

여러 라우팅 알고리즘의 조합 사용을 기반으로 한 MPLS 네트워크에서의 트래픽 공학 메커니즘

함진호*, 박정수*

*한국전자통신연구원 표준연구센터

Traffic Engineering Mechanisms using Combination of Routing Algorithm on MPLS

Jin-Ho Hahm, Jung-soo Park *

*ETRI, Protocol Engineering Center

E-mail : pjs@etri.re.kr

요약

트래픽 공학(Traffic Engineering)의 목적은 서비스에 대한 QoS의 보장과 네트워크 자원의 사용을 최대화함으로써 가능한 한 많은 데이터 스트림을 처리하고자 하는 것이다. 이를 위한 경로 배정은 MPLS 도메인을 구성하는 네트워크 자원의 가용성 여부를 바탕으로 결정되어야 하므로 네트워크 자원의 운용 상태에 대한 정보들이 경로결정이 일어나는 노드로 전달되어야 한다. 또한 경로 결정에 있어서 원하는 바에 맞게 다양한 라우팅 알고리즘이 복합적으로 적용되어야 한다. 본 논문에서는 트래픽 공학을 위하여 네트워크 자원의 운용 상태를 수집하는 방법과 이를 바탕으로 적용되어야 할 여러 라우팅 메커니즘을 제시하고 트래픽 공학을 위하여 이들이 어떻게 상호 연관성을 갖고 협력하여야 할 것인가를 제시한다

1. 서론

MPLS [1, 2]기반의 네트워크에서 트래픽 공학을 통하여 얻고자 하는 바는 크게 두 가지로 압축할 수 있다. 첫째는 기존 인터넷에서는 달성할 수 없었던 개별적인 데이터 스트림에 대한 QoS를 보장[4]하는 것이다. MPLS에서는 네트워크 자원의 사용 권한을 확보하여 QoS가 보장되는 explicit route를 구성[5]할 수 있다. QoS에 대한 주요 관심사인 전송대역폭, 통신지연, 지터(jitter), 에러율 등은 경로 상에 충분한 네트워크 자원이 제공된다면 보장될 수 있다.

둘째는 네트워크 자원의 활용을 극대화하는 것이다. 한정된 자원으로 보다 많은 트래픽을 수용하는 것은 경제적인 측면에서 의미가 있다. 전체적으로 네트워크 자원의 여유가 있음에도 불구하고 적절하지 못한 경로지정 때문에 네트워크에서 부분적인 병목 현상이 발생하고 더 이상의 데이터 트래픽을 수용하기 어려운 상황에 빠지는 경우가 있다. 네트워크 자원의 분포를 감안하여 경로를 배정한다면 QoS의 요구사항을 만족하면서 네트워크에서 발생하는 네트워크 자원의 지엽적인 과부하 상황을 방지할 수 있을 것이다.

본 논문을 통하여 제안하려는 방식은 할당된 트래픽이 사용하고 남은 자원의 상태를 고려하여 경로를 정하는 것이다. 그러나, 주어진 네트워크에서 트래픽을 할당할 적당한 경로를 찾기 어려운 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 기존의 과부하 상태에 있는 경로를 다른 곳으로 이전함으로써, 이미 할당된 트래픽에 대한 QoS도 보장하면서, 새로운 트래픽에 대하여 QoS를 보장할 수 있는 경로를 찾아낼 수 있다. 이러한 과정을 경로변경(rerouting)이라고 한다.

II. 경로 결정 알고리즘

인그레스 노드에서는 각 노드로부터 플러딩 방식으로 전송된 네트워크 자원의 가용성 여부를 바탕으로 데이터 스트림에 대한 경로를 결정한다.

경로가 어떤 QoS 특성을 제공하여야 하는가에 따라 최단경로 및 최광경로로 구분된다.

경로의 QoS 특성과 토폴로지 특성을 조합함으로써 6가지 경우의 경로 설정 조건이 만들어질 수 있다. 또 멀티캐스트에 대하여 멀티패스를 적용한다면 더 많은 경우가 만들어지게 된다. 이들

조합된 형태는 쉽게 해(solution)를 구할 수 있는 것도 있고, 계산의 복잡함으로 인하여 적용이 어려운 경우도 있다.

1. 최단 경로

최단 경로란 두 지점을 연결하는 여러 경로 중에서 최소의 데이터 스트림 전달 지연을 갖는 경로이다. 인터넷 전화, 비디오 컨퍼런스과 같이 실시간적인 상호대화형 데이터를 포함하는 서비스의 경우 전송지연의 보장이 필요한 경우에 사용된다.

최단 경로를 설정하기 위해서는 경유하는 노드 및 링크가 해당 트래픽을 처리하기에 충분한 네트워크 자원을 확보하고 있어야 한다.

1.1. 가지치기

가지치기(pruning)이란 데이터 스트림을 전달하기에 충분한 네트워크 자원을 갖고 있지 못한 노드와 링크를 미리 경로 계산으로부터 제외시키는 과정이다. 이를 행함으로써 경로 계산의 효율을 높일 수 있다.

만일 어떤 노드가 네트워크 자원의 부족으로 인하여 토폴로지로부터 제외되었다고 하면 이 노드와 연결되어 있는 incoming 링크와 outgoing 링크도 당연히 유효 토폴로지로부터 제외된다. 또 양 끝이 모두 노드와 연결되어 있지 않은 링크도 제외된다.

1.2. 최단 경로를 결정하는 절차

최단 경로를 구하기 위해서는 인그레스 노드에서 우선 자신이 가지고 있는 MPLS 도메인의 토폴로지를 바탕으로 경로를 할당하려는 데이터 스트림을 수용하기에 충분한 버퍼와 레이블 자원을 소유한 노드와 충분한 대역폭을 가지고 있는 링크들을 추려내어 유효 토폴로지를 생성한다.

특정 우선순위 레벨에 해당하는 데이터 스트림의 전송지연이 유효 토폴로지에서도 비교적 균등한가 아니면 큰 차이를 보이고 있는가를 검토한다.

만일 비교적 균등한 전송지연을 보이면, 이 유효 토폴로지를 바탕으로 단지 hop count에 근거하여 최단 경로를 구한다. 이렇게 구한 최단 경로가 얼마만큼의 단대단 전송 지연을 갖게 될 것인가를 인그레스 노드에 보고된 각 링크의 해당 우선 순위의 데이터 스트림의 전송지연의 합으로서 유추한다. 이렇게 구하여진 단대단 전송지연 값이 SLA를 통하여 협의된 값에 만족되면 해당 경로를 할당한다.

만일 각 링크에서 우선 순위 레벨에 대한 데이터 스트림의 전달이 균일하지 않은 전송 지연을 나타내면, 유효 토폴로지로부터 해당 우선 순위 레벨의 전송지연을 cost factor로서 감안하여 최단 경로를 구한다. 이렇게 구한 최단 경로가 데이터

스트림이 요구하는 전송지연을 보장하는 가를 확인한다. 이 전송 지연 값에 대하여 만족하면 해당 경로를 할당한다. 만일 이렇게 구한 경로의 계산된 전송지연이 데이터 스트림이 요구하는 전송지연을 만족하지 못한다면 다음의 세 가지 경우 중의 하나라고 생각할 수 있다.

첫째 MPLS 도메인을 다른 아무런 데이터 스트림이 선점하고 있지 않더라도 요구하는 전송지연을 보장할 수 없는 경우이다. 이 경우에는 물리적으로 네트워크를 재구성하지 않는 한 어떠한 방법을 사용하더라도 전송지연을 만족하는 경로를 설정할 수 없다.

둘째 MPLS 도메인에 자신보다 우선 순위가 높은 데이터 스트림이 이미 경로를 할당 받아 서비스 되고 있기 때문에 자신이 요구하는 전송지연 시간을 보장 받지 못하는 경우이다. 따라서 현재의 우선 순위 레벨로서는 원하는 QoS를 보장하는 경로를 할당 받을 수 없고, 데이터 스트림에 할당된 서비스 레벨을 올리든지, 원하는 QoS 수준을 낮추는 방법에 따라 유효 토폴로지의 조건을 변경함으로써 경로를 할당 받을 수 있다.

셋째 MPLS 도메인에서 자신보다 우선 순위가 낮은 데이터 스트림이 이미 경로를 할당 받아 사용하고 있기 때문에 자신이 원하는 전송지연 시간을 보장 받지 못하는 경우이다. 이 경우에는 자신의 권리로서 자신보다 우선 순위가 낮은 데이터 스트림에 할당된 경로를 경로 변경시키고 자신의 경로를 할당할 수 있다.

1.3. 최단 경로에 대한 경로 변경

다른 경로를 경로 변경함으로써 QoS 조건에 맞는 경로를 할당할 수 있는가에 대한 확인절차는 다음과 같다.

인그레스 노드가 관리하는 네트워크 자원의 데이터베이스에서 현재 경로를 배정하고자 하는 데이터 스트림의 우선 순위 레벨보다 낮은 레벨에 할당된 노드 및 링크로부터 네트워크 자원을 확보한다. 각 노드 및 링크에서 사용할 수 있는 네트워크 자원은 다음의 합으로 표현될 수 있다.

- 각 노드의 공동 풀에 들어있는 버퍼 및 레이블
- 각 링크의 공동 풀에 들어있는 전송대역폭
- 각 노드에서 자신보다 낮은 레벨의 데이터 스트림이 사용하고 있는 버퍼, 레이블에 대하여 적용된 하한치를 뺀 것들의 합
- 각 링크에서 자신보다 낮은 레벨의 데이터 스트림이 사용하고 있는 전송대역폭에 대하여 이들에게 적용된 하한치를 뺀 것들의 합

위에서 산출한 사용 가능한 네트워크 자원을 바탕으로 유효 네트워크 토폴로지를 다시 구성한다. 이 토폴로지를 바탕으로 최단 경로를 구한다. 이때 각 링크의 해당 레벨의 전송 지연이 거의

균등한가, 상이한가에 따라 2.1.2.에서 언급한 두 가지 방식을 적용하여 최단 경로를 구한다. 구한 최단 경로가 데이터 스트림이 요구하는 전송지연을 제공할 수 있으면 이것이 데이터 스트림을 위한 최단 경로가 된다.

만일, 전송 지연을 만족하는 최단 경로를 구할 수 없다면 해당 데이터 스트림은 현재의 레벨에서 전송지연을 만족하는 최단 경로를 구하는 것은 불가능하다. 이 경우 해당 데이터 스트림의 우선 순위 레벨을 올리든지, 다중 경로를 선택함으로써 최단 경로를 구할 수 있다.

최단 경로를 구하는 알고리즘은 OSPF [6] 등에서 제시되어 있다.

2. 최광 경로

최광 경로란 두 지점을 연결하는 경로 중에서 가장 자원의 여유가 많은 노드와 링크를 경유하여 설정된 경로이다. 앞에서 언급한 최단 경로 방식을 택하여 지속적으로 경로를 할당하다 보면 노드 및 링크 자원의 Utilization은 균등하게 소모되지 않는다. 이러한 상황이 악화되면 마침내 포화상태에 도달하는 노드나 링크가 나타내게 된다. 이와 같은 자원 사용의 불균형을 해소하고 모든 자원들이 균등하게 사용되도록 유도하기 위하여 최광 경로의 설정이 중요하다.

최광 경로는 대용량의 파일 전송, 실시간인 특성을 요구하지 않는 동영상 등의 멀티미디어 전송 등의 서비스를 위하여 사용된다.

최광 경로가 인그레스 노드에서 이그레스 노드까지의 네트워크 자원의 풍부함만을 고려하고, 얼마나 경로를 우회하는지에 대하여는 고려하지 않는 것이지만 너무 먼 거리를 우회하는 것은 바람직하지 않다. 왜냐하면 멀리 돌아간다는 것은 그만큼 여러 노드와 링크를 경유함으로써 자원을 불필요하게 낭비하는 결과를 초래하기 때문이다.

따라서, 두 점을 잇는 최단 경로가 N 만큼의 hop count를 갖는다고 할 때 최광 경로가 N+n 미만의 hop을 갖도록 제한하는 방법이 적용될 수 있다. n을 0으로 하여 최광 경로를 구할 때 이것은 바로 최단 경로와 동일한 경로가 되며, n에 대하여 제한을 두지 않고 경로를 구할 때 이 경로는 도메인에서 가장 자원이 풍부한 지점을 지나는 순수한 최광 경로가 된다.

n 값을 얼마로 할 것인가를 정할 것인가에 대하여는 여기에서 다루지 아니한다. 네트워크 상황을 고려하여 적절한 값이 정하여질 필요가 있다. 노드 및 링크의 가용 네트워크 자원이 비교적 균일하게 분포할 때 n 값은 작아도 되며, 불균형이 심하다면 n 값은 보다 큰 값을 갖는 것이 바람직하다. 좀 돌아가더라도 자원이 풍부한 곳을 찾아가는 것이 타당하기 때문이다.

3. 최광 경로를 구하는 절차

최광 경로를 구하기 위한 절차로는 우선 인그레스 노드 자신이 가지고 있는 MPLS 도메인의 토폴로지를 바탕으로 경로를 할당하려는 데이터 스트림을 수용하기에 충분한 버퍼와 레이블 자원을 가지고 있는 노드와 충분한 대역폭을 가지고 있는 링크들을 추려 유효 토폴로지를 구성한다.

앞에서 두 노드 사이의 최단 경로의 hop count를 N이라고 할 때 최광 경로의 hop count는 N + n 이 됨을 언급하였다. 노드 및 링크에 따라 현재 가용한 네트워크 자원의 불균형이 어느 정도인가를 판단하여 만일 거의 균일하다면 n 은 작은 값을 선택한다. 그러나 균일하지 않고 차이가 크다면 n 은 비교적 큰 값을 선택한다. 만일 n으로 어떤 값이 결정되었다면, 최광 경로의 hop count는 N부터 N + n 사이에서 결정된다.

최광 경로를 구하기 위하여 위에서 필요한 네트워크 자원을 바탕으로 하여, 유효 토폴로지를 구하는 과정에서 인그레스 노드와 이그레스 노드가 서로 다른 토폴로지로 분리될 수 있다. 그것은 네트워크의 현재 운용 상태에서는 이 두 노드를 잇는 경로가 존재하지 않는 것을 의미한다. 이러한 경우에 두 지점을 잇는 경로를 구하는 방법은 다음의 두 가지이다.

첫째는 앞에서 설명한 바와 같이 자신 보다 낮은 레벨의 경로를 경로 변경 함으로써 확보되는 네트워크 자원을 이용하여 경로를 생성하는 방식이다.

두 번째는 단일 경로가 아니고 다중 경로를 통하여 이그레스 노드에 도착하는 방법이다. 이에 대하여는 뒤의 다중 경로에서 상세히 설명한다.

4. 다중 경로

최단 경로 및 최광 경로를 구하기 위하여 네트워크의 잔여 자원을 바탕으로 유효 토폴로지를 구할 때, 인그레스 노드와 이그레스 노드가 토폴로지적으로 분리되어 있다면 두 노드를 잇는 단일 경로는 존재하지 않는다.

유효 토폴로지서 원하는 단일 경로를 구할 수 없다면 데이터 스트림의 우선 순위 레벨을 올림으로써 다른 경로에 할당되어 있던 자원을 확보하여 경로를 구성하는 이외에, 여러 경로를 통하여 데이터 스트림을 분할하여 전송함으로써 원하는 대역폭을 확보하는 방법이 있다.

어떤 데이터를 다중 경로를 통하여 전달하여도 될 것인가? 아니면 반드시 단일 경로를 통하여 전달하여야 될 것인가에 대한 협상은 인그레스 노드에서 어플리케이션과의 서비스 협상 과정에서 협의될 수 있다.

다중 경로를 통하여 전송하는 경우 데이터는 여러 경로를 통하여 전달되므로 먼저 발생한 데이터가 반드시 먼저 도착되리라는 보장은 없다. 따라서 종착지에서 데이터의 재순서화 과정이 필요하게 된다. 따라서 영상회의나 전화와 같이 상

호대화적으로 서비스되는 음성이나 영상 등의 데이터를 전달하는 데는 바람직하지 않으며 대량의 데이터를 전달하는 경우에 효율성이 높다.

일단 다중 경로 경로가 구하여지면 인그레스 노드는 이 모든 경로를 구성하는 일련의 각 노드에 경로 설정을 위한 데이터를 전송한다. 다중 경로라고 하더라도 일단 경로가 구성되어 사용되고 나면 단일 경로와 동일하게 취급된다.

III. 향후 계획

본 논문에서는 트래픽 공학을 위하여 MPLS 도메인을 구성하는 각 노드로부터 플러딩 방식으로 버퍼와 레이블, 전송대역폭 등의 네트워크 자원의 운용 상태에 대한 정보를 수집하고, 이를 바탕으로 데이터 스트림에 대하여 최적 경로를 설정하기 위한 다양한 경로 결정 알고리즘 및 네트워크 운용 상태에 따른 이들 알고리즘의 상호 메커니즘을 제시하였다.

본 메커니즘의 운용을 위해서는 제시된 여러 조건식의 상수 파라미터에 값의 설정이 필요하다. 이러한 값들로는 네트워크 자원의 상한치 및 하한치의 설정 등이 있다. 이러한 값들을 얼마나 타당성 있게 설정하는가에 따라 트래픽 공학 메커니즘의 원활한 operation이 보장된다. 이러한 파라미터의 설정은 시뮬레이션을 통하여 구할 수 있으며, 실제 네트워크의 운용을 통하여 조정될 수 있다.

향후 시뮬레이션을 통하여 본 메커니즘에서 사용되는 주요 파라미터 값에 대한 설정과 플러딩 시점을 판단하기 위한 알고리즘을 수립할 예정이다.

참고문헌

- [1] Callon et al, "A Framework for Multiprotocol Label Switching", (Internet-draft), September 1999.
- [2] Rosen et al, "Multiprotocol Label Switching Architecture", (Internet-draft), August 1999.
- [3] Awduche et al, "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS", RFC 2702, September 1999
- [4] Crawley et al, "A Framework for QoS-based Routing in the Internet", IETF RFC 2386, August 1998
- [5] Jamoussi et al, "Constraint-Based LSP Setup using LDP", work in progress (draft-ietf-mpls-cr-ldp-03), September 1999
- [6] J. Moy, "OSPF version 2", IETF RFC 2328, April 1998.