

Shortest Path Tree 알고리즘을 활용한 오버레이 멀티캐스트 QoS 향상 기법 연구

이형옥*, 고 휘*, 남지승*
*전남대학교 전자컴퓨터공학과
e-mail:narcis99@nate.com

A Study on Overlay Multicast QoS Improvement Using Shortest Path Tree algorithm

Hyung-Ok Lee*, Gao-Hui*, Ji-Seung Nam*
*Dept of Electronic-Computer Engineering Chonnam University

요 약

오버레이 멀티캐스트는 IP멀티캐스트에 비해 지연시간이나 대역폭 사용의 측면에 있어서 비효율적이다. 실시간 방송 서비스에서 사용자들에게 QoS를 보장하기 위해 오버레이 멀티캐스트의 이런 비효율성을 줄여야할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 호스트들의 제한된 자원과 네트워크 환경을 고려하여 실시간 방송 서비스에 적합한 오버레이 멀티캐스트 트리를 구성하는 알고리즘을 제안하고 적용하여 시뮬레이션한다.

1. 서론

인터넷 방송, 화상 회의 등의 집단 간의 통신을 위해서는 효율적이고 확장 가능한 멀티캐스트 메커니즘이 필요하다. 수년 전 까지 IP 멀티캐스트가 이를 위한 적절한 메커니즘으로 여겨져 왔다. 그러나 IP 멀티캐스트는 라우터의 구현, 혼잡 제어와 신뢰성 있는 전송에서 여러 가지 문제점에 맞닥뜨리게 되었으며, 그에 대한 대안으로 오버레이 멀티캐스트(Overlay Multicast) 방법이 제안되었다.

IP 멀티캐스트에서 패킷의 복제와 전송을 라우터가 담당하는 반면, 오버레이 멀티캐스트에서는 단말의 사용자가 패킷의 복제와 전송을 담당하게 된다. 즉 단말 사용자들로 이루어진 응용 계층에서 멀티캐스트 트리를 구성하여 그 트리의 경로를 통해 패킷을 전송한다. 각 사용자는 패킷을 받은 후에 트리 상의 다른 이웃 단말 사용자에게 패킷을 전송하게 된다. IP 멀티캐스트는 구현을 위해 라우터의 개선이 필요한 것에 반해, 오버레이 멀티캐스트는 각 사용자의 응용 프로그램만 갖추어지면 구현될 수 있다는 장점이 있다. 반면 오버레이 멀티캐스트는 IP 멀티캐스트에 비해 지연시간이나 대역폭 사용의 측면에 있어서 비효율적이라는 단점이 있다. 오버레이 멀티캐스트에서는 최대한 이런 비효율성을 줄이는 멀티캐스트 트리를 구성하는 것이 중요한 목표이고, 실시간 방송 서비스에서 사용자들에게 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위해서 반드시 극복해야 할 문제점인 것이다.

본 논문에서는 각 호스트들의 제한된 자원과 네트워크 환경을 고려하여 실시간 방송 서비스에 적합한 오버레이 멀티캐스트 트리를 구성하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

이 알고리즘은 각 노드들의 가용대역폭과 Delay를 제안하는 Score-function에 적용한 후, 다익스트라 알고리즘을 사용하여 최적의 트리를 구성하게 된다.

2. 본론

2.1 Score Function

Dijkstra 알고리즘은 가중치가 있는 그래프의 최단 경로를 구하는 알고리즘이다. 출발 정점에서 시작하여 현재의 정점까지의 값과 인접한 정점의 가중치 합이 가장 작은 정점을 다음 정점으로 선택하고 그 경로를 최단 경로에 포함 시킨다.

이 과정을 모든 정점이 선택될 때까지 반복한다. 그리고 시작점에 연결되어 있는 정점 사이의 거리를 구해서 최소값을 갖는 정점에 표시한다. 표시를 해둔 정점에 연결되어있는 각 정점까지의 거리를 구하고, 이 때 계산된 정점(표시되어 있지 않은) 사이의 거리 중에서 최소값을 갖는 정점에 표시한다. 이 과정을 모든 정점에 표시할 때까지 반복하면, 각 정점에서 얻을 수 있는 값이 곧 시작점에서의 최단거리를 뜻하게 된다.

오버레이 멀티캐스트에 Dijkstra 알고리즘을 사용하면 노드간의 최단거리, 즉 최적의 Path를 얻을 수 있다. 그러나 Dijkstra 알고리즘은 노드들의 out-degree를 고려하지 않기 때문에 각 호스트들의

대역폭 문제를 해결할 수 없고, 그로 인해 네트워크 트래픽이 증가하게 된다. 이는 실시간 방송 서비스에서 반드시 극복해야하는 문제점인 사용자들에 대한 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 없게 한다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해, 각 노드들의 대역폭과 노드들 간의 delay를 이용한 Score-function을 제안 한다.

전체 네트워크를 그래프로 $G(N, E)$ 로 표현하였을 때, N는 각각의 호스트를 나타내고 E는 호스트들 간의 링크를 나타낸다.

한 노드 i에서의 가능한 Out-degree는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$avaD_i = \left\lfloor \frac{\gamma \cdot \max BW_i - use BW_i}{req BW} \right\rfloor \quad (0 < \gamma \leq 1)$$

- $avaD_i$ = 노드 i의 Out-degree
- $\max BW_i$ = 노드 i의 최대 대역폭
- $use BW_i$ = 현재 사용 중인 대역폭
- $req BW$ = 노드 i로 요청되는 대역폭

한 호스트의 Delay는 다음과 같이 정의하였다.

$$RTT_i = \sum_{j \in f_i} RTT_{ij} \quad (f_i = i \text{노드와 인접한 노드})$$

- RTT_{ij} = 노드 i와 노드 j사이의 RTT값
- RTT_i = 노드 i와 인접한 모든 노드들 간의 RTT값의 합

여기서 노드 i는 인접하고 있는 모든 노드들과의 RTT 값을 구하고 합한 값을 저장한다.

위의 두 식을 사용하여 다음 Score-function을 유도하였고, 이는 노드의 대역폭과 Delay를 고려하여 라우팅을 가능케 한다.

$$Func(i) = \alpha \left(\left\lfloor \frac{\gamma \cdot \max BW_i - use BW_i}{req BW} \right\rfloor \right) + (1-\alpha) \left(\frac{1}{RTT_i} \right) \quad (0 < \alpha \leq 1)$$

$Func(i)$ 의 값이 높을수록 가용대역폭이 많고, 딜레이가 적은 호스트를 뜻한다. 이 값은 각 링크의 가중치 값이 되고, Dijkstra 알고리즘을 통해 트리를 구성할 수 있다. 여기서 네트워크 상황과 응용분야에 따라 중요시 되는 것이 대역폭일수도 Delay일 수도 있기 때문에 각 상황에 맞게 α 값을 조정해야 할 필요가 있다.

2.2 변형된 SPT 알고리즘

```

Dijkstra (G, w, s)
for (V[G]안의 모든 정점 v)
    d[v] = ∞
    previous[v] = Null
d[s] = 0
OutDegree = i (i는 임의의 상수)
Q안에 모든 정점을 입력

While (Q != ∅)
    u를 Q에서 빼낸다.
    (u = Q안에 있는 값 중 가장 작은 값)
    for (u에 인접한 정점 v를 선택, v는 Q안에
        있는 정점으로 c(u, v)값이 작은 순으로 선택)
        if (OutDegree = 0)
            d[v] = ∞, v를 Q안으로 넣는다.
            OutDegree = i
        else if ( d[v] > d[u] + c(u, v) )
            d[v] = d[u] + c(u, v)
            previous[v] = u
            OutDegree --
    
```

```

S = 모든 정점들의 집합
Q = 우선순위 큐
OutDegree = 제한하는 차수
c(u, v) = 정점 u, v사이의 Cost
d[v] = 정점 v의 Label, s = source
previous[v] = source에서 정점 v까지의 Shortest Path
        에서 v 이전의 정점
    
```

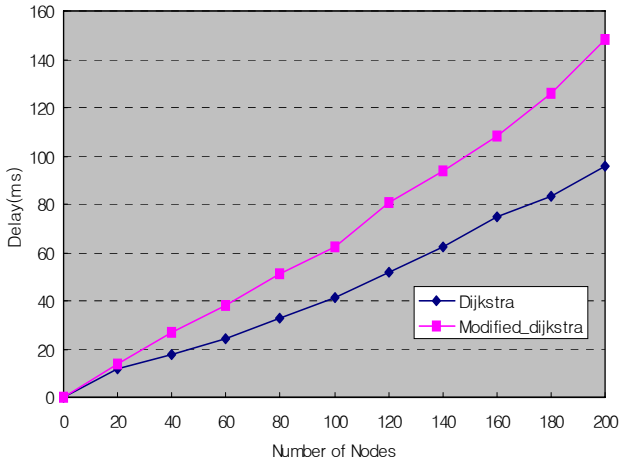
3. 실험

본 논문에서는 제안된 모델의 성능을 평가하기 위해 GT-ITM을 이용해서 Flat-random Graph 방식으로 토폴로지를 생성하였으며 총 노드의 수는 200개로 구성하였다. 각 노드들의 최대 대역폭은 약 100Mbps로 설정 하였으며, 노드들 간의 링크 확률은 10~60%로 변화시켜 보았다. 링크 대역폭은 10~20Mbps로 주었으며, 이는 각 노드의 Out-degree에 할당된 대역폭의 합이 최대 대역폭인 100Mbps를 넘지 않도록 고려한 것이다. 제안한 모델에서 한 개의 오버레이 호스트가 가지는 최대 Out-degree 값은 100Mbps의 네트워크 환경에서 최소 25Mbps 정도의 대역폭이 필요한 HD급 영상을 서비스 한다고 가정하였고, 이를 모델링하기 위해서 Network Simulator2를 이용하였다.

구성된 네트워크 토폴로지를 기초로 하여 노드의 수를 증

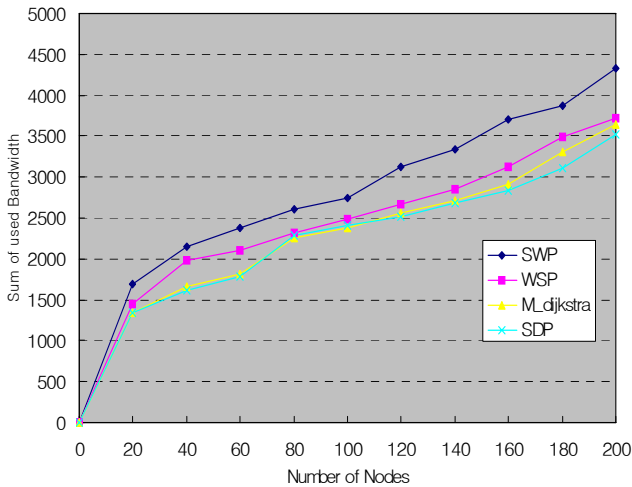
가시게 가면서 전송지연과 패킷 손실률, 링크혼잡도 등을 측정하였다. 또한, 제안한 알고리즘과의 성능비교를 위해 관련 연구에서 살펴보았던 Dijkstra, SWP, WSP, SDP 알고리즘을 동일 환경 하에서 테스트 하였다.

첫 번째 시뮬레이션에서는 트리를 구성하는 노드의 수를 20개부터 200개까지 증가시켜가며 Dijkstra 알고리즘과 수정된 Dijkstra 알고리즘으로 구성된 트리의 평균 Delay값을 측정하였다.

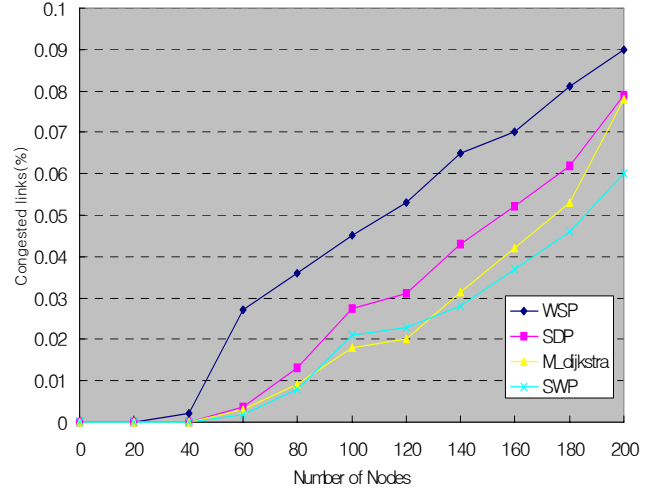


[그림 1] 호스트 수의 증가에 따른 평균 딜레이

그림 1의 시뮬레이션 결과를 보면 총 딜레이의 합은 Dijkstra가 변형된 Dijkstra보다 작다는 것을 알 수 있다. Delay 뿐만 아니라 대역폭까지 고려한 제안 알고리즘의 성능이 낮게 나오는 것은 당연하다. 그러나 이 시뮬레이션에는 Dijkstra 알고리즘이 월등히 높을 것으로 생각되는 Queuing Delay가 포함되어 있지 않기 때문에 정확한 결과라고 보기는 힘들다.



[그림 2] 호스트 수의 따른 총 사용 대역폭



[그림 3] 호스트 수에 따른 혼잡 링크율

그림 2는 SWP, SDP, WSP 그리고 제안된 수정된 Dijkstra 알고리즘이 호스트 수의 증가에 따라 사용하는 대역폭의 합을 보여준다. 최단 경로로써 대역폭이 가장 큰 경로를 선택하는 SWP 알고리즘이 가장 많은 대역폭을 사용함으로써 효율성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 제안한 알고리즘은 대역폭의 역수를 가중치로 사용하는 SDP 알고리즘과 대역폭의 사용이 비슷한 것을 볼 수 있다.

마지막으로 그림 3은 호스트 수가 증가함에 따라 혼잡 링크율의 변화를 보여준다. 시뮬레이션 결과를 통해 최단 경로 선택에 있어서 최소 hop을 갖는 경로를 선택하는 WSP가 혼잡 링크가 가장 많은 것을 알 수 있다. 또한, 대역폭을 경로 선택에 있어서 최우선으로 두는 SWP가 혼잡 링크율이 가장 낮은 것을 볼 수 있다. 그리고 수정된 Dijkstra 알고리즘은 SWP와 비슷한 혼잡 링크율을 갖는 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 각 호스트들의 제한된 자원과 네트워크 환경을 고려하여 오버레이 멀티캐스트 트리를 구성하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 각 노드들의 가용 대역폭과 Delay를 Score-function에 적용하여 Cost값을 구한 후, 변형된 Dijkstra 알고리즘을 사용하여 최적의 트리를 구성하게 된다. 이로 인해 실시간 방송 서비스에서 극복해야 할 가장 큰 문제점인 QoS(Quality of Service)를 높일 수 있었고, 오버레이 멀티캐스트가 가지는 단점인 지연시간과 대역폭 사용의 측면에 있어서의 비효율성을 줄일 수 있었다.

모의실험을 통해서 제안 알고리즘이 트래픽 분배에서 Dijkstra 알고리즘보다 좋은 성능을 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 다중 제약을 가지는 기존의 트리구성 알고리즘들과 비교했을 때 대역폭의 효율성과 혼잡링크 제어에 좋은 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

향후연구로는 제안 알고리즘은 고정된 토폴로지에만 적용이 용이하기 때문에, 트리의 확장성을 위해서 노드의 Join과 Leave정책을 수립하는 것을 고려할 수 있다.

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(NIPA-2013- H0301-13-1006)

참고문헌

- [1] Y. Chawathe, S. McCanne, and E. A. Brewer, "RMX: Reliable Multicast for Heterogeneous Networks", IEEE INFORCOM'00, Jun. 2000.
- [2] V. Roca and A. El-sayed, "A host-based Multicast(hbm) Solution for Group Communications", 1st IEEE International Conference on Networking, Colmar, France, July. 2001.
- [3] R. Guerin, Ariel Orda, and D. Williams, "QoS Routing Mechanism and OSPF Extension," Proc. of 2nd Global Internet Miniconference (Joint with Globecom'97), Nov. 1997.
- [4] Q. Ma and P. Steenkiste, "On Path Selection for Traffic with Bandwidth Guarantees," Proc. of IEEE Int'l Conf. on Network Protocol, Oct. 1997.
- [5] B. Davie and Y. Rekhter, "MPLS Technology and Applications," Morgan Kaufmann Publishers, 2000.