MPLS를 이용한 다중 경로 라우팅 기법의 분석과 Flow 구분을 이용한 다중 경로 라우팅 구조의 제안

김현석[0] 안개일 전우직
충남대학교 컴퓨터공학과 프로토콜공학 연구실
{hyskim, fogl, chun}@ce.cnu.ac.kr

Analysis of Multi-path routing scheme based on MPLS and Proposal for Flow-based Multi-path routing structure

Hyun-Seok Kim[0], Gae-Il Ahn, Woo-Jik Chun
Protocol Eng. Lab., Dept. of Computer Eng., Chungnam National University

요 약

네트워크상의 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방법의 하나로 다중 경로 라우팅(multi-path routing)이 있다. 트래픽 엔지니어링(traffic engineering)을 위하여 다중 경로 라우팅을 이용하면 트래픽(traffic)을 여러 경로로 분산 시켜 트래픽이 한 곳으로 집중하는 현상은 제거 할 수 있을 뿐 아니라 네트워크 상의 유휴자원을 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 MPLS환경 하에서 다중 경로 라우팅을 효율적으로 사용하기 위해 제안 되었던 알고리즘에 대하여 분석 하고 각 알고리즘들의 장단점을 비교한다. 그리고 효율적인 다중 경로 라우팅을 위해 추가적으로 필요한 요소를 기술하고, 새로운 다중 경로 라우팅을 위한 구조를 제안한다.

1. 서 론

최근 수년 동안 인터넷 사용자의 수가 폭발적으로 급증하고 있으나 현재의 인터넷은 최단 경로(Shortest Path)만을 계산해 내는 라우팅 프로토콜(Routing Protocol)을 사용하여 네트워크의 자원 상태에 관계없이 최단 경로만을 계산하기 때문에 트래픽(Traffic)이 한쪽으로 집중하여 혼잡 상황이 자주 발생한다. 즉 유휴 자원이 있음에도 불구하고 이를 효율적으로 사용하지 못하여 발생하는 현상이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 트래픽 엔지니어링(*Traffic engineering*)이라는 기법이 도입되었다. 트래픽 엔지니어링의 목적은 네트워크 상의 자원이 overutilize되지 않도록 하여 혼잡을 최소화 하고, underutilize되지 않도록 하여 자원 사용의 효율성을 높이는 것이다. 다중 경로 라우팅은 이런 조건을 충족 시킬 수 있는 트래픽 엔지니어링의 한 기법으로 현재 이 분야에 대한 연구가 활발하다. 다중 경로 라우팅은 여러 경로로 트래픽을 분산 시켜서 일부 경로로 트래픽이 집중되는 현상을 제거 할 수 있을 뿐 아니라, 유휴자원을 이용할 수도 있다. 다중 경로 라우팅을 효율적으로 제공하기 위해서는 현재의 IGP가 다중 경로 라우팅에 부적합하여 수정이 불가피하다. 이런 면에서 명시적 라우팅(*explicit routing*)을 제공하는 MPLS[1]는 이런 문제에 있어서 해결책을 제시해 준다. 기존의 IGP에서는 명시적 라우팅을 제공하기 위해서 패킷에 명시적 라우팅을 하게 될 경로상의 노드 주소를 모두 실어 보내야 하는 부담이 있지만, MPLS의 경우 IGP가 가지는 오버헤드(*overhead*)가 없이 일반 MPLS 패킷과 마찬가지로 레이블(label) 하나로 명시적 라우팅을 통해 설정된 경로를 경유할 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 다중 경로 라우팅의 여러 기법 중 기존의 IGP를 이용한 ECMP, MPLS의 명시적 라우팅을 이용하는 MATE(MPLS Adaptive Traffic Engineering)와 MPLS-OMP(Optimized Muli-Path)의 특성에 대해 분석하여 보고, 각 기법들의 장단점을 비교하여 더 나은 트래픽 엔지니어링을 제공하기 위하여 필요한 요소들에 대해 알아보고 새로운 다중 경로 라우팅의 구조를 제안한다.[1][2][3][4][5]

2. Load balancing 기법들에 대한 고찰

2.1 ECMP(Equal Cost Multi-Path)

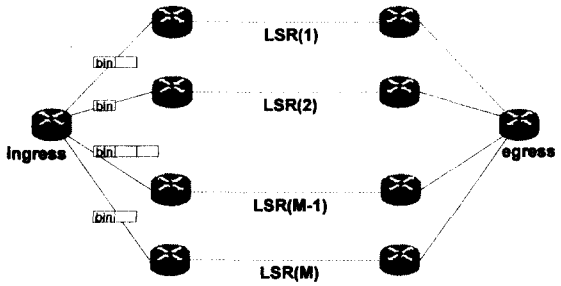
ECMP[1]는 동일한 비용을 가지는 여러 경로로 트래픽을 동일하게 분산 시켜서 성능의 향상을 도모하고자 하는 방법으로 현재 여러 라우터에 구현되어서 탑재되어 있는 다중 경로 라우팅 기법이다. ECMP는 같은 비용을 가지는 여러 개의 경로에 동적으로 부하(load)를 조절하는 방법을 사용하지 않기 때문에 ECMP는 안정된 형태를 가지는 부하 분산 기법이다. ECMP는 각 경로의 특성의 고려 없이 동일한 비용(cost)를 가지는 여러 경로로 트래픽을 동일하게 나누어 분배하기 때문에 네트워크의 자원을 효율적으로 사용 한다고 말할 수 없다. 네트워크의 동적인 상태를 반영하는 측정 기준의 고려가 전혀 없기 때문이다. 동일한 비용을 가지는 여러 경로 중 가용 대역폭이 매우 적어서 혼잡이 발생 할 수 있는 가능성이 있는 경로도 있을 수 있고,

링크의 지연 시간이 매우 커서 전송되는 트래픽의 재순서(re-ordering) 문제가 심각하게 발생할 수도 있다. 또 다른 문제점으로는 ECMP를 사용한다고 해서 반드시 동일한 비용을 가지는 경로가 존재한다는 것을 보장 할 수 없다는 것이다. 바꾸어 말하면 네트워크상의 자원을 효율적으로 사용하지 못한다는 의미이다.

2.2 MATE(MPLS Adaptive Traffic Engineering)

MATE[2]는 ingress LSR(Label Switching Router)과 egress LSR 사이에 고정된 수의 LSP(Label Switched Path)를 설정함으로써 트래픽 엔지니어링을 제공하는 것이 목적이다. MATE는 통계적인 트래픽의 변화가 ingress와 egress사이의 RTT(Round-Trip Time)보다 훨씬 긴 준안정화 상태 (quasi-stationary) 환경을 가정하고 다음과 같은 특성을 가진다.

- ✓ Best-effort 서비스
- ✓ 클래스 단위의 트래픽 엔지니어링
- ✓ LSP 혼잡 여부에 따라 트래픽의 최적화 결정
- ✓ 패킷 재순서의 최소화
- ✓ 부하 분배의 기준으로 RTT사용



<그림 1. 해시 함수에 의해 각 LSP에 bin이 할당된 모습>

MATE는 두 단계의 트래픽 분배 과정을 거친다. Ingress와 egress사이에 M개의 LSP가 존재하고 ingress에는 N개의 bin이 있다고 가정한다. Bin이라는 것은 granularity의 정도를 조절하기 위해서 사용한다. Bin의 수에 따라 제공할 수 있는 입도(granularity)가 달라진다. 처음은 엔지니어링 될 트래픽을 N개의 bin에 동일하게 분배한다. 다음으로 N개의 bin을 M개의 LSP에 사상시킨다. <그림 1>은 bin을 LSP에 사상(mapping)시켰 을 때의 모습을 나타낸다. 사상 시키는 방법은 round-robin, per-flow 기반 트래픽의 필터(filter), 해시(hash) 함수등을 사용 할 수 있다. Round-roubin의 경우 re-ordering문제, per-flow 기반 트래픽의 filter는 많은 상태 정보의 유지라는 단점이 있다. 해시함수를 이용한 방법은 위에 나타난 두가지 문제를 절충할 수 있는 방법으로 MATE에서는 해시 함수를 사용한다. MATE에서는 부하를 제어하기 위한 기준으로 RTT를 이용한다. RTT의 특성상 변화가 클 수 있기 때문에 MATE에서 이전의 RTT값과의 차를 이용한 derivative를 이용해서 부하를 제어한다.

<식1>에서의 D_new(i)는 LSP(i)의 새로 측정한 RTT이고, D_old(i)는 이전에 측정했던 RTT의 값이다.

$$Derivative(i) = | D\_new(i) - D\_old(i) | / Inc(i)$$

<식1. RTT를 이용한 derivative 계산식>

Inc(i)는 변화된 bin의 수이다. Ingress와 egress사이의 M개의 LSP들 사이의 derivative가 비슷하게 유지되도록 bin을 이동시킨다. 즉 트래픽을 이동시키기 위해서는 LSP에 사상되는 bin의 수를 조정하면 된다.

MATE에서는 트래픽 엔지니어링을 위해서 고정된 수의 LSP를 사용한다. 비록 준안정(quasi-stationary)한 상태를 고려하고 통계적인 트래픽의 패턴을 고려하여 LSP의 수를 결정하였다 하더라도 트래픽의 양은 계속 변한다. 즉 설정한 LSP들이 처리할 수 있는 능력 이상의 트래픽이 들어 올 수도 있고, 반대로 더 적은 수의 LSP로 처리 할 수 있을 만큼의 적은 양의 트래픽이 들어 올 수 도 있다. 부하의 분배라는 측면에서 정적으로 처리하는 것만으로 성능의 향상을 가져 올 수 있지만 동적으로 변하는 트래픽을 수용하기에는 부적절 할 수 있다는 것이다. 동적으로 필요에 따라 LSP를 설정 할 수 있는 기능이나, 혹은 상황에 따라 LSP를 해제 할 수 있는 기능이 필요하게 된다.

MATE는 RTT를 이용한 derivative를 부하 분배의 기준으로 하고 있다. MATE에서는 RTT의 부정확한 정보를 보정하기 위해 기준에 어긋나는 RTT이 측정될 경우 새로운 RTT를 측정하여 derivative를 다시 계산한다. MPLS의 구조적인 변화 없이 하려다 보니 RTT를 측정 기준으로 하였지만 RTT라는 것은 네트워크의 상태에 따라 심하게 변할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. RTT보다는 가용 대역폭의 정보나 자원의 활용률을 이용하는 것이 자원의 효율성 측면에서 설득력을 가진다.

2.3 MPLS-OMP(MPLS Optimized Multi-Path)

MPLS-OMP는 네트워크의 동적인 상태를 고려하여 LSP의 동적인 추가/삭제를 통해서 네트워크상의 자원을 고루 사용할 수 있도록 하는 트래픽 엔지니어링 기법이다. MATE가 트래픽 중심적(traffic oriented) 측면의 트래픽 엔지니어링을 제공하려 하였다면 MPLS-OMP는 자원 중심적(resource-oriented) 트래픽 엔지니어링 제공이 목적이다. [3][4]

MPLS-OMP는 OSPF-OMP의 알고리즘을 이용한 트래픽 엔지니어링 기법이다. 그러나 OSPF-OMP는 링크 비용의 조절(*link cost tuning*)이라는 가장 큰 문제가 있다. 현재 이 문제는 NP-complete한 문제로 인식되고 있다. 물론 휴리스틱(heuristic)한 방법을 사용하여 성능 향상을 가져올 수 있지만 최적화(optimized)된 성능 향상은 얻을 수 없다. MPLS-OMP 는 OSPF-OMP에서 문제로 대두된 link-cost의 설정 문제없이 MPLS가 제공하는 명시적 라우팅을 통해서 최적에 가까운 부하 균등(load balancing)을 제공할 수 있는 방법이다. MPLS-OMP는 OSPF-OMP나 ISIS-OMP에 의해서 플러딩 (flooding)된 링크의 부하 정도와

패킷의 손실 정보(loss)를 이용해서 equivalent-load라는 값을 생성한다. 이 값을 통해서 트래픽의 분산을 위한 추가 경로를 설정할 것인지 아니면 경로를 삭제 할 것인지를 결정한다. Equivalent-load에는 3가지 종류가 있다.

1. Link equivalent load
2. path equivalent load
3. path set equivalent load

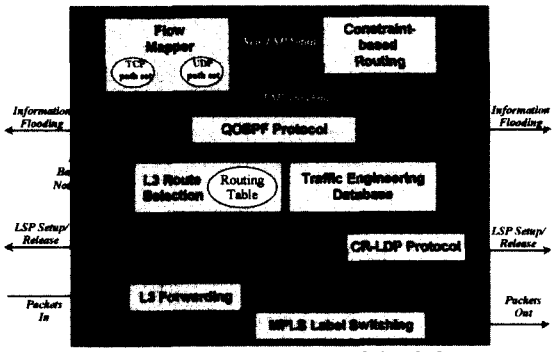
Link equivalent load는 각 링크에 대해 계산한 equivalent load, path equivalent load는 path 상의 가장 큰 link equivalent load를, path set equivalent load는 path들의 집합 중에 가장 작은 path equivalent load를 값으로 한다.
경로의 추가 삭제 여부는 path set equivalent load와 threshold값을 비교하여 결정한다. 각 경로에 할당하는 트래픽의 양은 equivalent load에 따라 해시 값의 경계값을 조정함으로써 트래픽의 양을 조절 할 수 있다.
MPLS-OMP의 경우 자원 중심적(resource oriented) 트래픽 엔지니어링 측면에서는 우수하다. MPLS-OMP의 목적은 경로들의 활용률이 동등해 지도록 하는 방법이기 때문에 트래픽의 경유 해야 하는 경로의 길이는 고려하고 있지않다. 그래서 불필요한 자원의 낭비가 발생할 수도 있다. 또한 구현이 어렵다는 단점이 있다.

3. 다중 경로 라우팅에서 흐름(flow) 구분의 필요성

MATE와 MPLS-OMP는 모두 해시 함수를 이용하여 트래픽의 흐름(flow)를 유지한다. 각 LSP에 할당된 트래픽의 흐름들은 모두 같은 경로를 유지 하도록 되었있다. 하지만 같은 LSP내에 할당된 트래픽에 TCP와 UDP가 함께 섞여 있을 경우 문제가 발생할 수 있다. UDP의 burst한 속성으로 인해 TCP 트래픽의 흐름이 심각한 영향을 받을 수 있다. UDP의 트래픽이 순간 집중하게 되면 TCP는 congestion window의 크기를 절반으로 줄이게 된다. 따라서 TCP 흐름의 성능이 크게 떨어지게 된다. 그러므로 네트워크의 자원을 효율적으로 이용하면서 각각의 흐름에 최선의 성능을 제공하기 위해서는 다중 경로를 이용하되 각 흐름의 구분이 필요하다. [6]

4. 새로운 다중 경로 라우팅을 위한 구조의 제안

각각의 흐름을 보호하기 위해서 흐름마다 경로를 설정하는 것과 경로들을 흐름에 따라 분리 및 관리 하는 것은 너무나 큰 오버헤드를 요구한다. 본 논문에서 제안하는 구조는 TCP, UDP에 따라 각각의 흐름으로 분리하여 TCP 흐름의 집합, UDP 흐름의 집합을 별도로 유지한다. 필요한 수의 경로는 동적으로 생성하고 유휴자원을 효과적으로 이용할 수 있도록 하고, 동저으로 삭제하여 자원의 낭비가 발생하지 않도록 한다. <그림2>는 본 논문에서 제안하는 구조이다. <그림2>에서 "Flow Mapper"가 하는 기능은 입력으로 들어온 패킷들에 대해서 TCP인지 UDP인지를 구별하여 해당 경로 집합에서 패킷이 속한 LSP를 사상시켜 주는 일을 한다. "QOSPF protocol"은 주기적 혹은 네트워크의 상태 변화에 따라 플러딩(flooding)된 정보를 이용하여 "Traffic Engineering Database"의 정보를 갱신한다. "Flow Mapper"는 "Traffic Engineering Database"를 참고하여 새로운 경로 생성과 경로 삭제의 여부를 판단하게 된다. 또한 새로운 경로의 생성이 필요할 경우 "Constraint-based Routing"을 통해서 경로를 생성한다. "Flow Mapper"에서 경로가 결정된 패킷을 포워딩 엔진을 통해서 해당 Next-hop으로 전송된다.



<그림2. 새로운 다중 경로 라우팅을 위한 구조>

6. 결론

본 논문에서는 기존의 다중 경로 라우팅 기법들에 대하여 분석하고, 각 기법들의 장단점에 대해서 기술하였다. 다중 경로 라우팅 기법들의 장단점 비교를 통해서 트래픽 흐름들의 보호가 필요함을 알게 되었고 본 논문에서는 트래픽 흐름을 보호하기 위한 다중 경로 라우팅 구조를 설계하여 제안하였다.

7. 참고문헌

[1] E. Rosen, A. viswanathan, R. Callon, "*Multiprotocol Label Switching Architecture*," RFC 3031, January 2001.
[2] I. Widjaja and A. Elwalid, "*MATE : MPLS Adaptive Traffic Engineering*," Internet Draft <draft-widjaja-mpls-mate-01.txt>, October 1999.
[3] C. Villamizar, "*OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP)*," Internet Draft <draft-ietf-ospf-omp-02.txt>, Mar 1998.
[4] C. Villamizar, "*MPLS Optimized Multipath (OSPF-OMP)*," Internet Draft <draft- villamizar -mpls-omp-00.txt>, Mar 1998.
[5] D. Awduche, J.Malcolm, J. Agogbua, M.O' Dell and J. McManus. "*Requirements for Traffic Engineering Over MPLS*," RFC 2702, September 1999.
[6] P. Bhaniramka, W. Sun, R. Jain, "*Quality of Service using Traffic Engineering over MPLS : An Analysis*," Internet draft <draft-bhani-mpls-te-anal-00.txt>, March 1999.
[7] J. Moy. *OSPF Version 2*. RFC2178, July 1998.