

다중 QoS 제약형 네트워크에서의 멀티캐스트 코어 선택 알고리즘

(Core Selection Algorithm for Multicast Routing in Multiple QoS-Constrained Networks)

정승모[†] 윤찬현^{**} 손승원^{***} 이유경^{****}
(Sung Mo Chung) (Chan-Hyun Youn) (Sungwon Sohn) (Yoo-Kyoung Lee)

요약 실시간 멀티미디어 서비스에서 Quality of Service(QoS) 보장의 필요성이 증가하고 있다. 멀티미디어 서비스 제공 형태의 대다수가 될 멀티캐스트 경로설정에서도 QoS 보장은 확장성, 신뢰성과 함께 매우 중요한 문제이다. 본 논문에서는, 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서 QoS 기반 멀티캐스트 트리의 구성을 보장하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘 (QCSA: QoS-based Core Selection Algorithm)을 제안한다. 제안 알고리즘은 멀티캐스트 경로설정에서 코어 선택시에 다중 QoS 제약조건을 고려한다. QoS 제약조건은 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이 등으로 정의한다. 모의 실험 결과는 제안한 QCSA와 Maximum Centered Tree (MCT), Average Centered Tree (ACT), Initial Delay-Constrained Shared Tree (Dcinitial), Random Tree (Random) 등의 기존 코어 선택 알고리즘의 성능을 각 항목별로 비교한다. 멀티캐스트 그룹 멤버 수와 QoS 제약조건을 인자로 한 모의 실험 결과는, 제안한 QoS 기반 코어 선택 알고리즘이 기존 코어 선택 알고리즘에 비해서 다중 QoS 제약조건 보장 코어 선택 성공률에서 성능 개선 효과를 가짐을 보여준다. 제안 알고리즘이 본 논문에서 설정한 모의 실험 환경에서는 QoS 기반 코어 선택의 정도를 나타내는 성공률에서 약 10% 정도 기존 알고리즘보다 우수함을 보인다. 이 결과는 제안 알고리즘이 코어 선택 과정의 초기부터 멀티캐스트 그룹 내의 모든 멤버에 대한 다중 QoS 제약조건을 고려하는 점이, QoS 기반 코어 선택에서 개선 효과를 나타냄을 보여준다.

Abstract There has been an increasing need of services with Quality of Service (QoS) guarantee on the real-time multimedia service. In multicast routing that will be the providing form of the multimedia service, the QoS guarantee is a principal issue together with the scalability and the reliability. In this paper, we propose the QoS-based Core Selection Algorithm (QCSA) to guarantee the construction of QoS-based multicast tree for multimedia applications. As for the core selection in multicast routing, the proposed algorithm takes into consideration of multiple QoS constraints. The QoS constraints are defined as the minimum guaranteed bandwidth, the end-to-end delay, and the end-to-end delay jitter, respectively. Simulation results show the performance comparison of the proposed algorithm and the conventional algorithms, such as Maximum Centered Tree (MCT), Average Centered Tree (ACT), Initial Delay-Constrained Shared Tree (DCINITIAL), and Random Tree. According to the simulation results, the proposed algorithm improves the success rate of QoS guaranteed core selection in comparison with the conventional algorithms along the number of multicast group members or the QoS constraints. The proposed algorithm outperforms the conventional algorithms in the success rate by about 10%, which denotes the frequency of QoS guaranteed core selection. Since the proposed scheme takes into consideration of QoS guarantee at the initial step, the success rate of core selection with satisfaction of QoS constraints to all members is higher than any other existing algorithms.

· 본 연구는 정보통신부 선도기반기술개발사업(99-S-032) 지원으로 수행되었습니다.

† 정 회 원 : SK텔레콤 전임연구원

smchung@sktelecom.com

** 정 회 원 : 한국정보통신대학원대학교 공학부 교수

chyoun@icu.ac.kr

*** 비 회 원 : 한국전자통신연구원 정보보호응용연구부장

**** 정 회 원 : 한국전자통신연구원 인터넷기술연구부장

논문접수 : 1999년 12월 16일

심사완료 : 2000년 9월 14일

1. 서론

초고속 정보 통신망에 제공될 양방향 실시간 멀티미디어 서비스 응용을 지원하기 위해서 네트워크 종단간에 QoS를 보장하는 것은 매우 중요하다[1][2][3][4]. 멀티캐스트 서비스의 수용에 있어서도, QoS 보장은 네트워크 확장성(Scalability), 신뢰성(Reliability)과 함께 매우 중요한 문제이다. 그러나, 멀티캐스트 경로 설정 과정에서 다중 QoS 제약조건 보장 경로 설정을 지원하는 프로토콜에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

멀티캐스트 경로 설정과 관련하여 DVMRP(Distance-Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF(Multicast Extensions to OSPF), PIM-DM(Protocol-Independent Multicast - Dense Mode), PIM-SM(Protocol-Independent Multicast - Sparse Mode), CBT(Core-Based Trees) 등의 다양한 프로토콜이 제안되어 있다[5][6]. 이 중에서 현재 가장 관심의 대상이 되고 있는 알고리즘은 CBT와 PIM-SM이다[5]. 이들의 특징은 확장성을 고려한 공유 트리(Shared-Tree) 방식이고, 명시적 참여(Explicit Join) 방식이라는 점이다. 이들 코어 기반 멀티캐스트 경로 설정에서도 중요한 문제 중의 하나로 대두되는 것이 대역폭(Bandwidth), 지연(Delay), 지연변이(Jitter) 등의 다중 QoS 제약조건을 보장하는 방법이다. 일반적으로, 기존 코어 기반 멀티캐스트 경로 설정 프로토콜은 QoS를 고려하지 않고 멀티캐스트 그룹 내의 코어와 멤버 간의 최단 경로만을 계산하여 코어를 선택한다[6][7]. 코어의 변화가 QoS 보장에 주는 영향이 거의 없다면, 임의의 코어 선택 방법만으로도 충분할 것이다. 그러나, 코어 선택이 QoS 보장에 주는 영향이 크기 때문에, 정교한 코어 선택 기법이 필요하다[8].

코어 기반 멀티캐스트 경로 설정 프로토콜의 기존 코어 선택 알고리즘은 크게 세 가지로 분류될 수 있다[7][8][9]. 즉, 임의의 코어 선택 알고리즘, 위상 기반 코어 선택 알고리즘, 그룹 기반 코어 선택 알고리즘으로, 각각의 코어 선택 알고리즘 범주 안에는 다양한 코어 선택 알고리즘이 제안되어 있다. 그러나, 기존 코어 선택 알고리즘 중에는 다중 QoS 제약조건을 고려하여 코어를 선택하는 방법에 대해서 구체적으로 제안한 알고리즘이 없다. 멀티캐스트 서비스는, 앞서 기술한 멀티미디어 응용 지원과 멀티캐스트 서비스의 특징인 그룹 멤버 간의 동시성 지원을 위해서 QoS의 지원이 필요하다. 따라서, 멀티캐스트 경로 설정에서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는, 멀티캐스트 서비스에서 QoS를 보장하는 방법으로, 멀티캐스트 그룹의 코어를 결정하는 과정에서 QoS 기반 경로 설정 알고리즘을 적용하여, 코어로부터 멀티캐스트 그룹 내의 각 멤버들까지 멀티미디어 서비스가 요구하는 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이 등의 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로를 검색하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘(QCSA: QoS-based Core Selection Algorithm)을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 네트워크 모형에 대해서 기술하고, 3장에서는 기존의 관련 연구들을 정리하고, 4장에서는 본 논문에서 제안하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘에 대해서 설명한다. 5장에서는 성능을 평가하기 위한 모의 실험 환경과 결과에 대해서 기술하고, 6장에서는 결론을 제시하고 향후 연구에 대해서 기술한다.

2. 네트워크 모형

본 논문에서는 네트워크 모형을 특정 네트워크로 제한하지 않고, 여러 네트워크에 적용 가능한 모형으로 가정하였다. 네트워크 모형은 그래프 $G = (V, E)$ 로 표현하며, 여기서 V 는 꼭지점(Vertex)의 집합을 나타내고, E 는 모서리(Edge)의 집합을 나타낸다[10]. 그래프의 꼭지점은 라우터 또는 스위치인 노드를 의미하고, 그래프의 모서리는 노드간의 링크를 의미한다. 그림 1은 그래프 $G = (V, E)$ 의 예이다.

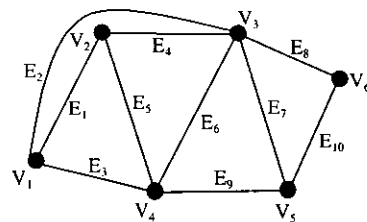


그림 1 그래프 $G = (V, E)$ 의 예

이 그래프 모형에서 각 노드는 최소한 2개 이상의 다른 노드와 연결되는 링크를 가진다고 가정하였다. 멀티캐스트 경로 설정은 멀티캐스트 그룹 멤버 간의 경로 설정이므로, 전체 노드들 중에서 일정 수의 그룹 멤버가 존재한다고 가정하였고, 그룹 멤버는 네트워크에서 임의로 분포되도록 하였다.

트래픽은 대역폭, 지연, 지연변이 등의 QoS 제약조건을 보장하는 요구하는 보장형 플로우(Guaranteed Flow)로 가정하였다[11][12][13]. 대역폭 제약조건은 종단 간

경로의 각 링크에서 유지되어야 하는 최소 보장 대역폭으로 가정하였고, 지연 제약조건은 종단 간의 모든 지연의 합이 유지하여야 하는 최대 지연으로 가정하였고, 지연변이 제약조건은 종단 간에 유지하여야 하는 최대 지연변이의 범위로 가정하였다. 이들 QoS 제약조건을 관계를 규정하고, 이를 통해서 QoS 보장 경로 설정을 하기 위해서, 속도 비례 서비스 규칙(Rate Proportional Service Discipline)으로 불리는 패킷 스케줄링 알고리즘이 네트워크에 적용된다고 가정하였다[12][13]. 또한 각 모의실험의 멀티캐스트 그룹마다 최소보장 대역폭 제약조건, 종단 지연 제약조건, 종단 지연변이 제약조건, 토큰 버킷 크기 등이 일정 범위 내에서 임의의 값을 가진다고 가정하였다.

멀티캐스트 그룹은 송신 노드와 수신 노드의 구성 형태에 따라서 분류될 수 있다[8]. 본 논문에서는 모든 멀티캐스트 그룹 멤버가 송신 노드인 동시에 수신 노드인 경우를 모형의 기본으로 가정하였다. 그림 2는 모든 멀티캐스트 그룹 멤버가 송신 노드인 동시에 수신 노드인 경우의 예를 나타낸다.

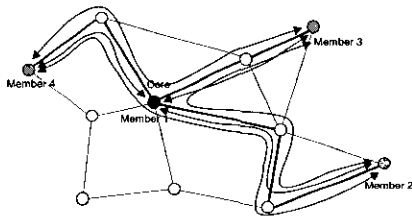


그림 2 모든 멤버가 송수신 노드인 멀티캐스트 그룹

내재 프로토콜은, 모든 노드가 자신의 이웃 노드에 대해서 알 수 있고, 새 이웃 노드의 출현 또는 이웃 노드와의 연결 손실을 제한된 시간 안에 탐지 한다고 가정하였다. 동작 링크를 통해서 전달되는 모든 데이터는 제한된 시간 안에 정확하고 적합한 순서로 수신되고, 링크 값은 시간에 따라 변할 수 있으나 항상 양의 값을 가진다고 가정하였다. 그리고, 라우터는 항상 정확하게 동작하고, 데이터는 오류 발생 없이 저장된다고 가정하였다[8][11].

3. 관련 연구

이 장에서는 제안하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘에 적용된 QoS 기반 경로 설정 알고리즘과 기존 코어 선택 알고리즘의 특징과 장단점에 대해서 살펴본다. 서론에서 언급한 바와 같이 코어 선택 알고리즘은 임의

코어 선택 알고리즘, 위상 기반 코어 선택 알고리즘, 그룹 기반 코어 선택 알고리즘의 세 가지 범주로 분류할 수 있다[7][8][9].

3.1 QoS 기반 경로 설정

기존 QoS 기반 경로설정 연구에서는 대역폭, 지연, 지연변이의 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로를 찾는 문제는 일반적으로 NP-Complete 하다는 것을 보이고 있다[1][14]. 따라서, 다중 QoS 제약조건을 경로설정을 하기 위해서 여러 가지 휴리스틱(Heuristic) QoS 경로설정 알고리즘이 제안되었다[1][2][3]. 그러나, 이런 휴리스틱 QoS 경로설정 방법은, 멀티미디어 서비스가 요구하는 다양한 QoS 제약조건 중에서 일부 QoS 제약조건만을 만족하는 경로를 제공하는 등의 제한이 있다.

최근 연구는 기존 휴리스틱 QoS 경로설정 알고리즘에서와 같이 대역폭, 지연, 지연변이 등의 QoS 제약조건들의 관계가 상호 독립적이라고 가정하지 않고, 이들 제약조건이 예약 대역폭, 선택 경로, 트래픽 특성, 스케줄링 알고리즘의 함수로써 실제로는 연관 관계가 있는 것을 보인다[11][12][13][15]. 제약조건들의 상호관계는 네트워크에 적용된 패킷 스케줄링 알고리즘에 의해 결정되고, 따라서 경로설정시에 네트워크의 스케줄링 알고리즘과 트래픽 사양이 반드시 고려되어야 한다.

QoS 기반 경로설정을 하기 위해서 고려되어야 하는 이러한 스케줄링 알고리즘을 정의하기 위한 여러 가지 연구가 있었다. 최근의 연구에서 VC(Virtual Clock), WFQ(Weighted Fair Queuing), WF²Q(Worst-case Weighted Fair Queuing), SCFQ(Self Clocked Fair Queuing)을 포함하는 일련의 속도 비례 서비스 규칙이 연구되었다[11]. 결과적으로, 트래픽 소스가 리키 버킷(Leaky Bucket)에 의해 주어진 트래픽 사양을 따르면, 속도는 각 플로우에 대해서 보장되고, 지연, 지연변이, 버퍼공간에 대해서 수학적으로 증명 가능한 경계가 존재한다[11][12][13]. 이런 새로운 서비스 규칙을 바탕으로, 실시간 멀티미디어 응용을 지원하는 QoS 기반 경로 설정 알고리즘의 구조와 방안들이 제안되고 있다[12][13][15].

본 논문에서 제안하는 멀티캐스트 코어 설정 알고리즘에서도, 속도 비례 서비스 규칙이 적용된 네트워크에서 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이를 동시에 고려하고, 광역망으로의 확장성을 가지는 QoS 기반 경로설정 알고리즘을 사용한다. 속도 비례 서비스 규칙이 적용된 네트워크에서 다음의 QoS 기반 경로설정 알고리즘을 사용하면, 실제 매개변수와 계산상의 매개변수

의 차이를 줄이고 실제 요구하는 QoS 제약조건을 충족 하는 경로를 설정할 수 있다.

속도 비례 서비스 규칙 하에서, 대역폭, 지연, 지연변 이 등의 QoS 제약조건과 트래픽 특성의 구체적 관계와 QoS 기반 경로설정 과정은 다음과 같다[12][13][15]. 우선, QoS 보장 서비스를 제공하기 위해서는 플로우의 트래픽 특성이 명기되어야 하고, 트래픽 소스가 자신의 트래픽 사양을 지키면, 네트워크는 요청된 QoS 제약조 건을 보장하게 된다. 일반적으로 사용되는 트래픽 사양 으로 리키 버킷에서 σ 는 평균 토큰 속도, b 는 세션이 가질 수 있는 토큰의 최대수라고 하면, 임의의 시간 간 격 (t_0, t) 사이에 네트워크에 허용된 데이터는 식 (1)과 같다. 여기서 토큰 속도는 예약가능 최소 대역폭을 결정 하고, 버킷 크기는 네트워크로 입력이 허용된 트래픽의 균집 크기를 제한한다.

$$A(t_0, t) \leq b + \sigma(t - t_0) \quad (1)$$

그림 3은 식 (1)의 리키 버킷에 의한 트래픽 특성을 표현한 그림이다.

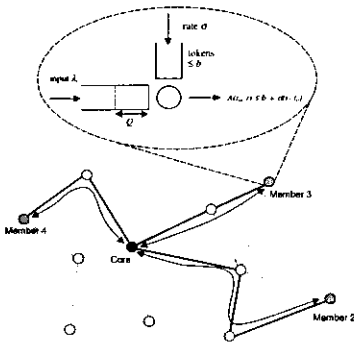


그림 3 리키 버킷에 의한 트래픽 특성

잔여 대역폭이 r_i 일 때, 경로 p 에서 요청할 수 있는 최소 보장 대역폭의 최대값은 식 (2)로 표현된다.

$$r(p) = \min\{r_i \mid i \in p\} \quad (2)$$

경로 p 가 홉 i 의 링크 용량이 C_i 인 n 홉으로 구성되어 있고, 트래픽 소스가 리키 버킷 (σ, b) 로 제한되면, 종 단 지연은 식 (3)으로 표현된다[11].

$$d(p, r, b) = \frac{b_j + n \cdot L_{\max}}{r_j} + \sum_{i=1}^n \frac{L_{\max}}{C_i} + \sum_{i=1}^n d_i^{prop} \quad (3)$$

r_j ($r \geq \sigma$)는 플로우 j 에서 예약가능한 대역폭이고, L_{\max} 는 네트워크에서의 최대 패킷 크기이고, d_i^{prop} 는 전 파 지연 시간이다.

마찬가지로, 종단 지연변이는 식 (4)으로 표현된다[11].

$$j(p, r, b) = \frac{b_j + n \cdot L_{\max}}{r_j} \quad (4)$$

위의 식 (2), 식 (3), 식 (4)는 플로우별 대역폭, 지연, 지연변이 등의 관계를 나타내고 있다. 대역폭 제한 R ($R \geq \sigma$), 지연 제한 D , 지연변이 제한 J , 리키 버킷 (σ, b) 일 때, $r(p) \geq R$, $d(p, r, b) \leq D$, $j(p, r, b) \leq J$ 의 QoS 보장 조건을 만족하는 경로 p 는 제한 시간 내에 계산될 수 있다.

식 (2), 식 (3), 식 (4)로 표현되는 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이 등의 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로설정은 다음과 같다.

Assumption: 대역폭 제한은 R ($R \geq \sigma$), 지연 제한은 D , 지연변이 제한은 J , 리키 버킷은 (σ, b) 으로 주어지고, 요구 대역폭을 만족하는 잔여 대역폭의 수는 K , 노 드 수는 V 로 주어진다고 가정한다.

Proposition: 다중 QoS 제약조건 $r(p) \geq R$, $d(p, r, b) \leq D$, $j(p, r, b) \leq J$ 를 만족하는 경로 p 는 $KO(V^2)$ 의 계산 복잡도를 가진 수정 Dijkstra 알고리즘으로 구해진다.

Proof. 경로 상에서 $r \geq R$ 을 보장하는 대역폭 r 에 대 해서, 식 (3)은 식 (5)로 표현되는 링크 비용 $l(i)$ 와 식 (6)로 표현되는 거리 함수 $d(p, r, b)$ 를 사용하여 가산 길이 함수로 정의될 수 있다.

$$l(i) = \frac{L_{\max}}{r} + \frac{L_{\max}}{C_i} + d_i^{prop} \quad (5)$$

$$d(p, r, b) = \frac{b}{r} + \sum_{i \in p} l(i) \quad (6)$$

주어진 경로 p 에서, r 의 증가에 따라 지연은 감소한 다. 경로 p 에서 최대 예약가능 대역폭은 식 (2)와 같다. 만약 지연 제한을 만족하는 경로가 하나만이 존재한다 면, 이 경로 p 는 최소 지연을 가지기 위해서 경로의 최 대 예약가능 대역폭 $\min\{r_i \mid i \in p\}$ 를 요구한다.

r 을 경로상의 최대 예약가능 대역폭으로 정하고, 식 (5)와 식 (6)의 길이 함수를 사용하는 최단 경로 알고리 즘에서의 문제는, 최대 예약가능 대역폭이 경로 검색 동 안에 변하는 것이다. 작은 잔여 대역폭을 가진 링크가 경로에 더해질 때, 초기 지연이 작았던 경로가 지연이 큰 경로로 바뀔 수 있다. 이 문제를 극복하기 위해서, 가능한 모든 링크 잔여 대역폭에 대해서 최단 경로 알 고리즘을 반복한다. 각 반복 계산에서, 고정된 r 이 식 (5)와 식 (6)에 사용되고, 잔여 대역폭이 이 r 의 값과 같거나 큰 링크만이 고려된다. 즉, 네트워크의 링크 k 의

모든 $r = r_k$ 에 대해서 식 (5)와 식 (6)을 다음과 같이 다시 정의한다.

$$l_k(i) = \frac{L_{\max}}{r_k} + \frac{L_{\max}}{C_i} + d_i^{prop} \quad (7)$$

$$d_k(\mathbf{p}, r, b) = \frac{b}{r_k} + \sum_{i \in \mathbf{p}} l_k(i) \quad (8)$$

최단 경로 알고리즘을 적용해서, 송신 노드 s 로부터 수신 노드 d 까지의 최단 경로 \mathbf{p}_k 를 검색한다. 경로 \mathbf{p}_k 에는 잔여 대역폭 r_i 가 r_k 보다 작은 링크 i 는 없다. 모든 가능한 r_k 에 대해서 r 를 반복한 후에 $d_k(\mathbf{p}, r, b)$ 가 최소인 경로 \mathbf{p}_{\min} 을 찾는다. 이 때, 최종 최소 보장 대역폭으로 $r_{\min} = \min\{r_i \mid i \in \mathbf{p}_{\min}\}$ 이 예약되면, 경로 \mathbf{p}_{\min} 은 최소 지연 경로가 된다.

적합한 경로 $\mathbf{p}_{feasible}$ 이 선택되면, 주어진 지연 제한을 만족하기 위해서 예약해야 하는 최소 대역폭은 식 (9)와 같다.

$$r_{feasible} = \max\{\sigma, (b + n \cdot L_{\max}) / (D - \sum_{i=1}^n \frac{L_{\max}}{C_i} - \sum_{i=1}^n d_i^{prop})\} \quad (9)$$

만약, $r_{\min} < r_{feasible}$ 이면, 즉 지연 $d(\mathbf{p}, r_{\min}, b)$ 가 지연 제한 D 보다 큰 경우에는, 주어진 지연 제한에 적합한 경로가 존재하지 않는다. 이 경우에는 지연 제약조건 D 를 $d(\mathbf{p}, r_{\min}, b)$ 보다 큰 값으로 증가, 즉 지연 제약조건을 $d(\mathbf{p}, r_{\min}, b)$ 이상으로 완화시켜서 $r_{\min} \geq r_{feasible}$ 이 되도록 하면, 이 새로운 지연 제한을 만족하는 경로가 존재하게 된다.

식 (4)에서는 경로 상에서 $r \geq R$ 을 보장하는 대역폭 r 에 대해서 흡수 n 이 식 (4)의 값을 결정하는 유일한 인자이며, 다음의 식 (10)과 같은 관계가 성립한다.

$$n \leq \left\lfloor \frac{r \cdot J - b}{L_{\max}} \right\rfloor \quad (10)$$

따라서, 어떤 경로에서도 흡수가 $N = \lfloor (r \cdot J - b) / L_{\max} \rfloor$ 보다 크지 않다면, 지연변이 제약조건 J 를 만족하는 경로가 존재한다.

지연의 경우와 마찬가지로, 모든 가능한 링크 잔여 대역폭 r_k 에 대해서 최단 경로 알고리즘을 반복한다. 모든 $r = r_k$ 에 대해서 식 (7)과 식 (8)이 사용된다. 차이는, $N_k = \lfloor (r_k \cdot j - b) / L_{\max} \rfloor$ 을 사용하여 경로의 흡수를 제한하는 것이다. 그리고, 마찬가지로 $r_i \geq r$ 인 링크만이 고려된다.

만약, $n > N$ 이면, 즉 지연변이 $j(\mathbf{p}, r, b)$ 가 지연변이 제한 J 보다 큰 경우에는, 주어진 지연변이 제한에 적합한 경로가 존재하지 않는다. 이 경우에는 지연변이 제약조건 J 를 $j(\mathbf{p}, r, b)$ 보다 큰 값으로 증가, 즉 지연변이

제약조건을 완화시켜서 $n \leq N$ 이 되도록 하면, 이 새로운 지연변이 제한을 만족하는 경로가 존재하게 된다.

이와 같이, 주어진 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로를 구하는 것은 모든 $r = r_k$ 에 대해서 경로설정 알고리즘을 반복하는 것이므로, 경로설정 알고리즘으로 Dijkstra 알고리즘을 사용하는 경우에는 Dijkstra 알고리즘의 계산 복잡도 $O(V^2)$ 에 네트워크의 잔여 대역폭 r_k 의 수 K 를 곱한 $KO(V^2)$ 의 계산 복잡도로 $r(\mathbf{p}) \geq R$, $d(\mathbf{p}, r, b) \leq D$, $j(\mathbf{p}, r, b) \leq J$ 를 만족하는 경로 \mathbf{p} 를 구할 수 있다. □

3.2 임의 코어 선택 알고리즘

임의 코어 선택 알고리즘은 멀티캐스트 그룹, 네트워크 위상, 이전 코어에 대한 정보 등의 선택 기준 없이 코어를 선택하는 방법으로, 노드의 멀티캐스트 그룹 멤버 여부와 상관없이 임의로 선택하거나 또는 그룹 멤버 중에서 임의로 선택하는 방식이다. 이 방법은 코어 선택이 코어 기반 트리의 성능에 별 영향을 미치지 않는 경우에 적합하다. 임의 선택 알고리즘은 어떤 정보도 필요로 하지 않기 때문에 간단하고 계산 복잡도(Computational Complexity)도 최소인 장점이 있지만, 평균 지연이 최대 등으로 성능이 낮은 단점이 있다.

임의 선택 알고리즘은 다음과 같은 세 가지 방법이 있다.

첫번째 방법은, 네트워크의 전체 노드 중에서 임의의 노드를 무작위로 선택해서 코어로 결정하는 것이다[7][8][9]. 이 방법의 장점은 어떤 정보도 필요로 하지 않으며, 가장 간단하고, 최소 계산 복잡도를 가진다는 점이다. 단점은 성능이 좋지 않으며, 트래픽이 집중되고, 평균 지연 시간이 최대라는 점이다. 또한, 최악의 경우가 선택되는 경우에는 성능이 저하된다.

두번째 방법은, 첫번째 방법에서 최악의 코어 선택을 방지하기 위해서, 하한 경계를 정해놓고 이런 코어의 선택시에는 재선택을 하도록 하는 방법이다[8][9]. 따라서, 첫번째 방법과는 달리 네트워크의 모든 노드에 대한 정보를 필요로 하게 된다. 최악의 코어 선택 경우를 피하는 것을 제외하고는 첫번째 방법과 같은 장단점을 가진다.

세번째 방법은, 멀티캐스트 그룹 멤버 중에서 첫 멤버를 코어로 선택하는 방법이다[7]. 이 방법은 위의 두 방법과는 달리 멀티캐스트 그룹 멤버 중에서 코어를 선택하지만, 추가 멤버 정보, 네트워크 위상 정보 등을 필요로 하지 않는 점에서 같은 방식의 알고리즘으로 분류된다. 위의 두 방법과 장단점 면에서 비슷하다.

그림 4는 임의 코어 선택 알고리즘으로 최악의 코어

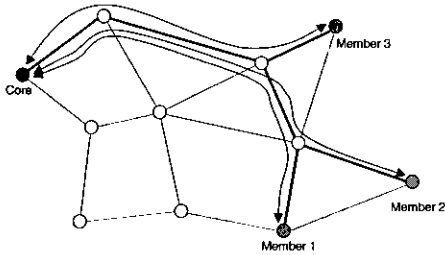


그림 4 임의의 코어 선택 알고리즘의 예

를 선택한 예이다.

3.3 위상 기반 코어 선택 알고리즘

위상 기반 코어 선택 알고리즘은, 임의의 코어 선택 알고리즘보다 개선된 코어 선택을 하기 위해서, 네트워크 위상 정보를 기반으로 코어를 선택하는 방법이다[7][8][9]. 이 방법은 전체 위상 정보를 필요로 하는데, 이 정보는 실제 변화만큼 정밀하게 변하지 않으므로, 위상 재계산의 시간 척도가 그룹 기반 코어 선택 알고리즘의 성능을 좌우한다. 그러나, 멀티캐스트 그룹 멤버 및 송신 노드에 대한 추가 정보를 필요로 하지 않는 것이 이 방법의 장점이다.

위상 기반 코어 선택 알고리즘은 위상 정보만을 기반으로 코어를 선택하므로, 멀티캐스트 그룹 또는 그룹 멤버의 변화에 상관없이 코어가 선택된다. 따라서 네트워크의 모든 노드에 대한 최대 지연 또는 최대 흡이 최소인 노드, 즉 네트워크의 중심에 위치한 노드가 코어로 선택될 확률이 높다. 이 방법의 장점은 그룹 기반 코어 선택 알고리즘에 비해 계산량이 작고, 코어의 이동이 거의 없어서 견고성을 가진다는 점이다. 단점은 각 그룹의 코어가 네트워크의 중심에 모이므로 부하가 집중되고, 멀티캐스트 그룹 멤버가 망의 특정 위치에 밀집하는 경우에는 성능이 저하된다는 점이다. 이 방법에서 코어 설정을 위한 경로 계산에 최단 경로 경로설정 알고리즘을 적용할 경우 계산량은 $O(V^3)$ 이 된다[10][16].

그림 5는 위상 기반 코어 선택 알고리즘으로 코어를

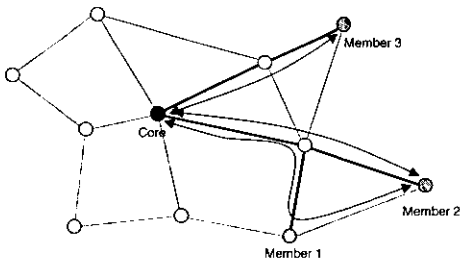


그림 5 위상 기반 코어 선택 알고리즘의 예

선택한 예이다.

3.4 그룹 기반 코어 선택 알고리즘

임의의 코어 선택 알고리즘과 위상 기반 코어 선택 알고리즘은 멀티캐스트 그룹 멤버들의 분포 형태에 따른 적합한 코어를 선택하지는 못한다. 따라서, 멀티캐스트 그룹 내의 송신 노드와 수신 노드의 위치 정보를 바탕으로 코어를 선택하는 알고리즘이 필요하다. 그룹 기반 코어 선택 알고리즘은 위상과 그룹 멤버에 대한 정보를 바탕으로 코어를 결정하므로 멤버의 분포 변화에 따라서 코어를 효율적이고 신뢰성 있게 선택할 수 있다. 이 방법은 코어 선택 알고리즘 중에서 가장 복잡하지만, 그만큼 최적의 코어를 선택할 수 있다.

그룹 기반 코어 선택 알고리즘은 다음과 같은 여섯 가지 방법이 있다.

첫번째 방법은, 멀티캐스트 그룹 멤버 중에서 위상적으로 중앙에 위치한 멤버를 코어로 선택하는 방법이다 [7][8][9]. 이 방법은 위상 정보와 멀티캐스트 그룹 멤버에 대한 정보를 바탕으로 코어를 결정하므로 가장 복잡하지만, 그만큼 성능 개선이 있다. 이 방법에는 수신 노드들 중에서 중심 수신 노드를 코어로 선택하는 방법과 모든 수신 노드에서의 지연과 대역폭 성능을 계산한 후에 최적의 수신 노드를 코어로 선택하는 방법이 있다. 장점은 여러 코어 선택 알고리즘 중에서 가장 최적의 성능을 가지고, 특히 멀티캐스트 그룹 멤버들이 군집되어 있을 경우에 더욱 성능이 개선된다는 점이다. 단점은 가장 많은 정보량을 필요로 한다는 점이다. 경로 설정에 링크 상태 알고리즘을 사용할 경우, M 이 멤버 수이면 계산량은 $O(M^3)$ 이 된다[10][16].

두번째 방법은, 현재 존재하는 멀티캐스트 트리 상의 가운데 노드를 코어로 선택하는 방법이다[9]. 최단 경로 트리를 구성하며, 각 멤버로부터 다른 멤버로의 비용을 모두 계산한 후에, 그 중에서 가장 작은 비용을 가지는 멤버를 코어로 선택한다.

세번째 방법은, 모든 멀티캐스트 그룹 멤버로의 최대 거리가 가장 작은 노드를 코어로 선택하는 방법이다[7][8].

네번째 방법은, 세번째 방법과 비슷한데, 모든 멀티캐스트 그룹 멤버로의 최대 거리가 아닌 평균 거리가 가장 작은 노드를 코어로 선택하는 방법이다[7].

다섯번째 방법은, 최대 반경이 최소인 멀티캐스트 그룹 멤버 간의 경로 상의 중간 노드를 코어로 선택하는 방법이다[7][9].

여섯번째 방법은, 임의의 멀티캐스트 그룹 멤버를 선택하고, 이 멤버로부터 가장 먼 멤버 사이의 최소 비용

경로를 선정하여서, 그 중간 노드를 코어로 선택하는 방법이다[7].

그림 6은 그룹 기반 코어 선택 알고리즘으로 코어를 선택한 예이다.

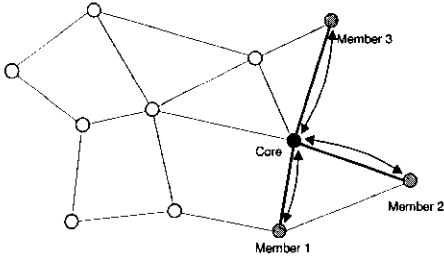


그림 6 그룹 기반 코어 선택 알고리즘의 예

지금까지 멀티캐스트 코어 기반 프로토콜의 코어 선택 알고리즘으로, 기존에 제안되고 사용된 다양한 알고리즘에 대해서 고찰하였다. 그러나, 이와 같이 다양한 코어 선택 알고리즘 중에서 구체적으로 다중 QoS 제약 조건을 고려하여 코어를 선택하는 알고리즘은 없었다.

4. QoS 기반 코어 선택 알고리즘

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘의 동작 원리와 특성에 대해서 자세하게 기술하고, 제안 알고리즘의 계산량 감소를 위한 방안도 기술한다.

4.1 QoS 기반 코어 선택 알고리즘 (QoS-based Core Selection Algorithm: QCSA) 제안

2장에서 정의한 네트워크 모형에서, 코어 기반 멀티캐스트 프로토콜을 사용하여 QoS를 보장하는 멀티캐스트 서비스 제공을 구현하기 위해서 다음과 같은 QoS 기반 코어 선택 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 코어에서 시작한 멀티캐스트 트리는 모든 멀티캐스트 그룹 멤버에 걸쳐서 구성된다[5][6]. 본 논문에서는 멀티캐스트 그룹 내의 모든 멤버가 코어로부터 다른 그룹 멤버의 전송 데이터를 수신하는 동시에, 코어를 통해서 다른 그룹 멤버에게 데이터를 전송한다고 가정하였다. 이런 상황은 모든 그룹 멤버가 상호 간에 멀티캐스트 서비스를 이용하는 상태로써, 영상 회의와 같은 응용 서비스가 이에 해당된다.

멀티캐스트 그룹의 코어를 선택하기 위해서는 우선 후보 코어를 결정해야 할 필요가 있는데, 후보 코어는 멀티캐스트 그룹 내의 멤버로 한정한다. 이들 후보 코어에서 멀티캐스트 그룹 내의 모든 멤버까지 QoS 기반

경로설정 알고리즘으로 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로를 계산한다. 요구된 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로들이 검색되면, 이 경로를 바탕으로 제안하는 코어 선택 과정을 거쳐서, 모든 그룹 멤버까지 QoS를 보장할 수 있는 코어를 선택한다. 또한, 기존 멀티캐스트 그룹 멤버의 QoS를 유지하면서 새로운 멤버에게도 QoS를 보장하는 경로를 검색하여, 새 멤버가 멀티캐스트 그룹에 참여할 수 있는 방법을 제안한다.

4.1.1 QoS 보장 경로 계산

본 논문에서의 QoS 제약조건은 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이 등이다. 3장에 기술한 QoS 기반 경로설정 알고리즘을 바탕으로, 그룹 내의 각 후보 코어에서 다른 모든 멤버 사이에 사용자의 QoS 요구사항을 만족하는 경로를 계산한다. 그림 7에서와 같이, 열한 개의 노드 중에 네 개의 멀티캐스트 멤버가 존재하는 경우를 가정해보자. 'Member 1'로부터 다른 세 개의 멤버로의 QoS 보장 경로를 주어진 제약조건에 대해서 구한다. 굵은 실선은 식 (2)로 주어진 최소 대역폭을 보장하는 링크를 표시한다. 다음은 이 링크만을 이용해서 지연과 지연변이 제약조건을 보장하는 경로를 계산한다. 식 (3), 식 (4)를 만족하는 플로우 j 에 대한 경로가 존재한다면, 이 경로를 실선 화살표로 표시한다. 점선 화살표는 지연 또는 지연변이 제약조건을 만족하지 못하는 경로를 나타낸다.

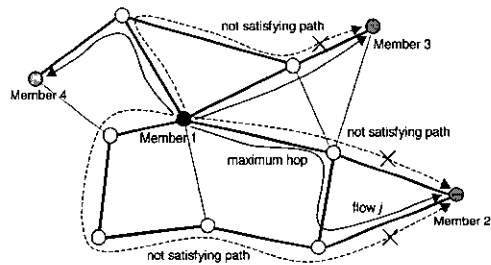


그림 7 다중 QoS 제약조건을 만족하는 경로 계산

4.1.2 후보 코어 기준값 교환

모든 멤버에 대해서 QoS 보장 경로를 계산한 후에, 각 멤버에서의 최대 홉 수를 결정한다. 그림 7의 'Member 1'에서 최대 홉은 3이다. 다음으로, 이 값을 기준값으로 하고, 다른 멤버들에게 광고한다. 다른 멤버의 기준값을 수신하면, 자신의 기준값과 비교해서 수신한 값이 더 작은 경우에는, 이 값으로 기준값을 바꾸고, 다른 멤버들에게도 전송한다. 결국 각 멤버는 최소 최대 홉(Minimal Maximum Hop)과 이 값을 가진 멤버의

주소를 알게 된다. 이 과정이 완료되면, 모든 멤버는 같은 기준값을 가진다.

4.1.3 코어 결정 및 멀티캐스트 트리 구성

최소 최대 흐름 가진 멤버가 이 멀티캐스트 그룹의 코어로 결정된다. 이 코어로부터 모든 그룹 멤버에 걸쳐서 멀티캐스트 트리가 구성된다. 그림 8은 그림 7의 'Member 1'이 주어진 네트워크에서 최소 최대 흐름 가진 경우, 이 멀티캐스트 그룹의 코어로 결정되고, 이 코어를 중심으로 멀티캐스트 트리가 구성된 것을 보여준다.

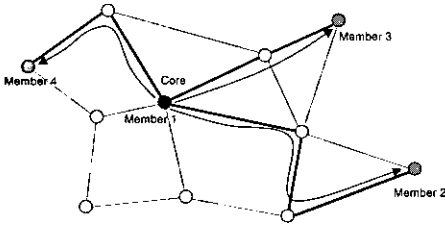


그림 8 다중 QoS 제약조건 보장 코어 결정

4.1.4 동적 멤버 참여 하의 코어 재선택

임의의 노드가 멀티캐스트 그룹 참여를 요청할 경우, 코어로부터 이 노드까지 가능한 QoS 보장 경로가 존재하는지 검색한다. 적합한 경로(*feasible*)가 존재하면, 이 노드는 멀티캐스트 그룹 멤버로 받아들여진다. 이와 같은 멀티캐스트 그룹의 참여와 탈퇴가 빈번하게 되면, 초기 QoS 기반 코어 선택시에 비해서 멀티캐스트 그룹 멤버의 상태가 상당히 변하게 된다. 이 경우에 멀티캐스트 그룹의 멤버에게 적합한 QoS를 계속 보장하기 위해서는, 코어의 재선택 과정이 필요하게 된다. 코어 재선택의 기준으로 다음의 두가지 임계값을 사용한다. 이 임계값이 초과되면, 새 코어를 선택하기 위해서 QoS 기반 코어 선택 과정을 기준으로 해서 코어를 재선택 한다. 첫번째 임계값은 참여 요청의 거절 비율이고, 두번째 임계값은 총 멤버 수에 대한 변화된 멤버 수의 비이다.

th_1 , th_2 를 각각 참여 요청 거절 비율 임계값과 변화 멤버 수 비율 임계값이라고 하고, n 는 실제 참여 요청 거절 비율, m 은 실제 변화된 멤버 수 비율이라고 하면 이들의 관계는 식 (11), 식 (12)로 표현된다.

$$n = \frac{n_r}{n_j} \tag{11}$$

n_r = 멀티캐스트 그룹 참여 요청 거절 횟수

n_j = 멀티캐스트 그룹 참여 요청 횟수

$$m = \frac{m_r}{m_i} \tag{12}$$

m_r = 변화(참여 또는 탈퇴)한 멀티캐스트 그룹 멤버 수

m_i = 총 멀티캐스트 그룹 멤버 수

식 (13) 또는 식 (14)와 같이 n 또는 m 이 임계값을 초과하게 되면, 코어 재선택 과정에 들어간다.

$$th_1 < n \tag{13}$$

$$th_2 < m \tag{14}$$

그림 9는 코어 재선택 과정을 보여준다.

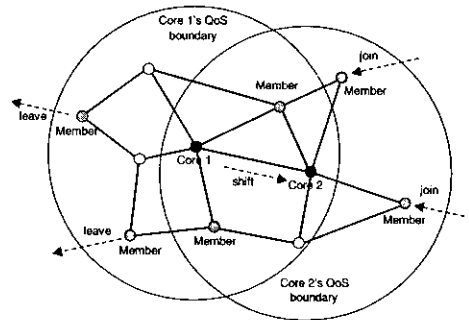


그림 9 코어 재선택 과정

그림 10은 제안 알고리즘의 주요 단계를 설명하는 플로우 차트이다.

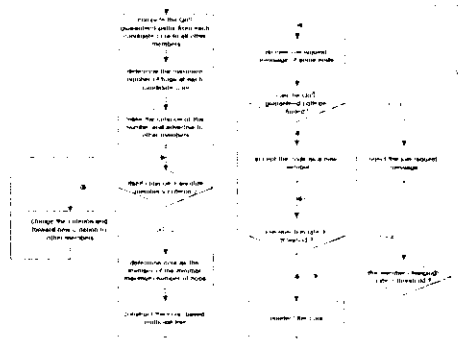


그림 10 제안 알고리즘의 플로우 차트

4.2 QoS 보장 경로 설정 계산량 감소를 위한 개선 방안 제안

다음으로는 잔여 대역폭의 클래식화를 통하여 QoS 기반 경로설정의 계산량을 줄이는 알고리즘을 제안한다. 앞에서 적용한 방식으로 QoS 보장 경로를 계산하는 과

정에서, 예약가능 대역폭은 중요한 매개변수로써 동작한다. 예약가능 대역폭은 네트워크의 잔여 대역폭에 의해서 결정되고, 계산 과정에서 잔여 대역폭의 수는 QoS 기반 경로설정 알고리즘 계산량의 주요 인자로 작용한다. 앞 절의 QoS 보장 경로 계산에서와 같이 기존에는 모든 잔여 대역폭을 검색한 후에, 각각의 잔여 대역폭에 대해서 경로 검색 알고리즘을 적용하였다[12][13]. 잔여 대역폭의 분포는 매우 다양해서, 거의 모든 링크가 서로 다른 잔여 대역폭을 가지게 된다. 따라서, 반복 계산 루프의 횟수가 네트워크의 전체 링크 수와 거의 동일하게 된다. 이와 같이 불규칙하게 분포된 모든 잔여 대역폭에 대해서 경로 계산을 반복하는 것은 계산 시간을 매우 증가시킨다.

이에 대한 개선 방안으로, 잔여 대역폭의 값을 임의로 고정하여서 그 수를 제한하고, 계산시에 이들 기 지정된 대역폭보다 큰 잔여 대역폭을 가진 링크들로 QoS 보장 경로를 검색하는 방안이 제안되었다[12]. 이 경우에는 잔여 대역폭의 종류를 일정 수로 한정함으로써, 계산량에 있어서는 상당한 개선 효과를 가질 수 있다. 그러나 요구되는 각 대역폭에 대해서 동일한 수의 잔여 대역폭을 가지지 않으므로, 경우에 따라서 계산량에 많은 차이를 가지게 된다.

본 논문에서는 요구 대역폭과 최대 잔여 대역폭을 기준으로 해서 요구 범위 내의 잔여 대역폭을 일정하게 클래스화 하여, QoS 기반 경로설정의 계산량을 개선하고, 각 요구 대역폭에 대해서 일반성을 유지하는 알고리즘을 제안한다.

우선 초기값을 요구 대역폭과 최소 잔여 대역폭 중에 최대값으로 정하고, 최대 잔여 대역폭과의 비를 구한다.

$$R_{bw} = \frac{B_{max}^{residual}}{B_{initial}} \quad (15)$$

$B_{initial} = \max (Required\ Bandwidth, Minimal\ Residual\ Bandwidth)$

$$B_{max}^{residual} = \max (Residual\ Bandwidth)$$

식 (15)에서 계산된 R_{bw} 값을 기준으로 하여 $B_{initial}$ 에서 $B_{max}^{residual}$ 까지 사이에 클래스를 정한다. 각 클래스는 식 (16)의 정수 g 의 값에 의해 다음과 같이 경계 잔여 대역폭을 기준으로 나눠진다.

$$0 \leq g \leq \log_2 R_{bw} \quad (16)$$

$$(B_{initial} \cdot 2^0, B_{initial} \cdot 2^1, \dots, B_{initial} \cdot 2^g, \dots, B_{initial} \cdot 2^{\log_2 R_{bw}})$$

따라서, 위의 경계 대역폭을 기준으로 각 계산 루프에서 경계 대역폭 이하의 잔여 대역폭을 갖는 링크는 제

외하고 QoS 보장 경로를 계산한다. 여기서는 편의상 지수 2를 사용하였지만, 망의 상황에 따라서 적당한 지수를 선택한다.

제안한 잔여 대역폭 클래스화 기법을 사용하면, 속도 비례 서비스 규칙 하에서 QoS 기반 경로설정시에, 가장 많은 계산량을 가지는 잔여 대역폭에 따른 지연과 지연 변이의 값을 구하는 계산량을 줄이고, 각 요구 대역폭의 경우에 대해서 일반성을 유지할 수 있다.

5. 모의 실험 및 결과

4장에서는 멀티캐스트에서 다중 QoS 제약조건을 보장하기 위한 QoS 기반 코어 선택 알고리즘을 제안하였다. 이 장에서는 제안 알고리즘으로 선택한 코어의 QoS 보장 성능을 측정하고, 기존 코어 선택 알고리즘과 비교 분석하기 위해서, 멀티캐스트 그룹 멤버 수와 대역폭, 지연, 지연변이 등의 제약조건을 인자로 실행한 모의 실험의 환경과 실험 결과에 대해서 기술한다.

5.1 모의 실험 환경

경로설정 알고리즘은 네트워크 위상에 따라서 아주 다르게 동작할 수 있다. 따라서, 경로설정 알고리즘을 평가하는 모의 실험에서 적합한 네트워크 위상을 선택하는 것은 매우 중요하다. 크기, 링크 용량의 이종성, 균형 등은 모의 실험 결과를 가능한 일반성을 가짐을 보장하는 위상을 선택할 때 고려해야 하는 중요한 요소들이다[8].

본 논문에서는, 모의 실험을 위해서 50개의 노드를 가진 네트워크를 구성하고, 이 네트워크에 단일 멀티캐스트 그룹이 존재한다고 가정하였다. 멀티캐스트 그룹의 멤버 수의 변화에 따른 성능을 알아보기 위해서, 그룹 멤버 수는 5에서부터 3씩 증가하여 50까지 증가시키고, 모든 멤버가 멀티캐스트 데이터를 송수신한다. 각 노드는 최소한 두 개 이상의 링크를 가지고, 링크 용량은 50Mbps에서 100Mbps까지 균일 분포한다고 가정하였다. 네트워크 위상의 노드와 링크는 각각의 모의 실험마다 임의로 구성되며, 결과 그래프는 이런 임의의 모의 네트워크 환경에서의 결과를 평균한 것이다.

모의 실험의 트래픽은 보장형 플로우로 선택하고, 멀티캐스트 서비스 응용은 영상을 기반으로 하는 응용이라고 가정하였다. 영상 응용의 트래픽 특성은 최소 보장 대역폭, 종단 지연, 종단 지연변이, 리키 버킷에 의해서 결정된다. 모의 실험에서 최소 보장 대역폭 제약조건은 [1Mbps, 5Mbps]의 균일 분포(Uniform Distribution)를 가지고, 종단 지연 제약조건은 [10ms, 50ms]의 균일 분포를 가지고, 종단 지연변이 제약조건은 [10ms,

16ms)의 균일 분포를 가진다고 가정하였다. 이 외에 모의 실험의 인자로서, 토큰 속도는 [1Mbps, 5Mbps]의 균일 분포를 가지고, 버킷 크기는 [10Kb, 14Kb]의 균일 분포를 가진다고 가정하며, 최대 패킷 크기는 1500byte, 전파지연은 1ms로 가정하였다 [12][13].

그림 11은 모의 실험에서 사용한 네트워크 위상의 한 예이다.

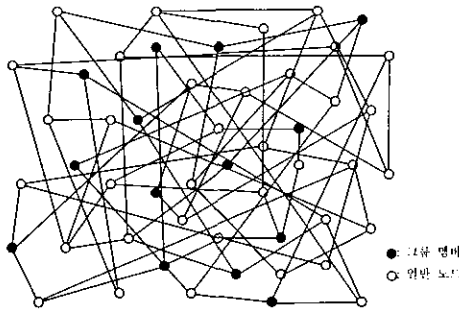


그림 11 모의 실험 네트워크 위상의 예

위와 같이 임의로 구성되는 모의 실험 네트워크에서, 제안 알고리즘과 기존 알고리즘으로 멀티캐스트 그룹 코어를 선택하고, 각 알고리즘에 의해 코어로 선택된 노드의 다중 QoS 제약조건 보장 성능을 측정하였다. 본 논문에서는 제안 알고리즘의 성능 비교 알고리즘으로 임의의 코어 선택 알고리즘인 Random Tree (Random)와 그룹 기반 코어 선택 알고리즘의 세번째 알고리즘인 Maximum Centered Tree (MCT), 네번째 알고리즘인 Average Centered Tree (ACT), 여섯번째 알고리즘인 Initial Delay-Constrained Shared Tree (Dcinitial)를 선택했다.

5.2 모의 실험 결과 및 분석

모의 실험 결과는 제안한 QCSA와 MCT, ACT, Dcinitial, Random 등의 기존 코어 선택 알고리즘의 성능을 각 항목별로 비교하였다[7][8][9]. 모의 실험은 멤버 수, 대역폭, 지연, 지연변이 등의 제약조건에 따른 QoS 기반 코어 선택 성공률, QoS 기반 단일전송 (Unicast) 경로 검색 성공률을 측정하고, 이 실험 결과를 바탕으로 알고리즘을 평가하였다. QoS 기반 코어 선택 성공률은 총 멀티캐스트 그룹 코어 선택 요구 횟수에 대한 멀티캐스트 그룹 코어 선택 성공 횟수의 비이고, QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률은 후보 코어와 멤버간의 총 QoS 기반 경로설정 시도 횟수에 대한 후보 코어와 멤버간의 QoS 기반 경로설정 성공 횟수의 비이다. 각 모의 실험에서 실험 인자로서, 멤버 수는 5

에서 50까지 변화시키고, 최소 보장 대역폭은 2.5Mbps에서 10Mbps까지 변화시키고, 종단 지연은 10ms에서 25ms까지 변화시키고, 종단 지연변이는 10ms에서 17.5ms까지 변화시킨다. 그리고, 변수로 선택된 제약조건 이외의 제약조건들은 5.1절에서 정의된 QoS 제약조건 범위와 분포를 가지도록 하였다. 모의 실험의 결과 그래프는, 멤버 수의 경우는 1000번의 모의 실험 결과를 평균하고, 대역폭, 지연, 지연변이의 경우는 1600번의 모의 실험 결과를 평균하여 보여준다.

5.2.1 멤버 수에 따른 성능 비교

여기서는 멀티캐스트 그룹 멤버 수에 따른 제안 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘과의 성능을 비교한다. 멤버 수에 따른 성능은 멀티캐스트 그룹 멤버의 증가에 따른 알고리즘의 성능 유지 능력 정도를 나타내고, 이를 통해서 대규모 네트워크에의 적용 가능 여부인 확장성을 평가할 수 있다는 측면에서 중요하다.

그림 12는, 코어 선택 알고리즘의 모든 멀티캐스트 그룹 멤버에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 코어를 선택할 수 있는 성공률이 멤버 수의 증가에 따라서 변하는 모의 실험 결과이다. 멤버 수가 증가함에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 낮아지는 결과가 나타난다. 이는 멤버 수가 증가하면, 각각의 멤버에게 다중 QoS 제약조건이 보장되는 경로를 할당할 수 있는 자원이 축소되기 때문이다.

멤버 수가 작은 경우에는 제안 알고리즘과 다른 알고리즘의 성능 차이가 거의 없으나, 멤버 수가 증가함에 따라서 성능 차이가 점점 커져서 제안 알고리즘이 상대적으로 13 ~ 16% 정도 높은 코어 선택 성공률을 가지는 결과를 보여준다. 이 결과는 제안된 알고리즘이 멤버 수에 따른 QoS 기반 코어 선택 성능에서 다른 알고리즘보다 우수하고, 멀티캐스트에서 중요한 문제 중의 하나인 확장성에 있어서도 멀티캐스트 그룹 멤버 수의 특

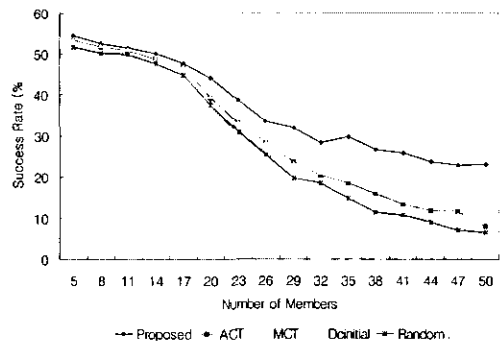


그림 12 멤버 수에 따른 QoS 기반 코어 선택 성공률

정 범위 내에서는 적용 가능성이 가장 높음을 보여준다.

그림 13은, 코어 선택 알고리즘의 후보 코어로부터 다른 모든 멀티캐스트 그룹 멤버 각각에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 단일전송 경로의 검색 성공률이 멤버 수의 증가에 따라서 변하는 모의 실험 결과이다. 멤버 수의 증가와 성공률의 관계가 거의 없는 것으로 보인다. 이는 각각의 QoS 보장 단일전송 경로 검색은 멤버 수보다는 두 노드 간의 네트워크 상태에 영향을 받기 때문이다. 제안 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해서 QoS 기반 단일전송 경로 검색 평균 성공률이 0.1 ~ 2% 정도 높으나, 그 차이는 아주 작다. 그림 12와 그림 13의 모의 실험 결과 비교는 제안 알고리즘이 QoS를 보장하는 코어 선택에 있어서 확실한 성능 개선의 효과가 있는 것을 의미한다. 각각의 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률은 비슷함에도 불구하고, QoS 기반 코어 선택 성공률에서는 제안 알고리즘이 평균 14% 정도 높은 성능의 모의 실험 결과를 보이는 것은, 제안 알고리즘이 처음부터 다중 QoS 제약조건을 보장을 고려해서 멀티캐스트 그룹 코어를 선택하기 때문이다.

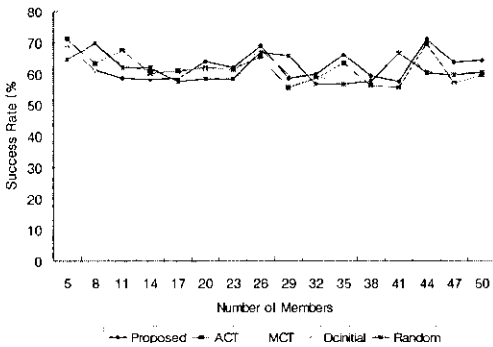


그림 13 멤버 수에 따른 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률

5.2.2 대역폭에 따른 성능 비교

여기서는 최소 보장 대역폭 제약조건에 따른 제안 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘의 성능을 비교한다. 대역폭에 따른 성능은, 대역폭의 증가, 즉 대역폭의 요구량의 증가에 따른 네트워크 자원의 감소에 대해서, 알고리즘의 성능이 어느 정도 유지될 수 있는지를 의미한다.

그림 14는, 코어 선택 알고리즘의 모든 멀티캐스트 그룹 멤버에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 코어를 선택할 수 있는 성공률이 대역폭 제약조건이 증가함에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 낮아지

는 결과가 나타난다. 이는 대역폭 제약조건이 증가하면, 그만큼 네트워크 자원의 소비량이 커져서 이를 만족하는 경로 검색 성공률이 낮아지는 것을 의미한다. 제안 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해서 대역폭 증가에 상관없이 평균 12 ~ 14%정도 높은 QoS 기반 코어 성공률을 유지하는 결과를 보여준다. 즉, 제안 알고리즘이 최소보장 대역폭 제약조건 측면에 있어서도 기존 알고리즘보다 QoS 기반 코어 선택에 있어서 우수함을 알 수 있다.

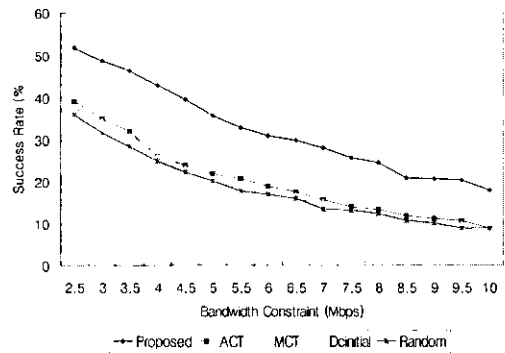


그림 14 대역폭 제약에 따른 QoS 기반 코어 선택 성공률

그림 15는, 코어 선택 알고리즘의 후보 코어로부터 다른 모든 멀티캐스트 그룹 멤버 각각에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 단일전송 경로의 검색 성공률이 대역폭 제약조건이 증가에 따라서 변하는 모의 실험 결과이다. 대역폭 증가에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 약간 감소한다. 이는 멤버 수의 경우와 마찬가지로, 각각의 QoS 보장 단일전송 경로 검색은 두 노드 간의 네트워크 상태에 영향을 받기 때문이다. 그러나, 멤버 수의 경우와는 달리, 여기서는 제안 알고리즘이 다른

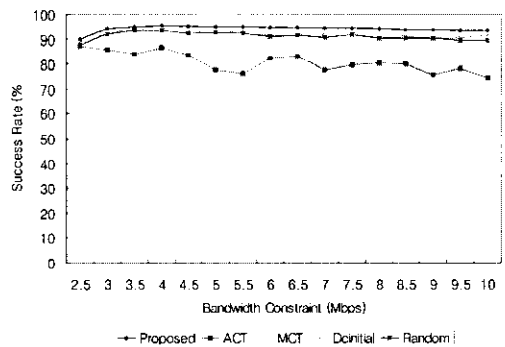


그림 15 대역폭 제약에 따른 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률

알고리즘에 비해서 QoS 기반 단일전송 경로 검색 평균 성공률이 3 ~ 38% 정도 높은 결과를 보여준다.

그림 16은, 멀티캐스트 그룹 멤버 수와 최소 보장 대역폭 제약조건의 변화에 따른 제안 알고리즘의 QoS 기반 코어 선택 성공률이 변하는 모의 실험 결과를 보여준다. 멀티캐스트 그룹의 멤버 수가 적고 대역폭 제약조건이 작을수록 코어 선택 성공률이 높고, 반대로 멀티캐스트 그룹의 멤버 수가 많고 대역폭 제약조건이 클수록 코어 선택 성공률이 낮아지는 결과를 보여준다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 네트워크 자원의 소모 정도와 밀접한 관계가 있다. 각각 임의로 결정되는 네트워크의 모의 실험 조건에 따라 다소간의 예외가 존재하지만, 대체로 대역폭 제약과 멤버 수의 변화에 따라서 QoS 기반 코어 선택 성공률도 일정하게 변하는 경향을 나타내고 있다.

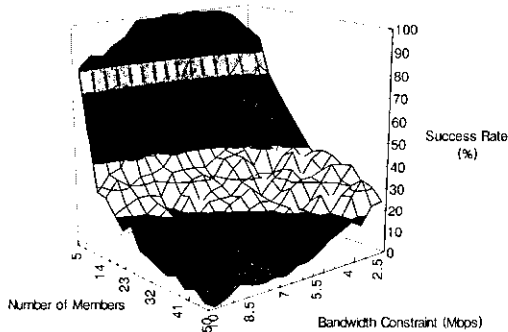


그림 16 멤버 수와 대역폭 제약에 따른 제안 알고리즘의 코어 선택 성공률

5.2.3 지연에 따른 성능 비교

여기서는 중단 지연 제약조건에 따른 제안 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘의 성능을 비교한다. 지연 제약조건에 따른 성능은, 지연 제약조건 증가, 즉 지연 제약조건 완화에 따라서 더 많은 홉을 경유하는 경로를 설정할 수 있는 경우에 알고리즘의 성능 변화를 나타낸다.

그림 17은, 코어 선택 알고리즘의 모든 멀티캐스트 그룹 멤버에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 코어를 선택할 수 있는 성공률이 지연 제약조건 증가에 따라서 변하는 모의 실험 결과이다. 지연 제약 조건이 증가함에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 증가하다가, 점차 특정 값에 수렴하는 유형을 보여 준다. 이는 지연 제약조건이 완화되면, 더 많은 홉을 경유하는 긴 경로도

요구하는 QoS 제약조건을 만족시킬 수 있기 때문에, 성공률이 높아지는 것을 의미한다. 그러나, 아무리 지연 제약조건이 완화되더라도, 다른 QoS 제약조건 영향에 의해서 성공률의 증가에는 제한이 있는 것을 알 수 있다. 그리고, 지연 제약조건이 작은 경우에는 제안 알고리즘과 다른 알고리즘의 성능 차이가 작다가, 지연 제약조건이 증가함에 따라서 일정 단계에서부터 제안 알고리즘의 성능이 약 7 ~ 10% 정도 높은 상태를 유지하는 결과를 보여준다. 수렴 값은 네트워크의 모의 실험 조건에 따라서 바뀔 수 있지만, 제안 알고리즘이 다른 알고리즘과 일정 차이를 유지하면서 우수한 성능을 보일 것이다.

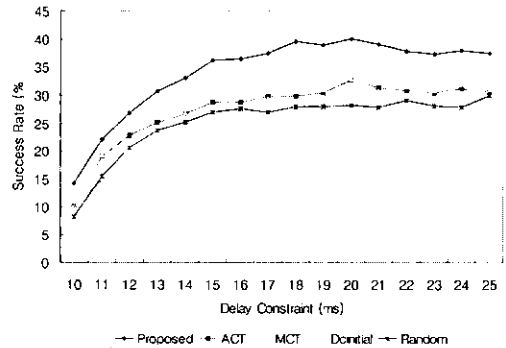


그림 17 지연 제약에 따른 QoS 기반 코어 선택 성공률

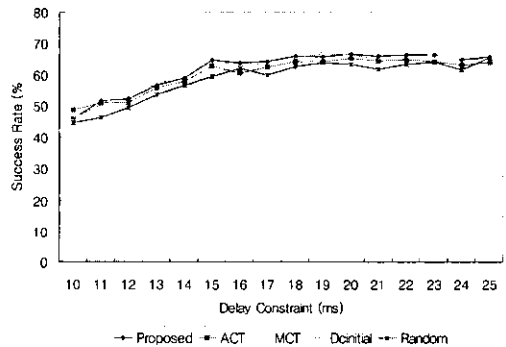


그림 18 지연 제약에 따른 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률

그림 18은, 코어 선택 알고리즘의 후보 코어로부터 다른 모든 멀티캐스트 그룹 멤버 각각에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 단일전송 경로의 검색 성공률이 지연 제약조건 증가에 따라서 변하는 모의 실험

결과이다. 멤버 수와 대역폭 제약조건인 경우와는 달리, QoS 기반 코어 선택 성공률과 비슷하게 지연 제약조건 증가에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 완만히 증가하다가, 특정 값에 점차 수렴한다. 이는 성공률이 멤버 수, 대역폭 제약조건보다 지연 제약조건에 의해서 더 영향을 받는 것을 의미한다. 제안 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해서 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률이 평균 1 ~ 2% 정도 높다. 또한, 멤버 수와 대역폭 제약의 경우와 마찬가지로, 그림 17과의 비교로부터 제안 알고리즘이 QoS를 보장하는 코어 선택에 있어서 성능 개선의 효과가 있음을 알 수 있다.

그림 19는, 멀티캐스트 그룹의 멤버 수와 종단 지연 제약조건에 따른 제안 알고리즘의 QoS 기반 코어 선택 성공률이 변하는 모의 실험 결과를 보여준다. 멀티캐스트 그룹의 멤버 수가 적고 지연 제약조건이 느슨할수록 코어 선택 성공률이 높고, 반대로 그룹의 멤버 수가 많고 지연 제약조건이 엄격할수록 코어 선택 성공률이 낮아지는 결과를 보여준다. 이는 앞서 언급한대로, 지연 제약조건이 커지면, 그만큼 지연 시간이 늘어나도 되며, 따라서 더 많은 홉을 가진 경로도 설정할 수 있게 되는 것이므로 성공률이 높아진다. 또한, 멤버 수의 경우와는 달리 코어 선택 성공률이 지연 인자의 변화에 따라서 많이 변하는 모습을 보여준다.

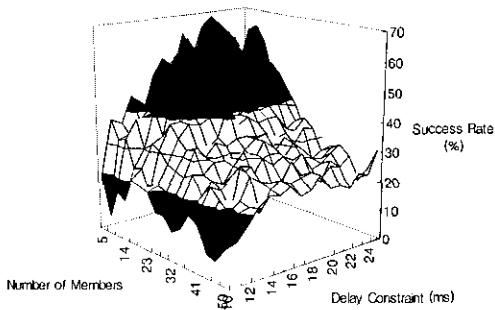


그림 19 멤버 수와 지연 제약에 따른 제안 알고리즘의 코어 선택 성공률

5.2.4 지연변이에 따른 성능 비교

여기서는 종단 지연변이 제약조건에 따른 제안 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘의 성능을 비교한다. 지연변이 제약조건에 따른 성능은, 지연 제약조건과 마찬가지로, 지연변이 제약조건 증가 또는 완화에 따라서 더 많은 홉을 경유하는 경로를 설정할 수 있는 경우의 알고리즘의 성능 변화를 나타낸다.

그림 20은, 코어 선택 알고리즘의 모든 멀티캐스트 그룹 멤버에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 코어를 선택할 수 있는 성공률이 지연변이 제약조건 증가에 따라서 변하는 모의 실험 결과이다. 지연 제약조건 결과와 비슷하게, 지연변이 제약조건이 증가함에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 증가하다가, 점차 특정 값에 수렴하는 결과를 보여준다. 이는 역시 지연 제약조건인 경우와 마찬가지로, 더 많은 홉을 경유하는 경로를 설정할 수 있기 때문에 성공률이 높아지다가, 다른 QoS 제약조건에 따라 수렴되는 것이다. 그리고, 이 결과도 지연변이 제약조건 증가에 따라서 성능 차이가 커지다가, 약 9% 정도가 유지됨을 보여준다.

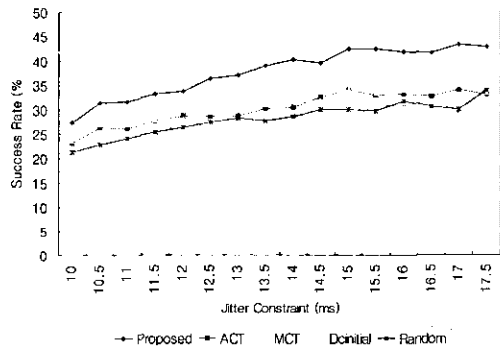


그림 20 지연변이 제약에 따른 QoS 기반 코어 선택 성공률

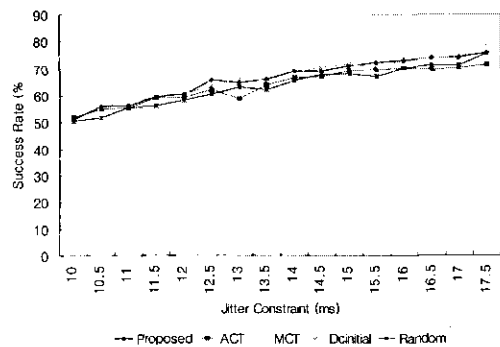


그림 21 지연변이 제약에 따른 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률

그림 21은, 코어 선택 알고리즘의 후보 코어로부터 다른 모든 멀티캐스트 그룹 멤버 각각에 대해서 다중 QoS 제약조건을 보장하는 단일전송 경로의 검색 성공률이 지연변이 제약조건 증가에 따라서 변하는 모의

실험 결과이다. 앞의 지연 제약의 경우와 비슷하게 지연 변이 제약조건의 증가에 따라서 모든 알고리즘의 성공률이 큰 변동 없이 증가하는 결과를 보여준다. 이는 각각 두 노드 간의 QoS 기반 단일전송 경로 검색 성공률도 지연변이 제약조건의 완화로 인한 경우 흡의 증가로 높아지는 것을 의미한다. 그리고, 제안 알고리즘이 평균 2 ~ 5% 정도 높은 성공률을 가지지만, Dcinitial 알고리즘에 비해 0.4% 낮은 성공률을 가지는 결과도 보여준다. 이는 다른 인자들의 경우와 마찬가지로 제안 알고리즘이 QoS를 보장하는 코어 선택에 있어서 성능 개선 효과가 있음을 의미한다.

그림 22는, 멀티캐스트 그룹의 멤버 수와 종단 지연 변이 제약조건의 변화에 따른 제안 알고리즘의 QoS 기반 코어 선택 성공률이 변하는 모의 실험 결과를 보여준다. 멀티캐스트 그룹의 멤버 수가 적고 지연변이 제약조건이 느슨할수록 코어 선택 성공률이 높고, 반대로 그룹의 멤버 수가 많고 지연 제약조건이 엄격할수록 코어 선택 성공률이 낮아지는 결과를 보여준다. 이는 지연 제약조건의 경우와 마찬가지로, 지연변이 제약조건이 커지면, 그만큼 지연변이 시간 허용치가 커지게 되고, 따라서, 더 많은 흡을 가진 경로를 설정할 수 있게 되어서, 성공률도 높아지는 것이다. 그리고, 지연 제약조건의 경우와 그래프의 표면을 비교하여서, 네트워크의 조건에 대해서 지연변이 제약조건의 경우가 영향을 덜 받는 특성을 보여준다.

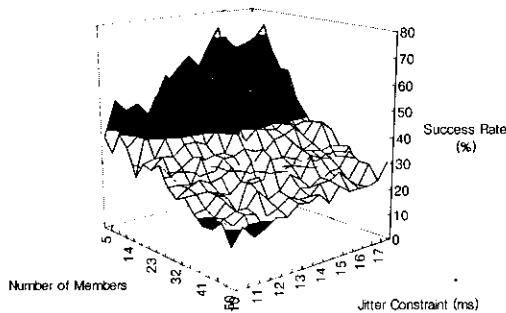


그림 22 멤버 수와 지연변이 제약에 따른 제안 알고리즘의 코어 선택 성공률

6. 결론 및 향후 연구

이 논문은 다중 QoS 제약조건을 보장하는 QoS 기반 코어 선택 알고리즘을 제안하고, 모의 실험을 통해서 다양한 QoS 제약조건의 변화에 따른 제안 알고리즘의 특

성과 성능을 평가하였다.

멀티캐스트 그룹 멤버 수, 최소 보장 대역폭 제약조건, 종단 지연 제약조건, 종단 지연변이 제약조건 등을 인자로 한 모의 실험 결과는, 제안한 QoS 기반 코어 선택 알고리즘이 설정한 모의 실험 환경에서는 기존 코어 선택 알고리즘에 비해서 다중 QoS 제약조건 보장 코어 선택에서 약 7 ~ 16% 정도의 높은 성공률을 가지는 성능 개선 효과가 있음을 보여주었다. QoS 기반 단일전송 경로 선택의 성공률보다 QoS 기반 코어 선택의 성공률에서 제안 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 더 우수한 성능을 보인다. 이 결과는 제안 알고리즘이 코어 선택 과정의 초기부터 멀티캐스트 그룹 내의 모든 멤버에 대한 다중 QoS 제약조건을 고려하는 점이, QoS 보장 코어 선택에서 개선 효과를 나타낸 것이다. 멀티캐스트 라우팅에서 중요한 성능 지표인 착신자간 지연 변이에 있어서도, 제안 알고리즘이 기존 코어 선택 알고리즘에 비해서 미세한 차이지만 작은 지연변이를 가지면서 성능이 개선되었다. 또한 멀티캐스트 그룹 멤버 수의 증가에 따라서 기존 알고리즘에 대한 QoS 기반 코어 선택 성능 차이가 커지는 것은, 제안 알고리즘이 멀티캐스트에서도 중요한 문제 중의 하나인 확장성에 있어서 제한된 멀티캐스트 그룹 멤버 수의 범위 내에서는 기존 코어 선택 알고리즘에 비해서 개선의 가능성이 높음을 보여준다.

코어 선택의 최적화와 계산 복잡성을 동시에 만족하기는 어렵기 때문에, QoS를 보장하기 위한 알고리즘의 계산량은 증가하게 된다[8]. 다중 QoS 제약조건을 보장하는 실시간 멀티미디어 서비스의 지원을 위해서 제안한 QoS 기반 코어 선택 알고리즘의 계산량은 증가했지만, 3.1절에서 보인 바와 같이 제한 시간 안에 계산되어질 수 있고, 다중 QoS 제약조건을 보장하는 성능 개선 효과에 더 중요성이 있다.

제안한 QoS 기반 코어 선택 알고리즘은, 멀티캐스트 서비스 중에서도 QoS 보장을 필요로 하는 양방향 실시간성을 가지는 다자간 영상 회의와 같은 멀티미디어 응용 서비스의 제공을 가능하게 하는 기술 중의 하나가 될 수 있음을 본 논문의 모의 실험 결과는 보여준다.

향후에는 도메인 간의 경로 설정에도 적용할 수 있도록 제안 알고리즘의 확장성을 더욱 개선하는 방안과 알고리즘 초기의 기준 값 교환 과정에서의 부하를 줄이는 방안이 추가로 연구되어야 한다.

참고 문헌

- [1] Wang, Z., Crowcroft, J., "Quality-of-Service Rout

ing for Supporting Multimedia Applications," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 7, pp. 1228-1234, September 1996

[2] Vogel, R., Herrtwich, R. G., Kalfa, W., Wittig H., and Wolf, L. C., "QoS-Based Routing of Multimedia Streams in Computer Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in communications*, Vol. 14, No. 7, pp. 1235-1244, September 1996

[3] Chatzaki, M., C., Sartzetakis, S., "QoS-Policy based Routing in Public Heterogeneous Broadband Networks," *Proc. 4th Int. Symp. on INTERWORKING*, July 1998

[4] Crawley, E., Nair, R., Rajagopalan, B., and Sandick, H., "A Framework for QoS-based Routing in the Internet," *RFC2386*, August 1998

[5] Maufer, T. A., *Deploying IP Multicast in the Enterprise*, 1st Ed., pp. 102-144, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1998

[6] Ballardie, T., Francis, P., and Crowcroft, J., "Core Based Trees (CBT)," *SIGCOMM '93*, pp. 85-95, September 1993

[7] Thaler, D. G. and Ravishankar, C. V., "Distributed Center-Location Algorithms," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 3, pp. 291-303, April 1997

[8] Calvert, K. L., Zegura, E. W., and Donahoo, M. J., "Core Selection Methods for Multicast Routing," *Proc. Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, pp. 638-642, July 1995

[9] Fleury, E., Huang, Y., and McKinley, P. K., "On the Performance and Feasibility of Multicast Core Selection Heuristics," *Proc. 7th Int. Conf. on Computer Communications and Networks*, pp. 296-303, October 1998

[10] Stallings, W., *High-Speed Networks: TCP/IP and ATM Design Principles*, 1st Ed., pp. 383-397, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1998

[11] Zhang, H., "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 83, No. 10, pp. 1374-1396, October 1995

[12] Ma, Q. and Steenkiste, P., "Quality-of-Service Routing for Traffic with Performance Guarantees," *Proc. IFIP 5th Int. Workshop on Quality of Service*, pp. 115-126, May 1997

[13] Pornavalai, C., Chakraborty, G., and Shiratori, N., "QoS based routing algorithm in Integrated Services Packet Networks," *Proc. Int. Conf. on Network Protocols*, pp. 167-174, October 1998

[14] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., and Rivest, R. L., *Introduction to Algorithms*, 1st Ed., p. 931, The

MIT Press, Massachusetts, 1990

[15] Guerin, R. A. and Orda, A., "QoS Routing in Networks with Inaccurate Information: Theory and Algorithms," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 7, No. 3, pp. 350-364, June 1999

[16] Spragins, J. D., Hammond, J. L., and Pawlikowski K., *Telecommunications: Protocols and Design*, 1st Ed., pp. 363-373, Addison-Wesley Publishing Co., Massachusetts, 1991



정 승 모

1995년 한양대학교 전자공학과(학사). 2000년 한국정보통신대학원대학교 공학부(석사). 1995년 ~ 1998년 삼성전자 주임연구원. 1998년 ~ 1999년 한국전자통신연구원 위촉연구원. 2000년 ~ 현재 SK텔레콤 전임연구원. 관심분야는 차세대 인터넷, 무선 인터넷, 멀티캐스트 라우팅, QoS 라우팅.



윤 찬 현

1981년 경북대학교 전자공학과(학사). 1985년 경북대학교 대학원 전자공학과(석사). 1994년 日本 東北大學 전기 및 통신공학과(박사). 1981년 2월 ~ 1983년 6월 육군통신장교. 1986년 2월 ~ 1997년 12월 한국통신 통신망연구소 연구팀장. 1997년 12월 ~ 현재 한국정보통신대학원대학교 교수. 관심분야는 네트워크 성능측정, 라우팅 알고리즘, 멀티캐스팅 기법, 광 인터넷 등.



손 승 원

1984년 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사). 1994년 연세대학교 산업대학원 전자전공 졸업(석사). 1999년 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1991년 8월 ~ 현재 한국전자통신연구원 정보보호응용연구부부장. 관심분야는 차세대인터넷, QoS 보장 기술, 라우팅 알고리즘, 인터넷 정보보호.



이 유 경

1978년 2월 한국항공대학교 전자공학과(학사). 1980년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(석사). 1980년 8월 ~ 1984년 3월 공군2사관학교(교교수). 1984년 4월 ~ 2000년 9월 현재 ETRI 인터넷기술연구부 부장. 1990년 12월 전기통신기술사. 1995년 5월 ~ 1996년 5월 일본 NTT통신연구소 방문연구원