서, 동시에 그 범위 내에 오류 복구를 해줄 수 있는 송신자나 수신자를 항상 포함시켜야 한다는 제한점이 있다.

본 논문에서는 멀티캐스트 프로토콜에서의 확장성을 향상시키기 위해서 보다 안정적이고 효율적인 지역적 오류 복구 방법을 제안하였다. 이를 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 기법을 적용하였다. 첫 번째는 NAK 메시지의 기능 분리이다. 멀티캐스트 프로토콜에서 NAK 메시지는 에러 복구와 NAK-suppression의 두 가지 기능을 수행한다. 그러나, 하나의 메시지를 전송함으로써, 두 가지의 기능을 효율적으로 처리하는 데에는 한계가 있다. 따라서, 본 논문에서는 NAK 메시지의 기능을 분리하여 개별적인 기능에 대해서 최적화를 시도하였다. 두 번째는, 지역 대표에 의한 오류 복구이다. 점진적, 분산적으로 선정된 지역 대표가 오류가 발생하였을 때 즉시 복구요청 메시지를 전송함으로써 오류 복구 시간을 단축시켰다. 마지막으로, NAK-S 메시지의 TTL값을 동적으로 조정하여 지역적 오류 복구의 영역을 최적화하였다. 이렇게 제어 메시지들이 필요한 부분으로만 전송되도록 하여 네트워크의 불필요한 오버헤드를 감소시킴으로써, 확장성을 향상시켰다.

본 연구에서는 제안된 프로토콜을 네트워크 시뮬레이터 상에서 실제로 구현하여 기존의 프로토콜과 비교 실험을 수행하였다. 여러 비교 실험의 결과 제안된 프로토콜은 처음에 목표했던 바를 모두 만족시켰다. 제안된 프로토콜은 기존의 프로토콜에 비해서 오류 복구에 걸리

는 시간을 단축시켰고, 선정된 지역 대표가 NAK-S 메시지의 TTL값을 동적으로 조정함으로써 최적의 지역적 오류 복구 영역을 효율적으로 유지할 수 있었다. 이러한 방법으로 멀티캐스트 그룹의 크기가 증가하여도 일정한 효율이 유지될 수 있도록 하여 확장성을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

향후에는 지역 대표를 선정하는 알고리즘과 동적인 TTL값을 결정하는 알고리즘에서 복구요청 타이머 인자나 복구 타이머 인자의 값을 조정하는 부분을 좀 더 보완하려고 한다. 현재로서는 중복된 NAK 메시지를 줄이기 위해서 지역 대표가 아닌 다른 수신자들의 전송 시점을 지연시켰기 때문에 지역 대표가 탈락되는 일이 발생하여 나머지 수신자들 사이에서 지역 대표를 다시 선정하는 과정이나 TTL값을 동적으로 조정하는 과정에서 오류 복구에 걸리는 시간이 급격하게 증가하게 된다. 이러한 부분을 좀 더 보완하여 어떠한 경우에 있어서라도 일정한 오류 복구 시간을 보장할 수 있도록 성능을 향상시킬 계획이다.

**참 고 문 헌**

[1] S. Deering, "RFC-1112: Host Extension for IP Multicasting" Aug 1989.  
 [2] B. Levine, D. Lavo, and J. Garcia-Luna-Aceves, "The Case for Reliable Concurrent Multicasting Using Shared Ack Trees", *Proc. ACM Multimedia'96*, Nov. 1996.  
 [3] B. Levine, J. Garcia-Luna-Aceves, "A Comparison of Known Classes of Reliable Multicast Protocols", *Proc. ICNP'96*, Oct. 1996.  
 [4] S. Pingali, D. Towsley, and J. Kurose, "A Comparison of Sender-initiated and Receiver-initiated Reliable Multicast Protocols", *Performance Evaluation Review*, vol. 22 pp. 221-230, May 1994.  
 [5] S. Ramakrishnan and B. Jain, "A Negative Acknowledgment with Periodic Polling Protocol for Multicast over LAN", *Proc. IEEE Infocom*, Mar. 1987.  
 [6] S. Floyd, V. Jacobson, C. Liu, S. McCanne, and L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing". *IEEE/ACM Transactions on Networking*. Nov. 1996.  
 [7] S. Floyd, V. Jacobson, C. Liu, S. McCanne, and L. Zhang, "A Reliable Multicast Framework for Light-weight Sessions and Application Level Framing, Extended Report", LBNL Technical Report, URL <ftp://ftp.ee.lbl.gov/papers/wb.tech.ps.Z>, Sept. 1995.

[8] C. Liu, D. Estrin, S. Shenker, L. Zhang, "Local Error Recovery in SRM : Comparison of Two Approaches", USC Technical Report 97-648, Jan. 1997.  
 [9] S. Kasera, J. Kurose, D. Towsley, "Scalable Reliable Multicast Using Multiple Multicast Groups", *CMPSCI Technical Report TR96-73*. Oct. 1996.  
 [10] M. Jainik, J. Kurose, and D. Towsley, "Packet Loss Correlation in the Mbone Multicast Network", *IEEE Globecom'96*, Nov. 1996



정 충 일

1985년 한남대학교 전자계산학과 졸업.  
 1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사.  
 1990년 ~ 1995년 (주)무역시장 정보연구원. 1996년 ~ 현재 여주대학 컴퓨터사이언스 조교수. 현재 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정.



이 윤 회

1999년 중앙대학교 컴퓨터공학과(학사).  
 2001년 중앙대학교 컴퓨터공학과(석사).  
 2001년 ~ 현재 SK Teletech 근무, 연구원. 관심분야는 멀티캐스트, 무선통신, WAP



박 창 운

1984년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업.  
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과석사.  
 1992년 워싱턴 주립대학 전산학 박사.  
 현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 부교수.