

논문 2019-14-20

# 유선 메시 구조에서의 절체 성능 향상을 위한 네트워크 설계 기법

## (Topology Design Optimization for Improving Fail-over Performance in Wired Mesh Network)

황종수\*, 장은정, 이원오, 김종혁, 김희언

(Jongsu Hwang, Eunjeong Jang, Wonoh Lee, Jonghyeok Kim, Heearn Kim)

Abstract : Networks use relatively slow heartbeat mechanisms, usually in routing protocols, to detect failures when there is no hardware signaling to help out. The time to detect failures available in the existing protocols is no better than a second, which is far too long for some applications and represents a great deal of lost data at 10 Gigabit rates. We compare the convergence time of routing protocol applying Bidirectional Forwarding Detection (BFD) protocol in wired mesh network topology. This paper suggests the combinations of protocols improving fail-over performance. Through the performance analysis, we contribute to reduce convergence time when system is fail-over.

Keywords : Fail-over, Wired mesh, Bidirectional forwarding detection, Convergence time

### 1. 서론

#### 1. 연구배경

최근의 무기체계는 다양한 플랫폼이 네트워크로 연결되어 단일 플랫폼과 같이 그 임무와 기능을 수행하는 네트워크 중심 작전 (network-centric warfare)이 일반화되고 있다. 이를 통하여 적보다 빠르고 효과적인 의사결정을 수행하여 전장 성패가 좌우 된다고 해도 과언이 아니다.

네트워크 중심 작전은 육군, 해군, 공군의 다양한 플랫폼을 지닌 요격체계와 조기경보 및 감시체계로부터 획득된 정보의 실시간 공유를 기반으로 위협평가, 센서관리, 표적할당, 무기할당 및 교전통제 임무를 수행하는 전장관리를 통하여 가능하다. 합정의 무기체계는 전투 환경의 전장관리체계로써 주도적인 역할을 수행하므로, 이의 신뢰성과 가용성의 향상은 생존성을 높이는 관점에서 핵심 이슈이다 [1].

\*Corresponding Author (jongsu.hwang@lignex1.com)

Received: Feb. 24, 2019, Revised: May 11, 2019,

Accepted: July 4, 2019.

J. Hwang, E. Jang, W. Lee, J. Kim, H. Kim:

LIGNEX1

고가용성은 시스템 고장이 발생했을 때 중단 없는 서비스를 제공할 수 있는 능력을 의미하며, 고가용성 (high availability) “five-9’s” 시스템은 99.999%의 가용도를 의미한다. 일반 산업계에서도 고가용도 시스템구축을 위한 노력이 리눅스 데이터 시스템, 자바 시스템 응용서버, 이동통신시스템 및 각종 네트워크 관리 시스템 등에서도 나타나고 있다 [1].

#### 2. 유선 메시 (mesh) 구조의 시스템

메시 구조는 다중 데이터 경로를 설정할 수 있어 네트워크의 오류에 대응하기 용이하여 데이터 전달의 신뢰성을 향상시킨다. 무선 메시 네트워크는 메시 구조를 무선 네트워크에 적용하여 안정적인 무선 경로를 확보하고, 필요시 저비용으로 네트워크를 확장할 수 있다 [2].

메시 구조는 주로 무선 네트워크에서 사용되나, 유선에서도 고가용성을 높이기 위하여 사용된다. 표 1은 단독 및 통합 운용이 필요한 시스템의 구조 요구사항의 일부를 나타내고 있다. 시스템 단위 이중화와 여러 운용방식을 가지는 시스템 설계에 있어 단독 운용은 필연적으로 포함된다. 그림 1은 시스템 요구사항을 네트워크 구조로 나타낸 그림이며, 이는

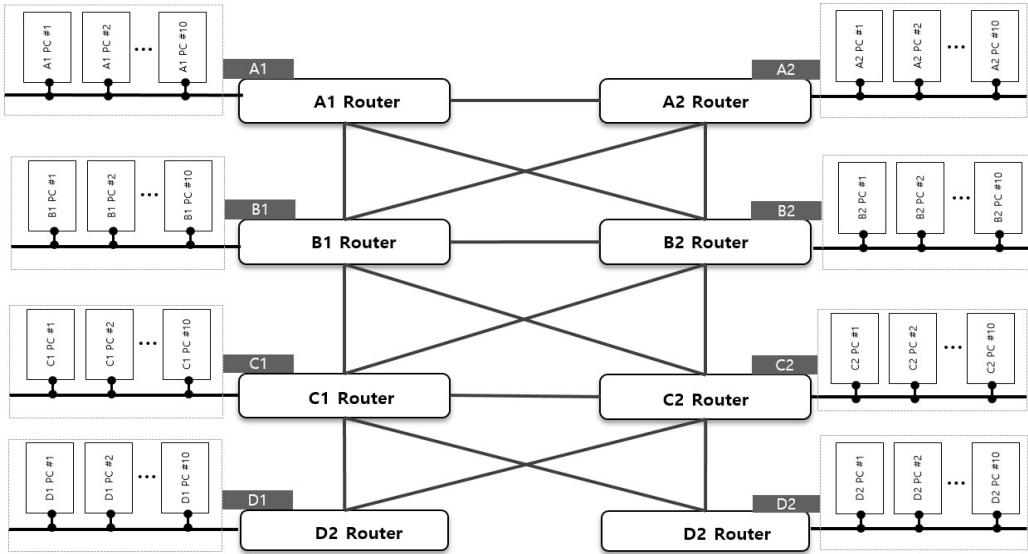


그림 1. 유선 메시 네트워크 구조  
Fig. 1 Wired mesh network topology

표 1. 시스템 요구사항

Table 1. System requirements

#Num	System requirements
1	The system must be operated on a 10 Gigabit network.
2	The system must be redundant on a per-system.
3	The system must be capable of single / integrated operation.

표 1의 요구사항을 만족시키는 단독 및 통합 운용의 예를 보여준다. A1 라우터 (router)에 연결된 A1 시스템은 A2 시스템으로 이중화되어있고, 각각의 시스템은 A, B, C, D 각각 단독 운용이 가능하다. 트리 (tree) 구조로 네트워크를 구성하여 요구사항을 만족시키기에는 백본 (backbone) 라우터의 위치를 지정할 수 없고, 단독적 운용 상황에 따른 트래픽 병목 현상이 발생 할 수 있다. 그러므로 합정의 무기체계에서 표 1의 요구사항인 단독 및 통합적 운용과 이중화를 만족시키기 위하여 메시 구조가 필요하다. 그러나 메시 구조는 링크 장애가 발생하였을 때 변화가 반영된 새로운 라우팅 테이블을 만들고, 최단 경로를 계산하는 시간인 절체시간이 길다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 메시 구조의 시스템에서 고가용성을 높이기 위하여, 절체시간을 줄이

기 위한 방법을 제안하고, 시험을 통하여 제안한 프로토콜의 절체 성능을 검증한다. I장에 이어 본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 고가용성을 높이기 위한 네트워크 프로토콜 이론적 배경을 알아보고, III장에서는 프로토콜 조합 및 구조를 분석하여, 절체 성능을 향상시키는 프로토콜을 제안한다. IV장에서는 제안하는 프로토콜의 성능을 시험을 통하여 검증하고, V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 이론적 배경

절체시간은 네트워크의 업/다운 등의 변화가 일어나고, 이러한 변화가 반영된 새로운 라우팅 테이블 (또는 네트워크 구조 테이블)을 만드는 데 소요되는 시간을 의미한다. 물론 절체시간이 짧을수록 우수한 라우팅 프로토콜이다.

절체시간은 네트워크 장애를 얼마나 빠르게 감지하는지와 변경된 라우팅 상태를 반영하는 방법에 따라 결정된다. 이는 각각의 타이머를 이용하여 구현되며, 사용되는 타이머는 다음과 같다. 연결이 유효한지 점검하는 keep-alive 타이머, 특정 시간 동안 다른 라우터가 전송하는 라우팅 정보를 받아들이지 않는 홀드다운 (hold-down) 타이머, 네트워크 변경정보를 수신한 다음 라우팅 계산을 시작하는 SPF (shortest-path first) delay 타이머, SPF 알

고리즘을 계산 후 다음 계산까지의 휴지 시간인 SPF hold 타이머, 인접 라우터의 상태를 공유하는 헬로 (hello) 타이머 등이 있고 이러한 타이머들이 절체시간을 결정한다고 볼 수 있다. 이러한 타이머를 사용하는 메시 형태의 네트워크 시스템의 절체시간을 감소시키기 위해서는 스위치 프로토콜 설계가 중요하다.

본 논문에서는 루프 (loop)를 방지하고 절체시간을 줄이는 프로토콜 중 RSTP (Rapid Spanning-Tree Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), 플렉스 링크 (Flex link), BFD (Bidirectional Forwarding Detection)에 대하여 분석한다.

1. RSTP

STP (Spanning Tree Protocol)는 여러 개의 이더넷 (ethernet) 연결을 마치 하나의 이더넷 연결과 같이 동작하도록 하는 프로토콜이다. STP는 경로 재구성에 약 30초의 시간이 필요하며, 그동안 데이터를 전달할 수 없다. RSTP는 STP의 재구성시간을 100 밀리초 이하로 감소시켰으며, STP를 대체하는 단일 표준이 되었다 [3].

RSTP는 STP와 다르게 루트 (root) 브리지 (bridge)에 의해 규정된 타이머에 의존하지 않고, 브리지 사이의 적극적인 협상기법을 사용하여 스패닝 트리 (spanning tree) 생성 시간을 감소시킨다. RSTP는 포트 역할이 루트 포트, designated 포트, alternate 포트, 백업 포트로 나뉘고, 포트 상태는 discarding, learning, 포워딩 (forwarding) 상태로 나뉜다. 또한 proposal, agreement 협상기법을 사용하여 포트를 즉시 포워딩 상태로 전환되도록 하여 신속하게 데이터를 전송한다 [4].

메시 구조에서 RSTP는 루트 브리지에 의한 네트워크 장애가 발생할 때, 무제한적으로 경로를 재구성하는 count to infinity 현상을 발생시킨다 [5]. 그림 2는 count to infinity에 취약한 구조를 보여주고 있다. R0, R1 브리지는 루트 브리지를 나타내며, N2, N3, N4 브리지는 루트 브리지의 직접적인 연결 외에 루프 구조를 가지는 연결 구조를 가진다. 그림 2와 같이 루트 브리지가 포함되지 않는 루프 구조 (N2-N3-N4)에 주기적 BPDU (Bridge Protocol Data Unit) 패킷이 포워딩 될 때 count to infinity 현상이 일어난다. R0 루트 브리지는 주기적으로 R0 BPDU 패킷을 전송하며, 루프 구조에 포함되지 않는다. R0 브리지와 연결된 링크에 장애

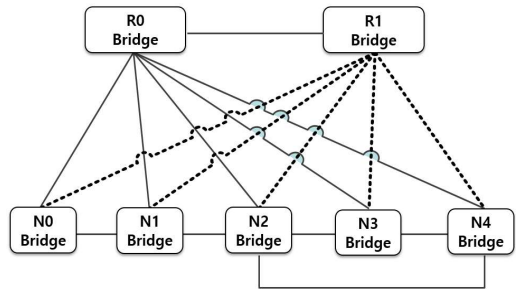


그림 2. Count to infinity에 취약한 네트워크 구조  
Fig. 2 Weak network topology in count to infinity

가 발생하면, R1 브리지는 루트 브리지가 되어 BPDU 패킷을 전송한다. 그러나 N2-N3-N4 루프에서는 R0가 보낸 BPDU 패킷이 일정기간 동안 남아 각각 R0, R1이 루트인 BPDU가 혼재하는 상태가 된다. 이 경우 N2, N3, N4 브리지에서 네트워크가 일시적으로 중지되는 경쟁상태 현상이 발생한다 [5]. 다시 말해 RSTP는 메시 형태의 구조에서는 적합하지 않다.

2. OSPF 프로토콜

OSPF 라우팅 프로토콜은 링크 정보를 전달하기 위한 플러딩 (flooding) 알고리즘, DR (Designated Router)와 백업 DR을 선정하기 위한 헬로 프로토콜, 최적의 경로를 계산하기 위한 SPF 알고리즘이 수행한다.

OSPF 프로토콜은 전형적인 링크 스테이트 프로토콜 (link-state protocol)로 각각의 라우터들은 중속된 로컬 링크의 네트워크 구조 및 상태 정보를 다른 라우터와 교환함으로써, 전체 네트워크를 구성하고 라우팅을 결정한다. 여기서 로컬 링크의 네트워크 구조 및 상태 정보를 기술하고 다른 라우터들과 교환하는 정보가 LSA (Link-State Advertisement) 패킷이다. LSA 패킷은 플러딩에 의해 다른 라우터로 전달된다. 각각의 라우터들은 전달된 LSA 패킷을 이용하여 링크 스테이트 데이터베이스를 생성하고, 전체 네트워크 구조 정보를 파악하게 된다. 네트워크 구조 정보 및 링크 상태 정보를 파악한 라우터는 최단경로 (shortest path) 알고리즘을 이용하여 최적의 경로를 계산한다. 이로써 각 목적지에 대한 다음 홉의 정보를 담은 라우팅 테이블을 생성한다 [6].

OSPF 프로토콜은 헬로 패킷을 교환하여 DR을 선정하는 프로세스를 수행하고 라우팅 테이블을 구성한 후에 라우팅 정보를 교환한다. 이 때 헬로 패

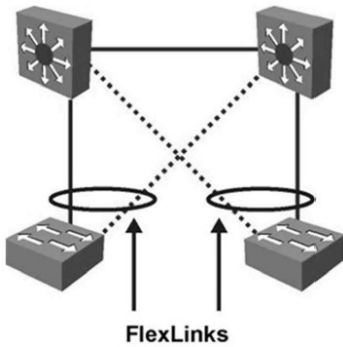


그림 3. 플렉스 링크 네트워크 구조  
Fig. 3 Flex link network topology

킷 교환 주기를 짧게 설정하면 절체시간을 감소시킬 수 있다. 그러나 교환 주기가 최소 시간이 1초인 점을 감안할 때 10G망에서의 절체에 따른 데이터 손실이 발생한다.

### 3. EIGRP

EIGRP는 시스코社가 만든 IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) 프로토콜의 확장형인 시스코 전용 개방형 라우팅 프로토콜로서 비표준 프로토콜이다. 경로선택 방식은 디스턴스 벡터 (distance-vector)지만 라우팅 테이블의 유지 및 관리의 링크 스테이트 방식이며, 라우팅 테이블 등의 업데이트는 멀티캐스팅 (multicasting)으로 제공한다.

EIGRP는 최단 경로인 석세서 (successor)와 백업 경로인 피저블 석세서 (feasible successor)를 결정하기 위하여 DUAL (Diffusing Update Algorithm) 알고리즘을 사용한다. 최단 경로는 대역폭, 부하 (loading), 지연, 신뢰성 (reliability), MTU (Maximum Transmission Unit)의 5가지 변수를 가지고 능동적으로 결정된다. 홉수도 라우팅 정보를 주고받을 때 전달은 되나 코스트 (cost)를 계산하는 데는 영향을 미치지 못하며, 홉수는 255까지 확장될 수 있다. EIGRP는 석세서에 이상이 생긴 경우 홀드다운 없이 곧바로 백업 경로인 피저블 석세서를 사용하여 빠른 절체시간을 보장한다.

EIGRP는 auto 및 manual summary, classless 라우팅 및 VLSM (Variable Length Subnet Mask)을 지원하며, OSPF 프로토콜보다 비교적 설정이 간단하고 사용이 용이하다. 또한 주기적 라우팅 정보 갱신을 하지 않기 때문에 작은 대역폭을 사용하므로 중형 네트워크에서 사용한다 [7].

### 4. 플렉스 링크 프로토콜

플렉스 링크는 시스코社의 네트워크 스위치 기능으로 OSI (Open System Interconnection) 모델 데이터 링크 계층에서 링크 이중화와 균형적으로 부하 분산을 가능하게 한다. 이 프로토콜은 STP 또는 링크 애그리게이션 (link aggregation)의 대안으로 사용된다. 그림 3은 플렉스 링크를 사용한 링크 이중화를 나타낸 그림이다. 스위치 포트 또는 포트 채널과 같은 2계층 인터페이스 쌍은 한 인터페이스가 다른 인터페이스의 백업으로 구성된다. 기본 링크가 실패하면 백업 링크가 트래픽 포워딩을 처리한다. 플렉스 링크는 BPDU 패킷을 이용하는 방식이 아닌 개별 스위치가 직접 오류 판단을 하므로 절체시간이 감소하고, RSTP가 가지는 경쟁 상태 (race condition)와 같은 네트워크 불안정 요소를 감소시킨다.

### 5. BFD 프로토콜

BFD 프로토콜은 밀리초 또는 심지어 마이크로 초 내에 링크 장애를 감지한다. VoIP (Voice over IP)와 같은 실시간 트래픽을 사용하는 네트워크는 빠른 절체시간을 필요로 한다. OSPF 프로토콜 또는 EIGRP와 같은 라우팅 프로토콜은 인접 경로에 장애가 발생 시 다른 경로를 신속하게 선택할 수 있다. 그러나 링크 장애를 감지하는데 시간이 소요되며, 이는 절체시간과 관련된 파라미터 조정으로 변경 가능하나 빠른 절체시간을 보장하지는 않는다. 예를 들어 OSPF 프로토콜은 헬로 패킷의 전송시간을 1초 간격으로 설정하여 장애를 감지하게 구성할 수 있으나, 헬로 패킷의 전송시간을 1초미만으로 설정할 수 없다. 또한 헬로 패킷은 컨트롤 플레인 (control plane)에 의해 처리되므로 상당한 오버 헤드를 발생시킨다. 그러나 BFD 프로토콜은 고속 제어 패킷을 기준으로 설계되어 패킷을 인터페이스 모듈이나 라인 카드로 처리하여 오버 헤드가 적다.

BFD 프로토콜은 다른 라우팅 프로토콜과 독립적으로 실행된다. 그러므로 BFD 프로토콜은 다른 프로토콜들과 함께 구성될 수 있다.

## III. 절체 성능 향상을 위한 네트워크 설계 기법

메시 네트워크 구조에서 절체시간을 줄이기 위하여, 네트워크 구조 변화 정보를 즉시 공유하여야 한다. OSPF 프로토콜과 EIGRP는 각각 다익스트라 알고리즘 (dijkstra algorithm)과 듀얼 (DUAL) 알

표 2. 절체시간 관련 프로토콜 파라미터  
Table 2. Protocol parameters related to fail-over time

#Num	Protocol	Parameter	Minimum Value (Initial Value)
1	OSPF	hello-interval	1 (10) sec
2		dead-interval	3 (40) sec
3		retransmit-interval	1 (5) sec
4	EIGRP	hello-interval	1 (5) sec
5		hold-time	3 (15) sec
6	BFD	bfd-interval	0.05 (0.2) sec
7	Flex Link	preemption-delay	1 (35) sec

고리즘을 사용하여 네트워크 구조변화를 빠르게 공유한다 [4-7]. 플렉스 링크 프로토콜은 선점(preemption) 메커니즘을 사용하여, 플렉스 링크 쌍으로 구성된 포트 상태 정보를 빠르게 공유한다.

절체 성능 향상 위하여 프로토콜에서는 네트워크 링크 장애 정보를 빠르게 감지하는 것이 중요하다. 이를 위하여 각 프로토콜에서는 절체시간과 관련된 파라미터를 설정할 수 있다. 절체시간과 관련된 파라미터를 과도하게 짧게 지정할 경우 스위치에 과도한 부하가 걸리게 되고, 이는 네트워크 안정성을 떨어뜨린다. 그러므로 네트워크 안정성을 유지하면서 절체 성능을 향상시키기 위하여 파라미터의 적절한 설정이 매우 중요하다.

표 2는 절체와 관련된 프로토콜별 파라미터와 최소값을 나타낸다. OSPF 프로토콜에서 hello-interval은 헬로 패킷을 전송하는 주기를 나타내며, dead-interval은 헬로 패킷을 수신하기 위해 기다리는 시간이다. Retransmit-interval은 LSA 패킷을 수신하지 못할 경우 재전송하는 주기이다. EIGRP에서 hello-interval은 OSPF 프로토콜과 같은 용도로 사용된다. hold-time은 주변 라우터가 응답을 보내지 않았을 때 기다리는 시간이다. BFD 프로토콜에서 bfd-interval은 포트 상태 감지를 위한 컨트롤 패킷을 주고받는 주기이다. 플렉스 링크 프로토콜에서 preemption-delay는 상대방 스위치 포트 상태를 확인하여 인터페이스를 선점하기 위해 기다리는 시간이다.

절체 성능 향상을 위하여 파라미터를 최소값으로 설정하는 경우, OSPF 프로토콜과 EIGRP의 최소 절체시간은 1초 이상 소요된다. 10G 망에서 1초간 장애는 많은 데이터 손실이 발생시킨다. 본 논문

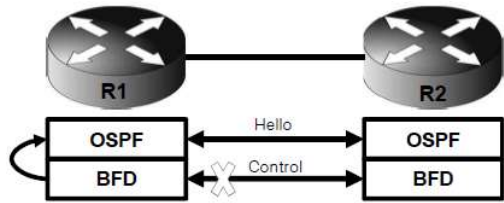


그림 4. OSPF-BFD 동작 메커니즘  
Fig. 4 OSPF-BFD operating mechanism

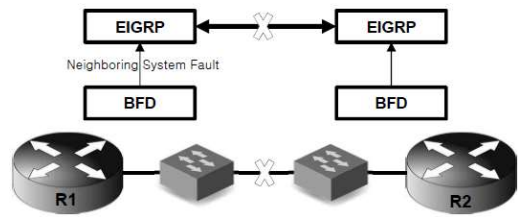


그림 5. BFD-EIGRP 동작 메커니즘  
Fig. 5 BFD-EIGRP operating mechanism

에서는 장애가 발생할 때의 데이터 손실을 줄이기 위하여, 링크 장애를 빠르게 감지하는 BFD 프로토콜과 OSPF 프로토콜 및 EIGRP를 결합하여 구성한다.

그림 4와 5는 각각 OSPF 프로토콜 및 EIGRP 라우팅 환경에서 BFD 프로토콜이 결합되어 트리거(trigger) 역할을 하는 동작 메커니즘을 나타낸다. BFD 프로토콜이 네트워크 링크 장애를 판단하여 EIGRP 또는 OSPF 프로토콜에 장애 발생을 알리면, 각 프로토콜은 라우팅 경로를 전환한다. 그림 4와 5에서 R1 라우터 및 R2 라우터는 BFD 프로토콜을 사용하도록 구성되며 최소 50 밀리초마다 서로 제어 패킷을 주고받음으로써 포트 상태를 점검한다. EIGRP 또는 OSPF 프로토콜과 BFD 프로토콜은 독립적이다. 링크 장애 발생 시 BFD 프로토콜은 제어 패킷을 수신하지 못해 링크 장애를 감지하고, 이를 EIGRP 또는 OSPF 프로토콜에 보고한다. 이후 EIGRP 또는 OSPF 프로토콜은 이웃 인접성을 제거한다.

그림 6은 BFD가 해당 포트의 장애를 감지하는 메커니즘을 나타낸 것이다. 50 밀리초마다 A 포트와 D포트는 BFD 패킷을 송·수신한다. 만약 해당 포트가 3회 이상 응답이 없으면 라우팅 프로토콜로 장애 정보를 알리게 된다 [8].

절체 성능 향상을 위하여 EIGRP 또는 OSPF 프로토콜에 BFD 프로토콜을 결합하여 네트워크 장애 인식 시간을 줄일 수 있다. 이는 비정상적인 링크

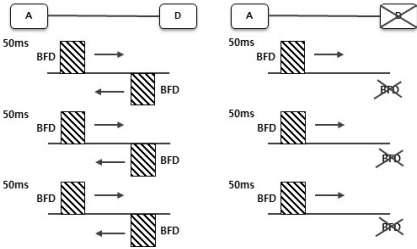


그림 6. BFD 프로토콜의 장애 감지 메커니즘  
 Fig. 6 Failure detection mechanism of BFD protocol

상황을 모니터링하여, 장애 발생 시 대안 경로를 보다 빨리 확립하여 장애에 대처할 수 있다. 또한 트리거 역할을 수행하는 BFD는 기존 프로토콜과 독립적으로 결합되어, 스위치에 부하를 줄이고 네트워크 안정성을 높여준다.

#### IV. 시험 결과

##### 1. 절체 성능 시험

###### 1.1 네트워크 시험구조

라우팅 네트워크 구조는 크게 파살 메시 (partial mesh), 허브&스포크 (hub&spoke), 풀 메시 (full mesh) 네트워크 구조로 나뉜다. 본 논문에서는 동일한 네트워크 구조에서 각 프로토콜의 절체성능을 시험하고, 동일 프로토콜 사용 시 네트워크 구조에 따른 절체 성능 시험 변화를 시험하였다. 동일 네트워크 구조에서 프로토콜에 따른 절체성능 시험은 파살 네트워크 구조를 구성하여 시험하였고, 네트워크 구조에 따른 프로토콜의 절체성능을 비교하기 위하여 허브&스포크 네트워크 구조를 추가적으로 구성하여 시험하였다 [9]. 허브&스포크 네트워크 구조에서 리모트 (remote) 라우터들은 중심 라우터로만 연결되는 구조로 가장 적은 수의 버추얼 서킷이 필요하여 적은 비용이 든다. 파살 메시 네트워크 구조는 모든 라우터가 다른 모든 라우터와 연결된 것은 아니지만, 라우터 간의 트래픽 중요도에 따라 리던던시 (redundancy)를 위해 회선을 추가한 구조이다. 그림 7은 파살 메시 네트워크 구조를 나타낸 그림이다. A1과 A2는 이중화된 구조를 나타내며 A 그룹과 B 그룹은 단독적인 운용 상황과 고가용성을 위하여 메시 형태로 연결되었다. 각 라인은 10G 광 케이블로 연결된 네트워크 구조이다. 프로토콜별 절체시간을 확인하기 위하여 그림 7의 네트워크 구조로 시험을 진행하였다.

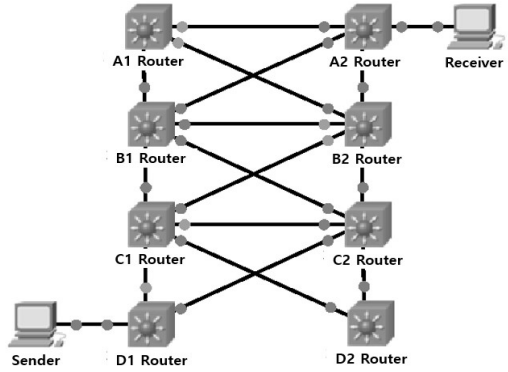


그림 7. EIGRP 및 OSPF 프로토콜 절체 시험 네트워크 구조 (파살 메시 네트워크 구조)  
 Fig. 7 Fail-over test network topology of EIGRP & OSPF (partial mesh network topology)

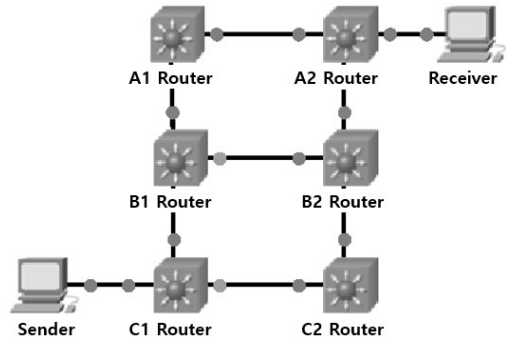


그림 8. 플렉스 링크 프로토콜 절체 시험 네트워크 구조 (파살 메시 네트워크 구조)  
 Fig. 8 Fail-over test network topology of Flex link (partial mesh network topology)

본 논문에서는 절체 성능을 스위칭 프로토콜인 플렉스 링크 프로토콜과 비교한다. 위에서 언급한 것과 같이 플렉스 링크 프로토콜과 같은 스위칭 프로토콜은 절체시간이 매우 짧다. 그러나 플렉스 링크 프로토콜은 다중 연결이 지원되지 않고 링 (ring)구조의 연결만 가능하며, 그림 8의 구조로 구성하여 절체시간을 측정하였다. 그림 8에서 A1과 A2는 이중화된 구조를 나타낸다.

그림 9는 허브&스포크 (hub & spoke) 네트워크 구조를 나타낸 그림이다. 백본 라우터가 코어 (core) 라우터가 되어 모든 라우터에 연결되어 있는 구조이다. 각 라인은 10G 광 케이블로 연결되어 중심에 있는 백본 라우터 2개 중에 하나를 절체하여 절체시간을 측정하였다.

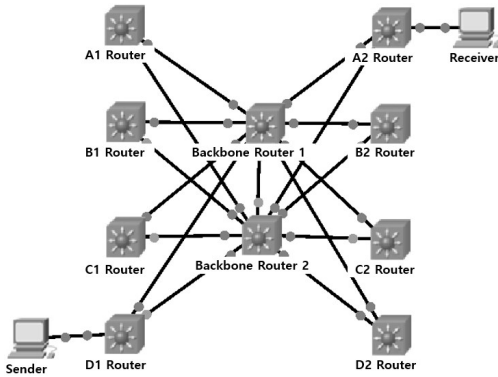


그림 9. 허브&스포크 절체 시험 네트워크 구조  
Fig. 9 Fail-over test network topology of hub & spoke

표 3. 시험 환경

Table 3. Test environment

	Manufacturer	Model Name
Switch	Cisco	C3850 24Port 10G
Server	HP	10G LAN / Window 10
SW	RTI	DDS PerfTest V2.3

1.2 시험환경

본 시험에 사용된 하드웨어 장비와 소프트웨어는 표 3과 같다. 10G 24Port를 지원하는 시스코사의 C3850 Multi-layer 스위치로 각각의 네트워크 구조에 맞게 환경을 구축 하였다. 10G LAN Card가 설치된 서버를 송신자와 수신자로 구분하여 시험구조에 맞게 스위치에 연결하였다. 또한 응용 SW로는 멀티 캐스트 (multicast)를 안정적 검증하기 위해 국방에서 주로 사용하는 미들웨어인 RTI사의 DDS (Data Distribution Service) 성능 테스트 프로그램을 사용하였다. 그림 10은 실제 시험 환경을 나타낸 그림이다. 스위치를 적층으로 쌓고 광케이블 연결을 변경하여 구조 변경이 용이하게 시험 환경을 구성하였다. 그리고 절체성능을 측정하기 위한 응용 SW를 서버에서 실행하여 시험에 사용하였다.

1.3 절체시간 측정방법

파살 메시 구조 네트워크에서 패킷 전송 경로 선택 방식은 링크 스테이트 또는 디스턴스 벡터로 결정된다. 패킷 송·수신에 직접 연관된 경로에 위치한 라우터는 포트 별 패킷 전송량을 통하여 획득 가능하다. 네트워크 장애 모의는 패킷 전송 경로에 위치한 라우터의 전원을 끄는 방식으로 시험을 진행하였다. 파살 메시 구조의 절체 시험은 그림 7에



그림 10. 절체 성능 시험 환경  
Fig. 10 Test environment of fail-over performance test

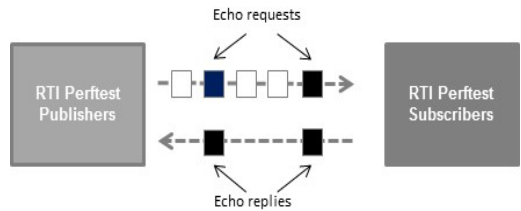


그림 11. DDS PerfTest 소프트웨어 메커니즘  
Fig. 11 SW mechanism of DDS PerfTest

서 송신자에서 수신자로 패킷이 전송될 때 실제 패킷이 전송되는 라인에 있는 라우터 B1과 C2의 전원을 제거하여 시험하였다. 허브&스포크 구조의 절체 시험은 그림 9의 백본 라우터 1의 전원을 제거하여 백본 라우터 2로 절체될 때의 시간을 측정하였다. 플렉스 링크 스위칭 프로토콜의 절체시간은 그림 8의 C1 라우터의 연결된 송신자가 A2 라우터에 연결된 수신자에 전송 중일 때 B2의 전원을 제거하였을 때 절체시간을 측정하였다.

절체시간의 측정방법은 초당 전송 데이터의 손실률로 시간을 측정하였다. 그림 11은 DDS PerfTest 소프트웨어의 동작 구조를 나타낸 그림이다. DDS PerfTest 소프트웨어는 그림 11에 표현한 것과 같이 패킷의 발행자 (publisher)에서 데이터 송신 시 측정 주기마다 에코 리퀘스트 (echo requests)를 삽입하여 전송의 성공과 실패를 확인할 수 있다. 이를 이용하여 초당 평균 10000개의 데이터를 송신하고, 네트워크 장애 발생 시 라우팅 경로가 변경되는데 걸리는 시간을 측정하였다.

상세 절차는 아래와 같다. 송신자는 4000 바이트의 패킷을 멀티 캐스트 유형으로 초당 평균 10000개 전송한다. 즉 송신자는 초당 320 메가 바이트 크기의 데이터를 전송한다. 라우터 포트별 패

표 4. 시험 프로토콜  
Table 4. Test protocol

Case	Network topology	Network Protocol
Case 1	partial mesh	OSPF + BFD
Case 2	partial mesh	EIGRP + BFD
Case 3	partial mesh	Flex link
Case 4	hub & spoke	EIGRP + BFD

킷 전송량을 확인하여 포워딩 되는 경로에 있는 라우터 2개 또는 1개의 전원을 제거한다. 구독자(subscriber)가 손실한 패킷 개수로 절체시간을 측정한다. 10회 이상 반복하여 손실 패킷이 가장 많은 경우의 절체시간을 계산하여 성능 비교에 사용하였다.

1.4 시험 프로토콜 설정

시험 프로토콜은 III절에서 제안한 프로토콜과 시험구조를 결합하여, 표 4와 같이 4가지 경우를 나눠 시험하였다. 프로토콜에 따른 절체성능을 비교하기 위하여 표 4의 Case 1~3과 같이 파살 메시 구조에서 프로토콜 변화에 따른 절체시간을 측정하였다. 그리고 네트워크 구조에 따른 절체 성능을 검증하기 위하여 Case 2, 4와 같이 EIGRP에 BFD 프로토콜을 결합하여 파살 메시 구조와 허브&스포크 구조에서의 절체시간을 측정하였다.

OSPF 프로토콜과 EIGRP의 메트릭 계산을 위한 파라미터는 최대 성능을 테스트하기 위하여 표 2의 절체시간과 관련된 파라미터의 최솟값을 적용하여 시험하였다. OSPF 프로토콜은 hello-interval, dead-interval, retransmit-interval을 최소 단위로 설정하였고, EIGRP는 hello-interval과 hold-time를 최소 단위로 설정하였다. 플렉스 링크 프로토콜은 preemption-delay을 최소 단위로 설정하였다.

2. 시험 결과

파살 메시 구조에서 각 라우팅 프로토콜의 BFD 프로토콜 적용에 따른 절체성능 시험 결과는 그림 12와 같다. BFD 프로토콜 적용 전 OSPF 프로토콜과 EIGRP의 최대 절체시간은 각각 3.36초와 2.6초로 측정되었다. BFD 프로토콜을 각각 적용 한 후에는 3.28초와 0.29초로 측정되었다. OSPF 프로토콜에 BFD를 결합한 경우 2.5%의 성능만 개선되었으나, EIGRP에 BFD를 결합한 경우 88%의 절체시간 성능이 개선되었다.

라우팅 프로토콜 (OSPF, EIGRP)에 BFD 프로토콜을 결합한 것과 스위칭 프로토콜 (플렉스 링크)의

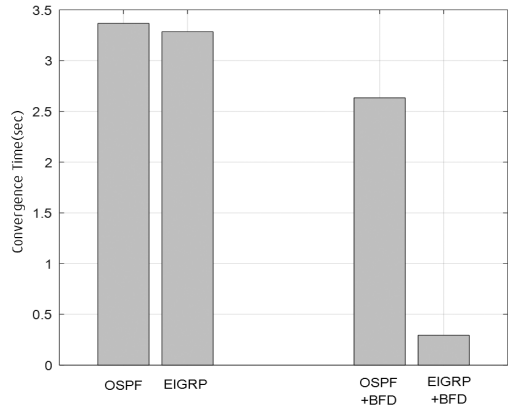


그림 12. BFD 적용에 따른 절체시간  
Fig. 12 Convergence time applying BFD

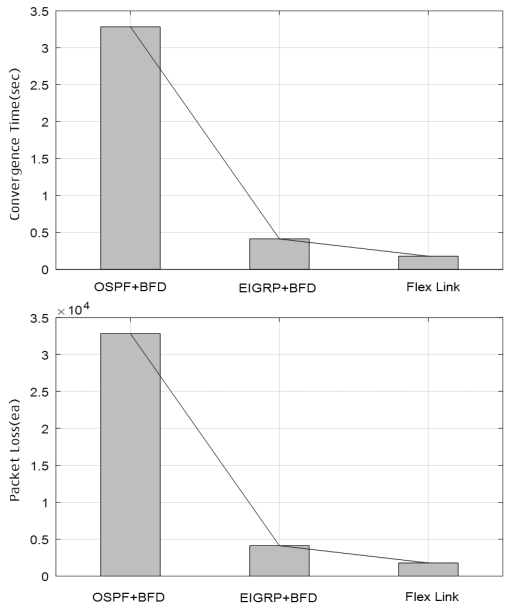


그림 13. 라우팅 프로토콜별 절체시간 및 손실 패킷  
Fig. 13 Convergence time and loss packet by routing protocol

절체 성능의 결과를 그림 13에 나타내었다. 라우팅 프로토콜과 BFD 결합 프로토콜의 절체시간은 그림 12와 동일하다. 스위칭 프로토콜인 플렉스 링크 프로토콜의 절체시간은 0.18초로 EIGRP와 BFD 프로토콜의 결합보다 0.12초 짧았다. 다시 말해 하드웨어 기반의 스위칭 코어 기반으로 CPU 계산이 필요 없는 스위칭 프로토콜과 CPU 기반 라우팅 프로토콜과 BFD 결합 프로토콜의 절체 성능 차이는 크지



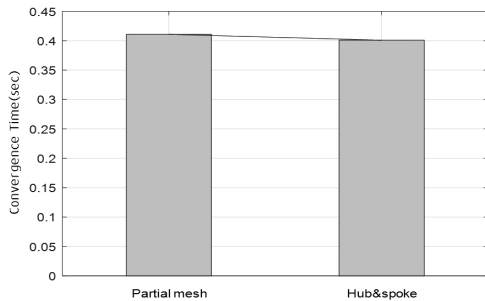


그림 14. 네트워크 구조별 절체시간

Fig. 14 Convergence time by network topology

않다. 그러나 플렉스 링크 프로토콜은 한 인터페이스가 다른 인터페이스의 백업으로 구성되어야 하는 특성상 액티브 스탠바이 (active - standby) 구조는 필수적이다. 그러므로 플렉스 링크 프로토콜은 한정된 파살 메시 구조에만 사용할 수 있는 단점이 있어 EIGRP와 BFD 프로토콜이 플렉스 링크 프로토콜보다 네트워크 구조적 적용 다양성이 더 크다.

그림 14는 네트워크 구조에 따른 프로토콜별 절체시간을 나타낸다. 파살 메시 구조와 허브&스포크 구조에서 EIGRP와 BFD 결합 프로토콜의 절체시간은 0.01초 차이로 비슷하게 측정되었다. BFD 프로토콜의 상태 모니터링의 대상은 포트와 포트 사이 장애 감지 유무이다. 각 포트의 장애 감지로 라우팅 프로토콜의 경로를 전환 시켰지만 파살 메시 구조와 허브&스포크 구조에서는 구조에 의한 영향성이 크기 않음을 알 수 있다.

## V. 결론

네트워크 라우팅 장비의 특징 중 하나는 인접 시스템의 통신 장애를 신속하게 감지하고, 대안 경로를 보다 빨리 확립하는 것이다. 일반적인 라우팅 환경에서 링크 장애 시 헬로 패킷을 사용하여 하드웨어 시그널이 없을 때 장애 정보를 감지한다. 기존 프로토콜의 경우 장애 감지 시간은 1초 이상이 걸려 10G 환경의 일부 응용 프로그램에서는 많은 데이터 손실을 초래한다.

본 논문에서는 네트워크 고가용성을 확보하기 위하여 파살 메시 구조를 가진 시스템의 링크 장애 시, 절체시간을 감소시켜 절체성능을 향상시키기 위하여 링크 장애를 빠르게 감지하는 BFD 프로토콜과 라우팅 프로토콜의 조합을 설계하였다. OSPF

프로토콜과 EIGRP에 BFD 프로토콜 적용에 따른 절체 성능은 결합 전과 비교하여 각각 2.5%, 88% 향상되었다. 또한 스위칭 프로토콜인 플렉스 링크 프로토콜과 동등한 절체 성능을 보여주었다. 그 결과 시스템의 절체 성능을 높여 네트워크에 가해지는 부하를 줄이고 네트워크 안정성을 향상시켰다.

앞으로도 대용량 데이터를 처리하는 함정 무기 체계들의 고가용성 요구는 지속적으로 증가할 것이다. 그로인해 많은 네트워크 구조의 성능이 재 측정되고 다양한 프로토콜이 나올 것으로 예상된다. 특히 이중화를 염두하고 시스템을 구축하는 입장이라면 BFD 프로토콜을 활용하여 10G망에서 링크 장애 시 최소한의 데이터 손실로 고가용성을 증대 시키는데 도움이 될 것이다.

앞으로는 SDN (Software-Define Networking) 과 NFV (Network Function Virtualization)를 도입하여 절체시간은 줄이고 가용성을 향상시킬 수 있는 시스템 개발 및 추가 연구가 필요 할 것이다.

## References

- [1] K. Lee, D. Han, "A Study on the Application Model of High Availability of Shipboard Combat Systems," Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 24, No. 4, pp. 119-125, 2015 (in Korean).
- [2] Y. Lee, Y. Kim, "An Efficient Embedding Structure for Heterogeneous Routing Protocols in Wireless Mesh Routers," IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications, Vol. 2, No. 4, pp. 209-213, 2007 (in Korean).
- [3] C. Suh, J. Shin, K. Kim, "Layer 2 Routing with Multi-Spanning Tree Per a Node," Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 33, No. 9, pp. 751-759, 2008 (in Korean).
- [4] J. Shin, J. Jang, "Modeling of RSTP," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 719-722, 2008 (in Korean).
- [5] K. Elmeleegy, A. L. Cox, T. S. E. Ng, "On Count-to-Infinity Induced Forwarding Loops in Ethernet Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Computer Communications, pp. 1-13, 2006.

- [6] W. Lee, S. Joo, "The OSPF Routing Protocol with Alternative Route Selection," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp. 812-815, 2000 (in Korean).
- [7] N. Kim, "The Case Study for Path Selection Verification of IGP Routing Protocol," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 9, pp. 197-204, 2014 (in Korean).
- [8] M. Fu, W. Dong, Z. Le, X. Sun, "BFD-triggered Failure Detection and Fast Reroute for OBS Networks," Proceedings of 2009 Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition, pp. 1-2, 2009.
- [9] H. Jin, "A Study on the Development of Dual-based Algorithm for the Hub-spoke Network Design," Journal of Korean Business Administration, Vol. 23, No. 1, pp. 527-544, 2010 (in Korean).

### Jongsu Hwang (황종수)



He is received B.E. degree in electrical & electronic engineering from Yonsei University in 2010.

Currently, he is a research engineer at LIG Nex1. His current research interests include high availability in embedded system, software defined networking, network function virtualization.

Email: jongsu.hwang@lignex1.com

### Eunjeong Jang (장은정)



She received her B.S., M.S. and Ph.D. degrees in electrical engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 2010, 2012 and 2016,

respectively. Since July 2016, she has been with the LIG Nex1, where she develops the signal processing system for the active sonar as a research engineer. Her main research interests include signal processing systems for active sonar and vehicular communications.

Email: jangeunjeong@lignex1.com

### Wonoh Lee (이원오)



Lee received a B.S. and M.S. degrees in Electrical Engineering and Computer Science from Kyungpook National University in 2008 and 2011, respectively.

Currently, he is a research engineer at LIG Nex1. His research interests include computer vision and pattern recognition in embedded system.

Email: wonoh.lee@lignex1.com

### Jonghyeok Kim (김종혁)



He is received B.E. and M.S. degree in computer science from Hanyang University in 2004 and 2006, respectively. Currently,

he is a research engineer at LIG Nex1. His research interests include computer vision in embedded system.

Email: jonghyeok.kim@lignex1.com

**Heearn Kim (김희연)**



He received a B.E. in Electrical Engineering from Ajou University in 1997.

Currently, he is a research engineer at LIG Nex1. His current research interests include high availability in embedded system.

Email: [hekim70@lignex1.com](mailto:hekim70@lignex1.com)