

# 효율적인 동적 부하 균등 분산을 적용한 다중 경로 라우팅

## (An Efficient Multipath Routing with Dynamic Load Balancing)

정 선\* 이 미 정\*\*

(Sun Jung) (MeeJeong Lee)

**요약** 동적 메트릭을 사용하는 단일 경로 라우팅 방식이 폭주에 대처하는 방법은 폭주 영역을 피해 갈 수 있도록 경로를 바꾸어주는 것이다. 그러나, 이러한 라우트 변경은 라우팅 진동(oscillation)을 야기할 수 있고, 폭주에 대응하여 실제적으로 네트워크 상에 존재하는 다중의 경로들을 모두 동시에 이용할 수 없다는 한계점이 있다. 이에 본 논문에서는 라우팅 오버헤드 측면에서 매우 효율적이면서, 라우팅 성능을 높일 수 있는 동적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅 방식인 MP-DLB(MultiPath routing with Dynamic Load Balancing)를 제안하였다. MP-DLB 방식은 동적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅의 오버헤드를 줄이기 위해 인터넷 트래픽이 일부 hot 목적지로 집중되는 패턴을 보이는 인터넷 패킷 배치 분석자료를 근거로 hot 목적지에 대해서만 다중 경로를 설정하고, 이들 다중 경로에 대해서만 동적 로드 밸런싱을 수행한다. 소수의 hot 목적지에 대해서만 다중 경로를 사용하도록 하는 것은 다중 경로 사용을 위한 오버헤드를 감소시키면서도, 라우팅 성능에 주된 영향을 미치는 트래픽에 대한 라우팅을 효율적이고 안정되게 제공하는 효과가 있다. 제안하는 MP-DLB 방식의 성능을 검토하기 위하여 시뮬레이션을 실행한 결과, MP-DLB는 하나의 hot 목적지를 향하여 일의 라우터에 집중되고 있는 여러 소스로부터의 트래픽을 다중 경로를 이용해 분산 전송함으로써 효과적으로 폭주를 경감시키고 라우팅 성능을 높임을 볼 수 있었다.

**Abstract** Single path routing schemes using dynamic routing metric may find out the dynamic network status and recompute paths to keep the traffic from the highly loaded regions of the network. This type of routing approach, however, may lead to a routing oscillation, and further, it cannot exploit multi-paths that may frequently exist in the real network. We propose a multipath routing scheme with dynamic load balancing, called MP-DLB, which is capable of reducing the overhead incurred by the multipath routing with dynamic load balancing approach while taking advantage of the high routing performance provided by the approach. According to the analysis of Internet packet traces which show that a high percentage of network traffic is destined for a small number of networks, MP-DLB applies the multipath routing with dynamic load balancing only to a limited subset of all the destinations in the network. For the rest of the destinations, it applies traditional single path routing schemes. This approach may reduce overall routing overheads by limiting the number of destinations to apply the more complicated routing scheme while it can keep the routing performance high by providing efficient routing for the most significant traffic in the routing performance. A series of simulations are done to analyze the performance of MP-DLB. The simulation results show that MP-DLB may effectively cope with the congestion and achieve high routing performance by distributing traffic streams that are generated from varying sources and heading toward a specific hot destination over multi-paths.

\* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-0-303-001-3)지원으로 수행되었음.

† 비 회 원 : (주)데이터콤종합연구소 연구원  
sjung@dacom.net

\*\* 정 회 원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수  
lmj@ewha.ac.kr

논문접수 : 2000년 8월 16일  
심사완료 : 2001년 5월 23일

## 1. 서론

오늘날 인터넷 라우팅의 표준 접근방식은 정적 메트릭을 비용으로 사용하여 한 소스로부터 각 목적지까지의 단일 최단 경로를 계산하는 방식이다. 단일 경로 라우팅이 폭주에 대처하는 유일한 방법은 폭주 영역을 피하여 경로를 재설정하는 것인데, 이는 라우팅 진동(oscillation)을 일으킬 수 있고, 실제적으로 네트워크 상에 존재하는 다중의 경로를 폭주 해결을 위해 효과적으로 활용하지 못한다는 단점이 있다. 단일 경로 라우팅의 이러한 결점을 보완하기 위해 다중 경로 라우팅에 관한 연구가 이루어졌는데 IETF(Internet Engineering Task Force)에서는 인터넷에서의 다중 경로 라우팅 메커니즘으로서 ECMP(Equal Cost Multipath)와 OSPF(Open Shortest Path First) OMP(Optimized Multipath)를 제안하고 있다[1,2]. ECMP는 토폴로지에 동일한 비용을 갖는 경로들이 존재하면, 그 경로들에게 트래픽을 정적으로 일정하게 분배하는 방법이다. 반면, OSPF OMP에서는 각 라우터가 OSPF LSA(Link State Advertisement)의 확장된 형태인 Opaque LSA를 통해 로드 정보를 전달·수집하고 이를 토대로 트래픽을 분산한다. 또한, 경로별 지연시간에 따라 동적인 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅 방식으로 NEAR-OPT라는 방식이 최근에 제안된 바 있다[3,4].

ECMP와 같이 정적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅은 네트워크의 상황과는 무관하게 일정한 비율로 다중 경로를 통해 트래픽을 분산시키므로 효율적이지 못하다. 반면에, OSPF OMP나 NEAR-OPT와 같이 동적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅은 전체 네트워크 상황에 대한 정보를 토대로 트래픽을 분산하므로 좀 더 효율적인 라우팅이 가능하다. 그러나, 로드나 지연과 같은 동적인 네트워크 상태 정보를 교환하기 위한 라우팅 오버헤드와 프로세싱 오버헤드 및 다중 경로 정보를 유지하기 위한 메모리 요구량의 증가를 초래한다.

이에 본 논문에서는 다중 경로 상의 동적 로드 밸런싱을 위한 동적 네트워크 상태 정보 교환에 소요되는 오버헤드를 감소시킬 수 있는 새로운 다중 경로 라우팅 방식으로 MP-DLB (MultiPath routing with Dynamic Load Balancing)를 제안한다. 제안하는 MP-DLB 방식은 J. Chen등이 동적인 단일 경로 라우팅에 있어서 라우팅 효율을 높이고 라우팅 오버헤드를 낮게 유지하기 위해 [5,6]에서 제안한 아이디어를 도입하였다.

인터넷 패킷 배치 분석 자료에 따르면 인터넷 트래픽은 극히 일부의 hot 목적지로 집중되는 패턴을 보이고

있다. 구체적으로, 거의 90%의 인터넷 트래픽이 10% 정도의 네트워크를 목적지로 하고 있으며, 이들 중 1%의 최상위 hot 목적지에 50%이상의 트래픽이 편중되고 있다[5,6]. 이러한 인터넷 트래픽의 편중 현상을 이용하여 J. Chen등은 hot 목적지에 대해서는 동적인 메트릭을 사용하여 경로를 설정하고 나머지 다른 목적지들에 대해서는 전통적인 DV(Distance Vector)나 LS(Link State)를 이용하여 경로를 계산하는 Hybrid-SCOUT 방식을 제안하였다. J. Chen등은 Hybrid-SCOUT 방식이 hot 목적지에 대해서만 동적 라우팅에 의해 경로를 결정함으로써 동적인 메트릭을 이용하는 라우팅의 오버헤드를 줄이면서도 hot 목적지들이 트래픽의 상당량을 수신하는 경우 이들 목적지의 동적 경로 설정에 의해 효과적으로 폭주의 원인이 되는 트래픽을 옮길 수 있어 라우팅 성능을 높일 수 있음을 보여주었다.

또한, Hbrid-SCOUT 방식은 각 hot 목적지들이 독자적으로 정기적인 로드 정보 메시지를 발생시켜 이 메시지가 플러딩되어 가면서 각 라우터에서 해당 hot 목적지의 라우트를 계산하도록 하는데, 이에 의하여 폭주의 요인이 되는 hot 목적지의 트래픽이 효과적으로 분산될 수 있다. 이것은 각 라우터에서의 각 hot 목적지의 경로 계산이 시간차를 두고 이루어지기 때문에 그 라우터를 경유하는 여러 hot 목적지의 트래픽이 전체적으로 하나의 폭주 영역을 피해 다같이 다른 영역으로 옮겨가는 것을 피할 수 있도록 해 주기 때문이다. [5,6]에서 제시된 시뮬레이션 결과에 의하면 Hybrid-SCOUT이 전통적인 DV나 LS 라우팅 방식에 비하여 라우팅 오버헤드를 줄일 뿐 아니라, 라우팅 성능을 향상시킬 수 있다.

그러나, Hybrid-SCOUT은 단일 경로 라우팅에 기반한 알고리즘이므로 여전히 실질적으로 인터넷에서 흔히 발견되는 다중 경로를 효과적으로 이용할 수 없다는 한계점을 안고 있다. Hybrid-SCOUT에서의 임의의 중간 라우터는 각 hot 목적지에 대해 시간차를 둔 라우트 계산을 함으로써 hot 목적지별로는 트래픽을 다른 경로로 분산시킬 수 있지만 여러 소스로부터 하나의 hot 목적지를 향해 들어오는 트래픽을 다른 경로로 분산시켜 전송할 수는 없다. 트래픽 소스들이 네트워크 상에 지역적으로 균일하게 분산되어 있다고 가정할 때, 어떤 hot 목적지에서 먼 지역의 라우터에서 받게 되는 그 hot 목적지를 향하는 트래픽 양은 크지 않을 수 있으나, hot 목적지에 근접한 영역으로 갈수록 네트워크 전역의 소스에서 그 hot 목적지를 향해 들어오는 트래픽들이 모이게 되므로 어떤 중간 라우터의 입장에서 볼 때, 하나

의 hot 목적지로 가는 트래픽의 양도 상당히 커질 수 있고 이 트래픽이 해당 지역 폭주의 주된 원인이 될 수 있다. 어떤 hot 목적지를 향해 여러 소스로부터 하나의 중간 라우터로 수렴된 트래픽 양이 그 라우터로부터 해당 hot 목적지로 가는 단일 경로를 통해 전송하기에 충분치 않다면 Hybrid-SCOUT는 가능한 경로를 번갈아가며 선택함으로써 트래픽을 분산하여 폭주를 경감시키는 비효율적인 방법을 사용할 수밖에 없다.

본 논문에서 제안한 MP-DLB 방식은 Hybrid-SCOUT이 hot 목적지에 대해서만 동적 단일 경로를 설정한 것에 반해, hot 목적지 노드들에 대해서만 다중 경로를 설정하고 이들 hot 목적지로의 다중 경로에 대해서만 동적으로 로드 밸런싱을 해 준다. MP-DLB는 Hybrid-SCOUT이 hot 목적지로의 경로만을 동적으로 설정함으로써 동적 라우팅 오버헤드를 감소시킨 것처럼 hot 목적지 노드들에 대해서만 다중 경로를 설정함으로써, 경로 설정 및 동적 로드 밸런싱을 위해 소요되는 라우팅 오버헤드와 각 라우터가 유지해야 하는 경로 정보량을 감소시킨다. 또한, Hybrid-SCOUT가 hot 목적지 별로 시간차를 두고 독자적으로 경로 계산을 한 것과 유사하게 MP-DLB도 hot 목적지 별로 독자적으로 시간차를 두고 다중 경로 상에 로드 밸런싱을 해 줌으로써 어떤 한 라우터를 경유하는 여러 hot 목적지들로의 트래픽이 다같이 현재 부하가 상대적으로 낮은 영역으로 옮겨가는 것을 막을 수 있다. 그러나, MP-DLB는 Hybrid-SCOUT와 달리 라우터가 각 hot 목적지에 대해서는 자신으로부터 그 hot 목적지에 이르는 모든 가능한 다중의 경로를 동시에 활용하도록 함으로써 자신에게 유입되는 트래픽 중 하나의 hot 목적지를 향하는 트래픽에 의해 발생하는 폭주에 대해 Hybrid-SCOUT보다 좀 더 효과적으로 대처할 수 있다. 또한, 정기적으로 발생되는 로드 정보 메시지를 통해 알고 있는 hot 목적지로의 각 경로의 로드 상태에 따라 트래픽을 분산함으로써 효율적으로 다중 경로를 활용하게 된다. 단, MP-DLB의 효율성은 모두 트래픽 로드분포의 편중 정도와 네트워크 토폴로지가 hot 목적지로의 다중 경로를 제공하는 정도에 의존한다는 한계성이 있다.

MP-DLB 방식은 크게 경로 설정, 로드 정보 계산 및 전달, 동적 로드 밸런싱 등의 세 가지 과정으로 나뉜다. 각 라우터는 정적 메트릭을 사용하는 전통적인 DV 알고리즘을 기반으로 hot 목적지에 대해서는 다중 경로 라우팅 테이블을 구축하고 그 밖의 목적지에 대해서는 단일 경로 라우팅 테이블을 구축한다. hot 목적지들은 주기적으로 로드 정보 메시지인 MP-DLB 메시지를 발

생시켜 플러딩하며, 라우터들은 이 MP-DLB 메시지에 의하여 hot 목적지를 발견하고 hot 목적지로의 경로들에 대한 로드 정보를 얻게 된다. MP-DLB 메시지를 받은 라우터는 자신으로부터 hot 목적지에 이르는 모든 경로에 대한 로드 정보를 계산하고 각 경로의 현재 로드 상태에 따라 다음 홉들에게 트래픽을 분배한다.

제안한 MP-DLB의 성능을 평가하기 위하여 일련의 시뮬레이션을 수행하였다. 특히, 다중 경로 활용을 통한 라우팅 성능 향상을 검증하기 위해 제안한 방식과 유사하게 인터넷 트래픽 편중 현상을 이용한 동적 단일 경로 라우팅 방식인 Hybrid-SCOUT과 라우팅 오버헤드 및 라우팅 성능을 비교하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 1장의 서론에 이어서 2장에서는 MP-DLB의 구성 요소 및 작동 방식을 설명한다. 3장에서는 MP-DLB와 Hybrid-SCOUT 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 제시한다.

## 2. 제안하는 동적 로드 밸런싱을 적용한 다중 경로 라우팅 방안

MP-DLB는 크게 경로 설정, 로드 정보 계산 및 전달, 동적 로드 밸런싱 등의 세 가지 요소로 구성된다. 먼저, 경로 설정은 DV 알고리즘을 기반으로 단일 경로 라우팅 테이블, 다중 경로 라우팅 테이블(hot 목적지 경우에 한해), 경로 의존도 테이블을 구축하는 과정에 해당한다. 로드 정보 계산 및 전달을 위해서는 hot 목적지들이 주기적으로 로드 정보 메시지인 MP-DLB 메시지를 생성하여 플러딩한다. MP-DLB 메시지를 받은 각 라우터는 MP-DLB에 실린 로드 정보와 자신의 링크 로드 정보를 이용하여 자신으로부터 hot 목적지에 이르는 각 경로에 대한 로드 정보를 계산하고 이를 이웃에게 전달한다. 마지막으로, 동적 로드 밸런싱은 각 라우터가 경로의 로드 정보에 따라 다음 홉들에게 트래픽을 분배함으로써 이루어진다. 다음에서는 이상의 세 가지 MP-DLB 요소 각각에 대하여 자세히 설명한다.

### ● 경로 설정

그림 1은 본 장에서 MP-DLB 메커니즘을 설명하기 위해 사용한 네트워크 토폴로지의 예이다. 각 라우터 사이의 선은 실제 이들을 연결하는 물리적 링크이며 각 링크에 표시된 숫자는 그 링크에서 패킷을 전송하는 데 소요하는 비용을 나타낸다. 링크 비용은 각 링크 상의 폭주 정도나 물리적 거리를 반영할 수 있는데, MP-DLB에서는 각 링크의 전파지연시간을 기

본적인 경로 설정을 위한 라우팅의 비용으로 사용하고, 다중 경로 설정시에는 최소 지연 경로와의 지연 차이가 특정 한계치 미만인 경로들만을 선택한다. 이는 다중 경로로 패킷을 전송하는 경우 출발 순서에 어긋나게 도착하는 패킷들의 지연시간의 차이가 커져서 TCP fast retransmit가 트리거 되어 TCP 윈도우 크기가 줄고 성능이 악화되는 것을 막기 위함이다. 네트워크 상의 모든 라우터는 목적지로의 경로 설정을 위해 이와 같은 정적 매트릭을 사용하여 hot 목적지들에 대해서는 다중 경로를, 이외의 목적지들에 대해서는 단일 경로를 설정한다. 즉, 각 라우터는 정적 매트릭에 의해 결정된 단일 경로 라우팅 테이블과 다중 경로 라우팅 테이블을 함께 유지한다. 로드 정보로는 여러 가지 매트릭이 사용될 수 있으나, MP-DLB에서는 로드 정보 계산 인터벌 동안 더 보낼 수 있었던 패킷의 수로 가용 대역폭을 정의하고 이를 로드 정보로 사용한다. 각 라우터는 주기적으로 로드 밸런싱의 기준이 되는 링크 가용 대역폭  $a_{P,Q}$ 를 다음과 같이 측정한다.

$$a_{P,Q} = \left( \frac{b_{P,Q} \times BI}{S_{pkt}} \right) - N_{pkt}$$

여기에서  $b_{P,Q}$ 는 링크 PQ의 최대 대역폭이고, BI는  $a_{P,Q}$ 를 측정하는 주기,  $S_{pkt}$ 는 패킷의 평균크기,  $N_{pkt}$ 는 BI동안 지나간 패킷 수이다.

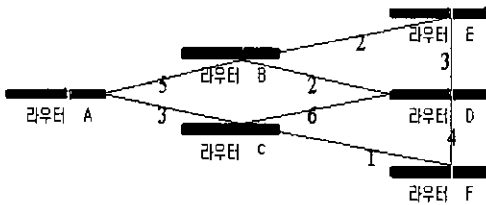


그림 1 네트워크 토폴로지 예

각 라우터는 정적 매트릭인 링크 전파 지연을 경로 비용으로 하여 DV 알고리즘[7,8]을 수행함으로써 hot 목적지가 아닌 목적지에 대해서는 단일 경로 라우팅 테이블을 구축한다. hot 목적지에 대해서는 임시 기억 장소에 현재까지의 최단 경로에 대한 정보를 저장해 두고 이웃 노드로부터 새로운 DVP(Distance Vector Packet)가 올 때마다 다음의 두 가지의 다중 경로 조건을 만족시키는지 검사하여 만족한다면 다중 경로 테이블에 경로 정보를 추가한다. 첫 번째 조건은 다중 경로에 무한 루프가 발생하지 않도록 하기 위한 것으로,  $D_{ik}$ 는 임의의 노드  $i$ 로부터 목적지  $j$ 까지의 최단 경로에 대한

전파지연시간이고,  $N_i$ 는 임의의 노드  $i$ 의 모든 이웃 노드들의 집합일 때, 목적지 R에 대한 노드 P의 다음 홉 Q는 다음 조건을 만족시켜야 한다[9].

$$D_{QR} < D_{PR} \quad Q \in N_P$$

두 번째 조건은 최단 경로와의 경로 지연 차가 임계치를 넘지 않도록 하기 위한 것으로,  $d_{ik}$ 는 임의의 노드  $i$ 와  $k$ 간의 링크의 전파지연시간이고,  $\alpha$ 는 미리 설정된 경로 지연 차의 임계치일 때, 노드 P의 다음 홉 Q는 다음 조건을 만족해야 한다.

$$(D_{QR} + d_{PQ}) - D_{PR} \leq \alpha, Q \in N_P$$

이 두 조건을 만족시키는 이웃 노드가 2개 이상 존재하면, hot 목적지에 대한 다중 경로 설정이 가능하므로 다중 경로 라우팅 테이블에 해당 hot 목적지를 위한 엔트리를 만든다. 또한, 단일 경로 라우팅 테이블에도 해당 hot 목적지를 위한 엔트리를 만들고 그 엔트리의 다음 홉 필드에는 최단 경로를 제공하는 이웃 노드를, 라우팅 모드 필드에는 다중 경로 라우팅 모드임을 기록한다. 반대로, 위의 두 조건을 적용한 결과 다음 홉 노드가 하나 밖에 없다면, hot 목적지에 대해 단일 경로 설정만이 가능하므로 단일 경로 라우팅 테이블에만 해당 hot 목적지를 위한 엔트리를 삽입한다.

경로 의존도는 자신의 이웃 라우터 중 자신을 특정 hot 목적지에 대한 단일 경로 혹은 다중 경로의 다음 홉으로 설정하고 있는 라우터의 수로 정의한다. 경로 의존도 테이블은 각 라우터가 hot 목적지들에 대해 단일 경로 혹은 다중 경로의 다음 홉으로 설정하고 있는 라우터들에게 이를 알리는 경로 의존 메시지(path dependency message)를 통해서 구축된다. 이 메시지는 hot 목적지에 대한 다음 홉에 변동이 있을 시에만 모든 이웃 라우터들에게 전송된다. 경로 의존 메시지는 (전송 라우터의 ID, hot 목적지 주소, 다음 홉 설정 여부(True/False))등의 세 가지 정보가 표시된다. 예를 들어 경로 의존 메시지 (B, A "T")는 라우터 B가 hot 목적지 A로의 경로에서 경로 의존 메시지의 수신 라우터를 다음 홉으로 설정하고 있음을 나타낸다.

목적지	라우팅 모드	다음 홉	경로비용	가용대역폭
A	M	B	7	2*L
B	S	B	2	L
C	S	F	5	L
E	S	E	3	L
F	S	F	4	L

그림 2 라우터 D의 단일 경로 라우팅 테이블의 예

단일 경로 라우팅 테이블(그림 2)은 각 목적지에 대해 라우팅 모드, 다음 홉, 비용, 가용대역폭 등의 네 가지 정보를 표시하는 필드들로 구성된다. 라우팅 모드는 현재 라우터가 이 목적지에 대해서 단일 경로를 설정하고 있는지 혹은 다중 경로를 설정하고 있는지를 나타낸다. 목적지에 대해 다중 경로를 설정하고 있는 경우, 이 필드에는 다중 경로 테이블의 인덱스가 들어가게 된다. 다음 홉은 목적지로의 최단 경로상의 이웃 노드를 가리키고, 비용은 목적지까지의 최단 경로 비용을 나타낸다. 마지막으로, 가용대역폭 필드에는 목적지까지의 경로 가용대역폭이 들어 있다. hot 목적지의 경우 가용대역폭 필드에는 모든 경로의 가용대역폭의 합이 저장된다. 단일 경로 라우팅 테이블에는 모든 목적지에 대한 경로 정보가, 다중 경로 라우팅 테이블에는 hot 목적지에 대한 경로 정보만이 들어간다. 경로 설정 초기 단계에서는 각 라우터가 아직 가용대역폭 정보를 얻지 못한 상태이기 때문에 가용대역폭 필드의 L은 링크의 최대 대역폭으로 설정된 초기치를 나타낸다.



그림 3 라우터 D의 다중 경로 라우팅 테이블의 예

다중 경로 라우팅 테이블(그림 3)은 각 hot 목적지에 대해 (다음 홉, 비용, 가용대역폭)의 리스트를 유지한다. 다음 홉 n은 라우터가 목적지에 대해 설정한 다중 경로 중 n번째 경로의 다음 홉 노드이고 비용 n은 n번째 경로를 통해 hot 목적지로 가는데 소요되는 정적인 경로 비용을 나타낸다. 또한, 가용대역폭 n은 n번째 경로의 가용대역폭이 들어가게 된다.

각 라우터들은 단일 경로 라우팅 테이블과 다중 경로 라우팅 테이블 이외에 경로 의존도 테이블을 유지한다. 예를 들어, 그림 1의 라우터 B의 경로 의존도 테이블은 그림 4와 같다. 라우터 E와 D가 hot 목적지 A에 대한 다음 홉으로 라우터 B를 설정하고 있음을 나타낸다.

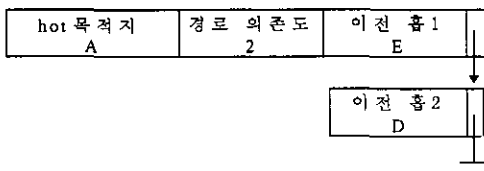


그림 4 라우터 B의 경로 의존 테이블의 예

● 로드 정보 계산 및 전달

hot 목적지들은 주기적으로 가용대역폭 정보를 담은 MP-DLB 메시지를 플러딩한다. R이 MP-DLB 메시지를 발생시키는 hot 목적지 중 하나라고 하고, R이 연속적인 MP-DLB 메시지를 발생시키는 주기를 브로드캐스트 주기(BI)라고 하자. MP-DLB  $\langle R, A_{QR}, \chi \rangle$ 는 이 메시지를 발생시킨 hot 목적지 주소가 R 이고, MP-DLB를 전달한 라우터 Q로부터 R까지의 경로 가용대역폭이  $A_{QR}$ 이며, MP-DLB 메시지의 일련 번호가  $\chi$ 임을 표시한다. 노드 P가 이웃 노드 Q로부터 MP-DLB  $\langle R, A_{QR}, \chi \rangle$ 를 받으면, P는 먼저 단일/다중 경로 라우팅 테이블에서 자신에게 메시지를 전송한 이웃 노드 Q가 hot 목적지 R로의 다음 홉 중 하나인지를 체크한다. MP-DLB  $\langle R, A_{QR}, \chi \rangle$ 를 전달한 이웃 노드가 hot 목적지로의 다음 홉 중 하나가 아니면 hot 목적지로 가는데 사용하는 경로에 대한 가용대역폭 정보가 아니기 때문에 Q로부터 받은 MP-DLB 메시지를 무시한다. 만약, Q가 hot 목적지 R로의 다음 홉 중 하나가 맞다면, MP-DLB 메시지의 일련 번호가 유효한지를 체크한다. 이때, 만약 유효하지 않으면, 즉, 라우터가 hot 목적지 R로부터 가장 최근에 받았던 MP-DLB 메시지의 일련 번호보다 작다면 라우터는 MP-DLB 메시지를 버린다. 반대로, 유효한 경우, P는 지금 받은 MP-DLB 메시지의  $A_{QR}$ 값으로부터  $A_{P,R}$ 을 다음과 같이 계산한다.

$A_{P,R}$ 은 P로부터 R에 이르는 경로 중 Q를 다음 홉으로 하는 경로의 경로 가용대역폭을 의미한다.

$$A_{P,R} = \text{Min}\{A_{QR}, \alpha_{P,Q}\} \quad (1)$$

만약, P가 메시지를 생성한 hot 목적지 R에 대해 단일 경로를 설정하고 있다면 Q가 유일한 다음 홉이므로  $A_{P,R} = A_{Q,R}$ 이 된다. 따라서, 단일 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를  $A_{P,R}$ 로 갱신한다. 또한, P는 MP-DLB 메시지의 경로 가용대역폭 필드에 넣을  $A_{P,R}$  값을 다음과 같이 계산하여 자신에게 메시지를 전송한 이웃 노드 Q를 제외한 모든 이웃 노드들에게 MP-DLB 메시지를 전송한다.

$$A_{P,R} = A_{P,R} / \delta_{P,R} \quad (2)$$

위 식에서 사용된  $\delta_{P,R}$ 은 P에 대한 hot 목적지 R로의 경로 의존도이다. 경로 의존도는 자신의 이웃 라우터 중에서 어떤 hot 목적지에 대해서 단일 경로 혹은 다중 경로의 다음 홉으로 자신을 설정하고 있는 라우터의 수이다. 예를 들어, 그림 1의 라우터 B의 경우, 라우터 D와 E가 모두 hot 목적지 A에 대한 다음 홉으로 B를 설정하고 있으므로, 라우터 B의 A에 대한 경로 의존도

는 2가 된다. 이것은 라우터 B로부터 A로의 경로 상의 가용대역폭을 두 이웃 라우터가 공유하게 됨을 의미한다. 따라서 라우터는 P는 자신으로부터 R로의 경로에서의 가용 대역폭  $A_{P,R}$ 을 그대로 선전하지 않고 경로의 의존도( $\delta_{P,R}$ )가 n인 경우, 자신의 가용대역폭 값을 ( $A_{P,R} / n$ )으로 이웃에게 선전한다.

만약, P가 메시지를 생성한 hot 목적지 R에 대해 다중 경로를 설정하고 있다면 유효한 MP-DLB 메시지를 받았을 때, 다중 경로 라우팅 테이블과 단일 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를 모두 갱신한다. 다중 경로 라우팅 테이블의 hot 목적지 R에 대한 엔트리에서 다음 홉 Q에 대한 가용 대역폭 필드를 식 (1)에 의해 계산되는  $A_{P,R}^Q$ 로 갱신하고, 다음과 같이 단일 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드에 저장할 값  $A_{P,R}$ 을 계산하여 단일 경로 라우팅 테이블도 갱신한다.  $NH_{P,R}$ 는 P로부터 R까지의 모든 다중 경로의 다음 홉 집합이다.

$$A_{P,R} = \sum_i A_{P,R}^i, i \in NH_{P,R}$$

그리고, MP-DLB 메시지가 지정 라우터로부터 온 경우에는 단일 경로 경우와 마찬가지로 식 (2)에 의해 선전할  $A_{P,R}$  값을 정하여 MP-DLB 메시지의 가용대역폭 필드에 넣고 Q를 제외한 모든 이웃 노드들에게 전송한다. 로드 정보 플러딩 과정에서 hot 목적지에 대해 단일 경로를 설정하고 있는 라우터와 다중 경로를 설정한 라우터의 차이는 지정 라우터의 유무이다. 단일 경로를 설정한 라우터는 지정 라우터 없이 hot 목적지로의 다음 홉으로부터 메시지가 도착하면 바로 플러딩하지만, 다중 경로를 설정한 라우터는 지정 라우터로부터의 MP-DLB 메시지를 받은 경우에만 플러딩한다. 다중 경로를 설정하고 있는 경우, 지정 라우터를 두고 지정 라우터로부터 온 MP-DLB 메시지만을 플러딩 하는 것은 MP-DLB 메시지 플러딩 오버헤드를 조절하기 위한 것이다. hot 목적지 R에 대한 임의의 라우터 P에서의 지정 라우터  $K_{P,R}$ 은 현재 주기에서 가장 적은 가용 대역폭을 선전한 다음 홉 노드가 된다.

$$K_{P,R} = \underset{i}{\text{Min}} A_{i,R}, i \in NH_{P,R}$$

그림 5는 위에서 설명한 로드 정보 플러딩 과정을 보여주는 순서도이며, 그림 6은 그림 1의 네트워크 토폴로지에 대하여 A가 hot 목적지인 경우 A로부터 발생한 MP-DLB 메시지가 플러딩되는 과정을 보여주고 있다. 또한, 그림 7과 그림 8은 각각 메시지 플러딩 후의 라우터 D의 다중 경로 라우팅 테이블과 단일 경로 라우팅 테이블을 보여준다.

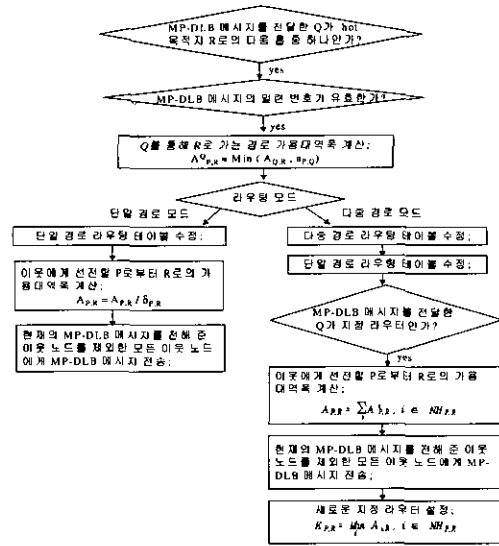


그림 5 MP-DLB 메시지 플러딩 순서도

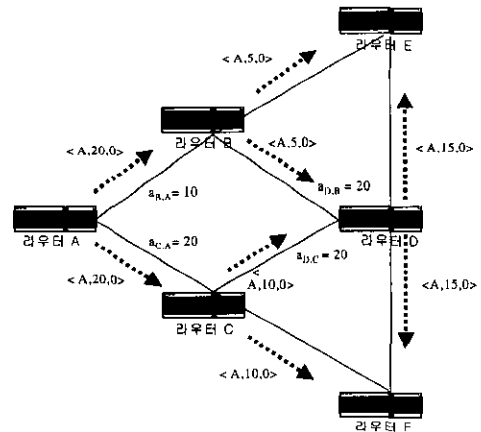


그림 6 MP-DLB 메시지 플러딩 과정의 예

예를 들어, 그림 1과 같은 망 구조에서, 라우터 A는 hot 목적지 중 하나이며, 링크의 최대 대역폭은 20이라 가정하기로 한다. 라우터 A는 브로드캐스트 주기마다 MP-DLB 메시지를 생성하여 자신의 이웃 노드인 라우터 B와 라우터 C에게 전송한다. MP-DLB <A,20,0>은 가용대역폭 정보 메시지를 생성하는 라우터가 A이며, MP-DLB를 전달해준 라우터로부터 A로의 경로상의 가용 대역폭  $A_{A,A}$ 가 20이고, 일련 번호가 0임을 나타낸다. 라우터 B는 라우터 A로부터 이 메시지를 받고 나서, 라우터 A가 hot 목적지로의 다음 홉임을 확인하고,

링크 BA의 가용대역폭 즉,  $\alpha_{BA}(=10)$ 와 MP-DLB 메시지에 표시된 라우터 A로부터 hot 목적지 A로의 가용대역폭  $A_{A,A}(=20)$ 중 작은 값으로 경로 가용대역폭  $A_{B,A}^A$ 를 결정한다. 또한 자신이 라우터 A에 대해 단일 경로를 설정하고 있으므로 단일 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를  $A_{B,A}^A$ 로 갱신한다. 그리고 나서, 이 값을 경로 의존도(이때, 라우터 E와 D가 라우터 A로의 다음 홉으로서 B를 설정하고 있다고 가정) 2로 나눈 결과인 값을 MP-DLB 메시지에 담아 A를 제외한 모든 이웃 노드들에게 전송한다. 라우터 D는 B로부터 메시지를 받은 다음, 자신에게 메시지를 전송한 B가 A로의 다음 홉들(이 경우, B와 C) 중 하나인지를 확인한다. 다음에,  $\alpha_{DB} (=20)$ 과 MP-DLB 메시지의  $A_{DA}(=5)$  중 작은 값으로 경로 가용대역폭  $A_{D,A}^B(=5)$ 를 결정한다. 자신이 hot 목적지 A에 대해 다중 경로를 설정하고 있으므로 먼저, 다중 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를  $A_{D,A}^B$ 로 갱신한다. 현재, 라우터 D의 A로의 지정 라우터가 C일 경우, D는 C로부터가용대역폭 정보 메시지를 받을 때까지 메시지를 플러딩하지 않는다. 이윽고, C로부터  $\langle A,10,0 \rangle$ 이 도착하면, 역시 다중 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를  $A_{D,A}^C(=10)$ 으로 먼저 갱신한다. 그리고  $A_{DA} = (A_{D,A}^B + A_{D,A}^C) / \delta_{DA} = 15/1$ 을 구하여 이 값을 MP-DLB 메시지의 가용대역폭 필드에 실어 C를 제외한 모든 이웃 노드에게 보낸다. 이때 D의 지정라우터는 이 시점까지 가용 대역폭이 가장 작은 이웃 노드인 B가 된다.



그림 7 메시지 플러딩 후의 D의 다중 경로 라우팅 테이블

목적지	라우팅 모드	다음 홉	경로비용	로드
A	M	B	7	15
B	S	B	2	10
C	S	F	5	20
E	S	E	3	L
F	S	F	4	L

그림 8 메시지 플러딩 후의 라우터 D의 단일 경로 라우팅 테이블

• 동적 로드 밸런싱

각 라우터는 MP-DLB 메시지 플러딩 과정을 통해 수집한 각 경로의 가용대역폭 정보에 따라 트래픽을 분배한다. hot 목적지로 향하는 패킷이 들어오면, 라우터는 먼저 단일 경로 라우팅 테이블의 라우팅 모드를 검색하여 자신이 hot 목적지에 대해 단일 경로를 설정하고 있는지, 혹은 다중 경로를 설정하고 있는지를 알아낸다. 만약, 단일 경로를 설정하고 있다면, 단일 경로 라우팅 테이블의 다음 홉으로 패킷을 전송한다. 다중 경로를 설정하고 있다면, 다중 경로 라우팅 테이블의 가용대역폭 필드를 검색하여 각 경로로의 가용 대역폭 크기에 비례하는 양의 확률로 패킷의 다음 홉을 결정한다. 임의의 다중 경로 라우터 P가 hot 목적지인 R로 전송하고자 할 때, 다음 홉으로서 Q를 택할 확률은 다음과 같다.

$$Prob[ \text{next hop} = Q ] = \frac{A_{P,R}^Q}{\sum_i A_{P,R}^i}, \quad i \in NH_{P,R}$$

예를 들어, 그림 9는 그림 6의 로드 정보 플러딩 결과 라우터 D가 얻게 된 hot 목적지인 A로의 두 다음 홉인 B와 C의 경로상의 가용대역폭을 보여 준다. C로의 경로가 B로의 경로보다 가용대역폭은 2배이므로 라우터 D는 A를 목적지로 하는 패킷이 들어오면, 2/3 확률로 C로 전송하고 1/3의 확률로는 B로 전송한다.

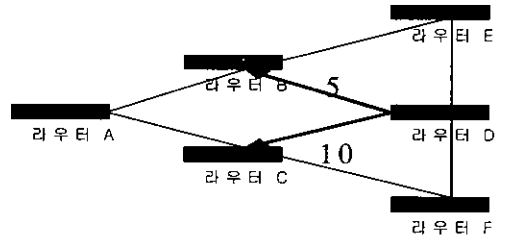


그림 9 라우터 D의 로드 밸런싱

4. 시뮬레이션 모델과 결과 분석

본 장에서는 제안하는 MP-DLB와 동적 매트릭을 사용하는 단일 경로 라우팅 알고리즘인 Hybrid-SCOUT의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 본 시뮬레이션은 C언어로 구현하였으며, 사건 중심(Event-based)의 시뮬레이션 프로그래밍 방법을 이용하여 Ultra Sparc 워크 스테이션에서 수행되었다. 4.1절에서는 두 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경과 트래픽 모델을 제시하고, 4.2절에서는 실험 결과 및 연관성을 토대로 두 방식의 성능 평

가 및 결과 분석이 이루어진다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경

본 시뮬레이션에서는 MP-DLB를 Hybrid-SCOUT 알고리즘과 비교하기 위해 네트워크 성능과 라우팅 비용을 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터로는 hot 목적지의 수와 제어 패킷의 브로드캐스트 주기(이하 BI)를 변화시켜 보았다.

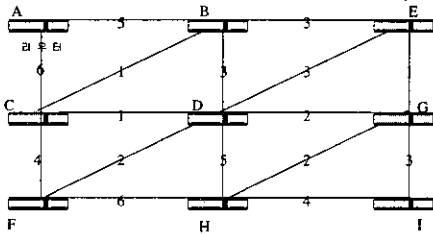


그림 10 메쉬 토폴로지

시뮬레이션에서 사용된 네트워크 모델은 그림 10과 같이 9개의 라우터로 구성된 메쉬 형태의 토폴로지이다. 9개의 라우터 중 실험 1에서는 hot 목적지의 수를 1개로 실험 2에서는 hot 목적지의 수를 2개로 설정하였다. 메쉬 토폴로지는 다소 인위적인 구조로 볼 수도 있으나, 그 구조가 갖는 규칙성과 다수의 다중 경로 설정이 가능하다는 점에서 선택되었다. 링크 상에 표시된 숫자는 경로 설정의 기준이 되는 기본적인 라우팅 비용인 평균 링크 지연 시간이다. 이를 기준으로 Hybrid-SCOUT 알고리즘의 경우, 모든 목적지로의 단일 경로를 설정하였고, 제안하는 MP-DLB의 경우, hot 목적지로의 다중 경로와 hot 목적지를 제외한 목적지로의 단일 경로를 설정하였다. 특히, 2장에서 설명한 바와 같이 루프가 생기지 않도록 고려하여 정적 다중 경로를 설정하였다. 각 라우터의 출력 큐로는 무한 큐를 사용하였다.

본 시뮬레이션에서 한 세션이라 함은 하나의 송신원이 하나의 수신원으로 일정 시간동안 일정 양의 패킷을 전송하는 것을 의미한다. 각 세션 발생 간격의 평균값은 300msec인 지수 분포를 따르고 세션의 길이는 평균이 3000msec인 지수 분포를 따른다고 가정하였다. 시뮬레이션이 진행되면서 임의의 두 노드 사이에 세션이 생성되고 소멸함에 따라 네트워크 상의 각 링크에 부과되는 트래픽 로드는 변화해 나가게 된다. 세션의 송신원은 균일 분포에 의해 호스트들 가운데 랜덤하게 결정되고 세션 내에서의 패킷 발생은 포와송 분포를 따르며 두 패킷간

의 평균 발생 간격은 3msec으로 가정하였다. 네트워크에서 발생하는 모든 트래픽의 90%가 hot 목적지를 향하도록 하였다. 채널 용량 즉, 백본 라우터간 채널의 최대 대역폭은 모두 10Mbps, 라우터 호스트간 채널의 최대 대역폭은 100Mbps 그리고, 패킷의 사이즈는 500바이트라고 가정한다.

이러한 시뮬레이션 모델 가정 하에 패킷당 평균 지연 시간과 라우팅 비용을 측정하였다. 패킷당 평균 지연 시간은 각 패킷이 소스로부터 전송되어 목적지에 도착할 때까지 걸린 시간의 평균으로서 각 패킷이 네트워크를 통과하는 동안 경험하는 폭주 정도를 반영하므로, 이를 두 알고리즘의 라우팅 성능을 평가하는 메트릭으로 사용하였다. 라우팅 비용은 시뮬레이션이 수행되는 기간동안 네트워크 상에서 생성되는 제어 패킷의 수로 측정하였다.

#### 4.2 시뮬레이션 수행과 결과 분석

##### 4.2.1 실험 1

실험 1에서는 하나의 hot 목적지를 가정하고 네트워크 성능을 측정하기 위해 패킷당 평균 지연시간을, 라우팅 비용을 측정하기 위해 시뮬레이션 기간동안 생성된 제어 패킷 수를 측정하였다.

그림 11은 실험 1에서 BI를 변화 시켰을 때, 패킷당 평균 지연 시간의 변화를 보여준다. 모든 BI에서, 제안한 MP-DLB 방식은 Hybrid-SCOUT 알고리즘보다 패킷당 평균 지연 시간이 낮음을 볼 수 있다. 특히, BI가 25msec일 때는 두 알고리즘의 패킷당 평균 지연 시간의 차이는 약 6msec 안팎이지만, BI가 125msec일 때의 차이는 거의 18msec에 이른다. 이는 Hybrid-SCOUT 알고리즘은 BI가 증가됨에 따라서 패킷의 평균 지연 시간이 급격하게 증가하지만, 제안하는 MP-DLB 방식은 완만한 증가를 보이기 때문이다. 두 알고리즘 모두 최적의 결과를 얻기 위해서는 가능한 한 BI값을 줄여야 하지만, MP-DLB는 라우팅 성능이 BI에 대해서 덜 민감하므로 비교적 큰 BI 값을 사용해도 상당히 좋은 라우팅 성능을 낼 수 있음을 알 수 있다.

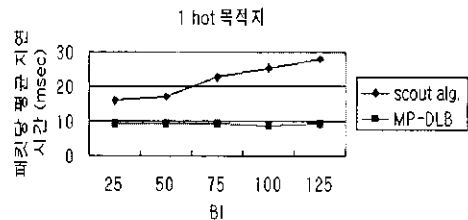


그림 11 BI 변화에 따른 패킷당 평균 지연 시간



그림 12는 역시 실험 1에서 BI를 변화시켰을 때, 라우팅 비용의 변화를 보여준다. 라우팅 비용은 시뮬레이션이 수행되는 기간동안 네트워크 상에서 생성되는 제어 패킷의 수로 측정하였다. 두 알고리즘의 라우팅 비용은 거의 일치하며, BI가 작아짐에 따라 두 알고리즘의 라우팅 비용은 모두 증가한다. Hybrid-SCOUT 알고리즘의 경우, hot 목적지는 정기적으로 SCOUT 메시지를 생성하여 이웃 노드로 전송하고, 각 노드는 지정 노드로부터 SCOUT 메시지를 기다렸다가 자신의 SCOUT 메시지를 생성하여, 이웃 노드로 전송하는 과정을 반복한다. 제안하는 MP-DLB의 경우엔 역시 MP-DLB 메시지를 생성하여 이웃 노드로 전송하고, 각 노드는 지정 노드로부터 MP-DLB 메시지가 도착하기를 기다렸다가 자신의 MP-DLB 메시지를 생성하여 이웃 노드로 전송하는 과정이 반복적으로 수행된다. 즉, 두 알고리즘 모두 각 라우터가 hot 목적지에 대해 지정 라우터를 설정하고, 지정 라우터로부터 메시지를 받기를 기다렸다가 하나의 주기동안 한번만 제어 패킷을 생성한다는 공통점을 갖는다. 결국 각 라우터는 BI동안 단 한번만 메시지를 플러딩하므로 두 알고리즘의 라우팅 비용은 거의 차이가 없다.

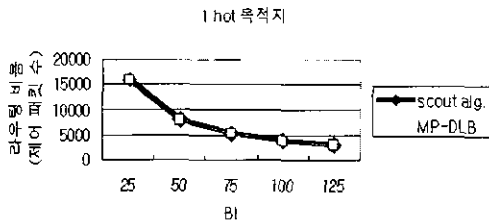


그림 12 BI의 변화에 따른 라우팅 비용

그림 13은 실험 1에서 두 알고리즘을 적용시켰을 때, 라우팅 비용과 네트워크 성능과의 관계를 나타낸 그래프이다. Hybrid-SCOUT 알고리즘은 라우팅 비용이 감소함에 따라, 성능이 급격하게 낮아지는 반면, MP-DLB는 완만한 변화를 보인다. 그리고, 항상 같은 라우팅 비용에 대해서 제안하는 MP-DLB의 성능이 Hybrid-SCOUT 알고리즘의 성능보다 더 좋은 것으로 나타난다. 유사한 성능을 내기 위해서 Hybrid-SCOUT 알고리즘은 16000의 라우팅 비용이 필요한 반면, MP-DLB는 3100 정도의 라우팅 비용만을 요구한다. 즉, 실험한 네트워크 모델에서는 MP-DLB가 Hybrid-SCOUT 알고리즘에 비해 1/5정도의 라우팅 비용만을 요구함을 알 수 있다.

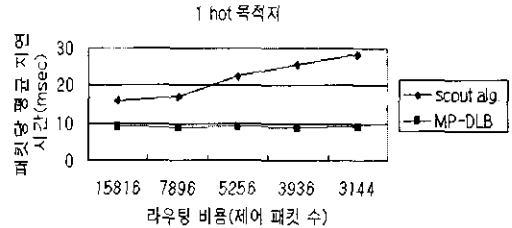


그림 13 라우팅 비용 변화시 패킷당 평균 지연 시간

4.2.2 실험 2

실험 2에서는 두개의 hot 목적지를 가정하고 네트워크 트래픽의 90%가 이 두 라우터로 향하도록 설정하고, 실험 1과 마찬가지로 네트워크 성능을 측정하기 위해 패킷당 평균 지연시간을, 라우팅 비용을 측정하기 위해 시뮬레이션 기간동안 생성된 제어 패킷 수를 측정하였다.

[5.6]에서 Hybrid-SCOUT 알고리즘은 hot 목적지로 향하는 전체 트래픽의 양을 일정하게 하고 hot 목적지의 수를 증가시켰을 때 성능이 향상되고 라우팅 비용이 증가함을 보였다. hot 목적지로 가는 트래픽의 양을 고정시켜 놓고 hot 목적지의 수만을 증가시키면, 하나의 hot 목적지로 집중되는 트래픽의 양이 감소하게 되므로 패킷당 평균 지연 시간은 감소하게 된다. 특히, hot 목적지 수가 증가할수록 전통적인 단일 경로 방식에 비한 Hybrid-SCOUT의 우월성이 커지게 되는데 이것은 Hybrid-SCOUT 알고리즘에서 라우트 재계산은 목적지 노드에 의해서 독자적으로 제어되므로, 각기 다른 hot 목적지들에 대한 라우트 계산이 시간차를 두고 이루어지기 때문에, 나중에 수행된 라우트 재계산은 먼저 수행된 라우트 결정에 의한 네트워크 로드의 변화에 영향을 받게 되므로 만약, 동시에 라우트 재계산을 시도했다면 동일한 링크의 집합을 공유하게 되었을지도 모르는 상황을 막을 수 있기 때문이다. Hybrid-SCOUT의 라우팅 비용은 hot 목적지의 수가 많아지면 제어 메시지를 발생하는 주체가 많아지므로 증가하게 된다.

제안하는 MP-DLB 방식의 경우도 Hybrid-SCOUT와 마찬가지로 hot 목적지로 향하는 전체 트래픽 양이 일정한 가운데 hot 목적지의 수만 증가하면 하나의 hot 목적지에 집중되는 트래픽 양이 감소하는 경향이 있으므로 패킷당 지연 시간은 감소하게 된다. 그러나, 하나의 hot 목적지에 몰려드는 트래픽의 양이 적어지므로 단일 경로 방식인 Hybrid-SCOUT에 비한 우월성은 감소하게 된다. 이는 네트워크 자체가 메쉬 구조처럼 다중 경로를 많이 설정할 수 있어야 하는 점과 함께 MP-

DLB 방식의 단점으로 볼 수 있다. 라우팅 오버헤드 측면에서는 Hybrid-SCOUT와 마찬가지로 hot 목적지의 수가 증가하면 MP-DLB를 생성하는 목적지가 증가하므로 오버헤드가 증가하게 된다.

그림 14는 hot 목적지를 두 개로 설정한 상태에서 BI를 변화 시켰을 때, 네트워크에서 Hybrid-SCOUT 알고리즘과 MP-DLB를 사용한 경우 각각의 패킷당 평균 지연 시간을 살펴보았다. 두 방식 모두 hot 목적지의 수가 증가함으로써 트래픽이 분산되는 효과에 의해 실험 1에 비해서 패킷당 평균 지연시간이다. 또한, BI 증가에 따른 패킷당 평균 지연 시간 증가폭도 둔화되었음을 알 수 있다. 특히, 이러한 성능 향상은 Hybrid의 경우 두드러져, 두 방식간의 성능 차가 감소되었다.

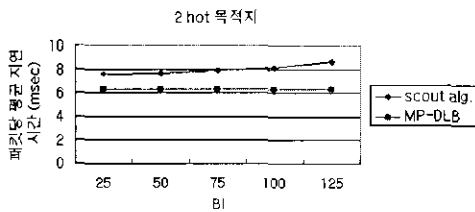


그림 14 BI 변화에 따른 패킷당 평균 지연 시간

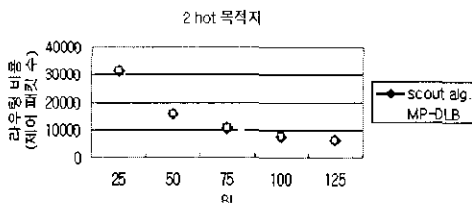


그림 15 BI 변화에 따른 라우팅 비용

그림 15는 hot 목적지를 두 개로 설정한 상태에서 BI를 변화 시켰을 때, Hybrid-SCOUT 알고리즘과 MP-DLB 각각의 라우팅 비용을 보여 주고 있다. 실험 1과 마찬가지로 BI가 작아짐에 따라, 두 알고리즘의 라우팅 비용은 모두 증가하고, 두 알고리즘의 라우팅 비용은 일치한다. 그런데, hot 목적지가 하나인 실험 1에 대한 라우팅 비용을 보여주는 그림 15와 비교해 보면, MP-DLB와 Hybrid-SCOUT 알고리즘 모두 라우팅 비용이 거의 2배로 증가하였음을 알 수 있다. 네트워크 상에  $n$ 개의 hot 목적지가 있다면, 제어 메시지를 생성하는 주체가 한 개의 hot 목적지인 경우에 비해  $n$ 배가 된다. 물론, 중간 라우터의 경우, 모든 제

어 메시지를 매번 플러딩하는 것이 아니라 한 주기에 유입된 제어 메시지들을 모아서 거의 주기당 하나의 제어 메시지를만 플러딩 하므로 hot 목적지 수에 비례하여 라우팅 비용이 증가하지는 않는다. hot 목적지의 수에 관계없이 두 알고리즘의 라우팅 비용은 일치하며, BI를 증가시키면 라우팅 비용은 감소한다.

### 5. 결론

본 논문에서는 네트워크의 상황을 잘 반영하는 동적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅 알고리즘의 라우팅 오버헤드와 메모리 요구량 및 프로세싱 오버헤드를 줄일 수 있는 새로운 다중 경로 라우팅 알고리즘인 MP-DLB를 제안하였다. 이 라우팅 방식은 인터넷 트래픽이 일부 hot 목적지로 집중되는 패턴을 보이는 인터넷 패킷 배치 분석자료를 근거로 hot 목적지를 설정하고 이 hot 목적지로의 경로에 대해서만, 동적 로드 밸런싱을 수행한다. MP-DLB는 크게 경로 설정, 로드 정보 메시지 플러딩, 동적 로드 밸런싱 등의 세 가지 과정으로 나뉜다. 각 라우터는 DV 알고리즘을 기반으로 hot 목적지에 대해서는 다중 경로 라우팅 테이블을 구축하고 이외의 목적지에 대해서는 단일 경로 라우팅 테이블을 구축한다. hot 목적지들은 주기적으로 MP-DLB 메시지를 플러딩하여 라우터들이 로드 정보를 얻을 수 있도록 한다. 각 라우터는 hot 목적지로부터 플러딩된 MP-DLB 메시지를 통해 수집한 각 경로의 로드 정보에 따라 다음 홉들에게 트래픽을 분배한다.

시뮬레이션 결과, 동적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 방식인 MP-DLB가 단일 경로 라우팅 방식인 Hybrid-SCOUT에 비해 더 나은 성능을 보임을 알 수 있었다. 다수의 소스들이 하나의 hot 목적지에 대해 트래픽을 전송하는 경우 그 목적지로부터 멀리 떨어진 링크는 이 다수의 소스들에 의해 공유될 가능성이 작으므로 하나의 목적지로 향하는 여러 소스들의 자원 공유에 의한 폭주가 발생할 염려는 낮다. 즉, hot 목적지에 인접하지 않는 네트워크의 주된 폭주 원인은 여러 다른 hot 목적지들로 전송되는 트래픽들이 동일한 링크를 경유하여 자원을 공유하는 것이다. 이러한 원인에 의해 발생하는 폭주는 목적지들이 비동기적으로 라우팅 재계산을 수행하는 Hybrid-SCOUT 방식에 의해 효과적으로 해결될 수도 있다. 반면, hot 목적지에 가까워질 수록 링크에서 발생하는 폭주는 여러 소스로부터 그 hot 목적지로 오는 트래픽들의 자원 공유로 인해 발생할 소지가 많다. 그런데,

Hybrid-SCOUT는 단일 경로 라우팅 방식이므로 이러한 폭주에 대해서는 효과적으로 대처할 수 없다. Hybrid-SCOUT는 폭주가 발생하기 쉬운 hot 목적지에 인접한 라우터에서 단일 경로만을 제공할 수밖에 없으므로 다중의 경로가 실제적으로 존재하는 경우에도 동적으로 현재 최적의 경로를 번갈아 가며 선정할 수밖에 없다. 반면, 제한하는 MP-DLB는 hot 목적지로부터 멀리 떨어져 있는 링크의 경우에도 다중 경로 설정으로 인해 로드 분산의 효과를 가져오고, 특히 폭주 발생이 쉬운 hot 목적지에 인접한 링크의 경우에 hot 목적지를 향해 여러 소스로부터 유입된 트래픽을 다중 경로를 통해 전송함으로써, 라우팅 성능을 향상시킬 수 있다.

단, 이러한 MP-DLB의 우월성은 모두 트래픽 로드 분포의 편중 정도와 네트워크 토폴로지가 hot 목적지의 다중 경로를 제공하는 정도에 의존한다는 한계성이 있다. 트래픽 로드의 편중성이 높더라도 네트워크 토폴로지에 다중 경로가 존재하지 않는다면 MP-DLB는 hot 목적지로부터의 정기적인 제어패킷 플래딩 오버헤드를 부과하지만 라우팅 성능을 향상시킬 수 없다. 또한, Hybrid-SCOUT에 비해 MP-DLB는 hot 목적지로의 경로상에 있는 모든 라우터에서 다중 경로 정보를 유지해야하는 오버헤드가 있지만 시뮬레이션 결과를 통해 트래픽 편중 정도가 낮아질수록 Hybrid-SCOUT에 대한 우월성 정도가 감소함을 볼 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Moy, Ospf version2. Technical Report RFC 2328. internet Engineering Task Force, 1998.
- [2] C. Villamizar, OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP), Internet-Draft, draft-ietf-ospf-omp-02.txt, Feb. 1999.
- [3] J. J. Garcia-Luna-Aceves, S. Vutukury, "A Practical Approach to Minimizing Delays in Internet Routing," *Proc. IEEE ICC*, pp.479- 483, 1999.
- [4] J. J. Garcia-Luna-Aceves, S. Vutukury, "A Simple Approximation to Minimum-Delay Routing." *Proc. ACM SIGCOMM'99*, pp.227- 238, 1999.
- [5] J. Chen, P. Druschel, D. Subramanian, "A New Approach to Routing With Dynamic Metrics," *Proc. INFOCOM'99*, pp 661-670, 1999.
- [6] J. Chen, P. Druschel, D. Subramanian, "New Approaches to Routing for Large-Scale Data Networks," Ph.D. Dissertation.
- [7] R. E. Bellman. Dynamic Programming. Princeton University Press, Princeton, N.J, 1957.
- [8] L. R. Ford and D. R. Fulkerson. Flows in Networks. Princeton University Press, Princeton, N.J, 1962.
- [9] S. Vutukury, J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An Algorithm for Multipath Computation using Distance-Vectors with Predecessor Information," *Proc. IEEE IC3N '99*, 1999.



정 선

1993년 ~ 1997년 이화여자대학교 전산과 학사. 1998년 ~ 2000년 이화여자대학교 컴퓨터학과 석사. 2000년 ~ 현재 테이콤 종합 연구소 연구원. 관심분야는 QoS 라우팅, 멀티캐스팅, IPv6.

이 미 정

정보과학회 논문지 : 정보통신  
제 28 권 제 1 호 참조