두 독립변수의 효율적 조합을 사용한 멀티캐스트 트리 생성 알고리즘

김문성*, 방영철**, 추현승*
*성균관대학교 정보통신공학부
{moonseong, choo}@ece.skku.ac.kr
**한국산업기술대학교 컴퓨터공학과
ybang@kpu.ac.kr

On Multicast Tree Construction Algorithm with Efficiently Combining Two Independent Measures

Moonseong Kim*, Young-Cheol Bang**, and Hyunseung Choo*
*School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University
**Department of Computer Engineering
Korea Polytechnic University

요 약

멀티캐스트는 실시간 멀티미디어 전송 등에서 그 중요성이 매우 커지고 있다. 이러한 응용 기술들은 네트워크의 QoS(Quality of Service)보장을 위해 많은 자원을 필요로 한다. 네트워크의 자원은 한정되어 있기 때문에, 효율적인 자원의 사용을 위해서는 효율적인 멀티캐스트 라우팅 경로를 설정하는 것이 결정적 수단이다. 최소비용 멀티캐스트 라우팅 문제는 다양한 트리 최적화 문제를 해결하기 위한 기본적인 문제이며 다양한 연구가 있어왔다. 제안하는 알고리즘은 최소비용멀티캐스트 트리를 생성하는 휴리스틱 알고리즘으로 잘 알려진 TM 알고리즘과 가중치를 사용하여, 멀티캐스팅의 다양한 트리 최적화 문제에 적용되어 QoS에 따른 네트워크 자원의 사용효율을 극대화 하는데 기여할 것이다.

1. 서론

멀티캐스트는 네트워크에서 하나의 송신자와 다수의 수신자들 간의 통신이다. 멀티캐스트에서 시작노드는 각각의 그룹 멤버에게 일일이 데이터를 보내는 대신에 모든 그룹 멤버에게 한번만 데이터를 전송한다. 멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 특정한 최적화 목적에 따라 시작노드와 그룹멤버를 연결하는 멀티캐스트 트리를 생성한다.

본 논문에서는 사용자의 요구사항 및 이를 만족시키는 QoS 라우팅 방식의 멀티캐스트 서비스의 기능별 분석 및 모듈화를 통한 효율적 멀티캐스트 프로토콜 구조 설계를 목표로 한다. 멀티캐스트 서비스에 최적인 프로토콜 실현에 필수적인 요소 추출과 이를 기반으로 하는 프로토콜 구조를 제시한다. 따라서 네트워크의 여러 요소들을 하나의 관점이 아닌 다양한 시각으로 접근하기 위해, 독립적인 측도를 합리적으로 조합하여 효율적 멀티캐스트 트리 생성 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 네트워크의 모델 및 잘 알려진 TM 알고리즘에 대해 간단히 알아보고, 3장에서는 제안한 새로운 인자의 소개와 예를 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션에 대한 설명과 그 결과에 대해 분석하고 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 네트워크 모델 정의

n개($|V|$)의 노드와 l개($|E|$)의 링크(에지, 아크)를 지닌 그래프 $G=(V,E)$에 의해서 표현된 네트워크를 생각한다. 각 링크 $e=(i,j)\in E$는 링크비용 $c(e)$와

지연시간 $d(e)$를 갖는다. 하나의 링크가 갖는 지연시간은 그 링크의 대기지연, 전송지연의 합이다. 노드 i_0에서 i_k까지 경로를 $P(i_0, i_k)=\{(i_0, i_1), (i_1, i_2), \cdots, (i_{k-1}, i_k)\}$로 나타내자. $n(P)$는 경로상의 링크의 개수이다. 소스노드 s와 목적노드 d에서, $(2^{s\to d}, \infty)$는 s에서 d까지 가능한 모든 경로들의 집합이다.

$(2^{s\to d}, \infty)$ = { $P_a(s,d)$ | s에서 d까지 가능한 모든 경로들, $\forall s, d \in V$, $\forall a \in \Lambda$ }

여기서 Λ는 첨자들의 집합(Index Set)이다. 우리는 경로 비용, 지연함수를 다음과 같이 정의한다.

$$\phi_C(P_a) = \sum_{e\in P_a} c(e) \quad , \quad \phi_D(P_a) = \sum_{e\in P_a} d(e)$$

여기서 $\forall P_a \in (2^{s\to d}, \infty)$.

$(2^{s\to d}, \Delta)$는 s에서 d까지 종단간 지연시간이 Δ지연 제한을 만족하는 경로들의 집합이다. 그러므로 $(2^{s\to d}, \Delta) \subseteq (2^{s\to d}, \infty)$이다. 멀티캐스트 그룹을 M으로 가정한다면, M의 구성원 m_i에 대해서 소스 s에서의 메시지는 경로 $P(s, m_i)$를 통해서 전송이 되며, 멀티캐스트 트리는 다음과 같이 정의 된다.

$$T(s, M) = \cup_{m_i\in M} P(s, m_i)$$

또한 트리의 경로 비용, 지연함수는 다음과 같이 정의 한다.

$$\phi_C(T) = \sum_{e\in T} c(e)$$

$$\phi_D(T(s, M)) = max\{\phi_D(P) \mid \forall P(s, m_i) \subseteq T, \forall m_i \in M\}$$

2.2 TM 알고리즘

최소 비용의 멀티캐스트 트리를 생성하는 TM 알고리즘[3]은 매우 잘 알려진 알고리즘이다. TM알고리즘은 Prim 알고리즘과 매우 흡사한 알고리즘으로, 다음과 같다.

Step1. Construct a subtree, T_1, of network G, where T_1 consists a source node s only. Let $i=1$ and $M_i=\{s\}$

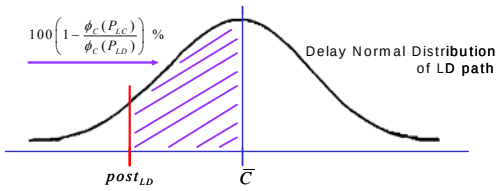
Step2. Find the closest node, $m_i \in (M \setminus M_i)$, to T_i (if tie, broken arbitrarily). Construct a new subtree, T_{i+1} by adding all links on the minimum cost path from T_i to m_i. Set $M_i = M_i \cup \{m_i\}$. Set $i = i+1$

Step3. If $|M_i| < |M|$ then go to step2. Otherwise return a final T_i

3. 효율적인 가중치 인자의 제안

3.1 제안하는 인자

경로 P_{LD}와 P_{LC}를 계산한다. P_{LD}는 일반적으로 지연시간을 우선적으로 선택한 경로이기에 $\phi_C(P_{LD}) \geq \phi_C(P_{LC})$ 이다. 그렇다면 경로 P_{LD}는 경로 비용을 $100(1-\frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})$ % 줄인다면 $\phi_C(P_{LC})$가 된다. 따라서 경로 P_{LD}의 링크에 표현된 링크비용들을 재 측정 하도록 한다. 그러기 위해서, 경로 P_{LD}의 링크비용들의 평균 $\overline{C} = \phi_C(P_{LD}) / n(P_{LD})$을 계산 한다. 여기서 $100(1-\frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})\times 2$ %의 신뢰구간을 적용시키기 위해 그것의 백분위수(percentiles)를 계산한다. 만약 줄이기를 원하는 값이 50% 이상이 된다면 그 값은 99.9%의 신뢰구간으로 해석하였다. 이유는 정규분포의 확률밀도함수는 평균에 대칭이기에 50%를 넘어설 때 2배를 하면 100%를 넘기 때문이다. (그림 1)을 보기 바란다.



(그림 1) $post_{LD}$의 표현

(그림 1)에서 $post_{LD}$를 표현하였다[2]. $post_{LD}$는 지연시간의 인자를 새롭게 바꿀 기준점인 것이다. 그렇기 때문에 백분위수를 찾는 것은 필연적인 것이다. 백분위수를 구하기 위해 누적분포함수를 사용하겠다.

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} exp^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

따라서, 다음 방정식의 해 $z^d_{a/2}$가 백분위수가 되는 것이다.

$$F(z^d_{a/2}) - \frac{1}{2} = 1 - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})}$$

즉, $z^{d}_{\alpha/2} = F^{-1}(\frac{3}{2} - \frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})$

if $100(1-\frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})\ \% < 50\%$

이다. 매쓰매티카(Mathematica)를 사용해서 백분위수의 계산을 <표 1>에 기록하였다.

〈표 1〉 백분위수

$\eta = [\,100(1-\frac{\phi_C(P_{LC})}{\phi_C(P_{LD})})\,]\ \%$ The function [x] gives the integer closest to x.						$z_{\alpha/2}$ is $z^{d}_{\alpha/2}$ 50 이상 η : 3.29			
η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$	η	$z_{\alpha/2}$
49	2.33	48	2.05	47	1.88	46	1.75	45	1.65
44	1.56	43	1.48	42	1.41	41	1.34	40	1.28
39	1.23	38	1.18	37	1.13	36	1.08	35	1.04
34	0.99	33	0.95	32	0.92	31	0.88	30	0.84
29	0.81	28	0.77	27	0.74	26	0.71	25	0.67
24	0.64	23	0.61	22	0.58	21	0.55	20	0.52
19	0.50	18	0.47	17	0.44	16	0.41	15	0.39
14	0.36	13	0.33	12	0.31	11	0.28	10	0.25
09	0.23	08	0.20	07	0.18	06	0.15	05	0.13
04	0.10	03	0.08	02	0.05	01	0.03	00	0.00

백분위수를 구했다면, $post_{LD}$ 의 값을 계산한다.

$$post_{LD} = \overline{C} - z^{d}_{\alpha/2}\frac{S_{LD}}{\sqrt{n(P_{LD})}}$$

여기서 S_{LD} 는 표본표준편차로서,

$$S_{LD} = \sqrt{\frac{1}{n(P_{LD})-1}\sum_{e\in P_{LD}}(c(e)-\overline{C})^2}$$

의 구조를 갖는다. 또한 $n(P_{LD})=1$ 일 경우 S_{LD} 는 0이다. 여기까지 기준점인 $post_{LD}$ 의 값을 구하였고, 링크비용(link cost)을 이용한 새로운 인자를 만들겠다. 여기에서 w는 0과 1사이의 가중치이다.

$$Cfct(w,e) = max\left\{1,\ 1+(c(e)-post_{LD})\frac{w}{0.5}\right\}$$

첫 번째와 같은 방법으로 $post_{LC}$ 를 구하고 새로운 인자를 다음과 같이 만들었다.

$$Dfct(w,e) = max\left\{1,\ 1+(d(e)-post_{LC})\frac{(1-w)}{0.5}\right\}$$

경로 각각의 링크 마다 링크비용과 지연시간을 대변하는 $Cfct(w,e)$, $Dfct(w,e)$의 값을 구하고 두개의 값을 곱함으로써 링크의 질을 평가하겠다. w는 1에 가까울수록 링크비용에 주력하며, 0에 가까울수록 지연시간에 비중을 두게 된다.

여기서 주어진 네트워크 G의 인접행렬을 각각의 목적노드들마다 $Cfct(w,e)\times Dfct(w,e)$을 사용하여 바꾸도록 하자.

$$X^{m_k}(\omega) = \left(\quad Cfct \cdot Dfct \quad \right)$$

그리고 X^{m_k}을 정규화하고, 이것을 N^{m_k}로 부르겠다.

$$N^{m_k}(\omega) = \left(x^{m_k}_{ij}\right)_{n\times n} \ /\ max\left\{x^{m_k}_{ij} \mid 1\le i,j\le n\right\}$$

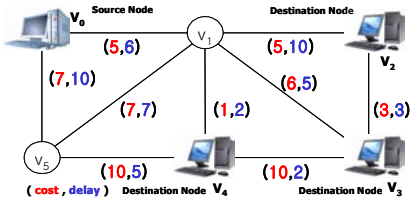
마지막으로 멀티캐스트 트리를 위한 새로운 인자로서 $N(\omega)$을 정의 하겠다.

$$N(\omega) = \sum_{m_k\in M} N^{m_k}(\omega)\ ,\ \omega\in[0,1]$$

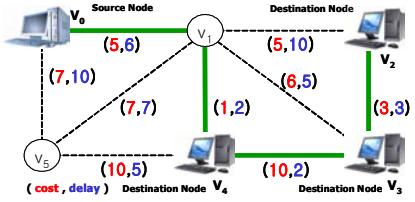
우리는 새로운 인접행렬 $N(\omega)$으로 TM알고리즘을 사용하여 ω에 따른 새로운 트리를 생성할 수 있도록 하자.

3.2 제안하는 인자의 예제

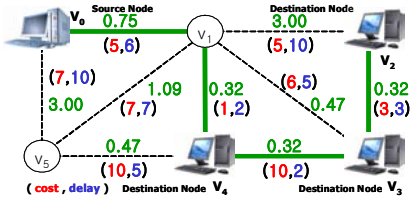
(그림 2)의 (a)는 Sample Network을 보여 주고 있다. 소스노드 v_0 와 목적노드들 v_2, v_3, v_4 의 멀티캐스트 통신을 위한 각각의 가중치 마다 트리 생성은 다음과 같다.



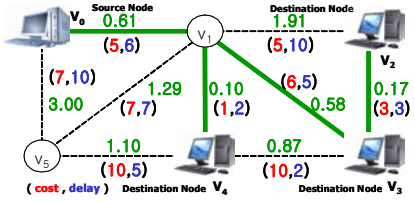
(a) Given Network



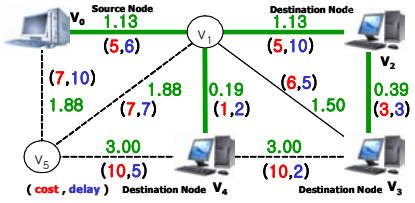
(b) The optimal delay solution using Dijkstra's Algorithm



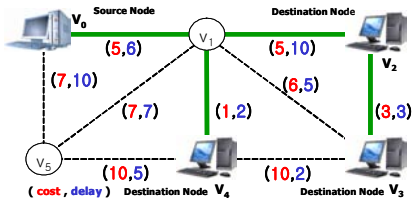
(c) Multicast w:0.0 Tree



(d) Multicast w:0.5 Tree



(e) Multicast w:1.0 Tree



(f) The cost optimized multicast route using TM

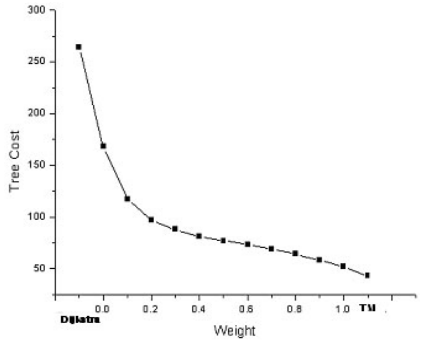
(그림 2) 가중치에 따른 다양한 트리의 생성

〈표 2〉 예제의 결과 비교

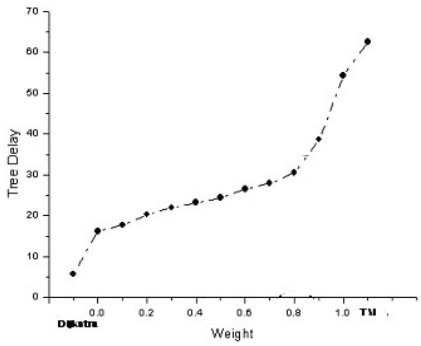
$T_{Dijkstra}$		$T_{w:0.0}$	
ϕ_C	ϕ_D	ϕ_C	ϕ_D
19	13	19	13
$T_{w:0.5}$		$T_{w:1.0}$	
ϕ_C	ϕ_D	ϕ_C	ϕ_D
15	14	14	19
T_{TM}			
ϕ_C	ϕ_D		
14	19		

4. 성능 평가와 분석

제안한 알고리즘은 C로 구현 하였다. 네트워크 전체 노드 수 $|V| = 200$ 과 링크 간 확률 P_e=0.3에 대해서 각각 10개의 서로 다른 네트워크를 생성하였다[1].



(a) Tree cost



(b) Tree delay

(그림 3) 가중치에 따른 Tree cost와 Tree delay

소스노드와 목적노드들(전체노드의 15%)은 랜덤으로 선정(100번) 하였으며 1000번 (10 × 100 = 1000)의 시뮬레이션이 이루어졌다. (그림 3)을 보면 가중치의 변화만으로도 경로 비용과 경로 지연시간을 자유롭게 조절 할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 링크마다 비용(cost)과 지연시간(delay)을 가지고 있는 네트워크를 고려한다. 멀티캐스트 통신에 있어서 트리 생성 시, 링크지연시간만을 고려한 Dijkstra 알고리즘 기반의 트리는 최소 지연시간을 갖지만 트리 비용은 최악이었으며, 링크 비용만을 고려한 TM 알고리즘 기반으 트리는 최소 트리 비용을 갖지만 트리 지연시간은 최악이었다. 본 연구에서 제안한 새로운 인자의 특징은 두 가지 인자를 효율적으로 균형 시킬 수 있는 인자인 것이다. 또한 가중치 인자의 특징은 두 가지 인자를 원하는 만큼으로 만족 시키며, 따라서 다양한 사용자의 요구를 모두 수용 시킬 수 있는 인자인 것이다. 제안한 인자를 사용하여 링크비용과 지연시간을 자유롭게 조절 할 경우에 원하는 QoS를 받을 수 있기에 정말로 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] A. S. Rodionov and H. Choo, "On Generating Random Network Structures: Connected Graph," Springer-Verlag LNCS, Vol.3090, pp.483-491, September 2004.

[2] M. Kim, Y.-C. Bang, and H. Choo, "Estimated Link Selection for DCLC Problem," IEEE International Conference on Communications 2004, ICC'04 Proc., Vol.4, pp.1937-1941, June 2004.

[3] H. Takahashi and A. Matsuyama, "An Approximate Solution for the Steiner Problem in Graphs," Mathematica Japonica, Vol.24, no. 6, pp. 573-577, 1980