

다자간 멀티미디어 통신을 위한 멀티캐스트 프로토콜 구현 및 자원 관리*

송기상** · 김홍래** · 전준식**

Multicast Protocol Implementation and Resource Management for Multiparty Multimedia Communication

Ki-Sang Song · Hong-Rae Kim · Jun-Sik Chun

〈Abstract〉

In multiparty multimedia communication, each participant not only receives information from other participants but also generates real-time data streams to distribute to others and therefore the difference between source and destination is not clear in terms of data transmission. During a teleconference session, many sub-multicast trees may be generated to exchange information to specific members within the multicast group and if those sub-multicast trees use the same fixed multicast tree, the blocking probability will be high and it is hard to provide QoS for each sub-multicast group. Also, even though there exists some shortcuts between each sub-multicast group, fixed multicast tree does not allow to use those shortcuts. Thus to overcome these problems, we propose a network resource reservation protocol and show that its effectiveness in terms of blocking probability and network resources usage.

1. 서 론

멀티미디어 통신에서는 다중의 실시간 데이터 스트림을 세션 참가자들에게 전송해야 할 때가 자주 생긴다. 이러한 데이터 스트림들은 특정 멤버에게만 전달되기도 하지만, 세션에 참가하는 모든 멤버들에게 전송될 때도 있다. 예를 들면 비디오 컨퍼런스의 경우에 세션 참가자들이 실시간 데이터 스트림을 발생시키고, 이것이 컨퍼런스에 참여하는 모든 멤버들에게 전송이 된다. 참여 멤버들은 이러한 다양한 소스로부터 전송되는 스트림을 받게되는데, 사용자의 터미널 조건이나, 자신의 기호 및 네트워크 대역폭의 제한으로 동시에 수신할 수 있는 스트림에 제한이 있게 된다[1]. 이러한 제약 조건에서 볼 때, 네트워크 관리 측면에서는 컨퍼런스 참여자들에게 원하는 정

보를 실시간으로 제공할 수 있는 효율적인 네트워크 자원관리 문제가 중요해 진다.

또한, 멀티미디어 다자간(Multiparty) 통신에서는 참가자들이 정보를 받을 뿐만아니라 실시간 데이터 스트림을 발생하게 된다. 따라서, 네트워크의 특정 노드에만 정보를 전달하는 멀티캐스트에서의 소스(Source)와 수신측(Destination)의 구분이 명확해지지 않는 경우가 보다 일반적인 현상이 된다[2]. 또한, 컨퍼런스 중에도 컨퍼런스 참여자들로 이루어진 하나의 멀티캐스트 그룹에서 그룹내의 특정 멤버에게만 데이터 전송이 필요한 여러 개의 서브 멀티캐스트 그룹이 발생한다. 실제로 다자간 멀티미디어 통신에서는 어떤 컨퍼런스 참가자도 송신자와 수신자의 위치가 바뀔 수 있다. 즉, 컨퍼런스 세션의 진행 중에 수신자로 있던 노드에서 다른 참가자들에게 특정 정보를

* 본 연구는 1996년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비지원에 의하여 수행되었음.

** 한국교원대학교 컴퓨터교육과

제공해야 하는 경우를 고려할 수 있다. 이러한 예는 세미나 중에 필요한 정보를 사용자가 요구하면 이에 따라 전송이 이루어지고, 그러한 자료를 바탕으로 토의가 이루어지는 경우를 고려할 수도 있고, 원격 교육에서 교사가 일방적인 강의를 하는 것이 아니라, 학습자간 그룹 토의나 정보교환이 이루어지는 경우를 충분히 고려할 필요가 있다. 이러한 상황에서 네트워크 자원을 효율적으로 관리 해야할 필요성이 있다.

이렇게 되면 이제까지 많이 연구되어온 정적인(Static) 멀티캐스트 방식과는 전혀 다른 문제가 발생하는 것이다. 즉, 컨퍼런스 참가자들을 보여주는 비디오나 음성신호 뿐만 아니라, 보조자료가 전송되는 통신 자원이 필요하며, 하나의 정적인 멀티캐스트 트리 내에서 보다 작은 그룹간의 멀티캐스트 통신이 이루어지는 동적 멀티캐스트 트리가 구성되어야 한다. 이러한 다자간 동적 멀티캐스트는 동적으로 생겼다가 소멸되기도 하므로 어떻게 실시간적으로 이것을 유지하며 자원을 준비하여 통신에 필요한 QoS를 보장하느냐 하는 것이 관건이 된다. 일반적으로 많이 연구되어진 정적인 멀티캐스트 트리를 이용하여 세션 중에 생겨나는 모든 서브 멀티캐스트 그룹의 정보를 전송하게 되면, 고정된 트리의 성격상 필요한 자원을 제공하는 것이 언제나 보장된다고 할 수 없다. 즉, 다자간 통신이 동일 멀티캐스트 트리를 따라 한 개 이상 존재하게 되면 블로킹이 발생하며, 고정된 경로 문에 가까운 위치에 있는 노드들만 경로를 통하여 연결시켜야 하는 경우 등의 불합리한 문제가 생겨난다. 따라서, 이런 문제를 극복하기 위하여서는 멀티캐스트 멤버들간에 서브 멀티캐스트 트리를 통하여 정보를 전달하는 보다 경제적이고도 QoS를 보장하는 방법이 필요하게 된다. 이러한 경우에 있어서 Shacham[1]은 데이터 스트림의 상대적인 중요도에 따라 선점하는 방식으로 문제를 해결하고자 했고, Yum과 Leung [3, 4]은 비디오 컨퍼런스에서 특정 컨퍼런스 센터를 중심으로 하여 모든 서비스가 이루어지는 경우를 고려하여, 컨퍼런스 센터에 보내진 패킷을 다른 컨퍼런스 참가자에게 전송하는 트리를 찾는 알고리즘을 개발하였다.

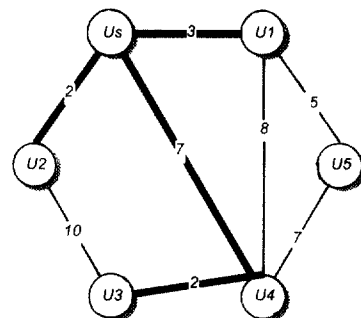
본 논문에서는 이와 같은 환경에서 서브 트리를 공유하게 할 수 있는 망의 이차 자원 예약 프로토콜을 통하여 보다 경제적이고, 멀티캐스트 QoS가 보장되는 다자간 멀티캐스트 알고리즘을 제안한다. 또한 이에 대한 성능 분석을 해석적 및 모의 실험 방식을 통하여 보인다. 이를 위하여 다자간 멀티캐스트 그룹을 위한 하나의 정적 멀티캐스트 그룹 안에서 발생하는 동적 멀티캐스트 트리 구성 알고리즘과 자원의 예약 문제를 해결하고자 한다. 본 논문의 제 2절에서는 다자간 멀티미

디어 멀티캐스트 통신에서의 주요 문제들을 살펴보고, 3절에서는 이차 자원 예약을 이용한 최적 다자간 멀티캐스트 알고리즘을 기술한다. 또한 4절에서는 그 성능을 분석 평가하고, 5절에서는 결론을 제시한다.

2. 다자간 멀티미디어 멀티캐스트 통신의 문제들

2.1 멀티캐스트 경로 설정 알고리즘

멀티캐스트 경로의 선정은 발신자로부터 수신 그룹내의 데이터를 수신하기 원하는 활동성(Active) 멤버들을 연결하는 최적의 경로를 아내는 것이고, 수신자들의 관리는 멤버들이 통신에 참여하고 떠나는 상태를 관리하여, 언제나 최적의 경로 선정과 비용의 최소화를 가져오도록 한다. 최적 멀티캐스트 트리 모델은 그래프 이론에 의하여 다음과 같이 정의 된다. 그래프 G 는 정점(Node)들의 집합인 $V(G) = V$ 와 간선(Edge)들의 집합인 $E(G) = E$ 및 간선 E 에서 정점 V 의 쌍으로서의 사상으로 구성되며, $G(V, E)$ 로 표시된다. 따라서, 그래프 G 의 모든 간선에 정점의 쌍을 연결시킬 수 있으므로 만약 간선 e 가 $e = (u, v) \in E$ 의 관계 있다면, 간선 e 는 정점 u 와 v 에 연결되었다고 말한다. 이때 간선에 의하여 연결된 두 정점을 인접(Adjacent) 하다고 한다. 이때 간선은 통신망의 용어에서의 링크와, 정점은 노드와 그 의미가 상호 교환적으로 사용될 수 있다. 따라서 멀티캐스트를 위한 경로는 노드와 링크들을 번갈아가며 구성하게 되며, 시작과 마치는 노드를 포함하게 된다. 즉, 임의의 두 노드 u_0 와 u_d 사이의 경로 p 는 정렬된 노드의 모임인 $\{u_0, u_1, \dots, u_d\}$ 로 표시된다.



〈그림 1〉 멀티캐스트 그룹 및 OMT

〈그림 1〉의 $G(V, E)$ 에서 하나의 소스 $u_s \in V$ 에서 여러 개

의 목적지 $D = \{u_1, u_2, u_3, u_4\} \subset V$ 로 멀티캐스트 하는 경우에 집합 $M = \{u_j\} \in D$ 는 멀티캐스트 집합이라 하고, 이때 u_j 는 소스 노드를 가르킨다. 그러므로 멀티캐스트 문제는 $G(V, E)$ 에서 하나의 부속된 트리 $T(V, E)$ 를 찾아내는 문제가 되고, 이것을 최적 멀티캐스트 트리(Optimal multicast tree - OMT)라고 한다. OMT가 가져야 할 조건으로는 중간 지연을 최소화 시키며, 또한 불필요한 트래픽 양을 최소로 줄여야 한다. 멀티캐스트 통신의 제일 중요한 목적은 필요한 QoS 와 데이터 전송 비용을 최소화하면서도 여러 그룹에 통신 서비스를 제공하기 위한 것이다. 이러한 OMT를 찾는 문제를 Steiner 트리 문제로 일컬어지며 그 해는 NP-Complete 문제로 알려져 있다[5]. 따라서 일반적으로 휴리스틱에 의하여 최적 멀티캐스트 트리에 근접한 근사 최적 트리를 구할 수 있다.

근사 최적 트리를 찾는 방법으로 메시지 발신자를 중심으로 트리를 구성하는 발신자 중심 트리(Source based tree-SBT) 알고리즘[6]이 제안되었다. 이 알고리즘의 구현에 따르는 장으로는 이 알고리즘들이 유니캐스트 알고리즘에 의존하기 때문에, 멀티캐스트 라우팅에 유연성을 제한한다는 것이다. 또한 네트워크 크기에 따른 확장성도 좋지 않다. 이 방법에 기초한 DVMRP 알고리즘의 경우에는 소스에서 목적들 간의 경로에 따른 지연들이 한계 내에 존재하는 멀티캐스트 트리를 결정하는 것이다. 이 경우에는 라우터들이 각 발신지에 대하여 멤버 상태 정보를 기억하고 있어야 한다. 따라서, 만약 활동중인 발신자가 S 이고 이에 따라 멀티캐스트 그룹이 G 라면, $O(S \times G)$ 라는 스케일링 요소가 된다. 뿐만 아니라, 링크-상태 라우팅에서는 Dijkstra의 최단 거리 트리 계산을 위한 비용이 문제가 된다. 즉, 이 경우에는 모든 활동중인 발신자를 위하여 최단거리 계산에 엄청난 계산 부하가 걸리므로, 광역망에서의 사용에 제한이 따른다.

또 다른 OMT 문제의 해결 방법으로 제안된 핵심지 중심 트리(Core based tree-CBT) 구조[7]의 단점으로는 모든 발신지 트래픽이 핵심노드에 집중되므로, 핵심노드에서 체증을 유발시킬 수 있다는 것이다. 또한 핵심노드의 고장에 매우 큰 영향을 받게되며, 핵심노드의 위치가 언제나 그룹멤버들 간의 최적 경로를 제공하는 장소에 놓이지 않는다는 것이다. 그러나, 이 라우팅 구조는 그룹 멤버들의 이동이 자주 바뀌는 토폴로지에서는 사용하기가 적합치 않다.

IP 멀티캐스팅에서는 수신자 주도로 멀티캐스트 트리가 구성되어서 원하는 패킷을 송신자로부터 받게 되어 있다. 이러한 방법의 장점으로는 하나의 소스에서 여러 개의 수신자로

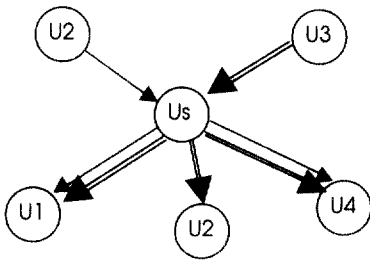
패킷 전송이 쉬워지는 일대다중(One-to-Many) 분배 모델이 되어서, 네트워크의 크기가 커짐에 따라 늘어나는 수신자들의 요구에 쉽게 따라갈 수 있다는 것이다. 그러나, 만일 다중 대 다중(Many-to-Many)의 경우에는 많은 송신자들이 동일 수신자 그룹으로 데이터를 보내게 됨으로 공유(Shared) 트리가 표준적인 방법이 되어가고 있으며, 정해진 수신자 주소를 관리하는 네트워크의 부담을 최소화하려는 방향으로 연구가 진행되고 있다. PIM[7]이나 CBT의 경우에 하나의 수신자에서는 트리의 코어나 RP(Randevous point)에 단 하나의 경로를 갖도록 제한하고 있다. 만일 최선 전달 서비스(Best effort service) 경우에는 이것이 문제가 있지만, CBT나 PIM에 RSVP 프로토콜을 사용하여 네트워크 자원을 예약하려 할 경우에 만일 단일 최단 경로에 자원이 충분하지 못한 경우에는 문제가 된다. SBT와 CBT를 ATM 네트워크상에 구현하고자 하는 방법도 제안되었고, VP를 이용하여 하부 네트워크로 패킷이 복사되어 전송되는 방법도 제안되었다. 현재까지 제안된 ATM 시그널링 사양서에는 단지 점 대 다중 VC 설정만 보장되므로, 멀티캐스트 주소 해결 문제가 확정되지 않고 있다.

2.2 멀티캐스트의 동적 특성을 고려한 경로 설정 및 자원관리

다음으로 고려되어야 할 것은 어떤 세션을 시작하기 전에는 멀티캐스트 그룹에 포함되지 않았던 멤버들이 세션 중에 새로이 가입하기를 원할 때, 이들 노드를 어떻게 효율적으로 기존의 멀티캐스트 트리를 통하여 지원할 수 있는가 하는 것이다. 제안된 일대다중 접속 메커니즘은 이미 구성된 트리에 새로운 멤버들이 적절히 연결되어 트리가 확장되는 형태를 취하고 있다[8]. 그러나, 무선 ATM의 경우와 같이 자주 그 위치가 바뀔 수 있는 노드를 위하여서는 늘 새로운 경로를 찾아야 하므로 만일 경로를 찾기 위하여 요구되는 시간 지연이 커지면 이따금씩 정보를 전하거나 짧은 데이터 스트림을 보내는 경우에는 받아들여기가 어려울 것이다. 따라서 앞으로의 멀티미디어 통신 환경이 보다 이동성이 있고, 다양한 응용분야를 포함하게 되므로 멀티캐스트의 동적 특성을 고려한 경로 설정 및 자원관리 문제가 중요해지게 되었다.

또한, 컨퍼런스나 세미나의 멀티캐스트에서는 참가자들을 보여주는 비디오나 음성신호뿐만 아니라, 보조자료가 전송되는 통신 자원이 필요하며, 하나의 정적인 멀티캐스트 트리에서 다자간 보다는 작은 그룹간의 멀티캐스트 통신이 이루어지는 동적 멀티캐스트 트리가 구성되어야 한다. 이러한 다자간 동

적 멀티캐스트는 동적으로 생겼다가 소멸되기도 하므로, 어떻게 실시간적으로 이것을 유지하며 자원을 준비하여 통신에 필요한 QoS를 보장하느냐 하는 것이 관건이 된다. <그림 1>에서 세션중에 생긴 두 개의 서브 트리가 $U_s \rightarrow \{U_1, U_4\}$, $U_s \rightarrow \{U_1, U_2, U_4\}$ 의 관계를 가질 때, <그림 2>와 같이 트리가 형성된다.



<그림 2> 서브 멀티캐스트 그룹의 멀티캐스트 트리

<그림 2>에서 보듯이 간선 ($U_s \rightarrow U_1$)와 ($U_s \rightarrow U_2$)는 두 개의 서브 멀티캐스트로부터 발생된 실시간 데이터 스트림이 전달되는 경로이므로 미리 자원이 준비되어 있지 않다면 동시에 서비스를 할 수 없다. 따라서, 일반적으로 많이 연구되어진 정적인 멀티캐스트 트리를 이용하여 발생하는 모든 서브 멀티캐스트 그룹의 정보를 전송하게 되면 고정된 트리의 성격상 QoS에 필요한 자원을 제공하는 것이 항상 보장되지 않을 수 있다. 뿐만 아니라, 트리를 고정시키고 고정된 트리를 이용하여 참가 노드간에 발생하는 모든 서브 멀티캐스트 트리를 위한 경로를 결정할 때는 가까이 위치한 두 노드간에도, 여러 개의 링크를 이용하여 연결되는 것과 같은 자원의 비효율성이 문제가 된다.

3. 이차 자원 예약을 이용한 다자간 멀티캐스트 알고리즘

본 논문에서 고려하는 다자간 멀티캐스트 세션의 특징은 정적인 멀티캐스트 트리에서와 같이 소스와 수신 측의 역할이 세션이 끝날 때까지 소스와 수신 측으로 고정된 것이 아니라, 소스와 수신 측의 역할이 바뀌는 경우이다. 또한, 멀티캐스트 그룹 내에서 세션이 진행되는 동안 특정 정보를 공유하는 서브 멀티캐스트 그룹이 생성되었다가 소멸되는 경우를 포함하는 동적 특성을 갖고 있다. 이러한 상태에서 우선 되어야 할

것은 하나의 노드를 중심으로 구성된 정적인 멀티캐스트 트리를 이용하여 이와 같은 상황에서 QoS를 보장하는 통신을 보장할 수 없다는 것이다. 예를 들면 <그림 2>에서와 같이 구성된 트리를 통하여 서브 멀티캐스트 트리들을 수용하기 위해서는 중복되어서 사용되어야 할 링크들이 발생하게 된다. 또한 원래의 멀티캐스트 트리가 소스와 수신 측의 역할이 바뀌는 경우에도 가장 좋은 멀티캐스트 트리라고 볼 수 없는 것이다.

그러므로, 우리는 이 두 가지 상황을 고려하여 다자간 멀티미디어 멀티캐스트 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘의 핵심은 멀티캐스트 세션을 위한 호를 설정 할 때에 주어지는 멤버들의 역할(소스와 수신측 노드들)을 기준으로 일반적인 멀티캐스트 트리 $T_s(V,E)$ 를 구성하고 이것을 주 멀티캐스트 트리 (Primary multicast tree)라고 한다. 다음으로는 각 수신측 노드들이 소스가 되는 경우를 고려하여 모든 수신측 노드로부터 최적 멀티캐스트 트리 $T_p, 1 \leq i \leq |D|$, $D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ 를 구하고 이들 이차(Secondary) 멀티캐스트 트리 가운데서 $T_s(V,E)$ 의 링크와 겹치지 않는 링크의 자원을 예약한다. 또한, 각 수신 측 노드들은 자체가 소스가 될 경우를 대비하여 멀티캐스트 라우팅 테이블을 가진다. 만일 세션 중에 서브 멀티캐스트 트리를 통하여 통신을 해야하거나, 다중의 서브 멀티캐스트 트리가 동일 링크를 사용하는 경우에는 이들 이차 트리를 통하여 통신을 한다.

이와 같이 자원을 예비하는 경우에는 어떤 수신 측 노드가 소스가 되던 지 상관없이 최적의 멀티캐스트 트리를 통하여 송신이 가능하며, 네트워크의 장애나 체증 등에 대비할 수 있기 때문에 효율적인 실시간 다자간 멀티캐스트 통신의 QoS를 가능한 한 많이 보장할 수 있다. 또한, 실제로 네트워크에서는 동적 라우팅을 위하여 일정한 백업 네트워크 자원을 이차 경로에 설정하여 두어서 주 경로상의 문제에 대비하게 하므로, 이차 트리의 자원예약에 따른 여분의 경비 증가는 최소화 될 수 있다.

이러한 논리에서 다자간 동적 멀티캐스트를 위한 이차 멀티캐스트 트리 자원을 구하고 예약하는 과정은 다음과 같다.

Input:

$G(V,E)$: 네트워크 그래프

s : 소스 노드, $D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$: 멀티캐스트 멤버 수신측 노드 집합

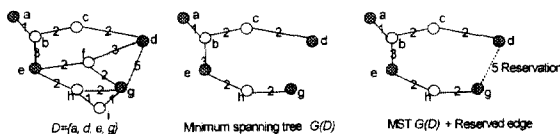
Output:

- T_0 : 초기 멀티캐스트 트리과 대역폭 설정
- $T_i, i \neq 0, \forall D$: 각 멤버 노드에서 다른 모든 멤버들에 대하여 멀티캐스트 통신을 할 때를 대비한 멀티캐스트 트리과 공유되는 이차 멀티캐스트 트리 자원 예약

Multiparty Multicast Resource Reservation Protocol

- 스텝1) 소스 노드와 수신측 노드들을 부록에 있는 최단 경로 휴리스틱을 이용한 멀티캐스트 트리 구성 알고리즘을 이용하여 구성하고 포함되는 노드와 링크간에 자원을 예약한다.
- 스텝2) 모든 수신측 노드들을 소스 노드로 하고, 원래 소스와 다른 수신측 노드들을 목적 노드로 하는 최소 스패닝 트리를 이용한 멀티캐스트 트리 구성 알고리즘을 이용하여 구성한다.
- 스텝3) 원래 소스와 수신측을 멀티캐스트 멤버로 하는 멀티캐스트 트리과 스텝2)에서 구한 각 수신측 노드를 소스로 하는 멀티캐스트 트리의 링크를 비교하고, 만일 다른 링크라면 이차 자원을 예약한다. 이차 자원으로 예약된 링크를 표시하고, 만일 다른 수신측 노드를 소스로 하는 멀티캐스트 트리의 그 링크와 겹치면 예약하지 않는다.
또한, 각 수신 노드는 그 노드를 중심으로 구성한 멀티캐스트 트리에 대한 라우팅 테이블을 갖는다.
- 스텝4) 수신측 노드를 소스로 하고 서브 그룹간의 멀티캐스트 통신이 이루어지면 On-the-fly 방식으로 예약된 자원을 활용하여 통신을 한다.

이 프로토콜을 사용했을 때 이루어지는 멀티캐스트 트리의 구성과 예약 결과를 <그림 3>에 보였다. 원래의 멀티캐스트 그룹이 $D = \{a, d, e, g\}$ 이며 일반적인 최소 스패닝 트리(MST)에 의하여 생성된 결과가 $G(D)$ 이다. 여기서 만일 노드 g 에서 (d, e) 로 전송하는 서브 멀티캐스트 트리가 생성된다면 간선 (d, g)



<그림 3> 이차 자원 예약을 통한 멀티캐스트 트리의 구성과 예약 결과

를 이용하는 것이 보다 효율적이므로 최종적으로 생성된 멀티캐스트 트리 이차 자원 예약에서는 간선 (d, g) 상의 자원을 예약하게 된다.

4. 이차 자원 예약을 이용한 다자간 멀티캐스트 알고리즘 성능 분석

4.1 단일 멀티캐스트 트리를 통한 서브 멀티캐스트에서의 블로킹 계산

하나의 멀티캐스트 트리에서 컨퍼런스가 진행되는 동안에 M 개의 서브 멀티캐스트 트리가 생겨날 경우에 고정된 멀티캐스트 트리를 통하여 모든 통신이 이루어지는 경우에는 어떤 링크가 병목 현상을 보일 수 있다. 이때, 네트워크 자원을 그때마다 증가 시키면서 사용하지 않으면 M 개의 서브 멀티캐스트 트리 중에 어떤 서브 멀티캐스트 트리는 통신을 할 수 없으므로 전체 컨퍼런스에 영향을 주게 된다. 따라서 본 절에서는 고정된 멀티캐스트 트리를 통하여 모든 통신이 이루어지는 경우에서의 호 블로킹 확률을 분석한다.

초기의 멀티캐스트 트리 T_0 는 컨퍼런스 중에 $T_0 = \{T_1, T_2, \dots, T_M\}$ 개의 서브 멀티캐스트 트리를 생성한다. 이때, 서브 멀티캐스트 트리 $T_i, 1 \leq i \leq M$ 는 적어도 2 개 이상의 초기 멀티캐스트 트리의 목적지 노드를 포함하는 최소 멀티캐스트 트리로서 반드시 초기 멀티캐스트 트리 T_0 의 간선을 이용하여 구성된다. 또한, 각 서브 멀티캐스트 트리가 요구하는 대역폭은 각 경우마다 다르므로, b_i 로 정의하고, b_i 는 서브트리 T_i 에서 요구하는 대역폭이다. 각 서브 멀티캐스트 트리의 발생율(Arrival rate)은 λ_i 이고 그 지속 시간(Duration time)은 $1/\mu_i$ 로 정의하며, 이들은 포아송(Poisson) 프로세스의 성격을 갖는다고 가정한다. 이에 따라, $\rho_i = \lambda_i/\mu_i = \lambda/\mu$ 라고 한다.

서브 멀티캐스트 트리들이 중첩하여 사용하는 링크에서의 대역폭 점유율 몇 개의 서브 멀티캐스트 트리가 얼마만큼의 대역폭으로 사용하느냐에 따라 결정되므로 이때의 채널 점유율은 링크의 사용 가능한 채널에 대하여 상태 벡터 $n_{xy} = \{n_1, n_2, \dots, n_M\}$ 으로 표시되고 n_i 는 대역폭 b_i 를 사용하는 서브 멀티캐스트 트리의 수가 된다. 만일 초기 멀티캐스트 트리의 링크 $(x \rightarrow y)$ 에서 N_{xy} 개의 채널을 사용하도록 되어 있다면, 서브 멀티캐스트에 의한 대역폭 점유는 이 한계 내에서 이루어져야 하므로 상태 벡터의 값은 $\Omega = \{n_{xy} | \sum_{i=1}^M n_i \leq N_{xy}\}$ 의 관계를 갖는 제한된 상태 벡터가 된다. 이에 따라, Kelly[9] 및 Kaufman[10]의

결과를 이용하면, 채널 점유율이 n 이 되는 확률은

$$P(N_{xy} = n) = G^{-1} \prod_{k=1}^M \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}, \quad N_{xy} \in \Omega \quad (1)$$

이 되고, $G = \sum_{n_k \in \Omega} \prod_{k=1}^M \rho_k^{n_k}$ 이다.

따라서 서브 멀티캐스트 트리를 초기 멀티캐스트를 통하여 구현할 때 생기는 체증으로 인한 호 블록킹 확률은 체증이 발생하는 링크 $x \rightarrow y$ 의 대역폭 조건이 $\sum_{j \in T_x} j b_j > N_{xy}$ 일 때 발생하므로 서브 멀티캐스트 트리 T_i 의 블록킹 확률 $P_B(i)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

먼저 서브 멀티캐스트 T_i 의 경로 r_i 를 구성하는 링크 $1, 2, \dots, J$ 가 있다고 할 때, 트리 T_i 가 블록킹 될 확률은

$$L_r = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - B_j)^{A_{jr}}, \quad A_{jr} \in \{0, 1\} \quad (2)$$

이 된다. A_j 식을 Kelly[9]의 결과를 따라 좀 더 근사화 시키면 $L_r = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - E_j)$ 이고 또한 하나의 고립된 링크 j 에서의 블록킹 확률은

$$E_j = E(\sum_{r \in T_i} A_{jr} \rho^r \prod_{i \in r, i \neq j} (1 - E_i N_j)), \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (3)$$

이다. (3) 식에서 채널 수 N 과 부하 ρ 의 관계에서 E_j 는 $E(\rho, N) = \frac{\rho^N}{N!} (\sum_{n=0}^N \frac{\rho^n}{n!})^{-1}$ 인 Erlang-B 식이 된다. 따라서 식 (3)은 간략화 시키면

$$E_j = \frac{\rho_j^{N_j}}{N_j!} (\sum_{n=0}^{N_j} \frac{\rho_j^n}{n!})^{-1} \quad (4)$$

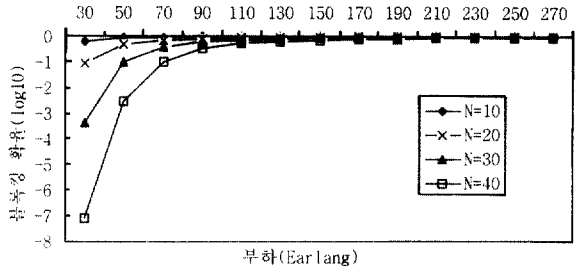
이 되므로 식 (2)는

$$L_r \approx 1 - \prod_{j \in T_i} (1 - \frac{\rho_j^{N_j}}{N_j!} (\sum_{n=0}^{N_j} \frac{\rho_j^n}{n!})^{-1}) \quad (5)$$

이 된다.

식 (5)를 이용하여, 고정된 멀티캐스트 트리를 이용하여 서브 그룹 간에 이루어지는 서브 멀티캐스트 통신이 있게 될 때의 블록킹 확률을 <그림 3>에 보이고 있다. 여기에서 하나의 서브 멀티캐스트 트리는 평균 홉 길이가 3인 것으로 가정하고, 모든 서브 멀티캐스트 트리가 동일한 대역폭을 갖는 것으로 가정하였다. <그림 3>에서 보듯이 링크 사용율이 높아질수록 서브 멀티캐스트 트리를 고정된 멀티캐스트 트리상에 구현

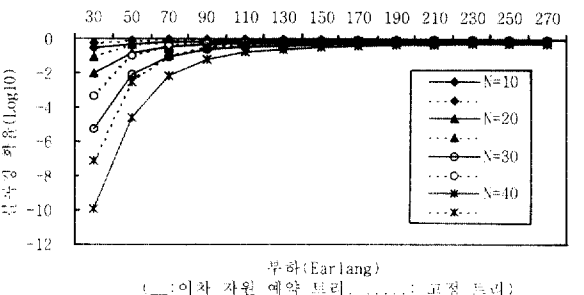
하기 위하여서는 많은 채널을 미리 예약하지 않으면 멀티캐스트를 이용한 회의나 데이터 분배에 어려움이 있을 것임을 알 수 있다.



<그림 3> 서브 멀티캐스트가 평균 3개의 홉이 있을 때의 블록킹 확률

4.2 서브 멀티캐스트 트리를 최적화 한 경우의 성능 개선

고정된 멀티캐스트 트리를 사용하여 서브 멀티캐스트 트리 경로를 설정하면 제안된 이차 자원 예약을 통한 서브 멀티캐스트 트리를 고려한 경우 보다 홉의 길이가 늘어나는 경우라고 볼 수 있다. 따라서 늘어난 홉의 자원을 이용하게 되므로, 서브 멀티캐스트 트리를 고려한 경우보다 블록킹 가능성이 커진다. 그러므로 서브 멀티캐스트 트리를 고려하여 홉의 길이가 줄어들고 경로 예약에 따라 부하가 분산된다고 할 때, 고정 멀티캐스트 트리상에서 서브 멀티캐스트 트리가 구현될 때 보다 얻어지는 이득은 식 (5)를 통하여 구할 수 있다.



<그림 4> 이차 멀티캐스트 자원 예약을 이용할 때의 블록킹 확률

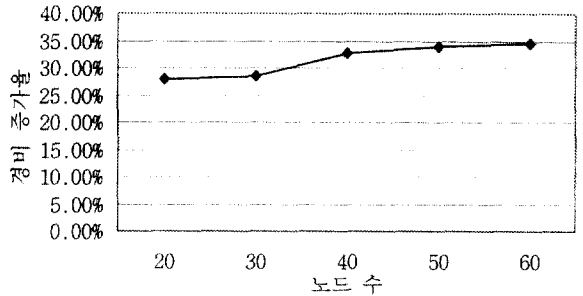
앞의 <그림 4>는 서브 멀티캐스트 트리를 고려에 의하여 홉이 2개로 줄고, 부하가 20% 줄어든 경우의 블록킹 확률을 보여준다.

4.3 이차 자원 예약을 이용한 다자간 멀티캐스트 알고리즘 성능 분석

C 언어를 이용한 시뮬레이션을 통하여 서브 멀티캐스트 트리를 고려하여 이차 자원 예약을 이용한 다자간 멀티캐스트 알고리즘 성능 분석을 하였다. 시뮬레이션의 구조는 Waxman [8]의 논문에서 제안되었던 방식과 동일한 방식을 취하였다. 먼저 랜덤 그래프를 생성하여 임의의 크기를 갖는 네트워크를 생성하였는데, 생성된 네트워크는 노드 u, v 사이에 간선이 존재할 확률은 함수 $P(\{u, v\}) = \beta \exp\{-d(u, v)\}$ 의 관계식을 통하여 구하게 된다. 이때, $d(u, v)$ 는 두 노드 사이의 거리이며 경비 값으로 사용되었고, L 값은 두 노드 사이에 가능한 최대 거리를 제한한다. 또한, $0 < \alpha, \beta \leq 1$ 의 범위에서 선택되는 α, β 값은 α 값이 커지면 두 노드 간의 간선이 길게되는 비율이 증가하고 β 값이 커지면 노드에 연결된 간선의 수가 증가되는 성질을 갖는다. 모든 링크는 두 노드의 좌표 거리차($\sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)}$)로 추정하였고, 각 링크는 대칭적(Symmetric)으로 구성되었다고 보았다. 사용된 변수중 $\alpha = 0.04, \beta = 0.4$ 으로 정하였다. 시뮬레이션에서 사용한 네트워크는 20 노드, 30 노드, 40 노드, 50 노드 및 60개의 노드로 구성되며, 각 네트워크에서 멀티캐스트에 참여하는 노드의 수는 전체 네트워크 노드의 몇 %가 멀티캐스트에 참여하는 가로 결정된다. 시뮬레이션 횟수는 먼저 각 노드 수에 따른 네트워크 구성을 10번씩하고, 구성된 네트워크 내에서 20%, 25% 및 30% 씩 멀티캐스트에 참여하는 노드 그룹을 구성하고, 각 그룹당 서브 멀티캐스트 그룹을 10번씩 생성하도록 하였다. 따라서, 각 네트워크 당 총 300회의 시뮬레이션이 이루어졌다.

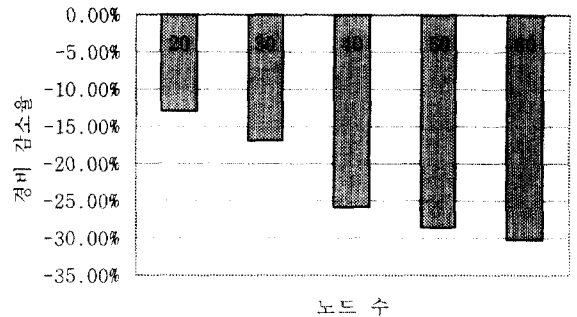
〈그림 5〉는 각 네트워크의 20%가 멀티캐스트 그룹을 형성하는 경우에 고정된 멀티캐스트 트리에 대한 예약 멀티캐스트 트리 구성에 드는 경비의 증가를 보이고 있다. 즉, 그룹 내의 노드 간에 이루어지는 서브 멀티캐스트 그룹간 통신을 위한 최적 트리를 가상한 경우에도 경비 증가가 35% 정도 이내로 나타나고 있다. 실제로 증가된 자원은 서브 멀티캐스트 그룹간 통신을 위한 2차 경로이다. 이렇게 2차 경로로 사용되기 위한 네트워크 자원은 백업 자원으로 활용될 수 있기 때문에 실제 네트워크에서의 경비 증가는 이보다 훨씬 줄어들 수 있음을 예상할 수 있다.

그룹 내의 노드 간에 이루어지는 서브 멀티캐스트 그룹간 통신을 위한 최적 트리를 이용하게 될 때 얻어지는 경비의 절감을 〈그림 6〉에 보이고 있다. 〈그림 6〉은 각 노드 수의 20%



〈그림 5〉 고정된 멀티캐스트 트리에 대한 예약 멀티캐스트 트리 구성에 드는 경비의 증가

가 멀티캐스트 그룹을 형성하고, 하나의 멀티캐스트 그룹은 3개의 서브 멀티캐스트 그룹을 구성하는 것으로 가정하였다.



〈그림 6〉 예약 트리를 이용하여 서브 멀티캐스트 그룹을 구성할 때의 경비 감소율

〈그림 3〉에서 설명하였듯이 고정된 멀티캐스트 내에서 서브 멀티캐스트 트리가 이루어지면 경비가 증가 될 수밖에 없고, 이것은 결국 네트워크 자원의 낭비와 호의 블로킹 확률이 증가할 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서 제안하고 있는 멀티캐스트 참여 노드마다 최적의 멀티캐스트 트리를 가상하고, 이것을 기준으로 공통 멀티캐스트 트리를 구성할 경우에 네트워크 자원의 효율적인 이용이 가능함을 〈그림 6〉을 통하여 알 수 있다. 여기서 보면 노드 수가 증가할수록 경비 절감이 커짐을 알 수 있는데, 그 이유는 서브 멀티캐스트 트리에 속하는 노드가 중복되는 비율이 적어지기 때문에 보다 그 차이가 분명하기 때문이다.

마지막으로 〈표 1〉에서는 멀티캐스트 노드 수가 다른 경우에 예약을 위한 경비 증가와 예약 트리를 통한 경비 절감의 결과를 실제 값으로 보이고 있다. 여기서 예약 경비 증가는 서브 멀티캐스트 트리를 고려한 자원 예약 경비에서 고정된 멀

티캐스트 트리를 위한 경비를 뺀 값을 의미하며, 예약 멀티캐스트 트리 경비 감소는 고정된 멀티캐스트를 이용하여 서버 멀티캐스트 트리를 구성할 때 드는 비용과 이미 이것을 고려한 서버 멀티캐스트 트리를 이용한 경우의 경비 차이를 의미한다. 따라서 예약 경비 증가 값이 예약 멀티캐스트 트리 경비 감소 보다 작게 나타난다는 것은 곧 본 논문이 제안한 프로토콜이 실제적인 경비 감소를 줄 수 있음을 의미하는데, <표 1>에서는 이런 현상을 뚜렷이 볼 수 있다.

<표 1> 멀티캐스트 노드 수가 다른 경우의 예약을 위한 경비 증가와 예약 트리를 통한 경비 절감

노드 수	멀티캐스트 노드 수					
	20 %		25 %		30 %	
	멀티캐스트 트리 예약 경비 증가값	서버멀티캐스트 경비 감소값	멀티캐스트 트리 예약 경비 증가값	서버멀티캐스트 경비 감소값	멀티캐스트 트리 예약 경비 증가값	서버멀티캐스트 경비 감소값
20	11.80	17.61	16.57	22.90	8.14	8.35
30	25.11	33.81	42.10	59.25	48.87	71.94
40	43.96	53.92	47.84	71.44	51.17	77.92
50	79.56	120.53	52.04	95.72	85.81	98.40
60	105.82	199.75	89.91	139.84	104.64	163.08

이러한 이득은 하나의 멀티캐스트 트리가 각 노드에서 다른 노드 간에 서버 멀티캐스트 트리를 최적으로 할 수 없는 경우가 멀티캐스트 트리의 성격이므로, 본 논문에서 제안한 프로토콜을 사용하면 보다 효율적으로 네트워크 자원의 활용과 멀티캐스트 QoS의 보장이 가능함을 알 수 있다.

5. 결 론

다자간 멀티캐스트 세션의 특징은 정적인 멀티캐스트 트리에서와 같이 소스와 수신 측의 역할이 세션이 끝날 때까지 소스와 수신 측으로 고정된 것이 아니라, 소스와 수신 측의 역할이 바뀌는 경우이다. 또한, 멀티캐스트 그룹 내에서 세션이 진행되는 동안 특정 정보를 공유하는 서버 멀티캐스트 그룹이 생성되었다가 소멸되는 경우를 포함하는 동적 특성을 갖고 있다. 따라서, 이런 문제를 극복하기 위하여서는 멀티캐스트 멤버들간에 이루어질 수 있는 서버 멀티캐스트 트리를 가정하여 이차 멀티캐스트 트리 자원을 예약할 필요가 있다. 시뮬레이션을 통하여 보였듯이 이차 멀티캐스트 트리를 고려하여 이차

멀티캐스트 자원 예약을 위한 경비의 증가율은 최대 35% 정도인데, 일반 네트워크 관리 측면에서 체중이나 네트워크 장애를 극복하기 위하여 일정량의 네트워크 자원을 예비해서 사용하고 있으므로 이러한 백업용 자원을 활용하면 매우 경제적으로 다자간 멀티캐스트 서비스를 지원할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 이차 멀티캐스트 트리를 사용하면 다자간 서버 멀티캐스트를 위한 경비의 감소가 가능하므로 동적인 멀티캐스트 통신에는 서버 멀티캐스트 트리를 고려하여 자원을 미리 예약할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Shacam, N., "Preemption-Based Admission Control in Multimedia Multiparty Communications," In Proceedings of INFOCOM '95
- [2] Ammar, M. H., Probabilistic Multicast: "Generalizing the Multicast Paradigm to Improve Scalability," Technical Report GIT-CC-93/28, Georgia Institute of Technology, 1993.
- [3] Yum, T.-S., et al., "Bandwidth Allocation for Multimedia Teleconferences," Proceedings of IEEE ICC '91, pp. 852-858, 1991.
- [4] Leung, Y.-W. and Yum, T.-S., "Optimum Connection Paths for A Class of Videoconferences," Proceedings of IEEE ICC '91, pp. 859-865, 1991.
- [5] Winter, P., "Steiner Problem in Networks: A Survey," Networks, Vol. 17, pp. 129-167, 1987.
- [6] Aguilar, L., "Datagram Routing for Internet Multicasting," ACM Computer Communication Review, Vol. 14, No. 2, pp. 58-63, 1984.
- [7] Deering, S. E., et al., "An Architecture for Wide-Area Multicast Routing," ACM SIGCOMM 94, London, Aug. 1994.
- [8] Waxman, B. M., "Routing of Multipoint Connections," IEEE JASC., Vol. 6, No. 9, pp. 1617-622, December 1988
- [9] Kelly, F. P., "Blocking Probabilities in Large Circuit-Switched Networks," Advanced Applied Probability, Vol. 18, pp. 473-505, 1986.
- [10] Kaufman, J. S., "Blocking in a Shared Resource Environment," IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-29, No. 10, pp. 1474-1481, October 1981.

[11] Tode, H., et al., "Multicasting Routing Algorithm for Nodal Load Balancing," Proceedings of INFOCOM '92, pp. 2086-2095, May, 1992.

[12] Friesen, V. J., Harms, J. J., and Wong, J. W., "Resource management with Virtual Paths in ATM Networks," IEEE Network, pp. 10-20, September/October 1996.

[13] Carlberg, K., and Crowcroft, J., "Building Shared Tresses Using a One-to-Many Joining Mechanism," Computer Communication Review, ACM SIGCOMM pp. 5-11, 1997.

[14] Takahashi, H., and Matsuyama, A., "An approximate solution for the Steiner problem in graphs," Math. Japonic, Vol 24, No. 6, pp. 573-577, 1980.



송기상
1983년 아주대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사)
1994년 University of Washington 전기공학과 졸업(Ph.D.)
1985~1990 한국원자력연구소 연구원
1994~1995 한국전자통신연구소 선임연구원
1995~현재 한국교원대학교 컴퓨터교육과 조교수
1990~1993 문교부 국비유학생
관심분야 ATM 네트워크, 분산 멀티미디어, Software Engineering, CIM, 원격교육 및 컴퓨터를 이용한 교육

【 부 록 】

최단 거리 (Shortest Path) 휴리스틱을 이용한 멀티캐스트 트리 구성 알고리즘 [14]

스텝1) 네트워크 그래프 $G(V, E)$ 에서 소스 노드 s 를 노드 집합 S 에 포함시키고, 목적지 노드 집합 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ 을 구분한다. 또한 멀티캐스트 트리 T 의 간선 집합을 E 라 한다.

스텝2) 노드 s 와 D 에 있는 모든 노드 사이의 거리를 비교하여 최단 거리에 있는 노드 (예를 들자면 D_1)를 선택하여 S 에 포함시킨다. 이때, s 에서 D_1 까지 이르는 경로에 목적지 노드가 아닌 노드를 경유하면 이 노드도 포함시킨다. 동시에 경로상의 간선을 집합 E 에 포함시킨다. 또한 선택된 목적지 D_1 는 목적지 노드 집합 D 에서 제외시킨다.

스텝3) 노드 집합 S 에 포함된 모든 노드와 D 의 나머지 목적지 노드들과 거리를 비교하고 최단 거리에 있는 노드를 선택하여 S 에 포함시킨다. 이때, 노드 집합 S 에서 선택된 노드와 D 에서 선택된 노드 사이에 목적지 노드가 아닌 노드를 경유하면 이 노드도 포함시킨다. 동시에 경로상의 간선을 집합 E 에 포함시킨다. 또한 선택된 목적지 노드는 목적지 노드 집합 D 에서 제외시킨다.

스텝 4) $D \neq \emptyset$ 이면 스텝 3)을 반복한다.



김홍래
1989년 춘천교육대학 졸업(학사)
1995년 한국교원대학교 컴퓨터교육과 졸업(석사)
현 재 한국교원대학교 컴퓨터교육과 박사과정
관심분야 원격교육, 컴퓨터교육, ATM 네트워크, 분산 멀티미디어



전준식
1995년 독학 전자계산학과 졸업(학사)
1996년 한국교원대학교 수학교육과 졸업(학사)
1998년 한국교원대학교 컴퓨터교육과 졸업(석사)
1998~현재 넥스텔 뉴미디어연구소 연구원
관심분야 ATM 네트워크, 정보검색, 에이전트, GIS