

차세대 패킷광 통합망 관리 및 제어기술 연구★

강현중* · 김현철**

요 약

데이터 트래픽의 증가와 대용량 실시간 서비스와 관련된 요구사항들의 증가는 음성이나 전용선 서비스를 주된 목적으로 하는 기존의 시간분할 다중화(TDM: Time Division Multiplexing) 기반 네트워크에서 좀 더 유연하고 동적인 구성이 가능한 광 네트워크로의 전환을 요구하고 있다. 이러한 광 네트워크는 데이터, 비디오, 그리고 음성을 전달할 수 있는 다수의 채널을 제공하는 핵심 인프라가 되었다. 이를 위해 차세대 패킷광 통합망은 네트워크 이상이 발생하여도 용인할 수 있는 수준의 서비스를 지속적으로 제공할 수 있어야 한다. 또한 신속하고 최적화된 복구(restoration) 정책은 GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) 기반 제어평면을 사용으로 하는 차세대 패킷광 통합망의 가장 중요한 요구사항이 되었다. 본 논문은 GMPLS 기반 다계층 패킷광 통합망에서 신속하고 일원화된 복구를 지원하기 위한 계층적인 다계층 복구방식을 살펴보고 이를 지원하기 위한 구현방식을 제안하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 본 논문에서는 기존의 신호 및 라우팅 프로토콜을 수정하지 않고 제안한 방식을 구현할 수 있는 방안의 제안을 목적으로 하고 있다.

Management and Control Scheme for Next Generation Packet-Optical Transport Network

Kang Hyun Joong* · Kim Hyuncheol**

ABSTRACT

Increase of data traffic and the advent of new real-time services require to change from the traditional TDM-based (Time Division Multiplexing) networks to the optical networks that soft and dynamic configuration. Voice and lease line services are main service area of the traditional TDM-based networks. This optical network became main infrastructure that offer many channel that can convey data, video, and voice. To provide high resilience against failures, Packet-optical networks must have an ability to maintain an acceptable level of service during network failures. Fast and resource optimized lightpath restoration strategies are urgent requirements for the near future Packet-optical networks with a Generalized Multi-Protocol Label Switching(GMPLS) control plane. The goal of this paper is to provide packet-optical network with a hierarchical multi-layer recovery in order to fast and coordinated restoration in packet-optical network/GMPLS, focusing on new implementation information. The proposed schemes do not need an extension of optical network signaling (routing) protocols for support.

Key words : GMPLS, P-OTS (Packet-Optical Transport System), OSPF-TE

접수일(2012년 2월 28일), 수정일(1차 : 2012년 3월 11일),
게재확정일(2012년 3월 12일)

★ 이 논문은 2010년도 서일대학 학술연구비의 지원에 의해 연구되었음.

* 서일대학교 인터넷정보과

** 남서울대학교 컴퓨터학과

1. 서 론

최근 네트워크 사용자의 욕구 변화로 인해 개별적으로 제공되는 각각의 서비스는 점차 융합화된 형태의 통합 서비스로 발전하고, 네트워크 또한 각각의 서비스를 위한 개별망에서 이용자의 다양한 통합 욕구를 실현시켜 주는 지능형 통합망의 형태로 발전할 것으로 전망되며, 관련한 기술의 핵심이 되는 통신망 제어기술 또한 급속히 발전하고 있다 [1][2].

이런 추세를 반영하여 네트워크도 다양한 기술의 발전과 더불어 대용량의 다양한 데이터를 유연하게 전송할 수 있는 형태로 진화하고 있다. 더불어 차세대 전달망은 ROADMPXC(Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer/Photonic Cross Connect)를 기반으로 하는 동적으로 망을 관리하고 제어할 수 있는 GMPLS(Generalized Multiprotocol Label Switching) 기술을 도입하여 운용하는 형태로 발전하고 있다. 즉 광파장을 전기 신호로 변환하지 않고 직접 add/drop이 가능한 ROADMP이 GMPLS 등의 제어 평면과 결합하여 대용량 대역폭의 패킷광 통합망을 실현하고 효율적인 운용이 가능한 형태로 발전하고 있다 [3][4].

한편 전송망에 대한 의존도가 급격히 높아지고 네트워크 일부 구성 요소에 트래픽이 집중되는 현상이 발생함에 따라 패킷광 통합망의 생존성(Survivability) 보장 및 복구(Recovery) 기술의 시급한 확보가 중요한 사항이 되었다.

그러나 다계층 네트워크에서 네트워크 구성 요소에 장애(Failure)가 발생하면 동일한 장애에 대해 복수의 보호 복구 기능이 독립적으로 동작하려고 하기 때문에 보호 복구 기능 간의 충돌, 복구 시간의 지연, 망 자원의 비효율적인 사용 등을 초래할 수 있다. 따라서 계층 별로 구현된 보호 복구 기능 간의 연동 기술과 IP 및 광 채널 계층별 보호 복구 기능의 할당 및 이들 간의 연동 기술이 패킷광 통합망에서 가장 중요한 기술적 과제가 되고 있다 [5][6].

본 논문은 신뢰성과 생존성을 제공할 수 있는 패킷광 통합망 구축을 위해 GMPLS를 기반으로 하는 다계층(multilayer) 보호 및 복구를 위한 신호 및 라우팅, 특히 OSPF-TE(Open Shortest Path First - Traffic Engineering) 프레임워크의 확장과 타당성 분석을

목적으로 하고 있다.

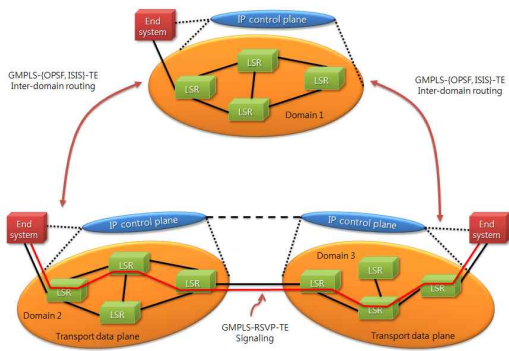
본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 GMPLS 기반 다계층 복구/보호(multilayer restoration/protection) 선행 기술의 조사 및 분석을 수행하였다. 3장에서는 GMPLS 네트워크 라우팅 프로토콜을 확장한 복구 방식을 제안하였고, 4장에서는 GMPLS 네트워크에서 OSPF-TE를 포함하여 제안 복구 방식을 구현하기 위한 방안을 안제시하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 의미와 추후 연구과제에 대해서 제안하였다.

2. GMPLS 기반 다계층 보호/복구

IP 트래픽을 전달하기 위한 백본 네트워크는 (그림 1)에서처럼 IP 라우터들과 이들 간의 고정된 고속의 전송 링크를 제공하는 OTN(Optical Transport Network)으로 구성되었다. 트래픽 증가는 물론 트래픽 패턴이 점점 더 유동적으로 변함에 따라 이를 효과적으로 반영하기 위해 OTN에서는 상황에 맞추어 전송능력을 효과적으로 조절할 수 있는 방법이 필수적으로 필요하게 되었다. 이러한 요구사항은 하위 OTN으로 하여금 요구에 따라 광경로(lightpath)를 설정하거나 해제하는 기능을 제공할 수 있도록 요구하게 되었다.

한편 IP 클라이언트 네트워크는 시그널링을 통하여 이러한 광경로의 설정과 해제를 요구할 수 있다. 이러한 분산 제어 평면 기능의 추가는 inter/intra signaling을 통하여 광경로를 설정하거나 해제할 수 있는 여건을 제공하였다.

또한 GMPLS 네트워크 라우팅 노드들은 이웃발견을 통해 이웃한 노드들에 대한 정보와 다양한 링크에 대한 정보를 함께 수집하며 이러한 정보를 라우팅 테이블 구성에 반영한다. 아울러 수집된 정보를 플러딩을 통해 모든 라우터들이 동일한 네트워크 토폴로지 정보를 가질 수 있도록 한다.



(그림 1) GMPLS 링크상태 라우팅

2.1 다계층 복구

기존의 네트워크에서는 각각의 네트워크 계층 별로 독립적인 복구 체계를 가지고 독립적으로 복구동작을 수행하는 형태를 취하고 있다. 그러나 일반적으로 분리된 백업경로(disjoint backup path)를 이용한 보호방식은 대용량의 보호를 제공할 수 있지만 모든 장애들을 처리할 수는 없다. 또한 IP 계층의 라우터 오동작과 같은 형태의 장애는 광전송 계층에서 처리할 수 없다. 이러한 형태의 장애는 패킷레벨 재라우팅을 필요로 한다.

장애에 대한 복원능력(resilience)은 일정한 양의 백업 또는 여분의 용량을 요구한다. 만일 GMPLS와 같은 통일된 제어평면이 없다면 복구는 독립적으로 수행되고 다른 계층의 동작에 대해서는 알 수 없다. 이는 특정 트래픽이 하나 이상의 계층에서 보호될 수 있음을 의미한다. 또한 여러 네트워크 계층에서 복구 프로세스를 독립적으로 수행하는 것은 몇 가지 복잡한 문제를 발생시킨다.

2.2 정적 다계층 복구

네트워크 장애 시나리오에 대해 상이한 계층들이 복구 인터워킹을 수행하기 위한 조정 규칙을 상승전략(escalation strategy)이라고 한다. 가장 간단한 상승 전략은 각각의 계층에서 독립적으로, 순서에 상관없이 복구를 수행하는 것이다. 이 방법은 간단하고 구현이 쉽지만 여러 계층에서 여분의 자원을 필요로 하기 때문에 전체적인 용량을 효과적으로 사용하지 못한다는

단점이 있다. 또한 복구시간이 증가되는 단점이 있다.

좀 더 효과적인 방법으로는 타이머를 기반으로 하는 bottom-up 방식과 top-down 방식이 있다. Bottom-up 상승전략은 하위계층으로부터 복구 프로세스가 시작되고 적당한 트래픽 용량단위로 복구를 수행한다. 즉 광파이버 단위와 같은 대용량 단위로 먼저 신속하게 처리를 하고 나머지 세세한 단위는 상위 계층에서 처리하는 방식이다. 상승전략은 토큰이나 홀드오프(hold-off) 타이머를 이용해서 계층 간에 조정을 수행할 수 있다.

반대로 top-down 방식은 상위계층에서 먼저 복구 프로세스를 수행하며 상위 계층이 모든 트래픽에 대한 복구를 수행할 수 없는 경우에만 하위 복구 프로세스가 호출된다. 이 방식의 장점은 상위계층이 네트워크나 서비스 타입에 대한 좀 더 정확한 정보를 가지고 있다는 점이다. 따라서 우선순위에 따라 복구를 수행할 수 있다는 장점이 있고, 때로는 저용량 단위로 먼저 복구되고 나머지 모든 트래픽에 대해서는 하위 계층에서 한꺼번에 재라우팅 할 수도 있다.

2.3 동적 다계층 복구

정적 복구 방식의 경우 IP 네트워크 토폴로지는 장애가 발생하였을 때 변화가 없으며 토폴로지를 변화시키려는 특정한 동작도 하지 않는다. 반면에 동적 다계층 복구의 경우, 동적으로 광경로를 설정하고 해제하는 능력을 제공하기 때문에 복구 목적으로 논리적 토폴로지를 변경하는 것을 의미한다.

이러한 동적 다계층 복구에서의 문제점은 장애가 발생했을 때 실제 논리적 토폴로지를 어떻게 구현하는지에 관련된 문제이다. 즉 장애가 발생하지 않는 논리적 토폴로지들을 만드는 것과 더불어 각각의 장애 시나리오에 따른 논리적 토폴로지도 형상화해야 한다는 점이다. 이는 각각의 장애 마다 최상의 토폴로지와 IP 라우팅을 찾는 것을 의미하며 이를 글로벌 재구성(global reconfiguration)이라고 한다.

3. 제안한 다계층 복구 방식

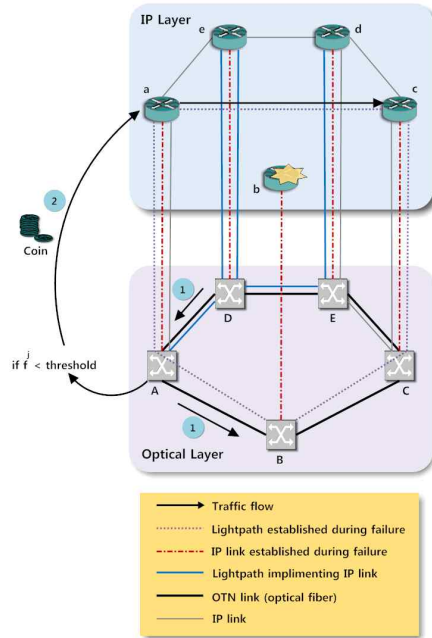
GMPLS가 RFC로 표준화 되고 여러 벤더에 의해 구현되고 있지만 불안정성, 경로 플래핑(flapping), 레이싱 상태(racing conditions)와 관련된 내용에 대해서는 언급하지 않고 있다. 특별히 장애가 발생한 경우 각각의 네트워크 계층은 각자 독립적인 복구 메커니즘을 구동시키고, 이러한 여러 개의 독립적인 복구 메커니즘은 복구에 있어서 비결정적(non-deterministic) 특성을 갖게 된다. 다시 말해서 레이싱 상태가 필연적으로 발생하게 된다. 이러한 레이싱 상태는 백업경로의 불안정을 야기하며 GMPLS 다계층 네트워크에서 어떤 계층의 백업경로의 불안정은 다른 계층의 안정성에 쉽게 영향을 미치게 된다.

또한 지금까지의 GMPLS 복구 절차 조정에 대한 연구는 오직 두 개의 중단점 간에서만 조정을 수행하는 것만을 기술하였다. 그러나 네트워크에 장애가 발생하는 경우 네트워크 전체에 대한 복구절차 조정이 필요하게 된다. 그러나 떨어져 있는 중단점들 간에 조정을 수행한다는 것은 실제적으로는 어려운 일이지만 본 논문에서는 RSRLG/SSRLG [7]를 기반으로 코인 메커니즘(Coin mechanism)을 추가한 전체 네트워크 범위의 조정 메커니즘(network wide coordination)을 제안하였다.

3.1 네트워크 범위 조정

(그림 2)에서 나타내고 있는 바와 같이 전체 네트워크 범위의 복구절차 조정에서는 bottom-up 방식을 사용하고 있다. 또한 비결정적 복구 특성을 야기할 수 있는 타이머 방식을 지양하고 코인 방식을 사용하여 정확한 조정을 수행할 수 있는 방법을 제안하였다.

(그림 2)에서 장애 신호를 수신한 광전송 계층은 f_j 가 임계값 요구조건을 만족하는 모든 광경로에 대해서 광전송 계층에서 복구를 수행하고 만일 f_j 에 해당하는 모든 광경로가 복구되거나 모든 광경로가 블럭킹 된 경우에 IP 계층으로 코인, 즉 토큰을 전달하게 된다.



(그림 2) 전체 네트워크 범위의 복구절차 조정

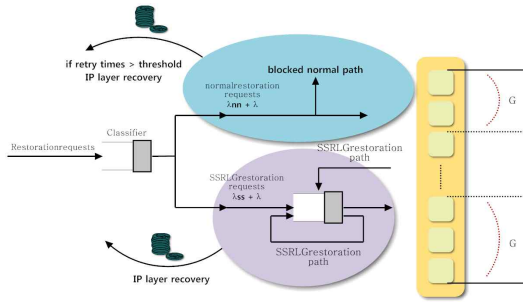
아울러 토큰을 전달함과 동시에 복구가 수행된 광경로와 그렇지 않은 광경로에 대한 정보를 IP 계층의 OSPF 모듈에 전달함으로써 비결정적 상태에 있는 OSPF 모듈의 라우팅 정보를 실시간으로 갱신하게 한다. IP 계층의 OSPF 모듈은 하위 광전송 계층으로부터 수신된 정보를 기반으로 라우팅 테이블을 갱신하고 LSA를 즉시 플러딩하여 전체 네트워크의 동기화를 유도한다.

3.2 시스템 범위 조정

(그림 3)은 네트워크 범위 조정을 지원하기 위한 시스템 범위 조정 방식을 기술하고 있다. (그림 3)은 SSRLG/RSRLG 방식 [7]을 변형한 형태로서 광경로를 복구하기 위한 재시도 횟수를 제안하고 처음부터 큐를 통해 복구를 수행하고자 했던 광경로에 대해서는 광전송 계층에서 복구를 수행하지 않고 토큰을 IP 계층으로 전달해서 상위 계층에서 복구를 수행하게 하는 방법을 의미한다.

또한 블럭킹된 다중 광경로에 대한 복구도 IP 계층에서 담당하게 된다. 이 경우 임계값은 시스템마다 다

른 설정 값을 사용하게 함으로써 전체 네트워크의 입장에서 보면 복구 충돌(recovery contention)이 광전송 계층과 IP 계층에 분산되게 할 수 있다는 장점을 제공한다.



(그림 3) 시스템 범위의 복구 조정

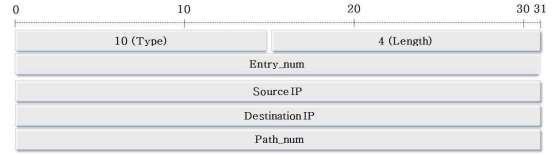
4. GMPLS/OSPF-TE 확장

최선의 경로를 선택하는 링크상태 프로토콜의 특성상 성능이 좋은 몇 개의 링크를 선호하게 되고, 특정 링크에 경로의 연결이 집중되게 된다. 이러한 현상으로 해당 링크에 장애가 발생하였을 때의 여파는 다른 링크의 장애 시 발생하는 여파에 비교할 수 없을 만큼의 혼란을 초래한다 [8].

본 논문에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 기존 LSA의 링크 TLV에 링크의 연결개수 정보를 담은 sub-TLV를 추가하고, 이를 통한 경로 설정으로 특정 링크에 연결이 집중되는 것을 분산시키고 장애 시 피해를 최소화 하며, 장애 복구 시 보다 안정적인 경로를 설정하도록 한다.

4.1 Sub-TLV 추가를 위한 LSA 확장

새로 추가되는 sub-TLV는 Path Number로 정의되고, 헤더를 포함하여 최소 20 옥텟의 길이를 갖는다. Path Number sub-TLV는 링크가 수용하는 경로를 표현하기 위한 Path_num라는 4 옥텟의 필드를 갖는다. (그림 4)는 본 논문에서 추가하는 sub-TLV의 메시지 포맷을 나타낸다.



(그림 4) Path Number Sub-TLV 포맷

- (a) Type: Sub-TLV를 구분하기 위한 필드로 10이라는 고정된 값과 2 옥텟의 길이를 갖는다.
- (b) Length: Path_num 필드의 길이를 나타내며, 2 옥텟의 길이를 갖는다.
- (c) Entry_num: TLV가 포함하고 있는 entry의 수를 나타낸다. 하나의 entry는 송신지 IP, 목적지 IP와 Path_num으로 구성된다.
- (d) Source IP: 송신지 주소를 나타낸다.
- (e) Destination IP: 수신지 주소를 나타낸다.
- (f) Path_num: 링크가 수용하고 있는 연결의 수를 나타내며, 4 옥텟의 길이를 갖는다.

4.2 제약기반 알고리즘

본 논문에서 제시하는 제약 기반 알고리즘은 기존의 TE 제약 조건과 새로 추가한 링크의 연결 개수를 기반으로 링크 상태 알고리즘을 통해 최적의 경로를 검색하여 복구 경로를 설정한다. (그림 5)는 TE를 위한 제약 조건들을 만족하는 링크를 찾아내는 과정을 슈도코드로 표현하였다.

L은 각 링크별 연결 개수 정보를 갖는 단위 1의 집합을 나타내며, L 집합 내의 링크 정보를 검색하여 링크별 제약 조건 만족 여부를 조사하고, 만족하지 않는 링크에 대해서는 L 집합에서 제외한다. 제약 조건은 사용자의 요구에 따라 변경이 가능하다.

```

L ← Set of Links (L)

Function Constraints_set (L)
1. For each link I in L
2.   IF I can not support TE
3.     L := L subtraction {I}
4.   ELSE IF I has not enough reservable bandwidth
5.     L := L subtraction {I}
       :
       Other constraints
       :
    
```

```

6.      END IF
7. END FOR
Return L
End

```

(그림 5) 제약을 만족하는 링크 검색 절차

복구 경로 설정을 위한 알고리즘은 Dijkstra's 알고리즘을 (그림 6)에서 리턴되는 L값을 반영하여 경로를 계산하도록 변형하였다. 알고리즘은 L 집합 내에서 가장 작은 연결 개수를 갖는 링크를 선택하여 경로를 검색하며, 송신지에서 목적지까지의 복구 경로가 계산되면 과정을 멈추고 복구 경로를 설정한다.

```

L <- The set of Links(L)
P <- The set of Paths
t <- Destination

Function Dijkstra(G, w, s, t)
1. FOR each vertex v in V[G]
2.     d[v] := infinity
3.     previous[v] := undefined
4.     d[s] := 0
5.     S := empty set
6.     Q := set of all vertices
7.     L := Constraint_set(Q)
8.     WHILE L is not an empty set
9.         u := Path_Num_Min(L)
10.        S := S union {u}
11.        FOR each edge (u,v) outgoing from
u
12.            IF d[v] > d[u] + w(u,v)
13.                d[v] := d[u] + w(u,v)
14.                previous[v] := u
15.            END IF
16.        END FOR
17.        IF u = t
18.            P := empty sequence
19.            n := t
20.            WHILE defined n in S
21.                insert n to the beginni
ng of P
22.                n := previous[n]
23.            END WHILE
24.            Return P
25.        END IF
26.    END WHILE
27. END FOR
End

```

(그림 6) 변형된 Dijkstra's 알고리즘

4.3 OSPF-TE 확장

본 논문에서 제안하는 방식을 구현하기 위해서 우선 (그림 7)에서와 같이 ospf 데몬의 소스 중에서 ospf_te.h에 다음과 같이 새로운 속성에 대한 구조체를 추가한다. 이때 te_tlv_header와 값을 저장하기 위한 value 변수만 선언해 주면 된다.

```

// Link Sub-TLV: Security Level */
#define TE_LINK_SUBTLV_SECURITY_LEV
10

struct te_link_subtlv_security_lev
{
    struct te_tlv_header header;
    u_int32_t value;
};

```

(그림 7) ospf_te.h 수정

새로운 속성을 추가하기 위해서는 ospf 데몬 소스에서 ospf_te.c 파일을 수정해야 한다. (그림 8)에서와 같이 mpls_te_link 구조체에 새로운 속성에 대한 구조체를 추가해 줘야 한다.

TE_LINK 파라미터의 헤더를 설정하는 함수에도 새로운 속성의 크기가 반영되도록 소스를 수정해 줘야 한다. 또한 입력 받은 link 파라미터에 새로운 속성 값을 할당하기 위한 함수도 새롭게 정의해서 추가해 줘야 한다.

Opaque_Isa에 새로운 속성에 대한 sub-tlv 값을 추가하기 위한 함수를 추가해 줘야 한다. Opaque_Isa의 link_tlv를 생성할 때 새로운 속성의 sub-tlv가 추가되도록 하기 위해서는 build_link_subtlv_security_lev 함수를 호출하는 부분을 추가해 줘야 한다. 이처럼 새롭게 추가한 속성 값을 터미널에 출력해 주기 위한 함수를 추가해 줘야 한다.

Link(인터페이스) 속성을 저장해 주는 함수에 새로운 속성이 함께 저장되도록 추가해 주어야 한다. 새로운 속성 값을 사용자로부터 입력을 받기 위한 명령어를 구현한 함수로, 입력받은 속성 값을 해당 link 속성에 추가하고 opaque_Isa를 생성해서 플러딩한다.

```

struct mpls_te_link
{
    ... 중간 생략 ...

    struct te_link_subtlv_te_metric te_metric;
    struct te_link_subtlv_max_bw max_bw;

    struct          te_link_subtlv_max_rsv_bw
max_rsv_bw;

    struct te_link_subtlv_unrsv_bw unrsv_bw;
    struct te_link_subtlv_rsc_clsclr rsc_clsclr;

    /* Added *****/

    struct          te_link_subtlv_security_lev
security_lev;

    /******/
};

```

(그림 8) ospf_te.c 수정

5. 결 론

인터넷 트래픽의 폭발적인 성장은 기존 네트워크 전송능력의 한계를 끊임없이 위협하고 있다. 대용량의 트래픽을 지연 없이 안전하게 전달하고자 하는 요구는 새로운 고속 전송기술과 스위칭 기술에 대한 연구의 계기가 되었다.

광통신 기술의 발전과 사용자의 다양한 요구사항을 반영하여 하나의 광케이블을 통해 다수의 고속 채널을 제공할 수 있는 ROADМ, PXC, 그리고 WDM은 차세대 핵심 전송 기술로 등장하였다. 그러나 광 전달망이 제공하는 많은 장점에도 불구하고 엄청난 양의 데이터가 하나의 광케이블에 모두 집적되어 있기 때문에 네트워크나 케이블에 오류가 발생하였을 경우에 미치는 여파 또한 커진다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점들은 광 전달망의 안정성과 유연성을 확보하고자 하는 많은 노력의 계기가 되었다.

본 논문은 신뢰성과 생존성을 제공할 수 있는 통신망을 구축하기 위해 GMPLS 네트워크에서 다계층 보호 및 복구 기능을 제공하는 신호/라우팅 프레임워크를 제안하였다.

참고문헌

- [1] K. Shiomoto, I. Inoue, R. Matsuzaki, and E. Oki, "Research and Development of IP and Optical Networking," NTT Technical Review, Vol. 5, No. 3, pp. 48-53, 2007.
- [2] E. Oki, et al., "Dynamic multilayer routing schemes in GMPLS-based IP + Optical Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 43, No. 1, pp. 108-114, Jan. 2005.
- [3] N. Bouabdallah, G. Pujolle, E. Dotaro, N. Le Sauze and L. Ciavaglia, "Distributed Aggregation in All-Optical Wavelength Routed Networks," IEEE International Conference on Communications, pp. 1806-1810, Jun. 2004.
- [4] A. Bonerjee, J. Drake, J. P. Lang, and B. Turner, "Generalized Multiprotocol Label Switching: an Overview of Routing and Management Enhancements," IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No. 1, pp. 144-150, Jan. 2001.
- [5] Sophie De Maesschalck, et al., "Intelligent Optical Networking for Multilayer Survivability," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 1, pp. 42-49, Jan. 2002.
- [6] Bart Puype, et al., "Benefits of GMPLS for Multilayer Recovery," IEEE Communications Magazine, Vol. 43, No. 7, pp. 51-59, Jul. 2005.
- [7] Hyuncheol Kim, "A Study of Survivable Traffic Grooming in Broadband Convergence Networks," Thesis of Doctoral Course, Sungkyunkwan Univ., 2005.
- [8] Greg Bernstein, Bala Rajagopalan, Debanjan Saha, "Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards," Addison Wesley.

[저자소개]



강 현 중 (Kang Hyun Joong)

1980년 2월 성균관대학교 학사
1986년 2월 연세대학교 석사
1996년 2월 성균관대학교 박사

email : hjkang@seoil.ac.kr



김 현 철 (Hyuncheol Kim)

1990년 2월 성균관대학교 학사
1992년 2월 성균관대학교 석사
2005년 8월 성균관대학교 박사

email : hckim@nsu.ac.kr