

최적 경로 생성 및 최소 비용 신장 트리를 이용한 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘 : MCSTOP

박 문 성[†] · 김 진 석[†]

요 약

본 논문에서는 최소 비용 신장 트리(minimum cost spanning tree)를 기반으로 최적 경로를 지원할 수 있는 새로운 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 MCSTOP(Multicasting Path Assignment using the Minimum Cost Spanning Tree and the Optimum Path Generation) 알고리즘은 송신 노드나 이미 선정된 노드의 하위 노드들 중에서 새로운 그룹의 수신 노드가 발견되면 우선적으로 멀티캐스트 경로를 배정하는 방법을 적용하였다. 새로운 그룹의 멀티캐스트 배정 과정에서 새로운 그룹의 수신 노드들 사이에 타 그룹의 노드가 발생될 수 있다. 이러한 경우가 발생되면, MCSTOP 알고리즘에서는 새로운 그룹의 송신 노드와 수신 노드가 동일한 네트워크 영역(예, LAN 영역)과 차수 제한조건이 만족되면 새로운 가상 경로를 생성하여 최적 경로를 배정하도록 하였다. MCSTOP 알고리즘은 가상 경로로 선정된 노드들 사이에 존재하는 타 그룹 노드가 네트워크에서 탈퇴하여도 영향을 받지 않게 되므로, 새로운 그룹에 대한 멀티캐스트 경로의 재구성을 최소화시킬 수 있었다. 또한, 검증 결과 MCSTOP 알고리즘은 멀티캐스트 배정 경로를 위한 계산시간, 통신비용 그리고 데이터 전달지연시간 등이 CST(Constrained Steiner Tree) 알고리즘보다 성능 향상을 보였다. 추후 연구 사항으로는 데이터 회의를 지원하기 위한 그룹 통신 프로토콜로써 ITU-T T.120 시리즈의 MCS(Multipoint Communication Service)와 같은 국제 표준 프로토콜에 적용하기 위한 연구가 필요하다.

The MCSTOP Algorithm about the Minimum Cost Spanning Tree and the Optimum Path Generation for the Multicasting Path Assignment

Moon-Sung Park[†] · Jin-Suk Kim[†]

ABSTRACT

In this paper, we present an improved multicasting path assignment algorithm based on the minimum cost spanning tree. In the method presented in this paper, a multicasting path is assigned preferentially when a node to be received is found among the next degree nodes of the searching node in the multicasting path assignment of the constrained steiner tree (CST). If nodes of the legacy group exist between nodes of the new group, a new path among the nodes of new group is assigned as long as the nodes may be excluded from the new multicasting path assignment taking into consideration characteristics of nodes in the legacy group.

[†] 상 회 원 : 한국전자통신연구원 우정서비스연구실
논문접수 : 1997년 7월 23일, 심사완료 : 1998년 1월 23일

In assigning the multicasting path additionally, where the source and destination nodes which can be set for the new multicasting path exist in the domain of identical network (local area network) and conditions for degree constraint are satisfied, a method of producing and assigning a new multicasting path is used. The results of comparison of CST with MCSTOP, MCSTOP algorithm enhanced performance capabilities about the communication cost, the propagation delay, and the computation time for the multicasting assignment paths more than CST algorithm. Further to this, research activities need study for the application of the international standard protocol(multicasting path assignment technology in the multipoint communication service (MCS) of the ITU-T T.120).

1. 서 론

지리적으로 분산된 환경에서 다자간 통신을 지원하기 위한 노력이 많은 연구기관, 대학 그리고 기업 등에서 연구가 진행되고 있다. 또한, 정보 통신 서비스를 이용하는 사용자들도 여러 형태의 정보 공유를 제공 받고자 하는 욕구가 발생되고 있다. 이러한 욕구를 만족 시켜 주기 위한 노력의 일환으로 공유 자원 액세스 및 조작 프로토콜, 그룹 통신 프로토콜 그리고 회의 제어 프로토콜 등의 분야로 구분되어 활발히 연구가 진행되고 있으며, 부분적으로 상용화되어 지원되고 있다. 특히, 그룹 통신 프로토콜의 연구 분야는 멀티캐스트 통신을 위한 연결 설정 프로토콜, 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘, 그룹 주소 지정 방법 그리고 다자간 통신을 위한 오류 처리 프로토콜 등이 멀티캐스트 통신과 관련된 핵심 연구 과제이다. 기존의 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘들은 대부분 최단 경로 트리(shortest path tree) 알고리즘 또는 최소 비용 Steiner 트리(minimum cost steiner tree) 알고리즘을 기반으로 하고 있다[4,5,6,7,11,15,18].

본 논문에서는 멀티캐스트 경로 배정을 위해 최소 비용 신장 트리, 최적 경로 생성과 차수 제한조건을 이용한 최적 경로 생성 방법을 제안한 것이다. 이 알고리즘을 MCSTOP(Multicasting Path Assignment using the Minimum Cost Spanning Tree and the Optimum Path Generation)이라 지칭하였다. MCSTOP 알고리즘에서 최소 비용 신장 트리는 기존 그룹의 송신 노드에 연결되어 있는 하위 노드들 중에서 새로운 그룹의 수신 노드가 발견되면 우선적으로 멀티캐스트 경로를 배정하는 방법을 사용하였다. 네트워크 노드들의 멀티캐스트 능력은 차수 제한조건(degree constraint)으로 표시되며, d 의 차수 제한조건을 가지는 노드들은 $d-1$ 개의 출력 포트로 멀티캐스트할 수 있다. 이 차수 제한조건에 의한 최적 경로를 생성하면 멀

티캐스트 트리 내에 속한 노드의 결합이 멀티캐스트 호에 미치는 영향이 적어진다. 또한, 각 멀티캐스트 호간에 동평한 네트워크 자원 이용을 지원한다. 최적 경로의 생성 방법은 새로운 그룹의 노드들 사이에 존재하는 타 그룹의 노드를 최소화 시킬 수 있도록 타 그룹 노드의 배제 조건 식별 및 새로운 그룹의 노드들의 네트워크 영역 식별과 차수 제한조건 식별을 이용하여 새로운 가상 경로를 설정할 수 있도록 하였다[1,2,3,8,10,11]. 제 2장에서는 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘의 요구 사항을 다루고, 제 3장에서는 그룹 통신 프로토콜을 지원하기 위한 MCSTOP 알고리즘을 설계하였으며, 제 4장에서는 기존의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 MCSTOP 알고리즘을 차수 제한조건을 적용하여 간략하게 검증하고, CST(Constrained Steiner Tree) 알고리즘과 MCSTOP 알고리즘을 멀티캐스트 경로 배정에 소요되는 계산시간, 통신비용 그리고 지연 요소 등을 대상으로 검증하였다. 제 5장에서는 본 논문에서 제시한 MCSTOP 알고리즘과 관련된 추후 연구 방향을 제시하였다.

2. 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘의 요구 사항

다자간 통신에서 다수의 사용자가 메시지를 전송하는 기법에는 플러딩(flooding), 브로드캐스트(broadcast) 그리고 멀티캐스트(multicasting) 기법이 있다. 플러딩은 송신 노드가 네트워크 상에 존재하는 모든 노드들로 패킷(packet)을 전송하는 단순한 기법으로 대역폭의 낭비가 극심하며, 각 수신 노드는 동일한 패킷을 여러 번 수신하는 문제점을 가지고 있다. 브로드캐스트 경우에는 송신 노드에서 네트워크 상에 존재하는 모든 노드들로 패킷을 전송하는 기법이지만 플러딩보다 효율적으로 대역폭을 사용하며, 수신 노드는 하나의 패킷을 한번 만 수신한다. 멀티캐스트(선택

적 브로드캐스트)는 하나의 송신 노드가 멀티캐스트 그룹이라 불리는 수신자 그룹의 구성원에게만 패킷을 전송하는 기법이다. 현재, 대부분의 컴퓨터 네트워크에서 멀티캐스트(point-to-multipoint)의 경우에는 단순히 복수 개의 유니캐스트 연결을 설정함으로써 구현되고 있다. 멀티캐스트 통신과 관련된 연구 분야는 멀티캐스트 통신을 위한 연결 설정 프로토콜, 멀티캐스트 경로배정 알고리즘, 그룹 주소 지정 방법 그리고 다자간 통신을 위한 오류 처리 프로토콜 등이다[3,9,10,12].

본 논문에서 다루고자 하는 멀티캐스트 경로 배정은 네트워크 자원 및 대역폭을 최적으로 사용하기 위해, 네트워크의 규모가 크거나 노드의 수가 많은 경우에 더욱 중요하다. 그리고 멀티미디어 및 분산형 실시간 어플리케이션(application)에서 요구되는 성능을 보장할 수 있어야 한다. 또한, 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘은 어플리케이션들에서 요구되는 실시간성 및 성능을 보장하기 위해 대역폭, 종점간의 전송 지연 그리고 지터(jitter) 등이 고려되어야 한다. 또한, 어플리케이션에게 이러한 서비스 품질을 보장해야 할 뿐만 아니라, 다양한 멀티캐스트 기능을 가지는 노드(스위치, 라우터, 게이트웨이, 단말 노드 등)로 구성되는 네트워크의 이질성도 고려해야 한다. 즉, 네트워크에는 멀티캐스트 기능이 없는 노드도 존재할 수 있으며, 멀티캐스트 기능을 가지더라도 패킷 복제 기능에 제한을 가지는 경우가 빈번하기 때문이다[9,13,16].

3. 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘 설계

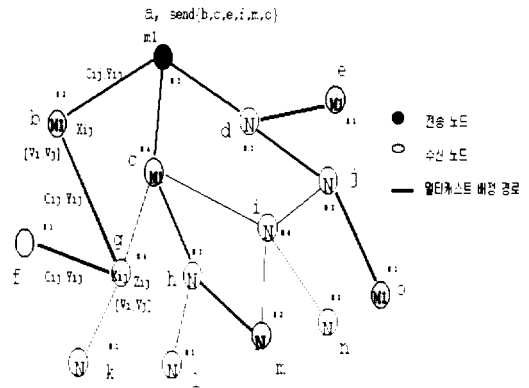
본 절에서는 멀티미디어 어플리케이션 및 분산형 실시간 어플리케이션에서 요구되는 멀티캐스트 경로 설정을 위한 계산시간, 통신비용 그리고 데이터 전달지연시간 등을 고려한 MCSTOP 알고리즘을 제안하였다. 그리고 기존 알고리즘과 MCSTOP 알고리즘의 멀티캐스트 경로 배정 절차를 보였다.

3.1 기존의 멀티캐스트 경로 배정방법

네트워크의 노드들은 네트워크 스위치, 라우터 그리고 게이트웨이 등이 포함되며, 링크는 네트워크 데이터 링크, 논리적 링크 혹은 서브 네트워크 등을 표시한다. 각 네트워크 링크는 링크의 비용, 전송 지연 그리고 대역폭 등과 같은 속성을 가진다. 링크의 비용은 네트워크 관리자에 의해 정의되는 값이 존재하며, 링크의 대

역폭 그리고 각 네트워크 노드의 버퍼 크기 등과 관계가 있다. 네트워크에서 하나의 송신자가 다수의 수신자들을 연결하는 멀티캐스트 경로를 계산하는 문제는 그래프에서 하나의 송신 노드와 다수의 수신 노드를 연결하는 트리를 계산하는 방법과 동일하다. 그래프에서 주어진 송신 노드와 수신 노드들을 연결하는 멀티캐스트 트리는 여러 개 존재할 수 있다. 일반적인 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘은 사용자가 요구하는 서비스 품질을 만족시키면서, 멀티캐스트 트리의 네트워크 통신비용을 최소화하는 것을 목표로 한다. 각 노드에 연결된 노드들의 집합은 다음과 같다고 가정하였다[2, 12,13,19].

$$\begin{aligned}
 a &= \{b, c, d\} & c &= \{a, g\} & c &= \{a, g, n\} & d &= \{a, e, i\} \\
 e &= \{d\} & f &= \{g\} & g &= \{b, c, f, k\} & h &= \{c, m\} \\
 i &= \{c, m, n\} & j &= \{d, o\} & k &= \{g\} & l &= \{h\} \\
 n &= \{i, n\} & o &= \{i\} & o &= \{i\} & & &
 \end{aligned}$$



(그림 1) 일반적인 멀티캐스트 경로 배정 (Fig.1) Multicast path assignment in general

(그림 1)은 일반적인 멀티캐스트 경로 배정방법에 의해 설정된 것으로 노드 a가 송신 노드이고, 노드 b, c, e, f, m, o는 멀티캐스트 수신 노드들이다. 계산된 멀티캐스트 트리에는 노드 a, b, c, d, e, f, g, h, m, j, o와 굵게 표시된 링크를 포함한다. 이러한 멀티캐스트 경로 배정의 절차는 다음과 같다.

- (1) 송신 노드 a에서 멀티캐스트하고자 하는 하위 노드를 검색한다.
- (2) 자신의 노드와 가중치를 비교하여 가중치(비용, 지연)가 적은 노드와 새로운 그룹의 노드를 선택 R1(a,b), R2(a,c)하고, 그 하위 노드의 정보를 요구한다.

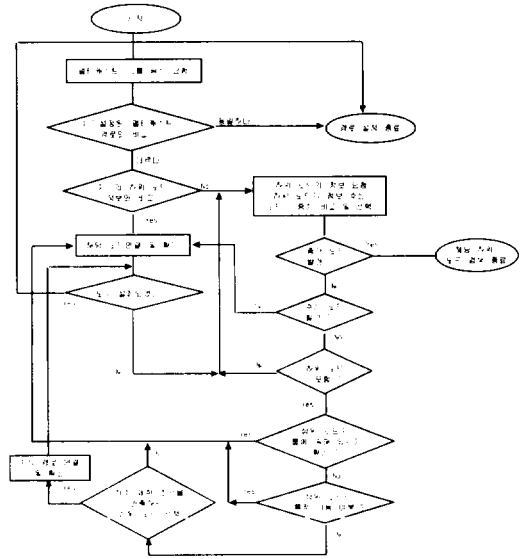
- (3) 송신 노드 a는 d 노드에 의해 e 노드가 존재함을 확인하고, R3(a,d,e) 경로를 배정한다.
- (4) 노드 b,c는 자신의 하위 노드를 통해 노드 f 정보를 식별하고, 송신 노드 a에 의해 가중치가 적은 R4(a,b,f) 경로를 배정한다.
- (5) 노드 c는 h, i 노드들과 연결된 노드 m을 식별하고, 가중치가 적은 R5(a,c,h,m) 경로를 배정한다.
- (6) 노드 a는 노드 c(i, j)와 노드 d(j)를 통해 경로를 배정할 수 있음을 확인하고, 가중치가 적은 R6(a,d,j,o) 경로를 배정한다.

경로 배정에 대한 결정은 송신 노드에 의해 결정되며, 노드와 노드간 연결된 링크들은 송신 노드와 수신 노드간 전송 지연과 통신비용 등을 포함한다[13, 15,16,18,19,20].

3.2 MCSTOP 알고리즘의 설계

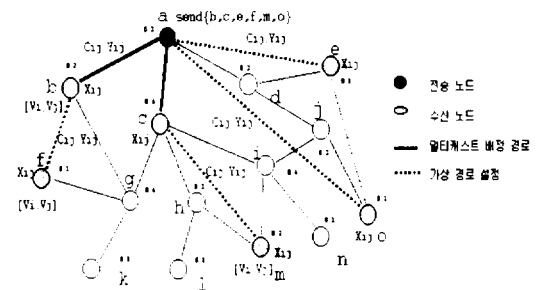
일반적인 멀티캐스트 경로 배정방법은 3.1절에서와 같이 중간에 경유되는 타 그룹의 노드들을 포함하여 멀티캐스트 경로를 배정한다. 새로운 그룹의 노드들에 포함된 타 그룹의 노드는 새로 추가된 그룹에 소속되지 않았음에도 불구하고, 멀티캐스트 경로 배정 상태를 유지하여야 한다. 그리고, 새로운 그룹 설정에 의해 요구되는 데이터 전달의 역할을 수행하여야 한다. 이는 자신이 속하지 않은 그룹을 위한 멀티캐스트 경로를 보유하고 있기 때문이다. 이러한 문제점과 타 그룹 노드의 증가에 따른 통신비용 및 지연 증가를 감소시키기 위해서는 타 그룹의 노드 수를 최소화하는 방법이 고려되어야 한다. 그리고, 멀티캐스트 경로 배정의 사이클을 최소화하기 위해서는 검색하는 노드의 하위 노드 중 새로운 그룹에 속한 노드이면 우선적으로 멀티캐스트 경로 배정이 되어야 한다. MCSTOP 알고리즘은 멀티캐스트 경로 배정 시간을 축소하기 위해 가중치와 새로운 소속 노드인지를 구분하여 수신 노드가 발견되면 우선적으로 설정하였다. 그리고, 멀티캐스트 트리 상의 타 그룹 노드의 멀티캐스트 경로 배정을 최소화하기 위해 차수 제한조건 및 최적 경로 생성 방법을 적용하였다. MCSTOP 알고리즘에서의 차수 제한조건 및 최적 경로의 생성 방법은 (1) 새로운 그룹의 노드들 사이에 존재하는 타 그룹의 노드가 새로운 멀티캐스트 경로 배정을 위해 필요한 노드가 아닌 경우와, (2) 새로운 그룹의 노드들이 동일한 네트워크 영역 존재하고, 차수 제한조건을 만족하면 새로운 가상 경로를 설정할 수 있

도록 하였다.



(그림 2) MCSTOP 알고리즘의 흐름도
(Fig. 2) Flow of MCSTOP algorithm

(그림 2)는 MCSTOP 알고리즘에서 멀티캐스트 경로 배정을 위한 흐름을 나타낸 것이다. 각 노드는 멀티캐스트 경로 배정을 위하여 집속의 순서를 구분하는 집속 id, 상위 노드 id, 하위 노드 id, 비용, 지연 그리고 차수 제한 값 등에 대한 정보를 갖는다. MCSTOP 알고리즘의 멀티캐스트 경로 배정 절차는 다음과 같다.



(그림 3) MCSTOP 알고리즘
(Fig. 3) MCSTOP algorithm

- (1) 송신 노드 a는 하위 노드들 중에서 수신 대상 노드인 b,c에 대한 R1(a, b), R2(a, c) 경로를 설정

한다. 노드 b,c는 가중치(비용, 지연)를 비교하지 않는다.

- (2) 노드 f는 3.1절에서와 같이 확인한 후에 b, c와 가상 경로 생성이 가능한지 확인한다. 동일한 네트워크 영역(예, 동일한 LAN 영역)이면, 노드 b,c중 자중치가 적은 노드와 가상 경로 R3(a,b,f)를 생성한다. 노드 b,c 모두가 가상 경로의 생성 조건을 만족하지 않으면, 가중치가 적은 R3'(a,b,g,f) 경로로 배정된다.
- (3) 위와 같은 방법에 의해 노드 e는 R4(a,e) 또는 R4'(a,d,e), 노드 m은 R5(a,c,m) 또는 R5'(a,c,h,m), 노드 o는 R6(a,o), R6'(a,e,o) 그리고 R6''(a,d,j,o) 중에서 선택된다.

즉, 노드 a,e구간 생성 후에 노드 a,o 구간의 멀티캐스트 경로 배정이 불가능하게 되면(예, 차수 제한조건 초과), 노드 e,o로 설정될 수도 있다.

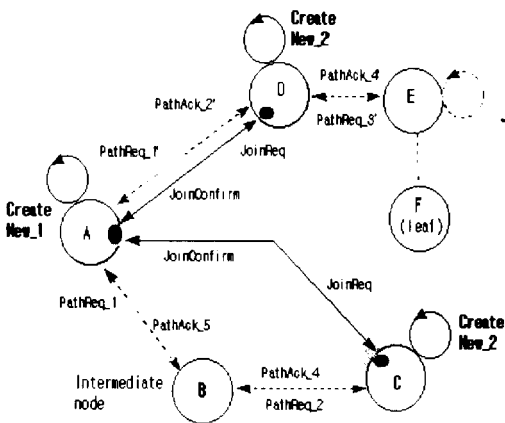
PathReq와 PathAck를 수행하여 해당 노드를 검색하고, 새로운 그룹의 노드가 발견되면, CreateNew를 수행하여 새로운 그룹의 통신 영역을 설정한다. (2) 송신 노드는 발견된 새로운 그룹의 노드의 정보가 중간 노드(intermediate node)를 통해 연결된 경우, 가상 경로 생성 가능 여부를 결정하고, 해당 노드에 통보한다. 만일, 자신의 하위 노드이면, 이미 생성된 새로운 영역에 가입을 요구한다. (3) 수신 노드들은 상위 노드의 채널 가입 및 가상 경로의 생성 조건이 만족되면, CreateNew를 수행하고, 지정된 상위 노드의 새로운 채널에 가입을 요청과 확인한다. (4) 멀티캐스트 트리 중에서 중간 노드가 CreateNew에 의해 생성된 경우에는 그 하위의 수신 노드들 중 새로운 그룹의 노드들은 이 중간 노드에 연결 설정이 될 수도 있다. (5) 리프(leaf) 노드를 발견한 노드는 그 하위 노드의 정보는 검색하지 않는다.

4. MCSTOP 알고리즘의 검증

본 절에서는 CST 알고리즘과 본 논문에서 제시한 MCSTOP 알고리즘의 통신비용 및 경로 배정을 위해 차수 제한조건을 대상으로 검증하고자 한다. 이를 위하여 두 알고리즘의 멀티캐스트 트리 비용을 최소화하기 위한 LP(Linear Programming)의 목적함수를 산출하였다. 그리고, MCSTOP 알고리즘과 매우 유사한 특성을 가진 CST 알고리즘을 대상으로 통신비용 및 최소 비용 트리를 구성하는데 소요되는 시간을 검증하였다. 이 모의 실험에서는 공정성을 위해 널리 사용되는 Waxman의 임의 그래프 생성기법[11]을 적용한 것이다.

4.1 차수 제한조건 검증

차수 제한조건을 만족하는 멀티캐스트 경로 배정을 적용하면, 멀티캐스트 트리에 속한 한 노드의 결합이 멀티캐스트 호에 미치는 영향을 최소화 시킬 수 있다. 또한, 네트워크 노드가 멀티캐스트 복제 기능으로 인한 부하를 분산시킬 수 있다. 제한된 대부분의 휴리스틱들은 추가하고자 하는 노드와 기존의 멀티캐스트 트리 간의 최소 비용 경로를 기반으로 하는 단순한 것이다. 단지, 차수 제한조건을 만족시키기 위해 새로운 노드를 추가할 때 마다 노드의 최소 비용을 갱신한다. 즉, 새로운 노드를 멀티캐스트 경로에 추가함으로써 특정 노



(그림 4) MCSTOP 알고리즘에 의한 연결설정 절차
(Fig. 4) Connection flow for the MCSTOP algorithm

(그림 4)는 MCSTOP 알고리즘에 의한 멀티캐스트 경로설정 절차를 보인 것이며, CreateNew, PathReq와 PathAck 그리고 JionReq와 JoinConfirm로 구성된다. CreateNew는 새로운 그룹의 멀티캐스트 환경을 지원하기 위해 필요한 대역폭, 버퍼 그리고 지연요소를 고려하여 생성한다. PathReq와 PathAck는 멀티캐스트 경로 배정을 위한 정보를 노드간 상호 교환하기 위해 사용되며, JionReq와 JoinConfirm은 연결 요청 및 확인의 절차로 사용한다.

- (1) 새로운 그룹 생성이 요구되면, 송신 노드는

드의 차수가 최대 값에 도달하게 되면, 해당 노드를 경유하는 모든 노드들을 우회하도록 갱신되며, 한번에 하나의 노드만 추가할 수 있다[11].

MCSTOP 알고리즘에서 가상 경로의 설정은 이미 정해진 경로에서 새로운 그룹의 소속 노드들간의 새로운 멀티캐스트 경로 배정 및 생성을 위한 것이다. 가상 경로 생성 대상 노드들간 연결되어 있는 노드의 차수 제한조건을 비교한 후 연결하는 방법을 사용한다. 만일, 상위 노드 혹은 하위 노드들이 차수 제한조건인 최대 값 이상으로 식별되면 가상 경로 생성을 중단하게 되고, 기존의 멀티캐스트 트리를 사용한다. MCSTOP 알고리즘을 검증하기 위한 요소들은 네트워크 트리를 구성하는 노드들의 특성, 노드의 통신비용, 멀티캐스트 경로상에서의 전송 지연시간 그리고 가상 경로 생성에 필요한 요소 등이다.

- N : 그래프 노드의 집합
- A : 방향성이 있는 그래프의 링크들의 집합
- M : 멀티캐스트 그룹 멤버(송신 노드, 수신 노드)의 집합
- m_1 : 송신 노드(source node)
- M_1 : $M - m_1$, 수신 노드(destination nodes)의 집합
- c_{ij} : 링크 $[V_i, V_j]$ 의 비용
- d_j : 노드 j 의 차수 제한 값(degree constraint)
- X_{ij} : 링크가 멀티캐스트 트리에 포함되는지 여부를 나타내는 이진수, 1 이면 트리에 포함되고, 0이면 트리에 포함되지 않음
- y_{ij}^k : 임의의 링크 $[V_i, V_j] \in A$ 와 수신 노드 $m_k \in M_1$ 에 대해 송신 노드 m_1 에서 링크 $[V_i, V_j]$ 를 거쳐 m_k 로 필수적으로 전달되는 양 k
- Z_{ij}^k : 노드 m_1 혹은 m_k 에서 링크 $[V_i, V_j]$ 를 거쳐 v_k 로 전달되기 까지 필요한 X_{ij} 의 개수
- V_{ij}^* : Z_{ij}^k 가 하나 이상일 경우에 노드 m_1 혹은 m_k 와 v_k 간의 가상 경로 생성수이며, 가상 경로를 생성하고자 하는 구간에 하나의 가상 경로를 갖는다.

- X_{ij}^{sn} : 가상 경로 생성이 요구되는 트리상에서상위 노드를 말한다.
- X_{ij}^{dn} : 가상 경로 생성이 요구되는 트리 상에서 하위 노드를 말한다.
- n : 멀티캐스트 트리에서 노드의 위치를 표시하기 위한 값이다(예, 루트 노드는 1, 루트 노드의 하위 노드들은 2, 노드 2의 하위 노드들은 3).

4.1.1 기존 알고리즘

(1) 멀티캐스트 트리 비용을 최소화하기 위한 LP의 목적함수는 $Min \sum_{[V_i, V_j] \in A} C_{ij} X_{ij}$ 이다. C_{ij} 는 링크 $[V_i, V_j]$ 의 비용이고, X_{ij} 는 해당 링크가 멀티캐스트 트리에 포함되는지 여부를 나타내는 이진 값이므로, 이들 곱의 합은 멀티캐스트 트리 전체의 비용이 된다.

(2) 송신 노드 m_1 에서 수신 노드 v_k 에 이르는 경로가 링크 X_{ij} 상에 존재하려면, 링크 X_{ij} 가 멀티캐스트 트리 내에 포함되어야 함을 나타낸다. 즉, y_{ij}^k 는 노드 m_1 에서 노드 v_k 로 향하는 경로가 링크 $[V_i, V_j]$ 를 경유하는지 여부를 나타내는 값이므로, 링크 $[V_i, V_j]$ 가 멀티캐스트 트리에 포함되는지 여부를 나타내는 X_{ij} 는 y_{ij}^k 보다 크거나 같아야 한다.

$$X_{ij} \geq Y_{ij}^k \quad \forall [V_i, V_j] \in A, \quad \forall v_k \in M_1$$

(3) 송신 노드 m_1 에서 수신 노드 v_k 에 이르는 유일한 경로가 존재하기 위한 조건으로는 네트워크 문제에서 일반적으로 정의하는 보전 조건(flow conservation)을 표현하면 다음과 같다.

$$\sum_{[V_i, V_j] \in A} y_{ij}^k - \sum_{[V_i, V_j] \in A} y_{ji}^k = \begin{cases} 1 & \forall v_k \in m_1, V_i = V_j \\ 0 & \forall v_k \in m_1, \forall V_i \neq m_1, V_j \end{cases}$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall [V_i, V_j] \in A$$

$$y_{ij}^k \geq 0 \quad \forall [V_i, V_j] \in A, \quad \forall v_k \in M_1$$

(4) 노드의 차수를 제한하는 조건을 다음과 같다.

$$1 + \sum_{[V_i, V_j] \in A} X_{ij} \leq d_j, \quad \forall V_j \in N$$

이 차수 제한조건은 (1)-(3)까지는 Steiner 트리문제를 수식화 한 것이며, (4)을 더함으로써 차수 제한조건을 가지는 Steiner 트리문제가 된다.

4.1.2 MCSTOP 알고리즘

(1) 송신 노드 $m_1(X_{ij}^{sm})$ 에서 수신 노드 $v_k(X_{ij}^{rn})$ 의 멀티캐스트 경로 상에 존재하는 $X_{ij}(0)$ 인 타 그룹의 노드를 배제하고, X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 간 새로운 경로를 설정하기 위해서는 $X_{ij}(0)$ 인 노드가 새롭게 구성되는 노드에서 배제하여도 가능한지 검사한다.

(2) X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 사이에 새로운 경로를 생성할 수 있는 조건은 X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 사이에 존재하는 X_{ij} 가 특정 노드가 아니고, X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 가 동일한 네트워크 영역 및 차수 제한조건을 만족하는 경우이며, 이때 새로운 경로를 생성할 수 있는 확률은 $\frac{1}{2}(\frac{1}{Z_{ij}^k+1})^{z_i}$ 이다.

(3) (2)의 조건이 만족되면, X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 간 새로운 경로가 설정된다. 새로운 경로가 생성되면, $C_{ij}(X_{ij}^{rn}-X_{ij}^{sm}-1)$ 만큼 통신비용 및 이에 따른 지연 요소가 감소된다.

(4) (1)(2)(3)의 절차에 의해 구성된 멀티캐스트 트리 비용에 대한 LP의 목적함수는:

$$MIN \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [C_{ij}X_{ij} - C_{ij}(X_{ij}^{rn} + X_{ij}^{sm} + \dots + X_{ij}^{rn}) + C_{ij}(X_{ij}^{rn} + X_{ij}^{sm} + \dots + X_{ij}^{rn}) + n C_{ij}]$$

$$X_{ij}^{rn} > X_{ij}^{sm}, C_{ij}(X_{ij}^{rn} - X_{ij}^{sm} - 1) > V_{ij}^k C_{ij},$$

$$n(X_{ij}^{rn} - X_{ij}^{sm} - 1) = n Z_{ij}^k$$

송신 노드 m_1 에서 수신 노드 v_k 에 이르는 유일한 경로가 존재하기 위한 조건과 차수 제한에 대한 함수는 기존 알고리즘의 (3)과 (4)항을 사용한다. 선정된 가상 경로인 X_{ij}^{sm} 와 X_{ij}^{rn} 간에서 수신 노드 v_k 에 이르는 링크 경로상에서 타 그룹의 노드인 X_{ij} 들이 네트워크 상에서 탈퇴하여도 아무런 영향을 받지 않게 된다. 가상 경로가 생성될 확률이 높아질 수록 통신비용, 데이터의 전달 지연 등이 많이 축소될 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같이 차수 제한조건을 가지는 Steiner 트리

를 LP로 수식화 한 문제는 LP 패키지로 최적 해를 구할 수 있다. 그러나, 노드 및 링크의 수가 어느 정도 커지면, LP의 제한조건의 수가 기하 급수적으로 증가하므로 인해 최적해를 계산하는 시간이 너무 오래 걸리거나 해를 구할 수 없는 경우가 발생된다. 따라서 LP로 차수 제한조건을 가지는 멀티캐스트 트리의 최적해를 구하는 것은 LP 알고리즘의 복잡도가 매우 크므로 멀티캐스트 경로 배정에 적용하기 어렵고, 단지 다른 휴리스틱 알고리즘의 효율성을 검증하기 위해 사용할 수 있다. 네트워크 노드가 차수 제한조건을 가지는 멀티캐스트 트리를 계산하는 휴리스틱 알고리즘은 향후 연구 과제이며, 본 절에서 LP 수식화로 구한 최적해를 휴리스틱 알고리즘의 성능 기준으로 사용할 수 있다 [11].

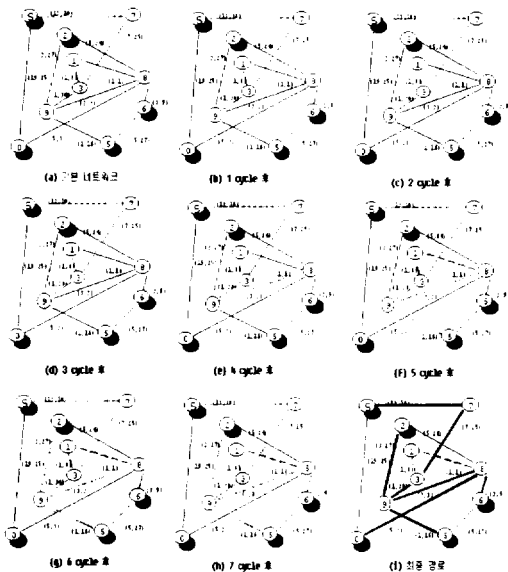
4.2 모의 실험에 의한 검증

실제로 멀티캐스트 경로를 신속히 계산하는 것보다 작은 비용의 경로를 찾는 것이 중요하다. 특히, 동적으로 변하는 네트워크에서는 트리를 계산하는 동안에도 네트워크의 노드 및 링크의 상태가 바뀔 수 있고, 배정 경로 계산이 너무 오래 걸리면, 계산 후에 예측된 자원을 사용할 수 없는 경우도 발생된다. 이러한 문제점들을 최소화하기 위한 목적으로 선정된 노드들의 경로 배정을 위해 소요되는 시간의 축소와 최소 비용에 의한 경로 설정을 위해 멀티캐스트 트리 상에서 검색 대상의 하위 노드 중에 존재하는 수신 노드는 우선적으로 멀티캐스트 경로를 배정하였다. 또한, 타 그룹의 노드가 네트워크 상에서 탈퇴될 경우에도 멀티캐스트 경로 재구성을 최소화할 목적으로 하였다. 이러한 MCSTOP 알고리즘을 비교 분석하기 위해 CST 알고리즘을 대상으로 하였으며, CST 알고리즘을 대상으로 한 이유로는 MCSTOP 알고리즘과 동일한 특성을 갖는 알고리즘이 없고, 이와 유사한 알고리즘들 중에서 가장 널리 사용하고, 대부분 이 알고리즘을 대상으로 하며, 다른 알고리즘과 비교하기 위한 공정성을 갖기 위해서 CST 알고리즘을 대상으로 선택한 것이다. 이 모의 실험에서는 공정성을 위해 널리 사용되는 Waxman의 임의 그래프 생성 기법[11]을 사용하였다. 이 기법은 실제 네트워크와 비슷한 임의 그래프를 생성하며, 다음과 같은 절차에 의해 임의 그래프가 생성된다[3,11,14,15,16].

(1) 네트워크 노드를 나타내는 n개의 점들이 2차원 좌표계에 임의로 분포하게 된다.

- (2) 각 노드들의 좌표 값은 정수 값을 취하며, 두 노드 사이에 링크가 존재할 확률 함수는 $P_c = \beta \exp \frac{-d(v, w)}{\alpha L}$ 이며, 여기서 $d(v, w)$ 는 노드간 거리를 말하며, L 은 임의의 두 노드간 최대 거리이고, $0 < \alpha, \beta \leq 1$ 의 값을 가지는 인자를 적절히 조정함으로써, 그래프의 차수와 연결 패턴을 조절할 수 있다. 연결된 그래프(connected graph)가 생성되지 않으면, 연결된 그래프가 생성될 때까지 임의의 링크를 추가한다.
- (3) α 의 값이 커질수록 생성되는 그래프의 차수가 커진다. β 값이 커질수록 생성되는 그래프의 차수가 커진다.
- (4) 링크 비용은 두 노드 사이의 거리에 비례한 값으로 정하고, 지연시간은 1 ~ 30 사이의 임의의 값으로 정하였다.

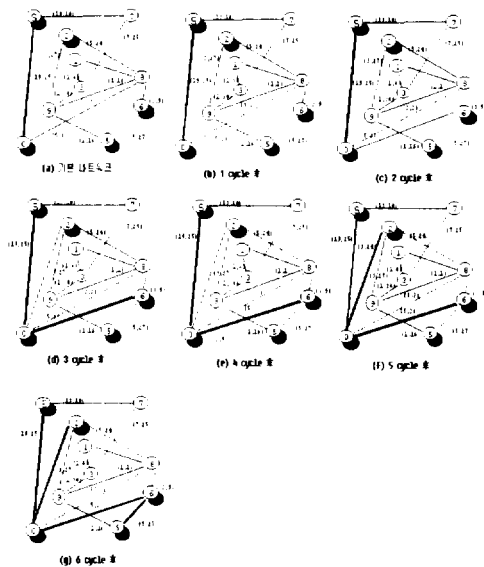
각 실험의 조건(네트워크 노드 수, 네트워크 노드에 대한 수신 노드 수의 비)에 대한 같은 분포 조건($\alpha = 0.2, \beta = 0.65$)으로 10개의 임의의 그래프를 생성하여, 두 알고리즘을 검증하였다(11,16).



(그림 5) CST 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘
(Fig. 5) Multicast path assignment in CST

새로운 그룹의 멀티캐스트 노드는 5개로 가정하였다. CST의 경우에는 멀티캐스트 경로 배정을 위해 최

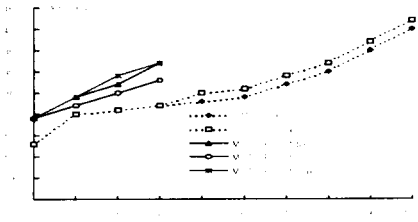
소의 비용 값을 갖는 노드들에 의해 트리 형태로 구성하여, 멀티캐스트 경로를 배정하고, 이 경로에 의해 데이터를 전송하는 방법이다. CST 방법에 의한 멀티캐스트 배정 경로 선정은 (그림 5)와 같으며, 동일한 조건에 의해 본 논문에서 제시한 알고리즘을 적용한 결과는 (그림 6)과 같다. (그림 5)와 (그림 6)은 전송 노드와 각 노드간의 비용과 지연함수(cost, delay)로 구성되며, 이 노드간 연결 비용 및 지연 함수에 의해 전송 노드(S)와 목적지 노드들과의 관계를 보인 것이다.



(그림 6) MCSTOP 알고리즘
(Fig. 6) MCSTOP algorithm

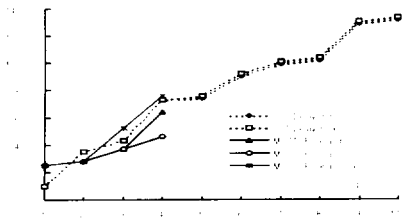
(그림 6)에서 (d)와 (f)의 경우에는 가상 경로 생성 조건이 만족될 경우에 포함되며, 조건이 만족되지 않는 경우에는 기존의 멀티캐스트 경로를 배정한다. MCSTOP알고리즘은 멀티캐스트 경로 배정을 완료하는데 5 ~ 7 사이클과 노드간 연결된 링크의 수는 4 ~ 5 개이다. 그리고, CST 알고리즘은 멀티캐스트 경로 배정을 완료하는데 9 사이클과 노드간 연결된 링크는 8 개이다. 즉, MCSTOP 알고리즘은 멀티캐스트 경로 배정을 위한 계산시간 및 멀티캐스트 배정 경로가 축소됨을 알 수 있었다. MCSTOP 알고리즘의 통신비용 및 지연 요소를 검증하기 위해 멀티캐스트 경로 배정 전과 후의 특성을 검증하고자 한다. CST 알고리즘에서 검증을 위한 변수는 지연함수의 범위가 최소(min) 혹은 최

대(max)인 구간과 통신비용(basis)을 대상으로 하였다. MCSTOP 알고리즘의 경우에는 가상 경로를 생성 되었을 경우에서, 분기점이 발생되므로 가상 경로의 길이가 최소(min)와 최대(max)인 구간과 가상 경로를 생성하지 않은 경우(basis)를 대상으로 검증하였다.

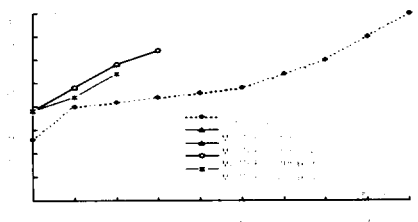


(그림 7) 멀티캐스트 경로 배정을 위한 통신비용
(Fig. 7) Cost for the multicast path assignment

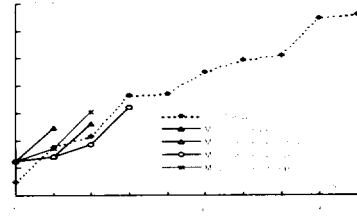
MCSTOP 알고리즘은 멀티캐스트 경로 배정을 과정과 이 과정이 수행된 후에 통신비용, 관련 트리 계산시간 그리고 데이터 전달 지연시간이 CST 보다 우수함을 보였다. 멀티캐스트 트리의 계산시간은 알고리즘의 차이와 횟수에 의존되며, 멀티캐스트 트리 비용과 알고리즘의 계산시간을 전체 노드가 (그림 5)와 (그림 6)에서 같은 경우에 정규화된 그룹 크기(그룹 크기/전체노드 수)의 함수로 검증하였다[3].



(그림 8) 멀티캐스트 경로 배정을 위한 지연시간
(Fig. 8) Delay for the multicast path assignment



(그림 9) 멀티캐스트 경로 배정 후 통신비용
(Fig. 9) Cost after multicast path assignment



(그림 10) 멀티캐스트 경로 배정 후 지연시간
(Fig. 10) Delay after multicast path assignment

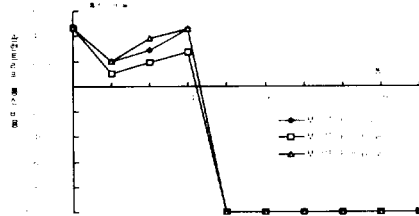
$$D_{COST} = \frac{C_{MCSTOP} - C_{CST}}{C_{CST}} \cdot 100, D_{TIME} = \frac{T_{MCSTOP} - T_{CST}}{T_{CST}} \cdot 100$$

C_{CST} : CST 알고리즘에서 트리 비용

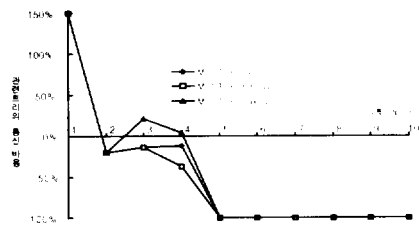
T_{CST} : CST 알고리즘에서 관련된 트리의 계산시간

C_{MCSTOP} : MCSTOP 알고리즘에서 트리 비용

T_{MCSTOP} : MCSTOP 알고리즘에서 관련된 트리의 계산시간



(그림 11) 멀티캐스트 트리의 계산시간
(Fig. 11) Computation of multicast tree



(그림 12) 정규화된 그룹의 통신비용
(Fig. 12) Cost of normalized group

MCSTOP 알고리즘에서 (그림 11)은 멀티캐스트 트리 구성을 위해 관련 트리의 계산시간을 보인 것이다. 그리고 (그림 12)는 정규화된 그룹이 설정되기 위해 소요되는 비용을 보인 것이다. 관련 트리 구성을 위한 계산시간은 초기에 많이 소요되지만 관련된 트리의

수가 증가될 수록 CST보다 MCSTOP 알고리즘의 계산시간이 감소된다.

〈표 1〉 멀티캐스트 경로 배정을 위한 통신비용 및 계산시간

〈Table 1〉 Cost and delay for the multicast path assignment

	가상경로 없음	가상경로 생성	
		최소구간	최대구간
통신비용	-20% ~ -23.8%	-30% ~ -33.3%	-20% ~ -23.8%
계산시간	-51.5% ~ -52.2%	-65.2% ~ -65.7%	-42.4% ~ -43.3%

〈표 2〉 관련된 멀티캐스트 트리 배정 후 통신비용 및 지연시간

〈Table 2〉 Cost and delay after multicast path assignment

	최소구간		최대구간	
	통신비용	지연시간	통신비용	지연시간
가상경로 없음	-27% ~ -31%	-60.6% ~ -61.2%	-20% ~ -23.8%	-51.5% ~ -52.2%
가상경로 (1개)	-27.5% ~ -47.6%	-60.6% ~ -63.4%	-20% ~ -30%	-51.5% ~ -54.5%
가상경로 (2개)	-45.5% ~ -47.6%	-62.9% ~ -63.4%	-32.5% ~ -35.7%	-53.8% ~ -54.5%

관련된 트리를 모두 멀티캐스트 경로 배정을 위해 소요되는 계산시간과 통신비용은 〈표 1〉과 같다. 그리고 멀티캐스트 경로 배정 후에 멀티캐스트 경로상에 데이터 전달지연시간과 통신비용은 〈표 2〉와 같다. MCSTOP알고리즘은 〈표 1〉의 결과와 같이 멀티캐스트 트리를 구성하기 위한 가상 경로의 최대 구간에서 통신비용 및 계산시간은 가상 경로를 생성하지 않은 경우보다 크지만 CST 알고리즘보다 42.2% - 43.3% 정도 축소됨을 보였다. 그리고, 멀티캐스트 경로 배정 후에는 〈표 2〉의 결과와 같이 가상 경로의 생성 수가 증가되면, 가상 경로 생성하지 않은 경우보다, 통신비용 및 지연시간도 축소됨을 알 수 있다. 즉, MCSTOP 알고리즘은 통신비용, 관련된 트리의 계산시간 그리고 새로운 멀티캐스트 경로상에 데이터 전달지연시간 등이 CST알고리즘보다 매우 우수한 특성을 갖는다.

5. 결 론

그룹 통신 환경에서 통신비용 축소 및 데이터 전달 지연시간의 축소를 목적으로 그룹 통신에 필요한 멀티캐스트 경로 배정 알고리즘을 제안한 것이다. 이 MCSTOP알고리즘에서는 멀티캐스트 경로 배정 시에 타 그룹의 노드가 새로운 그룹의 노드들 사이에 존재할 경우 가상 경로의 생성하는 방법을 적용한 것이다. 또한, 가상 경로 생성시 차수 제한조건을 사용하여 가상 경로를 생성하면, 차수가 임계치 이상의 값으로 증가시키지 않고, 차수가 더 적은 멀티캐스트 트리에 포함시키는 방법을 적용한 것이다. 이 방법을 적용하면, 한 노드에서 지나치게 많은 패킷을 복제하는 기능의 수행을 제한할 수 있다. 본 논문에서 제안한 MCSTOP알고리즘의 분석 결과에서 보인 것과 같이 가상 경로 생성으로 통신비용 및 생성된 멀티캐스트 경로상에서의 데이터 전달 지연을 축소시킬 수 있었다. 또한, 그룹 멀티캐스트 경로상에 여러 그룹이 존재할 경우 자신의 그룹이 아닌 다른 그룹에 소속된 노드에 영향을 받지 않고, 다른 그룹의 노드가 설정된 경로에서 이탈하여도 이로 인한 경로 재구성의 문제는 발생되지 않는다. 즉, 타 그룹의 노드가 네트워크 상에서 탈퇴하여도 멀티캐스트 트리의 재구성에 대한 문제를 축소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구 사항으로는 이 알고리즘을 통해 다루어질 수 있는 노드의 버퍼의 비용과 네트워크 대역폭 할당에 대하여 세부적인 성능 분석과 차수 제한조건 확장이 고려되어야 한다. MCSTOP알고리즘은 데이터 회의를 지원하는 그룹 통신 프로토콜인 멀티포인트 통신 서비스(MCS: Multipoint Communication Service) [4,6]와 같이 트리 형태로 구성되는 통신 환경에 적용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Bhagwat, P.P, Mishra and S.K. Tripathi, "Effects of Topology on Performance of Reliable Multicast Communication," In Proceeding of IEEE INFOCOM'94, 1994.

[2] E.Horowitz, S.Sahni, "Data Structures In Pascal," Computer Science Press, pp.203-319, 1985.

[3] Fres Bauer. "Distributed Algorithms for Multicast Path Setup in Data Networks." IEEE/ACM Transactions on Networking. Vol.4. No.4. pp181-191. 1996.

[4] ITU-T Recommendation T.120 (1996). Data Protocols for Multimedia Conferencing

[5] ITU-T Recommendation T.121 (1996). Generic Application Template

[6] ITU-T Recommendation T.122 (1996). Multipoint Communication Service for Audiographic and Audiovisual Conferencing Service

[7] ITU-T Recommendation T.125 (1996). Multipoint Communication Service Protocol Specification

[8] J. Kadirire. "Comparison of Dynamic Multicast Routing Algorithms for Wide-Area Packet Switched(ATM) Networks." IEEE INFOCOM'95. pp.212-219. 1995.

[9] J. Kadirire. "Minimizing Packet Copies in Multicast Routing by Exploiting Geographic Spread." Computer Communication Review. pp. 47-62. Aug.1994.

[10] L. Calvert, E.W.Zegura and M. J. Donahoo. "Core Selection Methods for Multicast Routing." In Proceeding of ICCCN'95. 1995.

[11] M.Imase and B.M. Waxman. "Dynamic Steiner Tree Problem." SIAM Journal of Discrete Mathematics. Vol.4. pp. 369-384. Aug. 1991.

[12] N. Budhiraja, M. Gopal, M. Gupta. "Multicast network connection architecture." IBM System Journal. Vol.34. No.4. Pp.590-603. 1995.

[13] R. Widyono. "The Design and Evaluation of Routing Algorithms for Real-time Channels." Tenet Group. Dept. of EECS. Univ. of Calif. At Berkeley. Jun. 1993.

[14] S. Ranmanrthan. "Multicast Tree Generation in Networks With Asymmetric Links." IEEE/ACM Transactions on Networking. Vol.4. No.4. pp558-568. 1996.

[15] SangWoo Nam, MoonSung Park. "A Study

on the Shortest Path Algorithm with Direction of the Postal Route Optimaization System". The Transaction of the Korea Information Processing Society Vol.4. No.3. pp491-498. 1997. 2.

[16] V.P.Kompella, J.C. Pasquale and G.C. "Multicast Routing for Multimedia Communications." IEEE/ACM Trnas. On Networking. vol. 1. no 3. pp. 286-292. Jun. 1993.

[17] 김원태, 박용진. "광역 멀티미디어 통신을 위한 분산 코어방식 멀티캐스트 프로토콜에 관한 연구." 한국정보과학회 춘계학술발표회. pp. 453-456. 1997. 4.

[18] 박문성, 김진석. "공동작업 지원을 위한 다자간 네트워크 시스템의 제어 방법." 한국정보과학회 춘계학술발표회. pp. 453-456. 1997. 4.

[19] 박준희, 박중기, 반남주, 김상하. "KMB 알고리즘과 지역적 최적화를 기반으로 한 동적 멀티 캐스트 알고리즘." 한국정보과학회 춘계학술발표회. pp. 453-456. 1997. 4.

박 문 성

1993년 숭실대학교 전자공학과(공학석사)
 1983년~현재 한국전자통신연구원 우정서비스연구소
 (연구원)
 관심분야 : 분산처리, 데이터통신, Real-Time System
 Scheduling

김 진 석

1982년 울산대학교 전자계산학과 졸업(공학사)
 1988년 동국대학교 전자계산학과 졸업(공학석사)
 1982년~현재 한국전자통신연구원 정보공학연구소장(책임연구원)
 관심분야 : 멀티미디어 데이터베이스, 소프트웨어공학,
 CSCW