
멀티캐스트 서비스를 위한 센터기반 공유형 경로 지정 방법

Center-based Shared Route Decision Algorithms for Multicasting Services

조기성*, 장희선**, 김동휘***
한국전자통신연구원 BcN 통합제어기술팀*, 평택대학교 경상학부 e-비즈니스연구소**,
대구대학교 컴퓨터·IT공학부***

Kee-Sung Cho(chokis@etri.re.kr)*, Hee-Seon Jang(hsjang@ptu.ac.kr)**,
Dong-Whee Kim(dwkim@daegu.ac.kr)***

요약

최근 원격교육, 디지털 콘텐츠 및 IPTV를 포함한 멀티미디어 데이터를 다수의 수신자들에게 멀티캐스트 전송기술을 이용하여 전송하는 방법들에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다. 이를 위하여 크게 소스 기반의 트리 구성과 센터 기반의 트리 구성 방식의 프로토콜이 제안되고 있으며, 특히 센터 기반의 트리 구성시 RP (Rendezvous Point) 라우터를 선정하기 위한 여러가지 알고리즘들이 제안되었다. 주요 알고리즘들에서는 RP와 멤버들사이의 최대거리, 평균거리 및 예측거리 등의 measure를 이용하여 이의 값을 최소화하는 라우터를 RP로 지정한다. 본 논문에서는 메시 네트워크 하에서 소스 및 멤버들이 랜덤하게 지정되는 상황을 가정하는 경우 효율적인 RP 선정 알고리즘을 제안한다.

■ 중심어 : | 경로지정 | 멀티캐스트 | 라우팅 프로토콜 |

Abstract

Recently, with the IPTV services, e-learning, real-time broadcasting and e-contents, many application services need the multicasting routing protocol. In this paper, the performance of the algorithm to assign the rendezvous router (RP: rendezvous point) in the center-based multicasting mesh network is analyzed. The estimated distance to select RP in the candidate nodes is calculated, and the node minimizing the distance is selected as the optimal RP. We estimate the distance by using the maximum distance, average distance, and mean of the maximum and average distance between the RP and members. The performance of the algorithm is compared with the optimal algorithm of all enumeration. With the assumptions of mesh network and randomly positioned for sources and members, the simulations for different parameters are studied. From the simulation results, the performance deviation between the algorithm with minimum cost and optimal method is evaluated as 6.2% average.

■ keyword : | Route Decision | Multicast | Routing Protocol |

1. 서론

정보통신과 컴퓨터 기술의 발달로 인터넷이 크게 보

급되고 있으며, 인터넷을 통해 문자나 숫자 등의 단순한 정보뿐만 아니라 오디오, 비디오, 그래픽 등의 각종

미디어의 혼합으로 이루어진 멀티미디어 데이터의 처리와 통신이 가능하다. 아울러 고속 네트워킹 하부구조와 최첨단 디지털 콘텐츠 기술은 비디오 방송, 원격 교육, 비디오 클럽 스트리밍과 같은 네트워크 상에서 지원되는 여러가지 멀티미디어 응용들의 실현이 가능하게 되었다. 이러한 발전에 따라 멀티미디어 데이터 전송 기술은 대용량의 데이터를 전송하는 IPTV 뿐만 아니라 인터넷 기반의 전자상거래나 제품판매 촉진 또는 기업 홍보 등의 동영상 광고나 각종 행사를 실시간으로 생중계 서비스 할 수 있고, 영상과 문자를 병행하여 전달하는 원격 교육 방송등의 다양한 멀티캐스트 인터넷 서비스가 가능하게 되었다. 멀티캐스트 기술은 네트워크 계층의 라우팅 기술과 트랜스포트 계층의 신뢰성 제공 기술 및 멀티캐스트 응용서비스 기술로 분류되며, 이 중에서도 특히 멀티캐스트 라우팅 기술은 멀티캐스트 서비스 보급을 위한 핵심기반 기술이며, 기술개발 측면에서 그동안 많은 발전이 이루어졌다. 광대역 인터넷 서비스는 전송되어야 할 데이터의 양과 특정한 다수의 수신 그룹 등과 같은 제약사항으로 많은 대역폭을 소모하게 된다. 더욱이 이와 같은 서비스를 Unicast 전송을 이용하여 제공하는 경우 다수의 경로 전송에 따른 대역폭 낭비가 큰 문제가 된다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위하여 Multicast(멀티캐스트) 전송 기술을 사용하며, 멀티캐스트에서는 네트워크를 통하여 송신 노드(소스, source, sender)가 동일한 패킷을 다수의 수신 노드(멤버, member, receiver)들에게 동시에 전달함으로써 대역폭과 지연시간 관점에서 패킷 전달의 효율성을 높인다[1][2].

대표적인 멀티캐스트 서비스를 사용하는 어플리케이션으로 IPTV나 원격 교육 방송 서비스를 들 수 있으며, 여기에서는 서비스를 원하는 사용자가 일정한 절차를 통해 서비스 그룹에 가입(Join) 하고 가입자 정보를 바탕으로 라우팅 프로토콜[3][5-7]을 사용하여 멀티캐스트 트리(Tree)를 생성하며, 이를 바탕으로 라우팅 테이블을 생성하고 가입자를 관리하게 된다. 이 경우 라우팅 프로토콜에 따라 트리 구성 방식을 소스 기반 트리(Source-based Tree)와 센터 기반 트리(Center-based Tree)로 나눈다. 소스 기반 트리에서는 송신 호스트로

부터 각 멤버에 이르는 트리, 즉 송신 호스트의 수만큼 트리를 관리해야 하며 DVMRP(Distance Vector Multicast Routing Protocol)[5], MOSPF(Multicast Extension to Open Shortest Path First)[6][7] 및 PIM-DM(Protocol Independent Multicast-Dense Mode) 프로토콜[10]에서 이용되고 있다. 반면, 센터 기반 방식에서는 공유형 트리[3]를 사용하며 확장성과 트리 관리 측면에서 유리한 CBT(Core Based Protocol)[10]와 PIM-SM(Protocol Independent Multicast-Sparse Mode)[3] 프로토콜에서 이용되고 있다. 그리고 센터 기반 방식에서 송신 호스트들은 코어(Core) 혹은 랑데부 라우터(RP: Rendezvous Point)라고 불리는 중심 라우터(Center Router)를 선정하고 이 중심 라우터로부터 각 멤버까지 공유형 트리를 구성한다. 즉, 송신 호스트에서 RP까지 단일 전송을 받고 RP는 이를 여러 명의 사용자에게 분기해 주는 역할을 수행하며, 이를 위하여 RP 라우터는 수신한 데이터를 일정 시간 동안 저장하고 복사하는 역할을 수행하게 된다.

따라서 멀티캐스트 서비스를 제공하는 네트워크에서 소스-RP-멤버 사이의 총비용은 RP라우터의 위치에 따라 달라지게 된다. 이를 위하여 여러가지 RP 선정 알고리즘들이 제안되었다[4][8-10]. 이들은 소스 및 멤버의 위치가 주어지는 경우 멤버와의 최대거리, 평균거리 및 예측거리를 구하여 이를 최소화하는 라우터를 RP로 지정하는 방법을 이용한다. 본 논문에서는 공유형 트리를 이용하는 센터 기반 프로토콜에서 멀티캐스트 라우팅을 위한 RP 선정 알고리즘들의 성능을 분석한다. 메시 네트워크 하에서 소스 및 멤버들이 랜덤하게 지정되는 경우를 가정하여 시뮬레이션을 수행하고 효율적인 RP 선정 알고리즘을 제시한다.

II. 멀티캐스트 라우팅

멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 멀티캐스트 송신 호스트에서 그룹 멤버에 이르는 경로를 정하기 위한 프로토콜이다. 그룹별로 송신 호스트와 그룹 멤버를 연결시켜주는 트리가 구성되며, 이에 따라 멀티캐스트 라우터

는 forwarding table을 작성하고 이 테이블에 따라 수신된 데이터그램을 소속 그룹별로 내보낼 인접 라우터(인터페이스)를 지정한다. 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 트리의 Root 위치와 멤버 호스트들의 조인 정보 가입 형태에 따라 [표 1]과 같이 나눌 수 있다[3][10].

표 1. 멀티캐스트 라우팅 프로토콜

가입 형태	소스 기반	센터 기반
Implicit	DVMRP PIM-DM	-
Explicit	MOSPF PIM-SM(SBT)	CBT PIM-SM(Shared)

먼저, 루트의 위치를 기준으로 보면 멀티캐스트 데이터그램 전송을 위한 트리 구성시 소스 기반 트리(SBT: Source-based Tree)를 구성하는 경우와 센터 라우터를 지정하여 구성하는 경우로 나눌 수 있다. 소스 기반 방식에서는 소스별로 트리를 구성하며 센터 기반 트리에서는 센터 라우터를 중심으로 공유형 트리를 구성하여 각각의 소스가 이를 공유하게 된다. 그리고 멤버와 연결된 라우터들의 멤버 가입 형태에 따라 묵시적 가입(Implicit Join)과 명시적 가입(Explicit Join)으로 분류된다. 묵시적 가입에서는 라우터가 멤버로서 가입하는 절차가 없으며 데이터그램이 도착하면 먼저 다른 라우터로 보내고 그 라우터로부터 해지를 요청하는 메시지가 없으면 그 라우터는 계속 멤버로 간주한다. 반면, 명시적 가입은 데이터그램을 송신하기 이전에 라우터들이 송신 호스트나 중심 라우터들에게 Join 메시지를 보냄으로써 멤버로서의 가입의사를 전달한다. 묵시적 방법에 비하여 명시적 방법에서는 데이터그램 전송 이전에 각 멤버에 이르는 트리를 구성할 수 있어 멤버가 없는 지역으로의 비효율적인 전송을 방지할 수 있다.

CBT와 PIM-SM 방식에서는 명시적 가입 메커니즘을 사용하여 공유형 트리를 구성한다. 트리를 구성하기 위하여 라우터들은 IGMP에 의해 서브넷에 멤버를 탐지하게 되면 중심 라우터를 향해 Join 메시지를 전송하고 Join 메시지는 유니캐스트 라우팅 프로토콜에 의해 중심 라우터까지 전달되는데, Join 메시지의 전송 경로를 따라 CBT 트리가 구성된다. 각 송신 호스트들은 중

심 라우터로 멀티캐스트 데이터그램을 보내고 라우터는 설정된 트리를 따라 포워딩한다. 이와 같은 멤버의 가입 절차와 트리 설정 절차는 CBT와 PIM-SM에서 동일하다. 그러나 CBT는 양방향 트리인 반면에, PIM-SM의 트리는 단방향이다. 따라서 CBT의 경우, 송신 라우터가 데이터그램을 중심 라우터로 보낼 때, 중심 라우터로 가는 도중에라도 트리의 분기를 만나면 그 분기에 매달린 다른 멤버 라우터에게 전달한다. 반면, PIM-SM의 경우에는 송신 라우터가 중심 라우터로 터널링을 통해 캡슐화된 데이터그램을 보내고, 중심 라우터에서 다시 PIM-SM 트리를 따라 각 멤버 라우터에게 전달한다. 그리고 PIM-SM은 지연에 민감한 응용 서비스를 위해 중심 라우터를 경유하지 않고 송신 라우터에서 직접 데이터를 전달하는 소스 기반 트리 구성을 허용한다. 이 경우 각 수신 라우터는 Join 메시지를 송신 라우터에게 보내는 명시적인 가입 형태가 사전에 이루어져야 한다.

[그림 1]은 센터 기반의 트리 구성 예를 보여준다. 여기에서 CBT에서는 Core, PIM-SM에서는 Rendezvous Point(RP)라고 불리는 센터 라우터를 8번 노드로 가정한다. CBT의 경우 라우팅 절차를 요약하면 다음과 같다.

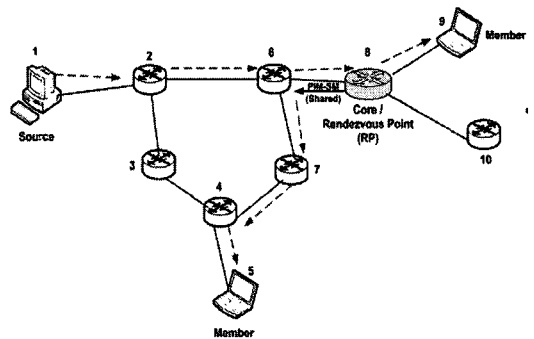


그림 1. 센터 기반 트리

- (1) IGMP 프로토콜을 이용하여 각각의 멤버는 RP로 Join 메시지를 전송하며 이 경우 RP까지의 최단 경로를 이용한다. 5번 노드는 5→4→7→6→8의 경로를 따라, 9번 노드는 9→8의 경로를 따라 RP로 Join 메시지를 전송한다.

- (2) Join 메시지의 전송 경로를 따라 양방향(멤버↔센터)의 트리를 구성한다.
- (3) 소스에서 RP까지의 최단 경로로 데이터그램을 전송한다. 즉 1번 소스는 1→2→6→8의 경로를 따라 RP로 데이터그램을 전송한다.
- (4) 위의 정보를 토대로 각각의 노드는 포워딩 테이블을 구성한다.
- (5) 데이터그램 전송시 멤버로 이르는 분기를 만나는 경우 분기를 따라 데이터그램을 전송한다. 예를 들어 1→2→6의 경로로 도착하는 데이터그램은 8번 RP로 전송하기 전에 6→7→4→5의 경로로 패킷을 전송한다.

PIM-SM(Shared)에서 멤버의 Join 가입 절차와 트리 설정 절차는 CBT와 동일하나, CBT는 양방향 트리를 구성하고 PIM-SM(Shared)에서는 단방향(센터→멤버) 트리를 구성한다. 따라서 PIM-SM(Shared)에서는 송신 호스트가 센터 라우터로 터널링(tunneling)을 통해 캡슐화된 데이터그램을 보내고 센터 라우터에서 다시 단방향 트리를 따라 각각의 멤버 호스트에게 전달된다. 즉, [그림 1]의 예에서 CBT와 달리, PIM-SM(Shared)에서는 1→2→6의 경로로 도착하는 데이터그램을 7번 노드로 분기하지 않고 8번의 RP로 전송한 후 다시 6번 노드로 데이터그램을 전송하여 6→7→4→5의 경로로 패킷을 전송하게 된다.

소스기반 트리는 센터기반 트리에 비하여 송수신 호스트간 데이터 전송 지연이 짧은 장점이 있으나 소스마다 라우팅 테이블(포워딩 테이블) 관리를 위한 메모리 문제로 최근 센터기반 트리에 대한 프로토콜 표준화에 관심이 높아지고 있다. 센터기반 방식에서는 PIM-SM(Shared)에 비하여 CBT의 경우 양방향 트리를 구성하기 때문에 멀티캐스트 데이터그램 전송시 전송 지연이 짧고 대역폭 사용량도 적게 된다. 그러나 CBT에서 양방향 트리를 구성하기 위해서 필요한 라우터간 IGMP 프로토콜에서의 오버헤드 메시지로 인하여 PIM-SM(Shared)이 현실적인 대안으로 평가되고 있다. 그리고 언급하였듯이 PIM-SM(Shared)에서의 지연시간 문제를 해결하기 위해서 지연에 민감한 소스-멤버

사이에는 소스기반 트리를 사용하는 PIM-SM(SBT) 기법을 적용함으로써 PIM-SM(Shared)와 PIM-SM(SBT) 방법을 혼합한 프로토콜 사용이 고려되고 있다.

III. RP 선정 알고리즘

PIM-SM(Shared) 프로토콜의 경우 RP의 위치에 따라 소스-멤버 사이의 비용(거리, 홉수, 대역폭, 링크 가중치 등)이 달라지므로 RP 지정을 위한 여러 가지 알고리즘들이 제안되었다[4][8][9]. 비용을 최소화하는 최적의 알고리즘은 각각의 노드들에 대하여 RP인 경우를 가정하여 비용을 산출한 후 그 중에서 가장 비용이 최소가 되는 노드를 선택하는 것이다. 그러나 현실적으로 이러한 방법은 적용이 어려우므로 다음과 같은 알고리즘을 제안하였다.

- (1) Max Dist(MD) 방법: 멤버까지의 최대 거리를 최소화하는 노드를 RP로 선정한다. 모든 후보 노드들에 대하여 다음의 값을 구하고 이 값이 가장 작은 노드를 RP로 지정한다.

$$MD = \max_{m \in M} d(RP, m)$$

여기서 M은 멤버의 집합을 의미하고 d(i,j)는 i와 j 노드 사이의 비용(거리)를 나타낸다.

- (2) Avg Dist(AD) 방법: 멤버까지의 평균 거리를 최소화하는 노드를 RP로 선정한다. 모든 후보 노드들에 대하여 다음과 같은 평균 값을 구하고 이 값이 가장 작은 노드를 RP로 지정한다.

$$AD = \frac{\sum_{m \in M} d(RP, m)}{\# \text{ of members}}$$

- (3) Est Dist(ED) 방법: 위에서 구한 두 가지 값의 평균값을 최소화하는 노드를 구한다. 즉, 다음과 같

은 measure 값을 모든 노드들에 대하여 구하고 이 값이 최소가 되는 노드를 RP로 지정한다.

$$ED = \frac{1}{2} \left\{ \max_{m \in M} d(RP, m) + \frac{\sum_{m \in M} d(RP, m)}{\# \text{ of members}} \right\}$$

IV. 성능분석

성능분석을 위하여 [그림 2]와 같은 Mesh 네트워크를 가정하고 그룹이 한 개(N=1)인 경우, 그리고 노드 사이의 비용을 1로 가정한다. 모든 노드들 사이의 거리를 일반화하여 제한한 알고리즘 사이의 객관적인 성능 분석을 위하여 Mesh 네트워크를 가정하였다.

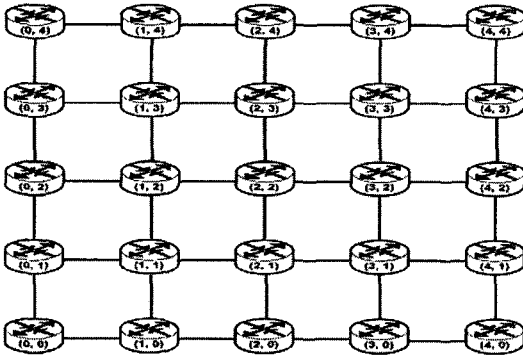


그림 2. Mesh 네트워크

먼저, 멤버의 수가 5개인 경우 소스의 수에 따른 소스-RP-멤버 사이의 총 비용을 구하면 [그림 3]과 같다. 여기서 Optimal은 각각의 노드들에 대하여 RP인 경우를 가정하여 비용을 산출한 후 그중에서 가장 비용이 최소가 되는 노드를 선택 할 때 (All Enumeration 방법)의 총 비용 값을 의미한다. 따라서 Optimal 인 경우가 가장 최소의 비용 값을 갖게 된다. 멤버의 수가 고정되어 있을 때 알고리즘에 따라 큰 성능의 차이가 없으므로 판단된다(알고리즘간 성능차이는 크지 않으며 소스의 수가 증가할수록 Optimal과 성능차이가 커짐). 그러나 실제로 Optimal과의 평균 상대 오차는 각각

9.6%(MD), 7.4%(AD), 7.6%(ED)로 나타났다. 이로부터 AD와 ED의 성능이 MD 보다 다소 우수함을 알 수 있다. 이는 최대거리 방식에 비하여 평균거리와 예측거리를 구하여 RP를 지정함으로써 소스의 수가 증가할 때 보다 더 네트워크의 비용을 정확히 예측하기 때문이다. 그리고 소스의 수가 증가함에 따라 모든 알고리즘들의 성능이 Optimal과 차이가 남을 알 수 있다. 이는 멤버의 수가 고정되어 있을 때 모든 measure 들이 RP-멤버들 사이의 비용만을 예측함으로써 소스와 RP 사이의 비용을 반영하지 못하기 때문이다.

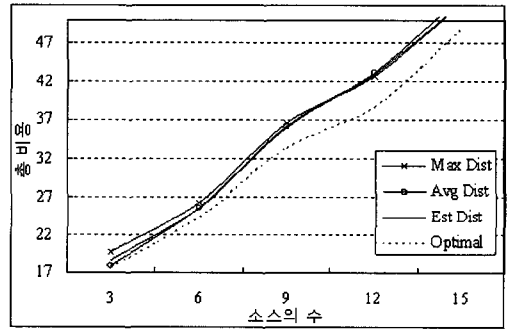


그림 3. 소스의 수 변화에 따른 총비용

반면, 소스의 수가 5개일 때 멤버의 수가 변화할 때 알고리즘들의 성능을 비교하면 [그림 4]와 같다. 여기에서는 MD 방식이 다른 방식에 비하여 총비용이 높게 나오므로써 성능이 나빠짐을 알 수 있다. 그러나 AD와 ED 방식은 MD 방식에 비하여 총비용이 훨씬 작음을 알 수 있다(AD와 ED의 성능이 거의 유사하여 그림에서 동일한 결과를 보임). Optimal과 비교시 각각 9.3%(MD), 5.1%(AD), 4.7%(ED)로 평가되어 ED 방식의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 그리고 소스의 수 변화에 따른 결과와 달리 멤버의 수가 증가하는 경우 소스의 수가 고정되어 있다면 measure 들이 RP-멤버 사이의 비용을 정확히 예측함으로써 Optimal 과 성능 차이가 줄어들음을 알 수 있다.

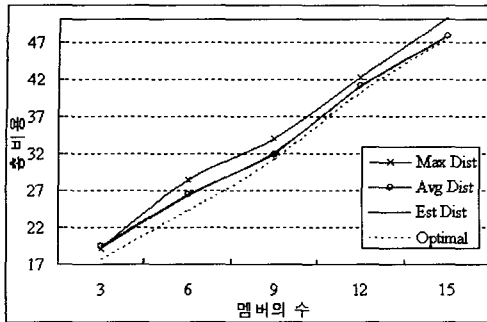


그림 4. 멤버의 수 변화에 따른 총비용

종합적으로 평가하면, 소스의 수와 멤버의 수 변화에 따른 알고리즘들의 성능(Optimal과의 평균 상대오차 차이 값)은 각각 9.45%(MD), 6.25%(AD), 6.15%(ED)로 ED의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 그리고 AD는 ED와 성능이 거의 비슷하나 MD는 다른 방식에 비하여 성능이 훨씬 좋지 않음을 알 수 있다. 본 논문에서 사용한 measure(MD, AD, ED)들은 여러개의 후보 노드들 중에 하나의 RP를 선정하기 위해 사용되는 파라미터들로 소스-RP-멤버 사이의 총비용을 예측하기 위해서는 다른 파라미터를 개발할 필요가 있다.

V. 결론

네트워크 자원의 증가와 서비스 제공 기술의 발달로 특정 다수를 대상으로 IPTV나 원격 교육 방송을 제공하는 그룹 통신 기법인 멀티캐스트의 필요성이 증대되고 있다. 지금까지 이러한 멀티캐스트 서비스를 위하여 여러 가지 프로토콜이 제안되고 있으며 최근 센터 또는 랑데부 라우터(RP: Rendezvous Point)를 중심으로 공유형 트리를 구성하여 가입자 관리 측면에서나 자원 사용면에서 효율성을 높이하고자 하는 CBT 및 PIM-SM 프로토콜 사용이 권고되고 있다. 공유형 트리 구성 프로토콜에서는 RP 라우터를 지정하여 소스에서 RP 라우터까지 소스 기반 트리를 구성하고 RP에서 각각의 수신 호스트(멤버)까지 공유형 트리를 이용하여 데이터를 전송하게 된다. 따라서 RP의 위치에 따라 소스에서 멤버까지의 비용이 달라지게 된다.

이를 위하여 여러가지 알고리즘들이 제안되었으며, 본 논문에서는 후보 RP와 멤버들 사이의 최대거리, 평균거리 및 예측거리를 구하여 이 값을 최소화하는 노드를 RP로 지정함으로써 네트워크 상의 전체 비용을 최소화하는 알고리즘을 제시하였다. 메시 네트워크에서 소스와 멤버들이 동적으로 랜덤하게 지정되는 경우 시뮬레이션을 통하여 알고리즘들의 성능을 분석하였다.

분석결과, 소스의 수와 멤버의 수가 증가하는 경우 최대거리(MD: Maximum Distance)를 이용하는 알고리즘은 다른 방법에 비하여 성능이 떨어짐을 알 수 있으며, RP와 멤버들사이의 평균거리(AD: Average Distance)를 이용하는 방법과 예측거리(ED: Estimated Distance)를 이용하는 방법의 성능이 비슷하고 AD에 비하여 ED가 다소 성능이 우수함을 알 수 있다. 이는 후보 노드와 멤버들사이의 최대거리와 평균거리의 평균값을 이용함으로써 총비용을 보다 효율적으로 예측할 수 있음을 나타낸다.

본 논문에서는 메시 네트워크에서 가상적인 시뮬레이션을 통하여 멀티캐스팅 알고리즘들을 분석하였다. 향후 일반적인 네트워크를 가정하는 경우 그리고 프로토콜의 구현을 위한 오버헤드 메시지를 추가하여 실제 네트워크 상에서 운용하는 경우의 알고리즘을 분석할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 김백현, 황태준, 김익수, "주문형 비디오 분배를 위한 웹-캐스팅 멀티캐스트 전송 기법", 정보처리학회논문지B, 제12-B권, 제7호, pp.775-782, 2005(12).
- [2] 조성근, 최성근, 최준근, "BcN 환경에서 효과적인 멀티캐스트 서비스를 위한 연결 수락 제어 방안", 정보처리학회논문지C, 제12-C권, 제6호, pp.793-798, 2005(10).
- [3] 차동완, 정용주, 윤문길, 인터넷 정보 기술, 홍릉과학출판사, pp.325-337, 2004.
- [4] D. G. Thaler and C. V. Ravishankar, "Distributed

Center-Location Algorithms," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.15, No.3, pp.291-303, Apr. 1997.

[5] D. Waitzman, C. Partridge, and S. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol," RFC1075, IETF, Nov. 1988.

[6] J. Moy, "Multicast Routing Extensions for OSPF," ACM Communications, Vol.37, No.8, pp.61-66, Aug. 1994.

[7] J. Moy, *OSPF version 2*, RFC 1583, IETF, Mar. 1994.

[8] K. I. Kim and S. H. Kim, "A Novel Overlay Multicast Protocol in Mobile AdHoc Networks: Design and Evaluation," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.54, No.6, Nov. 2005.

[9] S. M. Chung and C. H. Youn, "Core Selection Algorithm for Multicast Routing under Multiple QoS Constraints," Electronics Letters, Vol.36, No.4, pp.378-379, Feb. 2000.

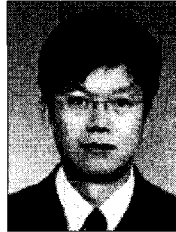
[10] T. Billhartz, J. B. Cain, E. F. Goudreau, D. Fieg, and S. G. Batsell, "Performance and Resource Cost Comparisons for the CBT and PIM Multicast Routing Protocols," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.15, No.3, pp.304-315, Apr. 1997.

[11] Rodionov and Choo, "On Generating Random Network Structures: Connected Graphs," Springer LNCS, Vol.3090, pp.483-491, Aug. 2004.

저 자 소개

조 기 성(Kee-Sung Cho)

정회원



- 1982년 : 경북대학교 전자공학과 (학사)
- 1984년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1984년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 팀장

<관심분야> : BcN 통합제어기술

장 희 선(Hee-Seon Jang)

정회원



- 1990년 : 울산대학교 산업공학과(학사)
- 1992년 : KAIST 산업공학과(공학석사)
- 2002년 : KAIST 산업공학과(공학박사)

- 1992년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원
- 2003년 ~ 현재 : 평택대학교 경상학부 교수

<관심분야> : 트래픽 엔지니어링, 성능분석

김 동 휘(Dong-Whee Kim)

정회원



- 1981년 : 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1983년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1995년 : 와세다대학 이공학 연구과(공학박사)

- 1983년 ~ 1996년 : 한국전자통신연구원
- 1996년 ~ 현재 : 대구대학교 컴퓨터·IT 공학부 교수

<관심분야> : BcN 통합제어기술