

# 초고속 멀티미디어 통신을 위한 광네트워크 기반 동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘의 성능분석

정회원 강문식\*, 이상민\*

## Performance Analysis of Dynamic Multicast Routing Algorithm for High-Speed Optical Network Based Multimedia Communications

Moonsik Kang\*, Sangmin Lee\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 초고속 광네트워크 상에서의 멀티미디어 통신을 위한 동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기본적으로 멀티캐스트 라우팅 트리를 구성하는 방법을 사용하지만, 동시에 효과적인 동적그룹 지원, 높은 품질의 데이터 분배, 가변적인 네트워크 사건에 대한 동적 적응능력 등과 같은 네트워크의 필요사항을 만족시키도록 설계되었다. 지연시간 허용한계와 최대 그룹크기는 네트워크 상태와 지연시간 그리고 비용에 대한 요구사항에 따라 결정된다. 또한 능동적 멀티캐스트 라우팅기법을 이용해 주어진 지연시간 제한에서 최적의 동적 멀티캐스트 트리를 구성하도록 하였다. 네트워크 모델에 대한 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 분석하였으며, 그 결과 주어진 지연시간의 제한을 만족하면서 비용을 최소화하고 멀티캐스트 그룹의 변화에 능동적으로 적용하는 최적의 해를 찾아낼 수 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a dynamic multicast routing algorithm(MRA) is presented for multimedia communication on high-speed optical networks. The proposed algorithm is basically based on multicast routing tree construction method, but is designed to satisfy such network requirements as efficient dynamic group support, high-quality data distribution, and dynamic adaptability to the changing network events. Design parameters such as acceptable delay limit and maximum group size are determined based on the consideration of network states and requirements on delay and cost. Also, the delay-bounded optimal dynamic multicast tree is constructed using dynamic multicast routing method. The performance of the proposed algorithm is analyzed by running simulations on randomly generated test networks. The simulation results show that the proposed algorithm produces the optimal solution which, under the given delay constraint, minimizes the network cost and adapts dynamically to the change in multicast group members.

### I. 서 론

원격화상회의, 의료용 화상정보, 원격환경감지, 원격거리 교육, 국방 및 지능시스템 등과 같은 미래의 멀티미디어 응용들은 대량의 데이터를 관리하고 저

장할 수 있는 능력을 필요로 한다. 이런 종류의 데이터는 실시간으로 처리되어야 하며 여러 지역에 분포되어 있는 사용자에게 전달되어야 한다. 오늘날, 초고속 광네트워크 기술의 발전과 더불어 이에 기반을 둔 정보시스템과 대규모의 멀티미디어 관리

\* 강릉대학교 전자공학과(mskang@knusun.kangnug.ac.kr)

논문번호 : 98554-1228, 접수일자 : 1998년 12월 28일

\* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

시스템들이 출현하고 있으며, 이러한 시스템들은 종종 하나의 근원지에서 다수의 수신측으로 동일한 데이터의 전송을 필요로 한다. 현재 일반적으로 사용되는 유니캐스트 프로토콜을 이용한 데이터의 연속 전송방식은 수신측의 수가 많아질수록 네트워크 효율이 떨어진다는 단점이 있다. 이에 대한 보완책으로 멀티캐스트 프로토콜을 이용하면 네트워크의 효율적인 관리가 가능해진다.<sup>[14]</sup> 그러므로 다수의 수신측으로 동시에 데이터를 전송하는 방식인 멀티캐스팅은 멀티미디어 응용서비스를 지원하는 데이터 네트워크의 중요한 부분이 되고 있으며 향후 광대역 ATM네트워크의 필수조건이 될 것으로 예상된다. 멀티캐스트 라우팅을 위한 가장 일반적인 해법은 트리 구축기법을 이용하는 것이다. 이는 데이터가 트리 구조에 속한 경로를 따라 다수의 목적지로 병렬방식으로 전송되고, 최소의 데이터 복사본만이 전송되며, 데이터의 복사본은 단지 트리 구조 내의 가지에서만 필요하게 된다.<sup>[5-7]</sup>

멀티캐스팅을 위한 방법으로서 네트워크층과 수송계층 프로토콜을 결합한 XTP (Xpress Transfer Protocol) 및 MTP(Multicast Transport Protocol) 그리고 효율적이며 신뢰성 있는 멀티캐스트 전송을 위해 고안된 수송계층프로토콜 등 다수의 멀티캐스트 프로토콜이 제안되었다<sup>[14,16]</sup>. Deering이 제안한 IP/Multicast 방식<sup>[8]</sup>을 이용한 멀티캐스트 기반의 서비스들은 인터넷상에 존재하는 MBONE (Multicast Backbone)에서 이미 널리 사용되고 있다. IP 멀티캐스트는 멀티캐스트 트래픽을 지원하는 표준 IP 네트워크레벨 프로토콜이 확장된 것으로서, 하나의 IP목적지 주소를 사용하여 하나 이상의 '호스트그룹'에게 IP 데이터그램을 전송함으로써 통신비용을 절감하면서 동시에 동일한 데이터를 다수의 수신측에게 전송 가능하도록 한다.

하지만, 기존 다수의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘들은 고정적인 네트워크의 상태를 가정하고 있기 때문에 네트워크의 상태가 가변적일 경우, 이에 대한 처리가 곤란해진다. 링크상태 프로토콜(link state protocol)의 경우, 하나의 부네트워크(subnetwork)에 있는 그룹 구성원의 변화는 접속되어 있는 라우터 중의 하나에 의해 발견되며, 이 라우터는 같은 도메인상에 존재하는 다른 모든 라우터에게 그 사실을 통보해준다. 멀티캐스트를 광범위하게 적용시키기 위해 제안된 기존의 링크상태 프로토콜과 거리벡터 멀티캐스트 방식(distance vector multicast scheme)은 멀티캐스트 그룹이 네트워크상에 조밀하게 존재

해 있는 경우에 좋은 규모특성을 보이고 있다.<sup>[4,22]</sup>

본 논문에서는 가변적 환경의 초고속 광네트워크 환경에서 지연시간의 제한과 같은 네트워크 조건을 만족하면서 최소의 비용이 되는 동적 멀티캐스팅 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 효율적인 동적그룹 지원, 높은 품질의 데이터 분배, 그리고 동적으로 변화하는 상황에 대한 적응성과 같은 네트워크 요구조건을 만족시킨다. 또한 추가적으로 도메인간 라우팅 프로토콜(inter-domain routing protocol) 과의 상호 동작성을 위해 추가적인 구성오버헤드(configuration overhead)를 부가한다. 이를 위해 고신뢰성 멀티캐스트 프로토콜에 대하여 살펴보고 이를 광네트워크의 특성에 따라 모델링을 한 후, 링크 지연시간, 링크비용 등과 같은 네트워크 특성에 따라 지연시간 허용한도와 최대 그룹크기를 결정한다. 네트워크 상태와 링크 상태에 따라 가변적 노드에 대한 라우팅이 가능하도록 하기 위해 동적 지연시간 제한 최소비용 트리(dynamic delay-constrained minimum cost tree)를 구성하고, 이를 기반으로 동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II절에서 고신뢰성 멀티캐스트 프로토콜에 대하여 기술하며, III절에서는 광네트워크에 대한 모델링을 설명한다. IV절에서는 광네트워크 모델에 대한 일반화 과정을 통하여 멀티캐스팅을 위한 네트워크 모델을 설정하고 이에 따른 라우팅 알고리즘을 기술한다. V절에서는 시뮬레이션을 수행하여 알고리즘에 대한 성능분석을 수행하며 마지막으로 VI절에서 결론을 맺는다.

## II. 고신뢰성 멀티캐스트 프로토콜

본 절에서는 초고속 광네트워크에서의 신뢰성 있는 멀티캐스트를 위해 사용될 수 있는 고신뢰성 멀티캐스트 프로토콜의 구조 및 동작에 대하여 기술한다. MBone상의 멀티캐스트 라우터는 DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol) 혹은 MSOPF(Multicast Extension for Open Short Path First Protocol)을 사용한다<sup>[13]</sup>. 또한 SBT(Source based Tree) 와 공유트리를 사용하는 방법들이 제안되고 있다. CBT(Core-Based Trees)는 주어진 그룹 내에서 모든 전송측에게 단일 공유트리를 제공한다. 여기서는 대표적인 멀티캐스트 프로토콜인 고신뢰성 적응 멀티캐스트 프로토콜과 프로토콜독립 멀티캐스트 방식을 중심으로 설명한다.

### 1. 고신뢰성 적응멀티캐스트 프로토콜<sup>[23]</sup>

RAMP(Reliable Adaptive Multicast Protocol)는 IP멀티캐스트와 같은 네트워크층에서 동작하는 수송 계층 멀티캐스트 프로토콜로서, 신뢰성 있는 다중전송을 위한 표준을 제공한다. RAMP는 NAK을 이용하여 모든 수신자에게 신뢰성 있고 정련된 전송이 이루어지게 함으로써 반환되는 트래픽을 최소화 한다. RAMP는 신뢰성 있는 연결-지향적(connection-oriented) 서비스를 제공하며, 또한 데이터그램과 스트림 형태의 인터페이스도 지원한다. 다른 멀티캐스트 프로토콜들은 수신측에서만 신뢰성을 보장하는 반면, RAMP는 전송과 수신측에서 모두 신뢰성을 보장한다. 따라서 전송측이나 혹은 수신측에서 실패할 때마다 응용계층에게 보고하도록 한다. 이는 각 이용자가 단일 멀티캐스트 그룹에 대하여 전송자와 수신자로 작용하는 상호 협력적인 응용계층에 대하여 바람직한 현상이다. 개별 이용자들의 출현 유무에 관한 상태 정보는 개별 네트워크나 응용 프로그램의 실패로 기인되는 자원 회복(resource recovery)과 같은 동작을 지원하여야 한다. RAMP는 전송측에 대한 수신측의 실패, 혹은 수신측에 대한 전송측의 실패를 주기적으로 감시하는 장점을 가지고 있다. RAMP는 또한 그룹에서 이용자의 빠른 참여 및 탈퇴를 지원한다. RAMP가 지닌 그룹 구성원의 철저한 보장 기능은 회선 설립을 위하여 필요한 정보와 함께 TBONE (Testbed for Optical Networking)을 제공한다. TBONE 내에서의 목적지의 설립에 대한 정보는 멀티캐스트 그룹을 설립하기 위한 ATM 요구사항과 일치하며 IGMP(Internet Group Management Protocol)를 위한 요구사항을 불필요하게 하고있다. RAMP는 수신자가 제어 채널의 설정 여부 및 재전송 메시지의 전송 여부를 결정할 수 있다는 점에서 혼합 형태의 고신뢰성 전송을 지원한다.

프로토콜 전송에 대하여 살펴보면, 데이터 전달은 멀티캐스트와 유니캐스트를 조합해 사용하는 데이터 채널을 통해 전송측에서 수신측으로 수행되고 수신측으로의 모든 재전송 데이터도 역시 같은 방식을 따르며, 제어 트래픽은 유니캐스트 제어 채널(Unicast Control Channel)을 통해 수신측에서 전송측으로 전달된다. 모든 초기화 데이터 전송들은 전송측에 의해서 수신그룹으로 전송된다. 전송측이 멀티캐스트 주소로 '연결 메시지(Connect message)'를 발생시켰을 때 이 주소에 귀를 기울이고 있는 각각의 수신측들은 '수락 메시지(Accept message)'로 응

답을 해준다. 적어도 한 개의 'Accept' 가 수신되었을 때 전송측은 데이터 메시지를 전송할 수 있다. 각각의 데이터 메시지들은 새로운 메시지가 전달될 때 마다 증가하는 일련 번호를 포함하고 있다. 수신측이 이 메시지들의 일련번호 사이의 차이를 알게 되면 'Resend message'를 제어채널을 통해 전송측으로 전달하게 된다. 'Resend message'는 전송되지 못한 메시지의 연속적인 숫자를 포함하고 있다.

버스트 모드에서 복수의 데이터 메시지들은 복수의 버스트로 그룹화 된다. 버스트는 휴지 메시지 다음에 오게 된다. 휴지 메시지는 먼저 처리된 데이터 메시지와 동일한 연속 플래그 숫자를 갖고, 각각의 버스트 내의 첫번째 데이터 메시지는 ACK 플래그 집합을 갖는다. ACK가 설정되면, 각각의 수신측은 반드시 ACK 메시지로 응답을 해주어야 한다. 만약 수신측으로부터 오는 ACK 메시지가 타임아웃 되면 (전송측은 데이터를 3번 정도 보내게 된다) 전송측은 수신측에 도달할 수 없는 것으로 간주하고 연결을 종료한다.

### 2. 프로토콜 독립 멀티캐스트 (Protocol Independent Multicast: PIM) (9)

기존의 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 네트워크 내의 모든 라우터에 대한 데이터 전송이라는 가정하에 조밀하게 밀집된 그룹 위주로 설계되어 효율적인 분배트리(Distribution Tree, 이하 DT)를 구성하였다. 이와 같은 방식을 Dense Mode(이하 DM)라 한다. 반면 Sparse Mode(이하 SM) 멀티캐스트는 네트워크 내에서 데이터를 필요로 하는 라우터만이 데이터를 수신할 수 있도록 하는 방식이다. PIM은 다음과 같은 두가지 면에서 IP멀티캐스트와 구분된다.

- a) 지역멤버를 가진 라우터들은 긴급참가메시지(Explicit Join message)를 전송함으로써 PIM-SM-DT에 참가한다. IP-DM멀티캐스트 방식에서, 지역멤버를 갖고 있지 않는 라우터가 자신을 트리에서 제거해 달라는 긴급제거메시지(Explicit prune message)를 전송할 때 까지 멀티캐스트 데이터 패킷은 라우터에게 계속 전송된다.
- b) PIM-SM방식에서 수신측과 새로운 전송측은 "Rendezvous Point(이하 RP)"를 통해 서로 접촉하게 된다. RP는 전송측이 자신의 존재를 알리기 위해 사용하거나 또는 수신측이 그룹에 포함된 새로운 전송측에 관해 알고자 할 때 사용한다. 하지만 RP-트리는 데이터를 수신하고자 하는 수신측이 먼저 참가하는 형태

이다.

임의의 수신기 PIM 멀티캐스트 그룹에 참여하고자 하는 신호(IGMP 메시지)를 보냈을 때, PIM 라우터는 RP를 향해서 PIM-join 메시지를 보낸다. 중간 노드는 이 메시지를 처리하여 RP에서 수신측으로 향하는 멀티캐스트 트리의 가지를 설정한다. 전송측이 멀티캐스트 그룹에게 전송을 시작할 때 PIM 라우터는 PIM 레지스터 메시지를 데이터 패킷에 실어 RP에게 보낸다. RP는 전송측에게 '합류(join) 메시지'를 전송함으로써 응답해 준다. 이러한 처리과정은 중간 노드에 의해 행해지고 중간 노드는 근원지에서 RP로 향하는 전송경로를 설정한다. 만약 근원지 지정 분배 트리(source-specific distribution tree)가 요구된다면, 각각의 구성원들과 연결된 첫번째 홉(hop) PIM 라우터는 근원지로 'PIM-join' 메시지를 전송함으로써 각각의 근원지로부터 시작되는 분배 트리에 참가한다. 새로운 데이터 패킷을 수신한 라우터는 RP를 향해 'PIM-prune' 메시지를 전송한다. 또 다른 PIM 라우터는 자신의 라우팅 테이블내의 입력 인터페이스를 확인함으로써 어느 점에서 RP 트리 가지와 SPT가 분기되는가를 알고있다. (S,G)엔트리에 포함되어 있는 플래그(SPT 비트)는 공유 트리에서 SPT로 전환할 것인지를 알려주는 역할을 하며, 전환과정은 아무런 데이터 손실 없이 이루어진다. 임의의 RP는 초기에 근원지에서 수신측으로 데이터 패킷 전송을 위해 사용되며, 라우터 내에 속한 그룹의 일원들과 유사한 PIM-요청 라우터가 되거나, 혹은 네트워크내에서 다른 PIM-요청 라우터가 될 수 있다.

### Ⅲ. 광 네트워크 모델링

파장분할 다중방식은 광섬유의 저손실 대역을 파장대역에서 분할하여 사용하는 방식이다. 단일 모드 광섬유의 저손실 대역을 주파수로 변환하면 약 30THz의 대역을 얻을 수 있다. 이를 완전히 사용하기 위해서는 펄스의 폭이 수십 f초(femtosecond)의 크기로 작아야 한다. 그러나, 이 정도의 펄스는 아직 실용적이지 못하므로 파장분할 다중방식을 통해 이를 활용하는 것이 효과적이라고 하겠다. 전송기에서는 각 채널마다 특정파장이 할당되어, 광에너지로 변환된 후 파장 다중화기를 통하여 다중화되어 전송된다. 수신기에서는 역다중화기를 통하여 각 파장을 선택한 후 원하는 신호를 복구하게 된다. 파장분할 다중화 시스템 특징을 살펴보면, 첫째, 파장

다중화기는 동일 장치가 다중화와 역다중화에 모두 사용가능하고 완전히 수동소자로 구성된다는 점이다. 둘째, 파장분할 다중방식에서 채널은 서로 독립적이고, 데이터 형태에 있어 서로 투과성(transparency)이 있어 다른 전송율을 갖는 신호를 함께 전송할 수 있다.

이러한 시스템의 성능은 수용 가능한 채널 수, 채널간 간격 등에 의해 좌우되므로 레이저와 광필터의 스펙트럼 특성이 이 시스템에서 고려할 중요한 변수이다. 고밀도 파장분할 다중화 시스템은 성능이 우수한 조절 레이저와 필터를 필요로 한다. 이는 고속변조에서도 1nm의 수십분의 1보다 작은 선폭을 갖는 DFB 레이저 다이오드와 같은 레이저를 사용해야 한다. 이값이 좁은 선폭을 갖게 되면 시스템에서 채널이 밀집된 간격으로 다중화되므로 각 레이저의 파장이 할당된 대역내에서 안정되어야 한다. 따라서 DFB 레이저는 (온도에 따라 약 0.09 nm/C로 변화) 온도 안정화회로를 포함하며, 시스템의 전력 한계에 영향을 미치는 누화와 초과손실이 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 변수이다. 그러나, EDFA(Erbium-doped Fiber Amplifier)와 같은 광섬유 증폭기의 발전으로 다중화 소자에 의한 초과손실과 분리기 및 탭에 의한 손실을 보상할수 있게 함으로써 전력한계에 대한 제약이 해소되어 이에 관한 기술발전이 가속화되고 있다.

파장분할 다중화 시스템의 실험적 예로서는 BTRL(British Telecommunication Research Lab.)에서 개발한 시스템을 들 수 있다. BTRL시스템은 성형 커플러를 이용한 것으로 여러개의 파장을 각 전송기에 할당하고 수신기에서는 기계식 조절필터를 이용하여 원하는 신호를 선택하도록 한다. 또한, AT&T Bell Lab.에서는 1nm의 채널간격을 갖는 파장분할 다중화 시스템을 처음으로 구현하였다. 최근에 Bellcore에서 개발된 LAMB DANET 광가입자 네트워크는 파장분할 다중방식을 광가입자 네트워크에 적용한 예로서, 이 구조는 파장이 고정된 전송기와 수신기를 사용하고 있다. 각 전송기는 매우 좁은 스펙트럼 폭을 갖는 DFB 레이저를 이용하여 각 노드에 고유 파장을 할당하고, 각각의 파장을 통하여 신호를 전송한다. 성형 커플러는 전송된 개개의 파장을 다중화하여 각 노드로 전송하고, 각 노드는 파장 역다중화 과정을 통하여 원하는 채널신호를 선택할 수 있다. LAMB DANET 시스템은 18개의 파장을 다중화하여 2 Gbps의 전송율로 전송하였다. 또한 Bellcore에서 제안한 PPL 수동 광시스템은

LAMBANET과 유사한 이중스타 네트워크 구조로, 전화 네트워크에서 라우팅 신호를 제공하기 위해 설계되었으며, 각 가입자에게 고유의 파장을 할당하여 파장에 따라 가입자 신호를 선별할 수 있도록 하고, 회절격자 소자를 이용한 역다중화기를 통해 파장으로 라우팅을 하는 시스템이다. 따라서 해당 가입자만이 특정 파장에 실린 정보의 수신이 가능하므로 보안이 용이하다.

파장분할 다중방식을 사용함으로써 광대역 신호를 다중화하고 전송함에 있어 고속 전자소자의 요구조건에 유연성이 부가되어 경제성이 증가된다. 또한, 기존의 통신 네트워크와 호환성이 있고 다중화된 채널의 투과성과 독립성은 다양한 전송율과 데이터 형태를 갖는 채널을 동시에 수용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이는 DFB 레이저나 DBR 레이저와 같은 고속의 안정된 조절 레이저 그리고 파장 다중화기를 집적화하기 위한 기술을 요구한다.

광네트워크에서의 효율적인 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 설계하기 위하여 우선 라우팅/파장할당(RAW: Routing and Assignment of Wavelength) 문제를 풀기 위한 네트워크 모델을 설정하고, 이를 기초로 하여 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 설계한다. 먼저 광 네트워크의 멀티캐스팅을 위한 모델로 광 링크로 상호 연결된 광노드(optical node)들로 구성된 광 네트워크 모델(그림 1)을 고려한다. 각 링크는 실제 두 개의 단방향 링크의 쌍으로 구성되지만 그림1에서 보인 모델에서는 하나로 구성된 양방향 링크인 것으로 가정하였다. 이 네트워크 모델에서 각 연결에 대한 요구가 들어오면, 먼저 근원지 노드에서 목적지 노드까지 라우팅을 수행하고 결정된 각 경로에 대하여 특정 파장을 할당하는 것에 의해 연결이 설정된다. 이를 광 네트워크에서의 '라우팅과 파장할당(RAW)과정'이라고 한다. 일반적으로 이는 다음과 같은 두가지 과정으로 설명된다.

(a) 근원지노드에서 목적지 노드까지 라우팅 즉 경로를 배정한다.

(b) 다음으로 각 경로에 따라 파장을 할당한다.

그러므로 광네트워크에 대한 RAW과정은, 먼저 일반적인 네트워크 모델에 의해 멀티캐스트 라우팅을 수행하고 이를 기반으로 파장을 할당하도록 한다. 이러한 절차에 따라 멀티캐스트 라우팅 알고리즘 설계하였다. 광네트워크상에서의 가변적인 네트워크 환경에 동적으로 적응하면서 멀티미디어 데이터 트래픽의 QoS 요구조건을 만족시키는 알고리즘이 되도록 광 네트워크 모델에서 각 링크에 QoS

요구에 기초한 매트릭 및 비용을 할당하도록 하는 모델을 고려하여 설계하였다.

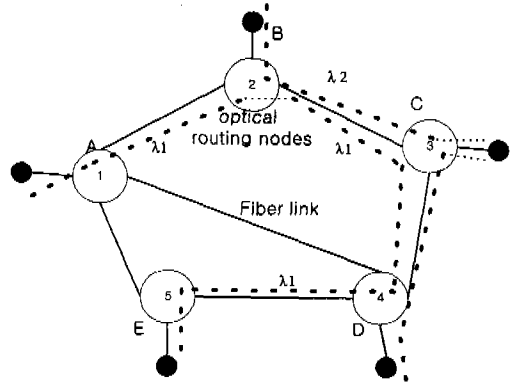


그림 1. 광 네트워크 모델

#### IV. 멀티캐스트 라우팅을 위한 네트워크 모델

앞에서 기술한 광네트워크는 노드와 링크를 갖는 가중그래프  $G=(V,E)$ 로 나타낼수있고, 이를 링크  $e$ 에 대한 두가지 함수  $C(e), D(e)$ 로 모델링한다. 이때,  $V$ 는 노드집합이며,  $E$ 는 링크집합을 나타내고,  $C(e)$ 는 양의 실수를 나타내는 비용함수이며,  $D(e)$ 는  $e$ 에 대한 양의 정수 지연시간 함수이다. 그래프상에서 근원지 노드를  $s$ , 그리고 멀티캐스트 그룹이라 불리는 멀티캐스트 목적지가  $V$ 에 포함된다고 정의한다. 접속요청을  $(D, \Delta)$ 으로 정의하자( $\Delta$ : 지연시간 허용 범위). 덧붙여 접속요청을 인식한 라우터가  $R, r=(D', E')$ 가  $G$ 의 종속그래프에 접속된다고 가정하자. 첫번째로 정적 멀티캐스트(static multicast)문제는 네트워크  $N$  과 접속요청  $r_i$ 가 주어졌을 때 접속요청에 대한 가능한 모든 경로중 최소값을 갖는 경로  $R(r_i)$ 를 구하는 문제로 생각할 수 있다.

그림2에서 지연시간 허용한계  $\Delta=7$ 을 만족시키면서 A에서 C로 향하는 경로는 'AB-BD-DC', 'AD-DC' 그리고 'AE-ED-DC' 모두 3개이고 각각의 경로에 대한 비용은 5,5,6이다. 처음 2개의 경로의 비용이 5로 동일하지만 'AD-DC'의 경로가 지연시간이 3가지 경로중 가장 작기 때문에 선택된다. 동적 멀티캐스트 문제에 대해 일련의 접속요청  $S=[r_1, r_2, \dots, r_n]$ 을 갖는 네트워크  $N$ 을 고려해 보자. 이때  $r_i$ 는 쌍  $(r_i, v, d_i)$ ,  $r_i \in C$ (connection identifier의 집합)으로 표현되며,  $v \in V$ ,  $d_i = \{join, leave\}$ 이다. 각각의 요청은 접속에서 침삭되

는 네트워크의 노드를 포함하고 있다.

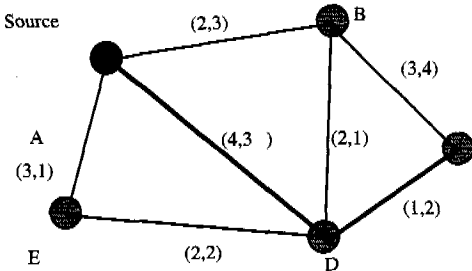


그림 2. 지연시간 제한된 최적경로 : link (cost , delay)

1. 동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘

동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 설계하기 위하여 목적지 노드를 식별할 수 있는 단 하나의 접속요청만이 라우팅 알고리즘에 할당된다고 가정한다. 본 알고리즘은 최소 Steiner트리 알고리즘에 제한된 지연시간을 고려하여 설계된다.

전술한 문제의 해를 찾기 위해 Winter와 Hwang이 제안한 Steiner 트리 근사 알고리즘과 Kompella에 의한 제한된 최소 스패닝 트리를 위한 알고리즘을 바탕으로, 최적의 트리를 구현하기 위해서 실험적 논증방식을 전개하였다. 지연시간이 제한된 멀티캐스트 트리를 구축하기 위해 근원지 노드는 네트워크 링크에 대한 충분한 정보를 알고 있다고 가정하였다. 이러한 전제는 전 전송(flooding) 혹은 다른 기술들을 바탕으로 하는 다양한 토폴로지 방송 알고리즘중 하나의 알고리즘을 사용함으로써 지원 받을 수 있다. 가능한 탐색최적화(search optimization)와 능동적 멀티캐스트 프로토콜 등을 기본으로 한다. 지금까지 알려진 멀티캐스트 트리를 구성하는 여러 가지 알고리즘들은 평균 최소 경로지연시간 혹은 멀티캐스트 트리의 비용과 같은 두가지를 최적화하는 방향으로 연구가 되어왔다. 평균 최소 경로지연시간이란 근원지에서 멀티캐스트 그룹내에 있는 목적지까지 최소경로지연시간의 평균값을 의미한다. 멀티캐스트 트리의 비용이란 멀티캐스트 트리의 링크상의 비용에 대한 총합을 의미한다. 이와같은 최소비용 트리를 'Steiner 트리'라고 한다. 이러한 Steiner 트리를 구하는 문제는 NP-complete으로 알려져 있으며, 이를 해결하기 위하여, 저비용 멀티캐스트 트리를 구하는 많은 알고리즘이 근사 Steiner 트리를 구하는 경험적인 방법에 기반을 두고 제안되어 왔다. 그러한 멀티캐스트 경로의 성능은 다음과 같은 두가지 요소에 의해서 결정된다. 즉 각 경

로에 따른 제한된 종점간 지연시간 그리고 네트워크 대역폭의 활용도(utilization)와 같은 멀티캐스트 트리의 최소 비용이 그것이다. 여기서 링크의 비용은 버퍼의 공간의 크기나 사용된 채널등으로 측정되며, 링크의 지연시간은 전파지연(propagation), 전송(transmission), 대기시간 지연등의 조합으로 표현되므로, 서로가 다른 함수로써 주어진다. 본 논문에서 제안된 방법은 이러한 NP-complete인 이러한 문제를 해결하기위해서 모든 목적지까지의 평균 경로지연을 최소화하는 것이 아니고, 각 경로지연의 제한하에서 최소비용트리를 구하는 방법을 사용하였다. 제안된 알고리즘을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- 가) 먼저 지연시간 제한조건을 만족하는 페그그래프로부터 지연시간이 제한된 최소 스패닝 트리를 구성한다. 이때 최대 혹은 최소 그룹크기는 네트워크의 링크상태에 따라 결정되며 요구사항에 따라 협상된다.
- 나) 초기조건을 만족시키는 지연시간이 제한된 최소 스패닝 트리의 존재여부를 결정한다. 만약 존재하지 않는다면, 협상에 의해 새로운 제한된 최소 스패닝 트리를 구성한다.
- 다) 단일 {join, leave}가 연속적으로 발생하는 경우, 비용을 최소화하기 위해 지연시간이 제한된 최적의 스패닝 트리를 찾는다. 한 노드가 멀티캐스트 그룹에 참여하거나 탈퇴할때 마다 현재 그룹크기는 하나씩 증가하거나 감소하고 단계(가)로 되돌아 간다.
- 라) 한 노드가 참여하는 사건이 발생했을 때, 우선순위 알고리즘은 현재의 그룹크기가 최대의 그룹크기를 초과하는지 검사한다. 이때, 노드는 우선순위의 대기행렬의 허가를 받을 때까지 대기해야 한다. 허가를 받지 못할 경우, 노드는 지연시간의 허용범위를 넘지 않는 한도 내에서 다른 노드로 통하는 가장 빠른 직접 노드를 찾는다. 만약 직접 통하는 경로가 존재하지 않을 때 근원지노드로부터 가장 짧은 경로를 선택한 후, 제한된 지연시간이 만족되는 동안 그룹노드와 경로가 접속되는 노드와 연결시킨다. 만약 지연시간의 제한을 만족시키지 못한다면 단계 (나)로 되돌아 간다.
- 마) 마지막 단계는 요구조건과 네트워크 상태를 고려하면서 효율적인 성능을 얻기 위해 그룹 크기에 관한 대기우선순위(priority queue)를 관리한다.

2. 그룹크기 관리 및 우선순위 큐

이미 언급된 바와 같이 멀티캐스팅 기법은 다중 목적지로 동시에 데이터를 전송하는 것이다. 그룹의 크기는 멀티캐스팅의 효율에 영향을 미치므로 다양한 환경변화에 따라 최상의 효율을 얻을 수 있는 크기의 제한을 두었다. 여기서 최대그룹크기를  $\sigma_{max}$  로, 최소그룹크기를  $\sigma_{min}$  로, 그리고 현재그룹크기를  $\sigma_c$  로 정의하자.  $\sigma_{max}$  값은 트리가 초기화 될 때 혹은 트리의 재구성될 때 결정된다. 현재 그룹크기는 동적사건들이 발생할 때 마다 가변적이며,  $\sigma_{max}$  값과 같아지면 이값에 제한을 받게 된다. 따라서, 이런 상황을 해결하기 위해 그림 2에 나타나 있는 것처럼 멀티캐스트 그룹에 참여하기 위해서 우선순위를 유지하는 대기우선순위를 사용하여 관리한다. 대기열의 크기( $\Sigma$ )는 ' $n(V) = \sigma_{max}$ '로 설정되며,  $n(V)$ 은 네트워크 크기를 나타낸다. 최소 스페닝 트리는 비록 한 노드가 그룹에서 탈퇴하더라도 유지된다. 이때 탈퇴한 노드가 트리상에 목적지 노드가 아닐때 중간노드로 변하게 되고, 종착지 노드라면 트리상에서 제거된다. 또한 그룹크기가  $\sigma_{min}$  값으로 감소할 때 트리가 재구성되도록 하였다.

V. 시뮬레이션 및 성능분석

1. 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 능동적 멀티캐스트 알고리즘을 C++언어를 이용하여 구현하고, Sun Ultra Sparc 1 워크스테이션상에서 시뮬레이션을 수행하였다. 가상 네트워크를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 분석하였다. 이를 위해 실제 네트워크의 특성을 충분히 고려한 임의의 그래프를 고려한다. 그래프의 각 노드들은 데카르트 좌표축상에서 랜덤하게 분포되었으며 각 노드의 (X,Y)축은 좌표 평면상에서 수 많은 노드를 생성시키는 (0,0) 과 ( $\Omega, \Omega$ ) 사이에서 선택되었다. 본 시뮬레이션에서  $\Omega$  는 10으로 설정하였고 따라서 최대거리는 100으로 설정하였다. 노드들은 랜덤 스페닝 트리에 의해 접속되고 링크는 가능한 링크(X,Y)를 검사하고  $0 \leq P < 1$  범위에 속한 랜덤숫자를 발생시킴으로서 선택된다. 이러한 값들이 실제밀도를 포함한 그래프를 생성한다고 확신하였다. 각각의 노드의 비용은 점대점 사이의 거리로 설정하였으므로 최대비용은 100이다. 링크의 지연시간은 [0, 100]내의 균일한

랜덤숫자로 설정되었다. 임의의 사건이 접속에서 한 노드가 침착여부를 결정하기 위해 다음과 같은 확률모델을 고려한다. 이때 확률함수는 다음식과 같다.

$$P_c(k) = \frac{\alpha(n-k)}{\alpha(n-k) + (1-\alpha)k}$$

여기서  $P_c$ 는 한 개의 노드가 첨가되는 사건에 대한 확률을 나타내며,  $k$ 는 현재제속에 속한 그룹내의 노드의 개수이다.  $n$ 은 네트워크 크기를 나타내고  $\alpha = k/n$  로 (0,1)사이의 파라미터 값이다.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

제한한 MRA의 성능을 분석하기 위해 노드수를 25, 30,50,70 ,100개로 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 시뮬레이션에 대해 MRA는  $P_c(k)=1/2$ 일때  $\alpha$ 는 고정된 값을 이용해 200번의 연속된 사건이 발생되도록 하였다. 또한 다른 알고리즘은 임의의 사건이 발생했을 때 적용시킬 수 없기 때문에 임의의 사건이 발생할 때마다 멀티캐스트 트리는 다른 알고리즘에서는 재구성된다고 가정하였다. 그림3은 그룹크기에 관한 함수로써 제안된 동적 멀티캐스트 알고리즘의 네트워크 비용에 대한 특성을 보여준다. 이 그림에서 노드의 개수는 100으로 설정하였고 평균 차수가 3인 경우(CASE1), 4인 경우(CASE2), 5인 경우(CASE3)로 분류하여 특성을 분석하였다. 예상한 바와 같이 그룹크기가 증가할수록 네트워크 비용 또한 증가함을 알 수 있다. 이 결과로 비용을 감소시키고 효과적인 네트워크 성능을 얻기 위해서는 그룹의 크기에 제한을 두어야 함을 알 수 있다. 예를 들어, Case 2인 경우에 50%미만의 네트워크 비용을 얻기 위해서는 그룹크기가 네트워크 크기의 30%를 넘지 않아야 함을 알 수 있다.

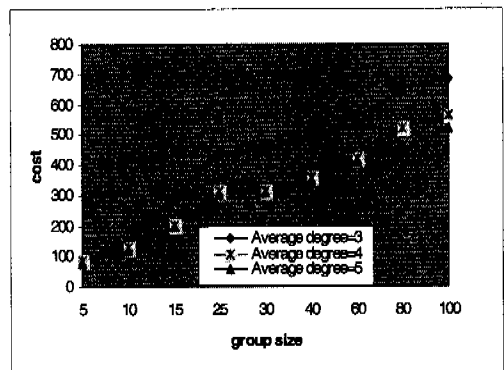


Fig 3. 그룹의 크기에 따른 동적 멀티캐스트 알고리즘의 네트워크 비용 비교 (노드수=100)

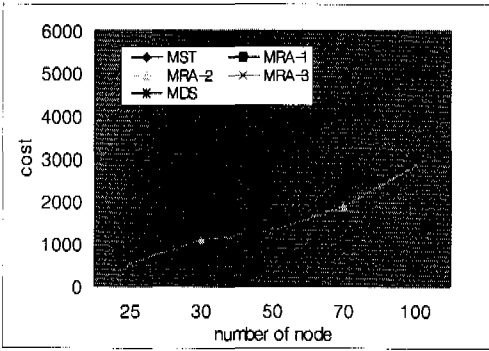


Fig 4. 그룹크기가 30%일때 멀티캐스트 알고리즘에 대한 네트워크 비용 비교(노드수=100)

그림 4는 그룹크기가 네트워크 크기의 30%일때 제안된 알고리즘에 대한 노드의 갯수와 네트워크 비용에 관한 특성을 보여주고 있다. '최소스패닝트리(MST:Minimum Spanning Tree)'와 '최소지연해(MDS:Minimum Delay Solution)'의 성능을 각각 비교한 후, 동적 멀티캐스트 알고리즘의 지연시간 제한은 3가지로 분류하여 시뮬레이션을 수행하였다. 즉 MST는 지연시간의 제한을 고려하지 않고 최적의 해를 제시해주는 향상된 최소 스패닝(Improved Minimum Spanning) 트리의 비용을 나타낸다. 반면에 MDS는 네트워크 비용을 고려하지 않고 'Dijkstra 알고리즘'을 이용한 '최소지연해'를 의미한다. MRA-1은 최소지연시간 해중에서 최대 지연시간과 동일한 지연시간 한계를 가진 능동적 해에 대한 비용을 의미하며, MRA-2는 최소지연시간 해법과 MST의 지연시간 해법의 중간값을 갖는 동적 해법의 비용을 나타낸다. MRA-3은 최소지연시간 해법과 MST의 지연시간 해법의 67% 값을 갖는 능동적 해에 대한 비용을 나타낸다. 시뮬레이션 결과로부터, 제안된 MRA-1, MRA-2, MRA-3에 대한 네트워크 비용이 MST와 MDS의 최대값에 대한 중간값 정도로 정해지며 최적의 비용 해인 MST의 방법과 거의 동일함을 알 수 있다. 이러한 사실은 제안한 알고리즘이 최적의 해결방법으로 접근하고 있다는 것을 나타내기 때문에 매우 의미 있는 특징이다. 지연시간 제한을 위한 적합한 값을 선택하기 위해 본 논문에서는 최적의 비용해법과 최소지연시간 해법 사이에서 가장 최적의 해법을 얻을 수 있도록 하였다.

그림 5는 지연시간 한계허용치( $\Delta$ )의 기능으로써 동적 멀티캐스트 라우팅 방법에 따른 네트워크 비용에 관한 특징을 보여주고 있다. 여기서 노드의 개수는 100, 평균찾수는 5, 그룹크기는 각각 5, 6, 7로

가정하였다. 지연시간 한계허용치가 증가함에 따라 최적의 비용 해법과 최소지연시간 해법사이에서 대체로 중간값을 취하며 최소지연시간 해법의 값으로부터 가장 최적의 비용으로 감소한다.

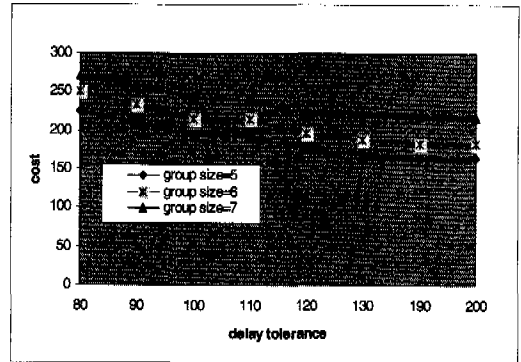


Fig 5. 지연시간의 허용도에 따른 MRA의 네트워크 비용에 대한 시뮬레이션 결과 (노드수=100, 평균찾수=5)

그림 6은 100개의 노드로 구성된 가상 네트워크 상에서 행해진 동적 멀티캐스트 알고리즘에 대한 시뮬레이션들의 결과를 나타낸다. 이 결과는 일련의 동적사건 발생에 따른 동적해에 대한 네트워크 비용을 보여주고 있다. 여기서 네트워크의 크기는 100이고 평균 찾수는 5이며, 초기 그룹크기는 13으로 가정하였다. 최대 그룹크기는 30으로 가정하였으며 이값은 네트워크 크기의 30%에 해당하는 값이다. 또한 지연시간의 허용 한도를 200, 220, 250으로 설정하였으며, 이 결과로 제안된 알고리즘은 지연시간의 제한조건을 만족시키면서 각각의 사건에 대해 허용범위 내에서 정확하게 동작한다는 사실을 알 수 있다.

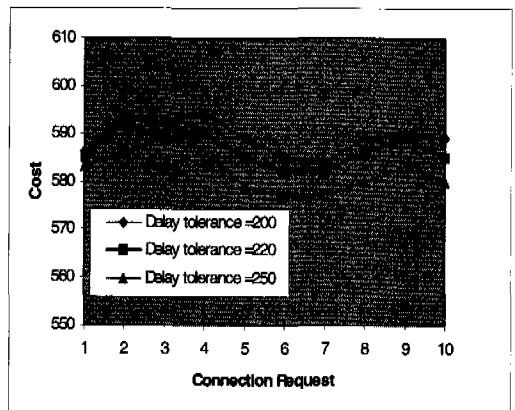


Fig 6. 연속적인 노드변화에 따른 시뮬레이션 결과(노드수=100, 평균찾수=5)



## VI. 결론

멀티캐스트 라우팅 기법은 멀티캐스트를 지원하고 광대역 통신서비스를 지원하는데 있어서 필수적이며 초고속 멀티미디어 통신에서 그 중요성이 점점 더해가고 있다. 본 논문에서는 광 네트워크 기반 멀티캐스팅 기법을 일반화하여 모델링하고, 지연시간 제한을 받는 Steiner 트리 알고리즘을 바탕으로 하여, 능동적 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제시하였다. 또한 이는 근원지 노드에서 목적지 노드까지 점대점 지연시간이 제한되도록 하였으며, 효율적인 동적그룹지원과 높은 품질의 데이터 분배 그리고 동적으로 변하는 사건들과 같은 네트워크 요구조건들을 고려하여 설계하였다.

제안된 알고리즘의 검증을 위하여 Sun Ultra Sparc 1 워크스테이션상에서 C++를 이용하여 알고리즘을 구현하고 임의로 생성된 가상 네트워크상에서 시뮬레이션을 실행하였다. 그 결과 지연시간의 제한을 고려한 최적값을 선택함으로써 근원노드를 바탕으로 하는 라우팅 알고리즘의 비용이 최소화됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 제안된 알고리즘은 멀티캐스트 그룹에서 하나의 노드를 침착시키는 가변적인 특성을 갖는 네트워크에 적용 가능성을 확인하였다. 향후 연동 네트워크 및 광대역 ATM네트워크상에서 가변적인 사건들에 대한 광범위한 네트워크 요구조건들을 지원할 수 있는 능동적 멀티캐스팅 기법에 대한 연구가 지속될 예정이다.

## References

[1] Bernard M. Waxman, "Routing of Multipoint connections", IEEE Journal on Selected Area on Communications, Vol.6, NO. 9, December 1988.

[2] Vachaspathi P. Kompella, J. C. Pasquale and G. C. Polyzos, "Multicast Routing for Multimedia Communication", IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 1, No. 3, June 1993.

[3] Qing Zhu, M. Parsa, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "A Source-Based Algorithm for Delay-Constrained Minimum Cost Multicasting", IEEE Proceeding, 1995.

[4] Mostafa H. Ammar, "Probabilistic Multicast: Generalizing the Multicast Paradigm to Improved Scalability", Proceeding of Infocom'94, 1994.

[5] Nachum Shacham, "An Algorithm for optimal multicast of multimedia streams", Proc. of Infocom'94, 1994.

[6] Shun Yan Cheung, "Efficient Quorumcast Routing Algorithm", Proc. of Infocom'94, 1994.

[7] Fred Bauer and Anujan Varma, "Distributed Algorithms for Multicast Path Setup in Data Networks", IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 4, No. 2, April 1996.

[8] Stephen Deering, Host Extension for IP Multicasting, RFC 1112, Aug. 1989.

[9] Stephen Deering et al, "The PIM Architecture for Wide-Area Multicast Routing", IEEE /ACM Transactions on Networking , Vol. 4, No.2 , April 1996.

[10] George N. Rouskas and Ilia Baldine, "Multicast Routing with End to End delay and Delay Variation Constraints", Proceeding of Infocom'95, 1995.

[11] Song C Liew, "A General Packet Replication Scheme for Multicasting in Interconnection Networks", Proc. of Infocom'95, 1995.

[12] Ciro A. Noronha Jr. Fouad A Tobagi, "Optimum routing of multicast Streams", 1994.

[13] Hans Ericsson, "Mbone: The Multicast Backbone", Commun -ications of the ACM Aug. 1994.

[14] A. Eleftherials, S. Pejhan, "Address Management and Connection Control for Multicast Communication Application", IEEE Proceeding, 1995.

[15] Ren Hung Hwang, "Adaptive Multicast Routing in Single Rate Loss Networks", Proc. of Infocom'95, 1995.

[16] R. Braudes, S. Zabele, Requirements for Multicast Protocols, RFC 1458, May 1993.

[17] Kuo-Chun Lee nd Victor O.K.Li, "Routing for All-Optical Networks Using Wavelengths Outside Erbium-Doped Fiber Amplifier Bandwidth", Proceeding of IEEE Infocom '94,

