

동적 로드 밸런싱을 적용한 다중 경로 라우팅 방안에 관한 연구

정 선, 김세린, 이미정

이화여자대학교 컴퓨터학과

(982COG33, cheer, lmj)@mm.ewha.ac.kr

Multipath Routing with Dynamic Load Balancing

Sun Jung, Sae-Rin Kim, Mee-Jeong Lee

Dept of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

요약

동적 메트릭을 사용하는 단일 경로 라우팅 방식이 폭주에 대처하는 방법은 폭주 영역을 피할 수 있도록 경로를 바꾸어주는 것이다. 그러나, 이러한 라우팅 변경은 라우팅 진동을 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-DLB를 제안하였다. MP-DLB 방식은 hot 목적지에 대해서만 다중 경로를 설정하고, 이들 다중 경로에 대해서만 동적 로드 밸런싱을 수행한다. 제안하는 MP-DLB 방식의 성능을 검토하기 위하여 시뮬레이션을 실행한 결과, MP-DLB는 hot 목적지를 향하여 임의의 라우터에 집중되고 있는 여러 소스로부터의 트래픽을 다중 경로를 이용해 분산 전송함으로써 효과적으로 폭주를 경감시키고 라우팅 성능을 높일 수 있었다.

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. ECMP와 같이 정적 로드 밸런싱을 수행하는 다중 경로 라우팅은 네트워크의 상황과는 무관하게 일정한 비율로 다중 경로를 통해 트래픽을 분산시키므로 효율적이지 못하다 [1]. 반면, 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[2,3,4].

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 제시하였다.

제안하는 MP-DLB 방식은 J. Chen등이 동적인 단일 경로 라우팅에 있어서 라우팅 효율을 높이고 라우팅 오버헤드를 낮게 유지하기 위해 [5,6]에서 제안한 아이디어를 도입하였

다.

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

또한, Hybrid-SCOUT 방식은 각 hot 목적지들이 독자적으로 정기적인 로드 정보 메시지를 발생시키고, 이를 이용해서 각 라우터가 시간차를 두고 경로 계산을 하기 때문에 그 라우터를 점유하는 여러 hot 목적지로의 트래픽이 전체적으로 하나의 폭주 영역을 피해 다같이 다른 영역으로 옮겨가는 것을 피할 수 있다.

그러나, Hybrid-SCOUT은 단일 경로 라우팅에 기반한 알고리즘으로, 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 번갈아 가며 선택함으로써 트래픽을 분산하여 폭주를 경감시키는 비효율적인 방법을 사용할 수 밖에 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 hot 목적지 노드들에 대해서만 다중 경로를 설정함으로써, 경로 설정 및 동적 로드 밸

런싱을 위해 소요되는 라우팅 오버헤드와 각 라우터가 유지해야 하는 경로 정보량을 감소시킨다. 또한, Hybrid-SCOUT과 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 발생되는 폭주에 대해 Hybrid-SCOUT 보다 좀 더 효과적으로 대처할 수 있다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 2장에서는 MP-DLB의 구성 요소 및 작동 방식을 설명하고, 3장에서는 MP-DLB와 Hybrid-SCOUT 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 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.

• 경로 설정

각 라우터는 정적 메트릭인 링크 전파 지연을 경로 비용으로 하여 DV 알고리즘[7,8]을 수행함으로써 hot 목적지가 아닌 목적지에 대해서는 단일 경로 라우팅 테이블을 구축한다.

목적지	라우팅 모드	다음 홉	경로 비용	가용대역폭
-----	--------	------	-------	-------

그림 1 단일 경로 라우팅 테이블 구조

hot 목적지에 대해서는 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 해야 한다[9]. 두 번째 조건은 최단 경로와의 경로 지연 차가 임계치를 넘지 않도록 하는 것이다.

이 두 조건을 만족시키는 이웃 노드가 2개 이상 존재하면, 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.

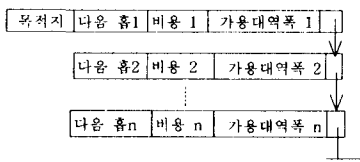


그림 2 다중 경로 라우팅 테이블의 구조

경로 의존도 테이블은 각 라우터가 hot 목적지들에 대해 단일 경로 혹은 다중 경로의 다음 홉으로 설정하고 있는 라

우터들에게 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.

• 로드 정보 계산 및 전달

그림 3은 로드 정보 플러딩 과정을 보여주는 순서도이다.

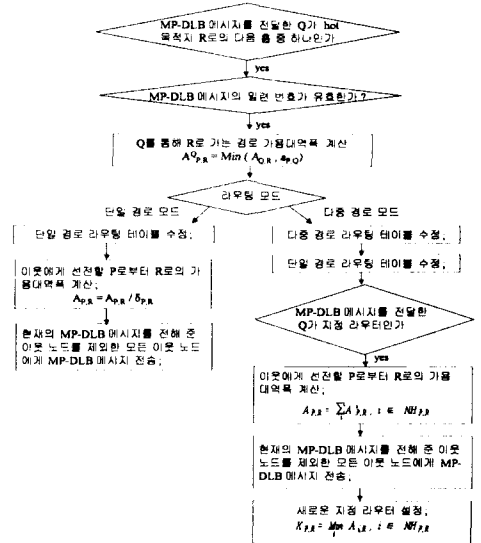


그림 3 MP-DLB 메시지 플러딩 순서도

- $A_{P,R}^Q$: P로부터 R에 이르는 경로 중 Q란 다음 홉으로 하는 경로의 경로 가용대역폭
- $A_{Q,R}$: 라우터 Q로부터 R까지의 경로 가용대역폭
- $\delta_{P,R}$: P에 대한 hot목적지 R로의 경로 의존도
- $K_{P,R}$: P에 대한 hot목적지 R로의 지정 라우터
- $NH_{P,R}$: P로부터 R까지의 모든 다중 경로의 다음 홉 집합

• 동적 로드 밸런싱

각 라우터는 MP-DLB 메시지 플러딩 과정을 통해 수집한 각 경로의 가용대역폭 정보에 따라 트래픽을 분배한다. 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.

3. 시뮬레이션 모델과 결과 분석

3.1 시뮬레이션 환경

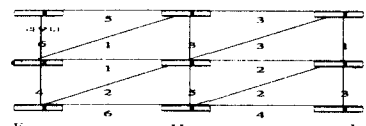


그림 4 메쉬 토폴로지

본 시뮬레이션에서는 MP-DLB를 Hybrid-SCOUT 알고

리즘과 비교하기 위해 네트워크 성능과 라우팅 비용을 측정하였다. 시뮬레이션 파라미터로는 hot 목적지의 수와 제어 패킷의 브로드캐스트 주기(이하 BI)를 변화시켜 보았다. 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 모델은 그림 4와 같다. 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. 두 패킷간의 평균 발생 간격은 3msec으로 가정하였다. 네트워크에서 발생하는 모든 트래픽의 90%가 hot 목적지를 향하도록 하였다. 백본 라우터간 채널의 최대 대역폭은 모두 10Mbps, 라우터 호스트간 채널의 최대 대역폭은 100Mbps 그리고, 패킷의 사이즈는 500바이트라고 가정한다.

3.2 시뮬레이션 수행과 결과 분석

3.2.1 실험 1

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

실험 1에서 BI를 변화 시켰을 때, 패킷당 평균 지연 시간의 변화를 살펴보면, Hybrid-SCOUT 알고리즘은 BI가 증가함에 따라서 패킷의 평균 지연 시간이 급격하게 증가하지만, 제안하는 MP-DLB 방식은 완만한 증가를 보인다. MP-DLB는 라우팅 성능이 BI에 대해서 덜 민감하므로 비교적 큰 BI 값을 사용해도 상당히 좋은 라우팅 성능을 낼 수 있음을 알 수 있다.

실험 1에서 BI를 변화 시켰을 때, 라우팅 비용을 측정하였다. 두 알고리즘의 라우팅 비용은 거의 일치하며, BI가 작아짐에 따라 두 알고리즘의 라우팅 비용은 모두 증가한다.

그림 5는 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 나타나있다.

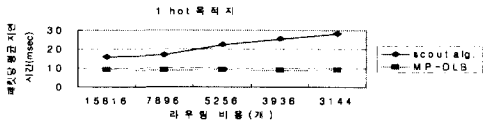


그림 5 라우팅 비용 변화시 패킷당 평균 지연 시간

3.2.2 실험 2

실험 2에서는 두 개의 hot 목적지를 가정하고 실험 1과 같이 측정하였다.

전체 트래픽 양이 일정한 가운데 hot 목적지의 수만 증가하면 하나의 hot 목적지에 집중되는 트래픽 양이 감소해서 두 방식 모두 실험 1에 비해서 패킷당 지연 시간은 감소한다. 그러나, 하나의 hot 목적지에 몰려드는 트래픽의 양이 적어지므로 단일 경로 방식인 Hybrid-SCOUT에 비해 MP-DLB의 우월성은 감소해서, 두 방식간의 성능 차이가 감

소된다.

hot 목적지를 두 개로 설정한 상태에서 BI를 변화 시켰을 때, 라우팅 비용을 살펴보면, 실험 1에 비해 라우팅 비용은 hot 목적지의 수가 많아지면 제어 메시지를 발생하는 주체가 많아지므로 증가하였음을 알 수 있다. hot 목적지의 수에 관계없이 두 알고리즘의 라우팅 비용은 일치하여, BI를 증가시키면 라우팅 비용은 감소한다.

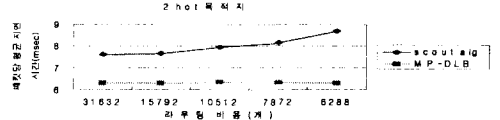


그림 6 라우팅 비용 변화시 패킷당 평균 지연 시간

4. 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. MP-DLB 방식은 hot 목적지에 대해서만 다중 경로를 설정하고, 이들 다중 경로에 대해서만 동적 로드 밸런싱을 수행한다. 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.

참고문헌

- [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.