

VoIP 서비스의 QoS 향상을 위한 AQDMR 알고리즘

정희원 서세영*, 최승권*, 신승수*, 원동유**, 조용환***

AQDMR Algorithm for Improved QoS of VoIP Services

Shi-Ying Xu*, Seung-Kwon Choi*, Seung-Soo Shin*, Dong-You Won**, Yong-Hwan Cho***

Regular Members

요약

본 논문은 단대단 지연을 감소시키고 낮은 비용으로 멀티캐스트 라우팅 트리를 생성할 수 있는 AQDMR 알고리즘을 제안한다. 현재의 라우터는 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위해 인접된 노드들의 링크 정보를 라우팅 테이블에 보관하고 있다. 멀티캐스트 트리를 생성할 때 AQDMR 알고리즘은 동적으로 지연이 가장 작고 비용이 낮은 트리를 구성한다.

기존의 멀티캐스트 알고리즘과 비교한 시뮬레이션 결과, AQDMR 알고리즘은 빠르고 동적으로 멀티캐스트 트리를 구성할 수 있음을 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a solution, called AQDMR, for generating delay-constrained low-cost multicast routing trees to reduce end-to-end delay. At the current router installation, we according the routing table and the information of link which neighboring node to guarantee QoS(Quality of Service). When we construct multicast tree, AQDMR algorithm dynamically adjusts its low-cost tree construction policy based on how far the destination node from the delay bound-our QoS requirement.

Through simulations and comparing to another multicast algorithms, we reach a conclusion is that AQDMR can simply and dynamically adjusts the construction of multicast tree in high-speed.

1. 서론

인터넷 사용의 폭발적 증가에 따라 활용 분야가 점점 확대되고 있는 요즘, 기존 음성통화의 디지털화 및 데이터망으로의 흡수를 가능케 하는 VoIP (Voice Over IP) 기술에 많은 관심이 몰리고 있다. VoIP 서비스는 기존 공중전화망에 비해 매우 저렴한 가격으로 이용할 수 있는 새로운 서비스로서 음성을 패킷화하여 전송하는 어플리케이션이다. 음성 신호는 특성상 손실보다는 지연에 더 민감하므로 지연을 감소하기 위하여 VoIP 서비스에서 실시간 QoS(Quality of Service), 즉 품질관리를 실행하는

것이 필요하다. 현재 인터넷에서의 영상회의, 인터넷 방송 등과 같은 실시간 인터넷 서비스는 고속의 데이터 전송과 멀티캐스트 및 QoS의 보장을 요구하므로, 기존의 유니캐스트 기반의 최선형 서비스 (Best Effort Service)로는 충분하지 못하다. 현재 인터넷에는 IP 멀티캐스트와 VoIP 서비스에서 실시간 QoS 보장을 위한 신호프로토콜로 RSVP(Resource Reservation Protocol)가 있다. RSVP는 수신자-송신자 경로상에 위치하는 모든 노드들이 특정 RTP (Real-Time Protocol) 연결이 요구하고 있는 QoS가 보장될 수 있을 경우에만 연결 설정을 허가하도록 함으로써 위에 언급된 문제점들을 해결할 수 있다.

* 충북대학교 컴퓨터공학과

** 충북대학교 전자계산학과

*** 충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부(yhcho@cbucc.chungbuk.ac.kr)

논문번호: K01006-0105, 접수일자: 2001년 1월 5일

그러나 RSVP를 실현하기 위해서는 RTP 연결상의 모든 노드들이 RSVP를 구현하고 있어야 한다. 이 방법을 현실화시키기 위해서는 망 자체를 변경하는 정도는 아니지만 그와 비슷한 수준의 투자가 이루어져야 한다. 즉, 전세계의 모든 라우터 또는 적어도 인터넷 전화 트래픽이 흐르는 경로상의 모든 라우터들을 RSVP를 지원하도록 업그레이드해야 하는 단점이 있다^[1]. 또한 QoS를 지원하기 위한 기존의 KPP 등 알고리즘이 트리의 생성속도가 늦어 라우팅에 지연이 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 개선된 라우팅 알고리즘인 AQDMR(Advanced QoS Dependent Multicast Routing) 알고리즘을 제안한다. 이 새로운 알고리즘에 따라서 각 수신자는 자기 자신의 속한 망의 상황을 고려하여 필요한 만큼의 자원을 예약할 수 있기 때문에 망 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있으며 음성패킷을 전송할 때 지연을 감소시킬 수 있다.

또한 이의 증명을 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, AQDMR 알고리즘이 트리의 생성비용과 실행시간을 감소시킬 수 있고 네트워크 상에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 효과적으로 지원할 수 있는 방법임을 증명하고자 하였다.

II. VoIP 서비스

2.1 VoIP 개요

VoIP 서비스는 인터넷을 통한 실시간 음성데이터를 인터넷 프로토콜 데이터 패킷으로 변화하여 일반 전화망에서의 전화 통화와 같이 음성 통화를 가능케 해주는 일련의 통신 서비스 기술이다. 일상 생활에서 가장 보편적인 통신수단으로 인식되는 전화는 회선 교환방식을 이용하여 일정회선을 독점 사용하므로 회선당 비용이 높으며 특히 시외, 국제 전화시 많은 비용을 부담해야만 했다. 그러나, VoIP는 패킷 전송 방식을 사용하므로 기존에 회사 전용망이나 국가 기간 망 등을 이용하여 실시간 음성 데이터를 패킷이라는 작은 단위로 나누어 전송하므로 회선의 독점을 막고 기존의 회선을 사용하므로 보다 저렴하게 음성통화를 할 수 있다. VoIP를 사용한 시외/국제 전화 및 FAX의 사용은 이미 요금 지불되고 있는 전용망을 사용함으로써 무료 통화를 가능하게 하고 전용망의 사용을 극대화하는 효과를 나타낸다^{[2][3]}. 또한, VoIP 서비스는 인터넷 폰을 대표하여 지칭하기도 한다.

2.1.1 VoIP 서비스의 특징

VoIP 서비스의 특징 아래와 같다.

- ① IP 네트워크 상에서의 음성 수용 기술
- ② 인터넷을 통한 효율적인 비즈니스 환경 지원
- ③ 기존 음성 서비스와 IP 네트워크의 통합
- ④ 통신비용 절감
- ⑤ 네트워크 리소스 관리의 용이성
- ⑥ 양질의 서비스 구현
- ⑦ LAN 을 통한 음성 전송
- ⑧ 데이터와 음성의 통합
- ⑨ 사설 인터넷의 경우 뛰어난 통제력 발휘
- ⑩ 트래픽이 많은 상황에서 음질 저하
- ⑪ IP 네트워크 상으로 음성을 전송하는 CTI 기술
- ⑫ 인터넷을 이용한 phone-to-phone 방식의 통신 서비스

2.1.2 VoIP Protocol Stack

표 1은 IP 네트워크 상에서 음성정보의 패킷이 전송되는 과정에서 OSI 표준 7계층을 거치면서 어떠한 프로토콜과 기능이 있는지를 보여 주고 있다.

표 1. VoIP와 OSI 계층

OSI표준7계층	제정 프로토콜	기능
애플리케이션	콜센터-TAPI	
프리젠테이션	G.723, G.711, G.729	압축
세션	H.323, SGCP, MGCP, Station Protocol	시그널링
트랜스포트	RTP/UDP, RTCP	운송체계
네트워크	IP	ToS and QoS
데이터링크	Ethernet	
물리	Coaxial, 광	

G.723.1 표준은 H.323 계열 표준의 일부이다. 아주 낮은 비트 속도로 멀티미디어 서비스의 음성이나 다른 오디오 신호 요소들을 압축하는 데 사용할 수 있는 압축기법이다.

G.711 표준은 64Kbps PCM 음성 코딩 기법을 규정한 것이다. G.711 방식으로 압축된 음성은 이미 공중전화망에서 또는 PBX를 통해 디지털 음성을 전달할 수 있는 포맷으로 되어 있다.

G.729 표준은 음성을 8Kbps 스트림으로 코딩할 수 있는 CELP 압축을 규정이다. 일반적으로 32Kbps ADPCM과 같은 수준의 음성 품질을 제공

한다.

SGCP(Single Gateway Control Protocol) 프로토콜은 Cisco와 Bell Communications Research가 기본적인 시그널링 요구조건을 수용하는 H.232 스택을 대체할 목적으로 공동개발 및 제안 작업에서 설정한 프로토콜 구조이다. IP 전화망이나 IP 전화망의 대형 세그먼트가 마치 외장형 네트워킹 장비와 인터페이스 되는 회선 카드처럼 분산 게이트웨이들과 상호 작용하는 중앙집중장치 통화 에이전트나 제어기를 갖춘 가상 스위치로 기능 할 수 있도록 해주는 기본적인 명령어 세트를 사용한다.

H.323 표준은 패킷 기반 네트워크에서 실시간 멀티미디어 통신과 화상회의를 구현하기 위한 ITU-T 표준이다. ISDN통신을 위한 오디오/비디오 코덱 권장 사양인 H.320을 완벽히 지원하면서, 전통적인 ISDN 장비는 물론 다양한 벤더의 서로 다른 장비간의 상호 연동을 지원하는 특징을 가지고있다.

UDP(User Datagram Protocol)프로토콜은 TCP/IP 전송 계층의 커넥션리스 형식 프로토콜이다. IP 상에서 동작하는 전송계층 프로토콜의 일종으로 데이터의 에러를 검출 할 수 있다.

RTP(Realtime Transfer Protocol)프로토콜은 전송 계층의 프로토콜 중 하나다. 재전송을 하지 않고 UDP와 동일하게 스트리밍 형식의 데이터 전송이 가능하다. 데이터 지연 시간에 대한 보장기능을 지원하는 것이 UDP와 차이점이다^[4].

2.2 VoIP 서비스의 QoS 제공

2.2.1 QoS 기술

고정된 지연과 손실이 없는 서비스를 보장하는 PSTN는 달리 IP기반의 네트워크 상에서는 지연, 손실 등으로 인해 음성품질 저하가 불가피하게 일어날 수 있다.

최종 사용자가 느끼는 품질에 가장 큰 영향을 주는 것은 다음의 두 가지 요소가 있다.

- 음성품질 : 음성 압축 재생과정과 네트워크의 정체에 의해 패킷손실 등으로 발생하는 음성왜곡 및 에코
- 지연 : 패킷화, 인코딩/디코딩, 큐잉 등으로 발생하는 음성의 끊김 현상

따라서 IP 네트워크에서는 동시에 접속할 수 있는 음성 서비스 세션을 제한할 필요가 있으며, 게이트웨이를 비롯한 네트워크 성능을 정해진 QoS를 만족시키기 위해 어떻게 최적화 할 것인가가 중요한 관건이 된다. 현재 G.114. 권고의 음성지연에 대한 가이

드라인에 의하면 150ms 이내의 단방향 전송지연이면 대부분의 응용 애플리케이션에 사용할 수 있다.

서비스 제공자는 서비스 운용비용을 절감하고 네트워크 활용도를 최대한으로 높이기 위해 가능한 많은 음성 서비스 세션을 제공해야 하나, 기존 IP망의 성능과 QoS 등을 고려하여 안정된 품질을 제공할 수 있는 최적의 QoS 적용방안을 결정해야 할 것이다.

QoS 기술의 발전도 VoIP 제품개발에 기여하고 있다. 하지만 아직까지는 QoS의 표준이 마련되어 있지 않기 때문에 전용 시스템의 우선 순위 기법이 중요한 역할을 수행한다.

주요 네트워크 업체의 라우터는 데이터 트래픽보다 음성 트래픽에 높은 우선 순위를 설정할 수 있는 우선 순위 큐잉, 트래픽 우선 순위화, 가중치 큐잉 등의 기능을 지원해 지연을 최소화하는 한편, 전화를 거는 사람이 공중 전화 네트워크 대신 기업의 데이터 네트워크에서 수신된 음성신호를 알아들을 수 있도록 전송지연을 보장해준다. 이들 업체는 음성 트래픽용의 첨단 우선 순위 서비스를 제공하는 IETE의 RSVP를 지원한다. RSVP 기술은 단방향으로만 자원 예약이 가능하며, 유니캐스트와 멀티캐스트 환경 모두를 지원하고, 자원예약 상태는 주기적인 갱신 메시지에 의해 유지되는 소프트 상태이다. 또한 수신자들의 동적인 참여와 탈퇴가 가능한 멀티캐스트 환경을 고려하여 수신자 주도의 자원 예약 방식을 채택하였으며, 송신자와 수신자 사이에 있는 RSVP 라우터가 이질적인 QoS를 요구하는 수신자들을 수용하도록 하였다. 따라서 각 수신자는 자기가 속한 망의 상황을 고려하여 필요한 만큼의 자원을 예약할 수 있기 때문에 망 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있으며, 보다 효율적으로 수신자들을 수용할 수 있다. 그림 1에 RSVP 신호 절차가 도시되어 있다. 송신자는 전송 데이터의 정보를 담은 PATH 메시지를 보내고, RSVP 라우터는 이 메시지에 추가적인 정보를 담아서 IP 멀티캐스트를 통하여 수신자들로 전달한다. PATH 메시지를 받은 수신자는 RESV 메시지를 사용하여 필요한 QoS를 요청한다. RSVP 라우터는 가용한 자원을 조사하여 자원이 충분하면, 수신자 쪽으로 자원을 예약하고 상태 정보를 저장하며 RESV 메시지를 송신자 쪽으로 전달한다. 이와 같은 방법으로 송신자까지 자원 예약이 이루어진다. 그러나 자원이 부족하면 이 사실은 수신자에게 알려지고, 중간에 경유한 RSVP 라우터에 저장되었던 상태정보는 이루어진다^[5].

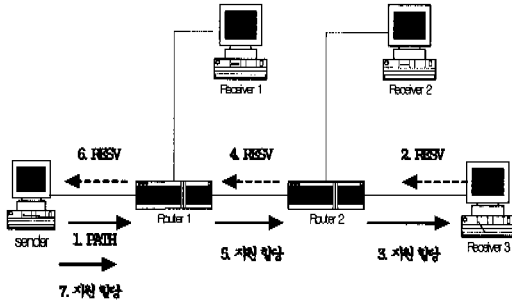


그림 1. RSVP 신호절차

2.2.2 QoS 제공절차

기존에 제안된 QoS구조들의 공통된 구성요소를 바탕으로 인터넷상에서 QoS 제공을 위한 절차를 살펴본다.

먼저 대역폭, 지연, 지터 등의 단대단 QoS 에 대한 보장을 요구하는 멀티미디어 어플리케이션의 QoS 요구사항을 네트워크에게 알려주기 위해 그 어플리케이션의 QoS 요구사항을 적절한 flow로 살펴야 한다. 사용자는 이 flow spec. 에 의해 요구되는 서비스의 질을 얻을 수 있다. flow spec. 으로 변환된 QoS 요구를 네트워크와 상의하는 과정은 전달 계층에서 제공되는 기능에 의해 이루어진다.

전달 계층에서 전달받은 어플리케이션의 QoS 요구사항을 바탕으로 적절한 출발지와 목적지간 경로를 결정하는 라우팅 프로토콜이 필요하다. IETF에서는 QoS 파라미터를 포함하는 트래픽에 대하여 이 QoS 파라미터에 부합하는 경로를 라우터에서 계산할 수 있도록 하는 QoS 라우팅 기술을 표준화시키는 작업을 진행중이며 기존의 link-state 라우팅 프로토콜이 QoS 라우팅을 위한 여러 가지 요구조건을 잘 만족하기 때문에 가장 널리 알려진 link-state 라우팅 프로토콜인 OSPF(Open Shortest Path First)의 확장으로 QoS 라우팅을 제안하였다.

이렇게 QoS 라우팅 프로토콜에 의해 설정된 경로의 각 링크에 전달된 QoS 요구사항들을 전해주고 필요한 자원을 미리 할당하고 유지하는 자원예약 프로토콜 (RSVP)이 네트워크 계층에 요구된다.

예약된 자원을 따라 패킷을 전송할 때 전송되는 패킷의 순서를 결정하기 위해 패킷 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 현재 네트워크에서 많이 쓰이는 스케줄링 알고리즘은 라우터 의 큐잉 알고리즘으로 써 그 종류에는 FIFO(First In First Out), Priority queuing, Class-based queuing, Waited fair queuing 등이 있다.

제한된 네트워크 자원으로는 모든 자원예약요구를 받아들일 수 없다. 기존 어플리케이션의 QoS를 보장할 수 있는 적정수준의 네트워크 부하를 유지하기 위해 새로운 자원예약요구를 받아들일 것인지 여부를 결정해야 하므로 admission control 알고리즘이 있어야 한다^{[2][6][7]}.

이상의 구성요소를 바탕으로 네트워크 상에서 QoS를 제공하기 위한 절차를 그림 2에 나타내었으며, VoIP 서비스 품질관리 QoS 의 등급 평가 표준은 표 2와 같다.

Application의 QoS 요구	Application Layer
↓	
Flow Specification으로 변환	Transport Layer
↓	
네트워크와 Negotiation	
↓	
QoS Routing	Network Layer
↓	
자원예약	
↓	
Data Transmission	Subnet
Packet Scheduling Admission Control	Transport Layer

그림 2. QoS 제공절차

표 2. VoIP 서비스 품질관리 QoS 의 등급 평가 표준

QoS의 등급	평가	지연
Very good	PSTN를 통해서 통화하는 품질과 같음	<150 ms
고	PSTN과 무선망을 통해서 통화하는 품질과 비슷함	<250 ms
중	cellular-phone를 통해서 통화한 품질과 비슷함	<350 ms
저	통화는 가능하나 손실율이 커서 통화품질은 낮음	>400 ms

III. QoS 향상을 위한 AQDMR 알고리즘

3.1 기존의 지연해결 방법

이러한 문제를 해결한 방법이 다음과 같다. 제일 확실한 방법은 ATM과 같은 기술을 적용하여 망을 고속화 또는 대역폭을 확장시키는 것이다. 이러한

해결책은 그리 쉽지는 않다. 현재 우리가 이용하고 있는 망에는 이미 엄청난 규모의 투자가 이루어져 있기 때문에 이를 쉽게 포기하지 못할 것이라는 것이다.

둘째는 네트워크에서 QoS를 실행해서 대역폭을 효과적으로 사용하는 방법이다. 현재 대부분의 사업자들이 공중 인터넷을 우회하여 전용 데이터망을 이용한 방법을 이용하고 있다. 당연히 이용요금은 공중 인터넷을 이용하는 경우에 비해 높아진다. 또한, 전용데이터 망을 이용한다고 하더라도 지연의 문제가 완전히 없어지지는 않고 조금 완화되는 정도이다. 이 밖에, 최근 제시되고 있는 또 다른 방법에는 RSVP를 이용하여 서비스 품질을 보장받을 수 있는 경우에만 연결을 허용하도록 하자는 것도 있다. 이것은 라우터에 자원 예약 기능을 추가하는 것으로, 전송품질을 보장받을 필요가 있는 응용들은 상대 응용과 연결하기 전에 라우터에 특정 대역폭을 요청하고, 라우터는 그것을 제공할 수 있으면 연결을 수락하고, 그렇지 않으면 연결을 거절하도록 하는 방법이다.

RSVP는 라우터 경로마다 대역폭을 할당받도록 고려된 프로토콜로써 음성 장비는 음성 호가 들어올 경우 음성 호에 대한 대역폭(각 음성 호당 24Kbps 씩 적용가능)를 확보하기 위해 목적지 장비까지 RSVP 요청을 시도하여 구간마다 음성을 위한 일정 대역폭을 확보할 수 있다.

인터넷을 통한 실시간 데이터 전송 서비스에 RTP/RTCP는 거의 표준처럼 이용되고 있는 실정이다. 그러나 RTP/RTCP는 TCP의 지연 문제를 피하기 위해 UDP를 전송 프로토콜로 이용하고 있기 때문에 패킷의 분실과 같은 전송 품질의 문제는 해결하지 못하고 있으며 또한 UDP를 쓴다고 해서 지연 문제가 완전히 해결되는 것은 아니다. 따라서 실시간 데이터 전송을 위한 채널에는 적시 전송과 패킷 분실 방지가 보장되어야 한다. 이를 위해 제시된 프로토콜 RSVP가 있다. RSVP는 수신자-송신자 경로 상에 위치하는 모든 노드들이 특정 RTP 연결이 요구하고 있는 QoS가 보장될 수 있을 경우에만 연결 설정을 허가하도록 함으로써 위에 언급된 문제점들을 해결할 수 있다.

그러나 RSVP를 실현하기 위해서는 RTP 연결상의 모든 노드들이 RSVP를 구현하고 있어야 한다. 이 방법을 현실화시키기 위해서는 망 자체를 바꾸는 정도는 아니지만 그와 비슷한 수준의 투자가 이루어져야 한다. 전세계의 모든 라우터 또는 적어도

인터넷 전화 트래픽이 흐르는 경로상의 모든 라우터들을 RSVP를 지원하도록 업그레이드해야 하는 단점이 있다^[26].

3.2 QoS 향상을 위한 AQDMR 알고리즘

3.2.1 AQDMR 개요

AQDMR 알고리즘은 Shaikh 과 Shin의 DDMC 알고리즘을 바탕으로 연구되었다. DDMC 알고리즘의 아이디어는 유명한 Prim의 Minimum-spanning 트리와 Dijkstra의 Shortest-path 트리를 바탕으로 연구되었다. 두 알고리즘은 기본적으로 동일한 방법을 이용했다. Prim의 알고리즘에 그룹(tree)안에 속한 모두 노드들을 통해서 Minimum-cost 트리를 구성한다. 즉, 그룹(tree)안에 속한 어떤 노드에서 나온 Minimum-cost edge가 존재한 그룹에게 추가되고 Dijkstra의 알고리즘에는 항상 출발지 노드에서 나온 Minimum-cost edge가 존재한 그룹에게 추가되었다. 두 알고리즘의 차이점은 Path를 선택할 때 비용 함수가 알고리즘에게 선택된 것이다. Prim의 알고리즘 중 트리에 속하지 않고 가입을 신청한 노드의 비용은 Minimum-cost edge에서 단독적인 단위 비용을 나타낸다. Dijkstra의 알고리즘에서 이 비용은 출발지 노드로부터 가입을 신청하는 노드까지 모두 최소 비용이다. DDMC 알고리즘에서 새로운 노드의 비용 정의는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} & \nu \in T ; \quad \mu \in T \\ \text{Cost}(\mu) &= I_D(\mu)\text{Cost}(\mu) + \text{Cost}(\mu, \nu) \\ I_D(\mu) &: V \mapsto (0, 1) \\ I_D(\mu) &= 0 ; \quad \mu \in R \\ I_D(\mu) &= 1 ; \quad \mu \notin R \\ \mu \nu &: \text{Node} ; \quad T : \text{Tree} ; \quad R : \text{목적지} \end{aligned}$$

DDMC 알고리즘은 목적지가 새로운 출발지 노드가 된다. 이는 새로운 노드에서 목적지 노드까지의 경로가 최소 비용을 가지게 되므로 목적지 노드까지의 경로에서 우선이 되며 트리에 더해지게 된다. 목적지 노드까지의 비용은 감소시켜야 되므로 DDMC 알고리즘은 낮은 비용의 트리 상의 모든 목적지 노드로 멀티캐스트가 가능하다^[8].

DDMC 알고리즘은 트리에 참여하고자 하는 모든 목적지를 대해서 출발지 노드처럼 다루기 때문에 최종적으로 구성된 트리는 long-branch를 가지는 체인처럼 보인다. 이는 DDMC 알고리즘이 효율적으로 저비용 멀티캐스트 트리를 생성할 수 있도록 해

준다. 어쨌든 몇몇 목적지 노드는 지연 한계(Delay bound)를 위반하게 된다. 이는 그림 3의 예를 통해 알 수 있다. 설명을 쉽게 하기 위해 링크들은 대칭이라 가정한다.

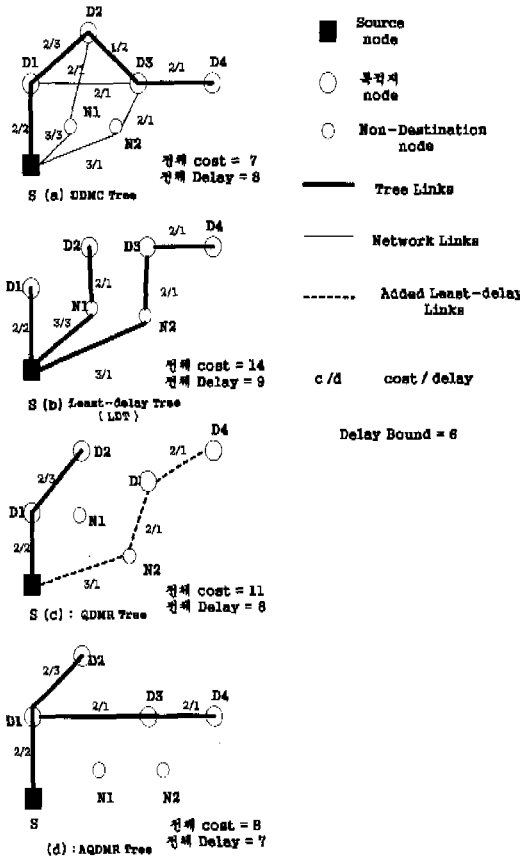


그림 3. DDMC, LDT, QDMR, AQDMR 알고리즘을 이용해서 생성된 Tree의 비교

그림 3(a)는 DDMC 알고리즘을 통해 생성된 트리이다. 이 트리는 출발지(S)와 목적지(D1, D2, D3, D4)를 통해서 한 "체인"으로 구성되었다. 각 단계에서 경로의 중점은 항상 목적지 노드이기 때문에 이 트리는 최소 비용을 가지고 있다. 여기에서 두 트리를 비교해 보면, 그림 3(a)에 나타난 트리의 비용은 7이고 그림 3(b)에 표시된 LDT(Least-delay Path Tree)의 비용은 14이다. DDMC 알고리즘을 통해서 구성된 트리에서 D3와 D4의 지연은 7과 8이며 이 두 노드들은 모두 QoS에 요구된 지연 한계(delay-bound ≤ 6)를 위반했다. 지연 한계 조건을 만족시키기 위한 방법으로 그림 3(c)에 표시된 것과 같이 QDMR 알고리즘을 이용하여 D3와 D4가

트리에 가입하는 것이다.

이러한 트리를 QDMR 트리라 한다. 여기서 생성된 트리의 비용은 11이 된다. 이것은 최소 비용이 아니므로 효율적으로 지연 한계내의 최소비용 트리를 구성하기 위한 우리는 원래의 DDMC 알고리즘을 QoS에 요구된 출발지부터 목적지까지의 지연 한계에 의해서 Tree의 구조를 조정할 수 있도록 변경한다. 요구된 지연 한계를 많이 위반한 목적지는 새롭게 추가되는 노드의 부모로 최우선으로 선택되도록 한다. 다시 말하면, QoS가 요구된 지연 한계를 아직도 많이 위반하면, QDMR 알고리즘은 DDMC처럼 동작한다. 즉, 이는 목적지 노드의 체인에 연결하는 가능한 긴 경로의 덜 복잡한 트리를 생성할 수 있다. 이것은 트리의 비용을 최소화하기 위해 필요하다. 어쨌든 지연 한계가 위반되려고 하면, QDMR 알고리즘은 목적지 노드에 더 낮은 우선권을 주며, 이는 있을지도 모르는 지연 한계의 위반을 감소시킬 수 있는 복잡한 트리를 생성한다. QDMR 알고리즘의 특징은 트리에 새로운 노드가 추가할 때 새로운 브랜치를 재구성해야 한다. 이는 출발지와 목적지 노드간의 다수의 경로를 미리 계산하고 지연 한계를 위반하지 않으면서 최소비용을 가지는 경로를 선택해야 하므로 높은 계산비용이 요구되는 다른 알고리즘들과 매우 상반되는 특징이다.

제안한 AQDMR 과 QDMR 알고리즘의 차이점은 다음과 같이 2가지로 정리할 수 있다.

첫째는 AQDMR 알고리즘을 통해서 멀티캐스트 트리를 구성할 경우 동적으로 트리의 구조를 조절할 수 있고 처리방법이 간단하다. 반면 QDMR 알고리즘을 사용할 경우 트리를 구성할 때 이런 편리점이 없다.

AQDMR 알고리즘을 통해서 멀티캐스트의 구조를 조절하는 경우는 다음과 같다. 새로운 노드를 트리에 가입 신청할 때 그룹 관리자에게 가입신청 패킷(Join_Request)을 전송한다. 전송할 때 자신의 ID정보 즉, IP주소, Port_Number 및 TTL(Time To Live) 정보와 함께 전송한다. 그룹 관리자는 가입신청 패킷을 수신 후 만약 가입신청을 동의하면 가입신청자에게 가입신청허가 패킷(Join_Accept)을 전송한다. 전송할 때 자신의 정보와 TTL정보를 포함하며, 관리자의 부모노드의 정보 즉, ID주소와 TTL등을 신청자에게 제공하여 새로운 신청노드가 멀티캐스트 트리에 참여할 수 있다. 이러한 경우 새로운 노드가 멀티캐스트 트리에 실시간으로 가입 할 수

있는 장점이 있다.

QDMR 알고리즘을 통해서 멀티캐스트 트리의 구조를 조절하는 경우는 다음과 같다. 멀티캐스트 트리를 생성하기 전에 미리 출발지 노드와 목적지 노드를 지정한 후 멀티캐스트 트리를 생성한다. 만약 새로운 노드가 멀티캐스트 트리에 가입신청을 하면 멀티캐스트 트리를 다시 재구성해야 하며 처리과정도 복잡하다^{[9][10]}.

둘째는 AQDMR 알고리즘을 통해서 멀티캐스트 트리를 생성할 때 망 자원을 절약할 수 있다. 즉, AQDMR 알고리즘을 통해서 멀티캐스트 트리를 생성할 때 송신자와 각 지역그룹대표자가 모든 대표 노드들에 대한 정보를 관리하는데 요구되는 많은 양의 정보 처리와 복잡성을 감소시킨다.

3.2.2 Tree 의 생성

출발지로부터 트리상의 각 노드로의 지연은 쉽게 유지되기 때문에 AQDMR 알고리즘은 간단한 지시 함수 $I_D(\mu)$ 로 대체하여 지연에 의존하는 트리 객체를 얻는다. $I_D(\mu): V \mapsto \{0, 1\}$ (DDMC에 이용)과 새로운 함수 즉 $I_D(\mu) = \text{Delay}(\mu)$

새로운 관계함수는 아래와 같다

$$I_D(\mu) = \text{Delay}(\mu) / \text{delay bound} \quad \text{if } \mu \in R$$

$$I_D(\mu) = 1 \quad \text{if } \mu \notin R$$

AQDMR 알고리즘은 이 새로운 관계함수를 이용해서 멀티캐스트 트리 그림 3(d)를 구성할 때 D2는 출발지 노드로부터 떨어져 D1보다 높은 비용을 가지게되므로 D2의 우선권은 D1 보다 낮다. 다른 한편으로 D2는 목적지 노드이기 때문에 N1이나 N2 노드보다 약간 더 높은 우선권을 가진다. D3는 D2를 거치는 것보다 D1을 거치는 것이 더 낮은 비용을 가지기 때문에 최종적으로 구성된 트리는 노드 D1, D3, D4의 브랜치를 가지게 된다. 이 트리는 지연 한계를 만족하며 비용은 그림 3(c)의 QDMR 트리의 비용보다 낮은 8이다.

다음은 AQDMR 알고리즘을 이용한 트리의 생성 과정을 나타내었다.

AQDMR ($G(V, E), s, R, \Delta, D, C$)

0. /* Tree 의 구성 */

1. Call Dijkstra's 알고리즘 DJK(G, s, R, D) to compute the

Least-delay Tree to find out the Lowest possible delay-bound $\Delta_{min} \leftarrow \min_{r \in R} \{ \text{Delay}[r] \}$

2. if $\Delta_{min} > \Delta$
3. Return Failed /* 실행할 수 있는 tree 가 없다 */
4. $\text{Cost}(s) \leftarrow 0$; $\text{Delay}(s) \leftarrow 0$
 $u \neq s$ 때 $\text{Cost}(u) \leftarrow \infty$; $\text{Delay}(u) \leftarrow \infty$
5. $T \leftarrow \emptyset, Q \leftarrow V$
6. while $Q \neq \emptyset$ and $R-T \neq \emptyset$ do
7. $u \leftarrow \text{Min}(Q)$ /* next node를 선택한다 */
8. $T \leftarrow T \cup \{u\}$
9. for each top $v \in \text{Adj}[u]$ /* for each 인접된 node */
10. if $\text{Delay}[u] + D(u, v) < \Delta$ and $v \notin T$
11. if $\text{Cost}[v] > I_D(u)\text{Cost}(u) + \text{Cost}(u, v)$
 /* node-v는 Tree에 속한 하지 않고 tree에 신청하고자한 node */
12. $\text{Cost}[v] \leftarrow I_D(u)\text{Cost}(u) + \text{Cost}(u, v)$
13. 부모 node $\leftarrow u$
 /* u 는 부모 node가 된다 */

3.2.3 동적 트리 유지 및 관리

트리에 가입할 때 기본 연산은 아래와 같다.

- **JoinRequest**(Group-id, NewMember-id, TTL): 자신의 id정보(IP Address, Port No.)와 TTL 정보를 이용하여 그룹에 참여
- **JoinAccept**(Group-id, LGroupHeader-id, Receiver-id, TTL, (Parent-id, TTL_p)): 지역 그룹 대표자(LGroupHeader) 정보와 TTL 정보를 포함하며, 대표자의 부모 노드의 정보(Parent-id, TTL_p) 등을 제공하여 지역 Tree에 참여

새로운 노드가 그룹에 참여하고자 할 때는 자신의 지역 그룹 대표자를 찾 기 위하여 TTL 값을 1 부터 증가시키며 참여 요청 메시지를 멀티캐스트 한다. 이 때 그룹 대표자는 좀 더 멀리 떨어져 있고 이미 그룹에 참여한 일반 수신자가 해당 메시지를 수신했다면 해당 영역의 지역 그룹 대표자 정보(IP 주소, TTL_p)를 송신한다. 새로운 노드는 송신받은 지역그룹 대표 자 정보를 이용해 곧바로 유니캐스트 참여 요청을 한다. 만일 요청에 대해 여러 개의 지역 그룹 대표자에 대한 정보를 수신한다면 TTL 값이 가장 작은 대표자를 선택한다.

다음은 이 과정을 알고리즘으로 나타내었다.

- A member want to join a active group
- TTL= 1
- while TTL <= 255 or receive JoinAccept
- multicast JoinRequest

```

if a LGH receives it
  if  $N(LG) < M_{thresh}$  //  $N(LG)$  :지역그룹 수신자수
    send JoinAccept
if a Receiver receives it
  send  $LGH_{id}, TTL_{lg}$  // LGH :지역그룹대표자
    
```

일반 수신자는 자신의 지역 그룹 대표자에 연결하면 자신의 대표자 이 외에 그의 부모 노드에 대한 정보(IP주소, TTL_p)를 저장한다. TTL_p 는 지역 대표자와 부모 대표자와의 TTL 값을 나타낸다.

이 정보를 이용하여 자신의 대표자가 오류로 인하여 응답 불가 상태가 되었을 경우 새로운 대표자를 신속하게 선정할 수 있다. 아래의 알고리즘은 이 과정을 나타낸 것이다. 일단 자신의 대표자가 예고 없이 그룹에서 이탈한 것을 감지하면 수신자는 새로운 대표자를 찾기 위해 TTL값을 다시 1부터 ERS를 실행하는 것이 아니고 부모 노드에 참여 요청을 하여 세션의 진행을 유지한다. 이 후 수신한 TTL_p 값을 이용하여 최소 TTL 값을 갖는 새로운 대표자를 선정한다.

$$TTL_{lg} = TTL_{lg} + TTL_p / 2$$

TTL_{lg} : 이전 지역 그룹 대표자와의 TTL 정보

이것은 초기 트리 형성 과정에서 자신과 최단 거리의 대표자를 선택하였기 때문에 네트워크 상황이 변화했을 지라도 일단 TTL_{lg} 범위보다 작은 범위에서 지역 그룹 대표자가 존재할 가능성이 적기 때문이다.

다음은 그룹 수신자가 LGH fail 감지 후 새로운 LGH 설정 과정을 보여준다.

```

A receiver detect failure of LGH
Report  $LGH_{fail}$  into its local group
send JoinRequest to parent_of_LGH
while  $TTL < TTL_p$ 
   $TTL = TTL_{lg} + TTL_p / 2$ 
  // find if there is closer LGH than parent_of_LGH
  multicast JoinRequest with new TTL
  if receive any JoinAccept
    make new connection with the new LGH
    
```

그룹이 동적으로 변화하는 과정에서 하나의 지역 그룹 대표자에게 소수의 수신자만이 연결되는 형태가 반복되어 깊이가 깊어지는 트리가 형성될 위험이 있다. 이 경우 트리의 깊이에 따른 부하가 증가하는 특성 때문에 비효율적인 그룹 관리가 될 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 지정된 임계값 M_{thresh}

를 이용하여 간단한 그룹 재조정을 동적으로 수행할 수 있도록 한다. 하나의 지역 그룹 대표자는 자신의 M_{thresh} 값을 자신의 부모 노드에게 주기적으로 전송하고 초기 트리 형성 과정을 벗어나면 부모노드는 M_{thresh}/n 값 이하인 지역그룹을 통합한다. 다음은 불균형 Tree를 만들 여지가 있는 지역 노드간의 병합 과정을 나타낸 알고리즘이다.

Local Group Tree Merge

```

if  $N(LG_i) < M_{thresh}/n$  and  $N(LG_j) < M_{thresh}/n$  //  $i \neq j$ ,
  if tree level of  $i$  and  $j$  are the same
     $LGH_i$  becomes new LGH
    //  $LGH_i$  : 왼쪽 지역그룹대표자
    merge  $LG_i$  and  $LG_j$ 
    //  $LG_j$  의 모든 노드  $LGH_i$  로 Join
  if  $i$  is a parent of  $j$ 
     $LGH_i$  becomes new LGH
    merge  $LG_i$  and  $LG_j$ 
    //  $LG_j$  의 모든 노드  $LGH_i$  로 Join
    
```

이렇게 국소적으로 그룹을 통합하는 것을 궁극적으로는 전체 트리의 깊이가 깊어지는 것을 감소시킬 수 있게 되어 불균형 트리로 인해 발생하는 오버헤드를 줄일 수 있다.

IV. 실험 및 결과 분석

4.1 실험환경

본 논문에서 제안한 AQDMR 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 이미 제안된 KPP 알고리즘^[11], CKMB 알고리즘^[12], CAO 알고리즘^[13]의 성능과 비교하였다. 성능비교는 생성된 멀티캐스트 라우팅의 품질에 대한 트리 생성 비용 및 실행시간과 네트워크 사이즈의 관계(group size=10, delay bound=30ms), 트리 생성 비용 및 실행시간과 그룹 사이즈의 관계(network size=50, delay bound=30ms), 트리 생성 비용 및 실행시간과 지연 한계의 관계(network size=50, group size=15) 등 여러 방면에서 성능을 분석하였으며 각각의 알고리즘과 제안한 AQDMR 알고리즘을 비교하여 그래프로 나타내었다.

실험은 Intel Pentium III 500 PC에서 MS Visual C++ 언어를 이용하여 수행하였으며, 서비스의 QoS를 향상시키기 위한 AQDMR 알고리즘을 사용하기 위하여 소켓 프로그램을 응용한 클라이언트 서버 프로그램을 작성하였다. 서버 프로그램에서 관계함수를 통한 트리의 생성, 동적 트리 유지 및 관리에

대한 서비스 품질의 개선상황을 분석하였다.

- KPP 알고리즘은 지연 한계 경로를 찾을 때 지연 한계와 링크 지연 모두 integer 값을 사용한다. 계산할 때 근사 값을 사용하기 때문에 KPP 알고리즘의 정밀도가 영향을 받았다. 결과 지연 한계 경로를 찾을 때 어떤 때는 조건을 만족하는 경로가 존재하더라도 실패한다. KPP 알고리즘의 time complexity 는 $O(|V|^3)$ 이다^[11].
- CKMB 알고리즘은 KPP 알고리즘과 비슷하다. 하지만 지연 한계 경로를 찾을 때 지연 한계와 링크 지연 모두 real 값을 사용한다. 이 때문에 생성된 트리는 높은 비용을 가지고 있다. CKMB 알고리즘의 time complexity는 $O(|R| * |V|^2)$ 이다^[12].
- CAO 알고리즘은 새로운 브랜치가 트리에 추가할 때 저비용 유니캐스트 경로를 합병처리 과정을 통해서 새로운 목적지까지 찾아가는 알고리즘이다. CAO 알고리즘의 time complexity는 $O(T(A) * |R|)$ 이다.^[13]

4.2 결과분석

첫 번째 실험은 group size = 10, delay bound = 30 ms인 경우를 분석한 것이다. 그림 4와 그림 5는 트리생성 비용 및 실행시간 과 변화하는 네트워크 사이즈를 비교하여 나타나는 결과이다. 네트워크 사이즈가 20 노드부터 100 노드까지 증가 할 때 CAO 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용이 제일 작다. 나머지는 알고리즘들을 통해서 생성된 트리의 비용은 4% 이내로 거의 비슷하다. 트리의 비용은 CKMB 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용 < AQDMR 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용 < KPP 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용의 순서이며 그림 4는 이를 나타낸다.

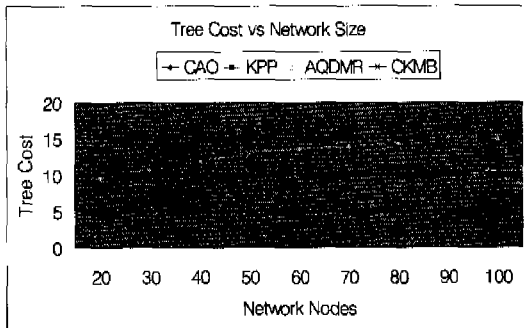


그림 4. Tree Cost vs Network Size (Group size=10,delay bound=30ms)

그림 5에서 보이는 결과는 다음과 같다. AQDMR 알고리즘, CKMB 알고리즘, CAO 알고리즘, KPP 알고리즘이 모두 다 이상적인 알고리즘이지만 실행속도가 제일 빠른 알고리즘은 AQDMR 알고리즘이다. 그 다음에는 CKMB 알고리즘< CAO 알고리즘<KPP 알고리즘의 순서로 실행속도가 증가한다.

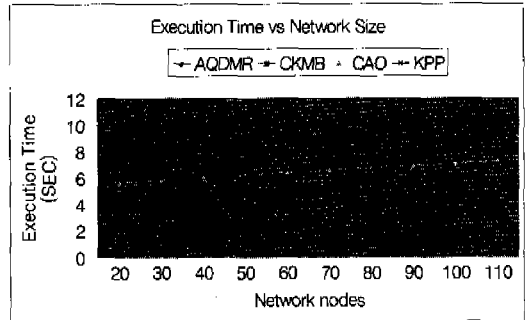


그림 5. 실행시간 vs Network Size (group size=10, delay bound=30ms)

두 번째 실험은 network size = 50, delay bound = 30 ms로 가정하였다. 그림 6과 그림 7에서는 트리 생성 비용 및 실행시간 과 변화한 그룹 사이즈를 비교한 결과이다. 그림 6을 보면 CAO 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용은 그룹 사이즈의 증가량에 따라서 트리 생성 비용이 천천히 증가하며 트리 생성 비용이 제일 낮다. 다른 알고리즘을 통해서 멀티캐스트 트리를 생성 할 때 트리 생성 비용의 증가량은 거의 비슷하다. AQDMR 알고리즘을 통해서 트리를 생성 할 때 나타나는 트리 생성 비용은 KPP 알고리즘과 CKMB 알고리즘을 통한 경우 보다 3% 정도 높다.

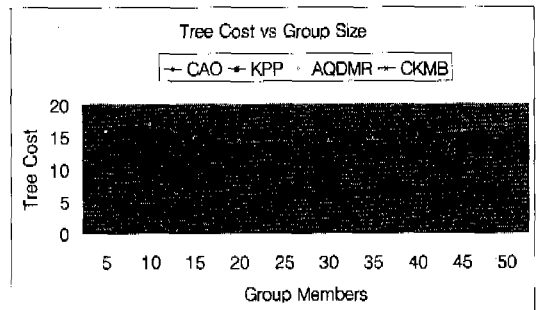


그림 6. Tree Cost vs Group Size (Network Size=50,delay bound=30ms)

그림 7은 그룹 사이즈가 증가할 때 CAO 알고리

증과 CKMB 알고리즘의 실행시간은 그룹 사이즈의 증가량에 따라서 증가함을 보인다. 이에 반해, AQDMR 알고리즘과 KPP 알고리즘의 실행시간은 그룹 사이즈의 증가량에 따른 실행속도의 차이가 거의 없다. 따라서 대규모 네트워크와 멀티캐스트 그룹에 대해서는 AQDMR 알고리즘이 매우 유용하며 이를 통해서 매우 빠른 속도로 낮은 비용의 트리를 생성할 수 있다.

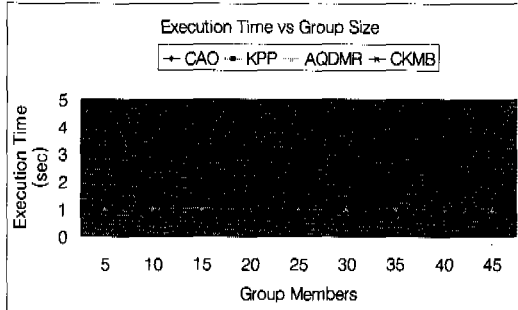


그림 7. 실행시간 vs Group Size (Network Size=50, delay bound=30ms)

그림 8과 그림 9의 세 번째 실험 결과는 network size = 50, group size = 15 로 가정하였을 때 트리 생성 비용 및 실행시간 과 지연 한계를 변화시킨 결과를 보이고 있다. 그림 8에서 보는 바와 같이 CKMB 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용은 지연 한계의 변화에 대해 제일 민감하다. 지연 한계의 변화가 그다지 크지 않으면 CKMB 알고리즘과 AQDMR 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용은 KPP 알고리즘을 통해서 생성된 트리의 비용보다 작다.

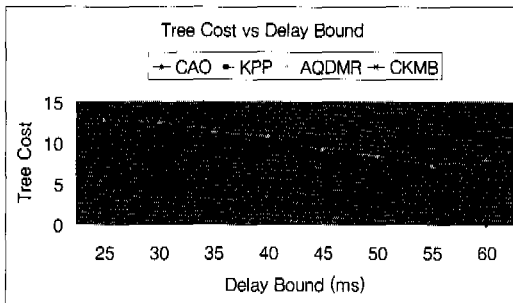


그림 8. Tree Cost vs Delay bound (Network Size=50, Group Size=15)

그림 9는 모든 알고리즘들의 실행 시간이 지연 한계의 영향을 거의 받지 않음을 보이고 있다.

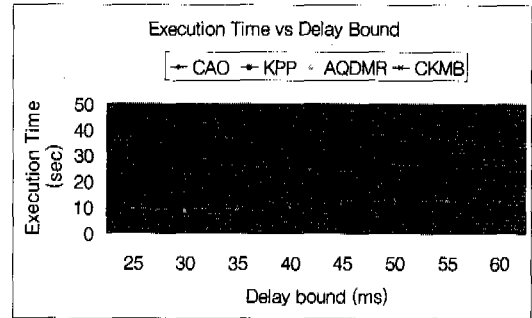


그림 9. 실행시간 vs Delay bound (Network Size=50, Group Size=15)

V. 결론

VoIP 서비스 기존 IP 망을 대체하는 저렴한 서비스로서 화상 전화, 화상회의 시스템 등의 멀티미디어 시스템과 연동하여 사용할 수 있는 장점을 가진다. 그러나 아직 발전중인 서비스로 모든 부가서비스를 지원하지 못하고 있으며 품질 제한의 약점을 완전히 극복하지 못하고 있다.

본 논문에서는 VoIP 서비스를 제공하는데 중요한 요소기술중 하나인 지연을 해결하기 위한 AQDMR 알고리즘을 제안하였다. AQDMR 알고리즘은 기존에 Prim의 Minimum-Spanning 트리와 Dijkstra의 Shortest-Path 트리를 바탕으로 연구되었다. 두 알고리즘은 기본적으로 동일한 방법을 이용한다. Prim의 알고리즘은 그룹에 속한 모두 노드들을 통해서 Minimum-Cost 트리를 구성한다. 즉, 그룹에 속한 어떤 노드에서 나온 Minimum-Cost edge가 존재한 그룹에게 추가되고 Dijkstra의 알고리즘에는 항상 출발지 노드에서 나온 Minimum-cost edge가 존재하는 그룹에게 추가된다. 두 알고리즘의 차이점은 경로를 선택할 때 비용 함수가 알고리즘에게 선택된 것이다. Prim의 알고리즘 중 트리에 속하지 않고 가입을 신청한 노드의 비용은 Minimum-cost edge에서 단독적인 단위 비용을 나타낸다. Dijkstra의 알고리즘에서 이 비용은 출발지 노드로부터 가입을 신청하는 노드까지 모두 최소 비용이다.

본 논문은 VoIP 서비스에서 지연을 해결하기 위한 효과적인 트리를 구축 및 멀티캐스트 라우팅 방법을 제안했다. 현재 대부분의 트리 기반 프로토콜에서 사용하는 방법은 간단하면서도 견고하게 그룹 수신자를 연결시켜주는 장점이 있지만 그룹 생성 및 참여 과정에서 광역에 산재한 그룹의 경우 메시지 오버헤드가 커지는 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 새로운 노드가 그룹에 참여할 때 지역 대표자 뿐 아니라 지역 그룹 내에서 새로운 노드와 가장 가까운 일반 수신자들도 지역 대표자에 대한 정보를 전송해 줌으로써 그룹 내의 메시지 오버헤드를 줄일 수 있도록 하였다. 또한, 지역 그룹 대표자의 연결 시 불균형 트리를 최대한 억제하기 위하여 간단한 트리 재조정 방법을 제안한다. 제안한 방법이 트리에서 발생하는 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

시뮬레이션 결과, AQDMR 알고리즘은 트리의 생성비용과 실행시간을 감소시킬 수 있었으며 네트워크 상에서 QoS 멀티캐스트 라우팅을 효과적으로 지원할 수 있는 방법임이 증명되었다.

향후, VoIP 서비스에 대한 사용자의 수요와 부가 서비스를 증가될 것이므로 대용량 또는 고품질의 초고속 서비스를 제공하는 가장 경제성 있는 망으로 발전할 것이므로 이에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Paul Ferguson, Geoff Huston, "Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks", Wiley Computer Publishing, 1998

[2] "Quality of Service (QoS)", <http://www.obj.com/survey/QoS.htm>

[3] C. Aurrecochea, A. Campbell, L.Hauw, "A review of Quality of Service Architectures", ACM Multimedia Systems Journal, 1996

[4] <http://user.cholian.net/~myway71/VoIP.htm>

[5] http://www.ebridgecom.com/korea/products/VoIP/powerVoIP_contents.htm

[6] http://www.ebridgecom.com/korea/products/VoIP/technology_contents.htm

[7] T.Speakman, D. Farinacci, S. Lin, A. Tweedly, Pretty Good Multicast (PGM) Transport Protocol Specification, Internet Draft, January 1998

[8] A.Shaikh and K.Shin. Destination-Driven Routing for Low-Cost Multicast. IEEE J. Select. Areas Commun., 15:373-381, April 1997. [DDMC 알고리즘]

[9] M.Kadansky, D. Chiu, J. Wesley, J. Provino, Tree-based Reliable Multicast (TRAM), Internet-Draft, September 1999

[10] B.Wetten, L. Vicisano, R. Kermode, Reliable Multicast Transport Building Blocks for One-to-Many bulk-Data Transfer, Internet Draft, June 1999

[11] V.P.Kompella, J.C.Pasquale, and G.C.Polyzos. Multicasting for Multimedia Applications. In Proc. IEEE INFOCOM'92, pp. 2078-2085, 1992 [KPP 알고리즘]

[12] Q.Sun and H.Langendoerfer. An Efficient Delay Constrained Multicast Routing Algorithm. Technical Report Internal Report, Institute of Operating Systems and Computer Networks, TU Braunschweig, Bueltenweg 74/75,38106, Braunschweig, Germany, January 1997. [CKMB 알고리즘]

[13] R.Widyono. The Design and Evaluation of Routing Algorithms for Real-Time Channels. Technical Report ICSI TR-94-024, International Computer Science Institute, U.C. Berkeley, June 1994. [CAO 알고리즘]

서 세 영(Shi-Ying Xu) 정희원
1986년 9월~1990년 7월: 중국 북경인민대학교 졸업 (공학사)
1999년 3월~2001년 2월: 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원(공학석사)
2001년 3월~현재: 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원 박사과정

최 승 권(Seung-Kwon Choi) 정희원
한국통신학회 논문지 제25권 제2A호 참조
2001년 8월: 충북대학교 컴퓨터공학과 대학원 (공학박사)

신 승 수(Seung-Soo Shin) 정희원
2001년 2월: 충북대학교 대학원(이학박사)
현재: (주)에스윌 연구소장

원 동 유(Dong-You Won) 정희원
1995년 3월~2001년 2월: 충북대학교 전자계산학과 전산통계학 전공(이학박사)

조 용 환(Yong-Hwan Cho) 정희원
한국통신학회 논문지 제25권 제9A호 참조
현재: 충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수