

캐리어급 이더넷 OAM 기술 분석

Analysis of Carrier Class Ethernet OAM Technology

정영식 (Y.S. Chung)

캐리어이더넷연구팀 책임연구원

이유경 (Y.K. Lee)

캐리어이더넷연구팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 이더넷 OAM
 - III. 이더넷 링크(ETY) 계층 OAM
 - IV. 이더넷 MAC(ETH) 계층 OAM
 - V. 결론

LAN에서 사용되던 이더넷 기술은 단순성과 낮은 투자/운영 비용으로 인하여 WAN/MAN 영역으로까지 사용이 급속도로 확산되고 있다. 캐리어급 이더넷 OAM 기술은 LAN 중심의 이더넷 기술을 캐리어급 망에서 사용할 수 있게 해주는 주요 기술로 IEEE, ITU-T, MEF 등 표준화 기구에서 이에 대한 표준화가 진행되고 있다. 본 논문에서는 크게 PHY 계층과 MAC 계층의 두 부분으로 구성된 이더넷에서 단일 링크 상에서 발생하는 동작들을 처리하는 ETY 계층 OAM 기술과 다중 링크로 연결된 이더넷 경로상에서 발생하는 동작들을 처리하는 ETH 계층 OAM에 대한 기술을 분석하여 정리한다.

I. 서론

이더넷은 원래 기업이나 홈 네트워크에서 사용되는 LAN 프로토콜로 설계되었으며, IEEE 802.3에서 표준으로 정의되어 있다. 이더넷을 사용하는 주목적 중의 하나는 plug & play와 같은 단순함(simplicity)과 낮은 투자비용(Capex) 및 운용비용(Opex)임을 내세우고 있다. LAN 영역에서 이더넷의 이러한 성공은 망 운용자 또는 망 사업자가 투자비용과 운용비용을 줄이기 위해 WAN/MAN 영역에서도 이더넷을 사용하려는 시도를 확산시키고 있다. 이렇게 WAN/MAN 영역에서 사용할 수 있는 이더넷을 캐리어급 이더넷이라고 정의하고 있다[1].

캐리어급 이더넷은 보호(protection), 탄력성(resiliency), 신뢰성(reliability), 확장성(scalability) 및 관리성(manageability)과 같은 특징들을 중요시 하는 캐리어 망 환경에서 운용이 가능한 새로운 이더넷 제품을 말한다. 캐리어급 망에서 원하는 서비스가 정상적으로 동작되고 있으며, 장애 발생시 얼마나 빨리 이를 감지하고 복구하며, 어떻게 서비스별 또는 사용자별로 제공되는 트래픽의 양을 제한할 수 있는가 등이 이더넷 서비스 또는 이더넷 제품을 적용하려는 서비스 제공자들이 가지는 주 관심사이다. 따라서, 서비스 제공자 측면에서는 단순히 데이터 전송 기술로서 이더넷을 생각하는 것이 아니라, end-to-end 사이의 서비스 관리 차원에서 이더넷을 적용할 수 있는가를 핵심 요소로 고려하고 있다[2].

캐리어 망에서는 SONET, ATM과 같은 다양한 계층의 전송 프로토콜이 존재할 수 있기 때문에 이들을 모두 지원하기 위해서는 망의 모든 계층에서 관리 기능을 제공해야 한다. 그러나, 전통적인 LAN 중심의 이더넷 기술에서는 제공되는 관리 기능이 없기 때문에 캐리어 망에 이더넷을 확산시키는 데 큰 장애요인으로 대두되고 있다. 엄밀한 서비스 품질(QoS)을 보장할 수 없으며, 장애 발생에 대한 보호 기능이 매우 미약하여 캐리어급 망에 적용하기에 적절하지 않기 때문에, OAM과 같은 기능이 추가로 구현될 필요가 있다. 이렇게 설계되는 이더넷 OAM 기

술은 기존의 캐리어 망 환경에서 널리 사용되고 있는 SONET, ATM과 같은 기술을 인식할 수 있어야 하며, 그들의 관리 방식과 공존할 수 있어야 한다.

이 글에서는 캐리어급 이더넷 OAM 기술의 최근 동향과 기술개발 현황을 살펴본다. II장에서는 이더넷 OAM에 대한 내용을 소개하고, III장에서는 단일 링크를 중심으로 하는 이더넷 ETY OAM 기술에 대하여 살펴본다. IV장에서는 멀티 링크를 중심으로 하는 이더넷 ETH OAM 기술에 대하여 살펴본다, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 이더넷 OAM

IEEE 802.3, ITU SG13 등의 표준에서와 같이 이더넷은 링크 계층(ETY)과 MAC 계층(ETH)의 두 부분으로 구성되어 있다[3]. 이더넷 OAM은 ETY 계층에서 다루는 영역으로 단일 링크(point-to-point 또는 shared) 상에서 발생하는 동작들을 처리하는 ETY 계층 OAM이 있으며, ETH 계층에서 다루는 영역으로 이더넷 연결(end-to-end 또는 edge-to-edge) 상에서 발생하는 동작들을 처리하는 ETH 계층 OAM으로 구분된다.

ETY 계층 OAM은 액세스 링크 또는 EFM을 위한 OAM 메커니즘으로 IEEE 802.3ah[4]로 표준이 개발되어 있는 상태(2004년 6월에 IEEE Std 802.3ah-2004로 완료)이다. 반면, ETH 계층 OAM은 현재 표준화가 완성된 것은 없는 상태이며, IEEE 802.1ag[5], ITU-T SG13[6],[7] 및 MEF[8], [9] 등 표준화 기구에서 ETH OAM 프로토콜 정의를 위한 작업이 진행중에 있다.

1. 이더넷 OAM의 목표

이더넷 OAM 기능은 공중망에서 망의 고장을 제때에 발견하고 격리함으로써, 망 운용을 쉽게 하고 망 운용비용을 낮추는 데 도움을 주는 중요한 역할을 하고 있다. 이더넷 OAM 기능은 QoS나 가용성(availability)의 보장을 요구하는 망에서 특히 중요

한 역할을 한다. 이더넷 OAM의 주요 목표는 다음과 같다.

- 이더넷 데이터 평면의 고장 발견. 여기에는 링크 절단과 같은 물리적인 고장뿐만 아니라 메모리, 스위칭 테이블 등의 파손과 같은 soft한 고장의 발견을 모두 포함한다.
- 데이터 평면의 고장을 상위 계층 및 NMS에 통보. 여기에는 적절한 알람의 작동과 원치 않는 알람의 중지 등을 포함한다.
- 데이터 평면의 고장 검증 및 격리
- 사용자 트래픽의 안전한 전송
- 이더넷 서비스의 성능 측정

2. OAM의 영역

OAM 영역(domain)이란 OAM 메시지가 차단(또는 변형)되지 않고 처리될 수 있는 브리지들의 연결 구조를 말한다. 영역은 nest 될 수 있지만, overlap은 될 수 없다. 다시 말해서, OAM 영역들 사이에 계층이 존재한다면, 높은 레벨 영역의 OAM 메시지는 낮은 레벨의 영역을 투명하게 통과할 수 있지만, 낮은 레벨 영역의 OAM 메시지는 그 영역의 edge에서 block되거나 필터링 된다.

(그림 1)은 지정된 사용자의 장비를 포함하는 사용자 영역과, 지정된 서비스 제공자의 edge 브리지들을 포함하는 서비스 제공자 영역 및 지정된 운용자의 브리지들을 포함하는 망 운용자 영역 등 3가지

영역을 표시하고 있다.

3. 기본 개념

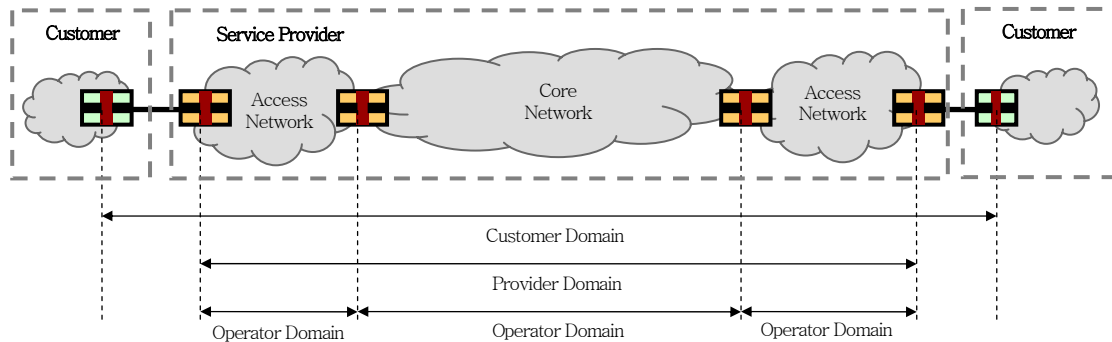
이더넷 OAM 기술에서는 다음 항에서와 같은 기본 개념들을 정의하여 사용하고 있다.

가. Maintenance Entity

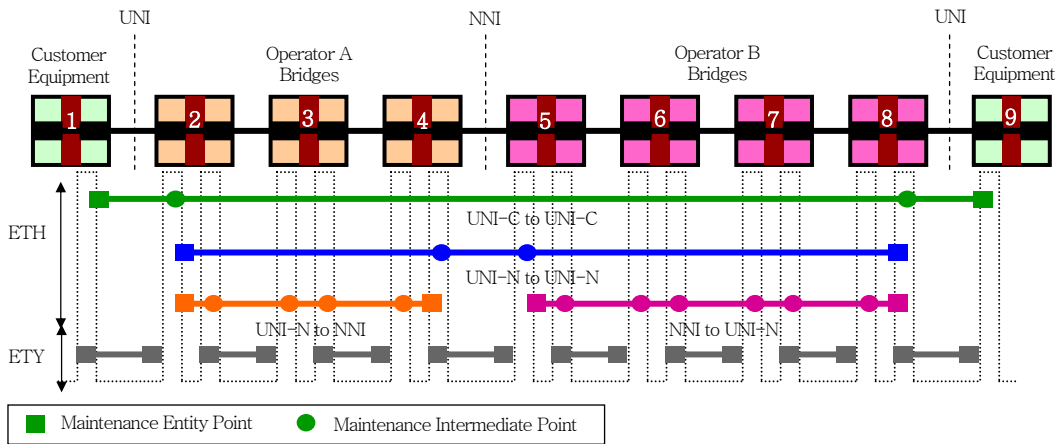
Maintenance Entities(MEs)는 관리가 필요한 이더넷 경로들(trails)로, 한 ME는 양쪽 끝 점이 같은 OAM 영역에 속하는 점-대-점 구조(construct)를 말한다. 다중점(multipoint) 이더넷 연결은 그들이 구성하는 점-대-점 ME들에 의해 관리된다. ME들은 nest 또는 concatenate가 가능하지만, overlap은 될 수가 없다.

(그림 2)는 한 서비스 제공자와 A와 B 2개의 망 운용자에 의해 지원되는 사용자 장비 1번과 9번 사이의 점-대-점 ETH 연결을 보여주고 있다. 여기서는 이러한 망에서 이루어질 수 있는 다수의 ME들을 보여주고 있다. 각 ME들은 ETY 계층 또는 ETH 계층에 있을 수 있으며, (그림 2)에서는 ETH 계층에 4개의 ME가 있고 ETY 계층에 8개의 ME가 존재한다.

ETY 계층의 ME들은 단일 링크 상의 OAM으로 IEEE 802.3ah OAM 표준[4]에 의해 관리되며, ETH 계층의 ME들은 여러 링크를 거치는 서로 다른 타입의 OAM(즉, ETH OAM)들로 구성되어 있다.



(그림 1) OAM 영역의 예



(그림 2) ETY, ETH 계층에서 ME, MEP, MIP의 예

나. Maintenance Entity Group

MEG는 다음 조건을 만족하는 서로 다른 ME들을 포함한 구조를 말한다[6].

- 같은 관리 영역에 존재하는 ME
- 같은 ME 레벨을 가지고 있는 ME
- 같은 점-대-점 ETH 연결 또는 다중점 ETH 연결에 속해 있는 ME

하나의 점-대-점 ETH 연결에서 하나의 MEG에는 하나의 ME만 포함되어 있으며, n개의 end-points를 포함하고 있는 다중점 ETH 연결에서 하나의 MEG에는 $n \times (n-1) / 2$ 개의 ME들을 포함하고 있다. 참고로, MEG는 IEEE 802.1ag Draft 4에서 정의하는 MA와 비슷한 개념으로 생각할 수 있다[5].

다. Maintenance Entity Levels

기본적으로 고려해야 할 OAM ME들은 다음의 4가지가 있다.

- 사용자 end-to-end ME(UNI_C to UNI_C)
- 서비스 제공자 edge-to-edge ME(UNI_N to UNI_N)
- 망 운용자 edge-to-edge ME(UNI_N to NNI or NNI to UNI_N)
- 두 인접 브리지 사이의 링크 ME

사용자 ME가 가장 높은 ME 수준을 가지고 있으며, 이 ME에 속하는 모든 OAM flow들은 서비스 제공자 및 망 운용자 영역을 투명하게 통과해야 한다. 서비스 제공자 ME가 다음 수준으로 여기에 속하는 OAM flow들은 서비스 제공자 edge에 정지해야 하며, 빠져나가지 않아야 한다. 링크 ME가 가장 낮은 수준으로 모든 OAM flow들이 투명하게 처리되어야 한다.

라. Maintenance End Points and Intermediate Points

MEP는 각 ME의 끝에 위치해서 그 ME와 관련된 OAM 메시지의 생성과 종료 처리를 수행하며, MIP는 각 ME의 중간에 위치해서 loop-back 요청 메시지와 같은 특정 OAM 메시지에 대해서만 응답을 처리한다. (그림 2)에서 MEP는 작은 네모로 표시되어 있으며, MIP는 작은 원으로 표시되어 있다.

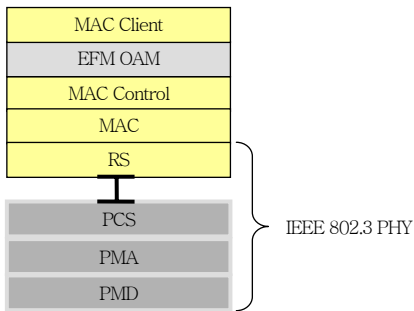
III. 이더넷 링크(ETY) 계층 OAM

이더넷 링크 계층 OAM(ETY OAM, EFM OAM)은 IEEE 802.3ah EFM OAM 표준[4]에 의해 구현된다. EFM OAM은 이더넷 액세스 링크(UNI)에서 사용하기 위해 설계되었지만, 이더넷 802.3과 같은 비 액세스 링크에도 적용이 가능하다.

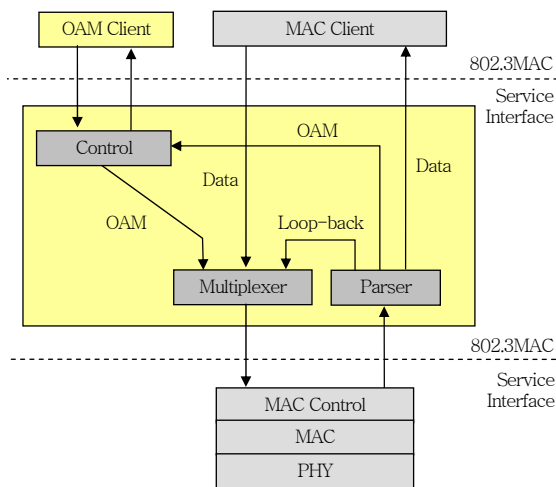
(그림 3)은 프로토콜 스택에서 EFM OAM 계층의 위치를 보여주고 있다. EFM OAM이 PHY 계층의 OAM이지만 모든 IEEE 802.3 PHY에 적용이 가능하도록 PHY 계층과는 독립적인 MAC 계층 위에 위치하고 있다.

EFM OAM은 EFM OAM 프레임을 받아서 적절한 처리를 거친 후 다시 링크로 보내는 역할을 담당하고 있다. (그림 4)와 같이 EFM OAM은 파서, OAM 제어 블록 및 다중화기(multiplexer) 등으로 구성되어 있다.

파서는 수신한 이더넷 프레임의 OAM 제어 블록으로 보낼지, MAC client로 보낼지, 또는 다시 loop-back 시킬지를 결정한다. OAM 제어 블록은 OAM 프레임을 OAM client 계층과 교환하는 기능



(그림 3) 프로토콜 스택에서 EFM OAM의 위치



(그림 4) EFM OAM 계층 세부 블록도

을 맡고 있다. OAM client 블록은 새로운 OAM 프레임을 생성하거나 수신한 OAM 프레임을 처리하여 다시 OAM 제어 블록으로 송신하는 기능을 한다. 다중화기는 local OAM 프레임, MAC client 프레임 및 loop-back 프레임을 액세스 링크 쪽으로 다중화시키는 기능을 담당하고 있다.

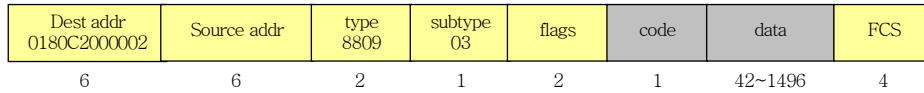
1. EFM OAM의 기능

IEEE에서는 EFM OAM을 사용자와 서비스 제공자 사이의 802.3 액세스 링크를 관리하기 위해 설계하였다. EFM OAM에서 설계한 주요 기능은 다음과 같다.

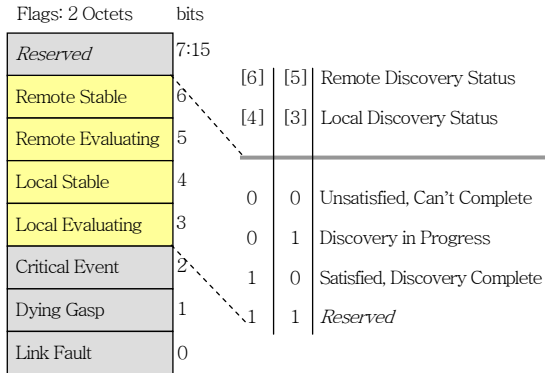
- Remote Failure Indication: 수신경로 고장을 브리지에게 표시해준다. 이 기능의 장점을 살리기 위해 브리지들은 단 방향으로 운용될 필요가 있다.
- Remote Loop-back: 프레임 레벨에서 강제로 loop-back 시킨다. 이 기능은 수신된 모든 프레임을 수신된 포트에 다시 송신하며, 액세스 링크의 시험에 유용하게 사용된다.
- Link Monitoring: 링크의 상대 단에 원하지 않는 이벤트를 보고하기 위해 사용하는 이벤트 보고(notification) 기능을 지원하는 메커니즘이다. 이 기능에서는 관리 시스템에서 필요로 하는 진단(diagnostic) 정보를 포함할 수도 있다.
- OAM Discovery: 링크의 양 끝단에 있는 DTE들이 서로를 발견하고 연결성을 지속적으로 모니터링하는 기능이다. 연결성 검증은 일종의 heartbeat을 주기적으로 송신함으로써 이루어진다. Dying gasp 또는 링크 고장과 같은 중대한 링크 이벤트들은 OAMPDU 내부에 있는 flag로 전달된다.

2. EFM OAM 메시지 형식

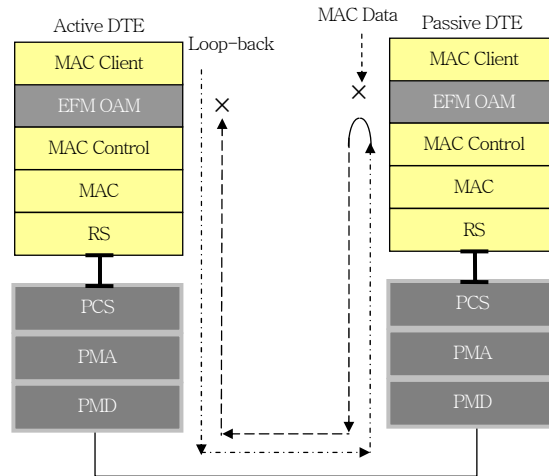
OAM 프로토콜은 양 이더넷 포트 사이에 교환되는 OAMPDU를 기반으로 구축되었다. OAMPDU는 특정 이더넷 멀티캐스트 주소(01-80-C2-00-00-



(그림 5) EFM OAM 메시지(OAMPDU) 형식



(그림 6) Flag 세부 내용



(그림 7) Loop-back 내용

02)와 EtherType(0x8809)을 사용하는 정상적인 이더넷 프레임으로, 브리지에 의해 포워딩되지 않고 단일 링크로만 전달되는 특징을 가지고 있다. OAMPDU 메시지 형식은 (그림 5)와 같다.

- Type: OAMPDU type으로 0x8809로 정의
- Subtype: 캡슐화될 특정 Slow Protocol을 나타내며, OAMPDU는 0x03으로 정의
- Flags: 2바이트 값으로 (그림 6)과 같이 각종 상태를 나타내고 있음
- Code: OAMPDU 메시지의 종류를 나타냄
- Data: 42~1496바이트 데이터(최소 이더넷 프레임 크기: 64바이트)
- FCS: Frame Check Sequence

3. EFM OAM 메시지 종류

- Information OAMPDU: 지역 및 원격 OAM의 상태를 통신하는 데 사용된다. 주로 discovery 과정에 사용되며, 주기적인 전송으로 연결성 검증을 위해 사용되기도 한다. Local information, remote information, organization specific 등 3가지 TLV(Type, Length, Value 형식의 데이

터)가 있다.

- Event Notification OAMPDU: 링크 모니터링을 위해 사용되며, Errored Symbol Period Event, Errored Frame Event, Errored Frame Period Event, Errored Frame Seconds Summary Event, Organization Specific Event 등의 5가지 이벤트 TLV가 있다.
- Variable Request & Response OAMPDU: OAM을 통해 상대 DTE의 MIB 변수를 참조하는 데 사용된다. Request-response 특성은 링크의 능력(IP의 ping과 비슷하다. delay, jitter 및 throughput 등 측정)을 예측하기 위한 측정 함수로 사용될 수 있다.
- Loop-back Control OAMPDU: 상대 DTE를 loop-back 모드로 설정/해지하는 데 사용된다. Loop-back 모드로 운용중일 때는, 상위에서 액세스 링크로 보내지는 client 데이터는 차단되며, EFM OAM 프레임을 제외한 모든 수신 프레임은 loop-back 된다(그림 7) 참조. 이 기능은 링크의 정상적인 동작을 시험하는 데 주로

사용된다.

- Vendor Specific OAMPDU: 장비 제조사들이 추가 이벤트를 구현하거나, discovery 중에 추가 정보를 포함하거나 또는 고유의 OAM 프로토콜을 추가하는 데 사용된다. 장비 제조사에서 필요한 사항에 대한 확장들이 Vendor Specific OAMPDU 및 표준 OAMPDU의 장비 제조사 관련 TLV를 통하여 구현이 가능하다.

4. EFM OAM 모드

EFM OAM을 지원하는 DTE는 능동(active) 또는 수동(passive) 모드가 될 수 있다. 능동 모드의 DTE는 모든 타입의 OAM 메시지를 생성할 수 있으나, 수동 모드의 DTE는 loop-back 제어나 변수 요청과 같은 일부 OAM 메시지를 생성할 수 없는 제약을 가진다.

액세스 링크에서 보통 사용자측의 브리지는 수동 모드이고, 서비스 제공자 측의 브리지는 능동 모드로 작동한다. 그러나 양측이 모두 능동 모드일 수도 있으며, 이에 대한 규칙은 최소한 한쪽에서 능동 모드로 동작하는 DTE가 있으면 된다.

IV. 이더넷 MAC(ETH) 계층 OAM

이더넷 MAC 계층 OAM(ETH OAM)은 하나의

이더넷 경로 상에 있는 여러 링크를 통하여 전달될 수 있는 특징을 가지고 있다. ETH OAM은 서비스 제공자와 망 운용자의 edge-to-edge 이더넷 연결과 마찬가지로 사용자의 단-대-단 이더넷 연결을 관리하기 위한 관리 도구이다.

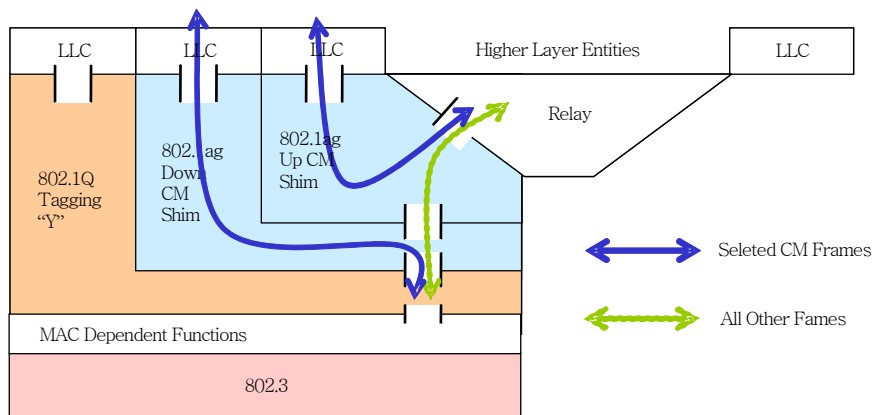
ETH OAM의 주요 역할은 이더넷 연결상에 발생한 고장을 발견하여 고장을 격리하고, 복구하는 데 있다. 현재는 ETH OAM에 대한 표준이 없는 상태이지만, 여기서는 ETH OAM의 기본적인 개념 파악에 중점을 두기로 한다.

프로토콜 스택에서 ETH OAM은 (그림 8)과 같이 802.1Q 계층 위에 위치하며, up-shim과 down-shim으로 구성되어 있다.

Up-shim은 브리지 릴레이 기능으로부터 OAM 프레임을 수신 및 필터링하거나 브리지 릴레이 기능으로 OAM 프레임을 보내는 역할을 한다. Down-shim은 하위 계층(802.1Q)으로 OAM 프레임을 보내거나 수신하는 역할을 한다.

1. ETH OAM의 기능

ETH OAM은 세그먼트 또는 단-대-단 기준의 이더넷 연결을 관리하는 역할을 한다. ETH OAM에서 수행해야 하는 주 기능은 OAM discovery, fault management, and performance management 등이 있다.



(그림 8) 프로토콜 스택에서 ETH 계층 OAM

- OAM Discovery: OAM 영역(ME)의 edge 브리지는 OAM discovery를 이용하여 같은 이더넷 서비스를 제공하는 같은 영역의 상대 edge 브리지를 찾는 데 사용한다. 이 정보는 edge 브리지의 자동설정을 위해 사용되며, 다른 edge 브리지들에게 연결 고장을 알리는 데 사용된다.
- Fault Detection: 고장을 관리하는 것이 ETH OAM의 가장 중요한 기능으로, 고장의 빠른 발견과 원인 규명 및 격리와 같은 일련의 동작들이 수행된다. ETH 계층에서 고장의 발견은 주기적인 연결 검사 메시지(CC 메시지)를 송신함으로써 이루어지며, 일정기간 동안 이 CC 메시지를 받지 못하면 연결 고장을 표시하게 된다.
- Fault Verification: 고장이 발견되거나 또는 의심스러울 경우, 고장이 실제로 있어났는가를 검증하기 위해 사용된다. 실제 고장을 확인하기 위해 ping/loop-back과 같은 형태의 기능을 사용할 수 있다.
- Fault Isolation: 브리지나 링크 등과 같이 고장이 일어난 정확한 위치를 식별하는 방법으로 fault isolation이 사용된다. 이것은 일종의 경로 추적과 같은 기능을 이용하여 구현된다.
- Alarm Suppression: ETH 또는 ETY 계층에서 결함이 발견되면, 그에 대한 적절한 알람이 발생되어야 한다. 알람 폭풍과 같은 현상을 방지하기 위해서는 상위 계층에서의 중복된 알람은 억제되어야 한다. 이 기능은 일반적으로 AIS 형태의 메시지를 상위 계층으로 매핑하고 전파함으로써 구현된다.
- Performance Measurement: QoS 및 SLA에 의해 합의된 이더넷 서비스를 보증하기 위한 방법으로 패킷 손실이나 지연 등과 같은 형태로 측정된다.

2. ETH OAM 메시지

이 장에서는 위에서 언급한 ETH OAM 기능들을 지원하기 위해 ITU-T, IEEE 및 MEF에서 연구중인 OAM 메시지들에 대하여 기술한다.

가. Ethernet Connectivity Check(ETH_CC)

ETH_CC는 ME의 한 쌍의 MEP 사이의 연결성(connectivity) 및 연속성(continuity) 고장을 발견하는 데 적용될 수 있으며, 상대 MEP의 MAC 주소를 검출하는 데도 사용될 수 있다. 연속성 고장은 메모리가 깨지거나 잘못된 설정 등과 같은 soft 고장이나, 전원 고장이나 링크 절단 등과 같은 hard 고장에 의해 발생할 수 있다.

ME의 연결성을 검사하기 위해, ETH_CC OAM 메시지는 주기적으로 생성하여 그 ME에 속한 MEP에 의해 지속적으로 보내진다. 특정 MEP로부터 첫 번째 ETH_CC 메시지를 수신하면, 수신 MEP는 송신 MEP와의 연결성이 있음을 확인하고 주기적인 ETH_CC 메시지의 수신을 기대하게 된다. 수신 MEP가 송신 MEP로부터 주기적인 ETH_CC 메시지의 수신이 중단되면 송신 MEP와의 사이에 연결성이 깨졌음을 인식하게 된다. 이런 연결성의 고장을 발견한 MEP는 운용자에게 이 사실을 통고하고 상위 계층을 위한 적절한 알람 억제 신호를 생성한 후, 고장 검증 루틴을 초기화시키고 고장을 격리시키는 일을 진행한다.

N개의 MEP를 가진 다중 이더넷 연결에 대해서도 N-1개의 MEP들로부터 ETH_CC 메시지를 수신하여 단일 ME에서와 같은 연결성 검사 방식으로 처리가 이루어지게 된다.

효율성과 확장성을 증가시키기 위해 ETH_CC는 한 이더넷 서비스의 모든 MEP에서 중단되는 멀티캐스트 메시지로 송신된다. 모든 MIP는 ETH_CC를 정상 패킷처럼 포워딩한다. 일부에서는 고장을 격리시키기 위해 MIP에서 ETH_CC를 목록화시키는 것을 제안하기도 한다.

나. Ethernet Loop-back(ETH_LB)

ETH_LB는 ping과 같은 방법으로 한 MEP에서 원격지 MEP 또는 MIP와의 연결성을 검사하는 데 주로 사용된다. 또한 ETH_LB는 MEP와 MEP 사이 또는 MEP와 MIP 사이의 단방향/양방향 지연을 측

정하는 데도 사용될 수 있다. ETH_LB 메시지는 MEP에 의해 발송된다.

ETH_LB 메시지는 ETH_CC 메시지로 연결성 고장이 발견된 후 자동적으로 ETH_LB 메시지를 송신하여 연결성 고장을 검증하거나, 연결성 검사를 위한 운용자 명령어로 수시로 생성될 수 있다.

ETH_LB의 또 다른 용도는 지연에 대한 측정으로, 메시지 송·수신 시 수신 및 송신 시각을 timestamp로 ETH_LB 메시지에 기록하여 단방향/양방향 지연을 측정할 수 있다. 단방향 지연은 노드(MEP) 사이의 시간 동기화(clock synchronization)에 따라 정확도가 달라질 수 있으나, 양방향 지연의 측정은 시간 동기화와는 관계 없으므로 정확한 값으로 인정될 수 있다. 노드 사이의 시간 동기화와 관련된 문제는 이 문서에서 다루지 않는다.

목적지 주소를 멀티캐스트 주소로 ETH_LB 메시지를 보낼 경우, 1개의 ETH_LB Request 메시지에 대하여 여러 개의 ETH_LB Reply 메시지가 수신됨으로 인하여 송신지 노드에 부담이 될 수 있으므로 유니캐스트 MAC 주소로 ETH_LB 메시지를 보낼 것을 권장하고 있다.

한 송신지 노드에서는 유니캐스트 ETH_LB Request OAM 프레임을 특정 MIP 또는 MEP로 보내게 되며, 이 프레임을 수신한 MIP 또는 MEP 노드에서는 ETH_LB Reply OAM 프레임을 만들어서 ETH_LB Request 프레임을 송신한 노드로 되돌려 보낸다. 소스 및 목적지 노드가 아닌 중간 노드에서는 이 ETH_LB Request/Reply OAM 프레임을 아무 처리 없이 포워딩하게 된다.

다. Ethernet Link Trace(ETH_LT)

ETH_LT 메시지는 목적지 MEP 또는 MIP까지의 인접 관계 검색과 고장을 격리시키는 역할을 주목적으로 하고 있다. ETH_LT 메시지는 MEP로부터 시작되며, 상대 MEP 또는 MIP까지의 이더넷 연결성을 추적하고자 할 때 목적지 MEP 또는 MIP로 ETH_LT Request 메시지를 송신한다. 목적지 MEP 또는 MIP까지의 모든 MIP들은 ETH_LT Request

메시지를 받아서 자신에 대한 식별자와 송신지로부터의 홉 수 등을 기록한 ETH_LT Reply 메시지를 만들어 송신지로 되돌려 보냄과 동시에 수신한 ETH_LT Request 메시지를 목적지 MEP 또는 MIP로 포워딩시킨다. 송신지에서는 이 ETH_LT Reply 메시지들을 받아서 목적지까지의 이더넷 연결 경로를 구축할 수 있게 된다.

ETH_LT Request 메시지는 모든 중간 MIP에서 이 메시지를 받아서 처리할 수 있게 하기 위해서는 멀티캐스트 MAC 주소를 사용해야 한다. 따라서, 실제 링크 추적을 종료할 목적지 MEP 또는 MIP의 주소는 ETH_LT Request 메시지의 페이로드 부분에 포함시켜서 처리하게 된다.

이더넷은 제어평면이 없고 브리지 함수에 있는 학습에 의해서 MAC 포워딩 테이블을 구축한다. MAC 주소가 학습이 되면 브리지의 메모리에 상주하게 되며, 일정 시간(default 5분) 동안 타깃 MAC 주소로부터 메시지가 없으면 메모리에서 지워지게 된다. 따라서, 중간 노드에서 고장이 발생하면, 제한된 시간(default 5분) 동안 고장이 발생한 곳 이전에 있는 노드에서만 응답이 오게 되며, 제한된 시간 이후에는 아무 응답을 받지 못하게 된다.

이러한 문제를 해결하는 방법으로, 고장이 발생하자마자 허용된 시간 내에 ETH_LT Request 메시지를 실행시키는 방법과 브리지에 메모리를 분리하여 제한시간이 초과된 MAC 주소를 장시간 동안 보관하는 방법 등을 생각해 볼 수 있다.

라. Ethernet AIS(ETH_AIS)

ETH_AIS는 하위 계층에서 발견한 고장에 대한 상위 계층에서의 중복 선언을 억제하기 위해 하위 계층에서 상위 계층으로 고장의 발견을 알리는 데 사용된다. 이는 다른 모든 상위 계층이 아니고 고장이 발생해서 발견된 그 단일 계층에서만 OSS나 NMS에 고장이 보고되는 것을 허용한다는 것이다. 여기서 상위 계층이란 상위 계층 영역에 속한 ME들을 포함한다는 의미이다.

(그림 9)에서는 ETY 계층에 있는 브리지 3과 4 사이의 이더넷 링크에서 발생한 고장을 어떻게 ETH_AIS를 통하여 상위 계층 ME로 알려줄 수 있는지를 보여주고 있다.

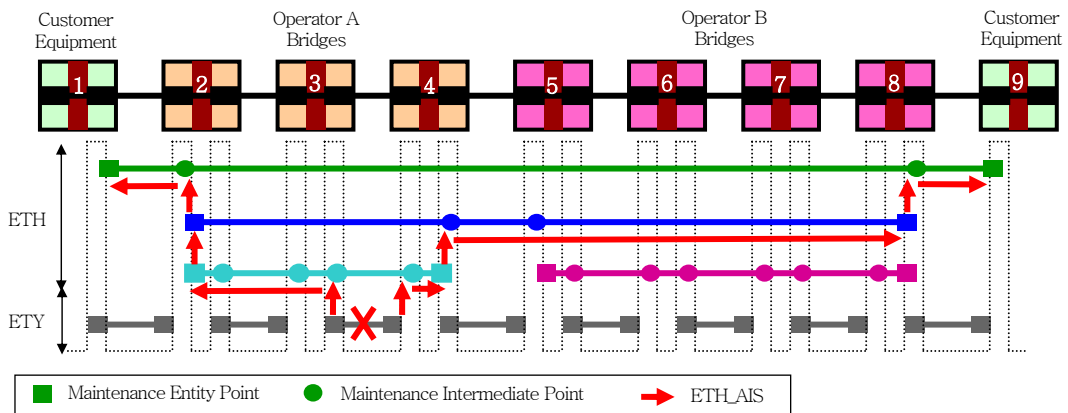
이더넷이 비 연결성 특징을 가지기 때문에 STP에서는 트래픽을 재설정된 경로로 신속히 보낼 수 있다. 이 경우 출구쪽 MEP에서는 ETH_AIS 메시지를 수신하였지만, 중단 없이 ETH_CC를 수신함으로써 ME의 연결성에 아무런 문제를 인식할 수 없어서 혼란을 야기할 수 있다. 따라서, STP에서 트래픽의 경로를 성공적으로 재설정했을 경우에 이 방법에서는 ETH_AIS 메시지를 전송하는 MIP에게 ETH_AIS의 전송을 중단할 것을 알려주는 방법이 필요하다.

(그림 10)은 브리지 PE1과 P1 사이에 링크 고장이 발생했을 때의 예를 보여주고 있다. 링크 고장이 발생하면 PE1과 P1에서 멀티캐스트 AIS 메시지가

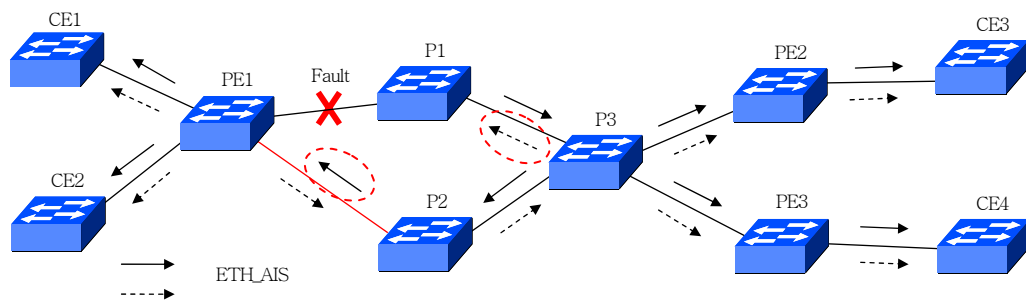
생성된다. 이 때, STP에 의해 PE1-P2-P3로 경로가 재설정되면, 2개의 AIS 시그널이 모든 MIP 및 MEP로 전파된다. PE1과 P1에서 이웃 노드로부터 AIS 시그널을 수신하면, STP에서 경로가 재설정되었다고 간주하고 AIS 시그널의 송신을 중단하게 된다. CE1, CE2, CE3 및 CE4에서는 처음에 2개의 AIS 시그널을 수신하게 되지만, 짧은 시간 내(STP가 경로 재설정 후)에 AIS 시그널의 수신이 중단되게 된다.

마. Ethernet Performance Measurement (ETH_PM)

ETH_PM 메시지는 두 개의 MEP들 사이의 단방향 패킷 손실을 측정하는 데 사용된다. 한 ME의 패킷 손실률을 측정하기 위해 한쪽 MEP에서 ETH_PM 메시지를 생성하고 상대 MEP에 송신한 패킷



(그림 9) ETH_AIS 생성 및 매핑



(그림 10) STP 경로 재설정에 의한 AIS 전송 중단

또는 바이트 수를 반영한 최근 패킷/바이트 카운터 (CT1)를 ETH_PM 메시지에 삽입하여 전송한다. 상대 MEP에서 ETH_PM 메시지를 수신하면, 상대 MEP로부터 수신한 패킷 또는 바이트 수를 반영한 수신 카운터(CR1)를 기록한다. 양쪽 MEP 사이의 카운터의 동기화 문제를 해결하기 위해 같은 방식을 반복적으로 수행하여 2개의 추가 카운터를 기록 (CT2, CR2)한다. 패킷 손실률은 이렇게 측정한 카운터 값을 이용하여 다음의 식으로 계산한다.

$$\text{패킷 손실률} = [(CT2-CT1) - (CR2-CR1)] / (CT2-CT1)$$

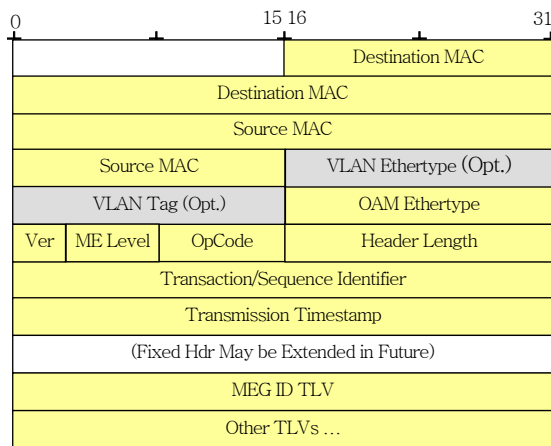
지연에 대한 측정은 “2.2 ETH_LB” 항의 내용을 참조하면 된다.

바. 기타

지금까지 살펴본 ETH OAM 기능의 주요 메시지들 이외에도 ETH-RDI, ETH-TEST, ETH-APS 등의 메시지들이 논의되고 있으나 상세한 내용은 앞으로 더 추진되어야 할 내용으로 얘기하고 있다.

3. ETH OAM 메시지 형식

ETH OAM 메시지 형식은 ITU-T Y.17ethoam [6]에서 (그림 11)과 같이 정의되어 있다.



(그림 11) ETH OAM 메시지 형식

- Version: OAM 프로토콜 버전을 말하며, 현재는 0x00 값으로 지정
- ME Level: OAM 프레임의 관리 영역의 식별자로 0에서 7 사이의 값으로 정의. 값 0~2는 사용자 영역, 3~4는 제공자 영역, 5~7은 운용자 영역에 할당됨
- OpCode: OAM 프레임의 종류를 정의. ETH-CC, ETH-LB Request/Reply, ETH-LT Request/Reply, ETH-AIS, ...
- Header Length: 버전 field부터 시작하는 헤더의 길이
- Transmission/Sequence Identifier: OAM Request 메시지 생성지에서 작성하여 OAM Reply 메시지에 복사되는 부분으로 내용은 OpCode의 종류에 따라 다름
- Transmission Timestamp: OAM 메시지 생성지에서 OAM 프레임이 전송된 시각 저장
- MEG ID: MEG를 식별하는 첫번째 TLV
- Other TLVs: OpCode OAM 타입에 따른 TLV 값

V. 결론

각 네트워크 계층은 서버 또는 클라이언트 계층과 무관한 자신의 OAM 메커니즘을 가지고 있어야 한다. 따라서, 이더넷에 있어서는 이더넷 PHY 및 MAC 계층과 무관한 OAM을 필요로 한다.

ETY 계층 OAM은 단일 이더넷 링크를 위한 OAM 기능으로, OAM discovery, remote failure indication, link monitoring, loop-back 등과 같은 기능이 포함되어 있다.

ETH 계층 OAM은 사용자, 서비스 제공자, 망 운용자 등을 위한 OAM 기능을 제공하기 위해 다단계 OAM 구조로 개발되고 있으며, 각 단계는 다른 단계와는 무관한 자신의 OAM 기능을 수행할 수 있다. 여기에는 OAM discovery, fault detection, fault verification, fault isolation, alarm suppression, performance measurement 등의 기능이 포함되어 있다.

지금까지 알아본 ETY OAM 및 ETH OAM 기술은 이더넷 망을 관리하는 편리한 OAM 시스템을 제공해 줄 것이며, 이더넷이 의미있고 관리가 가능한 서비스를 개발할 수 있는 캐리어급 망 기술로 발전하는 데 도움이 될 것이다. 따라서, 캐리어급 이더넷을 개발하기 위한 핵심 기술로 OAM 기술과 QoS 및 보호 기술들을 중점적으로 연구해야 하며, 이 기술들을 이용하여 저렴하고 신뢰성 있는 캐리어 이더넷 망 구축이 가능할 것으로 기대된다.

약어 정리

AIS	Alarm Indication Signal
ATM	Asynchronous Transfer Mode
DTE	Digital Terminal Equipment
EFM	Ethernet in the First Mile
ETH	Ethernet MAC Layer trail
ETY	Ethernet PHY 또는 Ethernet Link Layer
MA	Maintenance Association
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
ME	Maintenance Entity
MEF	Metro Ethernet Forum
MEG	Maintenance Entity Group
MEP	MEG End Point
MIP	MEG Intermediate Point
NMS	Network Management Systems
NNI	Network to Network Interface
OAM	Operations, Administration, and Maintenance
OAMPDU	OAM Protocol Data Unit
OSS	Operations Support Systems

RDI	Remote Defect Indication
SONET	Synchronous Optical Network
UNLC	User Network Interface Customer side
UNLN	User Network Interface Network side
WAN	Wide Area Network

참고 문헌

- [1] Shahram Davari, "Operations and Maintenance Function for Ethernet Networks," PMC-Sierra White Paper, PMC-2041250, July 2005.
- [2] Mickael Fontaine, "Delivering Carrier Class Ethernet Services in the Metro Network and First Mile," AXCESSIT White Paper, Mar. 2005.
- [3] IEEE 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," 2004.
- [4] IEEE 802.3ah, "Draft Amendment to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," 2004.
- [5] IEEE 802.1ag/D4.1, "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 5: Connectivity Fault Management," 2005.
- [6] ITU-T Draft Recommendation Y.17ethoam, "OAM Functions and Mechanisms for Ethernet Based Networks," 2005.
- [7] ITU-T Draft Recommendation Y.1730, "Requirements for OAM Functions in Ethernet Based Networks and Ethernet Services," 2004.
- [8] MEF, "OAM Requirements and Framework(V3.0)," 2004.
- [9] MEF, "Ethernet Service OAM," 2004.