

# 다중링-메시 토폴로지 기반 T-SDN(Transport SDN)에서 보호·복구 경로 계산 방식\*

김 현 철\*

## 요 약

다중 도메인 광 전송망은 기본적으로 상호 운용되지 않으며 전체 망차원의 통합 오케스트레이션 메커니즘과 경로 제공 메커니즘이 필요하다. 더불어 망의 생존성 보장은 중요한 쟁점 중의 하나이다. MPLS-TP(Multi-Protocol Label Switching-Transport Profile)에서는 다양한 보호·복구 방안을 표준으로 정의하고 있으나 보호·복구 경로를 계산·선정하는 방법에 대해서는 언급하고 있지 않다. 따라서 광회선패킷 통합망 차원에서 보호·복구 충돌을 최소화하여 통합망 전 영역에 걸쳐 신속한 보호·복구가 가능한 경로를 계산·설정하는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 다중링-메시 토폴로지 형태로 구성된 T-SDN 망에서 신속한 보호·복구가 가능한 경로를 계산·설정하는 알고리즘을 제안하였다.

## Protection and restoration path calculation method in T-SDN (Transport SDN) based on multiple ring-mesh topology

Hyuncheol Kim\*

## ABSTRACT

Multi-domain optical transport networks are not fundamentally interoperable and require an integrated orchestration mechanism and path provision mechanism at the entire network level. In addition, ensuring network survivability is one of the important issues. MPLS-TP (Multi-Protocol Label Switching-Transport Profile) defines various protection/recovery methods as standards, but does not mention how to calculate and select protection/recovery paths. Therefore, an algorithm that minimizes protection/recovery collisions at the optical circuit packet integrated network level and calculates and sets a path that can be rapidly protected/recovered over the entire integrated network area is required. In this paper, we proposed an algorithm that calculates and sets up a path that can be rapidly protected and restored in a T-SDN network composed of multiple ring-mesh topology.

**Keyword: Packet Transport Network, Protection-Restoration Path, Mult-ring Network, T-SDN**

접수일(2023년 02월 28일), 게재확정일(2023년 03월 14일)

\* 남서울대학교 컴퓨터소프트웨어학과 교수

★ 이 논문은 2021년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

## 1. 서론

PTN(Packet Transport Network)/POTN(Packet Optical Transport Network)은 단일 플랫폼에서 기존 전송망(WDM: Wavelength Division Multiplexing), 패킷망, 회선망(OTN(Optical Transport Network) & TDM(Time Division Multiplexing))을 통합하여 전달망 구조를 단순화하고 Transport SDN(Software Defined Network)을 기반으로 전달망을 지능화하는 방향으로 발전하고 있다. 더불어 광회선패킷 통합망을 경유하는 트래픽이 폭발적으로 증가함에 따라 망의 생존성 보장은 중요한 쟁점 중의 하나이다. 광회선패킷 통합망을 구성하는 광섬유 또는 망 요소(NE: Network Element) 하나의 오류만으로도 엄청나게 많은 상위계층 세션에 영향을 주게 되고, 이는 상위계층에서 수많은 경고 메시지와 보호·복구(Protection·Restoration) 절차를 동시에 트리거하게 되고 이는 망에 큰 부담으로 작용할 수 있다[1][2].

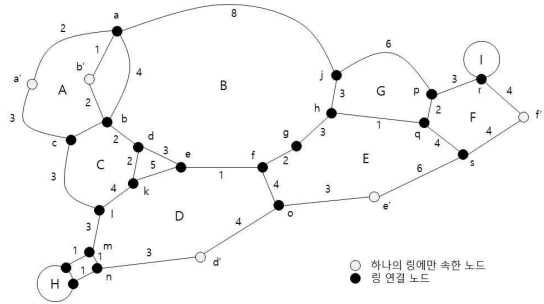
또한 망 생존성 보장을 위해 MPLS-TP(Multi-Protocol Label Switching-Transport Profile)에서는 다양한 보호·복구 방안을 표준으로 정의하고 있으나 보호·복구 경로를 계산·선택하는 방법에 대해서는 언급하고 있지 않다. 따라서 광회선패킷 통합망 차원에서 보호·복구 충돌을 최소화하여 통합망 전 영역에 걸쳐 신속한 보호·복구가 가능한 경로를 계산·설정하는 알고리즘이 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 다중링-메시 토폴로지 형태로 구성된 T-SDN 망에서 신속한 보호·복구가 가능한 경로를 계산·설정하는 알고리즘을 제안하였다.

## 2. 단일링 기반 보호·복구 경로 설정

메시 네트워크에서는 Dijkstra 알고리즘과 같은 알고리즘을 사용하여 노드 사이의 최단 경로를 결정할 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘들을 실제로 링에 적용하는 데 있어서 문제점은 링 세그먼트에 대한 중간 링(intermediate ring) 및 경로의

수, 링 상호 연결, 링과 관련된 특정 정책의 적용 등과 같은 링과 관련된 특정 기능의 대부분이 이러한 접근 방식에 반영될 수 없다는 점이다.

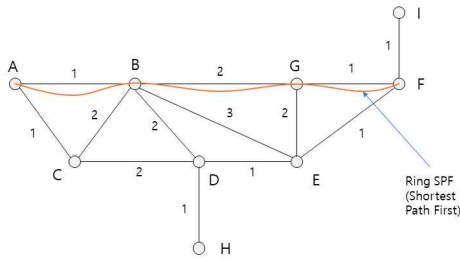


(그림 1) SPF 계산을 위한 링 기반 예제 네트워크

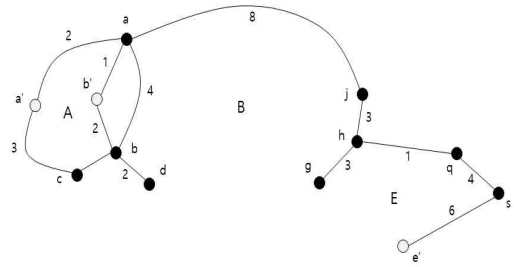
SPFs를 결정하기 위한 과정은 우선 다중링 네트워크에서 시작 노드와 엔드 노드를 결정한다. 다음으로, 시작 노드와 엔드 노드 사이의 경로를 구성하는데 필요한 interconnected 링의 최소 집합 ("Ring SPF" 라고 한다)을 찾는다. Ring SPF를 결정하기 위해서는 SPF 알고리즘 또는 기타 동등한 그래프 검색 알고리즘을 사용하여 시작 링과 끝 링 사이의 최단 경로를 계산한다[3][4].

다음으로, 계산된 링 SPF에서 시작 노드와 끝 노드 사이의 하나 이상의 최단 경로를 결정한다. 만일 2개의 노드 SPF가 필요한 경우에는 추가적인 작업이 필요하다. (그림 1)에서 링 네트워크는 하나 이상의 공통 노드를 통해 상호 연결된 A에서 I까지의 9개의 링으로 구성된다. (그림 1)에서 채워진 원은 링을 상호 연결하는 노드를 나타내고 채워지지 않은 원은 다른 링과 상호 연결되지 않는 노드를 나타낸다. 링크 메트릭, 즉 인접한 두 노드 간의 경로 비용을 나타낸다[5].

(그림 2)는 (그림 1) 링 구성에 대한 링 상호 연결을 나타내는 메시 뷰 다이어그램이며 링 수준에서 상호 연결 세부 사항을 나타내고 있다. 즉, 각 링은 노드로 축소되고 메시 연결을 통해 네트워크를 구성하고 있으며 링 상호 연결 비용 또한 나타내고 있다.



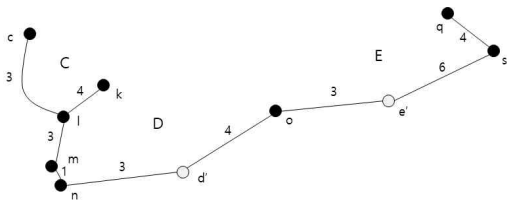
(그림 2) Ring SPF 계산을 위한 메시 네트워크



(그림 4) Ring disjoint SPF 계산 2단계

두 노드 SPF의 경로에 공통의 intermediate 링이 없는 disjoint SPF를 찾는 시나리오는 다음과 같다. (그림 1)에서 c와 e' 사이에 링 disjoint인 두 개의 노드 SPF를 찾는 경우가 있을 수 있다. 이 경우 노드 c는 링 A와 C에 속하고 e'는 링 E에 속한다.

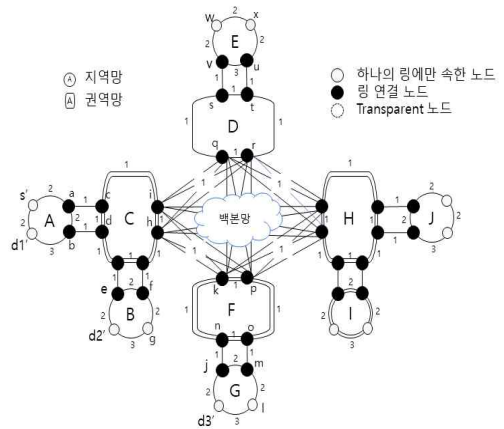
(그림 2)에 K-SPF 알고리즘을 적용하면 비용이 각각 3 및 4인 두 개의 링 SPF C-D-E 및 A-B-E가 생성된다. 두 개의 링 SPF는 서로 다른 중간 링 D와 B를 가지고 있다. 첫 번째 링 SPF C-D-E를 고려하면 (그림 3)에서와 같이 모든 interconnect 노드와 링 C, D 및 E에서 링 B까지 b, d, e, f, g 및 h를 통하여 연결되는 모든 링크를 필터링한다. 이 경우 노드 SPF는 c-l-m-n-d'-o-e'이 된다. 두 번째 링 SPF A-B-E를 고려하면 모든 interconnect 노드, 그리고 링 A, B, E에서 링 D로의 링크 - 즉 f 및 o는 필터링되어 (그림 4)가 생성된다. 이러한 축약된 링 SPF에서 노드 SPF는 c-a'-a-i-h-q-S-e'가 된다.



(그림 3) Ring disjoint SPF 계산 1단계

### 3. 다중링 기반 보호·복구 경로 설정

대규모 T-SDN망은 (그림 5)에서와 같이 다중 메시 백본망(백본 1/백본 2)을 중심으로 점대점 링크를 통해 권역망에 접속하는 지역망들로 구성된다.



(그림 5) 다중링-메시 네트워크 예

그러나 노드 disjoint SPF 방식은 네트워크의 모든 링이 단일 링으로 구성되어 있음을 가정하고 있으므로 Dual Ring 이상의 링 구조를 반영하지 못한다. 하나의 노드에서 2개의 서로 다른 링크를 갖는 Dual 링에서 노드를 제외하는 것은 양방향 모든 링크를 삭제하는 결과를 초래할 뿐이다. 2 링크 disjoint SPF를 계산하기 위해서는 다음과 같은 순서로 진행한다.

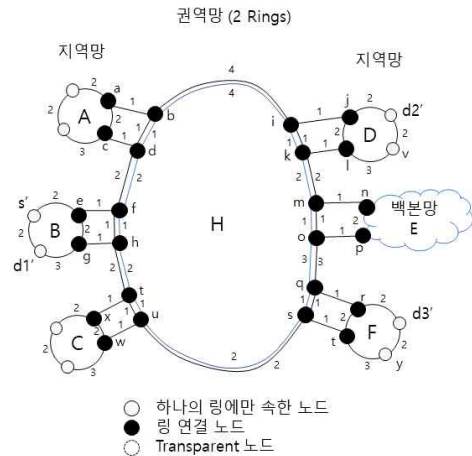
- ① Ring SPF를 결정
- ② Ring SPF에 속한 링들을 제외하고 filtering
- ③ Ring SPF가 백본망을 경유한다면, 백본망을 기준으로 "Source 노드-백본망 접속노드", "Destination 노드-백본망 접속노드" 2개의 영역으로 나누어 경로를 계산
- ④ 링 SPF의 두 번째 링(백본 링)으로 가는 접속 노드에 대한 최단 경로를 결정
- ⑤ 첫 번째 링크 disjoint SPF의 일부로 해당 경로를 선택
- ⑥ 백본에 속하는 해당 접속 노드에서 다음 링으로 향하는 접속 노드에 대한 최단 경로 계산
- ⑦ 해당 경로를 링크 disjoint SPF의 일부로 추가
- ⑧ 경로에 속한 모든 노드를 T-노드로 변경. T-노드는 source나 경유 노드로 사용될 수는 있지만, destination 노드로는 사용될 수 없음.
- ⑨ 해당 접속 노드에서 다음 링으로 가는 접속 노드나 destination 노드에 대한 최단 경로 계산
- ⑩ 해당 경로를 링크 disjoint SPF의 일부로 추가
- ⑪ Destination 노드가 속한 링에 이를 때까지 ⑨, ⑩ 과정을 반복
- ⑫ 경로에 사용된 모든 링크들을 filtering
- ⑬ 계산된 2개의 경로에 속한 백본 접속 노드들을 서로 연결하여 최종 경로를 생성

상기한 방식으로 (그림 6) s' - d3' 간의 링크 disjoint SPF를 계산하는 과정은 다음과 같다. 우선 source 노드 s'와 destination 노드 d3'가 속한 링을 각각 B, F로 결정한다. 따라서 링 B와 링 F 간의 Ring SPF는 B-H-F가 되며 링 B, H, D를 제외한 나머지 링을 filtering 한다.

링 SPF B-H-F의 첫 번째 링(B)에 있는 source 노드(s')에서 링 SPF의 두 번째 링(H)까지 interconnect 노드(f or h)까지의 최단 경로를 먼저 계산한다. 이 경우 s'-e-f 경로가 cost 3을 갖는 최단 경로가 된다. 즉 s'에서 f 또는 h로의 다른

모든 가능한 경로의 비용은 3보다 크다. 따라서 (그림 7)과 같이 경로 s'-e-f 경로를 첫 번째 링크 disjoint SPF의 일부로 선택한다.

노드 disjoint SPF 설정 시에는 특정 노드를 중복해서 경유하는 것을 방지하기 위해 현재 체크 중인 링 쌍(즉, B-H) 사이에서 다른 모든 interconnect 노드(즉, h)와 해당 노드로부터의 링크 h-f, h-g, h-t들은 필터링하였으나 링크 disjoint SPF 설정시에는 이러한 filtering을 수행하지 않는다.



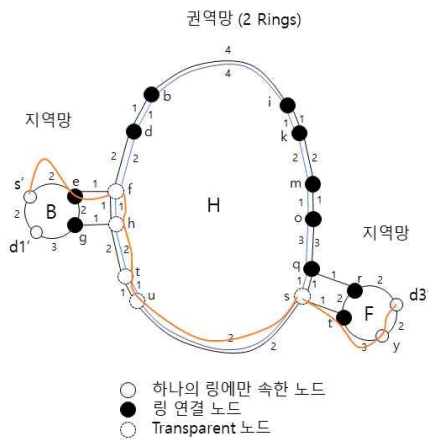
(그림 6) s' - d3' 간의 링크 disjoint SPF - 초기 네트워크

이후 링 SPF상의 다음 링 세트, H와 F를 선택한다. 링 H의 시작 노드로 f를 선택하고 링 H와 F 사이의 interconnect 노드(q 또는 s)에 대한 최단 경로를 계산한다. 이 경우 최단 경로는 f-h-t-u-s이며 cost는 6이 된다. 또한 f-h-t-u-s는 s'-e-f에 이어 노드 disjoint SPF의 다음 부분이 된다.

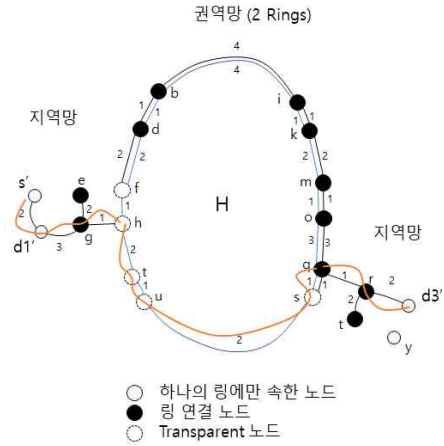
이후 (그림 7)에서와 같이 해당 경로에 속한 모든 노드를 T-노드로 변경한다. T-노드는 source나 경유 노드로 사용될 수는 있지만, destination 노드로는 사용될 수 없다. 이후 s-d3'에 대한 최단 경로를 계산하며 최단 경로는 s-t-y-d3'이며 cost는 6이 된다. 또한 s-t-y-d3'는 링크 disjoint SPF의 마지막 부분이 된다. 두 번째 링크 disjoint

t SPF 계산을 위해서 첫 번째 링크 disjoint SPF인  $s'-e-f-h-t-u-s-t-y-d3'$  경로를 filtering 한다. 두 번째 링크 disjoint SPF를 계산하기 위해서는 링 SPF B-H-F의 첫 번째 링(B)에 있는 source 노드( $s'$ )에서 링 SPF의 두 번째 링(H)까지 interconnect 노드( $f$  or  $h$ )까지의 최단 경로를 먼저 계산한다. 이 경우  $s'-d1'-g-h$  경로가 cost 6을 갖는 최단 경로가 된다. 즉  $s'$ 에서  $f$  또는  $h$ 로 다른 모든 가능한 경로의 비용은 6보다 크다. 따라서  $s'-d1'-g-h$  경로를 두 번째 링크 SPF의 일부로 선택한다. 이후 노드  $h$ 에서 링 F로의 interconnect 노드인  $q$ ,  $s$ 까지의 최단 경로를 계산한다. 이 경우  $s$ 는 T-노드이기 때문에 destination 노드로 선택할 수 없고,  $h-q$  사이의 최단 경로를 구한다.  $h-q$  사이의 최단 경로는  $h-t-u-s-q$ 이며 비용은 6이 된다. T-노드  $h$ 는 source 노드이며, T-노드인  $t, u, s$ 는 경유 노드로 사용된다. 따라서  $f-h, h-t, t-u, t-s$  구간은 Dual 링크를 모두 사용하여 링크 disjoint SPF를 설정하는 구간이 된다.

마지막으로 (그림 8)에서와 같이  $q-d3'$  구간의 최단 경로를 구한다.  $q-d3'$  구간의 최단 경로는  $q-r-d3'$ 이며 비용은 3이 된다. 최종적으로 두 번째 링크 disjoint SPF는  $s'-d1'-g-h-t-u-s-q-r-d3'$ 가 된다.

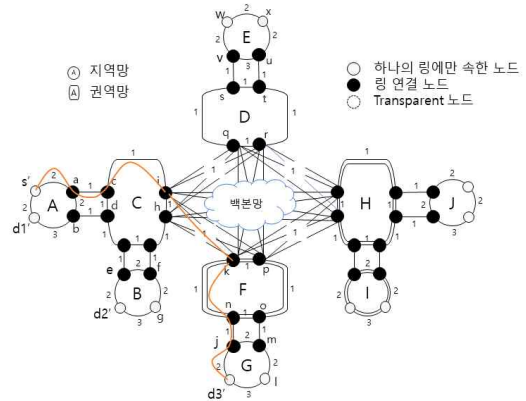


(그림 7) 첫 번째 링크 disjoint SPF 계산



(그림 8) 두 번째 링크 disjoint SPF 계산

(그림 9)는 백본망을 경유하는 경로인 ( $s'-d3'$ )를 나타내고 있다.



(그림 9) 백본망 경유 경로 계산 ( $s'-d3'$ )

백본망 경유 경로 계산은 ( $s'-i$  또는  $h$ )까지의 노드 disjoint SPF를 구하는 과정, ②에서처럼 ( $d3'-k$  또는  $p$ )까지의 노드 disjoint SPF를 구하는 과정, 그리고 ③에서처럼 ( $i$  또는  $h$ )와 ( $k$  또는  $p$ )를 연결하는 과정으로 구성된다. ( $i$  또는  $h$ )와 ( $k$  또는  $p$ ) 권역망과 백본망을 연결하는 접속노드이다. 노드 disjoint SPF 구했던 방식으로 우선 ( $s'-i$  또는  $h$ )까지의 노드 disjoint SPF를 구하면  $s'-a-c-i$  경로가 생성된다. 또한 ( $d3'-k$  또는  $p$ )까지

의 노드 disjoint SPF를 구하면  $d3'-j-n-k$  경로가 생성된다. 마지막으로  $s'-a-c-i$  경로와  $d3'-j-n-k$  경로는 백본망을 통해  $i-k$ 가 연결될 수 있으므로  $(s'-d3')$  간의 최종 노드 disjoint SPF는  $s'-a-c-i-k-n-j-d3'$  가 된다.

#### 4. 결 론

기본적으로 T-SDN은 전달망의 백본, 메트로, 액세스 영역에서 서비스 품질, 신뢰성, 확장성, 관리 편의성을 제공하며, EMS를 통하여 종단간 경로 설정과 성능 모니터링을 수행하여 최적의 전달망 서비스를 제공한다. 본 논문에서는 T-SDN 기반 다계층 광전송패킷통합망을 구성하고 있는 다중 링 네트워크(Multi-ring network)에서 실시간 보호·복구를 위해 최단 경로들을 결정하는 방안을 제안하였다.

#### 참고문헌

- [1] Juliver Gil Herrera, Juan Felipe Botero, "Resource Allocation in NFV: A Comprehensive Survey," IEEE Transaction on Network and Service Management, Vol. 13, No. 3, pp. 518-532, 2016.
- [2] Hyuncheol Kim, "Network Function Virtualization (NFV) Platform for Wellness in High-Speed Network," Lecture Notes in Electrical Engineering 376, pp. 1459-1464, 2016.
- [3] Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J., Bouten, N., De Turck, F., Boutaba, R., "Network Function Virtualization: State-of-the-art and Research Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. pp, Issue 99, pp. 1-1, 2015.
- [4] J. F. Riera, X. Hesselbach, E. Escalona, J. A. Garcia-Espin, and E. Grasa, " On the complex scheduling formulation of virtual network functions over optical networks," Int. Conf. Transp. Opt. Netw. (ICTON), pp. 1-5, 2014.
- [5] Michael Till Beck, Juan Felipe Botero, "Coordinated Allocation of Service Function Chains," IEEE Global Communications Conference, pp. 1-6, 2015.

#### [ 저자 소개 ]



김 현 철 (Hyuncheol Kim)  
 1990년 2월 성균관대학교 학사  
 1992년 2월 성균관대학교 석사  
 2005년 8월 성균관대학교 박사  
 2006년 9월 ~ 현재 남서울대학교  
 컴퓨터소프트웨어학과 교수  
 email : hckim@nsu.ac.kr